



ISSN 1606-9919

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

2024. Том 204, вып. 4

Год основания 1928



IZVESTIYA TINRO

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 междуна-
родные 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

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ	745
Дедерер Н.А., Шевляков Е.А., Найденко С.В. Термика при- брежных вод и возможные механизмы формирования высо- кочисленных поколений западнокамчатской горбуши	745
Колпаков Е.В., Немова Д.Д., Соколенко Д.А. Особенности эко- логии двустворчатого моллюска амурской потамокорбулы <i>Pota- mocerbulba amurensis</i> в заливе Петра Великого Японского моря ...	764
Петров Е.А., Купчинский А.Б. Питание байкальской нерпы <i>Pusa sibirica</i> Gm. пелагическим рачком <i>Macrohectopus brani- ckii</i> Dyb. в условиях искусственного освещения	783
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ	799
Найденко С.В., Шебанова М.А., Кузнецова Н.А., Радчен- ко К.В., Метревели В.Е. Многолетняя динамика кормовой базы nektona летом в тихоокеанских водах Курильских ост- ровов и Камчатки	799
Коломейцев В.В., Горин С.Л. Состояние изученности тер- мохалинных условий на шельфе западной Камчатки	823
Никитин А.А., Цыпышева И.Л., Зуенко Ю.И., Басюк Е.О. Структура Приморского течения (Японское море) на спутни- ковых изображениях и стандартных разрезах	843
Бойченко Т.В., Христофорова Н.К. Микробная индикация загрязнения поверхностных вод залива Петра Великого (Японское море) тяжелыми металлами	866
Галышева Ю.А., Сомова Е.Г., Сомов А.А. Макробентос сублиторали бухт Астафьева и Средняя залива Петра Вели- кого Японского моря (Дальневосточный морской биосфер- ный государственный природный заповедник)	881
Нестерова О.В., Брикманс А.В., Трегубова В.Г., Гилёв А.М. Характеристика донных отложений бухты Киевка Японско- го моря	905
Галышева Ю.А., Чиченко В.А., Метревели В.Е. Оценка состояния макробентоса твердых грунтов верхней сублито- рали некоторых районов Авачинского залива, подвергшихся влиянию вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г., через год после природной катастрофы	917
АКВАКУЛЬТУРА	935
Стекольщикова М.Ю., Акиничева Е.Г., Батиук Ю.А., Ва- раксин И.А. Оценка встречаемости кеты <i>Oncorhynchus keta</i> искусственного происхождения на нерестилищах рек и озер о. Итуруп	935
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	951
Макоедов А.Н. Рыболовство России: начало нового этапа? ...	951
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	964
Бугаев А.В., Зикунова О.В., Тепнин О.Б., Артюхина Н.Б., Шпигальская Н.Ю. Основные принципы формирования и интерпретация оправдаваемости промысловых прогнозов тихоокеанских лососей Камчатского края в современный период (аналитический обзор 2010–2020-х гг.)	964
Золотов А.О. Использование метода обратных расчислений роста для определения возрастного состава уловов некото- рых видов морских промысловых рыб	1003
Черненко И.С., Слизкин А.Г., Кулик В.В. Применение методов машинного обучения для восстановления размерно- полового состава уловов краба-стригуна опилио	1018

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES	745
Dederer N.A., Shevlyakov E.A., Naydenko S.V. Thermal regi- me of coastal waters and possible mechanisms of formation for strong year-classes of West Kamchatka pink salmon	745
Kolpakov E.V., Nemova D.D., Sokolenko D.A. Features of eco- logy for bivalve mollusk <i>Potamocerbulba amurensis</i> in Peter the Great Bay, Japan Sea	764
Petrov E.A., Kupchinsky A.B. Feeding of baikal seal <i>Pusa si- birica</i> Gm. on pelagic crustacean <i>Macrohectopus branickii</i> Dyb. in conditions of artificial lighting	783
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES	799
Naidenko S.V., Shebanova M.A., Kuznetsova N.A., Radchen- ko K.V., Metreveli V.E. Long-term dynamics of the food base for nekton in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer	799
Kolomeytshev V.V., Gorin S.L. State of knowledge for thermo- haline conditions on the shelf of West Kamchatka	823
Nikitin A.A., Tsypysheva I.L., Zuenko Yu.I., Basyuk E.O. Structure of the Primorye Current (Japan Sea) on satellite im- ages and standard sections	843
Boychenko T.V., [Khrystoforova N.K.] Microbial indication of pollution in the surface waters of Peter the Great Bay (Japan Sea) by heavy metals	866
Galysheva Yu.A., Somova E.G., Somov A.A. Macrobenthos of the sublittoral in the Astafiev and Srednyaya Bights of Peter the Great Bay, Japan Sea (Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve)	881
Nesterova O.V., Brikmans A.V., Tregubova V.G., Gilyov A.M. Characteristics of bottom sediments in the Kievka Bay of the Ja- pan Sea	905
Galysheva Yu.A., Chichenko V.A., Metreveli V.E. Assess- ment of the state for macrobenthos on solid grounds in the up- per sublittoral in certain areas of Avachinsky Bay impacted by harmful algal bloom in autumn 2020, a year after the natu- ral disaster	917
AQUACULTURE	935
Stekolshchikova M.Yu., Akinicheva E.G., Batiuk Y.A., Vara- ksin I.A. Estimating the occurrence of chum salmon <i>Oncorhyn- chus keta</i> of artificial origin on spawning grounds in the rivers and lakes of Iturup Island	935
ECONOMIC STUDIES	951
Makoevov A.N. Russian fisheries: beginning of a new stage?	951
METHODS OF INVESTIGATIONS	964
Bugaev A.V., Zikunova O.V., Tepnin O.B., Artyukhina N.B., Shpigalskaya N.Yu. Basic principles of developing and interpre- tation of validity for fishery forecasts of pacific salmon in the Kam- chatka Region in the modern period (analytical review for 2010– 2020s)	964
Zolotov A.O. Using the method of inverse growth calculations to determine the age composition of catches for certain species of marine commercial fish	1003
Chernienko I.S., Slizkin A.G., Kulik V.V. Application of ma- chine learning methods to restore size-sex composition in cat- ches of snow crab	1018

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. Байталоук, 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. Зеленников, д-р биол. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет; В.Н. Иванков, 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; Rykaczewski 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 10.12.2024 г. Формат 70х108/16.
Печ. л. 18,1. Уч.-изд. л. 16,9. Тираж 50 экз.
Заказ № 12. Цена 660 р.
Выход тома в свет 16.12.2024 г.
Отпечатано в издательстве ТИНРО
690091, Владивосток, ул. Западная, 10

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 597.552.511:551.465**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763****EDN: XUCDWA****ТЕРМИКА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ
ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧИСЛЕННЫХ ПОКОЛЕНИЙ
ЗАПАДНОКАМЧАТСКОЙ ГОРБУШИ****Н.А. Дедерер, Е.А. Шевляков, С.В. Найденко***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Рассмотрена динамика покатной миграции молоди западнокамчатской горбуши в период 1975–2023 гг. Отмечено увеличение продолжительности покатной миграции молоди в связи с увеличением численности родительского стада. Температура прибрежных западнокамчатских вод за 40-летний период до 2016 г. увеличилась с 3,0 до 6,5 °С, с 2017 по 2023 г. снизилась до 3,0–4,0 °С. Темпы прогрева прибрежных западнокамчатских вод значительно ниже восточнокамчатских. Гипотеза появления экстравысокочисленных поколений западнокамчатской горбуши последних лет в результате прогрева прибрежных вод в период раннего морского нагула молоди не подтверждается. Высказывается предположение о причинах появления экстравысокочисленных поколений западнокамчатской горбуши, связанных с растянутым периодом покатной миграции молоди урожайных поколений и ростом продукции мелкоразмерного планктона, приносимого в прибрежные западнокамчатские воды из глубоководных районов Охотского моря и с трансформированными тихоокеанскими водами через северные Курильские проливы.

Ключевые слова: горбуша западной Камчатки, покатная миграция, молодь горбуши, ранний морской период жизни, кормовая база

Для цитирования: Дедерер Н.А., Шевляков Е.А., Найденко С.В. Термика прибрежных вод и возможные механизмы формирования высокочисленных поколений западнокамчатской горбуши // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 745–763. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763. EDN: XUCDWA.

* Дедерер Никита Александрович, специалист, nikita.dederer@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3618-7706; Шевляков Евгений Александрович, кандидат биологических наук, начальник отдела, evgeniy.shevlyakov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8556-6737; Найденко Светлана Васильевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991.

© Дедерер Н.А., Шевляков Е.А., Найденко С.В., 2024

Original article

Thermal regime of coastal waters and possible mechanisms of formation for strong year-classes of West Kamchatka pink salmon

Nikita A. Dederer*, Evgeny A. Shevlyakov, Svetlana V. Naydenko*****

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

* specialist, nikita.dederer@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3618-7706

** Ph.D., head of department, evgenii.shevliakov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8556-6737

*** D.Biol., principal researcher, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991

Abstract. Dynamics of downstream migration is considered for juvenile pink salmon at West Kamchatka in 1975–2023. Lengthening of the migration period is noted for recent years with high parental stocks. These changes happened on the background of four-decade increasing of the sea surface temperature in waters at the western coast of Kamchatka (till 2016), on average from 3.0 to 6.5 °C, and its further decreasing back to 3–4 °C from 2017 to 2023. So, the warming trend in coastal waters at western Kamchatka is significantly weaker than that at eastern Kamchatka, that does not confirm a hypothesis on formation of super-strong year-classes of West Kamchatka pink salmon in recent years due to warmer environments for early marine feeding of the juveniles in the coastal zone. Presumably, these extreme year-classes were formed as a result of prolonged downstream migration of fry produced by rather numerous spawners in conditions of increased abundance of small-sized plankton transported to the coast of western Kamchatka from the deep-water areas of the Okhotsk Sea and the North-West Pacific.

Keywords: pink salmon of West Kamchatka, downstream migration, juvenile pink salmon, early marine period of life, food supply

For citation: Dederer N.A., Shevlyakov E.A., Naydenko S.V. Thermal regime of coastal waters and possible mechanisms of formation for strong year-classes of West Kamchatka pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 745–763. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763. EDN: XUCDWA.

Введение

Настоящая работа является продолжением исследования возможного влияния роста температуры морских прибрежных вод на формирование урожайности генераций горбуши, в том числе на появление экстравысокочисленных поколений. Первое исследование было посвящено поиску таких связей с динамикой численности горбуши северо-восточной Камчатки (карагинской) и в достаточной степени было объяснено [Шевляков и др., 2024]. Несмотря на то что популяционные комплексы восточно- и западнокамчатской горбуши имеют близкие параметры по величине используемого нерестового фонда, а также способны продуцировать сходные по численности поколения, тем не менее некоторые периоды в онтогенезе горбуши этих стад имеют существенные различия. В частности, речь идет о начале морского периода жизни молоди. Прибрежные воды Олюторского и Карагинского заливов и прилегающие берингоморские водные массы обладают значительной сезонной инерцией теплосодержания и характеризуются сравнительно невысокой интенсивностью водообменных процессов. Этому же способствует и изрезанность берингоморского побережья в отличие от западнокамчатского. Охотоморские прикамчатские воды, особенно в зоне Западно-Камчатского течения и прибрежных квазистационарных вихрей разной направленности, напротив, отличаются высокой динамикой вод и изменчивостью их характеристик. Ожидается, что относительно более стабильные условия жизни в этот период благотворно сказываются на выживаемости восточнокамчатской горбуши в сравнении с западнокамчатскими стадами. Об этом свидетельствует и большая частота появления экстравысокочисленных (> 150 млн экз.) поколений у восточнокамчатской горбуши — 6 против 3 западнокамчатских поколений.

Как и в случае с первой работой цикла, целью настоящего исследования являлось выявление взаимосвязи между появлением экстравысокочисленных поколений

западнокамчатской горбуши и изменчивостью температурного режима в прибрежных водах в период покатной миграции ее молоди.

Материалы и методы

В работе рассматривался район Охотского моря, прилегающий к побережью западной Камчатки, а также районы основного залива тихоокеанских вод в Охотское море (рис. 1). Выбор полигонов обусловлен системой циркуляции вод в юго-восточной части Охотского моря, формирующих основу Западно-Камчатского течения. Подекадная температура поверхности моря (ТПМ) и океана (ТПО) в выделенных районах с разрешением $0,25 \times 0,25$ привлекалась из открытых баз данных японского метеорологического агентства (JMA), доступ к которым представлен в рамках международного проекта NEAR-GOOS (Japan Meteorological Agency NEAR-GOOS RRTDB, ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/database.html).

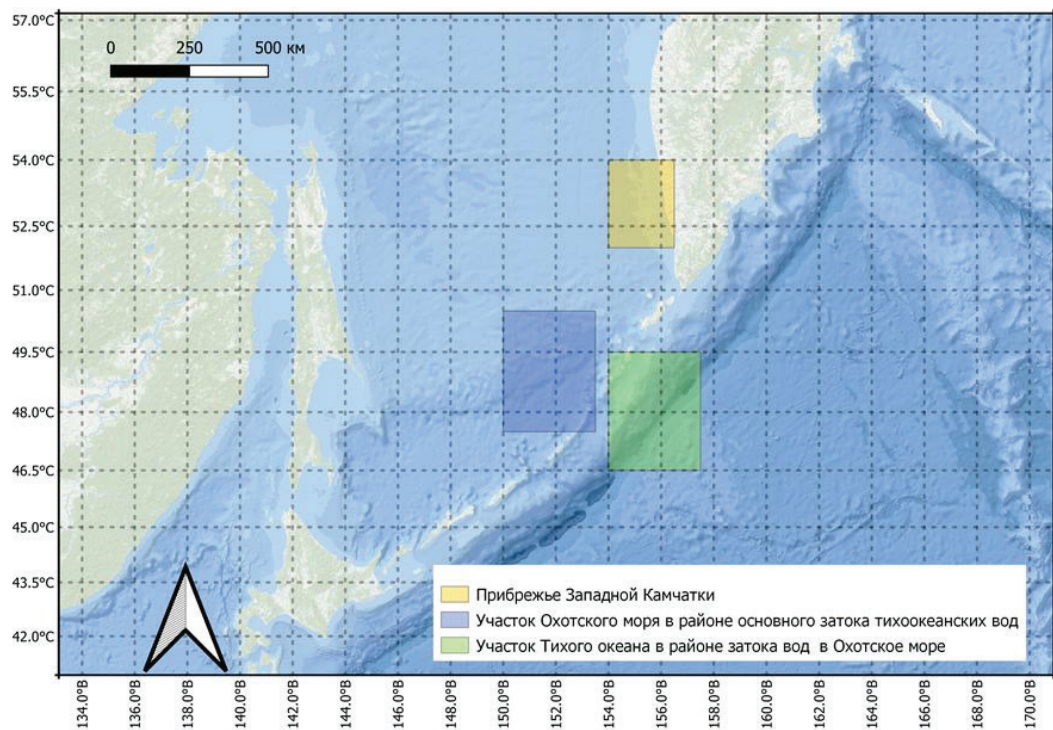


Рис. 1. Карта районов, в которых рассмотрена динамика хода средней ТПМ и ТПО в период покатных миграций западнокамчатской горбуши

Fig. 1. Scheme of the areas for SST monitoring in the period of downstream migration of West Kamchatka pink salmon

Важно отметить, что существует общая проблема сопоставимости материалов спутникового мониторинга за ТПМ, предоставляемого в рамках различных открытых международных баз данных, и натурных наблюдений, особенно в отношении прибрежных районов [Тепнин, Сошин, 2022]. Поэтому при составлении рядов данных ТПМ для побережья в нашем исследовании был взят достаточно обширный район с расчетом, что такие данные в меньшей степени будут подвержены искажению.

Для получения средневзвешенных оценок температуры прибрежных вод ($T_{срв}$) в период массовой покатной миграции молоди горбуши р. Утка средняя температура воды в каждую декаду ската (t_{cp}) приводилась к доле покатников, скатившихся в эту декаду (d), после чего оценки суммировались:

$$T_{срв} = d_1 \cdot t_{cp1} + d_2 \cdot t_{cp2} + d_3 \cdot t_{cp3} + d_4 \cdot t_{cp4} + d_5 \cdot t_{cp5}.$$

Ожидается, что чем выше средневзвешенная оценка, тем в более благоприятных условиях проходил скат основной массы молоди.

Также привлекались результаты натурных наблюдений за температурой воздуха на метеостанции в пос. Соболево (БД № 2014621485, <http://ntp.meteo.ru/meteo/topis.htm>).

Численность рыб, вернувшихся из моря в конкретном году, рассчитывали суммированием числа выловленных промышленностью рыб [Казарновский, 1987; Уловы..., 1989*; <https://www.npafc.org>] и пропущенных на нерестилища. Пропуск производителей определен специалистами КамчатНИРО по итогам обследования нерестилищ с использованием авиации на основе маршрутных съемок [Шевляков и др., 2013]. Численность выловленных рыб находили делением массы улова (по данным промысловой отчетности предприятий Северо-Восточному территориальному управлению Росрыболовства) на среднюю массу тела одной рыбы, оцененной по результатам биологического анализа сотрудниками КамчатНИРО. Оценки численности покатной молоди горбуши в контрольной р. Утка предоставлены КамчатНИРО, исследования проводились по стандартным методикам [Глубоковский и др., 2017].

Результаты и их обсуждение

Ранее было показано, что колебания выживаемости восточно- и западнокамчатской горбуши могут быть связаны с ТПМ во время миграции ее молоди из рек в прибрежные воды, что подробно рассмотрено для горбуши восточного побережья [Дедерер, Шевляков, 2022; Шевляков и др., 2024].

При анализе динамики ската молоди горбуши из рек западнокамчатского побережья, проведенного на контрольной р. Утка в период 1975–2022 гг., условно были выделены 3 периода, характеризующиеся различными сроками и продолжительностью покатной миграции (рис. 2).

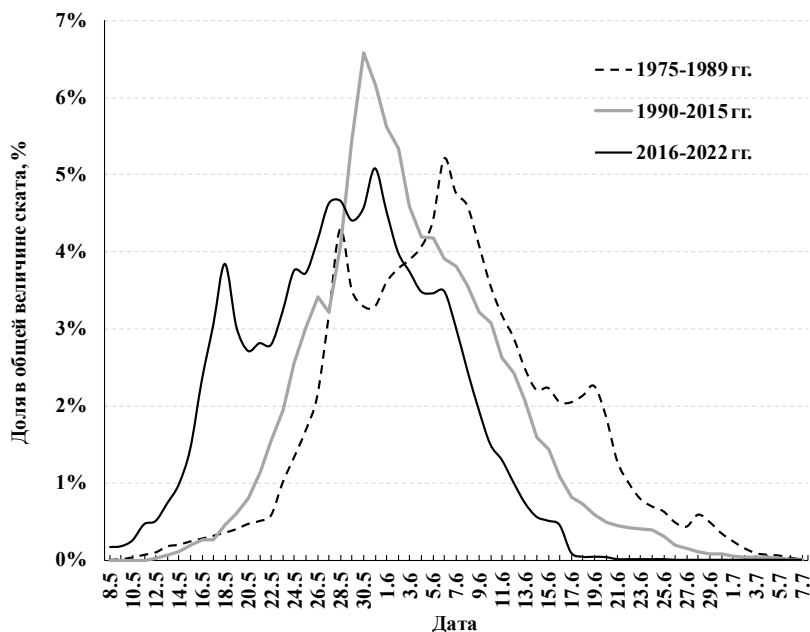


Рис. 2. Динамика покатной миграции молоди горбуши из р. Утка в период 1975–2022 гг.

Fig. 2. Dynamics of downstream migration of juvenile pink salmon from the Utkha River in three multiyear periods

Во время покатной миграции с 1975 по 1989 г. наблюдалось несколько пиков ската молоди горбуши из рек. При этом начало массового ската было обычно приурочено к

* Уловы тихоокеанских лососей, 1900–1986 гг. М.: ВНИРО, 1989. 213 с.

окончанию мая, а основная масса молоди скатывалась в течение первых двух недель июня. Для следующей четверти века (1990–2015 гг.) характерно относительно более компактное одномодальное распределение интенсивности покатной миграции молоди из реки с ярко выраженным пиком массового ската смолтов. Продолжительность, а также сроки начала и завершения покатной миграции кардинально не отличались от показателей предшествующего периода.

Несколько иначе распределение интенсивности покатной миграции выглядит в 2016–2023 гг. В этот период начало миграции сместилось на начало мая, а массовый скат начинался уже во второй декаде месяца (рис. 2). В течение двух с половиной недель без выраженных изменений в интенсивности миграции скатывается основная часть молоди, к окончанию первой декады июня скат фактически завершается. Очевидно, что данные изменения в сроках начала и протекания покатной миграции не в последнюю очередь связаны с глобальным климатическим трендом на повышение температуры, характерным для нескольких последних десятилетий [Бугаев, Тепнин, 2024].

С середины 1980-х гг. установилась характерная для последующего периода циклика смены урожайных (по четным) и неурожайных (нечетных) поколений западнокамчатской горбуши (рис. 3). Причем вплоть до начала 1990-х гг. урожайная четная линия обеспечивала вылов лишь порядка 15–20 тыс. т, рост запасов обозначился в подходе 1994 г. — 103,2 млн экз., вылов 32 тыс. т, а уже к 1998 г. вылов составлял 114 тыс. т. Следующий период можно охарактеризовать как урожайный для четных поколений горбуши, средний уровень уловов по четным годам до 2014 г. составлял 78 тыс. т. В 2014 г. произошло необъяснимое сокращение запасов в четной линии до уровня вылова 8,3 тыс. т, после чего данная генерация уже в следующем репродуктивном цикле достигла высокого уровня запаса, который обеспечил вылов порядка 50 тыс. т в 2016 г. Тенденция в изменении чередования урожайных и неурожайных поколений обозначилась в конце второго десятилетия текущего века, после рекордных подхода (> 360 млн экз.) и вылова (301 тыс. т), а также чрезмерного пропуска на нерест (> 110 млн экз.) производителей горбуши в 2018 г. [Шевляков и др., 2018]. С тех пор вылов в четной линии воспроизводства уменьшился, в 2022 и 2024 гг. находился на уровне соответственно 28 и 36 тыс. т. В смежной линии тем временем происходило увеличение репродуктивного потенциала по численности производителей, пропускаемых на нерестилища, в 2017 г. их количество уже достигало 5,0 млн, а в 2019 г. — 20,5 и 2021 г. — 92,0 млн экз. В 2019 г. вылов составил 60 тыс. т, в 6 раз превысив уровень предыдущего нечетного года, а в 2021 и 2022 гг. — соответственно 176 и 232 тыс. т.



Рис. 3. Динамика численности западнокамчатской горбуши в 1976–2023 гг.
Fig. 3. Dynamics of the West Kamchatka pink salmon abundance in 1976–2023

Таким образом, можно ожидать, что доминирующей по численности линией горбуши на западном побережье Камчатки в ближайший период времени будет нечетная. Перспективы четной генерации хоть и остаются пока неопределенными, но уровень запаса снижается, численность пропуска, обеспечивающего возврат следующего по-

коления, сократилась с близких к оптимальному уровню 23,0 млн в 2020 г. [Фельдман и др., 2019] до 5,0 млн в 2022 г. и 3,3 млн экз. в 2024 г. Необходимо отметить, что в линии нечетных лет воспроизводства, на фоне низкой численности нерестящихся производителей (от нескольких сотен тысяч и менее до 1–2 млн особей), в 2003 и 2005 гг. отнерестилось соответственно 11 и 18 млн рыб. Они вполне бы могли вывести нечетную линию на урожайный уровень уже в середине первого десятилетия 21-го века, однако это случилось только в течение последних 3–4 репродуктивных циклов горбуши нечетных лет воспроизводства.

Ранее высказывалось предположение, что одним из механизмов, поддерживающих или обуславливающих существование разноурожайных линий горбуши в течение определенных периодов времени, может быть квазидвухлетняя динамика солнечной активности, выраженная опосредованно через индексы WP (West Pacific Index) и PDO (Pacific Decadal Oscillation) [Фельдман, Шевляков, 2015]. Первый индекс отражает степень циклонической активности, второй — аномалии поверхностной температуры. Следовательно, эти индексы имеют непосредственное отношение к формированию температурного режима поверхностных вод, омывающих западную Камчатку и оказывающих влияние на формирование температурного фона в нижнем, прилегающем к побережью течении рек, — отрицательная корреляция выживаемости горбуши с абсолютными отклонениями индекса PDO в ноябре (начале зимнего сезона) в период эмбрионального развития и положительная корреляция выживаемости с ними в этот же месяц через год (в период активного нагула, предшествующего откочевке из охотоморских вод) означают, что если для одной линии горбуши эти факторы будут благоприятными, то для другой, смежной, линии они становятся автоматически неблагоприятными [Фельдман, Шевляков, 2015]. В той же публикации высказано предположение, что продолжительность таких циклов может составлять от 4 до 8 поколений смежных линий, после чего знак оказываемых на них эффектов меняется на противоположный. Такой период соответствия условно благоприятной поверхностной температуры для четных поколений отчетливо прослеживается с 2006 г. Ярким примером, как при оптимальных условиях могут восстанавливаться запасы горбуши, является резкое увеличение возвратов западнокамчатской горбуши с 8,3 млн особей в 2014 г. до рекордных 350,0 млн особей в 2018 г. всего за 2 поколения. С 2019 г., с начала нового цикла солнечной активности, существенно увеличился запас горбуши нечетного поколения.

На наш взгляд, существует еще один фактор, который вносит вклад в различие численности смежных поколений. Покатные миграции молоди урожайных поколений в среднем более продолжительны по времени, середина ската молоди приходится на завершающую треть периода ската в низкочисленных поколениях (рис. 4). Низкочисленные поколения скатываются компактно и скоротечно, непосредственно вскоре после подъема уровня воды, вызванного таянием снежного покрова. Фактический эффект в разнице продолжительности покатной миграции молоди разных по численности поколений выражается в больших рисках несоответствия характеристик прибрежной зоны условиям успешного выживания молоди в начальный период покатной миграции для малочисленных поколений, и, наоборот, растянутость периода ската высокочисленного поколения «страхует» его от неблагоприятных условий среды. Соответственно, риск относительно высокой элиминации молоди в период ската выше для неурожайных поколений.

Различия в сроках и продолжительности покатных миграций вызваны биологическими особенностями. Дело в том, что при выборе мест размножения горбуша, как правило, тяготеет к нижним участкам нерестового бассейна, для нее характерны наименьшие по протяженности пресноводные миграции, однако при высокой численности она может использовать всю пригодную для нереста площадь небольших или средних рек [Шевляков и др., 2018] и даже подниматься вверх по течению крупных рек на значительные расстояния — до 700 и даже до 900 км [Енюткина, 1972; Смирнов, 1975; Черешнев и др., 2001, 2002; Шевляков, Шубкин, 2020].

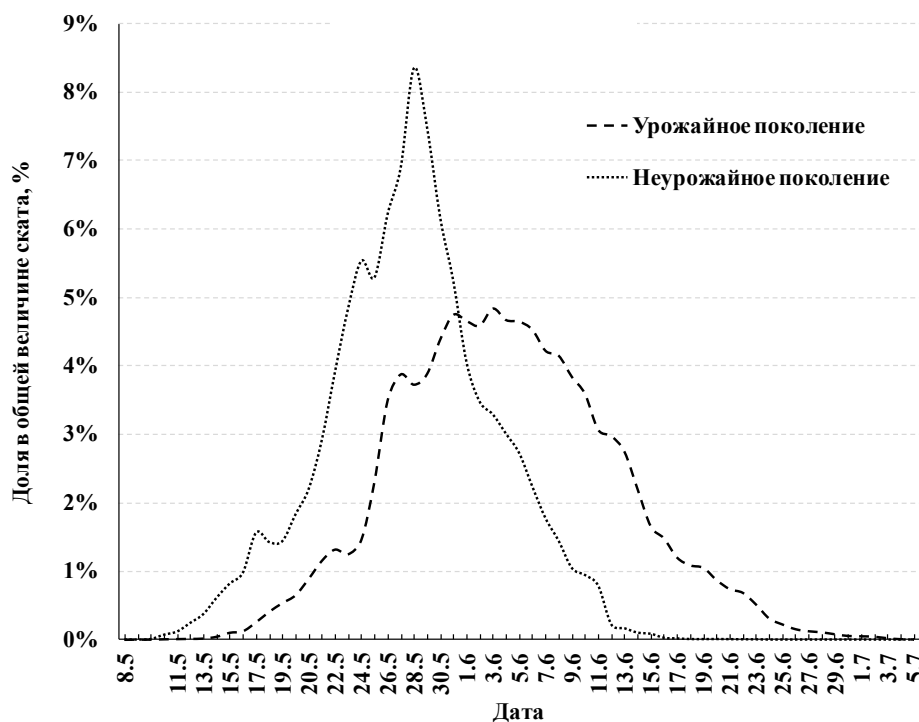


Рис. 4. Средняя динамика покатных миграций в урожайных и неурожайных поколениях (1984–2020 гг.), р. Утка

Fig. 4. Averaged for 1984–2020 dynamics of downstream migration for strong and weak year-classes of pink salmon in the Utkra River

Это означает, что в годы низкочисленных подходов горбуши в качестве нерестилищ используются только наилучшие площади нижней части речных бассейнов, в то время как при подходе высокочисленных поколений производители горбуши перераспределяются по значительной части нерестового фонда, осваивая и придаточную систему рек. Тем самым, учитывая активно-пассивный характер ската молоди горбуши в реках после ее выхода из гнезд, неравномерное таяние снега и сроки начала весенних паводков на разных по удаленности от нижнего течения рек нерестовых стациях, можно объяснить различие в продолжительности покатных миграций между низко- и высокочисленными поколениями горбуши. Покатные миграции неурожайных поколений протекают в относительно более сжатые сроки на фоне развивающегося паводка, в то время как скат молоди из удаленных притоков периферической речной системы с их слабой относительно основного русла проточностью обеспечивает продолжительность покатной миграции. Ожидается, что чем больше уровень заполнения нерестилищ родителями отличается от минимального, тем более длительно по времени молодь будет скатываться из рек, и тем больше шансов у потомков или значительной части из них попасть в благоприятные условия в прибрежье.

Как правило, средневзвешенная температура прибрежных вод в период покатных миграций молоди западнокамчатской горбуши четной, до недавнего времени урожайной, линии воспроизводства составляет не менее 4 °C (рис. 5, светлые маркеры). Исключение — поколения 1982, 1986, 1992 и 1994 гг. Из этого перечня поколения 1982 и 1994 гг. были обеспечены малым количеством родителей на нерестилищах (соответственно 7,0 и 6,7 млн экз.), и скат потомков на следующий год проходил по сценарию малоурожайных генераций, т.е. молодь скатывалась в холодные прибрежные воды скоротечно и в ранние сроки. Для ската этих лет характерны низкие показатели средневзвешенных значений температуры. Во всех остальных случаях численность

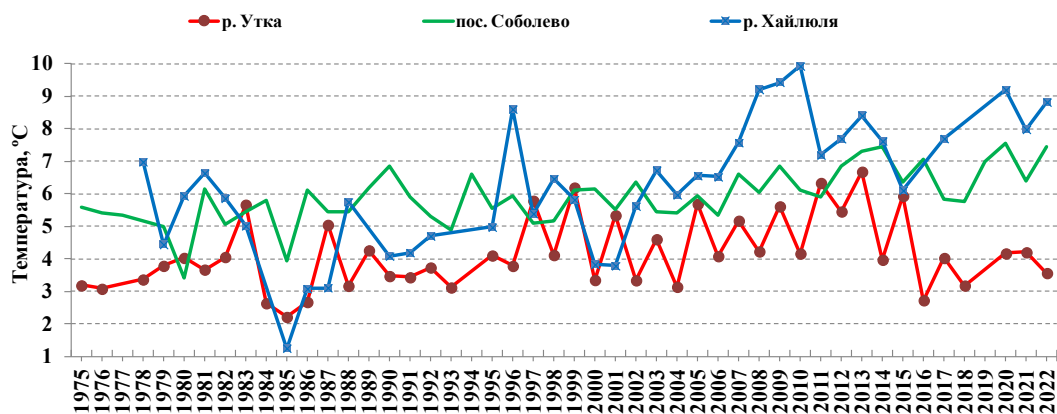


Рис. 6. Динамика средней температуры воздуха в мае-июне по данным метеостанции пос. Соболево, средневзвешенной температуры прибрежных вод в период ската молоди горбуши р. Утка и средневзвешенной температуры прибрежных вод в период ската молоди р. Хайлюля (северо-восточное побережье Камчатки)

Fig. 6. Dynamics of mean air temperature in May-June at Sobolevo weather station and mean weighted SST in the coastal zone during downstream migration of pink salmon fry in the Utk River (western coast of Kamchatka) and Khaylyulya River (northeastern coast of Kamchatka)

вод в последние годы, атмосферная температура воздуха по данным метеостанции в пос. Соболево имеет тренд на увеличение (рис. 6). Раннее наступление фенологической весны за счет изменения интенсивности таяния снежного покрова и сроков начала весеннего половодья может оказывать существенное воздействие на начало сроков покатных миграций молоди горбуши. На фоне снижения температуры прибрежных вод такой фактор, как атмосферное потепление, проявляющийся в виде смещения сроков покатных миграций на более ранние, может влиять на формирование численности горбуши.

В отличие от инерционной сезонной динамики развития процессов теплонакопления в водных массах, омывающих северо-восточное побережье Камчатки, для Охотского моря характерна высокая динамика водных масс, в значительной степени определяющая фоновые характеристики в морском побережье [Лепская и др., 2019], и по тем же причинам существует сложность поиска надежных данных для анализа теплосодержания прибрежных вод.

Динамичность условий среды прибрежных западнокамчатских вод, кроме общих и локальных климатических изменений, обусловлена также особенностями системы течений Охотского моря и его водообмена с океаном. Известно, что для циркуляции вод Охотского моря, как и для других морей Северного полушария, характерна циклоническая направленность течений (против движения часовой стрелки) [Степанов, 1974]. Макроциркуляционная система Охотского моря охватывает все пространство моря и состоит из цепи широких вдольбереговых течений, каждое из которых обладает своим качественным составом вод: Западно-Камчатское, разделяющееся на Срединную и Северную ветви; Пенжинское и Ямское, продолжающие Северную ветвь Западно-Камчатского течения; Северо-Охотское течение, собирающее эти ветви. Северо-Охотское течение впоследствии трансформируется в Восточно-Сахалинское течение, разгружающееся южными Курильскими проливами в Тихий океан (рис. 7).

Некоторая часть охотоморских вод при этом, не покидая акватории моря, вовлекается Северо-Восточным течением в новый круговорот, вливаясь в компенсационный заток тихоокеанских вод, формирующих основу Западно-Камчатского течения, через северные Курильские проливы. По результатам моделирования водообмена между Охотским морем и Тихим океаном, основанным на анализе спутниковых альтиметрических данных, усиление водообмена происходит в холодное время года с ноября по май,

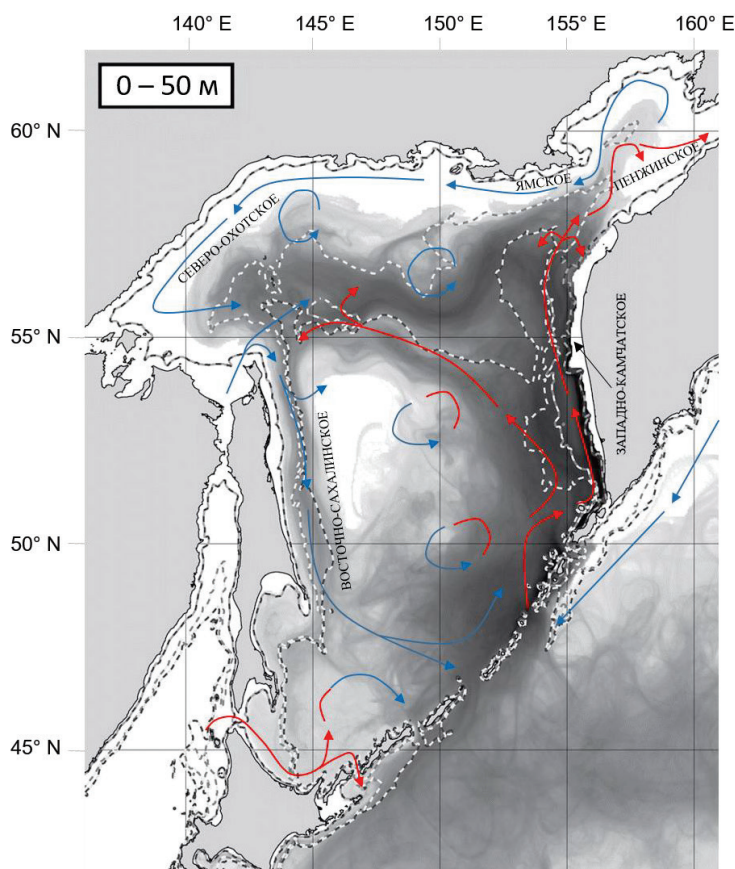


Рис. 7. Пути переноса вод северо-западной части Тихого океана через северные Курильские проливы в слое 0–50 м [Файман и др., 2021] и схема течений на поверхности Охотского моря

Fig. 7. Transport pathways of the northwestern Pacific Ocean waters through the northern Kuril Straits in a layer of 0–50 m [Fayman et al., 2021] and the current chart of the Sea of Okhotsk

а заток тихоокеанских вод осуществляется исключительно через северные Курильские проливы (Четвертый Курильский, Круzensштерна, Надежды, частично Буссоль), причем первые три обеспечивают до 45 % общего водообмена [Файман и др., 2021].

Следствием водообмена и описанной выше береговой конвергенции течений является образование практически по всему периметру Охотского моря относительно теплой полосы вод, в частности зоны теплых вод, которая на западнокамчатском шельфе простирается на 30–50 миль от берега. На траверзе Усть-Хайрюзово теплые воды смещаются от берега на 25–50 миль, заглубляясь на 100–150 м. Таким образом, в пределах акватории, прилегающей к западному побережью Камчатки, формируется экосистема, имеющая прямую связь с тихоокеанскими водами Восточно-Камчатского течения [Чернявский, 1981]. При этом именно часть побережья, которая является основным местом воспроизводства западнокамчатской горбуши (охватывая реки южной и средней его части от р. Опала на юге до р. Ича на севере), находится под действием типично или частично трансформированных тихоокеанских вод, влияющих наряду с другими факторами на условия выживания молоди в ранний морской период.

Кроме этого, на экосистему прибрежных вод большое влияние оказывает речной сток. По многолетним наблюдениям на западнокамчатском побережье большая часть речного стока поступает в прибрежную зону в период половодья в мае-июне. Это обеспечивает формирование обширных зон смешения речных и морских вод в прибрежных районах. В многоводные годы в летние месяцы зоны смешения смежных рек могут образовывать узкие (шириной несколько километров), но протяженные (до нескольких

сотен километров) зоны опреснения [Коваль, 2024]. Такое развитие событий наиболее характерно для закрытых бухт и заливов со слабой динамикой прибрежных вод. Анализ вертикального распределения основных гидрологических характеристик в прибрежной зоне в мае-августе свидетельствует, что во всех районах Камчатки водная толща в пределах морской части зоны смешения всегда сильно стратифицирована [Коваль, 2024]. При этом тонкий слой опресненных и прогретых вод располагается над значительно более мощным слоем морской воды, а «ядра» зон смешения морских и пресных вод в этот период находятся в непосредственной близости от устьев рек. Толщина наиболее опресненного слоя обычно составляет до 2–3 м. Мористее «ядра» располагается значительно бо́льшая по протяженности «периферийная» часть зоны смешения, здесь опресненная вода покрывает морскую водную массу тонким слоем — до ~0,5 м.

Особенности гидрологического режима, стратификации и вертикального перемешивания речных и морских вод определяют кормовую базу молоди лососей в прибрежье. В местах стока крупных рек при распреснении и повышении температуры создаются недостаточно благоприятные условия для развития холодноводного морского зоопланктона [Лепская и др., 2019]. На участках акватории, где доминируют морские водные массы, обилие кормовых организмов изменяется в зависимости от сложившихся океанологических условий и климатических тенденций. Кроме этого, в зависимости от интенсивности и направленности течений, а также наличия микроциркуляций планктон может привноситься из других районов и накапливаться на отдельных участках. Например, известна связь формирования высокопродуктивных зон в Охотском море с системой его течений [Чернявский, 1981; Маркина, Чернявский, 1984]. Поэтому вполне возможно, что часть планктона в прибрежные районы привносится из глубоководных акваторий Охотского моря, а часть (и даже более значительная) с тихоокеанскими водами. Все это обуславливает агрегированно-мозаичный характер пространственного распределения обилия планктона и определяет кормовые условия в прибрежных западнокамчатских водах для скатившейся молоди лососей.

В период нагула в прибрежье питание молоди лососей имеет смешанный характер. Основу рациона составляют личинки и взрослые стадии амфибиотических насекомых, выносимых в морское прибрежье с течением рек, а также мелкоразмерные циклопиды, гарпактициды и каляниды на всех стадиях жизненного цикла, икра и личинки рыб и прочие кормовые объекты. При этом в рационе молоди отмечаются виды как прибрежного (*Eurytemora herdmani*, *Acartia longiremis*, гарпактициды, кумовые раки и др.), так и морского (*Pseudocalanus minutus*, *Oithona similis* и др.) происхождения [Карпенко, 1998; Каев, Чупахин, 2002; Чучукало, Кузнецова, 2006; Максименков и др., 2008; Лепская и др., 2019; Коваль, 2024]. Последние, как уже указывалось выше, могут привноситься в прибрежье морскими течениями. Поскольку планктонные сообщества слагают виды с разными экологическими характеристиками, то в зависимости термического режима года удельная суточная продукция массовых видов может снижаться или увеличиваться, изменяя кормовую базу лососей.

В минувшие 2–3 десятилетия из-за перестройки глобальных и региональных атмосферных процессов в Дальневосточном регионе произошли коренные изменения в характере циклонической циркуляции. Это определило повышение температуры воздуха и воды и привело к «потеплению» климатических условий в дальневосточных морях и смежных тихоокеанских районах [Устинова и др., 2002; Глебова, 2003, 2011; Глебова и др., 2009; Шатилина, Анжина, 2011; Макагонова, 2013; Плотников и др., 2015]. Так, в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки начиная с 2015 г. отмечается тренд на увеличение температуры ядра слоя зимнего охлаждения и поверхности (рис. 8). На фоне этих процессов в тихоокеанских водах в июне наблюдалось увеличение доли мелкого зоопланктона (в основном за счет мелкоразмерных копепоид *O. similis* и в некоторые годы видов р. *Pseudocalanus*). Продукция умеренно холодноводного *O. similis* почти не зависит от термического режима года [Шебанова, 2016]. Но

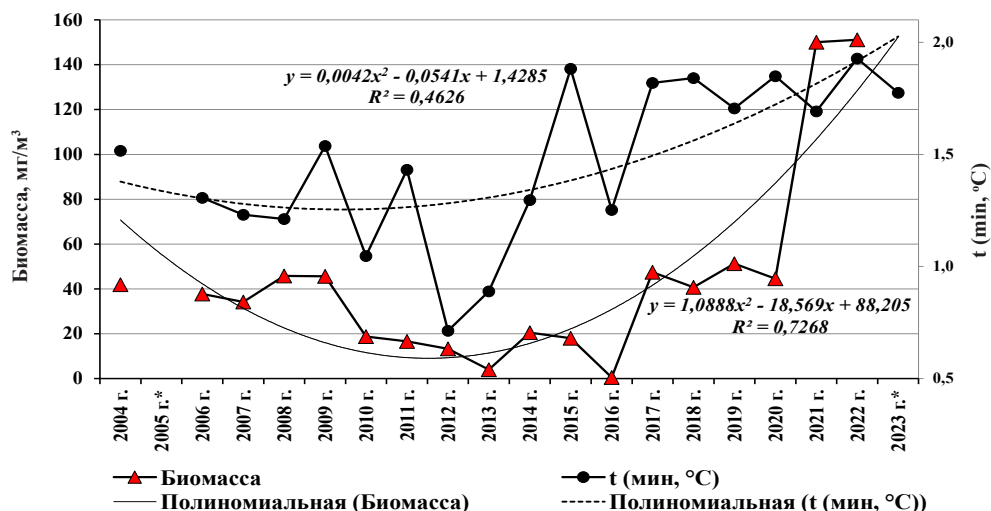


Рис. 8. Динамика биомассы мелкоразмерных копепоид *O. similis* и минимальная температура (t °C) ядра слоя зимнего охлаждения в тихоокеанских водах, омывающих северную часть Курильской гряды (район СЗТО) по результатам траловых съемок ТИНРО, проведенных в июне 2004–2022 гг. (2005 г.* — исследования не проводились, 2023 г.* — гидробиологические данные находятся в процессе обработки)

Fig. 8. Dynamics of the small-sized copepod *O. similis* biomass on the background of the minimum temperature in subsurface layer at the Pacific coast of northern Kuril Islands (°C), on the data of TINRO surveys in June of 2004–2022 (2005* — no survey, 2023* — plankton samples are not processed yet). Polynomial approximations are shown

именно в теплые 2017–2023 гг. отмечено повышение биомассы этого вида (рис. 8). Виды р. *Pseudocalanus* (*P. minutus* и *P. newmani*), являясь представителями умеренно холодноводной группировки, наиболее высокую удельную продукцию имеют в холодные годы, а пониженную — в очень теплые годы. Однако и эти виды демонстрируют небольшое повышение обилия в тихоокеанских районах в некоторые периоды, в частности и в 2019–2021 гг. В составе средне- и крупноразмерного планктона также увеличилась биомасса тепловодных видов (*Eucalanus bungii*) и уменьшилась биомасса холодноводных (*Neocalanus cristatus*) [Найденко и др., наст. вып.].

В прибрежных западнокамчатских районах постоянных наблюдений за состоянием планктонных сообществ в весенне-летний период не проводится. Поэтому можно лишь предположить, что при общей тенденции климатических изменений в этих районах наблюдаются сходные с тихоокеанскими водами процессы изменения обилия массовых видов зоопланктона, в том числе увеличение количества мелкоразмерного планктона, что сказывается на составе кормовой базы для молоди лососей. Кроме этого, часть планктона, как уже указывалось выше, может привноситься в западнокамчатское побережье с общим потоком охотоморских (в том числе из надглубоководных районов) и тихоокеанских вод через Курильские проливы. Средняя ТПМ в районах основного залива тихоокеанских вод в Охотское море и на участке, расположенном у побережья западной Камчатки, имеет сходную межгодовую динамику, что косвенно подтверждает это предположение (рис. 8, 9).

Следует также учитывать, что в теплые годы у многих видов зоопланктона размножение и развитие по срокам происходит раньше [Максименков, 2007]. Все это, вероятно, и создает благоприятные условия для раннеморского (июнь) нагула молоди лососей в прибрежных районах западной Камчатки и, по нашему мнению, может объяснить не только сходный с карагинскими стадами рост численности западнокамчатской горбуши в последние годы, но и появление ее экстравысокочисленных поколений.

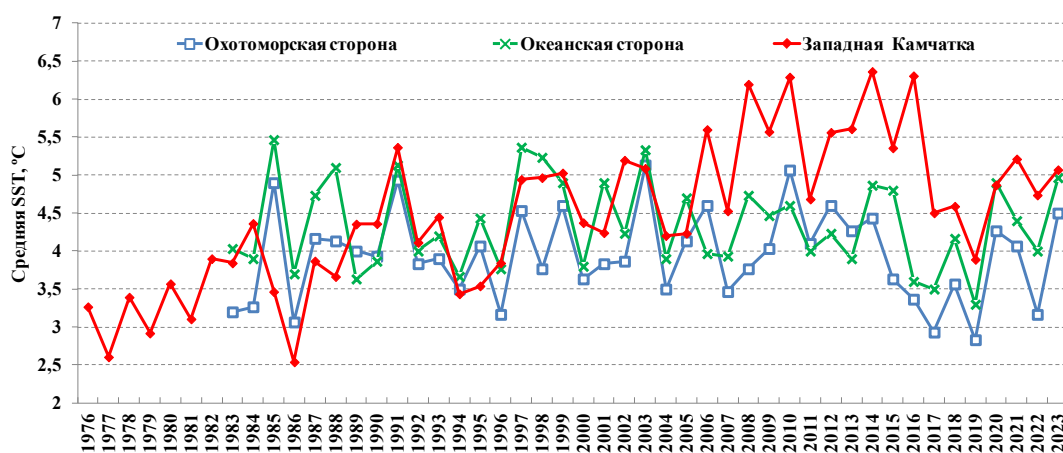


Рис. 9. Динамика хода средних ТПМ и ТПО (3-я декада мая — 2-я декада июня) в районах формирования Западно-Камчатского течения

Fig. 9. Dynamics of SST averaged for May 21 — June 20 in the coastal waters at western Kamchatka and in the areas of water exchange between the Pacific Ocean and Okhotsk Sea

Заключение

Попытка прямой экстраполяции результатов исследования зависимости роста урожайности поколений восточнокамчатской горбуши от повышения температуры воды в прибрежье в период ската ее молоди на динамику численности горбуши западнокамчатского побережья не соответствует предварительным ожиданиям.

Для прилегающих к западнокамчатскому побережью прибрежных вод характерна их высокая динамичность, обусловленная сезонностью, структурой, циркуляцией крупных водных масс, формирующих основу Западно-Камчатского течения, а также вихревыми микроструктурами прибрежного комплекса. Горбуше западнокамчатских стад, в отличие от популяций северо-восточной Камчатки, свойственно относительно более раннее начало покатной миграции молоди из рек в морские прибрежные воды, температура которых значительно ниже ($\sim 2^\circ\text{C}$), чем вод Карагинского и Олюторского заливов Берингова моря, а средневзвешенная температура покатной миграции близка к пороговым значениям толерантности для вида в 4°C . С превышением этого уровня можно связать формирование условий в западнокамчатском прибрежье, благотворно действующих на урожайность поколений горбуши, численность родителей которых способна обеспечивать расширенное воспроизводство. Несмотря на то что степень прогрева прибрежных западнокамчатских вод в период покатной миграции молоди существенно уступает прогреву восточнокамчатских вод, такая термика способна обеспечивать выживание даже экстравысокочисленных поколений. С численностью самого родительского стада связана продолжительность покатной миграции потомков, которая в свою очередь может играть существенную роль в выживании ранней молоди и величине поколений. По мере роста численности родительского стада в качестве нерестового фонда не только используется русловая часть нижнего течения рек, но и вовлекается частично или полностью периферическая речная сеть. Скаты молоди из удаленных притоков периферической речной системы обеспечивает растянутость сроков покатной миграции. Чем более продолжительный период молодь будет скатываться из рек, тем больше шансов у смолтов попасть в благоприятные условия в прибрежье. Быстротечностью покатной миграции низкочисленных поколений при пороговых значениях температурного фактора может поддерживаться «разрыв» между численностью смежных линий воспроизводства.

В целом до середины первого десятилетия 21-го века прослеживался тренд увеличения урожайности поколений и восточнокамчатской, и западнокамчатской

горбуши с ростом температуры воды в морском побережье в период ската. Различие между откликом этих стад выражалось в относительно низком теплосодержании западнокамчатских прибрежных вод, позволявших тем не менее обеспечивать сходный уровень изменений в численности поколений. «Взрывной» рост запасов западнокамчатской горбуши случился в 2018 г., через 9 лет после вспышки численности запасов на северо-востоке полуострова (2009 г.), и сопровождался сменой численно доминировавших линий. К этому времени (после 2014–2016 гг.) положительный тренд изменения температуры западнокамчатских вод завершился. Средневзвешенная температура покатной миграции после 2016 г. снизилась с 4–6 до 3–4 °С. Согласно проведенному исследованию рост численности горбуши в западнокамчатских стадах обеспечивается увеличением этого показателя выше 4 °С. Соответственно, формирование экстравысокочисленных поколений, вернувшихся в 2018, 2021 и 2023 гг., не может быть объяснено температурным фактором. К сожалению, натурные регулярные исследования кормовой базы в районах раннего нагула молоди в морском побережье западной Камчатки, как и в других значимых промысловых районах Дальнего Востока России, позволяющие непосредственно описывать механизмы формирования кормовой базы молоди и трофодинамики планктонных сообществ, не проводятся.

Привлечение результатов исследований, проведенных в сопредельных прикурильских тихоокеанских водах в последние годы, показывает рост численности как преимущественно мелкоразмерных копепод, так и относительно более крупного планктона, даже на фоне незначительного увеличения температуры воды. Наблюдаемый рост численности холодноводного мелкоразмерного планктона может указывать на то, что планктонные сообщества чувствительны к изменениям температуры и способны реагировать на ее увеличение ростом своей продукции. По всей видимости, аналогичные процессы происходят и в охотоморских водах, прилегающих к западнокамчатскому побережью. Кроме того, на фоне структуры и циркуляции водных масс в прикурильском районе Тихого океана и Охотском море следует ожидать и привнос планктона с трансформированными тихоокеанскими водами, проникающими в Охотское море через северокурильские проливы. В совокупности этими факторами можно объяснить кормовую обеспеченность западнокамчатской молоди в побережье, достаточную для реализации потенциала экстравысокочисленных поколений в условиях термического фона, граничащего с пороговым для выживания покатной молоди на ранних стадиях морской жизни.

Безусловно, в отсутствие натурной информации о естественном фоне, окружающем скатившуюся молодь, любые интерпретации на тему механизмов, обеспечивающих в изолированных популяционных комплексах восточно- и западнокамчатской горбуши сходные отклик и масштаб изменений численности, будут носить гипотетический характер. В качестве такой гипотезы может послужить и предположение о причинах появления экстравысокочисленных поколений западнокамчатской горбуши, связанных с растянутым периодом покатной миграции молоди урожайных поколений и ростом продукции мелкоразмерного планктона, приносимого в прибрежные западнокамчатские воды из глубоководных районов Охотского моря и с трансформированными тихоокеанскими водами через северные Курильские проливы.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Выражаем благодарность сотрудникам ТИНРО Е.О. Басюку, Е.Ю. Малыгину и А.И. Галееву за ценные советы по работе с климатическими базами данных и обработку первичных материалов. Особая благодарность работникам КамчатНИРО О.В. Зикунуовой и Т.Ю. Саламон за предоставленные материалы, а также сотрудникам КамчатНИРО, которые в разные годы проводили сбор материалов по учету численности молоди лососей в реках Камчатского края.

The authors are grateful to E.O. Basyuk, E.Yu. Malygin and A.I. Galeev (TINRO) for their valuable advices on climate databases using and primary materials processing. Special thanks to O.V. Zikunova and T.Yu. Salyamon (KamchatNIRO) for courtesy materials on pink salmon, and to other colleagues from KamchatNIRO who collected the data on salmon fry at the rivers of Kamchatka.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.
The study was done initiative, without additional funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were followed.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Н.А. Дедерер — обработка данных, подготовка иллюстраций, анализ и обсуждение результатов, написание текста статьи; Е.А. Шевляков — постановка задачи, анализ результатов, участие в написании текста статьи; С.В. Найдено — обработка данных, обсуждение результатов, редактирование текста статьи.

N.A. Dederer — data processing and analysis, discussing the results, writing and illustrating the original text; E.A. Shevlyakov — the study concept, the results analyzing, writing and editing the text; S.V. Naidenko — data processing, discussing the results, editing the text.

Список литературы

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. Климат и тихоокеанские лососи : моногр. — Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2024. — 280 с.

Глебова С.Ю. Типы атмосферных процессов над дальневосточными морями, межгодовая изменчивость их повторяемости и сопряженность // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 134. — С. 209–257.

Глебова С.Ю. Циклоническая деятельность над Азиатско-Тихоокеанским регионом зимой и ее влияние на термические условия дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана // Метеорол. и гидрол. — 2011. — № 10. — С. 35–43.

Глебова С.Ю., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Долгопериодные тенденции в ходе атмосферных процессов и термического режима дальневосточных морей за последний 30-летний период // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 159. — С. 285–298.

Глубоковский М.К., Марченко С.Л., Темных О.С., Шевляков Е.А. Методические рекомендации по исследованию тихоокеанских лососей. — М. : ВНИРО, 2017. — 79 с.

Дедерер Н.А., Шевляков Е.А. Оценка влияния температурных показателей на формирование численности в разные периоды жизни горбуши западного и восточного побережий Камчатки // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : мат-лы 10-й междунар. науч.-практ. конф. молод. ученых и специалистов. — М. : ВНИРО, 2022. — С. 92–94.

Енютина Р.И. Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Изв. ТИНРО. — 1972. — Т. 77. — С. 3–126.

Каев А.М., Чупахин В.М. Ранний морской период жизни горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* о. Итуруп // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов Сахалино-Курильского региона и сопредельных акваторий : Тр. СахНИРО. — 2002. — Т. 4. — С. 116–132.

Казарновский М.Я. Японский промысел лососей в северо-западной части Тихого океана. — М. : ВНИРО, 1987. — 50 с.

Карпенко В.И. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей : моногр. — М. : ВНИРО, 1998. — 165 с.

Коваль М.В. Эстуарная ихтиофауна Камчатки: условия формирования, видовое разнообразие и экологическая характеристика // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап.

части Тихого океана. — 2024. — Вып. 72. — 236 с. DOI: 10.15853/2072-8212.2024.72.9-235. EDN: AMHUAQ.

Лепская Е.В., Бонк Т.В., Сушкевич А.С. и др. Условия среды в морском прибрежье основных бассейнов воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2019. — Вып. 53. — С. 22–33. DOI: 10.15853/2072-8212.2019.53.22-33.

Макагонова М.А. Особенности зимней атмосферной циркуляции в Восточной Азии // Географические и природные ресурсы. — 2013. — № 3. — С. 18–26.

Максименков В.В. Питание и пищевые отношения молоди рыб, обитающих в эстуариях рек и прибрежье Камчатки : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2007. — 278 с.

Максименков В.В., Максименкова Т.В., Коваль М.В. Кормовая база молоди тихоокеанских лососей в прибрежных водах западной Камчатки в весенне-летний период 2004–2007 гг. // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 174–181.

Маркина Н.П., Чернявский В.И. Количественное распределение планктона и бентоса в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 1984. — Т. 109. — С. 109–119.

Найденко С.В., Шебанова М.А., Кузнецова Н.А., Радченко К.В. Многолетняя динамика кормовой базы нектона летом в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки // Наст. вып.

Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2015. — 172 с.

Смирнов А.И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей : моногр. — М. : МГУ, 1975. — 335 с.

Степанов В.И. Мировой океан. Динамика и свойства вод : моногр. — М. : Знание, 1974. — 255 с.

Тепнин О.Б., Сошин А.В. О применимости спутниковых данных высокого разрешения для анализа изменчивости температурных условий на предустьевом участке акватории Камчатского залива // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022. — Вып. 64. — С. 85–96. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.64.85-96.

Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., Хен Г.В. Межгодовая изменчивость термических условий Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 44–51.

Файман П.А., Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю. Моделирование распространения тихоокеанских вод в Охотском море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2021. — Т. 57, № 3. — С. 372–384. DOI: 10.31857/S0002351521030044.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и внешних факторов среды // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 88–114. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Артюхина Н.Б. Оценка ориентиров пропуска производителей тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в бассейнах рек Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2019. — Вып. 52. — С. 50–78. DOI: 10.15853/2072-8212.2019.52.50-78.

Черешнев И.А., Волобуев В.В., Шестаков А.В., Фролов С.В. Лососевидные рыбы Северо-Востока России : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2002. — 496 с.

Черешнев И.А., Шестаков А.В., Скопец М.Б. и др. Пресноводные рыбы Анадырского бассейна : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2001. — 336 с.

Чернявский В.И. Циркуляционные системы Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 13–19.

Чучукало В.И., Кузнецова Н.А. Пищевые отношения рыб в эпипелагиале западной части Берингова моря в осенние периоды 2003 и 2004 гг. // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 144. — С. 180–197.

Шатилина Т.А., Анжина Г.И. Изменчивость интенсивности дальневосточного муссона в 1948–2010 гг. // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 167. — С. 146–159.

Шебанова М.А. Продукция копепода в западной части Берингова моря в летне-осенний период // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. мат.-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. — Т. 2. — С. 477–480.

Шевляков Е.А., Дедерер Н.А., Островский В.И., Хен Г.В. Термические условия морских прибрежных вод как фактор, благоприятствующий появлению экстравысокочисленных

поколений карагинской горбуши // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 30–47. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-30-47. EDN: RVYEMU.

Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Ерохин В.Г., Шубкин С.В. Итоги промысла западнокамчатской горбуши в 2018 г., перспективы дальнейшего состояния ее запаса и промысла // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — С. 41–51.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В. Современный опыт обследования нерестилищ тихоокеанских лососей в водоемах Чукотки // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 270–291. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Дубынин В.А. и др. Методики учета производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях миграции к ним // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 36–57.

References

Bugaev, A.V. and Tepnin, O.B., *Klimat i tikhookeanskiye lososi* (Climate and Pacific salmon), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2024.

Glebova, S.Yu., Types of the atmospheric processes over Far-Eastern Seas, interannual variability of their repeatability and mutual coordination, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 134, pp. 209–257.

Glebova, S.Yu., Cyclonic activity over the Pacific Rim in the winter and its influence on thermal conditions of the Far Eastern Seas and northwestern Pacific, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2011, vol. 36, no. 10, pp. 663–668.

Glebova, S.Yu., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Long-term tendencies of atmospheric processes and thermal regime in the Far-Eastern Seas of Russia in the last three decades, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 159, pp. 285–298.

Glubokovsky, M.K., Marchenko, S.L., Temnykh, O.S., and Shevlyakov, E.A., *Metodicheskiye rekomendatsii po issledovaniyu tikhookeanskikh lososey* (Guidelines for the study of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 2017.

Dederer, N.A. and Shevlyakov, E.A., Assessment of the influence of temperature indicators on the formation of numbers in different periods of life of pink salmon on the western and eastern coasts of Kamchatka, in *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa* (Modern problems and prospects for the development of the fishery complex: materials of the 10th international scientific-practical conf. young learned and specialists), Moscow: VNIRO, 2022, pp. 92–94.

Yeniutina, R.I., The Amur humpback salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1972, vol. 77, pp. 3–126.

Kaev, A.M. and Chupahin, V.M., Early sea period of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* in Iturup Island, in *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.*, 2002, vol. 4, pp. 116–132.

Kazarnovsky, M.Ya., *Yaponskiy promysel lososey v severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Japanese salmon fisheries in the Pacific Northwest), Moscow: VNIRO, 1987.

Karpenko, V.I., *Ranniy morskoy period zhizni tikhookeanskikh lososey* (Early marine life of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 1998.

Koval, M.V., Estuarine ichthyofauna of Kamchatka: formation conditions, species diversity and ecological characterisation, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2024, vol. 72. doi 10.15853/2072-8212.2024.72.9-235. EDN: AMHUAK

Leps kaya, E.V., Bonk, T.V., Sushkevich, A.S., Kurbanova, L.V., Koval, M.V., Lozovoy, A.P., Kozhevnikov, A.V., Kolomeytsev, V.V., and Kirillova, E.A., Environmental conditions in the coastal area of basic spawning basins of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* at Western Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2019, vol. 53, pp. 22–33. doi 10.15853/2072-8212.2019.53.22-33

Makagonova, M.A., Characteristics of the winter atmospheric circulation in East Asia, *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2013, vol. 34, no. 3, pp. 208–215. doi 10.1134/S1875372813030037

Maksimenkov, V.V., *Pitaniye i pishchevyye otnosheniya molodi ryb, obitayushchikh v estuariyakh rek i pribrezh'ye Kamchatki* (Nutrition and nutritional relationships of juvenile fish living in estuaries of rivers and the coast of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2007.

Maksimenkov, V.V., Maksimenkova, T.V., and Koval, M.V., Food base of young Pacific salmon in coastal waters of western Kamchatka in spring-summer period 2004–2007, *Byull. no. 3 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 3 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 174–181.

Markina, N.P. and Chernyavsky, V.I., The quantitative distribution of plankton and benthos in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1984, vol. 109, pp. 109–119.

Naidenko, S.V., Shebanova, M.A., Kuznetsova, N.A., and Radchenko, K.V., Long-term dynamics of the food base for nekton in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer, *present issue*.

Plotnikov, V.V., Mezentseva, L.I., and Dubina, V.A., *Tsirkulyatsiya atmosfery nad Dal'nim Vostokom i yeye otrazheniye v ledovykh protsessakh* (Atmospheric circulation over the Far East and its reflection in ice processes), Vladivostok: Dalnauka, 2015.

Smirnov, A.I., *Biologiya, razmnozhenie i razvitie tikhookeanskikh lososei* (Biology, Reproduction, and Development of Pacific Salmon), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1975.

Stepanov, V.I., *Mirovoy okean. Dinamika i svoystva vod* (World Ocean. Dynamics and Properties of Waters), Moscow: Znaniye, 1974.

Tepnin, O.B. and Soshin, A.V., On the application of high resolution satellite data in the analysis of the temperature condition dynamics in the pre-estuarine part of Kamchatsky Gulf area, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 64, pp. 85–96. doi 10.15853/2072-8212.2022.64.85-96

Ustinova, E.I., Sorokin, Yu.D., and Khen, G.V., Interannual variability of thermal conditions in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 44–51.

Fayman, P.A., Prants, S.V., Budyansky, M.V., and Uleysky, M.Y., Simulated pathways of the northwestern pacific water in the Okhotsk Sea, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 329–340. doi 10.1134/S000143382103004X

Feldman, M.G. and Shevlyakov, E.A., Survival of Kamchatka pink salmon as result of combined influence of density regulation and environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 88–114. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114

Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Artukhina, N.B., Evaluation of Pacific salmon *Oncorhynchus* spawning escapement landmarks for the river basins of West Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2019, vol. 52, pp. 50–78. doi 10.15853/2072-8212.2019.52.50-78

Chereshnev, I.A., Volobuev, V.V., Shestakov, A.V., and Frolov, S.V., *Lososevidnye ryby Severo-Vostoka Rossii* (Salmonids in the North-East of Russia), Vladivostok: Dal'nauka, 2002.

Chereshnev, I.A., Shestakov, A.V., Skopets, M.V., Korotaev, Yu.A., and Makoedov, A.N., *Presnovodnyye ryby Anadyrskogo basseyna* (Freshwater fish of the Anadyr basin), Vladivostok: Dal'nauka, 2001.

Chernyavsky, V.I., Circulation systems of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1981, vol. 105, pp. 13–19.

Chuchukalo, V.I. and Kuznetsova, N.A., Feeding relations of fishes in epipelagial of the western Bering Sea in autumn 2003–2004, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 144, pp. 180–197.

Shatilina, T.A. and Anzhina, G.I., Variability of the Far Eastern monsoon intensity in 1948–2010, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 167, pp. 146–159.

Shebanova, M.A., Somatic production of Copepoda in the western part of Bering Sea in summer — autumn period, in *Sb. mater. Vseross. nauchno-prakt. konf. mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol. biol. stn. "Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy"* (Collect. Mater. All-Russ. Sci. Pract. Conf. Int. Participation, Commem. 145th Anniv. Sevastopol Biol. Stn. "Marine Biological Research: Achievements and Prospects"), Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 2, pp. 477–480.

Shevlyakov, E.A., Dederer N.A., Ostrovsky, V.I., and Khen, G.V., Thermal conditions in the marine coastal waters as a factor favorable for formation of extra-strong year-classes of Karaginsky pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 1, pp. 30–47. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-30-47. EDN: RYVEMU.

Shevlyakov, E.A., Feldman, M.G., Erokhin, V.G., and Shubkin, S.V., The results of the fishing of Western Kamchatka pink salmon in 2018, the prospects for the further state of its stock and fishing, in *Byull. N 13 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 13 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018, pp. 41–51.

Shevlyakov, E.A. and Shubkin, S.V., The Recent Experience of Surveying Pacific Salmon Spawning Grounds in Watercourses of Chukotka, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 7, pp. 562–579. doi 10.1134/S106307402007007X

Shevlyakov, E.A., Shubkin, S.V., Dubynin, V.A., Malykh, K.M., Golub, E.V., Golub, A.P., Kaev, A.M., and Koval, M.V., Methods for accounting for spawners of Pacific salmon in spawning grounds and migration routes to them, in *Byull. no. 8 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2013, pp. 36–57.

Japan Meteorological Agency NEAR-GOOS RRTDB, ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/database.html.

Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., and Trofimenko, L.T., Description of the data array average monthly air temperature at the stations of the Russian Federation supervisory system. <http://ntp.meteo.ru/meteo/topis.htm>. Cited June 21, 2024.

Ulovy tikhookeanskikh lososey (1900–1986 gg.) (Pacific salmon catches (1900–1986)), Moscow: VNIRO, 1989. Cited June 21, 2024.

Pacific salmonid catch statistics (updated July 2023), North Pacific Anadromous Fish Commission, Vancouver. <https://www.npafc.org>. Cited June 21, 2024.

Поступила в редакцию 30.10.2024 г.

После доработки 4.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 30.10.2024; approved after reviewing 4.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

Научная статья

УДК 594.1–15(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-764-782

EDN: XWUOGU



ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА
АМУРСКОЙ ПОТАМОКОРБУЛЫ *POTAMOCORBULA AMURENSIS*
В ЗАЛИВЕ ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ

Е.В. Колпаков¹, Д.Д. Немова², Д.А. Соколенко^{1*}¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52Б

Аннотация. Представлены результаты изучения экологии эвригалинного двустворчатого моллюска амурской потамокорбулы *Potamocorbula amurensis* в зал. Петра Великого. В границах данной акватории этот вид встречается неравномерно. Образует поселения в зонах влияния речного стока при солёности воды от 5 до 30 ‰ на глубинах от 0,3 до 7,0 м в самом верхнем слое илистого, илисто-песчаного, песчаного, песчано-гравийного и песчано-гравийно-галечного грунта. При необходимости выбрасывает биссусную нить длиной до 30 мм. Сестонофаг. Максимального количественного развития потамокорбула достигает в сильно опресненной кутовой части Амурского залива. На глубинах до 2,0 м показатели ее биомассы превышают 2,3 кг/м², а плотности поселения — 31 тыс. экз./м². В донных сообществах обычно занимает доминирующее или субдоминирующее положение. Входит в спектр питания японского краба-плавунца *Charybdis japonica* и водоплавающих птиц. На личиночной стадии заносится в эстуарии рек и морские лагуны. В водотоках с короткой эстуарной зоной существует в виде временных зависимых образований, а в протяженном эстуарии р. Раздольной на глубоководных участках Тавричанского лимана — еще и устойчивых многовозрастных поселений с предельной для зал. Петра Великого продолжительностью жизни 5+ лет.

Ключевые слова: двустворчатый моллюск, амурская потамокорбула *Potamocorbula amurensis*, экология, залив Петра Великого, Японское море

Для цитирования: Колпаков Е.В., Немова Д.Д., Соколенко Д.А. Особенности экологии двустворчатого моллюска амурской потамокорбулы *Potamocorbula amurensis* в заливе Петра Великого Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 764–782. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-764-782. EDN: XWUOGU.

* Колпаков Евгений Викторович, главный специалист, kolpakovternei@mail.ru, ORCID 0000-0003-1916-3769; Немова Дарья Дмитриевна, студентка, nemova-d99@bk.ru, ORCID 0009-0006-8891-2697; Соколенко Дмитрий Анатольевич, заведующий лабораторией, dmitrii.sokolenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4431-6571.

© Колпаков Е.В., Немова Д.Д., Соколенко Д.А., 2024

Original article

Features of ecology for bivalve mollusk *Potamocorbula amurensis*
in Peter the Great Bay, Japan Sea

Eugeny V. Kolpakov*, Darya D. Nemova**, Dmitry A. Sokolenko***

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

** Far Eastern State Technical Fisheries University,

52B, Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, Russia

* chief specialist, kolpakovternei@mail.ru, ORCID 0000-0003-1916-3769

** student, nemova-d99@bk.ru, ORCID 0009-0006-8891-2697

*** head of laboratory, dmitrii.sokolenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4431-6571

Abstract. Features of ecology are considered for euryhaline bivalve mollusk *Potamocorbula amurensis* dwelling in Peter the Great Bay. Spatial distribution of the species is not uniform, the mollusks settle mainly in the areas affected to the river discharge influence with water salinity from 5 to 30 ‰, in the uppermost layer of silty, silt-sandy, sandy, sandy-gravelly, or sandy-gravel-pebbly soils at the depths from 0.3 to 7.0 m. The densest aggregations of *P. amurensis* are found in the top of Amur Bay, with the biomass up to 2.3 kg/m² and abundance > 31·10³ ind./m² at the depths shallower 2.0 m. They are able to form a byssus thread up to 30 mm long. This sestonophag species occupies usually a dominant or subdominant position in benthic communities, and itself is a prey for asian paddle crab *Charybdis japonica* and seabirds. Larvae of *P. amurensis* could be transported by estuarine streams to estuaries and lagoons where the species forms temporary aggregations dependent on the parental stocks, but in the vast Razdolnaya River estuary, especially in the relatively deep Tavrichansky Liman, there are stable mixed-age settlements where the specimens of age 5+ can be found that is the maximum life span of *P. amurensis* for Peter the Great Bay..

Keywords: bivalve mollusk, *Potamocorbula amurensis*, ecology, Peter the Great Bay, Japan Sea

For citation: Kolpakov E.V., Nemova D.D., Sokolenko D.A. Features of ecology for bivalve mollusk *Potamocorbula amurensis* in Peter the Great Bay, Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 764–782. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-764-782. EDN: XWUOGU.

Введение

Двустворчатый моллюск амурская потамокорбула *Potamocorbula amurensis* относится к группе тихоокеанских приазиатских субтропическо-низкобореальных видов. Область ее распространения точно неизвестна, но на севере она ограничена водами северо-западной части Японского моря и юго-западной части Охотского моря [Скарлато, 1981; Кафанов, 1991; Lutaenko, Noseworthy, 2019]*. В их пределах этот мелкоразмерный эвригалинный представитель инфауны встречается разрозненно в эстуариях рек, солончатых и морских лагунах, а также на опресненных участках заливов и мелководных проливов. На некоторых участках принадлежит к числу массовых форм макробентоса. Особенно крупные поселения образует в зал. Петра Великого [Волова, 1985; Надточий и др., 2009; Иванова, Цурпало, 2019] и Амурском лимане [Гаркалина, Москвичева, 1979; Дуленина, 2011; Kamenev, Nekrasov, 2012; Колпаков и др., 2023]. Значимость потамокорбулы для функционирования эстуарных экосистем очевидна [Комендантов, Орлова, 2003; Колпаков, 2018], но ее роль в этом процессе по-настоящему все еще не оценена. Во многом это связано со слабой изученностью данного вида. Дефицит информации по нему сохраняется и в других районах его нативного ареала. Хорошо исследована лишь инвазивная популяция *P. amurensis* из зал. Сан-Франциско Северной Америки [Carlton et al., 1990; Nicolini, Penry, 2000, Thompson, Parchaso, 2012**; Miller, Stillman, 2013; Baumsteiger et al., 2017; и др.].

* Указание на обитание *P. amurensis* в водах Камчатки [Bernard et al., 1993, как *P. ustulata* (Reeve, 1944)], по нашему мнению, является ошибочным.

** Thompson J.K., Parchaso F. Conceptual Model for *Potamocorbula amurensis*. DRERIP Conceptual Model. Sacramento (CA). Ecosystem Restoration Program, 2012. 47 p.

Цель настоящей работы — на основании собственных материалов и анализа литературных источников обобщить сведения по экологии потамокорбулы в зал. Петра Великого Японского моря.

Материалы и методы

Материал собран сотрудниками ТИНРО с 2010 по 2023 г. в ходе изучения макробентоса бухт и эстуариев рек Амурского и Уссурийского заливов (табл. 1). Сетки станций обычно планировали заранее. При определении положения станций на местности применяли портативное навигационное оборудование GPS. Отбор бентосных проб осуществляли с плавсредств и вразброд. В месте взятия проб производили замеры глубины лотом и визуально оценивали тип донных осадков. Грунт промывали через плавающее гидробиологическое сито (водолазные пробы в питомзе) с ячейей 1 мм. Пробы фиксировали 4 %-ным раствором формальдегида. В лабораторных условиях из них извлекали всех животных и под биноклем МПС-2 разбирали по таксономическим группам и по возможности видам, подсчитывали и после обсушивания на фильтровальной бумаге взвешивали. Полученные данные по биомассе и численности особей пересчитывали на 1 м² поверхности дна. В общей сложности по стандартной методике [Нейман, 1983] собрано и обработано 2070 количественных проб с 716 станций (табл. 1).

Таблица 1

Материал, положенный в основу работы

Table 1

The materials used in the study

Годы	Район	Орудие лова	Кол-во станций/проб	Глубина, м	Грунт
2017–2020	Внутренний эстуарий р. Раздольной	1	273/819	0,3–4,0	И, ИП, П, ПИ
2020–2021	Приустьевая часть р. Раздольной	1	91/273	0,6–3,0	И, ИП, П, ПИ
2023	Приустьевая часть р. Вторая Речка	2	8/24	0,9–1,1	И, П, Гк, Гр, Рк
2023	Кут Амурского залива у п. Девятый Вал	2	15/45	0,3–1,0	И, ИП, ПИ, Гр
2018	Бухта Муравьиная	3	13/13	1,0–2,5	И, ИП
2015	Приустьевая часть р. Шкотовка	1, 4	11/33	0,4–0,8	П, ИП, Гр, Рк
2014	Бухта Теляковского	1	6/30	0,9–1,2	П
2010–2015	Внутренний эстуарий р. Суходол	4, 5	275/761	0,1–1,3	И, ИП, П, ПИ, Гр, Гк, Рк
2023	Бухта Суходол слева от устья р. Суходол	2	24/72	0,3–0,8	П, ИП, ПИ, Гк, Рк
Итого			716/2070		

Примечания. Орудие лова: 1 — дночерпатель Петерсена (площадь пробы — 0,025 м², глубина врезания — 0,1–0,20 м), 2 — совковая лопата (площадь пробы — 0,0375 м², глубина врезания — 0,25–0,30 м), 3 — водолазный способ (с рамки площадью 0,25 м²), 4 — водолазный зубчатый черпак (площадь пробы — 0,03 м², глубина врезания — 0,10–0,25 м), 5 — дночерпатель Дулькейта (площадь пробы — 0,13 м², глубина врезания — 0,20–0,25 м). Грунт: И — ил, ИП — илистый песок, П — песок, ПИ — песчанистый ил, Гр — гравий, Гк — галька, Рк — ракуша.

Одновременно с этим всех двустворчатых моллюсков подвергали биологическому анализу. У потамокорбулы с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм измеряли длину раковины (L, мм), а в случае наличия целой биссусной нити еще и ее длину от края раковины левой створки до конца венчика. Общую массу тела (W, г) определяли на электронных весах «Vibra» с точностью до 0,001 г. В настоящую работу включены

результаты промеров особей из внутреннего эстуария р. Раздольной (2530 экз. и 18 экз. с биссусом), а также с биссусом из бухты Суходол (77 экз.) и приустьевой части р. Раздольной (38 экз.). Их индивидуальный возраст устанавливали по наружным кольцам задержки роста [Золотарев, 1980].

В статье также использованы материалы обработки количественно-весовым способом [Методическое пособие..., 1974] содержимого желудочно-кишечного тракта 50 самок и самцов японского краба-плавунца *Charybdis japonica* с твердым окрепшим панцирем из двух бухт Уссурийского залива. В бухте Суходол их отлов произведен 5 июля 2011 г. ставными сетями на глубине 0,3–1,5 м и 23 августа 2011 г. мальковым неводом — до 1,2 м; в бухте Муравьиной 23 сентября 1998 г. ставными сетями в диапазоне глубин от 4,0 до 5,0 м.

Результаты и их обсуждение

В литературе потамокорбула упоминается под разными видовыми названиями. Во избежание путаницы и облегчения поиска информации по этому виду мы сочли целесообразным привести его подробную синонимию относительно отечественных вод.

Семейство Corbulidae Lamarck, 1818

Род *Potamocorbula* Habe, 1955

Potamocorbula amurensis (Schrenck, 1861)

Corbula amurensis Schrenck, 1861, p. 94; Schrenck, 1862, p. 412; Schrenck, 1867, p. 584–586, tab. XXV, figs. 5–8; Павленко, 1910, с. 73; Разин, 1934, с. 88; Ушаков, 1953, с. 271; Дуленина, 2013, с. 54; Lutaenko, Noseworthy, 2019, p. 41, fig. 26A–B (syntypes).

Corbula vladivostokensis Bartsch, 1929, p. 133, pl. II, figs. 1–7.

Aloidis (Aloidis) amurensis (Schrenck, 1867): Жадин, 1952, с. 358, рис. 338.

Aloidis amurensis (Schrenck, 1861): Скарлато, 1955, с. 197, табл. 53, рис. 8; Волова, 1970, с. 21; Бирюлина, 1972, с. 31; Евсеев, 1981, с. 139.

Potamocorbula amurensis (Schrenck, 1861): Волова, Скарлато, 1980, с. 88; Скарлато, 1981, с. 392, рис. 14, фот. 415–416; Затравкин, Богатов, 1987, с. 132; Лутаенко, 1990, табл. 1, с. 14; Кафанов, 1991, с. 93; Lutaenko, 1994, p. 5; Кусакин и др., 1997, с. 83; Атлас..., 2000 с. 125; Okutani, 2000, p. 1022, pl. 509, fig. 9; Лутаенко, 2003, с. 24; Комендантов, Орлова, 2003, с. 19; Старобогатов и др., 2004, с. 22, табл. 4, рис. 5–6; Кантор, Сысоев, 2005, с. 392; Lutaenko, 2005, p. 76, pl. 8, figs. I–L, O, P; pl. 9, fig. R; Евсеев, Яковлев, 2006, с. 103; Kantor, 2009, p. 67; Лабай, 2011, с. 270; Lutaenko, Noseworthy, 2012, p. 95, pl. 59, figs. E–H, text-fig. 44; Lutaenko, 2013, p. 173; Лабай и др., 2014, с. 124, фото 72д; Лутаенко, Волвенко, 2017, с. 135, фототабл. 35; Колпаков, 2018, прил. 1, с. 375; Иванова, Цурпало, 2019, с. 45; Лутаенко, 2022, с. 58, рис. 4L; Колпаков и др., 2023, табл. 2, с. 247.

У северного края своего нативного ареала *P. amurensis* распространена дизъюнктивно. В его основную часть входят только поселения из зал. Петра Великого, остальные являются географически изолированными (рис. 1). Такие существуют в эстуарии р. Киевка, в зал. Чихачева и Тугурском заливе, на акватории — прол. Невельского + Амурский лиман + Сахалинский залив + зал. Байкал, а также в заливах Куэгда, Пильгун и Чайво, Набильском заливе и в озерах Лебяжье и Тунайча [Schrenck, 1861; Ушаков, 1940; Скарлато, 1981; Хлебович, 1986; Лабай, 2004, 2018; Кривонос, Раков, 2002; Kamenev, Nekrasov, 2012; Лабай и др., 2022]. Их формирование, судя по всему, как и у других тепловодных видов двустворчатых моллюсков в этом районе, происходило в голоценовый период [Лутаенко, 1991; Кафанов и др., 2003; Колпаков, Колпаков, 2005].

В зал. Петра Великого потамокорбула встречается не на всем его протяжении. Образует поселения (с запада на восток): в бухте Сивучьей, в зал. Посьета (бухта Экспедиции), в бухте Бойсмана, в Амурском заливе (бухты Нарва, Мелководная и Песчаная, приустьевая акватория р. Раздольной, между мысами Речной и Тихий, в Угловом заливе, в бухте Бражникова, между мысами Дальний и Фирсова и в бухте Кирпичного Завода), в Уссурийском заливе (бухты Муравьиная, Теляковского и Сухо-

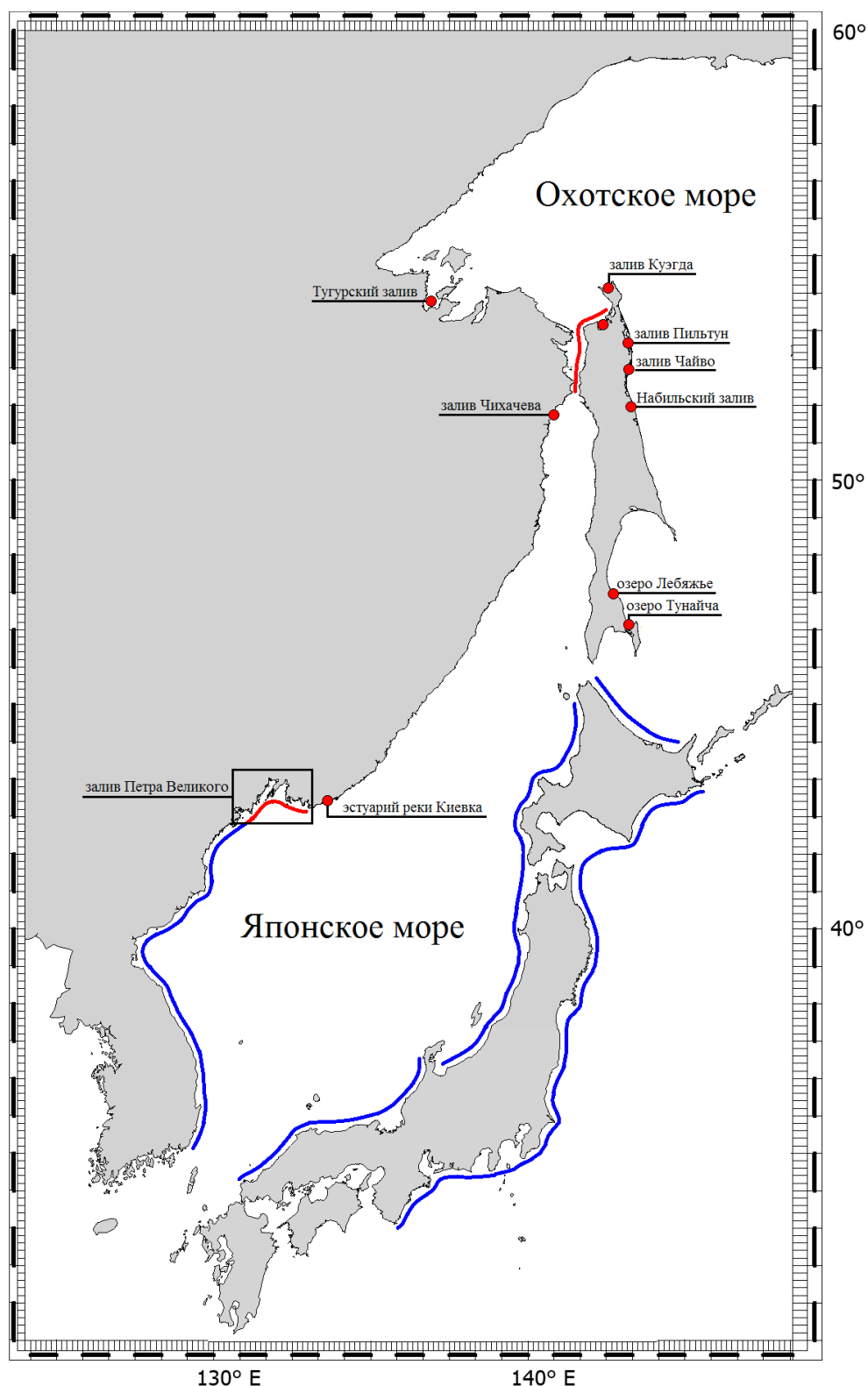


Рис. 1. Распространение *P. amurensis* в водах России (красная линия и красный круг) и ее вероятное распространение в сопредельных районах (синяя линия)

Fig. 1. Spatial distribution of *Potamocorbula amurensis* in the Russian waters (red line and red circle) and its probable spreading in adjacent areas (blue line)

дол), в зал. Восток (бухты Восток и Литовка), а также в зал. Находка (в районе устья р. Партизанской) [Разин, 1934; Волова, 1969; Евсеев, 1976; Скарлато, 1981; Лутаенко, 1990; Материалы..., 1999*; Надточий и др., 2009; наши данные] (рис. 2).

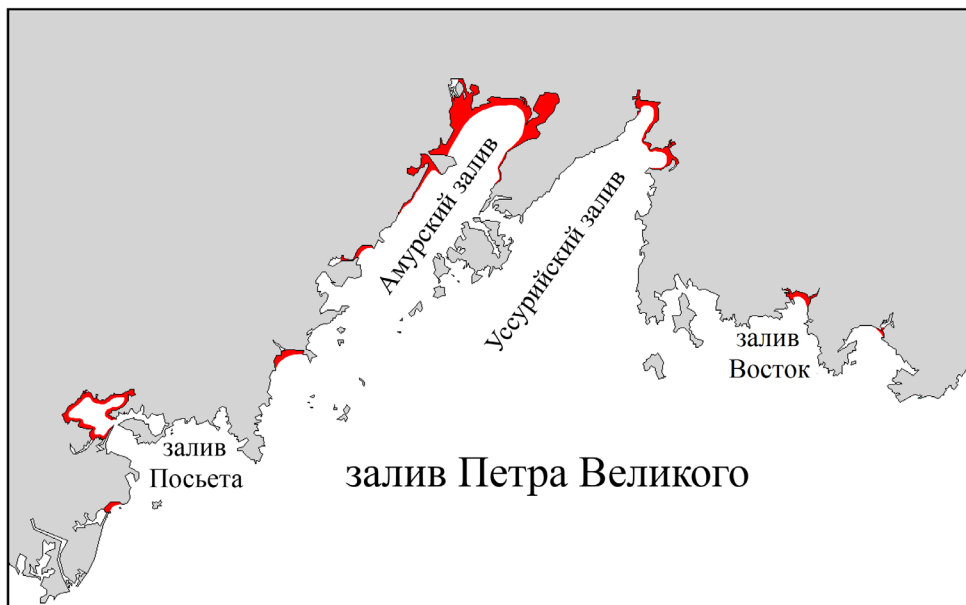


Рис. 2. Места обитания *P. amurensis* в зал. Петра Великого (красная область)

Fig. 2. Habitats of *Potamocorbula amurensis* in Peter the Great Bay (red area)

Селится *P. amurensis* на илистых, илисто-песчаных, песчаных, песчано-гравийных и песчано-гравийно-галечных грунтах на глубинах от 0,3 до 7,0 м преимущественно в зонах влияния речного стока при солёности воды от 5–7 до 25–30 ‰ [Разин, 1934; Лутаенко, 2003; Комендантов, Орлова, 2003; Надточий и др., 2009; Иванова, Цурпало, 2019]. Самые обильные скопления сосредоточены на глубине до 2,0 м [Разин, 1934]. Особенно выраженный характер они имеют в ктовой части Амурского залива. На литорали биомасса данного вида достигает 899,5 г/м², а плотность поселения — 31600 экз./м² [Иванова, Цурпало, 2019]; в верхней циркумлиторали от 0,3 до 2,0 м — соответственно 2362,5 г/м² (при 9850 экз./м²) (наши данные) и 18387 экз./м² [Moshchenko, Belan, 2008] (табл. 2).

Потамокорбула ведет инфаунный образ жизни. В мягкий субстрат зарывается на длину раковины либо находится в нем в полупогруженном состоянии (рис. 3). Крупноразмерные особи с разных грунтов хорошо различаются по цвету periostracuma. На песчаном и илисто-песчаном субстрате он у них желтоватый и коричневатый в нижней части, на илистом дне — равномерно темно-коричневый (рис. 4). Сестонофаг. Пищу отфильтровывает с помощью коротких сифонов. В средах с пониженной солёностью ее фильтрационная активность чрезвычайно низка и выходит на уровень постоянных значений лишь при 12 ‰ с пиком в области 18 ‰ [Комендантов, Орлова, 2003].

При необходимости *P. amurensis* выбрасывает биссус. Он представляет собой одиночную эластичную полупрозрачную нить длиной от 3,0 до 30,0 мм с распушенным венчиком на конце (рис. 5). Биссусная нить имеется как у молодых, так и взрослых особей с длиной раковины от 1,3 до 18,0 мм в возрасте от 0+ до 3+ лет. Обычно в поселениях их немного, хотя в ряде районов или только на отдельных станциях любого

* Материалы по изучению ресурсов беспозвоночных прибрежных вод и континентальных водоемов подзоны «Приморье»: отчет о НИР / ТИНРО, № ГР 01880073029, инв. № 23172. Владивосток, 1999. 448 с.

Количественные характеристики некоторых поселений *P. amurensis* в прибрежной зоне зал. Петра Великого

Quantitative parameters of certain settlements of *Potamocorbula amurensis* in the coastal zone of Peter the Great Bay

Район, год	Глубина, м	Субстрат	В, г/м ²	Р, экз./м ²	Источник данных
Приустьевая часть р. Гладкой	0,6–1,2	Гк, П	В среднем 133	В среднем 536	А.Ю. Комендантов, М.И. Орлова [2003]
Приустьевая часть р. Раздольной	–	–	–	До 18387	Moshchenko, Belan [2008]
Приустьевая часть р. Раздольной, 2020	0,6–1,6	ИП	До 327,7	До 7212	Наши данные
То же, 2021	0,9–2,0 2,1–3,0	И, ИП, П, ПИ И, ИП	До 954,7 До 129,4	До 11464 До 4652	
Кутовая часть Амурского залива у пос. Девятый Вал	Литораль	ПГк,	До 899,5	До 31600	М.Б. Иванова, А.П. Цурпало [2019]
	0,8–1,2	ИП, ПИ	До 42,4	До 5360	В.А. Надточий и др. [2009]
То же, 2023	0,3–0,9	ИП, ПИ	До 2362,5	До 9850	Наши данные
Кутовая часть Амурского залива	–	И	До 323,9	До 87	Г.Н. Волова [1984]
	–	И	В среднем 30,6	В среднем 1511,6	Moshchenko, Belan [2008]
Зал. Угловой	–	И	В среднем 19,3	В среднем 268,6	
Приустьевая часть р. Вторая Речка, 2023	0,9–1,0	П, Гк, Гр, Рк	До 144,4	До 107	Наши данные
Бухта Муравьиная, 2018	1,0–2,5	П, ИП	До 268,0	До 404	
Приустьевая часть р. Шкотовка, 2015	0,4–0,8	ПГр, ИП, Рк	До 1024,5	До 3652	
Бухта Теляковского, 2014	0,5–1,0	П	До 12,4	До 344	
Приустьевая часть р. Суходол	0,8–1,0	П	До 193,3	До 133	В.А. Надточий и др. [2009]
Бухта Суходол слева от устья р. Суходол, 2023	0,4–0,8	П, ИП, Гк, Рк	До 1019,9	До 8063	Наши данные

Примечания. Субстрат: ПГр — песчано-гравийный грунт, ПГк — песчано-галечный грунт, остальные обозначение см. табл. 1; В — биомасса; Р — плотность поселения.



Рис. 3. *P. amurensis* на песчаном грунте в бухте Суходол, глубина 0,8 м

Fig. 3. The settlement of *Potamocorbula amurensis* on sandy sediments in the Sukhodol Bay, depth 0.8 m

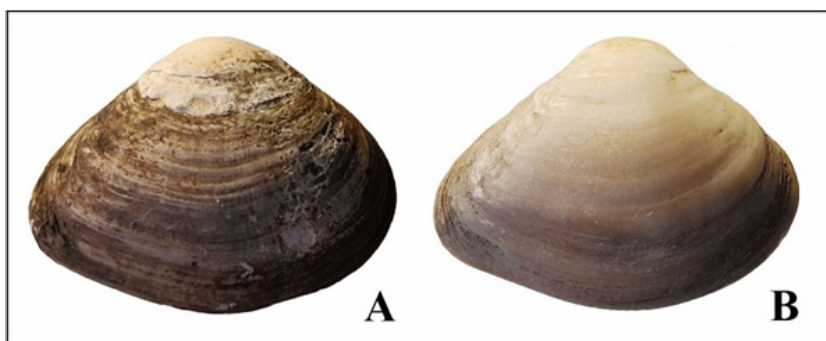
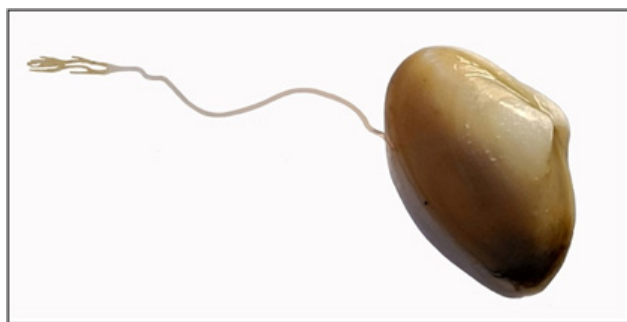


Рис. 4. Вариация окраски periostracum *P. amurensis* с разных грунтов: **А** — ил, эстуарий р. Раздольной, длина раковины 21,4 мм, **В** — песок, бухта Муравьиная, длина раковины 22,3 мм

Fig. 4. Variation in color of periostracum for *Potamocorbula amurensis* from different sediments: **A** — muddy silt in the estuary of Razdolnaya River, the shell length of 21.4 mm, **B** — sand in the Muraviinaya Bay, the shell length of 22.3 mm

Рис. 5. *P. amurensis* с биссусом, бухта Суходол, длина раковины 11,2 мм

Fig. 5. *Potamocorbula amurensis* with byssus from the Sukhodol Bay, the shell length of 11.2 mm



из них они могут быть довольно многочисленными (до 30 % от общей численности). По нашему мнению, потамокорбула использует биссус не для подъема и последующего перемещения из одного биотопа в другой, как это предполагают некоторые исследователи*, а в качестве якоря для удержания раковины на нестабильном субстрате.

В местах массовых поселений рассматриваемый нами вид является значимым компонентом донных сообществ. В приустьевых пространствах рек Гладкой (зал. Посьета), Раздольной (Амурский залив), Муравьиной и Суходол (Уссурийский залив), а также в зал. Угловом (Амурский залив) он, как правило, занимает доминирующее или субдоминирующее положение [Волова, 1985; Комендантов, Орлова, 2003; Ivanova et al., 2008; Moshchenko, Belan, 2008; Надточий и др., 2009; Колпаков, 2018]. При этом *P. amurensis* опосредованно способствует усложнению структуры бентосного населения. На выступающих из грунта задних частях ее раковин поселяются гидроида, но чаще — баланусы (рис. 6).

Велико участие потамокорбулы в передаче энергии в пищевых цепях разных трофических уровней. За счет выделяемых ею в процессе жизнедеятельности псевдофекалий существуют не только соседствующие с ней грунтоядные формы макрозообентоса, но и, вероятно, представители мейо- и микробентоса [Комендантов, Орлова, 1990]. В свою очередь, производимая *P. amurensis* продукция доступна для утилизации другими животными. В бухте Суходол на глубинах до 1,5 м она входит в состав пищевого рациона японского краба-плавунца *Charybdis japonica* (табл. 3), а на отмелях Амурского залива ее активно потребляют водоплавающие птицы [Разин, 1934]. Определенное значение потамокорбула, скорее всего, имеет также в питании донных и придонных видов рыб, как это, например, отмечено у амурского осетра *Acipenser schrenckii* и калуги *Huso dauricus* в Амурском лимане [Колобов и др., 2009, 2013].

* Thompson J.K., Parchaso F. Conceptual Model... (2012).

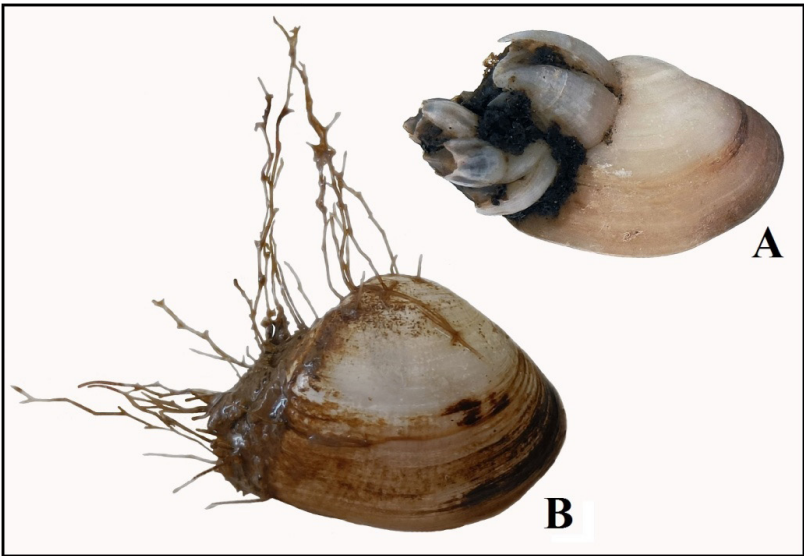


Рис. 6. *P. amurensis* с обрастателями: **А** — *Balanus rostratus*, бухта Муравьиная; **В** — гидроиды, кутовая часть Амурского залива у пос. Девятый Вал
Fig. 6. *Potamocorbula amurensis* with fouling: **A** — *Balanus rostratus* (Muravinaya Bay); **B** — hydroids (top of the Amur Bay, at Devyaty Val village)

Таблица 3
Состав пищи японского краба-плавунца *Charybdis japonica* в бухтах кутовой части
Уссурийского залива (зал. Петра Великого), % по массе

Table 3
Diet composition of *Charybdis japonica* in small bights located in the top Ussuri Bay, % WW

Компонент пищи	Место лова		
	Бухта Суходол		Бухта Муравьиная
	05.07.2011	23.08.2011	
Magnoliophyta			
<i>Zostera</i> spp.	–	5	40
Decapoda			
Paguridae fam. gen. sp.	1	50	–
Gastropoda			
<i>Littorina</i> sp.	–	–	35
Bivalvia			
Mytilidae fam. gen. sp.	2	–	–
<i>Ruditapes philippinarum</i>	2	–	–
<i>Theora lubrica</i>	–	–	25
<i>Potamocorbula amurensis</i>	95	5	–
<i>Laternula gracilis</i>	–	40	–
Желудков, шт.	27	8	15
Пустых желудков, %	51,9	50,0	60,0
Ширина карапакса, мм	60–105	70–100	70–120
Средняя масса, г	174,6	121,6	160,4
Средняя масса пищи, г	3,475	1,160	0,339
ИНЖ, ‰	199,0	95,4	21,1

Примечание. ИНЖ — индекс наполнения желудка.

В весенне-летний период потамокорбула на личиночной стадии под воздействием морских нагонов или с приливно-отливными течениями заносится из прибрежных акваторий во внутренние воды. Однако подходящие для поселения условия находит не во всех из них. Достоверно отмечена в морских лагунах Тальми и Лебяжья, а также

в эстуариях рек Гладкая, Рязановка, Барабашевка, Раздольная, Артемовка, Шкотовка, Суходол и Партизанская [Волова, 1974; Материалы..., 1999*; Комендантов, Орлова, 2003; Надточий и др., 2009; Колпаков, Надточий, 2012; Колпаков, 2018].

В реки с коротким эстуарием *P. amurensis* глубоко не проникает, а высоким обилием характеризуется в пределах полигалинных участков приустьевой зоны [Колпаков, 2018]. В частности, в нижней части эстуария р. Суходол ее биомасса в отдельные годы может составлять 112,44 г/м², а плотность поселения — 2456 экз./м². Несмотря на это, сформированные в таких эстуариях поселения или псевдопоселения (sensu, А.Ю. Комендантов, М.И. Орлова [2003]) являются эфемерными. Время их существования зависит от силы и частоты тайфунов летом и осенью. Длительное распреснение среды в придонном слое обычно приводит к полной гибели моллюсков. Вместе с тем процесс колонизации потамокорбулой эстуариев носит ежегодный характер, и псевдопоселения быстро восстанавливаются [Комендантов, Орлова, 2003; Колпаков, Надточий, 2012].

Иная ситуация наблюдается в водотоках с протяженной эстуарной зоной. В нашем распоряжении имеются сведения о распределении и размерно-возрастном составе поселений *P. amurensis* в эстуарии р. Раздольной. Здесь она встречается на расстоянии до 10 км от устья на илистых, илисто-песчаных и песчаных грунтах на глубинах от 0,4 до 3,0 м при биомассе от 0,013 до 517,430 г/м² и плотности поселения — от 13 до 7212 экз./м² (рис. 7). Неравномерность в ее локализации определяется пространственной неоднородностью абиотических факторов:

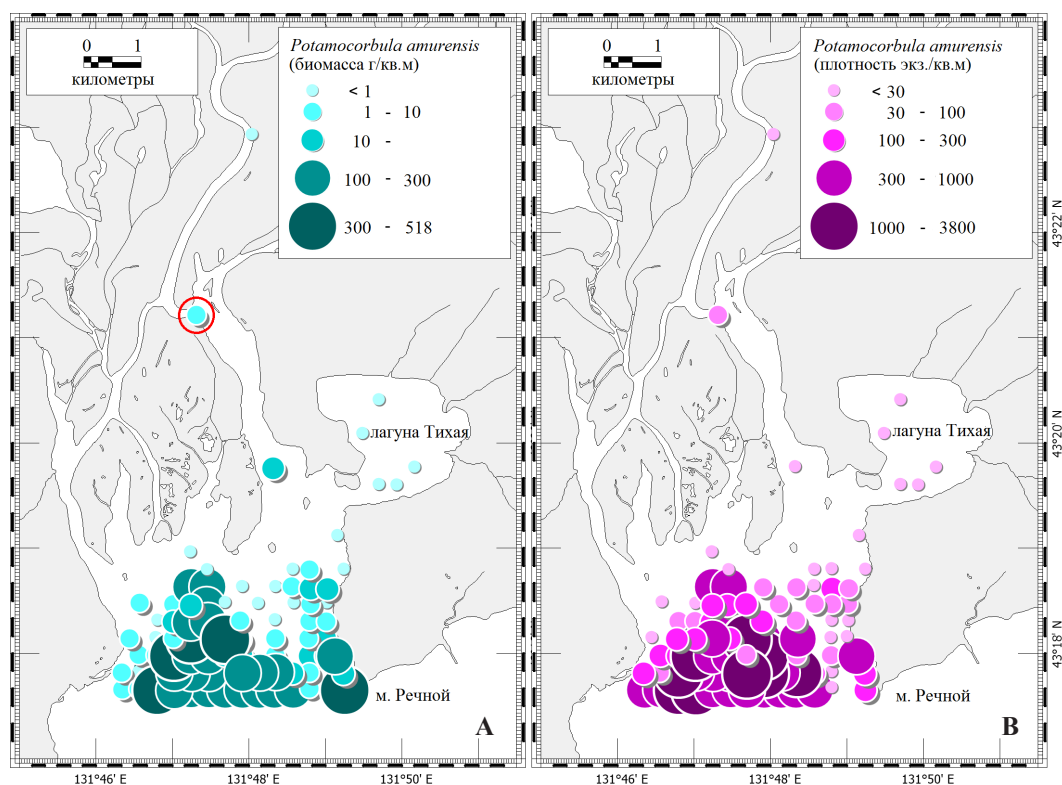


Рис. 7. Распределение биомассы (А) и плотности поселения (В) *P. amurensis* в эстуарии р. Раздольной. В красном круге отмечено нахождение в макробентосе полихет из рода *Pectinaria* и *Balanus rostratus*

Fig. 7. Spatial distribution of biomass (A) and abundance (B) of *Potamocorbula amurensis* in the estuary of Razdolnaya River. Red circle outlines the area with abundant polychaetes of gen. *Pectinaria* and *Balanus rostratus* in macrobenthos

* Материалы по изучению ресурсов... (1999).

— наименее благоприятные условия для личинок складываются в сильно опресненной лагуне Тихой, в правом рукаве реки и его основном русле. Большая их часть после оседания погибает. Выживают лишь те, что попадают в места с соленостью воды, находящейся на уровне или выше 2 ‰ [Волова, 1969]. Только при таких показателях солености возможен переход *P. amurensis* от пелагического к донному образу жизни [Nicolini, Penry, 2000]. Локальные зоны «выживания» морских эвригаллиных беспозвоночных в сильно распресненных биотопах эстуария р. Раздольной формируются за счет временного залегания морской воды в углублениях дна [Милованкина и др., 2018]. На самой глубокой яме нами также отмечены полихеты из рода *Pectenaria* и *Balanus rostratus* на субфоссильных раковинах тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* (рис. 7). Продолжительность жизни потамокорбулы в «морских линзах» не превышает двух лет (1+ лет);

— в лучших условиях находятся моллюски в центральной части Тавричанского лимана, в наибольшей степени подверженной влиянию моря. Для *P. amurensis* оптимальные значения солености лежат в пределах 12–30 ‰ [Комендантов, Орлова, 2003]. В результате круглогодичного подтока морских вод [Важова, Зуенко, 2015; Семкин и др., 2019] на глубоководных участках не происходит существенного опреснения придонных слоев, и некоторые особи доживают до предельного для зал. Петра Великого возраста 5+ лет [Золотарев, 1980] и, вероятнее всего, также участвуют в пополнении этой популяции (рис. 8).

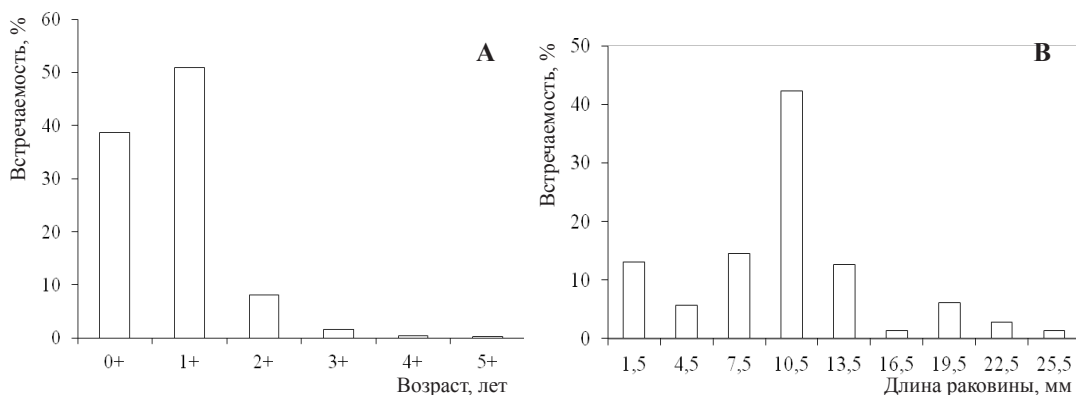


Рис. 8. Размерная (А) и возрастная (В) структура поселения *P. amurensis* в эстуарии р. Раздольной в июле 2017 г.

Fig. 8. Size (A) and age (B) composition of *Potamocorbula amurensis* in the estuary of Razdolnaya River in July, 2017

Заключение

В зал. Петра Великого потамокорбула рассредоточена в пространстве неравномерно. Ее поселения приурочены к опресненным участкам литорали и верхней циркумлиторали бухт и заливов второго порядка, а также к эстуариям рек и морским лагунам. Обитает в верхнем слое разнообразных мягких грунтов. Сестонофаг. В условиях нестабильного субстрата формирует биссусную нить. Основные скопления *P. amurensis* локализованы в Амурском заливе. В его сильно распресненной кустовой части находится зона процветания данного вида. В мелководных донных сообществах часто преобладает как по численности, так и по биомассе. Является источником пищи для животных из более высоких трофических уровней. В водотоках с коротким внутренним эстуарием существует в виде временных зависимых образований, а в протяженном эстуарии р. Раздольной — еще и устойчивых многовозрастных поселений.

Благодарности (ACKNOWLEDGMENT)

Выражаем благодарность Д.Ю. Рже (ТИНРО), С.А. Нужденко (ТИНРО) и Е.В. Ревенко (ТИНРО) за помощь в сборе и обработке бентосных проб, к.б.н. Е.И. Барабаншикову (ТИНРО) за предоставление для изучения питания 15 экз. японского краба-плавунца *Charybdis japonica* из бухты Муравьиной, а также анонимным рецензентам за конструктивные и полезные комментарии.

The authors are deeply grateful to D.Yu. Rzha (TINRO), S.A. Nuzhdenko (TINRO) and E.V. Revenko (TINRO) for their assistance in sampling and primary processing of materials for the study, to Dr. E.I. Barabanshchikov (TINRO) for valuable data on *Charybdis japonica* from the Muravyinaya Bay, and to anonymous reviewers for their constructive and helpful comments.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Сбор и обработка материала, изготовление фотографий, написание статьи — Е.В. Колпаков; измерение раковин и определение возраста *P. amurensis* — Е.В. Колпаков и Д.Д. Немова; сбор материала, построение карт — Д.А. Соколенко.

Sampling and analysis of the materials, photographing, the text writing and illustrating — E.V. Kolkpakov; shells measuring and determination of age for specimens of *P. amurensis* — E.V. Kolkpakov and D.D. Nemova; sampling the materials, data mapping — D.A. Sokolenko.

Список литературы

Атлас двустворчатых моллюсков дальневосточных морей России / сост. С.В. Явнов. — Владивосток : Дюма, 2000. — 168 с.

Бирюлина М.Г. Запасы трепанга в заливе Петра Великого // Вопросы гидробиологии некоторых районов Тихого океана. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1972. — С. 22–32.

Важова А.С., Зуенко Ю.И. Особенности распределения биогенных элементов вдоль градиента солёности в эстуариях рек Суходол и Раздольная (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 226–235. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-180-226-235.

Волова Г.Н. Бентос некоторых пресных и солоноватоводных водоемов Южного Приморья : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 1969. — 250 с.

Волова Г.Н. Биоценозы прибрежных вод Амурского залива (Японское море) // Фауна и экология морских организмов. — Владивосток : ДВГУ, 1984. — С. 78–124.

Волова Г.Н. Донные биоценозы Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 1985. — Т. 110. — С. 111–119.

Волова Г.Н. К фауне и экологии некоторых представителей бентоса солоноватых водоемов юга Приморья Японского моря // Гидробиол. журн. — 1970. — Т. 6, № 3. — С. 17–23.

Волова Г.Н. Макрозообентос солоноватых водоемов Южного Приморья (Японское море) // Гидробиол. журн. — 1974. — Т. 10, № 6. — С. 32–37.

Волова Г.Н., Скарлато О.А. Двустворчатые моллюски залива Петра Великого : определитель. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — 95 с.

Гаркалина Н.Н., Москвичева И.М. Состав и особенности распределения моллюсков в Амурском лимане // Моллюски. Основные результаты их изучения. — Л. : Наука, 1979. — № 6. — С. 203–205.

Дуленина П.А. Видовой состав двустворчатых моллюсков западной части Татарского пролива Японского моря // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2013. — Вып. 17 — С. 27–78.

Дуленина П.А. Малакофауна Амурского лимана // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : тез. докл. 4-й междунар. науч.-практ. конф. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2011. — С. 32–33.

Евсеев Г.А. Происхождение залива Восток Японского моря и история его фауны двустворчатых моллюсков // Биологические исследования залива Восток. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1976. — С. 23–62.

Евсеев Г.А. Сообщества двустворчатых моллюсков в послеледниковых отложениях шельфа Японского моря : моногр. — М. : Наука, 1981. — 160 с.

Евсеев Г.А., Яковлев Ю.М. Двустворчатые моллюски дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ПК Поликон, 2006. — 120 с.

Жадин В.И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. — М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1952. — 376 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, т. 46.)

Затравкин М.Н., Богатов В.В. Крупные двустворчатые моллюски пресных и солоноватых вод Дальнего Востока СССР : определитель. — Владивосток : Изд-во ДВО АН СССР, 1987. — 153 с.

Золотарев В.Н. Продолжительность жизни двустворчатых моллюсков Японского и Охотского морей // Биол. моря. — 1980. — № 6. — С. 3–12.

Иванова М.Б., Цурпало А.П. Двустворчатые моллюски литорали дальневосточных морей России // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2019. — Вып. 23, № 1/2. — С. 5–62.

Кантор Ю.И., Сысоев А.В. Каталог моллюсков России и сопредельных стран. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2005. — 627 с.

Кафанов А.И. Двустворчатые моллюски шельфов и континентального склона северной Пацифики : аннотированный указатель. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 200 с.

Кафанов А.И., Лабай В.С., Печенева Н.В. Биота и сообщества макробентоса лагун северо-восточного Сахалина : моногр. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2003. — 176 с.

Колобов В.Ю., Кошелев В.Н., Евтешина Т.В. Питание амурского осетра *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 в нижнем течении Амура и Амурском лимане // Амурский зоологический журнал. — 2009. — Т. 1, № 2. — С. 177–182.

Колобов В.Ю., Кошелев В.Н., Шмигирилов А.П., Шедько М.Б. Данные о питании амурского осетра *Acipenser schrenckii* и калуги *Acipenser dauricus* в Амурском лимане // Вест. АГТУ. Сер.: Рыб. хоз-во. — 2013. — № 2. — С. 67–74.

Колпаков Н.В. Эстуарные экосистемы северо-западной части Японского моря: структурно-функциональная организация и биоресурсы : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — 428 с.

Колпаков Е.В., Безруков Р.Г., Соколенко Д.А., Нужденко С.А. Новые данные по макробентосу Амурского лимана // Результаты Второй Амурской экспедиции. Т. 2 : Тр. СахНИРО. — 2023. — Т. 19, ч. II. — С. 242–253.

Колпаков Е.В., Колпаков Н.В. Размерно-возрастной состав поселения и рост субтропического двустворчатого моллюска *Nuttallia obscurata* в водах Приморья у северной границы ареала // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 3. — С. 190–193.

Колпаков Н.В., Надточий В.А. Макрозообентос эстуариев южного Приморья: состав, структура, пространственно-временная изменчивость // Мат-лы Всерос. науч. конф. «Водные биологические ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг, управление», посвящ. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2012. — С. 467–480.

Комендантов А.Ю., Орлова М.И. Дальнейшее изучение макрозообентоса р. Гладкой (залив Посьета, Японское море) // Тр. ЗИН АН СССР. — 1990. — Т. 218. — С. 161–174.

Комендантов А.Ю., Орлова М.И. Экология эстуарных двустворчатых моллюсков и полихет Южного Приморья : моногр. — СПб. : ЗИН РАН, 2003. — 164 с. (Исслед. фауны морей, т. 52(60).)

Кривонос Е.А., Раков В.А. Биогеографический состав малакофауны бухты Киевка (Японское море) // Тез. докл. 5-й Региональной конференции по актуальным проблемам экологии, морской биологии и биотехнологии студентов, аспирантов и молодых ученых. — Владивосток : ДВГУ. 2002. — С. 67–68.

- Кусакин О.Г., Иванова М.Б., Цурпало А.П.** Список видов животных, растений и грибов литорали дальневосточных морей. — Владивосток : Дальнаука, 1997. — 168 с.
- Лабай В.С.** Макробентос внутренних водоемов острова Сахалин : дис. ... д-ра биол. наук. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2018. — 487 с.
- Лабай В.С.** Макробентос пролива Невельского // Тр. СахНИРО. — 2004. — Т. 6. — С. 305–330.
- Лабай В.С.** Эволюция бентоса прибрежных лагун острова Сахалин: причины и следствия // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2011. — Вып. 5. — С. 265–274.
- Лабай В.С., Атаманова И.А., Заварзин Д.С. и др.** Водоемы острова Сахалин: от лагун к озерам : моногр. — Южно-Сахалинск : Сахалин. обл. краевед. музей, 2014. — 208 с.
- Лабай В.С., Шевченко Г.В., Галанин Д.А. и др.** Макрозообентос Сахалинского залива Охотского моря в зоне влияния вод реки Амур // Вопр. рыб-ва. — 2022. — Т. 23, № 4. — С. 67–88. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-4-67-88.
- Лутаенко К.А.** Двустворчатые моллюски в береговых выбросах залива Петра Великого (Японское море). — Владивосток : ИБМ ДВО АН СССР, 1990. — Препринт № 28. — 51 с.
- Лутаенко К.А.** О происхождении тепловодных элементов малакофауны залива Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1991. — № 1. — С. 12–20.
- Лутаенко К.А.** Тафономия раковин двустворчатых моллюсков на пляже бухты Муравьиной (Японское море, Уссурийский залив) // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2022. — Вып. 26, № 1/2 — С. 53–127. DOI: 10.24866/1560-8425/2022-26/53-127.
- Лутаенко К.А.** Фауна двустворчатых моллюсков Амурского залива (Японское море) и прилегающих районов. Часть 2. Семейства Trapezidae — Periplomatidae. Эколого-биогеографическая характеристика // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2003. — Вып. 7. — С. 5–84.
- Лутаенко К.А., Волвенко И.Е.** Малый атлас двустворчатых моллюсков залива Петра Великого (Японское море). — Владивосток : ДВФУ, 2017. — 140 с.
- Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях** / отв. ред. Е.В. Боруцкий. — М. : Наука, 1974. — 254 с.
- Милованкина А.А., Фадеева Н.П., Чертопруд Е.С.** Распределение мейобентоса по градиенту солености в эстуарии реки Раздольной Приморского края // Самар. науч. вестн. — 2018. — Т. 7, № 1. — С. 76–83.
- Надточий В.А., Безруков Р.Г., Будникова Л.Л.** Макрозообентос некоторых эстуарных систем южного Приморья // Морские прибрежные экосистемы. Водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки : мат-лы Третьей Междунар. науч.-практ. конф. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2009. — С. 56–63.
- Нейман А.А.** Рекомендации по исследованию бентоса шельфов. — М. : ВНИРО, 1983. — 24 с.
- Павленко М.Н.** Рыбы залива Петр Великий. — Казань, 1910. — 95 с. (Тр. общества естествоиспытателей при Имп. Казанском ун-те. Т. 42, вып. 2.)
- Разин А.И.** Морские промысловые моллюски южного Приморья : Изв. ТИРХ. — 1934. — Т. 8. — 108 с.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Лобанов В.Б. и др.** Обмен вод в эстуарии реки Раздольной (Амурский залив, Японское море) в период ледостава // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 123–137. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-123-137.
- Скарлато О.А.** Двустворчатые моллюски умеренных вод северо-западной части Тихого океана : моногр. — Л. : Наука, 1981. — 480 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, вып. 126.)
- Скарлато О.А.** Класс Двустворчатые моллюски — Bivalvia // Атлас беспозвоночных дальневосточных морей СССР. — М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1955. — С. 185–198.
- Старобогатов Я.И., Прозорова Л.А., Богатов В.В., Саенко Е.М.** Моллюски // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 6 : Моллюски, полихеты, немертины. — СПб. : Наука, 2004. — С. 9–491.
- Ушаков П.В.** Некоторые особенности жизни в предустьевых пространствах (эстуариях) // Природа. — 1940. — № 5. — С. 41–49.
- Ушаков П.В.** Фауна Охотского моря и условия ее существования : моногр. — М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1953. — 461 с.
- Хлебович В.В.** К биологической типологии эстуариев Советского Союза // Тр. ЗИН АН СССР. — 1986. — Т. 141. — С. 5–16.
- Bartsch P.** Report upon the collection of marine mollusks made by Professor Dr. K. Derjugin in the Gulf of Peter the Great // Исслед. морей СССР. — 1929. — Вып. 10. — С. 131–140.

- Baumsteiger J., Schroeter R.E., O'Rear T.A. et al.** Long-Term Surveys Show Invasive Overbite Clams (*Potamocorbula amurensis*) are Spatially Limited in Suisun Marsh, California // San Francisco Estuary and Watershed Science. — 2017. — Vol. 15, Iss. 2, art. 6. DOI:10.15447/sfews.2017v15iss2art6.
- Bernard F.R., Cai Y.Y., Morton B.** Catalogue of the Living Marine Bivalve Molluscs of China. — Hong Kong : Hong Kong University Press, 1993. — 156 p.
- Carlton J.T., Thompson J.K., Schemel L.E., Nichols F.H.** Remarkable invasion of San Francisco Bay (California, USA) by the Asian clam *Potamocorbula amurensis*. I. Introduction and dispersal // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1990. — Vol. 66. — P. 81–94. DOI: 10.3354/meps066081.
- Ivanova M.B., Belogurova L.S. and Tsurpalo A.P.** Composition and distribution of intertidal biota in the estuarine zone of Amursky Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) // Ecological Studies and State of the Ecosystem of Amursky Bay and Estuarine Zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). — Vladivostok : Dalnauka, 2008. — Vol. 1. — P. 92–142.
- Kamenev G.M., Nekrasov D.A.** Bivalve fauna and distribution in the Amur River estuary — a warm-water ecosystem in the cold-water Pacific region // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2012. — Vol. 455. — P. 195–210.
- Kantor Y.I.** On the forgotten species from the Russian Far-East seas, *Plicifusus olivaceus* Bartsch, 1929 // Ruthenica. — 2009. — Vol. 19, № 2. — P. 67–72.
- Lutaenko K.A.** Beach molluscan thanatocoenoses in Possjet Bay, Sea of Japan: comparison between open and sheltered beaches // Benthos Research. — 1994. — № 47. — P. 1–12. DOI:10.5179/benthos1990.1994.47_1.
- Lutaenko K.A.** Bivalve mollusks of Ussuriysky Bay (Sea of Japan). Part 1 // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2005. — Вып. 9. — С. 59–81.
- Lutaenko K.A.** Class Bivalvia // Check-list of Species of Free-living Invertebrates of the Russian Far Eastern Seas / B.I. Sirenko (ed.). — St. Petersburg : Zool. Inst. RAS, 2013. — P. 169–175. (Explorations of the Fauna of the Seas. Vol. 75(83).)
- Lutaenko K.A., Noseworthy R.G.** Catalogue of the Living Bivalvia of the Continental Coast of the Sea of Japan (East Sea). — Vladivostok : Dalnauka, 2012. — 247 p.
- Lutaenko K.A., Noseworthy R.G.** Contribution to the knowledge of the marine bivalve mollusk fauna of Gangwon Province, Korea // Journal of Asia-Pacific Biodiversity. — 2019. — Vol. 12, Iss. 1. — P. 14–44. DOI:10.1016/j.japb.2018.07.009.
- Miller N., Stillman J.** Seasonal and spatial variation in the energetics of the invasive clam *Corbula amurensis* in the upper San Francisco Estuary // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2013. — Vol. 476. — P. 129–139. DOI: 10.3354/meps10149.
- Moshchenko A.V., Belan T.A.** Ecological state and long-term changes of macrozoobenthos in the northern part of Amursky Bay (Sea of Japan) // Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). — Vladivostok : Dalnauka, 2008. — Vol. 1. — P. 61–91.
- Nicolini M.H., Penry D.L.** Spawning, fertilization, and larval development of *Potamocorbula amurensis* (Mollusca: Bivalvia) from San Francisco Bay, California // Pacific Science. — 2000. — Vol. 54, № 4. — P. 377–388.
- Okutani T.** Family Corbulidae // Marine mollusks in Japan. — Tokyo : Tokai University Press, 2000. — P. 863–877.
- Schrenck L. von.** Mollusken des Amur-Landes und des Nordjapanischen Meeres // Reisen und Forschungen im Amur-Lande in den Jahren 1854–1856. — St. Petersburg : Kaiserl. Akad. Wissensch, 1867. — S. 259–976.
- Schrenck L. von.** Vorläufige Diagnosen einiger neuer Molluskenarten aus der Meerenge der Tartarei und dem nord-japanischen Meere // Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg. — 1861. — Vol. 4. — S. 88–94.
- Schrenck L. von.** Vorläufige Diagnosen einiger neuer Molluskenarten aus der Meerenge der Tartarei und dem nord-japanischen Meere // Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg. — 1862. — Vol. 4, № 7. — S. 408–413.

References

- Yavnov, S.V.**, *Atlas dvustvorchatykh mollyuskov dal'nevostochnykh morei Rossii* (Atlas of Bivalves from the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: Dyuma, 2000.
- Birulina, M.G.**, The reserves of the trepang (*Stichopus japonicus* v. *armatus* Selenca) in the Peter the Great Gulf, in *The Questions on the hydrobiology of the some regions of the Pacific Ocean*, Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1972, pp. 22–32.

Vazhova, A.S. and Zuenko, Yu.I., Patterns of nutrients distribution along salinity gradient in the estuaries of the rivers Sukhodol and Razdolnaya/Suifen (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 226–235. doi 10.26428/1606-9919-2015-180-226-235

Volova, G.N., Benthos of some fresh and brackish water bodies of Southern Primorye, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1969.

Volova, G.N., Biocenoses of the coastal waters of the Amur Bay (Sea of Japan), in *Fauna i ekologiya morskikh organizmov* (Fauna and ecology of marine organisms), Vladivostok: FEGU, 1984, pp. 78–124.

Volova, G.N., Bottom biocenoses of the Amursky Bay (the Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1985, vol. 110, pp. 111–119.

Volova, G.N., On fauna and ecology of some representatives of benthos in saltish basins of the Primorye (the Sea of Japan), *Gidrobiol. Zh.*, 1970, vol. 6, no. 3, pp. 17–22.

Volova, G.N., Macrozoobenthos of brackish water bodies of Southern Primorye (Sea of Japan), *Gidrobiol. Zh.*, 1974, vol. 10, no. 6, pp. 32–37.

Volova, G.N. and Scarlato, O.A., *Dvustvorchatye molluski zaliva Petra Velikogo* (Bivalves of Peter the Great Bay). Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1980.

Garkalina, N.N. and Moskvicheva, I. M., Composition and distribution patterns of the molluscs in the estuary of the Amur, in *Molluscs. Main Results of Their Study*, Abstracts of Communications, Sixth Meeting on the Investigation of Molluscs, Leningrad: Nauka, 1979, no. 6, pp. 203–205.

Dulenina, P.A., The species composition of bivalve mollusks in the western part of Tatarsky Strait (Sea of Japan), *Byull. Dal'nevost. Malakol. O-va*, 2013, vol. 17, pp. 27–78.

Dulenina, P.A., Malakofauna Amurskiy Liman, in *Marine coastal ecosystems. Seaweeds, invertebrates and products of their processing*: Abstracts of Fourth International Conference, Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2011, pp. 32–33.

Evseev, G.A., The origin of the Vostok Bay (the Sea of Japan) and the history of its fauna of bivalves, in *Biologicheskkiye issledovaniya zaliva Vostok* (Biological studies of the East Bay), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1976, pp. 23–62.

Evseev, G.A., *Communities of bivalve mollusks in post-glacial deposits of shelf of the Sea of Japan* (Bivalve communities in postglacial sediments of the Sea of Japan shelf), Moscow: Nauka, 1981.

Evseev, G.A. and Yakovlev, Yu.M., *The bivalve molluscs of Far Eastern seas of Russia* (Bivalves of the Far Eastern Seas), Vladivostok: Polikon, 2006.

Zhadin, V.I., *Mollyuski presnykh i solonovatykh vod SSSR* (Molluscs of fresh and brackish waters of the USSR), Moscow, Leningrad: Izd-vo Akad. Nauk SSSR, 1952. [*Opredeliteli po faune SSSR* (Keys to the USSR fauna), Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, vol. 46.]

Zatravkin, M.N. and Bogatov, V.V., *Krupnyye dvustvorchatye mollyuski presnykh i solonovatykh vod Dal'nego Vostoka SSSR* (Large bivalve molluscs in fresh and brackish waters of the Far East of the USSR), Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Akad. Nauk SSSR, 1987.

Zolotarev, V.N., The duration of life in bivalves from Sea of Japan and Sea of Okhotsk, *J. Mar. Biol.*, 1980, no. 6, pp. 3–12.

Ivanova, M.B. and Tsurpalo, A.P., Bivalve mollusks of the intertidal zone of the Far Eastern seas of Russia, *Byull. Dal'nevost. Malakol. O-va*, 2019, vol. 23, no. 1/2, pp. 5–62.

Kantor, Yu.I. and Sysoev, A.V., *Katalog mollyuskov Rossii i sopredel'nykh stran* (Catalogue of mollusks of Russia and adjacent countries), Moscow: KMK, 2005.

Kafanov, A.I., *Dvustvorchatye mollyuski shel'fov i kontinental'nogo sklona severnoy Patsifiki: annotirovannyi ukazatel'* (Bivalve mollusks on the shelf and continental slope of the North Pacific: annotated index), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1991.

Kafanov, A.I., Labai, V.S., and Pecheneva, N.V., *Biota i soobshchestva makrobentosa lagun severo-vostochnogo Sakhalina* (Biota and Macrobenthos Communities in Lagoons of Northeastern Sakhalin), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2003.

Kolobov, V.Yu., Koshelev, V.N., and Evteshina T.V., Food ration of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii* Brandt, 1869) in the Lower Amur and the Amur River estuary, *Amurian zoological journal*, 2009, vol. 1, no. 2, pp. 177–182.

Kolobov, V.Yu., Koshelev, V.N., Shmigirilov, A.P., and Shedko M.B., Data on nutrition of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* and Kaluga *Acipenser dauricus* in the Amur estuary, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2013, no. 2, pp. 67–74.

Kolpakov, N.V., *Estuarnye ekosistemy severo-zapadnoi chasti Yaponskogo morya: strukturno-funktsional'naya organizatsiya i bioresursy* (Estuarine Ecosystems of the Northwestern Sea of Japan: Structural and Functional Organization and Bioresources), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018.

Kolpakov, E.V., Bezrukov, R.G., Sokolenko, D.A. and Nuzhdenko, S.A., New data on macrobenthos of the Amurskiy Liman, in *Results of the Second Amur expedition. Vol. 2 : Transactions of the SakhNIRO*, 2023, vol. 19, pt II, pp. 242–253.

Kolpakov, E.V. and Kolpakov, N.V., Population Size-Age Structure and Growth of the Subtropical Bivalve *Nuttallia obscurata* in Primorye Waters at the North Boundary of Its Geographic Range, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2005, vol. 31, no. 3, pp. 164–167. doi 10.1007/s11179-005-0062-1

Kolpakov, N.V. and Nadtochy, V.A., Macrozoobenthos of southern Primorye' estuaries: species composition, structure, spatio-temporal patterns, in *Mater. Vseross. nauchn. konf. posvyashch. 80-letnemu yubileyu FGUP "KamchatNIRO" "Vodnye biologicheskie resursy severnoi chasti Tikhogo okeana: sostoyanie, monitoring, upravlenie"* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Commem. 80th Aniv. FGUP KamchatNIRO "Aquatic Biological Resources of the Northern Pacific Ocean: Status, Monitoring, and Management"), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2012, pp. 467–480.

Komendantov, A.Yu. and Orlova, M.I., Further study of the macrozoobenthos of the Gladkaya River (Posyet Bay, Sea of Japan), *Tr. Zool. Inst., Akad. Nauk SSSR*, 1990, vol. 218, pp. 161–174.

Komendantov, A.Yu and Orlova, M.I., *Ekologiya estuarnykh dvustvorchatykh mollyuskov i polikhet Yuzhnogo Primor'ya* (Ecology of estuary bivalves and polychaetes of Southern Primorye), St. Petersburg: Zool. Inst., Ross. Akad. Nauk, 2003. (Ser. *Issledovaniya fauny morey*, no. 52(60).)

Krivosos, E.A. and Rakov, V.A., Biogeographical composition of the malacofauna of Kievka Bay (Sea of Japan), in *Tez. dokl. 5-y Regional'noy konferentsii po aktual'nym problemam ekologii, morskoy biologii i biotekhnologii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* (Abstract of the 5th Regional Conference on Current Issues of Ecology, Marine Biology and Biotechnology for Students, Postgraduates and Young Scientists), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ, 2002, pp. 67–68.

Kusakin, O.G., Ivanova, M.B., and Tsurpalo, A.P., *Spisok vidov zhivotnykh, rastenii i gribov litorali dal'nevostochnykh morei Rossii* (List of species of animals, plants and fungi of the littoral of the Far Eastern seas), Vladivostok: Dal'nauka, 1997.

Labay, V.S., Macrobenthos of inland waters of Sakhalin Island, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2018.

Labay, V.S., Macrobenthos of the Nevelskoy Strait, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 6, pp. 305–330.

Labay, V.S., Evolution of a benthos of Sakhalin coastal lagoons: causes and consequences, in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka 2011, vol. 5, pp. 265–274.

Labay, V.S., Atamanova, I.A., Zavarzin, D.S., Motylkova, I.V., Moukhametova, O.N., and Nikitin, V.D., *Vodoyemy ostrova Sakhalin: ot lagun k ozeram* (Reservoirs of Sakhalin Island: from lagoons to lakes), Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Obl. Kraevedcheskii Muz., 2014.

Labay, V.S., Shevchenko, G.V., Galanin, D.A., Chastikov, V.N., Shpilko, T.S., and Troitzkaya, N.V., Macrozoobenthos of the Sakhalin Bay of the Sea of Okhotsk in the zone influence of Amur River waters, *Vopr. Rybolov.*, 2022, vol. 23, no. 4, pp. 67–88. doi 10.36038/0234-2774-2022-23-4-67-88

Lutaenko, K.A., *Dvustvorchatyye mollyuski v beregovykh vybrosakh zaliva Petra Velikogo (Yaponskoye more)* (Bivalves in coastal wastewater from Peter the Great Bay (Sea of Japan)), Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1990. Preprint no. 28.

Lutaenko, K.A., On the origin of warm-water elements of malacofauna of Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russ. J. Mar. Biol.*, 1991, no. 1, pp. 12–20.

Lutaenko, K.A., Taphonomy of bivalve shells on the beach of Muravyinaya Bay (Sea of Japan, Ussuriysky Bay), *Byull. Dal'nevost. Malakologicheskogo O-va*, 2022, vol. 26, no. 1/2, pp. 53–127. doi 10.24866/1560-8425/2022-26/53-127

Lutaenko, K.A., Fauna of bivalve mollusks of the Amur Bay (Sea of Japan) and adjacent areas. Part 2. Families Trapezidae — Periplomatidae. Ecological and biogeographic characteristics, *Byull. Dal'nevost. Malakologicheskogo O-va*, 2003, vol. 7, pp. 5–84.

Lutaenko, K.A. and Volvenko, I.E., Atlas of Common Bivalve Mollusks of Peter the Great Bay (Sea of Japan), Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2017.

Metodicheskoye posobiye po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v yestestvennykh usloviyakh (Toolkit for the study of nutrition and nutritional relationships of fish in vivo), Borutsky, E.V., ed. Moscow: Nauka, 1974.

Milovankina, A.A., Fadeeva, N.P. and Chertoprud, E.S., Salinity gradient meiobenthos distribution on the Pazdolnaya River's Estuary, *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2018, vol. 7, no. 1, pp. 76–83.

Nadtochy, V.A., Bezrukov, R.G. and Budnikova, L.L., Macrozoobenthos some reach systems of Southern Primorye, in *Marine coastal ecosystems. Seaweeds, invertebrates and products of their processing* : Proc. of Third Intern. Sci.-Pract. Conf., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2009, pp. 56–63.

- Neiman, A.A.**, *Rekomendatsii po issledovaniyu bentosa shel'fov* (Recommendations for the study of shelf benthos), Moscow: VNIRO, 1983.
- Pavlenko, M.N.**, Fish of the Peter the Great Bay, *Tr. obshchestva yestestvoispytateley pri Imp. Kazanskom un-te* (Tr. Society of Naturalists at Imperial Kazan University), Kazan', 1910, vol. 42, no. 2.
- Razin, A.I.**, Marine commercial mollusks of southern Primorsky Krai, *Izv. Tikhookean. Inst. Rybn. Khoz.*, 1934, vol. 8.
- Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.Ya., Lobanov, V.B., Barabanshchikov, Yu.A., Mikhailik, T.A., Sagalaev, S.G., and Tishchenko, P.P.**, Water exchange in the estuary of the Razdolnaya River (Amur Bay, Japan Sea) in the ice covered period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 123–137.
- Skarlato, O.A.**, *Dvustvorchatye mollyuski umerennykh vod severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Bivalve Mollusks in Temperate Waters of the Northwestern Pacific Ocean), Leningrad: Nauka, 1981. [*Opredeliteli po faune SSSR* (Keys to the USSR fauna), Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR, vol. 126.]
- Skarlato, O.A.**, Class bivalve — Bivalvia, in *Atlas bespozvonochnykh dal'nevostochnykh morey SSSR* (Atlas of invertebrates of the Far Eastern seas of the USSR), Moscow; Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1955, pp. 185–198.
- Starobogatov, Ya.I., Prozorova, L.A., Bogatov, V.V. and Sayenko, E.M.**, Molluscs, in *Key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent lands*, vol. 6: *Molluscs, Polychaetes, Nemerteans*, Tsalolikhin, S. Ya. (ed.), St. Petersburg: Nauka, 2004, pp. 9–491.
- Ushakov, P.V.**, On Certain Peculiarities of Life Estuaries, *Priroda*, 1940, no. 5, pp. 41–49.
- Ushakov, P.V.**, *Fauna Okhotskogo morya i usloviya ee sushchestvovaniya* (Fauna of the Sea of Okhotsk and Its Environmental Conditions), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1953.
- Khlebovich, V.V.**, On Biological Typology of Estuaries of the Soviet Union, *Tr. Zool. Inst. Akad. Nauk SSSR*, 1986, vol. 141, pp. 5–16.
- Bartsch, P.**, Report upon the collection of marine mollusks made by Professor Dr. K. Derjugin in the Gulf of Peter the Great, *Issled. morey SSSR*, 1929, vol. 10, pp. 131–140.
- Baumsteiger, J., Schroeter, R.E., O'Rear, T.A., Cook, J.D., and Moyle, P.B.**, Long-Term Surveys Show Invasive Overbite Clams (*Potamocorbula amurensis*) are Spatially Limited in Suisun Marsh, California, *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 2017, vol. 15, no. 2, art. 6. doi10.15447/sfews.2017v15iss2art6
- Bernard, F.R., Cai, Y.Y. and Morton, B.**, *Catalogue of the Living Marine Bivalve Molluscs of China*, Hong Kong: Hong Kong University Press, 1993.
- Carlton, J.T., Thompson, J.K., Schemel, L.E., and Nichols, F.H.**, Remarkable invasion of San Francisco Bay (California, USA) by the Asian clam *Potamocorbula amurensis*. I. Introduction and dispersal, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1990, vol. 66, pp. 81–94. doi 10.3354/meps066081
- Ivanova, M.B., Belogurova, L.S. and Tsurpalo, A.P.**, Composition and distribution of intertidal biota in the estuarine zone of Amursky Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan), in *Ecological Studies and State of the Ecosystem of Amursky Bay and Estuarine Zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan)*, Vladivostok: Dalnauka, 2008, vol. 1, pp. 92–142.
- Kamenev, G.M. and Nekrasov, D.A.**, Bivalve fauna and distribution in the Amur River estuary — a warm-water ecosystem in the cold-water Pacific region, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2012, vol. 455, pp. 195–210.
- Kantor, Y.I.**, On the forgotten species from the Russian Far-East seas, *Plicifusus olivaceus* Bartsch, 1929, *Ruthenica*, 2009, vol. 19, no. 2, pp. 67–72.
- Lutaenko, K.A.**, Beach molluscan thanatocoenoses in Possjet Bay, Sea of Japan: comparison between open and sheltered beaches, *Benthos Research*, 1994, no. 47, pp. 1–12. doi 10.5179/benthos1990.1994.47_1
- Lutaenko, K.A.**, Bivalve mollusks of Ussuriysky Bay (Sea of Japan). Part 1, *Byull. Dal'nevost. Malakol. O-va*, 2005, vol. 9, pp. 59–81.
- Lutaenko, K.A.**, Class Bivalvia, in *Check-list of Species of Free-living Invertebrates of the Russian Far Eastern Seas*, Sirenko, B.I., ed., St. Petersburg: Zool. Inst. RAS, 2013. (Explorations of the Fauna of the Seas, vol. 75(83).)
- Lutaenko, K.A. and Noseworthy, R.G.**, *Catalogue of the Living Bivalvia of the Continental Coast of the Sea of Japan (East Sea)*, Vladivostok: Dalnauka, 2012.
- Lutaenko, K.A. and Noseworthy, R.G.**, Contribution to the knowledge of the marine bivalve mollusk fauna of Gangwon Province, Korea, *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 14–44. doi 10.1016/j.japb.2018.07.009

Miller, N. and Stillman, J., Seasonal and spatial variation in the energetics of the invasive clam *Corbula amurensis* in the upper San Francisco Estuary, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2013, vol. 476, pp. 129–139. doi 10.3354/meps10149

Moshchenko, A.V. and Belan, T.A., Ecological state and long-term changes of macrozoobenthos in the northern part of Amursky Bay (Sea of Japan), *Ecological Studies and the State of the Ecosystem of Amursky Bay and the Estuarine Zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan)*, Vladivostok: Dal'nauka, 2008, vol. 1, pp. 61–91.

Nicolini, M.H. and Penry, D.L., Spawning, fertilization, and larval development of *Potamocorbula amurensis* (Mollusca: Bivalvia) from San Francisco Bay, California, *Pacific Science*, 2000, vol. 54, no. 4, pp. 377–388.

Okutani, T., Family Corbulidae, in *Marine mollusks in Japan*, Tokyo: Tokai University Press, 2000, pp. 863–877.

Schrenck L. von, Mollusken des Amur-Landes und des Nordjapanischen Meeres, in *Reisen und Forschungen im Amur-Lande in den Jahren 1854–1856*, St. Petersburg: Kaiserl. Akad. Wissensch, 1867, pp. 259–976.

Schrenck, L., von, Vorläufige Diagnosen einiger neuer Molluskenarten aus der Meerenge der Tartarei und dem nord-japanischen Meere, *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg*, 1861, vol. 4, pp. 88–94.

Schrenck, L., von, Vorläufige Diagnosen einiger neuer Molluskenarten aus der Meerenge der Tartarei und dem nord-japanischen Meere, *Bulletin de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg*, 1862, vol. 4, no. 7, pp. 408–413.

Thompson, J.K. and Parchaso, F., Conceptual Model for *Potamocorbula amurensis*. DRERIP Conceptual Model. Sacramento (CA), *Ecosystem Restoration Program*, 2012. http://www.dfg.ca.gov/erp/conceptual_models.asp

Otchet Nauchn. Issled. Rab. “Materialy po izucheniyu resursov bespozvonochykh pribrezhnykh vod i kontenitalnykh vodoemov podzony «Primorye»” (Rep. Res. Work “Materials on the study of invertebrate resources of coastal waters and continental water bodies of the Primorye subzone”), Available from TINRO, 1999, Vladivostok, no. GR 01880073029, inv. no. 23172.

Поступила в редакцию 28.10.2024 г.

После доработки 28.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 28.10.2024; approved after reviewing 28.11.2024;

accepted for publication 10.12.2024

Научная статья

УДК 599.745.3–153

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-783-798

EDN: UQUCMS



**ПИТАНИЕ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ *PUSA SIBIRICA* GM.
ПЕЛАГИЧЕСКИМ РАЧКОМ *MACROHECTOPUS BRANICKII* DYB.
В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

Е.А. Петров, А.Б. Купчинский*

Байкальский музей Сибирского отделения РАН,
664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1

Аннотация. Поведение байкальской нерпы *Pusa sibirica* Gm. на глубине 200 м в условиях длительного искусственного освещения впервые было снято на видео стационарными камерами. Несколько особей нерп обнаружили плотные скопления гидробионтов, образовавшихся в освещенном секторе подсветки. Основу скоплений составляли пелагические рачки *Macrohectopus branickii* Dyb., в основном взрослые самки. В течение многих дней нерпы активно охотились на *M. branickii*, нечасто поедая и молодь пелагических голомянок *Comephorus* sp., и прибрежно-пелагических *Cottoidei*. Описаны пищевое поведение нерпы во время питания этими объектами, а также приемы охоты, способы захвата пищевых объектов, пищевая активность нерп и поведение жертв. Показано, что постоянное освещение нарушило характер вертикальных суточных миграций гидробионтов и изменило стратегию пищевых ныряний байкальской нерпы. На основании полученных материалов высказаны сомнения относительно гипотезы японских ученых о решающей роли *M. branickii* в питании байкальской нерпы и большом значении этого пищевого ресурса для процветания популяции. Для того чтобы принять предлагаемую гипотезу, в пелагиали Байкала необходимо постоянное присутствие плотных скоплений (подобные наблюдаемым при искусственном освещении) на доступных нерпе глубинах, байкальская нерпа должна постоянно находить эти скопления, а сами скопления должны состоять из взрослых самок поздних генераций, чего в природе не наблюдается.

Ключевые слова: байкальская нерпа *Pusa sibirica* Gm., пелагический рачок *Macrohectopus branickii*, питание, искусственное освещение

Для цитирования: Петров Е.А., Купчинский А.Б. Питание байкальской нерпы *Pusa sibirica* Gm. пелагическим рачком *Macrohectopus branickii* Dyb. в условиях искусственного освещения // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 783–798. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-783-798. EDN: UQUCMS.

* Петров Евгений Аполлонович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, evgen-p@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8976-8291; Купчинский Александр Борисович, кандидат биологических наук, директор, albor67@mail.ru, ORCID 0000-0001-8884-8636.

© Петров Е.А., Купчинский А.Б., 2024

Feeding of baikal seal *Pusa sibirica* Gm. on pelagic crustacean *Macrohectopus branickii* Dyb. in conditions of artificial lighting

Evgeny A. Petrov*, Alexander B. Kupchinsky**

*, ** Baikal Museum of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademicheskaya Street 1, Listvyanka, Irkutsk Region, 1664520, Russia

* D.Biol., principal researcher, evgen-p@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8976-8291

** Ph.D., head, albor67@mail.ru, ORCID 0000-0001-8884-8636

Abstract. Behavior of baikal seal *Pusa sibirica* Gm. at the depth of 200 m under permanent artificial illumination was filmed for the first time using stationary videocameras. Several seals found dense aggregations of prey concentrated in the illuminated sector presented mainly by adult females of pelagic crustacean *Macrohectopus branickii* Dyb. For many days, the seals actively hunted on *M. branickii*, rarely on fish, as juvenile pelagic golomyanka *Comephorus* sp. and coastal-pelagic Cottoidei. Their feeding behavior is described, as hunting techniques, methods of prey capturing, feeding activity of seals and behavior of the prey. The constant illumination disrupted natural vertical daily migrations of the crustacean and so changed the strategy of food diving for baikal seal. Based on the new obtained data, the hypothesis of Japanese scientists on decisive role of *M. branickii* in diet of baikal seal and high importance of this food resource for prosperity of the population is criticized. Such hypothesis supposes stable dense aggregations of the crustacean with abundant adult females of late generation (comparable with those under artificial light) in the pelagic layer of Lake Baikal at the depths accessible to seals, easy found by seals, but these conditions are never observed in nature.

Keywords: baikal seal, *Pusa sibirica*, crustacean, *Macrohectopus branickii*, feeding, artificial illumination

For citation: Petrov E.A., Kupchinsky A.B. Feeding of baikal seal *Pusa sibirica* Gm. on pelagic crustacean *Macrohectopus branickii* Dyb. in conditions of artificial lighting, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 783–798. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-783-798. EDN: UQUCMS.

Введение

Байкальской нерпе *Pusa sibirica* Gmelin 1788, Phocidae, обитателю пелагиали оз. Байкал, доступна по крайней мере 300-метровая толща воды [Петров и др., 1993; Stewart et al., 1996], однако нерпа предпочитает добывать себе пищу в верхнем 100-метровом слое. В Байкале пять видов пелагических рыб, и все они используются нерпой, но основу питания на протяжении всего года стабильно составляют два вида голомянок — малая *Comephorus dybowski* и большая *C. baicalensis*. Остальные пелагические рыбы, и тем более придонные и донные виды, являются добавочной пищей, доступной нерпе локально и сезонно. Использование нерпой ракообразных (Amphipoda, Gammaridae) в качестве пищи известно давно [Пастухов, 1965, 1971] и всегда оценивалось как «нехарактерное» [Пастухов, 1993; Петерфельд, Петров, 2024].

Из всего многообразия байкальских амфипод нерпы охотятся практически только на *Macrohectopus branickii* Dyb. — крупную и единственную пелагическую амфиподу в озере*, занимаются этим преимущественно сеголетки и молодые особи и то, вероятно, только при обнаружении больших скоплений рачков [Пастухов, 1993] или в случае недостатка основных объектов охоты, как это отмечали летом в акватории Ушканьих островов [Егорова и др., 1992]. Описывая распределение нерпы в период нагула, В.Д. Пастухов [1993] выделял районы в открытом Байкале, где якобы были обнаружены многотысячные скопления животных: в каждом из этих районов в приповерхностном слое озера в дневное время в массе (десятки, а иногда и сотни штук на 1 м²) регистрировались крупные особи *M. branickii* — основной пищи обоих видов голомянок, что

* По определению А.Я. Базикаловой в пищевом комке нерпы, помимо *M. branickii*, присутствовали хитиновые оболочки гаммарид *Odontogammarus* sp., *Garjajewia* sp., *Acanthogammarus* sp. [Пастухов, 1993].

привело к скоплению и нерп. За время наших наблюдений на протяжении многих лет на Байкале мы ничего подобного ни разу не наблюдали ни в отношении нерп, ни в отношении рачка.

Из анализа имеющихся публикаций можно заключить, что ракообразные (в частности *M. branickii*) могут рассматриваться в качестве дополнительного, если не вынужденного, компонента питания байкальской нерпы, причем, вероятно, при недостатке рыбной пищи [Петерфельд, Петров, 2024]. Однако в относительно недавней публикации утверждается, что благодаря значительной трофической роли *M. branickii* популяция байкальской нерпы весьма многочисленна и процветает [Watanabe et al., 2020]. Мы полагаем, что выдвинутая гипотеза недостаточно аргументирована, к тому же противоречит имеющимся представлениям о биологии и экологии *M. branickii*, в чем нас убедил анализ публикаций, касающихся амфиподы [Петров, Купчинский, 2022].

Летом 2021 г. впервые удалось документально зафиксировать факты охоты и поедания байкальской нерпой *M. branickii* на глубине 200 м и воочию наблюдать, что ИО (искусственное (электрическое) освещение) привлекает гидробионтов не только в поверхностных слоях воды, но и на значительной глубине. Рачки формируют в освещенной зоне плотные скопления, а при постоянно включенной подсветке их поведение, вероятно, независимо от времени суток меняется, о чем свидетельствует изменчивость плотности скоплений. Скопления рачков и кормящиеся нерпы были сняты на видео в освещенной тремя подводными камерами области.

Полученные материалы позволили нам несколько скорректировать представления о питания байкальской нерпы ракообразными и прояснить роль и значение этих пищевых организмов в жизни этого тюленя. Описание, анализ и интерпретация полученных оригинальных данных и стало целью настоящей статьи.

Материалы и методы

Использованы видеоматериалы, полученные с видеокамер, установленных в зал. Лиственичном на расстоянии ≈ 620 м от берега ($51^{\circ}51'46''\text{N}$ $104^{\circ}50'05''\text{E}$) на глубине 200 м (доступны на сайте www.bm.irk.ru), камеры типа H.265 50/60 fps 2MP Super Starlight IP Camera Module, модель VM0420MP5. Размер получаемого изображения 1/1,8-дюйма, фокусное расстояние — 4 мм, горизонтальный угол обзора — $94,0 \times 82,9 \times 66,5^{\circ}$, минимальная освещенность — 0,0001 Lux/F1.2 (рис. 1). Проанализированы видеоматериалы



Рис. 1. Установка видеосистемы со льда (на дальнем плане пос. Листвянка): 1 — боксы для подсветки; 2 — боксы для видеокамер (фото из архива Байкальского музея)

Fig. 1. Video system installation from the ice: 1 — boxes for lighting; 2 — boxes for video cameras. Listvyanka village is visible in the background (from archive of Baikal Museum)

териалы с 16 по 25 августа и с 7 по 9 сентября 2021 г. общей продолжительностью около 170 ч; применялись замедленное и повторное воспроизведение, для значимых сцен изготавливали стоп-кадры (метод срезов). Быстродвижущиеся объекты на стоп-кадрах получаются не всегда достаточно резкими, что не позволяет четко фиксировать детали происходящего, но общая картина представляется достаточно хорошо. В тексте мы используем следующие обозначения: L — длина рачка, мм; W — масса рачка, мг; B — биомасса; N — численность (количество); D — глубина, м; ВСМ — вертикальные суточные миграции. Данные обработаны стандартными методами вариационной статистики (Excel), приведены средняя арифметическая и ошибка средней ($\bar{X} \pm SE$), численность выборки (n), а также пределы измеряемых величин (lim) и коэффициент корреляции (r).

Результаты и их обсуждение

Прежде чем перейти к изложению результатов, приведем небольшой глоссарий основных понятий, принятых в тексте. *Суточные вертикальные миграции* (СВМ) — вертикальное перемещение гидробионтов с больших глубин (где они обитают днем) в верхние слои воды (ночные часы). В целом СВМ начинаются после заката и заканчиваются возвращением на исходную глубину до рассвета. *Миграционный комплекс* (МК) — гидробионты совершают СВМ в составе многокомпонентных комплексов, включающих в первую очередь мелкого пелагического рачка *Epischura baikalensis* и разновозрастных *M. branickii*, представителей коловраток (Rotifera), ветвистоусых (Cladocera) и других беспозвоночных, а также молодь и взрослых особей малой и большой голомянок и желтокрылки [Мельник и др., 1995; Карнаухов и др., 2016; Тахтеев и др., 2018], подробнее описано у В.В. Тахтеева с соавторами [2019]. СВМ *M. branickii* в своей основе трофические [Jung et al., 2004], но взрослые самки питаются не только зоопланктоном, но и молодь голомянок и мелкими особями сородичей [Тереза, Таращанский, 2006; Тахтеев и др., 2018].

Искусственное освещение (ИО) — любой электрический источник света, находящийся над поверхностью или под водой, освещающий и создающий ограниченную освещенную область соответственно под водой или на поверхности; ИО привлекает многих гидробионтов. Описываемые в статье скопления состояли из *M. branickii* и других ракообразных, молоди рыб (голомянок *Comephorus* sp., желтокрылки *Cottocomephorus grewinkii* и других прибрежно-пелагических Cottoidei), по размеру сопоставимых или превосходящих взрослых самок *M. branickii* (их длина 11–40 мм [Бекман, Афанасьева, 1977]), а также множества мелких беспозвоночных, не поддающихся идентификации и подсчету. В нашем случае подсветка четырех видеокамер служила источником ИО.

Основные результаты наблюдений можно свести к следующим положениям.

1. Распространение нерп и *M. branickii*. Документально подтверждено, что байкальская нерпа в летнее время осваивает прибрежные воды, обитая поблизости от берега (в данном случае на расстоянии 600 м), в том числе вдоль урбанизированного берега (пос. Листвянка) (рис. 1). Впервые задокументированные на видео активные погружения байкальской нерпы на глубину 200 м свидетельствуют о том, что и в прибрежных водах нерпы занимаются поиском пищевых объектов на больших глубинах, на свале ($D = 200$ м), причем в любое время суток. Там же зафиксировано наличие *M. branickii* не только в рассеянном виде, но и в виде плотных скоплений «роящихся» гидробионтов*, внешне напоминающих «облако» (рис. 2).

* Скопления состояли из *M. branickii* и других ракообразных, молоди рыб (*Comephorus* sp., желтокрылки *Cottocomephorus grewinkii* и других прибрежно-пелагических Cottoidei), по размеру сопоставимых и превосходящих взрослых самок *M. branickii*, а также множества мелких гидробионтов, не поддающихся идентификации и подсчету.

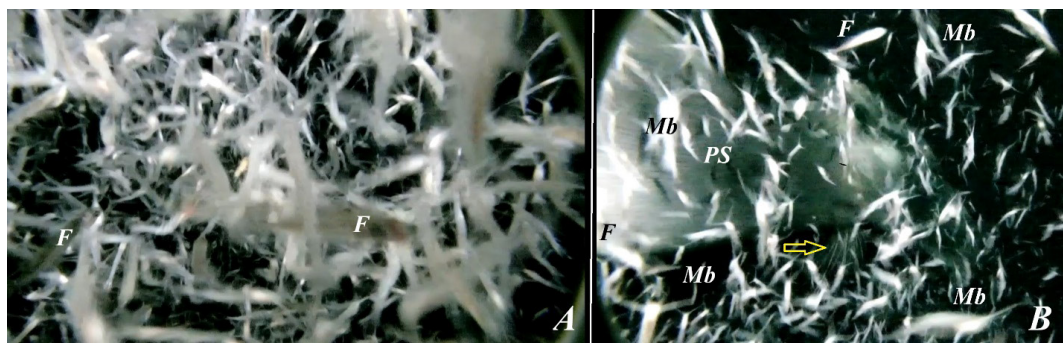


Рис. 2. Два стоп-кадра видеозаписи 1 сентября 2021 г.: **A** — фрагмент плотного «облака», состоящего преимущественно из *M. branickii* (*Mb*) и небольшого количества молоди рыб (*F*); **B** — байкальская нерпа (*PS*) выбирает жертву в «облаке» (стрелка показывает на вибриссы)

Fig. 2. Two still frames from the video record on September 1, 2021: **A** — fragment of dense «cloud» consisting mainly of *M. branickii* (*Mb*) and a small number of juvenile fish (*F*); **B** — baikal seal (*PS*) selects a prey in the «cloud» (arrow points to the vibrissae)

В поле зрения камер нередко попадали рыбы, в том числе крупные экземпляры Cottoidei; особенно много рыб было в марте и апреле, иногда нерпы охотились на них, преимущественно на рыбок, «присевших» на камни (рис. 3). Однако плотные скопления самок *M. branickii* впервые отмечены в августе. Первые нерпы (возможно, две особи), по-видимому, были привлечены светом (16 августа), но, найдя место концентрации пищевых организмов, впоследствии они буквально «паслись» около камер (в ноябре наблюдение прекращено), и их примеру последовали другие особи. Предположительно у камеры кормились одни и те же особи. Максимально в сценах охоты принимали участие до 5–6 особей, а в кадре одновременно могли фрагментарно присутствовать до 3–4 некрупных нерп, но обычно охотились 1–2 особи.

2. Поведение «облака» гидробионтов и жертв. «Облако», как правило, быстро перемещалось и могло выйти из кадра, тогда на его месте формировалось другое. «Об-

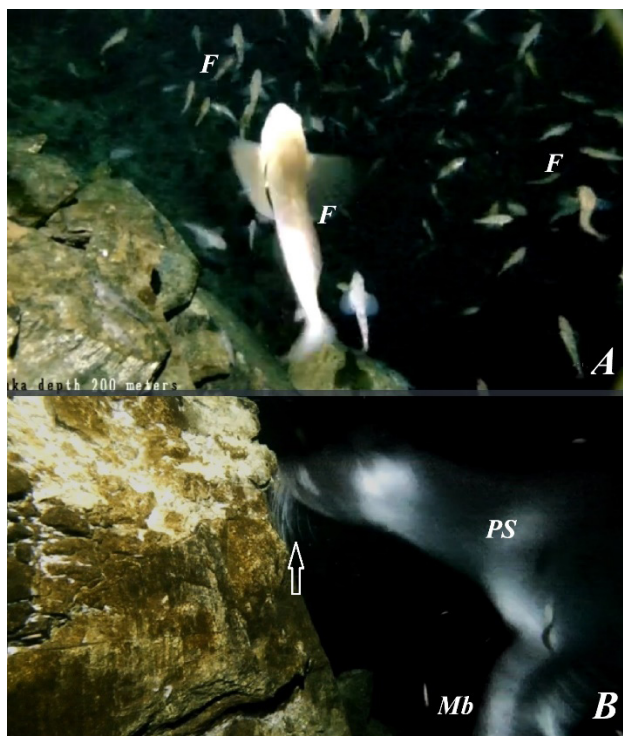


Рис. 3. Два стоп-кадра видеозаписи на глубине 200 м (2021 г.): **A** — разновозрастные рыбы Cottoidei (30 марта); **B** — байкальская нерпа, засасывающая рыбу, «присевшую» на скалу (17 августа) (обозначения как на рис. 2)

Fig. 3. Two still frames from the video record made at the depth of 200 m in 2021: **A** — Cottoidei fish of different ages (March 30); **B** — baikal seal sucking a fish settled on rock (August 17). See the legend at Fig. 2

лако» то уплотнялось (стоп-кадр становился практически белым), то стремительно рассеивалось (стоп-кадр черный). Внутри него взрослые самки рачка (они легко распознаются) находились в постоянном хаотичном движении («роении») и перемещались в разные стороны, в том числе пассивно опускались вниз, напоминая хлопья снега в тихую погоду (см. рис. 2). На стоп-кадрах одновременно присутствовало до 200–250 взрослых самок *M. branickii**. Взрослые самки *M. branickii*, маневренные, быстрые пловцы, беспорядочно активно перемещались в кадре. Изредка их немного сносило то ли течением, то ли возмущениями воды, создаваемыми проплывающими вблизи нерпами. Время от времени рачки останавливались, сгибали тело, принимая характерную позу (в виде V или ^), после чего резко выпрямлялись, и рачок устремлялся вперед, активно шевеля брюшными ножками. У жертв (*M. branickii* и молоди рыб) мы не отметили поведения, которое можно было бы оценить как избегание хищника. Гидробионты внешне никак не реагировали на появление нерпы в «облаке», но само «облако» могло несколько рассеиваться и быстро вновь уплотняться после ухода нерпы. Похоже, что гидробионты коллективно сторонились хищника, но не убегали, и мы не заметили, чтобы нерпа преследовала рачка.

Большинство опубликованных источников (а их немного) утверждают, что многие гидробионты, включая *M. branickii*, положительно реагируют на ИО [Бекман, Афанасьева, 1977; Тахтеев и др., 2004; Карнаухов и др., 2016]. Например, во время подводной видеосъемки с подсветкой на глубине 22 м численность *M. branickii* на стоп-кадрах за 10 мин увеличилась с 17 до 98 экз. [Тахтеев и др., 2004]; в ночное время в освещенной толще воды у приглубого берега наблюдали скопления, насчитывающие сотни тысяч особей на 1 м² [Камалтынов, 2001]; скопление рачков в световом пятне отмечали у поверхности воды в прибрежной зоне [Дидоренко и др., 2020]. Но имеется информация другого рода. Например, обнаруженные на глубине 10 м рачки после 20 мин воздействия ИО, как и после внезапного изменения освещения, уходили на глубину [Melnik et al., 1993; Jung et al., 2004], а при уровне освещенности воды в естественных условиях $> 10^{-4}$ люкс *M. branickii* прекращали подъем [Rudstam et al., 1992].

Численность *M. branickii* в течение суток менялась (имеются в виду главным образом хорошо различимые самки). До 5–6 час она была большой; начиная с 9 час рачков становилось заметно меньше (возможно, скопления разрежали кормящиеся нерпы); около 12–16 час численность была минимальной и сопоставимой или даже меньше, чем численность молоди рыб; после 16 час количество рачков не менялось, т.е. плотные скопления не образовывались и молоди рыб было не меньше, чем рачков; в 18–20 час сохранялась та же картина, но увеличивалась численность мелких организмов, выглядевших как «дождь». Наконец, к ночи численность *M. branickii* увеличивалась до максимума.

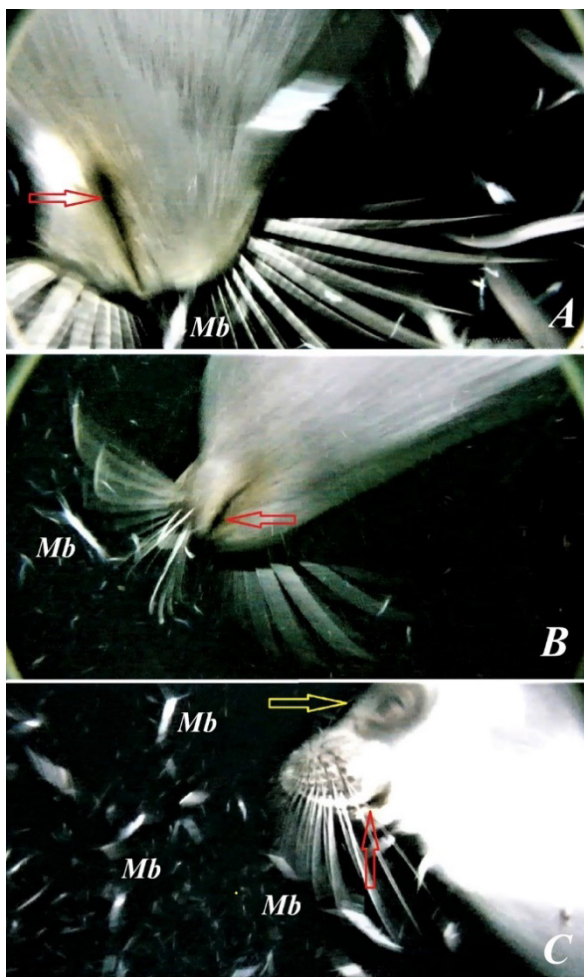
3. Тактика поимки жертвы была простой. Войдя в «облако» гидробионтов, нерпа либо возвращалась через каждые 1–2 мин, либо, если она была не одна, на смену ей появлялась другая особь. Кроме «облака», нерпы обследовали каменистое дно и скалу, вероятно, в поисках притаившихся рыбок Cottoidei старшего возраста (а не пелагической молоди). Заплывая в «облако», нерпа на небольшой скорости проплывала сквозь него и, несомненно, охотилась как на самок *M. branickii*, так и на рыбную молодь, хватая не ту жертву, которая была впереди перед носом, а ту, что находилась немного ниже, согласно нижнему расположению рта (рис. 4).

Так нерпы поступали в большинстве случаев, нормально заплывая в «облако». Под «нормальным» мы понимаем положение тела, когда нерпа заплывает в кадр животом вниз, однако положение тела в пространстве могло быть самым разным и, наверное, определялось углом атаки и положением выбранной жертвы (рис. 5). За каждое появление в свете камеры нерпа, как бы мимоходом, хватала минимум 2–3 жертвы и,

* Популяция *M. branickii* состоит из молоди (*L* 1–3 мм), молодых и взрослых самок (*L* 14–40 мм), а также карликовых взрослых самцов (*L* 3–6 мм) [Бекман, Афанасьева, 1977].

Рис. 4. Стоп-кадры видеозаписи на глубине 200 м (2021 г.): А, В, С — разные приемы подхода и захвата жертв; ротовая полость в виде щели, вибриссы расправлены, глаза открыты (обозначения как на рис. 2)

Fig. 4. Still frames from the video record made at the depth of 200 m in 2021: А, В, С — different techniques of a seal approaching and capturing the prey: the oral cavity has a slit shape, the vibrissae are straightened, the eyes are open. See the legend at Fig. 2



не задерживаясь, скрывалась в темноте. Во время охоты вибриссы нерп всегда были расправлены и топорщились в разные стороны, а глаза открыты. При захвате жертвы рот нерпы был лишь немного приоткрыт (в виде «щели», см. рис. 4), и нерпа за доли секунды засасывала жертв поодиночке, точно так же, как она поступала при поедании корма со дна бассейна при содержании в неволе, однако при скормливаниях рыбок с рук нерпы брали корм зубами.

Мы ни разу не зафиксировали захват жертвы открытой пастью и одновременный захват нескольких объектов. Нередко, чтобы захватить понравившийся объект, нерпа совершала характерный выпад головой вперед (значительно удлиняя тело) или в сторону, не меняя генерального направления движения. Также примечательно, что в условиях изобилия пищевых объектов нерпа часто проплывала мимо крупных рачков и, не обращая на них внимания, устремлялась к какой-то своей цели.

В исследовании Ватанабе с соавторами [Watanabe et al., 2020] очень важную роль играет ускорение нерп, однако на наших видеокдрах (значительно лучшего качества) во время охоты нерп мы такового вообще не наблюдали, наверное, просто потому, что у нерп не было в нем нужды. Наоборот, попадая в «облако», нерпы замедлялись, отчего у наблюдателя возникало впечатление, что звери кормились лениво, нехотя. Это свидетельствует о том, что ускорения могли быть связаны с чем угодно, но если все же с питанием, то результаты ускорений неизвестны. Также можно предположить, что нерпы охотились не в скоплениях рачков, а на разреженных особей, что увеличивает скепсис в отношении приводимых оценок добычи.

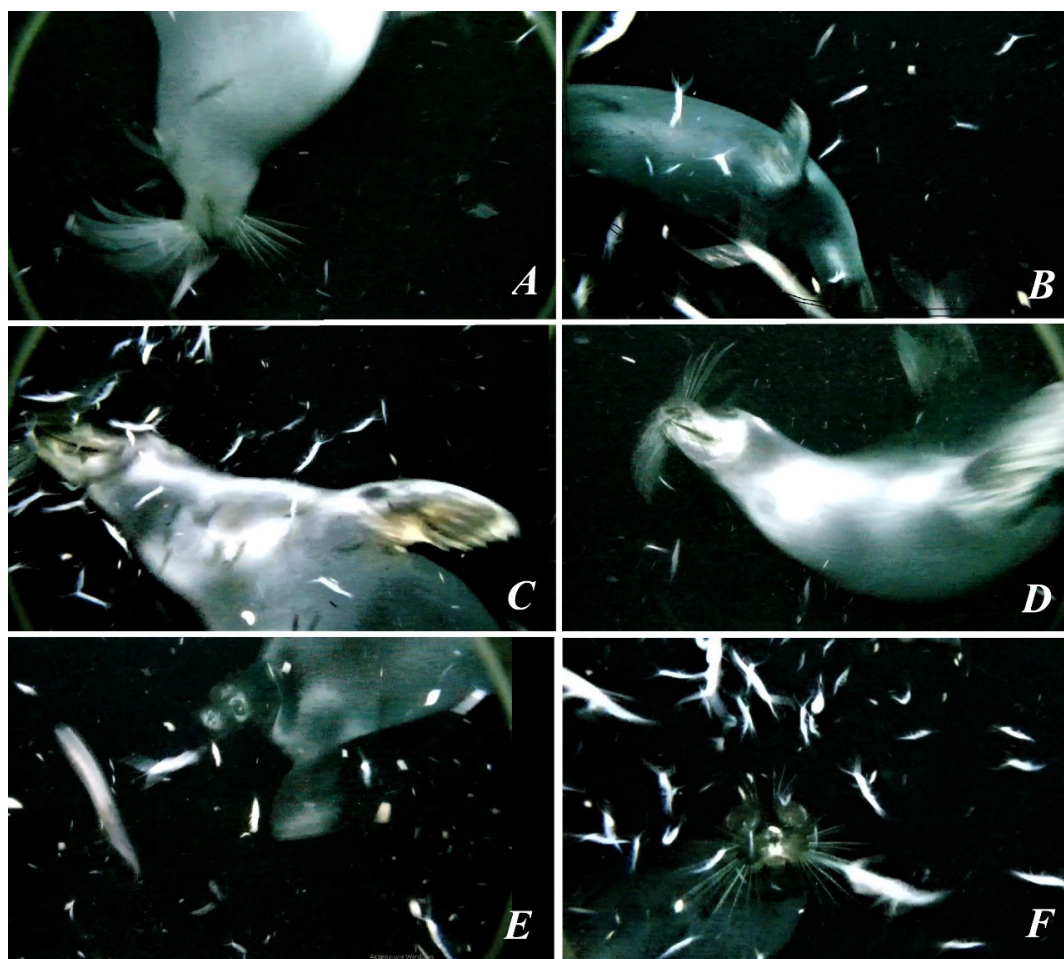


Рис. 5. Различные способы поимки жертв (А–F). На фото из гидробионтов присутствуют только самки *M. branickii*; выбраны фото-срезы с их минимальным количеством в кадре, чтобы рачки не загромождали происходящее

Fig. 5. Various methods of prey catching by a seal (A–F). The prey are presented by female *M. branickii*; photo sections with small number of crustaceans in the frame are selected for better view

Наблюдаемые нами нерпы обязательно прерывали свою трапезу на вентиляцию легких. Отсутствие в течение 30 мин отлучек длительностью > 1 мин можно объяснить не тем, что кормящиеся нерпы не дышали 30 мин (это возможно, но очень сомнительно), а тем, что они выбрали «челночную» стратегию: вероятно, нерпы быстро всплывали с глубины на поверхность и, затратив на вентиляцию легких минимальное время, возвращались к «кормушке». За 30 мин достаточно было совершить 2–3 подобных путешествия. Количество длительных уходов (> 1 мин) нерп было разным — от 0 до 7 за время наблюдения и не зависело от времени суток (табл. 1, 2).

Согласно экспериментальным данным, в природных условиях скорость плавания байкальской нерпы различалась в дневное и ночное время, а также при погружении, всплытии и на «полке» (максимальной глубине, после достижения которой животное всплывает), колеблясь от 0,8 до 1,2 м/с, а при ускорении за 7 с нерпа преодолела 11 м пути [Watanabe et al., 2004], т.е. скорость составляла $\approx 1,6$ м/с. Если для расчетов использовать максимальную среднюю скорость плавания (1,2 м/с), то нерпе, чтобы всплыть и вернуться к месту кормежки на глубину 400 м понадобится почти 6 мин, при скорости ускорения $\approx 4,5$ мин. За все время наблюдения такую продолжительную отлучку мы наблюдали один раз (табл. 1, 2). Поскольку мы предполагаем, что кормились одни и те

Таблица 1

Пищедобывательная активность нерп в зоне искусственного освещения
на глубине 200 м 1 сентября 2021 г.

Table 1

Feeding activity of seals in the sector of artificial lighting at the depth of 200 m
on September 1, 2021

Период времени (час:мин)	Интервал между подходами, с (<i>lim</i>)	Кол-во появлений в кадре за период наблюдения (раз/мин)	Кол-во кормящихся нерп, шт.	Продолжительность отлучек > 1 мин*, с (<i>n</i> ; <i>max</i>)
0:00–0:30	20,0 ± 2,1 (2–78)	65 (2,2)	1	184 ± 65 (2; 249)
0:30–1:00	18,0 ± 1,5 (3–60)	76 (2,5)	1	160,0 ± 42,8 (3; 237)
3:00–3:30	15,0 ± 1,8 (1–59)	48 (1,6)	2	204,0 ± 50,3 (5; 323)
6:00–6:30	10,0 ± 0,7 (1–53)	131 (4,4)	3	108 (2)
9:00–9:15	7,0 ± 0,4 (1–36)	127 (8,5)	4	0
12:00–12:15	13,0 ± 1,1 (1–40)	67 (4,5)	1	0
15:00–15:15	15,0 ± 1,1 (2–43)	61 (4,1)	2	0
19:00–19:15	9,0 ± 0,8 (1–39)	88 (5,9)	4	79 (1)
22:00–22:15	15,0 ± 1,6 (3–48)	45 (3,0)	2	106 ± 42 (2; 148)

* Здесь и в табл. 2 эти периоды, вероятно, время всплытия, вентиляции легких и нового погружения, не учитывались при статистической обработке.

Таблица 2

Пищедобывательная активность нерп в зоне искусственного освещения
на глубине 200 м 5 сентября 2021 г.

Table 2

Feeding activity of seals in the sector of artificial lighting at the depth of 200 m
on September 5, 2021

Период времени (час:мин)	Интервал между подходами, с (<i>lim</i>)	Кол-во появлений в кадре за период наблюдения (раз/мин)	Кол-во кормящихся нерп, шт.	Продолжительность отлучек > 1 мин, с (<i>n</i> ; <i>max</i>)
0:00–0:30	18,0 ± 2,3 (2–43)	29 (1,0)	1	149,0 ± 24,7 (6; 233)
0:30–1:00	18,0 ± 1,4 (2–60)	76 (2,5)	1	237 (1)
3:00–3:30	17,0 ± 1,6 (2–60)	62 (2,1)	2	127,0 ± 21,8 (5; 207)
6:00–6:30	17,0 ± 1,9 (2–50)	50 (3,3)	3	147,0 ± 24,6 (7; 268)
9:00–9:15	–	–	0	–
12:00–12:15	–	–	0	–
15:00–15:15	13,0 ± 1,4 (1–45)	42 (2,8)	2	72,0 ± 5,7 (3; 83)
19:00–19:15	16,0 ± 2,4 (2–55)	31 (2,1)	1	207,0 ± 2,0 (2; 209)
22:00–22:15	14,0 ± 2,0 (3–40)	19 (1,3)	1	277,0 ± 183,5 (2; 460)

же особи, то скорость плавания нерп (при всплытии и погружении) была значительно больше определенной японскими учеными. Она должна была составлять 20–25 км/ч, т.е. 5,6–6,9 м/с. Такая скорость для горизонтального плавания приводится в исследованиях В.Д. Пастухова [1993].

4. Суточная активность нерп различалась, однако оценить ее довольно сложно. К примеру, 21 августа с раннего утра одновременно охотились несколько особей:

к каждой камере отмечали до 15–20 подходов в минуту, нерпы, как в «карусели», появлялись в кадре, но соблюдалась ли при этом «очередь» — сказать трудно. К 10 час активность животных уменьшилась, однако причины этого феномена непонятны: либо потому что «облако» почти рассеялось, либо из-за того, что некоторые особи ушли, либо присутствуют оба фактора.

Опишем суточную активность кормящихся нерп на примере двух дней наблюдений. 1 сентября с 0 до 1 час в кадре была одна особь, она подходила к месту кормления каждые 18–20 с, т.е. по 2,2–2,5 раза/мин, и при этом 5 раз надолго покидала место съемки, дважды — больше чем на 4 мин (см. табл. 1).

В интервале с 3 час до 3 час 30 мин нерп стало две, соответственно, время между подходами к месту кормежки сократилось до 15 с. Нерпы 5 раз отлучались надолго, в среднем на 204 с, а одна из них отсутствовала 5,4 мин, поэтому общее количество появлений нерп в кадре составило всего 48 (1,6 раза), т.е. в пересчете на одну нерпу в среднем 24 раза (0,8 раза/мин).

В период с 6 час до 6 час 30 мин мы фиксировали 3 нерпы одновременно. Минимум одна особь появлялась в кадре каждые 10 с, а общее количество появлений в кадре составило 131, или в пересчете на одну нерпу в среднем ≈ 44 , или $\approx 1,5$ раза/мин. При этом зафиксировано всего 2 длительные отлучки. С 9 час до 9 час 15 мин нерп стало четыре и в кадре они появлялись каждые 7 с, т.е. 32 раза/мин, эти особи надолго (> 60 с) не отрывались от процесса кормления в течение 15 мин. Потом нерпы ушли (предположительно насытившись), а с 12 час до 12 час 15 мин мы фиксировали только одну особь, которая появлялась через каждые 13 с, т.е. 4,5 раза/мин. Днем, в интервале 15 час — 15 час 30 мин, кормились две нерпы, и их активность была выше, чем двух нерп ночью (3:00–3:30). При одинаковой частоте подходов (табл. 1) общее количество появлений в кадре за период исследования было на 27 % больше, а в пересчете на одну особь — почти в 2 раза больше (1,5 раза/мин). Такая разница объясняется отсутствием продолжительных пауз в кормлении (табл. 1).

Вечером мы снова наблюдали кормление предположительно четырех нерп. Сравнение активности этих животных с утренним квартетом (9:00–9:15) показало, что пищевая активность нерп в сумерках была ниже, чем утром: частота подходов была достоверно меньше ($t_d = 2,25$, при $p = 0,05$); количество появлений в кадре за период наблюдений вечером также было меньше — суммарно на 44 %, в пересчете на одну особь — на 40 % (соответственно $\approx 2,1$ и $\approx 1,5$ раза/мин). При этом вечером отмечена только одна отлучка продолжительностью > 1 мин (табл. 1). Поздним вечером (22:00–22:15) две нерпы приходили на кормежку с той же частотой, что и два других дуэта (каждые 15 с), появляясь в кадре 1,5 раза/мин, т.е. так же как и днем (в 15:00–15:30), но вдвое реже, чем ночью в 3 час — 3 час 30 мин.

Активность кормящихся нерп 5 сентября представлена в табл. 2. Очевидно большее сходство в показателях двух ночных периодов наблюдения, когда кормилась одна нерпа, с данными за 1 сентября. Незначительные различия имеются и в двух периодах (притом что количество нерп 1 и 5 сентября в это время было одинаковым). Однако 5 сентября в 9 час — 9 час 15 мин и в 12 час — 12 час 15 мин, в отличие от 1 сентября, нерпы не появлялись. 5, как и 1 сентября, в 15 час — 15 час 15 мин кормились две нерпы, но в первом случае нерпа трижды уплывала, хотя и ненадолго, что сказалось на среднем показателе активности: при меньшем интервале между подходами в поле зрения камеры нерпы появлялись 1,4 раза/мин, а не $\approx 2,0$ раза/мин. Если из времени наблюдения вычесть время, когда нерпа отсутствовала (уплывала, условно не кормилась — 216 с), то время кормления составит $(15,0 - 4,5) = 10,5$ мин, а частота подходов каждой особи увеличится до 2/мин. В вечерние часы кормилась одна нерпа, в оба периода она по 2 раза уплывала в среднем более чем на 3 мин (табл. 2). Если проделать те же манипуляции, то в период 19 час — 19 час 15 мин нерпа питалась 8,1 мин и количество подходов составляло $31,0/8,1 = 3,8$ /мин, а в 22 час — 22 час 15 мин — соответственно 5,8 мин и 3,3/мин.

Представив данные таблиц графически, мы увидим, что и 1, 2 сентября в течение суток у нерп было 2 пика пищевой активности: в первом случае около полночи и около полудня, во втором — пики сдвинулись и пришлись на вечернее и ночное время (рис. 6). Причиной сдвига, вероятно, стало отсутствие нерп 5 сентября в дневное время. В ночное время, когда численность *M. branickii* обычно становилась максимальной (вопреки обычному характеру СВМ), нерпы продолжали охотиться, но делали это лениво, без азарта, их движения становились более плавными, замедленными. Такое пищевое поведение мы расцениваем как состояние достижения сытости.

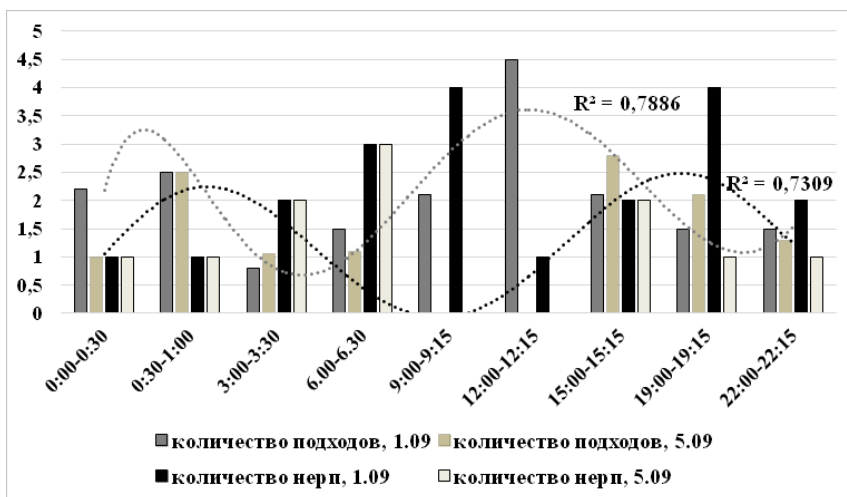


Рис. 6. Количество подходов байкальских нерп к месту кормежки и количество кормящихся особей в разное время суток 1 и 5 сентября 2022 г.

Fig. 6. Number of the baikal seal approaches to the feeding site and number of feeding seals on September 1 and 5, 2022, by times of the day

Известно, что СВМ *M. branickii* начинаются в сумерках и следующие 3 ч отмечают пик активности рачков [Тахтеев, Дидоренко, 2015]. В октябре подъем гидробионтов начался в 18 час [Melnik et al., 1993] и к 24 час рачки достигли верхнего 50-метрового слоя [Jung et al., 2004]. По данным гидроакустической съемки взрослые самки к 19–20 час почти полностью покидали 150–190-метровый горизонт воды, где находились до начала СВМ, в 22–23 час — концентрировались на *D* 50–150 м, а в 2–4 час на *D* 50–100 м они составляли 55 % численности всех особей. К рассвету рачки отправлялись в обратный путь, в 7–8 час взрослые самки отмечены на глубине 100–150 м, и только в 14–15 час — на исходных глубинах 150–190 м [Melnik et al., 1993].

Наши данные показывают, что ИО полностью нарушило нормальное протекание СВМ рачков и это отразилось на ныртельном (пищевом) поведении нерп (рис. 6).

5. Временная активность нерп. Вне зависимости от наличия скоплений гидробионтов («облака») нерпы в поле зрения камер присутствовали непостоянно, что не исключает их нахождения в непосредственной близости: очень часто на видео можно было заметить скользящие тени нерп в неосвещенном пространстве. Например, 24 августа к плотному «облаку» за весь день нерпы не подходили ни разу, но они появились утром следующего дня и начали кормиться.

6. Количественные оценки питания. По наблюдениям за время нахождения в кадре каждая нерпа поедала по несколько пищевых объектов (рачков и/или рыбок) и отплывала в сторону, возможно, оставаясь на периферии «облака». Одиночные нерпы появлялись в кадре до 4,5 раза в минуту (см. табл. 1, 2), т.е. оставались в кадре иногда всего несколько секунд, после чего исчезали из поля зрения. В таком ритме нерпы поедали от 3 до 14 рачков за минуту. Примечательно, что хищник не задерживался в «облаке», а, проглотив добычу, покидал чрезвычайно богатую пищевыми объектами локацию с тем, чтобы вскоре вернуться обратно.

Свободно плавающие нерпы ночью (когда рачки должны быть в верхних горизонтах воды) также охотились на отдельных особей *M. branickii*, успевая поймать в среднем по 78 ± 45 ($\pm SD$) рачков и только по $2,3 \pm 3,2$ рыбы за одно погружение, продолжительностью около 10 мин (всего их было 17). Максимальное количество съеденных рачков составляло 154 особи, и в этом случае каждые 2,5 с нерпа поедала рачка, т.е. она должна была охотиться в плотном скоплении [Watanabe et al., 2020]. Авторы утверждают, что охота на рачков всегда была успешной, в отличие от охоты на рыб, но при этом сам момент схватывания они наблюдать не могли (<https://www.pnas.org/content/117/49/31242>). Согласно показаниям прикрепленного к телу нерпа акселерометра, фиксирующего, кроме прочего, ускорения (изменение скорости или направления движения), которые принимали за охоту на *M. branickii*, среднее количество пойманных рачков составило 57 особей за погружение (lim 42–89; $n = 1036$ погружений, в основном в ночное время). В этом случае вообще исключалось подтверждение как причины ускорения, так и результативности охоты (если это была она). Ранее на основании разной скорости плавания нерп при дневных и ночных погружениях предположили, что днем нерпа охотится на рыб, используя зрение, а ночью — на ракообразных с помощью вибрисс [Watanabe et al., 2004]. На наш взгляд, довольно странная гипотеза. Давно известно, что нерпы даже при содержании в бассейне для поиска и поимки рыбы задействуют оба анализатора и координируют нырятельное поведение в зависимости от освещения и физического состояния пищевых объектов [Петров, 2003].

Если пролонгировать наши данные на 10-минутное погружение, то результаты получатся близкие: нерпы поедали по 30–140 рачков за погружение. Однако если в нашем случае мы имеем картину кормежки нерп в «облаке» рачков, т.е. при очень большой локальной плотности пищевых объектов, то Ватанабе с соавторами [2020] никаких скоплений *M. branickii* не наблюдали, и, судя по контексту, животные активно искали пищу в течение всего погружения, при этом им приписывают сверхбыстрые скорости добычи корма.

Методы «экстраполяции», многочисленные допуски и домыслы, а также не критичное отношение к опубликованным данным, продемонстрированные в исследовании Ватанабе с соавторами [2020], вызывают много вопросов. Всего один пример. Для подкрепления своей гипотезы исследователи приводят данные В.Д. Пастухова [1993] о нахождении у трех молодых нерп (у трех из многих тысяч особей, прошедших через его руки) в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) от 300 до 700 г *M. branickii*. Совершенно очевидно, что по хитиновым фрагментам (которых в ЖКТ на самом деле остается совсем немного) восстановить массу съеденных рачков невозможно и принимать на веру упомянутые данные нельзя. Для нас также очевидна нереальность приведенных величин. Указанная масса рачков соответствует 6667–15556 особям при массе одной взрослой самки рачка 45 мг. В природе агрегации *M. branickii* имеют смешанный состав и средние навески рачков намного меньше 45 мг [Петров, Купчинский, 2022].

Заключение

Анализ опубликованных ранее данных показывает, что все материалы были получены из кратковременных наблюдений, проведенных на небольших глубинах или в поверхностном слое, и наше сообщение о глубоководных скоплениях рачков в условиях ИО, вероятно, является первым. Наши наблюдения демонстрируют, что даже невдалеке от берега на 200-метровой глубине *M. branickii* присутствуют, а при ИО проявляют положительный фототаксис, создавая в освещенном поле плотные агрегации в любое время суток.

Впервые подробно описано, как байкальская нерпа охотится на *M. branickii*. Когда нерп было несколько, они подплывали в освещенное поле с одной стороны и шли вереницей, не задерживаясь в кадре; одиночно кормящаяся нерпа могла появиться с любой стороны. Общая активность охоты, измеряемая количеством подходов в освещенную зону, была высокой. При одновременной охоте нескольких особей нерпы использовали тактику «карусели», поочередно заплывая в «облако» рачков. Несомненно, что при охоте

нерпы используют вибриссы, а в условиях ИО — и зрение, при этом жертвы поедаются поодиночке, путем мгновенного засасывания в чуть приоткрытую ротовую полость.

При постоянном (очень длительном) ИО необходимость следовать за пищевыми объектами отпадает, и это может быть причиной наблюдаемых нами нарушений СВМ *M. branickii*. В отсутствие ИО в ночное время количество *M. branickii* на глубине 200 м должно быть по крайней мере меньше, чем в дневное. Но при ИО картина почти обратная. Кроме того, в условиях постоянной подсветки численность *M. branickii* в освещенной области могла быстро и значительно меняться, иногда — на порядки.

Даже в условиях обилия кормовых организмов нерпы кормятся не постоянно, т.е. предположительно они достигают состояния сытости, поэтому распространять полученные в эксперименте результаты на большие отрезки времени некорректно. Меняется пищедобывательная активность нерпы и в течение суток, и, вероятно, существуют два пика активности — в середине ночи и в середине дня.

Продолжительные отлучки нерп мы расцениваем как всплытия к поверхности для вентиляции легких, при этом U-образный профиль ныряний нерп [Watanabe et al., 2004, 2020] изменился на V-образный, не предполагающий ни долгого поиска пищи, ни продолжительной вентиляции легких. Кроме этого, нерпы демонстрировали не свойственный им суточный ритм погружений — независимо от времени суток они регулярно достигали 200 м глубины (что в обычных условиях случается не часто), иногда не всплывая к поверхности в течение 15 мин.

По международному признанию из всех тюленей, обитающих во внутренних водоемах, только байкальская нерпа отнесена к категории LC (Least Concern) — вызывающая наименьшее беспокойство [Goodman, 2016, <https://www.iucnredlist.org>]. Сравнивая удельную численность популяции байкальской нерпы с таковой других видов (она на порядки больше в перерасчете на единицу площади акватории), японские исследователи пытаются объяснить этот «очевидный парадокс» тем, что байкальские нерпы питаются «чрезвычайно обильным *M. branickii*» [Watanabe et al., 2020]. Оставив на совести авторов утверждение о «чрезвычайной обильности», мы можем заключить, что если описанное пищевое поведение нерп в отношении *M. branickii* при ИО соответствовало бы природным условиям, то предположить нечто подобное было возможно. Но это далеко не так.

Бесспорно, благополучие байкальской нерпы объясняется комплексом биотических и абиотических условий ее существования, исторически сложившихся в регионе и в оз. Байкал, а не сомнительной обильностью самок *M. branickii*. Несостоятельность выдвинутой гипотезы с позиций имеющихся сведений о распространении, численности, биомассе, структуре популяции и образе жизни *M. branickii* показана ранее [Петров, Купчинский, 2022].

Таким образом, полученные нами данные в очередной раз подтверждают возможность потребления байкальской нерпой пелагического рачка *M. branickii*, но весомым вкладом в питание нерпы эта малокалорийная пища могла быть только при выполнении минимум трех условий: если нерпы постоянно (регулярно, ежедневно) питались бы в «облаке» рачков, подобном описанному нами; если «облака» состояли исключительно из взрослых самок старших генераций; если нерпы могли бы регулярно находить такие скопления. Ни одно из этих допущений в природных условиях, по нашему мнению, немыслимо.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность техническому персоналу, обеспечивавшему видеосъемку и передачу информации в музей.

The authors are grateful to the technical staff who provided video recording and transferred the records to the museum.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной

Сибири». В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования «Научно-экспедиционный центр Байкал» (<https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3213559>).

The study was conducted in the framework of budget project No. 121032900077-4 «Ecological diagnostics of changes in some elements of biogeocenoses in the territory of East Siberia». Equipment of the Center for Collective Use «Scientific Expeditionary Center Baikal» (<https://ckp-rf.ru/catalog/ckp/3213559>) was used for the study.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

Вклад авторов (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Вклад авторов равнозначный.

Both authors made equal contribution to the article.

Список литературы

Бекман М.Ю., Афанасьева Э.Л. Распределение и продукция макрогектопуса // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость : сб. статей. — Новосибирск : Наука, 1977. — Т. 19(39). — С. 76–98.

Дидоренко С.И., Ботвинкин А.Д., Тахтеев В.В. Новая трофическая связь в экосистеме Байкала: пелагические бокоплавы *Macrohectopus branickii* (Crustacea, Amphipoda) и летучие мыши *Myotis petax* (Mammalia, Chiroptera) // Зоол. журн. — 2020. — Т. 99, № 10. — С. 1140–1147. DOI: 10.31857/S0044513420100050.

Егорова Л.И., Елагин О.К., Иванов М.К. и др. Питание байкальской нерпы: состояние проблемы. 1. Метод и результаты исследования питания в конце 80-х гг. // Сибир. биол. журн. — 1992. — № 4. — С. 40–47.

Камалтынов Р.М. Амфиподы (Amphipoda: Gammaroidea) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. — Т. 1 : Озеро Байкал. — Новосибирск : Наука, 2001. — Кн. 1. — С. 572–831.

Карнаухов Д.Ю., Тахтеев В.В., Мишарин А.С. Особенности структуры ночного миграционного комплекса гидробионтов в различных участках озера Байкал // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Серия: Биология. Экология. — 2016. — Т. 18. — С. 87–98.

Мельник Н.Г., Тимошкин О.А., Сиделева В.Г. Распределение *M. branickii* и некоторые особенности его морфологии // Атлас и определитель пелагиобиев Байкала (с краткими очерками по их экологии). — Новосибирск : Наука, 1995. — С. 511–522.

Пастухов В.Д. Нерпа Байкала. Биологические основы рационального использования и охраны ресурсов : моногр. — Новосибирск : ВО Наука, Сибирская издательская фирма, 1993. — 262 с.

Пастухов В.Д. О концентрации, распределении и питании нерпы: Селенгинский район // Лимнология придельтовых пространств Байкала. — Л. : Наука, 1971. — С. 278–286.

Пастухов В.Д. Питание байкальского тюленя // Лимнологические исследования Байкала и некоторых озер Монголии : Тр. Лимнологического ин-та СО АН СССР. — 1965. — Т. 6(26). — С. 152–163.

Петерфельд В.А., Петров Е.А. Питание байкальской нерпы и ее роль в трофической структуре экосистемы Байкала // Тр. ВНИРО. — 2024. — Т. 197. — С. 43–59. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-197-43-59.

Петров Е.А. Байкальская нерпа (эколого-эволюционные аспекты) : дис. ... д-ра биол. наук. — Улан-Удэ : БГУ, 2003. — 364 с.

Петров Е.А., Купчинский А.Б. Ракообразные в питании байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gm.). 1. Обзор литературы // Байкальский зоологический журнал. — 2022. — № 2(32). — С. 105–114.

Петров Е.А., Сиделева В.Г., Стюарт Б., Мельник Н.Г. Питание байкальской нерпы: состояние проблемы. 5. Нырательное поведение и экология питания // Сибирский биологический журнал. — 1993. — № 6. — С. 32–40.

Тахтеев В.В., Аров И.В., Мишарина Е.А. и др. Структура зоопланктона и ночного миграционного комплекса бентосных амфипод в районе Большого Ушканьего острова (оз. Байкал) в темное время суток (июнь-июль) // Изв. Иркутск. гос. ун-та. Серия: Биология. Экология. — 2018. — Т. 23. — С. 54–67. DOI: 10.26516/2073-3372.2018.23.54.

Тахтеев В.В., Дидоренко С.И. Фауна и экология бокоплавов : учеб. пособие. — Иркутск : Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. — 115 с.

Тахтеев В.В., Карнаухов Д.Ю., Говорухина Е.Б., Мишарин А.С. Суточные вертикальные миграции гидробионтов в прибрежной зоне оз. Байкал // Биология внутренних вод. — 2019. — № 2-1. — С. 50–61. DOI: 10.1134/S0320965219020141.

Тахтеев В.В., Левашкевич А.М., Говорухина Е.Б. О влиянии искусственного освещения на интенсивность ночных вертикальных миграций амфипод озера Байкал // Экология. — 2004. — № 6. — С. 468–470.

Тереза Е.П., Тарашанский Б.А. Исследование внутрисуточных изменений подводной освещенности, миграций и ритмов питания пелагических беспозвоночных в озере Байкал // 9-й съезд гидробиол. о-ва РАН : тез. докл. — Тольятти : ИЭВБ РАН, 2006. — Т. 2. — С. 186.

Jung J., Hojnowski C., Jenkins H. et al. Diel vertical migration of zooplankton in lake Baikal and its relationship to body size // Ecosystems and natural resources of mountain regions. — Novosibirsk : Nauka, 2004. — P. 131–140.

Melnik N.G., Timoshkin O.A., Sideleva V.G. et al. Hydroacoustic measurement of the density of the Baikal macrozooplankton *Macrohectopus branickii* // Limnol. Oceanogr. — 1993. — Vol. 38, № 2. — P. 425–434. DOI: 10.4319/lo.1993.38.2.0425.

Rudstam L.G., Melnik N.G., Timoshkin O.A. et al. Diel dynamics of an aggregation of *Macrohectopus branickii* (Dyb.) (Amphipoda, Gammaridae) in the Bargusin bay, lake Baikal, Russia // J. Great Lakes Res. — 1992. — Vol. 18, Iss. 2. — P. 286–297.

Stewart B., Petrov E., Baranov E. et al. Seasonal movements and dive patterns of juvenile Baikal seals, *Phoca sibirica* // Mar. Mamm. Sci. — 1996. — Vol. 12, № 4. — P. 528–542. DOI: 10.1111/j.1748-7692.1996.tb00065.x.

Watanabe Y., Baranov E.A., Sato K. et al. Foraging tactics of Baikal seals differ between day and night // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2004. — Vol. 279. — P. 283–289. DOI: 10.3354/meps279283.

Watanabe Y.Y., Baranov E.A., Miyazaki N. Ultrahigh foraging rates of Baikal seals make tiny endemic amphipods profitable in Lake Baikal // Proc. Natl Acad. Sci. — 2020. — Vol. 117, № 49. — P. 31242–31248. DOI: 10.1073/pnas.2014021117.

References

Bekman, M.Yu. and Afanasyeva, E.L., Distribution of products and macrohectopus, in *Sb. Statey "Biologicheskaya produktivnost' pelagialy Baykala i yeye izmenchivost'"* (Collection of Papers "Biological productivity of the Baikal pelagic zone and its variability"), Novosibirsk: Nauka, 1977, vol. 19(39), pp. 76–98.

Didorenko, S.I., Botvinkin, A.D., and Takhteev, V.V., A new, original trophic relationship in the Lake Baikal ecosystem: the pelagic amphipod, *Macrohectopus branickii* (Crustacea, Amphipoda) and *Myotis petax* bats (Mammalia, Chiroptera), *Zool. Zh.*, 2020, vol. 99, no. 10, pp. 1140–1147. doi 10.31857/S0044513420100050

Egorova, L.I., Elagin, O.K., Ivanov, M.K., Kazachishina, I.J., and Petrov, E.A., Feeding of the Baikal seal: state of the problem. 1. The method and results of feeding studies at the end of the eighties, *Sibir. biol. Zhurn.*, 1992, vol. 4, pp. 40–47.

Kamaltynov, R.M., Amphipods (Amphipoda: Gammaroidea), in *Annotirovannyi spisok fauny ozera Baykal i yego vodosbornogo basseyna. T. 1: Ozero Baykal* (An annotated list of the fauna of Lake Baikal and its drainage basin, vol. 1: Lake Baikal), Novosibirsk: Nauka, 2001, pp. 572–831.

Karnaikhov, D.Yu., Takhteev, V.V., and Misharin, A.S., Structural features of the nocturnal migratory complex of hydrobionts in different parts of Baikal Lake, *Izv. Irkutsk. Gos. Univ., Ser.: Biologiya. Ekologiya*, 2016, vol. 18, pp. 87–98.

Melnik, N.G., Timoshkin, O.A., and Sideleva, V.G., Distribution of *M. branickii* and some features of its morphology, *Guide and key to pelagic animals of Baikal*, Novosibirsk: Nauka, 1995, pp. 511–522.

Pastukhov, V.D., *Nerpa Baykala. Biologicheskiye osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany resursov* (Baikal seal. Biological foundations of rational use and protection of resources), Novosibirsk: Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma, 1993.

Pastukhov, V.D., On the concentration, distribution and nutrition of seals: Seleginsky district, in *Limnologiya pridel'tovykh prostranstv Baykala* (Limnology of the deltaic spaces of Lake Baikal), Leningrad: Nauka, 1971, pp. 278–286.

Pastukhov, V.D., Diet of the Baikal seal, in *Limnologicheskiye issledovaniya Baykala i nekotorykh ozer Mongolii* (Limnological studies of Baikal and some lakes of Mongolia), *Tr. Limnologicheskogo in-ta Sibirskogo Otdeleniya Akademii Nauk SSSR*, 1965, vol. 6(26), pp. 152–163.

Peterfeld, V.A. and Petrov, E.A., Nutrition of the Baikal seal and its role in the trophic structure of the Baikal ecosystem, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 197, pp. 43–59. doi 10.36038/2307-3497-2024-197-43-59

Petrov, E.A., Baikal seal (ecological and evolutionary aspects), *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Ulan-Ude: Baikal. Gos. Univ., 2003.

Petrov, E.A. and Kupchinsky, A.B., Crustaceans in the diet of the Baikal seal (*Pusa sibirica* Gm.). 1. Literature review, *Baykal'skiy zoologicheskii zhurnal*, 2022, no. 2(32), pp. 105–114.

Petrov, E.A., Sideleva, V.G., Stewart, B., and Melnik, N.G., Feeding of the Baikal seal: state of the problem. 5. Diving behavior and nutritional ecology, *Sibirskiy biologicheskii zhurnal*, 1993, no. 6, pp. 32–40.

Takhteev, V.V., Arov, I.V., Misharina, E.A., Govorukhina, E.B., Eropova, I.O., and Batranin, D.A., Zooplankton Structure and Structure of Nocturnal Migratory Complex of Benthic Amphipods in Bol'shoi (Large) Ushkany Island Area (Lake Baikal) at Night Time (June-July), *Izv. Irkutsk. Gos. Univ., Ser.: Biologiya. Ekologiya*, 2018, vol. 23, pp. 54–67. doi 10.26516/2073-3372.2018.23.54

Takhteev, V.V. and Didorenko, S.I., *Fauna i ekologiya bokoplavov* (Fauna and ecology of amphipods), Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk, 2015.

Takhteev, V.V., Karnaukhov, D.Y., Govorukhina, E.B., and Misharin, A.S., Diel vertical migrations of hydrobionts in the coastal area of Lake Baikal, *Inland water biology*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 178–189. doi 10.1134/S1995082919020147

Takhteev, V.V., Levashkevich, A.M., and Govorukhina, E.B., On the influence of artificial lighting on the intensity of night vertical migrations of amphipods of Lake Baikal, *Ekologiya*, 2004, no. 6, pp. 468–470. doi 10.1134/S1995082919020147

Teresa, E.P. and Tarashchansky, B.A., Study of intraday changes in underwater fluid, migration and feeding rhythms of pelagic invertebrates in Lake Baikal, in *Tezisy dokl. 9-go s'yezd gidrobiol. o-va RAN* (Proc. 9th Congress of Hydrobiol. Society of the Russian Academy of Sciences), Tolyatti: Inst. Ekol. Volzhskogo Basseina, Ross. Akad. Nauk, 1994, vol. 2, pp. 186.

Jung, J., Hojnowski, C., Jenkins, H., Ortiz, A., Brinkley, C., Cadish, L., Evans, A., Kissenger, P., Ordal, L., Osipova, S., Smith, A., Vredeveld, B., Hodge, T., Kohler, S., Rodenhouse, N., and Moore, M., Diel vertical migration of zooplankton in lake Baikal and its relationship to body size, *Ecosystems and natural resources of mountain regions*, Novosibirsk: Nauka, 2004, pp. 131–140.

Melnik, N.G., Timoshkin, O.A., Sideleva, V.G., Pushkin, S.V., and Mamylov, V.S., Hydroacoustic measurement of the density of the Baikal macrozooplankton *Macrohectopus branickii*, *Limnol. Oceanogr.*, 1993, vol. 38, no. 2, pp. 425–434. doi 10.4319/lo.1993.38.2.0425

Rudstam, L.G., Melnik, N.G., Timoshkin, O.A., Hansson, S., and Nemovet, V., Diel dynamics of an aggregation of *Macrohectopus branickii* (Dyb.) (Amphipoda, Gammaridae) in the Bargusín bay, lake Baikal, Russia, *J. Great Lakes Res.*, 1992, vol. 18, no. 2, pp. 286–297.

Stewart, B., Petrov, E., Baranov, E., Timonin, A., and Ivanov, M., Seasonal movements and dive patterns of juvenile Baikal seals, *Phoca sibirica*, *Mar. Mamm. Sci.*, 1996, vol. 12, no. 4, pp. 528–542. doi 10.1111/j.1748-7692.1996.tb00065.x

Watanabe, Y., Baranov, E.A., Sato, K., Naito, Y., Sato, K., Naito, Y., and Miyazaki, N., Foraging tactics of Baikal seals differ between day and night, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2004, vol. 279, pp. 283–289. doi 10.3354/meps279283

Watanabe, Y.Y., Baranov, E.A., and Miyazaki, N., Ultrahigh foraging rates of Baikal seals make tiny endemic amphipods profitable in Lake Baikal, *Proc. Natl Acad. Sci.*, 2020, vol. 117, no. 49, pp. 31242–31248. doi 10.1073/pnas.2014021117

www.bm.irk.ru. Cited July 1, 2024.

<https://www.pnas.org/content/117/49/31242>. Cited July 1, 2024.

Goodman, S., *Pusa sibirica: The IUCN Red List of Threatened Species*, 2016, e.T41676A45231738. doi 10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T41676A45231738.en.

The IUCN Red List of Threatened Species, version 2020-1, 2020. <https://www.iucnredlist.org>. Cited July 1, 2020.

Поступила в редакцию 7.10.2024 г.

После доработки 11.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 7.10.2024; approved after reviewing 11.11.2024;

accepted for publication 10.12.2024

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 574.584–153(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-799-822

EDN: XFKOLO

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОРМОВОЙ БАЗЫ НЕКТОНА ЛЕТОМ
В ТИХООКЕАНСКИХ ВОДАХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ И КАМЧАТКИ****С.В. Найденко¹, М.А. Шебанова¹, Н.А. Кузнецова¹, К.В. Радченко¹,
В.Е. Метревели^{1, 2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10

Аннотация. Представлены обновленные данные о динамике структурных характеристик и обилии зоопланктонных сообществ эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки, собранные летом 2004–2023 гг. Показано, что на фоне изменяющихся условий среды в последние годы в размерной структуре зоопланктона произошло увеличение доли мелко- и среднеразмерного планктона, в том числе за счет увеличения биомассы умеренно холодноводного вида копепод *Oithona similis* и молоди гиперииды *Themisto pacifica*. Среди крупноразмерного планктона наблюдалось увеличение обилия копеподы *Eucalanus bungii* и снижение биомассы копепод р. *Neocalanus* (особенно *N. cristatus*), принадлежащих к разным экологическим (тепловодным или холодноводным) группировкам. Межгодовые колебания общих запасов зоопланктона за весь период исследований не превышали 3 раз, в то время как у отдельных его групп эта разница в верхней эпипелагиали изменялась от 4 до 9 раз. Суммарная биомасса зоопланктона, составляющего основу кормовой базы рыб и кальмаров, оценена в 96 ± 6 млн т в слое 0–50 м и в 90 ± 6 млн т в слое 50–200 м. При этом установлено, что за летний сезон nekтоном выедается лишь $1/_{27}$ часть продукции зоопланктона. Анализ питания массовых видов nekтона, в том числе промысловых, показал, что изменения в структуре и обилии зоопланктона не сказались на их пищевой обеспеченности в той мере, чтобы говорить о структурных перестройках, происходящих в эпипелагических планктонных сообществах данного региона, в том числе в результате изменения гидрологических условий.

Ключевые слова: зоопланктон, nekтон, биомасса, продукция, кормовая база, пищевая обеспеченность, верхняя эпипелагиаль, тихоокеанские воды Курильских островов и Камчатки

* Найденко Светлана Васильевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991; Шебанова Марина Анатольевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, marina.shebanova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-9859-0696; Кузнецова Наталья Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, natalia.kuznetsova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0005-8932-1744; Радченко Ксения Владимировна, ведущий специалист, kseniia.radchenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-9621-1878; Метревели Вадим Евгеньевич, ведущий специалист, аспирант, ассистент кафедры, vadim.metreveli@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0050-843X.

© Найденко С.В., Шебанова М.А., Кузнецова Н.А., Радченко К.В., Метревели В.Е., 2024

Для цитирования: Найденко С.В., Шебанова М.А., Кузнецова Н.А., Радченко К.В., Метревели В.Е. Многолетняя динамика кормовой базы nektona летом в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 799–822. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-799-822. EDN: XFKOLO.

Original article

Long-term dynamics of the food base for nekton in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer

Svetlana V. Naidenko*, Marina A. Shebanova**, Natalia A. Kuznetsova***, Ksenia V. Radchenko****, Vadim E. Metreveli*****

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

***** Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia

* D.Biol., principal researcher, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991

** Ph.D., leading researcher, marina.shebanova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-9859-0696

*** Ph.D., leading researcher, natalia.kuznetsova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0005-8932-1744

**** leading specialist, ksenia.radchenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-9621-1878

***** leading specialist, vadim.metreveli@tinro.vniro.ru; postgraduate student, assistant, ORCID 0000-0003-0050-843X

Abstract. Modern data on dynamics of structure and abundance of zooplankton communities in the epipelagial layer of Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka are presented on the data collected in summer of 2004–2023. On the background of changing environmental conditions, the portion of small- and medium-sized zooplankton is increased recently, mainly due to increasing abundance of moderately cold-water copepod *Oithona similis* and hyperiid *Themisto pacifica*. Among the large-sized zooplankton, increasing abundance of warm-water copepod *Eucalanus bungii* and decreasing number of cold-water Neocalanus copepods (especially *N. cristatus*) is observed. Inter-annual fluctuations of the total zooplankton stock did not exceed 3 times, while the biomass of some taxonomic groups varied in 4–9 times. The total biomass of zooplankton, which forms the basis of food base for fish and squids, is assessed as $(96 \pm 6) \cdot 10^6$ t in the 0–50 m layer and $(90 \pm 6) \cdot 10^6$ t in the 50–200 m layer. In summer, nekton consumes a small part of zooplankton production in this season ($1/_{27}$). The studies of fish and squids consumption of zooplankton in the North-West Pacific did not reveal its significant dependence on the changes in structure and abundance of zooplankton communities, possibly related with oceanographic regime changes.

Keywords: zooplankton, nekton, biomass, production, forage resources, food security, epipelagic layer, Pacific waters at Kuril Islands and Kamchatka

For citation: Naidenko S.V., Shebanova M.A., Kuznetsova N.A., Radchenko K.V., Metreveli V.E. Long-term dynamics of the food base for nekton in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 799–822. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-799-822. EDN: XFKOLO.

Введение

Тихоокеанские воды Курильских островов и Камчатки — это часть обширной акватории, в пределах которой обитают и нагуливаются массовые виды nektona, в том числе и ценные промысловые объекты. В частности, данный регион является местом летнего нагула низкобореально-субтропическо-тропических (НБ-СТ-Т) видов рыб и головоногих моллюсков, транзитным районом для тихоокеанских лососей, а в верхнюю эпипелагиаль в темное время суток поднимается большое количество мезопелагических гидробионтов [Иванов О.А., 1998; Беляев, 2003; Иванов А.Н., 2005; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Шунтов, 2016; Иванов, Хоружий, 2019; Найденко, 2023]. Сроки и длительность миграций и в целом пищевая обеспеченность этих представителей nektona зависят от общего запаса кормовой базы, в частности от обилия зоопланктона и соотношения групп в его составе в эпипелагиали. В то же время известно [Шунтов, 2001], что для данного региона характерны очень высокая динамичность вод, пестрота океанологических условий и, следовательно, значительная пространственная и

временная (межгодовая и сезонная) вариабельность качественных и количественных характеристик зоопланктона. Кроме этого, на планктонные сообщества оказывает влияние термический режим вод, изменяющийся в том числе вследствие происходящих в атмосфере глобальных процессов. Поэтому для оценки запасов и условий обитания различных видов водных биологических ресурсов необходимо проводить постоянный мониторинг и количественную оценку состояния и особенностей функционирования пелагических сообществ. Такие работы в эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки проводятся ежегодно начиная с 2004 г. Они позволяют оценивать условия обитания промысловых видов nekтона и использовать в дальнейшем полученную информацию для обоснования прогнозов их численности.

В рамках настоящего исследования поставлена цель оценить современные запасы зоопланктонных ресурсов, выявить изменения, происходящие в обилии и структуре зоопланктонных сообществ на фоне изменчивости гидрологических условий, и рассмотреть влияние этих изменений на качественные и количественные характеристики питания nekтона.

Материалы и методы

Исходными первичными материалами являются данные, собранные в 19 комплексных экспедициях, проведенных ТИНРО в июне — начале июля 2004–2023 гг. в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки между 40 и 56° с.ш. При этом использовано деление обследованной акватории на стандартные биостатистические районы (рис. 1), которые впервые были введены ТИНРО в 1980-е гг. для унификации рыбохозяйственных биоценологических исследований в дальневосточных морях [Шунтов и др., 1988; Волков, 1996а; Волвенко, 1998, 2003; Нектон..., 2005; Макрофауна..., 2012]. При расчетах численности и биомассы гидробионтов в абсолютных единицах (тоннах) использованы стандартные площади 7–10-го районов (обследовались полностью) и среднемноголетние для 5–6 и 13-го районов (обследовались неполностью).

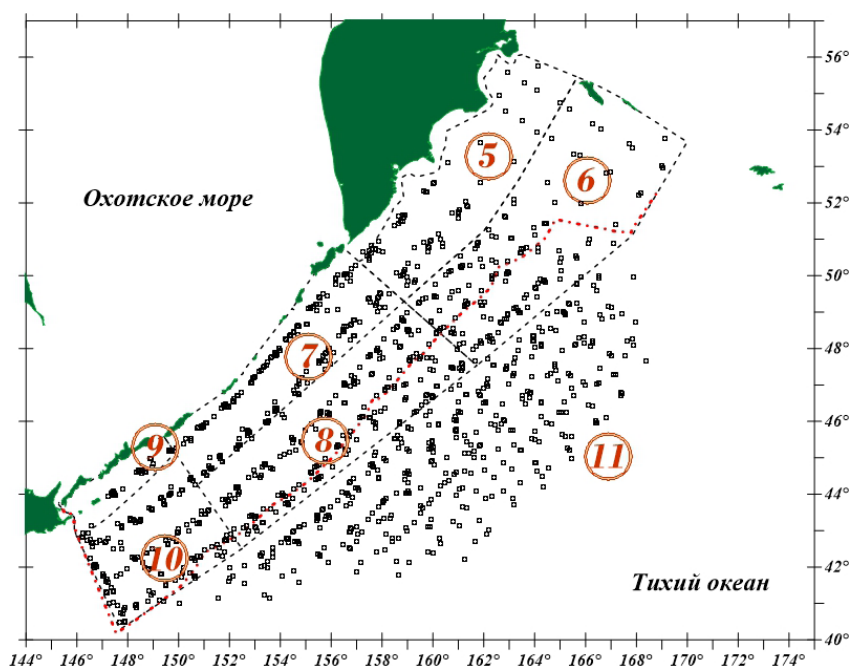


Рис. 1. Схема района работ и расположение станций, выполненных в июне — начале июля 2004–2023 гг. Нанесены границы и номера биостатистических районов

Fig. 1. Scheme of the surveyed area with sampling sites location in June — early July, 2004–2023. Boundaries of numbered biostatistical areas are shown

Ввиду комплексного характера исследований в морских экспедициях выполнялись одновременно гидрологические, ихтиологические, планктонологические и трофологические работы. Сбор гидрологической информации осуществлялся с помощью гидрологического комплекса Sea Bird Electronics либо автономного CTD-зонда SBE 19 Plus. Данные о температуре поверхности воды и минимальной температуре ядра зимнего охлаждения (холодного промежуточного слоя — ХПС) позволили проанализировать многолетнюю динамику гидрологических условий исследуемого региона.

Планктонные материалы, на которых базируется данное исследование, собирались большой сетью Джеди со стандартными параметрами: диаметром входного отверстия 38 см (с площадью $0,1 \text{ м}^2$) и фильтрующим конусом из капронового сита № 48 (с размером ячеи $0,168 \text{ мм}$) [Куликова, 1954; Инструкция..., 1974*; Современные методы..., 1983; Волков, 2008а, б]. Обловы планктона проводили в темное и светлое время суток в двух слоях эпипелагиали — 0–50 и 0–200 м. Общее количество планктонных станций составило 1732, каждая из них выполнялась в двух горизонтах. Собранные материалы обрабатывались по стандартной методике, доработанной и усовершенствованной А.Ф. Волковым [1996а, 2008а, б].

Обловы нектона во всех рейсах проводили с помощью тралений разноглубинным тралом РТ 80/396 с мелкочечной вставкой в кутце (дель 10 мм), вооруженным по 4-кабельной схеме. Траления стандартно выполнялись круглосуточно в верхнем слое эпипелагиали в горизонте хода верхней подборы 0 м. Вертикальное раскрытие трала (среднее по съемкам) находилось в пределах 30–33 м, а горизонтальное — 46–48 м. Скорость тралений составляла в среднем не менее 4,5–4,6 уз, продолжительность — 1 ч. Численность и биомассу видов нектона рассчитывали по методике, отработанной и принятой в практике проведения ТИНРО аналогичных экосистемных съемок и подробно описанной в ряде публикаций [Волвенко, 1998; Нектон..., 2005; Макрофауна..., 2012].

Трофологические материалы собирались и обрабатывались в соответствии с существующими методиками [Шорыгин, 1946; Богоров, 1947; Правдин, 1966; Методическое пособие..., 1974] и стандартными методами, усовершенствованными и принятыми в практике ТИНРО [Руководство..., 1986; Чучукало, 2006; Волков, 2008а]. Для анализа интенсивности питания нектона (или его накормленности) рассчитывали индекс наполнения желудков (ИНЖ, ‰), а также суточные, сезонные и годовые рационы с учетом особенностей питания каждого изучаемого вида.

Для оценки пищевой обеспеченности нектона были применены несколько показателей. Коэффициент использования кормовой базы рассчитывался как отношение суммарного рациона (потребленной пищи) рыб и кальмаров, питающихся в исследуемом слое эпипелагиали, к запасу кормовых ресурсов в этом слое [Чучукало, 2006; Найденко, 2023]. Индекс $Z_{\text{общ}}/H$, показывающий, сколько единиц потенциальных планктонных ресурсов приходится на единицу массы нектона**, находили как отношение относительной биомассы (т/км^2) зоопланктона (Z) в верхнем слое эпипелагиали к относительной биомассе (т/км^2) нектона (H) в этом же слое.

Статистический анализ материала (в том числе расчет коэффициентов корреляции (r)) выполнен по общепринятым методикам [Лакин, 1990; Боровиков, 2003] с применением пакета Statistica (версия 6.0).

Результаты и их обсуждение

В ряде публикаций [Волков, 1996б, 2008а; Шунтов, 2001; Дулепова, 2002; Шунтов и др., 2007; Заволокин, 2014; Найденко, Хоружий, 2017; и др.] на материалах

* Инструкция по сбору и первичной обработке планктона в море / М.С. Кун, А.Ф. Волков, Е.П. Каредин. Владивосток: ТИНРО, 1974. 50 с.

** Индекс $Z_{\text{общ}}/H$ не имеет размерности, так как представляет собой отношение показателей (биомасса на единицу площади, т/км^2) с одинаковыми единицами измерения.

разных лет уже было показано, что в эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки концентрация зоопланктона и его общие запасы довольно высоки, а состав разнообразен. По ежегодным данным, полученным летом (июнь-июль) с 2004 по 2023 г., среднемноголетняя относительная биомасса зоопланктона в этом регионе оценена в 1739 ± 118 и 842 ± 50 мг/м³ в слоях эпипелагиали соответственно 0–50 и 0–200 м. Биомасса зоопланктона, рассчитанная для слоя 50–200 м, была в 3,2 раза ниже, чем в верхнем 50-метровом слое.

Сопоставление количественных данных за 20-летний ряд наблюдений показало, что межгодовые различия обилия планктона в среднем для всей исследуемой акватории не превышают 3 раз (рис. 2). Однако в отдельных районах амплитуда колебаний биомассы зоопланктона была выше вследствие динамичности океанологических условий, влияющих на пространственное и количественное распределение планктонов, а также переноса их течениями, и только в открытых океанических водах (11-й район) наблюдались незначительные межгодовые различия (рис. 3).

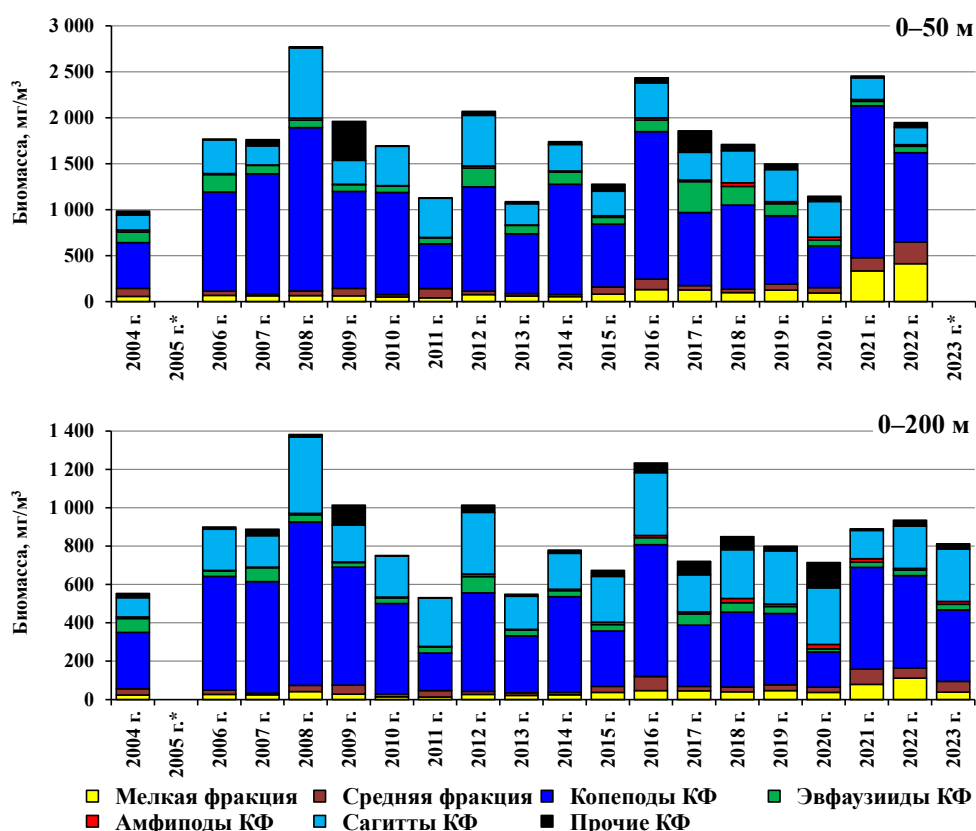


Рис. 2. Состав и межгодовая динамика биомассы зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки в июне-июле 2004–2023 гг. Здесь и на рис. 4–13: 2005 г.* — исследования не проводили, 2023 г.* — данные только для слоя 0–200 м [Найденко, 2023, с добавлением за 2019–2023 гг.]

Fig. 2. Composition and interannual dynamics for biomass of zooplankton in the 0–50 and 0–200 m layers in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in June-July of 2004–2023, mg/m³. Here and at Figs. 4–13: 2005* — no survey, 2023* — data for the 0–200 m layer only [from: Naydenko, 2023, with additions for 2019–2023]

Наиболее заметные изменения состава и структуры планктонных сообществ рассматриваемого региона произошли в последние несколько лет на фоне увеличения температуры поверхности воды и минимальной температуры ядра зимнего охлаждения (ХПС) (рис. 4).

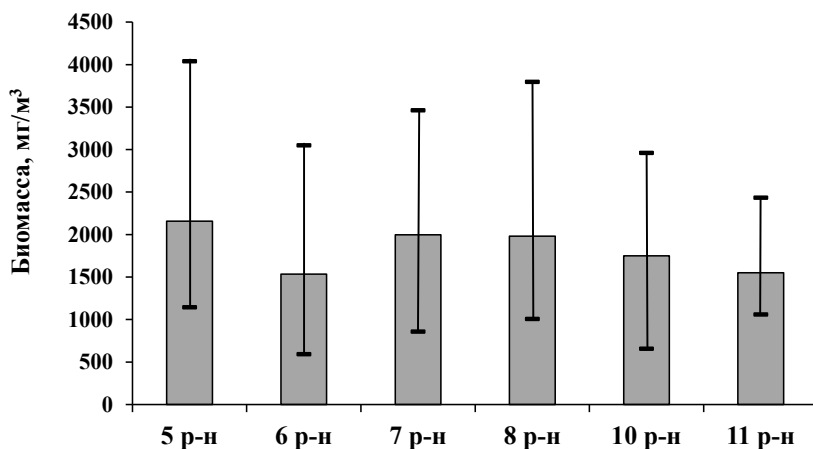


Рис. 3. Межгодовые колебания биомассы зоопланктона в слое эпипелагиали 0–50 м в разных биостатистических районах тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки летом 2004–2023 гг.: столбцы — среднегодовая биомасса, планками обозначена амплитуда межгодовых колебаний биомассы

Fig. 3. Mean annual biomass of zooplankton in the 0–50 m layer in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer of 2004–2023, by biostatistical areas, mg/m³. The amplitude of interannual biomass variations in each area is shown by whiskers

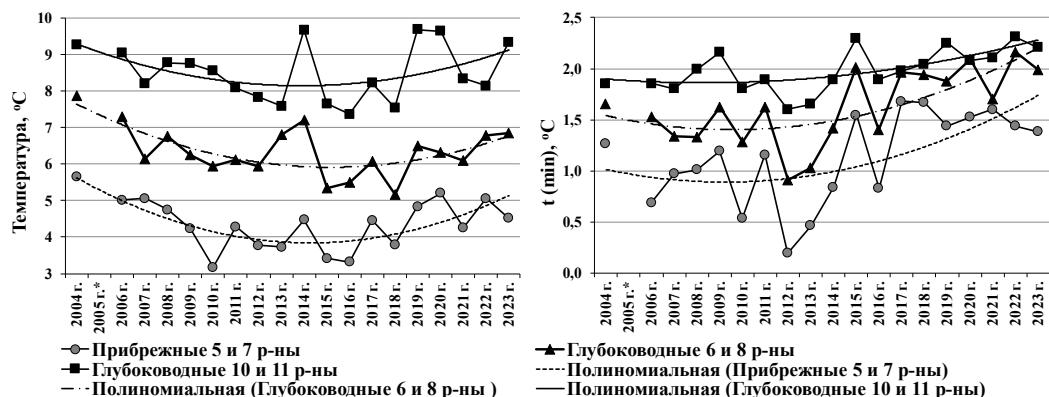


Рис. 4. Межгодовая динамика поверхностной температуры летом (слева) и минимальной температуры ядра зимнего охлаждения (справа) в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки в 2004–2023 гг.

Fig. 4. Interannual dynamics of the sea surface temperature (**left panel**) and minimum temperature in the cold subsurface layer (**right panel**) in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer of 2004–2023

Так, в размерной структуре зоопланктона начиная с 2015 г. стали постепенно увеличиваться абсолютная и относительная биомасса и доля мелко- и среднеразмерных планктеров (см. рис. 2). В частности, в слое 0–50 м в 2021 и 2022 гг. суммарная доля этих размерных групп возросла соответственно до 18 и 30 % по сравнению со среднегодовой (9 %) за 2004–2020 гг. Летнее соотношение обилия разных размерных групп обусловлено главным образом размножением и соматическим ростом, сменой видового состава беспозвоночных и зависит от сложившихся фоновых условий. Вероятно, при слабом зимнем выхолаживании вод создаются более благоприятные гидрологические условия для размножения и развития массовых мелко- и среднеразмерных видов планктона тепловодной и умеренно холодноводной группировок, что в итоге отражается на их биомассе. При этом если в 2015 и 2016 гг. увеличение биомассы мелкого и среднеразмерного зоопланктона произошло главным образом за счет молоди

беспозвоночных (фурцилий эвфаузиид и калиптописов, науплиев копепод, молоди гипериид) [Кузнецова, Шебанова, 2017а], то в последующие годы оно, кроме этого, изменялось за счет увеличения обилия некоторых видов мелкоразмерных копепод.

Так, среди мелкоразмерных копепод увеличилась биомасса умеренно холодноводного вида *Oithona similis* (рис. 5). Продукция этого вида почти не зависит от термического режима года [Шебанова, 2016], но в то же время установлено, что его размножение начинается обычно в более теплых глубоководных районах, где зимнее выхолаживание происходит менее интенсивно [Шебанова и др., 2011]. В тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки повышенная биомасса *O. similis* (≥ 50 мг/м³) наблюдалась в основном в тех случаях, когда температура ядра зимнего охлаждения была выше 1,7 °С, т.е. в теплые годы, а пониженная — в широком температурном диапазоне.

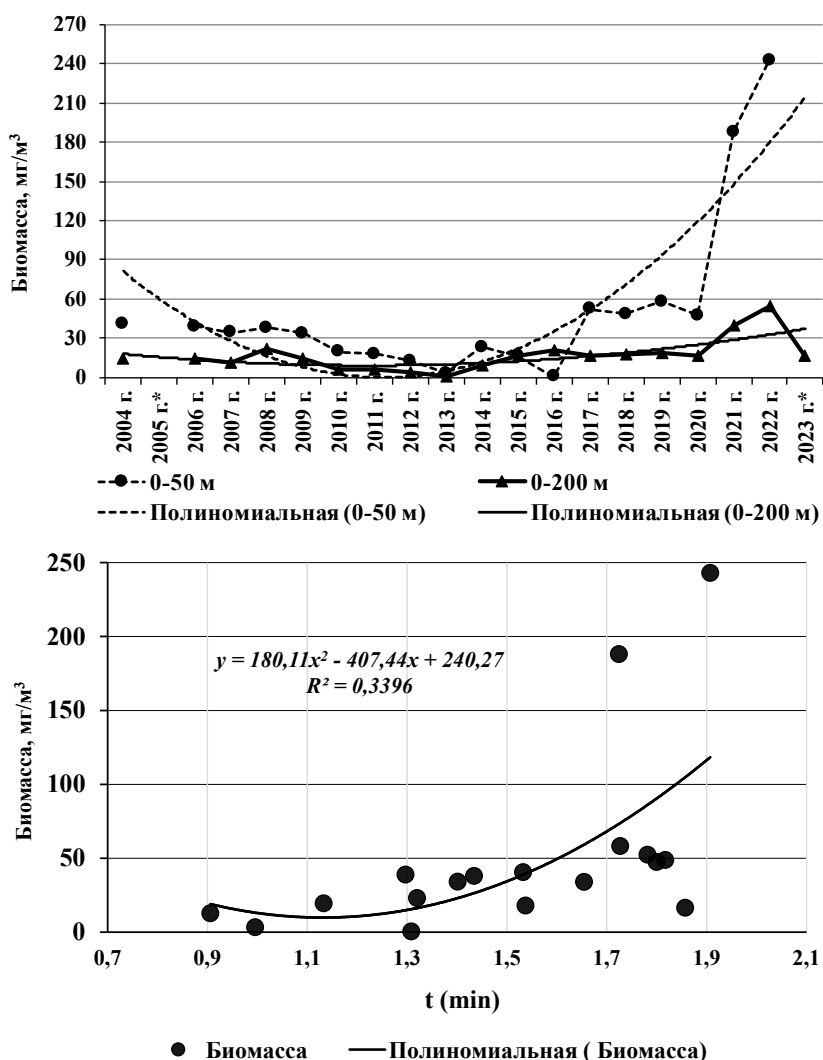


Рис. 5. Межгодовая динамика биомассы *O. similis* в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м в июне — начале июля (**вверху**) и зависимость летней биомассы *O. similis* в слое 0–50 м от минимальной температуры ядра зимнего охлаждения (**внизу**) в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки в 2004–2023 гг.

Fig. 5. Interannual dynamics for biomass of *O. similis* in the 0–50 and 0–200 m layers in June — early July, mg/m³ (**upper panel**) and dependence of the *O. similis* summer biomass in the 0–50 m layer on minimum temperature in the cold subsurface layer (**bottom panel**) for Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka

За счет увеличения обилия мелко- и среднеразмерных гидробионтов в последние 5 лет существенно уменьшилась доля крупной фракции планктона (до 70 % в 2022 г.), обычно составляющей в июне в среднем 92 % его общей биомассы, которая, как известно, формирует основу кормовой базы рыб и кальмаров. Особенно заметно доля крупных планктеров снизилась (до 50–80 %) в 2021 и 2022 гг. в южных прикурильских районах (9- и 10-й) и открытых океанических водах (11-й район).

Среди крупноразмерного планктона одной из многочисленных групп являются веслоногие рачки (отр. Copepoda), имеющие большое значение в питании почти всех гидробионтов. Именно для этой группы характерны выраженные межгодовые различия биомассы. До 2018 г. прослеживается повышение обилия копепод в четные годы, а понижение — в нечетные, но после 2018 г. высокую биомассу наблюдали в 2021 г. Общая биомасса любой группы планктона — это интегральный показатель, зависящий от обилия слагающих ее видов. В исследуемом регионе среди веслоногих рачков крупной фракции доминирующими по биомассе являются океанические интерзональные виды рода *Neocalanus* (*N. plumchrus*, *N. flemingeri*, *N. cristatus*) и *Eucalanus bungii*. Количественное обилие этих видов в эпипелагиали является следствием реализации разных типов их жизненных циклов, которые различаются временем размножения, продолжительностью развития и сроками появления в поверхностных слоях разных стадий этих беспозвоночных, что хорошо освещено в ряде публикаций [Шебанова, 1997, 2003, 2006, 2016; Шебанова и др., 2010].

Размножение копепод и дальнейшее развитие их молоди зависит от сложившихся гидрологических и иных условий среды обитания. Анализ годового температурного минимума, приходящийся на зимний период, показал, что в многолетнем ходе минимальной температуры в ХПС исследуемого региона прослеживается двухлетняя цикличность. Это связано с изменчивостью в природных процессах Земли и с квазидвухлетней цикличностью общей циркуляции атмосферы, которая отражается на водной толще. Вероятно, такие квазиколебания и являются причиной межгодовых различий (теплее/холоднее) фоновых условий (особенно в зимний период). Все это, в свою очередь, влияет на успешность нереста разных генераций рачков, сохранение зимующего фонда и развитие младших копеподитов в приповерхностных слоях, что в итоге, по всей видимости, определяет двухгодичную цикличность обилия копепод. Но в силу высокой динамичности океанологических, гидрологических и климатических процессов данную закономерность в колебаниях количества планктона не всегда удастся проследить. Кроме того, многие виды зоопланктона являются в значительной мере эвритермными и не проявляют строгой зависимости количественного обилия от типа лет. Из массовых видов копепод в районах исследований только у *N. cristatus* и *E. bungii* наиболее четко выражена двухлетняя цикличность (рис. 6, слева), которая и определяет динамику биомассы всей группы.

Следует также отметить, что обилие копепод, принадлежащих к разным экологическим группировкам — тепловодной и холодноводной, может изменяться в годы с аномальными климатическими показателями. Так, в последние годы в связи с тенденцией роста температуры воды биомасса *N. cristatus*, самого холодноводного из группы субарктических видов, уменьшилась. В частности, при минимальных температурах ХПС выше 1,5 °C биомасса *N. cristatus* не превышала 500 мг/м³ (рис. 6, справа). Некоторая тенденция снижения биомассы в очень теплые годы прослеживалась и у представителя океанической умеренно холодноводной группировки *N. plumchrus* (рис. 6). На уязвимость этого вида к изменению температуры и снижение биомассы в очень теплые годы указывают и другие исследователи [Ashlock et al., 2021].

Иная динамика биомассы характерна для умеренно холодноводного вида *E. bungii*. Изменение абсолютной и относительной биомассы и удельной суточной продукции в сторону увеличения у *E. bungii* чаще всего наблюдается в годы с теплыми термическими условиями [Шебанова, 1997, 2003, 2006, 2007, 2016; Волков, 2012, 2016a]. Вероятно, это связано с более благоприятными условиями в поверхностных слоях эпипелагиали,

куда половозрелые особи поднимаются в весенне-летний период и где после нереста остаются и развиваются младшие стадии. В районах исследований *E. bungii* наиболее высокие показатели обилия также имел в теплые годы (рис. 6).

В целом общая биомасса копепоид в верхней эпипелагиали всей обследованной акватории варьировала от 452 до 1776 мг/м³ (среднемноголетняя 1006 ± 94 мг/м³), а в слое эпипелагиали 0–200 м — от 184 до 852 мг/м³ (в среднем 450 ± 40 мг/м³). Более высокая концентрация копепоид летом в верхней эпипелагиали, по сравнению со всем 200-метровым слоем, отмечена и другими исследователями [Виноградов, 1968; Шун-

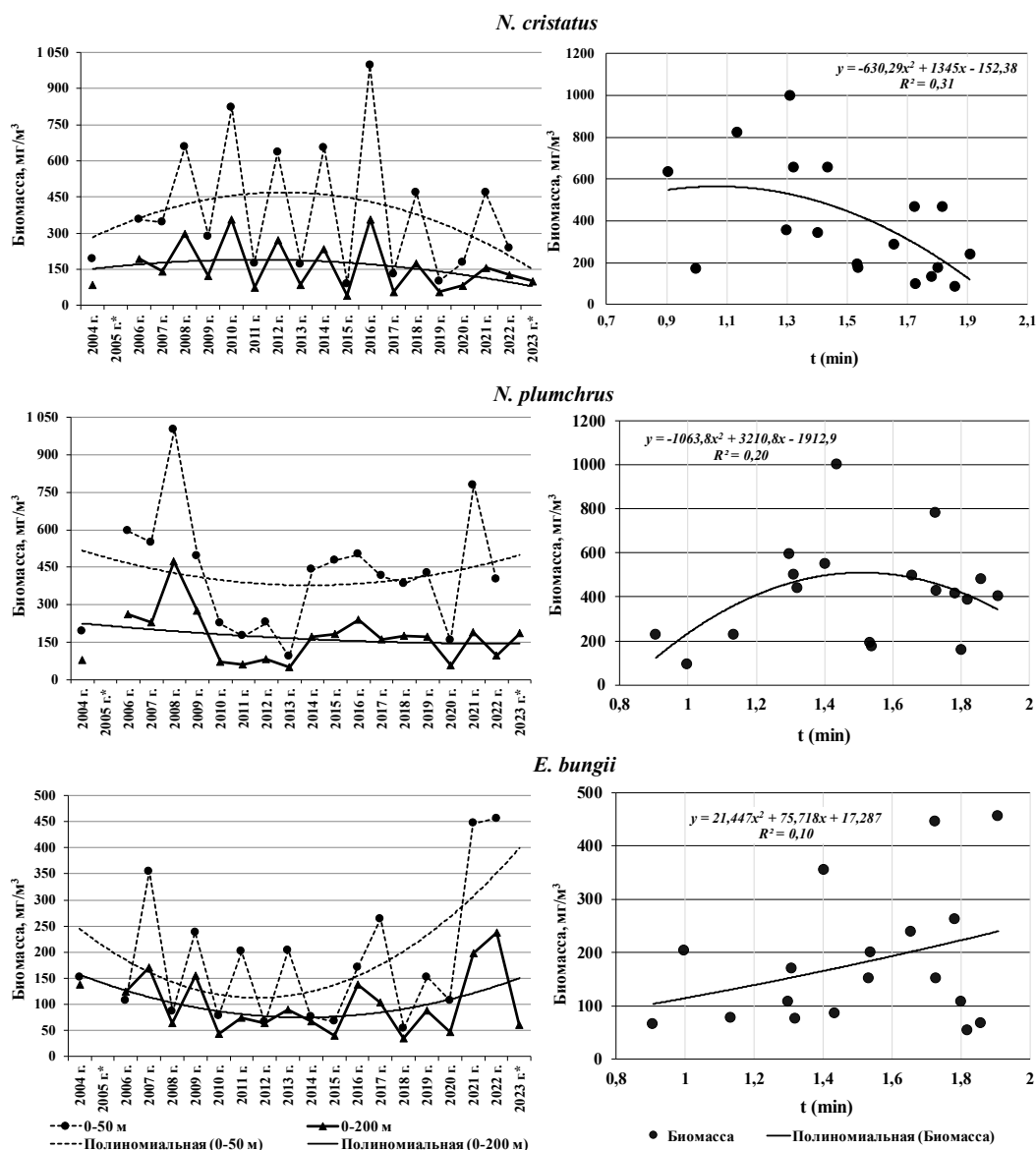


Рис. 6. Межгодовая динамика биомассы массовых видов копепоид в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки летом 2004–2023 гг. (слева) и зависимость летней биомассы в слое 0–50 м от минимальной температуры ядра зимнего охлаждения (справа)

Fig. 6. Interannual dynamics for copepods biomass in the 0–50 and 0–200 m layers in summer of 2004–2023, mg/m³ (left panel) and dependence of the summer copepods biomass in the 0–50 m layer on minimum temperature in the cold subsurface layer (right panel) in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka

тов, 2001; Дулепова, 2002; Волков, 2008в]. По районам межгодовая вариабельность количества копепод и их доли в общей массе зоопланктона была значительнее. Наиболее высокое обилие представителей данной группы характерно для прибрежных прикамчатского (5-й) и прикурильского (7-й) районов (что, возможно, связано в том числе с транспортом копепод в эти районы течениями) и открытых океанических вод, а минимальное — для южного прибрежного района (с преимущественной глубиной до 200 м).

Рассчитанный валовый запас копепод (всех размерных групп) в верхней эпипелагиали исследуемой акватории в разные годы изменялся от 32 до 115 млн т, составляя в среднем 65 ± 6 млн т. Для всего слоя эпипелагиали 0–200 м среднееголетний запас оценен в 110 ± 10 млн т, из которого в верхнем слое эпипелагиали сосредоточено 60 %. При этом доля копепод в общей массе зоопланктона верхнего 50-метрового слоя в последние годы достигла 78–85 % (рис. 7). За счет таких высоких показателей обилия тихоокеанские воды Курильских островов и Камчатки характеризуются как «копеподитные» [Шунтов, 2001; Волков, 2008в], что имеет немаловажное значение для рыб и кальмаров, особенно промысловых, нагуливающих в пределах данной акватории.

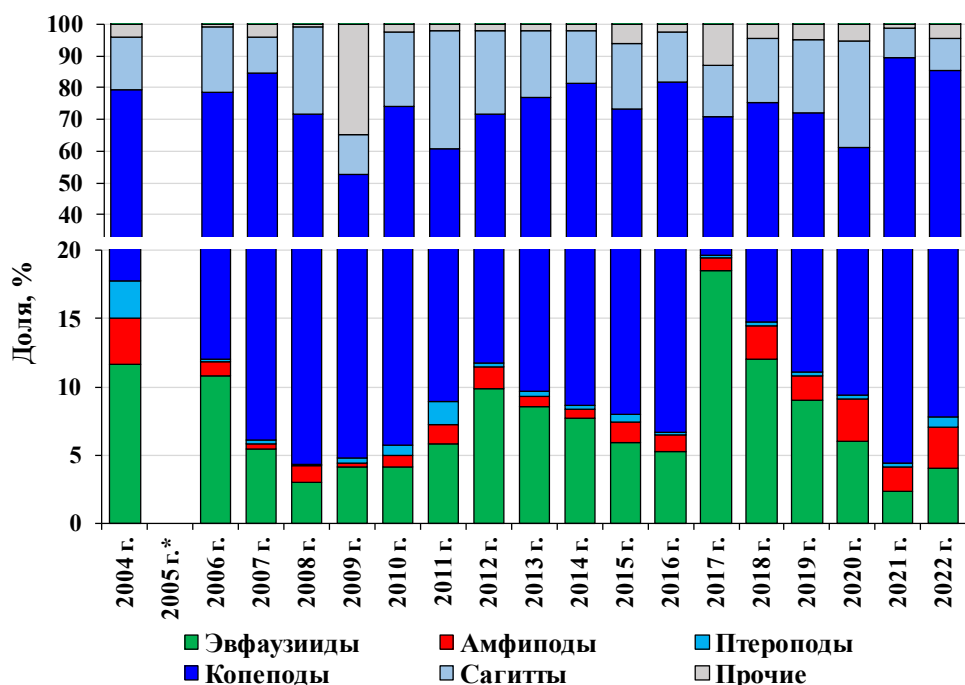


Рис. 7. Межгодовая динамика доли основных групп зоопланктона в верхнем слое эпипелагиали 0–50 м в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки летом

Fig. 7. Interannual dynamics for percentage of the main zooplankton groups in the 0–50 m layer in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer

Из эвфаузиид в тихоокеанских водах наиболее высокую относительную и абсолютную биомассу имеют главным образом только два вида *Thysanoessa longipes* и *Euphausia pacifica*, биомасса других видов (*Thysanoessa inspinata*, *Th. inermis* и *Th. raschii*) обычно ниже. При неравномерном пространственном распределении, сложных вертикальных миграциях и значительной межгодовой динамике биомассы разных видов эвфаузиид довольно сложно выделить районы по наибольшему их обилию. Тем не менее максимальное количество эвфаузиных рачков чаще всего отмечается вдоль побережья Курильских островов и в местах, находящихся под воздействием циклонических круговоротов [Чучукало и др., 1996; Шунтов, 2001; Волков, 2008в]. За период исследований максимальные количественные показатели эвфаузиид наблюда-

лись в 2006, 2012 и 2017–2018 гг., особенно в южной части прикурильских районов, где они в 2017 и 2018 гг. достигали 791–970 мг/м³. Для этих же районов характерны и значительные межгодовые колебания биомассы. Однако после 2018 г. по всей акватории тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки наблюдаются пониженные биомасса и доля эвфаузиид в планктоне (см. рис. 2, рис. 7), но обоснованно судить о каких-либо закономерностях в динамике их обилия весьма затруднительно.

Показатели валового запаса эвфаузиид, по сравнению с показателями копепод, в данном регионе невысокие. Даже в годы повышенного обилия этих рачков, их запас в верхнем слое эпипелагиали был ниже среднеемноголетнего показателя обилия копепод в 3 раза (а для слоя 0–200 м эта разница была выше). Среднеемноголетний валовый запас эвфаузиид для всей акватории тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки оценен в $7,6 \pm 1,2$ млн т (min 3,2 и max 21,0) и $9,1 \pm 0,9$ млн т (min 3,7 и max 18,7) в слоях соответственно 0–50 и 0–200 м. Среди таксономических групп зоопланктона именно эвфаузииды и копеподы являются наиболее ценными в энергетическом отношении [Горбатенко, 2018], и от их обилия зависит пищевая обеспеченность многих массовых видов nekтона.

У щетинкочелюстных, по сравнению с другими группами зоопланктона, межгодовая динамика обилия выражена не столь значительно (см. рис. 2, рис. 7). В районах исследований в этой группе абсолютно доминирует один вид — *Parasagitta elegans* — с размером особей от 2 до 33 мм. Несмотря на то что сагитты в меньшей степени, чем копеподы, используются nekтоном в качестве пищевых объектов, они являются «резервной» частью кормовой базы, и запасы их в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки значительны. Только южные прикурильские и глубоководный 11-й районы отличаются пониженным обилием сагитт. Среднеемноголетний валовый запас щетинкочелюстных для всей акватории оценен в слое 0–50 м в $18,7 \pm 1,7$ млн т (min 8,2 и max 41,9 млн т), а в слое 0–200 м — в $50,9 \pm 3,7$ млн т (min 22,0 и max 87,8 млн т). В количественном соотношении массовых групп зоопланктона при повышенной биомассе и доле сагитт часто наблюдается пониженное обилие копепод, что, наряду с другими причинами, может быть связано с выеданием веслоногих рачков щетинкочелюстными.

У амфипод, напротив, просматриваются выраженные межгодовые изменения количественных показателей. В эпипелагиали исследуемой акватории амфиподы представлены несколькими видами, среди которых доминирующим является гипериида *Themisto pacifica*, достигающая более 97 % общей биомассы амфипод. Вид *T. pacifica* считается относительно теплолюбивым. Так, в Охотском море его биомасса в зависимости от типа лет в весеннее и летнее время различается, а летом и осенью в холодные и теплые годы сопоставима [Горбатенко и др., 2017]. В тихоокеанских районах, особенно в верхней эпипелагиали, после 2004 г. наметился тренд некоторого снижения и затем постепенного увеличения обилия и доли в планктоне *T. pacifica* (всех размеров) с максимальными показателями (42–49 мг/м³) в 2018, 2021 и 2022 гг. (рис. 8), что почти совпадает с общей тенденцией изменения температуры поверхности океана и минимальной температуры в ХПС (см. рис. 4).

По имеющимся сведениям [Чучукало и др., 1999; Горбатенко, 2009; Шебанова и др., 2014; Горбатенко и др., 2017], размножение этого вида идет не прерываясь в течение года, но самой мощной считается весенняя (апрель–май) генерация. Появившаяся многочисленная молодежь постоянно обитает в поверхностном 20-метровом слое воды, а более крупные совершают суточные вертикальные миграции [Чебанов, 1965; Журавлев, Нейман, 1976; Ikeda et al., 1992; Чучукало и др., 1999]. В июне 2004, 2010–2011 и 2021–2022 гг. в данном биотопе отмечалось очень большое количество молодежи (рачков размером до 2 мм) данного вида гипериид, составляющих 55–74 % общей его биомассы (рис. 9). Возможно, благоприятные условия этих лет повлияли на успешность нереста и, соответственно, биомассу гипериид. Предположительно сроки нереста и появления молодежи были растянуты и совпали со временем проведения исследований. Это по-

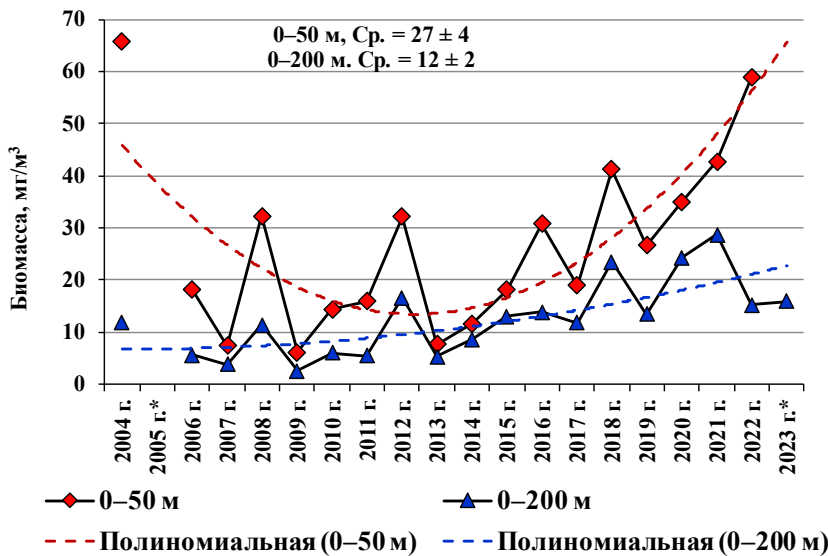


Рис. 8. Межгодовая динамика биомассы амфипод в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки в июне — начале июля 2004–2023 гг.

Fig. 8 Interannual dynamics for amphipods biomass in the 0–50 and 0–200 m layers in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in June — early July of 2004–2023, mg/m³

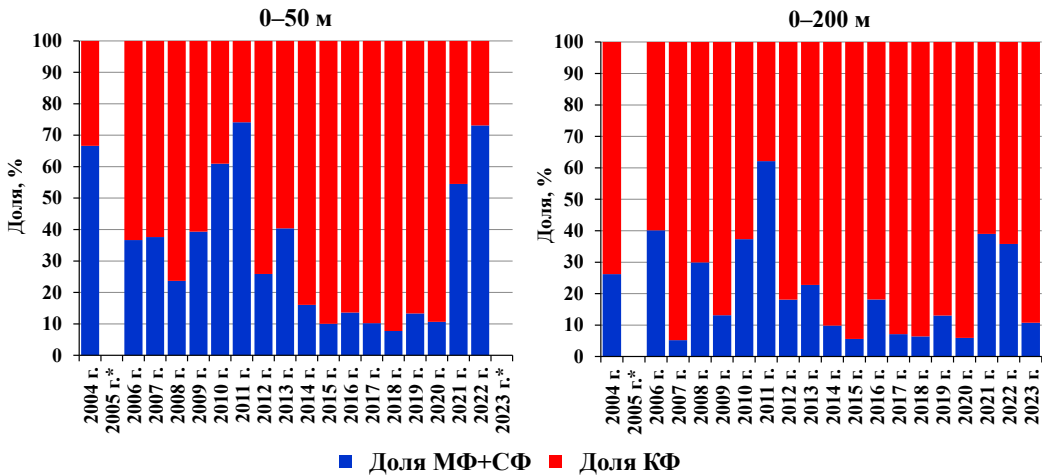


Рис. 9. Соотношение разноразмерных групп *T. pacifica* в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки в июне — начале июля 2004–2023 гг.: МФ — мелкая фракция, СФ — средняя фракция, КФ — крупная фракция

Fig. 9. Ratio (%) of size groups for hyperiid *T. pacifica* in the 0–50 and 0–200 m layers in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in June — early July, 2004–2023: МФ — small-sized fraction, СФ — medium-sized fraction, КФ — large-sized fraction

зволило учесть гораздо большее количество молодых рачков, чем в другие годы, что отразилось на размерной структуре не только данного вида, но и зоопланктона в целом.

Амфиподы, являясь одной из важных кормовых групп зоопланктона, имеют невысокие количественные показатели обилия — $1,5 \pm 0,2$ и $2,8 \pm 0,4$ млн т в слоях эпипелагиали соответственно 0–50 и 0–200 м. Но при оценке кормовой базы необходимо учитывать, что по причине специфичного распределения гипериид в приповерхностном слое эпипелагиали и очень неоднородного пространственного распределения биомасса этих ракообразных в определенной степени недоучитывается [Чебанов, 1965; Волков, 1996]. Подобная ситуация характерна и для крылоногих моллюсков (отр. Pteropoda),

которые в большом количестве потребляются нектоном (в частности лососями), но по данным планктонных уловов их среднемноголетний запас в эпипелагиали составляет всего 0,8 млн т.

Таким образом, в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки (особенно при сравнении северных и южных, прибрежных и глубоководных районов) прослеживается межгодовая изменчивость летних показателей обилия зоопланктона, обусловленная в том числе изменениями гидрологических условий. Однако общеизвестно, что суммарную биомассу зоопланктона, даже в пределах отдельно взятой таксономической группы, слагают виды с различной экологией и биологией, а набор факторов, влияющих на урожайность поколений конкретных видов и лимитирующих их численность, очень широк. В связи с этим одностороннего увеличения или уменьшения биомассы одновременно всех групп планктона в ответ на изменения фоновых условий не происходит, как и не существует строгого единого сценария структурных перестроек планктонных сообществ в зависимости от климатической изменчивости. Кроме этого, исследуемый регион характеризуется высокой динамичностью и разнородностью океанологических условий, на некоторых участках возможен перенос и накопление планктона и оценить масштабы этих явлений практически невозможно. Поэтому показатели общего запаса зоопланктона в смежные годы могут различаться, а в годы, разные по термическому режиму вод, — быть на одном уровне. В годы повышенных температур поверхности океана и минимальной температуры в слое ХПС наблюдаемые изменения в запасах зоопланктона в целом для всей обследованной акватории находились в рамках обычной межгодовой изменчивости и отличались от среднемноголетнего значения всего в 1,3 раза (рис. 10).

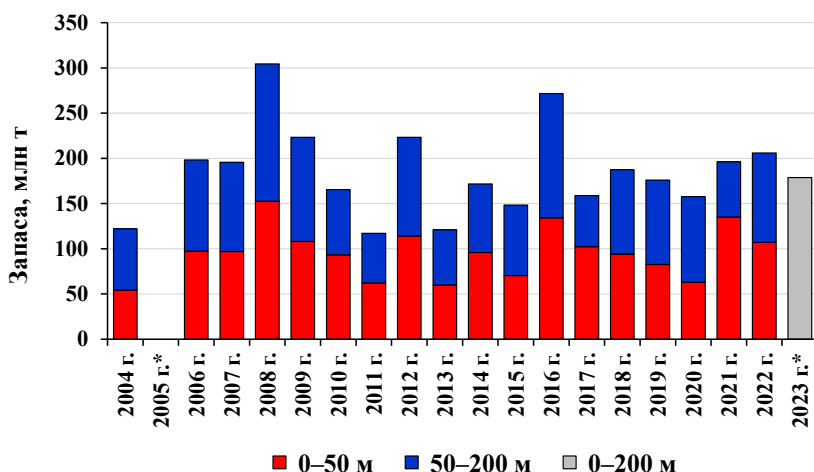


Рис. 10. Межгодовая динамика общего запаса зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 50–200 м в тихоокеанских водах Курильских островов и восточной Камчатки в июне — начале июля 2004–2023 гг. [Найденко, 2023, с добавлением за 2019–2023 гг.]

Fig. 10. Interannual dynamics for total zooplankton biomass in the 0–50 and 50–200 m layers in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in June – early July of 2004–2023, 10^6 t [from: Naydenko, 2023, with additions for 2019–2023]

Среднемноголетний общий запас зоопланктона составил 96 ± 6 млн т (от 54 до 153 млн т) в слое эпипелагиали 0–50 м и 90 ± 6 млн т (от 15 до 54 млн т) в нижележащем 150-метровом слое (50–200 м), т.е. летом основные запасы зоопланктона сосредоточены в верхнем 50-метровом слое эпипелагиали (рис. 10).

При различных комбинациях запаса зоопланктона и биомассы нектона индекс $Z_{\text{общ}}/H$, рассчитанный для верхней эпипелагиали, в 2004–2013 гг. изменялся от 11 до 78. Начиная с 2014 г., когда летом в данный район стали совершать нагульные миграции виды НБ-СТ-Т комплекса (в частности сардина *Sardinops melanostictus* и скумбрия

Scomber japonicus и *S. australasicus*) и обилие потребителей зоопланктона возросло (рис. 11), индекс $Z_{\text{общ}}/H$ снизился и варьировал уже от 8 до 49. В эти же годы (за исключением 2019 г.) суточный коэффициент использования был выше, чем в предыдущий период, но тем не менее оставался в пределах всего 0,002–0,006. Рассчитанный сезонный суточный коэффициент использования кормовой базы достигал значений 0,21–0,47, что указывает на повышенное, по сравнению с периодом низкой численности субтропических рыб, потребление планктонных ресурсов. С учетом сезонной продукции планктона данный показатель изменялся в пределах от 0,005 до 0,049 в годы низкого обилия нектона и от 0,069 до 0,173 в годы высокого [Найденко, 2023, с добавлением за 2019–2023 гг.]. Однако при оценке пищевой обеспеченности нектона необходимо принимать во внимание, что планктонные сообщества разных слоев эпипелагиали тесно взаимосвязаны между собой посредством вертикальных миграций и верхняя эпипелагаль постоянно «пополняется» зоопланктоном с нижележащих слоев. Кроме того, для планктонных и нектонных гидробионтов характерна сложная сеть трофических взаимоотношений. Поэтому коэффициент использования нектоном зоопланктонных ресурсов верхнего слоя эпипелагиали является показателем весьма динамичным, но при этом свидетельствующим о том, что в разные периоды лет их запасы остаются вполне высокими.

В то же время, оценивая возможности кормовой базы нектона, следует учитывать и тот факт, что не все зоопланктонные организмы имеют одинаковую кормовую значимость для рыб и кальмаров, не только в силу индивидуальных морфологических особенностей последних, но также за счет неравномерного распределения, обилия и доступности зоопланктона (в том числе в течение суток в верхней эпипелагиали). В районе исследований из зоопланктона самыми важными кормовыми объектами являются несколько видов: эвфаузииды *Th. longipes*, *Th. inermis* и *E. pacifica*, гипериида *T. pacifica*, копеподы *N. cristatus* и *N. plumchrus*, птероподы *Clione limacina* и *Limacina helicina* и сагитта *P. elegans*. По расчетам, выполненным для разных лет, выедание зоопланктонных видов, имеющих статус предпочитаемых, не превышало 0,1–0,5 % их запаса. Так, в 2020 г. около 52 % пищевых потребностей рыб и кальмаров покрывалось

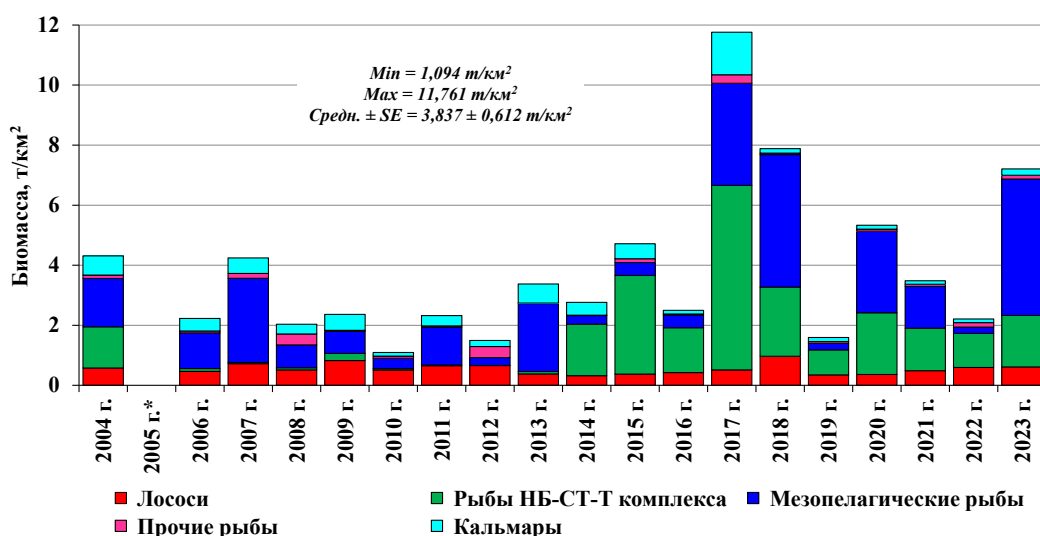


Рис. 11. Межгодовая динамика биомассы нектона в верхнем слое эпипелагиали тихоокеанских вод Камчатки и Курильских островов в июне — начале июля 2004–2023 гг. [Найденко, 2023, с добавлением за 2019–2023 гг.]

Fig. 11. Interannual dynamics for nekton biomass in the upper epipelagic layer in Pacific waters at Kamchatka and Kuril Islands in June – early July, 2004–2023 [from: Naydenko, 2023, with additions for 2019–2023]

за счет вышеуказанных видов зоопланктона, 43 % обеспечивалось фитопланктоном и остальная часть — прочим зоопланктоном и нектонной пищей. За сутки предпочитаемой зоопланктонной пищи потреблялось до 96 тыс. т, что составляет всего 0,2 % ее запаса. При этом на долю эвфаузиид приходилось около 25 % общего рациона рыб и кальмаров, а на долю копепод и гипериид — соответственно 20 и 5 %. В последующие годы в связи с изменениями в количественном соотношении этих групп зоопланктона изменилась их весовая доля в питании нектона. Это, в частности, хорошо демонстрируют данные по питанию лососей. Например, в 8-м прикурильском районе, через который в июне проходит основная масса тихоокеанских лососей, при обилии эвфаузиид от 89 до 358 мг/м³ их доля в рационе горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* варьировала от 21 до 63 %, но в 2021–2022 гг. при невысокой биомассе (35–51 мг/м³) эвфаузиид в планктоне их доля в рационе снизилась до 6–14 % (рис. 12), в то время как при повышенном обилии гипериид их значение в питании по сравнению со среднелетним показателем (16 % рациона) в эти же годы возросло в 2 раза (до 33 %). На фоне увеличения биомассы копепод с 439 мг/м³ в 2020 г. до 2991 в 2021 г. и 1896 мг/м³ в 2022 г. доля веслоногих в рационе горбуши также возросла в эти годы с 11 до 39 и 41 % и снизилась до 19 % в 2023 г. (рис. 12). Сила связи между обилием в планктоне и долей в рационе рыб оценена как средняя для гипериид ($r = 0,69$) и копепод ($r = 0,55$) и как слабая для эвфаузиид ($r = 0,34$). Таким образом, предпочтительность (или выборочность) в отношении конкретного кормового объекта меняется не только в зависимости от его обилия и доступности, но и от таких же показателей других кормовых объектов, которыми могут питаться нектонные виды. Стратегия питания, в основе которой лежат элективность, размерная селективность и трофическая пластичность, позволяет рыбам и кальмарам при разных сложившихся кормовых условиях использовать все имеющиеся пищевые ресурсы, что показано на большом массиве трофологических данных [Волков, 1994, 2016а, б, 2024; Волков и др., 1997; Дулепова, 1998; Найденко, 2003, 2023; Кузнецова, 2005; Чучукало, 2006; Найденко и др., 2008, 2017; Заволокин, 2014; Кузнецова, Шебанова, 2017б; Горбатенко, 2018; и мн. др.].

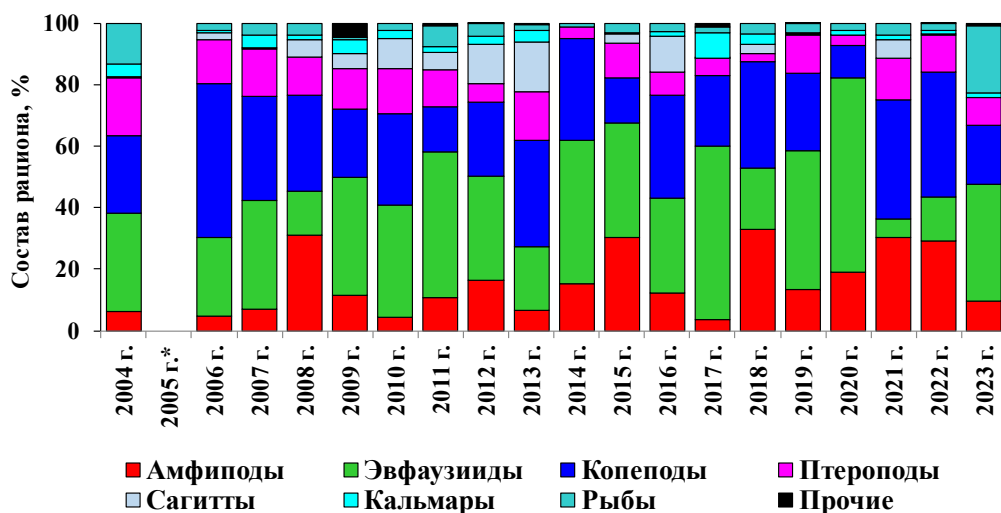


Рис. 12. Межгодовая динамика состава рациона горбуши размерной группы 40–50 см в 8-м прикурильском районе в июне — начале июля 2004–2023 гг.

Fig. 12. Interannual dynamics for diet composition of *O. gorbuscha* (size group FL 40–50 cm) in the 8th biostatistical area in Pacific waters at the Kuril Islands in June — early July, 2004–2023

В межгодовой динамике интенсивности питания горбуши наблюдалось снижение показателей одновременно во всех районах в 2015, 2018, 2021 и 2023 гг. (рис. 13, А). В эти же годы отмечалось снижение ИНЖ и у других лососей (рис. 13, Б), но однонаправленность в снижении интенсивности их питания наблюдалась при разных условиях

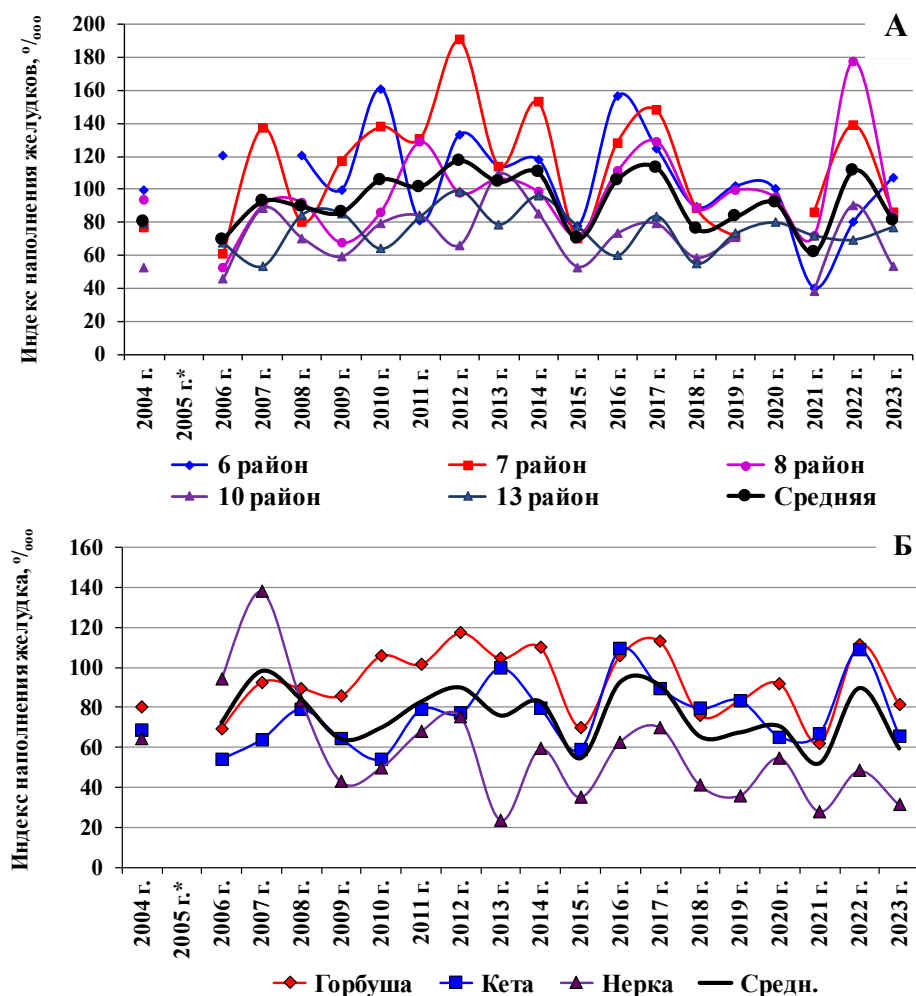


Рис. 13. Интенсивность питания горбуши с длиной тела АС 40–50 см в разных районах (А) и разных видов лососей (Б) в верхней эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки летом 2004–2023 гг. [Найденко, 2023, с добавлениями за 2019–2023 гг.]

Fig. 13. Feeding intensity (ИНЖ, ‰) for certain fish species dwelling the upper epipelagic layer in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer, 2004–2023: А — for *O. gorbuscha* (FL 40–50 cm), by biostatistical areas; Б — for different species of Pacific salmon [from: Naydenko, 2023, with additions for 2019–2023]

пищевой обеспеченности. Корреляция между накормленностью рыб и обилием зоопланктона в районах нагула оказалась низкой (рис. 14). Это свидетельствует в пользу того, что интенсивность питания лососей зависит не только от биомассы кормовых организмов в верхней эпипелагиали, но и от их доступности (концентрации, вертикальных миграций, послыного распределения и т.д.), численности других потребителей (совпадения времени и районов нагула), физиологического состояния рыб, фоновых условий и прочих причин, т.е. обусловлено множеством различных факторов и является функцией целого ряда механизмов, действующих одновременно.

Кроме того, для лососей тихоокеанские воды Курильских островов и Камчатки в летний период являются лишь транзитным районом на пути к местам нереста или основного нагула. Поэтому снижение интенсивности питания рыб может сигнализировать в том числе и об изменении кормовых условий, но на этом коротком этапе миграций оно не имеет решающего значения для формирования численности или продукционных показателей лососей. Для НБ-СТ-Т активно мигрирующих видов не-

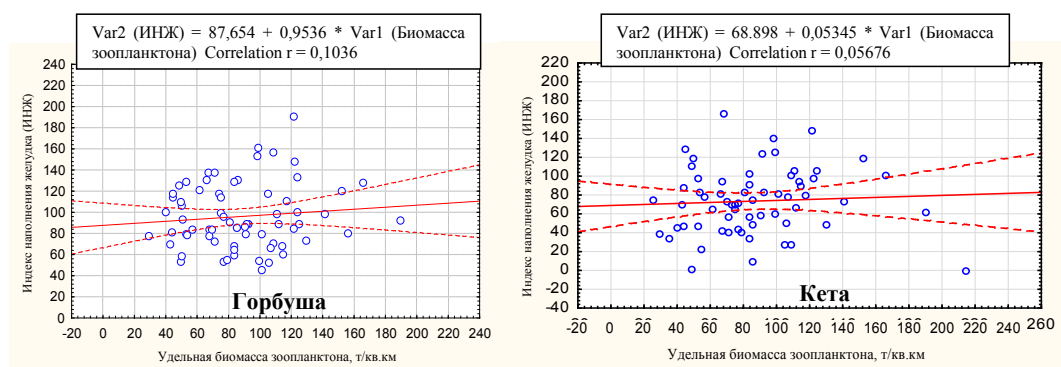


Рис. 14. Зависимость интенсивности питания (ИНЖ, ‰) горбуши и кеты от биомассы зоопланктона в верхнем слое эпипелагиали тихоокеанских вод Курильских островов и Камчатки летом (июнь — начало июля) [Найденко, 2023]

Fig. 14. Scattering diagram for dependence of feeding intensity (ИНЖ, ‰) for *O. gorbuscha* and *O. keta* on zooplankton biomass (t/km²) in the upper epipelagic layer in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer (June — early July) [Naydenko, 2023]

ктона данный регион в летне-осенний период, напротив, является нагульной областью. Однако за счет широкого распространения субтропических видов в пределах данной акватории, постоянного перераспределения с юга на север и от прибрежных районов в океан, а также миграций из тихоокеанских вод в южную часть Охотского моря нагрузка этих видов на кормовую базу постоянно меняется. В целом в рассматриваемом регионе всеми рыбами и кальмарами, питающимися в верхней эпипелагиали, используется в среднем всего $\frac{1}{27}$ часть продукции зоопланктона [Найденко, 2023]. Поэтому 2–3-кратные межгодовые колебания биомассы зоопланктона вряд ли катастрофичны для его потребителей, даже при высокой их численности. В то же время межгодовые изменения в обилии важных кормовых групп зоопланктона, как было показано выше, отражаются на количественном их соотношении в рационе нектона.

Выводы

В тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки в период с 2004 по 2023 г. на фоне наблюдаемых гидрологических изменений значительного снижения/увеличения общей биомассы зоопланктона не произошло. Межгодовые колебания общих запасов зоопланктона не превышали 3 раз, но в динамике обилия отдельных его групп, в частности в верхней эпипелагиали, это различие достигало 9 раз. В наиболее теплые 2021–2023 гг. биомасса зоопланктона была выше среднемноголетней всего в 1,3 раза.

В наибольшей степени изменчивость океанологических условий повлияла на темп сукцессии планктона, размерную структуру зоопланктона, обилие тепловодных и холодноводных видов и количественное соотношение основных групп зоопланктона. В размерной структуре зоопланктона в последние годы произошло увеличение доли мелко- и среднеразмержного планктона, в том числе за счет увеличения биомассы умеренно холодноводного вида копепоид *O. similis* и молоди гиперииды *T. pacifica*. Среди крупноразмерного планктона наблюдалось увеличение обилия копепоиды *E. bungii* и снижение биомассы копепоид р. *Neocalanus* (особенно *N. cristatus*), принадлежащих к разным экологическим (тепловодным или холодноводным) группировкам. За счет этого в составе зоопланктона увеличилась доля амфипод и копепоид и уменьшилась — эвфаузиид.

Межгодовые изменения количественного соотношения компонентов кормовой базы в определенной мере отразились на составе пищевых рационов нектона, что, в частности, показано на примере горбуши. Также в некоторые годы одновременно у трех видов лососей отмечено снижение интенсивности питания, но сила связи между

накормленностью рыб и общим обилием пищи и отдельных кормовых объектов оказалась низкой и средней. Это свидетельствует о том, что степень накормленности рыб является результатом большого количества одномоментно действующих факторов.

Летом в эпипелагиали наибольшие запасы зоопланктона находятся в ее верхнем 50-метровом слое и оцениваются в 96 млн т. Суточное потребление только той части зоопланктонных ресурсов, которые составляют основу питания nekтона, оценивается для разных лет от 0,1 до 0,5 % ее запаса, а за сезон потребление зоопланктона составляет $\frac{1}{27}$ часть его продукции. Полученные оценки указывают на то, что при таких показателях обилия и использования зоопланктонной части кормовой базы ее 2–3-кратные межгодовые колебания, вряд ли могут значительно ухудшать пищевую обеспеченность рыб и кальмаров, даже при их высокой численности.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают глубокую признательность главному научному сотруднику, д-ру биол. наук К.М. Горбатенко, канд. геогр. наук А.Л. Фигуркину и другим сотрудникам, принимавшим участие в экспедициях и участвовавшим в сборе материалов, использованных в работе, а также главному научному сотруднику, д-ру биол. наук А.Ф. Волкову за ценные консультации.

The authors are deeply grateful to Dr. K.M. Gorbatenko, Dr. A.L. Figurkin, and other members of marine expeditions conducted by TINRO for collecting materials for the study and to Dr. A.F. Volkov (TINRO) for his valuable advices.

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)

С.В. Найденко — интерпретация полученных результатов, написание статьи, подготовка таблиц и рисунков, М.А. Шебанова, Н.А. Кузнецова, К.В. Радченко, В.Е. Метревели — сбор и обработка планктонных материалов, обсуждение полученных данных.

S.V. Naydenko — data analysis and interpretation, writing and illustrating the text; M.A. Shebanova, N.A. Kuznetsova, K.V. Radchenko, and V.E. Metreveli — plankton samples collection and processing; results of the study were discussed jointly.

Список литературы

Беляев В.А. Экосистема зоны течения Куро-Сио и ее динамика : моногр. — Хабаровск : Хабар. кн. изд-во, 2003. — 382 с.

Богоров В.Г. Инструкция для проведения гидробиологических работ в море (планктон, бентос). — М. ; Л. : Изд-во Главсевморпути, 1947. — 126 с.

Боровиков В. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере : моногр. — 2-е изд. — СПб. : Питер, 2003. — 688 с.

Виноградов М.Е. Вертикальное распределение океанического зоопланктона : моногр. — М. : Наука, 1968. — 320 с.

Волвенко И.В. Морфометрические характеристики стандартных биостатистических районов для биоценологических исследований рыболовной зоны России на Дальнем Востоке // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 132. — С. 27–42.

- Волвенко И.В.** Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съёмов // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.
- Волков А.Ф.** Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию nekтона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. — 2008а. — Т. 154. — С. 405–416.
- Волков А.Ф.** Среднегоголетние характеристики зоопланктона Охотского и Берингова морей и СЗТО (межгодовые и сезонные значения биомассы, доминирование) // Изв. ТИНРО. — 2008б. — Т. 152. — С. 253–270.
- Волков А.Ф.** Интегральные схемы количественного распределения массовых видов зоопланктона дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана по среднегоголетним данным (1984–2006 гг.) // Изв. ТИНРО. — 2008в. — Т. 154. — С. 135–143.
- Волков А.Ф.** О методике взятия проб зоопланктона // Изв. ТИНРО. — 1996а. — Т. 119. — С. 306–311.
- Волков А.Ф.** Зоопланктон эпипелагиали дальневосточных морей: состав сообществ, межгодовая динамика, значение в питании nekтона : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1996б. — 70 с.
- Волков А.Ф.** Особенности питания горбуши, кеты и нерки во время анадромных миграций // Изв. ТИНРО. — 1994. — Т. 116. — С. 128–136.
- Волков А.Ф.** Результаты исследований зоопланктона Берингова моря по программе NPAFC (экспедиция «BASIS»). Часть 1. Восточные районы // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 169. — С. 45–66.
- 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.
- Волков А.Ф.** Элементарная трофология тихоокеанских лососей в Беринговом море. Видовые и региональные отличия. Обеспеченность пищей при различных условиях среды // Изв. ТИНРО. — 2016а. — Т. 187. — С. 162–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186.
- Волков А.Ф.** Таблицы и графики по трофологии минтая западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2016б. — Т. 185 — С. 175–184. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-175-184.
- Волков А.Ф., Ефимкин А.Я., Чучукало В.И.** Региональные особенности питания азиатских лососей в летний период // Изв. ТИНРО. — 1997. — Т. 122. — С. 324–341.
- Горбатенко К.М.** Сезонные изменения размерного состава массовых видов зоопланктона (эвфаузиид, гипериид, сагитт и крылоногих) Охотского моря и прилегающих вод // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 156. — С. 174–191.
- Горбатенко К.М.** Трофодинамика гидробионтов в Охотском море : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО, 2018. — 48 с.
- Горбатенко К.М., Гришан Р.П., Дудков С.П.** Биология и распределение гиперииды Охотского моря // Океанол. — 2017. — Т. 57, № 2. — С. 311–321. DOI: 10.7868/S0030157416060022.
- Дулупова Е.П.** Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 274 с.
- Дулупова Е.П.** Трофические связи массовых видов лососей в Беринговом море в летний период // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 614–623.
- Журавлев В.М., Нейман М.Ю.** К изучению суточного ритма вертикальных миграций и питания *Parathemisto japonica* Bov. (Crustacea, Hyperiididae) в Охотском море // Океанол. — 1976. — Т. 16, № 2. — С. 346–350.
- Заволокин А.В.** Пищевая обеспеченность тихоокеанских лососей в период морского и океанического нагула : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 48 с.
- Иванов А.Н.** Состав и структура nekтонного сообщества эпипелагиали Субарктического фронта северо-западной части Тихого океана : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 24 с.
- Иванов О.А.** Эпипелагическое сообщество рыб и головоногих моллюсков прикурильских вод Тихого океана в 1986–1995 гг. // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 3–54.
- Иванов О.А., Хоружий А.А.** Межгодовая динамика интегральных характеристик ихтиоцены верхней эпипелагиали тихоокеанских вод России в июне–сентябре 2004–2018 гг. // Вопр. ихтиол. — 2019. — Т. 59, № 5. — С. 566. DOI: 10.1134/S0042875219050059.
- Кузнецова Н.А.** Питание и пищевые отношения nekтона в эпипелагиали северной части Охотского моря : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 236 с.
- Кузнецова Н.А., Шебанова М.А.** Состояние планктонного сообщества в прикурильских водах при современном возобновлении массовых нагульных северных миграций субтропических рыб // Изв. ТИНРО. — 2017а. — Т. 190. — С. 119–131. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-119-131.

Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Питание и трофические отношения массовых видов рыб в прикурильских водах Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 20176. — Т. 190. — С. 132–145. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-132-145.

Куликова Е.Б. Сравнительная уловистость нескольких типов планктонных сетей // Тр. ИОАН СССР. — 1954. — Т. 11. — С. 233–237

Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие. — М. : Высш. шк., 1990. — 352 с.

Макрофауна пелагиали северо-западной части Тихого океана: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1979-2009 / В.П. Шунтов, Л.Н. Бочаров, И.В. Волвенко, В.В. Кулик; под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — 616 с.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / отв. ред. Е.В. Боруцкий. — М. : Наука, 1974. — 254 с.

Найденко С.В. Трофическая структура нектона эпипелагиали южнокурильского района в летний период в первой половине 1990-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 618–652.

Найденко С.В. Трофическая структура пелагических сообществ южнокурильского района : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2003. — 182 с.

Найденко С.В. Трофодинамика нектонных сообществ верхней эпипелагиали северо-западной части Тихого океана и западной части Берингова моря : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2023. — 506 с.

Найденко С.В., Ефимкин А.Я., Лаженцев А.Е. и др. Избирательность питания молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в дальневосточных морях // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 152. — С. 18–36.

Найденко С.В., Хоружий А.А. Трофодинамика нектонных сообществ эпипелагиали северо-западной части Тихого океана в летний и зимний периоды // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 188. — С. 181–203. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-188-181-203.

Нектон северо-западной части Тихого океана. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 544 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) : моногр. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищепромиздат, 1966. — 375 с.

Руководство по изучению питания рыб / сост. А.Ф. Волков, В.И. Чучукало. — Владивосток : ТИНРО, 1986. — 32 с.

Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / под ред. М.Е. Виноградова. — М. : Наука, 1983. — 279 с.

Чебанов С.М. Распределение гипериид в приповерхностном слое южной части Берингова моря и прилежащих районах Тихого океана // Тр. ВНИРО. — Т. 58 : Изв. ТИНРО. — Т. 53. — 1965. — С. 85–90.

Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.

Чучукало В.И., Кузнецова Н.А., Напазаков В.В. Сезонное распределение эвфаузиид в Беринговом и Охотском морях и прилежащих водах Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1996. — Т. 119. — С. 256–281.

Чучукало В.И., Напазаков В.В., Борисов Б.М., Самко Е.В. Сезонное распределение и некоторые черты биологии массовых видов гипериид пелагиали Охотского моря и прилежащих вод Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 1999. — Т. 126. — С. 529–551.

Шебанова М.А. Биология некоторых массовых видов копепод (Copepoda: Calanoida) в эпипелагиали Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 24 с.

Шебанова М.А. Закономерности сезонного распределения *Neocalanus plumchrus*, *Neocalanus cristatus*, *Eucalanus bungii* (Copepoda, Calanoida) в эпипелагиали Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1997. — Т. 122. — С. 342–360.

Шебанова М.А. Продукция копепод в западной части Берингова моря в летне-осенний период // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. мат.-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. — Т. 2. — С. 477–480.

Шебанова М.А. Продукция некоторых массовых видов копепод в Охотском море в летне-осенний период // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 148. — С. 221–237.

Шебанова М.А. Распределение и возрастной состав *Neocalanus plumchrus* и *Neocalanus flemingeri* в весенне-летний период в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 135. — С. 178–189.

Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Чучукало В.И. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Eucalanus bungii* в Охотском и Беринговом морях // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 162. — С. 281–293.

Шебанова М.А., Чучукало В.И., Горбатенко К.М. Жизненные циклы, соматическая продукция гипериид в Охотском и Беринговом морях // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 176. — С. 155–176. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-176-155-176.

Шебанова М.А., Чучукало В.И., Дулепова Е.П. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Oithona similis* (Copepoda) в Охотском и западной части Берингова морей // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 166. — С. 231–243.

Шорыгин А.А. Количественный способ изучения пищевой конкуренции у рыб // Зоол. журн. — 1946. — Т. 25, вып. 1. — С. 45–60.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — Т. 2. — 604 с.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Ефимкин А.Я. Состав и современное состояние сообщества рыб пелагиали тихоокеанских вод Камчатки и Курильских островов // Биол. моря. — 1988. — № 4. — С. 54–62.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П., Темных О.С. и др. Состояние биологических ресурсов в связи с динамикой макроэкосистем в дальневосточной российской экономической зоне // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — С. 75–176.

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.

Ashlock L., García-Reyes M., Gentemann C. et al. Temperature and patterns of occurrence and abundance of key copepod taxa in the Northeast Pacific // Sec. Marine Ecosystem Ecology. — 2021. — Vol. 8. — P. 1–10. DOI: 10.3389/fmars.2021.670795.

Ikeda T., Hirakawa R., Imamura A. Abundance, population structure and life cycle of a Hyperiid Amphipod *Themisto japonica* (Bovallius) in Toyama Bay, Southern Japan Sea // Bull. Planet. Soc. of Jap. — 1992. — Vol. 39, № 1. — P. 1–16.

References

Belyaev, V.A., *Ekosistema zony techeniya Kuroshio i yeye dinamika* (Ecosystem of the Kuroshio Current Area and its Dynamics), Khabarovsk: Khabarovskoye knizhnoye izdatel'stvo, 2003.

Bogorov, V.G., *Instruktsiya dlya provedeniya gidrobiologicheskikh rabot v more (plankton, bentos)* (Instructions for conducting hydrobiological work at sea (plankton, benthos)), Moscow; Leningrad: Izd-vo Glavsevmorputi, 1947.

Borovikov, V., *Statistica. Iskustvo analiza dannykh na komp'yutere* (Statistica. The Art of Data Analysis on a Computer), St. Petersburg: Piter, 2003, 2nd ed.

Vinogradov, M.E., *Vertikal'noe raspredelenie okeanicheskogo zooplanktona* (Vertical Distribution of Oceanic Zooplankton), Moscow: Nauka, 1968.

Volvenko, I.V., Morphometric characteristic of standard biostatistical regions for biocenological researches of Russian fishing zone on Far East, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 132, pp. 27–42.

Volvenko, I.V., Problems in quantitative estimation of fish abundance by trawl sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 473–500.

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., Quantitative parameters of zooplankton communities in the Okhotsk and Bering Seas and North-West Pacific (biomass, composition, dynamics), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 253–270.

Volkov, A.F., Average quantitative distribution of mass zooplankton species in the Far Eastern Seas and North-West Pacific (1984–2006), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 154, pp. 135–143.

Volkov, A.F., Method of zooplankton sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1996, vol. 119, pp. 306–311.

Volkov, A.F., Zooplankton epipelagial of the Far Eastern seas: community composition, inter-annual dynamics, importance in the nutrition of nekton, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1996.

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. doi 10.26428/1606-9919-2015-180-128-139

Volkov, A.F., Results of zooplankton research in the Bering Sea under NPAFC program (expedition BASIS). Part 1. Eastern areas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 169, pp. 45–66.

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. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-683-704

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., Tables and diagrams on trophology of walleye pollock in the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 185, pp. 175–184. doi 10.26428/1606-9919-2016-185-175-184

Volkov, A.F., Efimkin, A.Ya., and Chuchukalo, V.I., Regional feeding habits of Asian salmon in summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1997, vol. 122, pp. 324–341.

Gorbatenko, K.M., Seasonal changes in size of the mass zooplankton species (euphausiids, hyperiids, sagittas, and pteropods) in the Okhotsk Sea and adjacent waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 156, pp. 174–191.

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

Gorbatenko, K.M., Grishan, R.P., and Dudkov, S.P., Biology and distribution of hyperiids in the Sea of Okhotsk, *Oceanology*, 2017, vol. 57, no. 2, pp. 278–288. doi 10.1134/S0001437016060023

Dulepova, E.P., *Sravnitel'naya bioproduktivnost' makroekosistem dal'nevostochnykh morei* (Comparative Bioproductivity of Macroecosystems in Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2002.

Dulepova, E.P., Trophic relations on main species of Pacific salmon in Bering Sea in summer, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 614–623.

Zhuravlev, V.M. and Neyman, M.Yu., On the study of a diurnal rhythm of the vertical migrations and feeding of *Parathemisto japonica* Bov. (Crustacea, Hyperiididae) in the Sea of Okhotsk, *Oceanology*, 1976, vol. 16, no. 2, pp. 346–350.

Zavolokin, A.V., Food availability for Pacific salmon during the period of feeding in sea and ocean, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Ivanov, A.N., Composition and structure of the nekton community of the epipelagic zone of the Subarctic Front of the northwestern part of the Pacific Ocean, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Ivanov, O.A., Epipelagic community of fishes and squids in the Kuril Islands area of the Pacific Ocean in 1986–1995, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 3–54.

Ivanov, O.A. and Khoruzhy, A.A., Interannual dynamics of the FISH COMMUNITY'S integral characteristics IN the upper epipelagic LAYER of THE Pacific OCEAN'S Russian in June-September 2004–2018), *Vopr. Ikhtiol.*, 2019, vol. 59, no. 5, pp. 727–742. DOI: 10.1134/S0032945219050047

Kuznetsova, N.A., *Pitaniye i pishchevye otnosheniya nektona v epipelagiali severnoi chasti Okhotskogo morya* (Diet and Feeding Interactions of Nekton in the Epipelagic Zone of the Northern Sea of Okhotsk), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Kuznetsova, N.A. and Shebanova, M.A., State of plankton community in the Kuril waters under recent renewal of mass feeding northward migrations of subtropical fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 119–131. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-119-131

Kuznetsova, N.A. and Shebanova M.A., Feeding and trophic relations of mass fish species in the Kuril waters of the Pacific Ocean, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 132–145. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-132-145

Kulikova, E.B., Comparative catchability of several types of plankton nets, *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1954, vol. 11, pp. 233–237.

Lakin, G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1990.

Shuntov, V.P., Bocharov, L.N., Volvenko, I.V., and Kulik, V.V., *Pelagic Macrofauna of the Northwestern Pacific: Occurrence, Abundance, and Biomass. 1979–2009*, Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2012.

Metodicheskoye posobiye po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v yestestvennykh usloviyakh (Toolkit for the study of nutrition and nutritional relationships of fish in vivo), Borutsky, E.V., ed. Moscow: Nauka, 1974.

Naidenko, S.V., Trophic structure of nekton in the epipelagic of the South Kuril region in summer, 1991–1996, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 618–652.

Naidenko, S.V., Trophic structure of pelagic communities of the South Kuril region, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2003.

Naidenko, S.V., Trophodynamics of nekton communities of the upper epipelagic zone of the northwestern Pacific Ocean and the western Bering Sea, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2023.

Naidenko, S.V., Efimkin, A.Ya., Lazhentsev, A.E., Kuznetsova, N.A., Kosenok, N.S., and Slabinsky, A.M., Selectivity in the diet of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the Bering, Okhotsk, and Japan Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 18–36.

Naydenko, S.V. and Khoruzhiy, A.A., Trophodynamics of nekton communities in the epipelagic layer of the north-west Pacific in summer and winter seasons, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 188, pp. 181–203. doi 10.26428/1606-9919-2017-188-181-203

Nekton of the Northwestern Pacific. Abundance, Biomass and Species Ratio, Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., Eds., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Pravdin, I.F., *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* (Guide to the Study of Fish (Mainly Freshwater)), 4th ed., Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.

Volkov, A.F. and Chuchukalo, V.I., *Rukovodstvo po izucheniyu pitaniya ryb* (Guide to the Study of Diet of Fish), Vladivostok: TINRO, 1986.

Sovremennyye metody kolichestvennoi otsenki raspredeleniya morskogo planktona (Modern Methods for Quantifying the Distribution of Marine Plankton), Vinogradov, M.E., ed., Moscow: Nauka, 1983.

Chebanov, S.M., Distribution of hyperiids in inflammation foci in the southern part of the Bering Sea and the threat of approach to the Pacific Ocean, *Tr. Vseross. Nauchnj-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, vol. 58: *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, vol. 53, 1965, pp. 85–90.

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., Kuznetsova, N.A., and Napazakov, V.V., Seasonal distribution of euphausiids in the Bering and Okhotsk Seas and adjacent waters of the Pacific ocean, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1996, vol. 119, pp. 256–281.

Chuchukalo, V.I., Napazakov, V.V., Borisov, B.M., and Samko, Ye.V., Seasonal distribution and some features of biology of mass species of Hyperiidea in pelagic layer of the Okhotsk Sea and adjacent Pacific Ocean waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1999, vol. 126, pp. 529–551.

Shebanova, M.A., Biology of some common copepod species (Copepoda: Calanoida) in the epipelagic zone of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-center, 2006.

Shebanova, M.A., Regularities of seasonal distribution of *Neocalanus plumchrus*, *Neocalanus cristatus*, *Eucalanus bungii* (Copepoda; Calanoida) in epipelagic of the Okhotsk sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1997, vol. 122, pp. 342–360.

Shebanova, M.A., Somatic production of copepoda in the western part of Bering Sea in summer-autumn period, in *Sb. mater. Vseross. nauchno-prakt. konf. mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol. biol. stn. "Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy"* (Collect. Mater. All-Russ. Sci. Pract. Conf. Int. Participation, Commem. 145th Anniv. Sevastopol Biol. Stn. "Marine Biological Research: Achievements and Prospects"), Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 2, pp. 477–480.

Shebanova, M.A., Production of some mass species of Copepoda in the Okhotsk Sea in summer-autumn, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 148, pp. 221–237.

Shebanova, M.A., Distribution and age structure of *Neocalanus plumchrus* and *Neocalanus flemingeri* in the Okhotsk Sea in spring-summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 135, pp. 178–189.

Shebanova, M.A., Dulepova, E.P., and Chuchukalo, V.I., Some features of *Eucalanus bungii* biology and its production characteristics in the Okhotsk and Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 162, pp. 281–293.

Shebanova, M.A., Chuchukalo, V.I., and Gorbatenko, K.M., Life cycles and somatic production of hyperiids in the Okhotsk and Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 176, pp. 155–176. doi 10.26428/1606-9919-2014-176-155-176

Shebanova, M.A., Chuchukalo, V.I., and Dulepova, E.P., Some features of biology and production parameters of *Oithona similis* from the Okhotsk and western Bering Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 166, pp. 231–243.

Shorygyn, A.A., Quantitative method for the evaluation of the food competition of fishes, *Zool. Zh.*, 1946, vol. 25, no. 1, pp. 45–60.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.

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., Dulepova, E.P., Temnykh, O.S., Volkov, A.F., Naidenko, S.V., Chuchukalo, V.I., and Volvenko, I.V., The status of biological resources in connection with dynamics of macroecosystems in the Far Eastern economic zone of Russia, in *Dinamika morskikh ekosistem i sovremennye problemy sokhraneniya bioresursnogo potentsiala morei Rossii* (Dynamics of Marine Ecosystems and the Current Problems of Conservation of the Bioresource Potential of the Russian Seas), Vladivostok: Dal'nauka, 2007, pp. 75–176.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskie 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., *Tikhookeanskie lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, vol. 2.

Ashlock, L., García-Reyes, M., Gentemann, C., Batten, S., and Sydeman, W., Temperature and patterns of occurrence and abundance of key copepod taxa in the Northeast Pacific, *Sec. Marine Ecosystem Ecology*, 2021, vol. 8, pp. 1–10. doi 10.3389/fmars.2021.670795

Ikeda, T., Hirakawa, R., and Imamura, A., Abundance, population structure and life cycle of a Hyperiid Amphipod *Themisto japonica* (Bovallius) in Toyama Bay, Southern Japan Sea, *Bull. Planct. Soc. of Jap.*, 1992, vol. 39, no. 1, pp. 1–16.

Kun, M.S., Volkov, A.F., and Karedin, E.P., *Instruktsiya po sboru i pervichnoy obrabotke planktona v more* (Instructions for the collection and primary processing of plankton at sea), Vladivostok: TINRO, 1974.

Поступила в редакцию 29.10.2024 г.

После доработки 4.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 29.10.2024; approved after reviewing 4.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024

Обзорная статья

УДК 551.46.062.5(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-823-842

EDN: TIXLPC



СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕРМОХАЛИННЫХ УСЛОВИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

В.В. Коломейцев¹, С.Л. Горин^{2*}¹ Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18;² Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Проведен анализ освоенности научным сообществом имеющегося массива данных по температуре и солёности воды за весь период наблюдений на шельфе западной Камчатки. В связи с этим приводятся сведения о существующих публикациях и наиболее важных диссертациях по теме исследования, а также обобщаются их результаты. Обсуждаются сложившиеся представления о распределении водных масс, сезонной и многолетней изменчивости температуры и солёности воды на шельфе. Выявлено, что вопрос о пространственно-временной динамике солёности в зоне смешения речных и морских вод в прибрежной части шельфа изучен недостаточно и поэтому требует специального исследования, а оценки сезонной и многолетней изменчивости температуры воды нуждаются в существенных дополнениях как во времени (с учётом данных за последние 20 лет), так и в пространстве (для различных частей шельфа).

Ключевые слова: Охотское море, западная Камчатка, шельф, водные массы, температура, солёность, литературные источники, зона смешения

Для цитирования: Коломейцев В.В., Горин С.Л. Состояние изученности термохалинных условий на шельфе западной Камчатки // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 823–842. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-823-842. EDN: TIXLPC.

Review article

State of knowledge for thermohaline conditions on the shelf of West Kamchatka

Vladimir V. Kolomeytsev*, Sergey L. Gorin**

* Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),
18, Naberezhnaya, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia
** Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

* leading researcher, v.kolomeycev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-1848-2699

** Ph.D., leading researcher, gorinser@mail.ru, ORCID 0000-0001-8436-8379

* Коломейцев Владимир Викторович, ведущий специалист, v.kolomeycev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-1848-2699; Горин Сергей Львович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, gorinser@mail.ru, ORCID 0000-0001-8436-8379.

© Коломейцев В.В., Горин С.Л., 2024

Abstract. All available data on water temperature and salinity for the shelf of West Kamchatka are analyzed and all scientific publications and the most important unpublished theses concerning this area are summarized. Current ideas about the water masses distribution and seasonal and long-term variability of water temperature and salinity on the shelf are discussed. There is noted that the existing estimates of seasonal and long-term variability of water temperature require significant additions for recent times (last 20 years) and certain spatial areas. Insufficient understanding is revealed for spatial-temporal dynamics of salinity in the mixing zone between the river and sea waters that requires special research.

Keywords: Okhotsk Sea, West Kamchatka, shelf, water mass, water temperature, salinity, state of knowledge, mixing zone

For citation: Kolomeytshev V.V., Gorin S.L. State of knowledge for thermohaline conditions on the shelf of West Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 823–842. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-823-842. EDN: TIXLPC.

Введение

Охотское море имеет большое значение для рыбного хозяйства России, а шельф западной Камчатки (ЗК) является одним из самых продуктивных районов этого моря [Шунтов, 2001]. Здесь происходят нерест и развитие многих видов рыб и беспозвоночных, ведется промысел камчатского краба, минтая, трески, наваги, камбал, тихоокеанских лососей. Динамика их численности, сроки и места нереста, плотность промысловых скоплений, пути миграций и др. тесно связаны с гидрологическими условиями на шельфе, изменчивыми во времени и пространстве [Шунтов, 1985, 2001; Шунтов, Дулепова, 1998; Фигуркин, 2003]. Инструментальные океанографические исследования в Охотском море продолжаются уже более 100 лет [Лучин и др., 1998; Коломейцев, 2022]. Благодаря этому к настоящему времени собран большой объем океанографического материала по восточной части Охотского моря, включающей шельф ЗК: только в базе данных КамчатНИРО насчитывается около 24 тыс. станций, а с учетом материалов экспедиций, находящихся в других организациях (прежде всего — данные ТИНРО), общий объем данных превышает 40 тыс. станций [Коломейцев, Горин, 2023].

Цель настоящей статьи — оценить, насколько имеющийся массив данных наблюдений освоен научным сообществом в виде публикаций (речь идет только о тех работах, в которых использовались данные прямых наблюдений).

Материалы и методы

Работа основана на анализе литературных данных, опубликованных в виде статей и монографий за весь период исследований, а также диссертаций. Рассмотрены только те работы, которые имеют непосредственное отношение к термохалинным условиям на шельфе ЗК. Кроме этого, упоминаются наиболее важные из тех публикаций, в которых термохалинные условия на шельфе ЗК рассматривались в контексте обсуждения всего Охотского моря или его северной части. Под шельфом подразумевается часть моря от уреза воды до глубины (изобаты) 200 м [Гидрометеорологические условия..., 1984]. Не рассматриваются публикации, касающиеся температуры поверхности моря, полученной посредством дистанционного зондирования Земли.

Вопрос о термохалинных условиях на шельфе ЗК в той или иной мере затрагивался в 48 публикациях. Но в рамках настоящей работы интерес представляют только 34 публикации (табл. 1). Из них всего в 20 работах термохалинные условия на шельфе ЗК рассматривались предметно, причем лишь в 10 публикациях использовались относительно современные данные (относящиеся к периоду после 1990 г.).

Таблица 1

Данные по изучению термохалинных условий на шельфе западной Камчатки

Table 1

List of data for thermohaline conditions on the shelf of West Kamchatka

Изученный вопрос термохалинных условий	Только температура	Кол-во	Температура и соленость	Кол-во
Водные массы и пространственная изменчивость термохалинной структуры вод				
Вертикальная изменчивость	[<u>Леонов, 1941; Лучин, Лаврентьев, 1997; Павлычев, 1997</u>]	3	[<u>Дерюгин, 1930; Морошкин, 1966; Китани, 1973; Бобков и др., 1996; Зуенко, Юрасов, 1997; Лучин и др., 1998; Хен и др., 2002; Фигуркин, 2003; Жигалов, 2005; Круци, Лучин, 2013; Лучин, Круци, 2016</u>]	11
Горизонтальная изменчивость	[<u>Чернявский, 1984; Павлычев, 1997; Жигалов, 2004</u>]	3	[<u>Леонов, 1941; Морошкин, 1966; Давыдов, 1975; Бобков и др., 1996; Зуенко, Юрасов, 1997; Лучин и др., 1998; Мороз, 1998; Исследование....2001*; Хен и др., 2002; Фигуркин, 2002, 2003; Круци, Лучин, 2013; Лучин, Круци, 2016</u>]	13
Всего работ (из них предметных)		5 (4)	Всего работ (из них предметных)	16 (7)
Сезонная изменчивость термохалинных условий				
По данным океанологических станций	[<u>Веселова, 1975а, б; Жигалов, 2004</u>]	3	[<u>Морошкин, 1966; Лучин и др., 1998; Исследование....2001*; Фигуркин, 2003, 2011, Лучин, 2018</u>]	6
По данным МГ и МГП**	[<u>Веселова, 1975а</u>]	1	[<u>Лучин и др., 1998</u>]	1
Всего работ (из них предметных)		3 (3)	Всего работ (из них предметных)	6 (4)
Межгодовая изменчивость термохалинных условий				
Поверхностный слой	[<u>Карманов, 1982; Лучин и др., 1998; Исследование....2001*; Фигуркин, 2003</u>]	4	–	0
Вся толща или отдельные слои/горизонты	[<u>Давыдов, 1975; Лучин, Лаврентьев, 1997; Фигуркин, 1997; Исследование....2001*; Устинова и др., 2002; Фигуркин, 2003; Жигалов, 2004; Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, Матвеев, 2016</u>]	9	–	0
Придонный слой	[<u>Винокурова, 1964, 1972; Павлычев и др., 1989; Исследование....2001*; Фигуркин, 2003, 2011; Жигалов, 2004; Жигалов, Лучин, 2005</u>]	8	–	0

Окончание табл. 1
Table 1 finished

Изученный вопрос термохалинных условий	Только температура	Кол-во	Температура и соленость	Кол-во
По данным МГ и МГП**	[Лучин и др., 1998; Исследование..... 2001*; Устинова и др., 2002; Ростов и др., 2017]	4	–	0
Всего работ (из них предметных)		16 (13)	–	0 (0)

Примечание. Курсивом выделены работы, в которых термохалинные условия вод на шельфе ЗК рассматривались не предметно, а в контексте всего моря; подчеркиванием — работы, в которых в том числе использованы данные современного периода (с 1991 г.); при подсчете общего количества работ по каждому разделу исключались дубликаты в подразделах.

* Исследование пространственно-временной изменчивости гидрометеорологических условий восточной части Охотского моря (Западно-Камчатский район) : отчет по х/д 07-01 от 19.01.2001 г. Владивосток, 2001. 85 с. (Данный отчет, выполненный сотрудниками ТИНРО, непосредственно относится к теме исследования и содержит материалы, которых нет в публикациях. Ознакомьтесь с ним можно в приложении на странице статьи на сайте журнала (<http://izvestiya.tinro-center.ru>)).

** Здесь и далее: МГ — морская гидрометеорологическая станция, МГП — морской гидрометеорологический пост.

Результаты и их обсуждение

Водные массы (пространственная изменчивость). Интерес к изучению водных масс Охотского моря возник у исследователей с началом инструментальных наблюдений и сохраняется до сих пор. Так, С.О. Макаров [1894] в северо-западной части моря отметил наличие «*промежуточного слоя холодной воды*», находящегося между «*поверхностной*» и «*нижней теплой водой*». По данным японских наблюдений под руководством проф. Марукава в 1915–1917 гг., в восточной части моря обнаруживалась «*масса теплой воды, имеющей своим происхождением северную часть Тихого океана*», которая движется с юга на север [Дерюгин, 1930]. В дальнейшем изучением водных масс занимались А.К. Леонов [1941, 1960]; П.В. Ушаков [1949]; К.В. Морошкин [1966]; К. Kitani [1973]; Ю.И. Зуенко и Г.И. Юрасов [1997]; В.А. Лучин и В.М. Лаврентьев [1998]; А.Л. Фигуркин [2003]; А.А. Круц и В.А. Лучин [2013]; В.А. Лучин и А.А. Круц [2016]. До середины XX века существенным ограничением для получения представления о распределении водных масс в масштабе всего моря было небольшое количество данных. Со временем, по мере накопления данных, информация о термохалинной структуре вод моря постепенно уточнялась и детализировалась. На рис. 1 показано распределение водных масс по вертикали в глубоководной части моря в соответствии с мнением разных авторов. Несмотря на то что настоящая работа посвящена шельфу ЗК, выделенному нами по изобате 200 м, в данном разделе представлена вся толща вод Охотского моря, включая Южную котловину. Во многих публикациях водные массы рассматриваются без разделения на шельф и глубоководную часть. При этом описание вертикальной структуры делается с учетом взаимосвязи между отдельными водными массами.

П.В. Ушаков [1949, с. 769] по распределению бентонических группировок определил схему вертикальных зон Охотского моря, «*которая строго согласуется с вполне определенными водными массами*». Используя вертикальное распределение температуры, солености и кислорода, он

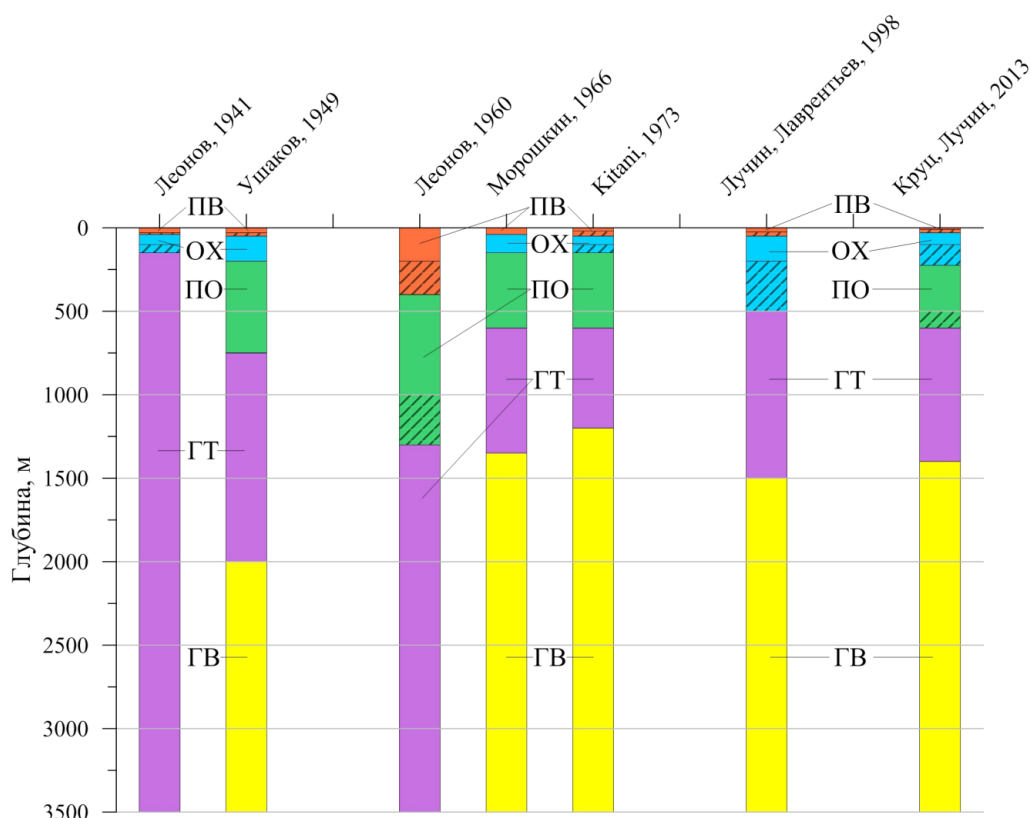


Рис. 1. Распределение водных масс по вертикали в глубоководной части моря (до 3 500 м). Заштрихованные области — пересечение водных масс в диапазоне изменчивости границ залегания. Обозначение водных масс приведено по К.В. Морошкину [1966]: *ПВ* — поверхностная водная масса; *ОХ* — охотоморская водная масса; *ПО* — промежуточная охотоморская водная масса; *ГТ* — глубинная тихоокеанская водная масса; *ГВ* — глубинные воды Южной котловины Охотского моря

Fig. 1. Vertical distribution of water masses in the deep area of Okhotsk Sea (depth up to 3,500 m). Layers of the water masses overlapping within the ranges of their properties are shaded. The water masses according to K.V. Moroshkin [1966]: *ПВ* — Surface water; *ОХ* — Subsurface water (cold subsurface layer); *ПО* — Intermediate water; *ГТ* — Deep water of Pacific origin; *ГВ* — Deep water of the Southern Basin

выделил 5 водных масс (рис. 1): поверхностный слой летнего прогрева (от 0 до 30–50 м); слой «вечной мерзлоты», или собственные воды Охотского моря от 30–50 до 200 м; «океаническая тропосфера» (от 200 до 750 м); переработанные промежуточные океанические воды с застойными явлениями (от 750 до 2000 м); неизменные глубинные океанические воды (на глубинах более 2000 м).

А.К. Леонов [1960], взяв за основу вертикальное распределение температуры воды, разделил толщу вод на 4 водные массы (рис. 1): поверхностную (до глубины минимальных температур — 200–400 м); промежуточную (от 200–400 до 1000–1300 м); глубинную тихоокеанскую (от 1000–1300 м до дна); а также прибрежную (в районах значительного речного стока), которая, по его мнению, не имеет принципиального значения в гидрологическом режиме моря. К.В. Морошкин [1966] обратил внимание на некорректное определение А.К. Леоновым нижней границы поверхностной водной массы по минимальным значениям температуры. В своей работе он на основе обобщения 11 тыс. океанографических станций по *TS*-кривым и распределению устойчивости и градиентов плотности выделил в Охотском море следующие водные массы (рис. 1): поверхностную, с нижней границей на глубине 40 м; охотоморскую (холодный под-

поверхностный слой — ХПС) — от 40 до 100–150 м; промежуточную охотоморскую, располагающуюся на глубинах от 100–150 до 400–700 м; глубинную тихоокеанскую с пределами глубин от 400–700 до 1350 м; водную массу южной котловины моря (от 1350 м до дна). Также на прибрежных участках моря, в том числе вблизи Камчатки, им была выделена еще местная водная масса — «опресненная поверхностная вода Охотского моря, которая охватывает весьма тонкий поверхностный слой моря (от 0 до 5–10 м) и характеризуется довольно низкой соленостью» [Морошкин, 1966, с. 27]. Других характеристик этой водной массы К.В. Морошкин не привел.

Kitani [1973], основываясь на данных наблюдений на японских судах за период с 1937 по 1970 г., поделил толщу вод Охотского моря на 5 слоев (рис. 1): летняя поверхностная вода (от поверхности до горизонтов 20–50 м); подповерхностная холодная вода (от 20–50 до 100–150 м); транзитная вода, занимающая слой между горизонтами 100–150 и 600 м; глубинная теплая вода и глубинная вода. Основное внимание в работе автор уделил верхним трем элементам вертикальной структуры вод.

В.А. Лучин и В.М. Лаврентьев [1998] на основе массива данных из более 50 тыс. океанографических станций с применением TS-анализа выделили в глубоководной части Охотского моря 4 водные массы (рис. 1): поверхностную (от поверхности до 25–50 м); холодную промежуточную (с нижней границей от 200–250 в северной части моря до 500–600 м в районе Курильской гряды); глубинную (от 250–500 до 1000–1500 м) и придонную водную массу.

Последние исследования позволили уточнить границы распространения водных масс по вертикали [Круц, Лучин, 2013] и термохалинные характеристики их ядер [Лучин, Круц, 2016]. В частности эти авторы, используя большой массив всех имеющихся к тому времени данных океанографических наблюдений по Охотскому морю (более 100 тыс. станций), определяют следующие водные массы и границы их залегания (рис. 1): поверхностная (нижняя граница на 10–30 м); охотоморская (нижняя граница изменяется от 100–125 до 225 м в зависимости от района моря); охотоморская промежуточная (нижняя граница на 500–600 м); глубинная тихоокеанская (нижняя граница на 1100–1400 м) и водная масса Южной котловины Охотского моря.

В большинстве из перечисленных работ обращается внимание на сезонность существования поверхностной водной массы. Зимой она не прослеживается, а в остальное время года имеет три модификации: весеннюю (когда происходит прогрев поверхности), летнюю (на пике прогрева) и осеннюю (когда происходит выхолаживание вод поверхности) [см. например Леонов, 1941; Морошкин, 1966; Лучин и др., 1998; Фигуркин, 2003].

Что касается шельфа ЗК, то к настоящему времени здесь принято выделять две водные массы — поверхностную и охотоморскую. Поверхностная водная масса образуется в теплый период года под воздействием радиационного прогрева поверхности моря, речного стока, адвекции вод из соседних районов и атмосферных осадков [Лучин, Круц, 2016]. Ее распространение по глубине осуществляется в основном за счет ветрового перемешивания, вертикального и бокового приливного обмена, взаимодействия отдельных звеньев циркуляции вод, а также осенне-зимней конвекции. Наибольшая мощность наблюдается в августе-сентябре, температура и соленость (без учета узкой прибрежной части) в это время составляют соответственно 10–12 °С и 30–32 епс [Luchin et al., 2009]. Зимой в результате выхолаживания поверхностная водная масса исчезает, а сами поверхностные воды становятся очагом формирования охотоморской водной массы. При этом некоторые ученые [например А.Л. Фигуркин, 2003; В.А. Лучин и А.А. Круц, 2016; и др.], определяя сезонность поверхностной водной массы, все же приводят ее характеристики для зимнего периода.

Охотоморская водная масса образуется в результате осенне-зимнего охлаждения поверхности моря и вертикального перемешивания [Лучин, Круц, 2016]. По разным источникам, она охватывает толщу от 100 до 250 м (см. выше). Таким образом, зимой на шельфе от берега до этих изобат охотоморская водная масса простирается от поверхности до дна [Леонов, 1941; Морошкин, 1966; Фигуркин, 2003; Круц, Лучин,

2013]. В теплый период года над охотоморской водной массой формируется поверхностная водная масса. Сформированная таким образом плотностная стратификация способствует сохранению характеристик охотоморской водной массы до наступления нового этапа осенне-зимнего охлаждения. Ядром этой водной массы является холодный подповерхностный слой, а точнее поверхность минимальных температур этого слоя [Морошкин, 1966; Лучин, Круц, 2016]. В зависимости от времени года и участка шельфа западной Камчатки температура в ядре охотоморской водной массы изменяется от $-0,5$ до $+1,5$ °C, а соленость — от 32,9 до 33,1 епс [Морошкин, 1966; Лучин, Круц, 2016]. Согласно А.Л. Фигуркину [2003], диапазон изменения температуры несколько выше — от $-1,5$ до $+2,0$ °C.

А.А. Бобков с соавторами [1996] на основе TS-анализа средних многолетних данных с привлечением материалов съемки в восточной части Охотского моря, выполненной летом 1987 г., выделяют на шельфе ЗК собственно охотоморские воды, трансформированные тихоокеанские (или воды Западно-Камчатского течения) и воды, расположенные в довольно узкой прибрежной зоне шельфа и занимающие самый верхний 20-метровый слой (прибрежные воды). Авторы оценивают ширину прибрежных вод вдоль побережья ЗК в 15–35 миль. Их характерной чертой отмечена пониженная соленость на поверхности, не превышающая в ряде мест 30 епс.

Ю.И. Зуенко и Г.И. Юрасов в [1997] предложили классификацию водных масс для шельфа Охотского моря, в которой, помимо механизмов их формирования и горизонтов залегания, также учитывалось пространственное положение на шельфе. В районе ЗК ими было выделено 5 типов водных масс: поверхностная субарктическая, поверхностная прибрежная, приливного перемешивания, подповерхностная субарктическая и промежуточная субарктическая. В соответствии с предшествующими работами по выделению водных масс первые две представляют собой модификации поверхностной водной массы, подповерхностная субарктическая — охотоморская водная масса и промежуточная субарктическая — промежуточная охотоморская водная масса. При этом авторы обращают внимание на то, что «у берегов Камчатки поверхностная прибрежная водная масса распространена в меньшей степени, чем в других районах моря» [Зуенко, Юрасов, 1997, с. 53]. Характеристики выделенных водных масс представлены в табл. 2.

Таблица 2

Типичные характеристики водных масс шельфа западной Камчатки
[по: Зуенко, Юрасов, 1997] (числитель — февраль, знаменатель — август)

Table 2

Typical properties of water masses on the shelf of West Kamchatka
[from: Zuenko, Yurasov, 1997] (numerator — February, denominator — August)

Водная масса	Температура, °C	Соленость, епс	Горизонты залегания, м
Поверхностная прибрежная	<u>Нет данных</u> 12–15	<u>Нет данных</u> 31–32	<u>Нет данных</u> 0–20
Поверхностная субарктическая	<u>$-1,0...-1,5$</u> 10–13	<u>33,0–33,5</u> 32,4–32,9	<u>Не определена</u> 0–30
Приливного перемешивания	<u>0–1</u> 3–6	<u>33,0–33,5</u> 32,7–33,0	<u>0–150</u> 0–100
Подповерхностная субарктическая	<u>$-1,5...-0,5$</u> 0–1	<u>33,0–33,5</u> 32,8–33,3	<u>Не определена</u> 10–200
Промежуточная субарктическая	<u>1,0–1,5</u> 1,0–1,5	<u>33,2–33,7</u> 33,2–33,7	<u>> 150</u> <u>> 150</u>

Примечание. Горизонты залегания поверхностной и подповерхностной субарктических водных масс в зимний период не определены, так как они не различаются по своим термохалинным характеристикам.

А.Л. Фигуркин [2003], рассматривая среднемноголетние характеристики вод северной части Охотского моря, выделяет на шельфе ЗК прибрежную, срединную и

внешнюю модификации охотоморской водной массы. Для прибрежной модификации характерно распреснение стоком с материка и однородность. Срединная шельфовая модификация находится между прибрежной и внешней модификациями. В теплую часть года воды этой области характеризуются двухслойной структурой, а в зимний период — гомогенностью. Внешняя модификация охотоморской водной массы отличается наличием подстилающей более теплой водной массы, которая не затронута осенне-зимним выхолаживанием. По предложенной А.Л. Фигуркиным классификации, зимой практически весь шельф ЗК (за исключением той его части, где теплые воды являются подстилающими) занят охотоморской водной массой. Летом в эту структуру добавляется поверхностная водная масса.

Таким образом, имеется устоявшееся представление о том, что на шельфе ЗК существуют как минимум две водные массы — поверхностная, которая формируется в теплый период года и зимой при конвективном перемешивании исчезает, и охотоморская. Кроме того, в ряде работ показано, что ближе к берегу водная масса заметно отличается от водных масс открытой части моря. Ее предлагали рассматривать в качестве отдельной водной массы или как модификацию поверхностной. Но рассуждения об этом были достаточно неопределенными, поскольку специальные исследования не проводились.

Сезонная изменчивость. В работах, посвященных изучению сезонной изменчивости термохалинных условий на шельфе ЗК, установлены основные процессы, которые ее обуславливают. К ним относятся тепломассообмен с атмосферой (зимнее охлаждение, летний прогрев, осадки, испарение), речной сток с берега ЗК, адвекция вод из других районов моря, ветровое и приливное перемешивание, образование и таяние льда [см. например Веселова, 1975а; Лучин и др., 1998; Исследование..., 2001*; Жигалов, 2004].

Внутригодовой ход термохалинных характеристик в прибрежных районах Охотского моря исследовался по материалам, полученным на морских гидрометеорологических станциях (МГ) и постах (МГП) Росгидромета**. На побережье ЗК это пункты «Озерная» (МГ), «Октябрьский» (МГП), «Устьевой» (МГП), «Ича» (МГ), «Усть-Хайрюзово» (МГ) и «Остров Птичий» (МГП). В результате установлено, что минимум температуры воды наступает в феврале-марте, и вдоль побережья он понижается с юга на север от минус 0,5–1,0 (МГ «Озерная») до минус 1,5–1,8 °С (МГ «Ича» и МГП «Остров Птичий») [Веселова, 1975а; Лучин и др., 1998]. Максимум во внутригодовом ходе температуры приходится на август. Наибольшие значения наблюдаются на МГ «Усть-Хайрюзово», где они составляют 14–15 °С [Веселова, 1975а]. По данным на МГ «Ича» максимум на этом участке побережья не превышает 11 °С [Лучин и др., 1998]. Таким образом, северная часть шельфа ЗК прогревается заметно сильнее, чем центральная и южная. Внутригодовая изменчивость солёности в прибрежных водах шельфа рассматривалась В.А. Лучиным с соавторами [1998] на примере МГ «Ича». Максимум солёности наблюдается в феврале-марте, когда вдоль берега ЗК отмечается наибольшее развитие ледяного покрова [Петров и др., 1998; Думанская, 2015], и равен 32,0–32,5 епс. Минимум солёности, составляющий 28–29 епс, приходится на

* Исследование... (2001).

** По нашему опыту работ с данными МГ и МГП на ЗК отметим, что в большинстве случаев эти станции расположены не в очень удачных местах. МГП «Октябрьский», «Устьевой» и МГ «Ича» находятся под сильным влиянием речного стока, причем это влияние переменное (оно изменяется в связи с миграцией устьев рек [Горин, 2009; Горин и др., 2019; Горин, Коваль, 2019]). Поэтому данные с этих станций отражают термохалинную обстановку только в месте их нахождения, и при этом они не однородны в многолетнем периоде. Следовательно, для всей прибрежной зоны моря они нерепрезентативны. В относительно лучших условиях расположены МГП «Остров Птичий» и МГ «Озерная», которые находятся соответственно на северной и южной периферии рассматриваемого нами района.

июнь и связан с весенним половодьем на реках и таянием льда в прибрежной части моря. Второй минимум, соответствующий 30–31 епс, приходится на сентябрь–октябрь [Лучин и др., 1998, с. 132]. Он обусловлен осенним паводком на реках, являющимся следствием повышения активности южных циклонов, приносящих с собой большое количество осадков.

Сезонная изменчивость термохалинных условий вод открытой части шельфа ЗК рассматривалась в основном в контексте всего моря (или его северной части) по многолетним средним месячным полям температуры и солёности воды на различных горизонтах [Морошкин, 1966; Веселова, 1975а; Лучин и др., 1998; Исследование..., 2001*; Фигуркин, 2003; Жигалов, 2004; Лучин, 2018]. Минимум температуры на поверхности, так же как и в прибрежных водах, приходится на февраль–март. В эти месяцы ее значения на свободной ото льда акватории изменяются от $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в южной части шельфа ЗК, где отепляющее влияние оказывают трансформированные тихоокеанские воды, до $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ на севере района. В апреле–мае, с увеличением поступающей к поверхности солнечной радиации, температура воды начинает повышаться, а ледяной покров интенсивно разрушаться. Пик прогрева, как правило, приходится на август. Температура воды на поверхности достигает $8\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на южном и северном участках шельфа ЗК и $10\text{--}12\text{ }^{\circ}\text{C}$ — в центральной части и прилегающем глубоководном районе [Лучин и др., 1998; Жигалов, 2004; Luchin et al., 2009; Лучин, 2018]. Максимум солёности на поверхности отмечается в феврале–марте и составляет на свободной ото льда акватории $32,7\text{--}32,9$ епс. В мае вследствие таяния льдов и увеличивающегося стока рек солёность на внешней части шельфа ЗК понижается до $32,5\text{--}32,8$ епс, а ближе к берегу — до $32,0\text{--}32,5$ епс. Минимальные значения этой характеристики наблюдаются в период с июня по август. На прибрежном участке шельфа формируется область распресненных вод со значениями $30,0\text{--}30,5$ епс, на центральном и внешнем участках шельфа образуется зона высоких градиентов солёности, в которой в направлении открытого моря значения увеличиваются до $32,5\text{--}32,8$ епс [Лучин и др., 1998; Luchin et al., 2009; Лучин, 2018]. С августа солёность на поверхности начинает постепенно увеличиваться.

С ростом глубины горизонтов амплитуды сезонных колебаний термохалинных характеристик значительно уменьшаются. В особенности это прослеживается глубже слоя летнего прогрева (ниже поверхностной водной массы) и следующего за ним слоя высоких градиентов температуры и солёности. Так, на горизонте 50 м размах между максимальными и минимальными значениями температуры составляет $4\text{--}6\text{ }^{\circ}\text{C}$, что в 2–3 раза меньше, чем на поверхности [Лучин и др., 1998]. Сроки наступления минимума и максимума смещаются на 1–2 мес. позднее — соответственно на апрель–май и октябрь–ноябрь. Внутригодовые колебания солёности на этом же горизонте характеризуются размахом значений $0,2\text{--}0,5$ епс.

На горизонте 100 м сезонные изменения температуры и солёности еще меньше. Сезонный размах значений температуры составляет $1,5\text{--}2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это ниже в 2–3 раза по сравнению с горизонтом 50 м и примерно в 5–8 раз по сравнению с поверхностью. Наибольшая изменчивость наблюдается у юго-западного побережья Камчатки, что обусловлено сезонными колебаниями поступления в этот район тихоокеанских вод. Солёность в течение года изменяется незначительно — $0,1\text{--}0,2$ епс [Лучин и др., 1998].

Таким образом, в результате предшествующих исследований выявлены следующие черты сезонной изменчивости термохалинных условий на шельфе ЗК. Минимум температуры и максимум солёности на поверхности приходятся на февраль–март. Наибольший прогрев наблюдается в августе, минимум солёности наступает в июне–июле. С глубиной амплитуда сезонных колебаний характеристик значительно уменьшается.

* Исследование... (2001).

Следует отметить, что в прибрежных водах оценка сезонных колебаний проведена по данным береговых станций Росгидромета и в основном по температуре (соленость рассматривается лишь в одной работе и только по данным одной станции). В результате было установлено сильное влияние рек у самого берега, которое проявляется не только в солёности, но и в температуре. Однако пространственные характеристики зоны смешения речных и морских вод на шельфе ЗК практически не исследованы.

Межгодовая изменчивость. В работах Т.Т. Винокуровой [1964, 1972], И.А. Жигалова [2004, 2005], И.А. Жигалова и В.А. Лучина [2005], А.Л. Фигуркина [2011] была изучена межгодовая изменчивость температуры вод придонного слоя западнокамчатского шельфа. Авторами установлено, что значительные межгодовые флюктуации определяются степенью зимнего выхолаживания вод деятельного слоя и адвекцией относительно теплых трансформированных тихоокеанских вод Западно-Камчатским течением.

На рис. 2 представлены данные разных авторов, полученные на основе типизации лет по термическим условиям на шельфе ЗК. Согласно результатам этих исследований в зависимости от продолжительности временного ряда были установлены преимущественно холодные (1966–1982 и 1998–2001 гг.) и теплые (1960–1965 и 1983–1997 гг.) периоды.

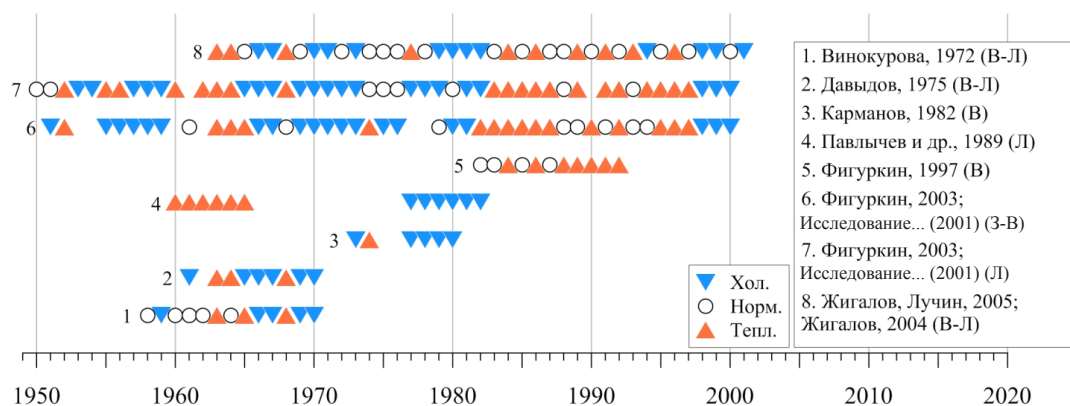


Рис. 2. Распределение холодных, нормальных и теплых лет по данным типизации температурных условий различными авторами. В скобках указаны сезоны, для которых проводилась типизация: З — зима, В — весна, Л — лето

Fig. 2. The years with cold, normal and warm regime of temperature conditions, classified by different authors. The seasons of classification are indicated in brackets: З — winter, В — spring, Л — summer

В работе И.А. Жигалова и В.А. Лучина [2005], помимо типизации лет по термическим условиям в придонном слое, также были определены статистические оценки связей между температурой придонных вод и факторами, которые могут влиять на ее изменчивость. В результате было составлено прогностическое уравнение, позволяющее сделать прогноз придонной температуры с заблаговременностью 3–4 мес.

Следует отметить, что в работах по изучению межгодовой изменчивости термических условий на шельфе ЗК авторами применялись различные критерии: минимальная температура в ХПС [Давыдов, 1975; Лучин, Лаврентьев, 1997]; средние значения температуры воды на разных горизонтах [Фигуркин, 1997] и в различных слоях [Давыдов, 1975; Лучин, Лаврентьев, 1997]; аномалии придонной температуры [Жигалов, Лучин, 2005]; площади, занятые ХПС [Чернявский, 1992]; аномалии площади ядер холода, а также температура и солёность на изобатах ядер холода [Фигуркин, 2011]. Несмотря на это, в полученных оценках межгодовой изменчивости термохалинных, в первую очередь термических, условий у разных исследователей прослеживаются очевидные совпадения. А определенные расхождения связаны не только с применением различных критериев, но и с разной длиной использованных рядов данных.

А.Л. Фигуркин [2003] в своей диссертационной работе детально рассмотрел межгодовую изменчивость и провел типизацию гидрометеорологических условий в холодную половину года.

В работах А.Л. Фигуркина [2002], Г.В. Хена с соавторами [2002], Е.И. Устиновой с соавторами [2002], а также И.Ф. Мороза [2003] сопоставлялись океанологические условия на шельфе ЗК в годы с экстремальными зимами (по данным за аномально теплую зиму 1997 г. и аномально холодную зиму 2000 г.). Эти исследования показали, что значительные межгодовые различия океанологических условий в такие зимы наиболее отчетливо прослеживаются в шельфовой зоне.

Определению цикличности в многолетней изменчивости термохалинных условий на западнокамчатском шельфе посвящено относительно небольшое количество публикаций [Павлычев и др., 1989; Фигуркин, 1997; Жигалов, Лучин, 2005; Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, Матвеев, 2016]. Во всех работах в качестве критериев ввиду лучшей обеспеченности данными были выбраны характеристики термических условий. А.Л. Фигуркиным [1997] значимых циклических колебаний не обнаружено. В.П. Павлычев [1997] отметил повторяемость экстремальных по теплосодержанию условий примерно через 8–10 лет. Колебания с периодичностью 2–3, 5–6 и 8 лет выделили в своей работе В.А. Лучин и И.А. Жигалов [2006]. По результатам спектрального анализа рядов временных коэффициентов первых четырех мод разложения полей аномалий интегрального содержания тепла в ХПС по ЕОФ (естественным ортогональным функциям) В.А. Лучин и В.И. Матвеев [2016] указаны следующие значимые периоды колебаний: первая компонента — 2–3 и 8–9 лет; вторая — 2–3, 4–5 и 8–9 лет; третья — 2–3 и 7–8 лет и четвертая компонента — 2–3, 3–4, 6 и 12–13 лет.

Многолетняя изменчивость температуры воды в прибрежной части шельфа ЗК по данным МГ и МГП Росгидромета рассматривалась в 4 работах. В.А. Лучин с соавторами [1998], используя материалы МГ «Озерная» и МГП «Остров Птичий» и «Октябрьский» за период с середины 1960-х по 1986 г. (начало временного ряда на каждой станции различается), выявили квазидвухлетнюю периодичность колебаний, обусловленную изменчивостью меридиональной циркуляции в атмосфере. Помимо этого, авторы отметили значимый положительный тренд температуры воды за период 1970–1986 гг. на 1,5–2,0 °C. В отчете «Исследование...» [2001] по данным за 1980–2000 гг. на МГ «Озерная», «Ича» и МГП «Остров Птичий» также выделена квазидвухлетняя (2–3 года) цикличность температуры воды и отмечена высокая межгодовая изменчивость в летний период и низкая — в весенний. Е.И. Устинова с соавторами [2002] на основе данных за 1980–2000 гг. на МГ «Озерная» и «Ича» выделили в многолетней изменчивости температуры воды теплые и холодные периоды. Основное внимание уделялось второй половине 1990-х гг. В частности, на юго-западной Камчатке в 1998 г. был отмечен абсолютный максимум за 1990-е гг. И.Д. Ростов с соавторами [2017] рассмотрели многолетнюю изменчивость температуры воды на МГ «Ича» за 1980–2016 гг. и привели статистические оценки временного ряда. По результатам этой работы линейный тренд роста температуры воды на шельфе ЗК составил 0,19 °C/10 лет.

В целом многолетняя изменчивость термохалинных условий на шельфе ЗК проанализирована более подробно, чем другие вопросы, рассмотренные выше. Но и здесь существует ряд ограничений. Изучена только внешняя морская часть шельфа. Исследование многолетней изменчивости в прибрежных водах основывалось на данных береговых станций и постов Росгидромета, которые, как говорилось выше, могут быть нерепрезентативными. Период исследований не охватывает последнее десятилетие, в течение которого могли происходить существенные климатические изменения. Межгодовая изменчивость солёности на шельфе ЗК не рассматривается ни в одной работе. Хотя именно эта характеристика играет важную роль при рассмотрении термохалинных условий в данном районе, так как он находится, как можно предполагать по количеству рек и величине стока на ЗК, под большим влиянием речного стока.

Необходимость дальнейшего исследования термохалинных условий на шельфе

ЗК. Как было показано выше, в опубликованных до настоящего времени работах практически не затронут вопрос о пространственно-временной изменчивости солености и температуры воды в прибрежной части шельфа. Между тем даже предварительный анализ имеющихся данных наблюдений показал [подробнее: Коломейцев, Горин, в печати], что у западного берега Камчатки существует выраженная зона смешения морских и речных вод (рис. 3), очень динамичная в пространстве и времени. Очевидно, что динамика зоны смешения должна оказывать существенное влияние на все гидрологические характеристики в той части шельфа ЗК, на которую она распространяется, и этот вопрос нуждается в специальном исследовании.

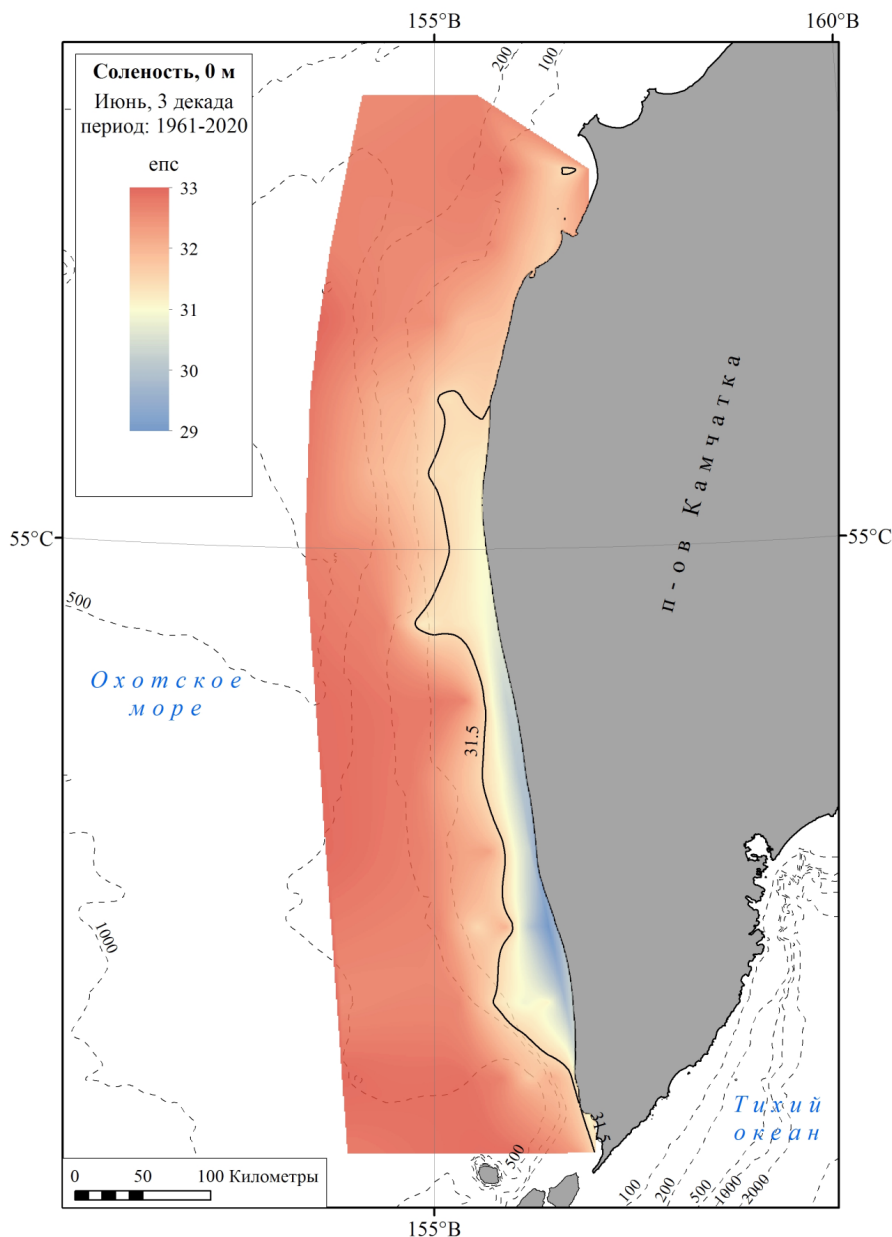


Рис. 3. Распределение солености на поверхности в третьей декаде июня в среднем за период 1961–2020 гг. [подробнее: Коломейцев, Горин, в печати]

Fig. 3. Mean sea surface salinity in the third 10-day period of June for 1961–2020, psu. [Kolomeytsev, Gorin, in press]

Также выше было показано, что в литературе недостаточно изучен вопрос об изменчивости температуры воды на шельфе ЗК. Речь идет о тех работах, которые основаны на данных прямых наблюдений. Между тем из публикаций, базирующихся на результатах дистанционного зондирования Земли и реанализов, известно о сильной изменчивости этой характеристики. В качестве примера рассмотрим многолетний масштаб времени. В работе О.А. Шкаберды [2014] с использованием массива средне-месячных значений температуры поверхности моря (ТПМ) за 1950–2010 гг. (COBE-SST, Japan Meteorological Agency) выявлен многолетний рост ТПМ на шельфе ЗК: в апреле (для этого месяца получена наибольшая величина) он составил $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}^*$. По оценкам И.Д. Ростова с соавторами [2020], полученным на основе данных спутникового мониторинга NOAA уровня обработки L4 (NOAA OI SST V2) за период с 1981 по 2017 г., на большей части шельфа ЗК коэффициенты линейного тренда ТПМ для лета составили $0,8\text{--}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ и оказались одними из самых высоких не только в Охотском море, но и во всех дальневосточных морях. В среднем за год этот показатель был ниже и изменялся от $0,1$ до $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. В работе Г.В. Хена с соавторами [2022] на основе наборов спутниковых данных по ТПМ и данных *in situ* (COBE-SST) как во всем Охотском море, так и в его отдельных районах, включая шельф ЗК, выявлен ярко выраженный положительный тренд температуры воды зимой, весной и осенью и слабовыраженный — летом. Таким образом, на повестке дня как минимум стоит вопрос о подтверждении выявленных климатических изменений на основе имеющихся данных прямых наблюдений.

Заключение

За более чем столетнюю историю исследований на шельфе ЗК собрано большое количество океанографических данных по температуре и солёности воды — до 40 тыс. станций. Но, как показано в настоящей статье, столь большой объем исходных материалов осмыслен далеко не полностью. В первую очередь это касается данных за последние десятилетия. Вопрос о термохалинных условиях на шельфе ЗК в той или иной мере затрагивался в 48 публикациях, из них только в 20 работах он рассматривался предметно. При этом лишь в 10 публикациях использовались относительно современные сведения (после 1990 г.).

К настоящему времени в публикациях, основанных на данных прямых наблюдений, сложились следующие представления.

На шельфе ЗК существуют как минимум две водные массы — поверхностная, которая формируется в теплый период года и зимой при конвективном перемешивании исчезает, и охотоморская. В ряде работ показано, что около берега (в зоне непосредственного контакта пресных вод суши и соленых вод океана) водная масса заметно отличается от водных масс открытой части моря. Ее предлагали рассматривать или в качестве отдельной водной массы, или как модификацию поверхностной. Но рассуждения об этом были достаточно неопределенными, поскольку специальные исследования не проводились.

Для сезонной изменчивости термохалинных условий на шельфе ЗК характерно следующее. Минимум температуры и максимум солёности на поверхности приходится на февраль-март. Наибольший прогрев наблюдается в августе, минимум солёности наступает в июне-июле. С глубиной амплитуда сезонных колебаний характеристик значительно уменьшается. В прибрежных водах оценка сезонных колебаний проведена по данным береговых гидрометеостанций и в основном по температуре. Здесь было

* В этой работе для осреднения данных использовался участок акватории, ограниченный 52 и 57° с.ш. 153 и 156° в.д. Он является одним из «репрезентативных районов» для изучения изменчивости и современного состояния климата Охотского моря, которые были определены сотрудниками лаборатории промысловой океанографии ТИНРО [Хен и др., 2012].

установлено сильное влияние рек, которое проявляется не только в соответствующей изменчивости солености, но и в температуре. Однако пространственные характеристики зоны смешения речных и морских вод на шельфе ЗК практически не изучены.

Многолетняя изменчивость термохалинных условий исследована только в отношении температуры воды. На фоне положительных трендов выявлены существенные изменения температурных характеристик. По результатам оценки цикличности в межгодовой изменчивости температуры воды получен широкий набор возможных периодичностей. В работах, основанных на данных прямых наблюдений, не охвачено последнее десятилетие, в течение которого могли происходить существенные климатические изменения. Несмотря на то что соленость играет важную роль при анализе термохалинных условий на шельфе ЗК, ее межгодовая изменчивость не освещена ни в одной работе.

В качестве первоочередных вопросов для дальнейших исследований мы бы выделили динамику солености в зоне смешения речных и морских вод (в разных масштабах пространства и времени), а также сезонную и многолетнюю изменчивость температуры воды в различных частях шельфа (с учетом наличия ЗС и различий в широтном направлении).

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность всем специалистам, принимавшим участие в сборе, анализе, обобщении и публикации информации о термохалинной структуре вод на шельфе западной Камчатки.

The authors are grateful to colleagues who collected, analyzed and published the data on thermohaline structure of water on the shelf of West Kamchatka.

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. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

В.В. Коломейцев — анализ содержания литературных источников и написание статьи, составление таблиц и построение диаграмм и карт; С.Л. Горин — анализ содержания литературных источников и написание статьи.

Vladimir V. Kolomeytsev — analysis of literature sources, writing the text, compiling the tables, and constructing the diagrams and charts; Sergey L. Gorin — analysis of literature sources and writing the text.

Список литературы

Бобков А.А., Мичурин А.Н., Старицын Д.К. Гидрологические особенности шельфовой зоны западной Камчатки // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геогр. — 1996. — Вып. 2. — С. 27–33.

Весселова Л.Е. Временная изменчивость температуры воды в северной и центральной частях Охотского моря // Вопросы океанографии дальневосточных морей и прилегающей части Тихого океана : Тр. ДВНИГМИ. — Л. : Гидрометеиздат, 1975а. — Вып. 021. — С. 103–138.

Весселова Л.Е. О вертикальной термической стратификации вод в районах Охотского моря // Вопросы океанографии дальневосточных морей и прилегающей части Тихого океана : Тр. ДВНИГМИ. — Л. : Гидрометеиздат, 1975б. — Вып. 021. — С. 139–155.

Винокурова Т.Т. Межгодовая изменчивость придонной температуры у западного побережья Камчатки // Исслед. по биол. рыб и промысл. океанографии. — Владивосток : ТИНРО, 1972. — Вып. 7. — С. 3–11.

Винокурова Т.Т. О распределении придонной температуры воды у западного побережья Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1964. — Т. 55. — С. 165–174.

Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Раздел 4. Температура, соленость и плотность морской воды. Т. 9. Охотское море / под ред. Т.И. Супранович и Л.П. Якунина : Тр. ДВНИГМИ. — Владивосток, 1984. — Вып. 033. — 67 с.

Горин С.Л. Гидролого-морфологические процессы в эстуариях Камчатки : дис. ... канд. геогр. наук. — М., 2009. — 193 с.

Горин С.Л., Коваль М.В. Гидрологические процессы в эстуариях рек Ича и Крутогорова и в прилегающих водах Охотского моря в летний период // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2019. — Вып. 55. — С. 146–173. DOI: 10.15853/2072-8212.2019.55.146-173.

Горин С.Л., Попрядухин А.А., Коваль М.В. Гидрологические процессы в лагунно-русловом эстуарии в теплый период года (на примере устья реки Большой, западная Камчатка) // Водные ресурсы. — 2019. — Т. 46, № 1. — С. 2–13. DOI: 10.31857/S0321-05964612-13.

Давыдов И.В. Режим вод западнокамчатского шельфа и некоторые особенности поведения и воспроизводства промысловых рыб // Изв. ТИНРО. — 1975. — Т. 97. — С. 63–81.

Дерюгин К.М. Японские гидрологические исследования в Японском и Охотском морях // Записки по гидрографии. — 1930. — Т. 59. — С. 35–51.

Думанская И.О. Изменение климатических ледовых характеристик Охотского моря в конце XX — начале XXI века // Тр. Гидрометцентра России. — 2015. — Вып. 354. — С. 112–137.

Жигалов И.А. Особенности формирования аномалий температуры придонных вод в районе западной Камчатки // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 142. — С. 196–202.

Жигалов И.А. Сезонная и межгодовая изменчивость термического состояния вод Охотского моря : дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток, 2004. — 168 с.

Жигалов И.А., Лучин В.А. Межгодовая изменчивость температуры придонных вод на шельфе западной Камчатки // Метеорол. и гидрол. — 2005. — № 10. — С. 72–80.

Зуенко Ю.И., Юрасов Г.И. Структура водных масс прибрежных районов Охотского моря // Метеорол. и гидрол. — 1997. — № 3. — С. 50–58.

Карманов Г.Е. Некоторые особенности динамики западнокамчатских вод в период воспроизводства минтая // Экология и условия воспроизводства рыб и беспозвоночных дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1982. — С. 3–10.

Коломейцев В.В. История океанографических исследований КамчатНИРО в восточной части Охотского моря (район Западной Камчатки) // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : сб. мат-лов 2-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию Камчат. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океаногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2022. — С. 108–119.

Коломейцев В.В., Горин С.Л. База данных по океанографии восточной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 200–213. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-200-213. EDN: PRSPLJ.

Коломейцев В.В., Горин С.Л. Зона смешения морских и речных вод в восточной части Охотского моря (на шельфе Западной Камчатки): первые оценки пространственно-временной изменчивости ее границ // Морские исследования и образование — MARESEDU 2024 : сб. тр. 13-й Междунар. науч.-практ. конф. (в печати).

Круц А.А., Лучин В.А. Вертикальная структура толщи вод Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 175. — С. 234–253.

Леонов А.К. Общая циркуляция вод и элементы водного баланса. Термика, соленость и плотность // Гидрологический справочник морей СССР. — Т. 9 : Охотское море; вып. 2 : Гидрологический режим моря. — Л. ; М. : Гидрометеиздат, 1941. — С. 5–128.

Леонов А.К. Региональная океанография. Ч. 1. Берингово, Охотское, Японское, Каспийское, Черное моря : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1960. — 766 с.

Лучин В.А. Внутригодовая изменчивость параметров верхнего квазиоднородного слоя Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 195. — С. 170–183.

Лучин В.А., Жигалов И.А. Межгодовые изменения типовых распределений температуры воды в деятельном слое Охотского моря и возможность их прогноза // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 147. — С. 183–204.

Лучин В.А., Круз А.А. Характеристики ядер водных масс Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 184. — С. 204–218. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-184-204-218.

Лучин В.А., Лаврентьев В.М. Водные массы Охотского моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море; вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. — С. 166–174.

Лучин В.А., Лаврентьев В.М. Особенности межгодовых изменений температуры воды на шельфе и материковом склоне Западной Камчатки и возможности их прогнозирования // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 52–56.

Лучин В.А., Лаврентьев В.М., Яричин В.Г. Гидрологический режим // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море; вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. — С. 92–166.

Лучин В.А., Матвеев В.И. Межгодовая изменчивость термического состояния холодного подповерхностного слоя Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 205–216. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-205-216.

Макаров С.О. «Витязь» и Тихий океан. — СПб., 1894. — Т. 1. — 337 с.

Мороз И.Ф. Особенности океанологических условий Охотского моря в годы экстремальной ледовитости: современное состояние вопроса // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 132. — С. 339–347.

Мороз И.Ф. Термохалинная структура и динамика вод северной части Охотского моря летом 1997 г. // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 667–680.

Морошкин К.В. Водные массы Охотского моря. — М. : Наука, 1966. — 67 с.

Павлычев В.П. Некоторые особенности гидрометеорологических условий в Западно-Камчатском районе в январе–апреле 1994 г. // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 56–64.

Павлычев В.П., Будаева В.Д., Хен Г.В. и др. Межгодовые изменения гидрометеорологических условий в основных районах промысла северо-западной части Тихого океана и возможности их прогнозирования // Долгопериодная изменчивость условий природной среды и некоторые вопросы рыбопромыслового прогнозирования : сб. науч. тр. ВНИРО. — М. : ВНИРО, 1989. — С. 124–141.

Петров А.Г., Плотиников В.В., Якунин Л.П. Ледовые условия и методы их прогнозирования // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 9 : Охотское море; вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. — С. 291–340.

Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Воронцов А.А. Тенденции климатических изменений термических условий прибрежных районов Охотского моря за последние десятилетия // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 176–195. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-176-195.

Ростов И.Д., Дмитриева Е.В., Рудых Н.И., Воронцов А.А. Климатические изменения термических условий окраинных морей западной части Тихого океана // Метеорол. и гидрол. — 2020. — № 3. — С. 44–57.

Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., Хен Г.В. Межгодовая изменчивость термических условий Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 44–51.

Ушаков П.В. Система вертикальных зон Охотского моря // ДАН СССР. — 1949. — Т. 68, № 4. — С. 769–772.

Фигуркин А.Л. Изменчивость термохалинного состояния придонных вод северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 166. — С. 255–274.

Фигуркин А.Л. Межгодовая изменчивость теплового состояния вод охотоморского шельфа (1983–1995 гг.) // Комплексные исследования экосистем Охотского моря. — М. : ВНИРО, 1997. — С. 50–52.

Фигуркин А.Л. Океанологические условия шельфа и склона Охотского моря в холодную половину года и их влияние на нерест минтая : дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2003. — 157 с.

Фигуркин А.Л. Развитие океанологических условий западной Камчатки по данным мониторинговых наблюдений 1997 и 2000 гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 103–116.

Хен Г.В., Басюк Е.О., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л. Изменчивость и современное состояние климата дальневосточных морей // Мат-лы Всерос. науч. конф., посвящ. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». — Петропавловск-Камчатский, 2012. — С. 498–508.

Хен Г.В., Ванин Н.С., Фигуркин А.Л. Особенности гидрологических условий в северной части Охотского моря во второй половине 90-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 24–43.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Многолетние изменения термических условий на поверхности дальневосточных морей и СЗТО и их связь с крупномасштабными климатиче-

скими процессами // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 187–207. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-187-207.

Чернявский В.И. Изменчивость ядра холода и прогноз типа термического режима на севере Охотского моря // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1992. — С. 104–113.

Чернявский В.И. Термические характеристики северо-восточной части Охотского моря как основа для определения типа теплового состояния акватории // Изв. ТИНРО. — 1984. — Т. 109. — С. 94–103.

Шкаберда О.А. Современные тенденции изменения климата Камчатки : дис. ... канд. геогр. наук. — Владивосток, 2014. — 235 с.

Шунтов В.П. Биологические ресурсы Охотского моря : моногр. — М. : Агропромиздат, 1985. — 224 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П., Дулепова Е.П. Биологический баланс, современное состояние био- и рыбопродуктивности экосистемы Охотского моря и элементы ее функционирования // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море; вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1998. — С. 81–93.

Kitani K. An oceanographic study of the Okhotsk Sea — particularly in regard to cold waters // Bull. Far Seas Fish. Res. Lab. — 1973. — № 9. — P. 45–76.

Luchin V., Kruts A., Sokolov O. et al. Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan / V. Akulichev, Yu. Volkov, V. Sapozhnikov, S. Levitus (eds) : NOAA Atlas NESDIS 67, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 2009. — 329 p. (DVD Disc).

References

Bobkov A.A., Michurin A.N., and Staritsyn D.K., Hydrological features of the shelf zone of Western Kamchatka, *Vestn. S.-Peterb. Univ., Ser. 7. Geogr.*, 1996, № 2, pp. 27–33.

Veselova, L.E., Temporal variability of water temperature in the northern and central parts of the Sea of Okhotsk, *Tr. Dal'nevost. Regional. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975, no. 021, pp. 103–138.

Veselova, L.E., On the vertical thermal stratification of waters in the regions of the Sea of Okhotsk, *Tr. Dal'nevost. Regional. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1975, no. 021, pp. 139–155.

Vinokurova, T.T., Interannual variability of bottom temperature off the western coast of Kamchatka, *Issled. Biol. Ryb. Promysl. Okeanogr.*, 1972, no. 7, pp. 3–11.

Vinokurova, T.T., On the distribution of bottom water temperature off the western coast of Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1964, vol. 55, pp. 165–174.

Gidrometeorologicheskiye usloviya shel'fovoy zony moray SSSR. Razdel 4. Temperatura, solekost' i osveshcheniye morskoy vody. T. 9. Okhotskoye more (Hydrometeorological conditions of the Morai shelf zone of the USSR. Section 4. Temperature, salinity and illumination of sea water. Vol. 9. Sea of Okhotsk), Supranovich, T.I. and Yakunina, L.P., Ed., Vladivostok, 1984, no. 033.

Gorin, S.L., Hydrological and morphological processes in the estuaries of Kamchatka, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*, Moscow, 2009.

Gorin, S.L. and Koval, M.V., Summer hydrological processes in the estuaries of the Rivers Icha and Krutogorova and adjacent waters of the Sea of Okhotsk, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2019, vol. 55, pp. 146–173. doi 10.15853/2072-8212.2019.55.146-173

Gorin, S.L., Popryadukhin, A.A., and Koval', M.V., Hydrological processes in a lagoon-channel estuary in the warm season: case study of the mouth of the Bol'shaya R., Western Kamchatka, *Water Resour.*, 2019, vol. 46, no. 1, pp. 2–13. doi 10.31857/S0321-05964612-13

Davydov, I.V., The regime of the waters of the Western Kamchatka shelf and some features of the behavior and reproduction of commercial fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 97, pp. 63–81.

Deryugin, K.M., Japanese hydrological research in the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk, *Zapiski po gidrografii*, 1930, vol. 59, pp. 35–51.

Dumanskaya, I.O., Changes in the climatic ice characteristics of the Sea of Okhotsk in the late 20th — early 21st centuries, *Tr. Gidrometeorol. Nauchno-Issled. Tsentra Ross. Fed.*, 2015, vol. 354. pp. 112–137.

Zhigalov, I.A., Some features of water temperature anomalies formation at sea bottom in the area of western Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 142, pp. 196–202.

Zhigalov, I.A., Seasonal and interannual variability of the thermal state of the waters of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*, Vladivostok, 2004.

Zhigalov, I.A. and Luchin, V.A., Interannual variability of bottom water temperature on the west Kamchatka shelf, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2005, no. 10, pp. 55–61.

Zuenko, Yu.I. and Yurasov, G.I., Structure of the coastal waters of the Sea of Okhotsk, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1997, no. 3, pp. 32–37.

Karmanov, G.E., Some features of the dynamics of Western Kamchatka waters during the reproduction period of pollock, in *Ekologiya i usloviya vosпроизводства ryb i bespozvonochnykh dal'nevostochnykh morey i severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Ecology and reproduction conditions of fish and invertebrates of the Far Eastern seas and the northwestern part of the Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1982, pp. 3–10.

Kolomeytsev, V.V., The history of oceanographic researches of KamchatNIRO in the eastern part of the Sea of Okhotsk, in *Sb. mater. 2-y Vseross. nauchn. konf. mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 85-letiyu Kamchatskogo nauchno-issled. inst. rybn. khoz. okeanogr. "Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie"* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Int. Participation, Commem. 85th Anniv. Kamchatka Res. Inst. Fish. Oceanogr. "Aquatic Biological Resources of Russia: State, Monitoring, and Management"), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2022, pp. 108–119.

Kolomeytsev, V.V. and Gorin, S.L., The database on oceanography of the eastern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 200–213. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-200-213. EDN: PRSPLJ.

Kolomeytsev, V.V. and Gorin, S.L., Mixing zone of marine water and fresh water in the East Sea of Okhotsk (West Kamchatka shelf): first estimates of spatial-temporal variability, in *Sb. tr. 13-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Morskie issledovaniya i obrazovanie — MARESEDU 2024"* (13th Int. Sci. and Pract. Conf. «Marine Research and Education — MARESEDU 2024») (in press).

Kruts, A.A. and Luchin, V.A., Vertical water structure in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 175, pp. 234–253.

Leonov, A.K., General circulation of waters and elements of water balance. Temperature, salinity and density, in *Gidrologicheskiy spravochnik morey SSSR. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrological directory of the seas of the USSR, vol. 9: Sea of Okhotsk), Leningrad, Moscow: Gidrometeoizdat, 1941, issue 2, pp. 5–128.

Leonov, A.K., *Regional'naya okeanografiya. Ch. 1. Beringovo, Okhotskoe, Yaponskoe, Kaspiiskoe, Chernoe morya* (Regional Oceanography, part 1: Bering Sea, Sea of Okhotsk, Sea of Japan, Caspian Sea, and Black Sea), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960.

Luchin, V.A., Intra-annual variability of the mixed layer parameters in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 195, pp. 170–183.

Luchin, V.A. and Zhigalov, I.A., Types of water temperature distribution in active layer of the Okhotsk Sea and possibility of its prediction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 183–204.

Luchin, V.A. and Kruts, A.A., Properties of cores of the water masses in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 184, pp. 204–218. doi 10.26428/1606-9919-2016-184-204-218

Luchin, V.A. and Lavrentyev, V.M., Water masses of the Sea of Okhotsk, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 1, pp. 166–174.

Luchin, V.A. and Lavrentiev, V.M., Peculiarities of interannual changes in water temperature on the shelf and continental slope of Western Kamchatka and the possibilities of their forecasting, in *Kompleksnye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya* (Complex Studies of Ecosystem of the Sea of Okhotsk), Moscow: VNIRO, 1997, pp. 52–56.

Luchin, V.A., Lavrentiev, V.M., and Yarichin, V.G., Hydrological regime, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 1, pp. 92–166.

Luchin, V.A. and Matveev, V.I., Interannual variability of thermal state of the cold subsurface layer in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 205–216. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-205-216

- Makarov, S.O.**, “Vityaz” i Tikhyy okean (“Vityaz” and the Pacific Ocean), St. Petersburg, 1894, vol. 1.
- Moroz, I.F.**, Oceanological conditions in the Okhotsk Sea in the years of the extreme ice conditions: modern state of a problem, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 132, pp. 339–347.
- Moroz, I.F.**, Thermohaline structure and dynamics of the north Okhotsk Sea waters in summer of 1997, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 667–680.
- Moroshkin, K.V.**, *Vodnye massy Okhotskogo morya* (Water Masses of the Sea of Okhotsk), Moscow: Nauka, 1966.
- Pavlychev, V.P.**, Particularities of the hydrometeorological conditions in the Western Kamchatka area in January–April, 1994, in *Kompleksnye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya* (Complex Studies of Ecosystem of the Sea of Okhotsk), Moscow: VNIRO, 1997, pp. 56–64.
- Pavlychev, V.P., Budaeva, V.D., Hen, G.V., Chernyavsky, V.I., and Shatilina, T.A.**, Interannual changes in hydrometeorological conditions in the main fishing regions of the northwestern Pacific Ocean and the possibility of their forecasting, in *Sb. nauch. tr. VNIRO “Dolgoperiodnaya izmenchivost’ usloviy prirodnoy sredy i nekotoryye voprosy rybopromyslovogo prognozirovaniya”* (Sat. scientific tr. VNIRO “Long-term variability of environmental conditions and some issues of fisheries forecasting”), Moscow: VNIRO, 1989, pp. 124–141.
- Petrov, A.G., Plotnikov, V.V., and Yakunin L.P.**, Ice conditions and methods of their forecasting, in *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 1, pp. 291–340.
- Rostov, I.D., Dmitrieva, E.V., and Vorontsov, A.A.**, Tendencies of climatic changes for thermal conditions in the coastal areas of the Okhotsk Sea in last decades, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 176–195. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-176-195
- Rostov, I.D., Dmitrieva, E.V., Rudykh, N.I., and Vorontsov, A.A.**, Climatic changes in thermal conditions of marginal seas in the Western Pacific, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 3, pp. 169–178.
- Ustinova, E.I., Sorokin, Yu.D., and Khen, G.V.**, Interannual variability of thermal conditions in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 44–51.
- Ushakov, P.V.**, The system of vertical zones in the Sea of Okhotsk, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1949, vol. 68, no. 4, pp. 769–772.
- Figurkin, A.L.**, Variability of temperature and salinity for bottom waters in the northern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 166, pp. 255–274.
- Figurkin, A.L.**, Interannual variability of the thermal state of the waters of the Sea of Okhotsk shelf (1983–1995), in *Kompleksnye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya* (Complex Studies of Ecosystem of the Sea of Okhotsk), Moscow: VNIRO, 1997, pp. 50–52.
- Figurkin, A.L.**, Oceanological conditions of the shelf and slope of the Sea of Okhotsk in the cold half of the year and their impact on pollock spawning, *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2003.
- Figurkin, A.L.**, Seasonal variability of oceanological conditions in the West-Kamchatka region based on the data of monitoring surveys in 1997 and 2000, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 103–116.
- Khen, G.V., Basyuk, E.O., Ustinova, E.I., and Figurkin, A.L.**, Variability and current state of the climate of the Far Eastern seas, in *Mat-ly Vseros. nauch. konf., posvyashch. 80-letnemu yubileyu FGUP “KamchatNIRO”* (Materials of the All-Russian scientific conference dedicated to the 80th anniversary of the Federal State Unitary Enterprise “KamchatNIRO”), Petropavlovsk-Kamchatsky, 2012, pp. 498–508.
- Khen, G.V., Vanin, N.S., and Figurkin, A.L.**, Peculiarity of the hydrological conditions in the northern part of the Okhotsk Sea in the second half of 90s, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 24–43.
- Khen, G.V., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D.**, Long-term changes in thermal conditions on the surface of the Far-Eastern Seas and North-West Pacific and their relationship with large-scale climate processes, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 187–207. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-187-207
- Chernyavskii, V.I.**, Variability of the cold core and prediction of the type of thermal regime in the north of the Sea of Okhotsk, in *Okeanologicheskie osnovy biologicheskoi produktivnosti severo-*

zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Oceanological Bases of Biological Productivity of the Northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 104–113.

Chernyavsky, V.I., The thermic characteristics of the northeastern part of the Okhotsk Sea as the definition of the region heat condition, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1984, vol. 109, pp. 94–103.

Shkaberda, V.I., Modern climate changes in Kamchatka, *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*, Vladivostok, 2014.

Shuntov, V.P., *Biologicheskiye resursy Okhotskogo morya* (Biological Resources of the Sea of Okhotsk), Moscow: Agropromizdat, 1985.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Shuntov, V.P. and Dulepova, E.P., Biological balance, current state of bio- and fish productivity of the Sea of Okhotsk ecosystem and elements of its functioning, in *Gidrometeorologiya i gidrokhiimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1998, issue 2, pp. 81–93.

Kitani, K., An oceanographic study of the Okhotsk Sea — particularly in regard to cold waters, *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 1973, no. 9, pp. 45–76.

Luchin, V., Kruts, A., Sokolov, O., Rostov, V., Rudykh, N., Perunova, T., Zolotukhin, E., Pischalnik, V., Romeiko, L., Hramushin, V., Shustin, V., Udens, Y., Baranova, O., Smolyar, I., and Yarosh, E., *Climatic Atlas of the North Pacific Seas 2009: Bering Sea, Sea of Okhotsk, and Sea of Japan*, NOAA Atlas NESDIS 67, Akulichev, V., Volkov, Yu., Sapozhnikov, V., and Levitus, S., Eds., U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 2009. DVD.

Issledovaniye prostranstvenno-vremennoy izmenchivosti gidrometeorologicheskikh usloviy vostochnoy chasti Okhotskogo morya (Zapadno-Kamchatskiy rayon) (Study of spatiotemporal variability of hydrometeorological conditions in the eastern part of the Sea of Okhotsk (West Kamchatka region)), report 07-01 of 19.01.2001, Vladivostok, 2001.

Поступила в редакцию 18.07.2024 г.

После доработки 8.10.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 18.07.2024; approved after reviewing 8.10.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

Научная статья

УДК [551.46.07:629.783]/(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-843-865

EDN: TPQWMQ



СТРУКТУРА ПРИМОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) НА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ И СТАНДАРТНЫХ РАЗРЕЗАХ

А.А. Никитин, И.Л. Цыпышева, Ю.И. Зуенко, Е.О. Басюк*Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе данных спутниковых снимков и стандартных разрезов, полученных в 2000–2024 гг., рассмотрена пространственная структура Приморского течения как полосы холодных вод вдоль побережья Приморья. Использовался архив температуры поверхности моря, восстановленной по данным радиометра AVHRR (спутники серии NOAA) и спектрорадиометра MODIS (спутники AQUA, TERRA). Данные получены и обработаны в Центре коллективного пользования Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН. Определены основные особенности структуры Приморского течения, что позволило сделать вывод о формировании этой холодноводной области в поверхностном слое, протянувшейся от Татарского пролива до зал. Петра Великого, в результате действия комплекса прибрежно-шельфовых процессов, включающего подъем, вертикальное перемешивание вод и распреснение их материковым стоком, с распространением образованной водной массы за пределы районов формирования с общим направлением на юго-запад вдоль побережья в виде сплошного потока с четко видимым стрежнем либо в виде цепочки мезомасштабных вихрей, пятен, полос, струй и т.д., иногда прерывающейся. Основные положения этой концепции соответствуют представлениям, сложившимся еще до развития спутниковой океанографии, однако некоторые детали, касающиеся природы холодных вод Приморского течения, их распространения вдоль побережья Приморья и взаимодействия с окружающими водами, ранее не были известны.

Ключевые слова: Приморское течение, спутниковые данные, мезомасштабный вихрь, апвеллинг, приливное перемешивание, Японское море

Для цитирования: Никитин А.А., Цыпышева И.Л., Зуенко Ю.И., Басюк Е.О. Структура Приморского течения (Японское море) на спутниковых изображениях и стандартных разрезах // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 843–865. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-843-865. EDN: TPQWMQ.

* Никитин Александр Афанасьевич, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, aleksandr.nikitin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1897-1433; Цыпышева Ирина Леонидовна, ведущий специалист, irina.tsypysheva@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-9524-7326; Зуенко Юрий Иванович, доктор географических наук, заведующий лабораторией, zuenko_yuriy@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X; Басюк Евгений Олегович, ведущий специалист, evgeniy.basyuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-5132-1766.

© Никитин А.А., Цыпышева И.Л., Зуенко Ю.И., Басюк Е.О., 2024

Original article

Structure of the Primorye Current (Japan Sea) on satellite images and standard sections

Aleksandr A. Nikitin*, Irina L. Tsypysheva, Yury I. Zuenko***, Eugeny O. Basyuk******

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

* Ph.D., leading researcher, aleksandr.nikitin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1897-1433

** leading specialist, irina.tsypysheva@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-9524-7326

*** D.Geogr., head of laboratory, zuenko_yury@hotmail.com, ORCID 0000-0003-1312-542X

**** leading specialist, evgeniy.basyuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-5132-1766

Abstract. Based on satellite images and standard sections obtained in 2000–2024, spatial structure of the Primorye Current as a band of cold waters along the coast of Primorye is considered. The archive of sea surface temperature reconstructed from the measurements of AVHRR radiometer (NOAA satellites) and MODIS spectroradiometer (AQUA, TERRA satellites) is used. The data were received and processed at the Center for collective use of regional satellite monitoring on environments in the Far-Eastern branch of Russian Ac. Sci. The main features of the Primorye Current structure are determined that allows to conclude that this cold-water area in the surface layer from the Tatar Strait to Peter the Great Bay is formed by a complex of coastal-shelf processes, including upwelling, vertical mixing, and desalination by terrestrial runoff. This cold, low-saline water mass spreads beyond the formation areas in general southwestward direction, along the coast, either as a continuous flow or as a chain of mesoscale eddies, spots, stripes, jets, etc., sometimes interrupted. The main provisions of this concept correspond with ideas established even before the satellite oceanography development, but some details concerning nature of the cold water of Primorye Current, its spreading along the coast of Primorye and interaction with surrounding waters were previously unknown.

Keywords: Primorye Current, satellite data, mesoscale eddy, upwelling, tidal mixing, Japan Sea

For citation: Nikitin A.A., Tsypysheva I.L., Zuenko Yu.I., Basyuk E.O. Structure of the Primorye Current (Japan Sea) on satellite images and standard sections, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 843–865. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-843-865. EDN: TPQWMQ.

Введение

Течение вдоль берегов Приморья было отмечено первыми исследователями Японского моря по некоторым закономерностям распределения температуры воды и дрейфа судов [Шренк, 1874]. Первоначально это течение связывали со стоком Амура, и оно получило ошибочное название «Лиманское течение», которое, к сожалению, иногда используется до сих пор. Впоследствии С.О. Макаров [1894], обобщивший данные ранних океанографических наблюдений за несколько лет, не обнаружил связи между береговым течением и речным стоком устья Амура. Данные бутылочной почты [Жданко, 1913; Wada, 1915] и первые результаты измерений и моделирования течений [Uda, 1934, 1936] полностью подтвердили этот вывод, доказав, что течение является частью циклонического круговорота в северной части моря (рис. 1, А). Современное название течения соответствует названию исторической области России, вдоль берегов которой оно протекает (Приморье). Первые детальные океанографические исследования прибрежных вод Приморья, проведенные ТИНРО на парусно-моторной шхуне «Россинанте» в 1935–1936 гг., показали сложность структуры Приморского течения, которое на самом деле представляло собой не четко различимый поток, а систему круговоротов и небольших вихрей [Белинский, Истошин, 1950] с высокой пространственной изменчивостью векторов скорости и выраженными сезонными и межгодовыми изменениями [Истошин, 1950, 1975]. По мнению К. Хидаки [Hidaka, 1966], Приморское течение существует только зимой и генерируется зимним муссоном.

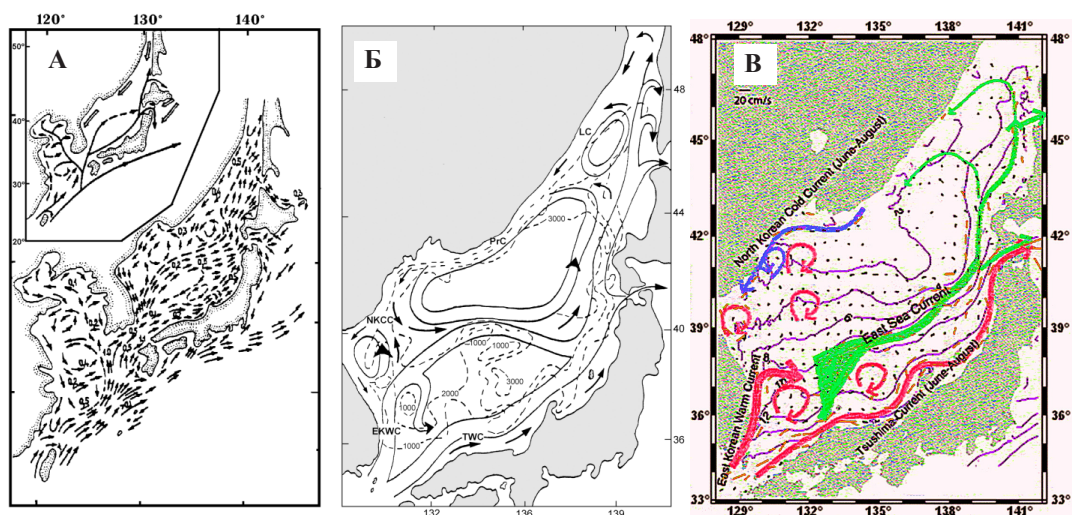


Рис. 1. Схемы поверхностных течений в Японском море, предложенные Уда [Uda, 1934] (А), В.Г. Яричиным [1980] (Б), Ли и Нийлером [Lee, Niiler, 2005] (В). Последняя схема основана на дрейферных наблюдениях и построена на фоне температуры воды на глубине 100 м (данные ЖМА). Сокращенные обозначения основных течений (Б): *PrC* — Приморское течение, *LC* — Лиманское течение, *TWC* — Цусимское теплое течение, *EKWC* — Восточно-Корейское теплое течение и *NKCC* — Северо-Корейское холодное течение

Fig. 1. Schemes of the surface currents in the Japan Sea proposed by M. Uda [1934] (А), V. Yarchin [1980] (Б), and D.K. Lee and P.P. Niiler [2005] (В). The latter scheme is based on drifter observations and is drawn on the background of water temperature at the 100 m depth (JMA data). Abbreviations for the main currents at (Б): *PrC* — Primorye Current, *LC* — Liman Current, *TWC* — Tsushima Warm Current, *EKWC* — East Korean Warm Current, and *NKCC* — North Korean Cold Current

При обобщении многолетних данных инструментальных наблюдений за течениями в северо-западной части Японского моря была точно определена область начала юго-западного вдольберегового течения (рис. 1, Б): оно возникает в южной части Татарского пролива [Покудов и др., 1976; Яричин, 1980, 1982]. Южный вдольбереговой поток, иногда наблюдавшийся в северной части Татарского пролива, в поле течений не связан с Приморским течением, поэтому В.Г. Яричин предложил для него другое название — течение Шренка. Наибольшие скорости в Приморском течении наблюдаются на расстоянии 15–30 км от берега, примерно на краю континентального шельфа, с максимумом на глубине 100 м.

Массовые инструментальные наблюдения придонных течений на глубинах 5–70 м от мыса Поворотного до бухты Рудная Пристань летом-осенью 1969–1971 гг. (до 1000 измерений вертушками, мареографом и т.д.) выявили сложную структуру Приморского течения [Яблоков, Моторин, 1975]. Выделяются три его области: непосредственно зона холодноводного потока (мористее изобат 40–50 м) с направлением 250–260° и скоростями 10–45 см/с, причем скорости придонных течений довольно четко коррелировали с уклоном дна (более высокие скорости в районе мысов); фронтальная зона над изобатами 20–40 м и зона вдольбереговых противотечений, которые фиксировались повсеместно, причем южные муссонные ветра способствовали их интенсификации, тогда как при северных скоростях противотечений резко снижались. Противотечения могли быть при измерении в антициклонических вихрях вблизи берега, наличие которых нельзя было определить при инструментальной съемке из-за масштаба измерений, но они наглядно наблюдались на спутниковых снимках. Также было показано значительное влияние на течения неправильных полусуточных приливов, несмотря на малую амплитуду изменений уровня моря, приливная компонента течений имела нормальную ориентацию к берегу. Используя данные спутниковой альтиметрии и дрейферов, ко-

рейские ученые создали схему поверхностной циркуляции в прилегающем к берегам п-ова Корея районе Японского моря, включающем южную часть Приморского течения и Северо-Корейское течение (рис. 1, В).

Возникновение холодных вод в районе Приморского течения ряд исследователей связывают с трансформацией в Татарском проливе тихоокеанских вод, принесенных Цусимским течением [Леонов, 1960; Сизова, 1961; Покудов, Тунеголовец, 1975]. Однако с накоплением данных океанографических наблюдений появились новые взгляды на этот вопрос, согласно которым в формировании холодных вод в прибрежной зоне Приморского течения участвуют также процессы ветрового апвеллинга и приливного перемешивания [Жабин и др., 1992; Зуенко, 1992].

К концу XX века Приморское течение рассматривалось как относительно слабый нестабильный поток от Татарского пролива до зал. Петра Великого, включая оба этих района, замыкающий циклоническую циркуляцию на севере Японского моря и отличающийся сложной природой и большой пространственно-временной изменчивостью [Naganuma, 1992]. В это время океанологам стал доступен новый источник информации об океане, позволивший рассмотреть структуру водных масс и течений, их изменчивость на качественно более высоком уровне, — данные спутниковых наблюдений. Благодаря этой возможности были прослежены расположенные вдоль побережья Приморья цепочки мезомасштабных вихрей, совокупность которых образовала ядро Приморского течения [Ostrovskii, Hiroe, 1994; Никитин, Дьяков, 1998], определены типы пространственной термической структуры в Японском море с учетом разнообразия размеров и очертаний области Приморского течения [Никитин, Харченко, 2002; Никитин, Юрасов, 2007]. По результатам совместного анализа спутниковых измерений, дрейфа плавучих буев, измерений ADCP и CTD определена интегральная скорость дрейфа в потоке Приморского течения, которая в зависимости от сезона и года колебалась от 12 до 38 см/с [Гинзбург и др., 1998]. С помощью термогидродинамической модели, ассимилирующей спутниковые данные о ветре у морской поверхности, показано, что в теплое время года ветровой режим является важным фактором изменчивости Приморского течения: оно усиливается в условиях циклонической завихренности поля ветра и ослабевает и распадается на отдельные вихри в условиях его антициклонической завихренности [Трусенкова, 2007; Trusenкова et al., 2009].

Попытки обобщения современных взглядов на пространственную структуру вод Японского моря, включая район Приморского течения, с учетом результатов спутниковых наблюдений сделаны в некоторых работах корейских и российских океанологов [Yoon, Kim, 2009; Никитин и др., 2020]. Однако представления о структуре и изменчивости Приморского течения до сих пор остаются весьма противоречивыми, а иногда и неверными, его происхождение не вполне ясно. Новые спутниковые данные существенно усложнили картину структуры течения по сравнению с доспутниковым периодом, хотя принципиальных расхождений между спутниковыми и натурными данными нет, а все основные особенности течения можно проследить как по прямым, так и по дистанционным наблюдениям, а также по результатам моделирования. Между тем Приморское течение является важным элементом круговорота вод в северной части Японского моря, а его относительно холодные, малосолёные воды оказывают большое влияние на северо-западное побережье и даже шире (см., например, результаты Мартина и Кавасае [Martin, Kawase, 1998] о влиянии потока пресной воды от таяния морского льда, выносимого течением из Татарского пролива, на циркуляцию прибрежных вод). Кроме того, вдоль-береговое течение способно влиять на размножение и расселение в прибрежных водах морских растений и беспозвоночных, споры и личинки которых пассивно переносятся.

В последнее время появилась новая актуальная проблема — трансформация Приморского течения под влиянием глобального изменения климата. Эти проблемы побудили авторов обобщить и систематизировать большой объем спутниковой информации о структуре и изменчивости вод Японского моря, накопленный за последние два десятилетия, применительно непосредственно к району Приморского течения, чтобы сформулировать современную концепцию его природы и динамики.

Материалы и методы

Приморское течение — западный пограничный поток в циклоническом круговороте Японского моря [Яричин, 1980; Holloway et al., 1995]. Такие течения обычно отличаются холодным верхним слоем. Для общей его характеристики с помощью модели OSCAR (URL: https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSCAR_L4_OC_NRT_V2.0) были ежемесячно рассчитаны средние за 30 лет (1993–2022 гг.) векторы течений в верхнем слое моря по пространственной сетке $\frac{1}{4}$ градуса (рис. 2).

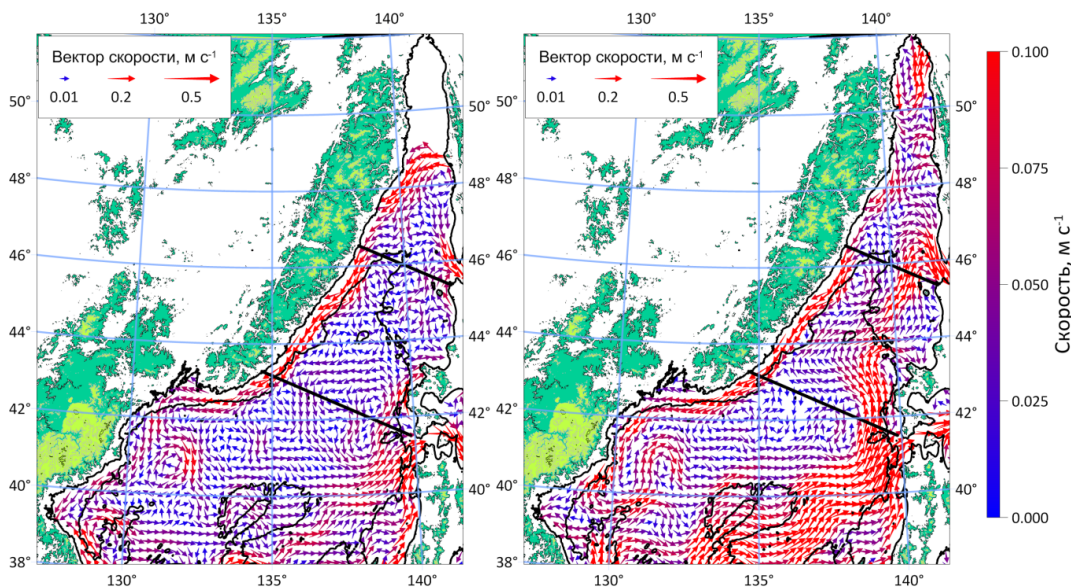


Рис. 2. Осредненные за 30 лет (1993–2022 гг.) векторы скоростей течений в северной части Японского моря в марте (слева) и сентябре (справа). Отмечена изобата 1500 м. Черными линиями показано расположение разрезов для расчета скоростей

Fig. 2. Averaged over 30 years (1993–2022) current velocity vectors in the northern Japan Sea in March (left) and September (right). The 1500 m isobath is shown. Black lines show the transects for calculation the current velocity

Как можно видеть на рис. 2, вдоль всего российского побережья течение направлено на юго-запад, однако значительные (> 10 см/с) скорости вдольберегового течения наблюдаются только на участке между южной частью Татарского пролива и зал. Петра Великого. На этом же участке располагается холодная поверхностная водная масса пониженной солёности. Этот поток обычно и называется Приморским течением, а холодная водная масса — водами Приморского течения. Термическая структура этих вод, наблюдаемая на инфракрасных спутниковых снимках, характеризует пространственную структуру течения. Поэтому в данной статье, где не обсуждаются результаты измерений движения воды, пространственная структура Приморского течения и ее изменчивость анализируются по особенностям конфигурации этой холодноводной области и ее мезомасштабных структурных элементов (фронты, ветви, вихри, струи и меандры). Впрочем, хотя результаты прямых измерений течений в работе не использованы, о переносе воды можно судить косвенно по форме этой холодноводной области, форме и характеру перемещения мезомасштабных элементов ее структуры, а также по дрейфу морского льда, других природных трассеров.

Отметим, что треки океанографических буев всегда направлены вдоль побережья Приморья с северо-востока на юго-запад, отображая траекторию основного потока Приморского течения. Летом этот поток ориентирован против преобладающих муссонных ветров, которые ослабляют его на поверхности моря. Этот поток сохраняется благодаря бароклинности прибрежной зоны, поддерживаемой низкой солёностью у побережья

[Uda, 1934; Kim, Yoon, 1996; Riser et al., 1999; Yoshikawa et al., 1999]. Очевидно, что низкая соленость у побережья обусловлена влиянием материкового стока, хотя какую-то роль играет и вынос льда и талой воды из Татарского пролива весной [Park et al., 2006].

Спутниковые данные. Анализируется информация о температуре поверхности моря (ТПО) за 2000–2024 гг., восстановленной по данным радиометра AVHRR (спутники серии NOAA) и спектрометри MODIS (спутники AQUA, TERRA) в инфракрасном диапазоне спектра с пространственным разрешением 1,0 и 1,1 км. Данные были получены по двум инфракрасным каналам с 5 спутников и обработаны с помощью полуэмпирического алгоритма с атмосферной коррекцией, разработанного в Центре коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН [Алексанин, Алексанина, 2006]. Для визуализации пространственного распределения ТПО использовалась программа Glance1.95 (<http://satellite.dvo.ru/files/Glance195setup.exe>). Ежемесячно получали от 5 до 15 видимых и инфракрасных изображений северо-западной части Японского моря без облачности. При визуальном дешифрировании области с различной температурой поверхности моря (ТПМ) были дифференцированы по цвету, что позволило выявить термические неоднородности морской поверхности, такие как фронты, мезомасштабные вихри, струйные течения, апвеллинги и т.п. Кроме того, для каждого снимка определяли изотерму, совпадающую с фронтом Приморского течения. В качестве дополнительных признаков различия водных масс разного происхождения использовали оптические индикаторы. Так, граница между субарктическими и субтропическими водами более четко видна по резкому изменению концентрации хлорофилла *a*: в водах Приморского течения она составляла 0,7–3,0 мг/м³ (в некоторых заливах до 10,0 мг/м³), тогда как в субтропических водах не превышала 0,5 мг/м³. При анализе результатов наибольшее внимание уделялось таким параметрам пространственной структуры, как размеры холодноводного участка Приморского течения, положение главного потока, форма ветвей, струй и меандров, расположение, размеры и конфигурация мезомасштабных вихрей, положение термических фронтов и градиентов ТПМ на них.

Судовые океанографические данные. Спутниковые данные дополнены сведениями измерений температуры и солености в двух океанографических съемках и повторных стандартных разрезах с зондированием до глубин 200–500 м (рис. 3; см. таблицу). Измерения температуры и солености на разрезах выполнены с помощью океанографических зондов-профилометров Neil-Brown Mark-II (до 2003 г.) и Sea-Bird SBE-9, SBE-19plus или SBE-25 (в настоящее время) и охватывали большую часть исключительной экономической зоны России в Японском море (между 40 и 47° с.ш.), стандартные разрезы расположены к югу и востоку-юго-востоку от Владивостока (мониторинг с 1926 г., по современной стандартной схеме с 1981 г.). Эти данные были использованы для расчета таких количественных показателей пространственной структуры, как градиент ТПМ и скорость геострофического потока.

Геострофические течения рассчитывали так называемым динамическим методом для устойчивого течения [Зубов, Мамаев, 1956] относительно нулевого уровня на глубине 500 м с использованием программного обеспечения, разработанного в АтлантНИРО. Нулевой уровень 500 м обоснован для Японского моря Ю.В. Сизовой [1961], Г.И. Юрасовым и В.Г. Яричиным [1991].

Учитывая высокую сезонную и межгодовую изменчивость Приморского течения, его пространственную структуру рассмотрели отдельно по сезонам, а в каждом сезоне — по типам термического режима Японского моря, определенным по положению Субарктического/Полярного фронта [Никитин, Харченко, 2002]. Сезоны классифицированы с учетом особенностей вертикальной структуры вод: зима — январь-март, весна — апрель-июнь, лето — июль-сентябрь и осень — октябрь-декабрь [Юрасов, 1977]. Для каждого сезона выбраны наиболее характерные месяцы, а именно: зима — февраль или март, весна — май или июнь, лето — август или сентябрь, осень — ноябрь

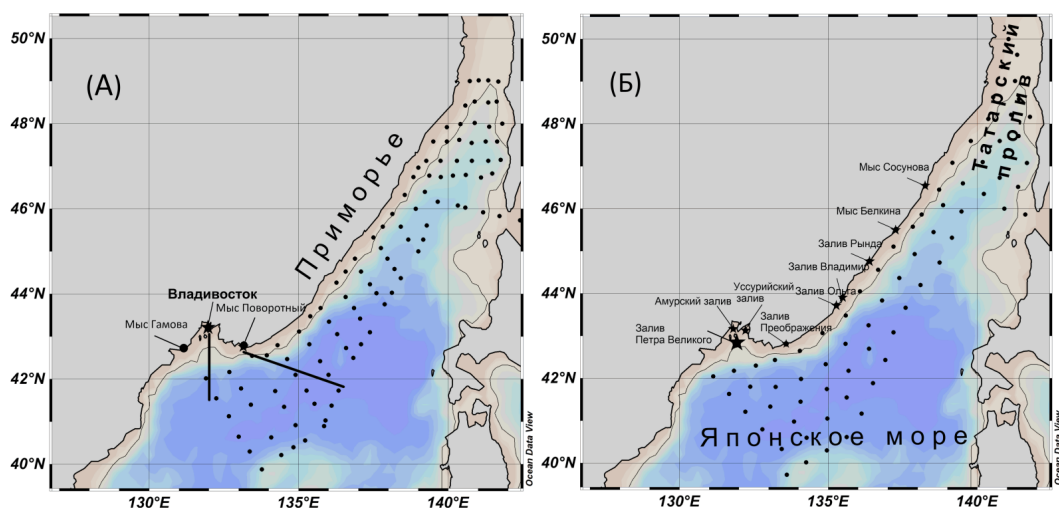


Рис. 3. Схемы океанографических съемок на северо-западе Японского моря, проведенных НИС «Профессор Кагановский» 3–25 ноября 2003 г. (А) и НИС «ТИНРО» 7–26 мая 2013 г. (Б). Черные точки — станции съемок, линии — стандартные разрезы

Fig. 3. Schemes of oceanographic surveys in the northwestern Japan Sea conducted by RV Professor Kaganovsky on November 3–25, 2003 (А) and RV TINRO on May 7–26, 2013 (Б). Dots — stations of the surveys, lines — standard sections

Перечень судовых океанографических данных (годы наблюдений)
List of the shipboard oceanographic data (years of observation)

Разрез, съемки	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Стандартный разрез к югу от Владивостока по 132° в.д.			2009 2011	2012 2015	2016	2000 2004 2006	2001 2009 2010	2002 2007 2013			2004 2006 2007 2008	2007 2010
Стандартный разрез к юго-востоку от Владивостока («Сангарский»)	2019	2009 2010 2011	2000 2001 2002 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015	2009 2011 2016	2009 2010 2012 2015 2016 2017	2002 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2017	2003 2004 2009 2012 2013 2014 2015	2000 2001 2011 2012 2013	2010 2013 2018	2005 2006 2007 2008 2011 2012 2013 2015	2011 2012 2017 2018	
Гидрологические съемки в северо-западной части Японского моря					2013						2003	

или декабрь. Рассмотрены три типа термического режима для каждого сезона: холодный с расширенной областью Приморского течения и южным положением фронта; теплый с активным Восточно-Корейским течением и северным положением фронта; промежуточный, или нормальный, с расположением фронта в пределах западной части Японского моря примерно на 40° с.ш. Эти типы не соответствуют аномалиям температуры поверхности моря, но характеризуют преимущественно интенсивность

холодных и теплых течений. Поскольку в 2000–2024 гг. преобладали нормальный и теплый типы термического режима (холодный тип наблюдался только зимой 2013 г.), основное внимание в исследовании уделяется пространственным закономерностям Приморского течения в годы с нормальным и теплым режимами.

Результаты и их обсуждение

По осредненным за 30 лет данным моделирования Приморское течение круглогодично прослеживается от 47–48° с.ш. до траверза мыса Гамова, переходя затем в менее устойчивое Северо-Корейское течение (см. рис. 2). На верхнем участке течения его стрежень расположен в пределах шельфа с максимальными скоростями близ изобаты 100 м, но чем южнее, тем больше он смещается в сторону материкового склона, а в зал. Петра Великого — иногда и в глубоководную котловину. Осредненные в климатическом масштабе скорости течения на севере не превышают 0,10 м/с, усиливаясь в средней части Приморья до 0,15 м/с, а южнее вновь ослабевая примерно до 0,10 м/с. В масштабе моря в целом поля скоростей Приморского течения и их величины вполне сравнимы между летним и зимним сезонами (рис. 4).

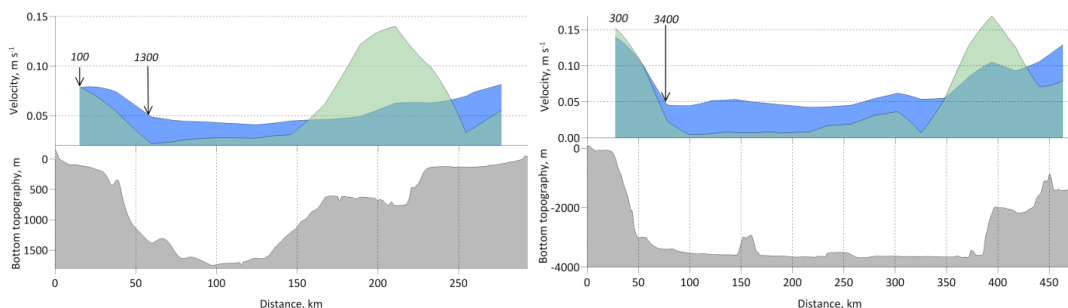


Рис. 4. Пространственные изменения на разрезах поперек Японского моря магнитуд скоростей течений, рассчитанных с помощью модели OSCAR, в зависимости от рельефа дна в марте (синий цвет) и сентябре (зеленый цвет). Слева — разрез на 45–47° с.ш., справа — разрез на 41–43° с.ш., точное расположение разрезов показано на рис. 2. Стрелками с цифрами отмечены изобаты, между которыми скорость течения быстро уменьшается

Fig. 4. Spatial variation along the transects across the Japan Sea for velocity magnitude of the currents modeled by OSCAR model in dependence on the sea bottom relief in March (blue) and September (green). **Left panel** — the transect at 45–47° N, **right panel** — the transect at 41–43° N, both transects location is shown at Fig. 2. The arrows with numbers mark the isobaths between which the current velocity decreases rapidly

В холодное время года (зима-весна) термическая структура Приморского течения хорошо видна на спутниковых инфракрасных изображениях благодаря как резким контрастам ТПМ, так и отсутствию облачности. Наблюдается большое разнообразие вихрей различных знаков и размеров, их количество, расположение и конфигурация во многом зависят от характера адвективных процессов. В теплую половину года (лето и осень) за счет радиационного прогрева поверхностного слоя моря, градиенты ТПМ сглаживаются, и на инфракрасных снимках они выделяются слабо или удовлетворительно. Такие условия типичны для летнего сезона, но даже при сглаженных градиентах ТПМ фронт между холодными водами Приморского течения и более теплыми водами летом хорошо виден, прослеживаются мезомасштабные элементы его пространственной структуры, если нет облаков.

Приморское течение в зимний сезон. Особенности зимней пространственной структуры Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрены на примерах февраля 2000 и 2011 гг. и января 2002 и 2014 гг. Приморское течение в этих условиях — это сплошной пояс холодной воды вдоль всего побережья Приморья (рис. 5). На стандартном разрезе Приморское течение представлено наи-

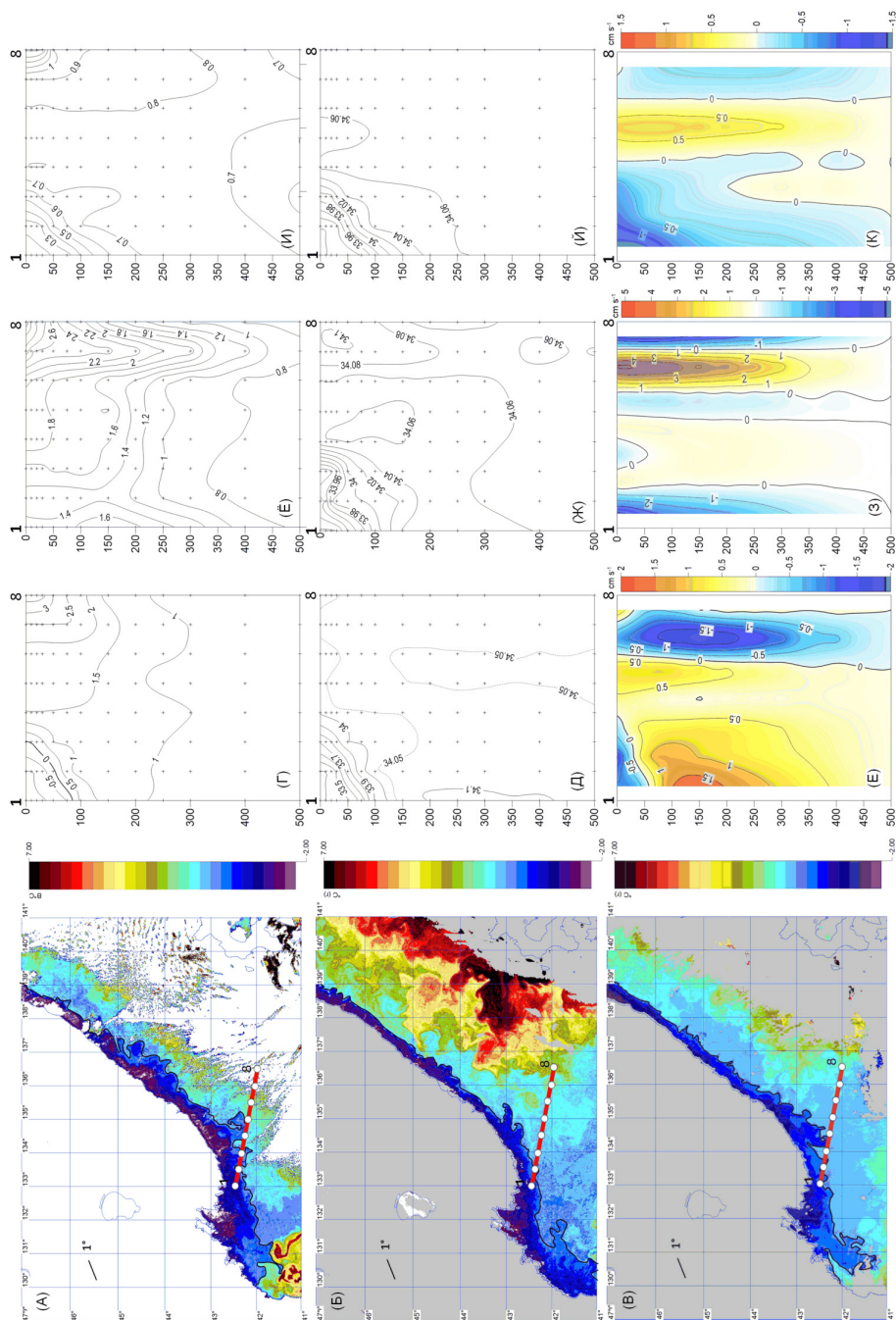


Рис. 5. Температура поверхности северо-западной части Японского моря по данным спутниковых измерений в зимы с нормальным (А — 22 февраля 2000 г., 7:34 UTC, NOAA-12), теплым (Б — 25 марта 2015 г., 20:55 UTC, NOAA-15) и холодным (В — 16 марта 2013 г., 5:29 UTC, NOAA-18) типами термического режима и вертикальное распределение температуры, солёности и скорости геострофических течений относительно глубины 500 м на стандартном разрезе 22 февраля 2000 г. (Г, Д, Е), 20 марта 2015 г. (Ж, З) и 16 марта 2013 г. (И, Й, К). На картах показано расположение стандартного разреза в восточно-юго-восточном направлении от Владивостока (станции 1–8); серой заливкой показана суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 5. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite measurements in winters with normal (А — February 22, 2000, 7:34 UTC, NOAA-12), warm (Б — March 25, 2015, 20:55 UTC, NOAA-15) and cold (В — March 16, 2013, 5:29 UTC, NOAA-18) types of thermal regime and vertical distribution of temperature, salinity and velocity of geostrophic currents relative to a depth of 500 m on the standard section on February 22, 2000 (Г, Д, Е), March 20, 2015 (Ж, З) and March 16, 2013 (И, Й, К). The maps show location of the standard section east-southeastward from Vladivostok (stations 1–8); the gray shading shows land and cloud-covered sea areas

более холодной (+1...–1 °С) и малосоленой (< 34,00 ‰) водной массой, занимающей верхний слой моря до глубины 50 м в западной части разреза (рис. 5, Г, Д). Скорость геострофического потока по разрезу в верхнем слое невелика (1–2 см/с); ниже наблюдается течение противоположного направления (рис. 5, Е). Внутри непрерывного потока холодной воды разбросаны пятна наиболее низкой температуры, имеющие циклоническое или антициклоническое вращение. Основной поток Приморского течения с наименьшей ТПМ проходит в 20–30 км от берега. На 45° с.ш. течение может прижиматься к берегу, как это было в феврале 2011 г. Иногда поток холодных вод не доходит до мыса Поворотного (как в январе 2014 г.), прерываясь вторжением на запад относительно теплых вод по 42°30' с.ш. Иногда на расстоянии 2–3 км от берега, к югу от 46° с.ш., наблюдается узкая (1–3 км) полоса относительно теплой воды, вызванная, возможно, апвеллингом. Фронт Приморского течения четко очерчен в 20–80 км от берега и примерно совпадает с изотермой 1 °С. Градиент ТПМ на фронте составляет около 0,03 °С/км, солёности — 0,005 ‰/км.

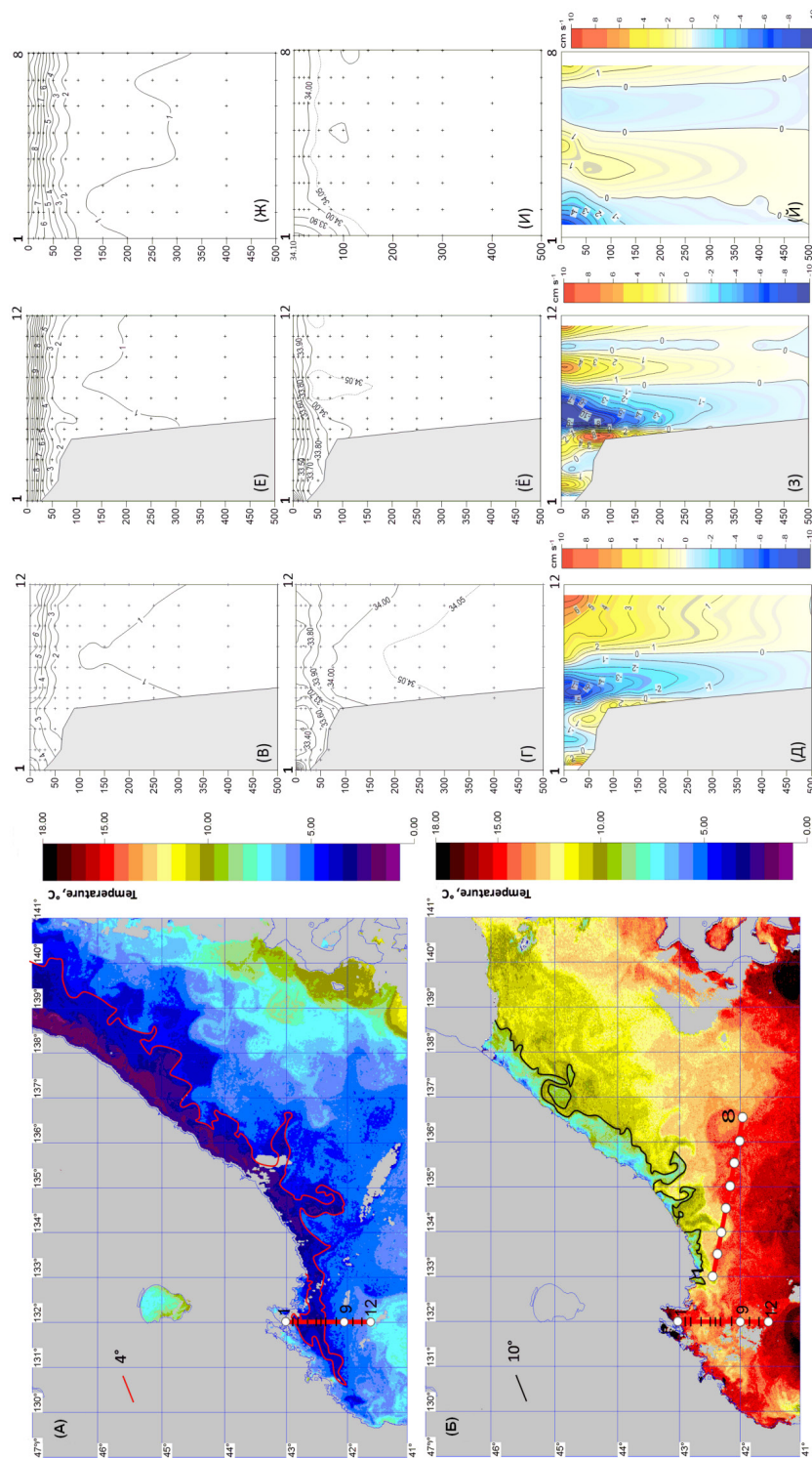
В зимы с теплым типом термического режима (март 2015 г.) холодноводный поток Приморского течения четко выражен лишь севернее 44° с.ш., где он имеет ширину 20–50 км, но уменьшается до узкой полосы вдоль побережья южного Приморья (рис. 5, Б). На стандартном разрезе Приморское течение прослеживается до глубины 300–400 м; скорость геострофического потока в верхнем 100-метровом слое составляет ≈ 4 см/с (рис. 5, Ё–З). У побережья северного Приморья ТПМ в Приморском течении ниже 0 °С основной поток проходит в 20–30 км от берега, на восточной периферии холодноводной области между 43 и 45° с.ш. формируется множество мелких циклонических вихрей, вызванных сильными прибрежными ветрами и взаимодействием с противотечением более теплых вод. На юге Приморья Приморское течение активно взаимодействует с квазистационарными мезомасштабными антициклоническими вихрями Цусимского течения, иногда их теплые воды приближаются к побережью бухт Преображения, Ольга и Рында. Фронт Приморского течения проходит обычно вдоль всей береговой линии и совпадает с изотермой 1 °С, но более резок севернее 44° с.ш. и в зал. Петра Великого, иногда прерывается притоками теплых вод к побережью южного Приморья с востока (вдоль 42°20' с.ш.) или с юга. Приток теплых вод к побережью Приморья на 45° с.ш. не прерывает холодноводный пояс Приморского течения, а поворачивает на юг и идет параллельно.

Холодный тип зимнего термического режима наблюдался только в марте 2013 г. (рис. 5, В). В этих условиях поток Приморского течения хорошо развит и прослеживается вдоль всего побережья Приморья, но наиболее четко выражен севернее 46° с.ш. Южнее 43° с.ш. прибрежная зона занята относительно теплой водой. Притоки теплых вод к побережью практически отсутствуют. Фронт Приморского течения примерно совпадает с изотермой 1 °С. Градиенты на стандартном разрезе к востоку-юго-востоку от Владивостока составляют < 0,01 °С/км для ТПМ и 0,002 ‰/км для солёности, поток холодной воды имеет мощность 300–400 м при скорости геострофического течения в этом слое 1–2 см/с (рис. 5, И–К). В целом этот тип режима отличается пониженной температурой воды как у поверхности моря, так и во всем верхнем слое моря.

Приморское течение в весенний сезон. По мере прогрева вод пространственная структура Приморского течения становится более сложной. Его зона на поверхности моря может быть занята субтропическими водами при их адвекции до побережья или трансформироваться в цепочку вихрей между 43 и 45° с.ш. У побережья возникают локальные апвеллинги. Перемещение мезомасштабных вихрей, интенсивность и локализация апвеллингов зависят от скорости и направления ветра [Лобанов и др., 2007; Никитин и др., 2009].

Весенняя картина Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрена на примере мая 2016 г. В этих условиях течение представлено сплошным вдольбереговым потоком шириной 20–60 км, простирающимся на юг до 41°30' с.ш. (рис. 6). В пределах этого потока наименьшая ТПМ наблюдается севернее

Рис. 6. Температура поверхности северной части Японского моря по данным спутниковых измерений весной с нормальным (А — 7 мая 2016 г., 21:27 UTC, NOAA-15) и теплым (Б — 13 июня 2004 г., 7:32 UTC, NOAA-12) типами термического режима и вертикальное распределение температуры, скорости и скорости геострофических течений (относительно глубины 500 м) на стандартных разрезах в южном (станции 1–12) и восточно-юго-восточном (станции 1–8) направлениях



2008 г. (Ж, И, Й). На картах показано расположение стандартных разрезов в южном (станции 1–12) и восточно-юго-восточном (станции 1–8) направлениях от Владивостока; серой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 6. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite measurements in spring with normal (А — May 7, 2016, 21:27 UTC, NOAA-15) and warm (Б — June 13, 2004, 7:32 UTC, NOAA-12) types of thermal regime and vertical distribution of temperature, salinity and velocity of geostrophic currents (relative to a depth of 500 m) on standard sections on May 8, 2016 (В, Г, Д), June 15, 2004 (Е, Ё, З) and June 9, 2008 (Ж, И, Й). The maps show location of the standard sections southward (stations 1–12) and east-southeastward (stations 1–8) from Vladivostok; land and cloud-covered sea areas are shown in gray

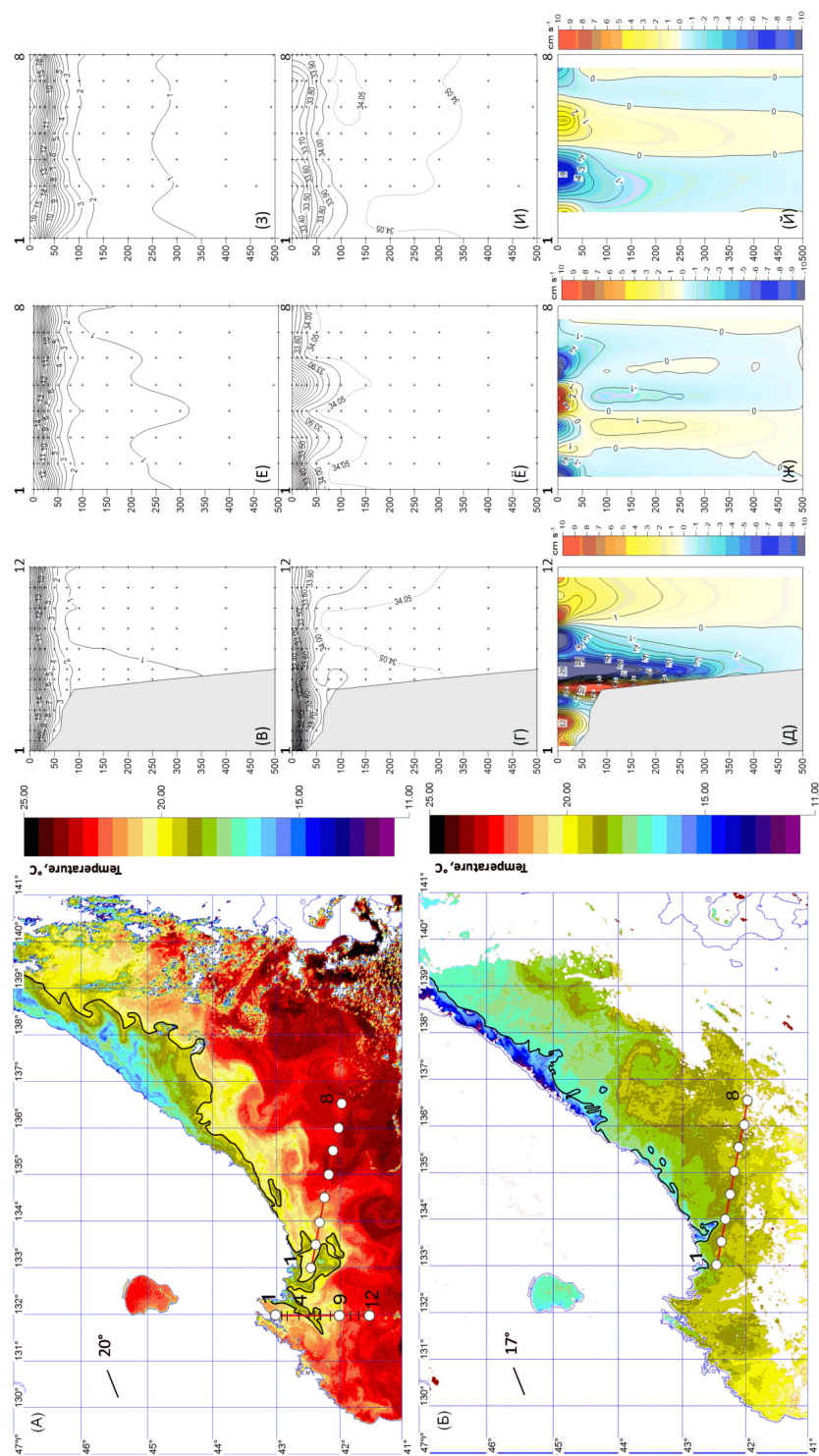
44° с.ш. и в зал. Петра Великого. Во внутренней части зал. Петра Великого в это время уже сформирована обширная область теплых прибрежных вод (4–6 °С), но холодные воды Приморского течения занимают внешнюю часть залива и в центре его вторгаются в южную часть Уссурийского залива. Притоки теплых вод местами прерывают поток Приморского течения и достигают побережья Приморья в юго-западной части зал. Петра Великого и в районах мысов Белкина и Сосунова (44–45° с.ш.). Фронт Приморского течения выражен лишь севернее 43° с.ш., где он расположен в 30–40 км от берега, примерно вдоль изотермы 4 °С. В процессе взаимодействия с более теплыми водами на фронте образуется множество мелких меандров и вихрей разного знака. Фронт максимально заострен (перепад ТПМ 1,5–4,3 °С) в районе соприкосновения холодных и теплых потоков на 44° с.ш. На стандартном разрезе к югу от Владивостока поток Приморского течения занимает поверхностный и подповерхностный слои до глубины 300–400 м с максимальной скоростью геострофического течения (> 11 см/с) над материковым склоном (рис. 6, В–Д).

Особенности пространственной структуры Приморского течения в теплых весенних условиях рассмотрены на примере июня 2004 г. (рис. 6, Б). При этом типе термического режима холодноводный поток сужается до ширины < 20 км и приближается к берегу, где-то трансформируется в цепочку мелких антициклонических вихрей и холодных пятен, а в зал. Петра Великого — в узкую прерывистую полосу холодной воды вдоль кромки шельфа шириной 5–10 км, при этом весь шельф залива занят теплыми прибрежными водами. Область наиболее холодной воды прослеживается севернее 46° с.ш., прижимаясь к берегу. Холодные струи, перпендикулярные береговой линии, наблюдаются вблизи некоторых мысов, где, возможно, присутствует ветровой апвеллинг. Фронт Приморского течения проходит примерно по изотерме 10 °С, между 43°00' и 45°20' с.ш. он искажен струями с грибовидными вершинами и спиральными антициклоническими вихрями диаметром 25–40 км и шириной спирали 2–5 км. На стандартных разрезах холодный слой Приморского течения подстилается подповерхностным слоем с высокой соленостью (до 34,10 ‰), вероятно, субтропического происхождения (рис. 6, Е–Ж). Скорость геострофического течения над кромкой шельфа в зал. Петра Великого в верхнем 50-метровом слое достигает 11 см/с, западное направление геострофического течения сохраняется до глубины 400 м (рис. 6, И, Й).

Приморское течение в летний сезон. Летняя картина Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрена на примере августа 2013 г. В этих условиях оно представляет собой узкую вдольбереговую полосу к северу от 46° с.ш., расширяющуюся между 44 и 46° с.ш., где наблюдаются минимальные значения ТПМ, южнее холодноводный поток вновь прижимается к берегу или даже исчезает, прерываясь вторжениями теплых субтропических вод с юга или с востока, и вновь появляется над кромкой шельфа зал. Петра Великого (рис. 7). На самом южном участке параллельно холодноводному потоку следует тепловодный поток на запад, аналогичные параллельные потоки с разной температурой отмечены между 45 и 47° с.ш. Фронт Приморского течения примерно совпадает с изотермой 20 °С. На стандартных разрезах холодная вода Приморского течения занимает верхний слой 30–50 м, скорость геострофического течения в нем оценивается в 20–50 см/с. Ниже, в подповерхностном слое до глубины 250–300 м, наблюдается поток вод субтропического происхождения с высокой соленостью ($> 34,10$ ‰) того же направления (рис. 7, В–Ж).

Летняя пространственная структура Приморского течения при теплом типе термического режима рассмотрена на примере сентября 2018 г. В таких условиях поток холодной воды чаще всего не проявляется на поверхности моря или виден лишь на отдельных участках севернее 43° с.ш., так как под влиянием преобладающих южных ветров его интенсивность снижается, а адвекция теплых вод с востока усиливается (рис. 7, Б). Пятна с наименьшей ТПМ (< 8 °С) встречаются обычно у побережья севернее 44° с.ш., слабый вдольбереговой поток относительно холодной воды — севернее 46° с.ш. В целом область Приморского течения представляет собой цепочку мезомасштабных антициклонических

Рис. 7. Температура поверхности в северо-западной части Японского моря по данным спутниковых измерений летом с нормальным (А — 27 августа 2013 г., 17:14 UTC, TERRA/MODIS) и теплым (Б — 24 сентября 2018 г., 22:18 UTC, NOAA-15) типами термических условий и вертикальное распределение температуры, солёности и скорости геострофических течений (относительно глубины 500 м) на стандартных разрезах 25–26 августа 2013 г. (В, Г, Д), 9–10 августа 2013 г. (Е, Ж) и в восточно-юго-восточном направлении от Владивостока; белой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками



(Е, Ж) и 24 сентября 2018 г. (З, И, Й). На картах показано расположение стандартных разрезов в южном (станции 1–12) и восточно-юго-восточном (станции 1–8) направлениях от Владивостока; белой заливкой отмечены суша и участки моря, покрытые облаками

Fig. 7. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite measurements in summer with normal (А — August 27, 2013, 17:14 UTC, TERRA/MODIS) and warm (Б — September 24, 2018, 22:18 UTC, NOAA-15) types of thermal conditions and the vertical distribution of temperature, salinity and geostrophic current velocity (relative to a depth of 500 m) on standard sections on August 25–26, 2013 (В, Г, Д), August 9–10, 2013 (Е, Ж) and September 24, 2018 (З, И, Й). The maps show location of the standard sections southward (stations 1–12) and east-southward (stations 1–8) from Vladivostok; land and cloud-covered sea areas are shown in white

вихрей диаметром 25–40 км. Теплые воды субтропического происхождения легко прерывают эту цепочку и проникают в прибрежную зону, в частности к средней части побережья Приморья (43–45° с.ш.), где формируется крупный теплый антициклонический вихрь с центром примерно на 44° с.ш. 138° в.д., полностью перекрывающий холодноводный поток, который поэтому не прослеживается южнее 43° с.ш., включая зал. Петра Великого, полностью занятый теплыми водами. На стандартном разрезе к востоку-юго-востоку от Владивостока в сентябре 2018 г. относительно холодная и малосоленая вода Приморского течения занимает тонкий верхний 10-метровый слой, ниже наблюдается вода с высокой соленостью ($> 34,06$ ‰ в слое 50–100 м) (рис. 7, 3, И). Геострофические течения на разрезе имеют южное направление, их скорость не превышает 10 см/с (рис. 7, Й).

Приморское течение в осенний сезон. Осенняя пространственная структура Приморского течения при нормальном типе термического режима рассмотрена на примере ноября 2004 г. Холодноводный вдольбереговой поток становится шире (30–80 км севернее 43° с.ш.), но кое-где прерывается; появляются узкие холодные струи, направленные от берега в сторону открытого моря (рис. 8). Самая низкая ТПМ (3–4 °С) в пределах потока наблюдается у побережья к северу от 46° с.ш. Главный поток течения проходит недалеко от берега. На юге Приморья воды Приморского течения отсутствуют, их замещают воды субтропического происхождения, движущиеся вдоль берега в западном направлении. Холодноводный поток вновь появляется над материковым склоном в зал. Петра Великого и затем распространяется на юг вдоль побережья п-ова Корея. Глубина этого потока — 400–450 м, максимальная скорость геострофического течения западного направления достигает 50 см/с (рис. 8, В–Д). Фронт Приморского течения обострен севернее 43° с.ш. и примерно совпадает с изотермой 8 °С.

Особенности пространственной структуры Приморского течения при теплом типе термического режима рассмотрены на примере ноября 2018 г. (рис. 8, Б). В этих условиях непрерывный холодноводный поток Приморского течения отсутствует, оно представлено отдельными холодными пятнами, причем прибрежную зону занимает узкая полоса относительно теплой воды (9–10 °С). Основная струя Приморского течения с ТПМ 7–8 °С расположена на удалении от берега. В зал. Петра Великого прослеживается узкий поток холодных вод от о. Аскольд, где ТПМ минимальна, на юго-запад. Спорадически у побережья восточнее мыса Поворотного возникают апвеллинги (в условиях сильного северного ветра), в районах апвеллинга холодная вода распространяется на 5–20 км от берега. Происходят множественные вторжения теплых вод в зону Приморского течения, особенно на юге Приморья (в районе заливов Преображения и Ольги) и у мыса Белкина (44–45° с.ш.). Развитие Приморского течения в теплые осенние сезоны сильно ограничено встречной адвекцией потоков теплых вод Восточно-Корейского течения (с юга) и Цусимского течения (с востока). На стандартном разрезе к востоку-юго-востоку от Владивостока наблюдается сравнительно высокая скорость геострофического течения на юг (до 10 см/с), но этот поток не переносит холодную воду (рис. 8, Е–Ж). Фронт Приморского течения при теплом типе термического режима имеет сложную конфигурацию, но обычно совпадает с изотермой 11 °С. ТПМ на шельфе Приморья в теплые осенние месяцы превышает норму на 2–3°.

Размеры и конфигурация холодноводной области, рассматриваемой здесь как Приморское течение, отличаются большой сезонной и межгодовой изменчивостью. Однако его характерной чертой во всех случаях является прибрежное расположение. Основной поток Приморского течения обычно располагается в 50–70 км от береговой линии, и этот параметр не имеет существенных колебаний. Лишь летом он несколько приближается к берегу, при этом площадь холодных вод в целом уменьшается весьма значительно, возможно, за счет нагона теплых вод. На юге Приморья в летние и осенние сезоны холодные воды Приморского течения полностью замещаются более теплыми водами, текущими в том же (западном) направлении. Адвекция теплой воды является важным фактором, ограничивающим интенсивность Приморского течения. При этом даже когда холодноводная область Приморского течения на поверхности

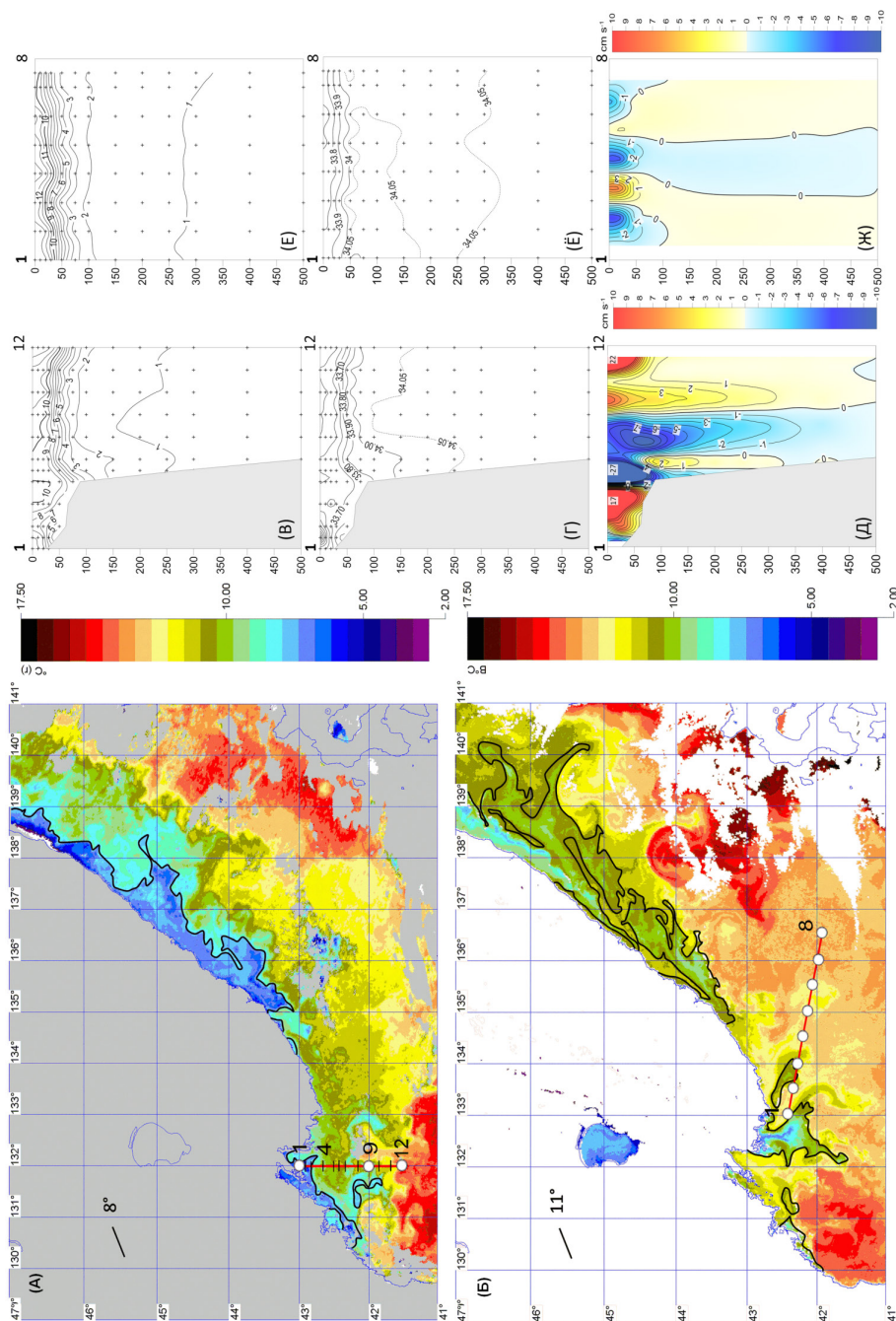


Fig. 8. Sea surface temperature in the northwestern Japan Sea based on satellite observations in autumn with normal (A — November 8, 2004, 20:47 UTC, NOAA-12) and warm (B — November 1, 2018, 23:39 UTC, NOAA-18) types of thermal conditions and the vertical distribution of temperature, salinity and geostrophic current velocity (relative to a depth of 500 m) at standard sections on November 11–13, 2004 (B, Г, Д) and November 5–6, 2018 (E, Ё, Ж). The maps show location of the standard sections southward (stations 1–12) and east-southeastward (stations 1–12) from Vladivostok; land and cloud-covered sea areas are shown in grey or white

Рис. 8. Температура поверхности северо-западной части Японского моря по данным спутниковых наблюдений осенью с нормальным (А — 8 ноября 2004 г., 20:47 UTC, NOAA-12) и теплым (Б — 1 ноября 2018 г., 23:39 UTC, NOAA-18) типами термических условий и вертикальное распределение температуры, солёности и скоростей геострофических течений (относительно глубины 500 м) на стандартных разрезах к югу от Владивостока 11–13 ноября 2004 г. (В, Г, Д) и к востоку-юго-востоку от Владивостока 5–6 ноября 2018 г. (Е, Ё, Ж). На картах показано расположение стандартных разрезов в южном (станции 1–12) и восточно-юго-восточном (станции 1–8) направлениях от Владивостока; меридионы суши и участки моря, покрытые облаками

моря сжимается или превращается в цепочку мезомасштабных вихрей, вдольбереговое движение воды в общем юго-западном направлении не прекращается. Несмотря на противоположное направление господствующих ветров, течение продолжается, даже если холодная вода сменяется теплой водой субтропического происхождения. Очевидно, это свидетельствует о доминировании на севере Японского моря циклонической макроциркуляции плотностного характера, свойственной для всех окраинных морей, вследствие меньшей плотности воды в их прибрежных районах. Однако не холодные воды Приморского течения вызывают эту циркуляцию, наоборот, низкая температура в прибрежной зоне противодействует плотностному течению на юг [Данченков, 2003], особенно зимой, когда геострофическая составляющая в Приморском течении минимальна. Холодная вода Приморского течения всего лишь использует макроциркуляцию для своего распространения из районов формирования вдоль побережья Приморья.

Практически в любое время года, кроме зимы, в разных частях потока Приморского течения можно наблюдать пятна наиболее холодной воды. Они многочисленны и, возможно, имеют различную природу, поскольку расположены как вблизи берега, так и на шельфе и над кромкой шельфа. Для столь разных локализаций существует только один общий источник низкой температуры — приток холодной воды снизу, из подповерхностного слоя или даже более глубоких слоев. Подъем холодной воды может обеспечиваться различными механизмами: приливным перемешиванием [Зуенко, 1992; Зуенко, Юрасов, 1995], апвеллингом [Жабин и др., 1992, 1993; Зуенко, Надточий, 2004] или, возможно, мезомасштабными вихрями [Лобанов и др., 2007]. Напротив, зимой подъем воды с глубины препятствует снижению ТПМ. Вдольбереговой поток на юго-запад в этот сезон обусловлен главным образом сдвиговым напряжением преобладающих северных ветров, а сильное похолодание на его поверхности — отрицательным тепловым балансом с большими явными и скрытыми потерями тепла в атмосферу.

Таким образом, конфигурация холодноводной области Приморского течения, извилистость его основного потока и фронта формируются как внутренними, так и внешними процессами. В определенных условиях поток Приморского течения меандрирует сам по себе из-за бароклинной неустойчивости, образования антициклонических вихрей при взаимодействии с береговой чертой. Однако зачастую мезомасштабные вихри и вообще сложная конфигурация фронта Приморского течения обусловлены внешними факторами, генерирующими локальные адвективные потоки либо со стороны Приморского течения (например, струи холодной воды из зон апвеллинга, образующие мезомасштабные вихри), либо со стороны прилегающих теплых вод. В результате область Приморского течения иногда превращается из сплошного вдольберегового потока в цепочку мезомасштабных антициклонических вихрей или узкую и прерывистую прибрежную полосу холодной воды.

Доказательств влияния потепления климата на режим Приморского течения пока нет, хотя в Японском море наблюдается значительная тенденция к увеличению ТПМ, особенно в осенний сезон. Межгодовая изменчивость пространственной структуры Приморского течения зависит больше от изменений атмосферной циркуляции и интенсивности Цусимского течения. Так, холодноводная зона Приморского течения расширялась в 2004, 2005, 2009 и 2011 гг. в условиях ослабления Цусимского течения и сокращалась в 2003, 2013, 2015, 2016, 2021, 2022 и 2023 гг. из-за его усиления. Обычно усиление Приморского течения поддерживается более сильным и продолжительным зимним муссоном, а летний муссон усиливает Цусимское течение. В 2021 г. летний муссон был чрезвычайно сильным и продолжался дольше обычного, в результате область холодноводного Приморского течения на поверхности моря сократилась до узкой полосы у берегов северного Приморья. Иногда наблюдались случаи перераспределения потоков в системе теплых течений с ослаблением Восточно-Корейского течения за счет усиления Цусимского течения (в 2004, 2005, 2009, 2014 и 2020 гг.) — Приморское течение в этих условиях было слабым, но его холодные воды занимали зал. Петра Великого. Однако такие случаи не типичны и не имеют какой-либо тенденции.

Основные результаты исследования, основанного на современных данных, хорошо согласуются с представлениями о природе и пространственной структуре Приморского течения, сформировавшимися еще до начала активных спутниковых наблюдений. В частности, еще тогда было отмечено, что во все сезоны года при различных термических условиях холодноводная область у побережья Приморья, называемая Приморским течением, простирается от южной части Татарского пролива (между 46 и 48° с.ш.) до зал. Петра Великого, а районы с наименьшей ТПМ обычно располагаются в отдельных местах на шельфе Приморья за пределами Татарского пролива. Также были известны основные черты сезонной изменчивости Приморского течения. По спутниковым снимкам на рис. 9 показаны примеры типичного распределения температуры поверхности Японского моря зимой и в начале лета. В то же время новые спутниковые данные свидетельствуют о том, что холодноводная область Приморского течения имеет сложную и весьма изменчивую конфигурацию и редко выглядит как сплошное вдольбереговое течение, а чаще как совокупность вихрей и струй, направленных как вдоль береговой линии или кромки шельфа, так и в направлении от берега. С одной стороны, это подтверждает представление о Приморском течении как о сложной системе круговоротов и локальных вихрей, сложившееся по результатам ранних океанографических исследований [Белинский, Истошин, 1950]. С другой — Н.А. Белинский и Ю.В. Истошин [1950] считали, что вихри Приморского течения генерируются уступами береговой черты, но сейчас уже ясно, что это явление имеет более сложную и разнообразную природу и связано не только с процессами внутри холодноводного потока, но и с его взаимодействием с окружающими теплыми водами. Новые данные помогли прояснить природу этого взаимодействия. Установлено, что во все сезоны года, и особенно при теплом типе термического режима, район Приморского течения подвергается вторжениям теплых вод, чаще всего с трех направлений:

1) со стороны теплого потока, идущего примерно по 42°30' с.ш. от Хоккайдо на запад (этот поток может доходить до побережья южного Приморья, ограничивая холодноводный поток Приморского течения на поверхности моря, а иногда даже заменяя его и двигаясь вдоль побережья в том же направлении);

2) со стороны ветви Цусимского течения, вторгающейся в южную часть Татарского пролива между 45 и 47° с.ш., которая при подходе к материковому побережью поворачивает на юго-запад и движется параллельно холодноводному потоку Приморского течения;

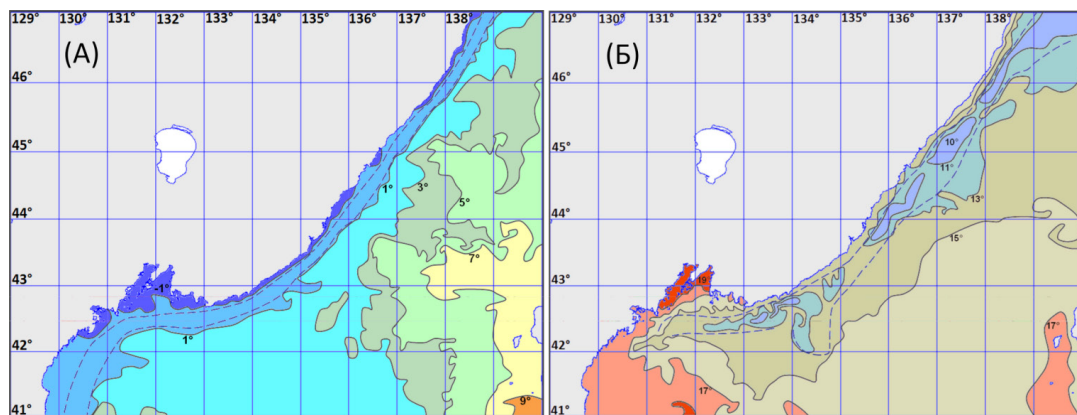


Рис. 9. Примеры типичного распределения температуры поверхности Японского моря зимой (А) и в начале лета (Б). Пунктирными линиями показаны обобщенные очертания области (стрекция, более холодного потока) Приморского течения

Fig. 9. Examples of typical distribution of sea surface temperature in the Japan Sea in winter (A) and early summer (B). The dotted lines show generalized outlines of the Primorye Current area (the main stream, the coldest flow)

3) со стороны Восточно-Корейского течения, вторгающегося в юго-западную часть зал. Петра Великого и прерывающего распространение холодноводного потока Приморского течения вдоль кромки шельфа.

В первом случае в отдельные годы субтропические воды становятся трассером Приморского течения. Например, зимой 2023/24 гг. теплые воды подходили к берегам южного Приморья и присоединялись к юго-западному вдольбереговому переносу (рис. 10). При южных ветрах эти воды местами достигали побережья, что обусловило относительно высокую температуру прибрежных вод южного Приморья зимой 2024 г. и слабое льдообразование в Уссурийском заливе. Аналогичная ситуация наблюдалась и в некоторые другие годы (2002, 2004, 2011 и 2014).

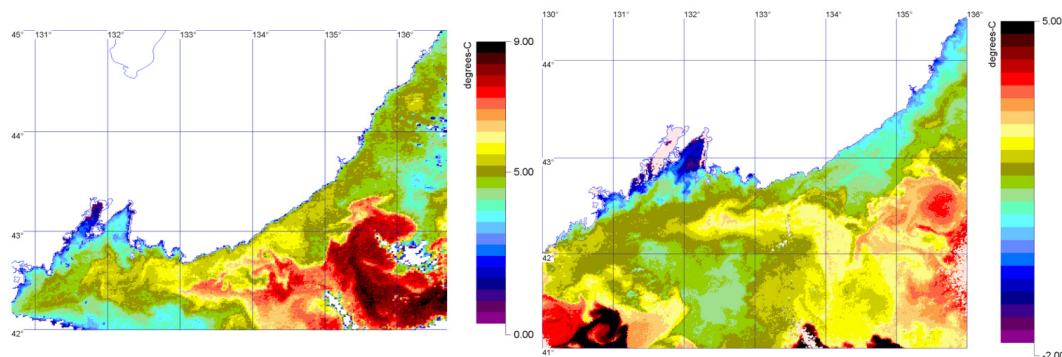


Рис. 10. Примеры подхода теплых вод субтропического происхождения к берегам южного Приморья, включая зал. Петра Великого: температура поверхности моря по данным спутников MODIS/Terra за 10.12.2023 г. 10:55 UTC (слева) и MODIS/Aqua за 19.01.2024 г. 4:21 UTC (справа)

Fig. 10. Examples of warm subtropic water approach to the coast of southern Primorye, including Peter the Great Bay — SST distribution on data of satellites MODIS/Terra on December 12, 2023 10:55 UTC (left panel) and MODIS/Aqua on January 19, 2024 4:21 UTC (right panel)

Распространение вод Приморского течения за пределы вдольбереговой полосы происходит редко, обычно в холодных или нормальных термических условиях. В таких случаях холодные воды могут распространяться далеко на юг между 135 и 136° в.д., достигая 42° с.ш.

Данные наблюдений на стандартных разрезах не подтверждают предположения о бароклинной природе Приморского течения. В сезон наибольшей интенсивности течения (зимой) скорость геострофических течений на стандартных разрезах наименьшая (< 4 см/с). Большое влияние на размеры и форму холодноводной области Приморского течения оказывает ветер [Park et al., 2006; Trusenкова et al., 2009].

Проанализированные данные спутниковых наблюдений не выявили связи генезиса вод Приморского течения ни с водами северной части Татарского пролива (охотоморского или амурского происхождения), ни с водами, поступающими в Татарский пролив с Цусимским течением. Теплые и холодные области вблизи «истока» Приморского течения в южной части Татарского пролива всегда четко разделены резкими фронтами, а сам «исток», если рассматривать в качестве него наиболее холодные области, не располагается вблизи затоков вод Цусимского течения. Такие области холодной воды обычно появляются за пределами Татарского пролива, но на шельфе северного Приморья, что подтверждает гипотезу об образовании этих холодных пятен водами, поднимающимися из более глубоких слоев Японского моря в процессе апвеллинга или турбулентного перемешивания.

Заключение

Обобщение большого массива спутниковых данных совместно с данными судовых наблюдений на стандартных разрезах в период 2000–2024 гг. позволило детально рассмотреть особенности пространственной структуры Приморского течения, их сезонную и межгодовую изменчивость. На основе анализа этого материала и результатов более

ранних исследований различных авторов сложилась современная концепция феномена Приморского течения как холодноводной области в поверхностном слое Японского моря, расположенной вдоль побережья Приморья от Татарского пролива до зал. Петра Великого, которая содержит следующие положения:

— холодная водная масса Приморского течения распространяется за пределы районов формирования с общим направлением на юго-запад вдоль побережья, вовлекаясь в циклоническую циркуляцию северной части Японского моря;

— холодная вода Приморского течения распространяется либо сплошным потоком с четко выраженной основной струей, либо цепочками или менее упорядоченной системой мезомасштабных образований (вихрей, пятен, полос, струй и т.д.), иногда прерывающимися;

— вихреобразование и меандрирование происходят как внутри потока Приморского течения, так и под воздействием внешних факторов, основными из которых являются действие ветра и адвекция теплых вод;

— холодная водная масса Приморского течения формируется у берегов Приморья в результате комплекса береговых и шельфовых процессов, в том числе процессов подъема воды и вертикального перемешивания;

— размеры и конфигурация холодноводной области Приморского течения существенно меняются в сезонном цикле и при изменениях термического режима, вероятно, в зависимости от интенсивности теплых течений. Несмотря на большую изменчивость, Приморское течение существует постоянно;

— за период исследования Приморское течение усиливалось (хорошо проявлялось на поверхности моря) в 2004, 2005, 2009, 2011, 2024 гг. и ослаблялось в 2003, 2013, 2015, 2016, 2021, 2022, 2023 гг.

Основные положения этой концепции соответствуют представлениям, сложившимся до развития спутниковой океанографии, однако некоторые детали, касающиеся природы холодных вод Приморского течения, их распределения вдоль побережья Приморья и взаимодействия с окружающими водами, ранее не были известны или рассматривались как гипотезы.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы искренне благодарны рецензентам за ценные советы и замечания в ходе подготовки данной статьи.

The authors are sincerely grateful to the reviewers for valuable advices and comments.

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 использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals were followed. Bibliographical references to all data from other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Все авторы участвовали в подготовке и написании статьи.

All authors participated to some extent in writing and illustrating the article.

Список литературы

- Алексанин А.И., Алексанина М.Г.** Мониторинг термических структур поверхности океана по данным ИК-канала спутников NOAA на примере Прикурльского района Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2006. — Т. 2, вып. 3. — С. 9–14.
- Белинский Н.А., Истошин Ю.В.** Приморское течение по материалам экспедиции шхуны «Россинанте» 1936 г. // Тр. ЦИП. — 1950. — Вып. 017. — С. 132–143.
- Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Островский А.Г.** Поверхностная циркуляция Японского моря (спутниковая информация и данные дрейфующих буев) // Исслед. Земли из космоса. — 1998. — № 1. — С. 66–83.
- Данченков М.А.** Непериодические течения // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8 : Японское море, вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоздат, 2003. — С. 313–326.
- Жабин И.А., Грамм-Осипова О.Л., Юрасов Г.И.** Ветровой апвеллинг у северо-западного побережья Японского моря // Метеорол. и гидрол. — 1993. — № 10. — С. 82–86.
- Жабин И.А., Зуенко Ю.И., Демина Т.В.** Поверхностные термические фронты в северной части Японского моря: природа, изменчивость, влияние на рыбный промысел // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1992. — С. 147–156.
- Жданко М.К.** К вопросу об исследовании морских течений // Записки по гидрографии. — 1913. — Т. 26. — С. 97–112.
- Зубов Н.Н., Мамаев О.И.** Динамический метод вычисления элементов морских течений : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1956. — 115 с.
- Зуенко Ю.И.** Влияние приливного перемешивания на биопродуктивность дальневосточных морей в летний сезон // Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1992. — С. 56–79.
- Зуенко Ю.И., Надточий В.В.** Исследование влияния апвеллинга на состав и обилие мезопланктона в прибрежной зоне Японского моря // Океанол. — 2004. — Т. 44, № 4. — С. 561–569.
- Зуенко Ю.И., Юрасов Г.И.** Водные массы северо-западной части Японского моря // Метеорол. и гидрол. — 1995. — № 8. — С. 50–57.
- Истошин Ю.В.** Морские течения : моногр. — Владивосток : Дальневосточное книжное издательство, 1975. — 88 с.
- Истошин Ю.В.** Течения Японского моря по данным бутылочной почты // Тр. ЦИП. — 1950. — Вып. 017. — С. 88–105.
- Леонов А.К.** Региональная океанография. Ч. 1. Берингово, Охотское, Японское, Каспийское, Черное моря : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1960. — 766 с.
- Лобанов В.Б., Пономарев В.И., Салюк А.Н. и др.** Структура и динамика синоптических вихрей северной части Японского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1 : Океанологические исследования. — М. : Наука, 2007. — С. 450–473.
- Макаров С.О.** «Витязь» и Тихий океан : моногр. — СПб., 1894. — Т. 1. — 337 с.
- Никитин А.А., Данченков М.А., Лобанов В.Б., Юрасов Г.И.** Новая схема поверхностной циркуляции Японского моря с учетом синоптических вихрей // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 158–167.
- Никитин А.А., Дьяков Б.С.** Структура фронтов и вихрей в западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 714–733.
- Никитин А.А., Дьяков Б.С., Капштер А.В.** Приморское течение на стандартных разрезах и спутниковых изображениях Японского моря // Исслед. Земли из космоса. — 2020. — № 1. — С. 31–43. DOI: 10.31857/S0205961420010078.
- Никитин А.А., Харченко А.М.** Типизация и изменчивость термической структуры Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 22–40.
- Никитин А.А., Юрасов Г.И.** Поверхностные термические фронты в Японском море // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 148. — С. 170–193.
- Покудов В.В., Манько А.Р., Хлусов А.Н.** Особенности гидрологического режима вод Японского моря в зимний период // Тр. ДВНИГМИ. — 1976. — Вып. 60. — С. 74–115.
- Покудов В.В., Тунеголовец В.П.** Тепловой баланс Японского моря в начале весеннего прогрева // Метеорол. и гидрол. — 1975. — № 3. — С. 74–84.
- Сизова Ю.В.** Циркуляция вод Японского моря // Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. — М. : АН СССР, 1961. — С. 146–154.

- Трусенкова О.О.** Сезонные и межгодовые изменения циркуляции вод Японского моря // Дальневосточные моря России. Кн. 1 : Океанологические исследования. — М. : Наука, 2007. — С. 280–306.
- Шренк Л.И.** О течениях Охотского, Японского и смежных с ними морей: по термометрическим наблюдениям, произведенным на русских военных с ними морей: по термометрическим наблюдениям, произведенным на русских военных судах. Приложение к 23-му тому Записок Имп. Академии наук. № 3. — СПб., 1874. — 112 с.
- Юрасов Г.И.** Сезонная изменчивость температуры воды Японского моря // Исследование океанологических полей Тихого и Индийского океанов. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1977. — С. 62–69.
- Юрасов Г.И., Яричин В.Г.** Течения Японского моря : моногр. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. — 172 с.
- Яблоков К.В., Моторин А.И.** Особенности придонных течений прибрежной зоны северо-западной части Японского моря // Научные основы создания подводной автоматической добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов : сб. науч. тр. — М., 1975. — С. 85–93.
- Яричин В.Г.** Некоторые особенности горизонтального движения вод в Японском море к северу от 40° с.ш. // Тр. ДВНИГМИ. — 1982. — Вып. 96. — С. 111–120.
- Яричин В.Г.** Состояние изученности циркуляции вод Японского моря // Тр. ДВНИГМИ. — 1980. — Вып. 80. — С. 46–61.
- Hidaka K.** Japan Sea // The Encyclopedia of Oceanography. — N.Y. : Reinhold Publ., 1966. — P. 626–631.
- Holloway G., Sou T., Eby M.** Dynamics of circulation of the Japan Sea // J. Mar. Res. — 1995. — Vol. 53. — P. 539–569.
- Kim C.H., Yoon J.-H.** Modeling of the wind-driven circulation in the Japan Sea using a reduced gravity model // J. Oceanogr. — 1996. — Vol. 52. — P. 359–373.
- Lee D.K., Niiler P.P.** The energetic surface circulation patterns of the Japan/East Sea // Deep-Sea Res. II. — 2005. — Vol. 52. — P. 1547–1563. DOI: 10.1016/j.dsr2.2003.08.008.
- Martin S., Kawase M.** The southern flux of sea ice in the Tatarski Strait, Japan Sea and the generation of the Liman Current // J. Mar. Res. — 1998. — Vol. 56. — P. 141–155.
- Naganuma K.** Regions affected by the Tsushima Warm Current. Variations in ocean environments related to the variations in the fisheries resources. // Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. — 1992. — Vol. 56, № 2. — P. 168–172 (in Japanese).
- Ostrovskii A., Hiroe Y.** The Japan Sea circulation as seen in satellite infrared imagery in autumn 1993 // Proc. CREAMS (Circulation Research in the East Asia Marginal Seas) Int. Symp. — Fukuoka, 1994. — P. 75–88.
- Park K.-A., Kim K., Cornillon P.C., Chung J.Y.** Relationship between satellite-observed cold water along the Primorye coast and sea ice in the East Sea (the Sea of Japan) // Geophys. Res. Lett. — 2006. — Vol. 33(10). — P. 10602–10606. DOI: 10.1029/2005GL025611.
- Riser S.C., Warner M.J., Yurasov G.I.** Circulation and mixing of water masses of Tatar strait and the northwestern boundary region of the Japan Sea // J. Oceanogr. — 1999. — Vol. 55. — P. 133–156.
- Trusenkova O., Nikitin A., Lobanov V.** Circulation features in the Japan/East Sea related to statistically obtained wind patterns (in the warm season) // J. Mar. Sys. — 2009. — Vol. 78(2). — P. 214–225. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2009.02.019.
- Uda M.** Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in Japan Sea and in its adjacent waters during May and June 1932 // Rec. Oceanogr. Works in Japan. — 1934. — Vol. 6, № 1. — P. 19–107.
- Uda M.** Results of simultaneous oceanographic surveys in the Japan Sea and adjacent waters in May and June 1932 // Records of oceanographic works in Japan. — 1936. — № 7. — P. 91–151.
- Wada V.** Investigation on ocean current in the Japan Sea and East sea of China // J. Geogr. — 1915. — Vol. 27. — P. 1–32.
- Yoon J.-H., Kim Y.-J.** Review on the seasonal variation of the surface circulation in the Japan/East Sea // J. Mar. Sys. — 2009. — Vol. 78. — P. 226–236.
- Yoshikawa Y., Awaji T., Akitomo K.** Formation and circulation processes of intermediate water in the Japan Sea // J. Phys. Oceanogr. — 1999. — Vol. 29. — P. 1701–1722.

References

- Aleksanin, A.I. and Aleksanina, M.G.,** Monitoring of thermal structures of the ocean surface according to the IR channel of the NOAA satellite using the example of the Kuril region of the Pacific Ocean, in *Sovremennyye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* (Modern problems of remote sensing of the Earth from space), 2006, vol. 2, no. 3, pp. 9–14.
- Belinskii, N.A. and Istoshin, Yu.V.,** Liman Current inferred from materials of expedition aboard the schooner Rossinante in 1936, *Tr. Tsent. Inst. Prognozov*, 1950, vol. 017, pp. 132–143.

- Ginzburg, A.I., Kostyanov, A.G., and Ostrovsky, A.G.**, Surface circulation of the Sea of Japan (satellite information and drifting buoy data), *Issledovaniye Zemli iz kosmosa*, 1998, no. 1, pp. 66–83.
- Danchenkov, M.A.**, Non-periodic flows, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 8: Yaponskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 8: Sea of Japan), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2003, issue 1, pp. 313–326.
- Zhabin, I.A., Gramm-Osipova, O.L., and Yurasov, G.I.**, Wind upwelling off the northwest coast of the Sea of Japan, *Meteorol. Gidrol.*, 1993, no. 10, pp. 82–86.
- Zhabin, I.A., Zuenko, Yu.I., and Demina, T.V.**, Surface thermal fronts in the northern Sea of Japan: nature, variability, impact on fisheries, in *Okeanologicheskiye osnovy biologicheskoy produktivnosti severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Oceanological basis of biological productivity in the northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 147–156.
- Zhdanko, M.K.**, On the issue of development of marine technologies, *Zapiski po gidrografii*, 1913, vol. 26, pp. 97–112.
- Zubov, N.N. and Mamayev, O.I.**, *Dinamicheskiy metod vychisleniya elementov morskikh tekheniy* (Dynamic method for calculating elements of sea currents), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1956.
- Zuenko, Yu.I.**, The influence of tidal mixing on the bioproductivity of the Far Eastern seas in the summer season, in *Okeanologicheskiye osnovy biologicheskoy produktivnosti severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Oceanological Bases of Biological Productivity of the Northwestern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 56–79.
- Zuenko, Yu.I. and Nadtochii, V.V.**, A study of the upwelling effect on the mesoplankton abundance and composition in the coastal zone of the Sea of Japan, *Oceanology*, 2004, vol. 44, no. 4, pp. 526–534.
- Zuenko, Yu.I. and Yurasov, G.I.**, Water masses of the north-western part of the Sea of Japan, *Meteorol. Gidrol.*, 1995, no. 8, pp. 50–57.
- Istoshin, Yu.V.**, *Morskiye tekheniya* (Sea currents), Vladivostok: Dal'nevostochnoye knizhnoye izdatel'stvo, 1975.
- Istoshin, Yu.V.**, Currents in the Sea of Japan according to bottle mail data, *Tr. Tsentr. Inst. Prognozov*, 1950, vol. 017, pp. 88–105.
- Leonov, A.K.**, *Regional'naya okeanografiya. Ch. 1. Beringovo, Okhotskoe, Yaponskoe, Kaspiiskoe, Chernoe morya* (Regional Oceanography, part 1: Bering Sea, Sea of Okhotsk, Sea of Japan, Caspian Sea, and Black Sea), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960.
- Lobanov, V.B., Ponomarev, V.I., Salyuk, A.N., Tishchenko, P.Ya., and Talley, L.D.**, Structure and dynamics of synoptic eddies in the northern part of the Sea of Japan, in *Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 1: Okeanologicheskiye issledovaniya* (Far Eastern Seas of Russia, Book 1: Oceanological research), Moscow: Nauka, 2007, pp. 450–473.
- Makarov, S.O.**, “Vityaz” i Tikhii okean (“Vityaz” and the Pacific Ocean), St. Petersburg, 1894, vol. 1.
- Nikitin, A.A., Danchenkov, M.A., Lobanov, V.B., and Yurasov, G.I.**, Surface circulation and synoptic eddies in the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 157, pp. 158–167.
- Nikitin, A.A. and Dyakov, B.S.**, Structure of fronts and eddies in the western part of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 714–733.
- Nikitin, A.A., Djakov, B.S., and Kapshiter, A.V.**, The Primorskoe current on standard section-sand satellite images of the Japan Sea surface, *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2020, no. 1, pp. 31–43. doi 10.31857/s0205961420010078
- Nikitin, A.A. and Kharchenko, A.M.**, Typification and variability of thermal structure of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 22–40.
- Nikitin, A.A. and Yurasov, G.I.**, Surface thermal fronts in the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 148, pp. 170–193.
- Pokudov, V.V., Manko, A.R., and Khlusov, A.N.**, Features of the hydrological regime of the Sea of Japan in winter, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1976, vol. 60, pp. 74–115.
- Pokudov, V.V. and Tunegolovets, V.P.**, The heat balance of the Japan Sea at the beginning of spring warming, *Meteorol. Gidrol.*, 1975, no. 3, pp. 74–84.
- Sizova, Yu.V.**, Circulation of the Sea of Japan, in *Osnovnyye osobennosti geologii i gidrologii Yaponskogo moraya* (Main features of the geology and hydrology of the Sea of Japan), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1961, pp. 146–154.
- Trusenкова, O.O.**, Seasonal and interannual changes in water circulation in the Sea of Japan, in *Dal'nevostochnye morya Rossii. Kn. 1: Okeanologicheskiye issledovaniya* (Far Eastern Seas of Russia, Book 1: Oceanological research), Moscow: Nauka, 2007, pp. 280–306.

Shrenk, L.I., *O techeniyakh Okhotskogo, Yaponskogo i smezhnykh s nimi morey: po termometricheskim nablyudeniym, proizvedennym na russkikh voyennykh sudakh. Prilozheniye k 23-mu tomu Zapisok Imp. Akademii nauk. № 3* (About currents in the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan and adjacent seas according to thermometric observations made on Russian military vessels. Appendix to the 23th volume of Notes by Imp. Academy of Sciences, no. 3), St. Petersburg, 1874.

Yurasov, G.I., Seasonal variability of water temperature in the Sea of Japan, in *Issledovaniye okeanologicheskikh poley Tikhogo i Indiyского okeanov* (Study of oceanological fields of the Pacific and Indian Oceans), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1977, pp. 62–69.

Yurasov, G.I. and Yarichin, V.G., *Techeniya Yaponskogo morya* (Currents of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1991.

Yablokov, K.V. and Motorin, A.I., Features of bottom currents in the coastal zone of the north-western part of the Sea of Japan, in *Nauchnyye osnovy sozdaniya podvodnoy avtomaticheskoy dobychi poleznykh iskopayemykh so dna morey i okeanov* (Scientific basis for creating underwater automatic mining of minerals from the bottom of seas and oceans), Moscow, 1975, pp. 85–93.

Yarichin, V.G., Some features of the horizontal movement of water transport in the Sea of Japan north of 40° N, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1982, vol. 96, pp. 111–120.

Yarichin, V.G., State of knowledge of water circulation in the Sea of Japan, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1980, vol. 80, pp. 46–61.

Hidaka, K., Japan Sea, *The Encyclopedia of Oceanography*, New York: Reinhold Publ., 1966, pp. 626–631.

Holloway, G., Sou, T., and Eby, M., Dynamics of circulation of the Japan Sea, *J. Mar. Res.*, 1995, vol. 53, pp. 539–569.

Kim, C.H. and Yoon, J.-H., Modeling of the wind-driven circulation in the Japan Sea using a reduced gravity model, *J. Oceanogr.*, 1996, vol. 52, pp. 359–373.

Lee, D.K. and Nüiler, P.P., The energetic surface circulation patterns of the Japan/East Sea, *Deep-Sea Res., Part II*, 2005, vol. 52, pp. 1547–1563. doi 10.1016/j.dsr2.2003.08.008

Martin, S. and Kawase, M., The southern flux of sea ice in the Tatarski Strait, Japan Sea and the generation of the Liman Current, *J. Mar. Res.*, 1998, vol. 56, pp. 141–155.

Naganuma, K., Regions affected by the Tsushima Warm Current. Variations in ocean environments related to the variations in the fisheries resources, *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, 1992, vol. 56, no. 2, pp. 168–172 (in Japanese).

Ostrovskii, A. and Hiroe, Y., The Japan Sea circulation as seen in satellite infrared imagery in autumn 1993, in *Proc. CREAMS (Circulation Research in the East Asia Marginal Seas) Int. Symp.*, Fukuoka, 1994, pp. 75–88.

Park, K.-A., Kim, K., Cornillon, P.C., and Chung, J.Y., Relationship between satellite-observed cold water along the Primorye coast and sea ice in the East Sea (the Sea of Japan), *Geophys. Res. Lett.*, 2006, vol. 33(10), pp. 10602–10606. doi 10.1029/2005GL025611

Riser, S.C., Warner, M.J., and Yurasov, G.I., Circulation and mixing of water masses of Tatar strait and the northwestern boundary region of the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, 1999, vol. 55, pp. 133–156.

Trusenkova, O., Nikitin, A., and Lobanov, V., Circulation features in the Japan/East Sea related to statistically obtained wind patterns (in the warm season), *J. Mar. Sys.*, 2009, vol. 78(2), pp. 214–225. doi 10.1016/j.jmarsys.2009.02.019

Uda, M., Hydrographical studies based on simultaneous oceanographical survey made in Japan Sea and in its adjacent waters during May and June 1932, *Rec. Oceanogr. Works in Japan*, 1934, vol. 6, no. 1, pp. 19–107.

Uda, M., Results of simultaneous oceanographic surveys in the Japan Sea and adjacent waters in May and June 1932, *Records of oceanographic works in Japan*, 1936, no. 7, pp. 91–151.

Wada, V., Investigation on ocean current in the Japan Sea and East sea of China, *J. Geogr.*, 1915, vol. 27, pp. 1–32.

Yoon, J.-H. and Kim, Y.-J., Review on the seasonal variation of the surface circulation in the Japan/East Sea, *J. Mar. Sys.*, 2009, vol. 78, pp. 226–236.

Yoshikawa, Y., Awaji, T., and Akitomo, K., Formation and circulation processes of intermediate water in the Japan Sea, *J. Phys. Oceanogr.*, 1999, vol. 29, pp. 1701–1722.

Поступила в редакцию 13.09.2024 г.

После доработки 28.10.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 13.09.2024; approved after reviewing 28.10.2024;
accepted for publication 10.12.2024

Научная статья

УДК [628.394.17:546](265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-866-880

EDN: UCNNRB



**МИКРОБНАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ
ВОД ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Т.В. Бойченко¹, Н.К. Христофорова^{1, 2*}

¹ Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10;

² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7

Аннотация. Методом микробной индикации дана оценка качества прибрежных вод отдельных значимых акваторий зал. Петра Великого Японского моря. Показано, что в районах, загрязненных тяжелыми металлами, численность металл-резистентных форм бактерий в гетеротрофных микробных сообществах изменяется в соответствии с типом и степенью загрязнения среды. Повышенные значения численности металл-резистентных микроорганизмов, выявленные для ряда акваторий Амурского, Уссурийского заливов и зал. Находка, показали сохранение высокой степени антропогенной нагрузки, которая фиксировалась ранее, а также выявили значительное увеличение техногенного пресса в прибрежных водах Большого Камня. Установлено, что воды Дальневосточного морского заповедника по-прежнему подвержены наименьшему промышленному воздействию и являются фоновыми для исследованной акватории.

Ключевые слова: микробная индикация, колониеобразующие гетеротрофные микроорганизмы, металл-резистентные микроорганизмы, залив Петра Великого, Японское море

Для цитирования: Бойченко Т.В., Христофорова Н.К. Микробная индикация загрязнения поверхностных вод залива Петра Великого (Японское море) тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 866–880. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-866-880. EDN: UCNNRB.

Original article

**Microbial indication of pollution in the surface waters of Peter the Great Bay
(Japan Sea) by heavy metals**

Tatiana V. Boychenko*, Nadezhda K. Khristoforova**

* Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Vladivostok, 690922, Russia

** Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Vladivostok, 690922, Russia; Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 7, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russia

* Ph.D., assistant professor, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479

** D.Biol, professor, ORCID 0000-0002-9559-8660

* Бойченко Татьяна Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, boychenko.tv@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-1338-9479; Христофорова Надежда Константиновна, доктор биологических наук, профессор, ORCID 0000-0002-9559-8660.

Abstract. Water quality is assessed in some coastal areas of Peter the Great Bay, Japan Sea, by means of microbial indication. In the areas polluted with heavy metals, the number of metal-resistant forms of bacteria in heterotrophic microbial communities varies in accordance with the type and degree of environmental pollution. The heightened numbers of metal-resistant microorganisms in the Amur, Ussuri, and Nakhodka Bays indicate a high degree of anthropogenic load. The heavy industrial pressure is recorded there more than 20 years in such sites as Cape Lagerny and Cape Firsov (at the mouths of Pervaya Rechka and Vtoraya Rechka Rivers in the Amur Bay) and Lazurnaya Bay (in the Ussuri Bay) and extends recently in the coastal area at Bolshoy Kamen (Ussuri Bay), at Cape Tokarevsky (Amur Bay) and Cape Petrovsky (Nakhodka Bay). The waters in the Far Eastern Marine Reserve in the southwestern Peter the Great Bay are quite clean, with the least industrial impact caused mainly by transboundary transfer of pollutants.

Keywords: microbial indication, colony-forming heterotrophic microorganisms, metal-resistant microorganism, Peter the Great Bay, Japan Sea

For citation: Boychenko T.V., Khristoforova N.K. Microbial indication of pollution in the surface waters of Peter the Great Bay (Japan Sea) by heavy metals, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 866–880. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-866-880. EDN: UCNRRB.

Введение

Известно, что одними из наиболее характерных загрязняющих веществ прибрежных акваторий морей Дальневосточного бассейна в силу геохимических особенностей региона и антропогенного воздействия являются тяжелые металлы [Христофорова, 1989; Чернова и др., 2002; Христофорова, Кобзарь, 2012; Яценко, 2012].

В отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающихся процессам разложения, металлы как поллютанты способны лишь к перераспределению, проявляя тенденцию к накоплению в почвах, донных отложениях различных водных систем и в конечных звеньях трофических цепей [Будников, 1998]. Тяжелые металлы, достигая определенной концентрации в организме, начинают свое губительное воздействие — вызывают отравления и мутации [Безвербная, 2002].

Оценить последствия поступления токсикантов в среду, характер и направленность изменений, происходящих под их влиянием, возможно на основе изучения особенностей состояния как сообществ в целом, так и отдельных индикаторных организмов. Среди биологических методов контроля качества среды с начала 1990-х гг. широкое распространение получила биоиндикация с использованием индикаторных эколого-трофических групп микроорганизмов [Димитриева, 1999; Безвербная, 2002; Димитриева, Безвербная, 2002; Журавель и др., 2004; Бузолева и др., 2006, 2008; Бузолева, Кривошеева, 2013; Калитина и др., 2015; и др.].

Микробная индикация позволяет оценить степень и характер загрязнения морской среды многими контаминантами, а успешность ее обусловлена быстрым размножением и ростом численности определенных групп бактерий, т.е. оперативным откликом микроорганизмов на появление в среде соответствующего субстрата. Благодаря широкому набору ферментов микроорганизмы способны утилизировать практически все органические соединения, они отличаются быстрой адаптацией к изменяющимся условиям среды [Цыбань и др., 1990; Михайлов, 1995; Димитриева, 1999].

Металл-резистентные микроорганизмы являются частью гетеротрофов, позволяющей оценить уровень специализированного пресса на прибрежные воды [Димитриева, Безвербная, 2002; Безвербная и др., 2003].

Способность микроорганизмов выживать и размножаться в среде, содержащей металлы, зависит от генетической и/или физиологической адаптации. Все существующие механизмы защиты относятся к нескольким основным типам: активное выведение (выброс) металла из клетки, ограниченное поступление за счет изменения клеточной проницаемости, внутриклеточное связывание металла и его детоксикация, внеклеточное связывание, детоксикация путем перевода в менее токсичную форму, снижение металлчувствительности клеточных компонентов и др. [Gadd, 1990, 2000; Nies, 1999].

Залив Петра Великого, омывающий берега южного Приморья, вдается в побережье края рядом заливов второго порядка — Посыета (на юго-западе), Амурским и Уссурийским (на севере), Стрелок, Восток и Находка (на востоке). Каждый из них имеет свою специфику, отличаясь природными условиями, характером антропогенного воздействия, рекреационной нагрузкой, формируя в итоге общую картину экологического состояния прибрежной зоны и пресса человеческой деятельности на нее [Вашенко, 2000; Лукьянова др., 2012; Мощенко и др., 2019]. Нами обследовались заливы Посыета, Амурский, Уссурийский, Восток и Находка.

Оценка загрязнения вод зал. Петра Великого (ЗПВ), как и других акваторий Мирового океана, тяжелыми металлами (ТМ) уже более 40 лет производится с использованием организмов-индикаторов — бурых водорослей-макрофитов либо двухстворчатых моллюсков (мидий и устриц) по уровню содержания микроэлементов в их тканях [Христофорова, 1989]. Этот проверенный и устоявшийся метод контроля с применением аккумулирующих индикаторов имеет один существенный недостаток — он не оперативен, поскольку требует большой подготовительной работы. Так, в случае использования водорослей непосредственно до химического анализа образцов предварительно производится очистка их от обрастателей, отмывка водой с места сбора растений, сушка, гомогенизация, взятие навесок, кислотная минерализация [Христофорова, Маслова, 1983; Христофорова, Кобзарь, 2012, 2017; Кобзарь, Христофорова, 2015]. Для моллюсков — это обязательная двухсуточная дефекация, препарирование, сушка, а также гомогенизация, минерализация и анализ растворов, как правило, на атомно-абсорбционном спектрофотометре [Goldberg, 1986; Христофорова, Кавун, 1988; Cossa, 1989; Христофорова, Чернова, 1991; Христофорова и др., 2018а; Шулькин, Кавун, 2018]. В обоих подходах требуется строгое соблюдение отсутствия контакта образцов с металлами. Микробная индикация — более оперативный, доступный и недорогостоящий метод, позволяющий получить результаты в течение нескольких дней.

Цель данной работы — оценить загрязнение прибрежных вод зал. Петра Великого как акватории, наиболее подверженной воздействию человека на юге Дальнего Востока России, используя микробную индикацию.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили результаты микробиологических наблюдений, выполненных в июле 2021 г. Отбор проб для анализа производили из подповерхностного слоя в стерильные пластиковые емкости, которые транспортировали для анализа в лабораторию согласно ГОСТ 31861-12. Пробы анализировали в день отбора, каждую — в трех повторностях с соблюдением сроков хранения проб по ГОСТ 31942-12 и ГОСТ 31861-12. На обследованных акваториях было выполнено 38 станций (рис. 1).

Численность колониеобразующих форм гетеротрофных микроорганизмов (КГМ) в 1 мл воды определяли с использованием метода десятикратных разведений и последующего высева аликвоты в трех повторностях на питательную среду для морских микроорганизмов (СММ) с добавлением 1,5 % агара [Youchimizu, Kimura, 1976; Наливайко, 2006]. Подсчитывали число выросших колоний. Количество металл-резистентных форм в сообществе гетеротрофных культивируемых микроорганизмов (МО) определяли также методом десятикратных разведений, используя селективные среды, приготовленные на основе СММ с добавками солей металлов в концентрациях, ингибирующих рост чувствительных форм бактерий [Руководство..., 1980]. В качестве добавок применяли хлориды металлов — Zn, Cu, Cd, Ni, Pb [Димитриева, 1999; Безвербная, 2002]. Результаты определения общей численности гетеротрофных микроорганизмов и металл-резистентных бактерий представлены на рис. 2 и 3.

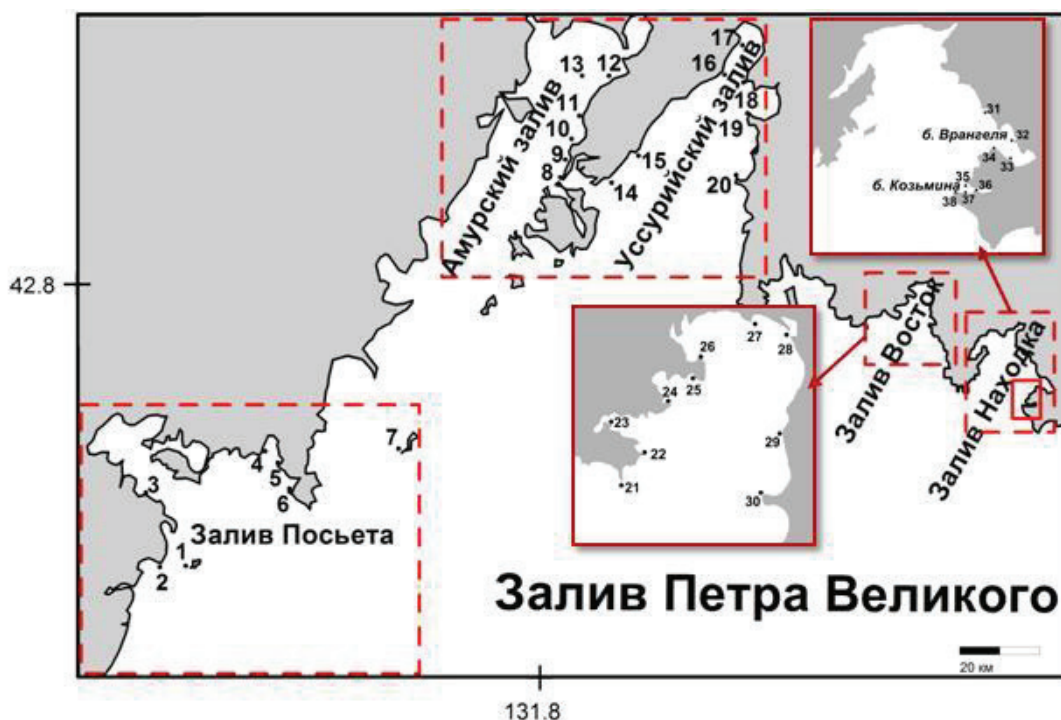


Рис. 1. Карта-схема районов работ и расположения станций отбора проб: 1 — о. Фуругельма, бухта Западная; 2 — бухта Сивучья; 3 — мыс Мраморный; 4 — бухта Троицы, порт Зарубино; 5 — бухта Идол; 6 — бухта Витязь, западная сторона; 7 — о. Большой Пелис, бухта Западная; 8 — мыс Токаревского; 9 — мыс Купера, бухта Федорова; 10 — мыс Боброва; 11 — мыс Лагерный (Первая речка); 12 — мыс Фирсова (Вторая речка); 13 — о. Скребцова; 14 — мыс Басаргина; 15 — мыс Лазурный, бухта Лазурная; 16 — мыс Вилкова; 17 — мыс Геллера; 18 — мыс Теляковского; 19 — мыс Красный (южный мыс бухты Суходол); 20 — мыс Палец (южный мыс бухты Большого Камня); 21 — мыс Пешурова; 22 — мыс Чайковского (вход в бухту Гайдамак); 23 — бухта Гайдамак; 24 — мыс Пушина, бухта Средняя; 25 — мыс Пашинникова, бухта Средняя; 26 — биостанция «Восток»; 27 — Волчанецкая протока; 28 — устье р. Литовка; 29 — мыс Елизарова; 30 — мыс Подосенова; 31 — мыс Красный, зал. Находка; 32 — бухта Врангеля, рифы перед угольным пирсом; 33 — бухта Врангеля, строящийся пирс; 34 — мыс Петровского, бухта Врангеля; 35 — скалы напротив терминала, бухта Козьмина; 36 — Бакланы камни, бухта Козьмина; 37 — канал в озеро Второе, бухта Козьмина; 38 — навигационный знак, бухта Козьмина

Fig. 1. Scheme of the study area and location of samplings: 1 — Furugelm Island, Zapadnaya Bay; 2 — Sivuchya Bay; 3 — Cape Mramorny; 4 — Troitsa Bay, port Zarubino; 5 — Idol Bay; 6 — Vityaz Bay, western side; 7 — Bolshoy Pelis Island, Zapadnaya Bay; 8 — Cape Tokarevsky; 9 — Fyodorov Bay, Cape Kuper; 10 — Cape Bobrov; 11 — Cape Lagerny at the Pervaya Rechka River mouth; 12 — Cape Firsov at the Vroraya Rechka River mouth; 13 — Skrebtsov Isle; 14 — Cape Basargin; 15 — Lazurnaya Bay, Cape Lazurny; 16 — Cape Vilkov; 17 — Cape Geller; 18 — Cape Telyakovsky; 19 — southern Sukhodol Bay, Cape Krasny; 20 — southern Bolshoy Kamen Bay, Cape Palets; 21 — Cape Peshchurov; 22 — Gaydamak Bay, Cape Tchaikovsky; 23 — Gaydamak Bay; 24 — Srednyaya Bay, Cape Pushchin; 25 — Srednyaya Bay, Cape Pashinnikov; 26 — Vostok Biological Station; 27 — Volchanets River mouth; 28 — Litovka River mouth; 29 — Cape Elizarov; 30 — Cape Podosyonov; 31 — Nakhodka Bay, Cape Krasny; 32 — Wrangel Bay, reefs in front of the coal pier; 33 — Wrangel Bay, the pier under construction; 34 — Wrangel Bay, Cape Petrovsky; 35 — Kozmin Bay, rocks opposite the oil terminal; 36 — Kozmin Bay, Baklani Rocks; 37 — Kozmin Bay, the channel to Vtoroye Lake; 38 — Kozmin Bay, navigation mark

Результаты и их обсуждение

Для юго-запада ЗПВ, где расположена основная часть Дальневосточного государственного биосферного морского заповедника (ДВГБМЗ), характерны низкие по-

казатели общей численности гетеротрофных микроорганизмов, т.е. воды этой части акватории залива содержат небольшое количество легкоокисляемого органического вещества (рис. 2).

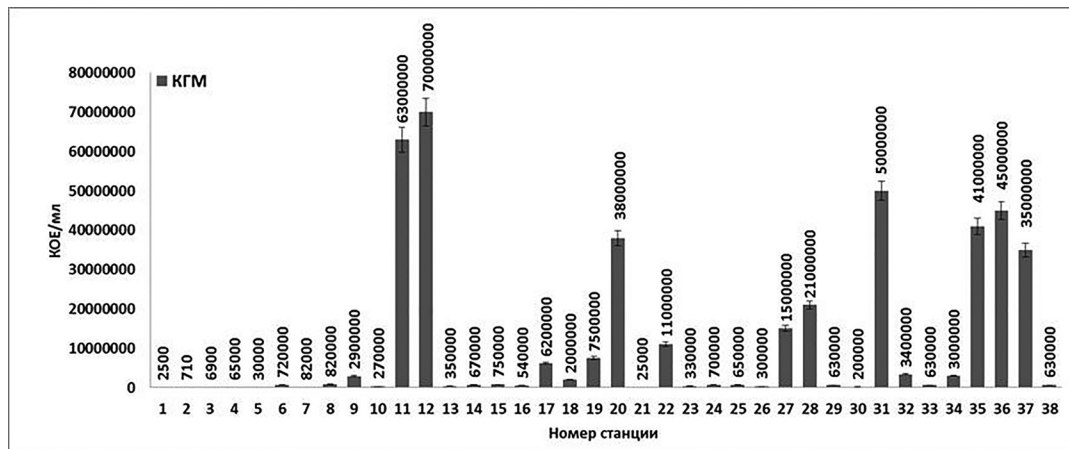


Рис. 2. Распределение численности КГМ в поверхностных водах зал. Петра Великого
Fig. 2. Number of heterotrophic microorganisms in the surface waters of Peter the Great Bay

Согласно шкале сапробности, воды с количеством гетеротрофов до 10^3 кл./мл относятся к олигосапробным, до 10^5 — к мезосапробным, 10^6 кл./мл и выше — к полисапробным водам [Общая и санитарная микробиология..., 2004]. Таким образом, олигосапробным водам в юго-западной части ЗПВ принадлежат только воды бухты Сивучьей, которая характеризуется наименьшей освоенностью побережья, сохранностью береговых ландшафтов и минимальным антропогенным прессом. Воды остальной акватории являются мезосапробными, что обусловлено деятельностью двух небольших портов — Посъет и Зарубино, насыщенной антропогенной нагрузкой пос. Андреевка, двух круглогодично действующих полевых стационаров академических институтов ДВО РАН — ТИБОХ (бухта Троицы) и ТОИ (бухта Витязь).

Воды станций, расположенных на побережье залива, вдоль городской черты, являются мезосапробно-полисапробными. При этом наибольшей численностью гетеротрофов отличаются акватории двух бухт — Первой и Второй речки: у мысов Лагерный и Фирсова численность МО достигает 10^7 КОЕ/мл. Акватории бухт подвержены наибольшему прессу города. Воды этих небольших речек выносят в море неканализованные стоки. Несмотря на наличие Центральных городских очистных сооружений, расположенных в верховье Второй речки, вследствие их недогрузки и неполной канализованности всех стоков [Христофорова, Лосева, 2014], в том числе ливневых, происходит вынос вод, загрязненных хозяйственно-бытовыми стоками, о чем свидетельствует численность гетеротрофов.

Из вышесказанного следует, что воды вдоль западного побережья Уссурийского залива, на котором расположен восточный микрорайон г. Владивосток (район бухты Тихой), преимущественно мезосапробные, что обусловлено меньшей антропогенной нагрузкой на эту часть берега. Только в самой кутовой части залива они приобретают характер полисапробности, достигая численности КГМ 10^7 КОЕ/мл. Таким же количеством гетеротрофов характеризуются воды довольно закрытой бухты Большого Камня, на берегу которой расположен промышленно развитый одноименный город.

От мыса Пешурова до мыса Подосенова располагаются станции, относящиеся к зал. Восток. Численность КГМ в водах залива находится в пределах 10^4 – 10^7 КОЕ/мл. Прибрежные воды испытывают преимущественно рекреационное воздействие, особенно его северное и восточное побережья [Тюрин, 1996; Христофорова и др., 2020; Галышева и др., 2022]. На шести станциях из десяти численность КГМ составляла

10^5 КОЕ/мл, у мыса Пещурова она была наименьшей — 10^4 КОЕ/мл. Волчанецкая протока и приустьевая зона р. Литовка (станции 27 и 28), имеющие самую высокую численность гетеротрофов в их водах, испытывают мощный пресс отдыхающих, располагающихся в многочисленных кемпингах и базах отдыха, а также влияние сельскохозяйственной деятельности в долине реки [Христофорова и др., 2002, 2005, 2020, 2023; Галышева, Христофорова, 2007; Галышева, 2010]. Лишь у мыса Чайковского, входного мыса в бухту Гайдамак, высокая численность КГМ связана не столько с количеством рекреантов, сколько с производственной деятельностью береговых поселков Ливадия и Южно-Морской, их судоремонтными и рыбоперерабатывающими предприятиями.

В зал. Находка нас интересовали две самые восточные бухты — небольшая бухта Козьмина и довольно крупная — Врангеля. В бухте Козьмина в конце 2008 г. построен порт Козьмино, являющийся ключевым звеном в экспорте сибирской нефти — конечным пунктом нефтепровода Восточная Сибирь — Тихий океан. Нефтеналивной терминал расположен на южном берегу, практически на выходе из бухты. В бухте Врангеля находится Восточный порт, построенный в конце 1970-х гг., осуществляющий экспорт угля в страны-импортеры и занимающий третье место по грузообороту среди портов России. Бухта имеет полузакрытую акваторию и хорошо защищена от высоких волн. АО «Восточный Порт» находится в основном в вершине бухты и тянется вдоль южного берега до мыса Петровского. Обе бухты незамерзающие и используются круглогодично.

Из восьми станций, обследованных нами в восточной части зал. Находка, на четырех численность гетеротрофов в прибрежных водах составляла 10^7 КОЕ/мл, причем три из них находятся в бухте Козьмина, что свидетельствует о большой нагрузке на акваторию этой небольшой бухты хозяйственно-бытовых и поверхностных стоков, а также льяльных вод, приходящих под погрузку танкеров.

Металл-резистентные МО являются частью гетеротрофов, позволяющей оценить уровень специализированного пресса на прибрежные воды ЗПВ. Для оценки полиметаллического загрязнения поверхностных вод нами были выбраны такие тяжелые металлы, как Cd, Pb и Ni, свидетельствующие преимущественно о техногенном воздействии на среду, и Cu, Zn, отражающие антропогенный пресс.

Из исследованных элементов кадмий и никель в наибольшей степени связаны со сжиганием в качестве топлива углеводородов, в состав которых они входят [Христофорова и др., 2018a]. Кадмий поступает в окружающую среду в основном при сжигании дизельного топлива, а также за счет автотранспорта с гальваническими стоками и с выбросами в атмосферу при обжиге сульфидов, входящих в состав полиметаллических руд, и выплавке металлов как сопутствующий элемент [Кадмий..., 1994*; Христофорова и др., 2020]. Для нашего наблюдения более актуальным является поступление Cd в среду при сжигании углеводородного топлива, а также поверхностного смыва с близко расположенных автодорог. Именно эти причины привели к наибольшей численности кадмий-резистентных микроорганизмов в водах у мыса Петровского — входного мыса в бухту Врангеля (10^5 КОЕ/мл) и мыса Токаревского (10^4 КОЕ/мл). На половине станций наблюдения численность кадмий-резистентных МО составляла 10^3 КОЕ/мл (рис. 3), в их числе — станции 19 и 20 (мысы Красный и Палец), где основным источником данного поллютанта могут быть гальванические стоки крупного судоремонтного предприятия «Звезда». Возможно также поступление этого металла в морскую среду за счет поверхностного смыва с автодорог компактного города, расположенного вдоль бухты [Клинская, Христофорова, 2011]. Численность Cd-резистентных гетеротрофов, равная 10^1 КОЕ/мл, наблюдалась на пяти станциях, на одной отмечено нулевое значение (ст. 32 — рифы перед строящимся угольным пирсом, за пределами активной портовой деятельности). Очевидно, основным источником кадмиевого загрязнения среды является сжигание углеводородного топлива.

* Кадмий: экологические аспекты. М.: Медицина, 1994. 160 с.

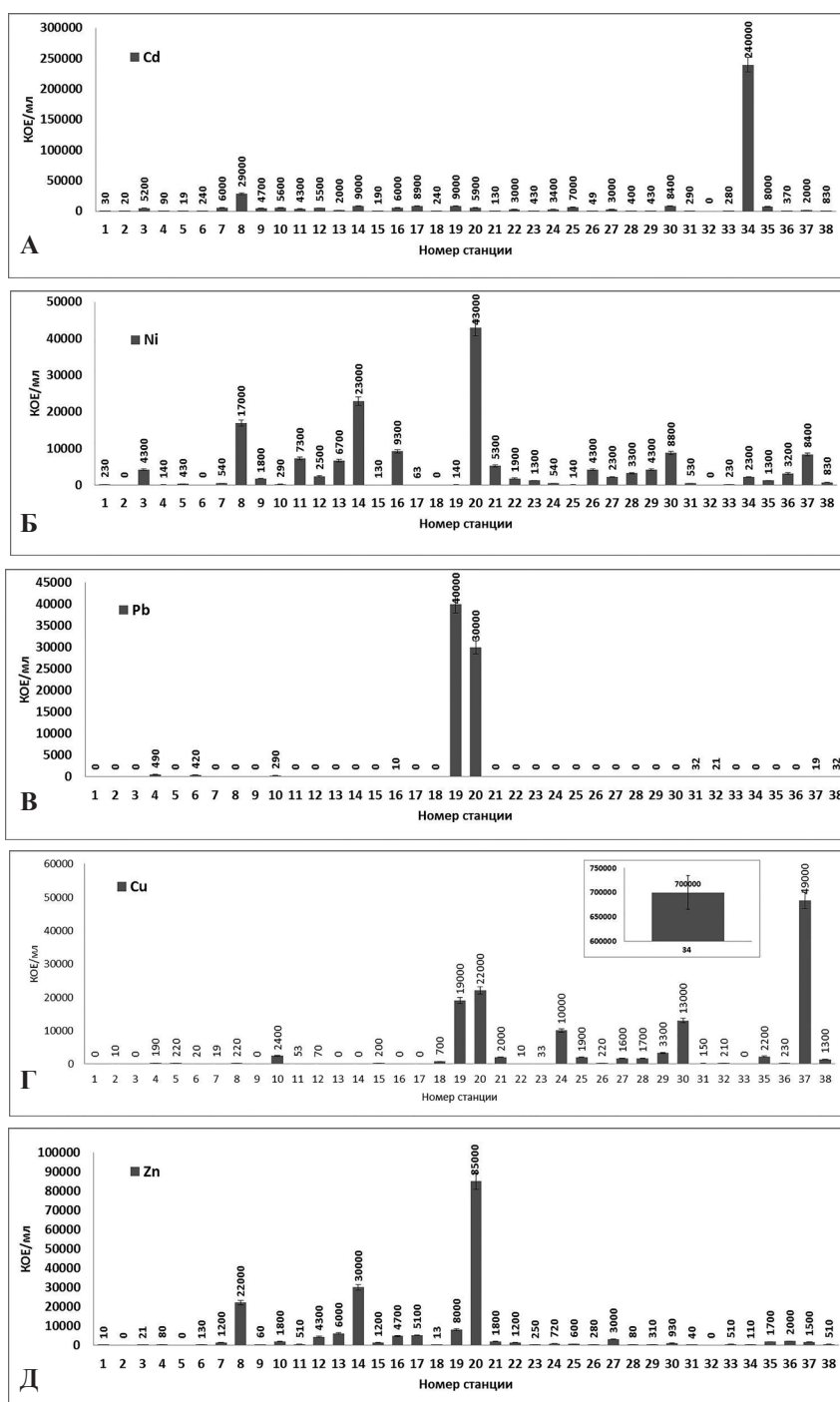


Рис. 3. Численность металл-резистентных МО в поверхностных водах ЗПВ: А — Cd-резистентные, Б — Ni-резистентные; В — Pb-резистентные; Г — Cu-резистентные; Д — Zn-резистентные микроорганизмы

Fig. 3. Number of metal-resistant microorganisms in the surface waters of Peter the Great Bay: А — Cd-resistant, Б — Ni-resistant; В — Pb-resistant; Г — Cu-resistant; Д — Zn-resistant microorganisms

Никель, как и ванадий, а также другие металлы (правда, в меньших количествах, чем первые два), сопровождает все нефтепродукты, попав в нефть из живых организмов

в далеком геологическом прошлом [Ященко, 2012; <http://neftegaz.ru/analysis/view/8121-Tyazhelye-metally-v-nefti.-Kak-s-nimi-borotsya-i-gde-primenyat>]. Поэтому сжигание флотского мазута или топлива моторных лодок и катеров вызывает его появление в водной среде и рост численности МО, устойчивых к этому металлу. Наиболее высокие показатели Ni-резистентных микроорганизмов обнаружены у трех мысов: Токаревского (уже упомянутого в связи с загрязнением кадмием), Басаргина (входного мыса в прол. Босфор Восточный, являющийся внутренней акваторией порта Владивосток) и Палец (южный мыс бухты Большого Камня) (рис. 3). Но если никелевый «след» в прибрежных водах первых двух мысов, несомненно, связан с прохождением мимо них большого числа крупнотоннажных судов и маломерного флота, то у третьего появление никеля и Ni-резистентных МО, по-видимому, вызвано гальваническими стоками судоремонтного предприятия, расположенного на берегу.

Свинец долгие годы входил в «черную тройку» наиболее опасных токсичных металлов, наряду с Hg, Cd [Христофорова, 1989]. После запрета использования тетраэтилсвинца как антидетонаторной добавки к топливу и связанного с этим резкого снижения поступления данного элемента в окружающую среду с выхлопом автотранспорта, а также прекращения изготовления наборного типографского шрифта востребованность Pb заметно снизилась, но в ряде отраслей производства она сохраняется, и во многих из них этот металл не имеет альтернативы (задержка различных опасных излучений, кислотоупорные футеровки, инсектициды, пули для стрелкового оружия, взрывчатые вещества, свинцовые белила и др.) [Христофорова и др., 2018a].

Свинец-резистентные микроорганизмы не обнаружены на 28 станциях (рис. 3). На этом «нулевом» фоне резко выделяются численностью Pb-резистентных МО, достигающей 10^4 КОЕ/мл, две станции: южные мысы бухты Суходол и бухты Большого Камня. Несомненно, это связано со спецификой завода, находящегося на берегу бухты Большого Камня, и, скорее всего, обусловлено использованием данного металла для задержки опасных излучений.

Из числа изучаемых нами элементов цинк и медь, если их присутствие не обусловлено гальваническими стоками или выплавкой металлов, являются трассерами коммунально-бытовых стоков [Христофорова и др., 2020]. На восьми из 38 станций медь-резистентных МО не зафиксировано, причем не только в двух местах, относящихся к заповедным территориям, но и в прибрежных водах г. Владивосток — у мысов Геллера (в вершине Уссурийского залива), Вилкова и даже Басаргина и Купера. Однако они обнаружены в бухте Сивучьей и особенно заметны в бухтах Суходол и Большого Камня (10^4 КОЕ/мл) (рис. 3). Но если в бухте Сивучьей появление Cu-резистентных микроорганизмов вызвано, очевидно, трансграничным переносом загрязнения от соседних стран — КНР и КНДР, что было выявлено еще в 1990-е гг. [Вышкварцев, Лебедев, 1997; Мощенко и др., 2000; Шулькин, 2000; Чернова и др. 2002] и подтверждалось в последние годы [Христофорова, Кобзарь, 2017; Христофорова и др., 2018б], то в прибрежных водах г. Большой Камень такое количество устойчивых к меди микроорганизмов обусловлено, по-видимому, гальваническим стоком. Что касается отсутствия медь-резистентных МО на станциях с явно заметным антропогенным прессом, то известно, что при большом наборе ТМ микроорганизмы адаптируются и вырабатывают механизмы устойчивости к тем элементам, которые присутствуют в наибольшем количестве [Безвербная, 2002]. У мыса Басаргина, например, такими элементами являются никель и цинк.

В отличие от Cu-резистентных микроорганизмов, Zn-резистентные обнаруживаются чаще и в больших количествах, что соответствует большому кларку цинка, широкому распространению его в биосфере и высоким концентрациям в природных водах [Севрюков и др., 1976]. Но главное — это повсеместное использование цинка в быту и, как следствие, значительное содержание данного элемента в бытовых сточных водах. Выпуск изделий из пластмассы изменил ситуацию. Однако оцинкованные предметы и утварь продолжают использоваться как более прочные и более долговечные

преимущественно в сельском хозяйстве. Еще в начале 1980-х гг., сравнивая загрязнение тяжелыми металлами прибрежных вод Атлантики и Западной Пацифики по минеральному составу фукусовых водорослей, мы отметили существенные различия в концентрациях Zn (как свидетеля влияния человека на морскую среду) в макрофитах побережий Европы и малоосвоенных человеком прибрежий дальневосточных морей [Христофорова, Маслова, 1983]. Разница в фоновых уровнях содержания цинка составляла 2,5 раза (соответственно 50 и 18–20 мкг/г сух. массы).

Нулевые значения численности Zn-резистентных МО отмечены в малопосещаемой бухте Идол в зал. Китовом и в заповедной бухте Сивучей на юго-западе ЗПВ. Наибольшее количество этих микроорганизмов (10^4 КОЕ/мл) зафиксировано у мысов Токаревского, Басаргина и Палец (рис. 3). Несомненно, что во всех трех случаях это обусловлено хозяйственно-бытовыми стоками. Мысы Токаревского и Басаргина — это конечные южные мысы п-ова Муравьева-Амурского, на котором расположен г. Владивосток. Мыс Палец испытывает влияние хозяйственно-бытовых стоков г. Большой Камень, но здесь, конечно, добавляется воздействие гальванических стоков судоремонтного предприятия.

Сравнение с данными обследования загрязнения зал. Петра Великого ТМ, выполненного в 1999 г. [Безвербная и др., 2003], показывает, что наши результаты в значительной степени близки к выявленному в конце 1990-х гг. состоянию залива. К совпадающим станциям относятся мысы Токаревского, Купера (бухта Федорова), Лагерный (Первая речка), Фирсова (Вторая речка), Лазурный (бухта Лазурная), район бухты Суходол, бухта Врангеля (риффы перед угольным пирсом) и скалы напротив современного терминала (бухта Козьмина).

Время внесло свои изменения как в характер, так и в объемы поступающих стоков в прибрежные воды. Так, получили развитие порты Владивосток, Восточный, в 2008 г. появился новый нефтеналивной порт в бухте Козьмина, т.е. возросло влияние на воды ЗПВ, обусловленное портовой деятельностью. Промышленные предприятия г. Владивосток, имевшие гальванические цеха и занимавшиеся металлообработкой, прекратили свое существование. Непосредственное развитие, сопровождающееся индустриальным прессом на среду, получил только г. Большой Камень. В то же время по сравнению с 1990-ми гг. уменьшилось влияние хозяйственно-бытовых стоков на прибрежную черту Владивостока в связи со строительством «Центральных», «Северных» и «Восточных» комплексных очистных сооружений. Несмотря на произошедшие перемены, сходство экологических ситуаций проявляется для таких станций, как мысы Токаревского, Лагерный, Фирсова, где наиболее велико влияние города и флота и где также заметно увеличился рекреационный пресс. В настоящее время вдоль береговой черты Владивостока выявляются Zn- и Ni-резистентные МО, свидетельствуя о мощном хозяйственно-бытовом и портовом воздействии, связанном с прохождением, стоянкой и заправкой судов как крупнотоннажного, так и маломерного флота. В предыдущих исследованиях 1999 г. авторы отмечали для Zn-резистентных МО фоновый уровень на всех городских станциях, обращенных к Амурскому заливу, для Ni-резистентных — незначительное превышение фона, за исключением мыса Токаревского, где наблюдалось ощутимое превышение ПДК для Ni. В настоящее время порт Владивосток приобрел новый статус, аналогичный порто-франко, что сопровождается увеличением загрязнения припортовых акваторий, обусловленного сжиганием углеводородного топлива, и обилием льяльных вод.

Бухта Лазурная в Уссурийском заливе с 1990-х гг. остается под действием преимущественно рекреационного пресса, что тождественно проявляется в уровне и характере воздействия на среду. Сохранились также места с повышенным индустриальным прессом. Свинец-резистентные МО в наибольших концентрациях были определены как в 1999 г., так и в 2021 г., в районе бухты Суходол, что связано с деятельностью завода «Звезда» и использованием этого металла для защиты от опасных излучений.

Данное исследование в бухтах Врангеля (риффы перед угольным пирсом) и Козьмина (скалы напротив современного терминала) выявило в настоящее время уменьшение количества свинец-резистентных МО, несомненно, обусловленное запрещением к использованию тетраэтилсвинцовой антидетонаторной добавки к топливу (закон РФ был принят в 2003 г.). Ранее наблюдалось повсеместное загрязнение окружающей среды свинцом (почвы, воды, воздуха), что и отмечалось нашими предшественниками [Безвербная и др., 2003], когда свинец-резистентные МО фиксировались в значительных количествах (превышая 1–3 ПДК) на большинстве станций. В нашей работе Cd-резистентные МО в наибольшем количестве зафиксированы у мыса Петровского, мимо которого идут все суда как в порт Восточный (бухта Врангеля), так и в бухту Козьмина, при сохранении общего фонового уровня в целом.

Заключение

Таким образом, используя микробную индикацию, мы установили, что воды Дальневосточного морского заповедника на самом юго-западе зал. Петра Великого являются наиболее чистыми с наименьшим промышленным воздействием, обусловленным в основном трансграничным переносом поллютантов. Большой пресс техногенного воздействия испытывают воды залива у мысов Токаревского, Басаргина, Палец. Первый из них выделяется высокой численностью Cd-, Ni-, Zn-резистентных микроорганизмов, второй — Ni- и Zn-резистентных, третий — Cu-, Ni-, Zn-резистентных.

Отмечена характерная специфика в сосредоточении поллютантов в разных частях зал. Петра Великого. Так, станции с преобладанием Cu-резистентных микроорганизмов, с всплеском численности этих МО у мыса Петровского, сосредоточены преимущественно в восточной части залива, Zn-резистентных — на западной, Ni-резистентных — рассредоточены более или менее равномерно по всему заливу. Считаем, что преобладание цинка в сточных водах западной части ЗПВ отражает влияние большой плотности населения на этом побережье (города Владивосток, Артем, Большой Камень) и собственно бытового стока и поверхностного смыва, преобладание же меди в прибрежных водах восточной части ЗПВ обусловлено более «техническим» характером сточных вод, формируемых льяльными водами судов и портовой деятельностью.

Сравнение наших результатов с данными 1990-х гг., полученными для акваторий Амурского и Уссурийского заливов, а также зал. Находка по численности металл-резистентных МО, показало не только сохранение высокого антропогенного пресса, наблюдавшегося более 20 лет назад (для таких районов, как мысы Лагерный (Первая речка) и Фирсова (Вторая речка), а также бухта Лазурная), но и увеличение техногенного пресса, наиболее ярко проявившегося в прибрежных водах г. Большой Камень, мысов Токаревского и Петровского.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The authors are grateful to the reviewers for their valuable comments, which were taken into account.

Финансирование работы (FUNDING)

Микробиологическая оценка морской среды проводилась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2023-0011.

Microbiological assessments for the study were supported by Ministry of Science and Higher Education of Russia, project No. FZNS-2023-0011.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

Безвербная И.П. Отклик микроорганизмов прибрежных акваторий Приморья на присутствие в среде тяжелых металлов : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2002. — 177 с.

Безвербная И.П., Димитриева Г.Ю., Тазаки К., Ватанабе Х. Опыт оценки качества прибрежных морских вод Приморья на основе микробной индикации // Водные ресурсы. — 2003. — Т. 30, № 2. — С. 222–231.

Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 5. — С. 23–29.

Бузолева Л.С., Безвербная И.П., Журавель Е.В., Калитина Е.Г. Микробиологический анализ загрязнения окраинных морей северо-западной части Тихого океана // Океанол. — 2006. — Т. 46, № 1. — С. 55–62.

Бузолева Л.С., Калитина Е.Г., Безвербная И.П., Кривошеева А.М. Микробные сообщества поверхностных прибрежных вод бухты Золотой Рог в условиях высокого антропогенного загрязнения // Океанол. — 2008. — Т. 48, № 6. — С. 882–888.

Бузолева Л.С., Кривошеева А.М. Влияние тяжелых металлов на размножение патогенных бактерий // Успехи соврем. естествознания. — 2013. — № 7. — С. 30–33.

Ващенко М.А. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биол. моря. — 2000. — Т. 26, № 3. — С. 149–159.

Вышкварцев Д.И., Лебедев Е.Б. Проект экономического развития реки Туманган (TREDA) — угроза экосистеме мелководных бухт залива Посёта Японского моря // Биол. моря. — 1997. — Т. 23, № 1. — С. 51–55.

Галышева Ю.А. Особенности распределения макробентоса в прибрежных морских экосистемах Приморья // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 286–296.

Галышева Ю.А., Бойченко Т.В., Чиченко В.А. Воздействие на залив Восток Японского моря: обзор истории и современных экологических проблем // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов : сб. мат-лов 9-й междунар. науч.-практ. конф. — М. : ИРОК, 2022. — С. 158–163.

Галышева Ю.А., Христофорова Н.К. Среда и макробентос залива Восток Японского моря в условиях рекреационного воздействия // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 270–309.

Димитриева Г.Ю. Планктонные и эпифитные микроорганизмы: индикация и стабилизация состояния прибрежных морских экосистем : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 1999. — 407 с.

Димитриева Г.Ю., Безвербная И.П. Микробная индикация — эффективный инструмент для мониторинга загрязнения прибрежных морских вод тяжелыми металлами // Океанология. — 2002. — Т. 42, № 3. — С. 408–415.

Журавель Е.В., Безвербная И.П., Бузолева Л.С. Микробная индикация загрязнения прибрежных вод Охотского моря и Авачинской бухты // Биол. моря. — 2004. — Т. 30, № 2. — С. 138–142.

Калитина Е.Г., Михайлик Т.А., Семкин П.Ю. и др. Особенности микробиологического состава вод реки Раздольной (южное Приморье) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 187–197. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-180-187-197.

Клинская Е.О., Христофорова Н.К. Биогеохимическая оценка состояния придорожных зон городов Дальнего Востока по содержанию тяжелых металлов в одуванчиках // Ученые записки КнАГТУ. — 2011. — Т. 1, № 5. — С. 89–92.

Кобзарь А.Д., Христофорова Н.К. Мониторинг загрязнения прибрежных вод Амурского залива (Японское море) тяжелыми металлами с использованием бурой водоросли *Sargassum miyabei* Yendo, 1907 // Биол. моря. — 2015. — Т. 41, № 5. — С. 361–365.

Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоков М.В. Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000–2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. — 2012. — № 2. — С. 55–63.

- Михайлов В.В.** Морские гетеротрофные микроорганизмы — продуценты физиологически активных веществ : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ДВО РАН, 1995. — 46 с.
- Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др.** Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 155–181. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181.
- Мощенко А.В., Ванин Н.С., Ламыкина А.Е.** Рельеф дна, донные отложения и гидрологические условия российской части приустьевой зоны реки Туманной // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — Т. 1. — С. 42–75.
- Наливайко Н.Г.** Микробиология воды : учеб. пособие. — Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2006. — 139 с.
- Общая и санитарная микробиология с техникой микробиологических исследований :** учеб. пособие для учащихся мед. и фармацевт. училищ и колледжей / под ред. А.С. Лабинской, Л.П. Блинковой, А.С. Ещиной. — М. : Медицина, 2004. — 576 с.
- Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений /** под ред. А.В. Цыбань. — Л. : Гидрометеиздат, 1980. — 193 с.
- Севрюков Н.Н., Кузьмин Б.А., Челищев Е.В.** Общая металлургия : учеб. для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Металлургия, 1976. — 568 с.
- Тюрин А.Н.** Морской заказник «Залив Восток» // Биол. моря. — 1996. — Т. 22, № 1. — С. 58–63.
- Христофорова Н.К.** Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами : моногр. — Л. : Наука, 1989. — 192 с.
- Христофорова Н.К., Бойченко Т.В., Кобзарь А.Д.** Гидрохимическая и микробиологическая оценка современного состояния прибрежных вод залива Восток // Вестн. ДВО РАН. — 2020. — № 2(210). — С. 64–72. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.008.
- Христофорова Н.К., Галышева Ю.А., Коженкова С.И.** Оценка антропогенного воздействия на залив Восток (Японского моря) по флористическим показателям макробентоса // Докл. РАН. — 2005. — Т. 405, № 6. — С. 819–821.
- Христофорова Н.К., Емельянов А.А., Ефимов А.В.** Биоиндикация загрязнения прибрежно-морских вод о. Русского (залив Петра Великого, Японское море) тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2018а. — Т. 192. — С. 157–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-157-166.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д., Бойченко Т.В., Попова А.В.** Биоиндикация состояния вод залива Посыета (залив Петра Великого, Японское море) // Биота и среда заповедных территорий. — 2018б. — № 1. — С. 92–99.
- Христофорова Н.К., Журавель Е.В., Миронова Ю.А.** Рекреационное воздействие на залив Восток (Японское море) // Биол. моря. — 2002. — Т. 22, № 4. — С. 300–303.
- Христофорова Н.К., Кавун В.Я.** Мониторинг состояния вод дальневосточных морей по мидиям-обрастателям навигационных буев // ДАН СССР. — 1988. — Т. 300, № 5. — С. 1274–1276.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д.** Бурые водоросли-макрофиты как индикаторы загрязнения вод бухты Рудной тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 168. — С. 220–231.
- Христофорова Н.К., Кобзарь А.Д.** Оценка экологического состояния залива Посыета (Японское море) по содержанию тяжелых металлов в бурых водорослях-макрофитах // Самарский научный вестник. — 2017. — Т. 6, № 2(19). — С. 91–95.
- Христофорова Н.К., Лазарюк А.Ю., Журавель Е.В. и др.** Залив Восток: межсезонные изменения гидролого-гидрохимических и микробиологических показателей // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 4. — С. 906–924. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924. EDN: MLAGTH.
- Христофорова Н.К., Лосева Я.П.** От худшего до удовлетворительного. Сравнительная оценка уровней очистки сточных вод действующих КОС г. Владивостока // Вода Magazine. — 2014. — № 10(86). — С. 32–37.
- Христофорова Н.К., Маслова Л.М.** Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами прибрежных районов вод Атлантики и Западной Пацифики по минеральному составу фукусовых водорослей // Биол. моря. — 1983. — Т. 9, № 1. — С. 3–10.
- Христофорова Н.К., Чернова Е.Н.** Оценка экологической ситуации в вершине Амурского залива Японского моря по микроэлементному составу гигантской устрицы // Биол. моря. — 1991. — Т. 17, № 5. — С. 75–82.
- Цыбань А.В., Панов Т.В., Баринова С.П.** Индикаторная микрофлора в Балтийском море // Исследование экосистемы Балтийского моря. — Л. : Гидрометеиздат, 1990. — Вып. 3. — С. 69–83.

Чернова Е.Н., Христофорова Н.К., Вышкварцев Д.И. Тяжелые металлы в морских травах и водорослях залива Посыета Японского моря // Биол. моря. — 2002. — Т. 28, № 6. — С. 425–430.

Шулькин В.М. Оценка загрязнения металлами вод реки Туманной и прилегающих морских вод // Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — Т. 1. — С. 76–85.

Шулькин В.М., Кавун В.Я. Концентрация металлов в тканях мидии *Septifer bilocularis* (Linnaeus, 1758) (*Bivalvia*) как возможный индикатор качества вод коралловых рифов у побережья Вьетнама // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 58–65.

Яценко И.Г. Тяжелые ванадиевые нефти России // Изв. ТПУ. — 2012. — Т. 321, № 1. — С. 105–111.

Cossa D.A. A review of the use of *Mytilus* spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters // Oceanol. Acta. — 1989. — Vol. 12(4). — P. 417–432.

Gadd G.M. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization // Curr. Opin. Biotechnol. — 2000. — Vol. 11(3). — P. 271–279. DOI: 10.1016/S0958-1669(00)00095-1.

Gadd G.M. Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms // Cellular and Molecular Life Sciences. — 1990. — Vol. 46. — P. 834–840. DOI: 10.1007/BF01935534.

Goldberg E.D. The mussel watch concept // Environ. Monit. Assess. — 1986. — Vol. 7. — P. 91–103.

Nies D.H. Microbial heavy-metal resistance // Appl. Microbial. Biotechnol. — 1999. — Vol. 51(6). — P. 730–750. DOI: 10.1007/s002530051457.

Youchimizu M., Kimura T. Study on the intestinal microflora on the Salmonids // Fish. Pathol. — 1976. — Vol. 10, № 2. — P. 243–259. DOI: 10.3147/jsfp.10.243.

References

Bezverbnaya, I.P., The response of microorganisms in the coastal waters of Primorye to the presence in the environment of heavy metals, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 2002.

Bezverbnaya, I.P., Dimitrieva, G.Yu., Tazaki, K., and Vatanabe, H., Evaluation of sea water quality in the coastal zone of Primor'e using the method of microbial indication, *Water Resources*, 2003, vol. 30, no. 2, pp. 199–208. doi 10.1023/A:1022922206147.

Budnikov, G.K., Heavy metals in environmental monitoring of marine systems, *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal*, 1998, no. 5, pp. 23–29.

Buzoleva, L.S., Bezverbnaya, I.P., Zhuravel', E.V., and Kalitina, E.G., Microbiological analysis of the contamination of marginal seas in the northwestern part of the Pacific Ocean, *Oceanology*, 2006, vol. 46, no. 1, pp. 50–56. doi 10.1134/S0001437006010061.

Buzoleva, L.S., Kalitina, E.G., Bezverbnaya, I.P., and Krivosheeva, A.M., Microbial communities in the coastal surface waters of Zolotoi Rog Bay under the conditions of strong anthropogenic pollution, *Oceanology*, 2008, vol. 48, no. 6, pp. 819–825.

Buzoleva, L.S., and Krivosheeva, A.M., Effects of heavy metals on pathogens bacteria, *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2013, no. 7, pp. 30–33.

Vashchenko, M.A., Pollution in Peter the Great Bay, Sea of Japan, and its biological consequences, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2000, vol. 26, no. 3, pp. 155–166.

Vyshkvartsev, D.I. and Lebedev, E.B., The project of economic development of the Tumangan River — a danger for shallow water bay ecosystems of Posyeta Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1997, vol. 23, no. 1, pp. 101–107.

Galyшева, Yu.A., Features of macrobenthos distribution in coastal marine ecosystems at Primorye (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 163, pp. 286–296.

Galyшева, Yu.A., Boychenko, T.V., and Chichenko, V.A., Impacts on the Vostok Bay of the Sea of Japan: a review of history and contemporary environmental issues, in *Sb. mater. 9-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Aktual'nyye problemy nauki i obrazovaniya v usloviyakh sovremennykh vyzovov"* (Sat. mater. of the 9th international. scientific-practical. conf. "Current problems of science and education in the context of modern challenges"), Moscow: IROK, 2022, pp. 158–163.

Galyшева, Yu.A. and Khristoforova, N.K., Environments and macrobenthos in the Vostok Bay (Japan Sea) in conditions of anthropogenic impact, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 149, pp. 270–309.

Dimitrieva, G.Yu., Plankton and epiphytic microorganisms: indication and stabilization of the state of coastal marine ecosystems, *Dr. Biol. Sci. Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1999.

Dimitrieva, G.Yu. and Bezverbnaya, I.P., Microbial indication as an effective technique for monitoring the contamination of near-shore seawaters by heavy metals, *Oceanology*, 2002, vol. 42, no. 3, pp. 388–395.

Zhuravel, E.V., Bezverbnaya, I.P., and Buzoleva, L.S., Microbial indication of pollution of the coastal zone of the Sea of Okhotsk and Avacha Bay, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2004, vol. 30, no. 2, pp. 121–126. doi 10.1023/B:RUMB.0000025988.87193.c2

Kalitina, E.G., Mikhailik, T.A., Semkin, P.Yu., Barabanshchikov, Yu.A., and Zorin, S.A., Features of microbiological composition for water from the Razdolnaya River (southern Primorye), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 180, pp. 187–197. doi 10.26428/1606-9919-2015-180-187-197

Klinskaya, E.O. and Khristoforova, N.K., Ogeochemical estimation of the condition of the road reserve in the Far East of the Russian Federation by the heavy metal content in dandelions, *Uchenyye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 1, no. 5, pp. 89–92.

Kobzar, A.D. and Khristoforova N.K., Monitoring heavy-metal pollution of the coastal waters of Amursky Bay (Sea of Japan) using the brown alga *Sargassum miyabei* Yendo, 1907, *Russ. J. Mar. Biol.*, vol. 41, no. 5, pp. 384–388. doi 10.1134/S1063074015050065

Lukyanova, O.N., Cherkashin, S.A., and Simokon, M.V., The review of modern ecological state of Peter the Great Bay (2000–2010), *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2012, no. 2, pp. 55–63.

Mikhailov, V.V., Marine heterotrophic microorganisms — producers of physiological active substances, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 1995.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S. and Sevastianov, A.V., Modern contamination of bottom sediments and ecological state of macrozoobenthos in the coastal zone at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 155–181. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181

Moshchenko, A.V., Vanin N.S., and Lamykina, A.E., Bottom relief, sediments and hydrological condition of the mouth area of Tumannaya River, in *Ecological condition and biota of southwest part of the Peter the Great Bay and mouth of the Tumannaya River*, Vladivostok: Dal'nauka, 2000, vol. 1, pp. 42–75.

Nalyvayko, N.G., *Mikrobiologiya vody* (Microbiology of water), Tomsk: Izd-vo Tomskogo Politekh. Univ., 2006.

Obshchaya i sanitarnaya mikrobiologiya s metodami mikrobiologicheskikh issledovaniy (General and sanitary microbiology with methods of microbiological research), Labinskaya, A.S., Blinkova, L.P., and Yeshchina, A.S., eds., Moscow: Meditsina, 2004.

Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoy vody i donnykh otlozheniy (Guide to methods of biological analysis of sea water and bottom sediments), Tsyban, A.V., ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980.

Sevryukov, N.N., Kuz'min, B.A., and Chelishchev, Ye.V., *Obshchaya metallurgiya* (General metallurgy), Moscow: Metallurgiya, 1976, 3rd ed.

Tyurin, A.N., Marine reserve “Vostok Bay”, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1996, vol. 22, no. 1, pp. 58–63.

Khristoforova, N.K., *Bioindikatsiya i monitoring zagryazneniya morskikh vod tyazhelymi metal-lami* (Bioindication and monitoring of sea water pollution with heavy metals), Leningrad: Nauka, 1989.

Khristoforova, N.K., Boychenko, T.V., and Kobzar A.D., Hydrochemical and microbiological assessment of the current state of the Vostok Bay, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2(210), pp. 64–72. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.008

Khristoforova, N.K., Galysheva, Yu.A., and Kozhenkova, S.I., Assessment of human impact on Vostok Bay (Sea of Japan): Evidence from macrobenthic algae, *Dokl. Earth Sci.*, 2005, vol. 405A, no. 9, pp. 1423–1425.

Khristoforova, N.K., Emelyanov, A.A., and Efimov, A.V., Bioindication of heavy-metal pollution in the coastal marine waters off Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 7, pp. 572–579. doi 10.1134/S1063074018070040

Khristoforova, N.K., Kobzar, A.D., Boychenko, T.V., and Popova, A.V., Bioindication of the water quality of Posyet Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Biota i sreda zapovednykh territoriy*, 2018, no. 1, pp. 92–99.

Khristoforova, N.K., Zhuravel, E.V., and Mironova, Yu.A., Recreational effects in Vostok Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 4, pp. 274–277. doi 10.1023/A:1020233429568

Khristoforova, N.K. and Kavun, V.Y., Monitoring the state of the waters of far east seas using mussels growing on navigational buoys, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1988, vol. 300, no. 1–6, pp. 231–233.

Khristoforova, N.K., and Kobzar, A.D., Brown algae as indicators of water pollution by heavy metals in the Rudnaya Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 168, pp. 220–231.

Khristoforova, N.K. and Kobzar, A.D., Assessment of ecological state of the Posyet Bay (the Sea of Japan) by heavy metals content in brown algae, *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2017, vol. 6, no. 2, pp. 91–95.

Khristoforova, N.K., Lazaryuk, A.Yu., Zhuravel, E.V., Boychenko, T.V., and Emelyanov, A.A., Vostok Bay: interseasonal changes in hydrological, hydrochemical and microbiological properties, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 906–924. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-906-924. EDN: MLAGTH.

Khristoforova, N.K. and Loseva, Y.P., From worst to satisfactory. Comparative assessment of wastewater treatment levels of existing WWTPs in Vladivostok, *Voda Magazine*, 2014, no. 10(86), pp. 32–37.

Khristoforova, N.K. and Maslova, L.M., Estimation of heavy metal contamination of the Atlantic and western Pacific coastal by mineral composition of fucoid algae, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1983, vol. 9, no. 1, pp. 3–10.

Khristoforova, N.K. and Chernova, E.N., Assessment of the situation at the top of the Amur Bay of the Sea of Japan based on the mineral composition of the giant oyster, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1991, vol. 17, no. 5, pp. 75–82.

Tsyban, A.V., Panov, T.V., and Barinova, S.P., Indicator microflora in the Baltic Sea, in *Issledovaniye ekosistemy Baltiyskogo moray* (Study of the Baltic Sea ecosystem), Leningrad: Gidro-meteoizdat, 1990, vol. 3, pp. 69–83.

Chernova, E.N., Khristoforova, N.K., and Vyshkvartsev, D.I., Heavy Metals in seagrasses and algae of Posyet Bay, the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 6, pp. 425–430.

Shulkin, V.M., Assessment of metal pollution in the waters of the Tumannaya River and adjacent sea waters, in *Ekologicheskoye sostoyaniye i biota yugo-zapadnoy chasti zaliva Petra Velikogo i ust'ya reki Tumannoy* (Ecological state and biota of the southwestern part of Peter the Great Bay and the mouth of the Tumannaya River), Vladivostok: Dal'nauka, 2000, vol. 1, pp. 76–85.

Shulkin, V.M., and Kavun, V.Ya., The concentrations of trace metals in the soft tissues of the mytilid mollusk *Septifer bilocularis* (Linnaeus, 1758) as a possible indicator of water quality at coastal coral reefs of Vietnam, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 75–83. doi 10.1134/S1063074018010108

Yashchenko, I.G., Heavy vanadium-bearing oils of Russia, *Izv. Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 105–111.

Cossa, D.A., A review of the use of *Mytilus* spp. as quantitative indicators of cadmium and mercury contamination in coastal waters, *Oceanol. Acta*, 1989, vol. 12(4), pp. 417–432.

Gadd, G.M., Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization, *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2000, vol. 11(3), pp. 271–279. doi 10.1016/s0958-1669(00)00095-1

Gadd, G.M., Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 1990, vol. 46, pp. 834–840. doi 10.1007/BF01935534

Goldberg, E.D., The mussel watch concept, *Environ. Monit. Assess.*, 1986, vol. 7, pp. 91–103.

Nies, D.H., Microbial heavy-metal resistance, *Appl. Microbial. Biotechnol.*, 1999, vol. 51(6), pp. 730–750. doi 10.1007/s002530051457

Youchimizu, M. and Kimura, T., Study on the intestinal microflora on the Salmonids, *Fish. Pathol.*, 1976, vol. 10, no. 2, pp. 243–259. doi 10.3147/jsfp.10.243

Kadmiy: ekologicheskiye aspekty (Cadmium: environmental aspects), Moscow: Meditsina, 1994.

Bashkin, V.N., Galiulin, R.V., and Galiulina, R.D., *Heavy metals in oil. How to deal with them and where to use them?* <http://neftegaz.ru/analysis/view/8121-Tyazhelye-metally-v-nefti.-Kaks-nimi-borotsya-i-gde-primenyat>. Cited January 23, 2024.

Поступила в редакцию 18.10.2024 г.

После доработки 11.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 18.10.2024; approved after reviewing 11.11.2024;

accepted for publication 10.12.2024

Научная статья

УДК 574.587(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-881-904

EDN: VLREST



**МАКРОБЕНТОС СУБЛИТОРАЛИ БУХТ АСТАФЬЕВА
И СРЕДНЯЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ
(ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ МОРСКОЙ БИОСФЕРНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК)**

Ю.А. Галышева¹, Е.Г. Сомова², А.А. Сомов^{3,1*}

¹ Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Земля леопарда»,
690068, г. Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 127;

³ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Проведена оценка состава, обилия, структуры и распределения макробентоса в ландшафтно-экологических условиях бухт Астафьева и Средняя восточного участка Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника. Выполнено ландшафтное профилирование и выделены основные типы ландшафтов. Проанализированы гранулометрический состав грунтов и содержание в них органического вещества. Всего в составе макробентоса обеих бухт обнаружено 77 видов. В эпибентосе отмечено 28 видов (сходство между бухтами по индексу Жаккара составляет 93 %), в составе инфауны выявлено 53 вида (сходство 23 %). Общими для категорий «эпибентос» и «инфауна» являются 4 вида беспозвоночных. Видовое богатство инфауны бухты Средней более чем в два раза выше, чем бухты Астафьева. Выявлено, что в расположенных рядом бухтах происходят разные экологические процессы в системе «дно–макробентос», оказывающие влияние на биологическое разнообразие, обилие и структуру населения мягких грунтов. Несмотря на геоморфологическую схожесть, более обогащенная органическим веществом донная среда бухты Астафьева оказалась беднее по таксономическому составу и обилию инфауны, чем среда бухты Средней. Залповое поступление в бухту Астафьева большого количества терригенного материала в период дождей и тайфунов с эродированной поверхности плато и склонов п-ова Гамова, подтверждающееся научными публикациями, дестабилизирует характеристики среды в экосистеме бухты, делая их более агрессивными, и препятствует формированию устойчивого в биологическом отношении, более разнообразного и обильного донного населения. В соседней бухте Средней, побережье которой не подвержено интенсивным эрозийным процессам, донные отложения формируются под влиянием морских процессов, а состав и структура

* Галышева Юлия Александровна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X; Сомова Евгения Геннадьевна, старший научный сотрудник, somovaevg@gmail.com, ORCID 0009-0001-0933-0562; Сомов Алексей Александрович, кандидат биологических наук, и.о. заведующего лабораторией; старший преподаватель, alekseysomoff@gmail.com, ORCID 0000-0001-8459-0498.

макробентоса мягких грунтов отличаются большим биоразнообразием. Эпибентос же обеих акваторий характеризуется небольшими различиями видового богатства, высокой степенью схожести и представлен наиболее распространенными в зал. Петра Великого видами.

Ключевые слова: макробентос, эпибентос, инфауна, подводные ландшафты, донные отложения, биологическое разнообразие, экологическое благополучие, рекреационная экология, рекреационное воздействие, Дальневосточный морской биосферный заповедник

Для цитирования: Галышева Ю.А., Сомова Е.Г., Сомов А.А. Макробентос сублиторали бухт Астафьева и Средняя залива Петра Великого Японского моря (Дальневосточный морской биосферный государственный природный заповедник) // Изв. ТИРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 881–904. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-881-904. EDN: VLREST.

Original article

Macrobenthos of the sublittoral in the Astafiev and Srednyaya Bights of Peter the Great Bay, Japan Sea (Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve)

Yulia A. Galysheva*, Eugenia G. Somova, Aleksey A. Somov*****

* Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia

** FSBI Land of the Leopard, 127, 100th anniversary of Vladivostok Ave., Vladivostok, 690068, Russia

*** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia; Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia

* Ph.D., assistant professor, head of department, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X

** senior researcher, somovaevg@gmail.com, ORCID 0009-0001-0933-0562

*** Ph.D., acting head of laboratory; senior lecturer, alekseysomoff@gmail.com, ORCID 0000-0001-8459-0498

Abstract. Species composition, abundance, ecological structure and spatial distribution of macrobenthos are considered in landscape and ecological conditions of the Astafiev and Srednyaya Bights in the eastern part of the Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve. The main types of landscapes are identified on the data of landscape profiling. Granulometric composition of soils and organic matter content in the bottom sediments are analyzed. A total of 77 species are found in the macrobenthos of both bights. There are 28 species of epibenthos (similarity between bights by Jaccard index is 93 %) and 53 species of infauna (similarity 23 %), including 4 species common for both biotopes. Different ecological processes in the bottom-macrobenthos system occur in these nearby bights that affects biological diversity, abundance and structure of soft-soil benthos. Despite geomorphological similarity of the bights, the bottom environment in the Astafiev Bight is more enriched in organic matter, but taxonomic composition and abundance of infauna is poorer there. Bulk release of terrigenous matter from the eroded shore of Gamov Peninsula to this bight after rains destabilizes and jeopardizes its bottom environments and prevents formation of biologically stable, diverse and abundant benthos. In the neighbor Srednyaya Bight with a less erosive coastline, the bottom sediments are formed by marine processes mostly, so the macrobenthos on soft soils is distinguished there by great biodiversity. The epibenthos in both bights has no such differences and is represented by the most common species for Peter the Great Bay.

Keywords: macrobenthos, epibenthos, infauna, underwater landscape, bottom sediments, biological diversity, ecological well-being, recreational ecology, recreational impact, Far Eastern Marine Biosphere Reserve

For citation: Galysheva Yu.A., Somova E.G., Somov A.A. Macrobenthos of the sublittoral in the Astafiev and Srednyaya Bights of Peter the Great Bay, Japan Sea (Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 881–904. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-881-904. EDN: VLREST.

Введение

В настоящее время только один заповедник в России является морским — это Дальневосточный морской биосферный государственный природный заповедник (ДВМБГЗ).

Богатство биоты Дальневосточного морского заповедника насчитывает 5710 видов животных и растений из шести царств [Кепель, 2019]. Видовое разнообразие морских сообществ, населяющих заповедник, самое богатое среди всех морей России. Морская биота ДВМБГЗ включает в список более 1200 видов животных и растений, среди которых встречаются бореальные и субтропические виды. Основное богатство заповедника — морские беспозвоночные животные, в том числе 450 видов ракообразных, 114 видов двустворчатых [Лебедев, 2015a] и 151 вид брюхоногих моллюсков [Лебедев, 2015b], 30 видов иглокожих [Дальневосточный морской заповедник..., 2004]. В состав донных сообществ морского заповедника входят такие ценные виды, как дальневосточный трепанг *Apostichopus japonicus* Selenka, 1867, гигантский осьминог *Enteroctopus dofleini* (Wülker, 1910), гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857) и др.

Активные исследования морской флоры и фауны ДВМБГЗ начались с 1979 г. после установления режима постоянной охраны. В 1980–1987 гг. на акватории морского заповедника (южный и восточный районы) была проведена бентосная дночерпательная съемка, заложены станции для сезонного и многолетнего мониторинга [Озолиньш, 2004]. Исследованы трофические группировки макробентоса. Составлены первые списки видов двустворчатых и брюхоногих моллюсков, актиний, равноногих ракообразных, многочетинковых червей, амфипод и рыб [Гульбина, Кепель, 2020].

В период с 1990 по 2000 г. исследована и описана пространственная структура сообществ мягких грунтов в районе о. Фурунгельма [Озолиньш, Некрасова, 2003]. Лабораторией экологии бентоса Института биологии моря ДВО РАН в 2006–2013 гг. на акватории ДВМБГЗ проведены дночерпательные работы [Латыпов, 2013; Латыпов, 2013]. Уделялось внимание появлению новых редких, в том числе чужеродных, видов, фиксируемых на акватории заповедника [Баранов и др., 2013; Кепель, 2013; Ивин и др., 2014].

В 2013–2018 гг. проведено картографирование подводных ландшафтов и массовых видов гидробионтов с применением ГИС-технологий [Жариков, Лысенко, 2016; Жариков и др., 2017, 2018; Лысенко и др., 2018]. В.М. Шулькиным с соавторами [2024] оценены запас углерода в биоценозе *Zostera marina* и ее количественные параметры в бухте Средней восточного участка ДВМБГЗ.

Как особо охраняемая природная территория, заповедник наряду с традиционными задачами охраны и инвентаризации природных объектов занимается развитием экологического туризма. Для ДВМБГЗ эта задача формируется с учетом особенностей природно-территориального расположения заповедника и социально-экономического развития региона. Самой посещаемой территорией является п-ов Гамова, восточная часть побережья которого — охранный зона ДВМБГЗ. В августе на полуострове отдыхают до 30 тыс. туристов, а в целом за теплый рекреационный сезон до 0,5 млн человек [Сазыкин и др., 2021].

Законный и незаконный антропогенный пресс создал необходимость актуализировать данные о морской биоте начиная с наиболее популярной у туристов бухты Астафьева, на берегу которой вплотную к ее охранной зоне расположен кемпинг. Находящаяся рядом бухта Средняя полностью закрыта от посетителей и может быть использована в качестве фонового района для оценки влияния антропогенного пресса на бухту Астафьева.

Большая часть научных работ, касающихся макробентоса ДВМБГЗ, затрагивает южный участок заповедника. Публикаций, детально описывающих таксономический состав и пространственное распределение количественных характеристик макробентоса в бухтах Астафьева и Средняя, не выявлено. Опубликованные работы по этим бухтам описывают распределение лишь отдельных ценных видов макробентоса [Жариков, Лысенко, 2016; Жариков и др., 2018; Лысенко и др., 2018; Шулькин и др., 2024], а также выявление чужеродных видов планктона и бентоса [Ивин и др., 2014].

Цель настоящего исследования — охарактеризовать видовой состав, обилие и распределение макробентоса в ландшафтно-экологических условиях в бухтах Астафьева и Средняя Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника на современном этапе.

Материалы и методы

Исследования проведены в июле и октябре 2022 г. на акваториях восточного участка ДВМБГЗ в бухтах Астафьева и Средняя (рис. 1). Подводные работы выполнены легководолазным способом в зоне сублиторали, в диапазоне глубины 2–19 м. Погружения осуществлялись с моторного катера. На трансектах, перпендикулярных по отношению к берегу (шесть трансект в каждой бухте), а также на одной станции в центральной части котловин бухт осуществлено ландшафтное профилирование. Произведены подводная фото- и видеофиксация основных бентем (донных ландшафтов) и эпибентоса в их пределах. Длина каждой конкретной трансекты определялась конечным типом подводного ландшафта, встречаемым вдоль профиля, т.е. наиболее глубоководным ландшафтом в пределах пространства бухты. Для фиксации координат перехода одного ландшафта в другой водолаз выпускал сигнальный буй, координата расположения которого на поверхности воды фиксировалась с GPS подходящего в точку выброса катера. Присутствует ошибка измерения (в пределах небольшого сноса концевой фала). Видеозапись сделана с помощью камеры GoPro, фотофиксация — путем выделения стоп-кадров. Для проведения количественной оценки плотности поселения эпибентоса и соотнесения с площадью дна использована мерная рейка длиной 1 м с ценой деления 10 см. Пробы инфавны отобраны водолазным зубчатым дночерпателем (площадь захвата 0,025 м²) на каждой трансекте в пределах ландшафтов с мягким грунтом (рис. 1) в трехкратной повторности. Координаты точек отбора инфавны фиксировали GPS.

Фотопробы, а также количественные пробы дночерпательного макробентоса обрабатывали в лабораториях Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ДВФУ. При анализе фотопроб проводили учет различаемых на фото организмов макробентоса (идентифицировали, указывали плотность поселения). Дночерпательные пробы промывали от фиксатора (4 %-ного раствора формалина), просеивали через сито с наименьшей ячейей 0,5 мм, разбирали по группам, далее по видам. Учитывали массу и численность видов в пробе. Всего выполнено 14 трансект, проанализировано 14 видеороликов, 134 фотографии (стоп-кадров), 63 дночерпательные пробы. Все показатели приведены к 1 м². Систематическая принадлежность видов проверена по международной базе данных WoRMS. Для анализа сходства видового состава макробентоса использовали индекс Жаккара [Песенко, 1982]. Оценка биологического разнообразия проведена с применением индекса Шеннона [Лебедева и др., 1999].

Для анализа гранулометрического состава и содержания углерода грунт отбирали водолазным зубчатым дночерпателем. Гранулометрический состав донных отложений определяли методом пипетки в варианте Н.А. Качинского [1958]. Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$) рассчитано по методу Тюрина в модификации CINAО [ГОСТ 26213-91].

Картографическая обработка проведена в ГИС QGIS 3.32.2, розы ветров и графики корреляционного анализа построены при помощи пакета ggplot2 и GGally в программной среде R версия 4.3.3. Канонический анализ соответствия (Canonical Correspondence Analysis — CCA) выполнен в программной среде PAST.

Для построения батиметрических профилей трансект была рассчитана цифровая модель поверхности дна бухт (QGIS) на основе данных о распределении изобат и точечных промеров глубин по данным штурманских навигационных карт (<https://navysoft.ru/chartindex/>) методом сплайн-интерполяции с помощью функции `v.surf.bspline` пакета GRASS. Далее на рассчитанную поверхность были наложены координаты трансект и

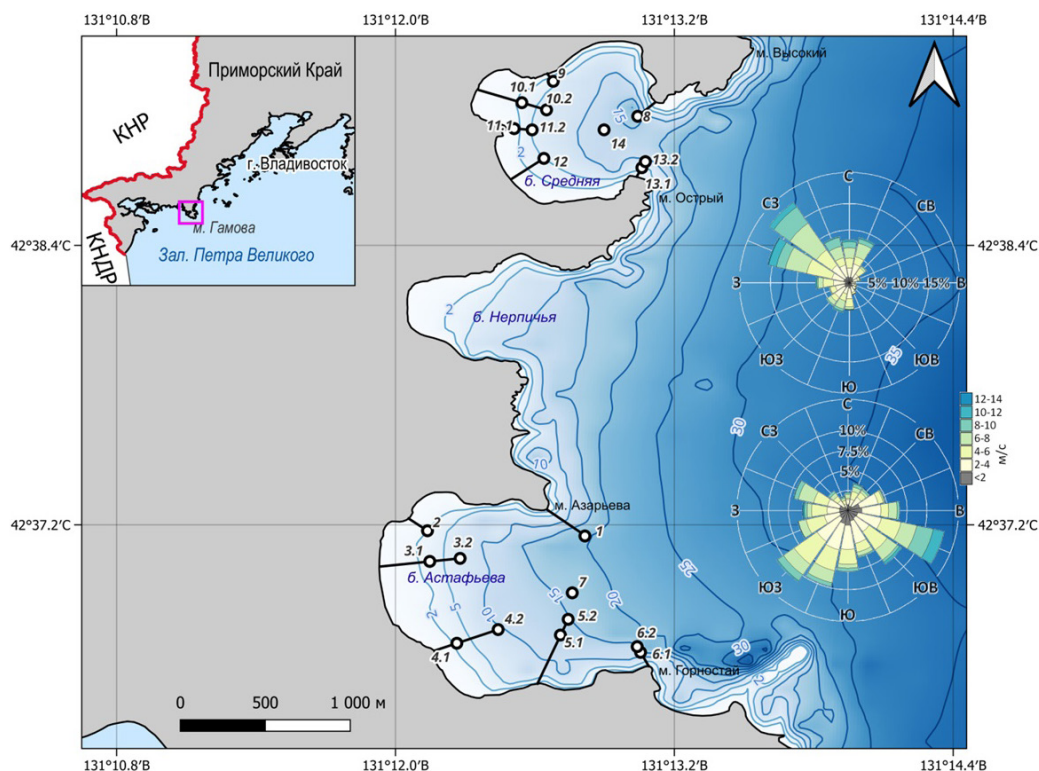


Рис. 1. Карта-схема района работ в бухтах Астафьева и Средняя: *прямые линии* — трансекты ландшафтно-макробентосной видеосъемки; *кружки* — точки отбора инфауны дночерпателем; *верхняя роза ветров* — за период с октября по апрель; *нижняя роза ветров* — с мая по сентябрь, данные <https://marine.copernicus.eu>

Fig. 1. Scheme of the study area in the Astafiev and Srednyaya Bights: *straight lines* — transects of landscape and macrobenthos video survey; *circles* — infauna samplings by bottom sampler; *upper wind rose* — winds in October-April; *lower wind rose* — winds in May-September (on the wind data from: <https://marine.copernicus.eu>)

получены данные о глубине на всем протяжении трансекты функцией *v.sample* пакета GRASS. Границы донных ландшафтов в пределах бухт определены с учетом данных о распределении ландшафтных зон в пределах трансект, рассчитанной модели поверхности дна, модели поверхности величины уклона дна (функция *Slope* пакета GDAL), а также спутниковых снимков бухт (Google Sattelite и Yandex Спутник).

Геоморфологическая типология изучаемых бухт приведена в соответствии с классификацией береговых систем В.С. Петренко и В.А. Мануйлова [1988]. Ветро-волновая нагрузка оценена в результате построения розы ветров. Выделение подводных ландшафтов произведено согласно классификации Атласа подводных ландшафтов Японского моря [Арзамасцев, Преображенский, 1990].

Результаты и их обсуждение

Ландшафтно-экологическая характеристика и параметры донных отложений

Согласно классификации и диагностическим признакам Атласа подводных ландшафтов Японского моря [Арзамасцев, Преображенский, 1990] в бухтах Астафьева и Средняя восточного участка ДВМБГЗ распространены 7 типов подводных ландшафтов (бентем): *саксозий*, *концизий*, *пельтий*, *фрактум*, *ареноид*, *сегетий* и *скатебра* (рис. 2). Наибольшее число типов ландшафтов (пять) выявлено на трансектах 6 у южного входного мыса в бухту Астафьева и 13 у южного входного мыса в бухту Среднюю (рис.

2). Минимальное число бентем формируется у внутренних мысов в северной части бухт (трансекта 2 в бухте Астафьева и трансекта 9 в бухте Средней), где концизий резко переходит в ареноид или skateбру.

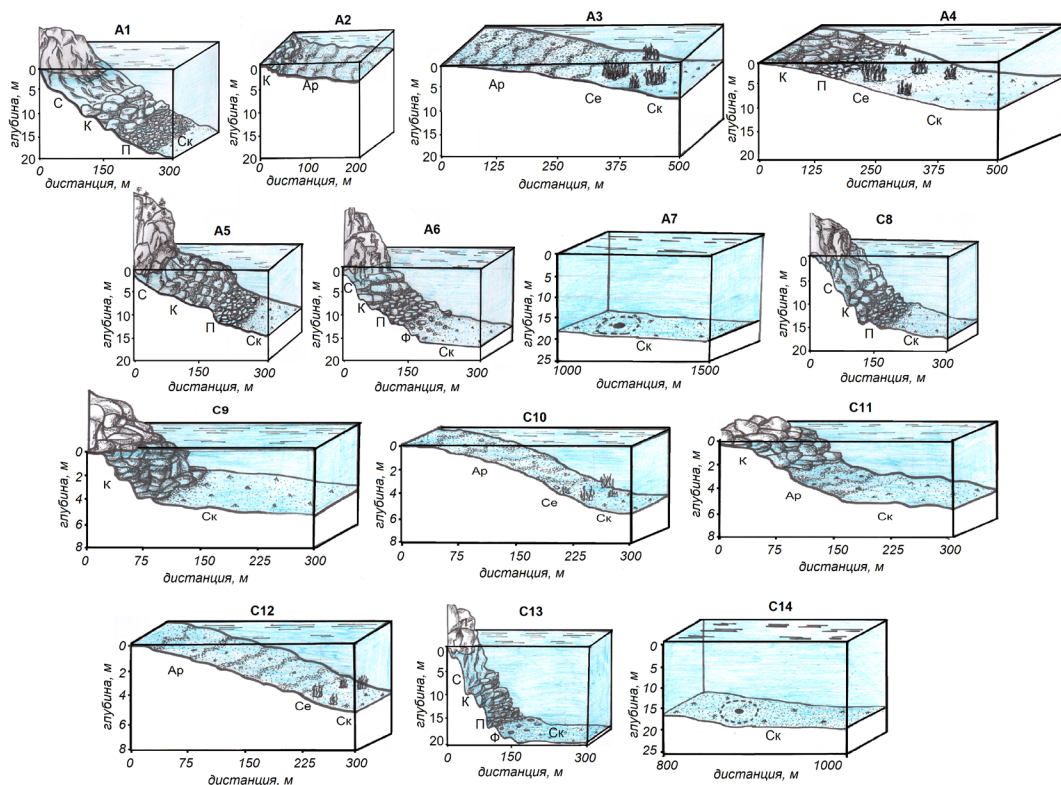


Рис. 2. Распределение подводных ландшафтов на профилях трансект в бухтах Астафьева и Средняя: A1...C14 — номера трансект в бухтах; буквы перед цифрой обозначают бухты Астафьева и Средняя. Названия ландшафтов: С — саксозий, К — концизий, П — пельтий, Ф — фразтум, Ск — skateбrra, Ар — ареноид, Се — сегетий

Fig. 2. Underwater landscapes on transects in the Astafiev and Srednyaya Bights: A1...C14 transects numbers with the letters A for Astafiev Bight and C for Srednyaya Bight. The landscapes: C — saxosium, K — concisium, П — peltium, Ф — fractum, Ск — skatebrra, Ар — arenoid, Се — segetium

Саксозий формируется у входных мысов в бухты, характеризуется резким свалом глубин и скалистым грунтом, который сам является уходящим под воду мысом (рис. 2). Глубина его распространения в бухтах составляет до 10 м.

Концизий (глыбовый навал) распространяется у входных мысов глубже саксозия или от самого уреза воды у мысов внутренней части бухт. Характерный пример ярко выражен на трансекте 2 в бухте Астафьева, где границы концизия четко очерчены песчаным ландшафтом с характерными волнообразными барханами — *ареноидом*. Ареноид залегает во внутренних частях бухт от уреза воды до глубины 5 м, соприкасаясь по периферии с глыбами концизия.

Производным от ареноида, прилегающим и перемежающимся с ним на глубине 3–7 м, является *сегетий*, в пределах которого на песчаном, песчано-илистом грунте распространены пояса и куртины зарослей морских трав (рис. 3). В бухтах Астафьева и Средняя это *Z. marina*.

Пельтий характеризуется мелкими валунами, между которыми встречаются небольшие одиночные глыбы и рассеянные насыпи гравия. В пределах бухт Астафьева и Средняя пельтий распространен в горизонте глубины 2–19 м. Наибольшая глубина его распространения прилегает к свалу входных мысов (трансекты 1, 6, 8, 13).

Фрактум представлен наиболее разнородным грунтом, в составе которого присутствуют гравий, раковина, мелкий песок, крупный и средний валун. Отмечен нами на трансекте 6 в бухте Астафьева на глубине 13–15 м (рис. 4) и трансекте 13 в бухте Средней на глубине 15–17 м.

Скатебра — наиболее глубоководный ландшафт, выстилающий ложе обеих бухт, занимающий максимальные глубины — в пределах бухты Астафьева до 20 м, в бухте Средней — до 18 м (на выходе из бухт). Грунт сформирован заиленным алевритовым песком с биогенными включениями (битой ракушей).

Общее ландшафтное профилирование на трансектах (см. рис. 2) и анализ горизонтального пространственного распределения ландшафтов (рис. 4) дают понимание характерных особенностей подводной среды бухт. В целом, несмотря на меньшую площадь дна, общая конфигурация и геоморфология береговой и подводной зоны бухты Средней подобна таковой в бухте Астафьева, хотя вход в бухту более закрыт. Таким образом, горизонтальное распределение донных ландшафтов в обеих акваториях схоже.

Гранулометрический анализ выявил преобладание в донных отложениях обеих бухт псаммита мелкого (среднее содержание 73 %), псаммита среднего (16 %), а также алеврита (2 %). Преобладающую часть грунтов можно охарактеризовать как средне-мелкозернистые алевропсаммиты.

Содержание *органического углерода* выявлено в обеих бухтах в общем диапазоне концентраций 0,057–0,454 % (табл. 1). Среднее значение содержания углерода в донных отложениях бухты Средней (0,181 %) в полтора раза ниже, чем в бухте Астафьева (0,279 %).

Таблица 1

Гранулометрический состав и органическое вещество мягких осадков бухт Астафьева и Средняя, июль и октябрь 2022 г., %

Table 1

Granulometric composition and organic matter content for soft sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights in July and October, 2022, %

Точки отбора (см. рис. 1)	Глубина, м	Содержание гранулометрических фракций, мм						K _{сорт}	C _{общ}
		1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,010–0,005	0,005–0,001	Менее 0,001		
1	19	10,530	77,434	2,407	1,605	1,204	6,820	1,059	0,377
2	2	0,651	91,942	1,201	0,000	0,801	5,405	1,022	0,151
3.1	3	3,318	89,473	0,401	0,201	1,001	5,606	1,017	0,132
3.2	7	0,401	91,783	1,604	0,000	0,601	5,611	1,024	0,168
4.1	3	2,763	88,027	0,601	1,001	0,801	6,807	1,026	0,199
4.2	9	2,412	87,461	0,850	1,014	1,154	7,109	1,034	0,184
5.1	13	9,594	78,169	3,411	1,003	1,604	6,219	1,069	0,320
5.2	15	10,457	78,420	3,233	1,007	1,125	5,758	1,060	0,296
6.1	13	63,160	23,417	2,205	1,601	2,403	7,214	1,072	0,454
6.2	15	64,039	24,515	2,197	0,621	1,420	7,208	1,048	0,451
7	18	74,734	16,048	1,803	0,802	1,002	5,611	1,040	0,334
8	16	57,307	28,651	4,413	1,204	0,802	7,623	1,075	0,264
9	4	2,160	88,622	1,804	0,200	1,002	6,212	1,033	0,058
10.1	4	3,298	89,094	1,001	0,601	0,200	5,806	1,020	0,059
10.2	6	8,041	83,544	1,603	0,200	0,400	6,212	1,024	0,057
11.1	2	1,341	89,049	2,402	0,400	0,201	6,607	1,033	0,106
11.2	5	1,071	90,621	0,601	1,001	0,501	6,206	1,023	0,114
12	5	0,336	91,648	1,202	0,401	0,401	6,012	1,022	0,228
13.1	15	0,536	79,258	8,821	1,957	2,407	7,021	1,165	0,232
13.2	17	18,355	64,203	6,805	1,005	2,502	7,130	1,125	0,235
14	19	6,752	83,639	2,001	0,601	1,602	5,405	1,047	0,458

Примечание. K_{сорт} — коэффициент сортировки грунта.



Рис. 3. Типичный вид эпибентоса в ландшафтах бухт Астафьева и Средняя (номер соответствует трансекте)
Fig. 3. Typical view for epibenthos in the landscapes of Astafiev and Srednyaya Bights (numbers of transects are shown)

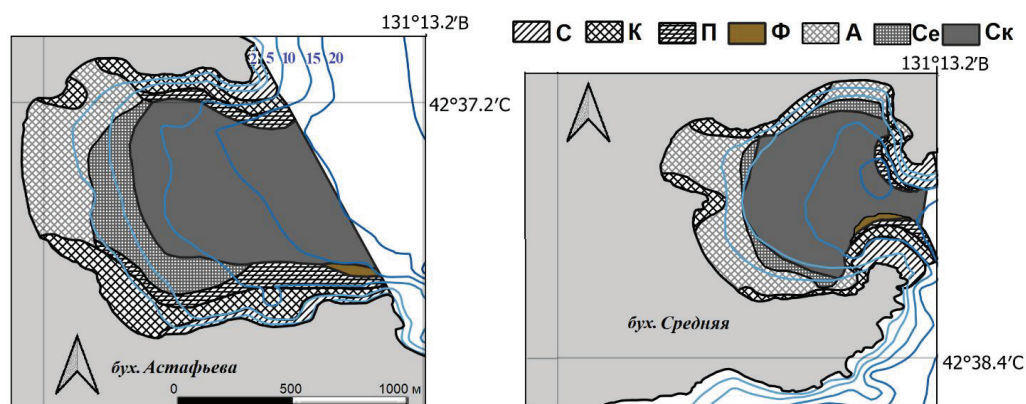


Рис. 4. Горизонтальное распределение подводных ландшафтов по площади дна бухт Астафьева и Средняя. Обозначения ландшафтов как на рис. 2; синими линиями указаны изобаты
Fig. 4. Spatial distribution of underwater landscapes in the Astafiev and Srednyaya Bights. The landscape types as at Fig. 2; blue lines show isobaths

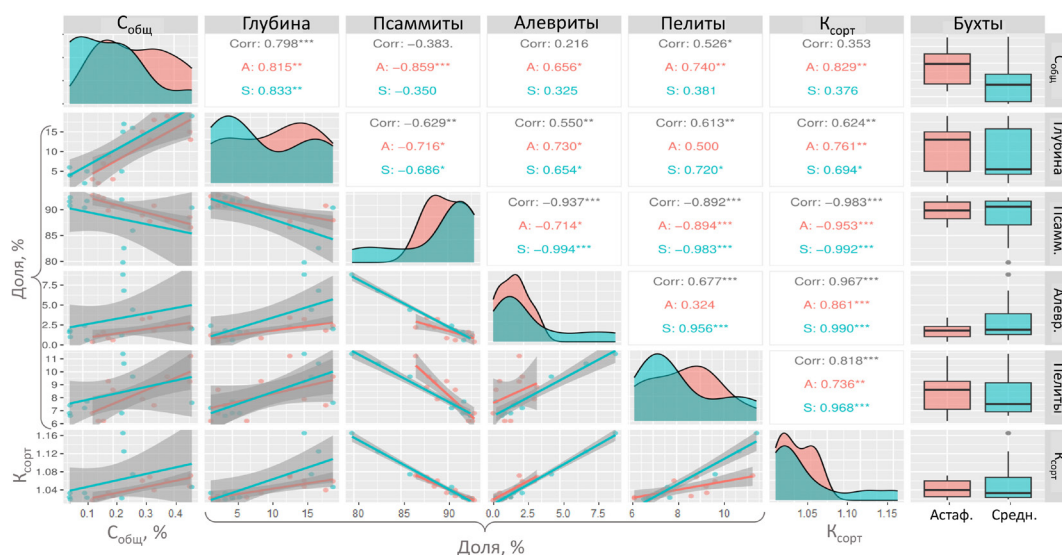


Рис. 5. Корреляционная матрица связи величины $C_{\text{общ}}$ с глубиной, содержанием основных фракций мягких осадков и коэффициентом сортировки грунта. Нижний треугольник матрицы показывает взаимную связь параметров в каждой бухте, верхний треугольник матрицы указывает величины коэффициентов корреляции Пирсона: $Corr$ — общий коэффициент корреляции; A — корреляция в бухте Астафьева (красный); S — корреляция в бухте Средней (зеленый). Диагональ матрицы указывает на статистическое распределение указанных параметров

Fig. 5. Correlation matrix for relationship between the carbon content ($C_{\text{общ}}$), portions of the main fractions in soft sediments, the sediment sorting coefficient, and the depth. The lower triangle of the matrix shows mutual relationship between the parameters in each bight, the upper triangle of the matrix indicates the Pearson correlation coefficients: the total correlation coefficient ($Corr$), the correlation for Astafiev Bight (S , red color), and the correlation for Srednyaya Bight (S , green color); diagonal of the matrix indicates statistical distribution of the parameters

Корреляционный анализ показал, что величина $C_{\text{общ}}$ нарастает с глубиной залегания донных осадков, увеличением вклада илистых фракций (алевроиты, пелиты) и отрицательно связана с долей псаммитов в составе донных отложений обеих бухт (рис. 5). Наиболее сильная связь прослеживается между $C_{\text{общ}}$ и долей пелитов. Характерно, что для бухты Астафьева связь $C_{\text{общ}}$ с гранулометрическим составом грунта значительно сильнее, чем в бухте Средней.

Характеристика макробентоса

Общее видовое богатство макробентоса бухт Астафьева и Средняя по данным видеосъемки и дночерпательного отбора составляет не менее 77 видов, включая не определенные до уровня вида объекты (табл. 2). Несмотря на меньшую площадь по сравнению с бухтой Астафьева, бухта Средняя характеризуется большим числом зарегистрированных видов донных макроорганизмов (соответственно 47 и 66 видов). Общее видовое богатство макробентоса бухты Средней выше, чем бухты Астафьева, за счет большего числа видов инфауны.

Таблица 2

Таксономический состав макробентоса бухт Астафьева и Средняя зал. Петра Великого по данным съемки июля и октября 2022 г.

Table 2

Taxonomic composition of macrobenthos in the Astafiev and Srednyaya Bights by the data collected in July and October, 2022

№ п/п	Класс	Отряд	Семейство	Вид
Cnidaria				
1	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Epiactes japonica</i>
2			Metridiidae	<i>Metridium senile</i>
3	Hydrozoa	Leptothecata	Campanulariidae	<i>Obelia longissima</i>
Nemertina				
4	Amopla	Heteronemertea	Lineidae	<i>Kulikovia torquatus</i>
5			Fam.	Gen. sp.
Sipuncula				
6	Phascolosomatidea	Phascolosomatiformes	Fam.	Gen. sp.
Annelida				
7	Polychaeta	Phyllodocida	Phyllodocidae	<i>Phyllodoce groenlandica</i>
8				Gen. sp.
9				<i>Eteone spetsbergensis bistriata</i>
10				<i>Eteone</i> sp.
11	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae	<i>Glycera capitata</i>
12			<i>Glycera</i> sp.	
13			Goniadidae	<i>Glycinde armigera</i>
14			Polynoidae	<i>Harmothoe</i> sp.
15				Gen. sp.
16			Nereididae	<i>Nereis</i> sp.
17			Syllidae	Gen. sp.
18		Eunicida	Onuphidae	<i>Onuphis</i> sp.
19			Lumbrineridae	<i>Scoletoma</i> sp.
20		Orbiniida	Orbiniidae	<i>Scoloplos armiger</i>
21		Spionida	Spionidae	<i>Spiophanes</i> sp.
22				Gen. sp.
23		Opheliida	Scalibregmatidae	<i>Scalibregma inflatum</i>
24			<i>Scalibregma</i> sp.	
25			Opheliidae	<i>Ophelina acuminata</i>
26		Terebellida	Terebellidae	<i>Laphania boeckii</i>
27			Flabelligeridae	<i>Pherusa plumosa</i>
28			Pectinariidae	<i>Cistenides</i> sp.
29			Melinnidae	<i>Melinna elisabethae</i>
30			Ampharetidae	<i>Ampharete</i> sp.
31				Gen. sp.
32			Cirratulidae	<i>Aphelochaeta pacifica</i>
33		Sabellida	Sabellidae	Gen. sp.
34			Oweniidae	<i>Owenia fusiformis</i>

№ п/п	Класс	Отряд	Семейство	Вид
Mollusca				
35	Polyplacophora	Chitonida	Ischnochitonidae	<i>Ischnochiton hakodadensis</i>
36	Gastropoda	Docoglossa	Lottiidae	<i>Lottia</i> sp.
37				<i>Niveotectura pallida</i>
38		Asinobranchia	Trochidae	<i>Umbonium costatum</i>
39			Tegulidae	<i>Tegula rustica</i>
40		Trochida	Colloniidae	<i>Gigahomalopoma sangarense</i>
41		Cephalaspidea	Philinidae	<i>Philine</i> sp.
42		Littorinimorpha	Littorinidae	<i>Littorina squalida</i>
43		Aspidophora	Naticidae	<i>Cryptonatica janthostoma</i>
44		Hamiglossa	Muricidae	<i>Boreotrophon candelabrum</i>
45		Neogastropoda	Pseudomelatomidae	<i>Rhodopetoma erosa</i>
46	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Crenomytilus grayanus</i>
47		Ostreida	Ostreidae	<i>Magallana gigas</i>
48		Pectinida	Pectinidae	<i>Swiftopecten swiftii</i>
49				<i>Mizuchopecten yessoensis</i>
50		Cardiida	Tellinidae	<i>Megangulus luteus</i>
51		Venerida	Veneridae	<i>Ezocallista brevisiphonata</i>
52				<i>Leukoma euglipta</i>
53		Adapedonta	Pharidae	<i>Siliqua alta</i>
54	Myida	Mactridae	<i>Spisula sibyllae</i>	
Arthropoda				
55	Cirripedia (Subclassic)	Balanomorpha	Balanidae	<i>Balanus</i> sp.
56			Chthamaliidae	<i>Chthamalus dally</i>
57	Malacostraca	Decapoda	Paguridae	<i>Pagurus</i> sp.
58		Mysida	Mysidae	<i>Archaeomysis kokuboi</i>
Phoronida				
59			Phoronidae	Gen. sp.
Echinodermata				
60	Holoturoidea	Synallactida	Stichopodidae	<i>Apostichopus japonicus</i>
61	Echinoidea	Camarodonta	Strongylocentrotidae	<i>Strongylocentrotus intermedius</i>
62				<i>Mesocentrotus nudus</i>
63		Echinolampadacea	Scutellidae	<i>Scaphechinus mirabilis</i>
64		Spatangoida	Loveniidae	<i>Echinocardium cordatum</i>
65	Asteroidea	Valvatida	Asterinidae	<i>Patiria pectinifera</i>
66		Spinulosida	Echinasteridae	<i>Henricia hayashi</i>
67		Forcipulatida	Asteriidae	<i>Distolasterias nipon</i>
68				<i>Asterias amurensis</i>
69	Ophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphipholis kochi</i>
70		Ophiurida	Ophiuridae	<i>Ophiura sarsi</i>
71				<i>Ophiura</i> sp.
Chordata				
72	Ascidacea	Stolidobranchia	Pyuridae	<i>Halocynthia aurantium</i>
73				<i>Boltenia echinata</i>
74			Styelidae	<i>Pelonaia corrugata</i>
Ochrophyta				
75	Phaeophyceae	Desmarestiales	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia viridis</i>

№ п/п	Класс	Отряд	Семейство	Вид
Rhodophyta				
76	Florideophyceae	Hapalidiales	Hapalidiaceae	<i>Boreolithothamnion phymatodeum</i>
Tracheophyta				
77	Magnoliopsida	Alismatales	Zosteraceae	<i>Zostera marina</i>

По данным видеосъемки в пределах бухт Астафьева и Средняя эпибентосом максимально богаты концизий и саксозий, локализованные у входных мысов и прилегающих к ним зон. Наибольшую долю по площади дна бухт имеют ареноид и skateбра, занимающие прибрежную, прилегающую к пляжу зону, а также центральную котловину бухты. В пределах этих ландшафтов, характеризующихся песчаными и песчано-илистыми грунтами, эпибентос отличается в целом достаточно сильной разреженностью, исключение составляют только плоские морские ежи *Scaphechinus mirabilis*.

Всего в эпибентосе обеих бухт зарегистрировано 28 видов. Видовое богатство в обследованных бухтах близко (табл. 3), а степень сходства видового состава по индексу Жаккара составляет около 93 %. Облик донного населения на твердых и смешанных грунтах формируют морская звезда *Patiria pectinifera* и морской еж *Mesocentrotus nudus*. Кроме того, массовыми по показателю плотности поселения являются усонogie ракообразные *Balanus* sp., брюхоногий моллюск *Tegula rustica*, двустворчатый моллюск *Crenomytilus grayanus* (рис. 5).

Следует отметить в период проведения исследований, как в июле, так и в октябре, практически полное отсутствие водорослевого пояса в зоне сублиторали обеих бухт, являющегося важным средообразующим компонентом в морских экосистемах. Исключение на твердых субстратах составляет красная корковая водоросль литотамнион бородавчатый *Boreolithothamnion phymatodeum*, плотно покрывающая подводные скалы, глыбы и валуны, а также единичные кустики бурой водоросли десмарестии зеленеющей *Desmarestia viridis*.

Таким образом, условия обитания макрозообентоса на твердых грунтах в пределах обследованных акваторий в горизонте сублиторали 1–15 м схожи и определяются прежде всего характером донных субстратов. Сообществообразующая роль фитобентоса минимальна. На мягких грунтах в мелководной зоне распространения песков вклад растительной составляющей донных сообществ и влияние растений на саму среду (местообитание) становится более существенным, чем на твердых, за счет формирования пояса и отдельных зарослей морской травы *Z. marina*.

В результате анализа дночерпательных проб на мягких грунтах в составе инфауны обнаружено суммарно 53 вида донных беспозвоночных. В бухте Астафьева определено 20 видов, в бухте Средней — 45 видов макробентоса (табл. 4). Степень сходства видового состава донной фауны мягких грунтов по индексу Жаккара составляет всего 23 %. Видовое богатство в бухте Средней более чем в два раза выше, чем в бухте Астафьева. Видовое разнообразие беспозвоночных на станциях отбора варьирует от 3 до 12 видов на станцию в бухте Астафьева и 3–21 — в бухте Средней. Расположенные рядом, схожие геоморфологически, а также по составу эпибентоса бухты Астафьева и Средняя существенно различаются по составу, характеристикам обилия и структуре инфауны. Общей чертой является доминирование по числу видов многощетинковых червей (рис. 6), однако количество выявленных таксономических групп донных беспозвоночных в бухте Средней гораздо выше.

Максимальная биомасса макробентоса мягких грунтов в бухте Астафьева не превышала 36,7 г/м², в то время как в бухте Средней этот показатель составил 312,54 г/м² (рис. 7–8). Средние значения биомассы также различались на один порядок (11,56 ± 7,27 г/м² в бухте Астафьева и 117,52 ± 95,85 г/м² в бухте Средней).

Таблица 3

Состав и плотность поселения эпибентоса бухт Астафьева и Средняя по результатам видеофиксации 2022 г.

Table 3

Species composition and distribution density of epibenthos in the Astafiev and Srednyaya Bights by results of video survey in 2022

№ п/п	Группа	Вид	N, экз./м ²	
			Бухта Астафьева	Бухта Средняя
1	Anthozoa	<i>E. japonica</i>	4,0 ± 2,6	3,8 ± 1,7
2		<i>M. senile</i>	1,8 ± 2,2	2,2 ± 1,2
3	Asteroidea	<i>A. amurensis</i>	0,6 ± 0,5	0,4 ± 0,2
4		<i>P. pectinifera</i>	7,2 ± 2,8	9,3 ± 2,6
5		<i>H. hayashi</i>	0,2 ± 0,4	0,1 ± 0,2
6		<i>D. nipon</i>	0,2 ± 0,4	0,4 ± 0,3
7	Ascidia	<i>H. aurantium</i>	0,2 ± 0,4	0,3 ± 0,2
8	Bivalvia	<i>E. brevisiphonata</i>	0,3 ± 0,6	–
9		<i>M. gigas</i>	0,2 ± 0,4	0,3 ± 0,2
10		<i>C. grayanus</i>	9,4 ± 7,0	12,2 ± 6,4
11		<i>M. yessoensis</i>	2,3 ± 5,7	1,8 ± 0,6
12		<i>S. swiftii</i>	0,2 ± 0,4	0,4 ± 0,2
13	Cirripedia	<i>Balanus</i> sp.	11,4 ± 6,9	8,6 ± 3,3
14	Echinoidea	<i>S. intermedius</i>	1,8 ± 0,9	3,0 ± 2,5
15		<i>M. nudus</i>	6,3 ± 2,3	3,2 ± 0,4
16		<i>S. mirabilis</i>	3,9 ± 3,1	8,6 ± 1,6
17	Gastropoda	<i>C. janthostoma</i>	0,2 ± 0,5	–
18		<i>G. sangarense</i>	2,5 ± 3,2	2,4 ± 1,5
19		<i>L. squalida</i>	10,7 ± 8,4	9,7 ± 4,3
20		<i>Lottia</i> sp.	6,2 ± 8,5	5,2 ± 2,6
21		<i>N. pallida</i>	0,4 ± 0,8	0,2 ± 0,4
22		<i>T. rustica</i>	11,2 ± 1,3	10,7 ± 4,5
23	Polyplacophora	<i>I. hakodadensis</i>	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,4
24	Holothuroidea	<i>A. japonicus</i>	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,2
25	Hydrozoa	<i>O. longissima</i>	+	+
26	Phaeophyceae	<i>D. viridis</i>	+	+
27	Florideophyceae	<i>B. phymatodeum</i>	+	+
28	Magnoliopsida	<i>Z. marina</i>	+	+

Примечание. «+» указывает на присутствие вида на фото и невозможность определить количество экземпляров/особей, так как это или колониальные животные (*O. longissimi*), или макрофиты, для которых дифференциация талломов на экземпляры/особи не принята.

Таблица 4

Состав и обилие макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя по результатам дночерпательного отбора 2022 г.

Table 4

Species composition and abundance of macrobenthos on soft soils in the Astafiev and Srednyaya Bights by the data of samplings with bottom sampler in 2022

№ п/п	Группа	Вид	Бухта Астафьева			Бухта Средняя		
			Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.	Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.
1	Ascidia	<i>B. echinata</i>				0,13	0,30 ± 0,91	7,62 ± 20,16
2		<i>P. corrugata</i>				0,13	0,21 ± 0,61	1,67 ± 4,71
3	Asteroidea	<i>P. pectinifera</i>	0,2	1,38 ± 3,08	0,20 ± 0,45	0,13	0,68 ± 1,94	0,13 ± 0,35
4	Bivalvia	<i>M. luteus</i>				0,25	9,37 ± 25,68	0,25 ± 0,46
5		<i>Leukoma</i> sp.				0,13	6,53 ± 18,49	0,13 ± 0,35
6		<i>S. alta</i>				0,13	0,46 ± 1,31	0,13 ± 0,35

Окончание табл. 4
Table 4 finished

№ п/п	Группа	Вид	Бухта Астафьева			Бухта Средняя		
			Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.	Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.
7	Bivalvia	<i>S. sibyllae</i>	0,4	32,74 ± 23,15	0,63 ± 0,74	0,50	86,65 ± 64,65	0,63 ± 0,46
8	Decapoda	<i>Pagurus</i> sp.				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
9	Echinoi- dea	<i>E. cordatum</i>	0,4	5,26 ± 7,23	0,60 ± 0,89			
10		<i>S. mirabilis</i>				0,13	1,05 ± 2,97	0,13 ± 0,35
11		<i>R. erosa</i>				0,13	0,05 ± 0,14	0,25 ± 0,71
12	Gastro- poda	<i>B. candelab- rum</i>				0,13	0,48 ± 1,34	0,13 ± 0,35
13		<i>C. janthostoma</i>				0,13	4,28 ± 12,13	0,13 ± 0,35
14		<i>G. sangarense</i>				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
15		<i>U. costatum</i>				0,13	0,20 ± 0,57	0,25 ± 0,71
16	Mysidacea	<i>A. kokuboi</i>				0,38	0,05 ± 0,08	5,00 ± 6,90
17	Nemertea	Nemertea				0,63	0,47 ± 0,72	10,00 ± 9,43
18	Gastropoda	<i>Philina</i> sp.				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
19	Ophiuroi- dea	<i>O. sarsi</i>				0,25	0,34 ± 0,95	1,75 ± 4,56
20		<i>Ophiura</i> sp.				0,13	0,08 ± 0,24	1,67 ± 4,71
21		<i>A. kochii</i>				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
22	Phoronida	Phoronida				0,38	1,53 ± 2,84	120,00 ± 79,36
23	Polychaeta	<i>Ampharete</i> sp.	0,4	0,04 ± 0,06	5,32 ± 7,28			
24		Ampharetidae	0,2	0,05 ± 0,12	2,67 ± 5,96			
25		<i>A. pacifica</i>	0,2	0,02 ± 0,42	2,67 ± 5,96	0,38	0,56 ± 1,52	11,67 ± 23,03
26		<i>Cistenides</i> sp.				0,13	1,85 ± 5,23	1,67 ± 4,71
27		<i>E. spetsbergen- sis</i>	0,2	0,07 ± 0,15	5,34 ± 11,93	0,38	0,16 ± 0,29	6,67 ± 10,08
28		<i>Eteone</i> sp.	0,2	0,01 ± 0,02	2,67 ± 5,96			
29		<i>G. capitata</i>	0,4	0,21 ± 0,35	21,34 ± 40,66	0,38	0,22 ± 0,30	13,34 ± 18,86
30		<i>Glycera</i> sp.				0,50	2,48 ± 2,92	6,67 ± 7,13
31		<i>G. armigera</i>	0,4	0,46 ± 0,97	24,00 ± 46,57	0,50	0,44 ± 0,55	38,34 ± 57,21
32		<i>Harmathoe</i> sp.				0,13	0,01 ± 0,04	1,67 ± 4,71
33		<i>L. boeckii</i>				0,13	0,09 ± 0,28	5,00 ± 14,14
34		Maldanidae	0,2	0,01 ± 0,02	2,67 ± 5,96			
35		<i>M. elisabethae</i>				0,13	0,16 ± 0,47	1,67 ± 4,71
36		<i>Nereis</i> sp.				0,13	0,02 ± 0,05	1,67 ± 4,71
37		<i>Onuphis</i> sp.				0,13	0,32 ± 0,90	1,67 ± 4,71
38		<i>O. acuminata</i>	0,2	0,03 ± 0,06	2,67 ± 5,96			
39		<i>O. fusiformis</i>				0,13	0,09 ± 0,28	1,67 ± 4,71
40		<i>Ph. plumosa</i>				0,13	0,52 ± 1,46	1,67 ± 4,71
41		<i>Ph. groenlan- dica</i>	0,2	1,07 ± 2,39	2,67 ± 5,96	0,13	0,01 ± 0,02	1,67 ± 4,71
42		Phyllodocidae				0,13	0,01 ± 0,01	3,34 ± 9,43
43		Polydoridae	0,4	0,09 ± 0,18	16,00 ± 28,90	0,13	0,05 ± 0,14	5,00 ± 14,14
44		Polynoidae				0,13	0,02 ± 0,05	1,67 ± 4,71
45		Sabellidae	0,2	0,37 ± 0,85	24,00 ± 53,66			
46		<i>S. inflatum</i>				0,38	1,05 ± 2,21	31,67 ± 69,44
47		<i>Scalibregma</i> sp.	0,2	0,08 ± 0,18	5,34 ± 11,92			
48		<i>Scoletoma</i> sp.	0,8	4,17 ± 7,25	93,34 ± 121,84	0,50	1,49 ± 2,63	31,67 ± 50,87
49		<i>S. armiger</i>	0,2	0,43 ± 0,95	16,00 ± 35,78	0,75	1,06 ± 1,46	46,67 ± 53,81
50		<i>Sphiophanes</i> sp.	0,4	0,23 ± 0,47	45,34 ± 87,23	0,88	0,91 ± 1,42	260,00 ± 194,70
51		Spionidae	0,8	0,22 ± 0,19	13,33 ± 9,43	0,38	0,45 ± 0,84	45,00 ± 92,08
52		Syllidae				0,13	0,01 ± 0,01	1,67 ± 4,71
53	Sipuncula	Gen. sp.				0,13	0,22 ± 0,61	1,67 ± 4,71

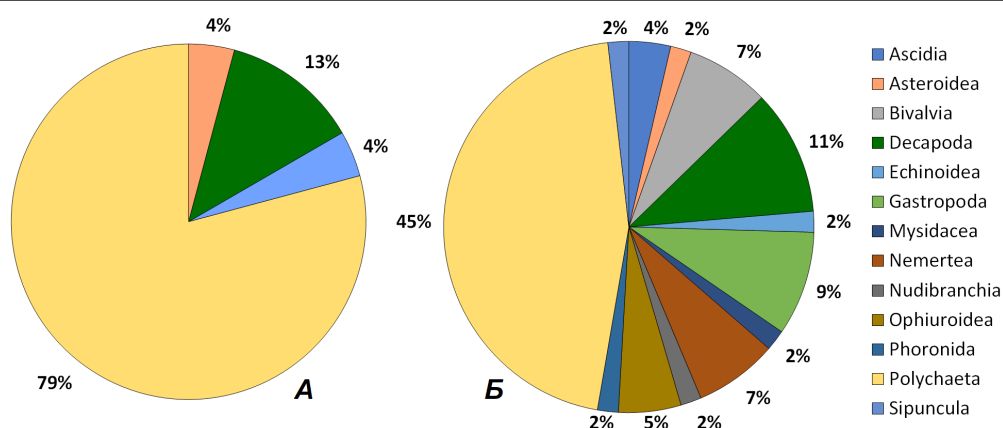


Рис. 6. Соотношение таксономических групп в общем видовом богатстве макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева (А) и Средняя (Б)

Fig. 6. Ratio of taxonomic groups in the total species richness of macrobenthos on soft bottom sediments in the Astafiev (A) and Srednyaya (B) Bights

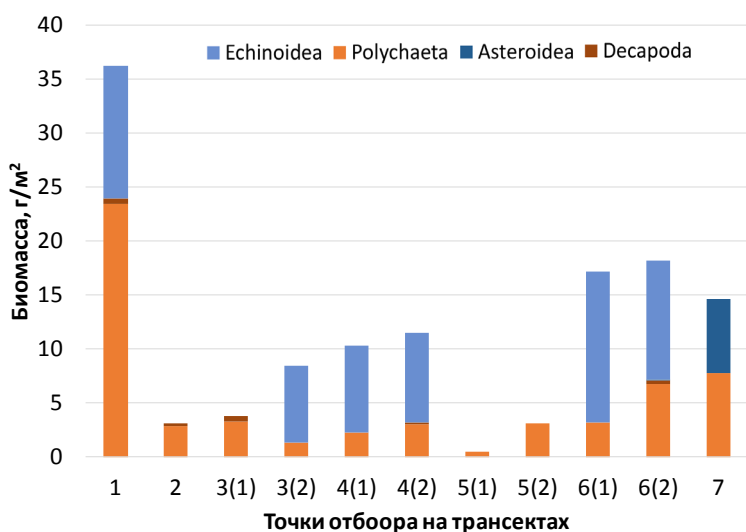


Рис. 7. Соотношение значений биомассы таксономических групп макробентоса мягких грунтов на станциях отбора проб в бухте Астафьева

Fig. 7. Biomass of macrobenthos on soft bottom sediments in samples from the Astafiev Bight, by taxonomic groups

Максимальный показатель биомассы в бухте Астафьева имеют плоский морской еж *S. mirabilis* и многощетинковые черви. В бухте Средней максимум биомассы формирует двустворчатый моллюск *Spisula sibyllae*. В целом в бухте Астафьева только группа Echinoidea (морские ежи) превосходит по биомассе данную группу бухты Средней. Остальные таксономические группы в бухте Астафьева существенно уступают таковым в бухте Средней или вообще не были выявлены в пробах периода исследований (рис. 9).

По плотности поселения в обеих акваториях над остальными таксонами существенно доминируют многощетинковые черви (рис. 10). В бухте Астафьева полихеты суммарно имеют показатель плотности поселения около 280 экз./м², в бухте Средней — более 500 экз./м². В обеих акваториях в составе группы многощетинковых червей доминируют *Scalibregma inflatum*, *Spiophanes* sp., *Scoletoma* sp., *Scoloplos armiger* — организмы-индикаторы чистых вод [Белан, 2001]. Кроме того, в бухте Средней в массе обнаружены форониды (более 100 экз./м²), формирующие скопления своих домиков-трубок на заиленных песках в пределах бентомы сегетий.

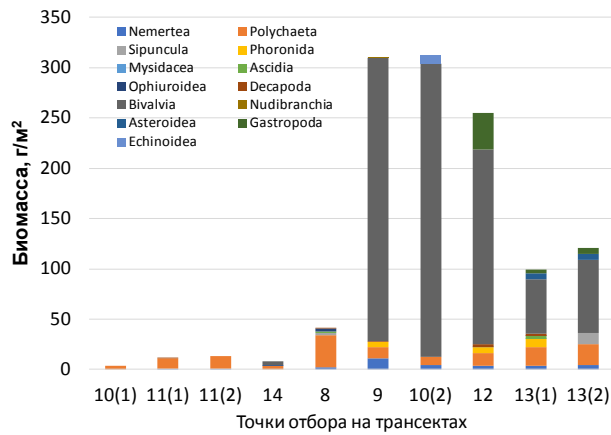


Рис. 8. Соотношение значений биомассы таксономических групп макробентоса мягких грунтов на станциях отбора проб в бухте Средней

Fig. 8. Biomass of macrobenthos on soft bottom sediments in samples from the Srednyaya Bight, by taxonomic groups

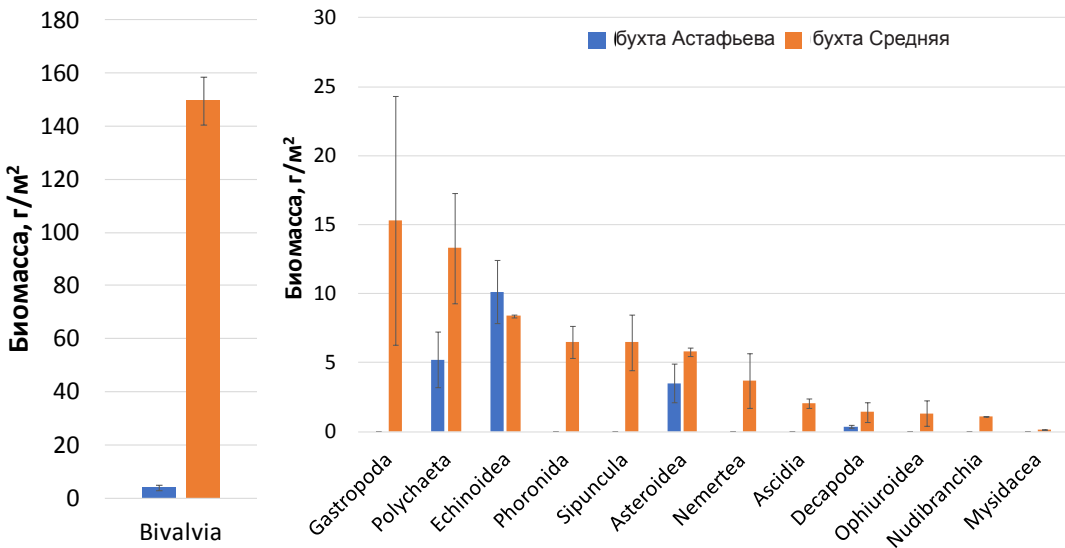


Рис. 9. Средние значения биомассы таксономических групп макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя (размах — среднее отклонение)

Fig. 9. Mean biomass of macrobenthos on soft bottom sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights (range and standard deviation in brackets), by taxonomic groups

Остальные таксоны в пределах как бухты Астафьева, так и бухты Средней имели показатель плотности поселения макробентоса, исчисляемый в основном единицами, реже десятками экземпляров на квадратный метр.

Анализ связи основных параметров макробентоса мягких грунтов с содержанием органического вещества показал заметно различающуюся картину их сопряженности для исследуемых бухт (рис. 11), что свидетельствует о разном характере пространственного распределения состава и обилия донных организмов в районах исследования. В бухте Средней с нарастанием содержания органического вещества увеличивается биологическое разнообразие макробентоса, определяемое числом видов и оцениваемое индексом Шеннона, и снижается плотность поселения макробентоса. В бухте Астафьева, наоборот, с увеличением значений $C_{общ}$ падает биологическое разнообразие и увеличиваются показатели обилия, т.е. проявляются признаки перестройки биоценоза, когда структура обилия определяется небольшим числом видов.

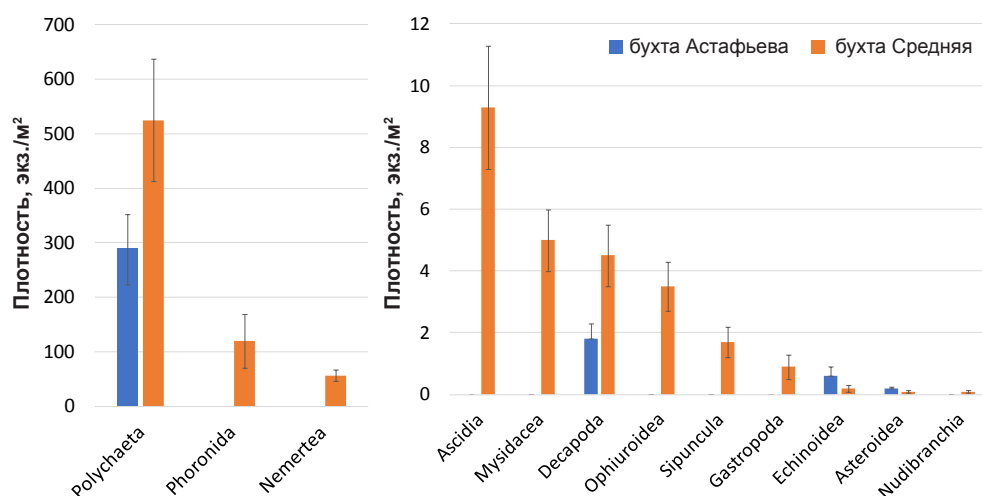


Рис. 10. Средние значения плотности поселения таксономических групп макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя (размах — среднее отклонение)

Fig. 10. Mean distribution density of mactobenthos settlement on soft bottom sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights (range and standard deviation in brackets), by taxonomic groups

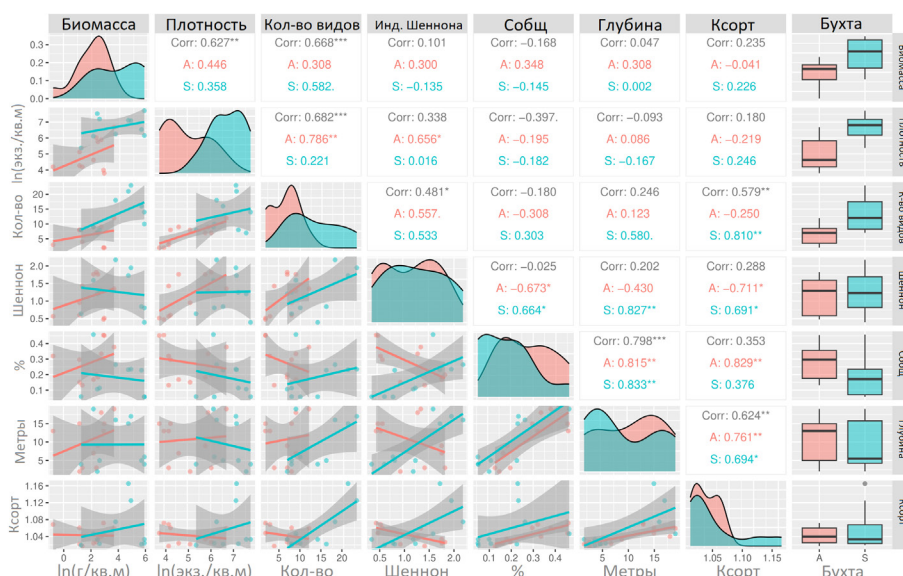


Рис. 11. Корреляционная матрица связи показателей обилия и видового разнообразия инфауны мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя с содержанием органического вещества в грунте, глубиной и степенью сортированности гранулометрического состава ($K_{\text{сорт}}$). Значения биомассы и плотности поселения логарифмированы. Обозначения как на рис. 5

Fig. 11. Correlation matrix for relationship between the biomass and distribution density of infauna on soft bottom sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights, the species diversity of the infauna, the organic matter content in the sediments, the grading degree of the granulometric composition of sediments ($K_{\text{сорт}}$), and the depth. Logarithmic scales for the biomass and distribution density. The legend as for Fig. 5

Канонический анализ соответствия (ССА-анализ) показал, что в обеих бухтах наиболее тесную связь с группой абиотических характеристик донной среды имеет показатель плотности поселения макробентоса (рис. 12). Остальные биологические характеристики донного макронаселения определяются измеренной нами группой экологических факторов в меньшей степени. Характер же взаимосвязи плотности поселения макробентоса с комплексом экологических параметров, характеризующих

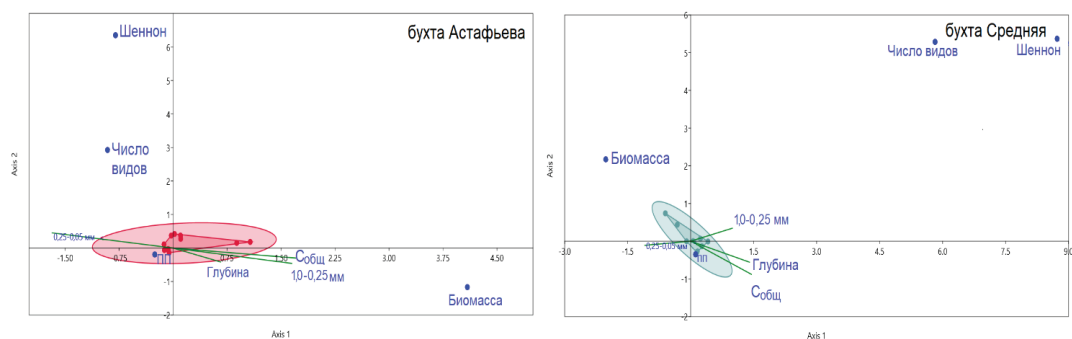


Рис. 12. Результаты CCA-анализа (Canonical Correspondence Analysis — CCA) характеристик донной среды и показателей макробентоса в бухтах Астафьева и Средняя

Fig. 12. Results of canonical correspondence analysis (CCA) of the bottom environment parameters and macrobenthos indicators for the Astafiev and Srednyaya Bights

условия обитания в двух изучаемых нами бухтах, существенно различается, что свидетельствует о разнице процессов, происходящих в системе «дно–макробентос».

Сопоставление особенностей среды и макробентоса в бухтах

По типу рельефа и береговой линии бухты Астафьева и Средняя относятся к полужакрытым отмелым береговым системам (риасам), входящим в фацию подводного берегового склона п-ова Гамова [Петренко, Мануйлов, 1988]. Форма рельефа дна и береговой линии в сочетании с ветро-волновой нагрузкой определяют гидродинамические условия в прибрежной зоне, а также условия осадконакопления, с которыми, в свою очередь, связана аккумуляция органического вещества в донных отложениях. Согласно розе ветров бухты Астафьева и Средняя находятся в одинаковых условиях ветро-волновой нагрузки и обе открыты разгону волны, формирующемуся в теплый период под воздействием ветров юго-восточных румбов (см. рис. 1). Однако бухта Средняя в силу более узкого входа имеет более выраженные геоморфологические условия для естественного осадконакопления и концентрирования в своей среде органического вещества. По этой причине мы ожидали обнаружить более высокие концентрации органического вещества в донных отложениях этой бухты по сравнению с бухтой Астафьева. Вопреки нашим ожиданиям, опирающимся на информацию о более закрытой конфигурации береговой линии и большим по сравнению с бухтой Астафьева водосборным бассейном бухты Средней [Хорошев и др., 2016], максимальное и среднее значение содержания углерода в ее донных отложениях оказалось в полтора раза ниже, чем в бухте Астафьева.

Происхождение донных отложений обеих бухт связано с поступлением терригенного материала с рельефа прибрежных террас и его измельчением в водной среде, а также с накоплением вносимых из открытой части залива частиц. Однако, несмотря на схожесть геоморфологических, гидродинамических условий и гранулометрическую схожесть, визуально мягкие грунты бухт контрастно различаются цветом: в бухте Астафьева прибрежные мелкозернистые пески имеют светлый, слегка желтовато-молочный оттенок, а в бухте Средней они серо-голубоватого цвета. Причина различий характеристик донных отложений изучаемых бухт, вероятнее всего, связана с интенсивным процессом эрозии почвенного покрова плато п-ова Гамова и частым сносом в бухту Астафьева значительного количества свежего терригенного материала, включающего органическое вещество деградированной почвы. Как известно, динамичные эрозионные процессы в береговой зоне в сочетании с высокой крутизной прибрежных склонов являются значимым фактором природной абразии и формирования донных субстратов морских экосистем [Лихт, 1993].

Естественный процесс поступления терригенных частиц и органического вещества усугубляется антропогенным усилением эрозийных процессов в результате многократно возросшего рекреационного пресса на п-ов Гамова, сопровождающегося активным использованием автомобильной техники (квадроциклы, мотоциклы, багги и др.), которая является наиболее негативным фактором рекреационного воздействия на почву [Meyer, 2002; Pickering et al., 2010]. Техника повышенной проходимости ввиду наличия выраженного протектора шин за короткий промежуток времени приводит к глубокому нарушению верхних слоев почвы, потере органического вещества, сносу минерального вещества [Meadows et al., 2008]. Подобные виды транспорта пользуются популярностью среди туристов п-ова Гамова.

По визуальным наблюдениям и литературным данным [Хорошев и др., 2016] растительный покров п-ова Гамова сильно деградирован и фрагментирован в результате наложения антропогенного воздействия на естественные процессы эрозии и выветривания. Плато полуострова исчерчено бесчисленными дорогами и промывными каньонами, растительность вытоптана и выжжена ежегодными пожарами, и лишь в северо-восточной части полуострова располагается прибрежный лесной массив, сдерживающий процесс деградации. Склоны именно этой части полуострова обращены к бухте Средней и прилегающим к ней районам. К бухтам Астафьева, Спасения, Орлинка, Теляковского подходят берега, растительный покров которых в значительной степени деградирован и на большей части территория представляет собой пронизанный каньонами песчаник. Как указывают специалисты [Хорошев и др., 2016], привлекательные для туризма сосновые редколесья и рододендрово-злаковые сообщества песчано-глинистого плато п-ова Гамова весьма уязвимы к антропогенным нагрузкам, усиливающим риск осыпания мелкозема в прибрежную зону. После дождей и тайфунов, таяния снега в воды прибрежной части указанных бухт поступает значительное количество песка, делающего кристально чистые морские воды мутными на продолжительное время [Лазарюк и др., 2021]. Поступление терригенного материала (частиц песка и мелкого гравия, а также сорбированного на них органического вещества) формирует в водной среде так называемую ресуспензию, меняющую физико-химические характеристики придонного слоя вод и поверхности донных отложений, негативно сказывающуюся на биологических процессах водоемов и стабильности их биоценозов [Мартынова, 2007]. Схожие явления нарушения стабильности донных сообществ и сокращения их биологического разнообразия выявляются при проведении дноуглубительных работ и дампинге извлеченного грунта [Жариков, 2013].

Вынос большой массы песчаного терригенного материала с п-ова Гамова и является, по нашему мнению, причиной, определяющей физические и геохимические характеристики морского грунта в бухте Астафьева и изменения стабильности донных отложений. В этом состоит специфика физико-химических условий среды, отличающих бухту Астафьева от бухты Средней. В бухте Средней, береговая зона которой более устойчива к эрозийным процессам по причине целостности растительного и почвенного покрова и отсутствия антропогенного пресса, характеристики донных отложений, по-видимому, определяются прежде всего морскими процессами.

В целом для обеих бухт характерен схожий и довольно бедный по числу видов состав организмов эпибентоса, обитающего на поверхности грунта и не образующего черт уникальности, т.е. сформированного самыми распространенными в зал. Петра Великого видами. Однако расположенные рядом, схожие геоморфологически, а также по составу эпибентоса бухты Астафьева и Средняя существенно различаются по составу, характеристикам обилия и структуре инфауны. Список выявленных видов инфауны бухты Астафьева вдвое меньше, чем в бухте Средней. Определяющее влияние на сокращение видового богатства инфауны бухты Астафьева, по нашему мнению, имеет снос большого объема терригенного материала, поступающего с эродированного плато п-ова Гамова в ее среду. Постоянно вносимый свежий терригенный снос меняет стабильность физико-химических условий донных отложений, делает их более агрессивными и обедняет видовое богатство и разнообразие инфауны мягких грунтов в прибрежных акваториях, прилегающих к эродированным склонам п-ова Гамова.

Таким образом, характерно различающиеся морфологически и физико-химически грунты исследуемых бухт и процессы их формирования (морской постепенный седиментагенез в бухте Средней и залповый снос большого объема терригенного материала в период ливней и тайфунов в бухте Астафьева) формируют разную по характеристикам и устойчивости среду обитания, что отражается на параметрах донного населения.

Заключение

В расположенных рядом бухтах Астафьева и Средняя выявляются разные экологические процессы в системе «дно–макробентос», оказывающие влияние на биологическое разнообразие, обилие и структуру населения мягких грунтов. Всего в составе макробентоса обеих бухт обнаружено 77 видов. В эпибентосе отмечено 28 видов (сходство между бухтами по индексу Жаккара составляет 93 %). Наиболее распространенными видами в эпибентосе являются *P. pectinifera*, *M. nudus*, *T. rustica*, *C. grayanus*. В составе инфауны выявлено 53 вида (сходство 23 %). Общими для категорий «эпибентос» и «инфауна» являются 4 вида беспозвоночных. Видовое богатство инфауны бухты Средней более чем в два раза выше, чем бухты Астафьева. Несмотря на геоморфологическую схожесть, идентичность донных ландшафтов и их распределения, более обогащенная органическим веществом донная среда бухты Астафьева оказалась беднее по таксономическому составу и обилию инфауны, чем в бухте Средней. Агрессивные условия залпового поступления большого количества терригенного материала в период дождей и тайфунов с эродированной поверхности плато и склонов п-ова Гамова в бухте Астафьева дестабилизируют характеристики среды в экосистеме бухты и препятствуют формированию устойчивого в биологическом отношении, более разнообразного и обильного донного населения. В соседней бухте Средней, побережье которой не подвержено интенсивным эрозийным процессам, характеристики донных отложений формируются под влиянием морских процессов, а состав, обилие и структура макробентоса мягких грунтов отличаются большим разнообразием и обилием. Эпибентос же обеих акваторий характеризуется небольшими различиями видового богатства и высокой степенью схожести.

Таким образом, в силу происходящих экологических процессов, выраженных в доминировании терригенного влияния, бухту Астафьева не следует принимать за эталонную акваторию, даже несмотря на вхождение ее в состав Дальневосточного морского биосферного заповедника. Экологические особенности условий, в которых находится бухта Астафьева (подверженность влиянию мощных эрозийных процессов, охвативших п-ов Гамова, усиленных негативным воздействием со стороны туризма и приводящих к сносу в бухту большого объема терригенного вещества), необходимо обязательно учитывать при охране ее биоресурсов и осуществлении природопользования в морской прибрежной зоне.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы с глубокой признательностью выражают благодарность ст.н.с. ДВНИГМИ к.б.н. Т.А. Белан за идентификацию видов многощетинковых червей; ведущему инженеру Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» ИМО ДВФУ Л.В. Сомовой за составление рисунков распределения ландшафтов на трансектах. Особую благодарность выражаем [А.А. Емельянову], с кем мы неизменно работали долгие годы, за проведение водолазных работ и одновременно скорбим в связи с его безвременным уходом.

The authors are deeply thankful to Dr. T.A. Belan, senior researcher of the Far Eastern Research Hydrometeorological Institute, for species identifying of polychaete worms and to L.V. Somova, leading engineer of Marine Ecology Department of FEFU, for drawings of the underwater landscapes distribution on transects. A special gratitude to diver [A.A. Yemelyanov], with whom we worked together for many years; we mourn his untimely death.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках совместной Программы НИР Института Мирового океана ДВФУ и ФГБУ «Земля леопарда», а также государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FZNS-2023-0019 «Оценка секвестрационного потенциала прибрежно-морских экосистем».

The study was conducted within the framework of the joint Research Program of the FEFU Institute of the World Ocean and the Federal State Budgetary Institution Land of Leopard and followed the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of Russia № FZNS-2023-0019 “Assessment of the sequestration potential of coastal marine ecosystems”.

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)

Ю.А. Галышева осуществила планирование и реализацию экспедиционных работ, обработку проб донных отложений, макробентоса и фотопроб, идентификацию видов макробентоса и анализ количественных данных по его обилию. Е.Г. Сомова провела анализ научных публикаций по рекреационной деградации прибрежно-растительных сообществ и выделение подводных ландшафтов. А.А. Сомов произвел картографические работы, математическое моделирование и статистическую обработку данных, построение розы ветров и анализ геоморфологического и гидрологического режима района исследования. Обработка данных, обсуждение результатов исследования, подготовка статьи — совместно.

Yu.A. Galysheva were responsible for planning and implementation of expedition researches, processing samples of bottom sediments, macrobenthos and photoprobes, identifying of macrobenthos species, and analysis of quantitative data on macrobenthos abundance. E.G. Somova analyzed scientific publications on recreational degradation of coastal plant communities and allocation of underwater landscapes. A.A. Somov made mapping, mathematical modeling and statistical data processing, drew wind roses, and analyzed geomorphology and oceanographic regime of the study area. The data were collected and processed, the research results were discussed, and the manuscript was written and illustrated by two authors jointly.

Список литературы

Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. — М. : Наука, 1990. — 224 с.

Баранов А.Ю., Левенец И.Р., Овсянникова И.И., Лебедев Е.Б. Водоросли-макрофиты и усоногие раки в эпibiозе гребешка в юго-западной части зал. Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 175. — С. 254–262.

Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВНИГМИ, 2001. — 27 с.

Гульбина А.А., Кепель А.А. Дальневосточный морской заповедник: со дня основания до наших дней // Вестн. ДВО РАН. — 2020. — № 2(210). — С. 5–18. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.001.

Дальневосточный морской биосферный заповедник / ред. А.Н. Тюрин, А.Л. Дроздов. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — Т. 2 : Биота. — 848 с.

Жариков В.В. Влияние дампинга на геоэкологическое состояние залива Находка // География и природные ресурсы. — 2013. — № 4. — С. 37–45.

Жариков В.В., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г. Использование данных дистанционного зондирования при картографировании подводных ландшафтов бухты Средней (залив Петра

Великого, Японское море) // География и природные ресурсы. — 2017. — № 2. — С. 190–198. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(190-198).

Жариков В.В., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г., Лебедев А.М. Использование данных LANDSAT для картографирования высшей водной растительности Дальневосточного морского заповедника // Океанол. — 2018. — Т. 58, № 3. — С. 521–531. DOI: 10.7868/S0030157418030164.

Жариков В.В., Лысенко В.Н. Распределение эпифауны макробентоса в Дальневосточном морском заповеднике ДВО РАН по материалам дистанционной подводной видеосъемки // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 231–240.

Ивин В.В., Звягинцев А.Ю., Кашин И.А. Мониторинг и контроль чужеродных видов в морских и островных особо охраняемых природных территориях на примере Дальневосточного морского государственного природного биосферного заповедника // Рос. журн. биол. инвазий. — 2014. — Т. 7, № 2. — С. 47–79.

Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения : моногр. — М. : АН СССР, 1958. — 193 с.

Кепель А.А. Итоги изучения биологического разнообразия Дальневосточного морского заповедника // Морские особо охраняемые природные территории мира : сб. мат.-лов Междунар. науч.-практ. конф. — Владивосток : ДВФУ, 2019. — С. 33–34.

Кепель А.А. Результаты мониторинга чужеродных видов на литорали и в обрастании плавника в Дальневосточном морском биосферном заповеднике ДВО РАН // 10-я Дальневост. конф. по заповедному делу : мат.-лы конф. — Благовещенск : БГПУ, 2013. — С. 153–155.

Лазарюк А.Ю., Радовец А.В., Христофорова Н.К. Влияние тайфуна Майсак на экологическую ситуацию в материковых прибрежьях Дальневосточного морского заповедника в сентябре 2020 г. (Приморский край, Россия) // Биота и среда природных территорий. — 2021. — № 4. — С. 85–101. DOI: 10.37102/2782-1978_2021_4_4.

Латыпов Ю.Я. Заповедная акватория в заливе Петра Великого // Наука в России. — 2013. — № 4(196). — С. 87–92.

Лебедев Е.Б. Двустворчатые моллюски (Mollusca, Bivalvia) Дальневосточного морского заповедника // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. — 2015а. — № 1. — С. 32–53.

Лебедев Е.Б. Брюхоногие моллюски (Mollusca, Gastropoda) Дальневосточного морского заповедника (залив Петра Великого, Японское море) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. — 2015б. — № 1. — С. 54–86.

Лебедева Н.В., Дроздов Н.Н., Криволицкий Д.А. Биоразнообразие и методы его оценки : учеб. пособие. — М. : МГУ, 1999. — 94 с.

Лихт Ф.Р. Современное приконтинентальное осадкообразование и реконструкции однотипных обстановок в геологическом прошлом Азии : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1993. — 240 с.

Лысенко В.Н., Жариков В.В., Лебедев А.М. Современное состояние поселений дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) в Дальневосточном морском заповеднике // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 2. — С. 134–140.

Мартынова М.В. Влияние взмучивания донных отложений на экосистемы водоемов // География и природные ресурсы. — 2007. — № 4. — С. 38–42.

Озолиньш А.В. Исследования сублиторали заповедника: история, методика, результаты // Дальневосточный морской биосферный заповедник / отв. ред. А.Н. Тюрин. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — Т. 1 : Исследования. — С. 373–394.

Озолиньш А.В., Некрасова М.И. Формирование пространственной структуры сообществ мягких грунтов у острова Фуругельма (Японское море) // Океанол. — 2003. — Т. 43, № 1. — С. 89–96.

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях : моногр. — М. : Наука, 1982. — 287 с.

Петренко В.С., Мануйлов В.А. Физическая география залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ДВГУ, 1988. — 147 с.

Сазыкин А.М., Сомова Е.Г., Широкова А.В., Кияницин В.В. Ландшафтное обоснование устойчивой рекреационной деятельности на территории туристского кластера «Гамовский» (Приморский край) // Рекреационная география и тренды развития туризма : мат.-лы 3-й междунар. науч.-практ. конф. — Иркутск : ИГ СО РАН, 2021. — С. 277–281.

Хорошев А.В., Чижова В.П., Чубарь Е.А. и др. Ландшафтно-экологические основания планирования рекреационных нагрузок в охранной зоне Дальневосточного морского заповедника // Проблемы региональной экологии. — 2016. — № 1. — С. 81–86.

Шулькин В.М., Жариков В.В., Лебедев А.М., Базаров К.Ю. Углерод в экосистеме *Zostera marina* Linnaeus, 1753 на песчаных грунтах бухты Средняя (залив Петра Великого,

Японское море) по данным полевых наблюдений // Морской биологический журнал. — 2024. — № 9, № 2. — С. 98–114. DOI: 10.21072/mbj.2024.09.2.07.

Latypov Yu.Ya. Macrozoobenthos soft soils of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve // J. Environ. Ecol. — 2013. — Vol. 4, № 1. — P. 40–51. DOI: 10.5296/jee.v4i1.2944.

Meadows D., Foltz R.B., Geehan N. Effects of All-Terrain Vehicles on Forest Lands and Grasslands. — San Dimas : San Dimas technology and development center, 2008. — 124 p.

Meyer K.G. Managing Degraded Off-Highway Vehicle Trails in Wet, Unstable, and Sensitive Environments. — Missoula : Missoula technology and development center, 2002. — 55 p.

Pickering C.M., Hill W., Newsome D., Leung Y-F. Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America // J. Environ. Management. — 2010. — Vol. 91. — P. 551–562.

References

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

Baranov, A.Yu., Levenets, I.R., Ovsyannikova, I.I., and Lebedev, E.B., Macroalgae and cir-
repedes in epibiosis of *Mizuhopecten yessoensis* in the southwestern part of Peter the great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 175, pp. 254–262.

Belan, T.A., Patterns of abundance and species composition of benthos exposed to pollution conditions (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevostochnyy regional'nyy nauchno-issledovatel'. gidrometeorologich. institut, 2001.

Gulbina, A.A. and Kepel, A.A., Far Eastern Marine Reserve: from the day it was founded to the present, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2(210), pp. 5–18. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.001

Dal'nevostochnyy morskoy biosfernyy zapovednik. Biota (Far-Eastern Marine Biospherical Reserve. Biota), Tyurin, A.N., Drozdov, A.L., eds, Vladivostok: Dal'nauka, 2004, vol. 2.

Zharikov, V.V., Influence of dumping upon the geocological state of Nakhodka Bay, *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 34, no. 4, pp. 331–338. doi 10.1134/S1875372813040057

Zharikov, V.V., Bazarov, K.Y., and Egidarev, E.G., Use of remotely sensed data in mapping underwater landscapes of Srednyaya Bay (Peter the Great Gulf, Sea of Japan), *Geography and Natural Resources*, 2017, vol. 38, no. 2, pp. 188–195. doi 10.1134/S187537281702010X

Zharikov, V.V., Bazarov, K.Y., Egidarev, E.G., and Lebedev, A.M., Application of LANDSAT data for mapping higher aquatic vegetation of the Far East Marine Reserve, *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 3, pp. 487–496. doi 10.1134/S0001437018030207

Zharikov, V.V. and Lysenko, V.N., The distribution of macrobenthic epifauna in the Far Eastern Marine Reserve based on remote underwater video data, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 266–275.

Ivin, V.V., Zvyagintsev, A.Yu., and Kashin, I.A., Monitoring and control of alien species in marine and insular specially protected areas by the example of the Far East Marine State Natural Biosphere Reserve, *Russian Journal of Biological Invasions*, 2014, vol. 7, no. 2, pp. 47–49.

Kachinskiy, N.A., *Mekhanicheskii i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody yego izucheniya* (Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of its study), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1958.

Kepel, A.A., Results of studying the biological diversity of the Far Eastern Marine Reserve, in *Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Morskiye osobo okhranyayemyye prirodnyye territorii mira"* (Intern. Sci.-Pract. Conf. "Marine specially protected natural areas of the world"), Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2019, pp. 33–34.

Kepel, A.A., Results of monitoring of alien species in the littoral zone and in fin fouling in the Far Eastern Marine Biosphere Reserve FEB RAS, in *X Far-Eastern Conference on Nature Conservation Problems: materials of a conference*, Blagoveshchensk: BSPU-Press, 2013.

Lazaryuk, A.Yu., Radovets, A.V., and Khristoforova, N.K., Environmental impact of Typhoon Maysak on the mainland coast of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve in september 2020 (Primorsky Krai, Russia), *Biota i sreda prirodnikh territoriy*, 2021, no. 4, pp. 85–101. doi 10.37102/2782-1978_2021_4_4

Latypov, Yu.Ya., Protected water area in Peter the Great Bay, *Nauka v Rossii*, 2013, no. 4(196), pp. 87–92.

Lebedev, E.B., Bivalve mollusks (Mollusca, Bivalvia) of the Far Eastern Marine Reserve (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Biodiversity and Environment of Far East Reserves*, 2015, no. 1, pp. 32–53.

Lebedev, E.B., Martynov, A.V., and Korshunova, T.A., Gastropod mollusks (Mollusca, Gastropoda) of the Far Eastern Marine Reserve (Russia), *Biodiversity and Environment of Far East Reserves*, 2015, no. 1, pp. 54–86.

Lebedeva, N.V., Drozdov, N.N., and Krivolutskiy, D.A., *Bioraznoobrazie i metody yego otsenki* (Biodiversity and methods for its assessment), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1999.

Likht, F.R., *Sovremennoye prikontinental'noye osadkoobrazovaniye i rekonstruktsii odnotipnykh obstanovok v geologicheskom proshlom Azii* (Modern continental sedimentation and reconstructions of similar environments in the geological past of Asia), Vladivostok: Dal'nauka, 1993.

Lysenko, V.N., Zharikov, V.V., and Lebedev, A.M., Current status of populations of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) in the Far Eastern Marine Reserve, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 2, pp. 164–171.

Martynova, M.V., Influence of the stirring-up of bottom sediments on the ecosystems of water bodies, *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2007, no. 4, pp. 38–42.

Ozolinsh, A.V., Research of the subtidal reserve: history, methodology, results, in *Far-Eastern Marine Biospherical Reserve. Research activities*, Tyurin, A.N., ed., Vladivostok: Dal'nauka, 2004, vol. 1, pp. 373–394.

Ozolin'sh, A.V. and Nekrasova, M.I., The Forming of spatial structure of the soft bottom communities around Furugel'm Island (Sea of Japan), *Oceanology*, 2003, vol. 43, no. 1, pp. 83–90.

Pesenko, Yu.A., *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* (Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies), Moscow: Nauka, 1982.

Petrenko, V.S., and Manuylov, V.A., *Fizicheskaya geografiya zaliva Petra Velikogo* (Physical geography of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ, 1988.

Sazykin, A.M., Somova, E.G., Shirokova, A.V., and Kiyanitsin, V.V., Landscape justification for sustainable recreational activities on the territory of the Gamovsky tourist cluster (Primorsky Territory), in *Mater. 3-y mezhdunar. nauchno -prakt. konf. "Rekreatsionnaya Geografiya i trendy razvitiya turizma"* (Materials of the 3rd Int. Sci. Pract. Conf. "Recreational geography and tourism development trends"), Irkutsk: Institut geografii imeni V.B. Sochavy SO RAN Irkutsk, 2021, pp. 277–281.

Khoroshev, A.V., Chizhova, V.P., Chubar', E.A., Gulbina, A.A., and Malyutin, A.N., Landscape-ecological rationales for planning recreational loads in the buffer zone of the Far-Eastern Marine Nature Reserve, *Problemy regional'noy ekologii*, 2016, no. 1, pp. 81–86.

Shulkin, V., Zharikov, V., Lebedev, A., and Bazarov, K., Assessment of carbon stock in the *Zostera marina* Linnaeus, 1753 ecosystem on sandy sediments of the Srednyaya Bight (Peter the Great Bay, the Sea of Japan) based on field observations, *Morskoy biologicheskiy zhurnal*, 2024, vol. 9, no. 2, pp. 98–114. doi 10.21072/mbj.2024.09.2.07

Latypov, Yu.Ya., Macrozoobenthos soft soils of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve, *J. Environ. Ecol.*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 40–51. doi 10.5296/jee.v4i1.2944

Meadows, D., Foltz, R.B., and Geehan, N., *Effects of All Terrain Vehicles on Forest Lands and Grasslands*, San Dimas: San Dimas technology and development center, 2008.

Meyer, K.G., *Managing Degraded Off-Highway Vehicle Trails in Wet, Unstable, and Sensitive Environments*, Missoula: Missoula technology and development center, 2002.

Pickering, C.M., Hill, W., Newsome, D., and Leung, Y-F., Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America, *J. Environ. Management*, 2010, vol. 91, pp. 551–562.

Поступила в редакцию 17.10.2024 г.

После доработки 26.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 17.10.2024; approved after reviewing 26.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*



Научная статья

УДК 631.423.4(265.54)**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-905-916****EDN: WHQUNV**

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БУХТЫ КИЕВКА ЯПОНСКОГО МОРЯ

О.В. Нестерова, А.В. Брикманс, В.Г. Трегубова, А.М. Гилёв*Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10

Аннотация. Представлены результаты анализа донных отложений, отобранных из верхней 10-сантиметровой толщи в ходе экспедиции 83-го рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с помощью геологических колонок с глубин от 12,2 до 99,0 м. Донные отложения бухты Киевка Японского моря характеризуются преимущественно высоким содержанием органического углерода, а по запасам этого элемента их можно отнести к категориям от «средних» до «высоких». Органическое вещество донных отложений имеет высокое содержание базовых биогенных элементов, таких как азот, фосфор и калий. По гранулометрическому составу донные отложения бухты Киевка относятся преимущественно к опесчаненным суглинкам, в составе минерального скелета, как и прибрежных почв, преобладает кремний, алюминий и железо. Корреляционный анализ между всеми исследованными параметрами показал прямую зависимость между долей фракции физической глины и содержанием органического углерода и общего азота в донных отложениях бухты Киевка.

Ключевые слова: донные отложения, гранулометрический состав, органическое вещество, общий азот, геохимический состав

Для цитирования: Нестерова О.В., Брикманс А.В., Трегубова В.Г., Гилёв А.М. Характеристика донных отложений бухты Киевка Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 905–916. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-905-916. EDN: WHQUNV.

* Нестерова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, *nesterova.ov@dvfu.ru*, ORCID 0000-0002-3463-0962; Брикманс Анастасия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, *brikmans.av@dvfu.ru*, ORCID 0000-0003-0071-3951; Трегубова Валентина Григорьевна, кандидат биологических наук, доцент, *tregubova.vg@dvfu.ru*, ORCID 0009-0006-6300-5046; Гилёв Андрей Михайлович, магистр, *gilev.am@dvfu.ru*, ORCID 0009-0008-2830-4272.

Original article

Characteristics of bottom sediments in the Kievka Bay of the Japan Sea

Olga V. Nesterova*, Anastasia V. Brikmans, Valentina G. Tregubova***, Andrey M. Gilyov******

*—**** Far Eastern Federal University, 10, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia

* Ph.D., assistant professor, nesterova.ov@dvfu.ru, ORCID 0000-0002-3463-0962

** Ph.D, assistant professor, brikmans.av@dvfu.ru, ORCID 0000-0003-0071-3951

*** Ph.D, assistant professor, tregubova.vg@dvfu.ru, ORCID 0009-0006-6300-5046

**** master, gilev.am@dvfu.ru, ORCID 0009-0008-2830-4272

Abstract. Basic properties of bottom sediments, including organic carbon content, are determined to understand biogeochemical cycles in the marine environment. The samples were collected using a geological column sampler from the upper 10-centimeter layer of the sediments at the depth of 12.2–99.0 m in Kievka Bay in the 83rd cruise of RV Academician M.A. Lavrentiev. The bottom sediments in Kievka Bay are distinguished by significant content of organic carbon, in the medium to high categories, and high levels of major nutrients in the organic fraction, such as nitrogen, phosphorus and potassium. Their particle-size composition corresponds mainly to sandy loams, with prevalence of silicon, aluminum and iron in the mineral skeleton that is similar to coastal soils. The content of organic carbon and total nitrogen in the bottom sediments of Kievka Bay correlates positively with the portion of physical clay fraction. The same analytical techniques used for both bottom sediments and coastal soils allow to consider the continental-ocean transition zone as a single system.

Keywords: bottom sediments, particle-size composition, organic matter, total nitrogen content, geochemical composition

For citation: Nesterova O.V., Brikmans A.V., Tregubova V.G., Gilyov A.M. Characteristics of bottom sediments in the Kievka Bay of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 905–916. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-905-916. EDN: WHQUNV.

Введение

Оценка базовых показателей донных осадков как основы морских экосистем является важной задачей. Биогеохимические циклы в донных и придонных экосистемах имеют схожие механизмы с наземными почвами. Депонированный в осадки углерод — главный показатель для понимания механизмов формирования запасов углерода в морских экосистемах. Зона перехода от континента к океану имеет большое значение с точки зрения многих фундаментальных наук. Для сравнительного анализа почвенных наземных и морских экосистем удобнее всего использовать унифицированные методики. Очевидно, что использование одних и тех же методов для определения базовых характеристик как почв, так и донных осадков свидетельствует о глобальных процессах преобразования и накопления веществ на нашей планете без разделения на сушу и океан. В современном почвоведении прибрежные подводные морские осадки, формирующиеся в литоральной зоне, нередко рассматривают как аналоги почв [Soil Taxonomy..., 1999]*, это приводит к появлению в публикациях различных названий биокосных тел, сформированных на дне водоёмов. Например, под термином «аквапочвы» авторы понимают биокосные тела, формирующиеся на дне водоёмов под воздействием почвообразовательных процессов, результатом которых является появление органоминерального комплекса — гумуса [Ивлёв, Нестерова, 2004]. «Аквazём» — термин, предложенный В.А. Серышевым [1986] для обозначения почв, формирующихся как в морских, так и в пресноводных водоёмах. В работе В.К. Бахнова [2002] рассматривается предложение внесения в почвенную классификацию аквазёмов как самостоятельного таксона. В американской почвенной классификации используется почвенный таксон «aquents», формирующийся в болотах, на берегах озёр, в поймах рек, где почвы постоянно насыщены водой и по гранулометрическому составу преимущественно имеют песчаную фракцию*.

* Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Washington: USDA, 1999. 2nd ed. 696 p.

Применение схожих методик для оценки как почв, так и донных отложений можно найти в работах некоторых исследователей. Так, метод бихроматного окисления для определения органического углерода, используемый в почвоведении [Аринушкина, 1970], подходит и для донных осадков с некоторыми модификациями [Романкевич, 1974]. Метод определения гранулометрического состава донных отложений возможен по ГОСТ 12536-2014, включающему ситовой и пипеточный методы, в основе которых лежат методики, предложенные Н.А. Качинским [1958] для почв и В.П. Петелиным [1967] для донных отложений.

Таким образом, мы предлагаем использовать унифицированный подход к изучению биокосных тел независимо от их происхождения для характеристики базовых процессов, протекающих в зоне перехода от континента к океану. Цель исследования — оценка содержания органического углерода и его запасов в верхнем слое донных отложений бухты Кивка, концентраций азота и фосфора как важнейших биогенных элементов, а также гранулометрического состава, влияющего на накопление органического вещества в океане с помощью методов, используемых в почвоведении.

Материалы и методы

Объектами исследования являются донные отложения, отобранные в ходе экспедиции 83-го рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев» с помощью геологических колонок с глубин от 12,2 до 99,0 м (глубина без учёта осаждения судна 4,25 м). Образцы отбирались на участках с отсутствием растительности. В работе использованы образцы, отобранные из верхней 10-сантиметровой толщи, характеризующей современные процессы седиментогенеза в шельфовой зоне бухты Кивка, расположенной в зал. Петра Великого Японского моря в Приморском крае (рис. 1).

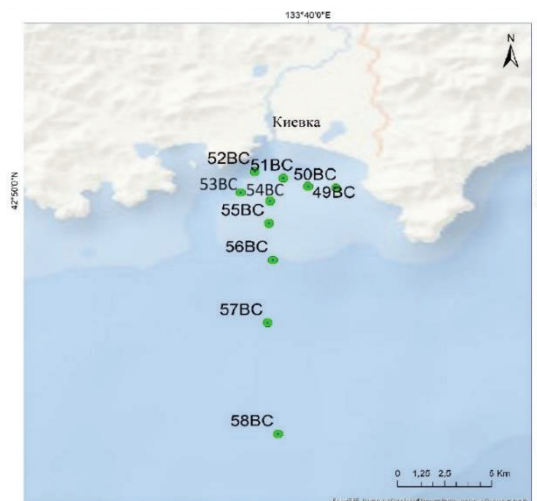


Рис. 1. Карта-схема отбора образцов донных отложений бухты Кивка

Fig. 1. Scheme of bottom sediments sampling in the Kivka Bay

В исследуемых образцах определяли кислотно-щелочные свойства потенциометрическим методом с помощью рН-метра Mettler Toledo [ГОСТ 26423-85]; влажность донных отложений — термостатно-весовым методом [Роде, 1965]; плотность твердой фазы — пикнометрическим [Растворова, 1983]; гранулометрический состав образцов — сито-пипеточным [Качинский, 1958; Шеин и др., 2001] с использованием 4 %-ного раствора пиррофосфата натрия [Шеин и др., 2001]; содержание органического углерода — методом бихроматного окисления [Аринушкина, 1970]; содержание общего азота — методом Кьельдаля [Аринушкина, 1970]; содержание доступных фосфатов — спектрофотометрическим методом Кирсанова [Аринушкина, 1970]; калий — пламенно-фотометрическим методом [Аринушкина, 1970]; валовый анализ содержания химических элементов (макроэлементов) — титриметрическим методом [Аринушкина, 1970].

Запасы органического углерода в донных отложениях для 30-сантиметрового слоя были рассчитаны по методу, предложенному Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной [1981]. Для выявления статистически значимых различий между исследуемыми параметрами был использован однофакторный дисперсионный анализ зависимостей (ANOVA), анализ каждого образца проводился в 5-кратной повторности.

Результаты и их обсуждение

К базовым параметрам, характеризующим специфику седиментогенеза и функционирования донных и придонных эценозов, влияющим на глобальные циклы элементов в морских и наземных экосистемах, мы относим гранулометрический состав (C_{org}), органический углерод, кислотно-щелочные свойства, содержание общего азота, доступный фосфор, обменный калий и валовое содержание базовых элементов (SiO_2 , MnO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5), т.е. те свойства, которые связаны не только с экологическим состоянием донных отложений, но и с накоплением и качественным составом органического вещества.

При исследовании донных осадков прибрежных акваторий была учтена гидрологическая сеть территории и выявлены зоны выноса пресных вод в морскую акваторию. В устьях рек в зоне смешения пресной и морской воды происходит образование малорастворимых соединений, которые могут служить подтверждением локального изменения геохимической обстановки на стыке территории и акватории. Также необходимо учитывать разбавление морских вод речными, что влечет за собой также изменение pH среды, влияющей на геохимическую и экологическую обстановку в акватории.

Базовые параметры, характеризующие состав органического вещества и кислотные основные свойства донных отложений бухты Киевка, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Базовые параметры органического вещества донных отложений бухты Киевка
Table 1
Basic properties of bottom sediments in the Kievka Bay

Объект исследования	pH _{H2O}	C _{орг} , %	N, %	C/N	Запасы органического углерода, т/га	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	K ₂ O, мг/100 г почвы
GA83-49	6,10 ± 0,04	0,38 ± 0,06	0,54 ± 0,10	0,70	13,6 ± 2,6	15,2 ± 0,2	9,8 ± 0,4
GA83-50	6,42 ± 0,03	2,01 ± 0,05	1,02 ± 0,10	1,96	65,8 ± 2,2	20,5 ± 0,7	11,7 ± 0,3
GA83-51	6,64 ± 0,04	1,67 ± 0,05	0,68 ± 0,10	2,43	57,5 ± 2,2	16,7 ± 0,3	18,6 ± 0,4
GA83-52	6,40 ± 0,03	0,88 ± 0,06	0,61 ± 0,10	1,43	28,5 ± 2,6	20,7 ± 0,8	28,2 ± 0,5
GA83-53	6,43 ± 0,03	1,01 ± 0,05	0,37 ± 0,10	2,70	36,8 ± 2,2	28,2 ± 0,8	9,5 ± 0,5
GA83-54	6,02 ± 0,04	1,85 ± 0,03	0,56 ± 0,10	3,26	69,8 ± 2,0	24,7 ± 0,5	6,6 ± 0,6
GA83-55	6,58 ± 0,04	1,40 ± 0,06	0,43 ± 0,10	3,19	73,0 ± 2,6	19,0 ± 0,6	6,0 ± 0,6
GA83-56	5,78 ± 0,04	2,88 ± 0,08	0,80 ± 0,10	3,56	161,6 ± 3,5	19,7 ± 0,9	2,9 ± 0,9
GA83-57	6,02 ± 0,03	1,08 ± 0,03	0,56 ± 0,10	1,91	40,9 ± 2,0	25,5 ± 0,4	20,3 ± 0,5
GA83-58	6,67 ± 0,03	1,34 ± 0,04	0,68 ± 0,10	1,94	47,4 ± 1,7	24,7 ± 0,4	6,1 ± 0,5

Кислотно-щелочные свойства донных отложений отражают интенсивность окислительно-восстановительных процессов, скорость разложения органического вещества, микробную активность, а также свойства минерального скелета [Лихт и др., 1983; Полохин и др., 2021]. Исследования показали, что по кислотно-щелочным свойствам донные отложения находятся в диапазоне от 5,78 до 6,64 (рис. 2, табл. 1), что попадает в категорию от «слабокислой» до «близкой к нейтральной» pH [Аринускина, 1970]. Поскольку исследуемые точки отбора находятся на небольшом удалении от береговой линии и устья р. Киевка и отобраны на относительно небольших глубинах, такие значения вполне понятны.

Исследование закономерностей преобразования, распределения и общего круговорота органического вещества в океане, а также накопления его в осадках имеет

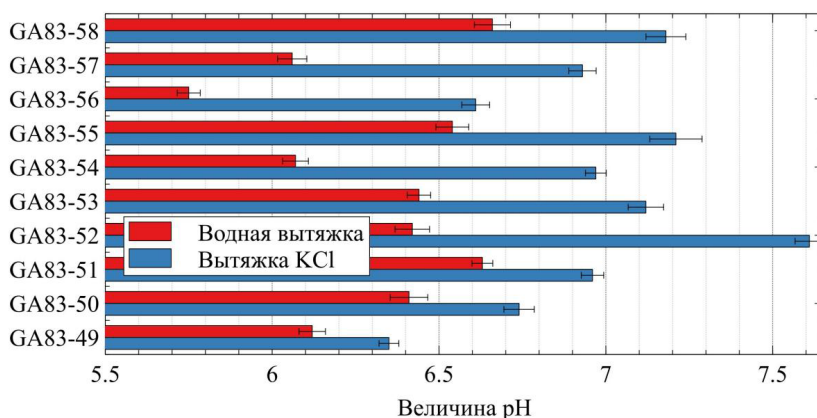


Рис. 2. Кислотно-основные свойства донных осадков бухты Киевка

Fig. 2. Acid and base properties of bottom sediments in the Kievka Bay

большое значение для геохимии, литологии, географии, биогеоценологии [Романкевич, 1977]. Положение о планетарной геологической роли живого и неживого органического вещества является фундаментальной основой учения В.И. Вернадского о биосфере. Захоронение органического вещества в осадках конечных водоемов стока указывает на неполную сбалансированность системы синтеза, т.е. разложения органического вещества, которое в зависимости от разных обстановок осадконакопления различается в сотни раз. Состав продуктов катагенеза органического вещества во многом унаследован от состава самого органического вещества, которое поступило на дно и изменилось биогеохимическими процессами в диагенезе [Романкевич, 1977].

Исследования содержания органического углерода в донных отложениях бухты Киевка играют важную роль в разработке модели циркуляции углерода в донных и придонных экосистемах, что в свою очередь раскрывает особенности депонирования углерода на этих акваториях.

Наиболее существенными источниками поступления осадочного материала являются твердый сток рек, абразия, биологическая продуктивность. Нативное органическое вещество в донных отложениях образуется в основном под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов. В нашем случае это речной сток (см. рис. 1).

В донных отложениях бухты Киевка органическое вещество распределено неравномерно. Содержание более 1,5 % органического углерода (табл. 1) приходится на четыре точки (50, 51, 54 и 56), где значения варьируют от 1,65 до 2,88 %. Наименьшее (менее 0,5 %) приходится на точку 49 с показателем 0,38 %. Для почв суши такие величины являются крайне низкими, а для донных осадков Японского моря отмечаются для песчаных грунтов [Романкевич, 1977; Лихт и др., 1983]. В среднем содержание органического углерода в донных отложениях бухты Киевка варьирует от 0,88 до 1,40 %, что соответствует «выше среднему» содержанию согласно шкале, предложенной Д.С. Орловым и Л.А. Гришиной для почв суши [1981], и вполне соотносится с данными исследователей, изучавших состав и свойства донных осадков Японского моря [Романкевич, 1977; Лихт и др., 1983].

Гранулометрический состав наследуется от почвообразующих пород и определяет основные свойства как почв суши, так и донных осадков, а именно: физические, физико-химические и химические. Соотношение содержания фракций физического песка и физической глины объясняет механизмы закрепления органического вещества в поверхностном слое донных отложений. Как правило, морские осадки, в которых преобладает фракция физической глины, имеют более высокое содержание органического вещества [Романкевич, 1977].

По гранулометрическому составу исследуемые донные отложения по классификации Н.А. Качинского [1958] относятся преимущественно к опесчаненным суглинкам

(рис. 3). По классификации П.Л. Безрукова и А.П. Лисицына [1960] это мелкие пески и крупные алевроиты.

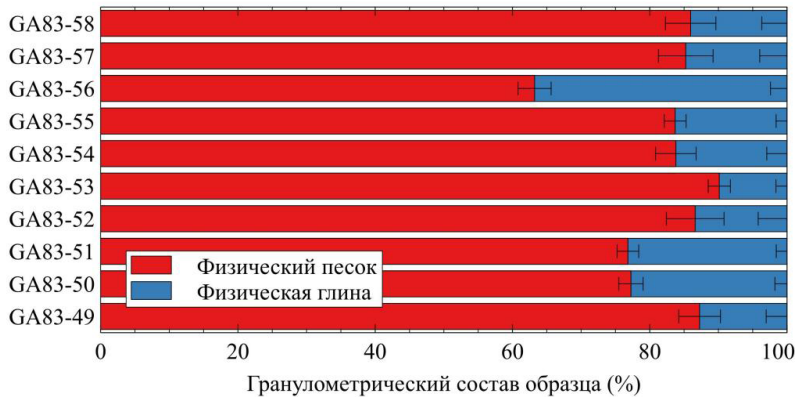


Рис. 3. Гранулометрический состав донных отложений бухты Киевка, %
Fig. 3. Particle-size composition of bottom sediments in the Kievka Bay, %

У части исследуемых образцов наблюдается повышенное содержание мелко-дисперсных фракций. Так, в точках 50, 54, 56 фракция песка снижается и увеличивается фракция пыли и глины, что позволило отнести их к опесчаненному суглинку, опесчаненной глине и глине (рис. 3, табл. 1) или алевроитам. Для этих же образцов было отмечено более высокое содержание органического углерода — от 1,85 до 2,88 % (рис. 4).

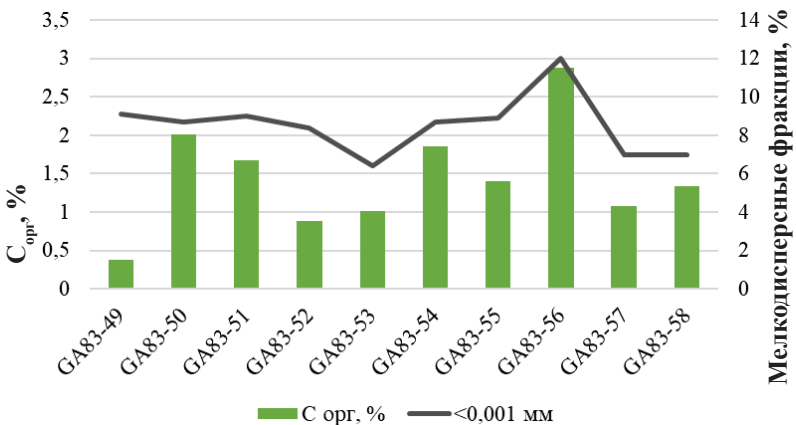


Рис. 4. Содержание органического углерода и фракций < 0,001 мм в донных отложениях бухты Киевка
Fig. 4. Content of organic carbon and the particle-size fraction < 0.001 mm in bottom sediments of Kievka Bay

Такое распределение органического углерода и повышенного содержания мелкодисперсных частиц в донных отложениях может быть связано с распространением ареалов различных сообществ макробентоса [Галышева, Коженкова, 2023], в том числе морской травы *Zostera marina*. Благодаря наличию *Z. marina* в прикорневой зоне создаются условия для аккумуляции илистых и коллоидных частиц, что в свою очередь влияет на накопление органического углерода. Ю.А. Галышева и С.И. Коженкова [2023] отмечают, что бухта Киевка в целом характеризуется высоким разнообразием условий среды, что отражается на общем таксономическом разнообразии макробентоса, а также на более равномерном распределении обилия между фито- и зообентосом по сравнению с южными и особенно более северными акваториями Приморского края. Кроме влияния *Z. marina*, также в исследуемой бухте наблюдается

наличие терригенного стока (влияние р. Киевка), что связано с привнесом почвенных частиц различного размера совместно с органическим веществом в акваторию бухты.

Для исследуемой территории были рассчитаны запасы органического углерода в 30-сантиметровом слое донных осадков (табл. 1) по методике, предложенной Д.С. Орловым с соавторами [2004], которая позволяет понять, сколько органического углерода депонировано в донные отложения. Поскольку большинство почв суши имеет мощность поверхностного горизонта около 30 см и такое значение рекомендовано авторами методики, то и мы для расчета использовали эту мощность. В целом рассчитанные значения запасов органического углерода в донных отложениях бухты Киевка находятся в диапазоне от «средних» до «высоких» (от 36,8 до 67,5 т/га). Исключение составляют только некоторые исследуемые точки, а именно пробы со ст. 49 (13,6 т/га), с «низким» значением и пробы со ст. 56, где зафиксирован показатель со «сверхвысоким» содержанием (161 т/га, табл. 1), «очень высокий» (от 66 до 73 т/га) приходится на точки 50, 54, 55, что вполне логично, так как для этих донных отложений характерно высокое содержание органического углерода и преобладание фракции пыли и ила.

Азот является основным и обязательным элементом для всех живых организмов. Он участвует в интенсивном биогеохимическом круговороте и тесно связан с органическим веществом. Цикл азота очень сложен, а в условиях морской среды происходит ассимиляция его органических и неорганических соединений, в том числе и газообразного [Романкевич, 1977]. Также при полной минерализации органического вещества азот превращается в аммонийные соли, которые благодаря работе бактерий окисляют его в нитратную и нитритную форму. По содержанию общего азота в морских отложениях (рис. 5, табл. 1) большая часть точек находится в диапазоне от 0,5 до 1,0 %. Для почв суши норма содержания общего азота находится в пределах 0,1 до 0,5 % [Аринушкина, 1970]. Для донных отложений Японского моря отмечаются диапазоны около 0,1–0,2 % [Романкевич, 1977], что также соотносится с нашими данными.

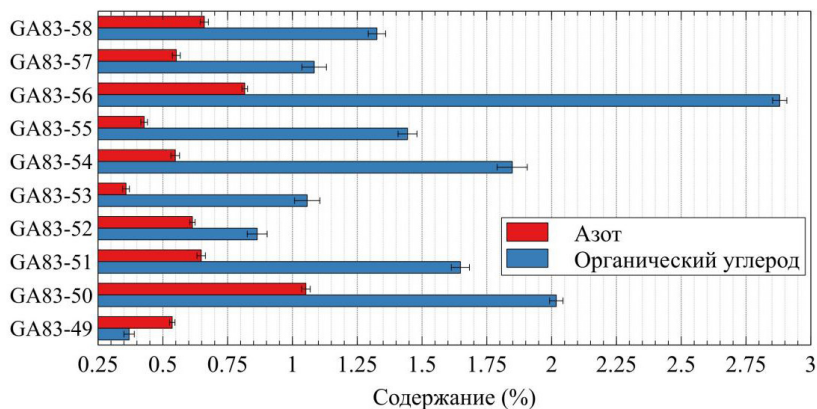


Рис. 5. Содержание органического углерода и общего азота в донных отложениях бухты Киевка

Fig. 5. Organic carbon and total nitrogen content for bottom sediments in the Kievka Bay

Для донных отложений была рассчитана степень обогащенности органического углерода азотом (соотношение C/N), которая составила от 0,7 до 3,6 (табл. 1), что характерно для очень бедных органическим веществом почв и обусловлено высокой долей минеральных соединений азота [Орлов, Гришина, 1981].

Фосфор существует в море в виде минеральных и органических соединений в различных формах, является важным биогенным элементом [Романкевич, 1977] и входит в состав органического вещества донных осадков. Исследования показали, что содержание доступных фосфатов в донных отложениях бухты Киевка варьирует от 15,2 до 28,2 мг/100 г почвы (табл. 1, рис. 6), что является высоким показателем обе-

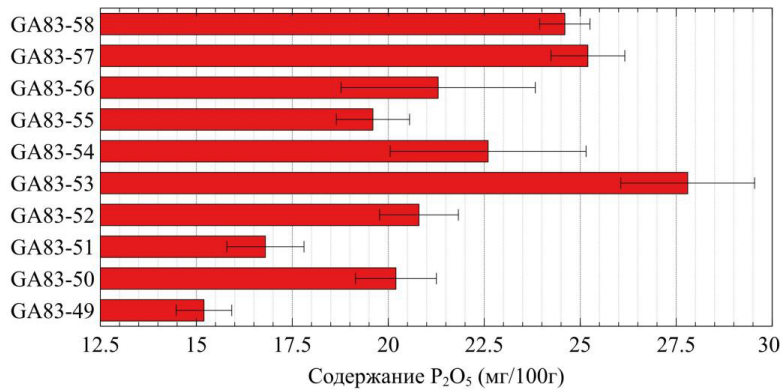


Рис. 6. Диаграмма распределения содержания доступных фосфатов в исследуемых образцах

Fig. 6. Distribution diagram of available phosphates content in the samples bottom sediments from Kievka Bay

спеченности, так как оптимальные значения для почв суши изменяются в диапазоне от 10 до 15 мг/100 г почвы.

Такое распределение доступного фосфора в донных отложениях может быть связано со спецификой химического состава макробентоса на исследуемой территории, его численности и ареалов распространения.

Калий является важнейшим биогенным компонентом наряду с азотом и фосфором и причисляется к трем базовым элементам питания. По содержанию обменного калия (табл. 1) показатели в донных отложениях варьируют от 6,0 до 28,2 мг/г, что связано прежде всего с гранулометрическим составом, а именно с его утяжелением (увеличивается содержание частиц физической глины < 0,01 мм).

Геохимический состав донные отложения, как правило, наследуют от минералов, слагающих осадочную толщу или в случае активного терригенного стока этот состав может иметь сходство с наземными почвами. Исследуемые донные отложения в составе минерального скелета имеют преимущественно тот же состав, что и почвы суши, с преобладанием кремния, алюминия и железа (табл. 2)*, что может свидетельствовать о терригенном происхождении осадочного материала, формирующего исследуемые донные отложения.

Таблица 2

Геохимический состав донных отложений бухты Киевка по некоторым элементам, %

Table 2

Geochemical composition by certain elements for bottom sediments in the Kievka Bay, %

Объект исследования	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	MnO ₂	Остальные элементы
GA83-49	35,6 ± 3,0	26,1 ± 2,0	7,9 ± 0,5	4,3 ± 0,2	6,2 ± 1,2	0,12 ± 0,02	0,030 ± 0,005	19,75
GA83-50	57,8 ± 3,0	21,6 ± 2,0	7,1 ± 0,5	3,7 ± 0,2	4,8 ± 1,2	0,15 ± 0,02	0,010 ± 0,005	4,84
GA83-51	62,8 ± 3,0	19,8 ± 2,0	5,6 ± 0,5	3,4 ± 0,2	4,8 ± 1,2	0,14 ± 0,02	0,020 ± 0,005	3,44
GA83-52	61,6 ± 3,0	21,9 ± 2,0	6,0 ± 0,5	4,1 ± 0,2	4,4 ± 1,2	0,13 ± 0,02	0,040 ± 0,005	1,83
GA83-53	58,9 ± 3,0	19,8 ± 2,0	4,8 ± 0,5	3,7 ± 0,2	4,4 ± 1,2	0,13 ± 0,02	0,040 ± 0,005	8,26
GA83-54	56,0 ± 3,0	22,2 ± 2,0	7,6 ± 0,5	4,5 ± 0,2	6,5 ± 1,2	0,22 ± 0,02	0,030 ± 0,005	2,95
GA83-55	54,2 ± 3,0	18,7 ± 2,0	5,7 ± 0,5	3,1 ± 0,2	4,8 ± 1,2	0,16 ± 0,02	0,020 ± 0,005	13,32
GA83-56	49,6 ± 3,0	21,3 ± 2,0	5,4 ± 0,5	3,0 ± 0,2	4,3 ± 1,2	0,22 ± 0,02	0,040 ± 0,005	16,14
GA83-57	53,2 ± 3,0	24,3 ± 2,0	7,9 ± 0,5	5,2 ± 0,2	5,7 ± 1,2	0,25 ± 0,02	0,030 ± 0,005	3,42
GA83-58	52,1 ± 3,0	24,2 ± 2,0	6,1 ± 0,5	5,8 ± 0,2	5,5 ± 1,2	0,23 ± 0,02	0,020 ± 0,005	6,05

* Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, 2011. 632 с.

Для оценки взаимосвязи между исследуемыми параметрами была построена корреляционная матрица (табл. 3).

Таблица 3

Корреляционная матрица

Table 3

Inter-correlation matrix for geochemical properties of bottom sediments in the Kievka Bay

Факторы	Параметр	pH_H ₂ O	pH_KCl	Фракция физичес- кой глины	Фракция физического песка	P ₂ O ₅	Carbon
	Pearson's r	0,560***	—	—	—	—	—
pH_KCl	df	49	—	—	—	—	—
	p-value	< 0,001	—	—	—	—	—
Физичес- кая глина, %	Pearson's r	-0,431**	-0,380**	—	—	—	—
	df	49	49	—	—	—	—
	p-value	0,002	0,006	—	—	—	—
Физичес- кий песок, %	Pearson's r	0,431**	0,380**	-1,000***	—	—	—
	df	49	49	49	—	—	—
	p-value	0,002	0,006	< 0,001	—	—	—
	Pearson's r	0,033	0,404**	-0,338*	0,338*	—	—
P ₂ O ₅ , %	df	48	48	48	48	—	—
	p-value	0,818	0,004	0,016	0,016	—	—
	Pearson's r	-0,347*	-0,201	0,825***	-0,825***	0	—
C _{орг} , %	df	49	49	49	49	48	—
	p-value	0,013	0,158	< 0,001	< 0,001	0,999	—
	Pearson's r	-0,149	-0,320*	0,612***	-0,612***	-0,298*	0,579***
N, %	df	49	49	49	49	48	49
	p-value	0,296	0,022	< 0,001	< 0,001	0,036	< 0,001
* p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001							

Обнаружена значительная зависимость между гранулометрическим составом донных отложений и содержанием азота, углерода и фосфора. В частности, существует прямая зависимость между долей фракции суммы физической глины и содержанием органического углерода и азота. Предположительно это обусловлено ассоциацией органического вещества с илистой фракцией, что подтверждается сильной взаимосвязью между содержанием углерода и азота. Для глинистой фракции — слабая обратная зависимость с содержанием доступных фосфатов.

Для pH водной и солевой вытяжки выявлена слабая обратная зависимость с содержанием глинистой фракции, а именно при снижении величины pH увеличивается доля илистой фракции. Для pH водной вытяжки — слабая обратная зависимость с содержанием углерода и азота и слабая прямая зависимость с содержанием фосфора.

Выводы

Исследуемые донные отложения бухты Киевка Японского моря в среднем имеют высокое содержание органического углерода, и по его запасам их можно отнести к категориям от «средних» до «высоких» по шкале, используемой для почв суши.

Донные отложения бухты Киевка имеют слабокислую и нейтральную реакцию среды.

По гранулометрическому составу исследуемые донные отложения относятся преимущественно к опесчаненным суглинкам или мелким пескам и крупным алевритам.

По обеспеченности общим азотом донные отложения находятся в диапазоне от 0,5 до 1,0 %, что является оптимальным показателем, если использовать шкалу, принятую для почв суши.

Органический углерод донных отложений имеет высокую степень обогащенности азотом (показатель C/N менее 5).

В составе минерального скелета в донных отложениях, как и прибрежных почв, преобладает кремний, алюминий и железо.

Содержание доступных фосфатов и обменного калия в донных отложениях бухты Киевка превышает оптимальные значения, если их сравнивать с почвами суши, что, вероятно, связано с составом и количеством макробентоса на исследуемой территории.

Корреляционный анализ показал прямую зависимость между долей фракции физической глины (менее 0,01 мм) и содержанием органического углерода и общего азота.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы искренне благодарны сотрудникам ТОИ ДВО РАН за помощь в отборе проб донных отложений в ходе экспедиции 83-го рейса на НИС «Академик М.А. Лаврентьев».

The authors are sincerely grateful to colleagues from Pacific Oceanological Institute of the Russian Ac. Sci. for their assistance in sampling bottom sediments during the 83rd cruise of RS Academician M.A. Lavrentiev.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Минобрнауки России № FZNS-2023-0019.

The study was conducted under the State Assignment of the Ministry of Education and Science of Russia No. FZNS-2023-0019.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Статья не содержит никаких исследований с участием животных в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The article does not contain any studies involving animals in experiments performed by any of the authors.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

О.В. Нестерова — разработка программы исследования, аналитическая обработка полученных данных, написание статьи; А.В. Брикманс — анализ проб на содержание азота, фосфора и углерода, гранулометрический анализ, написание статьи; В.Г. Трегубова — геохимический анализ проб донных отложений; А.М. Гилёв — подготовка проб донных отложений к химическому анализу, анализ проб на содержание калия. Все авторы участвовали в обсуждении полученных результатов.

O. V. Nesterova developed a research program, provided general guidance, participated in the data analysis, and wrote and illustrated the text; A. V. Brickmans determined the content of nitrogen, phosphorus and carbon in the samples of sediments, made the particle-size analysis, and partially wrote the text; V. G. Tregubova made geochemical analysis of the sediment samples and partially wrote the text; A. M. Gilev participated in preparation of

the samples for chemical analysis and determined the potassium content in the samples; all authors discussed the results jointly.

Список литературы

- Аринушкина Е.В.** Руководство по химическому анализу почв. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МГУ, 1970. — 487 с.
- Бахнов В.К.** Почвообразование: взгляд в прошлое и настоящее (биосферные аспекты) : моногр. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. — 117 с.
- Безруков П.Л., Лисицын А.П.** Классификация осадков современных морских водоемов // Тр. ИОАН СССР. — 1960. — Т. 32. — С. 3–14.
- Галышева Ю.А., Коженкова С.И.** Макробентос бухты Кивка и условия его существования : моногр. — Владивосток : ДВФУ, 2023. — 180 с.
- Ивлев А.М., Нестерова О.В.** К вопросу об изучении аквапочв // Вестн. ДВО РАН. — 2004. — № 4(116). — С. 47–52.
- Качинский Н.А.** Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения : моногр. — М. : АН СССР, 1958. — 192 с.
- Лихт Ф.Р., Астахов А.С., Ботул А.И. и др.** Структура осадков и фации Японского моря : моногр. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1983. — 287 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С.** Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. — 2004. — № 8. — С. 918–926.
- Орлов Д.С., Гришина Л.А.** Практикум по химии гумуса : учеб. пособие. — М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. — 272 с.
- Петелин В.П.** Гранулометрический анализ донных осадков : моногр. — М. : Наука, 1967. — 128 с.
- Полохин О.В., Макаревич Р.А., Клышевская С.В.** Содержание органического углерода в подводных почвах бухты Троицы (Японское море) // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 12-2(114). — С. 94–98. DOI: 10.23670/IRJ.2021.114.12.050.
- Растворова О.Г.** Физика почв. Практическое руководство. — Л. : ЛГУ, 1983. — 196 с.
- Роде А.А.** Основы учения о почвенной влаге : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1965. — Т. 1. — 665 с.
- Романкевич Е.А.** Биоорганический состав взвеси и донных осадков северо-западной части Тихого океана // Органическое вещество современных и ископаемых осадков и методы его изучения. — М. : Наука, 1974. — С. 33–54.
- Романкевич Е.А.** Геохимия органического вещества в океане : моногр. — М. : Наука, 1977. — 256 с.
- Серышев В.А.** О классификации и номенклатуре подводных почв // Почвоведение. — 1986. — № 5. — С. 27–34.
- Шеин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М. и др.** Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв : метод. руководство. — М. : МГУ, 2001. — 200 с.

References

- Arinushkina, Ye.V.,** *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Soil Chemical Analysis Guide), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1970, 2nd ed.
- Bakhnov, V.K.,** *Soil formation: view in past and present (biospheric aspects)*, Novosibirsk: Sibirskoye otdeleniye Rossiyskoy akademii nauk, 2002.
- Bezrukov, P.L. and Lisitsyn, A.P.,** Classification of sediments of modern marine reservoirs, *Tr. Inst. Okeanol. Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 32, pp. 3–14.
- Galysheva, Yu.A. and Kozhenkova, S.I.,** *Makrobentos bukhty Kiyevka i usloviya yego su-shchestvovaniya* (Macrobenthos of Kiyevka Bay and the conditions of its existence), Vladivostok: Dal'nevostochnyy federal'nyy universitet, 2023.
- Ivlev, A.M. and Nesterova, O.V.,** On studying the aqua-soils, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2004, no. 4(116), pp. 47–52.
- Kachinskiy, N.A.,** *Mekhanicheskiy i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody yego izucheniya* (Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of studying it), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1958.
- Likht, F.R., Astakhov, A.S., Botsul, A.I., Derkachev, A.N., Dudarev, O.V., Markov, Yu.D., and Utkin, I.V.,** *Struktura osadkov i fatsii Yaponskogo morya* (Structure of Sediments and Facies in the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1983.

Orlov, D.S., Biryukova, O.N., and Rozanova, M.S., Revised system of the humus status parameters of soils and their genetic horizons, *Eurasian soil science*, 2004, vol. 37, no. 8, pp. 798–805.

Orlov, D.S. and Grishina, L.A., *Praktikum po khimii gumusa* (Workshop on humus chemistry), Moscow: Mosk. Gos. Univ, 1981.

Petelin, V.P., *Granulometricheskii analiz donnykh osadkov* (Granulometric analysis of bottom sediments), Moscow: Nauka, 1967.

Polokhin, O.V., Makarevich, R.A., and Klyshevskaya, S.V., On the organic carbon content in underwater soils of Bukhta Troitsy (Sea of Japan), *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 12-2(114), pp. 94–98. doi 10.23670/IRJ.2021.114.12.050

Rastvorova, O.G., *Fizika pochv. Prakticheskoye rukovodstvo* (Physics of soils. Practical guide), Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1983.

Rode, A.A., *Osnovy ucheniya o pochvennoy vlage* (Basics of the study of soil moisture), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965, vol. 1.

Romankevich, E.A., Bioorganic composition of suspended matter and bottom impurities in the northwestern part of the Pacific Ocean, in *Organicheskoye veshchestvo sovremennykh i iskopayemykh osadkov i metody yego izucheniya* (Organic matter of modern and fossil sediments and methods for studying it), Moscow: Nauka, 1974, pp. 33–54.

Romankevich, Ye.A., *Geokhimiya organicheskogo veshchestva v okeane* (Geochemistry of organic matter in the ocean), Moscow: Nauka, 1977.

Seryshev, V.A., Classification and nomenclature of underwater soils, *Eurasian soil science*, 1986, no. 5, pp. 27–34.

Shein, E.V., Arkhangelskaya, T.A., Goncharov, V.M., Guber, A.K., Pochatkova, T.N., Sidorova, M.A., Smagin, A.V., and Umarova, A.B., *Polevyye i laboratornyye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv* (Field and laboratory methods for studying the physical properties and regimes of soils), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2001.

Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys, Washington: USDA, 1999, 2nd ed.

Natsional'nyy atlas pochv Rossiyskoy Federatsii (National soil atlas of the Russian), Moscow: Astrel', 2011.

Поступила в редакцию 25.10.2024 г.

После доработки 2.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 25.10.2024; approved after reviewing 2.12.2024; accepted for publication 10.12.2024

Научная статья

УДК [574.587:582.26]/(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-917-934

EDN: YNEQQY



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАКРОБЕНТОСА ТВЕРДЫХ ГРУНТОВ
ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ
АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА, ПОДВЕРГШИХСЯ ВЛИЯНИЮ
ВРЕДНОСНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОСЕНЬЮ 2020 Г.,
ЧЕРЕЗ ГОД ПОСЛЕ ПРИРОДНОЙ КАТАСТРОФЫ

Ю.А. Галышева, В.А. Чиченко, В.Е. Метревели*

Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10

Аннотация. Изложены результаты количественной водолазной съемки макробентоса, выполненной в разных частях Авачинского залива в октябре 2021 г. — через год после вредоносного цветения водорослей и массового замора гидробионтов, отмеченного в нескольких районах прибрежной морской зоны юго-востока Камчатки. Обследован горизонт глубин 4–14 м. Идентифицировано 92 вида, средняя биомасса макробентоса составила $2768,7 \pm 2115,4$ г/м², плотность поселения макрозообентоса — $2449,9 \pm 1502,1$ экз./м². Выявленная нами структура обилия подтвердила результаты исследования камчатских ученых весной 2021 г. Коллегами было установлено, а нашими результатами подтверждено значительное сокращение числа видов и биомассы губок, актиний, брюхоногих моллюсков, иглокожих и асцидий. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в октябре 2021 г. доля указанных групп в биомассе макробентоса твердых грунтов составляла не более 1–2 %. Массовая гибель морских донных организмов, зафиксированная осенью 2020 г., отразилась на структуре донного населения Авачинского залива, в котором произошла существенная перестройка. В октябре 2021 г. доминирующие позиции по числу видов и обилию занимали двустворчатые моллюски, полихеты, а также красные и бурые водоросли. Доминирующий статус тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus*, отмечаемый многократно ранее, сохранился. Субдоминантами по биомассе являлись *Hedophyllum bongardianum*, *Thalassiophyllum clathrus* (Ochrophyta), *Schisobranchia insignis* (Polychaeta) и *Ptilota asplenoides* (Rhodophyta). По сравнению с 2020 г. отмечено увеличение обилия амфипод и десятиногих ракообразных.

Ключевые слова: макробентос, макрозообентос, макрофитобентос, Авачинский залив, количественная оценка, донные сообщества

Для цитирования: Галышева Ю.А., Чиченко В.А., Метревели В.Е. Оценка состояния макробентоса твердых грунтов верхней сублиторали некоторых районов Авачинского залива, подвергшихся влиянию вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г., через год после природной катастрофы // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 917–934. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-917-934. EDN: YNEQQY.

* Галышева Юлия Александровна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X; Чиченко Вероника Александровна, студентка, chichenko.va@dvfu.ru, ORCID 0009-0005-0782-3493; Метревели Вадим Евгеньевич, аспирант, ассистент кафедры, metreveli.ve@dvfu.ru, ORCID 0000-0003-0050-843X.

© Галышева Ю.А., Чиченко В.А., Метревели В.Е., 2024

**Assessment of the state for macrobenthos on solid grounds
in the upper sublittoral in certain areas of Avachinsky Bay impacted
by harmful algal bloom in autumn 2020, a year after the natural disaster**

Yulia A. Galysheva*, Veronica A. Chichenko, Vadim E. Metreveli*****

*—*** Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia

* Ph.D., assistant professor, head of department, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X

** student, chichenko.va@dvfu.ru, ORCID 0009-0005-0782-3493

*** postgraduate student, assistant, metreveli.ve@dvfu.ru, ORCID 0000-0003-0050-843X

Abstract. Results of a quantitative diving survey of macrobenthos in the Avachinsky Bay at southeastern Kamchatka in October 2021 are presented. The survey was conducted in a year after the harmful algal bloom (HAB) with mass death of marine organisms in certain areas of the coastal zone. The depth range of 4–14 m was surveyed. In total, 92 species of macrobenthos were identified, the average biomass of macrobenthos was assessed in 2768.7 ± 2115.4 g/m², and the average abundance — in 2449.9 ± 1502.1 ind./m². The species structure of macrobenthos was similar to the results of survey conducted by Kamchatka researchers in the spring of 2021. Significant reduction in the number of species and biomass was detected then for sponges, anemones, gastropods, echinoderms and ascidia and confirmed again by our data. In October 2021, the portion of these taxonomic groups in the total biomass of macrobenthos on solid soils did not exceed 1–2 % that is evident consequence of significant changes in structure of the bottom community caused by mass death of benthic organisms during HAB in the fall of 2020. A year after the HAB, bivalves and polychaetes, as well as red and brown algae occupied the dominant positions in the community in terms of the species number and abundance, whereas pacific mussel *Mytilus trossulus* dominated by biomass (this species was dominant before the natural disaster and preserved this position) and subdominants were *Hedophyllum bongardianum*, *Thalassiophyllum clathrus* (Ochrophyta), *Schisobranchia insignis* (Polychaeta) and *Ptilota asplenoides* (Rhodophyta). Increasing in abundance of Amphipoda and Decapoda crustaceans was noted in 2021 relative to 2020.

Keywords: macrobenthos, macrozoobenthos, macrophytobenthos, Avacha Bay, quantitative assessment, bottom communities

For citation: Galysheva Yu.A., Chichenko V.A., Metreveli V.E. Assessment of the state for macrobenthos on solid grounds in the upper sublittoral in certain areas of Avachinsky Bay impacted by harmful algal bloom in autumn 2020, a year after the natural disaster, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 917–934. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-917-934. EDN: YHEQQY.

Введение

В последние десятилетия наблюдается тревожная тенденция увеличения случаев вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) в разных частях Мирового океана [Fukuyo et al., 2002; Fu et al., 2012; Griffith, Gobler, 2020; Hallegraeff et al., 2021; Kuroda et al., 2021]. Резкий рост числа микроводорослей в акватории способен критически снизить уровень растворенного кислорода в результате бактериального разложения отмерших клеток самих микроводорослей и их метаболитов и вызвать явления замора (асфиксии и сероводородно-аммиачного отравления) гидробионтов [Жирмунский, Коновалова, 1982; Bondur et al., 2021; Khesina et al., 2021]. Это явление — глобальная проблема, которая вызывает различные негативные последствия для морских экосистем, аквакультуры, рыболовства, экономики, а также здоровья и благополучия человека [Bates et al., 1991; Kazmi et al., 2022]. Прибрежная морская зона п-ова Камчатка — богатейший в отношении морского макробентоса район дальневосточных морей России [Шунтов, 2001]. Осенью 2020 г. в районе юго-восточного побережья Камчатки было зафиксировано обширное по зоне распространения ВЦВ, сопровождавшееся массовой гибелью донных беспозвоночных и привлечение широкое внимание общественности [Токранов и др., 2021, 2024; Khesina et al., 2021; Данилин и др., 2022, 2023; Orlova et al., 2022; Коростелев и др., 2023; Самаян и др., 2023; Токранов, 2024].

Причиной массового замора обитателей прибрежной зоны юго-востока Камчатки осенью 2020 г. признано массовое развитие динофлагелляты *Karenia selliformis* A.J.Haywood, K.A.Steidinger & L.MacKenzie, 2004, не только достигшей чрезвычайно высокой численности клеток в указанный период, но и продуцирующей опасный для организмов токсин [Orlova et al., 2022]. Таким образом, на сегодняшний день контроль экологического состояния данного района прибрежной морской части является одной из наиболее важных задач при рассмотрении экологической безопасности и развития Камчатского региона. Индикатором экологического благополучия прибрежных экосистем можно считать бентосные сообщества [Мощенко и др., 2022, 2023].

В связи с этим цель работы — охарактеризовать состав, показатели обилия и структуры макробентоса твердых грунтов верхней сублиторали некоторых районов Авачинского залива через год после ВЦВ осенью 2020 г. и дать оценку выявленным изменениям его благополучия.

Материалы и методы

Отбор проб макробентоса проведен в период с 5 по 13 октября 2021 г. на десяти станциях в различных частях Авачинского залива в районах, подвергшихся в 2020 г. массовому цветению микроводорослей. В число районов исследования вошли бухты Лиственничная, Вилючинская, Спасения, Малая Лагерная, а также мыс Налычева и о. Крашенинникова (рис. 1, табл. 1). Выполнен водолазами с борта парусной яхты «Iron Lady» с учетных площадок в 1 м² в трех повторностях на каждой станции. Параллельно проводилась подводная фотофиксация мест отбора и макробентоса. Собранный материал доставлен на борт яхты в питомцах с ячейей 0,5–1,0 мм. Первичную обработку бентоса вели на борту судна. Из проб отбирали водоросли-макрофиты, разбирали по видам, взвешивали, образцы неидентифицированных видов закладывали в гербарий для дальнейшего их определения.

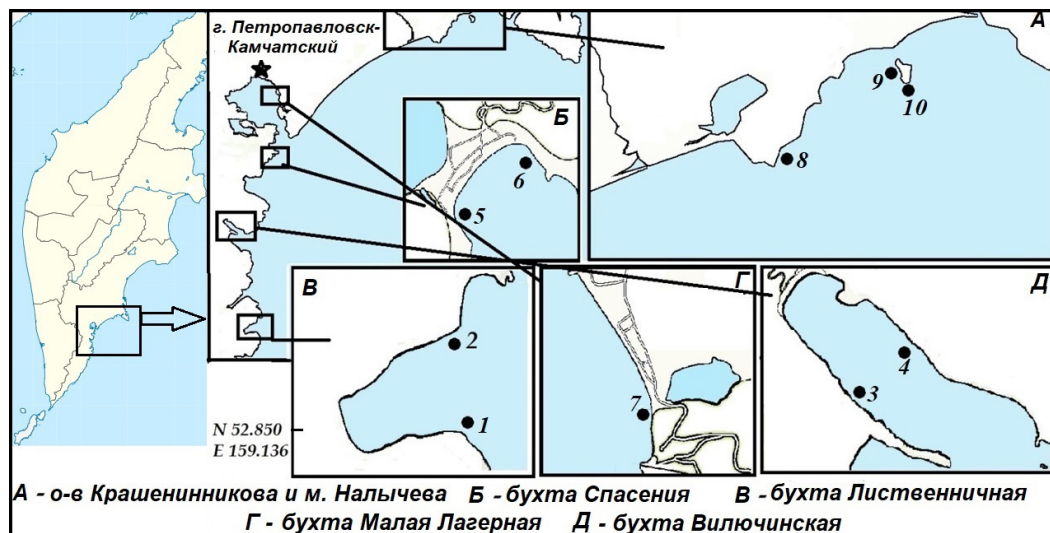


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб макробентоса в Авачинском заливе: 1–10 см. в табл. 1

Fig. 1. Scheme of samplings in the Avachinsky Bay: 1–10 see Table 1

Зообентос и смыв с водорослей пропускали через систему гидробиологических сит с наименьшей ячейей 1 мм, фиксировали 4 %-ным формалином и вместе с гербарием перевозили во Владивосток. Дальнейшая идентификация, количественные оценки и обобщение данных проведены в лабораториях Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ДВФУ. Взвешивание осуществлено на электронных весах с точностью $\pm 0,1$ г. Всего отобрано и обработано 30 количественных проб макробентоса.

Характеристики станций отбора проб макробентоса

Table 1

Characteristics of macrobenthos sampling stations

№ станции	Район	Координаты	Глубина, м	Грунт
1	Бухта Лиственничная	52°22'441N 158°32'974E	5	Валун
2	Бухта Лиственничная	52°22'837N 158°53'695E	6	Скала
3	Бухта Вилючинская	52°37'095N 158°26'653E	6	Скала, гравий, ракуша
4	Бухта Вилючинская	52°37'949N 158°27'407E	4	Валун, песок, ракуша
5	Бухта Спасения	52°82'407N 158°59'972E	7	Валун
6	Бухта Спасения	52°82'862N 158°60'564E	4	Валун
7	Бухта Малая Лагерная	52°93'290N 158°68'754E	4	Скала
8	Мыс Налычева	53°09'865N 159°24'311E	7	Песок, валун
9	О. Крашенинникова	53°12'960N 159°32'046E	10	Скала
10	О. Крашенинникова	53°12'464N 159°32'870E	14	Скала

Для идентификации основных групп животных использовали атласы [Надточий, Прокопенко, 2006; Атлас..., 2010а–в, 2016; Слизкин, 2010; Лутаенко, Волвенко, 2022]. Систематическая принадлежность видов проверена по международной базе данных WoRMS.

Результаты и их обсуждение

Всего в составе морского макробентоса верхних горизонтов шельфовой зоны обследованных районов юго-востока Камчатки в результате съемки первой половины октября 2021 г. выявлено 92 вида из 16 таксономических групп ранга не ниже отряда. В таксономической структуре донного населения по числу видов преобладают красные и бурые водоросли, десятиногие ракообразные, полихеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски (рис. 2).

На эти шесть групп приходится суммарно 73 вида, или 79,4 % общего видового богатства. Доля макрофитов в общем видовом списке составляет 54,3 %, макрозообентоса — 45,7 %.

Видовое обилие макробентоса (число видов на станцию) варьировало от 12 до 33. Максимальное видовое разнообразие отмечено в бухтах Лиственничная и Вилючинская, а также в районе о. Крашенинникова (ст. 1, 2, 3, 4, 9, 10) (рис. 3). Средний показатель общего видового обилия макробентоса составляет $23,8 \pm 8,4$ вида (табл. 2). В составе проб, наиболее богатых водорослями, обнаружены многочисленные амфиподы и мальки рыб, которые нами обозначены как «смыв», отнесены к обитателям пелагиали водорослевого пояса и исключены из подсчета показателей собственно донных организмов. Видовое обилие в пробах «смыва» водорослевого пояса варьировало от 3 до 10 видов на станцию.

По частоте встречаемости (отношению числа проб, в которых встречался вид, к общему числу проб) в макробентосе доминируют 11 наиболее распространенных видов, имеющих этот показатель более 40 %: красные водоросли *Ptilota asplenioides* (92,31 %),

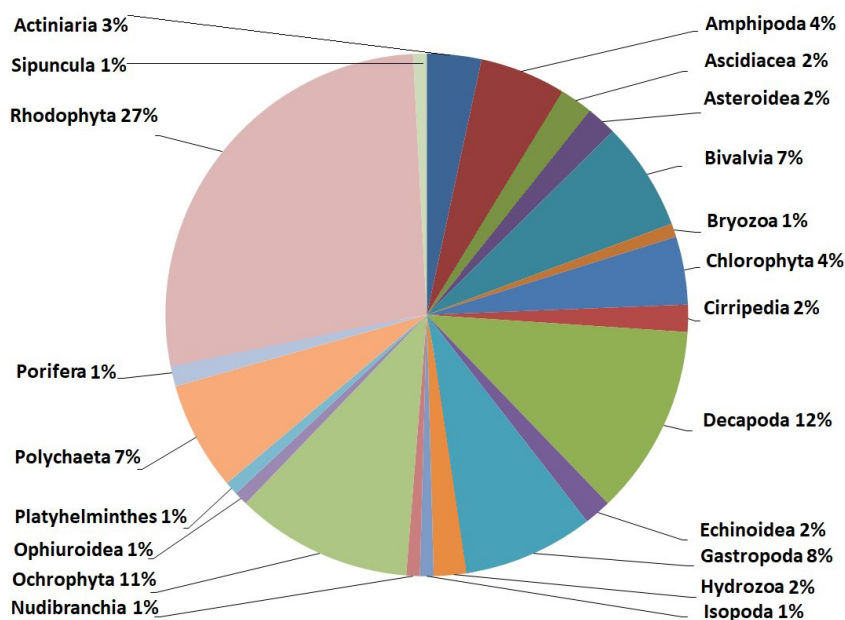


Рис. 2. Таксономическая структура видового богатства макробентоса твердых грунтов Авачинского залива в октябре 2021 г.

Fig. 2. Taxonomic structure of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021

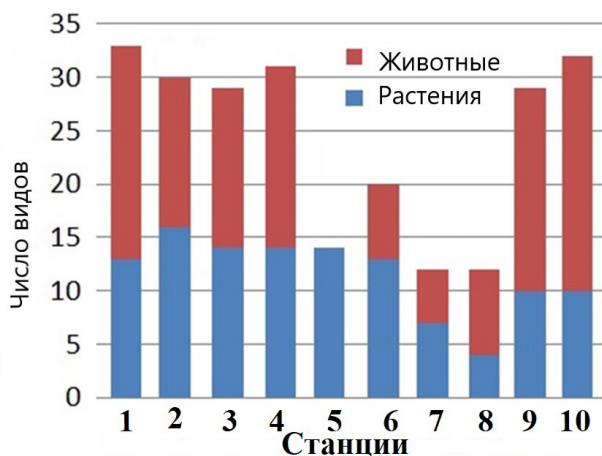


Рис. 3. Распределение видового разнообразия макробентоса на станциях отбора проб

Fig. 3. Species diversity of macrobenthos in the Avachinsky Bay in October 2021, by sampling stations

Phycodrys riggii (61,54 %) и *Odonthalia kamtschatica* (53,85 %), двустворчатые моллюски *Mytilus trossulus* (76,92 %) и *Hiatella arctica* (53,85 %), бурые водоросли *Hedophyllum bongardianum* (69,23 %), *Thalassiophyllum clathrus* (46,15 %) и *Alaria marginata* (46,15 %), зеленая водоросль *Ulva fenestrata* (53,85 %), волосатый пятиугольный краб *Telmessus cheiragonus* (46,15 %) и изопода *Idotea aleutica* (46,15 %). Указанные 11 видов составляли «ядро населения» макробентоса твердых грунтов в горизонте глубин до 14 м. На долю «ядра» приходилось 9 % общего видового богатства, 91 % видов составляли «аспект разнообразия».

Средний по обследованному району показатель биомассы составил $2768,7 \pm \pm 2115,4$ г/м², варьируя от 1491,8 до 7120,8 г/м². В общую биомассу наибольший вклад вносят бурые водоросли, двустворчатые моллюски, красные водоросли и полихеты (рис. 4). Доля губок, актиний, брюхоногих моллюсков, иглокожих и асцидий по данным выполненной нами съемки составляла 1–2 % в каждой из групп. Доля Echinoidea (морских ежей) была ничтожно мала и достигала не более 0,1 %, составляя в среднем для обследованного района 2,85 г/м².

Таблица 2
Показатели обилия макробентоса на станциях отбора проб в октябре 2021 г.
Table 2
Abundance of macrobenthos in the Avachinsky Bay in October 2021, by sampling stations

№ станции	Район, глубина, грунт	ЧВ _р	ЧВ _ж	ЧВ _{общ}	Б _р	Б _ж	Б _{общ}	ПП _ж
1	Бухта Лиственничная, 5 м, валун	13	20	33	1707,1 ± 988,9	70,7 ± 52,4	1777,8 ± 1071,4	254,7 ± 179,6
2	Бухта Лиственничная, 6 м, скала	16	14	30	1631,6 ± 1218,7	191,1 ± 84,1	1822,7 ± 856,9	2589,4 ± 1689,5
3	Бухта Вилучинская, 6 м, валун, ракуша	14	15	29	1260,8 ± 1219,4	231,7 ± 158,2	1492,5 ± 1377,5	268,4 ± 213,5
4	Бухта Вилучинская, 4 м, валун, ракуша	14	17	31	1795,5 ± 1539,1	86,1 ± 56,7	1881,6 ± 1635,5	806,3 ± 698,2
5	Бухта Спасения, 7 м, валун	14	0	14	1853,3 ± 918,7	0	1857,3 ± 918,7	0
6	Бухта Спасения, 4 м, валун	13	7	20	1715,6 ± 1272,4	425,8 ± 227,3	2141,4 ± 1478,6	161,8 ± 75,2
7	Бухта Малая Лагерная, 4 м, скала, риф	7	5	12	652,4 ± 521,8	1476,3 ± 642,8	2128,7 ± 1025,2	174,8 ± 83,7
8	Район мыса Налычева, 8 м, песок, камни	4	8	12	1301,4 ± 1131,9	3777,5 ± 2106,7	5078,9 ± 3238,7	3507,1 ± 2646,4
9	Район о. Крашенинникова, 10 м, скала	10	19	29	933,3 ± 313,8	624,4 ± 393,6	1557,7 ± 1206,8	1591,8 ± 1547,5
10	Район о. Крашенинникова, 14 м, скала	10	22	32	797,7 ± 639,8	6323,1 ± 4681,9	7120,8 ± 5421,8	10561,3 ± 7918,4
Ср. знач.		11,5 ± 3,5	12,3 ± 7,1	23,8 ± 8,4	1345,4 ± 350,4	1423,3 ± 2346,6	2768,7 ± 2115,4	2449,9 ± 1502,1

Примечание. Здесь и далее: ЧВ — число видов (растений, животных, общее); Б — средняя биомасса (растений, животных, общая) ± ср. откл. г/м²; ПП_ж — плотность поселения животных, экз./м².

Средняя плотность поселения макрозообентоса составляла 2449,9 ± 1502,1 экз./м² (табл. 2, рис. 5). Максимальные значения этого показателя выявлены в районе бухты Лиственничной (ст. 2), о. Крашенинникова (ст. 9) и мыса Налычева (ст. 8). Абсолютный максимум (без учета «смыва» водорослевого пояса) — более 10500 экз./м² (ст. 10). Эти колоссальные значения формировали плотные и обильные поселения тихоокеанской мидии *M. trossulus*, к которой в подводной части о. Крашенинникова добавлялись также скопления трубчатой сидячей полихеты *Schizobranchia insignis*.

Следует отметить, что в водорослевом поясе на ст. 2, 4, 9 и 10 обитает большое количество мелких амфипод (преимущественно капреллид), формирующих высокие значения плотности поселения (табл. 2). Схожая картина доминирования в общем обилии (плотности поселения) амфипод и десятиногих ракообразных была зафиксирована также камчатскими исследователями, проводившими оценку восстановления макробентоса после ВЦВ 2020 г. в бухте Вилучинской [Токранов и др., 2024].

Для тридцати наиболее массовых по показателям обилия видов (биомасса более 1 г/м²) были рассчитаны средние для всего обследованного района показатели (табл. 3). Суммарно на данные виды приходится 60 % средней биомассы всего макробентоса. В целом можно заключить, что макробентос обследованных районов по показателям обилия в октябре 2021 г. относился преимущественно к мидийно-водорослевому сообществу.

Камчатские исследователи выявили снижение почти в 2 раза общего разнообразия видов макробентоса прибрежных вод юга Камчатки (165 видов макрозообентоса фиксировалось авторами до ВЦВ осенью 2020 г. и 87 видов по данным съемки весны 2021 г.) относительно предыдущих лет было [Данилин и др., 2022, 2023; Коростелев и

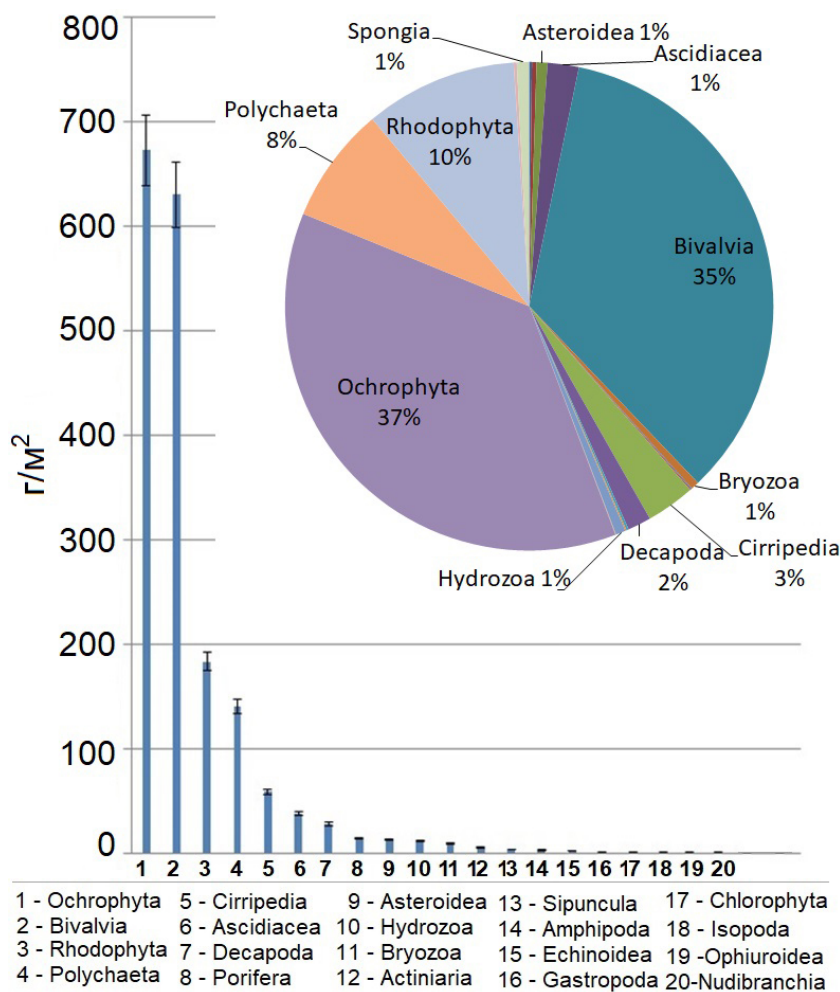


Рис. 4. Значения и доля разных таксономических групп в общей средней биомассе макробентоса твердых грунтов

Fig. 4. Biomass of certain taxonomic groups and their portions in the total biomass of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021

др., 2023; Санамян и др., 2023; Токранов и др., 2024]. При этом к числу наиболее массовых до ВЦВ таксонов они относили иглокожих Echinodermata и моллюсков Mollusca. После ВЦВ, весной 2021 г., иглокожие уже не фиксировались коллегами как наиболее многочисленный таксон. Выполненная нами количественная съемка октября 2021 г. подтвердила результаты, зафиксированные полугодом ранее [Санамян и др., 2023]: иглокожие в пробах практически отсутствовали, а наиболее часто встречающимися и многочисленными по числу видов являлись группы Mollusca и Arthropoda.

По данным Н.П. Санамян с соавторами [2023] в группе двустворчатых моллюсков Bivalvia после ВЦВ 2020 г. в верхней сублиторали Авачинского залива *M. trossulus* остался наиболее массовым видом. Наша съемка зафиксировала такой же результат (рис. 6).

Сильно пострадали брюхоногие моллюски Gastropoda. По данным камчатских исследователей количество их видов уже весной 2021 г. сократилось почти в 2 раза. Наиболее массовый ранее вид *Cryptonatica janthostoma* в указанный период встречался единично [Санамян и др., 2023]. Экспедиция ИМО ДВФУ в октябре 2021 г. высокого обилия брюхоногих моллюсков также не обнаружила, были встречены единичные экземпляры *C. janthostoma* и *Nucella* sp. биомассой, не превышающей 1 г/м².

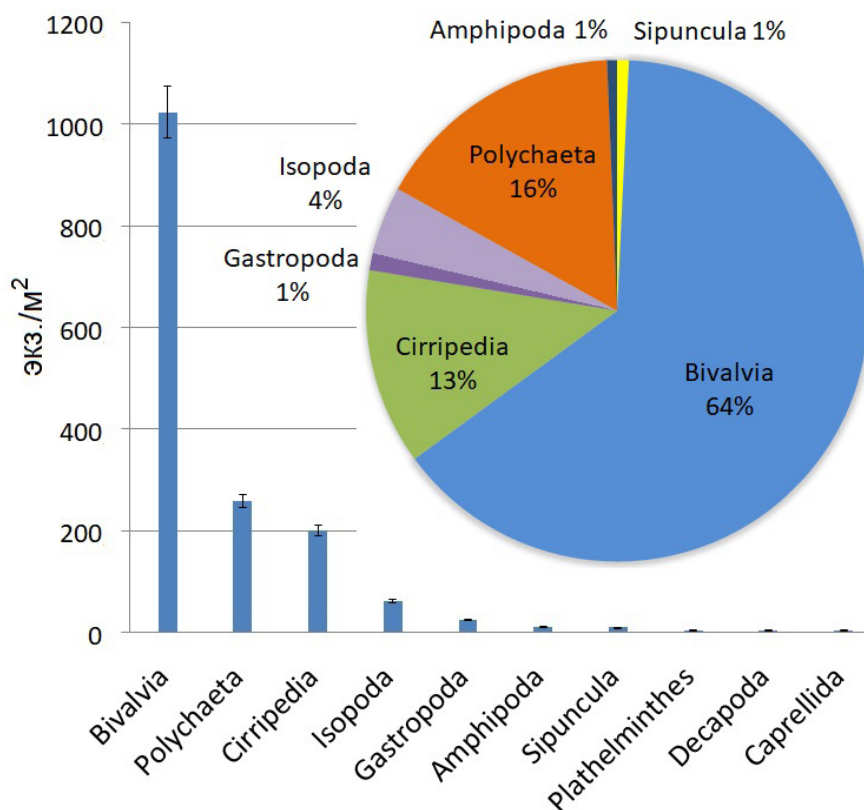


Рис. 5. Значения и доля разных таксономических групп в общей средней плотности поселения макробентоса твердых грунтов

Fig. 5. Mean abundance of certain taxonomic groups and their portions in the total number of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021



Рис. 6. Поселения *M. trossulus* в районе о. Крашенинникова (ст. 10, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 6. Settlements of *M. trossulus* at Krashenninnikov Island (station 10) in the Avachinsky Bay in October 2021

По нашим данным, наиболее массовый вид седиментарных многощетинковых червей *S. insignis* практически не пострадал. В районе о. Крашенинникова и мыса Налычева осенью 2021 г. были распространены крупные колонии этих многощетинковых червей (рис. 7).

По данным Н.П. Самаян с соавторами [2023] весной 2021 г. в составе макробентоса и придонном горизонте выявлялись массовые скопления амфипод, которые,

Таблица 3

Средние биомасса (г/м²) и плотность поселения (экз./м²) наиболее массовых видов макробентоса по данным съемки октября 2021 г.

Table 3

Mean biomass (g/m²) and abundance (ind./m²) for the mass species of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021

№ п/п	Группа	Вид	Биомасса	Плотность поселения
1	Bivalvia	<i>Mytilus trossulus</i>	621,7 ± 566,1	975,0 ± 1235,7
2	Ochrophyta	<i>Hedophyllum bongardianum</i>	435,4 ± 415,8	–
3	Polychaeta	<i>Schisobranchia insignis</i>	137,5 ± 132,8	122,8 ± 207,8
4	Rhodophyta	<i>Ptilota asplenoides</i>	130,9 ± 92,3	–
5	Ochrophyta	<i>Thalassiophyllum clathrus</i>	84,9 ± 75,9	–
6	Cirripedia	<i>Semibalanus cariosus</i>	56,7 ± 101,6	199,2 ± 367,0
7	Ochrophyta	<i>Saccharina gurjanovae</i>	51,8 ± 95,2	–
8	Ochrophyta	<i>Desmarestia intermedia</i>	49,2 ± 58,6	–
9	Ochrophyta	<i>Agarum clathratum</i>	44,7 ± 57,7	–
10	Rhodophyta	<i>Phycodrys riggii</i>	25,9 ± 39,1	–
11	Asteroidea	<i>Asterias rathbuni</i>	12,9 ± 22,3	0,6 ± 1,0
12	Hydrozoa	<i>Abietinaria annulata</i>	11,8 ± 16,0	–
13	Rhodophyta	<i>Devaleraea mollis</i>	11,1 ± 20,4	–
14	Decapoda	<i>Pagurus middendorffii</i>	10,3 ± 14,4	1,5 ± 2,1
15	Bryozoa	<i>Membranipora</i> sp.	9,8 ± 13,1	–
16	Ochrophyta	<i>Alaria marginata</i>	6,9 ± 11,5	–
17	Rhodophyta	<i>Odonthalia kamtschatica</i>	6,1 ± 8,1	–
18	Bivalvia	<i>Hiattella arctica</i>	6,0 ± 9,8	45,6 ± 68,6
19	Decapoda	<i>Telmessus cheiragonus</i>	5,1 ± 3,1	0,1 ± 0,2
20	Decapoda	<i>Scyra bidentata</i>	5,0 ± 7,7	0,6 ± 0,7
21	Rhodophyta	<i>Constantinea rosa-marina</i>	4,4 ± 8,2	–
22	Decapoda	<i>Chionoecetes opilio</i>	3,6 ± 6,2	0,2 ± 0,3
23	Decapoda	<i>Paralithodes brevipes</i>	2,8 ± 5,3	0,0 ± 0,0
24	Echinoidea	<i>Strongylocentrotus polyacanthus</i>	2,8 ± 4,8	0,2 ± 0,3
25	Bivalvia	<i>Mactromeris polynyma</i>	2,4 ± 4,4	2,5 ± 4,4
26	Rhodophyta	<i>Bossiella compressa</i>	1,9 ± 2,7	–
27	Decapoda	<i>Elassochirus gilli</i>	1,0 ± 1,9	0,4 ± 0,8
28	Chlorophyta	<i>Ulvaria splendens</i>	0,7 ± 1,2	–
29	Chlorophyta	<i>Ulva fenestrata</i>	0,6 ± 0,8	–
30	Isopoda	<i>Idotea aleutica</i>	0,5 ± 0,8	62,3 ± 96,0

Примечание. ± — среднее отклонение.

по их мнению, не пострадали вследствие ВЦВ, а обилие детрита, образовавшегося в результате гибели гидробионтов, наоборот, могло привести к увеличению их численности [Данилин и др., 2023]. В октябре 2021 г. нами также обнаружено очень большое количество разноногих ракообразных Amphipoda, обитающих в водорослевом поясе, в том числе большое количество морских козочек *Caprella* sp. (более 10 тыс. экз./м²) (табл. 3).

Кроме того, в ранних работах [Данилин и др., 2022, 2023; Коростелев и др., 2023; Санамян и др., 2023] и нашем исследовании отмечены высокая встречаемость и биомасса десятиногих ракообразных Decapoda. По мнению камчатских коллег [Данилин и др., 2023; Санамян и др., 2023], снижение пресса хищников и обилие освободившихся от погибших моллюсков раковин, а также возросшее количество детрита (в связи с массовым замором) способствовали увеличению численности этих ракообразных. По нашим данным доми-

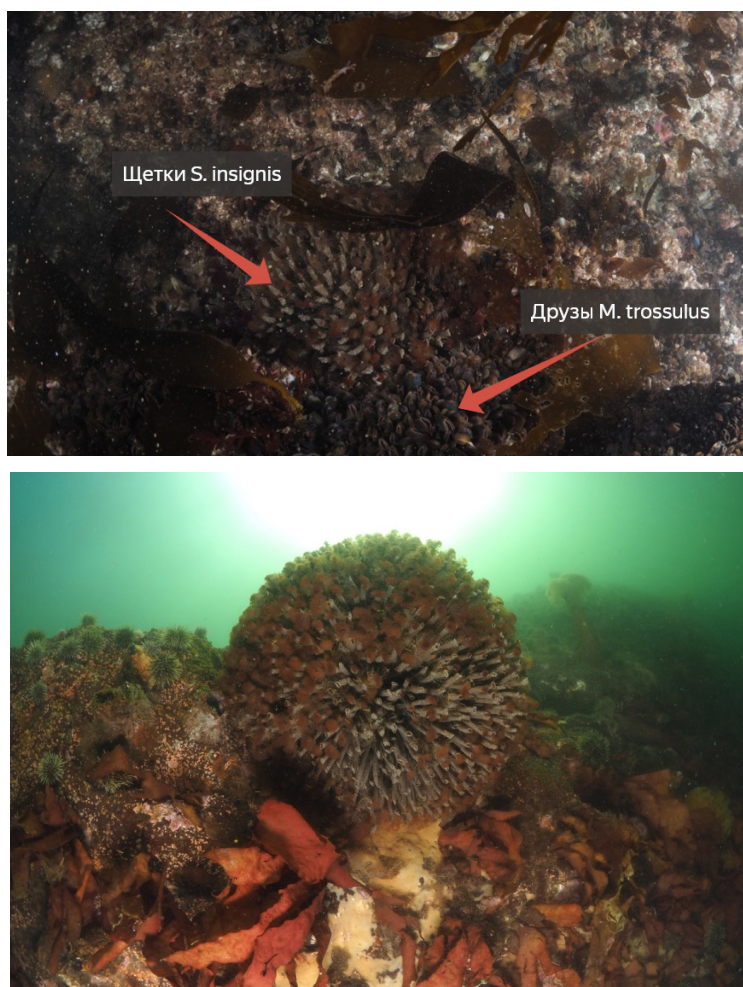


Рис. 7. Поселения *S. insignis* в районе о. Крашенинникова (вверху, ст. 9) и в бухте Малой Лагерной (внизу, ст. 7) по данным съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.

Fig. 7. Settlements of *S. insignis* at Krashenninnikov Island (station 9, **upper photo**) and in the Malaya Lagernaya Bay (station 7, **lower photo**) in the Avachinsky Bay in October 2021

нирующими видами Decapoda были *Pagurus middendorffii*, *Scyra bidentata*, *Elassochirus gilli*. Наиболее часто (встречаемость более 46 %) попадался волосатый пятиугольный краб *Telmessus cheiragonus* (рис. 8, 9). Из промысловых крабов в охваченной исследованиями прибрежной зоне встречались также краб-стригун *Chionoecetes opilio* и ювенильные экземпляры камчатского *Paralithodes camtschaticus* и колючего *P. brevipes* крабов. Таким образом, с учетом полученных ранее и наших данных группа ракообразных в целом не сильно пострадала в период и после ВЦВ 2020 г., а раки-отшельники, бокоплавы и морские козочки даже значительно увеличили свою численность.

По данным исследований весной 2021 г. сильно уменьшилась численность актиний Anthozoa, практически перестал встречаться самый массовый вид *Cnidopus japonicus* [Санамян и др., 2023]. Осенью 2021 г. в пробах, отобранных экспедицией ИМО ДВФУ, были обнаружены единичные экземпляры *C. japonicus*, а также *Urticina grebelny*. Исключение составляют зафиксированные нами в бухте Малой Лагерной скопления актинии *Metridium senile*, формирующей (рис. 10) довольно высокое обилие на валунах в горизонте глубин 3–4 м.

По материалам ранних исследований в группе асцидий Ascidiacea колониальные формы пострадали в меньшей степени, чем одиночные, однако общее видовое богатство



Рис. 8. Крабы-пауки на засыпанном детритом валуне в районе о. Крашенинникова (ст. 9, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 8. Spider crabs on a boulder filled with detritus at Krashenninnikov Island (station 9) in the Avachinsky Bay in October 2021



Рис. 9. Пятиугольный волосатый краб в районе о. Крашенинникова (ст. 10, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 9. Pentagonal hairy crab at Krashenninnikov Island (station 10) in the Avachinsky Bay in October 2021

сократилось практически вдвое [Санамян и др., 2023]. На обследованных нами станциях отбора проб были встречены только немногочисленные особи *Boltenia echinata* и *Aplidium* sp.

Губки Porifera, по данным камчатских исследователей [Токранов и др., 2021, 2024; Данилин и др., 2022, 2023; Коростелев и др., 2023; Санамян и др., 2023], после ВЦВ 2020 г. погибли практически полностью и весной 2021 г. в пробах встречались единично. В пробах, собранных экспедицией ИМО ДВФУ, редким (встречаемость 3–10 %) отмечен вид *Halichondria panicea*, который до 2020 г. фиксировался камчатскими коллегами как самый массовый и ландшафтообразующий.



Рис. 10. Скопления молоди многоиглового морского ежа *Strongylocentrotus polyacanthus* и актиний на твердых субстратах в бухте Малой Лагерной (ст. 7, данные съемки ДВФУ, октябрь 2021)

Fig. 10. Aggregations of juvenile sea urchin *Strongylocentrotus polyacanthus* and sea anemones on solid soils in the Malaya Lager'naya Bay (Station 7) in the Avachinsky Bay in October 2021

В целом наши сборы подтвердили количественные оценки ученых Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН, обследовавших прибрежную зону юго-восточной Камчатки и пришедших к выводу, что ВЦВ 2020 г. оказало наиболее неблагоприятное воздействие на численность и состав бентоса в горизонте глубин 6–18 м (<https://kamchatinfo.com/news/ecology/detail/46668/>). По данным камчатских коллег в более мелководном горизонте глубиной менее 6 м плотные поселения *M. trossulus* и усонюгих раков семейства

Balanidae после ВЦВ не прекратили своего существования. В отливных лужах под камнями встречались типичные для этого биотопа представители Sipunculida, Isopoda, Amphipoda и Gastropoda, а также особи бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* [Данилин и др., 2021, 2022, 2023].

Наша оценка состояния макробентоса в октябре 2021 г. также подтвердила его более благополучное состояние на глубинах менее 5–6 м. Именно на глубине 4 м на ст. 7 в бухте Малой Лагерной нами обнаружено скопление молоди многоиглового морского ежа *S. polyacanthus* и поселения актиний на валунах (рис. 10). По данным проведенной нами в октябре 2021 г. водолазной съемки во всем охваченном нашими исследованиями горизонте глубин (4–14 м) водорослевый пояс твердых грунтов сублиторали Авачинского залива был достаточно обилен (рис. 11). В бухтах Вилучинской и Лиственничной выявлены высокие значения биомассы и разнообразия водорослей-макрофитов.



Рис. 11. Обрастание твердого субстрата в бухте Вилучинской бурой водорослью *Thalassiosiphonum clathrus* и красными водорослями (ст. 4, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 11. Fouling of a solid substrate in the Vilyuchinskaya Bay with brown algae *Thalassiosiphonum clathrus* and red algae (station 4) in the Avachinsky Bay in October 2021

Таким образом, мелководная зона, характеризующаяся активной гидродинамикой, вероятно, не концентрировала в своей водной массе токсины фитопланктона и не испытывала нехватки растворенного кислорода, сопровождающего цветение, вследствие чего морские животные — обитатели горизонта активного перемешивания вод — в период ВЦВ выжили [Токранов, 2024]. Наибольшее влияние ВЦВ оказало на прикрепленные к субстрату группы организмов (актинии, асцидии, губки, усногие раки) и медленно передвигающихся гидробионтов (морские звезды, морские ежи, брюхоногие моллюски).

Заключение

Полученные нами сведения указывают на то, что макробентос твердых грунтов верхней сублиторали Авачинского залива осенью 2021 г. представлял собой главным образом мидийно-водорослевое сообщество. Статус *M. trossulus* как широко распространенного доминирующего в прикамчатских водах моллюска сохранился. Доминирование иглокожих на прикамчатском мелководье в октябре 2021 г. не подтверждено. Echinodermata в пробах были представлены малым числом видов, имели низкую

встречаемость и крайне низкие показатели обилия (за исключением мелководной ст. 7 в бухте Малой Лагерной).

Сравнительный анализ состояния макробентоса до и после ВЦВ по сведениям из литературных источников и нашим данным показал существенное обеднение видового богатства в зоне верхней сублиторали в горизонте глубже 6 м. В наибольшей степени сократилось разнообразие и обилие губок, актиний, брюхоногих моллюсков, иглокожих и асцидий. Донное население самых верхних горизонтов мельче отметки 6 м в период ВЦВ не пострадало. После ВЦВ в сублиторали значительно увеличилась численность амфипод и раков-отшельников, что связано с обилием детрита и уменьшением пресса хищников. Пояс макрофитов не пострадал.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность ст.н.с. НИЦМБ ДВО РАН к.б.н. А.В. Скрипцовой, за определение видов водорослей, а также А.И. Кобезовой за участие в лабораторной обработке проб макробентоса.

The authors express their gratitude to Dr. A.V. Skriptsova (Scientific Research Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Ac. Sci.) for the species identification of algae and to A.I. Kobezova for her assistance in laboratory processing of macrobenthos samples.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2024-0037 «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки».

The study was conducted with support of the Ministry of Science and Higher Education of Russia, project № FZNS-2024-0037 (Integrated environmental monitoring of coastal marine and terrestrial ecosystems of Kamchatka).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

В ходе исследования не проводились эксперименты с животными. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The study does not include experiments with animals conducted by any author. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Ю.А. Галышева участвовала в экспедиционных работах, первичной обработке проб на борту судна, идентификации видов макрозообентоса и анализе количественных данных. В.А. Чиченко принимала участие в лабораторном анализе проб макробентоса, цифровой и графической обработке данных, В.Е. Метревели осуществлял лабораторную обработку проб макробентоса, проверку актуального систематического положения по электронной базе данных, поиск и анализ литературы. Обработка данных, обсуждение результатов исследования, подготовка статьи — совместно.

Yu.A. Galysheva — sampling in marine expedition, onboard primary processing of samples, identification of macrozoobenthos species, data analysis; V.A. Chichenko — laboratory analysis of macrobenthos samples, digital and graphical data processing; V.E. Metreveli — laboratory processing of macrobenthos samples, checking the current systematic position of macrobenthos species, analysis of scientific literature. The data were collected and processed, the research results were discussed, and the manuscript was written and illustrated by two authors jointly.

Список литературы

Атлас двустворчатых моллюсков дальневосточных морей России / сост. С.В. Явнов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Владивосток : Русский Остров, 2016. — 272 с.

Атлас иглокожих и асцидий дальневосточных морей России / С.В. Явнов ; под ред. В.А. Ракова. — Владивосток : Русский Остров, 2010а. — 240 с.

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

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

Данилин Д.Д., Будникова Л.Л., Сахаровский С. И. и др. Предварительные результаты обследования литоральной зоны Южно-Камчатского природного парка // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 22-й междунар. науч. конф. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2021. — С. 184–189. DOI: 10.53657/9785961004038_184.

Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Коростелев С.Г. и др. Динамика бентосных сообществ верхней сублиторали Юго-Восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) осенью 2020 г. // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные и социально-экономические структуры : сб. науч. ст. — Владивосток : ТИГ ДВО РАН, 2023. — С. 23–27. DOI: 10.35735/9785604844175_23.

Данилин Д.Д., Коростелев С.Г., Жигадлова Г.Г. и др. Результаты изучения восстановительного потенциала прибрежных экосистем Восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года // Россия в Десятилетии ООН наук об океане : тез. докл. на Первой Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Россия в Десятилетии ООН наук об океане». — М. : РТУ МИРЭА, 2022. — С. 225–228.

Жирмунский А.В., Коновалова Г.В. «Красные приливы» в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1982. — № 5. — С. 3–6.

Коростелев С.Г., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. Сукцессия прибрежных сообществ гидробионтов, вызванная вредоносным цветением водорослей в 2020 году в тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов // Морские экспедиционные исследования России в 2022 году : тез. докл. конф. «Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка». — М. : РТУ МИРЭА, 2023. — С. 299–304.

Лутасенко К.А., Волвенко И.Е. Малый атлас двусторчатых моллюсков залива Петра Великого (Японское море). — Владивосток : ДВФУ, 2022. — 140 с.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Распределение и классификация макрозообентоса залива Петра Великого Японского моря по отношению к загрязнению донных отложений // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 3. — С. 623–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639. EDN: FZIAEB.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Сообщества макрозообентоса рыхлых грунтов прибрежных акваторий открытой части залива Петра Великого Японского моря и их экологическое состояние // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 581–600. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600. EDN: ZEVAIV.

Надточий В.А., Прокопенко К.М. Атлас брюхоногих моллюсков дальневосточных морей России (Сем. Buccinidae). — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 190 с.

Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э. Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья юго-восточной Камчатки (Северо-Западная Пацифика) на мелководные бентосные сообщества // Вестн. КамчатГТУ. — 2023. — № 63. — С. 22–44. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-22-44.

Слизкин А.Г. Атлас-определитель крабов и креветок дальневосточных морей России. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — 256 с.

Токранов А.М. Современный состав сообщества рыб галечно-валунных участков приливо-отливной зоны Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. — 2024. — № 3. — С. 64–73. DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-64-73.

Токранов А.М., Бурдин А.М., Данилин Д.Д. и др. Состояние прибрежной биоты Юго-Восточной Камчатки и северных Курильских островов спустя три года после вредоносного «цветения» водорослей осенью 2020 года // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры : сб. науч. статей. — Владивосток : ТИГ ДВО РАН, 2024. — С. 95–101. DOI: 10.35735/9785604968338_95.

Токранов А.М., Данилин Д. Д., Жигадлова Г.Г. и др. Оценка воздействия возникшей осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей различных групп гидробионтов // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021) : тр. 10-й Междунар. науч.-практ. конф. — Тверь : ПолиПРЕСС, 2021. — Т. 2. — С. 93–96.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Bates S.S., de Freitas A.S.W., Milley J.E. et al. Controls on Domoic Acid Production by the Diatom *Nitzschia pungens* f. *multiseries* in Culture: Nutrients and Irradiance // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* — 1991. — Vol. 48. — P. 1136–1144.

Bondur V.G., Zamshin V.V., Chvertkova O.I. et al. Detection and Analysis of the Causes of Intensive Harmful Algal Bloom in Kamchatka Based on Satellite Data // *J. Mar. Sci. Engineering.* — 2021. — Vol. 9(10). — P. 1092. DOI: 10.3390/jmse9101092.

Fu F.X., Tatters A.O., Hutchins D.A. Global change and the future of harmful algal blooms in the ocean // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 2012. — Vol. 470. — P. 207–233. DOI: 10.3354/meps10047.

Fukuyo Y., Imai I., Kodama M., Tamai K. Red tides and other harmful algal blooms in Japan // *Harmful Algal Blooms in the PICES Region of the North Pacific : PICES Sci. Rep.* — 2002. — № 23. — P. 7–20.

Griffith A.W., Gobler C.J. Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems // *Harmful Algae.* — 2020. — Vol. 91. — P. 101590. DOI: 10.1016/j.hal.2019.03.008.

Hallegraeff G.M., Enevoldsen H.O., Zingone A. Global harmful algal bloom status reporting // *Harmful Algae.* — 2021. — Vol. 102. — P. 101992. DOI: 10.1016/j.hal.2021.101992.

Kazmi S.S., Yapa N., Karunarathna S.C., Suwannarach N. Perceived Intensification in Harmful Algal Blooms Is a Wave of Cumulative Threat to the Aquatic Ecosystems // *Biology.* — 2022. — Vol. 11(6). — P. 852. DOI: 10.3390/biology11060852.

Khesina Z.B., Karnaeva A.E., Pytskii I.S., Buryak A.K. The mysterious mass death of marine organisms on the Kamchatka Peninsula: A consequence of a technogenic impact on the environment or a natural phenomenon? // *Mar. Pollut. Bull.* — 2021. — Vol. 166(10). — P. 112175. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112175.

Kuroda H., Azumaya T., Setou T., Hasegawa N. Unprecedented Outbreak of Harmful Algae in Pacific Coastal Waters off Southeast Hokkaido, Japan, during Late Summer 2021 after Record-Breaking Marine Heatwaves // *J. Mar. Sci. Engineering.* 2021. — Vol. 9(12). — P. 1335. DOI: 10.3390/jmse9121335.

Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V. et al. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // *Harmful Algae.* — 2022. — Vol. 120. — P. 102337. DOI: 10.1016/j.hal.2022.102337.

References

Yavnov, S.V., *Atlas dvustvorchatykh mollyuskov dal'nevostochnykh morei Rossii* (Atlas of Bivalves from the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2016, 2nd ed.

Yavnov, S.V., *Atlas iglokozhih i astsidiy dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas of echinoderms and ascidians of the Far Eastern seas of Russia), Rakov, V.A., ed., Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.

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

Danilin, D.D., Budnikova, L.L., Sakharovsky S.I., Tokranov, A.M., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, N.P., Sanamyan, K.E., and Ivanova, A.S., Preliminary results of the survey of the littoral zone of the South Kamchatka natural park, in *Mater. 22-y mezhdunar. nauch. konf "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey"* (Mater. of the 22nd Int. Sci. Conf. "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2021, pp. 184–189. doi 10.53657/9785961004038_184

Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Korostelev, S.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Tokranov, A.M., dynamics of benthic communities of the upper sublittoral of South-Eastern Kamchatka after a harmful algal bloom (Hab) in the autumn of 2020, in *Sb. nauch. st. "Geosistemy Severo-Vostochnoy Azii: prirodnyye, prirodno-resursnyye i sotsial'no-ekonomicheskiye struktury"* (Sat. scientific Art. "Geosystems of North-East Asia: natural, natural resource and socio-economic structures"), Vladivostok: Tikhookean. Inst. Geogr. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2022, pp. 23–27. doi 10.35735/9785604844175_23

Danilin, D.D., Korostelev, S.G., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Tokranov, A.M., Results of a study of the restoration potential of coastal ecosystems in Eastern Kamchatka

after a harmful algal bloom in the fall of 2020, in *Tez. dokl. "Rossiya v Desyatiletii OON nauk ob okeane"* (Proc. All. "Russia in the UN Decade of Ocean Sciences"), Moscow: RTU MIREA, 2022, pp. 225–228.

Zhirumsky, A.V. and Konovalova, G.V., "Red tides" in Peter the Great Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1982, no. 5, pp. 3–6.

Korostelev, S.G., Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Tokranov, A.A., Succession of coastal aquatic communities caused by the 2020 harmful algal bloom in the Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands, in *Tez. dokl. na Pervoy Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem «Rossiya v Desyatiletii OON nauk ob okeane»* "Itogi ekspeditsionnykh issledovaniy v 2022 godu v Mirovom okeane, vnutrennikh vodakh, na arhipelaghe Shpitsbergen i poluostrove Kamchatka" (Abstract report conf. «Results of expeditionary research in 2022 in the World Ocean, inland waters, the Spitsbergen archipelago and the Kamchatka Peninsula» "Marine expeditionary research in Russia in 2022"), Moscow: RTU MIREA, 2023, pp. 299–304.

Lutaenko, K.A. and Volvenko, I.E., *Atlas of Common Bivalve Mollusks of Peter the Great Bay* (Sea of Japan), Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2022.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., Distribution and classification of macrozoobenthos in Peter the Great Bay of Japan Sea in relation to contamination of bottom sediments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 623–639. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639. EDN: FMKCOF.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., Communities of macrozoobenthos on soft sediments in the coastal areas of open parts of Peter the Great Bay Japan Sea and their ecological status, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 581–600. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600. EDN: ZEVAIV.

Nadtochiy, V.A. and Prokopenko, K.M., *Atlas bryukhonogikh mollyuskov dal'nevostochnykh morey Rossii (Sem. Buccinidae)* (Atlas of gastropods of the Far Eastern seas of Russia (Fam. Buccinidae)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006.

Sanamyan, N.P., Korobok, A.V., and Sanamyan, K.E., Qualitative assessment of algae harmful bloom impact in autumn 2020 off the coast of south-eastern Kamchatka (North-West Pacific) on shallow-water benthic communities, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2023, no. 63, pp. 22–44. doi 10.17217/2079-0333-2023-63-22-44

Slizkin, A.G., *Atlas-opredelitel' krabov i krevetok dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas-determinant of crabs and shrimps of the Far Eastern seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2010.

Tokranov, A.M., Fish community composition in pebble-boulder areas of the Avacha Gulf intertidal zone (Southeastern Kamchatka), *Vestn. Sev.-Vost. Nauch. Tsentra, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2024, no. 3, pp. 64–73. doi 10.34078/1814-0998-2024-3-64-73

Tokranov, A.M., Burdin, A.M., Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Kornev, S.I., Korostelev, S.G., Sanamyan, K.E., and Sanamyan, N.P., The state of the coastal biota of South-Eastern Kamchatka and the northern Kuril Islands three years after the harmful algae bloom in the fall of 2020, in *Collection of scientific articles "Geosystems of North-East Asia: natural and socio-economic factors and structures"*, Vladivostok: Tikhookean. Inst. Geogr. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2024, pp. 95–101. doi 10.35735/9785604968338_95

Tokranov, A.M., Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Usatov I.A., Evaluation of the affect of negative ecological situation arisen near coasts of Kamchatka in autumn 2020 to different groups of hydrobionts, in *Tr. 10-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Morskiye issledovaniya i obrazovaniye (MARESEDU-2021)"* (Tr. 10th Int. scientific-practical conf. "Marine Research and Education (MARESEDU-2021)"), Tver: Polypress, 2021, vol. 2, pp. 93–96.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Bates, S.S., de Freitas, A.S.W., Milley, J.E., Pocklington, R., Quilliam, M.A., Smith, J.G., and Worms, J., Controls on Domoic Acid Production by the Diatom *Nitzschia pungens* f. multiseries in Culture: Nutrients and Irradiance, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1991, vol. 48, pp. 1136–1144.

Bondur, V.G., Zamshin, V.V., Chvertkova, O.I., Matrosova, E.R., and Khodaeva, V.N., Detection and Analysis of the Causes of Intensive Harmful Algal Bloom in Kamchatka Based on Satellite Data, *J. Mar. Sci. Engineering*, 2021, vol. 9(10), pp. 1092. doi 10.3390/jmse9101092

Fu, F.X., Tatters, A.O., and Hutchins, D.A., Global change and the future of harmful algal blooms in the ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2012, vol. 470, pp. 207–233. doi 10.3354/meps10047

Fukuyo, Y., Imai, I., Kodama, M., and Tamai, K., Red tides and other harmful algal blooms in Japan, Harmful Algal Blooms in the PICES Region of the North Pacific., *PICES Sci. Rep.*, 2002, no. 23, pp. 7–20.

Griffith, A.W. and Gobler, C.J., Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems, *Harmful Algae*, 2020, vol. 91, pp. 101590. doi 10.1016/j.hal.2019.03.008

Hallegraeff, G.M., Enevoldsen, H.O., and Zingone, A., Global harmful algal bloom status reporting, *Harmful Algae*, 2021, vol. 102, pp. 101992. doi 10.1016/j.hal.2021.101992

Kazmi, S.S., Yapa, N., Karunarathna, S.C., and Suwannarach, N., Perceived Intensification in Harmful Algal Blooms Is a Wave of Cumulative Threat to the Aquatic Ecosystems, *Biology*, 2022, vol. 11(6), pp. 852. doi 10.3390/biology11060852

Khesina, Z.B., Karnaeva, A.E., Pytskii, I.S., and Buryak, A.K., The mysterious mass death of marine organisms on the Kamchatka Peninsula: A consequence of a technogenic impact on the environment or a natural phenomenon?, *Mar. Pollut. Bull.*, 2021, vol. 166(10), pp. 112175. doi 10.1016/j.marpolbul.2021.112175

Kuroda, H., Azumaya, T., Setou, T., and Hasegawa, N., Unprecedented Outbreak of Harmful Algae in Pacific Coastal Waters off Southeast Hokkaido, Japan, during Late Summer 2021 after Record-Breaking Marine Heatwaves, *J. Mar. Sci. Engineering*, 2021, vol. 9(12), pp. 1335. doi 10.3390/jmse9121335

Orlova, T.Y., Aleksanin, A.I., Lepskaya, E.V., Efimova, K.V., Selina, M.S., Morozova, T.V., Stonik, I.V., Kachur, V.A., Karpenko, A.A., Vinnikov, K.A., Adrianov, A.V., and Iwataki, M., A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020, *Harmful Algae*, 2022, vol. 120, pp. 102337. doi 10.1016/j.hal.2022.102337

<https://kamchatinfo.com/news/ecology/detail/46668/>. Cited September 27, 2024.

Поступила в редакцию 21.10.2024 г.

После доработки 6.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 21.10.2024; approved after reviewing 6.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE

Научная статья

УДК 639.371:597.552.511

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-935-950

EDN: TLWKPZ

ОЦЕНКА ВСТРЕЧАЕМОСТИ КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA*
ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА НЕРЕСТИЛИЩАХ
РЕК И ОЗЕР О. ИТУРУПМ.Ю. Стеколыщикова¹, Е.Г. Акиничева¹, Ю.А. Батюк¹, И.А. Вараксин^{2*}¹ Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196;

² ЗАО «Курильский рыбак», 693010, г. Южно-Сахалинск, пер. Алтайский, 15

Аннотация. Приведены данные по встречаемости кеты *Oncorhynchus keta*, меченой методом отолитного маркирования, на нерестилищах рек и озер заливов Простор, Курильский в 2012–2022 гг. Показано, что в многолетней динамике соотношение диких и заводских производителей на нерестилищах определялось объемами выпуска молоди. До 2014 г. в реки, не затронутые искусственным воспроизводством, заводская кета заходила в единичном количестве. В 2014–2022 гг. доля заводских производителей на нерестилищах «диких» рек возросла до 9,6–13,6 %. В базовых реках рыбоводных заводов этот показатель достигал 93,3 %.

Ключевые слова: кета, остров Итуруп, отолитное маркирование, искусственное воспроизводство, нерестилища, стрейнг

Для цитирования: Стеколыщикова М.Ю., Акиничева Е.Г., Батюк Ю.А., Вараксин И.А. Оценка встречаемости кеты *Oncorhynchus keta* искусственного происхождения на нерестилищах рек и озер о. Итуруп // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 935–950. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-935-950. EDN: TLWKPZ.

Original article

Estimating the occurrence of chum salmon *Oncorhynchus keta*
of artificial origin on spawning grounds in the rivers and lakes of Iturup IslandMarina Yu. Stekolshchikova*, Elena G. Akinicheva**, Yulia A. Batiuk***,
Ivan A. Varaksin****

*—**** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),

196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

**** Kurilsky Rybak Co., 15, Altaisky Alley, Yuzhno-Sakhalinsk, 693010, Russia

* head of sector, m.stekolschikova@sakhniro.ru, ORCID 0009-0006-7337-1832

** expert, e.akinicheva@vniro.ru, ORCID 0009-0007-5150-2632

*** senior engineer, batiukyu@yandex.ru, ORCID 0009-0005-1455-9037

**** head of department, varaksin.ivan-varaksin@yandex.ru, ORCID 0009-0009-5819-3275

* Стеколыщикова Марина Юрьевна, заведующая сектором, m.stekolschikova@sakhniro.ru, ORCID 0009-0006-7337-1832; Акиничева Елена Григорьевна, эксперт, e.akinicheva@vniro.ru, ORCID 0009-0007-5150-2632; Батюк Юлия Андреевна, старший инженер, batiukyu@yandex.ru, ORCID 0009-0005-1455-9037; Вараксин Иван Александрович, начальник отдела, varaksin.ivan-varaksin@yandex.ru, ORCID 0009-0009-5819-3275.

© Стеколыщикова М.Ю., Акиничева Е.Г., Батюк Ю.А., Вараксин И.А., 2024

Abstract. Artificial reproduction of pacific salmon has been repeatedly criticized due to negative impact on natural populations. One of its aspects is replacement of wild spawners by spawners originated from hatchery on natural spawning grounds. This problem is relevant to Iturup Island, where the chum salmon stock is formed by both natural reproduction and artificial breeding. To evaluate their ratio, otolith marking of juveniles has been massively implemented at Iturup salmon hatcheries since 2009. The otoliths of chum salmon were collected for analysis from the spawning grounds in 6 rivers and lake-river systems of the Okhotsk Sea coast in the northern part of Iturup Island and at the slaughter point of salmon hatcheries from 2012 to 2022. Microstructure of otoliths from 8229 fish individuals, including 2709 specimens of chum salmon, was examined to identify the tagged fish. The chum salmon of artificial origin were presented on all examined spawning grounds. Their number was calculated taking into account the percentage of tagged juveniles released from the hatcheries. Low level of straying was concluded for chum salmon on Iturup Island. Long-term dynamics of the ratio between wild and artificial spawners on spawning grounds was determined by changes in volume of juveniles release. Until 2014, the Reidovy and Kurilsky hatcheries released $50 \cdot 10^6$ chum juveniles annually, and the spawners of artificial origin were found sporadically on the spawning grounds in “wild” rivers. New fish hatcheries constructed after 2010 provided increase of their portion in 2014–2022 to 9.6–13.6 % on the spawning grounds unaffected to artificial reproduction and up to 93.3 % on the spawning grounds in the rivers with hatcheries. These high returns were supported by release of $74.4\text{--}191.8 \cdot 10^6$ juvenile fish annually. In the Reidovaya and Kurilka Rivers with a branched network of tributaries, the highest occurrence of artificial spawners was observed on the spawning grounds neighbored with hatcheries, whereas their portion decreased to 20 % on the spawning grounds in large tributaries of lower reaches; possibly, spawning grounds where the spawners of artificial origin are absent still exist in the basins of these rivers. Some increase of straying should be probably expected in future years because of huge amount of juvenile chum salmon released into the rivers of Prostor and Kurilsky Bays after 2020, at least $175 \cdot 10^6$ ind.

Keywords: chum salmon, Iturup Island, otolith marking, artificial reproduction, spawning ground, straying

For citation: Stekolshchikova M.Yu., Akinicheva E.G., Batiuk Y.A., Varaksin I.A. Estimating the occurrence of chum salmon *Oncorhynchus keta* of artificial origin on spawning grounds in the rivers and lakes of Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 935–950. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-935-950. EDN: TLWKPZ.

Введение

Запас кеты *Oncorhynchus keta* о. Итуруп формируется за счет естественного воспроизводства и разведения на лососевых рыболовных заводах (ЛРЗ). На острове насчитывается более 50 рек и озерно-речных систем, в которые отмечены заходы кеты [Кловач и др., 2018]. По данным Сахалинского филиала Главрыбвода площадь нерестилищ в отдельных водотоках составляет от 0,1 до 33,0 тыс. м². До 2000-х гг. на Итурупе действовало 2 рыболовных завода, на которых разводили в том числе и кету. В это время численность диких и заводских поклатников была соотносима [Каев и др., 2021]. В дальнейшем наблюдалось устойчивое наращивание объемов выпуска молоди, главным образом за счет строительства новых ЛРЗ [Кловач и др., 2018; Ельников и др., 2019; Каев и др., 2021; Ельников, Зеленников, 2023]. В настоящее время на Итурупе действует 20 рыболовных заводов, с которых в 2024 г. было выпущено 421,5 млн молоди кеты.

Несмотря на то что заводское разведение тихоокеанских лососей является одним из путей увеличения ресурсной базы рыболовства [Хованский, 2000; Запорожец, Запорожец, 2011; Каев, Игнатьев, 2015], оно довольно часто подвергается критике в связи с возможным негативным воздействием на естественные популяции. Одним из его проявлений является замещение диких производителей заводскими на нерестилищах. По мнению ряда исследователей, потомство, полученное при смешанном нересте, может обладать пониженным адаптационным потенциалом [Reisenbichler, Rubin, 1999; Kostow, 2004; Araki et al., 2007]. Кроме того, само присутствие на естественных нерестилищах заводских самцов может снижать эффективность нереста диких, усиливая конкуренцию за самок [Schroder et al., 2010].

Важнейшим показателем при оценке рисков совместного нереста является соотношение диких и заводских лососей на нерестилищах. Вопрос о допустимом уровне присутствия заводских рыб на нерестилищах остается дискуссионным. В программах искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей на Аляске обозначены ограничения в 2 % [Hilborn, Eggers, 2000; Wertheimer et al., 2001]. В.В. Зиничевым с соавторами [2012] для оценки уровня рисков предложено три уровня масштаба присутствия заводских рыб на нерестилищах: до 20 % — уровень отсутствия опасности, от 20 до 40 % — уровень потенциальной опасности, свыше 40 % — уровень прямой угрозы. Исследования К.Е. Костоу и С. Чжоу [Kostow, Zhou, 2006] подтверждают, что эффективность естественного воспроизводства постепенно снижается по мере роста доли заводских рыб на нерестилищах начиная с 10–12 %.

Дифференцированное изучение дикой и заводской кеты на Итурупе стало возможным благодаря организации массового отолитного маркирования рыболовной продукции на ЛРЗ АО «Гидрострой» и ЗАО «Курильский рыбак». В дальнейшем эти компании в рамках MSC-сертификации* рыболовства инициировали работы по идентификации маркированных рыб в возвратах кеты. До настоящего времени полученные при этом данные не были обобщены.

Целью настоящей статьи является оценка доли рыб заводского происхождения, проходящих на природные нерестилища в водоемы и водотоки заливов Простор и Курильский.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили отолиты 8395 экз. кеты. Сбор снетки (2875 экз.) и отлов производителей (5520 экз.) проводили на шести водных объектах (рис. 1) в период 2012–2022 гг. Несмотря на сравнительно небольшую протяженность района исследования (около 115 км), здесь сосредоточено около 50 % нерестового фонда кеты и расположено 9 рыболовных заводов.

Также в работе были использованы результаты отолитного мечения молоди на рыболовных заводах о. Итуруп в 2008–2019 гг. (табл. 1).



Рис. 1. Карта-схема расположения мест отлова кеты и рыболовных заводов, участвовавших в программе маркирования: р. Славная (I), оз. Сопочное (II), реки Рейдовая (III), Удобная (IV), Курилка (V), Рыбачья (VI); ЛРЗ «Рейдовый» (1), «Минеральный» (2), «Бухта Оля» (3), «Китовый» (4), «Лебединый» (5), «Курильский» (6), «Саратовский» (7), «Куйбышевский» (8), «Озеро» (9)

Fig. 1. Scheme of chum salmon sampling (I — Slavnaya River, II — Lake Sopochnoye, III — Reidovaya River, IV — Udobnaya River, V — Kurilka River, VI — Rybatskaya River) and location of fish hatcheries marking chum juveniles (1 — Reidovy, 2 — Mineralny, 3 — Bukhta Olya, 4 — Kitovy, 5 — Lebediny, 6 — Kurilsky, 7 — Saratovsky, 8 — Kuibyshevsky, 9 — Ozero)

* Морской попечительский совет (Marine Stewardship Council) — международная некоммерческая организация, которая разработала стандарты экологически ответственного рыболовства и прослеживаемости цепей поставок. Знак MSC на продукции гарантирует, что рыба и морепродукты поступают только от законных и экологически ответственных промыслов, которые заботятся о сохранении морских биоресурсов.

Таблица 1
Объемы выпуска маркированной молоди кеты с рыбоводных заводов о. Итуруп в 2008–2019 гг.
Table 1
Release volumes of tagged chum juveniles from fish hatcheries on Iturup Island in 2008–2019

ЛРЗ	Поко- ление	Объем выпуска, млн экз.	Доля меток, %	Возврат в возрасте										
				2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
«Рейдовый»	2008	23,9	100	3+	4+	5+	6+							
	2009	26,4	100	2+	3+	4+	5+	6+						
	2010	26,6	100		2+	3+	4+	5+	6+					
	2011	35,8	100			2+	3+	4+	5+	6+				
	2012	29,4	100				2+	3+	4+	5+	6+			
	2013	27,8	100					2+	3+	4+	5+	6+		
	2014	28,5	100						2+	3+	4+	5+		
	2019	23,7	100											2+
«Курильс- кий»	2008	20,4	11,3	3+	4+	5+	6+							
	2009	27,0	43,1	2+	3+	4+	5+	6+						
	2010	20,6	32,5		2+	3+	4+	5+	6+					
	2011	32,8	43,3			2+	3+	4+	5+	6+				
	2012	20,5	12,9				2+	3+	4+	5+	6+			
	2013	21,9	36,2					2+	3+	4+	5+	6+		
	2014	22,1	42,3						2+	3+	4+	5+		
	2019	19,1	26,9											2+
«Бухта Оля»	2010	26,2	100		2+	3+	4+	5+	6+					
	2011	30,0	100			2+	3+	4+	5+	6+				
	2012	35,4	100				2+	3+	4+	5+	6+			
	2013	39,2	100					2+	3+	4+	5+	6+		
	2014	51,5	36,5						2+	3+	4+	5+		
«Китовый»	2011	17,6	14,8			2+	3+	4+	5+	6+				
	2012	28,4	100				2+	3+	4+	5+	6+			
	2013	29,8	100					2+	3+	4+	5+	6+		
	2014	34,3	63,2						2+	3+	4+	5+		
	2019	30,4	61,3											2+
«Лебеди- ный»	2017	4,5	100									2+	3+	4+
	2018	10,5	85,6										2+	3+
	2019	21,9	45,9											2+
«Минераль- ный»	2018	22,4	100										2+	3+
	2019	19,1	38,7											2+
«Саратовс- кий»	2019	18,3	100											2+
«Куйбы- шевский»	2019	17,0	100											2+
«Озеро»	2019	6,2	100											2+

Для подготовки отолитов к анализу микроструктуры использовали стандартные методики, применяемые в отолитометрических исследованиях [Secor et al., 1991]. Анализ микроструктуры проводили с помощью микроскопов Olympus BX51 при увеличении от $\times 20$ до $\times 50$. При обнаружении искусственных структур на отолитах их фотографировали и идентифицировали по базе данных эталонных меток Североти-хоокеанской комиссии по анадромным рыбам (<http://npafc.taglab.org/arkSummary.asp>).

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных исследований показали наличие ежегодного стрейнга заводской кеты, как в пределах бассейнов базовых рек ЛРЗ, так и в водоемы, не затронутые искусственным воспроизводством (табл. 2).

Таблица 2
Результаты идентификации маркированной кеты в выборках из рек и озер о. Итуруп
в 2012–2022 гг., экз.

Table 2
Results of tagged fish identification in samples of chum salmon from spawning grounds
in rivers and lakes on Iturup Island in 2012–2022, ind.

Водоток/водоем	Объем выборки	«Рейдовый»	«Минеральный»	«Бухта Оля»	«Китовый»	«Курильский»	«Лебединый»	«Саратовский»	«Куйбышевский»	«Озеро»
2012										
Р. Славная (нерестилища)	75	3	–	–	–	2	–	–	–	–
Оз. Сопочное (нерестилища)	99	0	–	–	–	0	–	–	–	–
Бассейн р. Рейдовой										
Устье р. Рейдовой (РУЗ)	87	36	–	–	–	1	–	–	–	–
Устье р. Аргунь (РУЗ)	80	27	–	–	–	0	–	–	–	–
Руч. Крохалиный (РУЗ)	141	46	–	–	–	0	–	–	–	–
«Забойка» ЛРЗ «Рейдовый»	260	97	–	–	–	0	–	–	–	–
Бассейн р. Курилка										
Устье р. Курилка (РУЗ)	288	0	–	–	–	32	–	–	–	–
Руч. Кетовый («забойка» ЛРЗ «Курильский»)	191	0	–	–	–	21	–	–	–	–
Оз. Лебединое (нерестилища)	54	0	–	–	–	0	–	–	–	–
Р. Рыбачья (нерестилища)	97	0	–	–	–	0	–	–	–	–
2013										
Бассейн р. Рейдовой										
Руч. Крохалиный (нерестилища)	49	41	–	0	–	0	–	–	–	–
Руч. Крохалиный (РУЗ)	242	192								
«Забойка» ЛРЗ «Рейдовый»	200	187	–	0	–	0	–	–	–	–
Бассейн р. Курилка										
Устье р. Курилка (РУЗ)	298	0	–	0	–	33	–	–	–	–
Р. Курилка (нерестилища)	150	0	–	0	–	23	–	–	–	–
Руч. Кетовый («забойка»)	299	0	–	0	–	40	–	–	–	–
Оз. Лебединое (нерестилища)	6	0	–	0	–	0	–	–	–	–
Руч. Озерный (нерестилища)	10	0	–	0	–	9	–	–	–	–
Руч. Безымянный (нерестилища)	48	0	–	0	–	1	–	–	–	–
2014										
Бассейн р. Рейдовой										
Устье р. Рейдовой (РУЗ)	99	81	–	5	0	0	–	–	–	–
«Забойка» ЛРЗ «Рейдовый»	388	382	–	0	0	0	–	–	–	–
Бассейн р. Курилка										
Устье р. Курилка (РУЗ)	99	0	–	0	1	38	–	–	–	–
Оз. Лебединое (нерестилища)	50	0	–	0	0	0	–	–	–	–
Руч. Безымянный (нерестилища)	49	0	–	0	1	0	–	–	–	–
2016										
Бассейн р. Курилка										
Оз. Лебединое (нерестилища)	49	0	–	0	2	13		–	–	–
Руч. Безымянный (нерестилища)	90	2	–	0	2	2		–	–	–
Р. Рыбачья (нерестилища)	49	0	–	0	1	1		–	–	–

Продолжение табл. 2
Table 2 continued

Водоток/водоем	Объем выборки	«Рейдовый»	«Минеральный»	«Бухта Оля»	«Китовый»	«Курильский»	«Лебединый»	«Саратовский»	«Куйбышевский»	«Озеро»
2017										
Бассейн р. Курилка										
Оз. Лебединое (нерестилища)	6	0			0	0				
Руч. Безымянный (нерестилища)	22	0	–	–	2	1	–	–	–	–
Р. Рыбацкая (нерестилища)	25	0	–	0	1	0	–	–	–	–
2018										
Оз. Сопочное (нерестилища)	49	1	–	1	0	0				
Бассейн р. Рейдовой			–							
Устье р. Рейдовой (РУЗ)	104	63	–	0	0	0	–	–	–	–
Руч. Минеральный (нерестилища)	54	33	–	0	0	0	–	–	–	–
Оз. Рейдовое (нерестилища)	98	92								
Р. Удобная (нерестилища)	48	1	–	3	6	4	–	–	–	–
Бассейн р. Курилка			–							
Устье р. Курилка (РУЗ)	99	0	–	0	0	23	–	–	–	–
Оз. Лебединое (нерестилища)	96	0	–	0	0	0	–	–	–	–
Руч. Безымянный (нерестилища)	96	0	–	0	0	0	–	–	–	–
Р. Рыбацкая (нерестилища)	91	1	–	0	32	1	–	–	–	–
2020										
Оз. Сопочное (нерестилища)	9	0		0		0	0			
Бассейн р. Рейдовой										
Устье р. Рейдовой (РУЗ)	100	0	–	1	–	0	0	–	–	–
«Забойка» ЛРЗ «Рейдовый»	100	0	–	0	–	0	0	–	–	–
Оз. Рейдовое (нерестилища)	199	3	–	0	–	1	0	–	–	–
Руч. Минеральный (нерестилища)	100	0	–	0	–	0	0	–	–	–
Бассейн р. Курилка										
Устье р. Курилка (РУЗ)	100	0	–	0	–	1	0	–	–	–
Руч. Кетовый («забойка»)	100	0	–	0	–	0	0	–	–	–
Оз. Лебединое (нерестилища)	100	0	–	0	–	4	0	–	–	–
Руч. Безымянный (нерестилища)	100	1	–	0	–	0	1	–	–	–
Р. Рыбацкая (нерестилища)	100	0	–	0	–	0	0	–	–	–
2021										
Оз. Сопочное (нерестилища)	124	–	0	–	–	–	1	–	–	–
Бассейн р. Рейдовой										
«Забойка» ЛРЗ «Рейдовый»	399	–	0	–	–	–	0	–	–	–
Руч. Минеральный («забойка» ЛРЗ «Минеральный»)	100	–	2	–	–	–	2	–	–	–
Бассейн р. Курилка										
Руч. Кетовый («забойка»)	197	–	0	–	–	–	0	–	–	–
Руч. Безымянный («забойка» ЛРЗ «Лебединый»)	294	–	0	–	–	–	63	–	–	–
Р. Рыбацкая (нерестилища)	294	–	0	–	–	–	0	–	–	–

Окончание табл. 2
Table 2 finished

Водоток/водоем	Объем выборки	«Рейдовый»	«Минеральный»	«Бухта Оля»	«Китовый»	«Курильский»	«Лебединый»	«Саратовский»	«Куйбышевский»	«Озеро»
2022										
Оз. Сопочное (нерестилища)	198	0	2	–	–	1	40	2	0	0
Бассейн р. Рейдовой										
Устье р. Рейдовой (РУЗ)	100	5	2	–	–	0	0	0	0	0
«Забойка» ЛРЗ «Рейдовый»	400	43	0	–	–	0	0	0	0	0
Руч. Минеральный («забойка»)	99	0	42	–	–	0	1	0	0	0
Бассейн р. Курилка										
Руч. Кетовый («забойка»)	298	0	0	–	–	20	0	0	0	0
Руч. Безымянный («забойка»)	300	0	0	–	–	0	118	0	0	0
Р. Рыбачья (нерестилища)	100	1	0	–	–	0	0	0	0	0

Примечание. «–» — меченая молодь с этого завода в соответствующий год не выпускалась.

Внутрибассейновый стрейнг. В бассейне р. Рейдовой действуют два рыбоводных завода по выращиванию молоди кеты. Разведением этого вида на ЛРЗ «Рейдовый» занимаются с 1961 г., а первый выпуск молоди кеты с ЛРЗ «Минеральный» состоялся в 2017 г. ЛРЗ «Рейдовый» расположен на р. Рейдовой в 10 км от устья, ЛРЗ «Минеральный» — на ручье Минеральном, являющемся притоком р. Аргунь. Последняя вливается в основное русло в 0,4 км от устья. В бассейне р. Рейдовой сосредоточено 18,5 тыс. м² нерестилищ кеты, большая их часть находится в притоках (рис. 2).

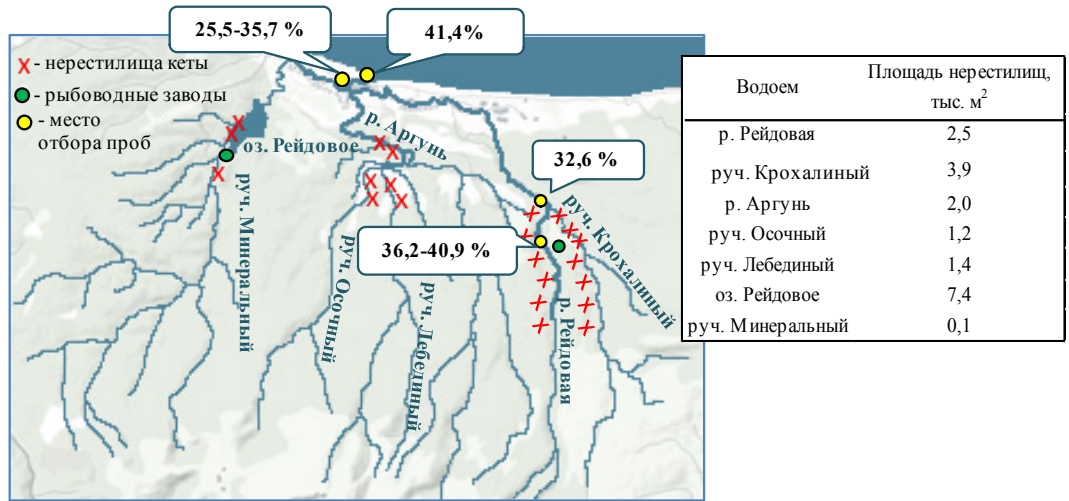


Рис. 2. Распределение нерестилищ и встречаемость рыб с меткой ЛРЗ «Рейдовый» в скоплениях кеты на разных участках бассейна р. Рейдовой в 2012 г.

Fig. 2. Scheme of spawning grounds and occurrence of fish with tag of Reidovy hatchery in chum salmon aggregations in different areas of the Reidovaya River basin in 2012

Заходы кеты в р. Рейдовую ежегодно превышают количество, необходимое для целей рыбоводства, а также заполнения естественных нерестилищ производителями. Поэтому специалисты АО «Гидрострой» регулируют пропуск производителей на нерестилища с помощью системы рыбоучетных заграждений (РУЗ), устанавливаемых в

устьевой зоне р. Рейдовой, протоке оз. Рейдового на ее слиянии с р. Аргунь и в месте впадения в р. Рейдовую ручья Крохалиного. Большая часть проб была отобрана именно из скоплений кеты у РУЗ, а также в районе «забойки» рыбоводных заводов.

Наиболее широко бассейн р. Рейдовой был охвачен исследованиями в 2012 г. В этот год встречаемость рыб с метками ЛРЗ «Рейдовый» в выборках на разных участках водотоков бассейна р. Рейдовой варьировала в пределах 25,5–41,4 % (рис. 2). В целом же доля кеты искусственного происхождения должна была быть выше, так как маркированными в возврате были только две возрастные группы — 2+, 3+. Показательно, что доля заводской кеты среди трех- и четырехлеток из уловов в устье р. Рейдовой составила 65,4 %, у РУЗ на р. Аргунь — 50,0–52,9, у «забойки» ЛРЗ «Рейдовый» — 75,0–82,6 %.

В 2012 г. пробы были отобраны только на РУЗ. Результаты дальнейших исследований позволяют считать, что соотношение диких и заводских рыб в скоплениях кеты у рыбоучетных сооружений и среди производителей, пропущенных на нерестилища, было сопоставимо. Так, доля маркированных рыб в уловах у РУЗ в устье ручья Крохалиного в октябре-ноябре 2013 г. — 68,8–84,8 %, а в пробах сненки, собранной на нерестилищах ручья 7 ноября, — 83,7 %.

Стреинг кеты, культивируемой на ЛРЗ «Рейдовый», в нижние притоки р. Рейдовой за пять лет исследований был зафиксирован дважды. В 2018 г. в выборках сненки, собранной на нерестилищах ручья Минерального и оз. Рейдового, доля «рейдовской» кеты составила соответственно 61,1 и 93,9 %. В 2020 г. рыбы с метками этого рыбоводного завода присутствовали на нерестилищах оз. Рейдового. В возврате 2020 г. маркированные рыбы были представлены только особями в возрасте 2+. Среди трехлеток 6,3 % рыб имели искусственное происхождение.

Первый возврат кеты, маркированной на ЛРЗ «Минеральный» (рыбы в возрасте 2+), произошел в 2021 г. В этом году материал был собран только на «забойках» рыбоводных заводов. В выборке из уловов в районе пункта сбора икры ЛРЗ «Рейдовый» рыб с метками ЛРЗ «Минеральный» не выявлено. В пробе, отобранной из скоплений кеты у «забойки» в ручье Минеральном, мечеными оказалось 2 % рыб, а в возрастной группе 2+ — 50 %.

В 2022 г. в подходах кеты к «забойке» ЛРЗ «Рейдовый» рыб с меткой ЛРЗ «Минеральный» также не обнаружено. Среди рыб, отловленных у «забойки» ЛРЗ «Минеральный», доля рыб с метками этого завода составила 42,4 %. В выборке трехлеток мечеными оказалось 37,5 % рыб (в 2020 г. маркировано 38,7 % молоди), четырехлеток — 33,3 %. Таким образом, есть все основания считать, что большая часть кеты имела искусственное происхождение.

В ходе исследования расселения заводской кеты в бассейне р. Курилка в целом были получены аналогичные результаты.

В бассейне реки действуют два рыбоводных завода: ЛРЗ «Курильский» расположен на ручье Кетовом на расстоянии порядка 3,6 км от устья, ЛРЗ «Лебединый» — на ручье Безымянном (бассейн оз. Лебединого). Озеро сообщается с р. Курилка через протоку, впадающую в основное русло в 2,5 км от устья (рис. 3). Регулярный выпуск молоди кеты с ЛРЗ «Курильский» осуществляется с 2004 г. ЛРЗ «Лебединый» введен в действие в 2015 г. (первый выпуск молоди кеты состоялся в 2016 г.). Общая учетная площадь нерестилищ кеты в бассейне р. Курилка составляет 26,6 тыс. м². Из них 11,5 тыс. м² расположено в р. Курилка выше «забойки» рыбоводного завода (рис. 3). Регулирование пропуска производителей лососей на нерестилища осуществляется с помощью РУЗ.

В течение нескольких лет материал собирали в бассейне оз. Лебединого и у пункта сбора икры ЛРЗ «Курильский». Только в 2013 г. пробы были отобраны еще и на нерестилищах р. Курилка.

В 2013 г. маркированные рыбы присутствовали во всех пробах, за исключением собранных на озерных нерестилищах. При этом доля меченой кеты в выборках, взятых на разных участках бассейна р. Курилка, в большинстве случаев оказалась сопоставима с таковой в районе расположения рыбоводной «забойки» ЛРЗ «Курильский» (рис. 3). Низкие показатели встречаемости (до 20 %) обусловлены изначально незначительным количеством маркированных рыб среди заводской кеты (от 0 до 43,1 % в разных возраст-

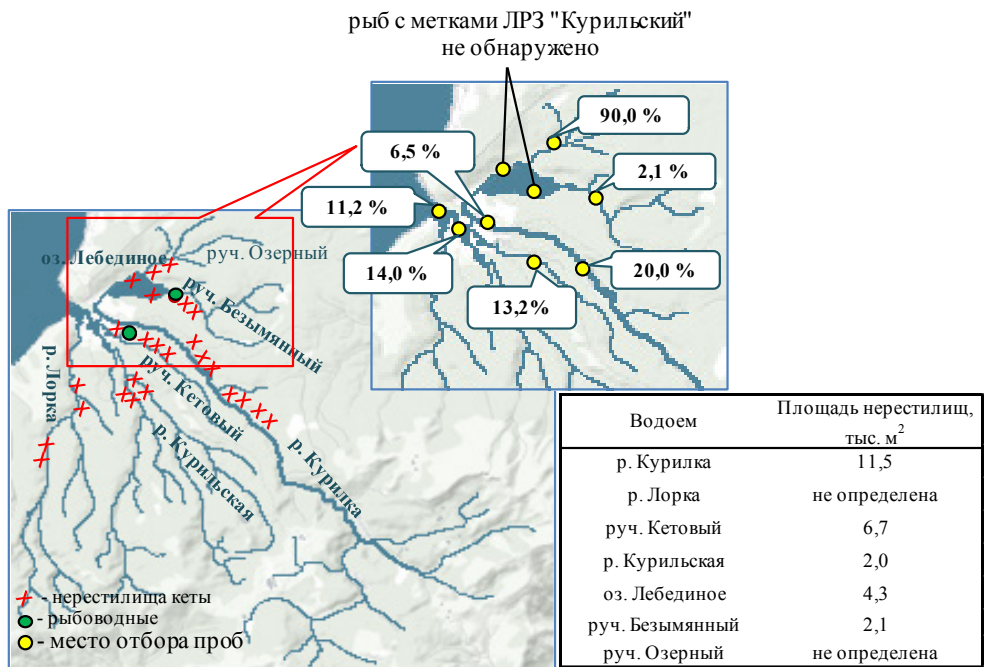


Рис. 3. Распределение нерестилищ и встречаемость рыб с меткой ЛРЗ «Курильский» в скоплениях кеты на разных участках бассейна р. Курилка в 2013 г.

Fig. 3. Scheme of spawning grounds and occurrence of fish with tag of Kurilsky hatchery in chum salmon aggregations in different areas of the Kurilka River basin in 2013

ных группах). Следует отметить, что на нерестилищах ручья Озерного, где преобладали маркированные рыбы, было обнаружено всего 10 экз. сненки одного возраста (2+).

Рыбы с метками ЛРЗ «Лебединый» в районе расположения ЛРЗ «Курильский» не встречались. В то же время кета, маркированная на ЛРЗ «Курильский», четыре раза на протяжении восьми лет наблюдений фиксировалась на нерестилищах оз. Лебединого и ручья Безымянного (рис. 4). Максимальная встречаемость была отмечена в 2016 г. и составила соответственно 26,5 и 2,2 %.

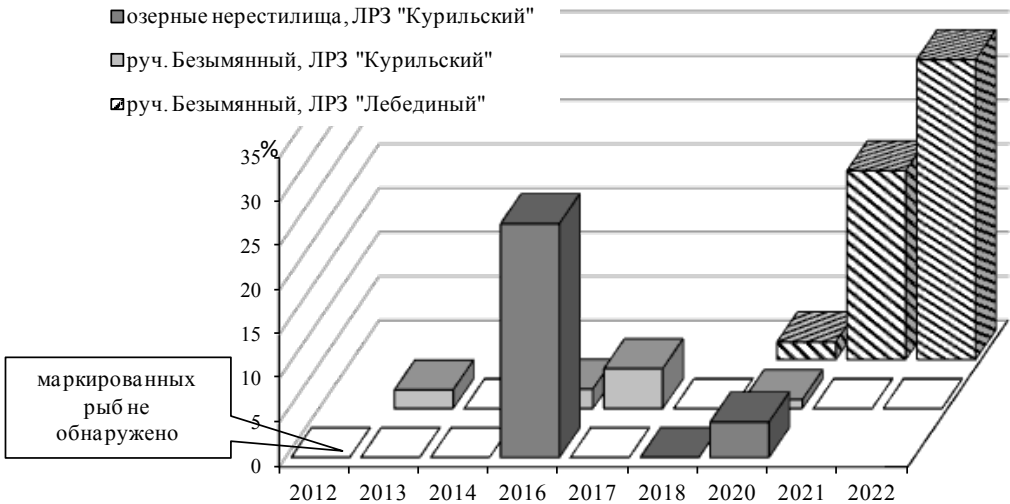


Рис. 4. Встречаемость кеты с метками ЛРЗ «Курильский», «Лебединый» на нерестилищах бассейна оз. Лебединого

Fig. 4. Occurrence of chum salmon with tags of Kurilsky and Lebediny hatcheries on spawning grounds in the Lake Lebedinoe basin

Полученные данные позволяют заключить, что в реки Рейдовая и Курилка кета искусственного происхождения практически не поднимается выше мест расположения ЛРЗ. В этом отношении характер расселения заводских производителей на нерестилища отличается от описанного для кеты, культивируемой на Паратунском ЛРЗ (бассейн р. Паратунка, п-ов Камчатка) [Запорожец, Запорожец, 2017]: по результатам анализа структуры чешуи установлено, что заводские производители присутствовали на нерестилищах р. Паратунка, расположенных почти на 20 км выше рыбоводного завода. Причина такого различия нам неизвестна, но при идентификации маркированной кеты из уловов на «забойках» Березняковского и Соколовского ЛРЗ (бассейн р. Найба, о. Сахалин) рыб с метками ЛРЗ «Залом», расположенного на 20 км ниже по течению, также не обнаружено [Ворожцова и др., 2023]. Поэтому мы допускаем, что в бассейнах рек Курилка, Рейдовая сохраняются нерестовые участки, где размножается исключительно кета естественного происхождения.

Межбассейновый стрейнг. Маркированная кета была обнаружена во всех исследованных реках и озерах. Наиболее длительно (8 лет) материал собирали в бассейне р. Курилка. За это время заход «чужой» кеты в реку отмечался 4 раза (табл. 2). Доля маркированных рыб в объединенных выборках из уловов в устье реки и в бассейне оз. Лебединого варьировала от 0,3 до 2,9 %. В выборках кеты из р. Рейдовой на протяжении 7 лет исследований этот показатель изменялся в пределах 0–5,1 %, а из р. Рыбачкой (7 лет) — 0–37,4 %. Среди сненки, собранной на нерестилищах оз. Сопочного, доля маркированной кеты за период исследований (5 лет) варьировала от 0 до 22,7 %. Высокая доля встречаемости заводских рыб в р. Рыбачкой отмечена в 2018 г., тогда как в оз. Сопочном — в 2022 г. Значительные межгодовые вариации доли заводских рыб среди производителей кеты в отдельных водотоках, которые трудно объяснить на основе имеющихся данных о численности возврата, отмечены и в ходе аналогичных исследований в других регионах [Brenner et al., 2012; McConnell et al., 2018; Knudsen et al., 2021].

Выявлен обмен производителями между стадами кеты, воспроизводящимися в реках севернее и южнее п-ова Чирип. Максимально зафиксированный радиус стрейнга составил 112 км (в оз. Сопочном присутствовала кета, маркированная на ЛРЗ «Саратовский»). Вполне возможно, что пороги стрейнга «итурупской» кеты могут быть шире, поскольку в 2012 г. на нерестилищах р. Славной, расположенной почти на 30 км севернее оз. Сопочного, были обнаружены рыбы с метками ЛРЗ «Курильский» и «Рейдовый».

Суммарная доля рыб с метками рыбоводных заводов зал. Курильского в выборке из рек, впадающих в зал. Простор, на порядок превышала долю «чужих» рыб в «курильской» выборке: 3,5 против 0,3 %. И это притом, что объемы выпуска маркированной молоди с рыбоводных заводов зал. Простор, как правило, превосходили таковые с «курильских» ЛРЗ в среднем в 2,1 раза.

Для корректного сопоставления интенсивности стрейнга кеты локальных заводских стад данные по встречаемости маркированных рыб были стандартизированы путем пересчета на 10 млн шт. выпущенной молоди. Судя по полученным результатам, повышенный уровень стрейнга демонстрировала кета, культивируемая на каждом из «курильских» ЛРЗ (рис. 5). Отчасти это может быть связано с направлением ее миграции вдоль северной части охотоморского побережья острова. Однако это не объясняет того, почему стрейнг кеты, выпущенной с ЛРЗ «Китовый» и «Лебединый», оказался в несколько раз выше, чем у кеты с ЛРЗ «Курильский».

Интересно отметить, что наименьший уровень стрейнга зафиксирован у кеты ЛРЗ «Бухта Оля». До настоящего времени вопрос формирования устойчивости хоминга кеты этого стада оставался дискуссионным в силу особенностей технологии выращивания молоди. Рыбоводный завод не имеет базовой реки, расположен на морском побережье, и молодь подращивают в искусственном водоеме, в который была превращена часть морской лагуны (рис. 6) [Литвиненко, Корнеева, 2017].

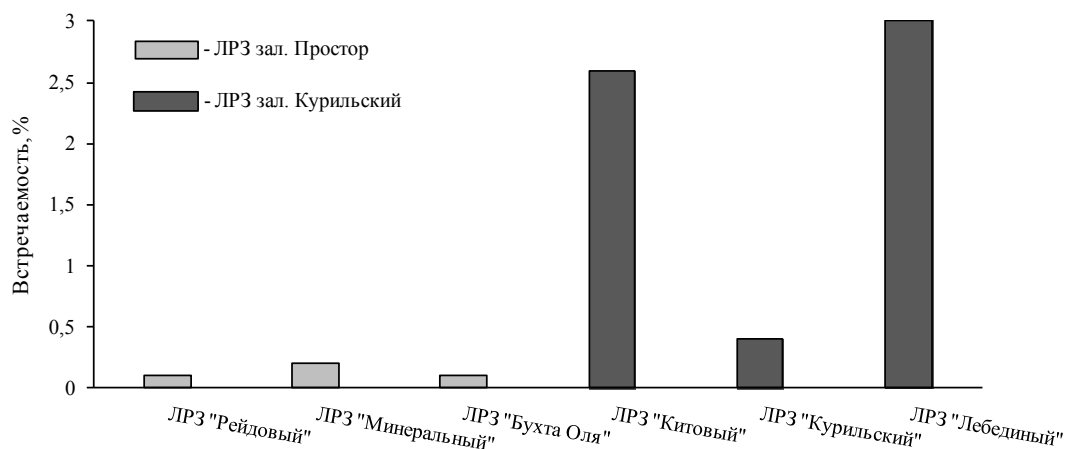


Рис. 5. Встречаемость рыб с метками разных ЛРЗ в объединенной выборке кеты, отобранной в реках и озерах о. Итуруп в 2012–2022 гг.

Fig. 5. Occurrence of fish with tags of certain hatcheries in the pooled sample of chum salmon collected in the rivers and lakes of Iturup Island in 2012–2022

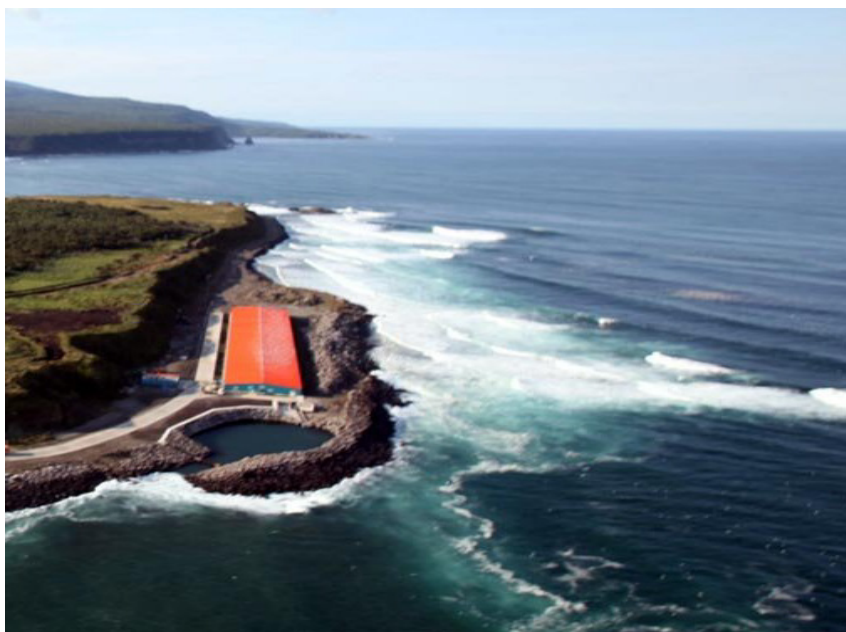


Рис. 6. Лососевый рыболоводный завод «Бухта Оля» (фотография с сайта ЗАО «Гидрострой»)
Fig. 6. Salmon hatchery Bukhta Olya (photo from the website of Gidrostroy Co.)

Для изучения характера расселения заводских рыб относительно базовых рек ЛРЗ наиболее показательными являются данные, полученные в 2016–2018 гг. Именно в эти годы на нерест вернулись маркированные производители каждой из возрастных групп четырех самых крупных рыболоводных заводов на о. Итуруп — ЛРЗ «Рейдовый», «Бухта Оля», «Китовый» и «Курильский». В этом контексте также полезны данные 2022 г., когда в возврате присутствовали производители в возрасте 2+, 3+, 4+, маркированные на ЛРЗ «Лебединый».

В 2016, 2017 гг. пробы отбирали только в реках Рыбачья и Курилка (бассейн зал. Курильского). В 2018 г. было обследовано 5 водотоков (рис. 7).

В 2016 г. в р. Курилка выявили рыб с метками ЛРЗ «Рейдовый» и «Китовый». Несмотря на то что ЛРЗ «Китовый» расположен менее чем в 4 км севернее р. Курилка, а ЛРЗ «Рейдовый» почти на 54 км севернее, количество рыб с метками этих предприятий

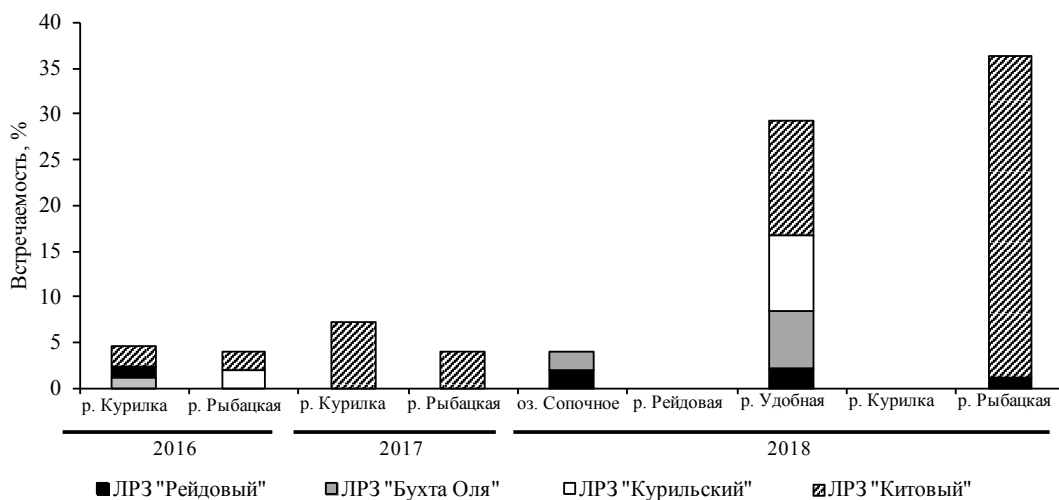


Рис. 7. Встречаемость рыб с метками разных ЛРЗ в выборках кеты, отобранных в реках и озерах о. Итуруп в 2016–2018 гг.

Fig. 7. Occurrence of fish with tags of certain hatcheries in samples of chum salmon collected in the rivers and lakes of Iturup Island in 2016–2018

оказалось практически одинаковым (рис. 7). В 2017 г. «рейдовской» кеты в р. Курилка не обнаружено, тогда как доля рыб с метками ЛРЗ «Китовый» (7,1 %) была в 2,4 раза больше, чем годом ранее. В 2018 г. рыб с метками «чужих» рыбоводных заводов в р. Курилка не выявлено.

В пробе, отобранной на нерестилищах р. Рыбацкой в 2016 г., в равном количестве присутствовала кета, культивируемая на ЛРЗ «Курильский» и «Китовый». В 2017, 2018 гг. производителей с «курильской» меткой в этой реке не обнаружили, тогда как кета, маркированная на ЛРЗ «Китовый» и «Рейдовый», присутствовала.

Все маркированные рыбы в выборке кеты из р. Рейдовой в 2018 г. были выпущены с ЛРЗ «Рейдовый». В то же время в р. Удобной, впадающей в зал. Простор всего на 2,6 км южнее, присутствовала кета со всех предприятий, участвующих в программе маркирования молоди. Доля меченой кеты составила 29,2 %. Неожиданным для нас стало явное преобладание рыб с метками рыбоводных заводов зал. Курильского (рис. 7).

Результаты исследований 2022 г. также подтверждают довольно хаотичный характер отклонения производителей относительно водоема выпуска молоди. Рыбы с метками ЛРЗ «Лебединый» в значительном количестве (20,2 %) выявлены среди сненки на нерестилищах оз. Сопочного, расположенного более чем в 80 км севернее р. Курилка (базовая река ЛРЗ «Лебединый»), и не обнаружены в рядом протекающей р. Рыбацкой.

Отсутствие закономерности в распределении полученных пространственных данных, на наш взгляд, обусловлено их ограниченностью. Возможно, если бы исследованием было охвачено большее количество рек, удалось бы проследить снижение уровня стрейнга по мере удаления от базовых водоемов рыбоводных заводов, отмечаемое другими исследователями [Brenner et al., 2012; Josephson et al., 2021].

В условиях, когда метили лишь часть рыбоводной продукции, а также наблюдали значительную изменчивость уровня стрейнга маркированной кеты как по отдельным водоемам, так и в межгодовом аспекте, представляют интерес некие средние оценки доли заводских производителей на нерестилищах. Согласно нашим расчетам, выполненным на основе средневыворочных значений доли маркированных рыб, в 2016–2018 гг. данный показатель варьировал по отдельным водотокам в пределах 3,3–13,6 % (табл. 3).

Таблица 3

Доля заводских рыб среди производителей кеты на нерестилищах рек
заливов Простор и Курильский в 2016–2018 гг., %

Table 3

Portion of hatchery chum salmon on spawning grounds in the rivers
of Prostor and Kurilsky Bays in 2016–2018, %

Происхождение рыб	Бассейн зал. Простор			Бассейн зал. Курильского		
	Малые водотоки	Р. Рейдовая		Малые водотоки	Р. Курилка	
		Нижнее течение	В целом по бассейну		Нижнее течение	В целом по бассейну
С ЛРЗ зал. Простор, участвующих в программе маркирования	2,4		1,8	0,6		0,1
Со всех ЛРЗ зал. Простор	2,8		2,1	0,7		0,2
С метками ЛРЗ зал. Курильского, участвующих в программе маркирования	4,0		3,0	7,6		1,9
Со всех ЛРЗ зал. Курильского	6,8		5,1	12,9		3,1
Всего заводских рыб	9,6		7,2	13,6		3,3

Примечание. Для рек Рейдовая и Курилка указаны только результаты оценки межбассейн-ного стрейнга.

Учитывая, что возвраты кеты в 2014, 2019–2021 гг. были обеспечены примерно такими же выпусками, что и возвраты 2016–2018 гг. (114,6–159,0 млн экз.), логично предположить, что представленные выше оценки присутствия заводской кеты на нерестилищах были характерны и для этих лет. Начиная с 2020 г. объемы выпуска молоди превышают 200 млн экз. Поэтому в последующие годы, по-видимому, следует ожидать некоторого увеличения масштабов стрейнга.

Выводы

Исследование, охватывающее период с 2012 по 2022 г., показало наличие ежегодного стрейнга заводской кеты на нерестилища рек и озер охотоморского побережья о. Итуруп.

На основании данных о встречаемости маркированной кеты средняя доля заводских рыб на нерестилищах водотоков и водоемов зал. Простор, Курильский в 2014–2022 гг. оценена соответственно в 9,6 и 13,6 %. До 2014 г. заводские рыбы присутствовали на нерестилищах «диких» рек в единичном количестве.

В реках Рейдовая и Курилка (базовые реки ЛРЗ) этот показатель был ожидаемо выше. На нерестилищах в районе расположения рыбоводных заводов доля рыб искусственного происхождения превышала 70 %. До 2018 г. заводская кета заходила в притоки нижнего течения рек Курилка и Рейдовая не каждый год. Максимальный стрейнг (93,9 %) был зафиксирован на нерестилища оз. Рейдового (бассейн р. Рейдовой).

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают искреннюю благодарность рецензентам за критические замечания и ценные советы.

The authors are sincerely grateful to anonymous reviewers for their critical comments and valuable advices.

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 об отсутствии конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования, анализ данных, написание текста статьи — М.Ю. Стеколыщикова; анализ микроструктуры отолитов — Е.Г. Акиничева, Ю.А. Батюк; организация сбора отолитных проб — И.А. Вараксин. Совместно обсуждены полученные результаты.

Research concept, data analysis, text writing — M. Yu. Stekolshchikova; otoliths microstructure analysis — E.G. Akinicheva, Y.A. Batiuk; otolith samples collection — I.A. Varaksin; results of the study were discussed jointly.

Список литературы

Ворожцова А.А., Мякишев М.С., Зеленников О.В. Роль отолитного маркирования кеты *Oncorhynchus keta* в исследовании эффективности ее заводского воспроизводства // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 4. — С. 1009–1019. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-1009-1019. EDN: QSTLVO.

Ельников А.Н., Зеленников О.В. О состоянии промыслового стада кеты *Oncorhynchus keta* и прогнозировании ее численности у острова Итуруп // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 1. — С. 58–74. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-58-74. EDN: QPTWBF.

Ельников А.Н., Лепская В.А., Вараксин И.А. Прогнозирование численности кеты на Южных Курильских островах // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 177. — С. 17–27.

Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Лососевые рыболовные заводы Дальнего Востока в экосистемах северной Пацифики : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2011. — 268 с.

Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Структура возврата, численность и биологические характеристики заводской и дикой кеты в бассейне реки Паратунки (юго-восточная Камчатка) в 2010–2015 гг. // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 190. — С. 49–61. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-49-61.

Зиничев В.В., Леман В.Н., Животовский Л.А., Ставенко Г.А. Теория и практика сохранения биоразнообразия при разведении тихоокеанских лососей : Тихоокеанские лососи: Состояние. Проблемы. Решения : моногр. — М. : ВНИРО, 2012. — 240 с.

Каев А.М., Игнатьев Ю.И. Развитие заводского разведения тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе и его значение для промысла // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 153. — С. 95–104.

Каев А.М., Ромасенко Л.В., Каев Д.А. К вопросу об эффективности крупномасштабного заводского разведения кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792) на острове Итуруп (Курильские острова) // Биол. моря. — 2021. — Т. 47, № 6. — С. 411–420. DOI: 10.31857/S0134347521060073.

Кловач Н.В., Леман В.Н., Ельников А.Н., Вараксин И.А. Воспроизводство и промысел кеты о. Итуруп (южные Курильские острова): прошлое, настоящее, будущее // Рыб. хоз-во. — 2018. — № 6. — С. 42–47.

Литвиненко А.В., Корнеева Е.И. Опыт выращивания молоди кеты на лососевом рыболовном заводе «Бухта Оля» // Изв. КГТУ. — 2017. — № 44. — С. 28–37.

Хованский И.Е. Задачи и возможности управляемого лососеводства // Рыб. хоз-во. — 2000. — № 3. — С. 50–53.

Araki H., Cooper B., Blouin M.S. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild // Science. — 2007. — Vol. 318. — P. 100–103. DOI: 10.1126/science.1145621.

Brenner R.E., Moffitt S.D., Grant W.S. Straying of hatchery salmon in Prince William Sound, Alaska // Environ. Biol. Fishes. — 2012. — Vol. 94. — P. 179–195.

Hilborn R., Eggers D. A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska // Trans. Am. Fish Soc. — 2000. — Vol. 129, № 2. — P. 333–350. DOI: 10.1577/1548-8659(2000)129<0333:AROTHP>2.0.CO;2.

Josephson R., Wertheimer A., Gaudet D. et al. Proportions of hatchery fish in escapements of summer-run Chum Salmon in Southeast Alaska, 2013–2015 // North Amer. J. Fish. Manag. — 2021. — Vol. 41, Iss. 3. — P. 724–738. DOI: 10.1002/nafm.10580.

Knudsen E.E., Rand P.S., Gorman K.B. et al. Hatchery-Origin Stray Rates and Total Run Characteristics for Pink Salmon and Chum Salmon Returning to Prince William Sound, Alaska, in 2013–2015 // Marine and Coastal Fisheries. — 2021. — Vol. 13 — P. 58–65. DOI: 10.1002/mcf2.10134.

Kostow K.E. Differences in juvenile phenotypes and survival between hatchery stocks and a natural population provide evidence for modified selection due to captive breeding // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2004. — Vol. 61, № 4. — P. 577–589. DOI: 10.1139/f04-019.

Kostow K.E., Zhou S. The effect of an introduced summer steelhead hatchery stock on the productivity of a wild winter steelhead population // Trans. Am. Fish Soc. — 2006. — Vol. 135, № 3. — P. 825–841. DOI: 10.1577/T04-204.1.

McConnell C.J., Westley P.A.H., McPhee M.V. Differences in fitness-associated traits between hatchery and wild chum salmon despite long-term immigration by strays // Aquacult. Environ. Interact. — 2018. — Vol. 10 — P. 99–113. DOI: 10.3354/aei00261.

Reisenbichler R.R., Rubin S.P. Genetic changes from artificial propagation of Pacific salmon affect: the productivity and viability of supplemented populations // ICES J. Mar. Sci. — 1999. — Vol. 56, Iss. 4. — P. 459–466. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0455.

Schroder S.L., Knudsen C.M., Pearsons T.N. et al. Behavior and breeding success of wild and first-generation hatchery male spring chinook salmon spawning in an artificial stream // Trans. Am. Fish Soc. — 2010. — Vol. 139, № 4. — P. 989–1003. DOI: 10.1577/T08-143.1.

Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. — Columbia : Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 1991. — 85 p.

Wertheimer A.C., Smoker W.W., Joyce T.L., Heard W.R. Comment: a review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska // Trans. Am. Fish Soc. — 2001. — Vol. 130, № 4. — P. 712–720. DOI: 10.1577/1548-8659(2001)130<0712:CAROTH>2.0.CO;2/.

References

Vorozhtsova, A.A., Miakishev, M.S., and Zelennikov, O.V., Results of otolith marking of chum salmon *Oncorhynchus keta* for testing efficiency of their artificial reproduction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 1009–1019. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-1009-1019. EDN: QSTLVO.

Elnikov, A.N. and Zelennikov, O.V., On state of commercial herd of chum salmon *Oncorhynchus keta* and forecasting its abundance at Iturup Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 58–74. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-58-74. EDN: QPTWBF.

Elnikov, A.N., Lepskaya, V.A., and Varaksin, I.A., Forecasting the identification of chum salmon on the South Kuril Islands, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 177, pp. 17–27.

Zaporozhets, G.V. and Zaporozhets, O.M., Lososevye rybovodnye zavody Dal'nego Vostoka v ekosistemakh severnoi Patsifiki (Salmon Hatcheries of the Far East in the Ecosystems of the North Pacific), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2011.

Zaporozhets, G.V. and Zaporozhets, O.M., Structure of run, abundance and biological characteristics of hatchery and wild chum salmon in the basin of the Paratunka River (southeastern Kamchatka) in 2010–2015, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 49–61. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-95-101

Zinichev, V.V., Leman, V.N., Zhivotovsky, L.A., and Stavenko, G.A., *Teoriya i praktika sokhraneniya bioraznoobraziya pri razvedenii tikhookeanskikh lososey: Tikhookeanskiye lososi: Sosvoyaniye. Problemy. Resheniya* (The theory and practice of biodiversity conservation in the breeding of Pacific salmon : Pacific salmon: Status. Problems. Solutions), Moscow: VNIRO, 2012.

Kaev, A.M. and Ignatyev, Yu.I., The progress of Pacific salmon hatchery culture in the Sakhalin-Kuril region and its importance for fishery, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 153, pp. 95–104.

Kaev, A.M., Romasenko, L.V., and Kaev, D.A., On the issue of efficiency of large-scale hatchery rearing of chum salmon (*Oncorhynchus keta*, Walbaum, 1792) on Iturup Island, Kuril Islands, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2021, vol. 47, no. 6, pp. 470–479. doi 10.1134/S1063074021060079

Klovach, N.V., Leman, V.N., Elnikov, A.N., and Varaksin, I.A., Reproduction and trade of Iturup Island chum salmon (southern Kuril Islands). The past, the present and the future prospects, *Rybn. Khoz.*, 2018, no. 6, pp. 42–47.

Litvinenko, A.V. and Korneeva, E.I., Experience in growing juvenile chum salmon at the salmon hatchery “Olya Bay”, *Izv. KSTU*, 2017, no. 44, pp. 28–37.

Khovansky, I.E., Challenges and opportunities for managed salmon farming, *Rybn. Khoz.*, 2000, no. 3, pp. 50–53.

Araki, H., Cooper, B., and Blouin, M.S., Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild, *Science*, 2007, vol. 318, pp. 100–103. doi 10.1126/science.1145621

Brenner, R.E., Moffitt, S.D., and Grant, W.S., Straying of hatchery salmon in Prince William Sound, Alaska, *Environ. Biol. Fishes.*, 2012, vol. 94, pp. 179–195.

Hilborn, R. and Eggers, D., A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska, *Trans. Am. Fish Soc.*, 2000, vol. 129, no. 2, pp. 333–350. doi 10.1577/1548-8659(2000)129<0333:AROTHP>2.0.CO;2

Josephson, R., Wertheimer, A., Gaudet, D., Knudsen, E.E., Adams, B., Bernard, D.R., Heintz, S.C., Piston, A.W., and Templin, W.D., Proportions of hatchery fish in escapements of summer-run Chum Salmon in Southeast Alaska, 2013–2015, *North Amer. J. Fish. Manag.*, 2021, vol. 41, Iss. 3, pp. 724–738. doi 10.1002/nafm.10580

Knudsen, E.E., Rand, P.S., Gorman, K.B., Bernard, D.R., and Templin, W.D., Hatchery-Origin Stray Rates and Total Run Characteristics for Pink Salmon and Chum Salmon Returning to Prince William Sound, Alaska, in 2013–2015, *Marine and Coastal Fisheries*, 2021, vol. 13, pp. 41–68. doi 10.1002/mcf2.10134

Kostow, K.E., Differences in juvenile phenotypes and survival between hatchery stocks and a natural population provide evidence for modified selection due to captive breeding, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2004, vol. 61, no. 4, pp. 577–589. doi 10.1139/f04-019

Kostow, K.E. and Zhou, S., The effect of an introduced summer steelhead hatchery stock on the productivity of a wild winter steelhead population, *Trans. Am. Fish Soc.*, 2006, vol. 135, no. 3, pp. 825–841. doi 10.1577/T04-204.1

McConnell, C.J., Westley, P.A.H., and McPhee, M.V., Differences in fitness-associated traits between hatchery and wild chum salmon despite long-term immigration by strays, *Aquacult. Environ. Interact.*, 2018, vol. 10, pp. 99–113. doi 10.3354/aei00261

Reisenbichler, R.R. and Rubin, S.P., Genetic changes from artificial propagation of Pacific salmon affect: the productivity and viability of supplemented populations, *ICES J. Mar. Sci.*, 1999, vol. 56, Iss. 4, pp. 459–466. doi 10.1006/jmsc.1999.0455

Schroder, S.L., Knudsen, C.M., Pearsons, T.N., Kassler, T.W., Young, S.F., Beall, E.P., and Fast, D.E., Behavior and breeding success of wild and first-generation hatchery male spring chinook salmon spawning in an artificial stream, *Trans. Am. Fish Soc.*, 2010, vol. 139, no. 4, pp. 989–1003. doi 10.1577/T08-143.1

Secor, D.H., Dean, J.M., and Laban, E.H., *Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination*, Columbia: Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 1991.

Wertheimer, A.C., Smoker, W.W., Joyce, T.L., and Heard, W.R., Comment: a review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska, *Trans. Am. Fish Soc.*, 2001, vol. 130, no. 4, pp. 712–720. doi 10.1577/1548-8659(2001)130<0712: CAROTH>2.0.CO;2/

Поступила в редакцию 5.08.2024 г.

После доработки 8.10.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 5.08.2024; approved after reviewing 8.10.2024;
accepted for publication 10.12.2024

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ECONOMIC STUDIES**

Научная статья

УДК 639.2/.3(470+571)**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-951-963****EDN: UXXBIC****РЫБОЛОВСТВО РОССИИ: НАЧАЛО НОВОГО ЭТАПА?****А.Н. Макоедов***Южный научный центр РАН,
344006, г. Ростов-на-Дону, просп. Чехова, 41

Аннотация. Рассмотрены общее состояние рыбной отрасли и предпосылки к переходу от исторического принципа пользования долями квот на вылов водных биоресурсов к инвестквотам. Изложено видение того, насколько такой переход может сказаться на работе рыбаков и рыбного хозяйства в целом.

Ключевые слова: рыбное хозяйство, инвестиционные квоты, квоты под киль, исторический принцип, управление водными биоресурсами

Для цитирования: Макоедов А.Н. Рыболовство России: начало нового этапа? // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 951–963. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-951-963. EDN: UXXBIC.

Original article

Russian fisheries: beginning of a new stage?**Anatoly N. Makoedov**Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
41, Chekhov Ave., Rostov-on-Don, 344006, Russia

D. Biol., leading researcher, tomak06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8866-1828

Abstract. State of the fishing industry in Russia is reviewed and preconditions are considered for transition from the historical principle of sharing quotas for catch to the principle of investment quotas. Such transition effects for fishermen and the Russian fish industry as a whole are discussed.

Keywords: fishery, investment quota, keel quota, historical principle of quotation, management of aquatic bioresources

For citation: Makoedov A.N. Russian fisheries: beginning of a new stage?, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 951–963. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-951-963. EDN: UXXBIC.

Введение

Многие рыбодобывающие страны на государственном уровне поддерживают свое рыбное хозяйство. Обычно в связи с этим упоминают финансовую поддержку рыбаков и рыболовных предприятий; финансирование развития отраслевой инфраструктуры;

* Макоедов Анатолий Николаевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, tomak06@mail.ru, ORCID 0000-0002-8866-1828.

финансирование мер поддержки организациям, оказывающим услуги в сфере рыболовства [Зверев и др., 2023].

Однако наиболее значимым показателем отношения государства к своим рыбакам выступает порядок регулирования их допуска к пользованию водными биоресурсами. Рыночная стоимость последних несопоставима с суммарными объемами любых финансовых мер поддержки.

В России с 2004 г. действует исторический принцип закрепления за пользователями долей квот на добычу водных биоресурсов. В 2018 г. был добавлен новый механизм передачи прав пользования, основанный на принципе: квоты за инвестиции.

Несмотря на не совсем однозначные результаты первого этапа внедрения инвестквот, многочисленные протесты рыбацкого сообщества, возражения исполнительных и законодательных органов власти приморских субъектов Федерации, в 2022 г. были приняты очередные поправки в закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов»*, давшие старт второму этапу, предусматривающему более широкое распространение инвестквот. Можно предположить, что наметился стратегический переход от исторических квот к инвестквотам. Попробуем разобраться, чем обусловлены такие изменения и в какой мере новый подход к государственному управлению водными биоресурсами может сказаться на дальнейшей работе отрасли. Ухудшит это положение работников, создаст предпосылки для глубокого кризиса отрасли и разорения рыбодобывающих компаний, приведет к сокращению доступной рыбопродукции на российском рынке? Именно такие негативные последствия чаще всего упоминали противники нововведений (<https://fish.gov.ru/news/2022/12/29/podpisan-prioritetnyj-zakon-o-dalnejshiej-modernizacii-rybnoj-otrasli/>; <https://fish.gov.ru/news/2022/12/28/vyzovy-i-svoevremennye-resheniya-glava-rosrybolovstva-podvel-predvaritelnye-itogigoda/>; <https://fishnews.ru/news/46168>; <https://fishnews.ru/news/46183>; <https://fishnews.ru/news/46261>; <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/47945/>; <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48449/>; <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48400/>; <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48382/>; <http://fishkamchatka.ru/articles/russia/48658/>).

Результаты и их обсуждение

Исторический принцип регулирования доступа частных предпринимателей к пользованию водными биоресурсами изначально рассматривали как наиболее оптимальный механизм для формирования определенных векторов развития рыбной отрасли, взаимосвязанных с задачами концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 г. Недаром в 2003 г. правительственные решения, одобряющие концепцию** и устанавливающие исторический принцип***, были приняты последовательно с незначительным временным интервалом.

Передавая права на долгосрочное пользование долями квот на вылов водных биоресурсов для промышленного рыболовства, российское государство и общество планировали получить взамен:

— оптимальное количество рыбопродукции надлежащего качества для граждан своей страны по ценам, соотносимым с покупательной способностью большей части населения;

— оптимальное распределение промысловой нагрузки на водные экосистемы и максимальную утилизацию уловов;

* Федеральный закон от 29.12.2022 № 644-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов»».

** Распоряжение Правительства РФ от 2 сентября 2003 г. № 1265-р [Об одобрении Концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации на период до 2020 года].

*** Постановление Правительства РФ от 20 ноября 2003 г. № 704 «О квотах на вылов (добычу) водных биологических ресурсов».

- вклад в социально-экономическое развитие приморских территорий, соответствующий ресурсному потенциалу прилежащих акваторий;
- техническое и технологическое развитие производств, связанных с рыбохозяйственной деятельностью, соответствующее лучшим мировым стандартам;
- высокотехнологичные и наукоемкие рабочие места для обеспечения занятости граждан своей страны и особенно выпускников рыбохозяйственного профиля, окончивших российские образовательные учреждения;
- стимулирование научно-исследовательских работ прикладного характера и применение их результатов в своей деятельности;
- налоговые поступления в бюджет, соответствующие объему и стоимости водных биоресурсов, переданных государством в пользование.

Однако за минувшие 20 лет пользователи водных биоресурсов фактически даже не приступили к осуществлению большей части тех мероприятий, под которые государство наделяло их квотами. Из 16 задач упомянутой концепции в полной мере были реализованы только 3 (19 %), частично — 7 (44 %), не реализованы — 6 (37 %) [Макоедов, 2022].

Экономическое благополучие рыбной отрасли в этот период было обусловлено перераспределением рыбопромысловой ренты в виде избыточной прибыли исключительно в пользу частных компаний [Мнацаканян и др., 2021]. Такой принцип функционирования отрасли, по мнению исследователей [Мнацаканян и др., 2021; Макоедов, 2022], несмотря на ее внешнюю финансовую состоятельность, неустойчив и с экономической, и с экологической, и с социальной точек зрения. Назревала необходимость выработки новой парадигмы развития рыбной отрасли, в рамках которой избыточный доход, получаемый от использования рыбных ресурсов, мог бы служить интересам всего общества.

Вклад рыбного хозяйства в формирование бюджета страны составляет примерно 0,40 %, а в ВВП — около 0,16 % (наименьшее значение среди всех видов деятельности) (<https://oxotskoe.arktikfish.com/index.php/ekonomika/876-mesto-i-rol-rybnoj-otrasli>). Для сравнения, норвежская рыбная отрасль по вкладу в бюджет королевства в начале 2000-х гг. занимала второе место после нефтяной. Вряд ли можно считать, что рыбное хозяйство в существующем виде функционирует так, как надо России и ее гражданам.

Отмеченные результаты в значительной мере спровоцировали критику и фактически предопределили дискредитацию исторического принципа.

Можно предположить, что модель распределения доступа к водным биоресурсам посредством инвестквот включает в себе многоцелевые ориентиры. Некоторые из них оформлены юридически, какие-то лишь озвучены на совещаниях. В качестве основных приоритетов обозначены:

- строительство рыбопромыслового флота на российских верфях;
- строительство береговых комплексов, позволяющих более полно утилизировать уловы и повышать качество выпускаемой продукции;
- увеличение бюджетных доходов;
- увеличение экспортной составляющей;
- создание дополнительных рабочих мест в приморских поселениях;
- участие в социальном развитии регионов.

Что собой представляют прочие целевые ориентиры, предопределившие запуск механизма инвестквот, можно лишь догадываться.

Предназначение рыбного хозяйства, которое традиционно связывают с добычей водных биоресурсов, выпуском качественной рыбной продукции для насыщения прежде всего внутреннего рынка страны, публично никто не подвергает сомнению. Однако действительность выглядит иначе. В России последовательно увеличивают объемы вылова, но при этом сокращается среднедушевое потребление рыбопродукции [Балашов и др., 2023]. Для 2013–2020 гг. математически доказано: чем больше был вылов, тем меньшая его часть доставалась населению России [Волвенко, 2022а].

Декларации о необходимости насыщения внутреннего рынка качественной и доступной продукцией российского рыболовства не находят воплощения в нормативных правовых документах. Ни один действующий нормативный правовой акт не содержит конкретных требований по обеспечению рационального природопользования, регулированию торговых надбавок на рыбную продукцию. Механизмы государственного управления водными биоресурсами, которые могли бы способствовать снижению напряженности по наиболее общественно чувствительным аспектам, отсутствуют. Более того, к разработке таких механизмов даже не приступали. Экономическая наука целеустремленно изучает, где какая рыба и почему, оставляя без внимания вопрос об экономически сбалансированных механизмах, позволяющих обеспечивать присутствие рыбопродукции надлежащего качества там, где необходимо, и по ценам, отличным от стоимости ювелирных украшений.

Практически всю высокосортную продукцию, производимую из отечественных уловов минтая, трески, нерки, кеты, не говоря уже о крабах, морских гребешках, морских ежах, трепангах и т.п., отправляют за рубеж. Рыбное хозяйство России становится все более экспортно ориентированным. И такой тренд только усиливается. При этом экономические показатели российского рыбного экспорта выглядят весьма занятно.

Согласно данным ФАО (<https://fao.org>), одна тонна поставляемой из России рыбопродукции в 2017–2018 гг. в среднем стоила 2,0–2,3 тыс. американских долларов. Это примерно в 4,0 раза ниже, чем экспортная тонна из Канады и Бангладеш; в 2,5 раза — из Вьетнама, Китая, Индии; в 2,0 раза — из Таиланда, Норвегии, Индонезии, Дании, Испании. В 2022 г. параметры отечественного экспорта составили 2,3 млн т общей стоимостью 6,1 млрд американских долларов; в 2023 г. — 2,5 млн т стоимостью 5,8 млрд американских долларов (<https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf>). Из сопоставления цифр следует, что в 2023 г. из России безвозмездно было вывезено 200 тыс. т рыбопродукции. Более того, странам-импортерам еще и сделали скидку на 300 млн долларов.

Тонну рыбопродукции российского происхождения, согласно официальным статистическим данным, продают почти в 2 раза дешевле средней мировой цены рыбопродукции. Сложно предположить, что среднюю цену экспорта на мировом рынке определяют лобстеры, крабы, трепанги, устрицы и прочие не слишком многочисленные гидробионты премиального уровня.

В результате относительно недавнего судебного разбирательства с одним из рыбопромышленных холдингов (уже бывшим) были представлены сведения о существенных расхождениях декларируемых и фактических цен экспортируемой продукции. Однако вряд ли именно тот самый холдинг смог обвалить общую официальную статистику стоимости отечественных уловов на мировых рынках.

Перечень примеров не в пользу отечественных экспортеров можно продолжить. При такой результативности экспорта сложно понять, для чего вообще следует увеличивать его объемы.

Безостановочный рост цен на рыбопродукцию, а также прилавки сетевых магазинов, на которых львиную долю занимают заморские (лучше не знать где и на чем выращенные) сиба, дорадо, пангасиус, тилапия, белоногая (псевдокоролевская) креветка — наиболее зримые отражения работы отечественной рыбной отрасли — появились задолго до принятия решений по инвестквотам.

В такой ситуации рассуждения о том, что исторический принцип пользования водными биоресурсами выгоден государству, а переход к инвестквотам послужит причиной снижения уровня среднедушевого потребления в стране, вряд ли уместны вообще. В худшем случае сохранятся сложившиеся тенденции.

Не секрет, что основная задача бизнеса — получение максимальной прибыли. В то же время одна из задач государства — создание условий для успешного ведения бизнеса с учетом интересов основной части населения страны. На уровне государственного управления необходимо постоянно и, главное, своевременно регулировать баланс

между такими целевыми установками. В противном случае неизбежно возникают экономические диспропорции, провоцирующие усиление социальной напряженности в обществе. Равнодействующая векторов зависит от того, какие группы сильнее влияют на формирование управленческих решений и их юридическое оформление — так называемые государственники или предприниматели.

Еще в 1860 г. Томас Джозеф Даннинг заметил, что при 10 % прибыли капитал согласен на всякое применение, при 20 % он становится оживлённым, при 50 % готов сломать себе голову, при 100 % попирает все человеческие законы, при 300 % нет такого преступления, на которое он не рискнул бы, хотя бы под страхом виселицы (https://www.great-country.ru/rubrika_articles/o_fraze/00042.html). С учетом исторических и современных реалий можно заключить, что даже самая минимальная фактическая прибыль — уже неплохо для капитала. При 10–20 % бизнес процветает. Государственный аппарат управляет страной и главенствует над капиталом. При 50 % появляются риски потери главенства над капиталом со стороны госаппарата и риски потери устойчивой управляемости страной. При 100 % прибыли капитал жестко управляет госаппаратом; государственные чиновники обслуживают разнонаправленные и часто противоречивые интересы капитала. Страна теряет вектор развития, фактически перестают действовать нормы права, начинается хаос. 300 % прибыли бизнеса — это полная катастрофа для государственности. Следовательно, именно норма прибыли капитала определяет общую социально-экономическую ситуацию в капиталистическом государстве. В сильном государстве госаппарат способен регулировать норму прибыли бизнеса. В слабом государстве у нормы прибыли нет ограничителей.

По информации Всероссийской ассоциации рыбохозяйственных предприятий, предпринимателей и экспортеров (ВАРПЭ), рентабельность отечественного морского рыболовства, определяющего основные показатели отрасли, в 2019 г. превышала 60 %. В первом полугодии 2023 г. составляла 32,2 %, в первом полугодии 2024 г. — 21,0 % (https://www.varpe.org/news/rentabelnost_v_rybnoy_otrasli_razrushaetsya_bystree_chem_v_drugikh_otraslyakh_apk/). Возможно, отмеченные тенденции указывают на то, что в России госаппарат намерен минимизировать риски потери устойчивой управляемости страной и вернуть себе главенство над капиталом. Подобные тенденции можно заметить не только в рыбной отрасли.

По мнению некоторых представителей рыбацкого сообщества, дальнейшее расширение программы инвестквот будет сопровождаться снижением налоговых поступлений в региональные бюджеты, сокращением рабочих мест и т.д. (<http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48265/>). Вряд ли такие опасения уместны. После недавнего повышения ставок за пользование водными биоресурсами и установления ежегодных коэффициентов по части налогов вряд ли следует переживать.

Что касается рабочих мест, то местное население, особенно на Дальнем Востоке, последние лет 10–15 привлекают к легальной рыбохозяйственной деятельности по остаточному принципу. Статистику занятости, прежде всего на лососевых путях и береговой переработке, определяют приезжие гастарбайтеры. Среднегодовая численность работников организаций по виду экономической деятельности «рыболовство и рыбоводство» за период с 2005 по 2015 г. сократилась здесь с 98,2 до 56,8 тыс. чел. (<https://oxotskoe.arktifikish.com/index.php/ekonomika/876-mesto-i-rol-rybnoj-otrasli>). В 2017 г. численность работников, занятых в рыбном хозяйстве Дальневосточного федерального округа, составила 47,2 тыс. чел. [Володькина, Ершова, 2019].

На Камчатке в рыболовстве и рыбоводстве в 2013 г. было занято 3,4 % трудоспособного населения, тогда как в 2008 г. — 10,2 % (https://studbooks.net/1748427/ekonomika/analiz_tekuschego_sostoyaniya_sfery_zanyatosti_naseleniya_podgotovki_kadrov_kamchatskom_krae). В 2020 г. рыбная отрасль предлагала 16 тыс. рабочих мест, что позволило бы обеспечить занятость 13 % учтенного трудоспособного населения (<https://finance.rambler.ru/money/45094840-ekspert-rybnaya-otrasl-obespechivaet-20-zarplatnogo-fonda-kamchatki/>), или около 8 % официально занятого населения (<https://bdex.ru/naselenie/>

kamchatskiy-kray/). В то же время не менее 10 тыс. чел. ежегодно завозят сюда на лосо-севую путину из других регионов. Следовательно, фактически могут рассчитывать на трудоустройство не более 5–6 тыс. местных жителей, причем преимущественно временно сроком на 2–3 мес. В таком случае реальная общая занятость местного населения в рыб-ной промышленности составляет 4–5 %, а постоянная занятость находится в пределах погрешности статистических методов учета самой занятости.

По-видимому, формирование и распределение рыбопромысловых (рыболовных) участков с учетом нормативных правовых новелл 2008 г. по критериям близости пере-работки к местам добычи с полнейшим игнорированием природных особенностей тихо-океанских лососей при организации их промысла в значительной мере способствовали зафиксированному трехкратному сокращению доли занятости местного населения в рыбном хозяйстве. Многие рыбокомбинаты, задействованные на переработке лососей 2–3 мес. в году, которыми гордится Камчатский край, построили вдали от населенных пунктов, что при существующих транспортных схемах самым негативным образом отразилось на возможностях трудоустройства постоянных жителей полуострова. Усугу-бляет ситуацию прогрессирующая алкоголизация местного населения, обусловленная в том числе и трудовой невостребованностью людей, особенно молодежи.

Можно заметить, что на старте почти каждой рыбохозяйственной новации, будь то очередная стратегия развития или строительство отдельно взятого производствен-ного комплекса, неизменно декларируют увеличение количества рабочих мест. Однако практическое воплощение проектов нередко приводит к прямо противоположным результатам, во всяком случае в отношении местного населения.

Рыбопромышленникам намного выгоднее завозить сезонных работников из других (преимущественно депрессивных) регионов. Приезжие готовы работать за относитель-но невысокую плату, им не надо начислять северные коэффициенты и надбавки, обе-спечивать решение социальных вопросов, заботиться в межпутинный период. Однако с федеральных и региональных органов власти никто не снимал ответственность по регулированию занятости местных жителей.

Помимо удовлетворения пищевых потребностей пользование водными био-ресурсами формировало предпосылки для освоения и заселения приморских терри-торий [Макоедов, Кожемяко, 2007; Макоедов и др., 2023, 2024]. В последнее время рыболовство перестало выполнять исторически обусловленное предназначение при формировании занятости и доходов населения Дальнего Востока России. При редак-тировании в 2008 г. Концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 г.* даже исключили задачу, связанную с разработкой государственной социальной стратегии в области рыбохозяйственного комплекса, обеспечивающей оптимальную занятость и доходы населения в субъектах Российской Федерации, территории которых прилегают к морскому побережью [Макоедов, 2022].

В настоящее время на ключевых рыбохозяйственных бассейнах — Дальневосточ-ном и Северном — наиболее заметны 5–7 крупных рыбопромышленных холдингов. Возможно, именно им предстоит стать базовыми центрами дальнейшего развития морского рыболовства России. Не исключена их последующая трансформация в госу-дарственные корпорации. Все-таки водные биоресурсы — не только стратегический ресурс, но и самовозобновляемая собственность государства, долгосрочная значимость и суммарная историческая стоимость которой превышает аналогичные параметры многих других природных ресурсов.

Изначально в перспективные расчеты при проектировании и строительстве судов по программам инвестквот рыбопромышленные компании закладывали величины долей квот, полученных по договорам, заключенным в 2018 г. Общее состояние запасов про-мышляемых водных биоресурсов, а соответственно, и доли квот вылова в абсолютном измерении фактически воспринимали как некую постоянную неизменяемую величину.

* Распоряжение Правительства РФ от 21.07.2008 № 1057-р.

В действительности наполнение долей исторических квот за короткий период претерпело заметные трансформации.

Долговые обязательства вовлеченных в инвестиционный процесс компаний (обеспечивающих основные объемы отечественного вылова) еще более увеличились. Общая задолженность предприятий рыбной отрасли по кредитам на 1 октября 2024 г. превысила 1,1 трлн рублей (<https://fishnews.ru/news/51147>). При этом их общий оборот в 2023 г. составил 1,01 трлн рублей, а по виду экономической деятельности «рыболовство и рыбоводство» — 653 млрд рублей (<https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf>). Строительство судов в рамках инвестквот первого этапа должно быть завершено в текущем году. Однако в положенные сроки большинство инвесторов не смогут уложиться. Таким образом, обязательства по договорам будут нарушены. Возникают условия, при которых государство может в судебном порядке лишиться предприятия долей квот, полученных в рамках инвестиционных проектов. С учетом долговых обязательств перед банками такие предприятия вряд ли смогут сохранить свою работоспособность.

Скорее всего, государство в очередной раз продлит сроки строительства судов, поскольку сейчас вряд ли целесообразно вносить дополнительную сумятицу в работу отрасли. Однако, как показывает практика, в любой момент отношение к данному вопросу может быть пересмотрено.

С перспективами ресурсного потенциала российского рыболовства хватает неопределенностей. Атлантическая треска и пикша, атлантическая сельдь, тихоокеанские лососи переходят или готовятся к переходу в фазу низкой численности [Кляшторин, Любушин, 2005; Котенев и др., 2015; Булатов и др., 2022; Макоедов, Макоедов, 2022а, б]. Противоречивую информацию содержат научные публикации, касающиеся дальнейшего состояния запасов минтая и объемов его вылова [Шунтов и др., 1993; Булатов, 2013, 2014, 2024; Зверькова, 2013; Шунтов, 2016; Колончин и др., 2022].

При различных моделях функционирования рыбного хозяйства России рекомендованная к освоению сырьевая база отечественного рыболовства в традиционных районах промысла, и прежде всего в российской исключительной экономической зоне, может быть существенно как сокращена, так и увеличена, по сравнению с нынешним уровнем. Например, только в Охотском море можно добывать более 5,2 млн т, и в то же время такой уровень добычи обозначен в качестве возможного предела для всего российского рыболовства на перспективу до 2030 г. [Волвенко, 2022б]. В целом на Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне, по мнению руководителя ТИНРО А.А. Байталюка, ресурсный потенциал при определенных условиях позволяет увеличить вылов до 8 млн т (https://fishkamchatka.ru/articles/the_far_east_and_siberia/55589/).

Реальный ход дальнейших событий в значительной мере будет зависеть от моделей функционирования рыбного хозяйства, от глубины и надежности научных обоснований, которые должны находиться в основе таких моделей. Пока же модели с необходимым уровнем концептуальности отсутствуют, а рыбохозяйственная наука, похоже, о них даже не задумывается. Отрасль по большей части развивается стихийно, двигаясь от одного спонтанного тактического решения к другому. У регулятора на этот счет свое видение достижений и приоритетов (<https://fish.gov.ru/news/2023/01/06/videorolik-ob-itogah-goda-vserossijskogo-nii-rybnogo-hozyajstva-i-okeanografii/>; <https://fish.gov.ru/news/2023/01/19/opredeleny-akczenty-v-rabote-otraslevoj-nauki-v-czentre-vnimaniya-glubokovodnye-obekty-dalnego-vostoka-i-arktiki/>).

Можно, конечно, предположить, что рыбопромышленники, участвовавшие в проектах «квоты под киль», столкнувшись после масштабного обновления флота с ресурсным дефицитом традиционных объектов в привычных районах промысла, попытаются задействовать новые суда на промысле криля, мезопелагических рыб, кальмаров, перуанской ставриды и других не слишком востребованных пока гидробионтов. Перспективы такого рода известны [Бизиков, Шуст, 2007; Итоги реализации..., 2008; Глубоков, Глубоковский, 2010; Моисеев, 2012; Глубоков и др., 2018; Колончин, 2022].

Некоторые исследователи настойчиво акцентируют внимание на приоритетном развитии рыболовства именно в отдаленных районах Мирового океана. Порой одновременно присутствуют пессимистичные оценки сырьевой базы в пределах исключительной экономической зоны, территориального моря, внутренних вод, континентального шельфа Российской Федерации, а также в Азовском и Каспийском морях [Глубоков, Глубоковский, 2010; Глубоковский и др., 2018]. Отчасти побудительные мотивы подобных подходов рассмотрены ранее [Яновская, 2010].

Обсуждение перспектив промысла упомянутых выше объектов — не более чем теоретические наброски в самом первом приближении. Практическое широкомасштабное освоение тех же мезопелагических рыб и криля при существующем положении дел в отечественном рыболовстве вряд ли возможно в принципе. Предварительно необходимо изменить именно «существующее положение дел», а потом уже решать, что для страны важнее по части рыболовства: экономика или геополитика. В советское время экономика в рыболовстве была не на самом первом месте. Причем объяснять это просчетами политического руководства СССР вряд ли допустимо. Более подробно данный аспект рассмотрен ранее [Макогедов, Кожемяко, 2007; Макогедов, 2010]. Возможно, именно приоритеты советской модели рыболовства и определяют сокрытые от публичного обсуждения задачи, сопряженные с инвестквотами.

Если считать главной целью внедрения инвестквот постройку рыбопромысловых судов на российских верфях, то она, по мнению некоторых критиков, провалена. Планировали построить 105 судов. За первые пять лет (к запуску второго этапа инвестквот) было построено всего 10. К началу третьего квартала 2024 г. количество новых судов увеличилось до 30 с перспективой сдачи до конца года еще 6 судов.

Поскольку верфи, предназначенные для строительства рыбопромыслового флота, длительное время пребывали в упадке, тот факт, что за весьма короткий срок удалось построить 30 судов (а с учетом самой ближайшей перспективы — 36), вряд ли допустимо считать провалом программы инвестквот. Особенно в сложившихся реалиях.

Вероятно, можно было бы обойтись без столь сильных потрясений. Существовали иные, менее резкие, варианты стимулирования пользователей водными биоресурсами к обновлению флота, например за счет различных экономически обоснованных коэффициентов. Однако время для выстраивания этого маршрута оказалось безвозвратно упущено. Получилось то, что получилось. Похоже, в истории российского рыболовства наступает новый этап развития.

Не исключено, что окончание 2020-х — начало 2030-х гг. рыбопромышленники встретят с большим количеством новых высокопроизводительных судов, чрезмерными долговыми обязательствами и относительно низкими значениями ОДУ и ВВ для традиционных массовых объектов промысла. Соответственно, возможности для работы рыбодобывающего флота могут оказаться значительно меньше, чем в настоящее время. Держать суда у стенки — себе дороже. Единственный экономически разумный в таких условиях вариант — избавиться от них. Естественно, за бесценок. У государства появится возможность вернуть в свое непосредственное управление рыбопромысловый флот (фактически национализировать отрасль), взамен списав предыдущим владельцам сформированные подконтрольными государству банками долговые обязательства. Экономические предпосылки для этого уже сложились, дальнейший ход событий будет зависеть от политических решений.

Заключение

Предназначение рыбного хозяйства обычно связывают с добычей водных биоресурсов, выпуском качественной рыбной продукции для насыщения ею прежде всего внутреннего рынка страны. Однако действительность выглядит иначе. Практически всю наиболее качественную продукцию из отечественных уловов минтая, трески, нерки, кеты, не говоря уже о крабах, морских гребешках, морских ежах, трепангах и т.п.,

отправляют за рубеж. В стране последовательно растут объемы вылова, но при этом обратно пропорционально сокращается среднедушевое потребление рыбопродукции.

Примерно 70 % отечественного вылова уходит за рубеж. При этом стоимость тонны экспортируемой рыбопродукции российского происхождения оказывалась почти в 2,0 раза меньше средней мировой цены и примерно в 4,0 раза ниже, чем стоила экспортная тонна из Канады и Бангладеш; в 2,5 раза — из Вьетнама, Китая, Индии; в 2,0 раза — из Таиланда, Норвегии, Индонезии, Дании, Испании.

Рыболовство перестало играть исторически обусловленную роль в формировании занятости и доходов жителей прибрежных поселений. Местное население, особенно на Дальнем Востоке, привлекают к легальной рыбохозяйственной деятельности по остаточному принципу.

Сложившаяся за предыдущие 20 лет модель функционирования рыбной отрасли неустойчива и с экономической, и с экологической, и с социальной точек зрения. Назрела необходимость выработки новой парадигмы развития отрасли, в рамках которой избыточный доход, получаемый от использования рыбных ресурсов, будет служить интересам всего общества.

Механизм управления водными биоресурсами посредством инвестквот предполагает многоцелевые ориентиры. На данном этапе основное внимание сконцентрировано на необходимости наладить на российских верфях строительство рыболовного флота, подлежащего мобилизации в военное время, т.е. имеющего двойное назначение.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает глубокую признательность рецензентам. Их конструктивные замечания в значительной мере способствовали повышению качества данной статьи.

The author expresses his deep appreciation to reviewers for their constructive comments that have improved greatly the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122020100328-1.

The study is conducted within the framework of the state project № 122020100328-1 and funded from the State Budget of the Southern Scientific Center of the Russian Ac. Sci.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Автор заявляет, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом.

The author declare that this review does not contain his own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data of other authors used in the review are formatted in accordance with the state standards (GOST).

Дополнительная информация (ADDITIONAL INFORMATION)

Частично информация, связанная с содержанием статьи, ранее была размещена в средствах массовой информации на порталах fishkamchatka.ru и fishnews.ru.

Some issues concerning the article content were partially posted earlier in mass-media on the portals fishkamchatka.ru and fishnews.ru.

Список литературы

Балашов В.В., Волвенко И.В., Зиланов В.К. и др. О потреблении рыбной продукции населением России // Рыб. хоз-во. — 2023. — № 6. — С. 65–74. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-6-65-74. EDN fh1hxa.

- Бизиков В.А., Шуст К.В.** История изучения и освоения запасов антарктического криля; перспективы его промысла отечественным флотом // Тр. ВНИРО. — 2007. — Т. 147. — С. 11–26.
- Булатов О.А.** Изменчивость состояния запасов и промысел минтая // Вопр. рыб-ва. — 2024. — Т. 25, № 1. — С. 7–28. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-1-7-28.
- Булатов О.А.** Промысел и запасы минтая *Theragra chalcogramma*: возможна ли «турбулентция»? // Вопр. рыб-ва. — 2014. — Т. 15, № 4. — С. 350–390.
- Булатов О.А.** Современное состояние запасов морских рыб экономической зоны России и перспективы промысла // Актуальные вопросы рационального использования водных биологических ресурсов : мат-лы Первой науч. школы мол. ученых и спец. по рыбному хозяйству и экологии, посвящ. 100-летию со дня рожд. проф. П.А. Моисеева. — М. : ВНИРО, 2013. — С. 143–162.
- Булатов О.А., Васильев Д.А., Ковалев Ю.А., Четыркин А.А.** Промысел и состояние запасов трески Баренцева и Норвежского морей // Вопр. рыб-ва. — 2022. — Т. 23, № 3. — С. 31–47. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-3-31-47.
- Волвенко И.В.** Полувековая динамика российского вылова, импорта, экспорта и потребления рыбопродукции // Изв. ТИНРО. — 2022а. — Т. 202, вып. 4. — С. 992–1001. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001.
- Волвенко И.В.** Эколого-экономические оценки биоресурсов северной Пацифики и стратегии их использования // Изв. ТИНРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 4. — С. 970–991. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991.
- Володькина Ю.О., Ершова Т.Б.** Рынок труда Дальнего Востока и его структура // Социальное и экономическое развитие АТР: проблемы, опыт, перспективы : мат-лы науч.-практ. конф. — Комсомольск-на-Амуре : АМГПУ, 2019. — С. 54–63.
- Глубоков А.И., Глубоковский М.К.** Современное состояние запасов южнотихоокеанской ставриды *Trachurus murphyi* // Вопр. рыб-ва. — 2010. — Т. 11, № 4(44). — С. 632–643.
- Глубоков А.И., Попова Н.Р., Глубоковский М.К.** Промысловые пелагические рыбы юго-восточной части Тихого океана: международное регулирование промысла и состояние запасов // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 174. — С. 21–29.
- Глубоковский М.К., Глубоков А.И., Синяков С.А.** Перспективы развития рыбохозяйственного комплекса России : моногр. — М. : Креативная экономика, 2018. — 190 с.
- Зверев Г.С., Гончарова Н.А., Кизабекова А.О.** Обзор международного опыта государственной поддержки сектора рыбодобычи в странах Азиатско-Тихоокеанского региона // Науч. тр. Дальрыбвтуза. — 2023. — Т. 64, № 2. — С. 112–131. DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2023-64-11.
- Зверькова Л.М.** Динамика запасов минтая // Вопр. рыб-ва. — 2013. — Т. 14, № 1. — С. 79–93.
- Итоги реализации Морской доктрины Российской Федерации: История, состояние и перспективы океанического рыболовства в южной части Тихого океана и Антарктике** : моногр. / под ред. В.А. Бизикова. — М. : ВНИРО, 2008. — 122 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А.** Циклические изменения климата и рыбопродуктивности : моногр. — М. : ВНИРО, 2005. — 235 с.
- Колончин К.В.** Развитие рыбохозяйственного комплекса России : дис. ... д-ра экон. наук. — М., 2022. — 371 с.
- Колончин К.В., Павлова А.О., Бетин О.И., Яновская Н.В.** Минтай как объект российского и мирового промысла // Тр. ВНИРО. — 2022. — Т. 189. — С. 5–15. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-189-5-15. EDN: YTYZNL.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В. и др.** Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 158. — С. 143–161.
- Макоедов А.Н.** Итоги реализации концепции развития рыбного хозяйства Российской Федерации до 2020 года // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 3. — С. 719–736. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-719-736. EDN: HGDPYU.
- Макоедов А.Н.** О перспективах российского рыболовства в отдаленных районах Мирового океана // Вопр. рыб-ва. — 2010. — Т. 11, № 4(44). — С. 625–631.
- Макоедов А.Н., Кожемяко О.Н.** Основы рыбохозяйственной политики России : моногр. — М. : Нац. рыб. ресурсы, 2007. — 480 с.
- Макоедов А.Н., Макоедов А.А.** Динамика численности тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*, *Salmonidae*) российского происхождения и перспективы их добычи // Вестн. КамчатГТУ. — 2022а. — № 60. — С. 84–97. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-60-84-97.
- Макоедов А.Н., Макоедов А.А.** Тихоокеанские лососи: состояние запасов и перспективы промысла // Изв. ТИНРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 2. — С. 255–267. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-255-267.

Макоедов А.Н., Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н. Мировые тенденции пользования водными биоресурсами // Вестн. РАН. — 2023. — Т. 93, № 2. — С. 179–190. DOI: 10.31857/S086958732301005X. EDN: EMZMRD.

Макоедов А.Н., Матишов Г.Г., Пономарева Е.Н. Отечественные тенденции пользования водными биоресурсами // Вестн. РАН. — 2024. — Т. 94, № 4. — С. 315–327. DOI: 10.31857/S0869587324040023. EDN: GFRYAI.

Мнацаканян А.Г., Карлов А.М., Кузин В.И., Харин А.Г. О некоторых особенностях развития российского рыбного хозяйства в 2010–2019 гг. // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 183. — С. 127–139. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-127-139.

Моисеев П.А. Биологические ресурсы Мирового океана : моногр. — М. : ВНИРО, 2012. — 374 с.

Шунтов В.П. Почему изменяется численность минтая (*Theragra chalcogramma*) // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 185. — С. 31–48.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. Минтай в экосистемах дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО, 1993. — 426 с.

Яновская Н.В. О промысле в южной части Тихого океана // Вопр. рыб-ва. — 2010. — Т. 11, № 4(44). — С. 716–725.

References

Balashov, V.V., Volvenko, I.V., Zilanov, V.K., Fomin, A.V. and Yanovskaya, N.V., About the consumption of fish products by the population of Russia, *Rybn. Khoz.*, 2023, no. 6, pp. 65–74. doi 10.37663/0131-6184-2023-6-65-74. EDN fhixh.

Bizikov, V.A. and Shust, K.V., History of history of soviet/russian explorations of Antarctic krill resources; prospects of renewal of russian krill fish, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 147, pp. 11–26.

Bulatov, O.A., Variability of the stock status walleye pollock fishery, *Vopr. Rybol.*, 2024, vol. 25, no. 1, pp. 7–28. doi 10.36038/0234-2774-2024-25-1-7-28

Bulatov, O.A., Fishery and stock dynamics of walleye pollock *Theragra chalcogramma*: whether «turbulence» is possible?, *Vopr. Rybol.*, 2014, vol. 15, no. 4, pp. 350–390.

Bulatov, O.A., Current state of marine fish stocks in the economic zone of Russia and prospects for fishing, in *Mater. Pervoy nauch. shkoly mol. uchenykh i spets. po rybnomu khozyaystvu i ekologii, posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhd. prof. P.A. Moiseyeva “Aktual’nyye voprosy ratsional’nogo ispol’zovaniya vodnykh biologicheskikh resursov”* (Materials of the First scientific school of young scientists and specialists in fisheries and ecology, dedicated to the 100th anniversary of the birth of prof. P.A. Moiseev “Current issues of rational use of aquatic biological resources”), Moscow: VNIRO, 2013, pp. 143–162.

Bulatov, O.A., Vasiliev, D.A., Kovalev, Yu.A., and Chetyrkin, A.A., Fishery and the state of the Barents and Norwegian seas cod stock, *Vopr. Rybol.*, 2022, vol. 23, no. 3, pp. 31–47. doi 10.36038/0234-2774-2022-23-3-31-47

Volvenko, I.V., Semi-century dynamics of the Russian catch, import, export, and consumption of fish products, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 992–1001. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-992-1001

Volvenko, I.V., Ecological and economic assessments of biological resources in the North Pacific and strategies for their use, present issue, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 970–991. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-970-991

Volodkina, Yu.O. and Ershova, T.B., Labor market of the Far East and its structure, in *Mater. nauchno-prakt. konf. “Sotsial’noye i ekonomicheskoye razvitiye ATR: problemy, opyt, perspektivy”* (Materials of the scientific and practical conference “Social and economic development of the Asia-Pacific region: problems, experience, prospects”), Komsomolsk-on-Amur: AMGPU, 2019, pp. 54–63.

Glubokov, A.I. and Glubokovsky, M.K., Current state of stocks of the Pacific Jack Mackerel *Trachurus murphyi*, *Vopr. Rybolov.*, 2010, vol. 11, no. 4(44), pp. 632–643.

Glubokov, A.I., Popova, N.R., and Glubokovsky, M.K., Commercial fish of the South East Pacific: international management measures and stocks status, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 174, pp. 21–29.

Glubokovsky, M.K., Glubokov, A.I., and Sinyakov, S.A., *Perspektivy razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossii* (Prospects for the development of the Russian fisheries complex), Moscow: Creative Economy, 2018.

Zverev, G.S., Goncharova, N.A., and Kizabekova, A.O., The review of international practices of state support for fishing industry in the countries of the Asia-Pacific region, *Nauchn. Tr. Dal’rybvvtuza*, 2023, vol. 64, no. 2, pp. 112–131. doi 10.48612/dalrybvvtuz/2023-64-11

- Zverkova, L.M.**, Dynamics of pollock stocks, *Vopr. Rybolov.*, 2013, vol. 14, no. 1, pp. 79–93.
- Itogi realizatsii Morskoy doktriny Rossiyskoy Federatsii: Istoriya, sostoyaniye i perspektivy okeanicheskogo rybolovstva v yuzhnoy chasti Tikhogo okeana i Antarktiki** (Results of the implementation of the Maritime Doctrine of the Russian Federation: History, state and prospects of ocean fisheries in the South Pacific and Antarctica), Bizikov, V.A., ed., Moscow: VNIRO, 2008.
- Klyashtorin, L.B. and Lyubushin, A.A.**, *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* (Cyclic Changes in Climate and Fish Capacity), Moscow: VNIRO, 2005.
- Kolonchin, K.V.**, Development of the Russian fishery complex, *Extended Abstract of Doctoral (Econ) Dissertation*, Moscow, 2022.
- Kolonchin, K.V., Pavlova, A.O., Betin, O.I., and Yanovskaya, N.V.**, Walleye pollock as an object of russian and world fishery, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 189, pp. 5–15. doi 10.36038/2307-3497-2022-189-5-15. EDN: YTYZNL
- Kotenev, B.N., Krovnin, A.S., Klovach, N.V., Mordasova, N.V., and Muriy, G.P.**, Impact of climatic and oceanographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 158, pp. 143–161.
- Makoedov, A.N.**, Results of implementation of the concept for development of fisheries in the Russian Federation until 2020, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 719–736. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-719-736. EDN: HGDPYO.
- Makoedov, A.N.**, The perspectives of Russian fisheries in remote areas of the World Ocean, *Vopr. Rybolov.*, 2010, vol. 11, no. 4(44), pp. 625–631.
- Makoedov, A.N. and Kozhemyako, O.N.**, *Osnovy rybokhozyaystvennoy politiki Rossii* (The Principles of fishery policy in Russian Federation), Moscow: Natsionalnye Rybnye Resursy, 2007.
- Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A.**, Sopolation dynamics and catch prospects of russian pacific salmon (*Oncorhynchus*, *Salmonidae*), *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2022, no. 60, pp. 84–97. doi 10.17217/2079-0333-2022-60-84-97
- Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A.**, Pacific salmon: status of stocks and prospects for the fishery, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 255–267. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-255-267
- Makoedov, A.N., Matishov, G.G., and Ponomareva, E.N.**, Global trends in the use of aquatic biological resources, *Vestnik RAN*, 2023, vol. 93, no. 2, pp. 179–190. doi 10.31857/S086958732301005X. EDN: EMZMRD.
- Makoedov, A.N., Matishov, G.G., and Ponomareva, E.N.**, National trends in the use of aquatic bioresources, *Vestnik RAN*, 2024, vol. 94, no. 4, pp. 315–327. doi 10.31857/S0869587324040023. EDN: GFRYAI.
- Mnatsakanyan, A.G., Karlov, A.M., Kuzin, V.I., and Kharin, A.G.**, Some features of the development of Russian fisheries in 2010–2019, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 183, pp. 127–139. doi 10.36038/2307-3497-2021-183-127-139
- Moiseev, P.A.**, *Biologicheskkiye resursy Mirovogo okeana* (Biological resources of the World Ocean), Moscow: VNIRO, 2012.
- Shuntov, V.P.**, Why does the pollock (*Theragra chalcogramma*) abundance change, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 185, pp. 31–48.
- Shuntov, V.P., Volkov, A.F., Temnykh, O.S., and Dulepova, E.P.**, *Mintai v ekosistemakh dal'nevostochnykh morei* (Walleye Pollock in Ecosystems of the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO, 1993.
- Yanovskaya, N.V.**, On fisheries in South Pacific, *Vopr. Rybolov.*, 2010, vol. 11, no. 4(44), pp. 716–725.
- Federal'nyy zakon ot 29.12.2022 № 644-FZ «O vnesenii izmeneniy v Federal'nyy zakon "O rybolovstve i sokhranении vodnykh biologicheskikh resursov"»* (Federal Law of 29.12.2022 No. 644-FZ “On Amendments to the Federal Law “On Fisheries and Conservation of Aquatic Biological Resources”).
- <https://fish.gov.ru/news/2022/12/29/podpisan-prioritetnyj-zakon-o-dalnejshij-modernizaczi-rybnoj-otrasli/>. Cited October 25, 2024.
- <https://fish.gov.ru/news/2022/12/28/vyzovy-i-svoevremennye-resheniya-glava-rosrybolovstva-podvel-predvaritelnye-itogi-goda/>. Cited October 25, 2024.
- <https://fishnews.ru/news/46168>. Cited October 25, 2024.
- <https://fishnews.ru/news/46183>. Cited October 25, 2024.
- <https://fishnews.ru/news/46261>. Cited October 25, 2024.
- <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/47945/>. Cited October 25, 2024.
- <http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48449/>. Cited October 25, 2024.

<http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48400/>. Cited October 25, 2024.

<http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48382/>. Cited October 25, 2024.

<http://fishkamchatka.ru/articles/russia/48658/>. Cited October 25, 2024.

Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 2 sentyabrya 2003 g. № 1265-r [Ob odobrenii Kontseptsii razvitiya rybnogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda] (Order of the Government of the Russian Federation of September 2, 2003 No. 1265-r [On approval of the Concept for the development of the fisheries industry of the Russian Federation for the period up to 2020]).

Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 20 noyabrya 2003 g. № 704 «O kvotakh na vylov (dobychu) vodnykh biologicheskikh resursov» (Resolution of the Government of the Russian Federation of November 20, 2003 No. 704 “On quotas for the catch (harvesting) of aquatic biological resources”).

<https://oxotskoe.arktifikh.com/index.php/ekonomika/876-mesto-i-rol-rybnoj-otrasli>. Cited October 25, 2024.

<https://fao.org>. Cited October 25, 2024.

<https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf>. Cited October 25, 2024.

https://www.great-country.ru/rubrika_articles/o_fraze/00042.html. Cited October 25, 2024.

https://www.varpe.org/news/rentabelnost_v_rybnoy_otrasli_razrushaetsya_bystree_chem_v_drugikh_otraslyakh_apk/. Cited October 25, 2024.

<http://fishkamchatka.ru/articles/exclusive/48265/>. Cited October 25, 2024.

https://studbooks.net/1748427/ekonomika/analiz_tekushego_sostoyaniya_sfery_zanyatosti_naseleniya_podgotovki_kadrov_kamchatskom_krae. Cited October 25, 2024.

<https://finance.rambler.ru/money/45094840-ekspert-rybnaya-otrasl-obespechivaet-20-zarplatno-go-fonda-kamchatki/>. Cited October 25, 2024.

<https://bdex.ru/naselenie/kamchatskiy-kray/>. Cited October 25, 2024.

Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 21.07.2008 № 1057-r (Order of the Government of the Russian Federation of 21.07.2008 No. 1057-r). Cited October 25, 2024.

<https://fishnews.ru/news/51147>. Cited November 07, 2024.

https://fishkamchatka.ru/articles/the_far_east_and_siberia/55589/. Cited October 25, 2024.

<https://fish.gov.ru/news/2023/01/06/videorolik-ob-itogah-goda-vsrossijskogo-nii-rybnogo-hozyajstva-i-oceanografii/>. Cited October 25, 2024.

<https://fish.gov.ru/news/2023/01/19/opredeleny-akcenty-v-rabote-otraslevoj-nauki-v-centre-vnimaniya-glubokovodnye-obekty-dalnego-vostoka-i-arktiki/>. Cited October 25, 2024.

Поступила в редакцию 24.10.2024 г.

После доработки 19.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 24.10.2024; approved after reviewing 19.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Обзорная статья

УДК 639.2.053:597.552.511**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002****EDN: UWVHLB****ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ПРОГНОЗОВ ТИХООКЕАНСКИХ
ЛОСОСЕЙ КАМЧАТСКОГО КРАЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД
(АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР 2010–2020-Х ГГ.)****А.В. Бугаев, О.В. Зикунова, О.Б. Тепнин, Н.Б. Артюхина, Н.Ю. Шпигальская***Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18

Аннотация. Рассмотрены основные принципы формирования и оценки результативности современных прогнозов динамики запасов тихоокеанских лососей Камчатки на примере ряда наблюдений 2018–2024 гг. Проведен критический анализ оправдываемости прогнозов для главных единиц лососевых запасов, даны установки корректной интерпретации полученных данных, а также рассмотрены возможные причины несоответствия прогнозных ожиданий и фактической динамики запасов. Описаны методические аспекты подготовки прогнозов с учетом видовых особенностей тихоокеанских лососей. Обозначены конкретные единицы запасов видов, прогнозирование численности которых доступно с применением математического моделирования. Показано, что в период современной высокой численности лососевых запасов рационально использовать трендовый подход для определения объемов прогнозируемого вылова, так как имеются все возможности для оперативной корректировки их потенциального промыслового изъятия в зависимости от фактических подходов лососей в текущую путину. Дано описание климато-океанологических условий, сложившихся в рассматриваемый период. Определен экосистемный характер несоответствия показателей прогнозируемых и фактических подходов/вылова тихоокеанских лососей в 2020 и 2024 гг. Наиболее вероятной причиной повышенной экосистемной смертности является наличие плотного фактора, вследствие значительного увеличения численности тихоокеанских лососей в современный период (2010–2020-е гг.). Предполагается, что тотальное снижение размерно-массовых показателей тихоокеанских лососей приводит к повышенной смертности рыб при изменениях океанологических условий, влияющих на их кормовую базу. Особое внимание следует уделить образованию обширных зон положительных или отрицательных значений аТПО в зонах нагула камчатских лососей на ранних этапах преднерестовых миграций в юго-западной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана.

* Бугаев Александр Викторович, доктор биологических наук, заместитель руководителя филиала, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131; Зикунова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, o.zikunova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-6173-5667; Тепнин Олег Борисович, заведующий сектором, o.terpin@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9596-4336; Артюхина Нина Борисовна, заведующая сектором, n.artuyuhina@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2713-8172; Шпигальская Нина Юрьевна, кандидат биологических наук, руководитель филиала, n.shpigalskaya@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2151-6220.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, прогнозирование, динамика численности, лососевые запасы, промысел, климато-океанологические условия

Для цитирования: Бугаев А.В., Зикунова О.В., Тепнин О.Б., Артюхина Н.Б., Шпигальская Н.Ю. Основные принципы формирования и интерпретация оправдываемости промысловых прогнозов тихоокеанских лососей Камчатского края в современный период (аналитический обзор 2010–2020-х гг.) // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 964–1002. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002. EDN: UWVHLB.

Review article

Basic principles of developing and interpretation of validity for fishery forecasts of pacific salmon in the Kamchatka Region in the modern period (analytical review for 2010–2020s)

Alexander V. Bugaev*, Olga V. Zikunova**, Oleg B. Tepnin***,
Nina B. Artyukhina****, Nina Yu. Shpigalskaya*****

*–***** Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),

18, Naberezhnaya Street, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia

* D.Biol., deputy director, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131

** Ph.D., head of laboratory, o.zikunova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-6173-5667

*** head of sector, o.tepnin@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9596-4336

**** head of sector, n.artyukhina@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2713-8172

***** Ph.D., director, n.shpigalskaya@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2151-6220

Abstract. Basic principles of fishery forecasts developing and their performance evaluation are considered for the modern forecasting of pacific salmon stocks dynamics in Kamchatka in 2018–2024. The forecasts validity is critically analyzed for the main units of the stocks, with attention to correct interpretation of the results and possible reasons of discrepancy between predicted and actual stock dynamics. Methodological aspects of forecasting are described taking into account the species specifics for pacific salmon. Certain stock units whose abundance forecasting is available using mathematical modeling are outlined. In the modern period of high abundance of salmon, a trend approach to forecasting is rational, because of possibility of prompt adjustment of the catch values in dependence on actual volume of the salmon runs. Climate and oceanographic conditions at Kamchatka are described for the modern period. Ecosystem nature of the discrepancy between predicted and actual rates of runs and catches for pacific salmon in 2020 and 2024 is shown. Density factor in the ecosystem due to significant increase of the salmon abundance in 2010–2020s is determined as the most likely reason of unexpectedly weak runs, presumably because of heightened mortality of fish with the length and weight decreasing under environmental changes negative for their food base. Special attention in forecasting should be paid to vast areas of positive or negative SST anomalies on the feeding grounds of Kamchatka herds of pacific salmon in the southwestern Bering Sea and North-West Pacific during their early pre-spawning migrations.

Keywords: pacific salmon, fishery forecasting, stock dynamics, salmon stock, fishery, environmental conditions

For citation: Bugaev A.V., Zikunova O.V., Tepnin O.B., Artyukhina N.B., Shpigalskaya N.Yu. Basic principles of developing and interpretation of validity for fishery forecasts of pacific salmon in the Kamchatka Region in the modern period (analytical review for 2010–2020s), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 964–1002. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002. EDN: UWVHLB.

Введение

В рыбохозяйственном секторе Камчатского края (Камчатка) тихоокеанские лососи *Oncorhynchus* spp. занимают особое место. Основу регионального лососевого промысла (практически 100 %) составляют пять видов — горбуша *O. gorbuscha*, кета *O. keta*, нерка *O. nerka*, кижуч *O. kisutch* и чавыча *O. tshawytscha*. Их суммарный ежегодный вылов в 2010–2020-е гг. в среднем составлял порядка 260 тыс. т [Бугаев и др., 2023а, б]. По объемам промыслового изъятия тихоокеанские лососи находятся на втором месте среди массовых видов биоресурсов, добываемых в водах края. Отметим, что в последние

10 лет в региональном рыболовстве первое место традиционно принадлежало минтаю (порядка 1000 тыс. т), а третье и четвертое занимали соответственно сельдь (около 150 тыс. т) и другие тресковые рыбы (в среднем 100 тыс. т) [Дьяков, Бугаев, 2022, 2023].

Однако значимость тихоокеанских лососей определяется не только объемами добычи (вылова), но и вовлеченностью данного биоресурса в экономику Камчатского края. В настоящее время наличие диких лососевых запасов является привлекающим брендом для развития масштабного регионального туризма. Кроме того, большая часть камчатского рыбоперерабатывающего комплекса базируется именно на выпуске продукции из тихоокеанских лососей. При этом в последние годы происходит повсеместное развитие глубокой переработки лососевого сырья. Таким образом, сложившиеся условия обеспечивают многолетнюю перспективу занятости населения края, учитывая, что тихоокеанские лососи относятся к возобновляемым сырьевым ресурсам.

В свою очередь формирование стабильной системы регионального рыболовства напрямую зависит от мер, применяемых для рационального использования наиболее значимых запасов водных биоресурсов. Базовым этапом подобных мер регулирования является прогнозирование динамики численности объектов промысла, чем и занимается рыбохозяйственная наука. В отношении тихоокеанских лососей в современных условиях данный вид прикладных исследований приобретает особую значимость, что напрямую связано со значительным увеличением лососевых запасов Камчатского края в 2010–2020-е гг.

Анализируя полный исторический ряд имеющихся данных о прибрежном и речном вылове тихоокеанских лососей Камчатки (1910–2024 гг.), можно отметить четкую тенденцию увеличения уловов во 2–3-м десятилетиях XXI века по сравнению с XX веком (рис. 1).

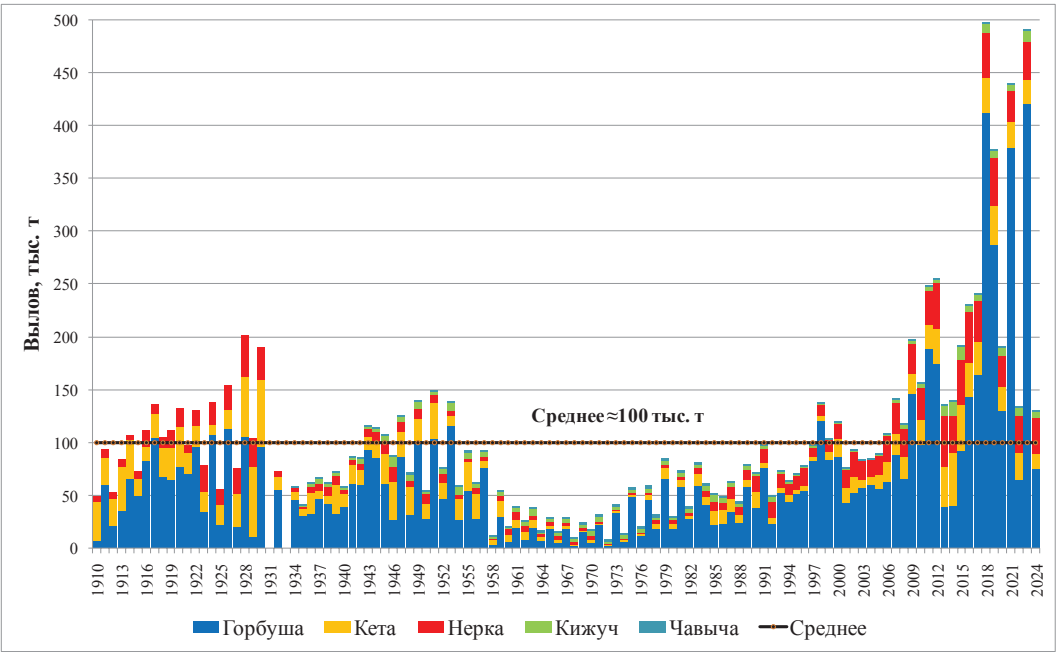


Рис. 1. Динамика уловов тихоокеанских лососей Камчатки в 1910–2024 гг. (по данным архива КамчатНИРО)

Fig. 1. Dynamics of pacific salmon catch in Kamchatka in 1910–2024 (KamchatNIRO archival data)

В период 2011–2024 гг. среднегодовой показатель вылова лососей превысил 260 тыс. т. При этом структура уловов выглядела следующим образом: горбуша — ~70 %, кета — ~12, нерка — ~15, кижуч и чавыча — ~3 %. Акцентиру-

ем внимание на том, что в современный период, даже в неурожайные для возвратов горбуши годы, ежегодный вылов превосходил среднескользящие показатели добычи тихоокеанских лососей 1910–2024 гг. (~100 тыс. т), составляя более 130 тыс. т. Причем указанный показатель вылова при сопоставлении с периодом 1960–1980-х гг. отличался на порядковом уровне. Это еще раз указывает на исторически высокое состояние современных запасов тихоокеанских лососей Камчатки.

Сложившаяся в XX–XXI веках динамика численности тихоокеанских лососей как Камчатки, так и Дальнего Востока России (СССР) в основном связана с естественной циклической изменчивостью климато-океанологических условий Северной Пацифики, влияющих на продуктивность этой группы рыб [Кляшторин, Любушин, 2005; Бугаев, Тепнин, 2024]. Однако дополнительное негативное воздействие на запасы дальневосточных лососей оказал и масштабный дрефтерный промысел, проводившийся японскими рыбодобывающими компаниями в открытых водах Северной Пацифики [Справочные материалы..., 2010; Бугаев, 2015].

В 1950–1970-е гг. уровень ежегодной добычи тихоокеанских лососей дрефтерными судами в среднем составлял порядка 100 тыс. т. После принятия Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. об образовании государствами 200-мильных исключительных экономических зон (ИЭЗ) масштабы японского дрефтерного промысла значительно снизились. В 1980–2000-е гг. среднескользящий вылов уже составлял около 20 тыс. т, а в 1990–2000-е сократился до 10–15 тыс. т. Это напрямую связано с введением системы квотирования добычи (вылова) по видам в ИЭЗ РФ, где японские корпорации осуществляли рыболовство по соглашению правительств Российской Федерации и Японии. В 2016 г. дрефтерный лов в ИЭЗ РФ был запрещен приказом Президента РФ. Из приведенных данных понятно, что дрефтерный промысел уже в 1990–2000-е гг. не мог серьезно влиять на динамику численности тихоокеанских лососей Камчатки. Поэтому столь значимый рост численности региональных лососевых запасов в 2010–2020-е гг. может объясняться только природными факторами.

По мере увеличения лососевых запасов в 2000–2010-е гг. в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне формировалась новая система прогнозирования динамики численности лососей. Благодаря компьютерной автоматизации процесса исследований значительно расширились возможности статистической обработки данных, что позволило перейти на математические модельные методы подготовки прогнозов. Учитывая несомненную роль климато-океанологических факторов, воздействующих на продуктивность тихоокеанских лососей, постепенно в стандартные модели «родители–потомство» исследователи начали включать различные климатические предикторы. В некоторых случаях это дало толчок развитию методов многомерного модельного прогнозирования.

В настоящей работе рассмотрены основные принципы формирования и оценки результативности современного прогнозирования динамики численности запасов тихоокеанских лососей Камчатки по наблюдениям 2018–2024 гг. Проведен критический анализ оправдываемости прогнозов для главных единиц лососевых запасов, приведены установки адекватной интерпретации полученных данных. Кроме того, рассмотрены возможные причины несоответствия прогнозных ожиданий и фактической динамики запасов. Ранее камчатскими специалистами публиковался ряд работ, близких по тематике, в которых рассматривались методические аспекты прогнозирования и регулирования промысла тихоокеанских лососей Камчатки [Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман и др., 2018; Зикунва и др., 2021; Фельдман, Бугаев, 2021]. Однако представленная статья не является методической. В ее основу положены теория и аналитика основных принципов прогнозирования численности камчатских лососей. Термин «основные принципы» можно охарактеризовать как определение формата прогнозирования выбранных единиц лососевых запасов, т.е. объяснение обоснованности их выбора для подготовки промысловых прогнозов, с учетом современной численности тихоокеанских лососей и актуальной стратегии регулирования промысла.

Целью работы является аналитический обзор действующих принципов формирования и интерпретация результатов прогнозов динамики численности тихоокеанских лососей Камчатки в 2010–2020-е гг. с объяснением потенциальных причин имеющихся несоответствий.

Материалы и методы

В качестве исходного материала для оценки результативности прогнозов послужили данные промысловой и биологической статистики, а также информация о численности нерестовых запасов тихоокеанских лососей в Камчатском крае в 2018–2024 гг. На их основе были определены величины фактических подходов (возвратов) (вылов + пропуск на нерест) главных единиц региональных запасов 5 видов тихоокеанских лососей. Данные о вылове лососей представлены Северо-Восточным территориальным управлением Росрыболовства (СВТУ). Информация о биологических показателях (соотношение полов, возраст, размерно-массовые критерии, плодовитость) и нерестовых запасах (авиаучетные и гидроакустические съемки, рыбоучетное ограждение) лососей собрана специалистами КамчатНИРО.

В связи с особенностями жизненного цикла тихоокеанских лососей подготовка прогнозов имеет определенную специфичность. Для короткоциклового вида — горбуши — готовится сценарий прогнозирования исходя из общей продолжительности жизни ее поколений, составляющей 2 года (от нереста и до возврата производителей). Для длинноточных видов — кеты, нерки, кижуча и чавычи — массовый возраст поколений варьирует в пределах 3–7 лет. Поэтому в этом случае прогноз строится с учетом возрастной структуры того или иного вида.

Непосредственно для прогнозирования численности тихоокеанских лососей используются различные виды регрессионных моделей типа «запас–пополнение» [Бабаян и др., 2018]. Уточним, что в профильной литературе простая зависимость (линейная или нелинейная) между численностью отнерестившихся и вернувшихся рыб нередко обозначается как связь «родители–потомство» [Ricker, 1954] или кривая пополнения (или воспроизводства) [Ricker, 1975].

У **горбуши**, помимо указанных выше данных промысловой и биологической статистики, основу материалов, обосновывающих прогнозируемый объем добычи (вылова) (ПВ) вида в водных объектах Камчатки, составляет следующая информация:

1) численность поклатной молодежи терминальных поколений горбуши, полученная в результате мальково-учетных работ в контрольных реках Камчатки;

2) климатические индексы — Западно-Тихоокеанский паттерн (*WP*) (<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list>), Тихоокеанская декадная осцилляция (*PDO*) (<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list>) и Арктическая осцилляция (*AO*) (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii), размещенные на доступных интернет-ресурсах;

3) численность терминальных поколений горбуши, предоставляемая специалистами ТИНРО по результатам проведения учетных траловых съемок на стандартных полигонах в Беринговом и Охотском морях;

4) генетическая идентификация регионального состава скоплений молодежи горбуши из траловых уловов в бассейне Охотского моря с целью определения доли/численности западнокамчатских рыб.

Помимо классической зависимости «родители–потомство», при прогнозировании динамики численности горбуши используются многомерные регрессионные модели, учитывающие воздействие климато-океанологических факторов на формирование региональных запасов вида [Neter et al., 1990]. Более подробно методические аспекты прогнозирования численности горбуши Камчатки представлены в работах специалистов КамчатНИРО [Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман и др., 2018; Фельдман, Бугаев, 2021; Бугаев и др., 2024].

Дополнительно отметим, что в период с 2018 по 2022 г. в качестве одной из моделей прогнозирования применяли метод машинного обучения — случайный лес деревьев-решений (Random Forest) [Breiman, 2001]. Этот метод основан на применении множества простых моделей-классификаторов (деревьев-решений). Прогноз уровня численности определяется простым большинством голосов в кластерах «деревьев». Подробная методика подготовки прогноза и сопутствующий программный код на языке R для расчетов изложены в работах М.Г. Фельдмана [Фельдман, 2020; Фельдман и др., 2022a]. К сожалению, метод не оправдал себя при прогнозировании динамики численности горбуши западной Камчатки, несмотря на поиск дополнительных предикторов, поэтому с 2023 г. его не применяют.

В отношении других видов тихоокеанских лососей (**кета, нерка, кижуч, чавыча**) подготовительным этапом формирования прогнозов является определение возрастной структуры подходов, на основе чего рассчитывают численность поколений. Последнюю оценивают как сумму численности особей соответствующих поколений, вернувшихся в разные годы. Численность и долю рыб разных поколений в подходах определяют по средневзвешенному возрастному составу из береговых уловов.

Прогноз численности старших возрастных групп лососей с продолжительным периодом жизни основан на линейной связи с численностью уже вернувшихся в предшествующие годы рыб данного поколения (метод сиблингов) [Peterman, 1982; Haeseker et al., 2008]. При этом чем многочисленнее возрастная когорта младшего возраста (независимая переменная), тем связь сильнее и прогноз численности старших на год рыб (зависимая переменная) более обоснован.

Для возвращающихся на нерест производителей тихоокеанских лососей младших возрастных групп, когда метод сиблингов становится недостоверным, прогноз численности основан на использовании метода экспоненциального сглаживания (ETS) и модели авторегрессии скользящего среднего (ARIMA), реализованных в программной среде R с применением пакета Fable [Box, Jenkins, 1970; Hyndman et al., 2002]. Опираясь на информационные критерии [Akaike, 1974; Schwarz, 1978; Sugiura, 1978], определим приоритет в выборе основной модели для оценки численности рыб анализируемой возрастной когорты.

Кроме того, при расчете численности поколений (R) применены модификации моделей типа «запас–пополнение» [Ricker, 1954; Beverton, Holt, 1957], а также моделирование показателя выживаемости (R/S) от родительского запаса (S) [Дубынин и др., 2007] и зависимости пополнения запаса от численности смолтов (покатная молодь). Прогноз долей возрастных групп в возвратах определяется как среднее за какой-либо период времени [Зикунова и др., 2021].

В качестве индикаторной информации при подготовке прогнозов численности кеты западной Камчатки на 2024 г. впервые были привлечены результаты генетической идентификации регионального происхождения откочевывавших сеголеток. Информация получена по данным учетной траловой съемки ТИНРО в бассейне Охотского моря осенью 2021 г. (для рыб в возрасте 3+, поколение 2020 г.).

Особое значение имеют статистические критерии оценки точности прогнозов. Поэтому этот вопрос рассмотрим более подробно. Подчеркнем, что моделирование прогнозов является процедурой статистического анализа фактических данных. Следовательно, к полученным результатам логично применять стандартные правила, используемые для оценки статистической достоверности результатов. В практике прогнозирования динамики запасов тихоокеанских лососей, учитывая высокий уровень флюктуации их численности, в качестве основного критерия оправдываемости прогнозов предлагается принять межквартильный диапазон (IQR), обуславливающий разницу между первым (25-й процентиль) и третьим квартилями (75-й процентиль) набора данных [Dekking et al., 2005]. Таким образом, стандартной ошибкой прогноза является мера статистической дисперсии, т.е. разброс данных, в диапазоне с размахом $\pm 25\%$ от полного соответствия (100 %). Отметим, что в практике прогнозирования

динамики запасов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России подобный уровень стандартной ошибки уже много лет применяется профильными специалистами.

Для оценки климато-океанологических условий нагула тихоокеанских лососей в зимне-весенний период в бассейне Северной Пацифики в 2018–2024 гг. использовали следующую информацию:

— для характеристики межгодовой изменчивости метеорологической обстановки над северной частью Тихого океана применяли данные NCEP/NCAR реанализа (NOAA PSL, Боулдер, Колорадо, США, <https://psl.noaa.gov>) поля приземного атмосферного давления [Kalnay et al., 1996]. Исходные значения представляются в виде материалов об уровне приземного атмосферного давления в узлах регулярной сетки с шагом 2,5° по широте и долготе с временным осреднением в один месяц. На их основании строили карты распределения приземного атмосферного давления для периода года с ноября по март;

— анализ сезонного распределения аномалии температуры поверхности (аТПО) на акватории северной части Тихого океана проводили на основании смешанных данных высокого разрешения о суточной ТПО и площади морского льда (сетка 0,25 x 0,25° по широте и долготе) NOAA OISSTV2 High Resolution Dataset [Huang et al., 2021]. Ежедневные аномалии температуры рассчитаны на основании климатического среднего для периода 1971–2000 гг.;

— сведения о границах распространения ледового покрова в Охотском и Беринговом морях, полученные с сайта Национального центра данных США по снегу и льду (National Snow and Ice Data Center, <http://nsidc.org>).

Обработку исходных данных в формате NetCDF проводили с использованием пакета программ Climate Data Operator (CDO, <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/wiki>). Построение карт выполняли с помощью программы Ocean Data View 5.7.2 (ODV, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>). Индексы рассчитывали с применением реализованного в программе Surfer (Golden Software) геостатистического метода интерполяции на регулярную сетку Kriging.

Результаты и их обсуждение

Общие принципы прогнозирования лососевых запасов

Прогнозирование динамики численности тихоокеанских лососей имеет определенную специфику, которая значительно отличает их от всех промысловых водных биоресурсов. Как известно, рыбы рода *Oncorhynchus* относятся к моноциклическим видам, т.е. погибают сразу после нереста, что и обуславливает одноразовое формирование запаса, который в той или иной степени может быть освоен промыслом. В этот момент рыбы достигают своей половой зрелости, приобретая необходимые для потребления физические кондиции. Подобный «запас» профильными специалистами обозначается как «подход» или «возврат».

В условиях ведения промысла подход (возврат) складывается из совокупности добытых (выловленных) и пропущенных на нерест (производители) рыб. Обе указанные группы рыб подвергаются количественному учету в рамках государственного рыбохозяйственного мониторинга. Это позволяет достаточно точно определить уровень фактического подхода (возврата) конкретной региональной единицы запаса тихоокеанских лососей для оценки степени релевантности выполненного ранее прогноза. Подчеркнем, что ситуация с лососевым промыслом уникальна для прогнозирования водных биологических ресурсов, так как становится возможным наглядно показать, оправдался прогноз или нет.

Например, при прогнозировании динамики запасов морских рыб определяются объемы добычи (вылова), которые могут осваиваться условно на 100 %, но при этом по факту остается неизвестной реальная численность их запаса в море, который не был освоен промыслом. Разумеется, имеются модельные оценки общего запаса, которые

изначально были применены для прогноза ОДУ. На их основе возможно выделить остающийся текущий запас. Но это все рассматривается только на виртуальном уровне, так как ежегодно меняющиеся условия обитания рыб вносят свои коррективы в реальную обстановку с продуктивностью их запасов.

Следствием вышесказанного является то, что потенциальные ошибки прогнозов численности тихоокеанских лососей становятся явно видимыми. Это нередко приводит к повышенной критике от представителей рыбодобывающих компаний и заинтересованных общественных организаций в адрес рыбохозяйственной науки. Как правило, подобная ситуация возникает, когда возврат лососей оказался ниже ожидаемого. При этом зачастую подобные упреки несправедливы, так как неполное освоение выделенных объемов добычи (вылова) тихоокеанских лососей далеко не всегда является результатом ошибки прогнозирования.

Прогноз динамики численности тихоокеанских лососей готовится только в отношении непосредственно их запаса (подхода, возврата). Потенциальный объем разрешенного вылова определяется на основе правил регулирования промысла (ПРП) или экспертных оценок, позволяющих выделить из величины подхода количество производителей, необходимых для осуществления эффективного нереста. Как правило, последнее выполняется по имеющимся многолетним данным о численности лососей на нерестилищах конкретного водного объекта или их группы. Однако нередко возникает ситуация, когда фактический прогноз подхода близок к 100 % или выше, а освоение выделенных объемов добычи (вылова) значительно ниже ожидаемого прогноза. В этих случаях возможны различные причины, которые прежде всего связаны непосредственно с организацией промысла или сложившимися природными условиями. Это, например, большое количество штормовых дней, недостаток приемных мощностей, неравномерность преднерестового хода рыб, разреженность скоплений рыб или любые другие форс-мажорные обстоятельства. В таких случаях нельзя говорить о том, что прогноз рыбохозяйственной науки не оправдался.

Тем не менее необходимо более четко обозначить понятие «ошибка прогноза». Наиболее очевидный случай ошибки прогнозирования, когда фактический подход и, соответственно, вылов ниже прогнозных величин. Теоретически также ошибкой является и обратная ситуация, когда оба эти показателя выше прогноза. Однако тут требуется пояснение, связанное с историей развития промыслового прогнозирования тихоокеанских лососей.

Начиная с 1976 г. в отношении квотирования объемов добычи (вылова) некоторых видов морских водных биологических ресурсов был принят принцип общего допустимого улова (ОДУ). Приблизительно с середины 1980-х гг. по этой же системе стали готовить и промысловые прогнозы тихоокеанских лососей. Согласно Правилам рыболовства промысел одуемых видов водных биологических ресурсов сразу прекращается по достижении 100 % ОДУ. Соответственно, невозможно было изменить объемы потенциального промыслового изъятия лососей, даже если уровень их фактического подхода значительно превысил ожидаемый. Это привело к тому, что с 1980-х и до конца 2000-х гг. ежегодно давался максимальный прогноз возможного изъятия лососей, так как не было возможности его корректировки. Причем специалистами КамчатНИРО в 2000-е гг. делались попытки скорректировать объемы ОДУ лососей, но все они были безуспешными. Утверждение соответствующего приказа всеми управляющими структурами рыбохозяйственного комплекса России проходило сложную и продолжительную процедуру. В результате потенциальную корректировку ОДУ утверждали лишь в конце лососевой путины, когда надобность в ней уже отпадала. Данная ситуация не устраивала многие рыбодобывающие компании, поскольку уже с середины 2000-х гг. начался заметный рост численности тихоокеанских лососей как непосредственно на Камчатке, так и в других регионах Дальнего Востока России. При этом зачастую прогнозы делались по инерции с использованием имеющихся многолетних рядов численности лососей, без достаточного учета меняющейся реальности. Это привело к тому, что в

2000-е гг. многие рыбодобывающие предприятия стали не в полной мере предоставлять статистику фактического вылова, следствием чего появилось искажение исходных прогностических данных. Разумеется, рыбоохранные и правоохранительные органы боролись с этой ситуацией, но она имела системный характер.

В 2009 г. ситуацию с квотированием добычи (вылова) тихоокеанских лососей коренным образом изменили. Начиная с этого года была законодательно закреплена система регулирования промысла, которая позволяла оперативно производить корректировку потенциального объема добычи (вылова) исходя из фактических подходов лососей. Терминология квотирования промыслового изъятия анадромных видов рыб менялась в следующей последовательности: возможный вылов (ВВ), рекомендованный вылов (РВ), прогнозируемый вылов (ПВ). Отметим, что в настоящее время используется термин ПВ, хотя более адекватно было бы применение терминов «возможный» или «рекомендованный» вылов, так как непосредственно прогноз добычи (вылова) не выполняется. Этот показатель является следствием выполненного прогноза подхода (возврата). Однако, говоря объективно, применяемая терминология обозначения потенциальных объемов вылова по сути ничего не меняет в стратегии лососевого промысла, сформировавшейся после 2009 г.

Столь серьезные изменения мер по регулированию промысла тихоокеанских лососей внесли значительные инновации в прогнозирование численности их запасов. В результате в 2010-е гг. основным трендом прогнозов стало системное занижение стартовой величины ПВ для всех видов. Это вполне объяснимо, так как на законодательном уровне появилась возможность оперативно регулировать промысел путем корректировки изначальной величины ПВ. В условиях исторически высокой численности тихоокеанских лососей подобный подход подготовки прогнозов вполне оправдал себя. Фактически главной задачей прогнозирования динамики запасов тихоокеанских лососей стало правильное определение тренда изменчивости их численности.

Наглядным примером необходимости трендового подхода прогнозирования лососей является такой многочисленный вид, как горбуша. Ее вылов в урожайные и неурожайные 2010–2020-е гг. мог варьировать в пределах от 100 тыс. т и более. В этой ситуации наиболее актуальной задачей стало выявление общего тренда динамики численности запасов — низкий, средний, высокий и сверхвысокий. Знание трендового уровня численности региональных подходов горбуши позволяет рыбодобывающим компаниям принять необходимые меры для организации всего лососевого промысла, так как этот вид формирует основу уловов. Ранее специалистами КамчатНИРО были представлены трендовые оценки градаций численности камчатской горбуши, обуславливающие определение того или иного уровня ПВ [Бугаев и др., 2023a]: низкий запас — вылов 10–30 тыс. т; средний запас — вылов 30–70 тыс. т; высокий запас — вылов 70–130 тыс. т; сверхвысокий запас — вылов от 130 тыс. т и выше.

Разумеется, следует стремиться к получению прогнозных оценок с наименьшим расхождением относительно фактических результатов, но при этом необходимо понимать, что любая прогностическая модель не является абсолютной («полной»). Требуется учитывать объективные неопределенности, прежде всего неполноту знаний о численности тихоокеанских лососей и среде их обитания, особенно в морской/океанический период жизни, а также невозможность повлиять на возникающие экологические явления, способные негативно отражаться на состоянии их запасов в течение жизненного цикла. Поэтому периодически возникающие значимые ошибки прогнозирования тихоокеанских лососей в реальности неизбежны.

Немаловажным аспектом рационального использования лососевых запасов является необходимость обеспечения пропуска производителей на нерестилища в количестве, достаточном для эффективного воспроизводства, обуславливающего стабильное устойчивое рыболовство. При этом законодательно определен приоритет сохранения водных биоресурсов над рыболовством. В настоящее время у специалистов по прогнозированию предпочтительным способом определения доли рыб, требующихся

для воспроизводства и вылова, является ПРП. Однако следует понимать, что данный модельный подход отражает лишь оптимальную (идеализированную) ситуацию с планированием промысла. В реальности спрогнозировать количество пропущенных на нерест производителей невозможно, так как в период ведения промысла отсутствуют даже технические возможности для оперативного учета рыб на нерестилищах во всех водных объектах. Поэтому зачастую разумнее брать среднемноголетние данные фактического заполнения нерестилищ того или иного вида лососей для получения более достоверной оценки потенциального пропуска.

В отношении тихоокеанских лососей Камчатки специалистами КамчатНИРО были разработаны ПРП для всех основных единиц запасов [Фельдман и др., 2022б]. Однако фактический пропуск редко совпадает с оценками, полученными с помощью ПРП. Например, заполнение нерестилищ горбуши северо-восточной Камчатки в 2010–2020-е гг., как правило, заметно выше величины ПРП, а на западной Камчатке, наоборот. По кете наблюдается аналогичная ситуация. По нерке р. Камчатка в большинстве случаев реальный пропуск на нерест ниже показателей ПРП. У нерки р. Озерной обстановка наиболее стабильная, так как есть возможность прямого учета производителей, заходящих на нерест, чтобы обеспечить оптимальный пропуск. По кижучу на восточной Камчатке ситуация также относительно благополучная. Однако на западной Камчатке наблюдается сходный сценарий с горбушей и кетой. У чавычи р. Камчатка положение с пропуском наиболее сложное, так как вид относительно малочисленный и имеет ранний нерест. По этой причине часто нет технических и финансовых возможностей проведения целевого учета ее численности на нерестилищах. Оценки пропуска, полученные модельным способом, достаточно близки к показателям ПРП, но необходимо понимать, что вероятность ошибки в данном случае остается весьма высокой. В связи с вышеизложенными наблюдениями специалистами КамчатНИРО планируется последовательная корректировка ранее разработанных ПРП тихоокеанских лососей Камчатки. Это позволит более взвешенно оценивать потенциальные объемы их ПВ при подготовке промысловых прогнозов.

Согласно Приказу Министерства рыбного хозяйства СССР от 9 сентября 1980 г. № 408 «О разграничении Мирового океана на промысловые районы в новых условиях промысла» акватория Дальневосточных морей и прилегающих вод северо-западной части Тихого океана была разграничена по промысловым подзонам, в границах которых определялись объемы разрешенного вылова водных биологических ресурсов. В отношении тихоокеанских лососей, которые относятся к анадромным видам рыб, данный принцип экстраполирован и на речные водные объекты. Принадлежность лососевого запаса к промысловому району определялась по географическому расположению устьев нерестовых рек, где осуществляется воспроизводство того или иного вида.

Исходя из сложившейся системы районирования прогнозирование динамики численности тихоокеанских лососей стало выполняться строго в границах определенных промысловых зон/подзон. В пределы Камчатского края полностью или частично входят 5 рыболовных районов: Западно-Берингоморская зона — 61.01; Карагинская подзона — 61.02.1; Петропавловско-Командорская подзона — 61.02.2; Камчатско-Курильская подзона — 61.05.4; Западно-Камчатская подзона — 61.05.2. Каждый из указанных районов имеет свой вес в формировании структуры лососевого промысла. В табл. 1 дана информация о вылове тихоокеанских лососей в указанных рыбопромысловых зонах/подзонах Камчатского края в 2001–2024 гг.

Из представленных данных видно, что основными промысловыми районами Камчатского края являются 3 подзоны — Карагинская, Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская. По среднемноголетним данным здесь суммарно добывают около 92,3 % камчатских лососей. Петропавловско-Командорская подзона имеет значительно меньшее промысловое значение, на ее долю приходится приблизительно 7,6 % добычи (вылова) лососей. Наименее значима для лососевого промысла Камчатки Западно-Берингоморская зона, где ежегодно добывают около 0,1 % всех лососей.

Таблица 1
Данные о вылове тихоокеанских лососей в промысловых районах Камчатского края
в 2001–2024 гг., т

Table 1
Data on catch of pacific salmon in Kamchatka Region in 2001–2024, by fishing areas, t

Год	61.01	61.02.1	61.02.2	61.05.2	61.05.4	Всего
2001	422,650	52196,342	9953,390	1433,693	12845,800	76851,875
2002	152,800	7306,830	7373,410	7240,430	71180,580	93254,050
2003	104,990	59260,120	7386,500	2641,500	14654,120	84047,230
2004	78,140	8141,200	5671,700	8932,430	62158,400	84981,870
2005	191,500	54003,277	6397,422	7763,774	20731,658	89087,631
2006	228,120	21237,200	7677,111	23961,000	54963,900	108067,331
2007	114,438	80462,200	12002,600	14917,900	33939,700	141436,838
2008	156,396	17190,238	11447,070	31581,932	57147,045	117522,680
2009	267,718	147493,562	15967,175	10435,559	22639,525	196803,539
2010	25,920	15575,794	15306,352	43091,607	83038,638	157038,310
2011	242,183	186106,541	18079,437	16278,639	28454,364	249161,165
2012	6,049	30237,543	17298,814	62696,799	144672,457	254911,662
2013	95,481	52251,357	25471,481	12538,531	44755,709	135112,558
2014	50,600	49557,826	26719,695	20674,819	42564,790	139567,730
2015	135,494	102086,308	20879,760	21514,637	47761,220	192377,418
2016	74,946	83496,838	26481,063	48068,420	72539,226	230660,493
2017	321,648	162458,804	27396,869	14379,403	37108,896	241665,620
2018	237,498	120898,922	20693,916	136831,501	219218,418	497880,255
2019	639,644	243690,890	16366,286	42176,439	74997,039	377870,298
2020	394,435	22551,422	11340,513	83527,502	73693,616	191507,488
2021	983,345	210514,702	15609,329	111587,625	101814,034	440509,034
2022	303,361	44498,360	18972,897	28454,852	42436,360	134665,830
2023	309,311	192167,761	20031,619	171293,155	107062,717	490864,563
2024	143,713	43415,922	6147,679	28117,866	52932,428	130757,608
Среднее	236,682	83616,665	15444,670	39589,167	63471,277	202358,461
Доля, %	0,1	41,3	7,6	19,6	31,4	100,0

Однако при промысловом прогнозировании тихоокеанских лососей нельзя руководствоваться только границами административного районирования. Общим принципом формирования лососевых прогнозов является выделение базовых единиц запасов, численность которых абсолютно доминирует в подходах/уловах конкретного вида. В данном случае «единица запаса» — биологическое понятие, так как речь идет о конкретном локальном стаде (популяция, группа популяций) тихоокеанских лососей или их региональной группировке, связанной географической и генетической общностью воспроизводства, а также сходством пространственно-временных закономерностей морского/океанического нагула. Указанные условия формирования единиц запасов далеко не всегда совпадают с административными границами промысловых районов. По этой причине при прогнозировании численности лососей зачастую речные бассейны, входящие в границы разных подзон, объединяют. Это позволяет выделить конкретную промысловую единицу запаса того или иного вида, что является важнейшим условием подготовки прогнозов их подходов (возвратов). Дальнейшее разделение определенного объема ПВ по административным промысловым районам выполняется на основе многолетних знаний статистики промысла в подзонах, где расположены нерестовые реки конкретной базовой единицы запаса. По районам промысла, где состояние запасов тихоокеанских лососей находится на низком уровне и наблюдается недостаток биологической информации, модельные прогнозы не готовятся. В этих случаях объемы ПВ определяются инерционным методом, т.е. по среднемноголетнему вылову предыдущих лет. Это же относится и к второстепенным лососевым запасам, в отношении которых

не ведется комплексный мониторинг и отсутствуют продолжительные ряды численности подходов/биостатистики.

Анализ оправдываемости прогнозов

Оценка оправдываемости прогнозов актуальна лишь для основных единиц запасов тихоокеанских лососей, в отношении которых непосредственно ведется ежегодный биологический мониторинг и разработаны модельные принципы прогнозирования. Ниже дана более подробная информация о результатах анализа соответствия прогнозных и фактических данных подходов/вылова исследуемых единиц запасов всех видов тихоокеанских лососей Камчатки в 2018–2024 гг.

Горбуша. Основные региональные запасы вида воспроизводятся в реках северо-восточного (Карагинская подзона) и западного (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) побережий Камчатки. По данным промысловой статистики 2001–2024 гг. в этих районах суммарно добывается около 98 % камчатской горбуши: северо-восточная Камчатка — 52 % (72,83 тыс. т/2,18–225,06 тыс. т) и западная Камчатка — 46 % (64,12 тыс. т/0,21–301,32 тыс. т). Соответственно, модельные расчеты прогнозируемых подходов (ПП) и вылова (ПВ) строятся для двух указанных единиц запаса вида. В материалах прогнозов они обозначены как северо-восточная (Карагинская подзона) и западная (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) Камчатка (табл. 2, рис. 2). Для Западно-Беринговоморской зоны и Петропавловско-Командорской подзоны определение объемов ПВ горбуши выполняется экспертно по инерционному принципу (среднемноголетние показатели фактического вылова).

При этом необходимо уточнить, что на восточной Камчатке урожайными являются поколения горбуши нечетных лет воспроизводства. На западной Камчатке до 2020 г. у вида доминировали по численности поколения четных лет воспроизводства, однако начиная с 2021 г. доминанта сменилась и урожайными, наоборот, стали нечетные годы.

Таблица 2
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса горбуши Камчатки в 2018–2024 гг.

Table 2
Data on runs abundance and catch for the major stock units of pink salmon in Kamchatka in 2018–2024

Региональная единица запаса (комплекс стад)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Северо-восточная Камчатка (Карагинская подзона)	2018	70,0	131,0	187,1	62,7	107,1	170,7
	2019	185,0	301,8	163,1	180,0	225,1	125,0
	2020	85,0	27,3	32,1	78,8	17,4	22,1
	2021	142,0	287,7	202,6	147,6	199,3	135,0
	2022	35,0	52,9	151,1	25,0	35,4	141,8
	2023	190,0	257,9	135,7	140,0	182,5	130,4
	2024	70,0	68,0	97,1	66,0	37,7	57,1
Западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны)	2018	150,0	344,0	229,4	152,5	301,3	197,6
	2019	58,0	61,9	106,6	51,0	60,2	118,1
	2020	73,0	100,8	138,1	78,3	111,2	142,0
	2021	150,0	230,5	153,7	144,3	175,7	121,8
	2022	51,0	22,7	44,5	57,4	27,9	48,7
	2023	155,0	226,6	146,2	170,0	231,2	136,0
	2024	36,0	27,8	77,2	38,0	36,4	95,9

Примечание. Здесь и далее: ПП/ФП — прогнозируемый/фактический подход; ПВ/ФВ — прогнозируемый/фактический вылов; ОПР — оправдываемость ПП; ОСВ — освоение ПВ.

По приведенным данным видно, что в большинстве лет рассматриваемого периода показатели прогнозируемых подходов (ПП) горбуши северо-востока и запада Камчатки

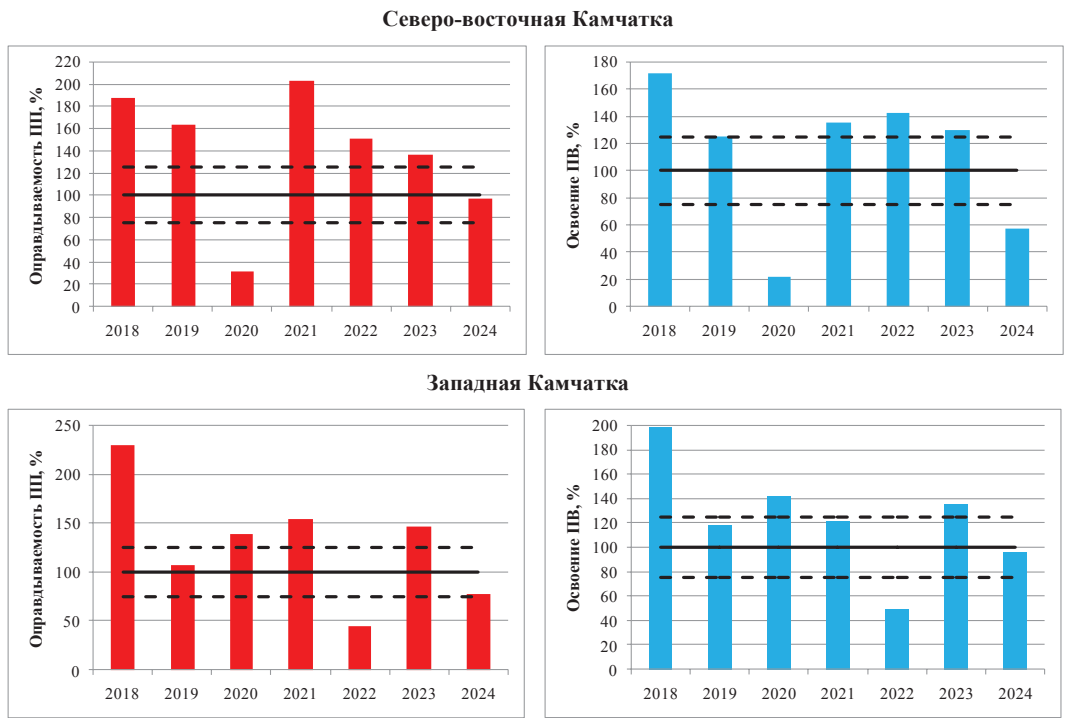


Рис. 2. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса горбуши Камчатки по данным 2018–2024 гг. Здесь и далее: сплошная линия — 100 %-ное соответствие прогноза, пунктирная линия — стандартная ошибка прогноза $\pm 25\%$

Fig. 2. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of pink salmon stock in Kamchatka in 2018–2024. Hereinafter: solid line — 100 % compliance, dashed line — standard error of the forecast $\pm 25\%$

были заметно выше 125 %-ного порога точности (с учетом стандартной ошибки $+25\%$). Принимая во внимание сложившуюся в 2010–2020-е гг. систему прогнозирования с возможностью оперативной корректировки вылова, данные прогнозы не следует считать несостоявшимися. Во все обозначенные годы прогнозы строили на уровне высоких и сверхвысоких трендов численности с учетом урожайных и неурожайных поколений. Реальные ошибки оценок ПП были зафиксированы в 2020 (северо-восточная Камчатка) и 2022 гг. (западная Камчатка). В 2024 г. оправдываемость ПП в первом случае составила около 97 %, а во втором — 77 %. Можно считать, что в этом году, с учетом стандартной ошибки — 25 %, прогнозные ожидания возвратов горбуши оправдались.

Ситуация с оценкой оправдываемости ПВ горбуши Камчатки достаточно сходна с оценкой возвратов. Ошибки прогнозов зафиксированы в 2020 г. на северо-восточном побережье, а в 2022 г. — на западном побережье. Однако и в 2024 г. объемы ПВ горбуши северо-восточной Камчатки также не были освоены в полной мере. Добыто (выловлено) лишь около 57 % от разрешенного изъятия. Тем не менее, учитывая, что численность ПП в регионе была близка к 100 %-ному показателю, то низкий уровень освоения ПВ прежде всего связан непосредственно с ведением промысловой деятельности. Подобная ситуация характерна для неурожайных поколений вида, так как низкочисленные подходы не формируют достаточно плотных скоплений, чтобы их эффективно облавливать с помощью ставных морских неводов. В результате может происходить повышенный пропуск производителей на нерест, так как для облова зашедших в реки рыб в Карагинской подзоне отсутствует развитый речной промысел. На западной Камчатке, наоборот, речной промысел очень развит. В реках региона ежегодно добывают около 40–50 % тихоокеанских лососей в зависимости от чередования урожайных

и неурожайных поколений горбуши. Поэтому в 2024 г., несмотря на относительно низкие показатели оправдываемости ПП (около нижней границы допустимой ошибки — 77 %), объем ПВ был достаточно близок к полному освоению (96 %).

Таким образом, фактические ошибки прогнозов численности горбуши Камчатки были зафиксированы в 2020 и 2022 гг. В первом случае предположительно сыграли свою роль климато-океанологические условия нагула. Во втором случае наиболее вероятна техническая ошибка при подготовке прогноза. Далее мы более подробно остановимся на возможных причинах несоответствия прогнозных и фактических ожиданий оценок численности подходов и вылова отдельных видов тихоокеанских лососей.

Кета. По аналогии с горбушей вид образует два основных центра воспроизводства, расположенных в бассейнах нерестовых рек северо-восточного (Карагинская подзона) и западного (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) побережий Камчатки. Оба региона дают приблизительно 85,9 % добычи (вылова) камчатской кеты: северо-восток — 34,9 % (8,65 тыс. т/2,01–21,11 тыс. т) и запад — 51,0 % (12,66 тыс. т/1,90–26,23 тыс. т). Кроме того, имеется значимый запас в бассейне р. Камчатка, которая впадает в Камчатский залив, расположенный на восточном побережье Камчатки (Петропавловско-Командорская подзона). В этом промысловом районе добывают около 14,1 % кеты в регионе — 3,50 тыс. т/1,26–7,34 тыс. т. Непосредственно доля вылова кеты стада р. Камчатка в Петропавловско-Командорской подзоне составляет приблизительно 60–70 %. Соответственно, в качестве объектов прогнозирования кеты Камчатки выступают следующие промысловые единицы запаса: северо-восточная Камчатка (Карагинская подзона), р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона), западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) (табл. 3, рис. 3). Для получения объема ПВ кеты в Западно-Беринговоморской

Таблица 3
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса кеты Камчатки в 2018–2024 гг.

Table 3
Data on runs abundance and catch for the major stock units of chum salmon in Kamchatka in 2018–2024

Региональная единица запаса (стадо/комплекс стад)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Северо-восточная Камчатка (Карагинская подзона)	2018	5,3	4,1	77,2	14,8	10,7	72,5
	2019	5,8	5,2	89,7	14,7	14,4	98,1
	2020	5,4	2,1	38,5	14,1	3,6	25,2
	2021	3,3	4,4	132,6	6,0	7,6	126,9
	2022	4,0	4,2	105,2	10,1	6,7	66,5
	2023	4,0	3,7	92,5	10,3	6,4	62,1
	2024	2,8	1,9	68,1	6,4	4,0	62,2
Р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона)	2018	1,3	1,5	113,9	5,2	3,8	71,8
	2019	1,3	1,2	89,9	5,2	3,0	57,0
	2020	1,0	0,8	80,0	4,4	2,1	48,1
	2021	0,9	1,7	177,9	2,5	4,4	176,5
	2022	1,3	1,2	89,0	4,5	1,1	23,8
	2023	1,1	0,7	65,1	2,2	2,0	91,5
	2024	0,8	0,3	35,4	2,2	0,7	32,7
Западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны)	2018	4,3	7,3	170,9	11,1	19,4	175,6
	2019	6,1	6,7	109,4	17,2	20,0	116,7
	2020	5,7	6,1	106,8	16,3	17,7	108,9
	2021	6,5	4,7	72,5	16,4	12,9	78,8
	2022	6,2	5,9	95,8	13,2	16,1	122,6
	2023	6,0	5,7	95,3	15,0	14,3	95,4
	2024	6,3	3,7	57,8	16,5	9,3	56,6

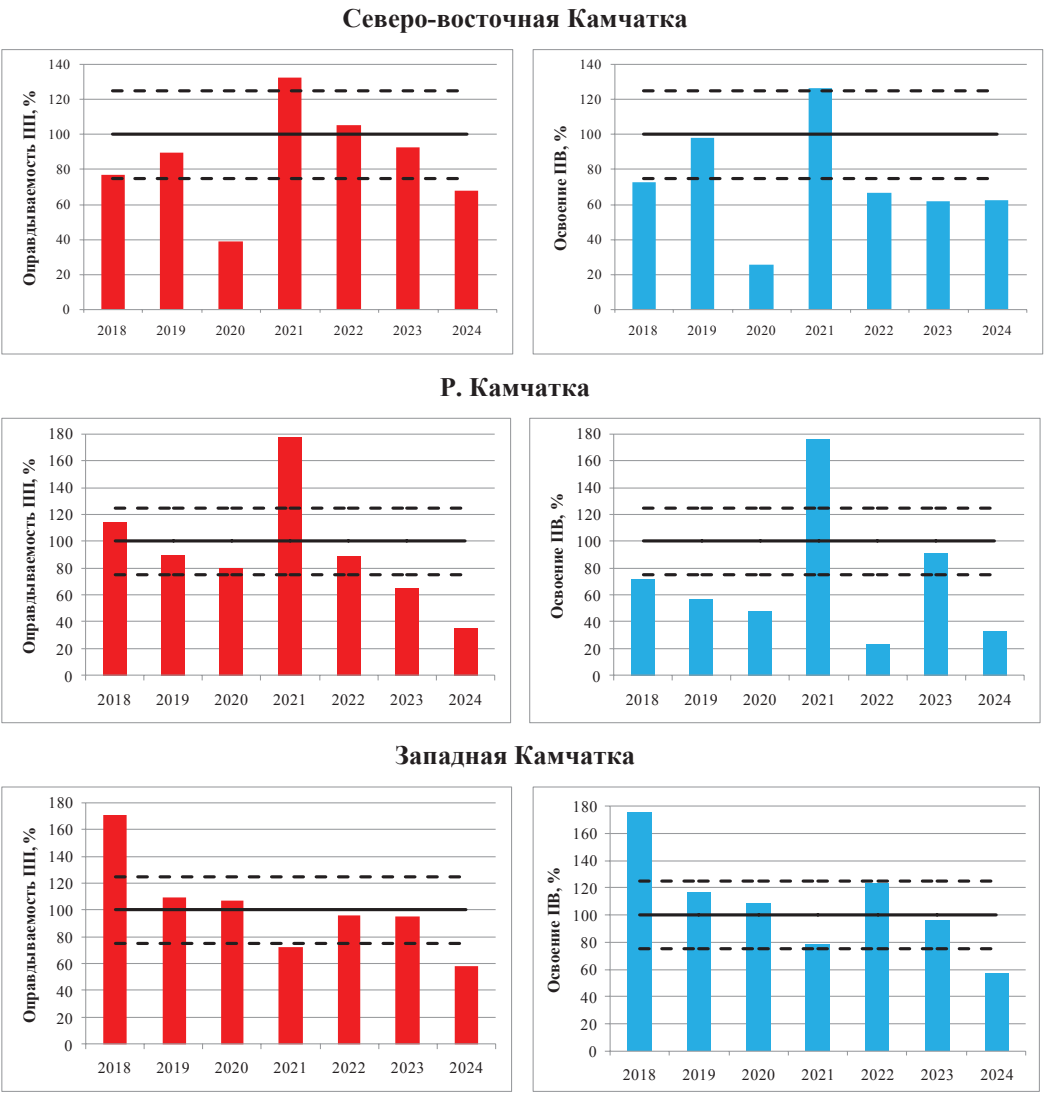


Рис. 3. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса кеты Камчатки по данным 2018–2024 гг.

Fig. 3. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of chum salmon stock in Kamchatka in 2018–2024

зоне используется экспертный инерционный подход (здесь добывается менее 0,01 % вида). Кроме того, аналогично определяется ПВ для второстепенных стад вида в Петропавловско-Командорской подзоне.

Кета не имеет столь высокой межгодовой флюктуации численности, как горбуша, поэтому прогнозы подходов и вылова вида не носят четко выраженный трендовый характер. Тем не менее, поскольку в современном прогнозировании используется предосторожный подход для определения объемов ПП и ПВ, т.е. показатели берутся по нижним границам модельных оценок, всегда имеется возможность скорректировать изначальный объем ПВ в зависимости от фактических подходов.

По прогнозу численности подходов большинство оценок по степени оправданности прогнозов локализованы в зоне стандартной методической ошибки ($100 \pm 25\%$). По величине ПП актуальная ошибка прогноза кеты наблюдается в 2020 и 2024 гг. для запаса северо-восточной Камчатки, в 2023 и 2024 гг. для запаса р. Камчатка и в 2024 г. для запаса западной Камчатки.

По вылову кеты ситуация менее позитивная. Наиболее точно объемы ПВ вида определяли для комплекса стад западной Камчатки. Исключением был лишь 2024 г. Для кеты северо-восточной Камчатки зафиксирована ошибка прогноза в 2020 г. В 2018, 2022–2024 гг. освоение ПВ также было меньше ожидаемого. Однако в 2022 и 2023 гг. показатели ПП вида находились на уровне, близком к изначальному прогнозу. Это указывает на то, что в эти годы наблюдался фактический недолов кеты северо-восточной Камчатки. В 2024 г. оба показателя (ПП и ПВ) были ниже ожидаемых даже с учетом стандартной методической ошибки. Для стада кеты р. Камчатка результаты прогнозирования наименее точные. Объемы ПВ были освоены лишь в 2021 и 2023 гг.

В целом, рассматривая соотношение ПП и ПВ основных промысловых единиц запаса кеты Камчатки, можно констатировать, что общие ошибки прогнозов для всех районов характерны только для 2020 и 2024 гг. По аналогии с горбушей, наиболее вероятно, что это является следствием влияния единых климато-океанологических факторов. Низкий уровень освоения ПВ кеты р. Камчатка напрямую связан с организацией рыболовства в регионе, так как вид не является профильным объектом добычи (вылова) тихоокеанских лососей в данном водном объекте.

Нерка. Вид воспроизводится и промыщляется во всех пяти промысловых районах, входящих в границы Камчатского края. Однако порядка 80 % вылова камчатской нерки приходится на два локальных стада, воспроизводящихся в реках Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона) и Озерная (Камчатско-Курильская подзона). При этом непосредственно по промысловым районам среднемноголетний (по данным 2001–2024 гг.) уровень добычи (вылова) вида распределен следующим образом: Западно-Беринговоморская зона — 0,5 % (0,15 тыс. т/0,01–0,41 тыс. т); Карагинская подзона — 5,9 (1,90 тыс. т/0,30–4,26 тыс. т); Петропавловско-Командорская подзона — 24,5 (7,92 тыс. т/2,22–15,09 тыс. т); Камчатско-Курильская подзона — 65,1 (21,03 тыс. т/11,55–31,34 тыс. т); Западно-Камчатская подзона — 4,0 % (1,28 тыс. т/0,07–3,30 тыс. т). Таким образом, в подзонах, где воспроизводятся крупнейшие стада нерки рек Камчатка и Озерная, обеспечивается среднемноголетний вылов на уровне 86,6 %.

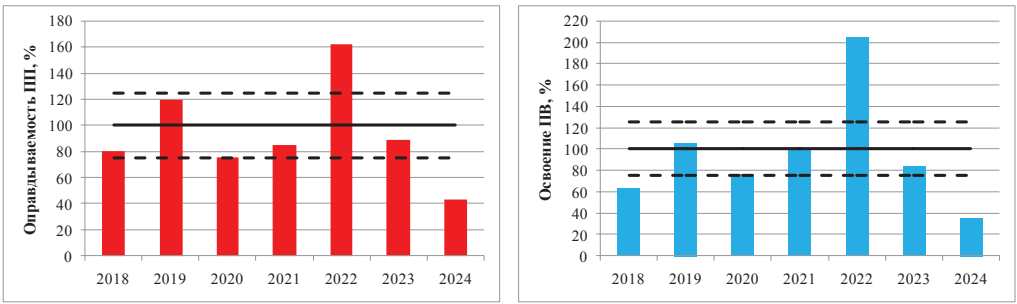
Учитывая подобный баланс распределения численности вида по районам воспроизводства Камчатки, логично определить в качестве основных прогнозируемых единиц запаса нерки два стада — рек Камчатка и Озерная (табл. 4, рис. 4). Отметим,

Таблица 4
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса нерки Камчатки в 2018–2024 гг.

Table 4
Data on runs abundance and catch for the major stock units of sockeye salmon in Kamchatka in 2018–2024

Региональная единица запаса (стадо)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Р. Камчатка	2018	6,8	5,5	80,3	16,0	10,1	63,2
	2019	4,2	5,0	119,4	8,9	9,3	105,3
	2020	4,6	3,5	75,6	8,5	6,5	76,3
	2021	4,5	3,8	85,2	6,6	6,5	98,7
	2022	4,5	7,4	162,1	6,8	13,8	204,8
	2023	5,2	4,7	88,7	10,1	8,4	83,4
	2024	3,4	1,5	43,6	6,2	2,2	35,5
Р. Озерная	2018	8,6	15,0	174,7	19,5	27,5	141,3
	2019	10,4	14,7	141,7	25,1	29,3	116,9
	2020	10,7	10,1	94,8	23,9	18,9	79,0
	2021	9,0	8,7	95,7	19,0	17,3	91,2
	2022	9,1	8,3	91,0	18,0	16,5	91,9
	2023	8,3	7,7	93,4	15,2	13,2	86,7
	2024	7,6	12,2	160,0	12,6	24,0	190,9

Р. Камчатка



Р. Озерная

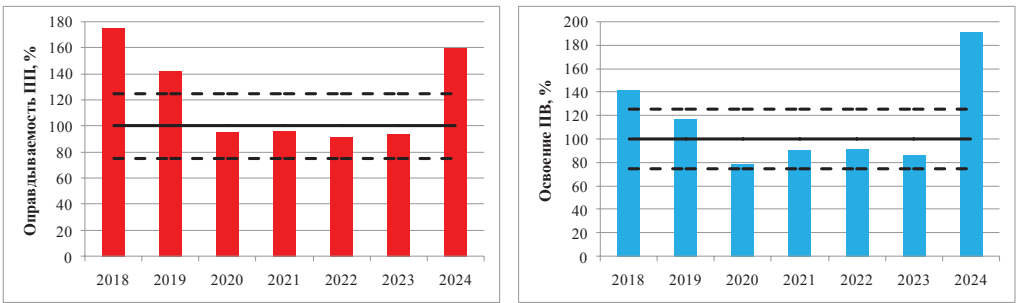


Рис. 4. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса нерки Камчатки по данным 2018–2024 гг.
Fig. 4. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of sockeye salmon stock in Kamchatka in 2018–2024

что модельное прогнозирование также ведется и для комплексов стад вида, воспроизводящихся в Карагинской и Западно-Камчатской подзонах. Однако их суммарный вклад в структуру уловов нерки Камчатки составляет менее 10 %. Поэтому нет необходимости акцентировать внимание на данных единицах запаса с позиции оценки оправдываемости региональных прогнозов динамики численности вида. В отношении нерки Западно-Беринговоморской зоны, по аналогии с другими видами, определение объема ПВ производится по инерционному принципу.

Анализируя межгодовую изменчивость оправдываемости ПП нерки рек Камчатка и Озерная, можно определить, что практически во все годы ряда наблюдений уровень возврата обеих единиц запаса соответствовал прогнозным ожиданиям с учетом стандартной методической ошибки ± 25 %. Исключением является лишь 2024 г., в котором подходы нерки р. Камчатка были значительно ниже прогноза. Причем соответствие прогнозируемых и фактических подходов для данного водного объекта в большинстве случаев определялось по нижней границе интервала стандартной ошибки (-25 %). Сверхвысокий подход нерки р. Камчатка в 2022 г. обусловлен возвратом от нереста высокочисленных поколений производителей. У нерки р. Озерной аналогичная ситуация наблюдается в 2018, 2019 и 2024 гг. Во всех случаях превышение уровня ПП нерки рек Камчатка и Озерная связано с методическими аспектами подготовки прогнозов. Как и у других массовых видов, здесь играет роль фактор использования предосторожного подхода, учитывающего возможность корректировки изначальных объемов ПВ.

По освоению ПВ нерки рек Камчатка и Озерная обстановка примерно повторяет ситуацию с оправдываемостью ПП. Однако в последний год ряда наблюдений (2024 г.) обнаружены ошибки прогнозов численности для данных единиц запасов вида.

Четко выраженная негативная ситуация наблюдается с выловом нерки р. Камчатка в 2024 г. В контексте настоящей работы именно этот год можно принять в качестве критической ошибки прогноза для данной единицы запаса вида. Наиболее вероятной

причиной этого является комплексное влияние двух факторов — информационно-методического и экологического. В первом случае использованная прогностическая модель не была достаточно «обучена» на учет критического снижения запаса производителей ключевого по численности поколения (возраст 5+ — нерест 2019 г.), которое вернулось в 2024 г. Во втором случае, по-видимому, было влияние климато-океанологических факторов, которые отразились на численности запасов всех видов тихоокеанских лососей восточной Камчатки.

По стаду нерки р. Озерной, несмотря на более высокий подход, чем ожидалось, также следует признать ошибку прогноза, поскольку не был предсказан высокочисленный тренд подхода. В этом случае, полагаем, во-первых, основную роль сыграл фактор снижения численности в последние предшествующие 3 года, т.е. ситуативный характер ошибки. Во-вторых, крайне низкий уровень запасов горбуши западной Камчатки в 2024 г. мог позитивно отразиться на выживаемости нерки р. Озерной во время весенних преднерестовых миграций, так как виды могут являться пищевыми конкурентами на том или ином этапе морского/океанического нагула [Карпенко и др., 2013].

Кижуч. Вид относительно малочисленный в пределах Камчатского края. При этом распространен практически во всех водных объектах региона. Основным центром воспроизводства камчатского кижуча является комплекс рек западного побережья (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны). По среднемноголетним данным 2001–2024 гг. здесь добывается около 69,9 % (3,92 тыс. т/0,20–9,64 тыс. т) от общего вылова вида на Камчатке. Второй по численности запас кижуча воспроизводится в реках восточного и юго-восточного побережья (Петропавловско-Командорская подзона) — среднемноголетний вылов на уровне 26,7 % (1,50 тыс. т/0,44–3,55 тыс. т). В реках северо-восточного побережья (Карагинская подзона) добыча вида минимальна — 3,4 % (0,19 тыс. т/0,004–0,70 тыс. т).

В практике современного прогнозирования кижуча Камчатки принято выделять две единицы запаса вида — западная (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) и восточная (Петропавловско-Командорская и Карагинская подзоны) Камчатка. При этом порядка 70 % восточнокамчатского комплекса стад составляет кижуч, который воспроизводится в бассейне р. Камчатка. Однако данная единица запаса рассматривается для всех стад восточной Камчатки, так как промысел вида достаточно специфичен из-за позднего анадромного хода кижуча, что не всегда позволяет равномерно распределять промысловые усилия на конкретные водные объекты, даже такие крупные, как р. Камчатка. В результате интенсивность промысловой нагрузки может значительно варьировать внутри промысловых районов, не позволяя четко определить конкретную основную единицу запаса на продолжительный период.

Кроме того, следует отметить, что из-за позднего нереста данные о численности нерестовых запасов кижуча Камчатки не всегда отличаются репрезентативностью. Это общая проблема для обоих побережий. Такая ситуация объективно снижает возможности для получения точных модельных оценок прогнозов (табл. 5, рис. 5).

По представленным данным видно, что оправдываемость ПП кижуча восточной и западной Камчатки отличается достаточно высокой точностью в пределах стандартной методической ошибки ± 25 %. Более низкий, чем ожидалось, уровень подходов был зафиксирован на западном побережье лишь в 2021 и 2024 гг.

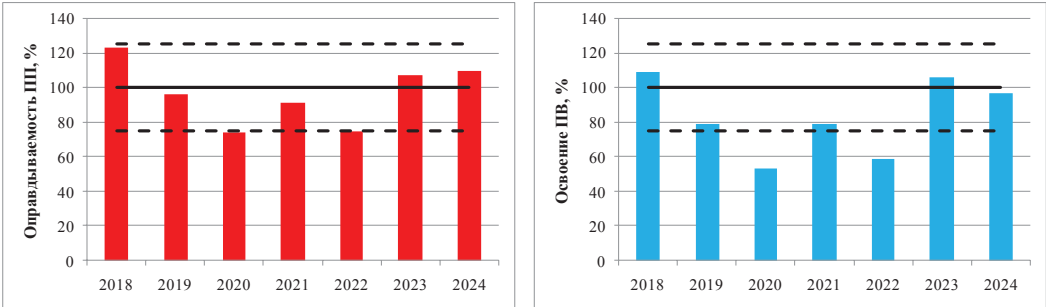
Анализ освоения ПВ показал, что для восточнокамчатской единицы запаса показатель добычи (вылова) не достиг ожидаемого в 2020 и 2022 гг. При этом и уровень региональных подходов в эти годы оправдался только по нижней границе интервала стандартной ошибки (-25 %). Показатели ПВ западнокамчатской единицы запаса кижуча, по аналогии с результатами прогнозирования подходов, также не были достигнуты в 2021 и 2024 гг. Таким образом, именно эти два года отражают реальную ошибку прогнозирования кижуча западной Камчатки. Наиболее вероятен информационный характер данной ошибки. Причиной может быть недостаток данных о численности нерестовых запасов производителей вида, формировавших возвраты 2021 и 2024 гг.

Таблица 5
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса кижуча Камчатки
в 2018–2024 гг.

Table 5
Data on runs abundance and catch for the major stock units of coho salmon in Kamchatka
in 2018–2024

Региональная единица запаса (комплекс стад)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Восточная Камчатка (Петропавловско-Командорская и Карагинская подзоны)	2018	1,0	1,3	122,9	2,4	2,6	108,9
	2019	1,2	1,2	95,9	2,8	2,2	79,1
	2020	1,1	0,8	73,8	2,5	1,3	53,3
	2021	1,0	0,9	90,9	2,2	1,7	78,9
	2022	1,0	0,7	74,5	2,0	1,2	58,5
	2023	0,9	1,0	107,2	1,9	2,0	105,9
	2024	0,9	1,0	109,3	1,9	1,8	96,8
Западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны)	2018	1,4	2,6	180,6	3,4	6,7	198,2
	2019	2,2	2,2	101,0	5,4	6,0	110,3
	2020	1,9	2,7	144,8	4,4	7,1	160,8
	2021	3,0	2,1	69,2	7,4	5,2	70,7
	2022	2,0	2,4	121,4	4,7	6,9	147,6
	2023	2,3	3,5	153,4	5,5	9,4	171,7
	2024	3,0	2,1	69,1	7,6	5,0	66,3

Восточная Камчатка



Западная Камчатка

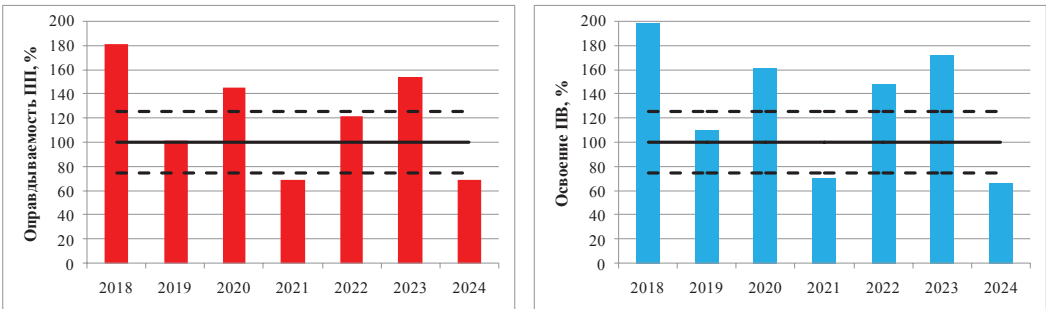


Рис. 5. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса кижуча Камчатки по данным 2018–2024 гг.

Fig. 5. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of coho salmon stock in Kamchatka in 2018–2024

Чавыча — наиболее малочисленный вид тихоокеанских лососей Камчатского края. В настоящее время функциональной единицей промыслового запаса вида в пределах региона остается только стадо чавычи р. Камчатка. Его доля в современном

вылове достигает порядка 80 % от добычи вида на Камчатке. Бассейн р. Камчатка географически относится к восточному побережью (Петропавловско-Командорская подзона). Доля среднесноголетнего вылова чавычи в указанном промысловом районе по данным 2001–2024 гг. составляет 82,7 % (0,45 тыс. т/0,16–0,81 тыс. т). Причем доля стада р. Камчатка в районном вылове превышает 95 % (табл. 6, рис. 6). Доля чавычи северо-восточного побережья (Карагинская подзона) также определяется объемом ПВ, но по инерционному принципу. Ее среднесноголетняя доля в общем промысле составляет 9,8 % (0,05 тыс. т/0,01–0,11 тыс. т). На западной Камчатке в современный период промысел чавычи не ведется. Добыча (вылов) осуществляется только в режиме любительского рыболовства, а также в научно-контрольных и аквакультурных целях. Объем ПВ в регионе определяется экспертным путем на уровне 0,04–0,06 тыс. т, что составляет около 7,5 % от вылова вида в Камчатском крае.

Таблица 6
Данные о численности подходов и вылове основной единицы запаса чавычи Камчатки в 2018–2024 гг. (р. Камчатка, Петропавловско-Командорская подзона)

Table 6
Data on runs abundance and catch for the major stock unit of chinook salmon in Kamchatka River in 2018–2024

Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
	ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
2018	0,14	0,10	73,9	0,44	0,26	59,5
2019	0,13	0,10	80,3	0,37	0,26	71,1
2020	0,14	0,09	67,6	0,40	0,27	69,4
2021	0,11	0,14	126,4	0,28	0,31	111,1
2022	0,15	0,14	94,0	0,40	0,41	103,3
2023	0,13	0,11	87,4	0,38	0,35	91,6
2024	0,10	0,10	102,0	0,27	0,23	84,4

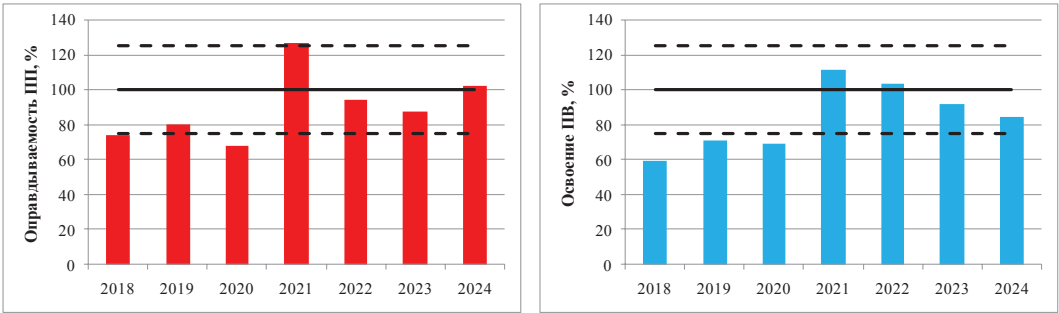


Рис. 6. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основной единицы запаса чавычи р. Камчатка по данным 2018–2024 гг.
Fig. 6. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major unit of chinook salmon stock in Kamchatka River in 2018–2024

В рассматриваемый период оправдываемость ПП чавычи р. Камчатка практически всегда соответствовала показателю 100 ± 25 %. Исключением был лишь 2020 г. Кроме того, показатель оправдываемости ПП в 2018 г. находился близко к нижней границе интервала ошибки прогнозирования.

Освоение объемов ПВ чавычи р. Камчатка было ниже ожидаемого в 2018–2019 гг. Теоретически можно говорить об ошибках прогнозов вылова в эти годы. Однако необходимо понимать, что чавыча, как наиболее малочисленный вид, никак не может быть объектом специализированного промысла. Ее вклад в структуру многовидового промысла тихоокеанских лососей р. Камчатка весьма ограничен. Поэтому освоение объемов ПВ чавычи зависит от общего хода промысла, причем не ориентированного

на добычу (вылов) этого вида. Поэтому недолов чавычи относительно ожидаемого показателя не является критическим. В данном случае главное — показатель общего запаса (подход), так как чавыча относится к наиболее ценным видам тихоокеанских лососей и требует особого отношения к воспроизводству. Следовательно, при достижении ожидаемого уровня ПП более низкий вылов обеспечит дополнительный пропуск производителей вида на нерестилища.

Потенциальные причины несоответствия прогнозов

По характеру причинно-следственных связей несоответствия (ошибки) прогнозов динамики численности водных биологических ресурсов можно разделить на два типа — информационно-методические и экологические. Первый тип ошибок образуется в результате недостаточности первичных исходных данных, неверно выбранной прогностической модели или ошибочной интерпретации полученных результатов. Второй тип ошибок формируется под воздействием неуправляемых экологических (экосистемных) факторов, в той или иной мере воздействующих на количественные показатели продуктивности гидробионтов на момент промыслового воздействия.

В отношении тихоокеанских лососей большее значение при прогнозировании численности запасов имеют именно экологические факторы. Разумеется, информационно-методические причины ошибок также достаточно распространены. Однако это решаемые проблемы, которые, как правило, учитываются специалистами уже при подготовке следующего прогноза. Ошибки же, полученные в результате влияния природных факторов, в подавляющем большинстве случаев непредсказуемы и неуправляемы.

Повышенная роль экологии в прогнозировании численности запасов тихоокеанских лососей напрямую связана с их жизненным циклом. Как известно, большая часть жизни тихоокеанских лососей проходит в море/океане в малодоступных для мониторинга условиях. Причем, акватория их нагульных миграций простирается на тысячи километров, включая практически всю площадь бассейна Северной Пацифики. Это делает невозможным отслеживание изменчивости состояния лососевых запасов на протяжении всех этапов морского/океанического периода жизни.

В настоящее время учетные съемки тихоокеанских лососей проводятся только в период осенней откочевки молоди от побережья в водах Берингова и Охотского морей, а также во время преднерестовых миграций в северо-западной части Тихого океана. Подобная схема морских исследований в первую очередь ориентирована на самый массовый вид — горбушу, которая имеет наиболее короткий жизненный цикл (2 года). Все остальные виды, которые в массе нагуливаются в море/океане от 3 до 5 лет, на этот период практически выпадают из поля зрения прогнозистов. Поэтому меняющиеся во время их нагула климато-океанологические условия не могут в полной мере учитываться при прогнозировании возвратов длинноцикловых видов лососей.

В рамках представленной работы заведомо экологический характер ошибок прогнозов имеют случаи, когда наблюдались значимые для массовых видов тихоокеанских лососей несоответствия в показателях как ожидаемых подходов (ПП), так и вылова (ПВ). Подобная ситуация отмечена в 2020 и 2024 гг. (горбуша — 2020 г., кета и нерка — 2020 и 2024 гг.). Обращаем внимание, что в 2020 г. негативное влияние экологических факторов наблюдалось для стад всех массовых видов лососей северо-восточной Камчатки. В 2024 г. прогнозы не оправдались для кеты и нерки уже всей восточной Камчатки, а также для кеты западной Камчатки. Кроме того, в 2022 г. низкие подходы были зафиксированы для горбуши западной Камчатки. Однако принимая во внимание тот факт, что региональные возвраты всех остальных массовых видов лососей достигли прогнозных ожиданий, полагаем, что для данного вида высока вероятность информационно-методической ошибки прогноза в этот год, так как поколение было неурожайным.

Оценка потенциальных экологических причин несоответствия прогнозов невозможна без анализа океанологических условий в зоне морского/океанического нагула ти-

хоокеанских лососей. Отметим, что специалистами по прогнозам в отношении наиболее значимых лососевых запасов в той или иной мере учитывается влияние климатических факторов во время осенней откочевки молоди [Фельдман, Шевляков, 2015; Бугаев и др., 2021, 2024; Фельдман, Бугаев, 2021]. Исходя из критичности влияния температурных условий на рост и выживание тихоокеанских лососей именно в холодное время года логично дать описание океанологических условий в зимне-весенний период. В работе выполнен анализ распределения аномалий температуры поверхности океана (аТПО) в зонах основного нагула стад тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки во время зимне-весеннего нагула в бассейне Северной Пацифики. Применительно к данной ситуации наиболее актуально использование показателя аТПО, так как он характеризует отклонение терморежима вод от среднееголетних показателей, т.е. дает сравнительную информацию. Дополнительно указываются метеорологические факторы, влияющие на формирование температурных условий вод в зонах нагула тихоокеанских лососей.

При определении районов нагула руководствовались известными закономерностями зимне-весенних миграций тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики [Бирман, 1985; Атлас..., 2002; Шунтов, Темных, 2011; The ocean ecology..., 2018]. На представленной карте-схеме (рис. 7) показаны генерализованные зоны зимнего нагула и весенних преднерестовых миграций обеих региональных группировок стад лососей.

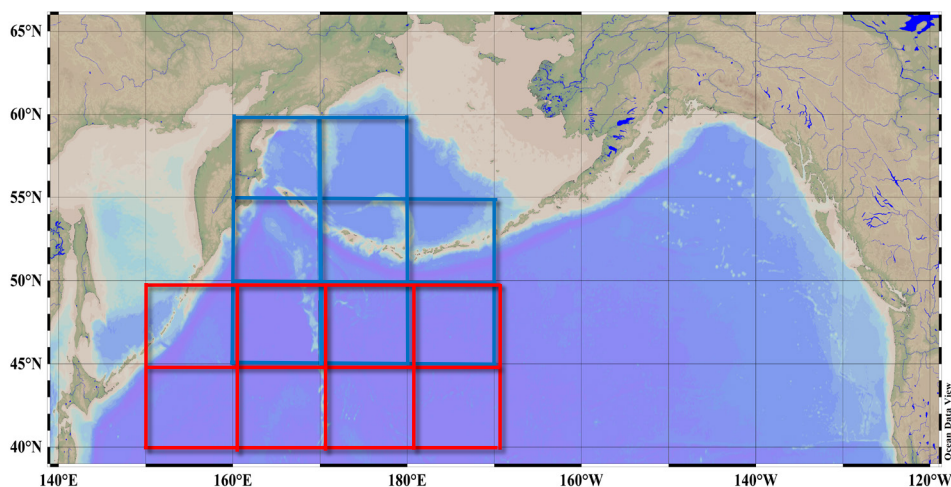


Рис. 7. Карта-схема основных зон зимне-весеннего нагула тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики: *синие линии* — восточнокамчатские стада; *красные линии* — западнокамчатские стада

Fig. 7. Scheme of the main winter-spring feeding areas of pacific salmon at East and West Kamchatka: *blue lines* — East Kamchatka stocks; *red lines* — West Kamchatka stocks

В качестве небольшого отступления отметим, что в зимний период года над северной частью Тихого океана господствуют несколько центров действия атмосферы — Алеутская депрессия, Гавайский и Сибирский антициклоны (рис. 8). Именно их интенсивность и расположение характеризуют направленность метеорологических процессов, а также в немалой степени состояние верхнего, охваченного ветровым и конвективным перемешиванием слоя океана [Дашко, Варламов, 2000]. В то же время термическое состояние вод поверхностного слоя и интенсивность адвекции тепла течениями оказывают влияние на формирование и расположение океанических центров действия атмосферы. Система «океан–атмосфера» тесно взаимосвязана, но в силу большей инерционности океана в ней рождаются непрерывные колебания — планетарные волны [Доронин, 1986; Latif, Barnett, 1996].

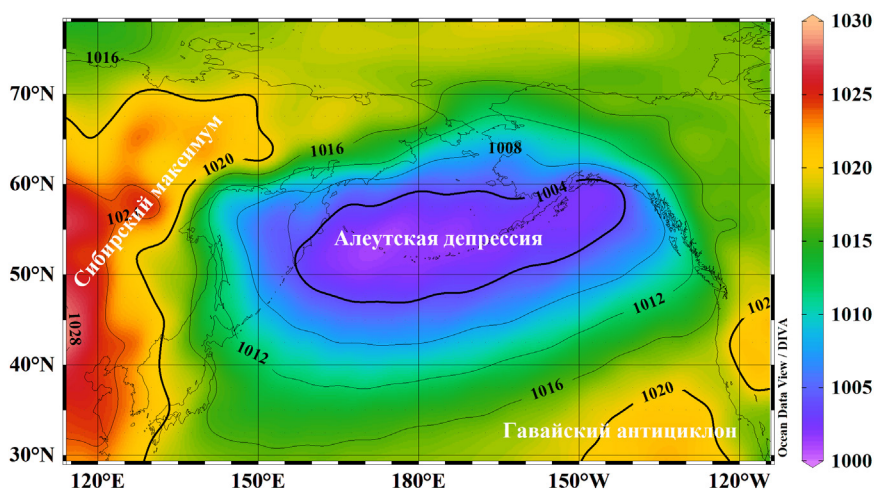


Рис. 8. Карта распределения приземного атмосферного давления в зимний период года, осредненная для периода 1991–2020 гг.

Fig. 8. Surface analysis for atmospheric pressure in winter averaged for 1991–2020

Обращаем внимание, что наиболее существенным показателем, характеризующим метеорологические процессы в районах зимне-весенних нагульных миграций тихоокеанских лососей (акватория севернее (до 50–60° с.ш.) и южнее (до 40° с.ш.) гряды Алеутских островов), является зона формирования поля низкого давления — Алеутская депрессия. Заток воздушных масс в указанный регион в значительной степени формирует температурный режим вод в нагульной акватории. Сравнительный показатель (индекс) измерения относительной интенсивности Алеутской депрессии в северной части Тихого океана ежегодно рассчитывается в стандартные сроки — с ноября-декабря по март [Beamish et al., 1997; Surry, King, 2015]. Расчет ведется на основе данных средней площади района (км²) с давлением на уровне моря $\leq 100,5$ кПа. Аномалия рассчитывается от среднего значения 1950–1997 гг.

Особенности развития атмосферных процессов и распределение аТПО зимой (декабрь-февраль) и весной (март-май) 2017–2024 гг. представлены для каждого календарного периода отдельно.

2017/18 г. Период характеризуется очень слабым развитием большинства зимних центров действия атмосферы на фоне аномально восточного размещения центра Алеутской депрессии (рис. 9). Это привело к интенсификации затоков «холодных» воздушных масс на акваторию Охотского моря, что выразилось в значительном развитии ледового покрова и преобладании отрицательных аТПО в свободной части моря. В свою очередь ледовитость Берингова моря была минимальной, а уровень температуры вод поверхности в его западной части превышал норму до +2 °С. На акватории северо-западной части Тихого океана вплоть до 50° с.ш. также преобладали положительные аТПО. Южнее, у северной границы Северо-Тихоокеанского течения, наблюдалось господство отрицательных отклонений от нормы. При этом в отдельных вихрях потока, подпитываемого течением Куро시오, температура поверхности превышала среднегодовую. Ситуация практически не изменилась и в весенний период 2018 г. Наиболее высокие аТПО в Беринговом море сместились в район материкового склона восточной части акватории. Область с отрицательными значениями аТПО несколько расширилась в северном направлении. Отметим преобладание положительных аТПО в зоне действия Камчатского и Западно-Камчатского течений.

2018/19 г. Алеутская депрессия в зимний период оказалась одной из наиболее развитых за рассматриваемый отрезок времени (рис. 10). При этом гребни Сибирского и Гавайского антициклонов были ослаблены. Уровень приземного атмосферного давления над Охотским и Беринговым морями ниже нормы. Аналогичная ситуация

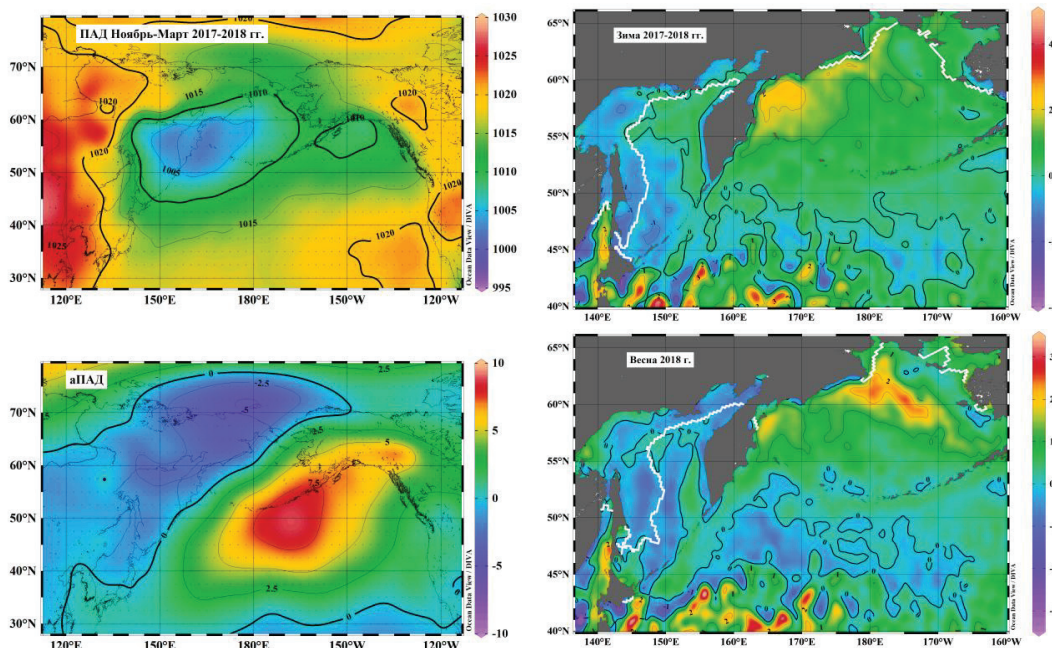


Рис. 9. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2017/18 г. Здесь и далее на аналогичных рисунках белая линия — граница распределения морского льда

Fig. 9. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2017/2018. Here and further at similar figures: white line shows the sea ice boundary

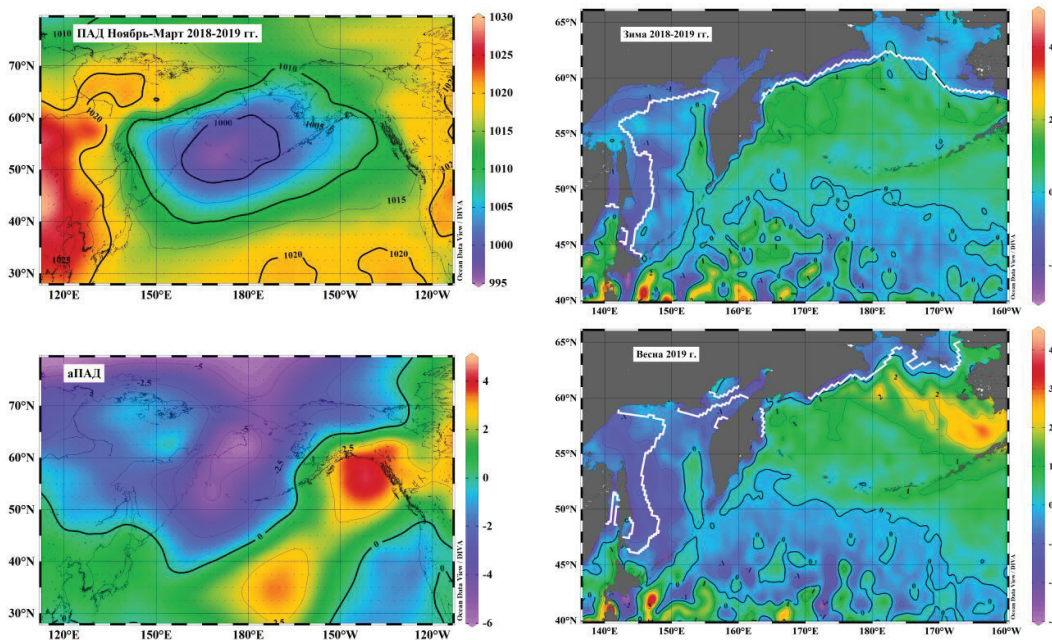


Рис. 10. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2018/19 г.

Fig. 10. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2018/2019

наблюдалась и над северо-западной частью Тихого океана. Это привело к увеличению частоты вторжения арктических воздушных масс на акваторию Охотского и северной части Берингова морей, что послужило толчком к увеличению площади морского льда на их акватории. Температура поверхности, свободной ото льда, на большей части Охотского моря оказалась ниже нормы. В Беринговом море отмечалось преимущественное превышение этого показателя над нормой. К югу от 50° с.ш. площадь вод Тихого океана с отрицательными значениями аТПО доминировала. Положительные показатели аТПО в основном наблюдались в зоне смешения вод течений Северо-Тихоокеанского и Курисио. Описанная ситуация в целом сохранилась и в весенний период года. Однако площадь, занимаемая отрицательными значениями аТПО на акватории Тихого океана, несколько возросла. В восточной части Берингова моря абсолютные значения отклонений температуры от нормы вновь превысили +2 °С.

2019/20 г. Зимой площадь Алеутской депрессии оказалась близкой к средне-многолетним показателям (рис. 11). В это же время северный гребень Гавайского антициклона значительно активизировался, а Сибирский антициклон, наоборот, ослаб. Участвовавшее поступление «холодных» воздушных масс из Арктического региона на акваторию обоих морей привело к резкому росту площади морского льда в Беринговом море. По сравнению с предшествующими годами она повысилась более чем на 100 тыс. км². В Охотском море тенденция оказалась обратной. Здесь площадь льда незначительно сократилась. Большая часть Охотского моря и зона Тихого океана между 45 и 50° с.ш. зимой 2019/20 г. были заняты водами, температура поверхности которых оказалась незначительно ниже нормы. Высокие положительные аТПО отмечались только в зоне действия течения Курисио. В то же время воды Берингова моря отличались положительными аномалиями (до +1 °С). При этом площадь, занятая льдом весной 2020 г., была более чем в два раза выше, чем в два предшествующих года. Значения аТПО в Беринговом море повысились, как и в водах Тихого океана, практически на всей акватории. В Охотском море показатели аТПО остались практически на

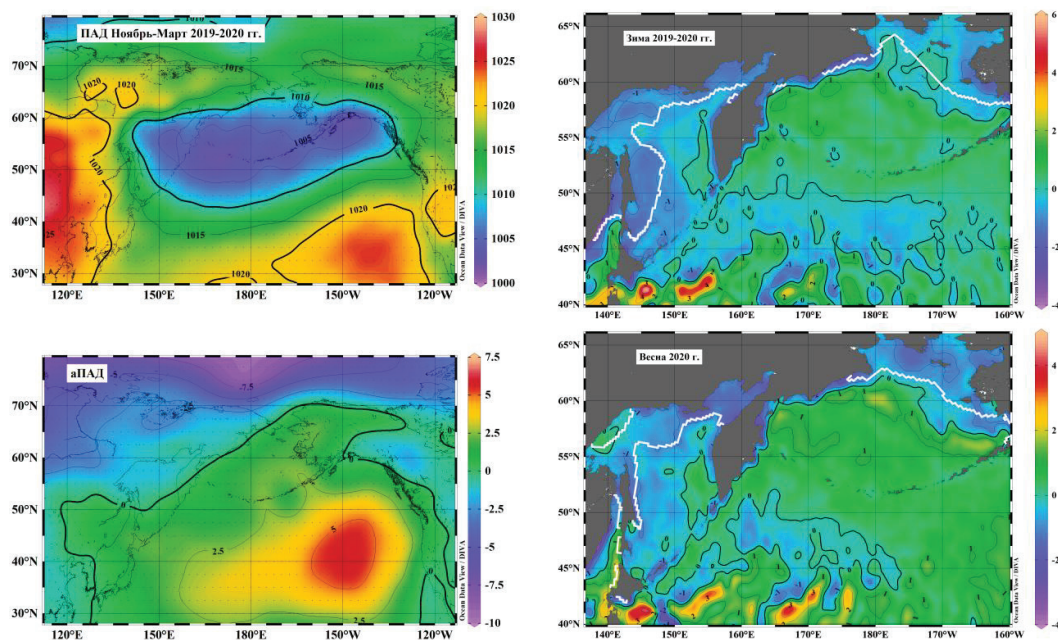


Рис. 11. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2019/20 г.

Fig. 11. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2019/2020

прежнем уровне. Однако, несмотря на это, сокращение площади морских льдов здесь оказалось существенным.

2020/21 г. В этот год зафиксировано наибольшее развитие Алеутской депрессии (рис. 12). Аномалия поля приземного атмосферного давления над юго-западной частью Берингова моря превышала -5 гПа. Одновременно на юго-востоке активизировался Гавайский антициклон ($+5$ гПа), что привело к увеличению пространственного градиента давления в зоне между 35 и 45° с.ш. Сибирский антициклон был менее выражен, но из-за аномально западного распространения Алеутской депрессии и в районе Охотского и Японского морей градиент приземного атмосферного давления оказался повышенным. Все это привело к увеличению площади вод, занятых отрицательными показателями аТПО в зимний период, как в Охотском море, так и на акватории Тихого океана. К весне этот показатель снизился в основном в тихоокеанской акватории. И не последнюю роль в данном процессе сыграло увеличение притока «теплых» вод с потоком Северо-Тихоокеанского течения. Отметим, что зоны действия Камчатского, а также Западно-Камчатского течений, за исключением узкой прибрежной полосы, отличались преобладанием положительных аТПО как зимой, так и весной. Уровень ледовитости Охотского и Берингова морей в зимний период оставался достаточно высоким и даже подрос весной.

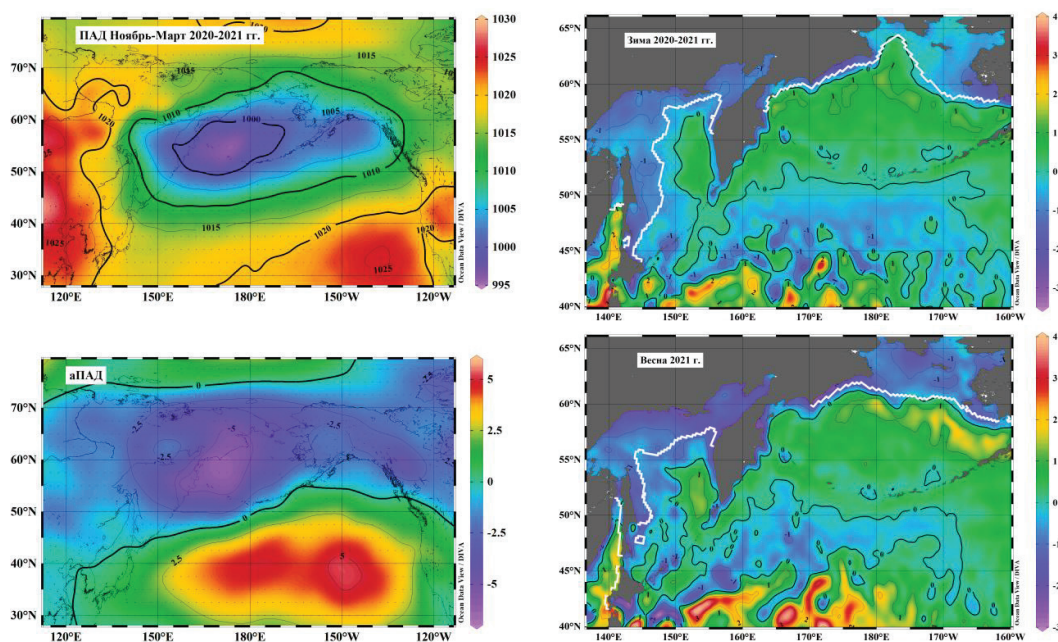


Рис. 12. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2020/21 г.

Fig. 12. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2020/2021

2021/22 г. В этом году наблюдаемое развитие Алеутской депрессии в холодный период года было на одном из самых низких уровней для рассматриваемого периода лет (рис. 13), что особенно касается ее восточной части, где доминирование гребня Гавайского антициклона привело к превышению приземного атмосферного давления над нормой до $+5$ гПа. Причем область аномально высокого давления распространялась далеко на север, вплоть до Чукотки. И именно в этой зоне оказались наиболее низкие среднесезонные аТПО, а также самый высокий уровень площади льда. В то же время на свободной ото льда акватории температура поверхности оставалась выше нормы. Особенно высокие показатели аТПО наблюдались в зоне действия Северо-Тихо-

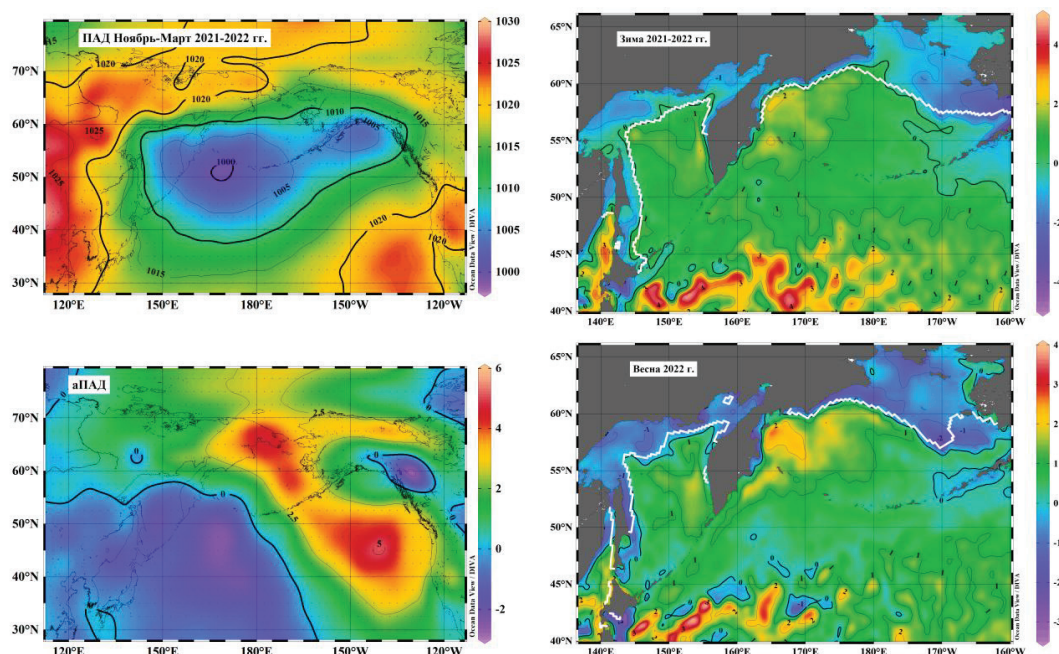


Рис. 13. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2021/22 г.

Fig. 13. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2021/2022

океанского течения (до $+4^{\circ}\text{C}$). Привлекает внимание тот факт, что в северо-западной части Тихого океана зимой и весной 2022 г. температура поверхности воды устойчиво превышала норму (на $+1-2^{\circ}\text{C}$). При этом площадь льда в Охотском море оказалась на экстремально низком уровне. Заметим, что весной произошло некоторое понижение уровня аТПО в южной части акватории моря с возникновением небольших «пятен» с отрицательными значениями, а на акватории Берингова моря этот показатель повысился.

2022/23 г. Наблюдалось ослабление Алеутской депрессии на фоне аналогично низкого развития гребня Сибирского антициклона, что привело к аномально низкому приземному атмосферному давлению над большей частью Охотского моря (рис. 14). В то же время над водами Тихого океана и восточной частью Берингова моря господствовала область аномально высокого приземного атмосферного давления. В результате западная часть акватории по уровню температуры поверхности оказалась преимущественно в «отрицательной» зоне, в то время как центральная и особенно юго-восточная области были в «положительной». Тем не менее площадь ледового покрова Охотского моря оказалась одной из самых низких как зимой, так и весной. Аналогичный показатель для Берингова моря, наоборот, зимой был на уровне 250 тыс. км², а весной — 300 тыс. км². Весной поднялся уровень положительного отклонения аТПО от нормы в южной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана. Одновременно увеличилась зона отрицательных значений аТПО в Охотском море. Зоны действия Камчатского и Западно-Камчатского течений оставались с положительной стороны оси аномалии температуры поверхности на протяжении всего зимне-весеннего периода.

2023/24 г. В этот год Алеутская депрессия оказалась одной из наиболее развитых за рассматриваемый период лет (рис. 15). Особенно сильно она расширилась в северном направлении. Минимум аномалии приземного атмосферного давления располагался над Беринговым проливом, и зона отрицательных значений занимала практически весь север и восток района. Гавайский антициклон оказался ослабленным, и его привычный

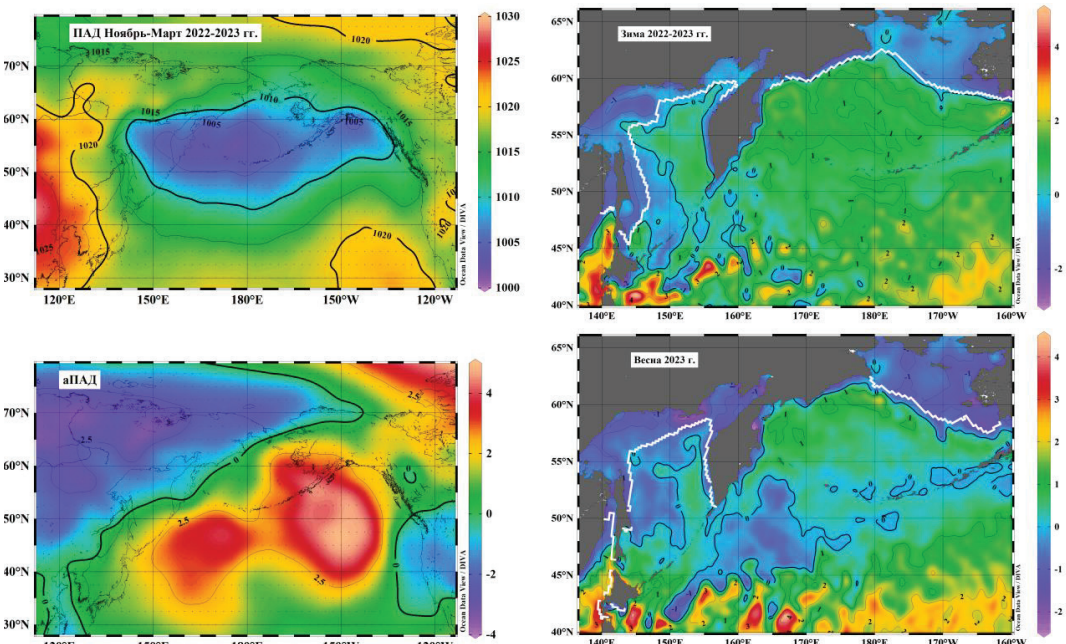


Рис. 14. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2022/23 г.

Fig. 14. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2022/2023

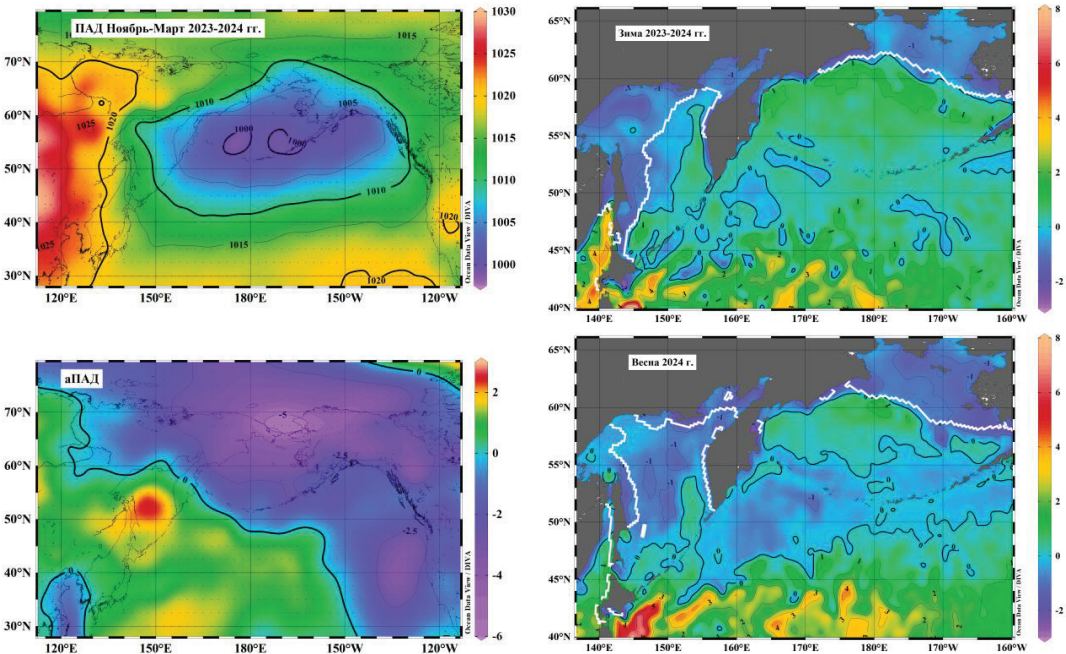


Рис. 15. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2023/24 г.

Fig. 15. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2023/2024

гребень отсутствовал. Над Охотским морем уровень приземного атмосферного давления оказался выше нормы вследствие значительного развития Сибирского антициклона. В результате уровень ледового покрова Охотского моря в течение зимнего периода был самым высоким. Однако весной на охотоморской акватории лед сходил опережающими темпами и площадь морских льдов значительно сократилась. В Беринговом море картина складывалась противоположно: к весне уровень ледового покрова здесь значительно возрос, достигнув максимума последних семи лет. Прирост происходил в основном в северо-восточной части моря. В юго-западной части Берингова моря в зимне-весенний период показатели аТПО отличались наличием обширной зоны низких значений на свободной ото льда акватории. В северо-западной части Тихого океана наблюдалась достаточно сходная обстановка: положительные показатели аТПО фиксировались лишь в зоне Северо-Тихоокеанского течения на широте 40–45° с.ш. Причем весной ситуация усугубилась. В этот период большая часть поверхности акватории северо-запада Тихого океана оказалась во власти низких значений температуры вод поверхности. Зона отрицательных значений аТПО простиралась практически от Курисио до Алеутских островов и Аляски. «Холодно» было и в Охотском, и в Беринговом морях.

Представленные результаты анализа климато-океанологических условий в бассейне Северной Пацифики по годам возвратов тихоокеанских лососей (2018–2024 гг.) показывают наличие значительной межгодовой изменчивости терморежима вод в зонах их нагула. Следует признать, что объективно сложно оценить влияние данного фактора на численность восточно- и западнокамчатских стад лососей. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что температурные условия нагула не действуют напрямую на тихоокеанских лососей. Известно, что данное воздействие происходит опосредованно, например, в результате межгодовой изменчивости состояния кормовой базы. Таким образом, необходимо говорить о многофакторном механизме влияния океанологических условий на численность лососевых запасов. Однако, принимая во внимание продолжительность миграций и обширность акватории морского/океанического нагула лососей, практически невозможно получить фактические данные, представляющие весь комплекс требуемой информации. Поэтому большинство заключений о механизме влияния климато-океанологических условий на продуктивность или биологические показатели тихоокеанских лососей, как правило, носят гипотетический характер.

В настоящее время уже проведены достаточно обширные исследования, доказывающие, что увеличение численности тихоокеанских лососей напрямую связано с глобальным потеплением Земли [Кляшторин, Любушин, 2005; Бугаев, Тепнин, 2024]. При этом показано, что увеличение их численности негативно повлияло на размерно-массовые показатели производителей всех видов лососей [Карпенко и др., 2013; Бугаев, 2017; Бугаев, Тепнин, 2024]. Наиболее очевидной причиной этого является обострение внутри- и межвидовой пищевой конкуренции лососей под воздействием плотностного фактора, так как численность практически всех видов лососей значительно возросла в 2010–2020-е гг., о чем свидетельствуют их исторически высокие уловы в этот период (рис. 1). Причем очевидно, что это происходит на этапах нагула уже после откочевки молоди в открытые морские/океанские воды, а также во время преднерестовых миграций. В противном случае не было бы увеличения численности лососей, так как недостаток пищи в ранний морской период жизни критично отразился бы на выживаемости молоди.

Современные фактические данные об изменчивости массы тела производителей тихоокеанских лососей Камчатки в 2010–2020-е гг. представлены на рис. 16.

Анализ представленных данных позволяет с уверенностью говорить о наличии отрицательных трендов динамики навески (масса тела) тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки в 2011–2024 гг. При этом отмеченный тренд наблюдался еще с 1960–1970-х гг. [Карпенко и др., 2013; Бугаев, 2017]. Обращаем внимание, что у восточнокамчатских стад лососей тренды выражены сильнее и навески ниже, чем

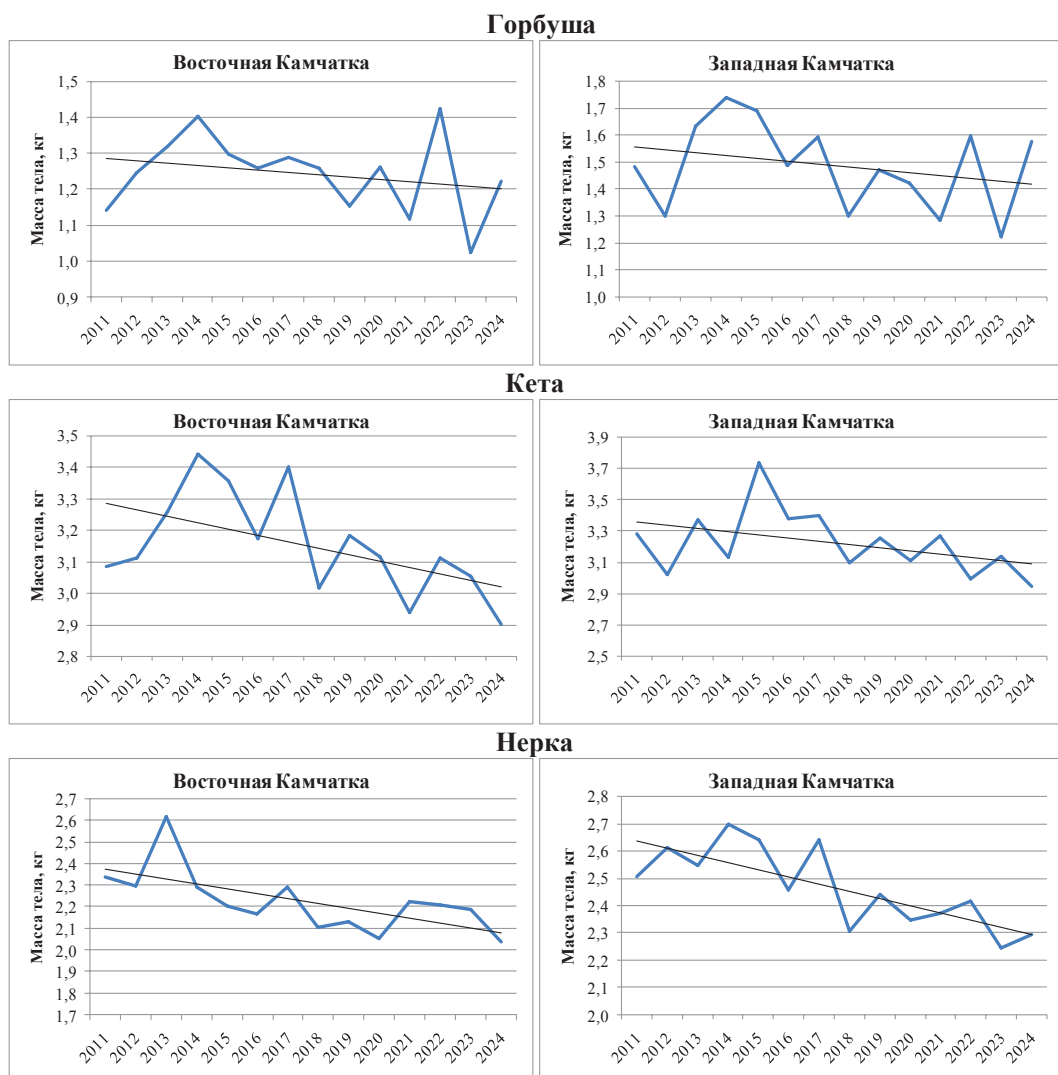


Рис. 16. Динамика массы тела тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки по данным 2010–2020-х гг.

Fig. 16. Dynamics of pacific salmon body weight at East and West Kamchatka

у западнокамчатских. Подобная закономерность не может быть случайной. Понятно, что имеются некие негативные факторы, которые более влияют на рост лососей, воспроизводящихся в реках восточной Камчатки. Однако в обоих случаях основной причиной данной тенденции может быть только недостаток пищи во время морского/океанического нагула. При этом непосредственно развитие лососевой кормовой базы связано именно с океанологическими условиями. Следовательно, наиболее вероятно, что у восточнокамчатских лососей условия нагула во время созревания были хуже, чем у западнокамчатских.

В связи с этим необходимо обратить внимание на результаты многолетних биоценологических и океанологических исследований ТИНРО, показавших влияние изменения океанологических процессов на продуктивность водных биологических ресурсов в дальневосточных морях России [Байталюк, Зуенко, в печати]. По полученным современным данным глубинный прогрев водных масс в Охотском и Беринговом морях, а также в северо-западной части Тихого океана привел к нарушению вертикальной циркуляции вод. Это послужило причиной обеднения эпипелагиали по

составу биогенных элементов и, как следствие, перестройки планктонных сообществ. В результате сократилось количество фитопланктона, а в составе зоопланктона значительно снизилась доля более калорийных организмов (веслоногие рачки *Copepoda*). Доля менее калорийных форм (сагитты *Sagitta*, эвфаузииды *Euphausiidae* и гиперииды *Hyperiidae*), наоборот, увеличилась.

Таким образом, в связи с глобальным потеплением кормовой потенциал эпипелагиали морских и тихоокеанских вод Дальнего Востока России в 2010–2020-е гг. снизился. Учитывая, что этот слой водных масс является местом обитания тихоокеанских лососей, несомненно, эти экосистемные перестройки не могли не отразиться на биологическом состоянии данной группы рыб. Причем явно энергетического потенциала кормовых объектов эпипелагиали дальневосточных морских и океанических вод хватает на формирование высокочисленных поколений тихоокеанских лососей (факт исторического увеличения численности в 2010–2020-е гг.) на начальном этапе морского/океанического периода жизни. Однако в процессе дальнейшего нагула этого потенциала уже недостаточно для соматического роста рыб, о чем свидетельствуют тренды снижения размерно-массовых показателей производителей тихоокеанских лососей в последние десятилетия. При этом понятно, что недостаточно физически развитые особи тихоокеанских лососей могут быть в большей степени подвержены негативному влиянию условий среды, складывающихся в тот или иной период нагула. В принципе указанный механизм влияния океанологических условий на выживание тихоокеанских лососей вполне может объяснить «неожиданные» провалы в динамике подходов того или иного вида этой группы рыб.

В рамках настоящей работы мы определили два года, когда ошибки прогнозов явно носили экологический (экосистемный) характер, — 2020 и 2024 гг. Проанализировав океанологические условия в зимне-весенние периоды этих лет, можно определить следующие закономерности.

1. В 2020 г., как зимой, так и весной, наблюдалась обширная положительная аТПО, которая охватывала практически всю зону зимовальных и преднерестовых миграций тихоокеанских лососей восточной Камчатки. Особенно высок уровень аТПО был весной в западной части Берингова моря, где осуществляют преднерестовые миграции стада лососей, воспроизводящихся в реках северо-восточного побережья полуострова.

2. В 2024 г. наблюдалась обширная отрицательная аТПО в весенний период как в западной части Берингова моря, так и в северо-западной части Тихого океана. В этом случае относительно аномально холодные условия нагула складывались для стад лососей восточной и западной Камчатки. Причем более значимое влияние сложившихся условий приходилось на период начала преднерестовых миграций созревающих рыб.

Резюмируя вышесказанное, предположим, что наличие обширных аномалий температуры воды, как положительных, так и отрицательных, могло негативно отразиться на формировании кормовой базы лососей в районах массовых миграций. Ранее мы высказывали гипотезу, что зона положительной аТПО в Беринговом море в 2020 г. в зимне-весенний период привела к увеличению доли «южных» форм планктона, которые отличаются более меньшей калорийностью по сравнению с «северными» формами [Бугаев и др., 2020]. В этой же работе было указано, что аналогичная ситуация также наблюдалась в восточной части Берингова моря и зал. Аляска. Однако не исключено, что в северо-западной части Тихого океана это было связано еще и с обеднением кормовой базы эпипелагических вод по указанным выше океанологическим причинам. К сожалению, в период 2018–2024 гг. в приалеутском районе Северной Пацифики в зимний и весенний периоды не проводились биоценологические съемки. Поэтому невозможно дать ответ о межгодовой динамике планктонных сообществ в местах зимовальных и ранних преднерестовых миграций тихоокеанских лососей Дальнего Востока России.

Поэтому вполне возможно, что в 2024 г. низкое теплосодержание вод могло привести к еще большему дефициту макро- и микрофракций зоопланктона, т.е. недостатку

корма для тихоокеанских лососей. Причем микропланктон является объектом питания различных видов кишечнорастных Coelenterata, гребневиков Stenophora и крылоногих моллюсков Pteropoda, основным потребителем которых среди тихоокеанских лососей является кета [Шунтов, Темных, 2011; Карпенко и др., 2013]. По имеющимся данным эти организмы могут составлять порядка 80 % в питании кеты.

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что океанологические условия 2024 г. оказали негативное влияние на запасы кеты, воспроизводящейся не только на Камчатке, но и во всех других регионах Дальнего Востока. Ситуация с низкими подходами вида в этот год была сходной для всего Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. При этом два других массовых вида тихоокеанских лососей — горбуша и нерка — имеют сходный спектр питания (макрозоопланктон, молодь кальмаров Gonatidae и светящиеся анчоусы Myctophidae, суммарно составляющие более 90 %), отличающийся от рациона кеты [Шунтов, Темных, 2011; Карпенко и др., 2013]. Поэтому сложившиеся кормовые условия затронули оба этих вида в меньшей степени. Причем у нерки низкие подходы наблюдались только для восточнокамчатских стад, которые концентрируются в северной части нагульного ареала. Южнее, где нагуливаются западнокамчатские стада нерки, температурные условия были ближе к среднесезонным показателям. Кроме того, как мы ранее отмечали, положительное влияние на увеличение уровня возврата нерки р. Озерной в 2024 г. могла оказать и крайне низкая численность горбуши западной Камчатки в этом году. Современные исследования достаточно четко показывают, что имеется отрицательная взаимосвязь между численностью указанных единиц запасов горбуши и нерки [Дубынин, 2023].

Понятен гипотетический характер высказанных выше предположений. Тем не менее фактом остается наличие наименьших навесок у кеты и нерки в 2024 г. за весь период 2010–2020-х гг. Объяснить это можно только определенным дефицитом кормовых ресурсов на определенных этапах морского/океанического нагула. Данный дефицит вполне объясним влиянием сложившихся современных океанологических условий и высокой численностью тихоокеанских лососей (плотностной фактор). Не исключено, что снижение размерно-массовых характеристик лососей на фоне общего обеднения кормовой базы эпипелагиали морских и тихоокеанских вод Дальнего Востока России влечет и повышенную смертность созревающих рыб при изменениях условий нагула. По сути более физиологически ослабленные тихоокеанские лососи становятся чувствительными к перепадам состояния среды. Следовательно, наличие обширных полей положительных или отрицательных показателей аТПО, охватывающих большую часть нагульных ареалов региональных группировок стад лососей Камчатки, может быть причиной для потенциального снижения численности подходов производителей в тот или иной год. Наиболее вероятно, что это проявляется в год формирования зрелой части стад, т.е. на начальных этапах преднерестовых миграций, так как описанные условия в большей степени складываются именно в весенний период.

Заключение

Проведенный в работе теоретический анализ сложившейся системы прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки (по данным 2010–2020-х гг.) позволил определить основные принципы формирования и интерпретации результатов прогнозов. Показано, что в период современной высокой численности лососевых запасов более рационально использование трендовых подходов для определения объемов прогнозируемого вылова, так как имеются все возможности для оперативной корректировки их потенциального промыслового изъятия в зависимости от фактических подходов лососей в текущую путину. Описаны методические аспекты подготовки прогнозов с учетом видовых особенностей тихоокеанских лососей. Обозначены конкретные единицы запасов видов, прогнозирование численности которых доступно с применением математического моделирования.

Отдельно рассмотрены возможные причины несоответствия (ошибок) прогнозов численности камчатских лососей за период 2018–2024 гг. Выявлен информационно-методический или экологический характер подобных ошибок. Дано описание климато-океанологических условий, сложившихся в рассматриваемый период. Определен экосистемный характер несоответствия показателей прогнозируемых и фактических подходов/вылова тихоокеанских лососей в 2020 и 2024 гг. Наиболее вероятной причиной повышенной экосистемной смертности является наличие плотностного фактора, вследствие значительного увеличения численности тихоокеанских лососей в современный период (2010–2020-е гг.). Предполагается, что тотальное снижение размерно-массовых показателей тихоокеанских лососей приводит к повышенной смертности рыб при изменениях океанологических условий, влияющих на их кормовую базу. Особое внимание следует уделить образованию обширных зон положительных или отрицательных значений аТПО в зонах нагула камчатских лососей на ранних этапах преднерестовых миграций в юго-западной части Берингова моря и в северо-западной части Тихого океана.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам КамчатНИРО, занимающимся прогнозированием численности тихоокеанских лососей Камчатского края: С.В. Шубкину, В.А. Дубынину, А.М. Бирюкову, канд. биол. наук В.А. Рябчун, канд. биол. наук Е.А. Кирилловой.

The authors are grateful to the colleagues in KamchatNIRO involved in forecasting of pacific salmon abundance in the Kamchatka Region: S.V. Shubkin, V.A. Dubynin, A.M. Biryukov, V.A. Ryabchun, E.A. Kirillova.

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 guidelines for care and use of animals were implemented.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.В. Бугаев — обобщение и анализ материалов, подготовка демонстрационных материалов, написание статьи. О.В. Зидунова — анализ материалов, подготовка методического раздела статьи. О.Б. Тепнин — предоставление и анализ климато-океанологических данных, подготовка демонстрационных материалов. Н.Б. Артюхина — предоставление данных промысловой статистики. Н.Ю. Шпигальская — анализ материалов.

A.V. Bugaev — data generalization and analysis, illustrating and writing the text; O.V. Zidunova — data analysis, writing the methodological section; O.B. Tepnin — analysis of climate and oceanographic data, illustrations; N.B. Artyukhina — fishery statistics data processing; N.Yu. Shpigalskaya — data analysis.

Список литературы

Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций / под ред. О.Ф. Гриценко. — М. : ВНИРО, 2002. — 190 с.

- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др.** Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. — М. : ВНИРО, 2018. — 312 с.
- Байтальюк А.А., Зуенко Ю.И.** Влияние изменения океанологических процессов на продуктивность водных биологических ресурсов в дальневосточных морях России с позиции рационального природопользования и обеспечения устойчивого развития рыбной промышленности // Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Россия в десятилетии ООН наук об океане» (г. Москва, 6–8 ноября 2024 г.). — М. : РТУ МИРЭА (в печати).
- Бирман И.Б.** Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей : моногр. — М. : Агропромиздат, 1985. — 208 с.
- Бугаев А.В.** Оценка влияния численности стад и глобальной температурной аномалии на среднюю массу тела тихоокеанских лососей в бассейне Северной Пацифики // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 3–33. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-3-33.
- Бугаев А.В.** Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2015. — 416 с.
- Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Шпигальская Н.Ю. и др.** Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае на рубеже 2010–2020-х гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщение 1 (горбуша, кета) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023а. — Вып. 68. — С. 5–41. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.5-41.
- Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В.** Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае на рубеже 2010–2020-х гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщение 2 (нерка, кижуч, чавыча) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023б. — Вып. 68. — С. 42–62. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.42-62.
- Бугаев А.В., Лепская Е.В., Коваль М.В. и др.** Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (сообщение 2): анализ оправдываемости прогнозов и возможных причин их несоответствия // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2020. — С. 141–170.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б.** Климат и тихоокеанские лососи : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2024. — 280 с.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Шпигальская Н.Ю., Кулик В.В.** Описание регрессионных моделей для прогнозирования динамики численности горбуши Камчатского края на основе климато-океанологических и популяционно-генетических данных // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 2. — С. 477–508. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-477-508. EDN: KJUSG.
- Бугаев А.В., Фельдман М.Г., Тепнин О.Б., Коваль М.В.** Аномалии температуры поверхности воды в западной части Северной Пацифики — потенциальный климатический предиктор прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки // Вопр. рыб.-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 46–62. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62.
- Дашко Н.А., Варламов С.М.** Оценка изменений характеристик центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона в течение 20-го столетия и их влияние на циркуляцию над Японским морем // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 3. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — С. 10–25.
- Доронин Ю.П.** Региональная океанология : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1986. — 304 с.
- Дубынин В.А.** Изменчивость биологических показателей и динамика численности нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) стада р. Озерной в современный период (1971–2020 гг.) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023. — Вып. 71. — С. 60–79. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79.
- Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Ильин О.И.** К методике прогнозирования численности поколений нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 219–225.
- Дьяков Ю.П., Бугаев А.В.** О промысловой эксплуатации биологических ресурсов в водах Камчатского края // Вестн. КамчатГТУ. — 2023. — № 63. — С. 66–77. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-66-77.
- Дьяков Ю.П., Бугаев А.В.** Современное состояние и динамика биоресурсов Камчатки // Вопр. географии Камчатки. — 2022. — Вып. 17. — С. 26–37.
- ЗикунOVA О.В., Дубынин В.А., Заварина Л.О. и др.** Тенденции изменения численности, прогноз, управление запасами нерки (*Oncorhynchus nerka*) и кеты (*Oncorhynchus keta*) в Камчатском крае // Вопр. рыб.-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 75–85. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85.

- Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В.** Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2013. — 303 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А.** Циклические изменения климата и рыбопродуктивности : моногр. — М. : ВНИРО, 2005. — 235 с.
- Справочные материалы по дрейтерному лову тихоокеанских лососей /** под ред. О.Ф. Гриценко. — М. : ВНИРО, 2010. — 196 с.
- Фельдман М.Г.** Использование метода Random Forest в целях прогнозирования подходов горбуши северо-востока Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2020. — Вып. 59. — С. 76–96. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.59.76-96.
- Фельдман М.Г., Бугаев А.В.** Современные принципы управления запасами горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Камчатского края (динамика численности, прогнозирование, регулирование промысла) // Вопр. рыб-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 86–95. DOI: 10.36038/0234-2774.2021-22-4-86-95.
- Фельдман М.Г., Бугаев А.В., Тепнин О.Б.** Результаты использования климато-океанологических предикторов для модели случайного леса (Random Forest) в целях прогнозирования динамики численности подходов горбуши Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022а. — Вып. 65. — С. 42–51. DOI:10.15853/2072-8212.2022.65.42-51.
- Фельдман М.Г., Бугаев А.В., Зикунова О.В. и др.** Обоснование правил регулирования лососевого промысла Камчатки с учетом концепции предосторожного подхода и обеспечения максимального устойчивого вылова // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022б. — Вып. 64. — С. 5–34. DOI:10.15853/2072-8212.2022.64.5-34.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А.** Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и внешних факторов среды // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 88–114. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Дубынин В.А.** Оценка величины, прогноз и управление запасами тихоокеанских лососей в Камчатском крае // Современное состояние и перспективы лососевого хозяйства на Дальнем Востоке России : мат-лы науч. конф. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2018. — С. 38–48.
- Шунтов В.П., Темных О.С.** Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — Т. 2. — 473 с.
- Akaike H.A.** New look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control. — 1974. — Vol. 19, № 6. — P. 716–723.
- Beamish R.J., Neville C.E., Cass A.J.** Production of Fraser River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1997. — Vol. 54, № 3. — P. 543–554. DOI: 10.1139/f96-310.
- Beverton R.J.H., Holt S.J.** On the dynamics of exploited fish populations. — L. : Chapman and Hall, 1957. — 533 p.
- Box G.E.P., Jenkins G.M.** Time Series Analysis: Forecasting and Control. — University of Minnesota : Holden-Day, 1970. — 553 p.
- Breiman L.** Random forests // Mach. Learn. — 2001. — Vol. 45, Iss. 1. — P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.
- Dekking F.M., Kraaikamp C., Lopenhaa H.P., Meester L.E.** A Modern Introduction to Probability and Statistics. Understanding Why and How. — L. : Springer, 2005. — 483 p.
- Haeseker S.L., Peterman R.M., Su Z.** Retrospective Evaluation of Preseason Forecasting Models for Sockeye and Chum Salmon // North American Journal of Fisheries Management. — 2008. — Vol. 28, Iss. 1. — P. 12–29. DOI: 10.1577/M06-287.1.
- Huang B., Liu C., Banzon V. et al.** Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1 // J. Climate. — 2021. — Vol. 34, Iss. 8. — P. 2923–2939. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0166.1.
- Hyndman R.J., Koehler A.B., Snyder R.D., Grose S.** A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods // Intern. Journ. Forecasting. — 2002. — Vol. 18(3). — P. 439–454. DOI: 10.1016/S0169-2070(01)00110-8.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al.** The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — Vol. 77, № 3. — P. 437–472. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TN YRP>2.0.CO;2.

Latif M. and Barnett T.P. Decadal climate variability over the North Pacific and North America: Dynamics and predictability // *J. Climate*. — 1996. — Vol. 9, Iss. 10. — P. 2407–2423. DOI: 10.1175/1520-0442(1996)009<2407:DCVOTN>2.0.CO;2.

Neter J., Wasserman W., Kutner M.H. Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs. 3rd ed. — Burr Ridge : Irwin, 1990. — 1181 p.

Peterman R.M. Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* — 1982. — Vol. 39, № 11. — P. 1444–1452. DOI: 10.1139/f82-195.

Ricker W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations : *Bull. Fish. Res. Bd Canada*. — 1975. — Vol. 191. — 382 p.

Ricker W.E. Stock and recruitment // *J. Fish. Res. Bd Canada*. — 1954. — Vol. 11(5). — P. 559–623. DOI: 10.1139/f54-039.

Schwarz G. Estimating the dimension of a model // *Annals of Statistics*. — 1978. — Vol. 6(2). — P. 461–464. DOI: 10.1214/aos/1176344136.

Sugiura N. Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections // *Communications in Statistics. Theory and Methods*. — 1978. — Vol. 7, Iss. 1. — P. 13–26. DOI: 10.1080/03610927808827599.

Surry A.M. and King J.R. A new method for calculating ALPI: the Aleutian low pressure index : *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* — 2015. — № 3135. — 31 p.

The ocean ecology of Pacific salmon and trout / ed. R.J. Beamish. — Bethesda, Maryland, 2018. — 1147 p.

References

Atlas rasprostraneniya v more razlichnykh stad tikhookeanskikh lososey v period vesenne-letnego nagula i prednerestovykh migratsiy (Atlas of the distribution in the sea of various herds of Pacific salmon during the spring-summer feeding and pre-spawning migrations), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2002.

Babayan, V.K., Bobyrev, A.E., Bulgakova, T.I., Vasiliev, D.A., Ilyin, O.I., Kovalev, Yu.A., Mikhailov, A.I., Mikheev, A.A., Petukhova, N.G., Safaraliev, I.A., Chetyrkin, A.A., and Sheremetyev, A.D., *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke zapasov prioritetykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* (Guidelines for assessing stocks of priority types of aquatic biological resources), Moscow: VNIRO, 2018.

Baitaluk, A.A. and Zuenko, Yu.I., The Impact of Changes in Oceanological Processes on the Productivity of Aquatic Biological Resources in the Far Eastern Seas of Russia from the Position of Rational Nature Management and Ensuring Sustainable Development of the Fishing Industry, in *Tez. dokl. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem «Rossiya v desyatiletii OON nauk ob okeane»* (Abstracts of the Report of the All-Russian Scientific and Practical Conf. with International Participation “Russia in the UN Decade of Ocean Sciences”), Moscow, November 6–8, 2024, Moscow: RTU MIREA (in press).

Birman, I.B., *Morskoi period zhizni i voprosy dinamiki stada tikhookeanskikh lososei* (The Marine Life History and the Issues of Dynamics of the Pacific Salmon Stock), Moscow: Agropromizdat, 1985.

Bugaev, A.V., Evaluation of contributions of stock abundance and global temperature anomaly to mean body weight of pacific salmon in the North Pacific basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 3–33. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-3-33

Bugaev, A.V., *Prednerestovye migratsii tikhookeanskikh lososei v ekonomicheskoi zone Rossii* (Pre-Spawn Migrations of Pacific Salmon in the Economic Zone of Russia), Petropavlovsk-Kamchat-sky: KamchatNIRO, 2015.

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Shpigalskaya, N.Yu., Artyukhina, N.B., Shubkin, S.V., Kovalenko, M.N., and Lozovoy, A.P., Analytical review of the results of salmon fisheries in Kamchatka territory in 2018–2022 (forecasts, fisheries, stocks). Communication 1 (pink salmon, chum salmon), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 68, pp. 5–41. doi 10.15853/2072-8212.2023.68.5-41

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Artyukhina, N.B., and Shubkin, S.V., Analytical review of the results of salmon fisheries in Kamchatka territory in 2018–2022 (forecasts, fisheries, stocks). Communication 2 (sockeye salmon, coho salmon, chinook salmon), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 68, pp. 42–62. doi 10.15853/2072-8212.2023.68.42-62

Bugayev, A.V., Lepskaya, Ye.V., Koval, M.V., Tepnin, O.B., Zikunova O.V., and Fel'dman, M.G., Review of the results of the salmon route-2020 in the Kamchatka Territory (message 2): analysis

of the reliability of forecasts and possible reasons for their discrepancy, 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. 141–170.

Bugaev, A.V. and Tepnin, O.B., *Klimat i tikhookeanskiye lososi* (Climate and Pacific salmon), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2024.

Bugaev, A.V., Tepnin, O.B., Shpigalskaya, N.Yu., and Kulik, V.V., Description of regression models for predicting the dynamics of pink salmon returns in the Kamchatka region based on climate-oceanological and population-genetic data, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 2, pp. 477–508. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-477-508. EDN: KJUSG

Bugaev, A.V., Fel'dman, M.G., Tepnin, O.B., and Koval, M.V., On the use of the data of the anomaly of the water surface temperature in the western part of the Northern Pacific as a potential climatic predictor for predicting the number of pacific salmon of Kamchatka, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 46–62. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62

Dashko, N.A. and Varlamov, S.M., Assessment of changes in the characteristics of the centers of action of the atmosphere of the Asian-Pacific region during the 20th century and their impact on the circulation over the Sea of Japan, in *Tematicheskii vypusk DVNIGMI N 3* (Thematic Issue of the Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute no. 3), Vladivostok: Dal'nauka, 2000, pp. 10–25.

Doronin, Yu.P., *Regional'naya okeanologiya* (Regional oceanology), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986.

Dubynin, V.A., Variability of biological indices and abundance dynamics of the Ozernaya River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) stock in the modern period (1971–2020), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 71, pp. 60–79. doi 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79

Dubynin, V.A., Shevlyakov, E.A., and Ilyin, O.E., On the forecast method of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* generation abundance for the Ozernaya River stock, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 149, pp. 219–225.

Dyakov, Yu.P. and Bugaev, A.V., On commercial exploitation of biological resources in waters of Kamchatka Territory, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2023, no. 63, pp. 66–77. doi 10.17217/2079-0333-2023-63-66-77

Dyakov, Yu.P. and Bugaev, A.V., Current state and dynamics of bioresources of Kamchatka, *Vopr. geografii Kamchatki*, 2022, no. 17, pp. 26–37.

Zikunova, O.V., Dubynin, V.A., Zavarina, L.O., Shubkin, S.V., and Bugaev A.V., Trends in abundance, prediction, fishery management sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) and chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Kamchatka territory, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 75–85. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85

Karpenko, V.I., Andrievskaya, L.D., and Koval', M.V., *Pitaniye i osobennosti rosta tikhookeanskikh lososei v morskikh vodakh* (Feeding Habits and Pattern of Growth of Pacific Salmon in Marine Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2013.

Klyashtorin, L.B. and Lyubushin, A.A., *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* (Cyclic Changes in Climate and Fish Capacity), Moscow: VNIRO, 2005.

Spravochnye materialy po drifternomu lovu tikhookeanskikh lososei (Reference Materials on Driftnet Fishing of Pacific salmon), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2010.

Feldman, M.G., Using the decisions of the Random Forest algorithm for the purposes of forecasting pink salmon runs on north-eastern Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2020, vol. 59, pp. 76–96. doi 10.15853/2072-8212.2020.59.76-96

Feldman, M.G. and Bugaev, A.V., Modern principles of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) stocks management in the Kamchatka region (population dynamics, forecasting, fishing regulation), *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 86–95. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-86-95

Feldman, M.G., Bugaev, A.V., and Tepnin, O.B., Results of using climate-oceanological predictors in a Random Forest model for the forecast of stock abundance dynamics of pink salmon runs in Western Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 65, pp. 42–51. doi 10.15853/2072-8212.2022.65.42-51

Feldman, M.G., Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Shubkin, S.V., and Dubynin, V.A., Substantiation of the harvest control rules for salmon fishery in Kamchatka in view of the concept of precautionary approach and providing the maximum sustainable yield, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 64, pp. 5–34. doi 10.15853/2072-8212.2022.64.5-34.

- Feldman, M.G. and Shevlyakov, E.A.**, Survival of Kamchatka pink salmon as result of combined influence of density regulation and environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 88–114. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114
- Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Dubynin, V.A.**, Estimation of the size, forecast and management of Pacific salmon stocks in Kamchatka Krai, in *Mater. nauch. konf. "Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy lososevogo khozyaystva na Dal'nem Vostoke Rossii"* (Proc. Sci. Conf. "Current state and prospects of salmon farming in the Russian Far East"), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2018, pp. 38–48.
- 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.
- Akaike, H.A.**, New look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control.*, 1974, vol. 19, no. 6, pp. 716–723.
- Beamish, R.J., Neville, C.E., and Cass, A.J.**, Production of Fraser River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1997, vol. 54, no. 3, pp. 543–554. doi 10.1139/f96-310
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J.**, *On the dynamics of exploited fish populations*, London: Chapman and Hall, 1957.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M.**, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, University of Minnesota: Holden-Day, 1970.
- Breiman, L.**, Random forests, *Mach. Learn.*, 2001, vol. 45, no. 1, pp. 5–32. doi 10.1023/A:1010933404324
- Dekking, F.M., Kraaikamp, C., Lopuhaä, H.P., and Meester, L.E.**, *A Modern Introduction to Probability and Statistics. Understanding Why and How*, London: Springer, 2005.
- Haeseker, S.L., Peterman, R.M., and Su, Z.**, Retrospective Evaluation of Preseason Forecasting Models for Sockeye and Chum Salmon, *North American Journal of Fisheries Management*, 2008, vol. 28, no. 1, pp. 12–29. doi 10.1577/M06-287.1
- Huang, B., Liu, C., and Banzon, V.**, Freeman, E., Graham, G., Hankins, B., Smith, T., and Zhang, H.-M., Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1, *J. Climate*, 2021, vol. 34, no. 8, pp. 2923–2939. doi 10.1175/JCLI-D-20-0166.1
- Hyndman, R.J., Koehler, A.B., Snyder, R.D., and Grose, S.**, A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods, *Intern. Journ. Forecasting*, 2002, vol. 18, no. 3, pp. 439–454. doi 10.1016/S0169-2070(01)00110-8
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, B., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D.**, The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, vol. 77, no. 3, pp. 437–472. doi 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2
- Latif, M. and Barnett, T.P.**, Decadal climate variability over the North Pacific and North America: Dynamics and predictability, *J. Climate*, 1996, vol. 9, no. 10, pp. 2407–2423. doi 10.1175/1520-0442(1996)009<2407:DCVOTN>2.0.CO;2
- Neter, J., Wasserman, W., and Kutner, M.H.**, *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs*, 3rd ed., Burr Ridge: Irwin, 1990.
- Peterman, R.M.**, Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, vol. 39, no. 11, pp. 1444–1452. doi 10.1139/f82-195
- Ricker, W.E.**, Computation and interpretation of biological statistics of fish populations, *Bull. Fish. Res. Bd Canada*, 1975, vol. 191.
- Ricker, W.E.**, Stock and recruitment, *J. Fish. Res. Bd Canada*, 1954, vol. 11, no. 5, pp. 559–623. doi 10.1139/f54-039
- Schwarz, G.**, Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics*, 1978, vol. 6, no. 2, pp. 461–464. doi 10.1214/aos/1176344136
- Sugiura, N.**, Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections, *Communications in Statistics. Theory and Methods*, 1978, vol. 7, no. 1, pp. 13–26. doi 10.1080/03610927808827599
- Surry, A.M. and King, J.R.**, A new method for calculating ALPI: the Aleutian Low pressure index, *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2015, no. 3135.
- The Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout*, Beamish R.J., ed., Bethesda, Md.: Am. Fish. Soc., 2018.
- <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list>. Cited September, 2024.

https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii. Cited September, 2024.

<https://psl.noaa.gov>. Cited September, 2024.

<http://nsidc.org>. Cited September, 2024.

<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/wiki>. Cited September, 2024.

<https://odv.awi.de>. Cited September, 2024.

Prikaz Ministerstva rybnogo khozyaystva SSSR ot 09 Sentyabrya 1980 g. № 408 «O razgranichenii Mirovogo okeana na promyslovyye rayony v novykh usloviyakh promysla» (Order of the USSR Ministry of Fisheries dated September 9, 1980 No. 408 “On the delimitation of the World Ocean into fishing areas under new fishing conditions”).

Поступила в редакцию 29.10.2024 г.

После доработки 15.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 29.10.2024; approved after reviewing 15.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

Научная статья

УДК 639.2.053.7

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1003-1017

EDN: WSMBSP



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ОБРАТНЫХ РАСЧИСЛЕНИЙ РОСТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТНОГО СОСТАВА УЛОВОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МОРСКИХ ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБ

А.О. Золотов*

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

Аннотация. На основании данных по размерному составу промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения в 1950–2024 гг. и результатов определения возраста на базе метода обратных расчислений роста рыб предложена методика формирования размерно-возрастных ключей для оценки возрастного состава уловов. Показано, что в тех случаях, когда объем имеющейся коллекции регистрирующих возраст структур ограничен, использование данного метода позволяет сформировать корректный размерно-возрастной ключ, достаточный для решения задачи оценки возрастного состава уловов по результатам массовых промеров и при этом позволяющий нивелировать влияние селективности орудий лова при сборе первичного материала. Метод может оказаться полезен при решении практических задач, связанных с расчетами возрастного состава уловов и последующей оценкой численности популяций морских рыб, а также объемов их допустимого изъятия.

Ключевые слова: размерный состав, возрастной состав, размерно-возрастной ключ, оценка возраста, отолиты, желтоперая камбала

Для цитирования: Золотов А.О. Использование метода обратных расчислений роста для определения возрастного состава уловов некоторых видов морских промысловых рыб // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 1003–1017. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1003-1017. EDN: WSMBSP.

Original article

Using the method of inverse growth calculations to determine the age composition in catches for certain species of marine commercial fish

Alexander O. Zolotov

Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia
Ph.D., leading researcher, Alk-90@yandex.ru, ORCID 0000-0002-7438-2991

Abstract. New method for constructing size-and-age keys is proposed and tested on the data on size composition of yellowfin sole in commercial catches in the Patience Bay in 1950–2024, with the age of fish determined using the inverse growth calculations techniques. The method makes it possible to get a correct size-and-age key sufficient for estimating the age

* Золотов Александр Олегович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
Alk-90@yandex.ru, ORCID 0000-0002-7438-2991.

© Золотов А.О., 2024

composition in catch on results of mass measurements when collection of age-recording samples is not available, and at the same time allows to neutralize an effect of fishing gear selectivity. The method was practically used in cases of pacific cod in the South Kuril fishing area and in the Japan Sea, yellowfin sole in Sakhalin waters, rock sole of genus *Lepidopsetta* in waters at the Kuril Islands and in the western Bering Sea, and pacific herring in the South Kuril area. The method may be useful for solving practical tasks of calculation the age composition in catches and subsequent assessments of stock and allowable catch volume for marine fish species.

Keywords: size composition, age composition, size-and-age key, age estimation, otolith, yellowfin sole

For citation: Zolotov A.O. Using the method of inverse growth calculations to determine the age composition of catches for certain species of marine commercial fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 1003–1017. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1003-1017. EDN: WSMbsp.

Введение

Исследованиям закономерностей роста рыб и формирования возрастного состава их промысловых популяций традиционно уделяется повышенное внимание. Адекватное оценивание ретроспективной динамики запасов, моделирование их состояния на прогнозный период, определение ориентиров управления промыслом и в конечном итоге выработка рекомендаций по объемам допустимого вылова для рыбной промышленности невозможны без знаний о возрасте и росте рыб. В большинстве современных структурированных когортных моделей так называемая «матрица уловов по возрастам» является базовой входной информацией, необходимой для расчетов численности и биомассы [Бабаян и др., 2018].

Основные методики расчета возрастного состава, используемые в отечественной практике, были разработаны к середине 1950-х гг. [Чугунова, 1959], когда в связи с бурным развитием рыбной промышленности методология ихтиологических исследований также активно развивалась. В целом использование этих методов не представляет особенных затруднений, за исключением, пожалуй, одного «узкого» момента. При сборе материала для возрастных исследований, особенно при его отборе из промысловых уловов, не всегда есть возможность получить достаточное количество возрастных препаратов (чешуи, отолигов, костей рыб) от самых крупных и самых мелких особей. Иногда, за недостатком времени в период наблюдений, для биологического анализа отбирается не репрезентативная выборка, а только особи отдельных размерных диапазонов. В итоге не всегда удается в полной мере охватить основные размерно-возрастные группы, представленные в уловах.

На практике среди отечественных ихтиологов одним из наиболее надежных и общепотребимых способов определения возрастного состава считается «метод размерно-возрастных ключей». В классическом руководстве Н.И. Чугуновой [1959] он именован как «способ взвешенного возрастного состава Морозова-Майоровой». В приведенном в данной монографии примере формирования размерно-возрастного ключа для туркменской воблы — вида, диапазон вариации длины тела которого в промысловых уловах составлял 12–31 см, а предельный возраст достигал 6 полных лет, объем выборки, достаточный для решения поставленной задачи, оценивался величиной 469 экз., или около 24 экз. на каждый сантиметр размерного ряда и почти 78 экз. на каждую возрастную группу, представленную в уловах.

Известно, что большинство морских промысловых рыб, составляющих основу вылова в дальневосточных морях Российской Федерации, относятся к средне- и долгоживущим видам, с предельной эмпирической продолжительностью жизни в диапазоне 20–50 лет. Например, максимальный возраст минтая *Gadus chalcogrammus* в промысловых уловах составляет около 23 лет [Буслов, 2005], большинства беринговоморских и охотоморских камбал — от 20 до 38 лет [Золотов, 2007], а для некоторых глубоководных видов, таких как угольная рыба *Anoplopoma fimbria* или морские окуни семейства Sebastidae, предельные оценки этой величины могут превышать сотню лет

[Munk, 2001]. Если еще учесть, что и характерные линейные размеры особей этих видов в промысловых уловах могут значительно варьировать, то становится понятным, что формирование надежного размерно-возрастного ключа для оценки возрастного состава с практической точки зрения может оказаться не самой простой задачей, поскольку для ее решения требуется обеспечить сбор значительного объема первичного материала.

В настоящей статье приводится один из возможных подходов к решению этой проблемы, позволяющий, в определенном смысле, нивелировать недостаток первичной информации для оценки возраста в отдельных размерных группах морских рыб. Идея применения такого способа возникла спонтанно и была обусловлена необходимостью оперативной подготовки базовой матрицы уловов по возрастам для оценки запасов желтоперой камбалы *Limanda aspera* сахалинских вод когортными методами в условиях ограниченного набора данных для определения возраста [Золотов и др., 2014].

Несмотря на то что результаты исследований по данному вопросу публикуются впервые, следует отметить, что к настоящему времени этот метод уже был применен для расчетов возрастного состава при оценке ресурсов нескольких группировок тихоокеанской трески *Gadus microcephalus* [Золотов и др., 2020; Золотов, 2024], дальневосточных камбал [Золотов, Дубинина, 2017; Золотов и др., 2023] и тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* [Золотов и др., 2022]. Таким образом, фактически эта методика уже используется на практике на постоянной основе.

Целью работы является ознакомление специалистов отраслевой рыбохозяйственной науки с результатами применения метода обратных расчислений для определения возрастного состава уловов как базового элемента для оценки запасов морских рыб.

Материалы и методы

Работа основана на результатах определения возраста и расчисления темпов роста особей желтоперой камбалы, которые раньше были использованы при оценке запасов желтоперой камбалы зал. Терпения методами когортного анализа [Золотов и др., 2014]. Возраст желтоперой камбалы определяли по отолитам, собранным специалистами отраслевых рыбохозяйственных институтов в научно-промысловых рейсах и на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях в 2010–2011, 2013–2014 гг. и в 2024 г. в зал. Терпения, основная часть камеральной обработки была выполнена автором при подготовке публикации по оценке состояния запасов желтоперой камбалы присахалинских вод [Золотов и др., 2014].

Отбор рыб для биологического анализа, в ходе которого производился сбор отолигов, осуществлялся из уловов неселективно. В статье использованы только те возрастные структуры, для которых удалось одновременно выполнить оценку возраста и расчислить приросты длины рыб за каждый прожитый год. Таким образом, для формирования размерно-возрастных ключей были использованы отолиги от 760 экз. рыб.

Ширину годовых приростов измеряли по обожженным поперечным сломам отолигов, просматривая их в отраженном свете [Chilton, Beamish, 1982]. Совокупность опаковой и гиалиновой зон принимали за годовой прирост. Темп роста (длину рыбы в соответствующем возрасте) определяли методом обратных расчислений Э. Леа [1912, цит. по: Чугунова, 1959].

$$L_n = L \cdot \frac{S_n}{S},$$

где L_n — длина рыбы в возрасте n , см; L — полная длина тела рыбы, см; S — ширина сектора отолига от центра до края, см; S_n — ширина сектора отолига в возрасте n , см.

При определении возраста рыб и при выполнении исследований, связанных с расчислением роста, необходимо иметь представление о времени закладки годовых колец на регистрирующих структурах, поскольку от этого может зависеть последующая временная привязка оценок длины рыб в течение жизни. Хотя факторы, влияющие на образование концентрических зон на отолигах костистых рыб, к настоящему моменту

достоверно не выявлены и, возможно, видоспецифичны, известно, что у большого числа видов рыб умеренных широт в северном полушарии закладка нового годового прироста (опаковой зоны) приходится на апрель-июнь [Beckman, Wilson, 1995].

Для некоторых представителей семейства камбаловых, обитающих в Северной Пацифике, в том числе для желтоперой камбалы, этот вопрос ранее обсуждался [Kitano, 1969; Золотов, 2006а, б; Золотов, Дубинина, 2012]. При обобщении приведенных в данных источниках результатов в рамках настоящего исследования принято допущение, что формирование гиалиновой зоны на отолитах желтоперой камбалы в основном происходит в конце гидрологической зимы, в апреле, и рассчитанные приросты описывают изменения длины особей желтоперой камбалы по состоянию на 1 мая каждого года.

Формирование размерно-возрастных ключей для оценки возрастного состава желтоперой камбалы зал. Терпения осуществлялось двумя способами: на основе прямой оценки возраста и по результатам обратных расчетов длины тела ее особей. Предельная длина желтоперой камбалы в уловах составила 50 см, предельный возраст — 33 года (33+). Возрастные ключи, используемые в работе для анализа, составлены с интервалом 2 см по длине и ограничены возрастом 25 полных лет (табл. 1, 2).

Для того чтобы продемонстрировать, насколько критичной может быть разница в определении возрастного состава уловов при использовании различных размерно-возрастных ключей для конечных оценок запасов, были выполнены модельные расчеты численности и биомассы желтоперой камбалы зал. Терпения методом виртуально-популяционного анализа (ВПА) с использованием пакета «VPA version 3.1» [Darby and Flatman, 1994]. Входные параметры для моделирования, включая информацию по многолетнему размерному составу уловов желтоперой камбалы зал. Терпения, данные по массе тела, созреванию, естественной смертности, а также начальные параметры для настройки модели были аналогичны подготовленным для работы А.О. Золотова с соавторами [2014], с небольшими дополнениями.

Статистическую обработку и проверку гипотез проводили с использованием общепринятых в биологических исследованиях методик [Лакин, 1980].

Результаты и их обсуждение

Сформированные по результатам определения возраста желтоперой камбалы и ее годовых приростов размерно-возрастные ключи представлены в табл. 1 и 2. Первое, на что следует обратить внимание, — это то, что при одинаковом исходном объеме коллекции регистрирующих структур ($n = 760$ парных экз. отолитов) число наблюдений (оценок возраста и расчетов длины), послуживших основой для составления ключей, различается довольно значительно.

Если для ключа, составленного на базе прямого определения возраста, суммарное число наблюдений в размерно-возрастных группах было равно начальному объему коллекции отолитов ($n = 760$ экз.), что вполне объяснимо, то для табл. 2, составленной по результатам расчетов темпа роста рыб, их количество оказалось существенно выше и достигало $n = 7266$ экз. Связано это с тем, что при помощи обратных расчетов от одной особи желтоперой камбалы получали не точечную оценку возраста при ее поимке, а набор значений длины ее тела во все предшествующие годы ее жизни. Таким образом, использование предлагаемой методики позволяет существенно увеличить базовый объем выборки для формирования размерно-возрастных ключей. В нашем примере для желтоперой камбалы зал. Терпения это отношение числа наблюдений от одной и той же коллекции регистрирующих возраст структур может быть оценено величиной $7266/760 \approx 9,5$.

Вероятно, такое соотношение видоспецифично и может зависеть от продолжительности жизни особей конкретного вида рыб и их характерных размеров в уловах, но сам факт того, что эффективность использования первичного материала, собранного в полевых условиях, может быть увеличена почти на порядок, весьма существенен.

Вторым значимым аспектом является то, что использование метода обратных расчислений для формирования ключей позволяет существенно расширить охват мелкоразмерных и младшевозрастных групп данными наблюдений. Для наглядности в табл. 2 те позиции, для которых в размерно-возрастном ключе, составленном на основе прямых оценок возраста (табл. 1), отсутствовала информация, выделены цветовым маркером. Как можно видеть, использование результатов обратных расчислений длины тела желтоперой камбалы позволяет получить информацию по размерным группам до 22 см и по возрастам от 1 до 3 лет, а также расширить охваченный наблюдениями диапазон для особей возрастом старше 15 лет.

Если в первом случае (табл. 1) представлена информация по 118 размерно-возрастным группам, то при использовании метода обратных расчислений их количество увеличивается до 198, или на 68 %. Наиболее значимым является то, что во втором случае появляется информация, позволяющая объективно оценивать численность ближайшего пополнения желтоперой камбалы зал. Терпения, представленного в уловах рыбами длиной до 25 см и возрастом от 2 до 5 лет.

Таблица 1

Размерно-возрастной ключ для расчетов возрастного состава уловов желтоперой камбалы зал. Терпения, составленный по результатам прямого определения возраста рыб, %

Table 1
Size-and-age key for calculating the age composition in catches of yellowfin sole in the Patience Bay, based on results of direct determination of the age, %

Длина, см	Возраст, год																		N, экз.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
13–14	–	–	–	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Сумма 100
15–16	–	–	–	40,0	60,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
17–18	–	–	–	18,8	43,7	25,0	12,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
19–20	–	–	–	3,1	43,8	40,6	9,4	3,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
21–22	–	–	–	–	10,4	52,2	29,9	6,0	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
23–24	–	–	–	–	6,9	28,4	42,4	17,2	3,4	1,7	–	–	–	–	–	–	–	–	100
25–26	–	–	–	–	0,9	9,6	41,2	28,9	12,3	5,3	0,9	0,9	–	–	–	–	–	–	100
27–28	–	–	–	–	–	2,9	13,5	24,0	21,2	26,0	6,7	3,8	1,9	–	–	–	–	–	100
29–30	–	–	–	–	–	1,1	10,2	24,0	22,7	15,9	5,7	10,2	10,2	–	–	–	–	–	100
31–32	–	–	–	–	–	–	1,7	1,7	18,6	23,6	13,6	15,3	10,2	5,1	1,7	6,8	–	–	100
33–34	–	–	–	–	–	–	–	–	4,2	22,9	20,8	22,9	18,8	–	8,3	–	2,1	–	100
35–36	–	–	–	–	–	–	2,9	–	2,9	5,9	5,9	20,6	20,7	11,8	14,7	5,9	2,9	–	100
37–38	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,3	15,8	5,3	20,8	15,8	15,8	5,3	–	100
39–40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15,8	5,3	15,8	15,8	15,8	5,3	–	100
41–42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5,9	11,8	17,4	11,8	11,8	–	100
43–44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,7	6,7	6,7	6,7	–	100

Таблица 2
Размерно-возрастной ключ для расчетов возрастного состава уловов желтоперой камбалы зал. Терпения, составленный по результатам обратных расчислений годовых приростов длины тела, %

Table 2
Size-and-age key for calculating the age composition in catches of yellowfin sole in the Patience Bay, based on results of inverse calculations for annual body length increments, %

Длина, см	Возраст, год																									N, экз.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		Сумма
0-2	88,2	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
3-4	92,2	7,6	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
5-6	77,3	18,4	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
7-8	15,3	71,7	12,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
9-10	2,9	79,4	16,6	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
11-12	-	45,7	50,3	2,9	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
13-14	-	18,8	59,4	20,6	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
15-16	-	4,2	41,5	43,9	9,3	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
17-18	-	0,2	22,6	47,7	23,1	5,2	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
19-20	-	-	9,2	34,4	38,5	14,2	3,1	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
21-22	-	-	1,1	17,2	35,0	32,7	10,8	2,7	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
23-24	-	-	-	6,3	21,8	31,9	27,9	9,4	2,0	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
25-26	-	-	-	1,4	10,2	25,3	26,8	21,7	9,5	3,6	1,2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
27-28	-	-	-	0,4	4,6	13,1	24,9	19,4	17,9	11,9	5,2	1,4	1,0	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
29-30	-	-	-	-	0,7	4,8	15,4	28,3	19,2	11,8	7,7	7,2	3,6	0,7	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
31-32	-	-	-	-	-	2,1	5,6	13,6	20,9	21,4	14,2	9,7	4,7	2,4	1,8	1,5	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	-	100
33-34	-	-	-	-	-	-	2,5	6,3	13,1	18,6	20,0	14,3	10,1	6,3	4,2	2,1	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
35-36	-	-	-	-	-	-	0,9	3,3	9,5	11,8	12,8	14,9	11,8	9,0	6,2	3,8	2,4	2,8	2,8	2,4	1,9	1,4	1,4	0,9	-	-	100
37-38	-	-	-	-	-	-	-	1,2	3,1	9,3	11,2	14,4	13,7	11,2	9,3	6,8	6,2	3,1	1,9	1,9	1,2	1,2	1,2	1,2	1,9	100	
39-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	8,8	11,7	10,9	16,2	12,4	8,8	4,4	6,6	5,8	3,6	3,6	2,9	0,7	0,7	-	-	100
41-42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9	2,8	8,3	10,1	11,8	11,0	10,1	7,3	8,3	8,3	6,4	5,5	4,6	2,8	1,8	100	
43-44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2	2,5	2,2	6,7	6,7	15,2	11,1	11,1	8,9	6,7	11,1	8,9	6,7	100	
45-46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,0	50,0	2	

Третье, на что следует обратить внимание, — это то, что при использовании методики на основе обратных расчислений заметно расширяется диапазон вариации длины тела для основных возрастных групп желтоперой камбалы, массово представленных в уловах (4–12-годовики).

Поясним на примере. Как можно видеть, распределение парных оценок «длина–возраст» в вертикальных колонках размерно-возрастных ключей (табл. 1, 2), по существу, демонстрирует размерный состав каждого возраста. На рис. 1 показано распределение по длине для наиболее массовых возрастных групп, составляющих основу промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения (от 6- до 10-годовиков). Во всех случаях для ключа, составленного на основе метода обратных расчислений, большими оказались и диапазон вариации длины тела 6–10-годовиков, и оценки их средней длины. При этом различия в средних размерах были достоверными на высоком уровне значимости ($t_{st} > 1,96$, $p = 0,05$).

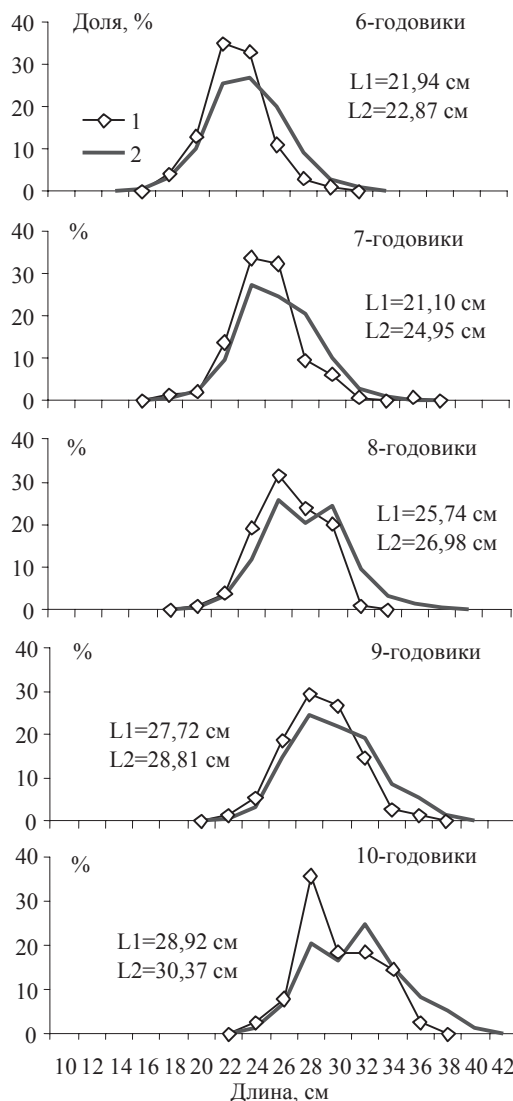


Рис. 1. Размерный состав желтоперой камбалы по возрастным группам, определенный при формировании размерно-возрастных ключей (табл. 1, 2): 1 — по результатам прямых определений возраста; 2 — с использованием метода обратных расчислений длины тела рыб

Fig. 1. Size composition of yellowfin sole in Tables 1, 2, by age groups: 1 — on results of direct determination of age; 2 — on results of inverse calculations of body length

Если попытаться сопоставить форму распределения суммарной доли наблюдаемых значений парных оценок «длина–возраст» по возрастным группам для обоих ключей (рис. 2), то их различие окажется очевидным. При использовании для его формирования метода обратных расчислений распределение доли наблюдаемых значений, с небольшими оговорками, можно сопоставить с кривой экспоненциальной убыли численности рыб с течением времени [Рикер, 1979]. Тогда как при формировании размерно-возрастного ключа на базе прямых оценок возраста желтоперой камбалы общая форма распределения количества оценок по возрастным группам скорее обусловлена селективностью орудий ее лова, т.е. снюрреводов, которые преимущественно изымают особей длиной от 20 см и более.

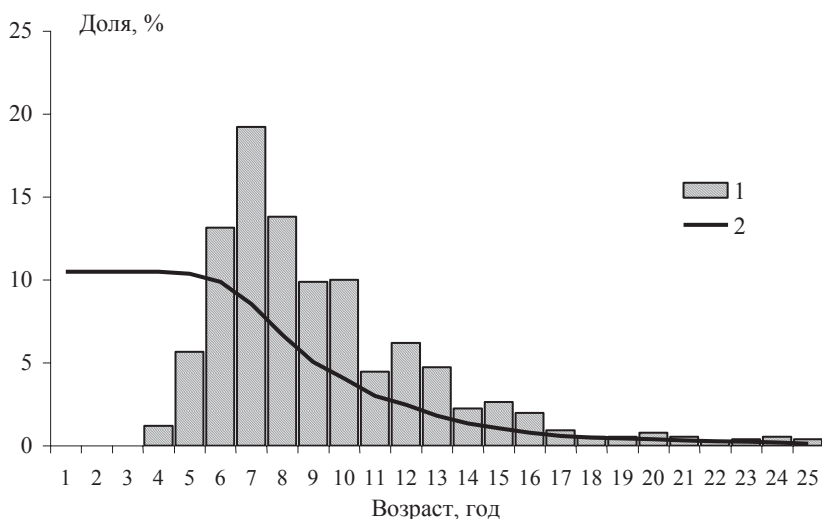


Рис. 2. Распределение суммарной доли числа наблюдений (%) по возрастным группам, использованным для формирования размерно-возрастных ключей желтоперой камбалы зал. Терпения: 1 — по данным прямых оценок возраста рыб ($n = 760$ экз.); 2 — по данным метода обратных расчислений ($n = 7266$ экз.)

Fig. 2. Age composition of yellowfin sole in Tables 1, 2 (%): 1 — on results of direct determination of age ($n = 760$); 2 — on results of inverse calculations of body length ($n = 7266$)

Учитывая, что сами размерно-возрастные ключи рассматриваются лишь как инструмент для расчета возрастного состава уловов, важно выяснить, является ли наличие выявленных выше расхождений в структуре, представленных выше в двух вспомогательных таблицах, значимым при решении практических задач. Для эксперимента из имеющегося набора размерных составов промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения были выбраны наиболее характерные: с высокой долей крупноразмерных рыб (2024 г.), с повышенным вкладом мелкоразмерных особей (2016 г.) и подходящий для ситуации, близкой к среднемуголетней. Результаты представлены на рис. 3.

Как можно видеть, во всех случаях при одинаковых входных размерных данных на выходе доля старшевозрастных особей, оцененная с использованием ключа, составленного по результатам прямого определения возраста рыб, выше, а доля возрастных групп, представляющих пополнение промыслового запаса (4–6-годовики) — ниже. Возрастные группы, для которых различия в оценках оказались достоверными, на выбранном уровне значимости выделены цветовым маркером ($t_{st} > 1,96$, $p = 0,05$).

Указанное перераспределение отразилось и в более высоких оценках среднего возраста. Так, при обилии мелкоразмерных рыб в уловах они составили 5,7 и 6,5 года, при доминировании крупных особей — 9,8 и 10,6 года, а для размерного состава, близкого к среднемуголетнему, — 8,5 и 9,3 года (рис. 3). В более общем примере применение размерно-возрастного ключа, основанного на прямых определениях возраста желтоперой камбалы, приводит к систематическому завышению оценок среднего возраста рыб в уловах (рис. 4).

Можно предположить, что такой полученный результат, с одной стороны, обусловлен малым числом младшевозрастных мелкоразмерных рыб, которые из-за селективности снюрреводов в размерно-возрастном ключе, основанном на прямых оценках рыб в уловах, представлены в ограниченном количестве. С другой стороны, для этого ключа «вес» отдельной терминальной оценки в старших возрастах существенно выше, чем для такового, составленного на основе методики обратных расчислений.

Так, например, для наших двух выборок вклад одной оценки возраста будет оцениваться как $1/760 \approx 0,132\%$ в первом случае и $1/7266 \approx 0,014\%$ — во втором. При этом при использовании расчисленных длин за оценкой размеров тела в терминальном

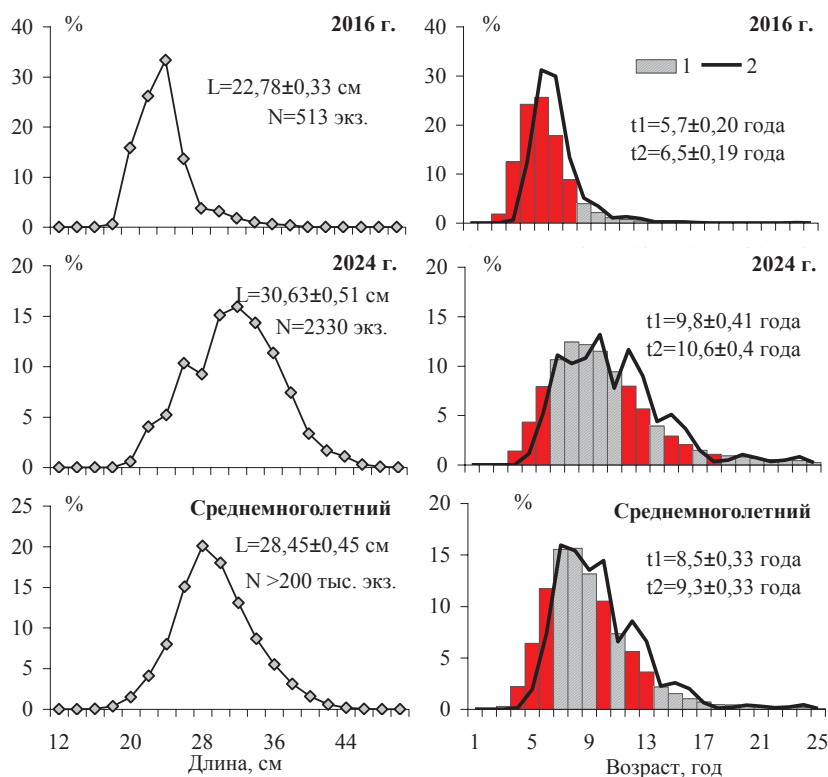


Рис. 3. Оценка возрастного состава желтоперой камбалы по данным о размерном составе ее уловов: с использованием размерно-возрастного ключа, составленного по методу обратных расчислений (1) и на основе прямых оценок возраста (2). Указаны средняя длина и возраст рыб в уловах. Цветом выделены возрастные группы, для которых выявлены достоверные различия в оценках долей

Fig. 3. Age composition of yellowfin sole determined on the data of size composition: 1 — age determined from the size-and-age key constructed using the method of inverse calculations; 2 — age determined from the size-and-age key constructed using direct age estimates. Mean length and age in catches are indicated. The age groups with significant differences in their portion are highlighted by color

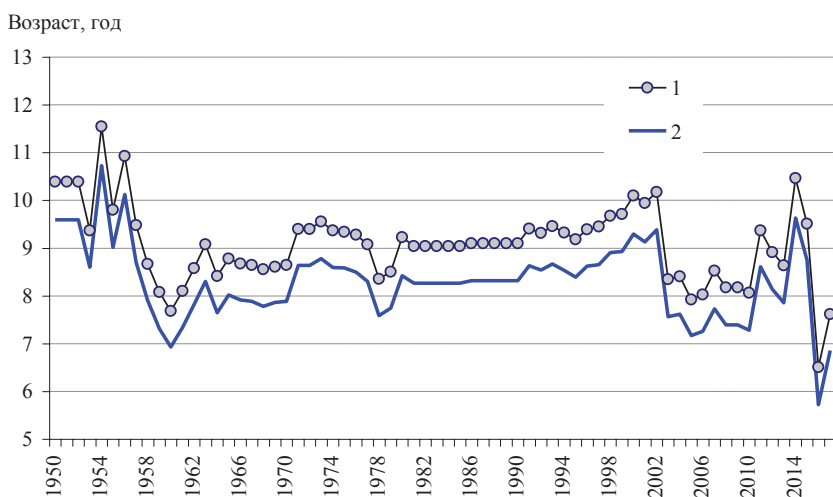


Рис. 4. Многолетняя динамика среднего возраста желтоперой камбалы, оцененная с помощью двух размерно-возрастных ключей: 1 — по данным метода обратных расчислений; 2 — по данным прямых оценок возраста

Fig. 4. Long-term dynamics of mean age for yellowfin sole: 1 — age determined from the size-and-age key constructed using the method of inverse calculations; 2 — direct age estimates

возрасте будет следовать целый ряд аналогичных значений в предыдущих возрастах, тогда как при использовании вспомогательных таблиц, составленных на основе прямой оценки возраста, такая «линейка» отсутствует.

Можно предположить, что в предельном случае, по мере накопления достаточно большого числа прямых определений возраста, оценки возрастного состава в его правой (старшевозрастной) части (рис. 3) при использовании двух ключей будут сближаться и различия постепенно нивелируются. Однако в левой части из-за влияния селективности орудий лова расхождения, видимо, труднопреодолимы.

Анализ возрастного состава уловов и его изменений в многолетнем аспекте сам по себе имеет большое значение в исследованиях, связанных с динамикой популяций промысловых рыб. Однако в рамках настоящей работы хотелось также оценить, насколько выявленные выше различия при формировании размерно-возрастных ключей могут оказаться критичными при расчетах численности и биомассы запасов морских рыб, а также при прогнозировании их состояния с некоторой заблаговременностью.

Для этого было выполнено моделирование. На основе имеющегося исторического ряда наблюдений за размерным составом промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения [Золотов и др., 2014], с использованием двух размерно-возрастных ключей, представленных выше, были рассчитаны две матрицы уловов по возрастам, которые впоследствии использовались в качестве входной информации для когортной ретроспективной оценки промысловой биомассы (рис. 5) и численности пополнения в возрасте 3 года (рис. 6).

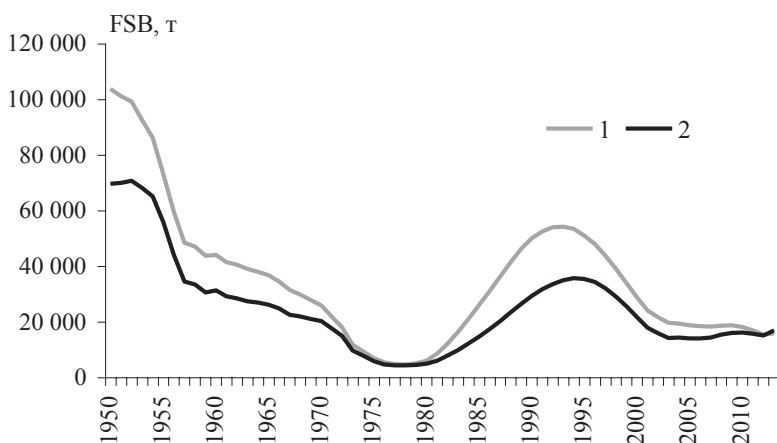


Рис. 5. Многолетняя динамика промысловой биомассы (FSB, т) желтоперой камбалы зал. Терпения по данным модельных расчетов: 1 — при формировании матрицы уловов по возрастам с использованием размерно-возрастного ключа, выполненного на базе прямых оценок возраста, 2 — то же с использованием ключа на основе метода обратных расчислений роста

Fig. 5. Long-term dynamics of the fishery stock biomass (FSB, t) for yellowfin sole on results of modeling: 1 — using the size-and-age key constructed with direct age estimates, 2 — using the size-and-age key constructed with the method of inverse calculations

Как можно видеть, при всех прочих идентичных внешних входных параметрах модели, за исключением матриц уловов по возрастам, различия в ретроспективных оценках оказались довольно значительными. Несмотря на то что в качественном отношении результаты расчетов сходным образом характеризуют ретроспективную динамику промысловой биомассы с периодами высокого уровня запасов в 1950–1965 и в середине 1990-х гг. и минимальными значениями в 1970-х гг., количественные расхождения весьма существенны. Использование при расчетах матрицы уловов размерно-возрастного ключа, основанного на прямых определениях возраста рыб, привело к значительному завышению ретроспективных оценок промысловой биомассы. Это превышение особенно выражено в периоды высокого уровня запасов, и

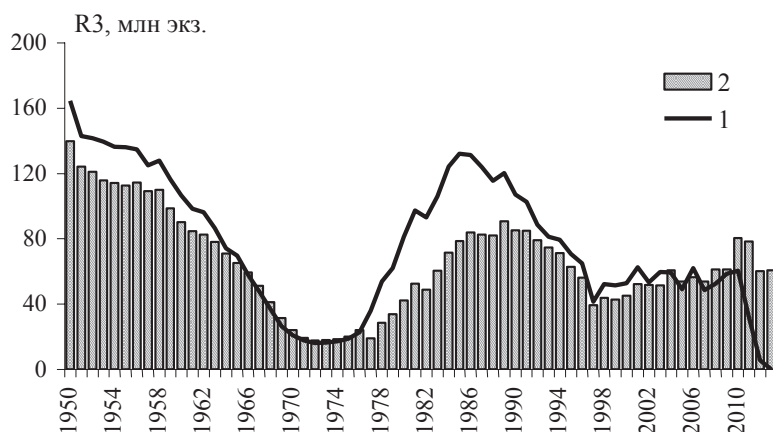


Рис. 6. Многолетняя динамика численности пополнения желтоперой камбалы зал. Терпения в возрасте 3 года (R_3 , млн экз.) по данным модельных расчетов: 1 — при формировании матрицы уловов по возрастам с использованием размерно-возрастного ключа, выполненного на основе прямых оценок возраста, 2 — то же с использованием ключа на базе метода обратных расчислений роста рыб

Fig. 6. Long-term dynamics of the number of yellowfin sole recruits at the age of 3 years (R_3 , 10^6 ind.), by model calculations: 1 — using the size-and-age key constructed with direct age estimates, 2 — using the size-and-age key constructed with the method of inverse calculations

в среднем на всем анализируемом ряду наблюдений эта величина оценивается на уровне 40,8 %.

Сходный эффект проявлялся и при анализе результатов расчетов численности пополнения R . Использование ключа на основе прямого определения возраста приводит к завышению оценок пополнения, хорошо проявляющемуся в периоды повышенного уровня запаса.

Объяснение данного феномена довольно простое. Отмеченный ранее повышенный вклад старшевозрастных особей в размерно-возрастном ключе, сформированном по результатам прямого определения возраста (табл. 1, 2, см. рис. 2), при пересчете размерного состава отражается в повышенной доле таких рыб в возрастном составе уловов (рис. 3), которая, в свою очередь, при формировании матрицы уловов трансформируется в более высокую расчетную величину особей желтоперой камбалы данных возрастов в единицах численности.

В итоге при реализации ретроспективного когортного моделирования, с учетом экспоненциального выражения смертности, большие стартовые значения численности вылова в старших возрастах приводят к более высоким оценкам поколений во всех младших возрастах, вплоть до рекрутов R_3 . Конечным результатом являются более высокие расчетные величины промысловой биомассы и пополнения.

Учитывая то обстоятельство, что для большинства когортных моделей [Бабаян и др., 2018] результаты ретроспективных расчетов являются основой для определения целевых и граничных ориентиров управления промыслом, а также прогноза состояния запаса и оценки допустимых объемов изъятия, можно предполагать, что вопрос качества исходной информации имеет особое значение. Таким образом, использование предлагаемого в настоящей работе метода составления ключей может способствовать совершенствованию методики оценки запасов морских рыб.

Резюмируя, подчеркнем, что рассматриваемый в настоящей работе способ формирования размерно-возрастных ключей не предлагается в качестве альтернативы традиционному методу, основанному на базе прямых оценок возраста. Однако в тех случаях, когда по тем или иным причинам объем имеющейся коллекции регистрирующих возраст структур ограничен, использование метода обратных расчислений роста рыб позволяет сформировать корректный размерно-возрастной ключ, достаточный

для решения задачи оценки возрастного состава уловов и при этом позволяющий нивелировать влияние селективности орудий лова при сборе первичного материала.

Как уже было отмечено выше, на практике данная методика уже была использована при решении задач оценки численности тихоокеанской трески южных Курильских островов и Японского моря [Золотов и др., 2020; Золотов, 2024], желтоперой камбалы присахалинских вод [Золотов и др., 2014], двухлинейных камбал рода *Lepidopsetta* у Курильских островов и в западной части Берингова моря [Золотов, Дубинина, 2013, 2017; Золотов и др., 2023] и тихоокеанской сельди южных Курильских островов [Золотов и др., 2022].

Из видимых недостатков метода можно отметить его значительно большую трудоемкость при камеральной обработке. Кроме того, результаты обратных расчислений имеют жесткую временную привязку, связанную с периодом закладки годового кольца на регистрирующих возраст структурах, что необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов. И наконец, в приведенном примере для исследований использовались отолиды желтоперой камбалы, форма которых проста, а годовые кольца явно выражены и практически не имеют дополнительных меток.

Следует, однако, учитывать, что формирование отолитов видоспецифично. В некоторых случаях, как для черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*, они могут иметь слишком сложную форму, а для ряда долгоживущих рыб годовые кольца могут быть расположены слишком близко и иметь значительное количество вторичных марок, что может затруднить использование предлагаемой методики или сделать ее вовсе неприменимой [Munk, 2001].

Заключение

На основании данных многолетних наблюдений за размерным составом промысловых уловов желтоперой камбалы зал. Терпения и результатов определения возраста на основе метода обратных расчислений роста рыб предложена методика формирования размерно-возрастных ключей для оценки возрастного состава уловов.

Показано, что в тех случаях, когда объем имеющейся коллекции регистрирующих возраст структур ограничен, использование данного метода позволяет сформировать размерно-возрастной ключ, достаточный для решения задачи оценки возрастного состава уловов и при этом позволяющий нивелировать влияние селективности орудий лова при сборе первичного материала.

Метод может оказаться полезен при решении практических задач, связанных с расчетами возрастного состава уловов и последующей оценкой численности популяций морских рыб, а также объемов их допустимого изъятия.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает благодарность специалистам отраслевых научно-исследовательских институтов, принимавшим участие в сборе биологических материалов для исследований в 2010–2014 гг.

The author is grateful to colleagues from the fisheries research institutes who collected in 2010–2014 the biological materials used in the study.

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. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented. The author declares that he has no conflict of interest.

Список литературы

- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др.** Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. — М. : ВНИРО, 2018. — 312 с.
- Буслов А.В.** Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2005. — 226 с.
- Золотов А.О.** Использование оценок возрастного состава желтоперой камбалы (*Limanda aspera*) западной части Берингова моря по чешуе и отолитам в виртуально-популяционном анализе // Изв. ТИНРО. — 2006а. — Т. 147. — С. 36–46.
- Золотов А.О.** Сравнение оценок возраста желтоперой (*Limanda aspera* Pallas) и северной двухлинейной (*Lepidopsetta polyxystra* Orr et Matareze) камбал западной части Берингова моря и восточного побережья Камчатки по чешуе и отолитам // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2006б. — Вып. 8. — С. 198–206.
- Золотов А.О.** О предельном возрасте камбал (Pleuronectidae) Охотского и Берингова морей и тихоокеанского побережья Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 8-й междунар. науч. конф., посвящ. 275-летию с начала Второй Камчатской экспедиции (1732–1733 гг.). — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2007. — С. 251–253.
- Золотов А.О.** Распределение тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae) и функциональная структура ее ареала в северной части Японского моря и некоторые вопросы регулирования ее промысла // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 86–111. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-86-111. EDN: BQFVZK.
- Золотов А.О., Антонов Н.П., Мазникова О.А.** Ресурсы трески Курильских островов: запасы и современный промысел // Рыб. хоз-во. — 2020. — № 4. — С. 44–51. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-4-44-51.
- Золотов А.О., Буслов А.В., Пономарев С.С.** Особенности биологии и перспективы современного промысла тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* на шельфе южных Курильских островов // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 283–304. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-283-304. EDN: APXTUS.
- Золотов А.О., Глубоков А.И., Варкентин А.И.** Разработка подходов к регулированию промысла камбал Западно-Берингоморской зоны // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023. — Вып. 68. — С. 70–89. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.70-89.
- Золотов А.О., Дубинина А.Ю.** Многолетняя динамика запасов и современный промысел камбал Южных Курильских островов // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : сб. мат-лов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию Камчат. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океаногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2017. — С. 62–73.
- Золотов А.О., Дубинина А.Ю.** О сезонности формирования опаковой зоны на отолитах северной двухлинейной камбалы *Lepidopsetta polyxystra* тихоокеанского шельфа камчатки и Северных Курил // Вopr. ихтиол. — 2012. — Т. 52, № 6. — С. 731–733.
- Золотов А.О., Дубинина А.Ю.** Современное состояние запасов камбал тихоокеанского шельфа Камчатки и Северных Курил и проблемы регулирования их промысла // Тр. СахНИРО. — 2013. — Т. 14. — С. 17–35.
- Золотов А.О., Смирнов А.В., Баранчук-Червоный Л.Н., Дубинина А.Ю.** Многолетняя динамика и современное состояние запасов желтоперой камбалы *Limanda aspera* в водах о. Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 178. — С. 25–57. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-178-25-57.
- Лакин Б.Ф.** Биометрия : учеб. пособие. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1980. — 293 с.
- Рикер У.Е.** Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 408 с. (Пер. с англ.)
- Чугунова Н.И.** Руководство по изучению возраста и роста рыб (методическое пособие по ихтиологии). — М. : АН СССР, 1959. — 164 с.
- Beckman D.W., Wilson C.A.** Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths // Recent developments in fish otolith research. — Columbia: University of South Carolina Press, 1995. — P. 27–44.

Chilton D.E., Beamish R.J. Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station : Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. — 1982. — Vol. 60. — 102 p.

Darby C.D. and Flatman S. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/Dos) : User Guide. — 1994. — 85 p.

Kitano Y. The Age and Growth on the Yellowfin sole (*Limanda aspera*) in Hecate Strait, British Columbia : Technical Report № 109. — Canada : Fisheries research board of Canada, 1969. — 36 p.

Munk K.M. Maximum ages of groundfishes in waters off Alaska and British Columbia and consideration of age determination // Alaska Fish. Res. Bull. — 2001. — Vol. 8, № 1. — P. 12–21.

References

Babayan, V.K., Bobyrev, A.E., Bulgakova, T.I., Vasiliev, D.A., Ilyin, O.I., Kovalev, Yu.A., Mikhailov, A.I., Mikheev, A.A., Petukhova, N.G., Safaraliev, I.A., Chetyrkin, A.A., and Sheremetyev, A.D., *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke zapasov prioritetnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* (Guidelines for assessing stocks of priority types of aquatic biological resources), Moscow: VNIRO, 2018.

Buslov, A.V., *Rost mintaya i razmerno-voznrastnaya struktura yego populyatsiy* (Pollock growth and size-age structure of its populations), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2005.

Zolotov, A.O., Using the estimations of yellowfin sole (*Limanda aspera*) age structure in the western Bering Sea by its scales and otoliths for virtual populations analysis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 36–46.

Zolotov A.O., A comparison of age assessment from scales and otoliths for yellowfin sole (*Limanda aspera* Pallas) and northern rock sole (*Lepidopsetta polyxystra* Orr et Matareze) in the western bering sea and east Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2006, vol. 8, pp. 198–206.

Zolotov, A.O., On the limiting age of flounders (Pleuronectidae) of the Okhotsk and Bering seas and the Pacific coast of Kamchatka, in *Mater. 8-y mezhdunar. nauchn. konf., posvyashch. 275-letiyu s nachala Vtoroy Kamchatskoy Ekspeditsii (1732–1733 gg.) “Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey”* (Proc. 8th Intern. Sci. Conf. Commem., 275th anniversary of the beginning of the Second Kamchatka Expedition (1732–1733) “Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters”), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2007, pp. 251–253.

Zolotov, A.O., Distribution of pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae) and functional structure of the habitat in the northern Japan Sea and some issues on regulation of the fishery, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 1, pp. 86–111. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-86-111. EDN: BQFVZK.

Zolotov, A.O., Antonov, N.P., and Maznikova, O.A., Pacific cod of the Kuril Islands: stock and contemporary fishing, *Rybn. Khoz.*, 2020, no. 4, pp. 44–51. doi 10.37663/0131-6184-2020-4-44-51

Zolotov, A.O., Buslov A.V., and Ponomarev, S.S., Features of biology and prospects of modern fishery for pacific herring *Clupea pallasii* on the shelf of southern Kuril Islands, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 283–304. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-283-304. EDN: APXTUS.

Zolotov, A.O., Glubokov, A.I., and Varkentin, A.I., Development of approaches to regulation of flatfish fishery in the West Bering Sea zone, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 68, pp. 70–89. doi 10.15853/2072-8212.2023.68.70-89

Zolotov, A.O. and Dubinina, A.Yu., Long-term stock dynamics and current fishery of flatfishes of the southern Kurile Islands, in *Sb. mater. Vseross. nauchn. konf. mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 85-letiyu Kamchatskogo nauchno-issled. inst. rybn. khoz. okeanogr. “Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie”* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Int. Participation, Commem. 85th Anniv. Kamchatka Res. Inst. Fish. Oceanogr. “Aquatic Biological Resources of Russia: State, Monitoring, and Management”), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2017, pp. 62–73.

Zolotov, A.O. and Dubinina, A.Yu., On the seasonal pattern of formation of opaque zone on otoliths of the northern rock sole *Lepidopsetta polyxystra* of the Pacific shelf of Kamchatka and the Northern Kurils, *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, no. 9, pp. 668–670. doi 10.1134/S0032945212060112

Zolotov, A.O. and Dubinina, A.Yu., Current status of stocks of flounders on the Pacific shelf of Kamchatka and the northern Kuril Islands and problems of regulation of their harvesting, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 14, pp. 17–35.

Zolotov, A.O., Smirnov, A.V., Baranchuk-Chervonny, L.N., and Dubinina, A.Yu., Long-term dynamics and current state of yellowfin sole *Limanda aspera* stocks in the waters of Sakhalin Island, *Izv.*

Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2014, vol. 178, pp. 25–57. doi 10.26428/1606-9919-2014-178-25-57

Lakin, G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1980, 3rd ed.

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

Chugunova, N.I., *Rukovodstvo po izucheniyu vozrasta i rosta ryb (metodicheskoye posobiye po ikhtiologii)* (Guidelines for studying the age and growth of fish (a manual on ichthyology)), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1959.

Beckman, D.W. and Wilson, C.A., Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths, *Recent developments in fish otolith research*, Columbia: University of South Carolina Press, 1995, pp. 27–44.

Chilton, D.E. and Beamish, R.J., Age determination methods for fishes studied by the groundfish program at the Pacific Biological Station, *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, vol. 60.

Darby, C.D. and Flatman, S., *Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/Dos): User Guide*, 1994.

Kitano, Y., The Age and Growth on the Yellowfin sole (*Limanda aspera*) in Hecate Strait, British Columbia, *Technical Report № 109*, Canada: Fisheries research board of Canada, 1969.

Munk, K.M., Maximum ages of groundfishes in waters off Alaska and British Columbia and consideration of age determination, *Alaska Fish. Res. Bull.*, 2001, vol. 8, no. 1, pp. 12–21.

Поступила в редакцию 31.10.2024 г.

После доработки 3.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 31.10.2024; approved after reviewing 3.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

Краткое сообщение

УДК 639.28:004.5

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1018-1034

EDN: TREJKR



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАЗМЕРНО-ПОЛОВОГО СОСТАВА УЛОВОВ КРАБА-СТРИГУНА ОПИЛИО

И.С. Черниенко, А.Г. Слизкин, В.В. Кулик*

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

Аннотация. Выявлены статистические связи между условиями окружающей среды и пространственным распределением размерно-половых групп краба-стригуна опилио в Западно-Беринговоморской зоне. На основе найденных закономерностей выполнено восстановление значений абсолютных траловых уловов размерно-половых групп, отсутствующих в базах данных. Для формирования входных переменных и оценки статистических связей использовались методы машинного обучения, которые могут быть применены к другим единицам запаса донных гидробионтов.

Ключевые слова: Берингово море, краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio*, состав уловов, условия обитания гидробионтов, машинное обучение

Для цитирования: Черниенко И.С., Слизкин А.Г., Кулик В.В. Применение методов машинного обучения для восстановления размерно-полового состава уловов краба-стригуна опилио // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 1018–1034. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1018-1034. EDN: TREJKR.

Short message

Application of machine learning methods to restore size-sex composition in catches of snow crab

Igor S. Chernienko*, Aleksei G. Slizkin**, Vladimir V. Kulik***

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

* Ph.D., leading researcher, igor.chernienko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-6410-0081

** Ph.D., leading researcher, aleksei.sleezkin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0006-9368-0771

*** Ph.D., head of laboratory, vladimir.kulik@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312

Abstract. Impact of environmental conditions on spatial distribution of size-sex groups is described statistically for snow crab *Chionoecetes opilio*. Based on the relationships identified, absolute values of catches are calculated for each such group. Machine learning approach is

* Черниенко Игорь Сергеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, igor.chernienko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-6410-0081; Слизкин Алексей Гаврилович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, aleksei.sleezkin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0006-9368-0771; Кулик Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, vladimir.kulik@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312.

© Черниенко И.С., Слизкин А.Г., Кулик В.В., 2024

implemented for the feature engineering and statistical relationships evaluation. The approach can be adopted for other benthic stocks.

Keywords: Bering Sea, snow crab, *Chionoecetes opilio*, catch composition, habitat environment, machine learning

For citation: Chernienko I.S., Slizkin A.G., Kulik V.V. Application of machine learning methods to restore size-sex composition in catches of snow crab, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 1018–1034. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-1018-1034. EDN: TREJKR.

Введение

На протяжении многих лет рыбохозяйственная наука занимается сбором данных о состоянии запасов водных биологических ресурсов на Дальнем Востоке. Полученные материалы ложатся в основу научно обоснованных рекомендаций по эксплуатации этих ресурсов. В ТИНРО разработано несколько баз данных (БД), используемых для хранения материалов научно-исследовательских работ. В БД «Морская биология» содержатся материалы, собранные в ходе исследований, выполненных с 1950-х гг. по настоящее время. Эта БД позволяет быстро извлекать данные об обилии и составе уловов гидробионтов, а также об условиях их обитания и привести все сведения в форму, пригодную для дальнейшего использования, например как входные данные для моделей динамики обилия запаса. Однако часть материалов в БД отсутствует. Такая ситуация связана с тремя основными причинами. Первая состоит в значительном объеме первичных материалов. Перенос данных в таблицы БД требует больших затрат времени. При этом необходим предварительный анализ первичных материалов, включающий поиск и исправление ошибок, фильтрацию, приведение данных к единому формату. Данные могут храниться в различном виде, поскольку специалисты их создавали исходя из собственных соображений, и поэтому они зачастую неструктурированы. Материалы, собранные до широкого применения персональных компьютеров, приходится переносить в БД с бумажных носителей. С этим связана вторая причина — слабая степень применения в прошлом, да и в настоящее время, формализованной схемы фиксации первичных материалов. В большей степени это касается данных наблюдений на промысле и ловушечных съемок и отчасти данных по беспозвоночным, собранным в ходе траловых съемок. Материалы научных траловых съемок, в первую очередь по рыбам, уже давно вносятся в траловые карточки и специально разработанные таблицы. Наконец, третья причина — частичная утрата первичных материалов.

Если данные по промысловым видам рыб практически полностью перенесены в БД «Морская биология», то промысловых видов крабов это коснулось в меньшей степени. Для оценки и прогнозирования запасов крабов с использованием моделей на основе функциональных групп [Ильин, Иванов, 2015, 2018; Федотов, Черниенко, 2022] необходимы сведения об уловах особей определенных размеров. В БД же для ряда лет, особенно за 1960–1990-е гг., имеются только данные об общих уловах без разделения по каким-либо группам. Материалы биологического анализа могут вовсе отсутствовать.

Можно попытаться восстановить численность размерно-половых групп в уловах, зная их относительную численность. Простейший способ — вычислить средние доли групп по имеющимся данным и умножить их на общую численность. Однако такой подход слишком огрубляет результаты и таким образом снижает эффективность использования полученной в ходе многолетних исследований информации. Известно, что пространственное распределение крабов, находящихся на различных стадиях жизненного цикла, связано с условиями окружающей среды [Слизкин, Сафронов, 2000]. Использование таких связей для восстановления численности размерно-половых групп могло бы дать более корректные результаты.

Приняв во внимание вышесказанное, мы поставили перед собой следующую цель — восстановить абсолютные значения индексов численности различных размерно-

половых групп, используя статистические связи пространственного распределения особей на разных стадиях жизненного цикла с факторами окружающей среды. В качестве примера был выбран запас краба-стригуна опилио зоны Западно-Берингоморской.

Материалы и методы

Сбор и подготовка данных

Исходными данными послужили результаты донных траловых съемок, выполненных с 1970 по 2021 г. у западного побережья Берингова моря (рис. 1). Из данных траловых карточек, хранящихся в БД «Морская биология», была получена информация о географических координатах, глубинах, придонной температуре и общих уловах краба-стригуна опилио на каждой станции.

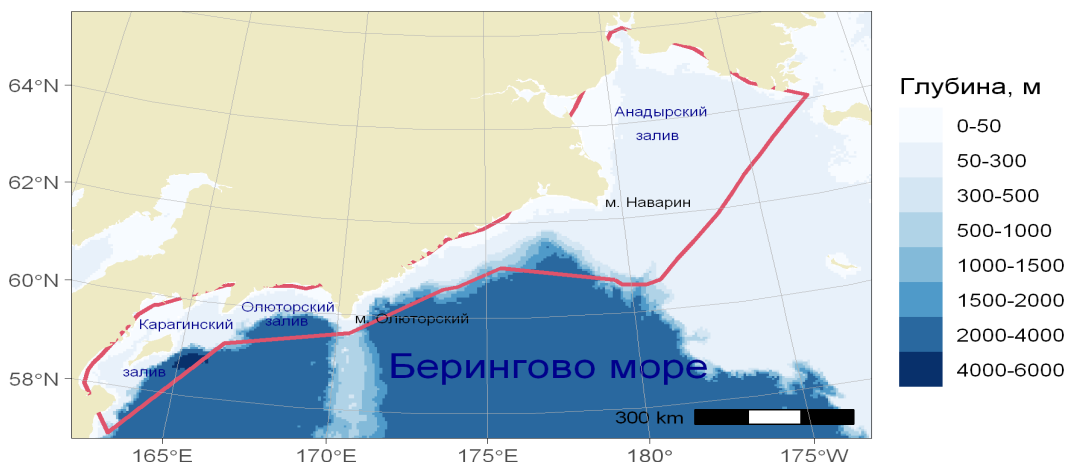


Рис. 1. Район исследований, 1970–2021 гг.

Fig. 1. The study area in 1970–2021

Использованы данные 25 траловых съемок (табл. 1), в ходе которых выполнено 2260 станций, а также материалы 25674 имевшихся в доступе биологических анализов.

Для съемок, по которым данные промеров отсутствовали, использовали файлы, подготовленные для оценки запаса в программах MapDesigner [Поляков, 1995] и «КартМастер» [Бизиков и др., 2007]. Файлы содержали данные об уловах на усилие, сгруппированные следующим образом: промысловые самцы с шириной карапакса, превышающей 100 мм (МС); предрекруты — самцы с шириной карапакса от 80 до 100 мм (МР); молодые самцы с шириной карапакса менее 80 мм (МЈ); самки с икрой на плейоподах (FF) и самки без икры (FJ). В ряде случаев деление было более грубым — коммерческие самцы с шириной карапакса 100 мм и более (СМ), прочие самцы (СЈ) с шириной карапакса менее 100 мм, самки (F).

В случаях, когда в наличии имелись данные о биологическом анализе, размерно-половой состав делили на группы МС, МР, МЈ, FF и FJ и пересчитывали их уловы, умножая общее число крабов в улове на станции на доли этих групп.

Данные об окружающей среде включали топографические характеристики рельефа дна, состав грунта, а также состав бентоса и климатические статистические характеристики воды у дна. Состав бентоса получили из материалов бентосных съемок (табл. 2). Бентос западной части Берингова моря был достаточно тщательно исследован гидробиологами ТИНРО, чтобы сделать вывод о стабильности его состава и обилия по большинству таксономических групп (за редкими исключениями, связанными среди прочего с влиянием случайности при облове мозаично расположенных локальных поселений таких видов) [Надточий и др., 2007, 2017а, б; Надточий, Колпаков, 2022]. Характеристики морфологии морского дна получены из цифровой модели рельефа (ЦМР) GEBCO_2023 (<https://doi.org/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b>),

Таблица 1

Научно-исследовательские траловые съемки, использованные в работе

Table 1

List of research trawl surveys used in the study

Год	Судно	Сроки	Широта	Долгота	Глубина, м
1970	СРТМ «Космический»	04.04–25.07	56°18'N– 64°34,5'N	162°19,5'E– 173°58'W	21–430
1971	СРТМ «Космический»	13.04–18.08	56°44,4'N– 62°29'N	162°41'E– 176°7'W	20–550
1972	НПС «Профессор Дерюгин»	03.05–08.07	59°30'N– 61°55'N	168°4'E– 175°51'W	65–590
	СРТМ «Пеламида»	15.07	56°37'N– 65°26'N	162°13'E– 174°56'W	8–740
1975	СРТМ 8–449	25.05–25.08	60°3'N– 63°19'N	167°5'E– 173°15'W	32–125
	СРТМ «Пеламида»	15.07	59°46'N– 63°35'N	167°5'E– 178°42'W	15–600
1989	НИС «Профессор Леванидов»	16.06–24.07	60°34'N– 64°30'N	172°32'E– 177°41,3'W	32–1000
	БМ «Барановичи»	24.06–18.07	60°49'N– 64°22'N	179°55'E– 175°2,3'W	55–284
	РТМС «Гиссар»	31.10–20.11	60°36'N– 62°5'N	179°8'E– 179°58'E	90–1125
1996	СРТМ «Шурша»	23.08–10.09	61°0'N– 65°15'N	179°33'E– 173°1,5'W	35–223
	НИС «Профессор Кагановский»	30.08–23.09	60°44'N– 62°0'N	163°20,3'E– 176°3,9'W	117–266
1998	НИС «Профессор Кагановский»	21.08–08.10	57°2'N– 63°40'N	163°19'E– 177°12,6'W	49–505
1999	БАТМ «Березина»	12.06–13.08	60°58'N– 62°21'N	162°29,4'W– 175°54,6'W	84–200
	НИС «ТИНРО»	21.08–29.10	59°48'N– 64°20'N	170°39'E– 176°40,02'W	37–762
2001	НИС «Профессор Кагановский»	15.07	61°30'N– 62°40'N	179°54'E– 173°58,1'W	87–154
	НИС «Профессор Кагановский»	19.08–31.10	57°58'N– 65°13'N	162°12'E– 180°0'	22–500
2005	НИС «ТИНРО»	07.08–12.10	60°23'N– 66°2,8'N	171°6,1'E– 180°0'	21–773
	РС «Щапино»	10.08–30.09	59°0'N– 65°58'N	170°0'E– 180°0'	14–265
2019	НИС «Профессор Леванидов»	16.07–08.08	58°3,4'N– 62°57,9'N	162°16,6'E– 180°0'	18–355
	НИС «Профессор Леванидов»	29.07–01.08	61°20,7'N– 62°4,1'N	173°22,3'E– 176°3,9'E	31–35
2020	НИС «Песков»	04.08–05.10	58°1,5'N– 64°41,5'N	162°15'E– 180°0'	10–204
	НИС «Профессор Кагановский»	08–25.09	59°4,2'N– 61°45,3'N	165°52,8'E– 176°40,1'E	22–952
	НИС «ТИНРО»	15–22.09	60°41'N– 62°39,8'N	177°6'E– 180°0'	98–919
2021	НИС «Профессор Кагановский»	31.08–17.09	61°0,5'N– 65°14,1'N	174°16,3'E– 180°0'	23–281
	СРТМ «Валерий Маслаков»	15.09–10.10	57°58,7'N– 63°21,3'N	162°29,4'E– 180°0'	20–370

данные о статистических характеристиках (минимум, максимум, среднее и разброс) придонной температуры, солености, скорости течений, концентрациях нитратов, фосфатов, силикатов, растворенного кислорода, железа, хлорофилла, обилия фитопланктона, первичной продукции и интенсивности света у дна — из системы Bio-ORACLE [Tyberghein et al., 2012; Assis et al., 2018].

Таблица 2
Научно-исследовательские дночерпательные съемки, использованные в работе
Table 2

List of research bottom sampler surveys used in the study

Год	Судно	Сроки	Широта	Долгота	Глубина, м
1983	БМРТ «Мыс Юноны»	31.08–19.09	57°49,8'N– 60°15'N	162°7,8'E– 166°30'E	20–190
1984	БМРТ «Мыс Тихий»	04–11.06	49°30'N– 50°46,8'N	155°43,2'E– 157°10,8'E	30–235
1985	БМРТ «Мыс Тихий»	31.08–25.09	61°5,4'N– 65°22,2'N	179°0'E– 173°0'W	13–250
2001	НИС «Профессор Кагановский»	11.08–15.10	57°49,8'N– 65°40,2'N	162°7,2'E– 169°51'W	20–250
2005	НИС «ТИНРО»	10.08–14.10	59°49,2'N– 65°16,2'N	170°28,8'E– 175°0'W	18–201
2012	НИС «Профессор Кагановский»	28–31.08	59°40,2'N– 60°18,6'N	166°34,8'E– 169°31,2'E	51–270

Конструирование признаков

Под конструированием признаков (Feature engineering) понимают выбор формы представления и преобразования необработанных данных с целью формирования входных переменных [Müller, Guido, 2016]. Конструирование признаков может включать множество различных процедур — от простого использования исходной информации, как есть, до получения некоторых производных величин [Черниенко, Черниенко, 2021], вплоть до сложных модельных расчетов, позволяющих на основе спутниковых данных получить динамические характеристики водных масс [Kulik et al., 2022].

В качестве исходных сведений использованы координаты с десятичными долями градусов, даты тралений, состав грунтов, придонные температуры на траловых станциях в градусах Цельсия, общие уловы крабов на час траления, уловы крабов по размерно-половым группам на час траления, размерно-половой состав крабов из траловых уловов в долях единицы, плотности поселений донных организмов по данным траловых и дночерпательных съемок в граммах на квадратный метр, глубины в метрах, статистические характеристики гидрологических параметров.

В БД «Морская биология» координаты хранятся в формате градусов с десятичными долями. Долготу Восточного полушария отсчитывают в восточном направлении от Гринвичского меридиана, долготу Западного полушария, соответственно, к западу. При этом градусы западной долготы записывают со знаком «минус». Использование такого обозначения создаст разрыв по 180-му меридиану, этот разрыв может серьезно исказить результаты вычислений. Для того чтобы получить непрерывную однонаправленную величину, градусы западной долготы преобразовали в градусы на сфере:

$$Lon = 360 - Lon_w, \tag{1}$$

где Lon — долгота в градусах с десятичными долями на сфере; Lon_w — градусы западной долготы с десятичными долями.

Процессы, связанные с жизненным циклом организмов, обитающих в умеренных и крайних широтах, такие как линька, нерест, миграции и т.д., обычно имеют ярко выраженный циклический характер. В связи с этим даты тралений пересчитывали на

день года и вычисляли циклические компоненты дня года как переменные, связанные со временем:

$$\begin{aligned} d_{sin} &= \sin 2\pi \frac{D}{D_Y}, \\ d_{cos} &= \cos 2\pi \frac{D}{D_Y}, \end{aligned} \quad (2)$$

где D — порядковый номер дня года; D_Y — количество дней в году (365 или 366). Использование такого преобразования предотвращает разрыв между началом и концом года.

Пропуски в данных бентосных съемок заполняли с помощью процедуры множественного заполнения пропусков последовательными уравнениями (MICE) [Кулик, Горюнов, 2022], основанными на модели случайного леса [Breiman, 2001]. Среди заполняемых в MICE пропусков были плотности бентосных организмов и коды типов грунта.

На основе данных ЦМР рассчитывали морфометрические характеристики дна: восточно-западная и северо-южная составляющие экспозиции, наклона, вогнутость морского дна, кривизна в плане и профиле. Расчеты выполнены в ГИС SAGA версии 7.2.0. Зональная статистика со всех новых слоев ГИС собрана взвешенно по площади снятия ячеек. Площадь дна рассчитана в модуле для ГИС SAGA на основе ЦМР [Макрофауна..., 2014]. Сетка агрегирования значений образована гексагонами шириной примерно 3,5 км, высотой 3,0 км и площадью 7,8 км² в равновеликой азимутальной проекции Ламберта с центром по координатам 63° с.ш. 169° в.д. Площади ячеек, обрезанных границей района исследований, были меньше 7,8 км², поэтому биомасса рассчитывалась перемножением модельной плотности донных организмов в каждой ячейке на ее реальную площадь с учетом рельефа, которая у целых гексагонов в местах с наибольшим уклоном достигала 8 км². Значения слоев для ГИС из системы Bio-ORACLE сняты центроидами полученных гексагонов или полигонов. В рамках выбранной полигональной сетки усреднены плотности бентосных организмов.

Группа переменных, связанная с условиями окружающей среды, включала 162 параметра (рельеф дна, гидрохимическая статистика, плотности поселения видов бентоса и т.д.), для снижения размерности данной группы выполнили анализ главных компонент. Как видно на рис. 2, большая часть дисперсии может быть объяснена двумя главными компонентами (ГК).

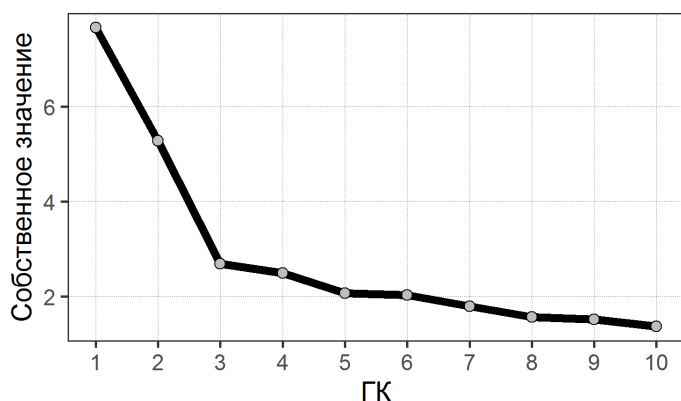


Рис. 2. Собственные значения главных компонент

Fig. 2. Eigenvalues of the principal components

В качестве объясняющей переменной использовали также общий улов крабов на станции, экз./час траления.

Таким образом, среди предикторов можно выделить группу статических (координаты, глубины, переменные, связанные со средой обитания) и динамических (придонная температура, циклические компоненты года, улов на час траления на станции) переменных.

Объясняющие переменные различной физической природы, выраженные в разных единицах измерения, имеют широкий размах значений. Это отрицательно влияет на работу многих алгоритмов машинного обучения. Для того чтобы привести входные переменные к единому масштабу, их нормировали, вычтя среднее значение и разделив на стандартное отклонение.

Переменные отклика формировали на основе уловов размерно-половых групп МС, МР, МЈ, FF и FJ. Уловы СМ, СЈ и F использовали для валидации. Для каждой станции рассчитывали доли наблюдавшихся на них размерно-половых групп. Доли обозначали в соответствии с обозначением групп как $p_{MC}, p_{MP}, p_{MJ}, p_{FF}, p_{FJ}, p_{CM}, p_{JM}, p_F$. При этом следует отметить, что $p_{MC} + p_{MP} + p_{MJ} + p_{FF} + p_{FJ} = 1, p_{CM} + p_{CJ} + p_F = 1, p_{CM} = p_{MC}, p_{JM} = p_{MP} + p_{MJ}$ и $p_F = p_{FF} + p_{FJ}$ (табл. 3).

Таблица 3

Описание переменных, использованных в модели

Table 3

Description of the variables used in the model

Переменная	Обозначение	Единицы
Предиктор		
Широта	Lat	Градусы с десятичными долями
Долгота	Lon	Градусы с десятичными долями
Глубина	D	Метр
Главная компонента 1	GC1	
Главная компонента 2	GC2	
День года, синус	d_{sin}	Радииан
День года, косинус	d_{cos}	Радииан
Придонная температура	T	Градусы Цельсия
Улов на час траления	U	Экземпляры
Отклик		
Доля промысловых самцов	p_{MC}	Доля единицы
Доля предрекрутов	p_{MP}	«
Доля молодых самцов	p_{MJ}	«
Доля самок с икрой	p_{FF}	«
Доля самок без икры	p_{FJ}	«
Доля промысловых самцов*	p_{CM}	Доля единицы, $p_{CM} = p_{MC}$
Доля непромысловых самцов*	p_{JM}	Доля единицы, $p_{JM} = p_{MP} + p_{MJ}$
Доля самок*	p_F	Доля единицы, $p_F = p_{FF} + p_{FJ}$

* Используется как дополнительная величина при верификации.

Определение модели

Доли размерно-половых групп по определению являются связанными величинами, что приводит к необходимости использовать методы регрессии с многомерным откликом. В настоящей работе применяется многослойный перцептрон (multilayer perceptron, MLP) [Murtagh, 1991], для которого линейный выход преобразован функцией softmax.

Многослойный перцептрон, также известный как искусственная нейронная сеть, представляет собой систему уравнений, моделирующих соединенные и взаимодействующие между собой элементарные процессы, называемые искусственными нейронами. Искусственный нейрон — система, принимающая на вход один или более параметров с некоторыми коэффициентами (весом), суммирующих и преобразующих их некоторой функцией, называемой функцией активации:

$$y = \varphi(\sum w_i x_i), \tag{3}$$

где x_i — входные переменные; y — выход; w_i — вес; φ — функция активации.

Нейроны объединяются в слои. В случае однослойного перцептрона количество нейронов идентично числу входных переменных, которые преобразуются и подаются

на выход. При этом выходов может быть более одного. В случае многослойного перцептрона в его схеме присутствуют также промежуточные (скрытые) слои. Выходы промежуточного слоя служат входами для последующего.

За счет своей структуры MLP может моделировать сложные нелинейные связи. Использовали перцептрон с двумя промежуточными слоями. Первый промежуточный слой содержал 18, второй — 36 нейронов. Промежуточные слои имели кусочно-линейную функцию активации ReLu [Fukushima, 1969]:

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0: x < 0 \\ 1: x \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

Линейный выход преобразовывался многопеременной логистической функцией (Softmax) [Bridle, 1990].

$$\sigma(z)_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{k=1}^K e^{z_k}}, \quad (5)$$

где z — вектор размерности K ; σ — вектор той же размерности с единичной суммой. В нашем случае $K = 5$, по числу групп. Сумма переменных на выходе функции равна единице и, таким образом, с ее помощью может быть имитировано распределение долей размерно-половых групп на станции.

Настройка модели

Исходный набор данных случайным образом разделили на обучающий (80 % от исходного объема) и тестовый (20 % от исходного объема). Данные с делением размерно-полового состава на группы CM, CJ, F использовали как отложенный (валидационный) набор данных.

Обучающий набор применяли для обучения перцептрона. Тестовый набор служил для проверки того, насколько результаты зависят от конкретных данных, поданных на вход алгоритма. Валидационный набор не содержал данных о съемках, использованных для обучения, имитируя применение модели к новым данным [Harrington, 2012].

Обучали перцептрон, минимизируя среднеквадратичную ошибку (mean squared error, MSE) истинных и оцененных моделью данных:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (6)$$

где y — истинные значения; $\hat{y}$ — значения, оцененные моделью.

Для минимизации целевой функции использовали алгоритм ADAM (<http://arxiv.org/abs/1412.6980>).

Верификация результатов

Используя обученную модель, рассчитывали доли размерно-половых групп на тестовых станциях и наносили их на точечную диаграмму. То же самое делали для валидационного набора, предварительно пересчитав доли размерно-половых групп так, как описано выше. Для истинных и расчетных долей вычисляли коэффициенты корреляции Пирсона.

Используя расчетные доли размерно-половых групп, пересчитывали наблюдаемые значения абсолютных обихов уловов в оценке абсолютных уловов размерно-половых групп на час траления. Уловы на час траления пересчитывали на плотность [Руководство..., 1979]:

$$n_i = \frac{U_i}{KV_{1,82} v w_{tr} 10^{-6}}, \quad (7)$$

где i — индекс размерно-половой группы; U_i — улов на час траления на i -й станции; n_i — плотность размерно-половой группы на станции, экз./км²; KV — коэффициент уловистости; v — скорость траления, уз.; w_{tr} — ширина раскрытия трала, м. KV принимали равным единице.

После этого выполняли интерполяцию пространственного распределения на регулярную сетку и оценку распределения численности размерно-половых групп как по наблюдаемым, так и по расчетным данным при помощи двумерного β -сплайна [Lee

et al., 1997] на площади, автоматически оконтуренной с помощью алгоритма alphahull [Rodriguez-Casal, 2007]. После этого выполняли оценку численности:

$$N_i = \sum_{c=1}^{c=NC} S_c n_{i,c}, \quad (8)$$

где N_i — численность i -й размерно-половой группы; NC — число ячеек в регулярной сетке; c — номер ячейки регулярной сетки; S_c — площадь ячейки регулярной сетки; $n_{i,c}$ — плотность i -й размерно-половой группы в ячейке c .

Следует отметить, что KV , методика интерполяции и оконтуривания отличаются от традиционно используемых в Тихоокеанском филиале ВНИРО, поэтому указанные здесь оценки численности размерно-половых групп отличаются от приведенных в обоснованиях ОДУ.

Для расчетов использовали язык сценариев R с дополнительными библиотеками, для работы с данными — пакет data.table (<https://CRAN.R-project.org/package=data.table>). Для построения графиков — пакет ggplot2 [<https://CRAN.R-project.org/package=ggOceanMaps>]. Для расчета зональной статистики всех новых слоев ГИС применяли пакет exactextractr (<https://CRAN.R-project.org/package=exactextractr>). Определение архитектуры перцептрона и его настройку выполняли с использованием библиотеки torch (<https://CRAN.R-project.org/package=torch>), интерполяцию значений долей размерно-половых групп — с помощью библиотеки MBA (<https://CRAN.R-project.org/package=MBA>). Для работы с пространственными данными и картирования задействовали библиотеки alphahull (<https://github.com/beatrizpateiro/alphahull>), sf (<https://CRAN.R-project.org/package=sf>), raster (<https://CRAN.R-project.org/package=raster>), geosphere (<https://CRAN.R-project.org/package=geosphere>) и ggOceanMaps (<https://CRAN.R-project.org/package=ggOceanMaps>).

Результаты и их обсуждение

На рис. 3 изображена динамика целевой функции в процессе обучения модели. Сплошная линия показывает изменение целевой функции для обучающего набора данных, пунктирная — для тестового. С 396-й итерации целевая функция для тестовой выборки начинает расти, в то время как для обучающей продолжает падать. Это свидетельствует о том, что с этого момента модель переобучается, для обучающей выборки подгонка приближается к идеальной, в то время как для прочих данных качество подгонки снижается и модель перестает работать. Таким образом, на 396-й итерации обучение модели прекратили и использовали ее для дальнейших расчетов.

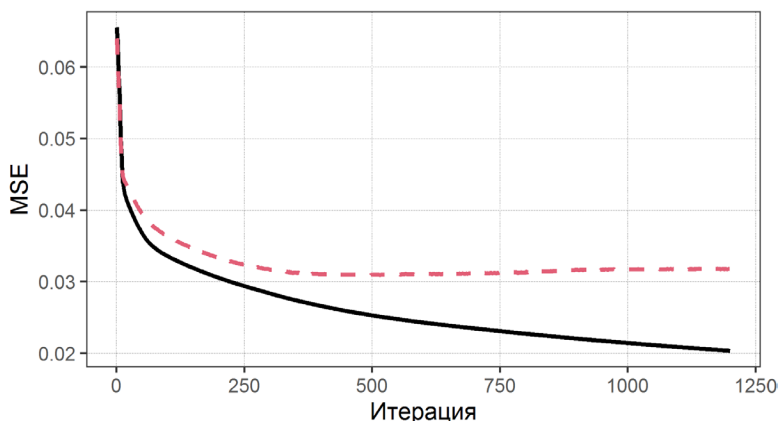


Рис. 3. Динамика изменения целевой функции в ходе обучения MLP: сплошная линия — для обучающей выборки, пунктирная — для тестовой

Fig. 3. Change of the objective function during MLP learning: solid line is for the training dataset, dashed line is for the test dataset

Для тестового и валидационного наборов данных получена отчетливая связь между наблюдениями и оценкой (табл. 4). Как видно на рис. 4 и 5, модель позволяет получить гораздо более адекватные оценки долей размерно-половых групп по сравнению с простым осреднением. Вместе с тем расчетные значения сглаживают наблюдения.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между наблюдаемыми и расчетными долями
размерно-половых групп для тестовой выборки
(ρ — коэффициент корреляции, p — уровень значимости)

Table 4

Correlation between observed and estimated portions of size-sex groups for the test sample
(ρ — correlation coefficient, p — significance level)

Группа	ρ	p
Тестовый набор		
MC	0,65	<< 0,001
MP	0,71	<< 0,001
MJ	0,72	<< 0,001
FF	0,44	<< 0,001
FJ	0,53	<< 0,001
Валидационный набор		
CM	0,47	<< 0,001
CJ	0,50	<< 0,001
F	0,20	<< 0,001

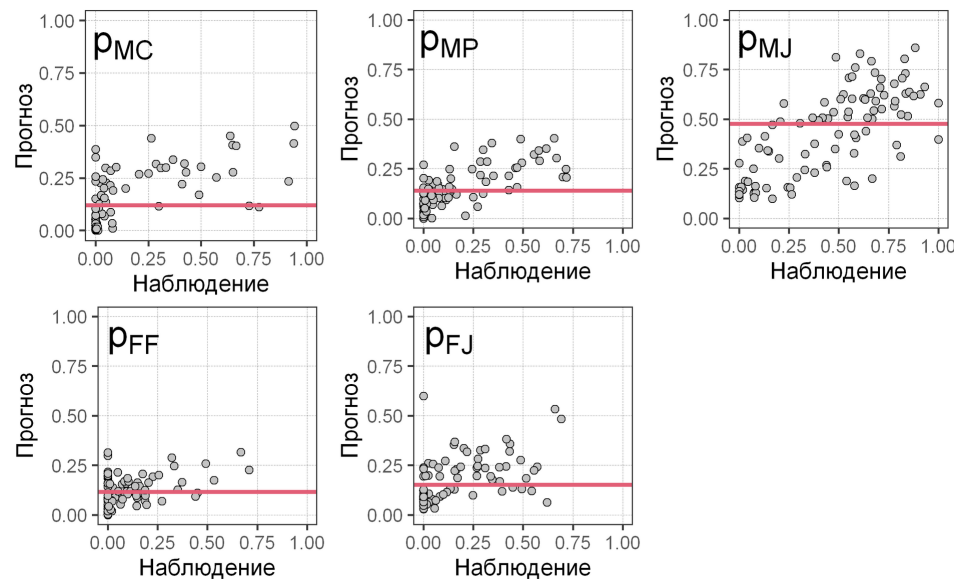


Рис. 4. Наблюдаемые и предсказанные моделью значения долей размерно-половых групп на станциях в тестовой выборке: красная горизонтальная линия — среднее значение доли размерно-половой группы

Fig. 4. Observed and modeled portions of size-sex groups by stations in the test sample. Red horizontal line shows the mean portion of a size-sex group

Наилучшие результаты получены для молодых самцов (MJ). Это объясняется преобладанием данной группы в уловах и, как следствие, наиболее полным охватом всего диапазона значений предикторов для нее. Сравнительно низкая предсказательная способность в отношении половозрелых самок (FF), по всей видимости, связана с тем, что данная группа включает особей с неодинаковой степенью развития икры — от недавно отложенной до выпущенных личинок. Самки на разных стадиях развития икры могут иметь различные требования к условиям окружающей среды [Слизкин,

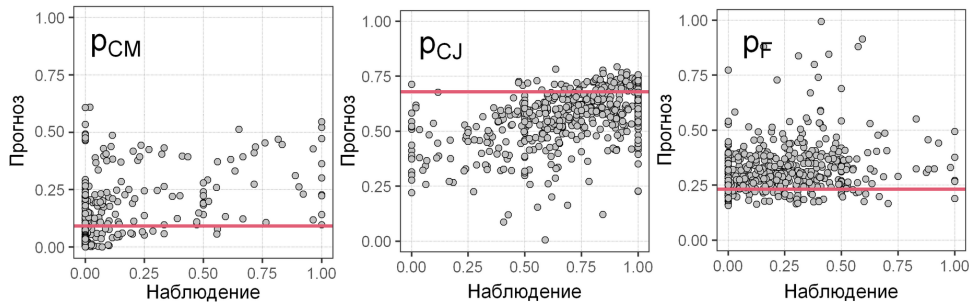


Рис. 5. Наблюдаемые и предсказанные моделью значения долей размерно-половых групп на станциях в валидационной выборке: красная горизонтальная линия — среднее значение доли размерно-половой группы

Fig. 5. Observed and modeled portions of size-sex groups by stations in the validation sample. Red horizontal line shows the mean portion of a size-sex group

Сафронов, 2000]. Кроме того, данная группа в целом хуже доступна для облова тра-лами, в связи с чем индексы ее численности подвержены наибольшему искажениям.

Аналогичным образом можно объяснить и результаты, полученные для валидационной выборки. Непромысловые самцы это, в сущности, сумма долей предрекрутов и молодых самцов, в то время как самки содержат как половозрелых самок на различных стадиях, так и неполовозрелых.

Покажем для примера распределение уловов промысловых самцов на час траления для съемки 2001 г. (рис. 6). В валидационном наборе съемка 2001 г. наиболее полно охватывает район исследований. Как видно, восстановленные уловы на усилие достаточно хорошо аппроксимируют наблюдения.

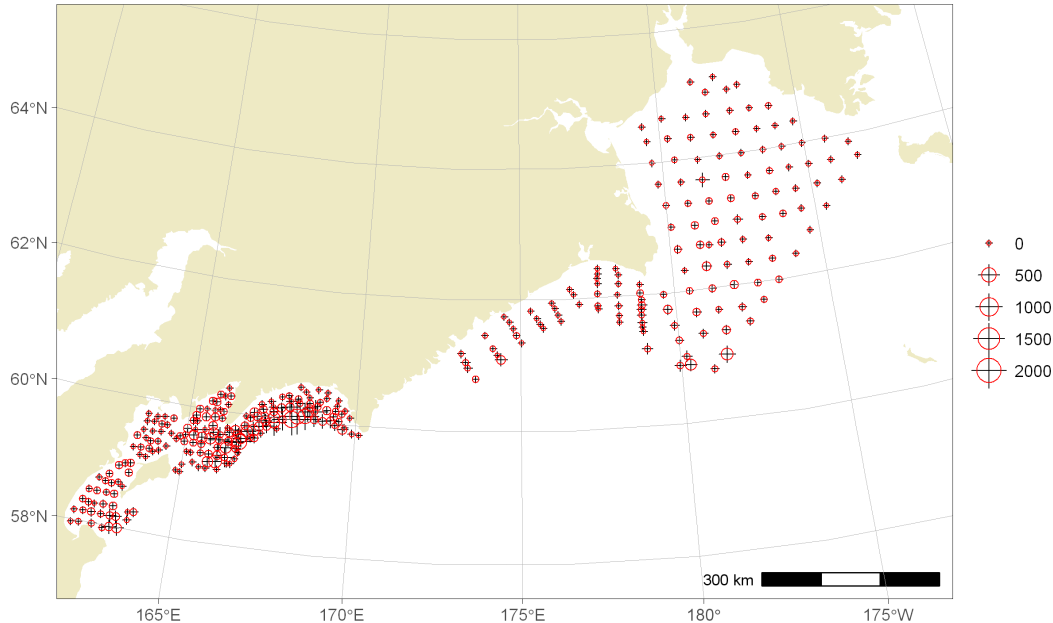


Рис. 6. Распределение уловов на усилие промысловых самцов краба-стригуна опилию (экз./час траления) в 2001 г.: + — наблюдаемые значения, o — восстановленные значения

Fig. 6. Spatial distribution of catches per unit effort for commercial-sized males of snow crab in 2001, ind. per hour of trawling: + — observed values, o — reconstructed values

На картах распределения численности размерно-половых групп, построенных по наблюдаемым и восстановленным данным (рис. 7), видно, что особенности рас-

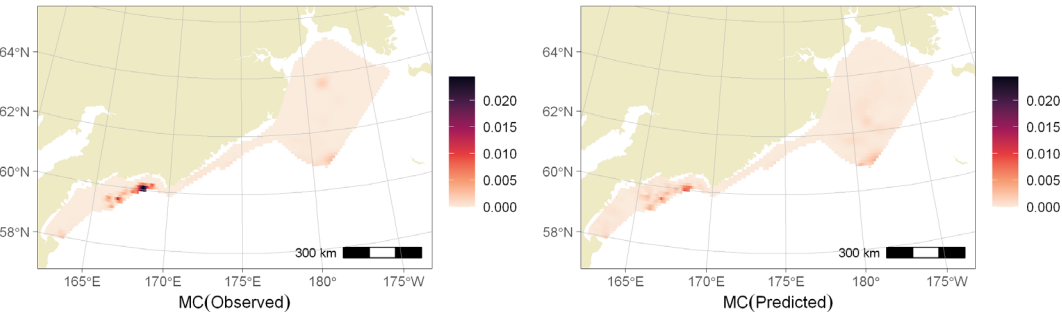


Рис. 7. Распределение плотности скоплений промысловых самцов (млн экз./км²) по материалам учетной съемки 2001 г.: **слева** — по наблюдаемым, **справа** — по восстановленным данным

Fig. 7. Density distribution of commercial males on the data of 2001 survey, 10⁶ ind./km²: **left panel** — observed values, **right panel** — reconstructed values

пределения в целом воспроизводятся. При этом карта плотности распределения промысловых самцов, построенная на основе восстановленных уловов при одних и тех же параметрах интерполяции, получилась более «размазанной», т.е. более сглаженной. Численность на основе наблюдений оценена в 19,21 млн экз., на основе восстановленных уловов — 19,60 млн экз.

В табл. 5–6 и на рис. 8–9 приведены оценки численности размерно-половых групп для съемок, вошедших в обучающий и валидационный наборы. Видно, что

Таблица 5
Оценки численности по наблюдаемым и предсказанным моделью индексам уловов размерно-половых групп для обучающего набора данных, млн экз.

Table 5

Estimates of the snow crab abundance based on observed and modeled indices of size-sex groups for the training dataset, 10⁶ ind.

Год	N _{St}	S	MC _O	MS _E	MP _O	MP _E	MJ _O	MJ _E	FF _O	FF _E	FJ _O	FJ _E
1970	98	151,83	1,39	0,51	2,38	2,58	74,38	70,68	1,00	9,58	34,30	37,21
1971	109	58,62	1,02	1,62	0,24	1,30	7,04	7,56	1,83	1,08	7,43	5,41
1972	77	159,11	1,78	1,61	1,28	3,05	271,69	240,66	26,59	18,42	74,25	94,87
1975	244	71,01	0,09	0,10	0,57	0,42	3,26	3,29	1,28	0,70	0,07	0,58
2019	202	81,61	3,28	5,64	3,03	3,86	14,07	18,03	24,27	8,60	2,96	8,24
2020	328	195,88	10,18	10,96	24,71	27,40	242,79	256,55	19,44	17,84	143,86	136,84
2021	341	176,31	10,94	9,66	13,56	14,08	109,36	80,25	16,68	7,08	15,11	14,24

Примечание. Здесь и в табл. 6: N_{St} — число станций; S — обследованная площадь; нижний индекс «О» — наблюдения; нижний индекс «Е» — предсказания модели.

Таблица 6
Оценки численности по наблюдаемым и предсказанным моделью индексам уловов размерно-половых групп для валидационного набора данных, млн экз.

Table 6

Estimates of the snow crab abundance based on observed and modeled indices of size-sex groups for the validation dataset, 10⁶ ind.

Год	N _{St}	S	CM _O	CM _E	CJ _O	CJ _E	F _O	F _E
1989	139	100,61	2,58	0,84	77,86	77,95	33,36	31,64
1996	39	93,15	0,03	0,97	763,20	696,84	142,70	203,50
1998	59	96,39	1,38	4,01	77,32	74,49	53,08	40,68
1999	135	133,54	4,60	3,00	851,14	781,57	142,54	213,32
2001	323	192,60	19,21	19,60	926,22	1063,34	514,81	374,27
2005	440	174,36	4,22	8,64	350,57	441,99	168,26	129,60

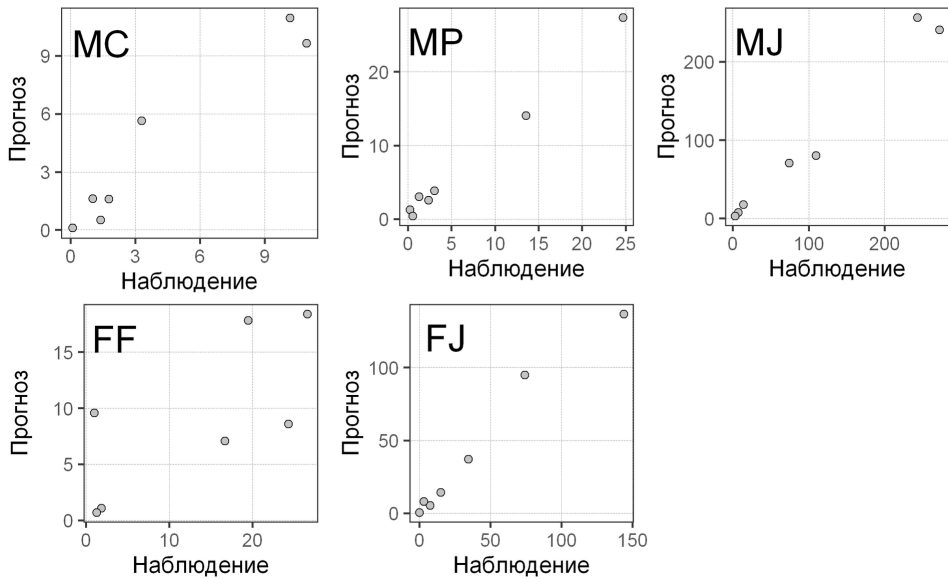


Рис. 8. Сравнение численности, оцененной по наблюдаемым и предсказанным моделью индексам уловов размерно-половых групп, для обучающего набора данных

Fig. 8. Comparison of the snow crab abundances estimations based on observed and modeled indices of size-sex groups catch for the training dataset

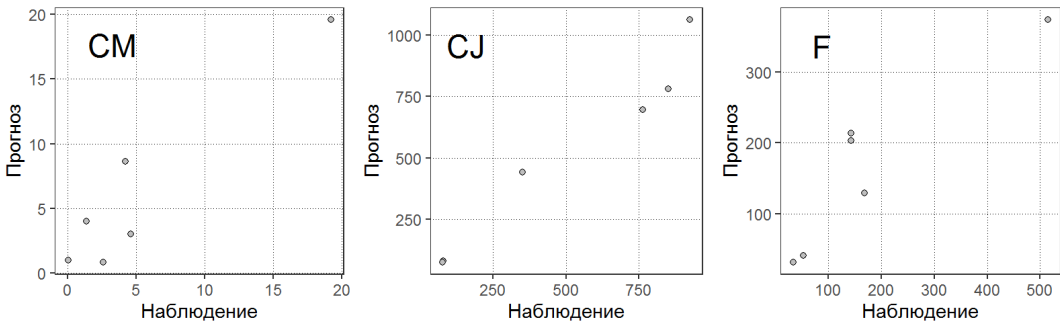


Рис. 9. Сравнение численности, оцененной по наблюдаемым и предсказанным моделью индексам уловов размерно-половых групп, для валидационного набора данных

Fig. 9. Comparison of the snow crab abundances estimations based on observed and modeled indices of size-sex groups catch for the validation dataset

в ряде случаев могут происходить значительные расхождения. Степень расхождения наблюдения и прогноза показывает связь с общей численностью группы, а также обследованной площадью и степенью охвата района обитания. Для высокой численности отмечается практически полное совпадение, в то время как в области малой численности может быть расхождение наблюдения и прогноза в 2–3 раза. Для наименьшей оценки численности промысловых самцов (1996 г.) расхождение составило 32 раза. Кроме того, довольно значительные расхождения наблюдаются для половозрелых самок.

Интересно отметить, что оценки численности предрекрутов получились довольно точными. Мы не считаем расхождения в области низких численностей критичными для оценки и прогнозирования запаса с использованием модели. Это искажение вряд ли будет иметь большее значение, чем ошибка наблюдения в принципе. Кроме того, при низких значениях плотностей скоплений крабов индекс численности, полученный с помощью трала, также будет иметь значительную ошибку.

Заключение

Полученный результат имеет как теоретическое, так и практическое значение. С одной стороны, достаточно надежно оценены связи между распределением различных групп крабов, что может позволить сделать нетривиальные заключения об их биологии при соответствующей интерпретации. Метод может быть использован для моделирования связи условий обитания крабов и, вероятно, других организмов с ростом и переходом на различные стадии жизненного цикла. С другой стороны, применение описанного метода позволит довольно точно оценить численность и биомассу при условии достаточного охвата района обитания.

С практической точки зрения представленная работа позволила получить метод заполнения пропусков в данных о размерно-половом составе и определить границы его применимости. Метод будет демонстрировать существенные искажения при недостаточном охвате района обитания и при малой численности.

Заявленную нами цель, а именно восстановление абсолютной численности индексов размерно-половых групп крабов, считаем выполненной. Отмеченные нами ограничения метода побуждают к дальнейшему его совершенствованию. Прежде всего необходимо искать дополнительные подходы к конструированию предикторов и экспериментировать со структурой самой модели. Вместе с тем примененный подход может быть уже сейчас приложен и к другим единицам запаса донных гидробионтов.

Резумируя, необходимо подчеркнуть, что никакая, даже самая совершенная, модель не заменит добросовестного и регулярного сбора материала в ходе экспедиционных исследований. Именно полевые и экспедиционные работы всегда были и навсегда останутся краеугольным камнем в рациональной эксплуатации водных биологических ресурсов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам ТИНРО, ВНИРО и его филиалов, на протяжении десятилетий добросовестно собиравших материалы в процессе научно-исследовательских работ и наблюдений на промысле. Мы глубоко признательны начальнику отдела промысловой статистики и баз данных Н.Н. Герасимову за его титанический труд, связанный с ведением баз данных ТИНРО.

The authors are heartily grateful to their colleagues in TINRO and other branches of VNIRO, who for decades conscientiously collected the materials on snow crab in research surveys and aboard fishing vessels, and particularly thankful to N.N. Gerasimov, head of the Fishery Statistics and Databases department, for his titanic labour in maintaining the databases of the Pacific branch of VNIRO (TINRO).

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

All applicable international, national and/or institutional and ethical guidelines are implemented. The authors declare that they have no conflict of interest.

Список литературы

Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. Географическая информационная система «Картмастер» // Рыб. хоз-во. — 2007. — № 1. — С. 96–99.

Ильин О.И., Иванов П.Ю. К оценке состояния запасов краба-стригуна бэрди Камчатско-Курильской подзоны // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2018. — Вып. 50. — С. 27–33. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.50.27-33.

Ильин О.И., Иванов П.Ю. Об одном модельном подходе к оценке состояния запасов камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* западнокамчатского шельфа // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 38–47. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-38-47.

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.

Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков Р.Г. Некоторые результаты бонитировки бентоса в российских водах дальневосточных морей: состав и количественное распределение (Охотское море) // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 310–337.

Надточий В.А., Колпаков Н.В. Макрозообентос Олюторского залива (Берингово море) четверть века спустя: состав, распределение, сообщества // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 161–171. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-161-171.

Надточий В.А., Колпаков Н.В., Корнейчук И.А. Распределение таксонов макрозообентоса — потенциальных индикаторов уязвимых морских экосистем в западной части Берингова моря. 2. Чукотский и корякский районы // Изв. ТИНРО. — 2017а. — Т. 190. — С. 177–195. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-177-195.

Надточий В.А., Колпаков Н.В., Корнейчук И.А. Распределение таксонов макрозообентоса — потенциальных индикаторов уязвимых морских экосистем в западной части Берингова моря. 1. Анадырский район // Изв. ТИНРО. — 2017б. — Т. 189. — С. 156–170. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-189-156-170.

Поляков А.В. Программа построения карт распределения запаса и планирования съемки. — М. : ВНИРО, 1995. — 46 с.

Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей / сост. В.Е. Родин, А.Г. Слизкин, В.И. Мясоходов и др. — Владивосток : ТИНРО, 1979. — 59 с.

Слизкин А.Г., Сафронов С.Г. Промысловые крабы прикамчатских вод : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Северная Пацифика, 2000. — 180 с.

Федотов П.А., Черниенко И.С. Динамика численности синего краба (*Paralithodes platypus* Brandt, 1849) в северо-западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 332–342. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-332-342. EDN: DAYGOT.

Черниенко Э.П., Черниенко И.С. Информационное сопровождение промысла японской скумбрии *Scomber japonicus* в тихоокеанских водах Российской Федерации // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — С. 390–399. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-390-399.

Assis J., Tyberghein L., Bosch S. et al. Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling // Global Ecol Biogeogr. — 2018. — Vol. 27, Iss. 3. — P. 277–284. DOI: 10.1111/geb.12693.

Breiman L. Random forests // Mach. Learn. — 2001. — Vol. 45, Iss. 1. — P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

Bridle J.S. Probabilistic Interpretation of Feedforward Classification Network Outputs, with Relationships to Statistical Pattern Recognition // Neurocomputing. — 1990. — Vol. 68. — P. 227–236.

Fukushima K. Visual Feature Extraction by a Multilayered Network of Analog Threshold Elements // IEEE Trans. Syst. Sci. Cyber. — 1969. — Vol. 5, № 4. — P. 322–333. DOI: 10.1109/TSSC.1969.300225.

Harrington P. Machine Learning in Action. — N.Y. : Manning, 2012. — 384 p.

Kulik V.V., Prants S.V., Uleysky M.Yu., Budyansky M.V. Lagrangian characteristics in the western North Pacific help to explain variability in Pacific saury fishery // Fish. Res. — 2022. — Vol. 252. — 106361. DOI: 10.1016/j.fishres.2022.106361.

Lee S., Wolberg G., Shin S.Y. Scattered data interpolation with multilevel B-splines // IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics. — 1997. — Vol. 3, № 3. — P. 228–244. DOI: 10.1109/2945.620490.

Müller A.C., Guido S. Introduction to machine learning with Python: a guide for data scientists. 1st edition. — Sebastopol, CA : O'Reilly Media, Inc, 2016. — 376 p.

Murtagh F. Multilayer perceptrons for classification and regression // Neurocomputing. — 1991. — Vol. 2, № 5–6. — P. 183–197. DOI: 10.1016/0925-2312(91)90023-5.

Rodriguez-Casal A. Set estimation under convexity type assumptions // *Annales de l'Institut Henri Poincaré (B) Probability and Statistics*. — 2007. — Vol. 43, № 6. — P. 763–774. DOI: 10.1016/j.anihpb.2006.11.001.

Tyberghein L., Verbruggen H., Pauly K. et al. Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modelling // *Global Ecology and Biogeography*. — 2012. — Vol. 21, № 2. — P. 272–281. DOI: 10.1111/J.1466-8238.2011.00656.X.

References

Bizikov, V.A., Goncharov, S.M., and Polyakov, A.V., The geographical informational system CardMaster, *Rybn. Khoz.*, 2007, no. 1, pp. 96–99.

Ilyin, O.I. and Ivanov, P.Yu., To the stock abundance assessment of Tanner crab in the Kamchatka-Kurile subzone, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 50, pp. 27–33. doi 10.15853/2072-8212.2018.50.27-33

Ilyin, O.I. and Ivanov, P.Yu., On one model approach to stock assessment for red king crab *Paralithodes camtschaticus* on the shelf of West Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 38–47. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-38-47

Kulik, V.V. and 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, chislennosti 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-Tsent, 2014.

Nadtochy, V.A., Budnikova, L.L., and Bezrukov, R.G., Some results of benthos valuation in Russian waters of the Far Eastern Seas: composition and quantitative distribution (Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 149, pp. 310–337.

Nadtochy, V.A., and Kolpakov, N.V., Macrozoobenthos of the Olyutorsky Bay (Bering Sea) a quarter of century later: composition, distribution, communities, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 161–171. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-161-171

Nadtochy, V.A., Kolpakov, N.V., and Korneichuk, I.A., Distribution of macrozoobenthic taxa — potential indicators of vulnerable marine ecosystems in the western part of Bering Sea. 2. Chukotka and Koryak districts, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 177–195. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-177-195

Nadtochy, V.A., Kolpakov, N.V., and Korneichuk, I.A., Distribution of macrozoobenthic taxa — potential indicators of vulnerable marine ecosystems in the western part of Bering Sea. 1. Anadyr Bay area, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 189, pp. 156–170.

Polyakov, A.V., *Programma postroyeniya kart raspredeleniya zapasa i planirovaniya s'yemki* (The program for the construction of stock distribution maps and survey planning), Moscow: VNIRO, 1995.

Rodin, V.E., Slizkin, A.G., Myasoedov, V.I., Barsukov, V.N., Miroshnikov, V.V., Zgurovskii, K.A., Kanarskii, O.A., and Fedoseev, V.Ya., *Rukovodstvo po izucheniyu desyatnogikh rakoobraznykh Decapoda dal'nevostochnykh morei* (Guide to the Study of Decapods Crustaceans, Decapoda, in Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO, 1979.

Slizkin, A.G. and Safronov, S.G., *Promyslovye kraby prikamchatskikh vod* (Commercial Crabs of Kamchatkan Coastal Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: Severnaya Patsifika, 2000.

Fedotov, P.A. and Chernienko, I.S., The Population Dynamics of the Blue Crab (*Paralithodes platypus* Brandt, 1849) in the Northwestern Bering Sea, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2022, vol. 48, no. 7, pp. 671–677. doi 10.1134/S1063074022070069

Chernienko, E.P. and Chernienko, I.S., Information support for chub mackerel *Scomber japonicus* fishery in the Pacific waters of the Russian Federation, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 390–399. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-390-399

Assis, J., Tyberghein, L., Bosch, S., Verbruggen, H., Serrao, E.A., and Clerck, O., Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modeling, *Global Ecol Biogeogr.*, 2018, vol. 27, no. 3, pp. 277–284. doi 10.1111/geb.12693

Breiman, L., Random forests, *Mach. Learn.*, 2001, vol. 45, no. 1, pp. 5–32. doi 10.1023/A:1010933404324

Bridle, J.S., Probabilistic Interpretation of Feedforward Classification Network Outputs, with Relationships to Statistical Pattern Recognition, *Neurocomputing*, 1990, vol. 68, pp. 227–236.

Fukushima, K., Visual Feature Extraction by a Multilayered Network of Analog Threshold Elements, *IEEE Trans. Syst. Sci. Cyber.*, 1969, vol. 5, no. 4, pp. 322–333. doi 10.1109/TSSC.1969.300225

Harrington, P., *Machine Learning in Action*, New York: Manning, 2012.

Kulik, V.V., Prants, S.V., Uleysky, M.Yu., and Budyansky, M.V., Lagrangian characteristics in the western North Pacific help to explain variability in Pacific saury fishery, *Fish. Res.*, 2022, vol. 252, 106361. doi 10.1016/j.fishres.2022.106361

Lee, S., Wolberg, G., and Shin, S.Y., Scattered data interpolation with multilevel B-splines, *IEEE Trans. Visual. Comput. Graphics.*, 1997, vol. 3, no. 3, pp. 228–244. doi 10.1109/2945.620490

Müller, A.C. and Guido, S., *Introduction to machine learning with Python: a guide for data scientists*, Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc, 2016.

Murtagh, F., Multilayer perceptrons for classification and regression, *Neurocomputing*, 1991, vol. 2, no. 5–6, pp. 183–197. doi 10.1016/0925-2312(91)90023-5

Rodriguez-Casal, A., Set estimation under convexity type assumptions, *Annales de l'Institut Henri Poincaré (B) Probability and Statistics*, 2007, vol. 43, no. 6, pp. 763–774. doi 10.1016/j.anihpb.2006.11.001

Tyberghien, L., Verbruggen, H., Pauly, K., Troupin, C., Mineur, F., and De Clerck, O., Bio-ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modeling, *Global Ecology and Biogeography*, 2012, vol. 21, no. 2, pp. 272–281. doi 10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x

The GEBCO_2023 Grid — a continuous terrain model of the global oceans and land, NERC EDS British Oceanographic Data Centre NOC. <https://doi.org/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b>.

Kingma, D.P., Ba, J., *Adam: A Method for Stochastic Optimization*. <http://arxiv.org/abs/1412.6980>. Cited July 30, 2024.

data.table: Extension of `data.frame`. <https://CRAN.R-project.org/package=data.table>. Cited July 30, 2024.

Vihtakari, M., *ggOceanMaps: Plot Data on Oceanographic Maps using «ggplot2»*. <https://CRAN.R-project.org/package=ggOceanMaps>. Cited July 30, 2024.

Baston, D., *exactextractr: Fast Extraction from Raster Datasets using Polygons*. <https://CRAN.R-project.org/package=exactextractr>. Cited July 30, 2024.

Tensors and Neural Networks with «GPU» Acceleration. <https://CRAN.R-project.org/package=torch>. Cited July 30, 2024.

Finley, A., Banerjee, S., Hjelle, Ø., *MBA: Multilevel B-Spline Approximation*. <https://CRAN.R-project.org/package=MBA>. Cited July 30, 2024.

Pateiro-Lopez, B., Rodriguez-Casal, A., *alphahull: Generalization of the convex hull of a sample of points in the plane*. <https://github.com/beatrizpateiro/alphahull>. Cited July 30, 2024.

Pebesma, E., *sf: Simple Features for R*. <https://CRAN.R-project.org/package=sf>. Cited July 30, 2024.

Hijmans, R.J., *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>. Cited July 30, 2024.

Hijmans, R.J., *geosphere: Spherical Trigonometry*. <https://CRAN.R-project.org/package=geosphere>. Cited July 30, 2024.

Поступила в редакцию 12.09.2024 г.

После доработки 30.10.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 12.09.2024; approved after reviewing 30.10.2024; accepted for publication 10.12.2024

Редакционная коллегия и редакция журнала «Известия ТИНРО» выражают признательность и благодарность рецензентам, которые в 2024 г. помогли отобрать лучшие рукописи для публикации. Мы ценим эту поддержку и надеемся на дальнейшее сотрудничество.

С нами работали:

Абдуллин Шамиль Раисович, д-р биол. наук, ФНЦ биоразнообразия ДВО РАН
Акулин Валерий Николаевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Алдунина Юлия Казимировна, канд. биол. наук, Калининградский ГТУ
Алексанин Анатолий Иванович, д-р техн. наук, ИАПУ
Алехнович Анатолий Васильевич, канд. биол. наук, НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам
Антонов Николай Парамонович, д-р биол. наук, ВНИРО
Астафьев Сергей Эдуардович, канд. техн. наук, ВНИРО
Астафьева Светлана Сергеевна, канд. биол. наук, Астраханский ГУ
Барабанщиков Евгений Иванович, канд. биол. наук, ТИНРО
Бегун Андрей Аркадьевич, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Болтнев Александр Иванович, д-р биол. наук, ВНИРО
Борисов Ростислав Русланович, д-р биол. наук, ВНИРО
Буяновский Алексей Ильич, д-р биол. наук, ВНИРО
Василевская Любовь Николаевна, канд. геогр. наук, ДВФУ
Васильев Дмитрий Александрович, д-р техн. наук, ВНИРО
Волвенко Игорь Валентинович, д-р биол. наук, ИО РАН
Волков Анатолий Федорович, д-р биол. наук, ТИНРО
Воскобойников Григорий Михайлович, д-р биол. наук, ММБИ
Галанин Дмитрий Александрович, канд. биол. наук, СахНИРО
Галышева Юлия Александровна, канд. биол. наук, ДВФУ
Датский Андрей Валерьевич, канд. биол. наук, ВНИРО
Дуленина Полина Александровна, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Дулупова Елена Петровна, д-р биол. наук, ТИНРО
Евсеева Наталья Викторовна, канд. биол. наук, ВНИРО
Жариков Василий Валерьевич, канд. биол. наук, Тихоокеанский институт географии
Жукова Кристина Алексеевна, канд. биол. наук, МГУ им. Ломоносова, Университет
МГУ-ППИ в Шэньчжэне
Запорожец Олег Михайлович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Звягинцев Александр Юрьевич, д-р биол. наук, ИБМ ДВО РАН
Зеленников Олег Владимирович, д-р биол. наук, СПб университет
Иванов Олег Альбертович, д-р биол. наук, ТИНРО
Ильин Олег Игоревич, канд. ф.-м. наук, КамчатНИРО
Каев Александр Михайлович, д-р биол. наук, СахНИРО
Кавун Виктор Яковлевич, канд. биол. наук, ИБМ ДВО РАН
Канзепарова Альбина Назиповна, канд. биол. наук, ВНИРО
Карпенко Владимир Илларионович, д-р биол. наук, Камчатский ГТУ
Касьянов Сергей Павлович, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской
биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Каурова Злата Геннадьевна, канд. биол. наук, СПб ГУВМ
Кириллова Елизавета Алексеевна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Кияшко Сергей Ильич, канд. биол. наук, ИБМ ДВО РАН
Коломейцев Владимир Викторович, КамчатНИРО
Колпаков Николай Викторович, д-р биол. наук, СахНИРО
Костоусов Владимир Геннадьевич, канд. биол. наук, Институт рыбного хозяйства НАН
Беларуси по животноводству
Коцюк Денис Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Кровнин Андрей Сергеевич, д-р геогр. наук, ВНИРО
Кулик Владимир Владимирович, канд. биол. наук, ТИНРО

Лабай Вячеслав Степанович, д-р биол. наук, СахНИРО
Лепская Екатерина Викторовна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Литвиненко Анна Владимировна, канд. биол. наук, СахГУ
Литовка Денис Игоревич, канд. биол. наук, Чукотское правительство
Лутаенко Константин Анатольевич, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Лучин Владимир Александрович, д-р геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Мазникова Ольга Александровна, канд. биол. наук, ВНИРО
Макоедов Анатолий Николаевич, д-р биол. наук, Донской государственный технический университет
Малахова Людмила Васильевна, канд. биол. наук, ИнБЮМ РАН
Марченко Сергей Леонидович, канд. биол. наук, ВНИРО
Матвеев Владимир Иванович, д-р геогр. наук, ТИНРО
Матросова Инга Владимировна, канд. биол. наук, Дальрыбвтуз
Меркушева Марина Вячеславовна, канд. эконом. наук, Керченский гос. мор. технол. ун-т
Мощенко Александр Владимирович, д-р геогр. наук, ДВНИГМИ
Найденко Светлана Васильевна, д-р биол. наук, ТИНРО
Нигматуллин Чингиз Мухаметович, д-р биол. наук, АтлантНИРО
Новикова Ольга Владимировна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Остроумова Ирина Николаевна, д-р биол. наук, ГосНИОРХ
Полохин Олег Викторович, канд. биол. наук, ДВО РАН
Попков Александр Анатольевич, ТИНРО
Радченко Владимир Иванович, канд. биол. наук, НРАФС, ТИНРО
Русяев Сергей Михайлович, канд. биол. наук, МагаданНИРО
Савельев Павел Александрович, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Савин Андрей Борисович, канд. биол. наук, ТИНРО
Саманян Надежда Павловна, канд. биол. наук, Кф ТИГ ДВО РАН
Светашев Василий Иванович, д-р биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Свиридов Владимир Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Селин Николай Иванович, канд. биол. наук, Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
Симоконь Михаил Васильевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Слизкин Алексей Гаврилович, канд. биол. наук, ТИНРО
Смирнов Андрей Анатольевич, д-р биол. наук, МагаданНИРО
Соколенко Дмитрий Анатольевич, ТИНРО
Соловьева Мария Андреевна, канд. биол. наук, ИПЭЭ РАН
Сухин Игорь Юрьевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Токранов Алексей Михайлович, д-р биол. наук, Кф ТИГ ДВО РАН
Трухин Алексей Михайлович, канд. биол. наук, ТОИ ДВО РАН
Турабжанова Ирина Сергеевна, канд. биол. наук, ТИНРО
Хованская Лариса Леонидовна, канд. биол. наук, МагаданНИРО
Чернецов Виктор Владимирович, канд. техн. наук, ООО «Фиш Тайм»
Черниенко Игорь Сергеевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Чернова Елена Николаевна, канд. биол. наук, ДВФУ, ТИГ ДВО РАН
Шамионова Нурия Шакировна, д-р биол. наук, Институт зоологии НАНА (Азербайджан)
Шевляков Евгений Александрович, канд. биол. наук, ТИНРО
Шелехов Владимир Анатольевич, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Шунтов Вячеслав Петрович, д-р биол. наук, ТИНРО