



ISSN 1606-9919

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

Год основания 1928



IZVESTIYA TINRO

2025. Том 205, вып. 1

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

Импа́кт-фа́ктор РИНЦ: 0,843

Периодичность: 4 раза в год

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ 3

Ельников А.Н., Живоглядов А.А., Зелеников О.В. Результаты учета численности молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в реке Малая Хузи (остров Сахалин) в 2022–2024 годах 3

Новикова О.В. Половой диморфизм в постэмбриональном развитии наваги *Eleginus gracilis*, минтая *Gadus chalcogrammus* и трески *Gadus macrocephalus* ... 17

Зелеников О.В., Семенов Р.А. Новые сведения об условиях обитания и состоянии популяции сахалинского тайменя *Parahucho perryi* в озере Лебедином (о. Итуруп) ... 39

Барабанщиков Е.И., Колпаков Е.В. Первый случай поимки большой корифены *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) во внутренних эстуарных водах России ... 54

Трухин А.М. Нагульное питание лахтакса *Erignathus barbatus* в условиях существенного распреснения среды обитания 62

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ
ОБЪЕКТОВ 73

Белоненко Т.В., Файман П.А., Лучин В.А. Типовые изменения океанографических полей в холодном промежуточном слое и их влияние на динамику вод Охотского моря 73

Тищенко П.Я., Тищенко П.П., Васильева Л.Е., Еловская О.А., Зверев С.А., Кукла С.П., Сергеев А.Ф., Федорец Ю.В. Характеристика продуктивности залива Академии (Охотское море) 91

Власенко Р.В., Соколенко Д.А. Особенности распределения мегабентоса бухты Алексеева (Амурский залив, Японское море) 111

Анисимова Л.А., Горин С.Л., Маркевич Г.Н. Кроноцкое озеро (п-ов Камчатка) — уникальная лаборатория эволюции: гидрологическая изученность водоема и основные черты его гидрологического режима ... 129

АКВАКУЛЬТУРА 150

Манзаева И.С., Зелеников О.В. Характеристика молоди кеты *Oncorhynchus keta* и горбуши *O. gorbuscha* при заводском воспроизводстве в бассейне реки Маргаритовка (центральное Приморье) 150

Жарников В.С. Влияние плотности посадки на результаты содержания в искусственных условиях австралийского красноклешневого рака с иммобилизованными клешнями 167

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 179

Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.А., Шевцов В.И. Методические рекомендации по измерению подводного шума судов научно-промыслового назначения 179

СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ 195

Анатолий Федорович Волков (9.12.1938–27.01.2025) .. 195

Валерий Николаевич Акулин (21.08.1938–21.02.2025) .. 197

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES 3

Elnikov A.N., Zhivoglyadov A.A., Zelennikov O.V. Results of the count of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Malaya Khuzi River (Sakhalin Island) in 2022–2024 3

Novikova O.V. Sexual dimorphism in postembryonic development of saffron cod *Eleginus gracilis*, walleye pollock *Gadus chalcogrammus* and pacific cod *Gadus macrocephalus* ... 17

Zelennikov O.V., Semenov R.A. New data on habitat conditions and the state of japanese huchen *Parahucho perryi* population in Lake Lebedinoe (Iturup Island) 39

Barabanshchikov E.I., Kolpakov E.V. The first case of capture of common dolphinfish *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) in the inner estuary waters of Russia ... 54

Trukhin A.M. Feeding of bearded seal *Erignathus barbatus* under conditions of significant desalination in the habitat 62

ENVIRONMENTS OF FISHERIES
RESOURCES 73

Belonenko T.V., Fayman P.A., Luchin V.A. Typical variability of oceanographic fields in the cold intermediate layer and its influence on the water dynamics in the Okhotsk Sea 73

Tishchenko P.Ya., Tishchenko P.P., Vasilyeva L.E., Elovskaya O.A., Zverev S.A., Kukla S.P., Sergeev A.F., Fedorets Yu.V. Characteristics of productivity for the Academy Bay (Okhotsk Sea) 91

Vlasenko R.V., Sokolenko D.A. Patterns of megabenthos distribution in the Alekseev Bay (Amur Bay, Japan Sea) 111

Anisimova L.A., Gorin S.L., Markevich G.N. Kronotskoe Lake (Kamchatka Peninsula) — a unique laboratory of evolution: hydrological studies on the reservoir and the main features of its hydrological regime 129

AQUACULTURE 150

Manzaeva I.S., Zelennikov O.V. Characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* and pink salmon *O. gorbuscha* in hatchery reproduction in the Margari-tovka River basin (central Primorye) 150

Zharnikov V.S. Effect of planting density on the results of growing in artificial conditions for Australian red-clawed crayfish with immobilized claws 167

METHODS OF INVESTIGATIONS 179

Kuznetsov M.Yu., Polyanichko V.I., Ubarchuk I.A., Shevtsov V.I. Methodic recommendations for measuring underwater noise of research and commercial vessels 179

SCROLLS OF MEMORY 195

Anatoly Fedorovich Volkov (9.12.1938–27.01.2025) ... 195

Valery Nikolaevich Akulin (21.08.1938–21.02.2025) ... 197

Учредитель:

ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

Издатель:

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ 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. Байталоу, 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; Ryckaczewski 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 10.03.2025 г. Формат 70х108/16.
Печ. л. 12,25. Уч.-изд. л. 11,4. Тираж 50 экз.
Заказ № 2. Цена 660 р.
Выход тома в свет 25.03.2025 г.
Отпечатано в издательстве ТИНРО
690091, Владивосток, ул. Западная, 10

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 597.552.511–152.6(282.257.6)**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-3-16****EDN: XUKHPM****РЕЗУЛЬТАТЫ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ МОЛОДИ ГОРБУШИ
ONCORHYNCHUS GORBUSCHA В РЕКЕ МАЛАЯ ХУЗИ
(ОСТРОВ САХАЛИН) В 2022–2024 ГОДАХ****А.Н. Ельников¹, А.А. Живоглядов², О.В. Зеленников^{3*}**¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,

105187, г. Москва, Окружной проезд, 19;

² Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),

693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196;

³ Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Аннотация. В мае-июле 2022, 2023 и 2024 гг. исследовали покатную миграцию молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в р. Малая Хузи (северо-восток о. Сахалин). Установили, что скат молоди в прибрежье в течение трех лет качественно различался в плане как сроков миграции, так и численности скатившихся мальков. В 2022 г. в пересчете на 1 мин ската за весь сезон учли только 468 мальков горбуши, а их массовая миграция произошла с 12 по 18 июня с пиком 15 июня. В 2023 г. число учтенных мальков было значительно больше — 3545, а их массовый скат наблюдали раньше — с 6 по 10 июня с пиком 8 июня. В 2024 г. в ходе работы учли 9467 мальков, при этом массовая миграция была самой ранней и более протяженной — с 26 мая по 7 июня, а пик ската пришелся на 1 июня, что на неделю раньше, чем в 2023 г. и на две недели раньше, чем в 2022 г. В 2023 и 2024 гг. массовая миграция молоди совпала с присутствием у берега плотных ледовых полей и температурой воды в прибрежье около 0 °С. Данные по распределению улова горбуши вдоль южной части побережья северо-востока Сахалина в 2024 г. позволяют заключить, что р. Малая Хузи, по крайней мере для поколения молоди 2022–2023 гг., не являлась представительной в масштабах этого региона.

Ключевые слова: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, остров Сахалин, скат молоди, река Малая Хузи

Для цитирования: Ельников А.Н., Живоглядов А.А., Зеленников О.В. Результаты учета численности молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в реке Малая Хузи (остров Сахалин) в 2022–2024 годах // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 3–16. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-3-16. EDN: XUKHPM.

* Ельников Андрей Николаевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, elnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-5511-2382; Живоглядов Андрей Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, tauroskey@mail.ru, ORCID 0000-0001-9955-6903; Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419.

© Ельников А.Н., Живоглядов А.А., Зеленников О.В., 2025

Original article

Results of the count of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Malaya Khuzi River (Sakhalin Island) in 2022–2024

Andrey N. Elnikov*, Andrey A. Zhivoglyadov, Oleg V. Zelennikov*****

* Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,

19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),

196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

*** St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

* Ph.D., senior researcher, elnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-5511-2382

** Ph.D., leading researcher, taurosiff@mail.ru, ORCID 0000-0001-9955-6903

*** D.Biol., assistant professor, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419

Abstract. Migration of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Malaya Khuzi River (northeastern Sakhalin Island) was studied in May–July of 2022, 2023 and 2024. In these three years, they migrated downstream in different timing and in different number. In 2022, only 468 ind./min. on average migrated in the period of mass migration on June 12–18 with a peak on June 15. In 2023, the average number of counted fry was significantly higher — 3545 ind./min., and the mass migration occurred earlier — on June 6–10 with a peak on June 8. In 2024, on average 9467 ind./min. were counted in the extended period of mass migration from May 26 to June 7 with a peak on June 1. In 2023 and 2024, dense sea ice was observed near the seashore and water temperature in the coastal area was about 0 °C during the mass migration of juveniles. Spatial distribution of commercial pink salmon catches along the southern part of the northeastern Sakhalin coast is analyzed and it is concluded that their downstream migration in the Malaya Khuzi River is not representative for the entire area, at least for the year-class of 2022 migrated in 2023.

Keywords: pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, Sakhalin Island, downstream migration, Malaya Khuzi River

For citation: Elnikov A.N., Zhivoglyadov A.A., Zelennikov O.V. Results of the count of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Malaya Khuzi River (Sakhalin Island) in 2022–2024, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 3–16. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-3-16. EDN: XUKHPM.

Введение

К настоящему времени наблюдается существенное изменение структуры улова горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* у о. Сахалин. Если 10–20 лет назад наибольший ее вылов приходился на юго-восточную часть и (или) зал. Анива, то в последующие годы он значительно увеличился и в северо-восточной части острова [Живоглядов и др., 2020]. Если же учесть исключительно нерезультативный промысел горбуши у о. Итуруп в 2023 [Макоедов и др., 2024] и в 2024 гг., то в северо-восточной части о. Сахалин вылавливают значительную часть горбуши уже в масштабах всей Сахалинской области. В свою очередь, северо-восточное побережье в плане лососевого промысла специалисты подразделяют на северную и южную части [Каев, 2019], и уже в пределах побережья максимум вылова приходится именно на южную часть. Например, в 2024 г. у северо-восточного побережья улов составил 9523 т горбуши. При этом в северной части в границах Охинского и Ногликского районов поймали 2596 т, а в южной части в границах Смирныховского и Поронайского районов — 6927 т.

В связи с этим особая роль отводится контролю численности поклатной молоди горбуши естественного воспроизводства, который в южной части северо-восточного побережья осуществляется на единственном водотоке — р. Малая Хузи. Поскольку в современный период значительная часть горбуши добывается именно в южной части северо-восточного побережья, то ошибка в оценке численности скатившейся молоди в единственном контрольном водотоке этого побережья объективно станет весьма заметной при прогнозировании вылова горбуши в масштабах всей Сахалинской области.

Учет покатной молоди горбуши в р. Малая Хузи ведется сравнительно недавно — с 2014 г. Он был инициирован руководителями частных рыбопромысловых компаний и первоначально проводился сотрудниками Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова [Павлов и др., 2015; Кириллов и др., 2018; Кириллова и др., 2020]. В настоящее время учет численности молоди горбуши проводят сотрудники ВНИРО. И обстоятельства сложились так, что в 2024 г. были получены данные и выявлены факты, которые качественно отличались как от данных, полученных ранее, так и от известных ранее фактов. С одной стороны, эти новые сведения могут объяснить, каким образом крайне незначительному числу учтенных мальков соответствовал несопоставимо большой улов горбуши через год [Каев, Самарский, 2024], с другой — позволят пополнить фундаментальные знания о закономерностях формирования стад горбуши.

С учетом всех перечисленных обстоятельств цель нашей работы — обобщить данные по скату молоди горбуши в р. Малая Хузи в течение трех лет и проанализировать их в связи с дискуссией о качестве проведения учетных работ.

Материалы и методы

Река Малая Хузи протекает по территории Смирныховского района Сахалинской области; ее длина составляет 32 км, а площадь водосборного бассейна 129 км²*. Из тихоокеанских лососей в реке массово нерестится горбуша, а также кета *Oncorhynchus keta* [Перечень..., 1997]**, кижуч *O. kisutch* [Павлов и др., 2015] и сима *O. masou* (собственные наблюдения).

Учет молоди горбуши в реке выполняли по методике выборочных обловов [Таранец, 1939], адаптированной к небольшим рекам Сахалинской области [Воловик, 1967; Каев, 2010, 2011]. Учетный створ на контрольной реке выбрали на расстоянии 600 м от устья на прямолинейном участке русла с каменистым дном, сложенным из среднего и мелкого галечника (рис. 1). Створ располагался вне зоны влияния приливов и отливов, а также ниже места впадения основных нерестовых притоков. Облов проводили, используя стандартную конусную ловушку с прямоугольным входным отверстием 0,5×0,5 м.



Рис. 1. Участок р. Малая Хузи, в створе которого проводили учет ската молоди (2023 г.)
Fig. 1. The section of Malaya Khuzi River where the juveniles were counted in 2023

* Государственный водный реестр РФ (по состоянию на 19.09.2012 г.). <http://www.webcitation.org/6AnM82T17>.

** Перечень нерестовых водоемов Сахалинской области. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 1997. № 7603. 42 с.

В 2022 г. работы по учету численности молоди горбуши проводили с 1 июня по 8 июля. Ширина поперечного сечения потока в створе учета составляла 22 м, максимальная глубина — 65 см. В соответствии с шириной реки на выбранном участке были определены 22 учетные позиции с интервалом 1 м (рис. 2, А). Параллельно выполняли контрольные обловы по сечению реки для определения плотности миграционного потока молоди. По итогам контрольных обловов учет численности молоди проводили: 1 июня на позиции 7 (рис. 2, А); с 4 по 8 июня на позиции 6; 12 июня — на позиции 9; с 14 по 26 июня на позиции 13; с 28 июня по 4 июля на позиции 11 и с 6 июня по 8 июля на позиции 10. Всего за весь период работ сделано 18 серий учетного лова по сечению в режиме «ночь через ночь».

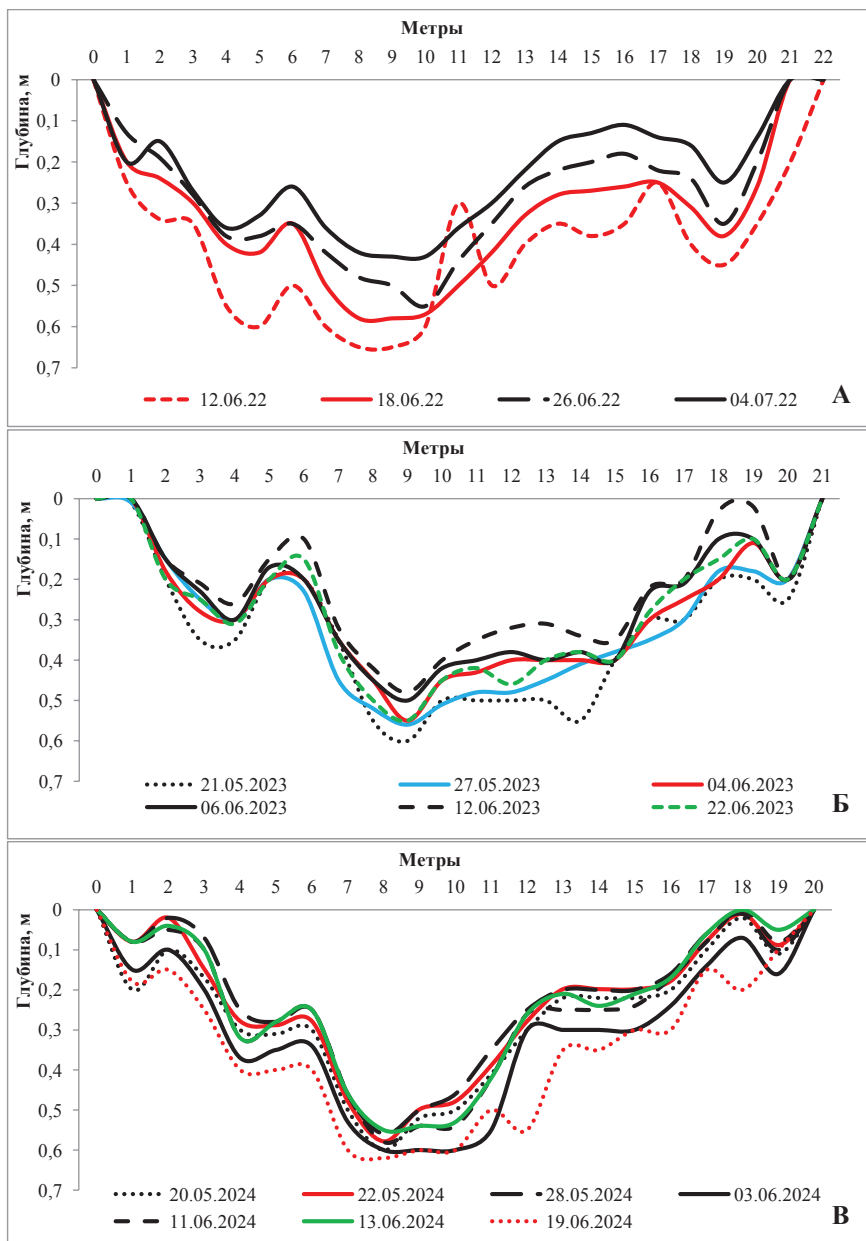


Рис. 2. Профиль р. Малая Хузи в месте проведения учетных работ в июне-июле 2022 (А), в мае-июле 2023 (Б) и 2024 (В) гг.

Fig. 2. Profile of the Malaya Khuzi River at the sites of counts in June-July 2022 (А), May-July 2023 (Б), and May-July 2024 (В)

В 2023 г. работы проводили с 17 мая по 8 июля. В этом году ширина поперечного сечения потока в створе учета составляла 21 м, а максимальная глубина — 60 см (рис. 2, Б). По итогам контрольных обловов учет численности молоди проводили: с 17 по 27 мая на позиции 8; с 29 мая по 6 июня на позиции 15; с 8 по 12 июня на позиции 10; с 14 по 22 июня на позиции 12 и с 24 июня по 8 июля на позиции 13. Всего за весь период работ выполнено 27 серий учетного лова.

В 2024 г. работы проводили с 18 мая по 8 июля. Ширина поперечного сечения потока в створе учета была 20 м (рис. 2, В), а максимальная глубина 62 см. По итогам контрольных обловов учет численности молоди проводили: с 18 по 22 мая на позиции 8, а с 24 мая по 7 июля на позиции 10. Всего за весь период работ выполнено 26 серий учетного лова.

В зависимости от численности скатывающейся молоди продолжительность экспозиции составляла от 1 до 5 мин. Для более корректного сравнения все данные пересчитывали на 1 мин.

На всем протяжении работ регистрировали изменения уровня воды в реке, проводили измерения температуры в реке и в морском побережье, отмечали ледовую обстановку на море. Пойманную молодь горбуши, кеты и всех сопутствующих видов после подсчета выпускали обратно в реку, кроме нескольких выборок молоди, взятых для проведения анализов. При проведении анализов руководствовались правилами работ с позвоночными животными; рыб предварительно усыпляли, после чего измеряли и взвешивали.

Результаты и их обсуждение

В 2022 г. начало работ (1 июня) пришлось на период завершения паводка. Уровень воды в реке в течение периода работ по 8 июля снизился практически в 3,6 раза (рис. 3, А). На протяжении учетных работ было много пасмурных дней. Вместе с тем осадков было мало, и они не оказывали существенного влияния на изменение уровня воды в реке. В период массового ската молоди штормовые явления в море наблюдали редко. Температура водного потока на протяжении периода работ практически постоянно росла. Максимум ската соответствовал температуре воды 9,4 °C (рис. 3, А).

Молодь катилась в темное время суток, наибольшие уловы отмечены преимущественно в период с 23 до 04 час. Можно полагать, что первый пик численности, очевидно, пришелся на третью декаду мая и был охвачен учетными работами лишь частично. Новое увеличение численности мигрирующей молоди началось 11 июня и достигло максимума 13–15 июня (рис. 3, А). Практически вся молодь — 99,1 % — скатилась с 1 июня по 4 июля, а 59,0 % мальков всего за 7 сут, с 12 по 18 июня. Скат молоди горбуши завершился в первой декаде июля. Всего за период работ в пересчете на 1 мин было учтено 468 мальков. Масса молоди горбуши варьировала от 103 до 293 мг и в среднем увеличивалась от начала к концу периода ската. Молодь кеты встречалась единично, в сумме 8 экз. в течение всего периода учета.

В 2023 г. паводок был выражен слабо. В период работ отмечено несколько подъемов воды, вызванных дождем (27–29 мая, 12–14 июня и 18–20 июня). Несмотря на кратковременные подъемы воды, водность в реке в период проведения работ практически все время снижалась. Уровень воды в реке с 17 мая по первую декаду июня снизился практически в 2 раза (рис. 3, Б). Среднесуточные температуры относительно плавно повышались на протяжении периода работ (рис. 3, Б).

Молодь горбуши скатывалась через учетный створ в течение всего периода наблюдений. В светлое время суток отметили скат единичных особей горбуши и только в самом начале наблюдений (17 и 19 мая). Предположительно скат в светлое время суток был связан с мутностью воды в эти дни. В дальнейшем молодь горбуши скатывалась исключительно в темное время суток. Интенсивный скат начался 23 мая (рис. 3, Б). С этого числа и по 8 июня число мигрирующих мальков в каждые последующие сутки увеличивалось. Фактически миграция молоди горбуши длилась 25 сут, с 25 мая по 18 июня, когда в море скатилось 99,3 % всей учтенной молоди. Наибольшее количе-

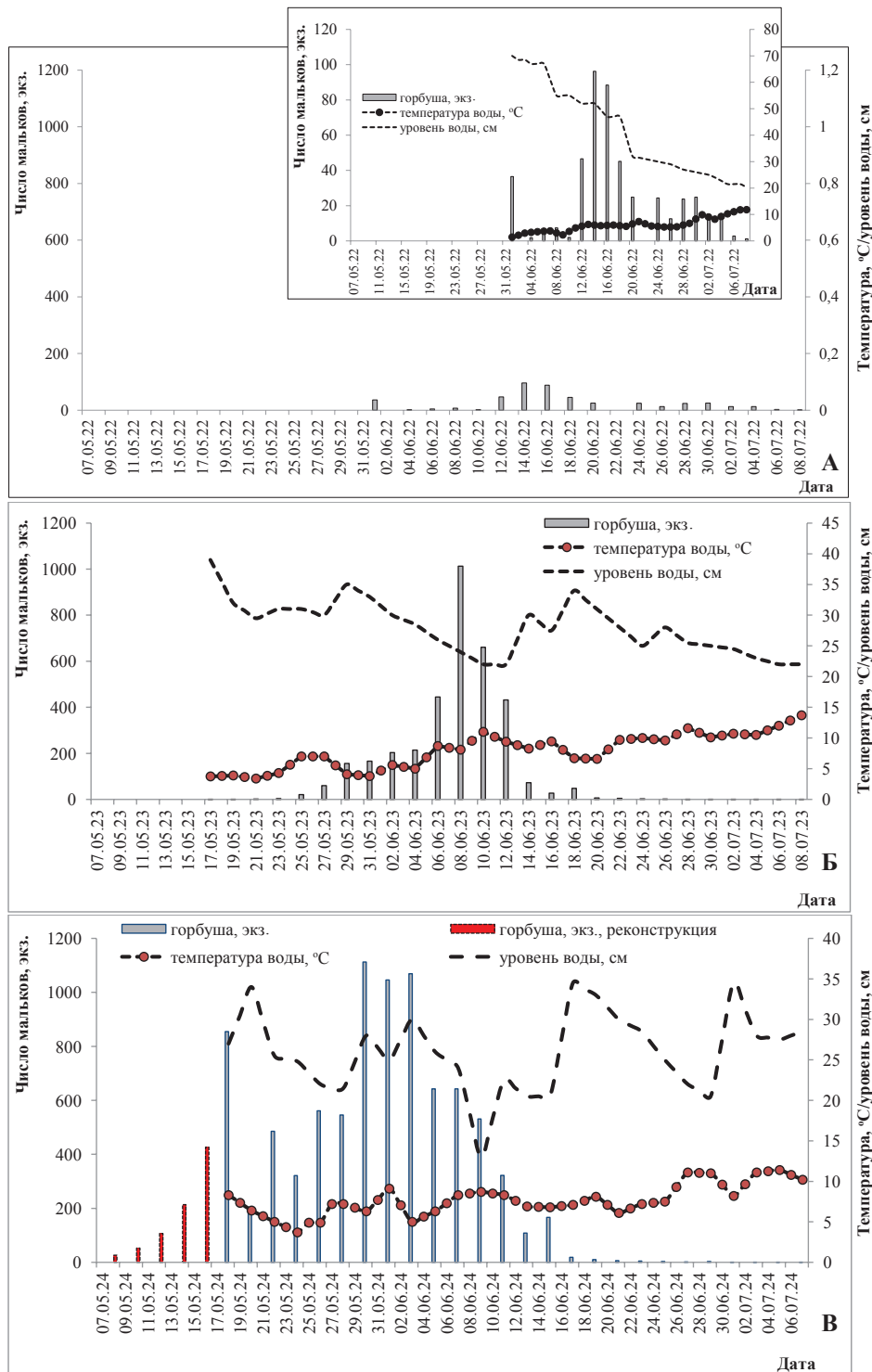


Рис. 3. Число мальков горбуши, температура и уровень воды в р. Малая Хузи в июне-июле 2022 (А), в мае-июле 2023 (Б) и мае-июле 2024 (В) гг. Поскольку число мальков, учтенных в разные годы, существенно различалось, данные для 2022 г. для удобства сравнения представлены в двух форматах (число мальков 120 и 1200 экз.)

Fig. 3. Number of juvenile pink salmon migrated downstream, water temperature and water level in the Malaya Khuzi River in June-July 2022 (А), May-July 2023 (Б), and May-July 2024 (В). The number of fry in 2022 is presented in two scales, with the ordinate ranges 0–120 and 0–1200 ind./min.

ство молоди — 59,7 % — мигрировало в море в течение 5 сут, с 6 мая по 10 июня с выраженным пиком ската 8 июня (рис. 3, Б).

Начало массового ската проходило на фоне повышения температуры до 7,0 °С. Можно увидеть, что температура воды в мае-июле последовательно повысилась с 4,0 до 14,0 °С. Кратковременные снижения температуры воды (рис. 3, Б) были обусловлены паводками. В дату, когда было зарегистрировано максимальное число покатышков, температура воды составила 8,1 °С. Всего за период работ в пересчете на 1 мин было учтено 3545 экз. молоди горбуши. Масса покатышной молоди варьировала от 70 до 180 мг, а в среднем была существенно меньше, чем в предыдущем году (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика молоди горбуши и кеты, скатывающейся с природных нерестилищ

Table 1

Characteristics of juvenile pink salmon and chum salmon migrating downstream from their natural spawning grounds

Дата	Кол-во рыб, экз.	Длина рыб, АС, мм	Длина рыб, АД, мм	Масса рыб, мг
Горбуша				
1–14.06.2022	107	34,0 (30–37)	–	159,8 (103–205)
16–18.06.2022	100	34,1 (30–37)	–	205,0 (138–293)
20–28.06.2022	111	33,4 (31–38)	–	212,2 (148–270)
01–14.06.2023	100	32,8 (29–36)	–	142,9 (100–180)
16–18.06.2023	105	33,3 (29–36)	–	126,1 (70–160)
18–19.05.2024	103	33,0 (24–38)	29,6 (22–33)	139,1 (100–220)
30.05.2024	101	33,3 (30–38)	30,0 (28–34)	160,5 (110–240)
05.06.2024	105	33,4 (30–37)	30,3 (27–33)	209,0 (100–280)
15–17.06.2024	101	33,4 (29–37)	30,4 (23–33)	160,8 (110–220)
Кета				
15–17.06.2024	109	35,1 (31–38)	31,6 (28–35)	281,9 (180–380)
27.06–03.07.2024	93	34,8 (31–46)	31,2 (27–42)	234,7 (150–650)

Помимо молоди горбуши, в уловах присутствовали и мальки кеты, которые начали попадаться уже с 21 мая, но по 12 июня встречались штучно и не каждые сутки. Однако начиная с 14 июня молодь кеты стала попадаться регулярно; максимальное число — 58 экз. за ночь — отметили 26 июня. Их общее учтенное число составило 234 экз.

Штормовые явления в прибрежье участка проведения работ были сравнительно редки, однако следует отметить подходы протяженных ледовых полей к побережью. В частности, в районе устья контрольного водотока дважды отметили практически сплошные ледовые поля — с 17 по 21 мая и с 31 мая по 8 июня, т.е. непосредственно в период пика ската молоди горбуши. Температура воды в прибрежье во время подходов льда снижалась до отрицательных значений. Нельзя исключать, что присутствие значительного по протяженности ледового пояса и отрицательные температуры воды в прибрежье могли оказать существенное негативное влияние на выживаемость скатившейся молоди.

В 2024 г. паводок, как и в предыдущем году, был выражен слабо. В период работ отмечено несколько подъемов воды, связанных с дождями (20 мая, 27 мая — 3 июня, 17 июня и 1 июля), которые проведению работ не мешали. Уровень воды с 18 мая по первую декаду июля в среднем изменился незначительно (рис. 2, В). Среднесуточная температура воды в день начала обловов 18 мая составила 10,3 °С, что было обусловлено аномальным потеплением в начальный период учетных работ, когда максимальная температура воздуха в ночной период достигала 17,7 °С.

Уже в день начала учетных работ (18 мая) отметили интенсивный скат молоди горбуши. Всего за эту ночь в ловушку в пересчете на 1 мин попало 855 мальков. Пик ночного ската пришелся на 4 часа утра, когда за 1 мин в ловушке оказалось 276 особей. Поскольку скат молоди, вероятно, спровоцированный высокой температурой воздуха

и (как следствие) воды, начался раньше, чем во все предыдущие годы, то начала миграции молоди не застали и сделали ее предположительную реконструкцию (рис. 3, В; отмечено красным цветом).

Скат молоди в 2024 г. был, во-первых, более ранним, во-вторых, более протяженным и, в-третьих, более массовым, чем в предыдущие годы. Фактически миграция молоди (с учетом возможной реконструкции) продолжалась в течение 37 сут — с 10 мая по 15 июня, когда через учетный створ скатилось 99,2 % всех учтенных мальков. Наиболее массовый скат (59,4 % учтенных мальков) продолжался 13 сут — с 26 мая по 7 июня с пиком 1 июня. Что касается массовости, то на графике (рис. 3) при одинаковом формате оси *x* хорошо видно соотношение числа учтенных мальков в разные годы, а также то, насколько больше мальков было учтено в 2024 г. Всего в 2024 г. при пересчете на 1 мин экспозиции поймали 8640, а с учетом реконструкции — 9467 мальков горбуши, что было в 2,7 раза больше, чем в 2023 г. и в 20,2 раза больше, чем в 2022 г.

В уловах регулярно, с самого начала учетных работ, преимущественно с 23 до 03 час, отмечали молодь кеты. Пик ее ската пришелся на 15 июня и в дальнейшем пошел на спад. Всего учтено 643 малька кеты, что также было в 2,7 раза больше, чем в 2023 г. Масса мальков горбуши индивидуально варьировала от 100 до 280 мг, а в среднем весьма значительно различалась — от 139,1 мг 18–19 мая до 209,0 мг 5 июня (табл. 1). Масса мальков кеты индивидуально варьировала от 150 до 650 мг.

Штормовые явления в прибрежье участка проведения работ были сравнительно редки. Вновь следует отметить подходы протяженных ледовых полей к северо-восточному побережью о. Сахалин в прошлом году (рис. 4), аналогично тому, как это происходило в 2023 г. В прибрежье участка проведения работ практически сплошные ледовые поля из крупных льдин и шуги отмечали с 22 по 29 мая. Температура морской воды во время подходов льда снижалась до отрицательных значений.



Рис. 4. Ледяной покров у побережья Охотского моря в районе устья р. Малая Хузи в период ската молоди в 2024 г. Фото от 28 мая

Fig. 4. Ice cover at the Okhotsk Sea coast near the mouth of Malaya Khuzi River during the downstream migration of pink salmon juveniles in 2024 (photo on May 28)

Обсуждая полученные данные, в первую очередь необходимо отметить, что динамика ската молоди горбуши из р. Малая Хузи в течение трех лет оказалась качественно различной, причем сразу в двух ее составляющих — сроках ската и численности мигрирующих мальков. Если в 2022 г. скат фактически начался только 12 июня, то в 2023 г. уже 25 мая, т.е. на 18 сут раньше. А в 2024 г., начав работать задолго до предполагаемого начала миграции молоди — 18 мая, — авторы столкнулись с ее массовым

скатом. Очевидно, что молодь мигрировала под влиянием внешних факторов, в первую очередь температуры воздуха и воды, которая в 2024 г. была аномально высокой.

Что касается численности молоди, то абсолютные величины (число мальков, попавших в ловушку) различались более чем на порядок — от 468 экз. в 2022 г. до 9467 экз. в 2024 г. И, на наш взгляд, обе эти цифры требуют отдельного анализа. Согласно методике расчета такое число учтенных рыб соответствовало 0,923 и 17,749 млн мальков, скатившихся в прибрежье. К возможным последствиям столь массового ската молоди в 2024 г. мы вернемся далее. Подчеркнем лишь, что ранее еще никогда в р. Малая Хузи в период ската не было выявлено такой значительной численности молоди [Павлов и др., 2015; Кириллов и др., 2018; Кириллова и др., 2020; и др.].

Что касается численности мальков в 2022 г., то рассчитанное число скатившихся мальков было ненамного больше, чем в 2020 г., — 376,2 тыс. экз. [Каев и др., 2020]. Однако столь малое число учтенных мальков ранее было поставлено под сомнение. Специалисты обратили внимание на несоответствие между численностью учтенной молоди и численностью вернувшихся производителей, особенно при сравнении данных для северного и южного побережий северо-востока Сахалина [Каев, Самарский, 2024]. Они логично предположили, что либо у горбуши этого поколения была нереальная для рыб выживаемость — 37,8 %, либо был недоучет молоди, мигрировавшей в прибрежье. Вместе с тем данные по вылову горбуши в Смирныховском и Поронайском районах в 2024 г. позволяют предложить третий вариант для объяснения причины несоответствия между числом мальков и производителей, а именно — поставить под сомнение представительность р. Малая Хузи для прогноза улова горбуши в пределах всего южного побережья северо-востока о. Сахалин, по крайней мере для поколения 2022–2023 гг. Для этого рассмотрим некоторые хорошо известные и новые данные по биологии горбуши, и в частности по особенностям ее миграции.

Хорошо известно, что производители горбуши, возвращаясь на нерест, могут далеко отклоняться от мест своего воспроизводства. Эта особенность горбуши в полной мере проявилась при ее интродукции на Европейский Север России. Выпущенная в бассейн Белого моря, она возвращалась на нерест в реки от Исландии до побережья Карского моря [Крупницкий, Устюгов, 1977; Бьеркнес, Вог, 1981; Дорофеева и др., 2006; и др.]. Однако массовое расселение горбуши по сопредельным и отдаленным водотокам хорошо известно и в естественном ареале и доказано с применением техники отолитного маркирования [Agler et al., 2001; Мякишев и др., 2019; Стекольников, 2021]. Но это с одной стороны. С другой стороны, горбуша не формировала бы максимально высокую для проходных лососевых рыб численность, если бы не «научилась» в ходе эволюции рационально использовать доступные ресурсы, в том числе и площадь нерестилищ. Ни один из взглядов на динамику стада горбуши не отказывает ей в популяционной организации [Ефремов, 1991; Иванков, 2011; и др.], в том числе и теория «флуктуирующих стад» [Глубоковский, Животовский, 1986]. Эта теория всего лишь предусматривает, что у горбуши в определенные годы и при определенных условиях может наблюдаться глобальный межрегиональный дрейф производителей.

Мы с применением техники отолитного маркирования исследовали производителей горбуши, возвращающихся на нерест в реки о. Итуруп. Было установлено, что к забоечным пунктам двух крупнейших в России предприятий по воспроизводству молоди тихоокеанских лососей — Курильского и Рейдового лососевых рыбодных заводов — за единичным исключением вернулись производители только заводского происхождения, более того, именно на те предприятия, с которых были выпущены мальками [Зеленников и др., 2023; Зеленников, Мякишев, 2023]. При этом исключения оказались единичными в буквальном смысле этого слова. Представляется очевидным, что основная масса производителей все же возвращается если не в водоток, то в район своего воспроизводства.

Таким образом, согласно анализу данных, представленных в настоящей статье, рассмотрим сведения о вылове горбуши в районе проведения исследований. По офи-

циальным сведениям, в Смирныховском районе, на территории которого и находится р. Малая Хузи, в 2024 г. было поймано 1480,3 т горбуши, а в расположенном южнее Поронайском — почти в 4 раза больше, 5470,5 т. Уже это сопоставление данных заставляет задаться вопросом, в какой мере р. Малая Хузи отражала закономерности воспроизводства горбуши этого поколения в пределах всего южного участка северо-востока о. Сахалин, особенно если учесть, что протяженность береговой линии, вдоль которой ведется промысел в двух районах, оказывается примерно одинаковой.

Рассмотрим распределение улова вдоль береговой линии, продвигаясь с севера на юг.

Расстояние от устья ручья Ягодного до устья р. Линейной в Смирныховском районе вдоль берега составляет около 40 км. Общий вылов горбуши на этом участке всеми предприятиями составил около 649 т (табл. 2). Именно здесь находится контрольная р. Малая Хузи, а также крупнейший водоток южного участка северо-востока о. Сахалин — р. Лангери.

Таблица 2

Данные по вылову горбуши в Смирныховском и Поронайском районах в 2024 г.

Table 2

Data on catch of pink salmon in Smirnykhovsky and Poronaysky districts of Sakhalin in 2024

Участок побережья, район	Расстояние вдоль берега, км	Вылов, т
Ручей Ягодный — р. Линейная, Смирныховский район	~40	~649
Р. Линейная — р. Мелкая, Смирныховский район	~27	~833
Р. Мелкая — ручей Кривой, Поронайский район	~34	~1600
Ручей Кривой — оз. Долгое, Поронайский район	~46	~3842

На следующем участке, до р. Мелкой на границе Смирныховского и Поронайского районов, выловили около 833 т.

На участке от р. Мелкой до ручья Кривого в Поронайском районе улов составил около 1600 т, а до протоки, соединяющей с морем оз. Долгое, — около 3842 т (табл. 2).

Таким образом, мы видим, что по мере продвижения с севера Смирныховского района на юг Поронайского района улов горбуши последовательно возрастал, особенно если учесть протяженность береговой линии, вдоль которой выставляют невода. Так, на самом южном участке, протяженность которого была примерно на 6 км больше, улов горбуши был почти в 6 раз больше, чем на первом участке, на котором находится контрольный водоток. Принимая, что большая часть производителей возвращается в район «своего» водотока, можно полагать, что р. Малая Хузи не вполне отражала процесс формирования численности стада горбуши поколения 2022–2023 гг. в пределах всего южного побережья северо-восточной части о. Сахалин. Здесь вспомним, что этот водоток в качестве контрольного для мониторинга горбуши используется только с 2014 г. [Кириллова, Кириллов, 2017] и был востребован не каждый год. А как справедливо замечают исследователи, много лет занимающиеся анализом динамики стад тихоокеанских лососей, в случае с этой конкретной рекой *экстраполяция результатов наблюдений на другие реки всегда относительно, но при длительном ряде наблюдений это компенсируется стандартностью системной ошибки, а в нынешней ситуации не исключено, что меняется величина этой системной ошибки при использовании другой контрольной реки, т.е. фактически начинается создание нового ряда данных* [Каев и др., 2024].

В завершение рассмотрим некоторые особенности связи между численностью молоди горбуши, скатившейся в прибрежье из р. Малая Хузи, и численностью производителей, пойманных в районе ее устья. Итак, в 2022 г. наблюдались самый малочисленный скат мальков, но сравнительно комфортные условия в прибрежье. По крайней мере в июне того года, когда наблюдали скат молоди, ни значительных штормов, ни льдов в прибрежье не отметили. В 2023 г. в районе устья реки выловили около 600 т горбуши.

В 2023 г. скат был более многочисленным, но более ранним — уже в конце мая — начале июня. При этом в прибрежье в момент пика ската наблюдали значительное скопление льда. В 2024 г. вылов в районе устья реки был значительно меньше — 230 т.

В свою очередь, в 2024 г. скат молоди был наиболее массовым за все годы наблюдений. Однако спровоцированная высокой температурой воды молодь массово катилась уже в первой половине мая. При этом сравнительно высокая температура воды в реке для молоди горбуши сменялась температурой, близкой к 0 °C в прибрежье, которая к тому же сопровождалась плотным скоплением льда в приустьевой зоне. В следующем году мы увидим и проанализируем роль численности молоди и сравнительно неблагоприятных условий в формировании улова горбуши в районе исследования.

Заключение

По совокупности полученных данных, приведенных сведений по улову и высказанных соображений мы можем заключить, что миграция молоди горбуши в прибрежье из р. Малая Хузи в течение трех лет исследований качественно различалась. В 2022 г. в пересчете на 1 мин ската за весь сезон учтено только 468 мальков горбуши, а их массовая миграция произошла с 12 по 18 июня с пиком 15 июня. В 2023 г. при такой же методике учли 3545 мальков, а их массовый скат был более ранним — с 6 по 10 июня с пиком 8 июня. В 2024 г. в ходе работы учли 9467 мальков, что было значительно больше, чем во все предыдущие годы наблюдений. При этом массовая миграция была самой ранней и предположительно спровоцированной аномально высокой температурой воздуха и, как следствие, высокой температурой воды. При этом сама массовая миграция была самой протяженной — с 26 мая по 7 июня, а пик ската пришелся на 1 июня, т.е. на неделю раньше, чем в 2023 г. и на две недели раньше, чем в 2022 г. При этом в 2023 и 2024 гг. массовая миграция молоди совпала с присутствием у берега плотных ледовых полей и температурой воды в прибрежье около 0 °C. Данные по распределению вылова горбуши вдоль южной части побережья северо-востока Сахалина в 2024 г. позволяют заключить, что р. Малая Хузи, по крайней мере для поколения молоди 2022–2023 гг., не являлась представительной в масштабах этого региона. Очевидно, что по данным ската в этом году нельзя было судить о закономерностях формирования промыслового стада на этом участке в 2024 г. Очевидно и то, что сопоставив данные по скату молоди за все годы и распределение улова горбуши вдоль побережья в другие годы, можно будет судить, насколько р. Малая Хузи являлась представительной для оценки формирования численности горбуши других поколений в масштабах всего южного побережья северо-востока о. Сахалин.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают признательность В.В. Смирнову — председателю правления НКО «Ассоциации устойчивого рыболовства Северо-Востока Сахалина» — за организацию и всестороннюю поддержку полевых работ.

The authors are grateful to V.V. Smirnov, Chairman of the Board of Association for Sustainable Fisheries in North-East Sakhalin, for organizing and comprehensive support of field works for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

При фиксации молоди учитывали положения Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

When fixing the juveniles, the provisions of the European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes were followed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.Н. Ельников и А.А. Живоглядов проводили мониторинг численности молоди горбуши на р. Малая Хузи в течение трех лет, включая выполнение биологических анализов молоди. Авторы совместно обсуждали данные. О.В. Зеленников подготовил материалы к печати и написал статью.

A.N. Elnikov and A.A. Zhivoglyadov counted the pink salmon fry migrated downstream in three years and conducted biological analyses of the juveniles. The authors discussed the data jointly. O.V. Zelennikov prepared the materials for publication and wrote text of the article.

Список литературы

Бьеркнес В., Вог А. Миграция и статистика уловов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) в районе Финмаркена, Северная Норвегия // *Вопр. ихтиол.* — 1981 — Т. 21, вып. 1. — С. 57–62.

Воловик С.П. Методы учета и некоторые особенности поведения покатной молоди горбуши в реках Сахалина // *Изв. ТИНРО.* — 1967. — Т. 61. — С. 104–117.

Глубоковский М.К., Животовский Л.А. Популяционная структура горбуши: система флуктуирующих стад // *Биол. моря.* — 1986. — Т. 12, № 2. — С. 39–43.

Дорофеева Е.А., Алексеев А.П., Зеленников О.В., Зеленков В.М. Дальневосточная горбуша в бассейне Белого моря (к 50-летию начала интродукции) // *Рыб. хоз-во.* — 2006. — № 6. — С. 71–74.

Ефремов В.В. Хоминг и популяционная организация горбуши // *Биол. моря.* — 1991. — № 1. — С. 3–12.

Живоглядов А.А., Никитин В.Д., Игнатьев Ю.И. и др. Итоги промысла тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе в 2020 г. // *Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке.* — Владивосток : ТИНРО, 2020. — С. 44–60.

Зеленников О.В., Косач Е.А., Зеленников Е.О. К вопросу о хоминге горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* // *Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : мат-лы 6-й Нац. науч.-техн. конф.* — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2023. — С. 38–42.

Зеленников О.В., Мякишев М.С. О прогнозирования вылова горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) на острове Итуруп // *Вопр. ихтиол.* — 2023. — Т. 63, № 2. — С. 210–217. DOI: 10.31857/S0042875223020315.

Иванков В.Н. Внутривидовая дифференциация и популяционная организация горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в различных частях ареала // *Изв. ТИНРО.* — 2011. — Т. 167. — С. 64–76.

Каев А.М. Методические аспекты количественного учета покатной молоди лососей в реках Сахалино-Курильского региона // *Изв. ТИНРО.* — 2010. — Т. 162. — С. 194–206.

Каев А.М. Методическое руководство по количественному учету покатной молоди горбуши и кеты в малых реках методом выборочных обловов. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2011. — 16 с.

Каев А.М. Некоторые результаты изучения динамики численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* на северо-восточном побережье острова Сахалин // *Вопр. ихтиол.* — 2019. — Т. 59, № 6. — С. 672–680. DOI: 10.1134/S0042875219060043.

Каев А.М., Дзен Г.Н., Игнатьев Ю.И. и др. Оценка численности покатной молоди горбуши в реках островов Сахалин и Итуруп в 2023 г. // *Бюл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке.* — Владивосток : ТИНРО, 2024. — № 18. — С. 209–220. DOI: 10.26428/losos_bull18-2024-209-220. EDN: GNTIXZ.

Каев А.М., Самарский В.Г. Итоги промысла горбуши на островах Сахалин (восточное побережье) и Итуруп в 2018–2023 гг. // *Бюл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке.* — Владивосток : ТИНРО, 2024. — № 18. — С. 105–122. DOI: 10.26428/losos_bull18-2024-105-122. EDN: FBSYCD.

Каев А.М., Сухонос П.С., Бобров И.С. и др. Результаты количественного учета покатной молоди горбуши в реках Сахалино-Курильского региона в 2020 г. // *Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке.* — Владивосток : ТИНРО, 2020. — С. 120–131.

Кириллов П.И., Кириллова Е.А., Павлов Д.С. Закономерности покатной миграции молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в р. Малая Хузи (Сахалинская область) // *Вопр. ихтиол.* — 2018. — Т. 58, № 6. — С. 710–723. DOI: 10.1134/S0042875218060139.

Кириллова Е.А., Кириллов П.И. Особенности экологии и поведения молоди горбуши *Oncorhynchus gorbusha* в период ската в некоторых реках острова Сахалин // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2017. — Вып. 7. — С. 67–75.

Кириллова Е.А., Кириллов П.И., Павлов Д.С. Скот молоди горбуши *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) в р. Малая Хузи (северо-восток о. Сахалин) в 2018 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2020. — Вып. 56. — С. 84–92. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.56.84-92.

Крупницкий Ю.Г., Устюгов А.Ф. Горбуша *Oncorhynchus gorbusha* (Walb.) в реках севера Красноярского края // Вопр. ихтиол. — 1977. — Т. 17, вып. 2(103). — С. 360–363.

Макоедов А.А., Колпаков Н.В., Никитин В.Д. и др. Результаты хозяйственного освоения ресурсов тихоокеанских лососей Сахалино-Курильского региона в 2023 г. // Бюл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2024. — № 18. — С. 49–66. DOI: 10.26428/losos_bull18-2024-49-66. EDN: CIBDPD.

Мякишев М.С., Иванова М.А., Зелеников О.В. К вопросу о мечении молоди тихоокеанских лососей и эффективности работы рыболовных заводов // Биол. моря. — 2019. — Т. 45, № 5. — С. 342–348. DOI: 10.1134/S0134347519050085.

Павлов Д.С., Кириллов П.И., Кириллова Е.А., Черешкевич Ф.Г. Покатная миграция молоди горбуши *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) в реке Малая Хузи (северо-восток острова Сахалин) // Биология внутренних вод. — 2015. — № 4. — С. 64–75. DOI: 10.7868/S0320965215040129.

Стеколыщикова М.Ю. Пространственное распределение и межгодовая изменчивость уловов горбуши искусственного происхождения в водах восточного побережья о. Сахалин в современный период // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — С. 484–504. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-484-504.

Таранец А.Я. Исследование нерестилищ кеты и горбуши в р. Иски // Рыб. хоз-во. — 1939. — № 12. — С. 14–18.

Agler B.A., Hagen P.T., Scott J.R. et al. Wandering pink salmon: 1999 and 2000 thermal mark recoveries in Southeast Alaska // NPAFC Tech. Rep. — 2001. — № 3. — P. 47–49.

References

Bjerknes, V. and Vågh, A., Migration and catch statistics of the pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Walb.) in the Finnmarken area, northern Norway, *Vopr. Ichthyol.*, 1981, vol. 21, no. 1, pp. 57–62.

Volovik, S.P., Methods of accounting and some features of the behavior of downstream pink salmon juveniles in the Sakhalin rivers, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 61, pp. 104–117.

Glubokovskii, M.K. and Zhivotovskii, L.A., Population structure of pink salmon: System of fluctuating stocks, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1986, vol. 12, no. 2, pp. 39–43.

Dorofeeva, E.A., Alekseyev, A.P., Zelennikov, O.V., and Zelenkov, V.M., Far Eastern hunchback salmon in the White Sea basin, *Rybn. Khoz.*, 2006, no. 6, pp. 71–74.

Efremov, V.V., Homing and population organization of pink salmon, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1991, vol. 17, no. 1, pp. 3–12.

Zhivoglyadov, A.A., Nikitin, V.D., Ignatiev, Yu.I., Antonov, A.A., Lapshina, A.E., and Akhmadeeva, E.S., Results of the Pacific salmon fishery in the Sakhalin-Kuril region in 2020, in *Byull. no. 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. 44–60.

Zelennikov, O.V., Kosach, E.A., and Zelennikov, E.O., On the issue of pink salmon homing *Oncorhynchus gorbusha*, in *Mater. 6-y Natsional'noy nauchno-tekhn. konf. "Innovatsionnoye razvitiye rybnoy otrasli v kontekste obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii"* (Proc. 6th Natl Sci. Tech. Conf. "Innovative Development of the Fishery Industry in the Context of Food Security of the Russian Federation"), Vladivostok: Dal'rybvuz, 2023, pp. 38–42.

Zelennikov, O.V. and Myakishev, M.S., Predictions about the Pink Salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Salmonidae) catches on Iturup Island, *J. Ichthyol.*, 2023, vol. 63, no. 2, pp. 210–217. doi 10.31857/S0042875223020315

Ivankov, V.N., Intraspecific differentiation and the population organizing of pink salmon in different parts of its natural habitat, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 167, pp. 64–76.

Kaev, A.M., Methodic aspects for quantitative count of fry salmon downstream migrants in the rivers of Sakhalin-Kuril Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 162, pp. 194–206.

Kaev, A.M., *Metodicheskoye rukovodstvo po kolichestvennomu uchetu pokatnoy molodi gorbushi i kety v malykh rekakh metodom vyborochnykh oblovov* (A methodological guide to the quantitative registration of downstream juvenile pink and chum salmon in small rivers by the method of selective fishing), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2011.

Kaev, A.M., Some results of studying the dynamics of the abundance of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* on the northeastern coast of Sakhalin Island, *Vopr. Ikhtiol.*, 2019, vol. 59, no. 6, pp. 672–680. doi 10.1134/S0042875219060043

Kaev, A.M., Dzen, G.N., Ignatiev, Yu.I., Chesnakov, N.I., Sukhonos, P.S., and Bobrov, I.S., Estimation of abundance for the migrating juvenile pink salmon in the rivers of Sakhalin and Iturup Islands in 2023, in *Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East*, Vladivostok: TINRO, 2024, no. 18, pp. 209–220. doi 10.26428/losos_bull18-2024-209-220. EDN: GNTIXZ.

Kaev, A.M. and Samarsky, V.G., Results of pink salmon fishery on the islands of Sakhalin (eastern coast) and Iturup in 2018–2023, in *Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East*, Vladivostok: TINRO, 2024, no. 18, pp. 105–122. doi 10.26428/losos_bull18-2024-105-122. EDN: FBSYCD.

Kaev, A.M., Sukhonos, P.S., Bobrov, I.S., Dzen, G.N., Ignatiev, Yu.I., Simanovsky, E.O., and Chesnakov, N.I., Results of a quantitative survey of downstream-migrating juvenile pink salmon in the rivers of the Sakhalin-Kuril region in 2020, in *Byull. no. 15 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostokey* (Bull. No. 15 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2020, pp. 120–131.

Kirillov, P.I., Kirillova, E.A., and Pavlov, D.S., Patterns of downstream migration of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Malaya Khuzi River (Sakhalin Oblast), *Vopr. Ikhtiol.*, 2018, vol. 58, no. 6, pp. 710–723. doi 10.1134/S0042875218060139

Kirillova, E.A. and Kirillov, P.I., Ecological and behavioral patterns of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* juveniles during their downstream migration from the certain rivers of Sakhalin Island, in *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova* (Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings), Vladivostok: Dalnauka, 2017, no. 7, pp. 67–75.

Kirillova, E.A., Kirillov, P.I., and Pavlov, D.S., Seaward migration of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the Malaya Khuzi River (North-Eastern Sakhalin) in 2018, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2020, vol. 56, pp. 84–92. doi 10.15853/2072-8212.2020.56.84-92

Krupitskiy, Yu.G., and Ustyugov, A.F., Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) in the rivers of the northern of Krasnoyarsk region, *Vopr. Ikhtiol.*, 1977, vol. 17, no. 2(103), pp. 360–363.

Makoedov, A.A., Kolpakov, N.V., Nikitin, V.D., Zhivoglyadov, A.A., Ignatiev, Y.I., and Antonov, A.A., Results of economic usage of the pacific salmon resources in the Sakhalin-Kuril region in 2023, in *Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East*, Vladivostok: TINRO, 2024, no. 18, pp. 49–66. doi 10.26428/losos_bull18-2024-49-66. EDN: CIBDPD.

Myakishev, M.S., Ivanova, M.A., and Zeleznikov, O.V., Marking of salmon juveniles and the efficiency of fish farming, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 5, pp. 363–369. doi 10.1134/S1063074019050080

Pavlov, D.S., Kirillov P.I., Kirillova, E.A., and Chereshevich, F.G., Downstream migration of fry of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the Malaya Huzi River (northeastern Sakhalin), *Inland Water Biology*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 384–394. doi 10.1134/S1995082915040124

Stekolshchikova, M.Yu., Spatial distribution and interannual variability of catches for pink salmon of artificial origin in the waters of eastern coast of Sakhalin Island in modern times, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 484–504. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-484-504

Taranets, A.Ya., A study of spawning grounds of chum and pink salmon in the Iski River, *Rybn. Khoz.*, 1939, no. 12, pp. 14–18.

Agler, B.A., Hagen, P.T., Scott, J.R., Cashen, J.W., and Mortensen, D., Wandering pink salmon: 1999 and 2000 thermal mark recoveries in Southeast Alaska, *NPAFC Tech. Rep.*, 2001, no. 3, pp. 47–49.

Gosudarstvennyy vodnyy reyestr RF (po sostoyaniyu na 19.09.2012 g.). <http://www.webcita#tion.org/6AnM82T17> (State Water Register of the Russian Federation (as of 19.09.2012). <http://www.webcita#tion.org/6AnM82T17>).

Perechen' nerestovykh vodoyemov Sakhalinskoy oblasti (List of spawning water bodies of the Sakhalin Region), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 1997, no. 7603.

Поступила в редакцию 23.10.2024 г.

После доработки 9.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 9.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024

Научная статья

УДК 597.555.5–115.6

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-17-38

EDN: YRGZQC



ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ В ПОСТЭМБРИОНАЛЬНОМ РАЗВИТИИ
НАВАГИ *ELEGINUS GRACILIS*, МИНТАЯ *GADUS CHALCOGRAMMUS*
И ТРЕСКИ *GADUS MACROCEPHALUS*

О.В. Новикова*

Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18

Аннотация. На основании аллометрического уравнения Дж. Гексли, уравнения С. Броди, факторного и кластерного анализов по комплексу морфометрических параметров впервые определен характер полового диморфизма и аллометрической изменчивости в постэмбриональном развитии у наваги, минтая и трески между самцами и самками в разных размерных группах. Показано, что половые различия по таким параметрам, как диаметр глаза, наибольшая высота тела, антедорсальное и антеанальное расстояния, формируются очень рано и проявляются уже у ювенильных особей. У наваги и минтая практически во всех исследуемых размерно-возрастных группах рыб самки по размерам головы, ширине лба, антедорсальному расстоянию, диаметру глаза и высоте тела опережают в росте самцов. Рост морфологических признаков у этих рыб характеризуется чередованием изометрии, положительной и отрицательной аллометрии. У трески половой диморфизм не выявлен, а рост по всем исследуемым пластическим признакам, исключая нарастание массы тела относительно длины, имеет линейный характер. По результатам факторного анализа наибольший удельный вес в общую изменчивость внутри возрастных групп и между группами исследуемых видов вносили 4 индекса: длина тела без хвостового плавника, наибольшая высота тела, диаметр глаза и ширина лба. Кластерный анализ позволил выявить общие тенденции в морфофизиологической изменчивости наваги и минтая.

Ключевые слова: навага *Eleginus gracilis*, минтай *Gadus chalcogrammus*, треска *Gadus macrocephalus*, западнокамчатский шельф, морфометрия, половой диморфизм, аллометрический рост

Для цитирования: Новикова О.В. Половой диморфизм в постэмбриональном развитии наваги *Eleginus gracilis*, минтая *Gadus chalcogrammus* и трески *Gadus macrocephalus* // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 17–38. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-17-38. EDN: YRGZQC.

* Новикова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, o.novikova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1381-7509.

© Новикова О.В., 2025

Sexual dimorphism in postembryonic development of saffron cod *Eleginus gracilis*, walleye pollock *Gadus chalcogrammus* and pacific cod *Gadus macrocephalus*

Olga V. Novikova

Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),

18, Naberezhnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia

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

Abstract. Based on the allometric equation of J. Huxley and S. Brody model of body weight, sexual dimorphism and allometric variability between males and females is determined for the first time in postembryonic development of three fish species, using factor and cluster analyses for a set of morphometric parameters. The sexual differences for such parameters as eye diameter, greatest body depth, antedorsal and anteanal distances appear very early and are already evident in juveniles. Females in almost all size-age groups of saffron cod and walleye pollock are ahead of males in the head size, forehead width, antedorsal distance, eye diameter, and body depth. Growth of these species is characterized by alternation of isometry, positive and negative allometry. On the contrary, sexual dimorphism is not revealed for pacific cod that is distinguished by linear growth of all studied plastic features, except the body weight increasing relative to the body length. According to the results of factor analysis, the greatest specific weight in total morphometric variability within age groups and between them was contributed for the studied species by four indices: body length without caudal fin, greatest body depth, eye diameter and forehead width. The cluster analysis allows us to identify general trends in morphophysiological variability of saffron cod and walleye pollock.

Keywords: saffron cod *Eleginus gracilis*, walleye pollock *Gadus chalcogrammus*, pacific cod *Gadus macrocephalus*, West Kamchatka shelf, morphometry, sexual dimorphism, allometric growth

For citation: Novikova O.V. Sexual dimorphism in postembryonic development of saffron cod *Eleginus gracilis*, walleye pollock *Gadus chalcogrammus* and pacific cod *Gadus macrocephalus*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 17–38. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-17-38. EDN: YRGZQC.

Введение

Половой диморфизм по большинству морфологических признаков у многих рыб в основном выражен слабо [Никольский, 1974] и в практике их сравнительно-морфологических исследований чаще всего не принимается во внимание. Устойчивый диморфизм в размерах обычно сопряжен с различиями в темпах роста и продолжительности роста рыб разного пола [Замахаяев, 1959; Мина, Клевезаль, 1976; Andersson, Iwasa, 1996; Blanckenhorn, 2005]. Между тем в литературе накопилось немало данных, свидетельствующих о специфичности проявления половых различий у видов рыб разных систематических групп — бельдюговых [Савельев и др., 2011], стихеевых [Мурашева, Токранов, 2017; Земнухов, 2018; Поезжалова-Чегодаева, 2023], рогатковых [Савельев, Колпаков, 2018], круглופерых [Воскобойникова, Баланов, 2019], цихловых [Oliveira, Almada, 1995], лучеперых рыб рода *Pteragogus* [Park et al., 2001], карповых [Mieno, Karino, 2017; Sharma and Ali, 2022], а также в разных популяциях одного и того же вида, например у хариуса [Сафронов и др., 2003; Михеев, 2009, 2024], бурого морского петушка [Поезжалова-Чегодаева, Мурашева, 2020] или у вида лучеперых рыб из рода *Dawkinsia* [Gunawickrama, 2009].

Выбор наваги *Eleginus gracilis*, минтая *Gadus chalcogrammus* и трески *Gadus macrocephalus* в качестве объектов сравнительно-морфологических исследований определяется их морфологическим сходством и генетическим родством в пределах семейства. Эти виды рыб принадлежат к элиторальному ихтиоцену и относятся к разным фаунистическим комплексам — навага к арктическо-бореальному, а минтай и треска характеризуются как широкобореальные тихоокеанские виды [Шейко, Федоров, 2000]. Навага, минтай и треска являются придонно-пелагическими рыбами, но

принадлежат к разным экологическим группам, соответственно к бентофагам, планктонофагам и хищникам. Так, тихоокеанская навага по характеру питания является типичным бентофагом. Спектр ее питания включает более 70 видов различных мелких бентических, некто-бентических, а также планктонных животных. Основу ее пищи почти во всех районах составляют ракообразные, а рыбы имеют второстепенное значение [Покровская, 1960; Семененко, 1970; Токранов, Толстяк, 1990; Чучукало, 2006; Новикова, 2012]. В рационе взрослого минтая отмечают порядка 40 видов пищевых организмов. Однако, по данным многих исследований, он отдает предпочтение эвфаузидам, в том числе и в тех районах, где эти организмы не являются в планктоне преобладающими по биомассе [Волков и др., 1990; Зверькова, 2003; Чучукало, 2006]. Треска — факультативный хищник, которому свойственна высокая пластичность питания, дающая возможность использовать значительный набор потенциальных кормовых компонентов (90–120 видов), но основную долю ее питания во всех возрастных группах (в среднем около 80 %) составляет рыба [Борец, 1997; Напазаков и др., 2001; Чучукало, 2006; Винников, 2008]. Такие стратегии в питании, несомненно, оказывают влияние на характеристику роста исследуемых рыб, в связи с чем они обладают различными соотношениями отдельных форм обмена на разных стадиях онтогенеза [Васнецов, 1953; Шатуновский, 1980].

Так как характер роста специфичен для каждого этапа развития рыб и сопровождается возрастными изменениями пластических признаков и, как следствие, адаптивных свойств организма [Васнецов, 1953; Никольский, 1974; Мина, Клевезаль, 1976; Мина, 2001], изучение формирования половых и межвидовых различий в постэмбриональном развитии наваги, минтая и трески представляется актуальным как с практической, так и с теоретической точек зрения. Поскольку сведения об исследованиях аллометрического роста, полового диморфизма, а также о возрастной изменчивости пластических признаков этих видов рыб в литературе отсутствуют, в своей работе мы восполнили этот пробел.

Цель данной работы — установить изменчивость морфологических признаков у обитающих в районе западнокамчатского шельфа наваги, минтая и трески на разных этапах онтогенеза, для чего определить половые различия в ростовых процессах в разных размерных группах этих рыб; выявить наличие аллометрического роста морфометрических признаков; на основе факторного анализа выделить морфометрические признаки, наиболее отражающие изменчивость роста; сравнить выборки выявленных наиболее значимых факторных нагрузок между группами внутри вида и между видами.

Материалы и методы

В работе использованы данные морфометрического анализа наваги, минтая и трески, пойманных при проведении исследований качественного и количественного состава снюрреводных уловов на береговых рыбоперерабатывающих заводах в мае-июне 2019 и 2021 гг., а также из траловых уловов во время проведения в июне 2021 г. донной траловой съемки на НИС «Дмитрий Песков». Учетным орудием лова являлся трал донный 27,1 м. В дополнение был использован материал (10 экз. мальков наваги) из уловов мальковым закидным неводом 3×8 м с ячеей в кутке 4 мм в августе 2014 г. и мальки наваги и минтая, полученные при проведении траловой учетной съемки на НИС МРТК–316 в период с июля по август 2017 г.

Морфометрический анализ выполнялся по схеме, рекомендованной И.Ф. Правдиным [1966] (рис. 1). Пластические признаки измеряли электронным штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Взвешивание проводили на весах AD DL-1200WP. В расчетах использовалась масса тела рыб без внутренностей. Полученные данные анализировались методом индексов [Правдин, 1966], при котором линейные размеры пластических признаков представляются в процентном отношении к длине тела рыбы (*ab*). В статье

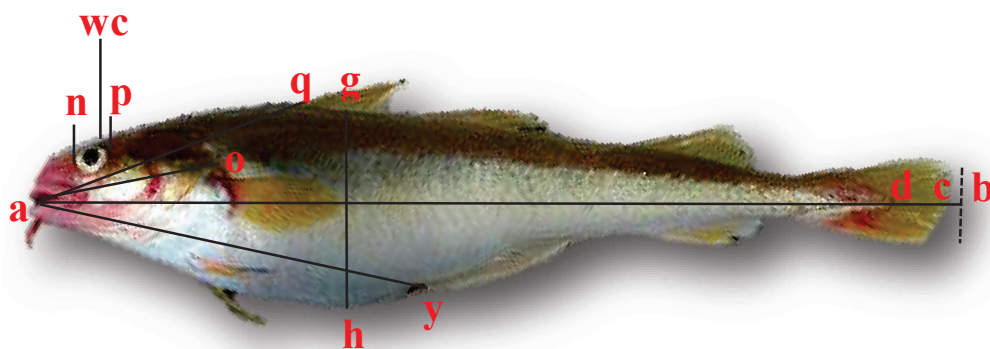


Рис. 1. Схема промеров (на примере *Eleginus gracilis*): *ab* — вся длина тела — расстояние от вершины рыла до вертикали конца наиболее длинной лопасти хвостового плавника; *ac* — длина тела по Смитту — расстояние от вершины рыла до конца средних лучей хвостового плавника; *ad* — длина тела без хвостового плавника — расстояние от вершины рыла до конца чешуйного покрова; *ao* — длина головы — расстояние от вершины рыла до заднего конца жаберной крышки без перепонки; *wc* — ширина лба или межглазничное пространство — расстояние между глазами; *np* — диаметр глаза; *aq* — антедорсальное расстояние — расстояние от вершины рыла до начала основания спинного плавника; *ay* — антеанальное расстояние — расстояние от вершины рыла до начала основания анального плавника; *gh* — наибольшая высота тела

Fig. 1. Scheme of measurements (for *Eleginus gracilis*, as example): *ab* — total body length — distance from the tip of snout to the end of the longest lobe of caudal fin; *ac* — body length according to Smith — distance from the tip of snout to the end of the middle rays of caudal fin; *ad* — body length without the caudal fin — distance from the tip of snout to the end of scale cover; *ao* — head length — distance from the tip of snout to the posterior end of gill cover without the membrane; *wc* — forehead width or interorbital space — distance between the eyes; *np* — eye diameter; *aq* — antedorsal distance — distance from the tip of snout to the beginning of the base of dorsal fin; *ay* — anteanal distance — distance from the tip of snout to the beginning of the base of anal fin; *gh* — body depth

использовали характеристики, по мнению А.Н. Световидова [1952] и Ю.Г. Алеева [1963] в большей степени влияющие на эффективность движения и питания, — индексы *aq*, *ay*, *gh*, *ao* и *wc* (рис. 1).

Онтогенез рыб обычно подразделяют на несколько стадий: эмбрионально-личиночное развитие (ранний онтогенез), предрепродуктивный (рост неполовозрелых особей), репродуктивный и пострепродуктивный (старение) периоды [Расс, 1933; Васнецов, 1953; Никольский, 1974; Шатуновский, 1980]. В связи с этим с некоторой долей условности рыбы были разбиты с учетом состояния их репродуктивных органов и участия в размножении [Зверькова, 2003; Буслов, 2005; Новикова, 2007; Винников, 2008] на три размерные группы: молодые (рост неполовозрелых особей), среднеразмерные (репродуктивный период) и крупноразмерные (старение).

Все сборы биостатистических данных проводились у западного побережья Камчатки. Объем использованного для морфологического анализа материала представлен в табл. 1.

Величину относительного прироста признаков возрастных групп исследуемых рыб рассчитывали по формуле С. Броди [Шмальгаузен, 1935]: $R = [(X-x)/(0,5 \cdot (X+x))] \cdot 100$, где R — показатель относительного прироста, %; X и x — величина признака у рыб больших (X) и меньших (x) размеров. Результаты визуализировали графически в виде наборов количественных показателей.

Аллометрическую зависимость между частью тела (y) и телом (x) описывали с помощью аллометрического уравнения Дж. Гексли [Мина, Клевезаль, 1976], которое имеет вид $y = bx^a$, где a — степенной коэффициент аллометрического роста; b — коэффициент, характеризующий отношение между частью (y) и целым (x) ($b = y/x$). В случаях, когда $a > 1$ ($a > 1,5$), часть растет быстрее целого — положительная аллометрия; если $a < 1$ ($a < 0,5$), часть растет медленнее, чем целое, — отрицательная аллометрия;

Таблица 1

Объем использованного материала

Table 1

Volume of analyzed material

Вид	Период онтогенеза	Длина, мм	N, экз.
Навага	Мальки	29,4–70,5	292
	Молодь	125,0–300,0	17
	Среднеразмерные	314,0–400,0	139
	Крупноразмерные	405,0–540,0	47
Минтай	Мальки	36,9–100,8	176
	Молодь	124,6–298,0	52
	Среднеразмерные	300,0–498,0	48
	Крупноразмерные	500,0–714,0	48
Треска	Молодь	119,2–395,0	106
	Среднеразмерные	400,0–598,0	54
	Крупноразмерные	604,0–944,0	45
Всего			1024

если $\alpha = 1$ ($0,5 < \alpha < 1,5$), часть и целое растут равномерно — изометрия. При анализе материала учитывали также коэффициент детерминации (R^2). Как правило, его рассматривают в виде основного показателя, отражающего меру качества регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными. При $R^2 < 0,5$ — слабая связь, $R^2 = 0,5–0,6$ — связь считается средней, $R^2 \geq 0,7$ — сильная связь [Лакин, 1990].

При сравнении приростов метрических признаков наваги, минтая и трески рассчитывали коэффициент вариации по формуле $CV = 100 \cdot \delta / M$, где CV — коэффициент вариации (если $CV < 10\%$, то биологический материал однороден), δ — стандартное отклонение, M — среднее значение признака [Рокицкий, 1973].

Уровень и достоверность различий морфометрических показателей у рыб разных размерных групп оценивали в программных пакетах MS Office 10 (Excel 10) и Statistica 8 на основе критерия Стьюдента (для неравных дисперсий), факторного (метод Principal components, способ вращения Varimax row) и кластерного анализов (правило Weighted pair-group centroid, расстояние Euclidean distances) [Халафян, 2007].

Результаты и их обсуждение

Относительный прирост. Изменения линейных и весового признаков в постэмбриональном развитии наваги, минтая и трески однонаправлены — с возрастом средние размеры всех исследуемых признаков увеличиваются (табл. 2–4). Однако характер изменения относительных размеров морфометрических признаков у самцов и самок исследуемых рыб различен. В большинстве приводимых вариантов увеличение или уменьшение признаков происходит до достижения определенных размеров, после чего наблюдается смена знака на противоположный.

Так, к примеру, у самок наваги изменчивость антедорсального (aq) и антеанального (ay) расстояний с каждой размерной группой увеличивается, составляя в среднем соответственно 29,0, 29,3, 30,1 % и 41,8, 44,0, 44,7 %. У самцов же относительная величина этих признаков оказывается разнонаправленной — 30,2, 29,5, 29,4 % aq и 44,0, 43,9, 45,1 % ay (табл. 2). В то же время такие пластические признаки, как длина головы (ao) и ширина лба (ws), показывают стабильное увеличение по мере роста у обоих полов рыб, а диаметра глаза (np) — снижение прироста (у самцов 4,5, 4,0, 3,9 %, у самок 4,5, 4,0, 3,8 %) (табл. 2).

У самок минтая в группе среднеразмерных рыб отмечается уменьшение приростов длины тела по Смитту (ac) до 96,9 %, длины тела без хвостового плавника (ad) — до 90,9 % и ay — до 42,1 % и их увеличение в старшей размерной группе — соответственно

Таблица 2
Средние величины морфометрических признаков и морфометрические индексы (% от общей длины тела — *ab*) у мальков, самцов и самок наваги
Table 2
Average values of morphometric traits and morphometric indices (% of total body length) for fry, males and females of saffron cod

Признак	Мальки N = 292 экз.				Самцы								Самки															
	Молодь N = 9 экз.				Среднеразмерные N = 92 экз.				Крупноразмерные N = 23 экз.				Молодь N = 8 экз.				Среднеразмерные N = 47 экз.				Крупноразмерные N = 24 экз.							
	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%				
<i>ab</i> , мм	52,5	0,45	7,6		188,7	11,94	31,6		358,8	2,43	23,4		424,4	3,41	16,4		205,0	7,35	16,4		358,9	3,28	22,5		429,9	3,01	11,3	
<i>ac</i> , мм	50,6	0,46	7,9	96,4	185,0	12,18	32,2	98,0	351,6	2,40	23,0	98,0	416,2	3,50	16,8	98,1	201,4	6,92	15,5	98,2	350,9	3,35	22,9	97,8	421,5	2,92	10,9	98,0
<i>ad</i> , мм	47,9	0,42	7,2	91,2	175,7	12,15	32,1	93,1	329,5	2,43	23,3	91,8	391,8	3,51	16,9	92,3	188,4	7,58	16,9	91,9	330,9	3,20	21,9	92,2	398,2	2,51	9,4	92,6
<i>ao</i> , мм	12,6	0,10	1,7	24,0	38,8	2,82	7,5	20,6	76,8	0,62	5,9	21,4	92,9	1,18	5,6	21,9	43,8	1,62	3,6	21,4	77,2	0,87	5,9	21,5	93,3	0,99	3,7	21,7
<i>uc</i> , мм	4,4	0,05	0,8	8,4	14,5	0,85	2,2	7,7	31,3	0,49	4,7	8,7	38,5	0,85	4,1	9,1	16,4	0,66	1,5	8,0	30,4	0,61	4,2	8,5	40,6	1,37	5,1	9,5
<i>np</i> , мм	3,4	0,02	0,3	6,5	8,4	0,35	0,9	4,5	14,4	0,11	1,1	4,0	16,7	0,34	1,6	3,9	9,28	0,63	1,4	4,5	14,3	0,21	1,4	4,0	16,6	0,21	0,8	3,8
<i>gh</i> , мм	9,1	0,09	1,5	17,3	33,2	0,02	5,3	17,6	64,3	0,66	6,3	17,9	75,2	1,26	6,1	17,7	33,3	3,24	7,2	16,2	65,6	1,03	7,1	18,3	77,6	2,11	7,9	18,1
<i>aq</i> , мм	16,4	0,15	2,7	31,2	56,9	1,77	4,7	30,2	105,8	0,88	8,5	29,5	124,7	1,41	6,7	29,4	59,4	2,37	5,3	29,0	105,2	1,26	8,6	29,3	129,4	1,89	7,1	30,1
<i>ay</i> , мм	22,8	0,21	3,7	43,4	83,1	3,18	8,4	44,0	157,6	1,32	12,7	43,9	191,6	2,94	14,1	45,1	85,6	3,34	7,5	41,8	158,0	2,13	14,6	44,0	192,1	3,21	12,0	44,7
<i>W</i> , г	8,9	0,03	0,4		50,7	5,90	14,5		341,5	7,16	68,8		537,4	16,31	78,2		60,0	7,58	16,9		349,1	10,38	71,2		567,9	17,93	67,1	

Примечание. Здесь и в табл. 3 и 4: М — среднее значение; SE — стандартная ошибка; δ — стандартное отклонение.

Таблица 3
Средние величины морфометрических признаков и морфометрические индексы (% от общей длины тела — *ab*) у мальков, самцов и самок минтая
Table 3
Average values of morphometric traits and morphometric indices (% of total body length) for fry, males and females of walleye pollock

Признак	Мальки N = 176 экз.				Самцы						Самки																	
	Молодь N = 28 экз.				Среднеразмерные N = 26 экз.			Крупноразмерные N = 10 экз.			Молодь N = 24 экз.			Среднеразмерные N = 22 экз.			Крупноразмерные N = 38 экз.											
	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%								
<i>ab</i> , мм	65,1	1,38	18,3		209,2	12,14	63,1		438,7	7,94	38,9		540,1	9,70	30,7		439,1	11,79	51,4		551,6	5,68	33,6					
<i>ac</i> , мм	63,1	1,38	18,3	96,9	204,9	11,76	61,1	97,9	426,8	7,40	36,3	97,3	522,7	9,45	29,9	96,8	225,4	9,77	45,8	98,0	425,3	11,25	49,0	96,9	535,8	5,79	34,2	97,1
<i>ad</i> , мм	59,4	1,27	16,9	91,2	191,1	11,12	57,8	91,3	397,7	6,89	33,8	90,7	484,7	9,41	29,7	89,7	212,2	9,64	45,2	92,3	399,1	10,88	47,4	90,9	503,1	5,43	32,1	91,2
<i>ao</i> , мм	15,5	0,34	4,5	23,8	47,2	2,57	13,3	22,6	95,2	1,73	8,5	21,7	118,3	2,02	6,4	21,9	51,2	2,15	10,1	22,3	101,3	2,95	12,8	23,1	120,6	1,40	8,3	21,9
<i>uc</i> , мм	5,8	0,13	1,7	8,9	16,4	0,96	5,0	7,8	37,8	1,16	5,7	8,6	49,4	2,28	7,2	9,1	19,3	0,80	3,7	8,4	38,3	1,37	5,9	8,6	48,4	0,95	5,6	8,8
<i>np</i> , мм	4,3	0,14	1,8	6,6	11,7	0,62	3,2	5,6	22,6	0,63	3,1	5,2	27,3	0,72	2,3	5,1	12,15	0,81	3,8	5,3	24,0	0,55	2,4	5,5	26,4	0,44	2,6	4,8
<i>gh</i> , мм	11,5	1,19	2,6	17,2	36,0	2,85	14,8	17,2	73,6	1,41	6,9	16,8	84,2	1,96	6,2	15,6	39,5	2,54	12,3	17,2	72,9	2,45	10,7	16,6	91,6	1,78	10,5	16,6
<i>aq</i> , мм	20,0	0,41	5,4	30,7	58,7	3,14	16,3	28,1	117,9	1,95	9,6	26,9	143,4	2,72	8,6	26,6	65,6	2,53	11,9	28,5	123,6	4,73	20,6	28,1	154,1	1,71	10,1	27,9
<i>ay</i> , мм	27,8	0,56	7,5	42,7	90,2	5,59	29,1	43,1	180,1	3,97	19,4	41,1	226,3	7,34	23,2	41,8	99,4	4,34	20,4	43,2	184,9	7,24	31,6	42,1	238,7	4,52	26,7	43,3
<i>W</i> , г	2,2	0,16	2,1		79,2	12,15	63,2		493,5	24,29	119,0		809,5	43,12	136,4		95,3	12,40	58,2		483,2	33,07	144,2		887,7	35,20	208,3	

до 97,1, 91,2 и 43,3 % (табл. 3). Это снижение линейных приростов объясняется тем, что рост неполовозрелых рыб зависит в основном от кормовых условий, а у половозрелых, кроме того, происходит расход большого запаса энергетических ресурсов на генеративный обмен [Никольский, 1974].

Некоторое увеличение приростов у взрослых самок, вероятно, обусловлено тем, что у старых особей большая доля ассимилированной энергии идет на рост, поскольку воспроизводительная способность частично утрачивается [Анухина, 1962]. У самцов минтая снижение прироста у среднеразмерных рыб и его увеличение у следующей возрастной группы отмечено только по ao и ay . В остальных вариантах происходит сокращение приростов по мере роста рыб. Исключением является только прирост ws : как у самцов (7,8, 8,6, 9,1 %), так и у самок (8,4, 8,6, 8,8 %) наблюдается увеличение приростов во всех размерных группах (табл. 3).

У самцов и самок трески относительные приросты во всех размерных группах также имеют тенденцию как к увеличению, так и к сокращению. Однако у рыб разных полов по большинству исследуемых признаков в ростовых процессах отмечена разнонаправленность, совпадает только характер роста таких показателей, как диаметр глаза (np), наибольшая высота тела (gh) и расположение анального плавника (ay). Так, у самцов и самок трески сокращение приростов диаметра глаза относительно длины тела в размерных группах хорошо выражено — соответственно 5,4, 4,2, 3,9 и 5,3, 4,3, 4,0 % (табл. 4).

Большинство пластических признаков у исследуемых рыб подвержено возрастной изменчивости, причем значительная амплитуда колебаний одних может сочетаться с малой вариабельностью других. У самцов и самок наваги на разных стадиях развития довольно велика изменчивость отдельных частей тела, прежде всего таких, как *wc*, *np*, *gh* и масса тела (*W*) (табл. 5). У минтая и трески высока изменчивость большинства признаков во всех размерных группах.

Таблица 4

Средние величины морфометрических признаков и морфометрические индексы (% от общей длины тела — ab) у самцов и самок трески

Average values of morphometric traits and morphometric indices (% of total body length) for males and females of pacific cod

Признак	Самцы												Самки											
	Молодь N = 61 экз.				Среднеразмерные N = 24 экз.				Крупноразмерные N = 25 экз.				Молодь N = 45 экз.				Среднеразмерные N = 30 экз.				Крупноразмерные N = 20 экз.			
	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%	M	SE	δ	%
<i>ab</i> , мм	250,7	12,09	94,5		549,7	10,67	52,3		681,1	17,77	88,8		253,2	13,93	93,4		532,7	3,01	49,3		671,0	13,98	62,5	
<i>ac</i> , мм	246,3	11,92	93,1	98,2	542,5	10,52	51,5	98,7	670,9	17,46	87,3	98,5	249,3	13,67	91,7	98,5	521,5	2,92	51,7	97,9	661,8	13,98	6,5	98,6
<i>ad</i> , мм	229,8	11,14	86,9	91,7	508,9	9,88	48,4	92,6	625,2	16,27	81,3	91,8	232,9	12,99	87,1	92,0	487,3	2,51	51,7	91,5	618,9	13,05	58,4	92,2
<i>ao</i> , мм	62,4	2,92	22,8	24,9	140,5	2,81	13,7	25,6	171,2	5,41	27,1	25,1	63,4	3,39	22,7	25,0	134,5	0,99	14,9	25,2	170,1	3,88	17,4	25,4
<i>we</i> , мм	24,6	1,42	11,1	9,8	65,6	1,83	8,9	11,9	79,9	2,59	12,9	11,7	25,9	1,84	12,3	10,2	62,8	1,94	9,5	11,8	80,5	3,12	13,9	12,0
<i>np</i> , мм	13,5	0,48	3,7	5,4	23,3	0,59	2,9	4,2	26,8	0,76	3,8	3,9	13,4	0,49	3,3	5,3	23,0	0,48	2,4	4,3	27,1	0,79	3,6	4,0
<i>gh</i> , мм	49,7	2,59	20,2	19,8	128,4	3,45	16,9	23,4	166,3	6,06	30,3	24,4	50,2	2,97	19,9	19,8	122,9	3,96	19,4	23,1	162,9	5,14	22,9	24,3
<i>ay</i> , мм	76,5	3,77	29,4	30,5	170,9	4,51	22,1	31,1	208,6	7,00	35,0	30,6	79,1	4,63	31,1	31,2	163,4	4,49	22,0	30,7	212,2	6,14	27,5	31,6
<i>aw</i> , мм	114,9	5,83	45,6	45,8	268,6	8,22	40,3	48,9	348,5	11,00	55,0	51,2	115,4	6,90	46,3	45,6	256,2	7,04	34,5	48,1	345,2	9,10	40,7	51,4
<i>И</i> , г	210,0	25,10	196,0		1971,0	109,50	536,4		3790,0	333,00	1665,0		215,2	29,61	198,6		1745,8	17,93	579,9		3760,3	316,00	1413,0	

Таблица 5

Коэффициенты вариации относительных приростов метрических признаков наваги, минтая и трески, %

Table 5

Coefficients of variation for relative increments in metric traits of saffron cod, walleye pollock and pacific cod, %

Признак	Навага						Минтай						Треска					
	Самцы			Самки			Самцы			Самки			Самцы			Самки		
	Мальки			1			1			1			1			1		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ab, мм	14,48	16,75	3,86	8,00	4,57	2,62	30,16	8,87	5,68	20,84	11,71	6,10	37,69	9,51	13,04	36,89	9,26	9,31
ac, мм	15,61	17,41	6,54	4,04	7,70	2,59	29,00	8,51	5,72	20,32	11,52	6,39	37,80	9,49	13,01	36,78	9,90	0,98
ad, мм	15,03	18,27	7,07	4,31	8,97	2,36	28,45	8,50	6,13	21,30	11,88	6,39	37,82	9,51	13,00	37,40	10,61	9,44
ao, мм	13,49	19,33	7,68	6,03	8,22	4,66	28,18	8,93	5,41	19,73	12,64	6,88	36,54	9,75	15,83	35,80	11,04	10,23
ws, мм	18,18	15,17	15,02	10,65	9,15	4,93	29,31	30,49	15,08	14,57	19,17	15,40	45,12	13,57	16,15	47,49	15,17	17,27
np, мм	8,82	10,71	7,64	9,58	15,09	9,79	41,86	27,55	13,72	8,42	31,28	10,00	27,41	12,45	14,18	24,63	10,31	13,28
gh, мм	16,48	15,96	9,80	8,11	21,62	10,98	22,61	41,11	9,38	7,36	31,14	14,68	40,64	13,16	18,22	39,64	15,77	14,06
aq, мм	16,46	8,26	8,03	5,37	8,92	5,04	27,00	27,77	8,14	6,00	18,14	16,67	38,43	12,93	16,78	39,32	13,47	12,96
ay, мм	16,23	10,11	8,06	7,36	8,76	4,75	32,26	10,77	10,25	20,52	17,09	11,20	39,69	15,00	15,78	40,12	13,47	11,79
W, г	4,49	28,60	20,15	14,55	28,17	4,84	95,45	79,80	24,11	16,85	61,07	29,84	93,33	27,21	43,93	92,29	33,21	37,58

Примечание. 1 — молодые; 2 — среднеразмерные; 3 — крупноразмерные.

Как показывают наши данные, увеличение относительных значений большинства признаков в постэмбриогенезе наваги, минтая и трески происходит неравномерно в результате гетерономного [Шмальгаузен, 1935] или аллометрического роста (рис. 2). Как видно на рис. 2, относительные приросты морфологических признаков молодых самцов наваги и минтая несколько превышают приросты их самок, в то время как взрослые рыбы растут примерно с одинаковой скоростью. При этом минимальная величина относительного прироста у всех групп исследуемых рыб отмечена для *np*, а максимальные — для *ws* и *gh*, что указывает на более раннее формирование первого по сравнению с двумя другими признаками (рис. 2). Особи молодых рыб значительно опережают в росте взрослых, и наиболее интенсивный их рост отмечается у трески.

Половой диморфизм. У наваги половой диморфизм по абсолютным значениям исследуемых признаков выявлен в группе молодых особей: самки достоверно крупнее самцов по *ao* и *ws*. В группе среднеразмерных особей межполовые различия исчезают совсем, а у крупноразмерных они установлены по *aq* (табл. 6).

Различия у минтая по ряду признаков формируются также у молодых особей. Так, молодые самки опережают в росте молодых самцов по *ws* и по *aq*. У средневозрастных рыб половой диморфизм отмечается по *ao* и по *np* — у самок они достоверно больше (табл. 7). Различия между самцами и самками проявляются и у крупноразмерного минтая. Так, самки достоверно крупнее самцов на третьем уровне значимости по *gh* и по *aq*.

У трески по всем исследуемым признакам при сравнении самцов и самок, приблизительно равных по длине тела, половой диморфизм по средним значениям отсутствует (табл. 8).

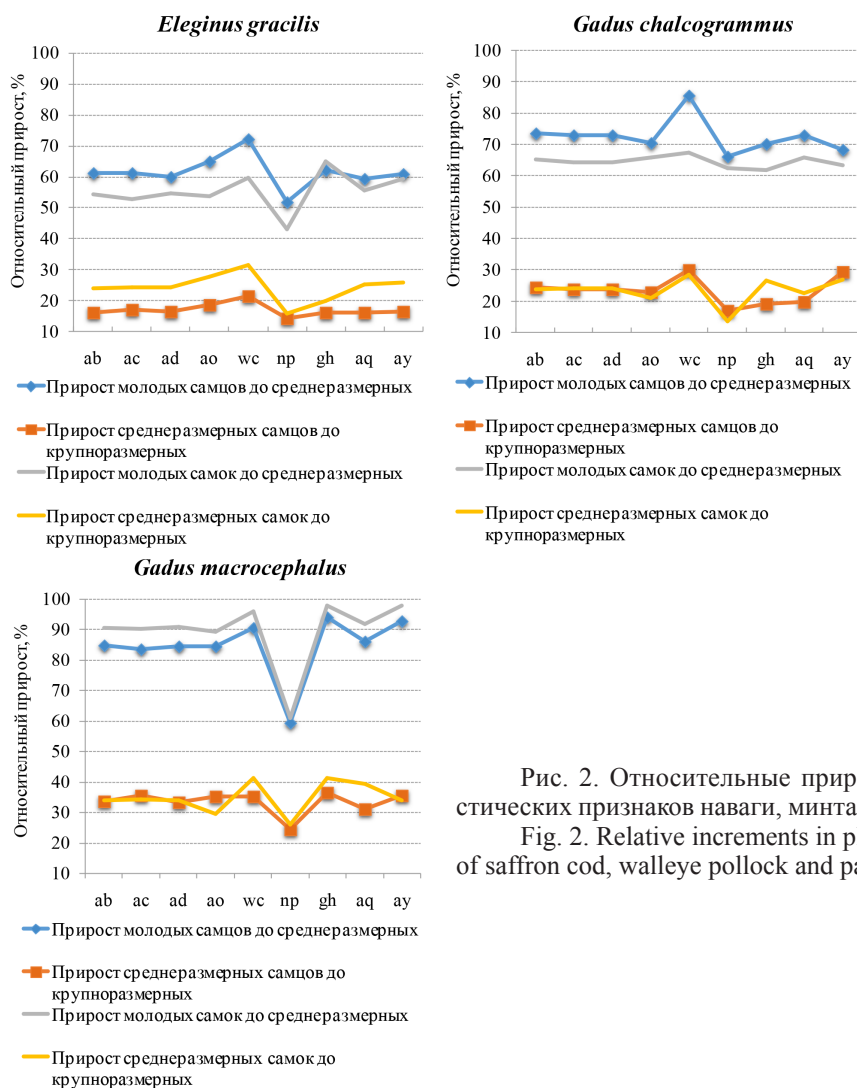


Рис. 2. Относительные приросты пластических признаков наваги, минтая и трески
Fig. 2. Relative increments in plastic traits of saffron cod, walleye pollock and pacific cod

Различия в средних значениях пластических признаков между самцами и самками наваги в размерных группах (t-критерий Стьюдента)

Differences in mean values of plastic traits (Student t-test) between males and females of saffron cod, by size groups

Признак	Молодь		Среднеразмерные		Крупноразмерные	
	t	p	t	p	t	p
ab	-1,16118	0,13772	-0,02959	0,488227	1,216984	0,115995
ac	-1,16999	0,136028	0,16304	0,43542	1,15856	0,12724
ad	-0,88597	0,199344	-0,07596	0,469808	1,478686	0,074084
ao	-1,89707	0,047197	-0,31781	0,375672	0,252266	0,401156
wc	-2,14292	0,028875	0,855387	0,197268	1,088488	0,144357
np	-1,1802	0,138233	0,286634	0,387597	-0,28889	0,387238
gh	-0,04792	0,48156	-1,04004	0,150653	0,696161	0,246809
aq	-0,83035	0,215212	0,459427	0,323506	1,992594	0,028252
ay	-0,54381	0,299893	-0,19495	0,422959	0,113698	0,455105
W	-0,99114	0,175321	-0,60181	0,274406	1,256796	0,109108

Примечание. t — значение статистики Стьюдента; p — уровень значимости, здесь и в табл. 7 выделены достоверные различия ($p < 0,05$).

Таблица 7

Различия в средних значениях пластических признаков между самцами и самками минтая в размерных группах (t-критерий Стьюдента)

Table 7

Differences in mean values of plastic traits (Student t-test) between males and females of walleye Pollock, by size groups

Признак	Молодь		Среднегазмерные		Крупногазмерные	
	t	p	t	p	t	p
<i>ab</i>	-1,30459	0,099193	-0,02715	0,489254	1,020164	0,161415
<i>ac</i>	-1,34082	0,093211	0,113516	0,455166	1,179398	0,12774
<i>ad</i>	-1,42944	0,079746	-0,10847	0,45716	1,692615	0,054953
<i>ao</i>	-1,17381	0,123194	-1,78883	0,041873	0,93803	0,180001
<i>wc</i>	-2,33077	0,012054	-0,33618	0,369316	-0,43181	0,336769
<i>np</i>	-0,47913	0,317196	-1,69257	0,049062	-1,14825	0,133871
<i>gh</i>	-0,8972	0,187092	0,233419	0,408538	2,811598	0,004724
<i>aq</i>	-1,70702	0,047281	-1,11646	0,137639	3,302211	0,002105
<i>ay</i>	-1,29818	0,100349	-0,58338	0,282153	1,431215	0,085806
<i>W</i>	-0,93012	0,178583	0,246639	0,403314	1,404979	0,086996

Таблица 8

Различия в средних значениях пластических признаков между самцами и самками трески в размерных группах (t-критерий Стьюдента)

Table 8

Differences in mean values of plastic traits (Student t-test) between males and females of pacific cod, by size groups

Признак	Молодь		Среднегазмерные		Крупногазмерные	
	t	p	t	p	t	p
<i>ab</i>	-0,13555	0,446229	-1,16105	0,125805	0,445751	0,329033
<i>ac</i>	-0,16509	0,434612	-1,40686	0,083095	0,403613	0,344249
<i>ad</i>	-0,18343	0,427424	-1,50148	0,070032	0,299694	0,382927
<i>ao</i>	-0,21957	0,413337	-1,45243	0,076585	0,156872	0,438058
<i>wc</i>	-0,57504	0,283359	-1,02944	0,154329	-0,16371	0,435401
<i>np</i>	-0,26249	0,396739	-0,50167	0,3092	-0,2461	0,403403
<i>gh</i>	-0,12715	0,449543	-1,05384	0,14879	0,420798	0,337999
<i>aq</i>	-0,43226	0,33328	-1,18371	0,121305	-0,38512	0,351022
<i>ay</i>	-0,05031	0,479991	-1,14551	0,129028	0,228149	0,410306
<i>W</i>	-0,13344	0,447065	-1,39665	0,08461	0,064803	0,474315

Таким образом, половые различия в ростовых процессах в исследуемых выборках рыб заключаются в разной скорости роста самцов и самок, что в большей степени проявляется у минтая, у которого самки растут по некоторым признакам быстрее самцов во всех исследуемых группах. У наваги значимые различия проявляются только между молодыми и крупногазмерными рыбами — самки крупнее самцов.

Следует отметить, что изменения размеров частей тела и расположения плавников связаны с изменением не только длины рыбы, но и образа жизни и формы тела, в связи с чем функции некоторых частей тела могут усиливаться или ослабевать [Алеев, 1963]. Установленные межполовые различия у крупногазмерных особей наваги (по *aq*) и минтая (по *gh*, а также различия по *aq*) являются следствием того, что с возрастом происходит совершенствование ряда гидродинамических качеств рыбы. Так, у самок наваги антедорсальное расстояние с ростом рыбы увеличивается (29,0, 29,3, 30,1 %), что способствует улучшению плавательных функций [Алеев, 1963], а у самцов, напротив, сокращается (30,2, 29,5, 29,4 %) (см. табл. 2), что и определяет формирование полового диморфизма по этому признаку у крупногазмерных рыб (табл. 6).

У самцов и у самок минтая антедорсальное расстояние с ростом сокращается (см. табл. 3), однако у самок во всех размерных группах оно превышает таковое у самцов (соответственно 28,5, 28,1, 27,9 % против 28,1, 26,9, 26,6 %). У крупноразмерных самок минтая наблюдалась бо́льшая *gh* (16,6 %), чем у самцов (15,6 %) (табл. 3), вероятно, связанная с необходимостью увеличения способности рыбы совершать повороты в вертикальной плоскости [Васнецов, 1948; Алеев, 1963], что, возможно, определяется как пищевым, так и нерестовым поведением [Васнецов, 1948; Sakurai, 1989, 2014].

У наваги и минтая наблюдается половой диморфизм по схожим признакам. Так, в группе молодых рыб он отмечен по *ws*, а у крупноразмерных — по *aq*. Такая сходная морфология двух видов рыб, вероятно, является следствием их практически одинаковых условий обитания и образом жизни [Новикова, 2021]. Известно, что форма тела рыб зависит от характера и силы гидродинамического сопротивления водной среды при их движении, а сходные потоки воды формируют и сходство в форме тела [Алеев, 1963]. Возможно, этот факт объясняет схожесть изменения местоположения спинного плавника (*aq*) у наваги и минтая относительно переднего конца тела.

Аллометрический рост. У наваги отрицательная аллометрия обнаружена у мальков по *np* (слабая связь), в группах самцов — у молоди по *aq*, *ay*. У крупноразмерных самцов положительная аллометрия отмечается для *ws*, *gh* и *ay*. Положительная аллометрия наблюдается у неполовозрелых самок для диаметра глаза и наибольшей высоты тела и в группе среднеразмерных самок — для *ws*. У крупноразмерных самок с большей скоростью относительно длины увеличиваются *ws*, *gh* и *ay* (табл. 9). Положительная аллометрия типична и для нарастания с возрастом мышечной массы. Наибольший коэффициент положительной аллометрии признака *W* характерен для мальков наваги. Известно, что такая адаптация важна для перехода мальков на потребление более крупного и подвижного корма, когда большая масса тела увеличивает скорость броска на добычу [Горбунова, 1954; Кукушкина, Щербина, 1977]. Следует отметить, что у средне- и крупноразмерных самцов коэффициент положительной аллометрии признака *W* значительно ниже, чем у самок (табл. 9).

У минтая отрицательная аллометрия отмечена в группах самцов и самок в позднем онтогенезе только для *np*. Для размерного признака *ws* по отношению к общим размерам тела обнаружена положительная аллометрия у средне- и крупноразмерных самцов. У молодых самок положительная аллометрия наблюдается для *np* и *gh*. Положительная аллометрия для *W* типична для всех групп особей минтая, при этом коэффициент аллометрии с возрастом у самцов и самок снижается (табл. 10).

У трески четко выраженная аллометрическая изменчивость по пропорциям тела не выявлена. При сравнении особей разного размера обнаружен положительный аллометрический рост на высоком уровне связи лишь у крупноразмерных самок для *ws* и традиционно для *W* с высокими значениями коэффициентов детерминации и аллометрии во всех возрастных группах (табл. 11).

Таким образом, различия между самцами и самками в постэмбриональном развитии у наваги, минтая и трески формируются разными путями.

У наваги рост морфологических признаков у самцов характеризуется чередованием изометрии, положительной и отрицательной аллометрии, а у самок — изометрией и положительной аллометрией. При этом у молодых рыб наблюдаются половые различия по ряду признаков. Так, если у самок по таким частям тела, как *np* и *gh*, характерны положительная аллометрия, а по *aq*, *ay* — изометрия, то у самцов по этим признакам — соответственно изометрия и отрицательная аллометрия. Это означает, что эти признаки у самцов формируются значительно раньше, чем у самок. При этом у крупноразмерных самцов и самок наблюдается схожий рост исследуемых признаков.

У минтая в группах молодых рыб изменения линейных признаков схожи с изменениями у наваги: у самок также отмечается положительная аллометрия по *np* и *gh*, а у самцов по этим признакам — изометрия. В более позднем онтогенезе у самцов и

Таблица 9

Коэффициенты уравнений, описывающих изменение в онтогенезе пропорций тела у наваги разных размерных групп

Table 9

Coefficients of equations describing changes in body proportions during ontogenesis for saffron cod, by size groups

Признак	Мальки						Самцы						Самки					
	Мальки			Молодь			Среднеразмерные			Крупноразмерные			Молодь			Среднеразмерные		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>
<i>ac</i>	1,05	0,772	0,987	1,01	0,930	0,998	0,95	1,248	0,906	1,04	0,787	0,974	0,96	1,235	0,998	1,03	0,820	0,978
<i>ad</i>	1,03	0,800	0,986	1,03	0,800	0,988	0,91	1,571	0,838	1,09	0,539	0,943	1,06	0,660	0,917	1,03	0,753	0,962
<i>ao</i>	0,87	0,390	0,841	1,12	0,109	0,970	1,01	0,188	0,733	1,22	0,057	0,631	1,00	0,210	0,941	1,11	0,112	0,811
<i>ac</i>	1,05	0,068	0,667	0,92	0,114	0,822	0,51	1,615	0,486	1,62	0,002	0,430	1,02	0,072	0,849	1,54	0,003	0,451
<i>pr</i>	0,47	0,517	0,311	0,53	0,547	0,585	0,61	0,384	0,271	1,12	0,019	0,192	1,58	0,020	0,600	0,84	0,099	0,285
<i>gh</i>	0,86	0,294	0,537	0,97	0,203	0,923	0,92	0,288	0,375	1,55	0,006	0,531	2,24	0,207	0,900	1,21	0,053	0,480
<i>aq</i>	0,98	0,338	0,774	0,37	8,019	0,756	0,95	0,386	0,587	0,79	1,058	0,302	1,03	0,247	0,787	1,08	0,186	0,678
<i>ay</i>	1,02	0,404	0,840	0,36	12,23	0,483	1,02	0,931	0,666	1,57	0,014	0,680	1,02	0,379	0,861	1,16	0,169	0,619
<i>W</i>	3,49	0,024	0,910	2,17	0,093	0,822	2,70	0,021	0,774	3,12	0,004	0,691	3,15	0,004	0,979	2,92	0,001	0,807

Примечание. Здесь и в табл. 10, 11 полужирный курсив — отрицательная аллометрия; полужирный — положительная аллометрия; обычный шрифт — изометрия.

Таблица 10

Коэффициенты уравнений, описывающих изменение в онтогенезе пропорций тела у минтая разных размерных групп

Table 10

Coefficients of equations describing changes in body proportions during ontogenesis for walleye pollock, by size groups

Признак	Мальки						Самцы						Самки					
	Мальки			Молодь			Среднеразмерные			Крупноразмерные			Молодь			Среднеразмерные		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R²</i>
<i>ac</i>	1,02	0,875	0,997	0,99	1,050	0,998	0,96	1,238	0,990	0,99	1,012	0,980	0,97	1,129	0,999	0,98	1,077	0,998
<i>ad</i>	0,99	0,921	0,934	1,00	0,898	0,997	0,95	1,188	0,995	1,06	0,611	0,972	1,01	0,871	0,989	0,98	0,920	0,998
<i>ao</i>	1,00	0,232	0,945	0,91	0,363	0,960	0,99	0,229	0,827	0,78	0,883	0,668	0,89	0,403	0,868	1,09	0,133	0,925
<i>ac</i>	0,94	0,113	0,858	0,99	0,081	0,935	1,53	0,003	0,776	1,91	0,002	0,571	0,81	0,230	0,703	1,23	0,021	0,892
<i>pr</i>	1,19	0,029	0,885	0,81	0,157	0,749	1,26	0,010	0,749	0,21	13,18	0,788	1,52	0,003	0,896	0,92	0,087	0,742
<i>gh</i>	0,77	0,544	0,601	1,38	0,020	0,957	0,59	2,070	0,532	1,04	0,118	0,603	1,51	0,010	0,797	0,92	0,266	0,800
<i>aq</i>	0,94	0,393	0,951	0,87	0,567	0,930	0,82	0,825	0,911	0,95	0,367	0,789	0,83	0,731	0,908	1,15	0,114	0,826
<i>ay</i>	0,93	0,563	0,939	1,07	0,291	0,977	0,87	0,909	0,704	1,59	0,009	0,827	0,96	0,521	0,957	1,08	0,262	0,956
<i>W</i>	2,70	0,011	0,961	3,18	0,003	0,993	2,77	0,013	0,734	2,44	0,047	0,689	3,08	0,005	0,967	2,63	0,021	0,932

Примечание. Здесь и в табл. 10, 11 полужирный курсив — отрицательная аллометрия; полужирный — положительная аллометрия; обычный шрифт — изометрия.

самок наблюдаются изометрия, положительная и значительно реже отрицательная аллометрия. Но, поскольку отмеченная для крупноразмерных самок отрицательная аллометрия по диаметру глаза характеризуется невысокой связью, можно предположить, что в целом у самцов процесс формирования глаз происходит раньше, чем у самок. Ширина лба и расстояние от вершины рыла до анального плавника у крупноразмерных самцов опережают в росте общие размеры тела (положительная аллометрия), формируя таким образом межполовые различия.

Рост трески практически по всем исследуемым морфометрическим признакам, исключая нарастание массы тела относительно длины, имеет скорее линейный характер, чем степенной. Единственное различие в характере роста между самцами и самками проявляется у крупноразмерных рыб: у самок наблюдается положительная аллометрия по W , что, видимо, и определяет формирование полового диморфизма по этому признаку.

Факторный анализ. Для того чтобы установить, влияют ли исследуемые морфологические признаки на изменчивость и какие из них имеют больший удельный вес в общей изменчивости внутри возрастных групп и между группами, был применен метод факторного анализа, который позволяет выделить небольшое количество скрытых факторов, в большей степени влияющих на измеряемые параметры [Рокицкий, 1973].

Согласно результатам факторного анализа, в выборках наваги, трески и минтая первые две канонические переменные в большинстве случаев описывают более 90 % общей дисперсии 10 морфологических признаков, что свидетельствует о высоком уровне согласованности в их изменчивости (табл. 12).

Из данных табл. 12 следует, что в выборках наваги и минтая *Factor 1* имеет высокие факторные нагрузки по переменным, характеризующим изменчивость общих размеров тела (ab , ac , ad , ao , W), а *Factor 2* отражает различия по пропорциям тела. Максимальные нагрузки на эту компоненту дают ws , pr , aq и ay и gh . Исключение составляют группы

Таблица 11

Коэффициенты уравнений, описывающих изменение в онтогенезе пропорций тела у трески разных размерных групп

Table 11

Coefficients of equations describing changes in body proportions during ontogenesis for pacific cod, by size groups

Признак	Самцы						Самки					
	Молодь			Крупноразмерные			Молодь			Средне-размерные		
	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2
ac	1,00	0,972	0,998	0,99	0,994	0,998	0,99	0,998	0,994	1,01	0,941	0,991
ad	1,00	0,897	0,998	0,99	0,940	0,997	0,96	1,193	0,938	1,01	0,852	0,953
ao	0,96	0,301	0,990	0,98	0,282	0,916	1,09	0,142	0,858	1,29	0,112	0,923
ws	1,18	0,036	0,968	0,72	0,675	0,283	0,96	0,154	0,524	1,38	0,011	0,834
pr	0,69	0,307	0,911	0,91	0,073	0,574	0,95	0,077	0,654	0,57	0,624	0,417
gh	1,07	0,136	0,969	1,19	0,070	0,769	0,99	0,246	0,582	1,33	0,029	0,809
aq	1,01	0,291	0,986	1,01	0,298	0,558	1,15	0,117	0,768	1,01	0,294	0,725
ay	1,06	0,337	0,992	1,36	0,051	0,659	0,91	0,929	0,533	1,05	0,353	0,720
W	3,11	0,006	0,994	3,22	0,004	0,925	2,69	0,040	0,891	3,37	0,003	0,933
										3,27	0,004	0,872

Таблица 12

Нагрузки морфологических признаков на первую и вторую канонические переменные в выборках наваги, минтая и трески

Table 12

Признак	Мальки				Самцы				Самки			
	Factor 1		Factor 2		Factor 1		Factor 2		Factor 1		Factor 2	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
Навага												
<i>ab</i> , мм	-0,978	0,018	0,809	0,468	0,712	0,348	0,152	0,734	0,481	0,321	0,268	0,744
<i>ac</i> , мм	-0,959	0,014	0,812	0,465	0,714	0,342	0,114	0,758	0,454	0,305	0,238	0,722
<i>ad</i> , мм	-0,973	0,017	0,829	0,418	0,715	0,382	0,156	0,861	0,300	0,307	0,240	0,746
<i>ao</i> , мм	-0,039	0,990	0,755	0,368	0,569	0,310	0,599	0,164	0,821	0,338	0,267	0,795
<i>ws</i> , мм	-0,862	0,003	0,649	0,525	0,365	0,376	0,161	0,900	0,344	0,165	0,070	0,277
<i>np</i> , мм	-0,497	-0,148	0,470	0,839	0,426	0,250	0,280	0,087	0,289	0,146	0,949	0,320
<i>gh</i> , мм	-0,824	-0,037	0,557	0,731	0,326	0,848	0,163	0,914	0,727	0,435	0,125	0,306
<i>aq</i> , мм	-0,908	0,009	0,470	0,776	0,699	0,395	0,334	0,360	0,423	0,199	0,155	0,404
<i>av</i> , мм	-0,928	0,026	0,448	0,346	0,464	0,324	0,415	0,227	0,649	0,719	0,225	0,928
<i>W</i> , г	-0,947	-0,017	0,312	0,748	0,558	0,512	0,571	0,170	0,825	0,242	0,196	0,663
δ^2	70,77	10,06	88,79	5,12	87,83	4,11	65,84	10,14	90,49	75,93	8,27	79,95
Мингай												
<i>ab</i> , мм	0,973	-0,003	0,711	0,496	0,712	0,348	0,773	0,595	0,731	0,394	0,518	0,342
<i>ac</i> , мм	0,972	-0,002	0,714	0,493	0,714	0,342	0,748	0,519	0,730	0,393	0,522	0,362
<i>ad</i> , мм	0,965	0,001	0,715	0,493	0,715	0,382	0,798	0,510	0,770	0,397	0,515	0,325
<i>ao</i> , мм	0,958	0,002	0,637	0,474	0,569	0,310	0,440	0,764	0,520	0,482	0,462	0,806
<i>ws</i> , мм	0,836	0,018	0,649	0,428	0,365	0,376	0,048	0,672	0,391	0,802	0,412	0,286
<i>np</i> , мм	0,000	1,000	0,431	0,817	0,426	0,250	0,404	0,842	0,566	0,453	0,257	0,130
<i>gh</i> , мм	0,797	0,010	0,692	0,496	0,326	0,848	0,979	0,107	0,515	0,419	0,850	0,207
<i>aq</i> , мм	0,964	0,001	0,537	0,449	0,699	0,395	0,882	0,446	0,625	0,426	0,472	0,385
<i>av</i> , мм	0,969	0,006	0,706	0,520	0,464	0,324	0,483	0,837	0,683	0,439	0,551	0,543
<i>W</i> , г	0,925	-0,005	0,699	0,504	0,558	0,512	0,351	0,257	0,660	0,432	0,697	0,254
δ^2	85,25	10,01	96,12	1,76	87,83	4,11	82,43	12,38	93,73	2,32	90,47	4,56
												78,27
												8,66

Треска															
<i>ab</i> , мм	—	—	0,543	0,488	0,493	0,458	0,497	0,346	0,615	0,461	0,696	0,439	0,400	0,411	
<i>ac</i> , мм	—	—	0,548	0,488	0,499	0,452	0,437	0,372	0,622	0,460	0,696	0,433	0,430	0,395	
<i>ad</i> , мм	—	—	0,562	0,484	0,488	0,451	0,548	0,496	0,619	0,449	0,686	0,439	0,466	0,475	
<i>ao</i> , мм	—	—	0,548	0,504	0,503	0,449	0,574	0,458	0,628	0,454	0,666	0,447	0,487	0,580	
<i>ws</i> , мм	—	—	0,433	0,519	0,802	0,303	0,276	0,876	0,795	0,392	0,519	0,371	0,708	0,346	
<i>np</i> , мм	—	—	0,451	0,702	0,351	0,293	0,375	0,341	0,452	0,400	0,374	0,812	0,849	0,308	
<i>gh</i> , мм	—	—	0,667	0,484	0,409	0,476	0,307	0,507	0,438	0,751	0,581	0,440	0,264	0,868	
<i>aq</i> , мм	—	—	0,565	0,477	0,531	0,427	0,586	0,522	0,476	0,459	0,454	0,412	0,481	0,691	
<i>ay</i> , мм	—	—	0,557	0,479	0,273	0,872	0,869	0,221	0,628	0,424	0,531	0,439	0,391	0,522	
<i>W</i> , г	—	—	0,494	0,479	0,501	0,482	0,588	0,452	0,669	0,396	0,616	0,368	0,593	0,594	
δ^2	—	—	98,14	0,65	90,94	3,57	89,63	4,33	95,49	1,63	93,88	2,23	89,84	4,37	

Примечание. δ^2 — дисперсия, %; курсивом выделены высокие факторные нагрузки.

среднеразмерных самок наваги и минтая, где наибольшие значения коэффициентов корреляции по первому фактору (*Factor 1*) соответствуют *ay* и *gh*, а по второму (*Factor 2*) — у обоих видов по *np*. У мальков наваги и минтая *Factor 1* несет максимальную величину факторных нагрузок. Столь высокий уровень согласованности в изменчивости всего комплекса изученных признаков, несомненно, определяется высокими темпами роста и развития организма ювенильных особей [Никольский, 1974]. Таким образом, факторные нагрузки на первую и вторую канонические оси в исследованных выборках наваги и минтая оказались сходными, что можно предполагать наличие общего тренда в их изменчивости. У трески иное распределение нагрузок. Так, в основном наибольшие соотношения между факторными нагрузками и морфометрическими признаками отмечены у самцов и у самок по *ws* и *np* при низких значениях коэффициентов корреляции по переменным, характеризующим общие размеры тела.

Кластерный анализ. Результаты сравнения наборов наибольших факторных нагрузок морфологических признаков (табл. 12) между группами внутри видов методом кластерного анализа отражают довольно высокий уровень различий трендов морфологической изменчивости у рыб разных возрастных групп.

Так, у наваги совокупность наибольших факторных нагрузок морфологических признаков образует две ветви. Первую ветвь составили взрослые рыбы, при этом среднеразмерные особи объединились в один кластер на основании имеющего больший удельный вес в этих размерных группах *ay*. Вторую ветвь образовала группа из молодых рыб, у которых схожи переменные, характеризующие изменчивость общих размеров тела (*ad*, *ao*, *W*) (рис. 3).

Один кластер составили молодые особи минтая, у которых общие размеры тела (*ab*, *ac*, *ad*) также в большей степени влияют на измеряемые параметры. На основании высокой факторной нагрузки на переменную *np* в отдельный кластер объединились взрослые самки. Третью ветвь образовали крупноразмерные самцы минтая, чьи наибольшие факторные нагрузки пришлись на *aq* и *gh* (рис. 3).

У трески отдельный кластер составляли только взрослые самцы. У средне- и крупноразмерных самцов оказались подобны максимальные величины факторных нагрузок на переменные *ws* и *ay*. Следующую ветвь на основе схожих

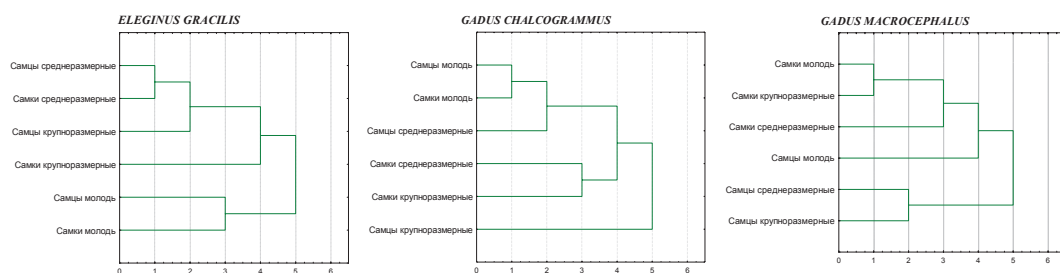


Рис. 3. Дендрограмма сходства величин факторных нагрузок в размерных группах самцов и самок наваги, минтая и трески (цифры на дендрограмме обозначают уровни близости (сходства), наименьший уровень имеет максимальную меру сходства)

Fig. 3. Dendrogram of similarity for the factor loading values in morphometric variability of males and females of saffron cod, walleye pollock and pacific cod, by size groups (the numbers on the dendrogram indicate the levels of similarity, with the lowest level for the highest similarity)

морфометрических признаков сформировали самки всех размерных групп (*gh*, *wc*, *np*) и молодые самцы (*gh*, *np*) (рис. 3).

Результаты сравнения наборов наиболее значимых факторных нагрузок в размерных группах между видами выявили общие тенденции в морфофизиологической изменчивости наваги и минтая, которые, как можно видеть на примере среднеразмерных рыб (рис. 4), во всех размерных группах объединились в один кластер. Так, максимальная изменчивость в группах молодых, средне- и крупноразмерных самцов проявилась в длинах тела (*ab*, *ac*, *ad*), а у молодых, средне- и крупноразмерных самок наибольший акцент в изменчивости морфологических признаков пришелся соответственно на *wc*, *np* и *ao* (табл. 12). Треска во всех возрастных группах образовывала отдельную ветвь. Можно предположить, что морфологическая близость наваги и минтая обусловлена сходством экологических условий в период раннего онтогенеза [Новикова и др., 2020], а межвидовая изменчивость связана с различиями в характере питания и составе пищи рыб [Васнецов, 1953; Шатуновский, 1980].

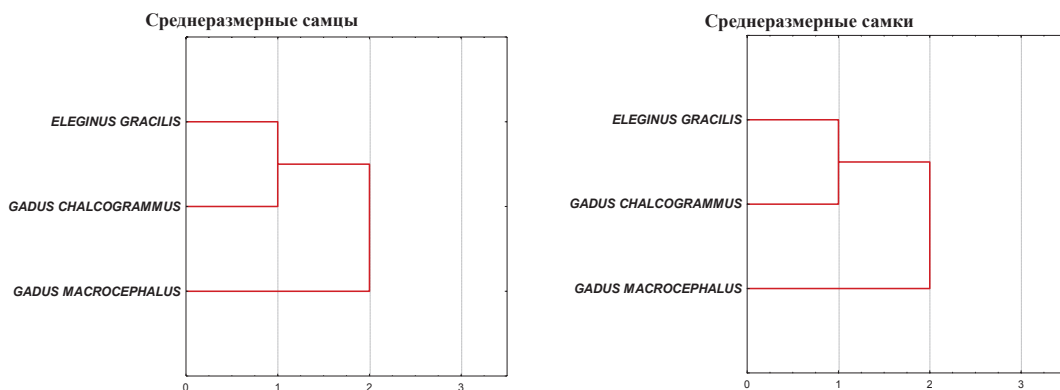


Рис. 4. Дендрограмма сходства величин факторных нагрузок между среднеразмерными группами самцов и самок наваги, минтая и трески

Fig. 4. Dendrogram of similarity for the factor loading values in morphometric variability between medium-sized groups of males and females of saffron cod, walleye pollock and pacific cod

Таким образом, исходя из кластеризации наборов наибольших факторных нагрузок морфологических признаков у исследуемых рыб, у молодых и среднеразмерных особей наваги и у молодки минтая, в отличие от трески, половые различия выражены незначительно, но с возрастом разница в характере роста увеличивается. При этом если у минтая в группах средне- и крупноразмерных самцов максимальная изменчивость в росте определяется различными, а у самок схожими факторами, то у трески в этих группах рыб отмечается обратная картина — большая согласованность в изменчивости у самцов, чем у самок.

Поскольку любые изменения онтогенеза животных под воздействием факторов внешней среды сопровождаются изменением их морфологии и, как следствие, адаптивных свойств организма [Мина, Клевезаль, 1976; Мина, 2001], в будущем целесообразно рассмотреть морфологическую изменчивость у тресковых рыб других популяций на различных стадиях онтогенеза в связи с характерными особенностями населяемых ими биотопов, что задает направление наших дальнейших исследований.

Выводы

При определении половых различий в ростовых процессах в разных размерных группах наваги, минтая и трески выявлено, что темп роста молодых рыб значительно выше, чем взрослых, и наиболее интенсивный рост наблюдается у трески. При этом минимальная величина относительного прироста у рыб всех исследуемых групп отмечена для диаметра глаза (np), а максимальные — для ширины лба (wc) и наибольшей высоты тела (gh), что указывает на более раннее формирование первого по сравнению с двумя другими признаками.

У наваги и минтая половые различия в росте связаны с более ранним созреванием самцов и большими конечными размерами у самок. Половой диморфизм по морфологическим признакам проявляется в том, что у самок, которые растут дольше самцов и достигают более крупных размеров, в группе молодых особей наваги достоверно больше размер головы (ao) и ширина лба (wc), а у крупноразмерных — антедорсальное расстояние (aq). У минтая молодые самки опережают в росте молодых самцов по ширине лба (wc) и по антедорсальному расстоянию (aq), средневозрастные — по размерам головы (ao) и по диаметру глаза (np), а крупноразмерные самки достоверно крупнее самцов по высоте тела (gh) и по антедорсальному расстоянию (aq). У трески половой диморфизм по исследуемым признакам не выявлен.

Установлено, что у особей наваги и минтая половой диморфизм формируется в результате изменения характера аллометрического роста, в то время как для трески характерен линейный тип. Половые различия у исследуемых рыб по некоторым признакам появляются очень рано и видны уже у ювенильных особей. Так, если у молодых самок наваги по таким частям тела, как диаметр глаза (np) и наибольшая высота тела (gh), характерны положительная аллометрия, а по расстоянию от вершины рыла до спинного и анального плавников (aq , ay) — изометрия, то у самцов по этим признакам — соответственно изометрия и отрицательная аллометрия. У минтая в группах молодых рыб изменения линейных признаков схожи с навагой: у самок также отмечается положительная аллометрия по диаметру глаза (np) и наибольшей высоте тела (gh), а у самцов по этим признакам — изометрия. Следовательно, эти признаки у самцов формируются значительно раньше, чем у самок.

По результатам факторного анализа выявлено, что наибольший удельный вес в общей изменчивости внутри размерных групп и между группами исследуемых видов имеют четыре индекса: расстояние от вершины рыла до конца чешуйного покрова (ad), наибольшая высота тела (gh), диаметр глаза (np) и ширина лба (wc), которые характеризуют наиболее быстро растущие органы и части тела исследуемых рыб, связанные с наступлением половой зрелости, ориентацией в пространстве и изменением в пищевой стратегии.

Сравнение наборов наиболее значимых факторных нагрузок в размерных группах между видами выявило общие тенденции в морфофизиологической изменчивости наваги и минтая. Так, в группе молодых, средне- и крупноразмерных самцов навага и минтай объединились в один кластер на основании наибольших факторных нагрузок на переменные, характеризующие длины тела (ab , ac , ad). У самок наваги и минтая наибольший акцент в изменчивости морфологических признаков пришелся у молодых рыб на ширину лба, у средневозрастных — на диаметр глаза и у крупноразмерных — на длину головы. Полученные результаты можно объяснить сходством средовых условий формирования признаков в онтогенезе.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает глубокую признательность своим коллегам, сотрудникам КамчатНИРО, принимавшим участие в сборе материалов, использованных в данной статье: Р.Т. Овчаренко, А.А. Матвееву, М.В. Ковалю и А.В. Климову, а также неизвестным рецензентам за ценные замечания и указания, которые позволили улучшить качество представленных материалов.

The author is deeply grateful to R.T. Ovcharenko, A.A. Matveev, M.V. Koval, and A.V. Klimov, her colleagues from KamchatNIRO who took part in collecting the materials used in the study, and to anonymous reviewers of the manuscript for their valuable comments and advices useful for its improvement.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных соблюдены. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The author states that she has no conflict of interest.

Список литературы

- Алеев Ю.Г. Функциональные основы внешнего строения рыб : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 247 с.
- Анухина А.М. Материалы по экологии беломорской наваги *Eleginus navaga* (Pall.) // Вопр. ихтиол. — 1962. — Т. 2, вып. 1(22). — С. 55–68.
- Борец Л.А. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1997. — 217 с.
- Буслов А.В. Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2005. — 226 с.
- Васнецов В.В. О закономерностях роста рыб // Очерки по общим вопросам ихтиологии. — М. : АН СССР, 1953. — С. 218–226.
- Васнецов В.В. Особенности движения и деятельности плавников леща, воблы и сазана в связи с питанием // Морфологические особенности, определяющие питание леща, воблы и сазана на всех стадиях развития. — М. ; Л. : АН СССР, 1948. — С. 7–53.
- Винников А.В. Тихоокеанская треска западной Камчатки: биология, динамика численности, промысел : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВО РАН, 2008. — 23 с.
- Волков А.Ф., Горбатенко К.М., Ефимкин А.Я. Стратегии питания минтая // Изв. ТИНРО. — 1990. — Т. 111. — С. 123–132.
- Воскобойникова О.С., Баланов А.А. Морфологическая изменчивость пятнистого круглопера *Eumicrotremus pacificus* (Cottoidei, Cyclopteridae) // Вопр. ихтиол. — 2019. — Т. 59, № 5. — С. 523–530. DOI: 10.1134/S0042875219050230.
- Горбунова Н.Н. Размножение и развитие минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas) // Тр. ИОАН СССР. — 1954. — Т. 11. — С. 132–195.
- Замахеев Д.Ф. О типах размерно-половых соотношений у рыб // Тр. Моск. техн. ин-та рыбн. пром-сти и хоз-ва им. А.И. Микояна. — 1959. — Вып. 10. — С. 183–209.
- Зверькова Л.М. Минтай. Биология, состояние запасов : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2003. — 248 с.
- Земнухов В.В. Половой диморфизм бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Pallas, 1814) (Pisces: Stichaeidae) // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 66–67.
- Кукушкина Н.А., Щербина Л.И. Сравнительная эколого-морфологическая характеристика ледовитоморской наваги *Eleginus navaga* (Pallas) Белого и Чешской губы Баренцова моря // Вопр. ихтиол. — 1977. — Т. 17, вып. 6(107). — С. 1123–1127.

- Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1990. — 352 с.
- Мина М.В. Морфологическая диверсикация рыб как следствие дивергенции онтогенетических траекторий // Онтогенез. — 2001. — Т. 32, № 6. — С. 471–476.
- Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных: анализ на уровне организма : моногр. — М. : Наука, 1976. — 291 с.
- Михеев П.Б. Географическая изменчивость морфологических признаков нижеамурского хариуса *Thymallus tugarinae* (Salmonidae: Thymallinae) // Вопр. ихтиол. — 2024. — Т. 64, № 1. — С. 28–43. DOI: 10.31857/S0042875224010032.
- Михеев П.Б. Половой диморфизм нижеамурского хариуса *Thymallus tugarinae* (Thymallidae) // Амур. зоол. журн. — 2009. — Т. 1, № 4. — С. 386–391.
- Мурашева М.Ю., Токранов А.М. Половой диморфизм и размерно-половая структура бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) Авачинской губы (Восточная Камчатка) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2017. — Вып. 44. — С. 44–49. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.44.44-49.
- Напазаков В.В., Чучукало В.И., Кузнецова Н.А. и др. Питание и некоторые черты экологии тресковых рыб западной части Берингова моря в летне-осенний период // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 907–928.
- Никольский Г.В. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов : моногр. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пищ. пром-сть, 1974. — 447 с.
- Новикова О.В. Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis* (Til.)) прикамчатских вод : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2007. — 23 с.
- Новикова О.В. Некоторые особенности питания дальневосточной наваги на западно-камчатском шельфе в 2010–2011 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2012. — Вып. 27. — С. 69–81.
- Новикова О.В. Тихоокеанская навага *Eleginus gracilis* (Til.) в составе ихтиоценов прикамчатских вод и Северных Курильских островов и ее трофические связи // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2021. — Вып. 62. — С. 38–70. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.62.38-70.
- Новикова О.В., Климов А.В., Коломейцев В.В. Некоторые данные о распределении мальков наваги *Eleginus gracilis* и минтая *Theragra chalcogramma* и качественный состав уловов разноглубинным тралом с мелкочечной вставкой у западного побережья Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2020. — Вып. 59. — С. 27–38. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.59.27-38.
- Поезжалова-Чегодаева Е.А. Некоторые данные о морфологии двурогого бычка *Enophrys diceraus* (Cottidae) из Тайгской губы Охотского моря // Вопр. ихтиол. — 2023. — Т. 63, № 6. — С. 626–633. DOI: 10.31857/S0042875223050090.
- Поезжалова-Чегодаева Е.А., Мурашева М.Ю. Морфологическая изменчивость бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) из Охотского и Берингова морей // Вопр. ихтиол. — 2020. — Т. 60, № 4. — С. 392–399. DOI: 10.31857/S0042875220040190.
- Покровская Т.Н. Географическая изменчивость биологии наваги (рода *Eleginus*) // Тр. ИОАН СССР. — 1960. — Т. 31. — С. 19–110.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. — М. : Пищ. пром-сть, 1966. — 376 с.
- Расс Т.С. Инструкция по сбору и технике количественной обработки икры и мальков морских рыб. — М. : ГОИН, 1933. — 24 с.
- Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика : учеб. пособие. — Минск : Вышэйш. шк., 1973. — 320 с.
- Савельев П.А., Баланов А.А., Паренский В.А. Аллометрическая изменчивость и половой диморфизм у *Lycodes yamato* Toyoshima, 1985 (Perciformes: Zoarcidae) из Японского моря // Биол. моря. — 2011. — Т. 37, № 1. — С. 31–38.
- Савельев П.А., Колпаков Е.В. Морфологическое описание, внутривидовая изменчивость и родственные связи подкаменщика Черского *Cottus czerskii* (Cottidae) // Вопр. ихтиол. — 2018. — Т. 58, № 2. — С. 144–153. DOI: 10.7868/S0042875218020030.
- Сафронов С.Н., Жульков А.И., Никитин В.Д., Лежинский С.Н. Таксономическое положение хариуса (род *Thymallus*) Сахалина и правобережных притоков нижнего Амура // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2003. — Вып. 2. — С. 355–367.
- Световидов А.Н. Фауна СССР: Рыбы. Т. 2, вып. 1: Сельдевые (Clupeidae). — М. ; Л. : АН СССР, 1952. — 331 с.

- Семененко Л.И.** Питание тихоокеанской наваги в Охотском, Беринговом и Чукотском морях в зимне-весенний период // Изв. ТИНРО. — 1970. — Т. 71. — С. 79–96.
- Токранов А.М., Толстяк А.Ф.** Пищевая ниша дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius) в прибрежных водах Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1990. — Т. 111. — С. 114–122.
- Халафян А.А.** STATISTICA 6. Статистический анализ данных : учеб. — 3-е изд. — М. : Бином-Пресс, 2007. — 512 с.
- Чучукало В.И.** Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.
- Шатуновский М.И.** Экологические закономерности обмена веществ морских рыб : моногр. — М. : Наука, 1980. — 283 с.
- Шейко Б.А., Федоров В.В.** Глава 1. Рыбообразные и рыбы // Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. — Петропавловск-Камчатский : Камч. печ. двор, 2000. — С. 7–69.
- Шмальгаузен И.И.** Определение основных понятий и методика исследования роста // Рост животных. — М. ; Л. : Биомедгиз, 1935. — С. 8–60.
- Andersson M., Iwasa Y.** Sexual Selection // Trends Ecol. Evol. — 1996. — Vol. 11, Iss. 2. — P. 53–58. DOI: 10.1016/0169-5347(96)81042-1.
- Blanckenhorn W.U.** Behavioral causes and consequences of sexual size dimorphism // Ethology. — 2005. — Vol. 111(11). — P. 977–1016. DOI: 10.1111/j.1439-0310.2005.01147.x.
- Gunawickrama K.B.** Intraspecific variation in morphology and sexual dimorphism in *Puntius singhala* (Teleostei: Cyprinidae) // Cey. J. Sci. (Biol. Sci.). — 2009. — Vol. 37, Iss. 2. — P. 167–175. DOI: 10.4038/cjsbs.v37i2.504.
- Mieno A., Karino K.** Sexual dimorphism and dichromatism in the cyprinid fish *Puntius titteya* // Ichthyol. Res. — 2017. — Vol. 64. — P. 250–255. DOI: 10.1007/s10228-016-0559-y.
- Oliveira R.F., Almada V.C.** Sexual dimorphism and allometry of external morphology in *Oreochromis mossambicus* // J. Fish Biol. — 1995. — Vol. 46, Iss. 6. — P. 1055–1064. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1995.tb01409.x.
- Park I.S., Zhang C.I., Lee Y.D.** Sexual dimorphism in morphometric characters of cocktail wrasse // J. Fish Biol. — 2001. — Vol. 58, Iss. 6. — P. 1746–1749. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02327.x.
- Sakurai Y.** Overview of reproductive characteristics and strategies among the Pacific gadid fishes // PICES — 2014 Annual Meeting Information and Presentations : abstracts. — Yeosu, Korea, 2014. — P. 53.
- Sakurai Y.** Reproductive characteristics of walleye pollock with special reference to ovarian development, fecundity and spawning behavior // Proc. Intern. Symp. Biol. Managem. Walleye Pollock. — Fairbanks, Alaska, 1989. — P. 97–115.
- Sharma L. and Ali A.** Morphometric relationships and sexual dimorphism in *Pethia punctata*, an Endemic barb of Western Ghats, India // Indian J. Ecol. — 2022. — Vol. 49, № 5. — P. 1794–1799. DOI: 10.55362/IJE/2022/3737.

References

- Aleev, Yu.G.,** *Funktsional'nyye osnovy vneshnego stroeniya ryb* (Functional bases of external structure of fish), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.
- Anukhina, A.M.,** Materials on the ecology of the White Sea navaga *Eleginus navaga* (Pall.), *Vopr. Ikhtyol.*, 1962, vol. 2, no. 1(22), pp. 55–68.
- Borets, L.A.,** *Donnye ikhtiotseny rossiiskogo shel'fa dal'nevostochnykh morei: sostav, struktura, elementy funktsionirovaniya i promyslovoye znachenie* (Benthic Ichthyocoenes on the Russian Shelf of the Far Eastern Seas: Composition, Structure, Functioning Elements, and Commercial Significance), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1997.
- Buslov, A.V.,** *Rost mintaya i razmerno-vozrastnaya struktura yego populyatsiy* (Pollock growth and size-age structure of its populations), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2005.
- Vasnetsov, V.V.,** On the patterns of fish growth, in *Ocherki po obshchim voprosam ikhtiologii* (Essays on general issues of ichthyology), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1953, pp. 218–226.
- Vasnetsov, V.V.,** Features of movement and activity of fins of bream, roach and carp in connection with nutrition, in *Morfologicheskiye osobennosti, opredelyayushchiye pitaniye leshcha, vobly i sazana na vseh stadiyakh razvitiya* (Morphological features determining the nutrition of bream, roach and carp at all stages of development), Moscow, Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1948, pp. 7–53.
- Vinnikov, A.V.,** Pacific cod of western Kamchatka: biology, population dynamics, fishing, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2008.
- Volkov, A.F., Gorbatenko, K.M., and Efimkin, A.Ya.,** Feeding ways of pollack, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1990, vol. 111, pp. 123–132.

- Voskoboinikova, O.S. and Balanov, A.A.**, Morphological variability of the spotted roundfin *Eumicrotremus pacificus* (Cottoidei, Cyclopteridae), *Vopr. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 5, pp. 523–530. doi 10.1134/S0032945219050175
- Gorbunova, N.N.**, Reproduction and development of Pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas), *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1954, vol. 11, pp. 132–195.
- Zamahae, D.F.**, About types of size-sex ratios in fishes, *Tr. Mosk. tekhn. in-ta rybn. prom-sti i khoz-va* (Proceedings of the Moscow Technical Institute of Fish Industry and Economy), 1959, vol. 10, pp. 183–209.
- Zverkova, L.M.**, *Mintay. Biologiya, sostoyaniye zapasov* (Pollock Biology, stock status), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2003.
- Zemnukhov, V.V.**, Sexual dimorphism in the stone cockscomb *Alectrias alectrolophus* (Pallas, 1814) (Pisces: Stichaeidae), *Rus. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 84–86. doi 10.1134/S1063074018010121
- Kukushkina, N.A. and Shcherbina, L.I.**, Comparative ecologomorphological characteristics of *Eleginus navaga* (Pallas) from the White Sea and the Cheshskaya Guba of the Barents Sea, *Vopr. Ikhtyol.*, 1977, vol. 17, no. 6(107), pp. 1123–1127.
- Lakin, G.F.**, *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1990, 4th ed.
- Mina M.V.**, Morphological diversification of fish as a consequence of the divergence of ontogenetic trajectories, *Russian Journal of Developmental Biology*, 2001, vol. 32, no. 6, pp. 397–402.
- Mina, M.V. and Klevezal', G.A.**, *Rost zhivotnykh: analiz na urovne organizma* (Animal Growth: An Analysis on the Level of Organism), Moscow: Nauka, 1976.
- Mikheev, P.B.**, Geographical variability of morphological features of the Lower Amur grayling *Thymallus tugarinae* (Salmonidae: Thymallinae), *Vopr. Ikhtyol.*, 2024, vol. 64, no. 1, pp. 28–43. doi 10.31857/S0042875224010032.
- Mikheev, P.B.**, Sexual dimorphism of the Lower Amur grayling *Thymallus tugarinae* (Thymallidae), *Amurian zoological journal*, 2009, vol. 1, no. 4, pp. 386–391.
- Murasheva, M.Yu. and Tokranov, A.M.**, Sexual dimorphism and sexual-size structure of stone cockscomb *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) of the Avachinskaya Bay (Eastern Kamchatka), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2017, vol. 44, pp. 44–49. doi 10.15853/2072-8212.2017.44.44-49
- Napazakov, V.V., Chuchukalo, V.I., Kuznetsova, N.A., Radchenko, V.I., Slabinsky, A.M., and Nadochey, V.A.**, Nutrition and some features of the ecology of cod fish in the western part of the Bering Sea in the summer-autumn period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 907–928.
- Nikolsky, G.V.**, *Teoriya dinamiki stada ryb kak biologicheskaya osnova ratsional'noi ekspluatatsii i vosпроизводства rybnykh resursov* (The Theory of Fish Stock Dynamics as a Biological Basis for the Rational Exploitation and Reproduction of Fish Resources), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1974, 2nd ed.
- Novikova, O.V.**, Far Eastern navaga (*Eleginus gracilis* (Til.)) of Kamchatka waters, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007.
- Novikova, O.V.**, Some features of feeding by saffron cod *eleginus gracilis* on the shelf of West Kamchatka in 2010–2011, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2012, vol. 27, pp. 69–81.
- Novikova, O.V.**, Trophic relations of pacific saffron cod *Eleginus gracilis* (Til.) in the ichthyocenoses off Kamchatka and Northern Kuriles, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2021, vol. 62, pp. 38–70. doi 10.15853/2072-8212.2021.62.38-70
- Novikova, O.V., Klimov, A.V., and Kolomeytsev, V.V.**, Some data about distribution of fry saffron cod *Eleginus gracilis* and walleye pollock *Theragra chalcogramma* on the west coast of Kamchatka and species composition in the catches of midwater trawl with a small-meshed insertion, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2020, vol. 59, pp. 27–38. doi 10.15853/2072-8212.2020.59.27-38
- Poezdalova-Chegodaeva, E.A.**, Some data on the morphology of the two-horned goby *Enophrus diceraus* (Cottidae) from the Taii Bay of the Sea of Okhotsk, *Vopr. Ikhtyol.*, 2023, vol. 63, no. 6, pp. 626–633. doi 10.31857/S0042875223050090
- Poezshalova-Chegodaeva, E.A. and Murasheva, M.Yu.**, Morphological variability of the brown cockerel *Alectrias alectrolophus* (Stichaeidae) from the Seas of Okhotsk and Bering, *Vopr. Ichthyol.*, 2020, vol. 60, no. 4, pp. 540–547. doi 10.1134/S0032945220040165
- Pokrovskaya, T.N.**, Geographical variability in the biology of saffron cod (genus *Eleginus*), *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 31, pp. 19–110.
- Pravdin, I.F.**, *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* (Guide to the Study of Fish), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.
- Russ, T.S.**, *Instruktsiya po sboru i tekhnike kolichestvennoy obrabotki ikry i mal'kov morskikh ryb* (Instructions for the collection and technique for quantitative processing of caviar and fry of marine fish), Moscow: Gos. Okeanogr. Inst., 1933.

- Rokitsky, P.F.**, *Biologicheskaya statistika* (Biological statistica), Minsk: Higher. School, 1973.
- Savelyev, P.A., Balanov, A.A., and Parensky, V.A.**, Allometric variation and sexual dimorphism in *Lycodes yamatoi* Toyoshima, 1985 (Perciformes: Zoarcidae) from the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 33–41.
- Saveliev, P.A., and Kolpakov, E.V.**, Morphological description, intraspecific variation, and relationships of Cherskii's sculpin *Cottus cherskii* (Cottidae), *J. Ichthyol.*, 2018, vol. 58, no. 2, pp. 148–157. doi 10.1134/S0032945218010125
- Safronov, S.N., Julkov, A.I., Nikitin, V.D., and Lejinski, S.N.**, Taxonomic position of grayling (genus *Thymallus*) from Sakhalin waters and right-bank the lower Amur tributaries, in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka, 2003, vol. 2, pp. 355–367.
- Svetovidov, A.N.**, *Fauna of the USSR: Fish.*, vol. 2, no. 1: *Herrings (Clupeidae)*, Moscow, Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1952.
- Semenenko, L.I.**, Feeding of the Pacific navaga in the Okhotsk, Bering and Chukotka Sea in the winter-spring period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 79–96.
- Tokranov, A.M. and Tolstyak, A.F.**, Food niche of the Pacific navaga *Eleginus gracilis* (Tilesius) in coastal waters of Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1990, vol. 111, pp. 114–122.
- Khalafyan, A.A.**, *STATISTICA 6. Statisticheskiiy analiz dannykh* (STATISTICA 6. Statistical analysis of data), 3rd ed., Moscow: Binom-Press, 2007.
- 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.
- Shatunovsky, M.I.**, *Ekologicheskie zakonomernosti obmena veshchestv morskikh ryb* (The Ecological Pattern of Metabolism in Marine Fishes), Moscow: Nauka, 1980.
- Sheiko, B.A. and Fedorov, V.V.**, Chapter 1. Fish-like and fishes, in *Katalog pozvonochnykh Kamchatki i sopredel'nykh morskikh akvatoriy* (Catalog of Kamchatka's vertebrates and adjacent marine areas), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatsky Pechatny Dvor, 2000, pp. 7–69.
- Schmalhausen, I.I.**, Definition of basic concepts and methods of growth research, in *Rost zhivotnykh* (Animal Growth), Moscow, Leningrad: Biomedgiz, 1935, pp. 8–60.
- Andersson, M. and Iwasa, Y.**, Sexual Selection, *Trends Ecol. Evol.*, 1996, vol. 11, iss. 2, pp. 53–58. doi 10.1016/0169-5347(96)81042-1
- Blanckenhorn, W.U.**, Behavioral causes and consequences of sexual size dimorphism, *Ethology*, 2005, vol. 111(11), pp. 977–1016. doi 10.1111/j.1439-0310.2005.01147.x
- Gunawickrama, K.B.**, Intraspecific variation in morphology and sexual dimorphism in *Puntius singhala* (Teleostei: Cyprinidae), *Cey. J. Sci. (Biol. Sci.)*, 2009, vol. 37, iss. 2, pp. 167–175. doi 10.4038/cjsbs.v37i2.504
- Mieno, A. and Karino, K.**, Sexual dimorphism and dichromatism in the cyprinid fish *Puntius titteya*, *Ichthyol. Res.*, 2017, vol. 64, pp. 250–255. doi 10.1007/s10228-016-0559-y
- Oliveira, R.F. and Almada, V.C.**, Sexual dimorphism and allometry of external morphology in *Oreochromis mossambicus*, *J. Fish Biol.*, 1995, vol. 46, iss. 6, pp. 1055–1064. doi 10.1111/j.1095-8649.1995.tb01409.x
- Park, I.S., Zhang, C.I., and Lee, Y.D.**, Sexual dimorphism in morphometric characters of cock-tail wrasse, *J. Fish Biol.*, 2001, vol. 58, iss. 6, pp. 1746–1749. doi 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02327.x
- Sakurai, Y.**, Overview of reproductive characteristics and strategies among the Pacific gadid fishes, *PICES — 2014 Annual Meeting Information and Presentations*, Yeosu, Korea, 2014.
- Sakurai, Y.**, Reproductive characteristics of walleye pollock with special reference to ovarian development, fecundity and spawning behavior, *Proc. Intern. Symp. Biol. Managem. Walleye Pollock*, Fairbanks, Alaska, 1989, pp. 97–115.
- Sharma, L. and Ali, A.**, Morphometric relationships and sexual dimorphism in *Pethia punctata*, an Endemic barb of Western Ghats, India, *Indian J. Ecol.*, 2022, vol. 49, no. 5, pp. 1794–1799. doi 10.55362/IJE/2022/3737

Поступила в редакцию 26.12.2024 г.

После доработки 26.02.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

The article was submitted 26.12.2024; approved after reviewing 26.02.2025;
accepted for publication 10.03.2025

Научная статья

УДК 597.552.511–152.6(282.257.3)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-39-53

EDN: YOGVMN



НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСЛОВИЯХ ОБИТАНИЯ И СОСТОЯНИИ
ПОПУЛЯЦИИ САХАЛИНСКОГО ТАЙМЕНЯ *PARAHUCHO PERRYI*
В ОЗЕРЕ ЛЕБЕДИНОМ (О. ИТУРУП)

О.В. Зеленников¹, Р.А. Семенов^{2*}¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
190034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9;² Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. При помощи малькового невода (длина 20,0 м, высота 1,5 м, размер ячеи в мотне 4 мм) с мая по декабрь 2024 г. обследовали распределение рыб всех видов в оз. Лебедином, а также присутствие в его акватории сахалинского тайменя *Parahucho perryi*. В озере выявили представителей 10 видов рыб, самыми массовыми из которых были девятииглая колюшка *Pungitius sinensis* и молодь кеты *Oncorhynchus keta*. Представители лососевых рыб конкурентов сахалинского тайменя — кунджа *Salvelinus leucomaenis*, а также молодь (и карликовые самцы) симы *Oncorhynchus masou* — в улове присутствовали единично. В летние месяцы озеро заросло высшей водной растительностью, причем как в придонном слое, так и вдоль береговой полосы, при этом обрастание нитчатой водорослью было крайне незначительным, а «цветение» воды не обнаружили. В августе состав ихтиоценоза по сравнению с маем заметно изменился. Отсутствовала молодь кеты. В каждом замете невода присутствовала японская малоротая корюшка *Hypomesus nipponensis* (до 50–100 экз.); многократно увеличилась численность крупночешуйной красноперки *Tribolodon hakonensis*. Сахалинский таймень, по крайней мере в западной и южной частях озера, присутствовал в заметном количестве. Его можно было поймать вдоль всего южного побережья озера. Фактически каждый замет невода приводил к поимке тайменя. Так, с 20 по 27 мая за 18 заметов поймано 20 особей, из которых 6 рыб имели массу 1,5–2,5 кг. Молодь кеты в озере не задерживается, а ее массовая миграция через озеро на непродолжительное время многократно увеличивает для тайменя кормовую базу.

Ключевые слова: сахалинский таймень, *Parahucho perryi*, озеро Лебединое, Итуруп

Для цитирования: Зеленников О.В., Семенов Р.А. Новые сведения об условиях обитания и состоянии популяции сахалинского тайменя *Parahucho perryi* в озере Лебедином (о. Итуруп) // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 39–53. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-39-53. EDN: YOGVMN.

* Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419; Семенов Роман Александрович, старший специалист, gudwin10066@gmail.com, ORCID 0009-0003-6588-2841.

© Зеленников О.В., Семенов Р.А., 2025

New data on habitat conditions and the state of japanese huchen *Parahucho perryi* population in Lake Lebedinoe (Iturup Island)

Oleg V. Zelennikov*, Roman A. Semenov**

* St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

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

* D.Biol., assistant professor, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419

** senior specialist, gudwin10066@gmail.com, ORCID 0009-0003-6588-2841

Abstract. Spatial distribution of fish species, in particular japanese huchen *Parahucho perryi*, was examined by fry seine (length 20.0 m, height 1.5 m, mesh size 4 mm in the belly) in Lake Lebedinoe in the period from May to December 2024. In total, 10 fish species were identified in the lake, the most common of which were amur stickleback *Pungitius sinensis* and juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta*, always presented in the catches. The third numerous species was japanese dace *Tribolodon hakonensis*, which number in 2024 was almost four times less than in the year before. The salmon species competing with japanese huchen, as whitespotted char *Salvelinus leucomaenis* and juveniles and dwarf males of masu salmon *Oncorhynchus masou*, were caught occasionally. In summer, the lake were significantly overgrown with higher aquatic vegetation, both at the bottom and alongshore, though filamentous algae were not abundant and the phytoplankton blooming was not detected. The ichthyocenosis composition changed noticeably between May and August — juvenile chum salmon had gone, japanese smelt *Hypomesus nipponensis* became presented in each catch of seine net in the number > 10 ind. (up to 50–100 ind. per catch), and the number of japanese dace underyearlings increased many times. Japanese huchen were presented in noticeable quantity at least in the western and southern parts of lake where this species was captured in each towing. So, 20 ind. of huchen were caught in 18 catches obtained in May 20–27, of which 6 fish weighed 1.5–2.5 kg. Short-time migration of young chum salmon across the lake enhanced prominently the food supply for japanese huchen.

Keywords: japanese huchen, *Parahucho perryi*, Lebedinoe Lake, Iturup Island

For citation: Zelennikov O.V., Semenov R.A. New data on habitat conditions and the state of japanese huchen *Parahucho perryi* population in Lake Lebedinoe (Iturup Island), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 39–53. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-39-53. EDN: YOGVMN.

Введение

Сахалинский таймень *Parahucho perryi* в настоящее время становится видом-символом, на примере которого проводится просветительская природоохранная работа для детей и взрослых. Особому статусу этого вида лососей способствует то, что его представители могут достигать очень крупных размеров, а сам вид является хорошо известным для широкого круга людей, значительно превышающего сообщество профессиональных рыбаков и рыболовов-любителей. К сожалению, несмотря на активную пропаганду, браконьерство остается главным фактором сокращения численности сахалинского тайменя [Zolotukhin et al., 2013; Rand, Fukushima, 2014]. Особая уязвимость этого вида связана также с его выбором крайне ограниченного числа водоемов и водотоков для обитания. Впрочем, этот выбор был осуществлен, конечно, не добровольно. Считается, что сахалинский таймень, обладающий сравнительно низкой способностью приспосабливаться к условиям окружающей среды [Гриценко, 2002; Makhrov, 2017], проигрывал конкуренцию видам, обладающим более высокой экологической пластичностью, например гольцам рода *Salvelinus*. Так, на о. Кунашир, по мнению специалистов, есть много озер, пригодных для обитания тайменя. Однако он обитает только в двух из них и только в оз. Серебряном создал сравнительно крупную популяцию [Соков, 1998]. Такая же ситуация и на о. Итуруп. Здесь заметные популяции тайменя отмечены только в озерах Лебедином и Куйбышевском, но отсутствуют в остальных, в том числе наиболее изученных — Красивом и Сопочном [Сидоров, Пичугин 2005; Зеленников и др., 2016].

Сложность текущей ситуации состоит в том, что в бассейне обоих озер, где сформированы популяции тайменя, работают рыболовные заводы, специализированные на выращивании молоди кеты. Так, на ручье Рыбоводном, впадающем в оз. Лебединое, в 2016 и 2023 гг. были построены два питомника лососевого рыболовного завода «Лебединый» с общей производственной мощностью около 35 млн мальков. Это обстоятельство делает актуальным обследование оз. Лебединого с целью выяснить, как рыболовная деятельность влияет на состояние в нем популяции тайменя.

До недавнего времени исследования ихтиоценоза в оз. Лебедином либо не проводилось, либо данные исследования не были опубликованы. В 2023 г. нами были получены первые количественные данные о состоянии ихтиоценоза озера [Зеленников, Семенов, 2023]. Работы проводили с 15 мая по 1 июня, когда в озере ожидали наибольшее число особей тайменя разного размера и возраста, и примерно за неделю до выпуска с рыболовного завода молоди кеты. В текущем году работа была выполнена в течение более протяженного периода — с мая по декабрь. Цель работы — выяснить насколько изменяется, во-первых, распределение рыб разных видов вдоль береговой полосы из года в год, и, во-вторых, как изменяется присутствие тайменя в озере в разные сезоны.

Материалы и методы

Все работы проводили на оз. Лебедином, краткая характеристика которого будет дана далее. В озеро впадают два ручья — Безымянный и Озерный, — а вытекает р. Змейка, соединяющая озеро с р. Курилка, которая в свою очередь впадает в Курильский залив Охотского моря.

Отметим, что в мае 2023 г., обследуя озеро в первый раз, мы произвольно, руководствуясь заметными береговыми ориентирами, выбрали 13 станций. Эти станции, в районе которых проводили отлов рыб, располагались по всему периметру озера примерно на одинаковом расстоянии одна от другой (рис. 1, А). Обследование озера проводили 15, 17, 20, 23 и 27 мая, 7, 21 и 29 августа, 3 и 30 сентября, 6 декабря 2024 г.

Для отлова рыб использовали мальковый невод (длина 20,0 м, высота 1,5 м, размер ячеи в мотне 4 мм), который заводили на расстояние 20 м от берега. Всего выполнили 57 заметов невода. Тотальный подсчет всех рыб осуществляли только по итогам первых 10 заметов. Для этой цели всех рыб после отлова помещали в воду в пластиковых тазах, прижизненно подсчитывая при помощи металлических сачков, и в процессе подсчета выпускали в озеро. После остальных заметов подсчитывали только особей сахалинского тайменя, кунджи и молоди симы, а также отмечали особенности улова. Некоторых особей тайменя и единично особей других видов перед выпуском фотографировали. Следует подчеркнуть, что при выполнении работы ни один экземпляр рыб какого-либо вида не был измерен, взвешен или изъят (зафиксирован) для лабораторных исследований. Все пойманные рыбы были живыми возвращены в водоем.

Результаты и их обсуждение

Особенности оз. Лебединого. Озеро Лебединое — это сравнительно мелководный водоем лагунного происхождения длиной 1,70 и шириной 0,65 км с глубинами от 0,3 до 2,4 м [Сидоров, 2005]. Характеризуя озеро, отметим, что в мае-июне ни в одной из точек температура воды не поднималась выше 18 °С, а значит, была комфортной или приемлемой для обитания представителей любого из видов лососевых рыб. Наименее благоприятные условия предположительно должны были сложиться в конце июля — в августе, т.е. в наиболее жаркий период лета. Действительно, озеро в течение летнего вегетационного периода существенно заросло высшей водной растительностью, причем как вдоль береговой полосы, так и на дне на абсолютном большинстве участков. Заросшее дно хорошо просматривалось с поверхности (рис. 1, Б). Во многих местах придонная растительность была столь обильной, что распространялась вплоть до по-

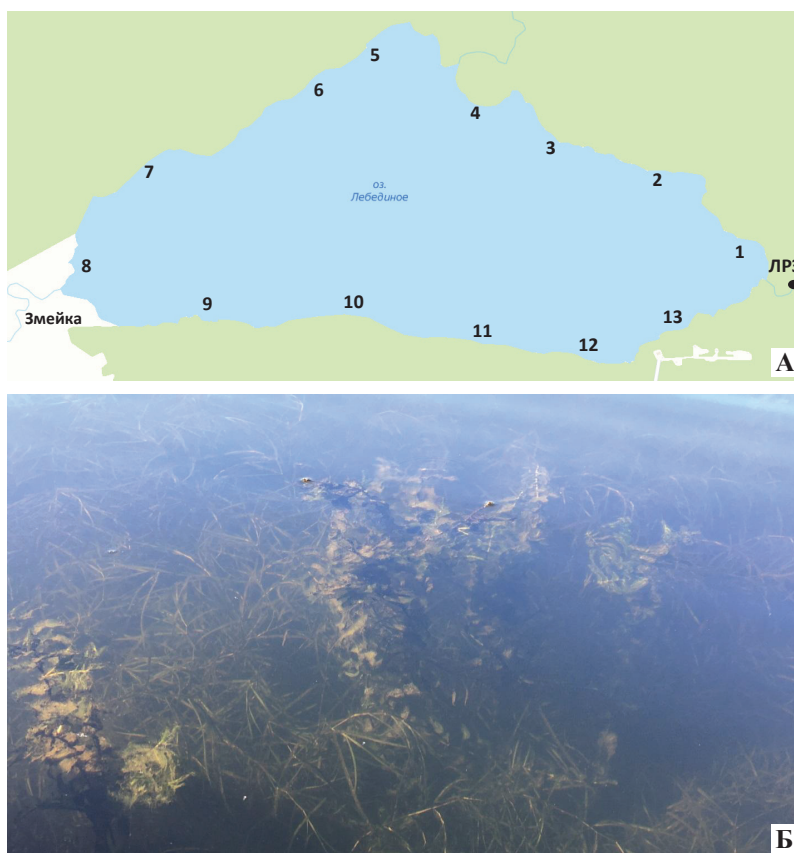


Рис. 1. Схематическая карта оз. Лебединого (А). Указано расположение р. Змейка, ЛРЗ и станций, на которых производили отлов рыб. Примеры значительного придонного обрастания озера (Б). Пояснение в тексте

Fig. 1. Scheme of Lake Lebedinoe with location of the Zmeyka River, fish hatchery and the sites of fish caught (А) and a picture of significant bottom fouling (Б). See explanation in the text

верхности, занимая большую часть толщи воды. На многих участках обследование озера оказалось просто невозможным, так как невод, проходя по зарослям придонной растительности, сворачивался в жгут от нижней до верхней подборой.

Стоит отметить, что активное развитие высшей водной растительности не допустило водорослевого обрастания озера, причем предотвратило развитие как многоклеточных (нитчатых), так и одноклеточных водорослей. По крайней мере, обрастание нитчатыми зелеными водорослями было незначительным, а «цветения» озера в 2024 г. не отмечено. В наиболее жаркий летний период в озере присутствовал выраженный градиент температуры воды, причем сразу в двух составляющих. Первый из них мы непосредственно наблюдали, о втором судили по косвенным признакам. Так, в начале августа, при температуре воздуха более 30 °С, самая низкая температура воды на поверхности озера была непосредственно в устье впадающих в водоем ручьев (минимальная температура — 12,1 °С — была в устьевой зоне ручья Безымянного). В 100–150 м от устья температура воды у поверхности была в районе 16 °С и так далее. Самая высокая температура воды за весь период наблюдений — 21,4 °С — была отмечена в противоположной стороне озера от устьев рек, непосредственно рядом с берегом.

Что касается невидимого температурного градиента, то, по нашему убеждению, он определяется наличием в озере участков выхода грунтовых вод. Косвенно об этом свидетельствует то, что именно в озере осуществляется нерест кеты, которая в акватории острова представлена только осенней расой. Нерест кеты наиболее массово наблюдается вдоль южного берега острова, и именно здесь (станции 10–13) в мае вдоль береговой полосы в массе присутствовал таймень. Его численность мы рассмотрим далее. Еще одним косвенным признаком наличия придонного температурного градиента воды является высокая концентрация тайменя в отдельных точках озера, о чем также речь пойдет далее.

Особенности обследования оз. Лебединого с использованием малькового невода. Установлено, что озеро доступно для обследования мальковым неводом вдоль всей береговой полосы. Вместе с тем грунт на разных участках существенно различался, как различались и условия работы. Так, в районе станции 1 (рис. 1, А), выбранной в месте впадения ручья Безымянного, минимальные глубины и твердое песчаное дно. В текущем году замет невода на этой станции не делали. Здесь в большом количестве присутствует колюшка и максимальна концентрация молоди кеты, которая в небольшом количестве, но попадает в процессе ее выращивания в естественную среду. В районе станций 2 и 3 присутствуют наиболее крупные для дна озера камни, которые могут помешать выведению невода. В районе станции 4, рядом с местом впадения ручья Озерного, вновь песчаное дно со значительными зарослями высшей водной растительности. В районе станций 5 и 6 наиболее илистый участок дна, который начинается за местом впадения ручья. Далее по побережью до места истока р. Змейка (станция 8) илистые участки перемежаются участками сравнительно твердого песчаного дна. В районе участка 9 вновь илисто-песчаное дно. Наконец в районе остальных участков — с 10 по 13 — наиболее твердое песчано-галечное дно. Таким образом, самый топкий илистый участок дна находится в районе станции 5, все остальные участки в работе с неводом являются легко проходимыми.

Состав ихтиофауны оз. Лебединого. Всего, как и в 2023 г., в озере были выявлены представители 10 видов рыб, которые описаны ранее [Зеленников, Семенов, 2023]: сахалинский таймень, кета *Oncorhynchus keta*, горбуша *O. gorbuscha*, сима *O. masou*, кунджа *Salvelinus leucomaenis*, амурская девятииглая колюшка *Pungitius sinensis*, крупночешуйная красноперка-угай *Tribolodon hakonensis*, трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus*, японская малоротая корюшка *Hypomesus nipponensis*, пресноводный дальневосточный бычок *Gymnogobius urotaenia*.

Количественный анализ встречаемости в озере рыб разных видов. Как и в 2023 г., в мае 2024 г. самым массовым представителем ихтиофауны была девятииглая колюшка (табл. 1). Можно видеть, что рыбы этого вида присутствовали в улове на каждой станции, причем на некоторых из них в весьма значительном количестве. Число особей колюшки в уловах широко варьировало от 20 у станции 2 до 1795 особей на улов у станции 5.

Вторым по численности видом была молодь кеты, которую также выявили на всех участках вдоль береговой полосы. Число мальков кеты в улове варьировало от 2 до 118 особей, а в среднем составило 42,3 особи на улов (табл. 1). Третьим видом рыб с наиболее высокой численностью в ихтиоценое озера была крупночешуйная красноперка-угай. В улове присутствовали сравнительно мелкие экземпляры; крупные экземпляры проходной формы (по 2–8 экз. на замет) стали попадаться в конце мая (рис. 2, А).

Сравнивая улов разных видов рыб в мае 2023 и 2024 гг., можно видеть, что не только видовой состав в уловах двух лет оказался одинаковым, сходным оказалось и число рыб разных видов, в частности девятииглой колюшки и молоди кеты (табл. 1). Впрочем, численность крупночешуйной красноперки в текущем году оказалась почти в 4 раза меньше, чем годом ранее. Представители всех остальных видов рыб как ранее, так и в 2024 г. в улове присутствовали штучно. О таймене речь пойдет далее. Но нельзя не отметить крайне скудное представительство других видов лососевых рыб. Мы видим, что двухлетки (и карликовые самцы сими), а также кунджа попадались редко и не в каждом замете. Там же, где этих рыб обнаруживали, их присутствие было единичным в буквальном смысле этого слова. Единично эти рыбы встречались и в другие сезоны — в августе-декабре.

Полагаем, что стоит особо подчеркнуть, что ни в одном из уловов в течение двух лет исследований нам не удалось обнаружить в озере мальмы *Salvelinus curilus*. Этот факт пока представляется удивительным и необъяснимым, особенно если учесть, что О.В. Зеленников лично и в большом количестве ловил мальму на удочку (до 40–50 экз.) в ручье Безымянном не далее чем в 200 м от его впадения в озеро.

Таблица 1
Распределение рыб разных видов вдоль береговой полосы оз. Лебединого, экз./лов
Table 1
Distribution of fish species along the shoreline of Lake Lebedinoe, ind./catch

Дата	Стан-ция	Кета	Таймень	Колюшка**	Красно-перка	Сима	Кунджа	Корюшка	Бычок
15.05.23*	1	542		~2000	~100	3			
	2	7		22					
	3	7		~400					
	4	4		20	5		1		
	5	3	1	102	20				
	6	2		12	2				
18.05.23	7	22	3	879	25	2			
	8	7	3	261	24	1			
	9	1	2	15	48				
	10	26		634	7				
	11	60		1008	34				
	12	17	3	210	317	3	1		
	13	16	5	477	144	5		3	
Среднее		54,9	1,3	464,6	55,8	1,1	0,2	0,2	0,0
15.05.24	2	23		20					
	4	71		39	2		1		
	5	17		1795	15	1	1		
	6	49		810	4				
	7	13		597	28	1			
	8	118		22	2				
17.05.24	9	88		31				171	1
	10	2		169	6	1			
	11	27		879	34				
	12	53		968	5			2	
20.05.24	13	4	1	755	53				
Среднее		42,3	0,1	553,2	13,5	0,6	0,2	15,7	0,1

* Данные за 2023 г. приведены для удобства сравнения из предыдущей работы [Зеленников, Семенов, 2023].

** Данные для трех- и девятииглой колюшек объединены.

Пресноводный дальневосточный бычок в мае также был пойман единично. Интересно, что в августе и сентябре эти рыбы не массово, но присутствовали в улове каждого замета (рис. 2, Б).

Самой интересной оказалась ситуация с японской малоротой корюшкой, которая присутствует в озере в небольшом количестве, но на отдельных участках может создавать концентрацию значительной численности. Так, 17 мая на участке станции 9 одновременно поймали 171 экз. корюшки. При этом можно видеть, что на остальных станциях ее практически не ловили (табл. 1). Более того, 20 мая мы вновь выполняли облов на этой станции, но не обнаружили ни одного экземпляра малоротой корюшки.

В августе и сентябре вдоль береговой полосы озера была весьма обильная кормовая база. Во-первых, массово присутствовали пелагические мизиды — представители отряда высших ракообразных (рис. 3). Они буквально покрывали крылья невода при вываживании. Во-вторых, помимо колюшки, которая по-прежнему массово была распространена вдоль береговой полосы, в улове в значительном количестве присутствовали сеголетки красноперки (рис. 3). В третьих, в отличие от мая, в августе и сентябре в озере весьма заметной была малоротая корюшка. Ее не подсчитывали, однако можем утверждать, что она присутствовала в улове после каждого замета в количестве не менее

Рис. 2. Крупный экземпляр крупночешуйной красноперки-угай из улова от 27 мая (А) и пресноводный дальневосточный бычок из улова от 29 августа (Б). Пояснение в тексте



Fig. 2. A large specimen of japanese dace caught on May 27 (А) and a large goby *Gymnogobius urotaenia* caught on August 29 (Б). See explanation in the text



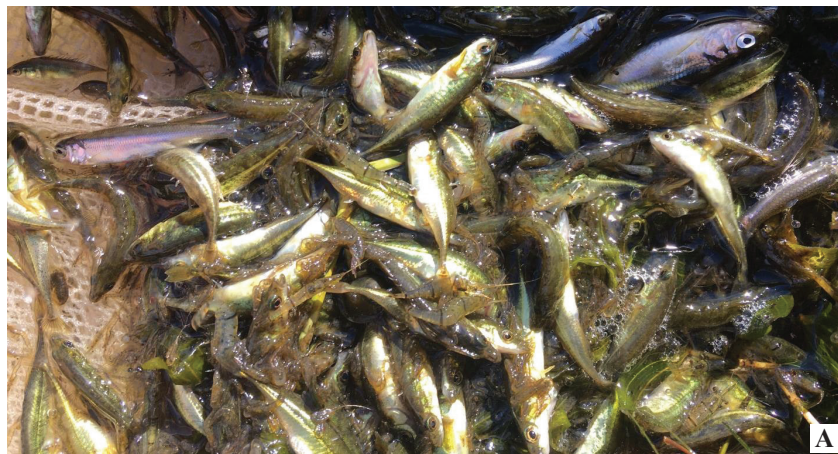
Рис. 3. Фрагменты улова от 30 сентября. Можно видеть сеголеток крупночешуйной красноперки (А), а также большое количество пресноводных мизид (Б). Пояснение в тексте



Fig. 3. The catch on September 30 with underyearlings of japanese dace (А) and a large number of freshwater mysids (Б). See explanation in the text



10 особей. Интересно, что в августе-сентябре наблюдали значительную концентрацию рыб одного вида — либо в улове массово преобладала колюшка со значительным дополнением малоротой корюшки (рис. 4, А), либо молодь красноперки. Например, в замете от 3 сентября на одной из станций присутствовало около 750 шт. красноперки массой (приблизительно) от 3 до 15 г (рис. 4, Б).



Р и с . 4 .
Фрагменты улова
от 3 сентября, в
котором массо-
во преобладает
девятииглая ко-
люшка, малоро-
тая корюшка (А)
и молодь дальне-
восточной крас-
ноперки (Б). По-
яснение в тексте

Fig. 4. The
catch on Septem-
ber 3 with predom-
inance of amur
stickleback, japa-
nese smelt (А),
and juvenile japa-
nese dace (Б). See
explanation in the
text

В декабре рыба любых видов фактически отсутствовала в районе береговой полосы. Поимки тайменя в этот день не ожидали, поскольку он уже должен был находиться на зимовальных ямах. Однако и рыбы других видов отошли на более глубокие участки. Улов состоял из единичных экземпляров девятииглой колюшки, кунджи и малоротой корюшки.

Встречаемость в озере особей сахалинского тайменя всех возрастных групп. Число особей тайменя, пойманных в середине мая в 2023 и 2024 гг., оказалось весьма различным. Если в 2023 г. на 13 станциях поймали 17 особей, то в 2024 г. только 1 экз. (табл. 1). Однако при штучном присутствии рыб этого вида в улове даже такие столь существенные различия могут быть случайными. По крайней мере, в дальнейшем мы ловили тайменя в значительном количестве. Исходя из наиболее массовых поимок, а также рельефа дна и преобладающих глубин, мы определили, что наиболее массовым присутствие тайменя должно быть в районе станции 7,

а также у южного побережья озера между станциями 9 и 13. Действительно, 20 мая в районе станции 7 сделали два замета на расстоянии 30–40 м друг от друга. Первый замет привел к поимке двух особей тайменя, одна из которых имела массу не менее 1,5 кг (табл. 2; рис. 5, А). У станции 9 тайменя не поймали, а у станции 10 поймали сразу 4 разноразмерных экземпляра, один из которых имел массу не менее 2 кг. Понимая свою ответственность за сохранность рыб, их измерение и взвешивание, а также забор каких-либо проб не проводили, определяя массу приблизительно. В этот день были пойманы также экземпляры тайменя у станций 12 и 13. Таким образом, 20 мая по итогам 7 заматов поймали 9 особей тайменя, в том числе 2 крупных экземпляра.

Таблица 2

Уловы тайменя в мае 2024 г., экз. Выделены экземпляры массой более 1 кг

Table 2

Catches of japanese huchen in May 2024. Specimens with weight > 1 kg are highlighted in red

20 мая		23 мая		27 мая	
Станция	Кол-во рыб	Станция	Кол-во рыб	Станция	Кол-во рыб
7	1+1	7	1	10	1
7	1	7	–	10	1
9	–	10	–	10	1+1
10	3+1	10	1+1	11	1
11	–	11	1	12	1
12	1			13	1
13	1				

Примерно таким же оказался улов и 23 мая. Замет на станции 7 привел к поимке крупного экземпляра, массой около 1,5 кг (рис. 5, Б). Еще более крупный экземпляр, ориентировочно на 2,5 кг, был пойман на станции 10 (рис. 5, В) и примерно на 1,3 кг — у станции 11 (табл. 2; рис. 5, Г). В улове от 27 мая экземпляры тайменя разного размера были пойманы во время каждого замата.

Обобщая полученные данные, мы можем заключить, что во второй половине мая, по крайней мере в западной и южной частях озера, таймень присутствовал вдоль всей береговой полосы, и его численность была значительной. Фактически каждый замет невода приводил к поимке тайменя, а всего за 18 заматов мы поймали 20 особей, из которых 6 рыб имели массу около или более 1,5 кг.

В августе, как было отмечено ранее, состав ихтиоценоза в береговой полосе по сравнению с маем существенно изменился. Что касается тайменя, то он в озере присутствовал, в том числе в непосредственной близости к берегу. Об этом свидетельствует следующий факт. Всего в течение 7, 21 и 29 августа на станциях 10, 11 и 12 нам удалось сделать 14 качественных заматов. Под качественным заметом мы понимаем вариант, когда, несмотря на массовое зарастание озера, невод с уловом удается провести от начала и до конца в полностью раскрытом состоянии. В улове после этих 14 тралений таймень присутствовал только один раз — в улове от 21 августа в районе станции 11, но зато сразу в количестве 6 особей (рис. 6, А). Никогда ранее одномоментно мы не ловили такого количества экземпляров тайменя. Представляется очевидным, что случайно мы обнаружили высокую концентрацию тайменя на конкретном участке, вероятно, наиболее комфортном для обитания в летний период. Например, на участке выхода грунтовых вод. В сентябре — начале октября по мере понижения температуры воды таймень вновь штучно присутствовал в уловах (рис. 6, Б).

Обсуждая полученные данные, вновь, как и по результатам предыдущего года исследований, отметим, что в оз. Лебедином встретили представителей тех видов рыб, которых и предполагали обнаружить с учетом сведений о видовом составе ихтиофауны водотоков и водоемов о. Итуруп [Шедько, 2002; Сидоров, 2005]. Сообщество рыб озера



Рис. 5. Таймень, пойманный 20 мая на станциях 7 (А) и 23 мая на 7 (Б), 10 (В) и 11 (Г)

Fig. 5. Japanese huchen caught on May 20 at St. 7 (А) and on May 23 at St. 7 (Б), St. 10 (В) and St. 11 (Г)

Рис. 6. Примеры молоди тайменя, пойманной 21 августа (А) и 30 сентября (Б). Пояснение в тексте

Fig. 6. Examples of juvenile japanese huchen caught on August 21 (А) and September 30 (Б). See explanation in the text



является сравнительно обедненным, как в плане биологического разнообразия, так и в плане обилия, что в целом характерно для озер южных Курильских островов [Рыбы Курильских островов, 2012]. Однако даже с учетом этой информации по-прежнему остается непонятным полное отсутствие в озере мальмы и крайне незначительное представительство кунджи. Поскольку рыбы обоих видов есть в водотоках, связанных с озером, то, вероятно, полное отсутствие особей одного и фактическое отсутствие особей второго из видов гольцов свидетельствует о некомфортных для них условиях обитания в оз. Лебедином.

Анализируя численность рыб разных видов вдоль береговой полосы, отметим, что, с одной стороны, она оказалась практически одинаковой в мае 2023 и 2024 гг. Однако, с другой стороны, мы отметили сезонное изменение в ихтиоценозе. Численность рыб разных видов несколько изменилась в августе 2024 г. по сравнению с тем, что мы наблюдали в мае этого же года.

В мае в оба года в сообществе значительно преобладали девятииглая колюшка и молодь кеты, которые обитали вдоль всей береговой полосы, обязательно присутствовали в улове после каждого замета невода, хотя их численность заметно варьировала

от станции к станции. В 2024 г. в среднем оказалось заметно меньше особей третьего из наиболее массовых видов — крупночешуйной красноперки. Если учесть, что она по большей части была представлена молодью, то, вероятно, уменьшение ее численности могло быть следствием менее успешного нереста годом ранее. Японская малоротая корюшка однажды была выявлена в значительном количестве, но это скорее свидетельствует не о ее массовости в мае, а о формировании особями этого вида локальных скоплений. Другие виды рыб присутствовали штучно.

В августе состав ихтиоценоза заметно изменился. Опасаясь высокой температуры воды, но, главное, высокой (30–35 °С) температуры воздуха, рыб не подсчитывали, а об изменении в ихтиоценозе судили, опираясь на качественные характеристики. Во-первых, объективно в улове отсутствовала молодь кеты. Во-вторых, в каждом замете невода присутствовала японская малоротая корюшка. Иногда ее количество было весьма заметным (50–100 экз. и более), но во всех случаях было не менее 10 особей. Интересно отметить, что в улове каждого из заматов наблюдали особей бычка. И хотя их было мало — не более 3–4 экз. — и какой-либо значимой роли они не играли, все же это было заметное изменение по сравнению с ситуацией в мае. И наконец, в-третьих, за счет сеголеток многократно увеличилась численность крупночешуйной красноперки. Численность колюшки в августе была примерно такой же, как и в мае. Таким образом, состав видов рыб — потенциальных кормовых объектов для тайменя в августе несколько изменился. Однако общая численность рыб не уменьшилась.

Отдельно следует подчеркнуть, что в оз. Лебедином не произошло формирования настоящей озерной популяции кеты, представители которой биологически и морфологически отличались бы от представителей обычных речных популяций [Каев, 2003; Каев, Ромасенко, 2010]. Вместе с тем нерест кеты в озере есть, а значит, есть и места выхода грунтовых вод. Пойма в одном из заматов сразу 6 экз. тайменя, мы случайно обнаружили одно из таких локальных скоплений. Однако можно предположить, что грунтовое водоснабжение озера оказывается недостаточным для комфортного или, по крайней мере, терпимого обитания гольцов. Особенно интересным представляется тот факт, что и на о. Кунашир самая крупная популяция сахалинского тайменя обитает в оз. Серебряном. Удивительно, но это озеро является практически полным аналогом оз. Лебединого. Его размеры 2,5 на 0,8 км, максимальные глубины 2,0 м, а преимущественные 1,2–1,3, есть участки для нереста кеты. Летом озеро сильно зарастает высшей водной растительностью. Таймень питается бокоплавами, мизидами, колюшкой, малоротой корюшкой и красноперкой [Соков, 1998].

Можно полагать, что оз. Лебединое, так же как и оз. Серебряное на о. Кунашир, предоставляет достаточную кормовую базу для тайменя и достаточно градиентные условия для обитания его молоди, но в то же время формирует недопустимые условия для обитания видов прямых конкурентов. С учетом всех перечисленных фактов и высказанных соображений представляется очевидным, что выращивание молоди кеты на ручье Безымянном, впадающем в оз. Лебединое, не может нанести вред особям тайменя любого возраста. Мальки кеты в озере не задержатся, а мигрируя через его акваторию, могут лишь на сравнительно короткое время многократно увеличить для молоди тайменя кормовую базу.

Заключение

По совокупности полученных фактов и имеющихся сведений мы можем заключить, что оз. Лебединое имеет как выраженные плюсы, так и минусы при оценке перспективы функционирования здесь стабильной популяции сахалинского тайменя.

Среди очевидных плюсов, во-первых, отметим термические и гидрологические условия. С одной стороны, настоящая озерная популяция кеты в озере не сформировалась, с другой — нерест кеты осенней расы в озере хорошо известен, а это значит, что

есть участки выхода грунтовых вод. Грунтовая вода, конечно, охлаждает воду озера в летние месяцы; плюс охлаждение идет за счет впадающих в озеро ручьев. Впрочем, и сама температура 20–21 °С является если и не комфортной, то вполне приемлемой для сахалинского тайменя [Бушуев, 1983], но, по всей видимости, недопустимой для его прямых конкурентов — гольцов. По крайней мере, кунджа в озере присутствовала штучно, а мальму за два года работы мы не обнаружили.

Во-вторых, крайне благоприятным для тайменя является обильное зарастание озера в летние месяцы, которое препятствует его «цветению» с образованием характерной для этого явления заморной зоны. Такая же закономерность, когда высшая водная растительность препятствует водорослевому обрастанию, хорошо известна и в декоративном рыбоводстве (аквариумистике); обильное разрастание водных цветковых растений и папоротников блокирует развитие водорослей.

В-третьих, в озере формируется хорошая кормовая база для молоди тайменя разных возрастных групп. Здесь присутствуют мизиды и в большом количестве девятииглая колюшка, которые являются главными объектами питания тайменя на о. Кунашир. Встречается малоротая корюшка — главный объект питания тайменя в озерах южного Сахалина [Ключарева, 1964]. Причем численность корюшки, по всей видимости, в течение лета увеличивается. Есть молодь красноперки. Наконец, молодь кеты и горбуши, как природная, так и заводская, в мае-июне также многократно увеличивает кормовую базу.

Из очевидных минусов отметим только один — расположение озера. Оно находится рядом с крупнейшим населенным пунктом острова — г. Курильск, как говорится, в шаговой доступности. Интересно, что озеро с самой крупной популяцией тайменя на о. Кунашир — Серебряное — также находится фактически в черте г. Южно-Курильск. С учетом того, что главный фактор сокращения численности сахалинского тайменя — браконьерство, такое соседство не является благоприятным.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам Курильского рыбоводного завода Г.Ю. Кулешову и И.А. Чечулину за помощь в проведении облова.

The authors are grateful to G.Yu. Kuleshov and I.A. Chechulin (Kurilsky fish hatchery) for their assistance in seining.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Во время исследования работали только с живой рыбой. Фиксацию рыб, их измерение или взвешивание не проводили. Отмечали факт поимки, отдельных рыб выборочно фотографировали, выборочно прижизненно подсчитывали, не касаясь руками, и всех особей выпускали живыми.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Only live fish were processed in the study, without fixing, measuring and weighing them, but with species identification, selective photography and selective counting without touching with hands. All processed individuals were released alive.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Оба автора совместно проводили обловы и анализировали данные. О.В. Зеленников подготовил материалы к печати и написал статью.

Both authors sampled the fish and analyzed the data jointly. O.V. Zelennikov prepared the materials for publication and wrote the article.

Список литературы

Бушуев В.П. Биология тайменя *Hucho perryi* (Brevoort) из реки Киевка (Южное Приморье) // Экология и систематика пресноводных организмов Дальнего Востока. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1983. — С. 61–72.

Гриценко О.Ф. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел) : моногр. — М. : ВНИРО, 2002. — 248 с.

Зеленников О.В., Погодин В.П., Отставная Е.Г. Распределение молоди тихоокеанских лососей и сопутствующих видов рыб в озере Сопочное (остров Итуруп) // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 2. — С. 153–155.

Зеленников О.В., Семенов Р.А. О состоянии ихтиофауны озера Лебединого (остров Итуруп) в связи с функционированием лососевых рыбоводных заводов // Изв. ТИПРО. — 2023. — Т. 203, № 3. — С. 490–498. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-490-498. EDN: АВРІНО.

Каев А.М. Особенности воспроизводства кеты в связи с ее размерно-возрастной структурой : моногр. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2003. — 288 с.

Каев А.М., Ромасенко Л.В. Морфобиологические особенности речной и озерной форм кеты *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) на южных Курильских островах // Вопр. ихтиол. — 2010. — Т. 50, № 3. — С. 318–327.

Ключарева О.А. Материалы по ихтиофауне и рыбному хозяйству озер Южного Сахалина // Озера Южного Сахалина и их ихтиофауна. — М. : МГУ, 1964. — С. 223–266.

Рыбы Курильских островов : моногр. / под ред. О.Ф. Гриценко. — М. : ВНИРО, 2012. — 384 с.

Сидоров Л.К. Ихтиофауна пресных вод южных Курильских островов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2005. — 24 с.

Сидоров Л.К., Пичугин М.Ю. Состав ихтиофауны и особенности биологии рыб южных Курильских островов в связи с абиотическими условиями и происхождением водоемов // Тр. ВНИРО. — 2005. — Т. 144. — С. 151–175.

Соков Д.В. Сахалинский таймень *Hucho perryi* (Brevoort) острова Кунашир // Вестник сахалинского музея. — 1998. — № 1(5). — С. 333–336.

Шедько С.В. Обзор пресноводной ихтиофауны // Растительный и животный мир Курильских островов (материалы Международного Курильского проекта). — Владивосток : Дальнаука, 2002. — С. 118–134.

Makhrov A.A. A narrowing of the phenotypic diversity range after large rearrangements of the karyotype in Salmonidae: the relationship between saltational genome rearrangements and gradual adaptive evolution // Genes. — 2017. — Vol. 8, № 11. — P. 297. DOI: 10.3390/genes8110297.

Rand P.S., Fukushima M. Estimating the size of the spawning population and evaluating environmental controls on migration for a critically endangered Asian salmonid, Sakhalin taimen // Global Ecology and Conservation. — 2014. — Vol. 2. — P. 214–225.

Zolotukhin S., Makeev S., Semenchenko A. Current status of the Sakhalin taimen, *Parahucho perryi* (Brevoort), on the mainland coast of the Sea of Japan and the Okhotsk Sea // Arch. Pol. Fish. — 2013. — Vol. 21. — P. 205–210. DOI: 10.2478/aopf-2013-0018.

References

Bushuev, V.P., Biology of taimen *Hucho perryi* (Brevoort) from the Kievka River (Southern Primorye), in *Ekologiya i sistematika presnovodnykh organizmov Dal'nego Vostoka* (Ecology and systematics of freshwater organisms of the Far East), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1983, pp. 61–72.

Gritsenko, O.F., *Prokhodnye ryby ostrova Sakhalin (sistematika, ekologiya, promysel)* (Diadromous Fishes of Sakhalin (Systematics, Ecology, Fisheries)), Moscow: VNIRO, 2002.

Zelennikov, O.V., Pogodin, V.P., and Otstavnaya, E.G., The distribution of juvenile pacific salmon and associated fish species in Lake Sopochnoye, Iturup Island, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 2, pp. 190–192. doi 10.1134/S1063074016020139

Zelennikov, O.V. and Semenov, R.A., On state of the ichthyocene in Lake Lebedinoe (Iturup Island) in connection with functioning of salmon hatcheries, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst.*

Rybn. Khoz. Okeanogr., 2023, vol. 203, no. 3, pp. 490–498. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-490-498. EDN: ABPIHO.

Kaev, A.M., *Osobennosti vosпроизводства kety v svyazi s yeyo razmerno-vozhrastnoy strukturoi* (Features of Reproduction of Chum Salmon in Relationship with Its Size and Age Structure), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2003.

Kaev, A.M. and Romasenko, L.V., Morphobiological specific features of the river and lake forms of chum salmon *Oncorhynchus keta* (Salmonidae) on the southern Kuril Islands, *Vopr. Ikhtiol.*, 2010, vol. 50, no. 3, pp. 318–327.

Klyuchareva, O.A., Materials on the ichthyofauna and fisheries of the lakes of South Sakhalin, in *Ozera Yuzhnogo Sakhalina i ikh ikhtiofauna* (Lakes of South Sakhalin and their ichthyofauna), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1964, pp. 223–266.

Ryby Kuril'skikh ostrovov (Fishes of the Kuril Islands), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2012.

Sidorov, L.K., Ichthyofauna of fresh waters of the southern Kuril Islands, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 2005.

Sidorov, L.K. and Pichugin, M.Yu., The composition of the ichthyofauna and the peculiarities of the biology of fish of the southern Kuril Islands in connection with abiotic conditions and the origin of water bodies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 144, pp. 151–175.

Sokov, D.V., Sakhalin taimen *Hucho perryi* (Brevoort) of Kunashir Island, *Vestnik sakhalinskogo muzeya*, 1998, no. 1(5), pp. 333–336.

Shedko, S.V., The review of the freshwater ichthyofauna, in *Rastitel'nyy i zhivotnyy mir Kuril'skikh ostrovov (materialy Mezhdunarodnogo Kuril'skogo proyekta)*, Vladivostok: Dal'nauka, 2002, pp. 118–134.

Makhrov, A.A., A narrowing of the phenotypic diversity range after large rearrangements of the karyotype in salmonidae: the relationship between saltational genome rearrangements and gradual adaptive evolution, *Genes*, 2017, vol. 8, no. 11, pp. 297. doi 10.3390/genes8110297

Rand, P.S. and Fukushima, M., Estimating the size of the spawning population and evaluating environmental controls on migration for a critically endangered Asian salmonid, Sakhalin taimen, *Global Ecology and Conservation*, 2014, vol. 2, pp. 214–225.

Zolotukhin, S., Makeev, S., and Semchenko, A., Current status of the Sakhalin taimen, *Parahucho perryi* (Brevoort), on the mainland coast of the Sea of Japan and the Okhotsk Sea, *Arch. Pol. Fish.*, 2013, vol. 21, pp. 205–210. doi 10.2478/aopf-2013-0018

Поступила в редакцию 23.01.2025 г.

После доработки 13.02.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

*The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 13.02.2025;
accepted for publication 10.03.2025*

Краткое сообщение

УДК 597.58(282.257.95)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-54-61

EDN: YZRJWC



ПЕРВЫЙ СЛУЧАЙ ПОИМКИ БОЛЬШОЙ КОРИФЕНЫ
CORYPHAENA HIPPURUS (CORYPHAENIDAE) ВО ВНУТРЕННИХ
ЭСТУАРНЫХ ВОДАХ РОССИИ

Е.И. Барабанщиков, Е.В. Колпаков*

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

Аннотация. Приводятся сведения о первой поимке большой корифены *Coryphaena hippurus* длиной 104 см и массой 6,0 кг в эстуарии р. Раздольной зал. Петра Великого Японского моря на расстоянии более 2,5 км от устья вверх по течению. Это активный эпипелагический хищник и ранее во внутренней эстуарной зоне водных объектов Российской Федерации не регистрировался.

Ключевые слова: большая корифена, экология, внутренний эстуарий р. Раздольной, зал. Петра Великого, Японское море

Для цитирования: Барабанщиков Е.И., Колпаков Е.В. Первый случай поимки большой корифены *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) во внутренних эстуарных водах России // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 54–61. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-54-61. EDN: YZRJWC.

Short message

The first case of capture of common dolphinfish *Coryphaena hippurus*
(Coryphaenidae) in the inner estuary waters of Russia

Evgeny I. Barabanshchikov*, Evgeny V. Kolpakov**

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

* Ph.D., head of laboratory, evgenii.barabanshchikov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2609-7555

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

Abstract. Common dolphinfish *Coryphaena hippurus*, 104 cm long and weighing 6.0 kg, was caught in the Razdolnaya River estuary (Peter the Great Bay, Japan Sea) at a distance of more than 2.5 km upstream from the mouth bar. This species is an active epipelagic predator and has not been previously recorded anywhere in the internal estuaries of Russia.

Keywords: common dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, ecology, internal estuary, Razdolnaya River, Peter the Great Bay, Japan Sea

For citation: Barabanshchikov E.I., Kolpakov E.V. The first case of capture of common dolphinfish *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) in the inner estuary waters of Russia, *Izv.*

* Барабанщиков Евгений Иванович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, evgenii.barabanshchikov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2609-7555; Колпаков Евгений Викторович, главный специалист, kolpakovternei@mail.ru, ORCID 0000-0003-1916-3769.

© Барабанщиков Е.И., Колпаков Е.В., 2025

Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2025, vol. 205, no. 1, pp. 54–61. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-54-61. EDN: YZRJWC.

Река Раздольная имеет один из самых крупных внутренних эстуариев в Приморском крае. По протяженности он превышает 40 км и доходит до села Раздольного [Барабанщиков, 1997; Барабанщиков, Большаков, 2023], хотя еще в начале прошлого века размеры были вдвое больше. По сообщению Г.Д. Дулькейта [1925] некоторые морские виды, например пиленгас *Planiliza haematocheilus* (Temminck et Schlegel, 1845) и звездчатая камбала *Platichthys stellatus* (Pallas, 1787), в то время поднимались по реке до г. Уссурийск (старое название Никольск-Уссурийский) и даже выше, а это около 90 км вверх по течению от устья.

За более чем столетний период изучения ихтиофауны р. Раздольной в ее составе отмечено не менее 110 видов рыб [Дулькейт, 1925; Шедько, 2001; Барабанщиков, Магомедов, 2002; Xie, 2007; Kolpakov, Barabanshchikov, 2008; Колпаков, 2018]. Точное их число не установлено, поскольку находки новых представителей рыбного сообщества продолжаются, и информация по ним поступает регулярно. Связано это как с непреднамеренной интродукцией чужеродных элементов в ходе рыбоводной деятельности, так и с заходом в ее эстуарную зону некоторых морских видов [Магомедов, 2001; Колпаков и др., 2008; Харин, Чеблуков, 2009; Харин и др., 2013; Барабанщиков, 2021]. К числу последних принадлежат южные мигранты.

Освоение тепловодными рыбами акватории северо-западной части Японского моря происходит в весенне-летний период. При этом на фоне растущей среднегодовой температуры прилежащих вод данного района [Гайко, 2016; Nikitin et al., 2023] практически ежегодно наблюдается проникновение новых видов. Только за последние 10 лет здесь зарегистрированы ранее неизвестные для вод России рыба-ящерица *Saurida microlepis* Wu et Wang, 1931 [Земнухов и др., 2016], саблезубая морская собачка *Petroscirtes variabilis* Cantor, 1849 и желтохвостая барракуда *Sphyrna flavigauda* Rüppell, 1838 [Маркевич, 2019], аю *Plecoglossus altivelis* (Temminck et Schlegel, 1846) [Барабанщиков, 2022a], акула-лисица *Alopias vulpinus* (Bonnaterre, 1788) [Долганов, Ким, 2023], остроклювый терапон *Rhynchopelates oxyrhynchus* (Temminck et Schlegel, 1843) [Барабанщиков и др., 2024] и серебристый горбыль *Pennahia argentata* (Houttuyn, 1782) в районе устья р. Киевка в 2023 г*. Одновременно с увеличением видового разнообразия фиксируется рост численности редких в прежние годы видов и за счет этого частоты их встречаемости [Барабанщиков и др., 2021; Барабанщиков, 2022б]. К ним относится большая корифена *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758. По опросным сведениям, она в несколько раз чаще стала попадаться в зал. Петра Великого при троллинге пелагических хищников [Барабанщиков, 2022б], так было и в 2023–2024 гг.

Большая корифена относится к эпипелагическим видам тропической и субтропической зон Тихого, Индийского и Атлантического океанов [Линдберг, Красюкова, 1969; Nakabo, 2002; Соколовский и др., 2011]. В российских водах встречается в Японском море — в его северо-западной части к северу до Татарского пролива и у юго-западного Сахалина [Таранец, 1938; Пробатов, 1951; Зверькова, Швецов, 1975; Великанов, 2010; Барабанщиков, 2022б], а также в Охотском море — в Амурском лимане**, у берегов южного и юго-восточного Сахалина и со стороны южных Курильских островов [Бирман, 1965; Щербачев, 1973; Савиных, 1998; Полтев, Сергеев, 2001; Великанов, 2006, 2011***; Гудков, Назаркин, 2006; Полтев, Цхай, 2019]. Поскольку во внутренних

* Данная находка подтверждена переданным нам для изучения фото этого вида. Эта информация будет опубликована в отдельной работе.

** Информация взята из открытых источников: https://astv.ru/news/society/2022-12-08-alepizavr-i-neposedlivaya-korifena-samye-ekzoticheskie-ulovy-sahalinskih-rybakov?__cf_chl_tk=4vVhDaCvI3xHKuRUKj9FS1CIH41SZRP_MC5zeCSI5Fs-1670538506-0-gaNycGzNCJE.

*** Великанов А.Я. Встречаемость южно-широтных видов рыб у берегов Сахалинской области [Электронный ресурс] / СахНИРО, 2011. Режим доступа: <http://www.sakhniro.ru/news/185/>.

эстуариях этот вид прежде достоверно не отмечался*, его обнаружение в Тавричанском лимане р. Раздольной представляет большой интерес (рис. 1).



Рис. 1. *C. hippurus*, 104 см TL, эстуарий р. Раздольной, зал. Петра Великого
Fig. 1. *Coryphaena hippurus*, 104 cm TL, Razdolnaya River estuary (Peter the Great Bay)

Материал. Исследованная нами по фото особь отловлена 19 июля 2024 г. ставной сетью с шагом ячеи 65 мм, длиной 50,0 м и высотой 2,0 м в эстуарии р. Раздольной в районе о. Безымянный (рис. 2). Глубина реки в месте сетепостановки составляла около 1,0–1,5 м. Общая длина рыбы (TL) оказалась равна 104 см, масса — 6,0 кг.

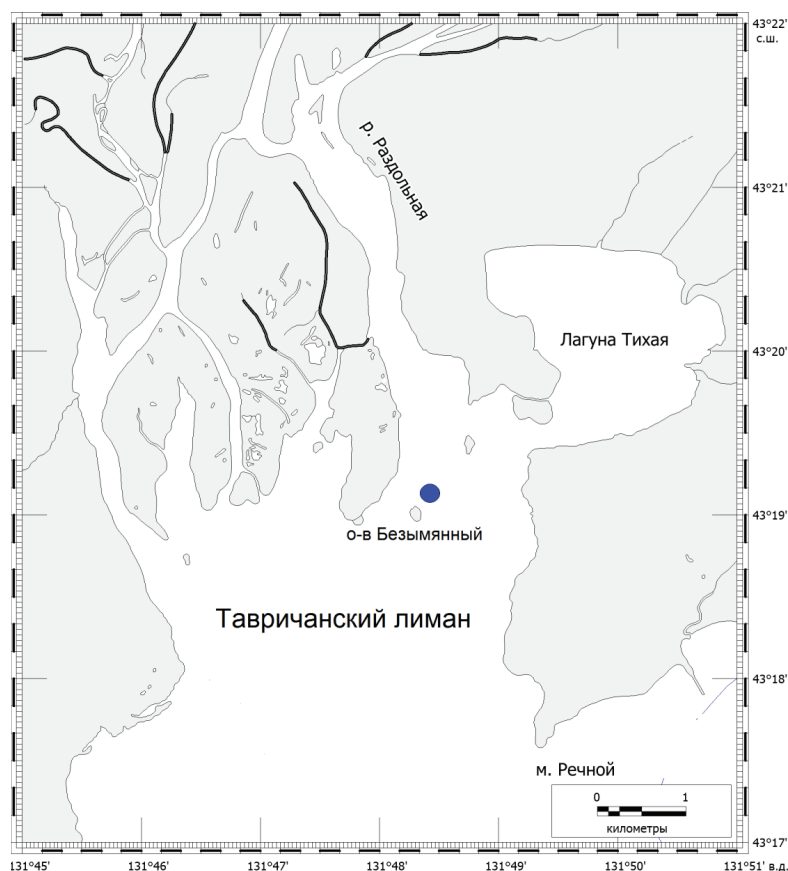


Рис. 2. Место поимки *C. hippurus* во внутреннем эстуарии р. Раздольной (синий круг)

Fig. 2. Capture location of *Coryphaena hippurus* in the internal estuary of Razdolnaya River (blue circle)

* В работе Джонсона (Johnson, 1978) речь идет о встречаемости корифен в эстуариях без конкретизации мест поимок в их пределах, т.е. во внутренней или внешней части эстуарной зоны: «...common dolphin are occasionally found in estuaries and harbors» [цит. по: Palko et al., 1982, p. 4].

В это же время в ставные сети попадались серебряный карась *Carassius gibelio* (Bloch, 1782), амурский сазан *Cyprinus rubrofasciatus* Lacepède, 1803 и сима *Oncorhynchus masou* (Brevoort, 1856).

Поимка большой корифены в эстуарии р. Раздольной не только дополняет общий список видов рыб данного водного объекта, но и расширяет наше представление о ее экологии: в погоне за жертвой она способна заходить в сильно опресненные воды. При существующей тенденции роста численности этого вида в зал. Петра Великого следует ожидать повышения его значимости в трофической структуре прибрежно-эстуарных экосистем этой акватории. В практическом отношении назревает необходимость в организации промысла большой корифены в целях как любительского рыболовства, так и промышленного лова.

Благодарности (ACKNOWLEDGMENT)

Авторы благодарят жителя пос. Тавричанка, любезно предоставившего данные по поимке, размерам и фото большой корифены из эстуария р. Раздольной, Д.А. Соколенко (ТИНРО) за построение карты, а также рецензентов за конструктивные и полезные комментарии.

The authors are thankful to unknown resident of Tavrichanka village who provided the data on the case of *Coryphaena hippurus* capture in the Razdolnaya River estuary, the fish size measurements and photo, to D.A. Sokolenko (TINRO) for his assistance in the data mapping, 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 (CMPLIANCE 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 animal were implemented.

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Систематизация материала и написание статьи — Е.И. Барабанщиков, Е.В. Колпаков.

Systematization of the materials, writing and illustrating the text — E.I. Barabanshchikov and E.V. Kolpakov, jointly.

Список литературы

Барабанщиков Е.И. Зоопланктон и типизация внутренних эстуариев рек южного Приморья // Биомониторинг и рациональное использование гидробионтов : тез. докл. конф. мол. ученых. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1997. — С. 87–88.

Барабанщиков Е.И. О поимках лобота (*Lobotes surinamensis*) во внутреннем эстуарии р. Раздольная (Приморский край) // Тр. СахНИРО. — 2021. — Т. 17. — С. 233–237.

Барабанщиков Е.И. Поимка нового для бассейна залива Петра Великого Японского моря вида рыб аю *Plecoglossus altivelis* (Temminck & Schlegel, 1846) (Plecoglossidae) // Изв. ТИНРО. — 2022а. — Т. 202, вып. 2. — С. 329–331. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-329-331. EDN: СТР1ТУ.

Барабанщиков Е.И. К поимке большой корифены (*Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758) в северной части Приморского края // Тр. СахНИРО. — 2022б. — Т. 18. — С. 219–222.

Барабанщиков Е.И., Большаков С.Г. Эстуарно-прибрежные системы — переходная зона между пресноводными и морскими экосистемами // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидов. — 2023. — Вып. 10. — С. 16–25. DOI: 10.25221/levanidov.10.02.

Барабанщиков Е.И., Магомедов Р.А. Состав и некоторые черты биологии рыб эстуарной зоны рек южного Приморья // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 179–200.

Барабанщиков Е.И., Савельев П.А., Лысенко А.В. Новые поимки зеркального солнечника *Zenopsis nebulosa* (Zeidae) и восточного тунца *Thunnus orientalis* (Scombridae) в северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — С. 385–389. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-385-389.

Барабанщиков Е.И., Савельев П.А., Питрук Д.Л. Первая поимка остроклювого терапона *Rhynchopelates oxyrhynchus* (Centrarchiformes: Terapontidae) в российских водах Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 156–159. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-156-159. EDN: WHLTZM.

Бирман И.Б. О нахождении *Coryphaena hippurus* L. в Охотском море // Вопр. ихтиол. — 1965. — Т. 5, вып. 3. — С. 557–558.

Великанов А.Я. Новая волна миграций рыб южных широт к берегам Сахалина // Вестн. Сахалинского музея. — 2006. — № 13. — С. 265–278.

Великанов А.Я. Очередное появление большой корифены *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) у западного побережья Сахалина // Вопр. ихтиол. — 2010. — Т. 50, № 6. — С. 843–847.

Гайко Л.А. Изменение климата в прибрежной зоне Приморского края в современный период (северо-западная часть Японского моря) // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal). — 2016. — № 10. — С. 35–42.

Гудков П.К., Назаркин М.В. Новая находка большой корифены *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 pisces: Coryphaenidae в водах Сахалина // Тр. СахНИРО. — 2006. — Т. 8. — С. 279–284.

Долганов В.Н., Ким Л.Н. Alopiidae — новое для вод России семейство акул-лисиц // Биол. моря. — 2023. — Т. 49, № 3. — С. 215–216. DOI: 10.31857/S013434752303004X. EDN: SAZCPQ.

Дулькейт Г.Д. Список рыб бассейна реки Суйфуна (Южно-Уссурийский край) // Изв. Томск. гос. ун-та. — 1925. — Т. 75. — С. 68–72.

Зверькова Л.М., Швецов Ф.Г. О проникновении теплолюбивых рыб в воды западного побережья Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1975. — Т. 96. — С. 294–295.

Земнухов В.В., Барабанщиков Е.И., Туранов С.В. Synodontidae (Pisces: Aulopiformes) — новое семейство для фауны России // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 244–245.

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

Колпаков Н.В., Барабанщиков Е.И., Чепурной А.Ю. Видовой состав, распределение и биологическое состояние чужеродных видов рыб в эстуарии реки Раздольной (залив Петра Великого, Японское море) // Рос. журн. биол. инвазий. — 2008. — Т. 1, № 2. — С. 55–66.

Линдберг Г.У., Красюкова М.И. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. Ч. 3 : моногр. — Л. : Наука, 1969. — 479 с. (Определители по фауне СССР, изд. ЗИН АН СССР, т. 99.)

Магомедов Р.А. О поимке лобота *Lobotes surinamensis* (Lobotidae) в эстуарной зоне реки Раздольной // Вопр. ихтиол. — 2001. — Т. 41, № 5. — С. 714–716.

Маркевич А.И. *Petroscirtes variabilis* Cantor, 1849 (Actinopterygii: Blenniidae) и *Sphyaena flavicauda* Ruppell, 1838 (Actinopterygii : Sphyraenidae) — новые виды для ихтиофауны России // Биол. моря. — 2019. — Т. 45, № 2. — С. 141–144. DOI: 10.1134/S0134347519020074.

Полтев Ю.Н., Сергеев В.А. Случай поимки большой корифены *Coryphaena hippurus* в заливе Анива // Прибрежное рыболовство — XXI век : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. — Южно-Сахалинск : Сахалин. обл. кн. изд-во, 2001. — С. 91–92.

Полтев Ю.Н., Цхай Ж.Р. О новом случае поимки большой корифены *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Perciformes: Coryphaenidae) в водах юго-восточного Сахалина // Тр. СахНИРО. — 2019. — Т. 15. — С. 303–307.

Пробатов А.Н. О проникновении теплолюбивых рыб в воды Сахалина // ДАН СССР. — 1951. — Т. 77, № 1. — С. 145–147.

Савиных В.Ф. Состав нектона приповерхностных вод зоны субарктического фронта северо-западной части Тихого океана по данным уловов дрейтерных сетей // Вопр. ихтиол. — 1998. — Т. 38, № 1. — С. 22–32.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы залива Петра Великого : моногр. — 2-е изд., испр. и доп. — Владивосток : Дальнаука, 2011. — 431 с.

Таранец А.Я. О новых находках южных элементов в ихтиофауне северо-западной части Японского моря // Вестн. ДВФАН СССР. — 1938. — Т. 28, вып. 1. — С. 113–130.

Харин В.Е., Барабанщиков Е.И., Большаков С.Г. О находке пампа *Pampus* sp. (Stromateidae) в эстуарной зоне реки Раздольная (Амурский залив Японского моря) // Вопр. ихтиол. — 2013. — Т. 53, № 2. — С. 233–236. DOI: 10.7868/S0042875213020070.

Харин В.Е., Чеблуков В.П. О первой находке американского веслоноса *Polyodon spathula* (Polyodontidae) в российских водах Дальнего Востока // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 154–157.

Шедько С.В. Список круглоротых и рыб побережья Приморского края // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2001. — Вып. 1. — С. 229–249.

Щербачев Ю.Н. Биология и распространение корифен (Pisces, Coryphaenidae) // Вопр. ихтиол. — 1973. — Т. 13, вып. 2. — С. 219–230.

Kolpakov N.V., Barabanshchikov E.I. Species composition and seasonal dynamics of ichthyofauna of Razdolnaya River estuary // Aquatic Biodiversity and Sustainable Development of Estuaries: Proceedings International Symposium on Aquatic Biodiversity Conservation Environmental Restoration of Estuarine and Coastal Areas. — Shanghai, 2008. — P. 92–101. DOI: 10.13140/2.1.4815.7129.

Nakabo T. Fishes of Japan: with pictorial keys to the species. Part 2. — Japan : Tokai Univ. Press, 2002. — 1749 p.

Nikitin A.A., Tsypysheva I.L., Zuenko Yu.I. Spatial patterns of the Primorye Current in the northwestern East/Japan Sea on satellite images and standard sections // Ocean Science J. — 2023. — Vol. 58, Iss. 3. — Id. 22. DOI: 10.1007/s12601-023-00116-z.

Palko B.J., Beardsley G.L., Richards W.J. Synopsis of the biological data on dolphin-fishes, *Coryphaena hippurus* Linnaeus and *Coryphaena equiselis* Linnaeus : FAO Fish. Synop. — 1982. — № 130. — 28 p.

Xie Yuhao. Freshwater fishes in Northeast region of China. — Shenyang, China : Laoning Science and Technology Press, 2007. — 529 p. (На кит.)

References

Barabanshchikov, E.I., Zooplankton and typification of internal estuaries of rivers in southern Primorye, in *Tezisy dokl. konf. molodykh uch. "Biomonitoring i ratsional'noe ispol'zovanie morskikh i presnovodnykh gidrobiontov"* (Proc. Conf. Young Sci. "Biomonitoring and rational use of hydrobionts"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1997, pp. 87–88.

Barabanshchikov, E.I., On the captures of a lobot (*Lobotes surinamensis*) in the inner estuary of the Razdolnaya River (Primorsky Territory), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 17, pp. 233–237.

Barabanshchikov, E.I., Capture of a new for the basin of Peter the Great Bay (Japan Sea) fish species ayu *Plecoglossus altivelis* (Temminck & Schlegel, 1846) (Plecoglossidae), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 329–331. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-329-331. EDN: CTPITU.

Barabanshchikov, E.I., On the capture of the common dolphinsh (*Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758) in the northern part of Primorsky Territory, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 18, pp. 219–222.

Barabanshchikov, E.I. and Bolshakov S.G., Estuarine-coastal systems — the transitive zone between freshwater and sea ecosystems, in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, 2023, vol. 10, pp. 16–25. doi 10.25221/levanidov.10.02

Barabanshchikov, E.I. and Magomedov, R.A., Composition and some features of biology of fishes in estuarine zones of southern Primorye rivers, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 179–200.

Barabanshchikov, E.I., Saveliev, P.A., and Lysenko, A.V., New captures of mirror dory *Zenopsis nebulosa* (Zeidae) and bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Scombridae) in the northwestern Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 385–389. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-385-389

Barabanshchikov, E.I., Saveliev, P.A., and Pitruk, D.L., First record of sharpbeak terapon *Rhynchopelates oxyrhynchus* (Centrarchiformes: Terapontidae) in the Russian waters of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 1, pp. 156–159. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-156-159. EDN: WHLTZM.

Birman, I.B., Occurrence of *Coryphaena hippurus* L. in the Okhotsk Sea, *Vopr. Ikhtiol.*, 1965, vol. 5, no. 3, pp. 557–558.

Velikanov, A.Ya., New wave of fish migration from southern regions to the Sakhalin coasts, *Vestn. Sakhalinskogo muzeia*, 2006, no. 13, pp. 265–278.

- Velikanov, A.Ya.**, New appearance of dorado *Coryphaena hippurus* (Coryphaenidae) off the western coast of Sakhalin, *J. Ichthyol.*, 2010, vol. 50, no. 9, pp. 810–814. doi 10.1134/S0032945210090158
- Gayko, L.A.**, Climate change in the coastal zone of Primorsky krai in the modern period (the north-western part of the Sea of Japan), *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*, 2016, no. 10, pp. 35–42.
- Gudkov, P.K. and Nazarkin, M.V.**, A new finding of *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Pisces: Coryphaenidae) in Sakhalin waters, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 8, pp. 279–284.
- Dolganov, V.N. and Kim, L.N.**, Alopiidae — a new record of the thresher shark family for the fauna of Russia, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2023, vol. 49, no. 3, pp. 215–216. doi 10.31857/S013434752303004X
- Dulkeit, G.D.**, List of fishes of the Suifun River basin (South Ussuri region), *Izv. Tomskogo gos. universiteta*, 1925, vol. 75, pp. 68–72.
- Zemnukhov, V.V., Turanov, S.V., and Barabanshchikov, E.I.**, Synodontidae (Pisces: Aulopiformes), a new family for fauna of Russia, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 279–280. doi 10.1134/S1063074016030111
- Zverkova, L.M. and Shvetsov, F.G.**, On penetration of heat-loving fishes into waters of the western coast of Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 96, pp. 294–295.
- 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, N.V., Barabanshchikov, E.I., and Chepurnoy, A.Yu.**, Species composition, distribution and biological condition of non-indigenous fishes in the estuary of the Razdolnaya River (Peter the Great Bay, the Sea of Japan/East Sea), *Russian Journal of Biological Invasions*, 2008, vol. 1, no. 2, pp. 55–66.
- Lindberg, G.U. and Krasnyukova, Z.V.**, *Opredeliteli po faune, izdavaemye zoologicheskimi institutami Rossiiskoi akademii nauk. T. 99. Ryby Yaponskogo morya i sopredel'nykh chastei Okhotskogo i Zheltogo morei* (Keys to Fauna Published by the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, vol. 99: Fishes of the Sea of Japan and Adjacent Waters of the Sea of Okhotsk and the Yellow Sea), Leningrad: Nauka, 1969, part 3.
- Magomedov, R.A.**, On the capture of *Lobotes surinamensis* in estuary zone of the River Razdol'naya, *Vopr. Ikhtiol.*, 2001, vol. 45, no. 5, pp. 714–716.
- Markevich, A.I.**, *Petroscirtes variabilis* Cantor, 1849 (Actinopterygii: Blenniidae) and *Sphyræna flavicauda* Rüppell, 1838 (Actinopterygii: Sphyrænidae), new species in the ichthyofauna of Russia, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 2, pp. 159–161. doi 10.1134/S106307401902007X
- Poltev, Yu.N. and Sergeenko, V.A.**, A Catch of Common Dolphin *Coryphaena hippurus* in Bay Aniva, in *Pribyrezhnoye rybolovstvo — XXI vek : tez. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Int. Sci. Pract. Conf. "Coastal Fisheries — 21st Century")*, Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. obl. kn. izd-vo, 2001, pp. 91–92.
- Poltev, Yu.N. and Tskhay, Zh.R.**, About the recent catch of the common dolphin *Coryphaena hippurus* Linnaeus, 1758 (Perciformes: Coryphaenidae) in southeastern Sakhalin waters, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 15, pp. 303–307.
- Probatov, A.N.**, Penetration of thermophilic fish into the waters of Sakhalin, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1951, vol. 77, no. 1, pp. 145–147.
- Savinykh, V.F.**, Composition of nekton in the near-surface waters of the subarctic frontal zone area in the northwestern part of the Pacific Ocean according to drift net catch data, *Vopr. Ikhtiol.*, 1998, vol. 38, no. 1, pp. 22–32.
- Sokolovsky, A.S., Sokolovskaya, T.G., and Yakovlev, Yu.M.**, *Ryby zaliva Petra Velikogo* (Fishes of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nauka, 2011.
- Taranetz A.J.** On new records of southern elements in ichthyofauna of northwestern part of Japan Sea, *Vestn. Dal'nevost. Fil. Akad. Nauk SSSR*, 1938, vol. 28, no. 1, pp. 113–130.
- Kharin, V.E., Barabanshchikov, E.I., and Bol'shakov, S.G.**, Finding of *Pampus* sp. (Stromateidae) in the estuary of Razdolnaya River (Amur Bay, Sea of Japan), *J. Ikhtiol.*, 2013, vol. 53, no. 3, pp. 231–234. doi 10.1134/S0032945213020070
- Kharin, V.E. and Cheblukov, V.P.**, On the first record of *Polyodon spathula* (Polyodontidae) from Russian waters of Far East, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 157, pp. 154–157.
- Shed'ko, S.V.**, List of cyclostomes and fishes of the coast of Primorsky Krai, in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka, 2001, vol. 1, pp. 229–249.

Scherbachev, Yu.N., Biology and distribution of dolophinfishes (Pisces, Coryphaenidae), *Vopr. Ikhtiol.*, 1973, vol. 13, no. 2, pp. 219–230.

Kolpakov, N.V. and Barabanshchikov, E.I., Species composition and seasonal dynamics of ichthyofauna of Razdolnaya River estuary, in *Aquatic Biodiversity and Sustainable Development of Estuaries: Proceedings International Symposium on Aquatic Biodiversity Conservation Environmental Restoration of Estuarine and Coastal Areas*, Shanghai, 2008, pp. 92–101. doi 10.13140/2.1.4815.7129

Nakabo, T., *Fishes of Japan with pictorial keys to the species*, part 2, Japan: Tokai Univ. Press, 2002.

Nikitin, A.A., Tsypysheva, I.L., and Zuenko, Yu.I., Spatial patterns of the Primorye Current in the northwestern East/Japan Sea on satellite images and standard sections, *Ocean Science J.*, 2023, vol. 58, no. 3, id. 22. doi 10.1007/s12601-023-00116-z

Palko, B.J., Beardsley, G.L., and Richards, W.J., Synopsis of the biological data on dolphin-fishes, *Coryphaena hippurus* Linnaeus and *Coryphaena equiselis* Linnaeus, *FAO Fish. Synop.*, 1982, no. 130.

Xie, Yuhao, *Freshwater fishes in Northeast region of China*, Shenyang, China: Laoning Science and Technology Press, 2007.

https://astv.ru/news/society/2022-12-08-alepizavr-i-neposedlivaya-korifena-samye-ekzoticheskie-ulovy-sahalinskih-rybakov?__cf_chl_tk=4vVhDaCvI3xHKuRUkj9FS1CIH41SZRP_MC5zeC-SI5Fs-1670538506-0-gaNycGzNCJE. Cited March 17, 2025.

Velikanov, A.Ya., Occurrence south latitudinal species of fish off the coast of the Sakhalin area, 2011. *Internet resource*: <http://www.sakhniro.ru/news/185/http://www.sakhniro.ru/news/185/>. Cited August 26, 2011.

Поступила в редакцию 17.02.2025 г.

После доработки 10.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

*The article was submitted 17.02.2025; approved after reviewing 10.03.2025;
accepted for publication 10.03.2025*

Научная статья

УДК 599.745.3–153

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-62-72

EDN: YHFUER



НАГУЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ЛАХТАКА *ERIGNATHUS BARBATUS* В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВЕННОГО РАСПРЕСНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

А.М. Трухин*

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. Представлены результаты исследования, выполненного в Ульбанском заливе (Охотское море), испытывающем сильное влияние материкового стока, в результате чего воды залива в значительной степени распреснены. Речной сток и ежедневные приливно-отливные явления формируют в Ульбанском заливе уникальную экосистему. Своеобразные океанологические условия и гидрохимические показатели залива являются причиной бедного видового состава бентосного сообщества, основу которого составляют лишь немногие эвритопные и эвритермные представители инфауны и эпифауны, способные существовать в условиях контрастных изменений параметров среды. Массовые концентрации лахтак в вершине залива в период нагула свидетельствуют о наличии здесь благоприятной кормовой базы. Основу рациона лахтак в заливе составляют несколько видов ракообразных, двусторчатых и брюхоногих моллюсков — типичных представителей мелководий и опресненных участков моря, образующих здесь плотные скопления с высокой биомассой.

Ключевые слова: лахтак, *Erignathus barbatus*, гидрохимические параметры среды, питание, трофические связи, залив Академии, Охотское море

Для цитирования: Трухин А.М. Нагульное питание лахтак *Erignathus barbatus* в условиях существенного распреснения среды обитания // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 62–72. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-62-72. EDN: YHFUER.

Original article

Feeding of bearded seal *Erignathus barbatus* under conditions of significant desalination in the habitat

Alexey M. Trukhin

V.I. Il'yichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy
of Sciences, 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia

Ph.D., leading researcher, marian1312@mail.ru, ORCID 0000-0001-6871-4315

Abstract. Feeding of bearded seal is investigated in the Ulban Bay (Okhotsk Sea), strongly desalinated by terrestrial freshwater discharge. The river runoff and high daily tides create a unique ecosystem there. Such oceanographic conditions cause poor species diversity

* Трухин Алексей Михайлович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
marian1312@mail.ru, ORCID 0000-0001-6871-4315.

© Трухин А.М., 2025

of benthic community in the bay, that is formed mainly by some eurytopic and eurytherm representatives of infauna and epifauna tolerant to contrast changes in environments. However, massive aggregations of bearded seals in the top of Ulban Bay in the feeding season indicate food supply favorable for the mammals. The seals feed there on several species of crustaceans, bivalves and gastropods, typical for shallow brackish waters, where these species form dense clusters with high biomass.

Keywords: bearded seal, *Erignathus barbatus*, chemical environmental parameter, nutrition, trophic relationships, Academy Bay, Okhotsk Sea

For citation: Trukhin A.M. Feeding of bearded seal *Erignathus barbatus* under conditions of significant desalination in the habitat, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 62–72. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-62-72. EDN: YHFUER.

Введение

Лактак, или морской заяц, *Erignathus barbatus* — в Охотском море обычный представитель безухих тюленей. По характеру питания лактак типичный бентофаг, и по этой причине повсюду его распределение ограничено преимущественно сравнительно небольшими глубинами, а в целом шельфовой зоной [Морские млекопитающие, 2023]. В течение летне-осеннего периода этот тюлень тяготеет к прибрежным участкам моря с богатой кормовой базой, где животные активно нагуливаются вплоть до начала льдообразования. Наибольшие и стабильные скопления охотоморского лактака в нагульный период издавна регулярно отмечались в Тауйской губе, на Шантарских островах, в Пенжинском и Сахалинском заливах, ряде заливов по восточному побережью о. Сахалин [Наумов, 1941; Пихарев, 1941а, б]. Одним из районов Охотского моря, где в нагульный период лактаки на протяжении длительного периода из года в год образуют массовые скопления, является Ульбанский залив, входящий в состав зал. Академии, расположенного в западной части Охотского моря южнее Шантарских островов.

Условия существования морской биоты в Ульбанском заливе контрастно отличаются от условий сопредельных вод северо-западной части Охотского моря. В куттовую часть залива впадает несколько рек (Ульбан, Эльга, Санджа, Сыран), дренирующих обширные заболоченные материковые территории, изобилующие торфяниками, отчего вода в реках желто-коричневого цвета из-за содержания большого количества взвеси. Такого же непрозрачного цвета вода и в самом заливе. Материковый сброс приводит к значительному распреснению акватории залива. Четко выраженные приливо-отливные явления, приводящие к активному водообмену с открытой частью зал. Академии, определяют резкие ежесуточные изменения показателей солености и температуры воды и играют существенную роль в динамике водных масс залива. По мнению некоторых исследователей [Тищенко и др., 2022], воды Ульбанского залива в осенний период считаются высокоэвтрофированными.

Ульбанский залив в безледный период года является местом массового нагула не только лактака, но и других видов морских млекопитающих, имеющих различные уровни трофических связей, среди которых выделяются гренландский кит *Balaena mysticetus*, белуха *Delphinapterus leucas* и ларга *Phoca largha*. На непродолжительное время в залив в незначительном количестве проникает кольчатая нерпа *Pusa hispida*, периодически появляются косатки *Orcinus orca*. Однако исследования последнего времени в заливе были сфокусированы только на представителях китообразных [Шпак, Парамонов, 2012; Филатова и др., 2014; Solovyev et al., 2015; Мельников, Федорец, 2016], в то время как ластоногим должного внимания не уделялось.

Обилие морских млекопитающих в заливе в безледный период года предполагает наличие здесь комплекса условий, определяющих повышенную биопродуктивность акватории, а присутствие массовых скоплений лактаков в течение длительного периода активного откорма свидетельствует о запасах макрозообентоса в количествах, достаточных для удовлетворения трофических потребностей этого тюленя. Но до сих

пор состав и структура бентоса — основы рациона бентосоядного лахтака — в столь своеобразных условиях среды никем не изучались. Бентосные съемки в юго-западной части Охотского моря ограничены работами, проведенными ТИНРО в прошлом веке [Закс, 1929; Кобликов и др., 1990], но выполнены они были у Шантарских островов, где условия существования морских гидробионтов совсем иные, и, разумеется, каким-то образом сравнивать полученные в этом районе результаты с данными, полученными в акватории Ульбанского залива, несмотря на близкое соседство, неправомерно. В связи с этим определенный интерес вызывает изучение характера питания лахтака и его трофических связей в заливе со своеобразными гидрохимическими параметрами и температурным режимом, формирующими состав и структуру бентоса. Это в конечном счете определило цель исследования автора данного сообщения. При этом количественные характеристики рациона в работе не рассматриваются, поскольку в ряде случаев определение массы съеденного тюленями корма было невозможно.

Материалы и методы

Основой данного исследования послужили материалы, собранные автором 26 августа — 17 сентября 2023 г. в кутовой части Ульбанского залива (рис. 1).

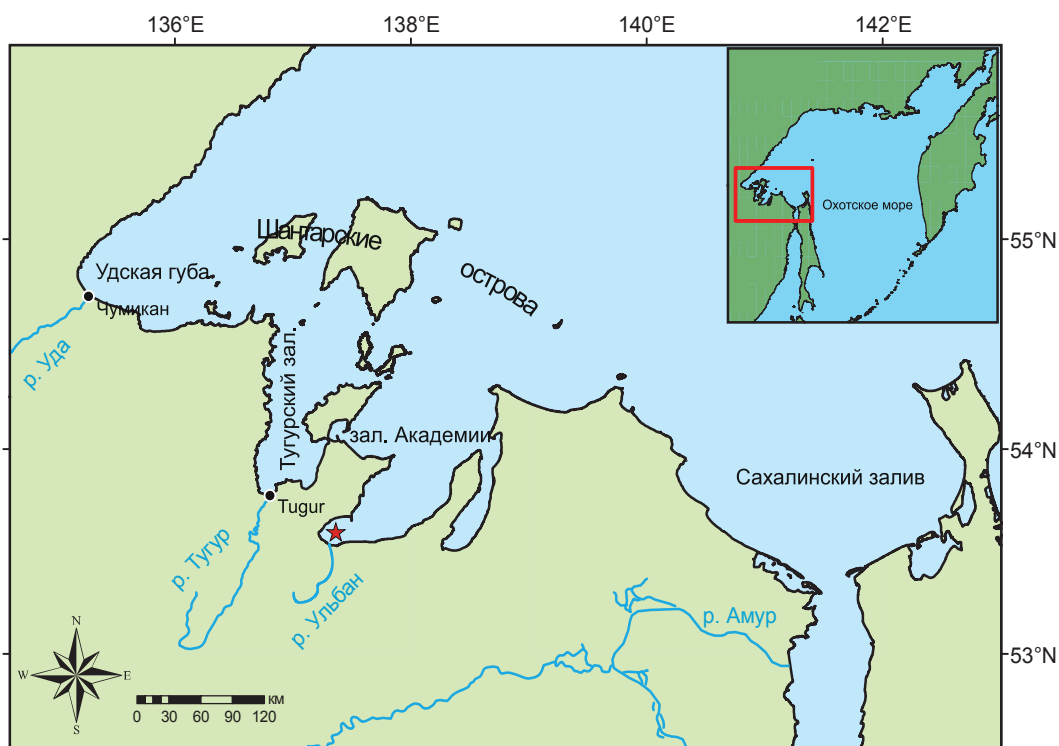


Рис. 1. Место сбора материала в Ульбанском заливе в 2023 г. (красная звёздочка)

Fig. 1. Sampling point in the Ulban Bay in 2023 (red star)

Для определения качественного состава пищи были собраны желудки от 60 лахтаков. Содержимое кишечника тюленей не осматривали, поскольку это могло недооценить роль некоторых беспозвоночных, которые в желудочно-кишечном тракте перевариваются, не оставляя твердых фрагментов, по которым впоследствии была бы возможна их идентификация. И наоборот, возможна переоценка твердых остатков, более устойчивых к воздействию желудочного сока.

Каждый желудок был вскрыт, его содержимое многократно промыто через систему сит, и обнаруженные кормовые объекты отсортированы по таксономическим группам. Образцы объектов пищи были законсервированы в 95 %-ном этаноле либо (твердые

остатки) высушены и упакованы в отдельные пакеты. Содержимое желудков было представлено обычно свежей либо слабо переваренной пищей в самой начальной стадии деградации, что, с одной стороны, облегчало видовое определение пищи, с другой — свидетельствовало о том, что эта пища была съедена тюленями именно в этом районе.

Идентификацию объектов питания проводили в лабораторных условиях с использованием определительных таблиц или сравнивая их с коллекционными образцами: законсервированными ракообразными, раковинами и оперкулюмами моллюсков, отолитами рыб.

При сравнении рационов разновозрастных животных все тюлени, от которых собраны пробы корма, были разделены на две группы: молодые (ювенильные) в возрасте до 3 лет включительно и взрослые (4+ лет). Данная градация по возрасту в значительной мере условная, поскольку некоторые лахтаки достигают половой зрелости в возрасте старше трех лет.

Результаты и их обсуждение

Из 60 желудков пища содержалась в 42 (17 самцов, 25 самок), или в 70 %. Молодым тюленям принадлежали 9 желудков, взрослым особям — 33 желудка.

Разнообразие корма было невысоким, ограничивалось лишь немногими видами, относящимися всего к трем основным группам животных: наиболее часто употребляемой пищей были ракообразные (38 желудков, 90,5 %), в меньшей степени поедались моллюски — брюхоногие и двустворчатые (соответственно 17,0 и 40,5 %). В одном желудке (2,4 %) обнаружены отолиты рыб, принадлежащие не менее чем 10 особям молоди наваги *Eleginus gracilis*.

Ракообразные были представлены четырьмя группами беспозвоночных — крабами, креветками, раками-отшельниками и морскими тараканами. Наиболее предпочитаемой пищей лахтака в Ульбанском заливе являлись пятиугольный волосатый краб *Telmessus cheiragonus* (частота встречаемости 59,5 %) и песчаный шримс *Crangon septemspinosa* (31,0 %). Оба вида обитают как в водах, не подверженных распреснению речным стоком, так и в условиях пониженной солености. Другие виды крабов и креветок в пище лахтаков отсутствовали. Раки-отшельники и морские тараканы были представлены единственными видами — соответственно *Pagurus ochotensis* и *Saduria entomon*. Первый вид — обычный обитатель песчаных грунтов, второй — широко распространенный в морях Дальнего Востока вид бентических изопод из сем. Chaetiliidae. Вторыми по частоте встречаемости (35,7 %) в рационе лахтака были двустворчатые моллюски, среди которых идентифицирован *Diplodonta aleutica*, обнаруженный в единственном желудке. Остальные желудки с остатками гастропод содержали сифоны крупных размеров, принадлежащие, скорее всего, одному виду, точную видовую идентификацию которого при отсутствии фрагментов раковин определить не удалось. Оперкулюмы брюхоногого моллюска *Cryptonatica* sp. обнаружены в пяти желудках.

В нашем исследовании доля крабов — основной пищи лахтаков в заливе — была выше в рационе взрослых тюленей, а молодые животные чаще питались креветками. Самки чаще, чем самцы, поедали крабов, а доля креветок (шримсов) в их рационе была ниже. В отношении других видов корма сколько-нибудь заметные различия в питании лахтаков разного возраста и пола не обнаружены (рис. 2).

Небогатое видовое разнообразие пищи всеядного лахтака в Ульбанском заливе отразилось и на качественном составе пищи, обнаруженной одновременно в каждом из желудков: чаще всего в одном желудке присутствовала пища, состоявшая из одного вида животных (n = 26), реже — из двух (n = 8) и трех (n = 8) видов.

Из всех видов настоящих тюленей, населяющих дальневосточные моря, лахтак имеет самый разнообразный кормовой рацион (см. обзор Cameron с соавторами [2010]). Однако в Ульбанском заливе одной из наиболее характерных особенностей рациона лахтака, имеющего низкий уровень трофических связей, явилось крайне ограниченное

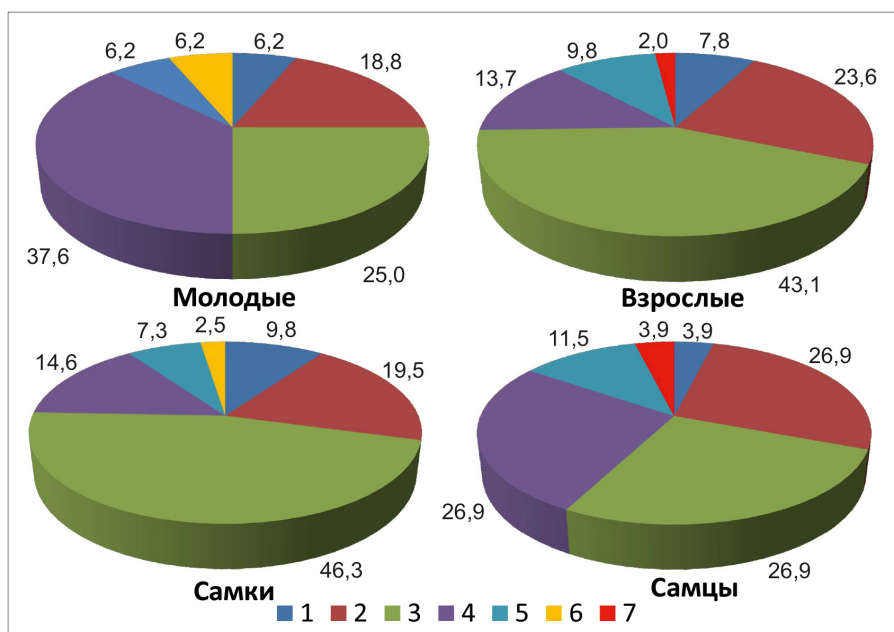


Рис. 2. Доля (%) отдельных групп кормовых объектов в рационе лахтакров разных половозрастных классов в Ульбанском заливе в 2023 г.: 1 — брюхоногие моллюски; 2 — двустворчатые моллюски; 3 — крабы; 4 — креветки; 5 — изоподы (морские тараканы); 6 — раки-отшельники; 7 — рыба

Fig. 2. Proportion (%) of certain groups of prey in the diet of bearded seals in the Ulban Bay in 2023, by sex and age classes: 1 — gastropods; 2 — bivalves; 3 — crabs; 4 — shrimps; 5 — isopods (sea cockroaches); 6 — hermit crabs; 7 — fish

разнообразие пищи. Список животных, которыми питались здесь эти тюлени, едва ли превышает десяток видов. Этот результат весьма наглядно контрастирует с характером питания лахтакров в других частях ареала, в том числе в Охотском море. Так, например, в юго-западной части Охотского моря в районе Шантарских островов в 69 желудках лахтакров, добытых на весенних льдах, было обнаружено несколько десятков видов животных [Пихарев, 1941а], а в категорию основных вынесены следующие: *Hyas coarctatus* — 75,4 %, *Echiurus echiurus* — 39,1, *Sclerocrangon boreas* — 33,3, головоногие — 29,0, *Buccinum* — 26,0, *Lamellibranchia* g.sp. — 20,3, *Pandalus hypsinotus* — 18,8, *Sclerocrangon salebrosa* — 14,5, Holothuroidea — 24,6, *Mya arenaria* — 10,1 %.

В южной части Охотского моря Ю.А. Бухтияров [1990], изучив содержимое 63 желудков лахтакров с пищей, обнаружил около 40 видов пищевых объектов, среди которых преобладали *Hyas coarctatus* (54,1 %), осьминоги и рыбы (по 29,5 %), креветки (24,6 %), а по биомассе доминирующими объектами были ракообразные (38,4 %), двустворчатые (29,3 %) и брюхоногие (17,5 %) моллюски.

В северной части Охотского моря в летне-осенние периоды 1970–1978 гг. изучено содержимое 128 желудков лахтакров с пищей. В результате анализа идентифицировано более 40 видов животных, по большей части ракообразных. Основу пищи здесь как по частоте встречаемости, так и по биомассе составили *Telmessus cheiragonus* и *Crangon septemspinosa*, а также двустворчатые моллюски разных видов [Бухтияров, 1984]. Весьма примечательно, что первые два вида — типичные представители мелководий и опресненных участков моря — доминировали и в собранных пробах из Ульбанского залива.

В 1963–1965 гг. в Беринговом море Г.М. Косыгиным [1971] осмотрено более 500 желудков лахтакров, из которых пищу содержали 165. По данным этого исследователя,

одних только ракообразных — основы рациона берингоморского лахтака — определено более 30 видов. В 1980-е гг. в западной части Берингова моря пища лахтака также отличалась разнообразием. В 31 желудке с пищей здесь было обнаружено около 80 видов животных, среди которых не менее 20 видов двустворчатых и брюхоногих моллюсков [Трухин и др., 1991]. Напротив, набор моллюсков, обнаруженных в пище лахтака в Ульбанском заливе, оказался ограничен лишь несколькими эвригалинными видами.

Все упомянутые выше данные, полученные разными авторами в отдельных районах ареала лахтака, свидетельствуют о его разнообразном рационе, большом наборе видов, употребляемых в пищу этим тюленем, и являются дополнительным свидетельством всеядности морского зайца. Эти данные заметно отличаются от результатов, полученных автором в Ульбанском заливе, где ассортимент пищи лахтака оказался сравнительно беден.

Другим показателем, привлекающим внимание, является ограниченное видовое разнообразие пищи в каждом желудке. В Ульбанском заливе пища в желудках была представлена чаще лишь одним видом животных (61,9 %), реже двумя или тремя (по 19,05 %), а более трех видов не было обнаружено ни в одном желудке. В то же время, например, в Беринговом море в одном желудке лахтака обнаруживали обычно одновременно 5–8 видов животных, а в некоторых желудках до 16 [Трухин и др., 1991]. Такой контраст полученных результатов дополнительно свидетельствует, во-первых, об ограниченном видовом разнообразии кормов, употребляемых лахтаком в пищу в Ульбанском заливе в период нагула, а во-вторых, о мозаичном распределении здесь объектов питания лахтаков.

В разных районах ареала в пище лахтака с разной частотой встречаемости обычно присутствуют полихеты [Пихарев, 1941а; Косыгин, 1971; Cameron et al., 2010]. В 2023 г. в желудках лахтака в Ульбанском заливе эта пища не обнаружена. Пока нет оснований говорить, типично ли это для данного района вообще или это может быть особенностью данного сезона. Известно, что в одни годы полихеты являются обычной пищей морского зайца, а в следующие сезоны в том же районе в рационе тюленей полихеты отсутствуют [Косыгин, 1971].

Привлекает внимание полное отсутствие в собранных нами пробах губок, асцидий, эхиурид, голотурий, головоногих моллюсков и других групп беспозвоночных, повсюду играющих если не существенную, то нередко достаточно заметную роль в питании лахтака.

В рационе тихоокеанского лахтака обычным кормом является рыба [Косыгин, 1971; Бухтияров, 1990; Трухин и др., 1991; Cameron et al., 2010]. Это не характерно для Ульбанского залива. Навага, отолиты которой обнаружены в единственном желудке семилетнего самца, могла быть съедена тюленем за пределами этого залива.

Обнаруженные различия в частоте поедания отдельных групп ракообразных тюленями разного пола и возраста в нашем исследовании (рис. 2) из-за небольшого размера выборки не позволяют однозначно утверждать, что они закономерны, а не случайны. В Ульбанском заливе молодые лахтаки несколько чаще, чем взрослые, а самцы чаще, чем самки, питались креветками, а значение крабов в рационе этих групп тюленей имело обратное соотношение. Если же провести сравнения между рационами лахтаков разного пола и возраста на уровне основных групп корма (моллюски, ракообразные, рыба), то каких-либо различий не просматривается (рис. 3). Не выявлены различия в питании лахтаков разного возраста и пола в результате анализа стабильных изотопов азота в шерсти этих тюленей, собранных здесь же двумя годами ранее [Trukhin et al., 2024]. По-видимому, избирательность в выборе корма у тюленей разного возраста и пола, кормящихся в пределах одной относительно ограниченной по площади акватории в течение короткого отрезка времени (в нашем исследовании в течение 23 дней), отсутствует. Во всяком случае анализ наших сравнительно небольших по объему материалов свидетельствует в пользу такого предположения. В то же время имеется информация

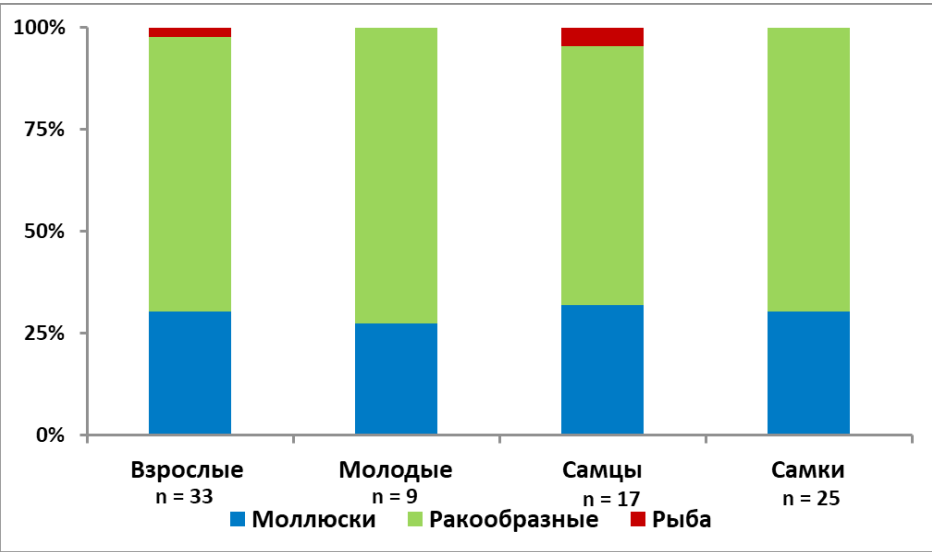


Рис. 3. Соотношение (%) основных таксономических групп животных в рационах разновозрастных и разнополых лахтак в Ульбанском заливе в 2023 г.

Fig. 3. Proportion of major taxa in the diet of bearded seals in Ulban Bay in 2023, by sex and age, %

о существующих различиях рациона разновозрастных лахтак из побережья Аляски, где обнаружено заметное увеличение роли моллюсков в рационе тюленей старших возрастов [Lowry et al., 1980].

Несмотря на сравнительно ограниченное разнообразие кормов в Ульбанском заливе, лахтак в конце лета — осенью нагуливается в вершине залива в массовом количестве, тяготея к прибрежным водам с малыми глубинами. Так, за один разовый учет, выполненный автором в заливе с моторного бота в преддверии промысловых операций 10 августа 2023 г., было учтено порядка 500 лахтак, распределение которых ограничивалось самой мелководной (с глубинами до 5 м) кутовой акваторией залива, площадь которой не превышала 16 км², т.е. плотность распределения тюленей составляла около 30 особей/км². Столь значительная плотность кормящихся тюленей в период нагула косвенно свидетельствует о высоких показателях биомассы макрозообентоса в вершине залива.

Как уже упоминалось выше, акватория Ульбанского залива является местом нагула еще нескольких видов ластоногих и китообразных. По-видимому, в летне-осенний период напряженные межвидовые отношения вследствие возможной конкуренции за пищевые ресурсы в заливе между лахтак и другими морскими млекопитающими сведены к минимуму или отсутствуют вовсе в связи с различиями в стратегии питания. В желудках пяти ларг, осмотренных в этом же сезоне, обнаружены исключительно лососи: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* и кета *O. keta*. Параллельно проанализировано содержимое 11 желудков кольчатых нерп из Ульбанского залива; во всех обнаружен единственный вид пищи — мелкие креветки *Crangon septemspinosa*, которыми активно питается и лахтак. Однако численность кольчатой нерпы в заливе очень низка, и этот вид — не постоянный обитатель залива, посещение которого нерпой, например, в 2023 г. носило эпизодический характер. Рационы китообразных, присутствующих в заливе летом и осенью, совершенно иные.

Очевидно, что в основе небогатого видового состава бентосных организмов, населяющих Ульбанский залив, лежит комплекс своеобразных условий. Ранее установлено, что бентосные сообщества, существующие в распресненных участках акватории, например в Сахалинском заливе, расположенном несколько восточнее Ульбанского залива,

характеризуются сравнительно бедным видовым составом, при этом солёность воды рассматривается в качестве основного фактора, определяющего показатели видового обилия макробентоса [Kamenev, Nekrasov, 2012; Лабай и др., 2022].

Ульбанский залив относится к морским акваториям, распреснение которых обусловлено наличием материкового стока. В подобных условиях способны существовать только те гидробионты, которые одинаково комфортно чувствуют себя и в сильно распресненной среде, и при нормальной океанической солёности. Другим важным фактором, в значительной мере влияющим на пространственное распространение видов и по этой причине определяющим состав и структуру макробентоса залива, является температурный режим. Значительный спектр циклических изменений температуры водных масс залива, как суточных, так и межсезонных, является приемлемым условием среды далеко не для всех видов пойкилотермных организмов, а лишь для тех, общая температурная выносливость которых должна соответствовать величине этого диапазона. Безусловно, чем шире размах температур, тем меньшее число видов обладают способностью существовать в данных условиях. Для Ульбанского залива этот диапазон довольно широк. По опубликованным материалам А.Н. Махинова с соавторами [2017] летом в кутовой части залива во время отливов илистое дно на осушке прогревается настолько, что температура воды во время прилива поднимается здесь до 25 °С. Следовательно, диапазон температур переживания для зообентоса в заливе превышает 25 °С.

Заключение

Согласно качественному составу пищи, обнаруженной в желудках лахтаков, и большой численности тюленей, нагуливающих в заливе в течение продолжительного периода, можно заключить, что видовое разнообразие бентосного сообщества беспозвоночных в Ульбанском заливе невелико при высоких показателях биомассы. Ограниченное число видов инфауны и эпифауны, служащих пищей лахтаку в исследованном районе, является следствием своеобразия океанологических условий и гидрохимических параметров среды, к которым смогли адаптироваться сравнительно немногие морские виды макробентоса. К этим видам относятся те, что способны: а) переносить ежесуточные стабильные изменения солёности в результате поступления в залив пресных вод с материка и интенсивного водообмена с открытой частью зал. Академии во время приливов; б) существовать в условиях достаточно резких суточных и сезонных изменений температурного режима — это особенно касается представителей инфауны, обитающих в вершине Ульбанского залива в мягком грунте на его самых мелководных участках, обсыхающих во время отливов. Эти два барьера — солёностный и температурный — мощный фильтр к составу бентосной фауны залива, представленной лишь сравнительно немногими эвритопными и эвритермными представителями инфауны и эпифауны, физиологически способными существовать в условиях контрастных изменений параметров среды.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор глубоко признателен директору ООО «Омега ДВ» С.Ф. Золотухину и директору ООО «Грин Стар» А.А. Артамонову за сотрудничество и всестороннюю поддержку в процессе организации и проведения исследований, О.А. Еловской, Г.М. Каменеву, И.А. Корнейчуку и А.В. Чернышеву за помощь в определении объектов питания тюленей.

The author is deeply grateful to S.F. Zolotukhin, director of Omega DV LLC, and A.A. Artamonov, director of Green Star LLC, for their cooperation and extensive support in organizing and conducting the research, and to O.A. Yelovskaya, G.M. Kamenev, I.A. Korneichuk, and A.V. Chernyshev for their help in taxonomic identification of the seals food.

Финансирование (FUNDING)

Данное исследование выполнено в рамках госбюджетной темы ТОИ ДВО РАН 124022100077-0 и в соответствии с договором о сотрудничестве между ТОИ ДВО РАН и ООО «Омега ДВ».

The study was conducted within the framework of the State Budget Theme for Pacific Oceanological Institute (POI FEB RAS) No. 124022100077-0, in accordance with the co-operation agreement between POI FEB RAS and Omega DV LLC.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все работы, проводимые с морскими животными, отвечают требованиям и правилам международной Европейской конвенции по защите животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Ни один тюлень не был добыт специально для целей данного исследования. Все животные отловлены легально в соответствии с разрешениями Амурского теруправления Росрыболовства (№ 2720230117996 и 2720230117997) и с соблюдением всех рекомендаций и ограничений, определенных «Правилами рыболовства». Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

All operations with marine animals comply with the requirements and regulations of the European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. No seals were captured specifically for the purposes of this study. All animals were caught legally in accordance with permits issued by the Amur Regional Department of Rosrybolovstvo (№ 2720230117996 and 2720230117997) and in compliance with all recommendations and restrictions defined in the Fishing Rules of Russia. The author declares no competing interests.

Список литературы

- Бухтияров Ю.А. Питание тюленей в южной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1990. — Т. 112. — С. 96–102.
- Бухтияров Ю.А. Питание тюленей северной части Охотского моря в летне-осенний период // Морские млекопитающие Дальнего Востока. — Владивосток : ТИНРО, 1984. — С. 23–30.
- Закс И.Г. К познанию донных сообществ Шантарского моря : Изв. ТИНРО. — 1929. — Т. 3, вып. 2. — 112 с.
- Кобликов В.Н., Павлючков В.А., Надточий В.А. Бентос континентального шельфа Охотского моря: состав, распределение, запасы // Изв. ТИНРО. — 1990. — Т. 111. — С. 27–38.
- Косыгин Г.М. Питание лахтакта *Erignathus barbatus nauticus* (Pallas) в Беринговом море в весенне-летний период // Изв. ТИНРО. — 1971. — Т. 75. — С. 144–151.
- 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.
- Махинов А.Н., Крюкова М.В., Пронкевич В.В. Ульбанский залив // Природа. — 2017. — № 8. — С. 32–43.
- Мельников В.В., Федорец Ю.В. Распределение зоопланктона и полярного кита *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758 в заливе Академии Охотского моря // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 189–194.
- Морские млекопитающие России : экологический атлас / С.Е. Беликов, В.Н. Бурканов, В.А. Владимиров и др. — М. : ПАО «НК «Роснефть», 2023. — 375 с.
- Наумов С.П. Ластоногие (Pinnipedia) Охотского моря (преимущественно юго-западной части) // Уч. зап. Моск. гос. пед. ин-та. — 1941. — Т. 24, вып. 2. — С. 19–74.
- Пихарев Г.А. Некоторые данные о питании дальневосточного лахтакта (*Erignathus barbatus* Pall.) // Изв. ТИНРО. — 1941а. — Т. 20. — С. 101–120.
- Пихарев Г.А. Тюлени юго-западной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1941б. — Т. 20. — С. 61–99.
- Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Тищенко П.П. и др. Гидрохимические исследования залива Академии (Охотское море) // Океанол. — 2022. — Т. 62, № 1. — С. 98–111. DOI: 10.31857/S0030157422010166.

Трухин А.М., Махнырь А.И., Павлючков В.А. Питание настоящих тюленей в Беринговом море в весенне-летний период // Биология рыб и беспозвоночных северной части Тихого океана. — Владивосток : ДВГУ, 1991. — С. 128–144.

Филатова О.А., Борисова Е.А., Шпак О.В. и др. Репродуктивно изолированные экотипы косаток *Orcinus orca* в морях Дальнего Востока России // Зоол. журн. — 2014. — Т. 93, № 11. — С. 1345–1353. DOI: 10.7868/S0044513414080054.

Шпак О.В., Парамонов А.Ю. Наблюдения за белухами (*Delphinapterus leucas*), косатками (*Orcinus orca*), гладкими китами (*Balaenidae*) в Ульбанском заливе Охотского моря // Морские млекопитающие Голарктики : сб. науч. трудов по мат-лам 7-й Междунар. конф. — М. : Совет по морским млекопитающим, 2012. — Т. 2. — С. 395–400.

Cameron M.F., Bengtson J.L., Boveng P.L. et al. Status review of the bearded seal (*Erignathus barbatus*) : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-211. — Springfield, 2010. — 246 p.

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.

Lowry L.F., Frost K.J., Burns J.J. Feeding of bearded seals in the Bering and Chukchi Seas and trophic interaction with Pacific walruses // Arctic. — 1980. — Vol. 33, № 2. — P. 330–342. DOI: 10.14430/arctic2566.

Solovyev B.A., Shpak O.V., Glazov D.M. et al. Summer distribution of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in the Sea of Okhotsk // Russian Journal of Theriology. — 2015. — Vol. 14, № 2. — P. 201–215. DOI: 10.15298/rusjtheriol.14.2.08.

Trukhin A., Kalinchuk V., Rumiantseva O., Zolotukhin S. Mercury and stable nitrogen isotope ratios in the hair of bearded seals (*Erignathus barbatus nauticus*) from the Sea of Okhotsk // Environmental Science and Pollution Research. — 2024. — Vol. 31. — P. 56645–56659. DOI: 10.1007/s11356-024-34677-w.

References

Bukhtiyarov, Yu.A., Feeding of harbour seals in the south Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1990, vol. 112, pp. 96–102.

Bukhtiyarov, Yu.A., Feeding of fur seals of the northern Sea of Okhotsk in summer-autumn, in *Morskiye mlekopitayushchiye Dal'nego Vostoka* (Marine mammals of the Far East), Vladivostok: TINRO, 1984, pp. 23–30.

Zachs, I., Upon the bottom communities of the Shantar Sea (S-W Okhotsk Sea), *Bulletins of the Pacific scientific fishery research station*, edited by professor A.N. Derjavin, 1929, vol. 3, no. 2.

Koblikov, V.N., Pavluchkov, V.A., and Nadtochy, V.A., Benthos of the continental shelf of the Okhotsk Sea: composition, distribution, stocks abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1990, vol. 111, pp. 27–38.

Kosygin, G.M., Feeding of the beard fur seal in the Bering sea in spring-summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1971, vol. 75, pp. 144–151.

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 of 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

Makhinov, A.N., Kryukova, M.V., and Pronkevich, V.V., Ulban gulf, *Priroda*, 2017, no. 8, pp. 32–43.

Melnikov, V.V. and Fedorets, Y.V., The distribution of zooplankton and bowhead whales, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in Akademiya Bay, Sea of Okhotsk, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 216–221. doi 10.1134/S106307401603007X

Belikov, S.E., Burkanov, V.N., Vladimirov, V.A., Glazov, D.M., Isachenko, A.I., Artemyeva, S.M., Valieva, A.S., Gizatulin, T.M., Goncharov, R.V., Ermilova, Yu.V., Ilyushin, D.G., Ilyushina, P.G., Kalinin, E.N., Kornev, S.I., Krasnova, V.V., Kryukova, N.V., Kuznetsova, D.M., Lazareva, R.E.E., Mordvintsev, I.N., Osadchiev, A.A., Panova, E.M., Platonov, N.G., Svetochev, V.N., Svetocheva, O.N., Smirnova, E.A., Solovyova, M.A., Trukhanova, I.S., Trukhin, A.M., Udovik, D.A., Shpak, O.V., Shulezhko, T.S., and Erendzhenova, A.A., *Marine Mammals of Russia: Ecological Atlas*, Moscow: PAO NK Rosneft, 2023.

Naumov, S.P., Pinnipeds (Pinnipedia) of the Sea of Okhotsk (mainly the southwestern part), *Uch. zap. Moskv. state ped. in-ta*, 1941, vol. 24, no. 2, pp. 19–74.

Pikharev, G.A., Some data on the diet of the Far Eastern bearded seal (*Erignathus barbatus* Pall.), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1941, vol. 20, pp. 101–120.

Pikharev, G.A., Seals of the southwestern part of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1941, vol. 20, pp. 61–99.

Tishchenko, P.Y., Lobanov, V.B., Tishchenko, P.P., Semkin, P.Y., Sergeev, A.F., Anisimova, E.V., Barabanshchikov, Y.A., Melnikov, V.V., Ryumina, A.A., Sagalaev, S.G., Ulanova, O.A., Shvetsova, M.G., and Shkirnikova, E.M., Hydrochemical study of Academy Bay (Sea of Okhotsk), *Oceanology*, 2022, vol. 62, no. 1, pp. 80–92. doi 10.1134/S0001437022010155

Trukhin, A.M., Makhnyr, A.I., and Pavlyuchkov, V.A., Nutrition of true seals in the Bering Sea in the spring-summer period, in *Biologiya ryb i bespozvonochnykh severnoy chasti Tikhogo okeana* (Biology of fish and invertebrates in the northern part of the Pacific Ocean), Vladivostok: DVGU, 1991, pp. 128–144.

Filatova, O.A., Borisova, E.A., Shpak, O.V., Meshchersky, I.G., Tiunov, A.V., Goncharov, A.A., Fedutin, I.D., and Burdin, A.M., Reproductively isolated ecotypes of killer whales *Orcinus orca* in seas of the Russian Far East, *Zool. Zh.*, 2014, vol. 93, no. 11, pp. 1345–1353. doi 10.7868/S0044513414080054

Shpak, O.V. and Paramonov, A.Yu., Observations on belugas (*Delphinapterus leucas*), killer whales (*Orcinus orca*), and right whales (*Balaenidae*) in Ulbansky Bay, the Okhotsk Sea, in *Marine Mammals of the Holarctic: collection of scientific papers after the Seventh International Conference*, Moscow: Marine Mammal Council, 2012, vol. 2, pp. 395–400.

Cameron, M.F., Bengtson, J.L., Boveng, P.L., Jansen, J.K., Kelly, B.P., Dahle, S.P., Loggerwell, E.A., Overland, J.E., Sabine, C.L., Waring, G.T., and Wilder, J.M., Status review of the bearded seal (*Erignathus barbatus*), *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-211*, Springfield, 2010.

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.

Lowry, L.F., Frost, K.J., and Burns, J.J., Feeding of bearded seals in the Bering and Chukchi Seas and trophic interaction with Pacific walruses, *Arctic*, 1980, vol. 33, no. 2, pp. 330–342. doi 10.14430/arctic2566

Solovyev, B.A., Shpak, O.V., Glazov, D.M., Rozhnov, V.V., and Kuznetsova, D.M., Summer distribution of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in the Sea of Okhotsk, *Russian Journal of Theriology*, 2015, vol. 14, no. 2, pp. 201–215. doi 10.15298/rusjtheriol.14.2.08

Trukhin, A., Kalinchuk, V., Rumiantseva, O., and Zolotukhin, S., Mercury and stable nitrogen isotope ratios in the hair of bearded seals (*Erignathus barbatus nauticus*) from the Sea of Okhotsk, *Environmental Science and Pollution Research*, 2024, vol. 31, pp. 56645–56659. doi 10.1007/s11356-024-34677-w

Поступила в редакцию 23.12.2024 г.

После доработки 20.01.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

*The article was submitted 23.12.2024; approved after reviewing 20.01.2025;
accepted for publication 10.03.2025*

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

Научная статья

УДК 551.46.062.5(265.53)**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-73-90****EDN: AKYXFO****ТИПОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ
В ХОЛОДНОМ ПРОМЕЖУТОЧНОМ СЛОЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА ДИНАМИКУ ВОД ОХОТСКОГО МОРЯ****Т.В. Белоненко¹, П.А. Файман², В.А. Лучин^{2*}**¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9;² Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. На основе всех доступных материалов глубоководных океанографических наблюдений и диагностической модели расчета течений рассмотрена изменчивость океанологических полей и динамики вод для многолетних типовых «холодных» и «теплых» состояний Охотского моря в весенний период. При подготовке массивов «холодных» и «теплых» лет использована типизация, представленная в работе В.А. Лучина и В.И. Матвеева [2016]. В типовых распределениях температуры выявлены изменения размеров областей, которые заполнены водными массами с температурой ниже 0 °С. Более того, разность значений температуры воды на горизонтах 30 и 90 м между холодным и теплым состояниями в отдельных частях моря составляет до 1 °С. В то же время на нижней границе холодного промежуточного слоя она уменьшается до 0,5 °С. Показано, что в теплые годы по пространственному распределению температуры и солености на характерных горизонтах ХПС, а также по конфигурации и размерам областей между отдельными изолиниями наблюдается перемещение трансформированных теплых и соленых тихоокеанских вод с направлением на север (зона Западно-Камчатского течения), а также на северо-запад (отражая роль Срединного течения). На прибрежных участках северной и северо-западной частей моря (где выявлены повышенные значения плотности) в холодные годы значения плотности существенно выше, чем в теплые годы. В южной части моря, где повышенные значения плотности имеют адвективную природу, такой закономерности (между теплыми и холодными годами) не наблюдается. Выявлены изменения в пространственных размерах и интенсивности основных круговоротов. Более того, в холодные годы Северо-Охотское течение, следующее у северных берегов моря на запад, на меридиане 144° в.д. меняет свое направление на южное. Для холодных лет характерно наличие прибрежного потока, следующего от Шантарских островов к северной оконечности о. Сахалин, который блокирует воды р. Амур в Сахалинском заливе. В холодные годы выявлена интенсификация антициклонического движения вод над

* Белоненко Татьяна Васильевна, доктор географических наук, профессор, btvlisab@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4608-7781; Файман Павел Аркадьевич, PhD, ведущий научный сотрудник, pavel.fayman@yandex.ru, 0000-0003-4609-0163; Лучин Владимир Александрович, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, vluchin@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4136-302X.

южной прикурильской глубоководной котловины моря. В теплые годы весной хорошо выражено перемещение распресненных вод р. Амур на север (до параллели 56,5° с.ш.). Затем этот поток меняет свое направление на южное, переходя в следующий элемент системы течений Охотского моря — Восточно-Сахалинское течение.

Ключевые слова: Охотское море, температура морской воды, соленость, течения, круговороты, межгодовая изменчивость, типизация океанологических условий, «холодные» годы, «теплые» годы

Для цитирования: Белоненко Т.В., Файман П.А., Лучин В.А. Типовые изменения океанографических полей в холодном промежуточном слое и их влияние на динамику вод Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 73–90. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-73-90. EDN: AKYXFO.

Original article

Typical variability of oceanographic fields in the cold intermediate layer and its influence on the water dynamics in the Okhotsk Sea

Tatyana V. Belonenko*, Pavel A. Fayman**, Vladimir A. Luchin***

* St. Petersburg State University, 199034, 7–9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, Russia

, * Pacific Oceanological Institute of the Russian Academy of Sciences,
690041, 43 Baltiiskaya Str., Vladivostok, Russia

* D.Geogr., professor, btvlisab@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4608-7781

** Ph.D., leading researcher, pavel.fayman@yandex.ru, ORCID 0000-0003-4609-0163

*** D.Geogr., leading researcher, vluchin@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4136-302X

Abstract. Spatial variability of temperature and salinity in the cold intermediate layer and water circulation in the Okhotsk Sea are considered for typical cold and warm conditions of the spring season (May–June) determined by separate averaging of all available data of oceanographic observations and diagnostic modeling. The «cold» and «warm» years are separated following to the typization proposed by V.A. Luchin and V.I. Matveev [2016]. The total area with water temperature below 0 °C is evaluated for both types. The difference of water temperature between the types reaches 1 °C on the depths of 30 and 90 m in certain parts of the sea, but decreases to 0.5 °C at the lower boundary of the cold layer. The northward (West Kamchatka Current) and northwestward (Middle Okhotsk Sea flow) transport of the warm and salty transformed North Pacific Intermediate water prevails for the «warm» type, as could be seen from spatial distribution of temperature and salinity in the above cold subsurface layer and the isolines patterns. Water density in the cold layer generally increases toward the northern and northwestern coasts of the sea where it is significantly higher in springs of «cold» years than in «warm» years. The density increases in the southern part of the sea, too, but without such difference between the types because of advective nature of this pattern. The major water gyres vary in size and intensity between the types, in particular, the anticyclonic gyre over the deep-water Kuril Basin is more intense in cold springs. The North Okhotsk Current, flowing westward along the northern shore, turns to the south at 144° E in springs of the cold type. Besides, another alongshore current appears under cold conditions that flows from the Shantar Islands to northern Sakhalin Island and blocks the Amur River outflow to the Okhotsk Sea. On the contrary, in springs of the warm type, the outflow of freshened water from the Amur to the north reaches the latitude of 56.5° N, then turns to the south and replenishes the East Sakhalin Current.

Keywords: Okhotsk Sea, water temperature, salinity, current, gyre, spatial variability, typization of oceanographic conditions, «cold» year, «warm» year

For citation: Belonenko T.V., Fayman P.A., Luchin V.A. Typical variability of oceanographic fields in the cold intermediate layer and its influence on the water dynamics in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 73–90. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-73-90. EDN: AKYXFO.

Введение

Охотское море — один из высокопродуктивных районов Мирового океана с традиционным промыслом минтая, сельди, тихоокеанских лососей, крабов и других видов

рыб и беспозвоночных. В нем сосредоточено около 58 % общей биомассы макрофауны и около 62 % биомассы рыб дальневосточных морей России [Шунтов, 2016]. Море является важной транспортной артерией, а на континентальном шельфе содержатся запасы углеводородов [Бакланов и др., 2003]. В.П. Шунтовым [1986] было отмечено, а затем подтверждено в ряде работ [см. Шунтов, Темных, 2013], что циклы численности гидробионтов связаны с цикличностью общих природных процессов. По мнению В.П. Шунтова [2001], значительное влияние на биоту моря оказывают биоценологические, климатические и океанологические факторы.

Исследуемый регион расположен в муссонной климатической зоне умеренных широт. Для его северной части, которая глубоко вдается в Азиатский материк, свойственны и некоторые особенности климата арктических морей. Метеорологические условия в основном обусловлены изменением положения и взаимодействием следующих центров действия атмосферы: Алеутский минимум, Северо-Тихоокеанский максимум, Сибирский антициклон (зимой), а также дальневосточная депрессия и охотский антициклон (летом) [Дашко и др., 1997]. Муссонный характер ветрового режима часто нарушается глубокими циклонами. В холодное время года над морем господствуют сильные ветры северного и северо-западного направлений. С мая по сентябрь над акваторией моря преобладают слабые ветры (2–5 м/с) южной четверти [Дашко и др., 1997]. Средний годовой результирующий теплообмен на поверхности моря отрицателен. Компенсация потерь тепла Охотским морем происходит за счет адвекции тепла тихоокеанскими водами через Курильские проливы и водами из Японского моря через прол. Лаперуза [Баталин, Васюкова, 1960].

Океанографический режим Охотского моря, определяющий особенности динамики вод, в значительной мере зависит от географического положения и рельефа дна моря, морфометрии проливов и обмена с Тихим океаном и Японским морем, интенсивности осенне-зимних конвективных процессов и баланса тепла на поверхности [Баталин, Васюкова, 1960; Морошкин, 1966; Гладышев, 1998; Martin et al., 1998; Фигуркин, 2002, 2011; Хен и др., 2002; Gladyshev et al., 2003; Shcherbina et al., 2003; Файман и др., 2021].

Инструментальных наблюдений над течениями, по которым можно получить хотя бы в первом приближении картину циркуляции всего бассейна (не говоря уже о сезонной и межгодовой изменчивости течений), крайне недостаточно. Наблюдения и обобщения данных о течениях в основном представлены только для локальных периферийных участков моря (см., например, В.А. Лучин [1998]). Они, как правило, выполнялись только на акваториях, где необходимо обеспечение безопасности мореплавания (рыбопромысловые районы, проливы, проходы между островами, прибрежные районы и подходы к портам), а также при обеспечении добычи минеральных ресурсов (например, район восточнее Сахалина).

Диагностические расчеты, представленные в работах К.В. Морошкина [1966], В.А. Лучина [1982], Е.В. Самко, Ю.В. Новикова [2004], П.А. Файмана [Fauman, 2004, 2015], показали идентичность главных деталей схем течений моря, к которым можно отнести следующее. В Охотском море присутствуют два циклонических круговорота (в северной части моря, включая зал. Шелихова, и в центральной части моря), а также антициклоническое движение вод над южной глубоководной котловиной. В то же время В.И. Чернявский [1981] представил циркуляцию Охотского моря как вихревое поле, состоящее из системы макро-, мезо- и микрокруговоротов, а также выделил как отдельный элемент Срединное течение.

Особенности сезонных полей течений, полученные в рамках диагностических моделей и с использованием климатических массивов данных, представлены как для всего моря [Лучин, 1987; Васильев, Храпченков, 1998; Файман, 2015], так и для его отдельных районов (например, Е.В. Самко, Ю.В. Новиков [2004]). Сезонная изменчивость циркуляции вод (по данным спутниковой альтиметрии) для верхнего слоя Охотского моря показана в работе Г.В. Шевченко, А.А. Романова [2006]. На основе экспедиционных съемок ТИНРО представлена межгодовая изменчивость динамики

вод в различных частях Охотского моря и сравнение океанографических условий в аномально холодные и аномально теплые годы [Фигуркин, 2002; Хен и др., 2002; Самко и др., 2004; Фигуркин и др., 2008].

Как правило, средние многолетние распределения параметров (за год, сезон или месяц) являются результатом обобщения самых разных ситуаций, а имеющиеся индивидуальные особенности конкретных полей элементов на таких картах либо сглаживаются, либо вовсе исчезают. Этот недостаток (при многолетнем обобщении исходных данных) можно минимизировать с использованием типизации процессов. При таком подходе осреднение исходных данных выполняется раздельно, по группам. В каждую из групп подбираются случаи, характерные наличием какого-либо одного признака, выбранного в качестве ведущего. Такое осреднение уже не уничтожает и не сглаживает, а, напротив, выявляет и подчеркивает наиболее характерные индивидуальные особенности реальных процессов. Например, особенности типовых схем течений отдельных районов Охотского моря представлены в работах В.Д. Будаевой, В.Т. Макарова [Budaeva, 1996, 1999]. А формирование термохалинной структуры вод и течений в северной части моря в послеледовый период может происходить по двум сценариям. Так, в случае холодных зим весной наблюдается прибрежный поток восточного направления, а при мягких зимах — западного [Жигалов, Лучин, 2010; Лучин, Жигалов, 2011].

Большинство известных схем циркуляции вод Охотского моря получено диагностическими методами, результаты которых существенно зависят от полноты используемых массивов информации. Более того, все известные к настоящему времени схемы течений имеют определенные погрешности, связанные с ограничениями применяемых методов и с недостатком использованных наборов гидрологических данных.

Предыдущие исследования по выявлению межгодовых изменений термических условий деятельного слоя Охотского моря основывались на гипотезе, согласно которой аномалии температуры воды формируются в основном в осенне-зимнее время [Винокурова, 1965, 1972; Давыдов, 1975; Павлычев и др., 1989; Чернявский 1992; Фигуркин, 2002, 2011; Лучин, Жигалов, 2006]. При этом, как правило, авторы предполагали, что межгодовые изменения в состоянии деятельного слоя моря происходят под влиянием двух основных термодинамических процессов осенне-зимнего периода: адвекции сравнительно теплых тихоокеанских вод в море и выхолаживающего эффекта атмосферы (осенне-зимняя конвекция)

По акватории Охотского моря в зимний период очень мало данных океанографических наблюдений, что связано с низкой температурой воздуха, частыми штормами и обледенением судов, серьезно препятствующими производству экспедиционных работ. Исключением являются акватория, прилегающая к островам Курильской гряды, и зона «восточного канала», которая формируется при отепляющем воздействии тихоокеанских вод, переносимых Западно-Камчатским течением. Поэтому из-за отсутствия данных наблюдений в настоящее время невозможно выполнить оценку пространственных изменений океанологических параметров на преобладающей части Охотского моря в зимний период.

Все выполненные оценки гидрологического состояния в деятельном слое вод зимой (например, С.В. Гладышев [1998], В.А. Лучин, И.А. Жигалов [2006], Gladyshev с соавторами [2003]), базируются на данных весенних наблюдений (после разрушения ледяного покрова). Более того, имеющиеся типизации многолетних изменений в Охотском море основываются на использовании термического состояния подповерхностных вод как отдельных регионов моря, так и моря в целом [Винокурова, 1965, 1972; Давыдов, 1975; Чернявский, 1992; Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, Матвеев, 2016; и др.].

Цель настоящей работы — оценить типовые изменения (между «холодными» и «теплыми» состояниями) океанографических полей в холодном промежуточном слое и их влияние на динамику вод Охотского моря весной (май-июнь).

Материалы и методы

Исходная океанографическая информация и ее обработка

Для расчета полей температуры, солености и плотности морской воды сформирован массив океанологической информации Охотского моря, который включает все доступные данные организаций России, Японии и США. Подробная информация об источниках данных, видах наблюдений, удалении недостоверной информации и первичной обработке опубликована ранее [Лучин, Жигалов, 2006; Лучин, Матвеев, 2016].

На всех станциях проведена интерполяция значений потенциальной температуры, солености и потенциальной плотности на горизонты, кратные 5 м. При обработке батометрических наблюдений (bottle data — OSD) использована линейная интерполяция значений. STD-наблюдения и данные дрейфующих буев проекта «Argo» приводились на горизонты, кратные 5 м, с использованием медианной процедуры (с захватом выше- и нижележащих наблюдений на расстоянии 2,5 м от расчетного).

Для слоя 0–300 м сформированы два массива океанографических данных — «теплых» и «холодных» лет [Лучин, Матвеев, 2016]. Основываясь на этой типизации, для ряда лет с 1946 по 2015 г. созданы два массива для мая-июня: «холодных» лет (данные 16 399 океанографических станций), а также «теплых» лет (данные 12 495 океанографических станций). Отметим, что в массивы «теплых» и «холодных» лет включены данные «экстремальных» лет.

Ранее выполненные расчеты показали, что статистически значимые сезонные изменения температуры воды на преобладающей части Охотского моря наблюдаются до горизонта 300 м [Лучин, 2007]. Только вблизи Курильской гряды (полоса шириной 30–40 миль) и в глубоководных проливах сезонные колебания температуры достигают 500–600 м. Поэтому для нижних горизонтов (слой 400–3000 м) выполнялось среднее годовое осреднение значений потенциальной температуры, солености и потенциальной плотности.

Расчеты средних многолетних месячных, 2-месячных, сезонных и годовых значений всех океанографических параметров (потенциальной температуры, солености и потенциальной плотности) выполнялись в пределах трапеций $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ по меридиану и параллели. В каждой трапеции применялось медианное осреднение исходных данных. Отметим также, что при расчетах средних многолетних статистических характеристик во всех трапециях (для нормирования вклада суточных, многосерийных станций, а также возможных дублированных значений) выполнялась следующая операция. Вначале в каждой трапеции проводилось осреднение всех данных, выполненных за конкретные сутки. Полученные за сутки средние значения в дальнейших расчетах климатических величин принимались с единичным вкладом.

Диагностическая модель океана

Для расчета течений используется линейная диагностическая модель, в которой не учитываются адвекция и горизонтальный турбулентный обмен [Саркисян, 1977]. Модель представляет собой систему дифференциальных уравнений в частных производных, а именно: эллиптическое уравнение уровня моря, уравнение неразрывности и явные формулы для вычисления горизонтальных компонент вектора скорости.

При численной реализации модели учитывались рекомендации, изложенные в работах А.С. Саркисяна [1977] и Г.И. Марчука с соавторами [1980]. Так, при численной аппроксимации вторых производных по горизонтальным координатам используется схема центральных разностей, а при аппроксимации первых производных — схема направленных разностей. В качестве метода последовательных приближений полученной системы линейных уравнений для значений уровня в узлах сетки используется метод Гаусса-Зейделя. При численном решении граничной задачи для уравнения уровня применяется метод, предложенный В.П. Кочергиным [1978]. Для дискретизации уравнений

горизонтальных компонент вектора скорости используются центральные разности. В дальнейшем полная система численных уравнений модели решалась итерационным методом до установления. Для лучшей сходимости в правую часть уравнения уровня вводилась поправка [Марчук и др., 1980].

Область моделирования включает всю акваторию Охотского моря за исключением Пенжинской губы. Район расчетной области ограничен с юга 43° с.ш., с запада 135° в.д., с севера 63° с.ш., с востока — 160° в.д. Шаг расчетной сетки — $1/8^{\circ}$.

Поле батиметрии, необходимое для расчетов, формировалось с сайта GEBCO (The General Bathymetric Chart of the Oceans: <https://www.gebco.net/>). Эти данные путем сглаживания приводились к модельной сетке с разрешением $1/8^{\circ}$, оставлялась только акватория непосредственно Охотского моря, удалялись все острова и сглаживалась береговая черта (рис. 1).

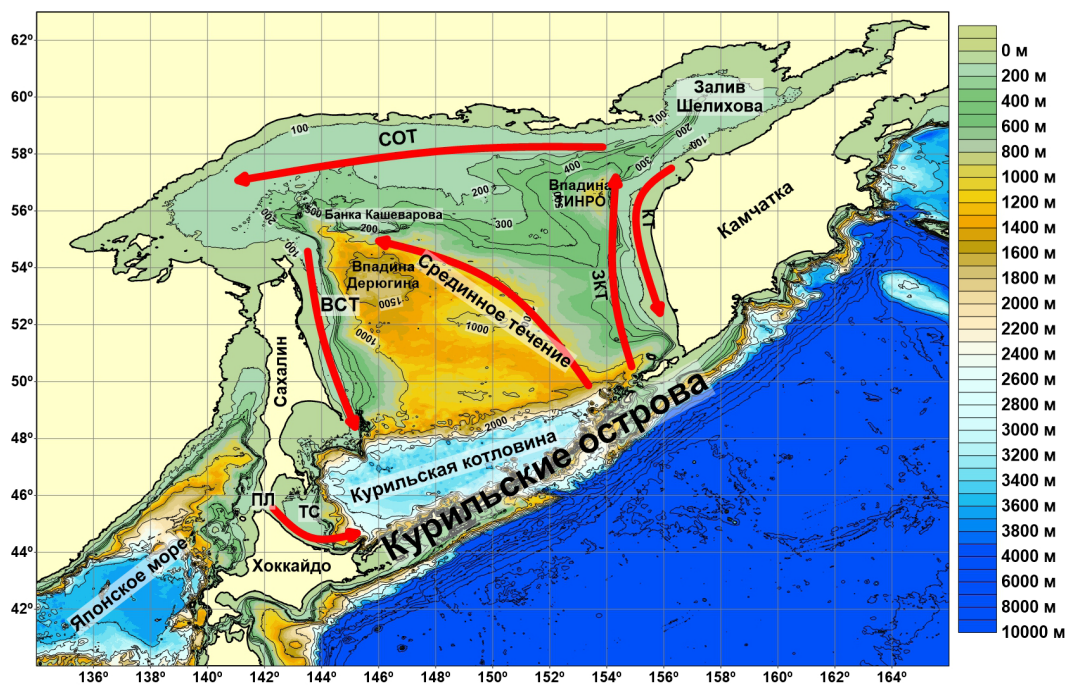


Рис. 1. Район исследования с рельефом дна: ПЛ — прол. Лаперуза, ТС — течение Соя, КТ — Компенсационное течение, ЗКТ — Западно-Камчатское течение, СОТ — Северо-Охотское течение, ВСТ — Восточно-Сахалинское течение

Fig. 1. Scheme of the study area with bottom relief: ПЛ — Soya (La Perouse) Strait, ТС — Soya Current, КТ — Compensation Current, ЗКТ — West Kamchatka Current, СОТ — North Okhotsk Current, ВСТ — East Sakhalin Current

Входными данными модели являются поля плотности морской воды, которые рассчитаны на основе данных температуры и солёности морской воды. Массивы исходных данных температуры и солёности были получены с пространственной дискретностью $0,5^{\circ}$ по горизонтали. Затем при помощи метода интерполяции Крингинг производилась интерполяция полученных средних многолетних значений на каждом расчетном горизонте на более мелкую сетку, равную $1/8^{\circ}$. В верхнем слое (для горизонтов 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300 м) были сформированы два средних многолетних массива сеточных данных — «холодных» и «теплых» лет — с осреднением исходных данных за май-июнь. На нижележащих горизонтах (400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000 м) использовано среднее годовое осреднение исходной информации.

Средние многолетние месячные поля ветра для типовых «холодных» и «теплых» лет формировались на основе данных метеорологического реанализа NCEP/NCAR.

Вначале для всех «холодных» и «теплых» лет (согласно выполненной ранее типизации [Лучин, Матвеев, 2016] была проведена выборка данных за май и июнь). Затем отдельно (для массивов «холодных» и «теплых» лет) были рассчитаны средние многолетние типовые массивы для мая-июня.

Результаты и их обсуждение

Средние многолетние типовые распределения океанографических параметров в холодном промежуточном слое (ХПС) Охотского моря

Средние многолетние типовые распределения параметров рассмотрены на верхней и нижней границах ХПС, а также на горизонте положения его ядра. Для установления характерных горизонтов, определяющих положение этих структурных элементов ХПС, выполним осреднение величин, которые были использованы для построения карт ранее [Круц, Лучин, 2013]. Расчеты показали, что (при многолетнем обобщении океанографической информации) они располагаются на следующих горизонтах: верхняя и нижняя граница ХПС — соответственно 30 и 135 м, а ядро ХПС — на глубине 90 м.

Главная особенность пространственного распределения температуры на подповерхностных горизонтах в Охотском море (как в теплые, так и в холодные по термическим условиям годы) — это сохранение основных крупномасштабных черт распределения температуры воды (с максимальными значениями у проливов Курильской гряды и минимальными — в прибрежных районах северной части моря и у западного склона глубоководной котловины моря). Как видно на рис. 2, типовые распределения температуры на различных горизонтах в море являются достаточно ярким индикатором поступления в море трансформированных тихоокеанских вод и адвективных процессов, происходящих в море.

Средние многолетние типовые распределения температуры морской воды на представленных горизонтах ХПС также свидетельствуют об изменчивости размеров областей, которые заполнены водными массами с температурой ниже 0 °C (рис. 2). Более того, разность значений температуры воды на горизонтах 30 и 90 м между холодным и теплым состояниями в отдельных частях моря составляет, как правило, до 1 °C. В то же время на нижней границе ХПС она уменьшается до 0,5 °C. Видно также, что в теплые годы по пространственному распределению температуры на характерных горизонтах ХПС, а также по конфигурации и размерам областей между отдельными изолиниями наблюдается перемещение трансформированных теплых тихоокеанских вод с направлением от северных Курильских островов на северо-запад (к банке Кашеварова).

Следует отметить и хорошее соответствие указанных типовых распределений температуры с известными представлениями о системе течений в море [Морошкин, 1966; Лучин, 1982, 1987; Чернявский, 1992; Самко, Новиков, 2004; Самко и др., 2004; Fayman, 2004; Файман, 2015; и др.]. Максимальные значения температуры в восточном секторе моря (наиболее ярко это выражено в «теплые» годы) свидетельствуют о перемещении теплых тихоокеанских вод на север к зал. Шелихова, а также на северо-запад в направлении банки Кашеварова. Зона течения Соя (как в теплые, так и в холодные годы) хорошо выделяется по повышенным значениям температуры воды вблизи берегов о. Хоккайдо. Пониженные значения температуры воды у материкового склона западной части моря являются индикатором переноса переохлажденных вод из северо-западной части моря во впадину Дерюгина [Martin et al., 1998; Gladyshev et al., 2003; Shcherbina et al., 2003].

В типовых пространственных распределениях солёности (в отличие от полей температуры воды, представленных на рис. 2) на характерных горизонтах ХПС практически не наблюдается существенных различий (рис. 3). Как в теплые, так и в холодные годы максимальные значения солёности выделяются в двух основных районах моря, имеющих различные причины формирования аномалий.

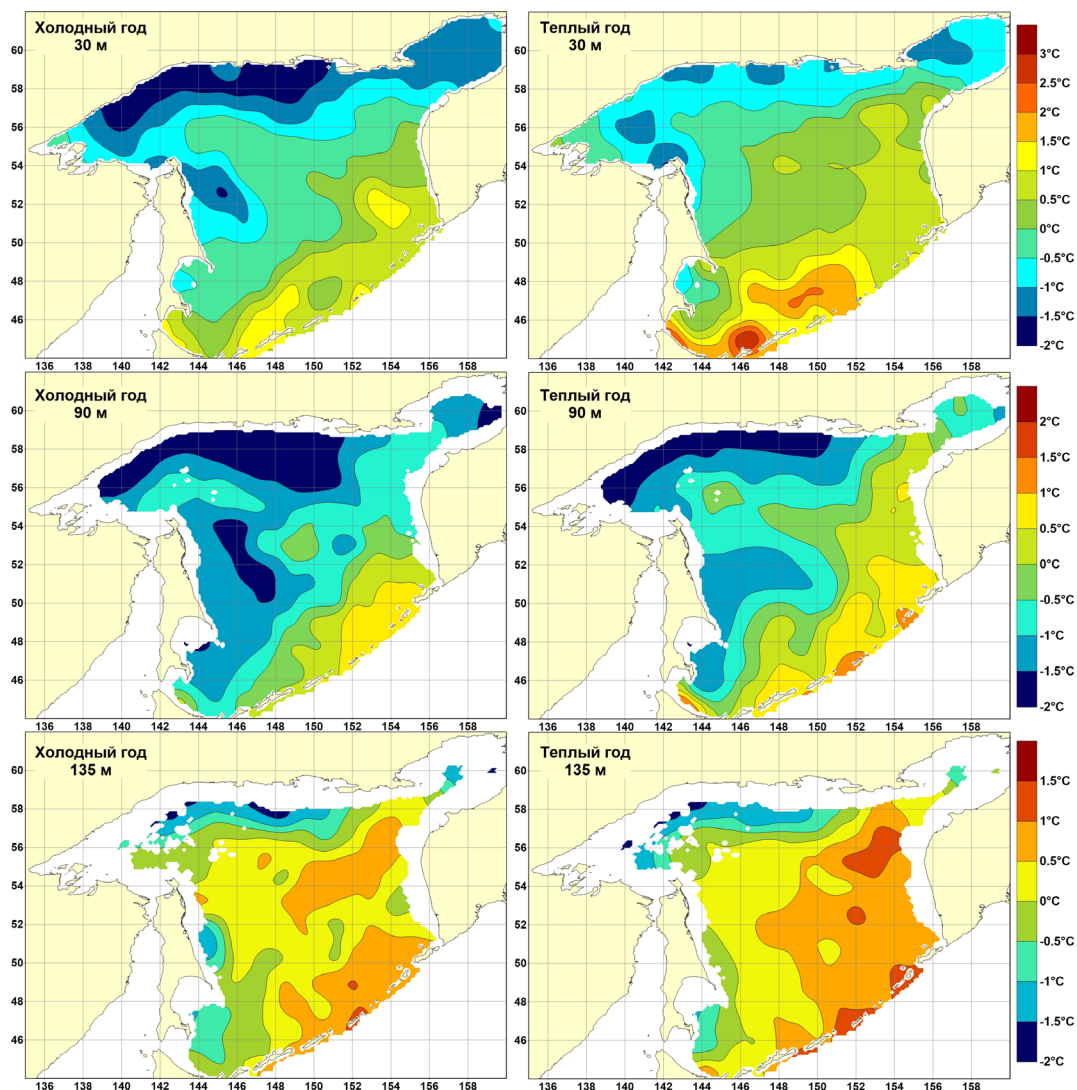


Рис. 2. Средние многолетние типовые (в «холодные» (слева) и «теплые» (справа) годы) распределения потенциальной температуры воды (°C) в Охотском море в мае-июне

Fig. 2. Typical spatial distribution of potential water temperature in May-June of «cold» (left) and «warm» (right) years, °C

Первый из них расположен вблизи северных проливов Курильской гряды и обусловлен с поступлением в море тихоокеанских вод с повышенными значениями солёности. Аналогичная (связанная с адвекцией в море вод, имеющих тихоокеанское происхождение) аномалия значений солёности выделяется у северных берегов о. Хоккайдо. Здесь высокая солёность формируется под влиянием притока солёных вод из Японского моря через прол. Лаперуза.

Второй район с высокой солёностью связан с суровыми метеорологическими условиями зимой и интенсивным образованием льда в полыньях. Этот регион включает северную прибрежную часть моря, северные прибрежные районы зал. Шелихова, а также северо-западное прибрежное мелководье от Охотска до Аяна. Затем эта сформированная аномалия высокой солёности системой прибрежных течений смещается в район шельфа и материкового склона к востоку от о. Сахалин. Наиболее ярко следствие термических и динамических процессов проявляется на пространственных распределениях солёности в холодные годы (рис. 3).

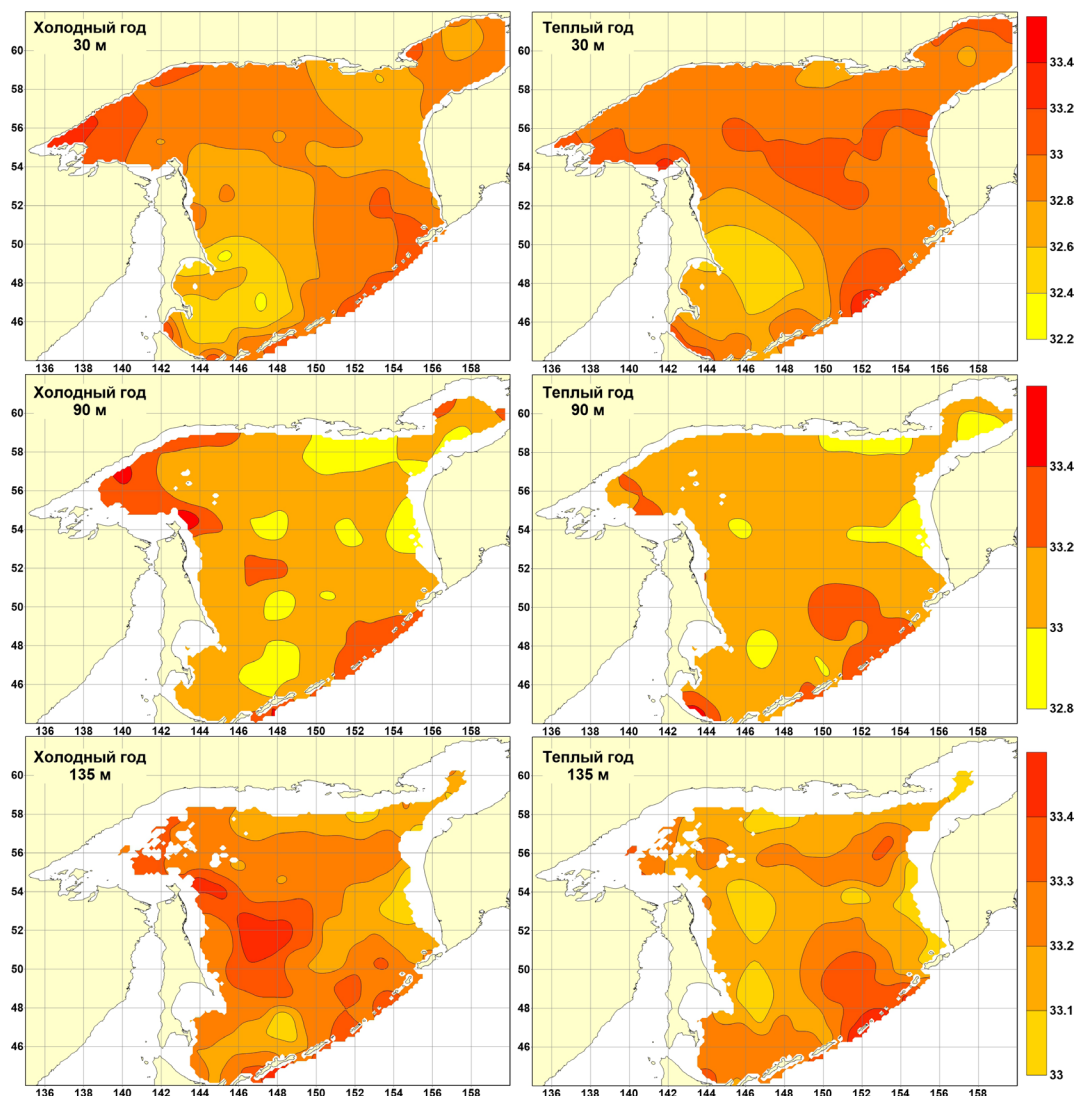


Рис. 3. Средние многолетние типовые (в «холодные» (слева) и «теплые» (справа) годы) распределения солёности морской воды (psu) в Охотском море в мае-июне

Fig. 3. Typical spatial distribution of salinity in May-June of «cold» (left) and «warm» (right) years

Отметим, что в теплые годы на всех представленных характерных горизонтах ХПС в полях солёности более ярко прослеживается перемещение трансформированных тихоокеанских вод в море. Конфигурация этих аномалий с повышенными значениями солёности свидетельствует о движении тихоокеанских вод на север (зона Западно-Камчатского течения), а также на северо-запад (отражая роль Срединного течения).

Главная особенность представленных полей плотности на характерных горизонтах ХПС (рис. 4) — это отсутствие существенных различий между их типовыми распределениями и сравнительная стабильность локализации основных аномалий плотности (это характерно как для повышенных, так и для пониженных значений плотности).

Первый обширный регион с повышенными значениями плотности расположен в северной и северо-западной частях моря и связан с осенне-зимним выхолаживанием деятельного слоя вод моря, а также с осолонением толщи вод при формировании льда. Этот регион с максимальными значениями плотности морской воды включает северный прибрежный участок зал. Шелихова, шельфовые участки северо-западной

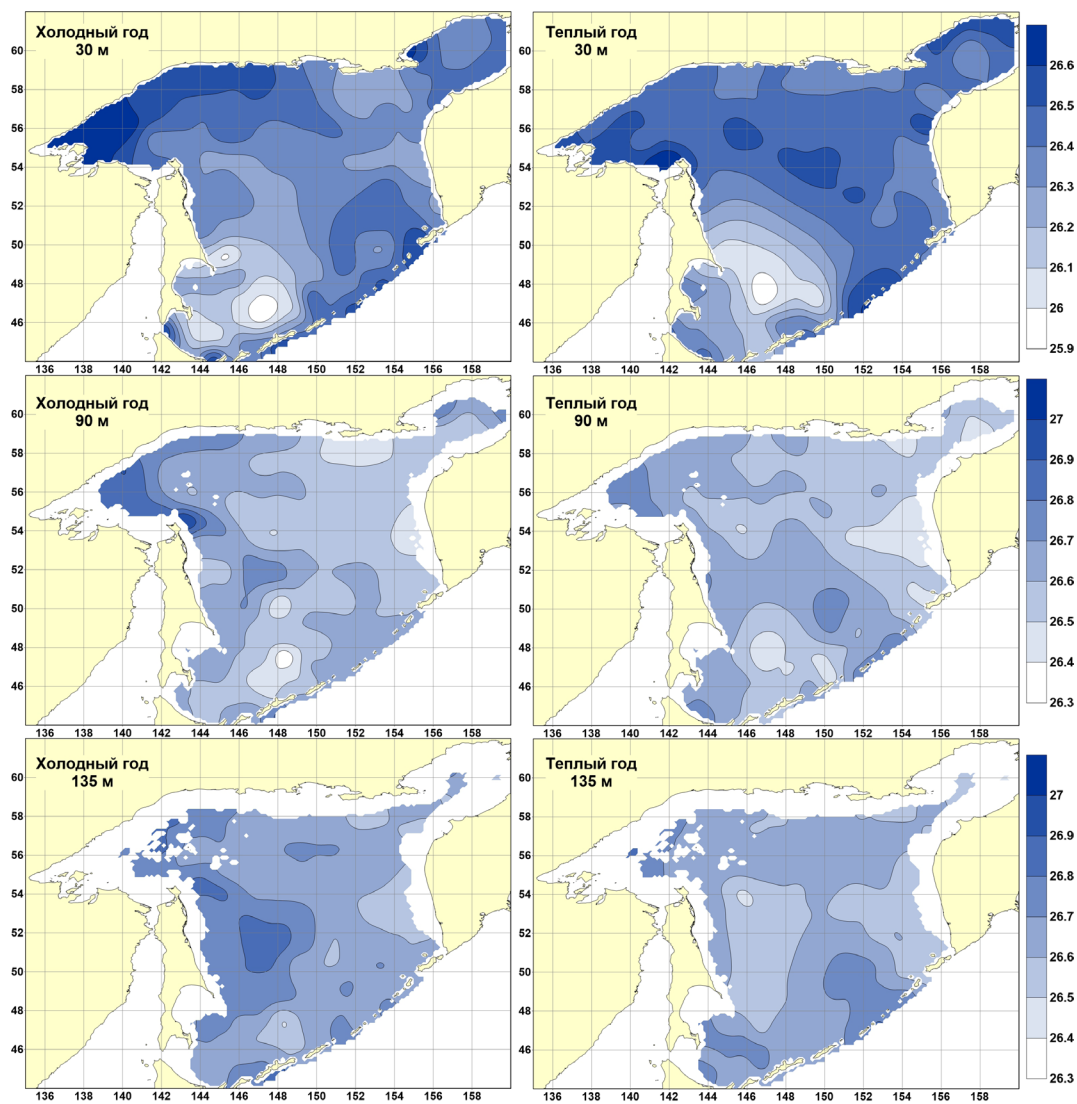


Рис. 4. Средние многолетние типовые (в «холодные» (слева) и «теплые» (справа) годы) распределения относительных значений потенциальной плотности морской воды (kg/m^3) в Охотском море в мае-июне

Fig. 4. Typical spatial distribution of potential density in May-June of «cold» (left) and «warm» (right) years, relative values in kg/m^3

части моря (от Тауйской губы до Сахалинского залива), а также шельф и склон восточнее о. Сахалин.

Второй регион с повышенными значениями плотности на характерных горизонтах ХПС связан с адвекцией вод течения Соя (к северу от о. Хоккайдо) и с поступлением тихоокеанских вод через проливы в глубоководную акваторию моря западнее и севернее северной части Курильской гряды.

Как видно на рис. 4, в первом регионе с повышенными значениями плотности (располагающемся на прибрежных участках северной и северо-западной частей моря) в холодные годы на всех представленных горизонтах ХПС значения плотности существенно выше, чем в теплые годы. В то же время во втором (юго-восточном) регионе, где наблюдаются повышенные значения плотности, связанные с адвекцией тихоокеанских вод, такой закономерности (между теплыми и холодными годами) не наблюдается.

Средние многолетние типовые течения Охотского моря

Из сравнительного анализа рассчитанных схем течений следует (рис. 5), что как в холодные, так и в теплые годы в первом приближении сохраняются все известные элементы циркуляции вод моря (крупномасштабные круговороты и их отдельные фрагменты), традиционно отмечаемые ранее [Морошкин, 1966; Чернявский, 1981; Лучин, 1982, 1987; Mizuta et al., 2003; Rybalko, Shevchenko, 2003; Самко, Новиков, 2004; Fayman, 2004; Файман, 2015; Файман и др., 2021; и др.].

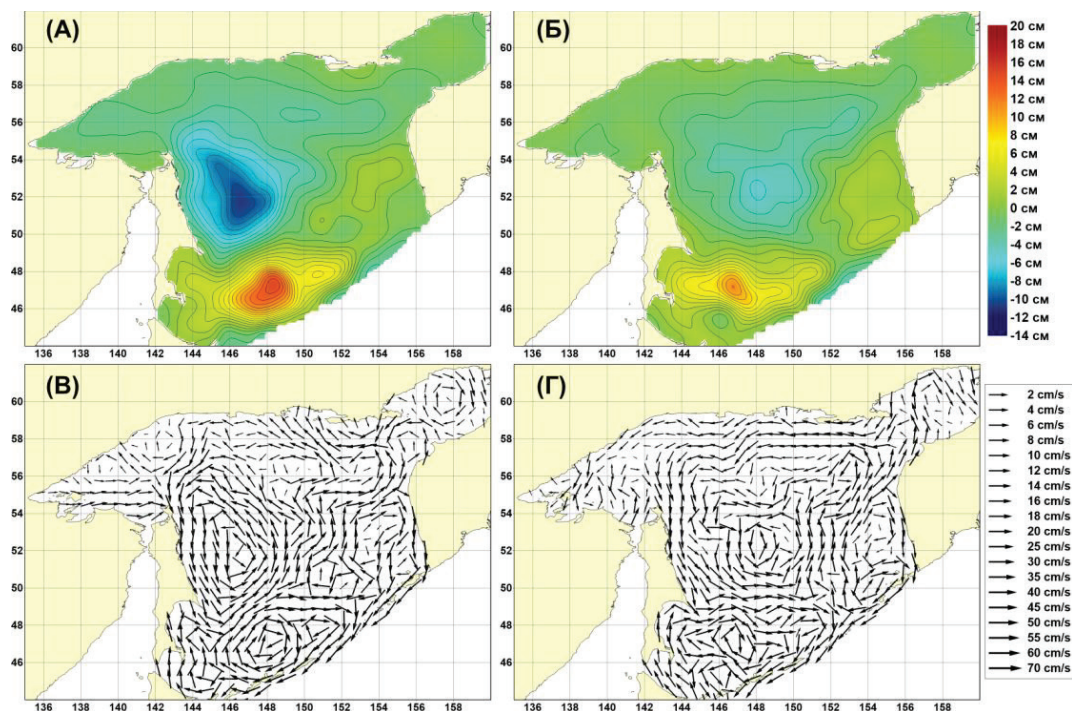


Рис. 5. Типовые распределения топографии уровня поверхности (А, Б) и векторов течений (В, Г) Охотского моря в мае-июне в холодные (А, В) и теплые (Б, Г) по термическим условиям годы

Fig. 5. Typical sea surface topography (А, Б) and vectors of water circulation (В, Г) in May-June of «cold» (А, В) and «warm» (Б, Г) years

1. Обширный циклонический круговорот, включающий центральную и северную части моря, на периферийных участках которого выделяются Восточно-Сахалинское, Западно-Камчатское и Северо-Охотское течения. Также внутри этого круговорота можно отметить наличие Срединного течения (терминология В.И. Чернявского [1981]), которое переносит трансформированные тихоокеанские воды в направлении от северных Курильских проливов к банке Кашеварова.

2. Антициклоническое движение вод на шельфе и у склона западнее п-ова Камчатка (южнее параллели 55° с.ш.) с Компенсационным течением на его восточной периферии.

3. Антициклоническое движение вод над южной прикурильской глубоководной котловиной моря.

4. На акватории моря, помимо крупномасштабных круговоротов, выделяются и мезомасштабные вихревые образования. К ним относятся антициклонический круговорот в зал. Шелихова, а также циклонический — на его входе; циклонические вихри восточнее Шантарских островов и над впадиной ТИНРО.

Выявленные в настоящей работе наиболее существенные изменения в системе течений (от холодного к теплему состоянию вод моря) рассмотрим в пределах отдель-

ных элементов циркуляции вод моря (крупномасштабных круговоротов, их отдельных фрагментов, а также локальных вихревых образований).

В центральной части моря (между параллелями 48° и 56° с.ш.) в холодные годы наблюдается интенсификация циклонического круговорота (с Восточно-Сахалинским течением на его западной периферии). Его пространственные границы смещаются на запад, а восточная граница не выходит за пределы меридиана 149° в.д. Наблюдается также существенное смещение (в сторону о. Сахалин) западной границы антициклонического круговорота, который располагается западнее п-ова Камчатка. В результате ширина Западно-Камчатского течения существенно увеличивается, и оно простирается от 148° до 152° в.д. (рис. 5, А, В). В теплые годы в этом регионе моря (в отличие от холодных лет) циклонический круговорот (с Восточно-Сахалинским течением на его западной периферии) продвигается на восток до меридиана 151° в.д., а границы распространения антициклонического круговорота, выделяемого западнее п-ова Камчатка, смещаются на восток (рис. 5, Б, Г). Следует отметить еще один факт в межгодовой изменчивости поля течений этого региона моря. По данным выполненных расчетов в теплые годы (если сравнивать с холодными) пространственные градиенты уровня поверхности (рис. 5, А, Б) и значения скоростей основных течений этого региона моря (рис. 5, В, Г) получены значительно ниже, чем в холодные годы.

Далее рассмотрим межгодовые изменения в топографиях уровня поверхности и скоростей течений в северной части моря (севернее параллели 55° с.ш.). Как видно на рис. 5 (А, В), в холодные годы в зал. Шелихова более четко выражен (по сравнению с теплыми годами) антициклонический круговорот со значительными скоростями течений. Северо-Охотское течение, следующее у северных берегов моря на запад, в холодные годы на меридиане 144° в.д. меняет свое направление на южное. В крайней западной части моря (от меридиана 143° в.д. до Шантарских островов) вблизи берега хорошо выражены два мезомасштабных вихря (антициклонический — между 141° и 143° в.д., циклонический — между 138° и 141° в.д.). Для холодных лет также характерен прибрежный поток восточного направления, следующий от Шантарских островов к мысу Елизаветы (северная оконечность о. Сахалин). Как видно на рис. 5 (В), этот поток в холодные годы, вероятно, блокирует выход вод р. Амур в Охотское море.

В теплые годы (рис. 5, Б, Г) Северо-Охотское течение перемещается по своему традиционному маршруту, характерному для теплого периода года и отмеченному ранее [Морошкин, 1966; Чернявский, 1981; Лучин, 1982, 1987; Fayman, 2004; Файман, 2015]: вдоль северных и северо-западных берегов Охотского моря, а затем от Шантарских островов до Сахалинского залива. Также в теплые годы (рис. 5, Б, Г) хорошо выражено перемещение распресненных вод р. Амур на север (до параллели $56,5^{\circ}$ с.ш.). Затем этот поток меняет свое направление на южное, переходя в следующий элемент системы течений Охотского моря, — Восточно-Сахалинское течение, что согласуется со схемами течений, представленными, например, в работах В.И. Чернявского [1981] и В.А. Лучина [1998].

В холодные годы наблюдается интенсификация антициклонического движения вод над южной прикурильской глубоководной котловиной моря (рис. 5), следствием чего является более четкая (по сравнению с теплыми годами) выраженность круговорота в поле векторов течений, а также рост значений скоростей.

Заключение

Все доступные материалы глубоководных океанографических наблюдений и использование диагностической модели расчета течений позволили выделить весенние особенности межгодовой изменчивости гидрологических полей, а также динамики вод Охотского моря для холодных и теплых гидрологических лет.

По средним многолетним типовым распределениям температуры морской воды на представленных горизонтах ХПС определена изменчивость размеров областей, которые

заполнены водными массами с температурой ниже 0 °С. Разность значений температуры воды на горизонтах 30 и 90 м между холодным и теплым состояниями в отдельных частях моря составляет до 1 °С, на нижней границе ХПС она уменьшается до 0,5 °С. В теплые годы по пространственному распределению температуры на характерных горизонтах ХПС и по конфигурации и размерам областей между отдельными изолиниями наблюдается перемещение трансформированных теплых тихоокеанских вод с направлением от северных Курильских островов на северо-запад (к банке Кашеварова).

Аналогичная картина для теплых лет (по перемещению трансформированных тихоокеанских вод в море) отмечается на всех представленных характерных горизонтах ХПС и в полях солености. Конфигурация аномалий с повышенными значениями солености свидетельствует о движении тихоокеанских вод на север (зона Западно-Камчатского течения) и северо-запад (отражая роль Срединного течения).

На прибрежных участках северной и северо-западной частей моря (где выявлены повышенные значения плотности) в холодные годы на всех представленных горизонтах ХПС значения плотности существенно выше, чем в теплые годы. В южном регионе с повышенными значениями плотности (имеющем адвективную природу) такой закономерности не наблюдается.

В центральной части моря (48–56° с.ш.) между теплыми и холодными состояниями выявлены изменения в пространственных размерах и интенсивности циклонического круговорота (с Восточно-Сахалинским течением на его западной периферии). В холодные годы ширина Западно-Камчатского течения существенно увеличивается, и оно простирается от 148 до 152° в.д. В теплые годы пространственные градиенты уровня поверхности и значения скоростей основных течений этого региона моря получены значительно ниже, чем в холодные годы.

В холодные годы в зал. Шелихова более четко выражен антициклонический круговорот и как результат — более упорядоченное поле векторов и более значительные скорости течений, а Северо-Охотское течение, следующее у северных берегов моря на запад, на меридиане 144° в.д. меняет свое направление на южное. Для холодных лет также характерен прибрежный поток восточного направления, следующий от Шантарских островов к мысу Елизаветы (северная оконечность о. Сахалин). Этот поток в холодные годы блокирует выход вод р. Амур в Охотское море. Для холодных лет характерна интенсификация антициклонического движения вод над южной прикурильской глубоководной котловиной моря, следствием чего является более четкая (по сравнению с теплыми годами) выраженность круговорота в поле векторов течений, а также рост значений скоростей.

В теплые годы Северо-Охотское течение перемещается по своему традиционному маршруту, характерному для теплого периода года: вдоль северных и северо-западных берегов Охотского моря, а затем от Шантарских островов до Сахалинского залива. Также в теплые годы хорошо выражено перемещение распресненных вод р. Амур на север (до параллели 56,5° с.ш.). Затем этот поток меняет свое направление на южное, переходя в следующий элемент системы течений Охотского моря — Восточно-Сахалинское течение.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы искренне благодарны рецензентам за ценные советы и замечания в ходе подготовки данной статьи.

The authors are sincerely grateful to anonymous reviewers for their valuable comments and advices to the manuscript.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания ТОИ ДВО РАН на 2024–2026 гг. «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений» (регистрационный номер 124022100079-4).

Финансовая поддержка осуществлена Санкт-Петербургским государственным университетом (грант № 116442164).

This study was carried out within the framework of a state assignment for the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, for 2024–2026 «Study of the Structure and Dynamics of the World Ocean Waters under the Conditions of Modern Climate Change», project no. 124022100079-4.

This study was carried out were implemented with the financial support of St. Petersburg State University (grant no. 116442164).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов. 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.

The study did not concern any research with using animals as a subject. Bibliographical references to all data from other authors used in the article are formatted in accordance with the rules of this edition.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Список литературы

Бакланов П.Я., Арзамасцев И.С., Качур А.Н. и др. Природопользование в прибрежной зоне (проблемы управления на Дальнем Востоке России) : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2003. — 229 с.

Баталин А.М., Васюкова Н.Г. Опыт расчета теплового баланса Охотского моря // Тр. Океанограф. комис. АН СССР. — 1960. — Т. 7. — С. 37–51.

Васильев А.С., Храпченков Ф.Ф. Сезонная изменчивость циркуляции вод и водообмена Охотского моря с Тихим океаном // Метеорол. и гидрол. — 1998. — № 6. — С. 59–67.

Винокурова Т.Т. Изменчивость температурных условий вод в северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1965. — Т. 59. — С. 14–26.

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

Гладышев С.В. Термохалинная структура придонного слоя на северном шельфе Охотского моря // Метеорол. и гидрол. — 1998. — № 3. — С. 183–187.

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

Дашко Н.А., Варламов С.М., Хан Е.Х., Ким Е.С. Центры действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона и летние особенности погоды на побережье Японского и Охотского морей // Метеорол. и гидрол. — 1997. — № 9. — С. 14–23.

Жигалов И.А., Лучин В.А. Межгодовая изменчивость горизонтальной циркуляции вод северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 161. — С. 212–228.

Кочергин В.П. Теория и методы расчета океанических течений : моногр. — М. : Наука, 1978. — 128 с.

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

Лучин В.А. Диагностический расчет циркуляции вод Охотского моря в летний период // Тр. ДВНИГМИ. — 1982. — Вып. 96. — С. 69–77.

Лучин В.А. Непериодические течения // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. — Т. 9 : Охотское море, вып. 1 : Гидрометеорологические условия. — СПб. : Гидрометеоздат, 1998. — С. 233–256.

Лучин В.А. Сезонная изменчивость температуры воды в деятельном слое дальневосточных морей // Дальневосточные моря России. Т. 1 : Океанологические исследования : моногр. — М. : Наука, 2007. — С. 232–252.

Лучин В.А. Циркуляция вод Охотского моря и особенности ее внутригодовой изменчивости по результатам диагностических расчетов // Тр. ДВНИГМИ. — 1987. — Вып. 36. — С. 3–13.

Лучин В.А., Жигалов И.А. Межгодовая изменчивость средних типовых термохалинных условий и течений в северной части Охотского моря весной (апрель-июнь) // Вестн. ДВО РАН. — 2011. — № 3(157). — С. 88–95.

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., 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.

Марчук Г.И., Кочергин В.П., Саркисян А.С. Математические модели циркуляции в океане : моногр. — Новосибирск : Наука, 1980. — 288 с.

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

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.

Самко Е.В., Глебова С.Ю., Петрук В.М. Межгодовая изменчивость циркуляции вод Охотского моря у западного побережья Камчатки в весенний период // Метеорол. и гидрол. — 2004. — № 12. — С. 63–70.

Самко Е.В., Новиков Ю.В. Среднемноголетняя геострофическая циркуляция вод Прикурльского района Тихого океана // Океанол. — 2004. — Т. 44, № 1. — С. 1–10.

Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений : учеб. пособ. — Л. : Гидрометеиздат, 1977. — 182 с.

Файман П.А. Сезонная изменчивость циркуляции вод Охотского моря, рассчитанная на основе стационарной модели океана // Вестн. ДВО РАН. — 2015. — № 6(184). — С. 21–28.

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.

Фигуркин А.Л. Изменчивость термохалинного состояния придонных вод северной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 166. — С. 255–274.

Фигуркин А.Л. Развитие океанологических условий западной Камчатки по данным мониторинговых наблюдений 1997 и 2000 гг. // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 103–116.

Фигуркин А.Л., Жигалов И.А., Ванин Н.С. Океанологические условия в Охотском море в начале 2000-х гг. // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 152. — С. 240–252.

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.

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

Шевченко Г.В., Романов А.А. Сезонная изменчивость циркуляции в верхнем слое Охотского моря по данным спутниковой альтиметрии // Метеорол. и гидрол. — 2006. — № 8. — С. 59–71.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России: в 3 томах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России: в 3 томах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — Т. 2. — 604 с.

Шунтов В.П. Состояние изученности многолетних циклических изменений численности рыб дальневосточных морей // Биол. моря. — 1986. — Т. 12, № 3. — С. 3–14.

Шунтов В.П., Темных О.С. Иллюзии и реалии экосистемного подхода к изучению и управлению морскими и океаническими биологическими ресурсами // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 173. — С. 3–29.

Budaeva V.D., Makarov V.G. A peculiar water regime of currents in the area of the Eastern Sakhalin shelf // PICES Sci. Rep. — 1999. — № 12. — P. 131–138.

Budaeva V.D., Makarov V.G. Modeling of the Typical Water circulation in the La Perouse Strait and Aniva Gulf Region // PICES Sci. Rep. — 1996. — № 6. — P. 17–20.

Fayman P.A. Diagnostic current calculation for the Sea of Okhotsk // PICES Sci. Rep. — 2004. — № 26. — P. 82–85.

Gladyshev S., Talley L., Kantakov G. et al. Distribution, formation, and seasonal variability of Okhotsk Sea Mode Water // J. Geophys. Res. Oceans. — 2003. — Vol. 108, № C6. 3186. DOI: 10.1029/2001jc000877.

Martin S., Drucker R., Yamashita K. The production of ice and dense shelf water in the Okhotsk Sea polynyas // J. Geophys. Res. Oceans. — 1998. — Vol. 103, № 12. — P. 27771–27782. DOI: 10.1029/98JC02242.

Mizuta G., Fukamachi Y., Ohshima K.I., Wakatsuchi M. Structure and Seasonal Variability of the East Sakhalin Current // J. of Physical Oceanography. — 2003. — Vol. 33, № 11. — P. 2430–2445. DOI: 10.1175/1520-0485(2003)033<2430:SASVOT>2.0.CO;2.

Rybalko S.I., Shevchenko G.V. Seasonal and spatial variability of sea currents on the Sakhalin northeastern shelf (by instrumental data) // Pacific Oceanography. — 2003. — Vol. 1, № 2. — P. 168–178.

Shcherbina A.Y., Talley L.D., Rudnick D.L. Direct observations of North Pacific ventilation: brine rejection in the Okhotsk Sea // Science. — 2003. — Vol. 302, № 5652. — P. 1952–1955. DOI: 10.1126/science.1088692.

References

Baklanov, P.Ya., Arzamastsev, I.S., Kachur, A.N., Romanov, M.T., Plink, N.L., Gogoberidze, G.G., Rostov, I.D., Preobrazhensky, B.V., Zharikov, V.V., Vakhnenko, R.V., Yurasov, G.I., Svarichevsky, A.S., Melnichenko, Yu.I., and Zhuk, A.P., Prirodopol'zovaniye v pribrezhnoy zone (problemy upravleniya na Dal'nem Vostoke Rossii) (Nature management in the coastal zone (management issues in the Russian Far East)), Vladivostok: Dal'nauka, 2003.

Batalin, A.M. and Vasyukova, N.G., Experience in calculating the heat balance of the Sea of Okhotsk, *Tr. Okeanogr. Kom. Akad. Nauk SSSR*, 1960, vol. 7, pp. 37–51.

Vasil'ev, A.S. and Khrapchenkov, F.F., Seasonal variability of water circulation and exchange between the Sea of Okhotsk and the Pacific, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1998, no. 6, pp. 44–49.

Vinokurova, T.T., Variability of temperature conditions of waters in the northern Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1965, vol. 59, pp. 14–26.

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.

Gladyshev, S.V., Thermohaline structure of bottom water on the northern Okhotsk Sea shelf, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1998, no. 3, pp. 39–46. EDN: LENOTN

Davydov, I.V., Water regimes in the Western Kamchatka shelf certain specific features in food-fish behaviour and reproduction, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 97, pp. 63–81.

Dashko, N.A., Varlamov, S.M., Khan, E.H., and Kim, E.S., Centers of action of the atmosphere of the Asia-Pacific region and summer weather features on the coast of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk, *Meteorol. Gidrol.*, 1997, no. 9, pp. 14–23.

Zhigalov, I.A. and Luchin, V.A., Year-to-year variability of horizontal circulation in the northern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 161, pp. 212–228.

Kochergin, V.P., *Teoriya i metody rascheta okeanicheskikh techeniy* (Theory and methods of calculating ocean currents), Moscow: Nauka, 1978.

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.

Luchin, V.A., Diagnostic calculation of water circulation in the Sea of Okhotsk in summer, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1982, no. 96, pp. 69–77.

Luchin, V.A., Nonperiodical currents, 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. 233–256.

Luchin, V.A., Seasonal variability of the active water layer temperature in the Russia Far East Seas, in *Far Eastern Seas of Russia*, vol. 1: Oceanological research, Moscow: Nauka, 2007, pp. 232–252.

Luchin, V.A., Water circulation in the Sea of Okhotsk and patterns of its intra-annual variations as inferred from the results of diagnostic calculations, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1987, no. 36, pp. 3–13.

Luchin, V.A. and Zhigalov, I.A., Interannual variability of average typical thermohaline conditions and sea currents of the northern part of the Sea of Okhotsk in spring (April–June), *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2011, no. 3, pp. 88–95.

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 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

Marchuk, G.I., Kochergin, V.P., and Sarkisyan, A.S., *Matematicheskiye modeli tsirkulyatsii v okeane* (Mathematical models of circulation in the ocean), Novosibirsk: Nauka, 1980.

Moroshkin, K.V., *Vodnye massy Okhotskogo morya* (Water Masses of the Sea of Okhotsk), Moscow: Nauka, 1966.

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.

Samko, E.V., Glebova, S.Yu., and Petruk, V.M., *Mezhdodovaya izmenchivost' tsirkulyatsii vod Okhotskogo morya u zapadnogo poberezh'ya* (Interannual variability in the circulation of the Sea of Okhotsk off the west coast of Kamchatka in the spring), *Meteorol. Gidrol.*, 2004, no. 12, pp. 63–70.

Samko, E.V. and Novikov, Yu.V., Long-term geostrophic circulation in the Kuril Region of the Pacific Ocean, *Oceanology*, 2004, vol. 44, no. 1, pp. 1–6.

Sarkisian, A.S., *Chislennyi analiz i prognoz morskikh techeniy* (Numerical analysis and forecast of sea currents), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977.

Fayman, P.A., Seasonal variability of water circulation in the Sea of Okhotsk calculated using a stationary ocean model, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk.*, 2015, no. 6(184), pp. 21–28.

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

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., 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.

Figurkin, A.L., Zhigalov, I.A., and Vanin, N.S., Oceanographic conditions in the Okhotsk Sea in the early 2000s, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 240–252.

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.

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

Shevchenko, G.V. and Romanov, A.A., Seasonal variability of circulation in the upper layer of the Sea of Okhotsk according to satellite altimetry, *Meteorol. Gidrol.*, 2006, no. 8, pp. 59–71.

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., The state of knowledge of long-term cyclic fluctuations of fish abundance in the far-eastern seas, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1986, vol. 12, no. 3, pp. 3–14.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Illusions and realities of ecosystem approach to study and management of marine and oceanic biological resources, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 173, pp. 3–29.

Budaeva, V.D. and Makarov, V.G., A peculiar water regime of currents in the area of the Eastern Sakhalin shelf, *PICES Sci. Rep.*, 1999, no. 12, pp. 131–138.

Budaeva, V.D. and Makarov, V.G., Modeling of the Typical Water circulation in the La Perouse Strait and Aniva Gulf Region, *PICES Sci. Rep.*, 1996, no. 6, pp. 17–20.

Fayman, P.A., Diagnostic current calculation for the Sea of Okhotsk, *PICES Sci. Rep.*, 2004, no. 26, pp. 82–85.

Gladyshev, S., Talley, L., Kantakov, G., Khen, G., and Wakatsuchi, M., Distribution, formation, and seasonal variability of Okhotsk Sea Mode Water, *J. Geophys. Res. Oceans.*, 2003, vol. 108, no. C6, 3186. doi 10.1029/2001jc000877

Martin, S., Drucker, R., and Yamashita, K., The production of ice and dense shelf water in the Okhotsk Sea polynyas, *J. Geophys. Res. Oceans.*, 1998, vol. 103, no. 12, pp. 27771–27782. doi 10.1029/98JC02242

Mizuta, G., Fukamachi, Y., Ohshima, K.I., and Wakatsuchi, M., Structure and Seasonal Variability of the East Sakhalin Current, *J. Phys. Oceanogr.*, 2003, vol. 33, no. 11, pp. 2430–2445. doi 10.1175/1520-0485(2003)033<2430:SASVOT>2.0.CO;2

Rybalko, S.I. and Shevchenko, G.V., Seasonal and spatial variability of sea currents on the Sakhalin northeastern shelf (by instrumental data), *Pacific Oceanography*, 2003, vol. 1, no. 2, pp. 168–178.

Shcherbina, A.Y., Talley, L.D., and Rudnick, D.L., Direct observations of North Pacific ventilation: brine rejection in the Okhotsk Sea, *Science*, 2003, vol. 302, no. 5652, pp. 1952–1955. doi 10.1126/science.1088692

The General Bathymetric Chart of the Oceans. <https://www.gebco.net/>. Cited December, 2025.

Поступила в редакцию 23.01.2025 г.

После доработки 6.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 6.03.2025;

accepted for publication 10.03.2025

Научная статья

УДК 574.55(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-91-110

EDN: YHNZXC



ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗАЛИВА АКАДЕМИИ (ОХОТСКОЕ МОРЕ)

П.Я. Тищенко, П.П. Тищенко, Л.Е. Васильева, О.А. Еловская, С.А. Зверев,
С.П. Кукла, А.Ф. Сергеев, Ю.В. Федорец*

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43

Аннотация. Представлены результаты измерений продукционных характеристик: содержания хлорофилла *a* в эвфотическом слое, первичной продукции, биомассы фито- и зоопланктона, эхограмм звукорассеивающих слоев на частоте 200 кГц для осеннего сезона (сентябрь) в зал. Академии в 2020 г. Установлено несоответствие между измеренной биомассой сетного зоопланктона и толщиной отраженного слоя на эхограммах. Основная причина различий состоит в том, что аномальная толщина эхограмм в южной и средней частях залива обусловлена не копеподами, а скоплением мелких рыб. Географическое распределение продукционных характеристик указывает на то, что северная часть залива более продуктивна. Этот факт обусловлен поступлением биогенных веществ в залив из Охотского моря в результате эстуарной циркуляции вод залива. Несовпадение районов частой встречаемости гренландских китов (южная часть зал. Академии) с областью высокой продукции объясняется гипотезой, в соответствии с которой источником питания китов в южной части залива, помимо зоопланктона, может быть молодь рыб.

Ключевые слова: хлорофилл *a*, первичная продукция, фитопланктон, зоопланктон, залив Академии, Охотское море, гренландский кит

Для цитирования: Тищенко П.Я., Тищенко П.П., Васильева Л.Е., Еловская О.А., Зверев С.А., Кукла С.П., Сергеев А.Ф., Федорец Ю.В. Характеристика продуктивности залива Академии (Охотское море) // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 91–110. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-91-110. EDN: YHNZXC.

* Тищенко Павел Яковлевич, доктор химических наук, главный научный сотрудник, travel@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-3500-2861; Тищенко Петр Павлович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, eq15@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-2182-5477; Васильева Лариса Евгеньевна, научный сотрудник, vasileva.le@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-1153-7482; Еловская Олеся Александровна, научный сотрудник, sharova@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-6267-7469; Зверев Сергей Александрович, научный сотрудник, zverev_84@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-0228-0678; Кукла Сергей Петрович, кандидат биологических наук, научный сотрудник, kukla.sp@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-2572-115X; Сергеев Александр Федорович, старший научный сотрудник, sergeev@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4247-0791; Федорец Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, zavertanova@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-2785-4033.

© Тищенко П.Я., Тищенко П.П., Васильева Л.Е., Еловская О.А., Зверев С.А., Кукла С.П., Сергеев А.Ф., Федорец Ю.В., 2025

Original article

Characteristics of productivity for the Academy Bay (Okhotsk Sea)

**Pavel Ya. Tishchenko^{1*}, Petr P. Tishchenko^{2*}, Larisa E. Vasilyeva^{3*},
Olesya A. Elovskaya^{4*}, Sergey A. Zverev^{5*}, Sergey P. Kukla^{6*},
Aleksander F. Sergeev^{7*}, Yuliya V. Fedorets^{8*}**

^{1*–8*} V.I. Il'yichev Pacific Oceanological Institute,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia

^{1*} D.Chem., principal researcher, tpavel@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-3500-2861

^{2*} Ph.D., senior researcher, eq15@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-2182-5477

^{3*} researcher, vasilyeva.le@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-1153-7482

^{4*} researcher, sharova@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-6267-7469

^{5*} researcher, zverev_84@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-0228-0678

^{6*} Ph.D., researcher, kukla.sp@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0002-2572-115X

^{7*} senior researcher, sergeev@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-4247-0791

^{8*} Ph.D., senior researcher, zavertanova@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0003-2785-4033

Abstract. The data on parameters of biological productivity measured in the Academy Bay in September 2020, as chlorophyll *a* concentration in the euphotic layer, primary production, phytoplankton and zooplankton biomass, and results of echo sounding at 200 kHz are presented. The primary production estimated by Zvalinsky model varied from 300 to 6050 mgC per m² per day. Diatoms with the biomass of 660–1220 mg/m³ dominated in phytoplankton, whereas Copepoda with the biomass ranged from 18 to 478 mg/m³ was the dominant zooplankton group. A discrepancy is noted between the measured net zooplankton biomass and thickness of the sound diffusion layer. The more productive area with the highest biomass of zooplankton was found in the northern Academy Bay enriched by nutrients transferred there from the Okhotsk Sea due to patterns of the estuarine circulation, but the thickest sound-diffusing layer was observed in the southern and central parts of the bay where it was presumably formed by shoals of juvenile fish rather than copepod aggregations. The feeding grounds of bowhead whales were located in the southern Academy Bay, too. This spatial misalignment of the feeding grounds with the highly productive area is explained by the hypothesis that juvenile fish may be important prey for whales, in addition to zooplankton.

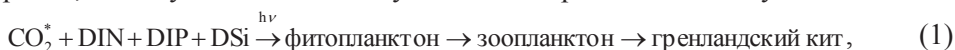
Keywords: chlorophyll *a*, primary production, phytoplankton, zooplankton, Academy Bay, Okhotsk Sea, bowhead whale

For citation: Tishchenko P.Ya., Tishchenko P.P., Vasilyeva L.E., Elovskaya O.A., Zverev S.A., Kukla S.P., Sergeev A.F., Fedorets Yu.V. Characteristics of productivity for the Academy Bay (Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 91–110. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-91-110. EDN: YHNZXC.

Введение

Важным направлением изучения гренландских китов *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758 является установление путей их миграции и мест нагула, что позволяет определить численность популяции. Вслед за О.В. Линдгольмом [2008 (1886)], мы полагаем, что места скопления китов и пути их миграции тесно связаны с питанием этих животных. Согласно историческим исследованиям [Линдгольм, 1888] охотская популяция гренландских китов в 19-м веке достигала несколько тысяч голов. После массового их истребления во второй половине 19-го века американскими китобойными компаниями и советскими китобоями во второй половине 20-го века их численность уменьшилась до 200–400 голов [Шпак, Парамонов, 2015]. Для сохранения и увеличения популяции животных необходимы знания об общей обеспеченности пищей и о способах ее агрегации, что является условием уменьшения энергозатрат при их кормлении. Наиболее крупные стада китов были отмечены в кутовой части Ульбанского залива, расположенного в южной части зал. Академии, в августе-сентябре [Rogachev et al., 2008; Шпак, Парамонов, 2015, 2018; Мельников, Федорец, 2016]. Поэтому основное

внимание в этой работе нами сфокусировано на продукционных характеристиках зал. Академии в осенний сезон (сентябрь 2020 г.). В соответствии с общепринятой точкой зрения основной пищей китов является зоопланктон (например, Lowry et al. [2004]). Таким образом, пищевую цепь в этом случае можно представить следующей схемой:



где $\text{CO}_2^* = \text{CO}_{2\text{sw}} + \text{H}_2\text{CO}_3$ — сумма концентраций углекислого газа и угольной кислоты в воде; DIN — растворенный неорганический азот ($\text{DIN} = [\text{NH}_4^+] + [\text{NO}_2^-] + [\text{NO}_3^-]$ — dissolved inorganic nitrogen); DIP — растворенный неорганический фосфор (DIP — dissolved inorganic phosphorus); DSi — растворенный кремний (DSi — dissolved silica). Распределение биогенных веществ в зал. Академии было представлено в ранее опубликованных статьях [Тищенко и др., 2022, 2024; Zhang et al., 2023]. Кроме того, в этих работах было установлено, что дополнительным источником поступления биогенных веществ в залив являются лососи, гибнущие после нереста, и придонные воды Охотского моря.

В данной статье в качестве продукционных характеристик зал. Академии нами рассматриваются распределения содержания хлорофилла *a* в эвфотическом слое, первичной продукции, биомассы фито- и зоопланктона. Полученные данные обсуждаются с точки зрения обеспечения кормовой базы китов в данном заливе.

Материалы и методы

Акватория Шантарского архипелага расположена в северо-западной части Охотского моря и включает в себя три крупных залива, простирающихся с юго-запада на северо-восток. Это заливы Академии, Тугурский и Удская губа (рис. 1).

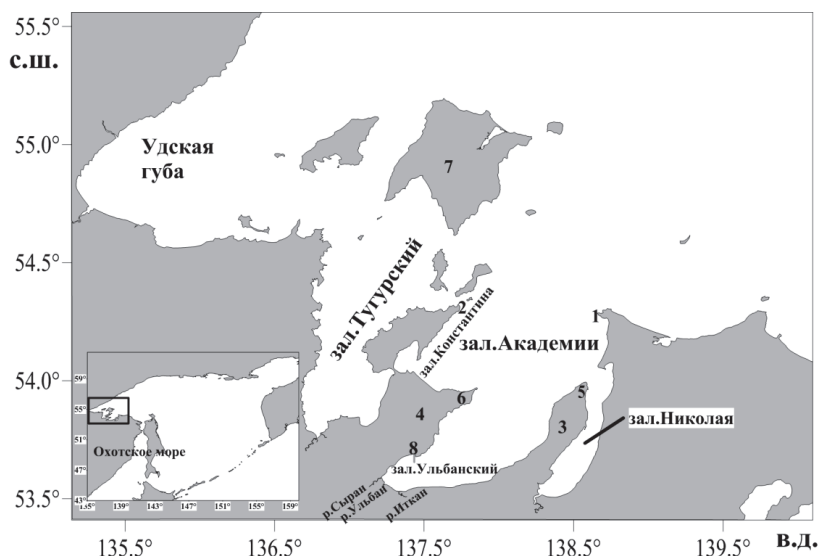


Рис. 1. Географическое положение зал. Академии в акватории Шантарского архипелага: 1 — мыс Врангеля; 2 — мыс Сенеки; 3 — п-ов Тохареу; 4 — п-ов Тугурский; 5 — мыс Тукур-гу; 6 — мыс Укурунру; 7 — о. Большой Шантар; 8 — коса Бетти. На врезке — расположение района исследований в Охотском море

Fig. 1. Academy Bay in the Shantar Archipelago area: 1 — Cape Wrangel; 2 — Cape Seneka; 3 — Tokhareu Peninsula; 4 — Tugur Peninsula; 5 — Cape Tukurgu; 6 — Cape Ukurunru; 7 — Bolshoy Shantar Island Fig. 1. Scheme of the Academy Bay area: 1 — Cape Wrangel; 2 — Cape Seneka; 3 — Tokhareu Peninsula; 4 — Tugur Peninsula; 5 — Cape Tukurgu; 6 — Cape Ukurunru; 7 — Bolshoy Shantar Island; 8 — Betti Spit

Залив Академии глубоко вдается в материк между мысом Врангеля (54°17' с.ш. 138°40' в.д.) на востоке и мысом Сенека на западе (54°19' с.ш. 137°44' в.д.). На восточном побережье в зал. Академии вдается зал. Николая. Южная и западная части зал. Академии

называются соответственно заливами Ульбанский и Константина*. Глубины на входе в зал. Академии не превышают 52 м, в средней части залива глубины 30–35 м, а по мере приближения к берегам они постепенно уменьшаются. Грунт в зал. Академии представляет собой илистый песок с галькой и ракушкой. Ульбанский залив, расположенный в южной части зал. Академии, ограничен с востока п-овом Тохареу, а с запада п-овом Тугурским. Восточным входным мысом залива является мыс Тукургу, а западным — мыс Укурунру. Глубины у входа в залив 30–35 м, в средней части залива 25 м, а у входа в его куттовую часть 12–14 м. В куттовую часть залива впадают несколько рек, наиболее крупные из них Сыран и Ульбан. Протяженности рек составляют соответственно 77 и 81 км. Более 20 км их нижнего течения находится под мощным влиянием неправильного полусуточного прилива, который в куттовой части залива обычно составляет 3–6 м. Кета и горбуша — основные виды лососевых рыб, которые заходят на нерест в эти реки, как правило, со второй декады июля по первую декаду августа [Золотухин, 2005; Иванков и др., 2010; Кульбачный, 2010; Канзепарова, 2018].

Экспедиционные работы в зал. Академии проводили на НИС «Академик Опарин» в сентябре 2020 г. (рис. 2).

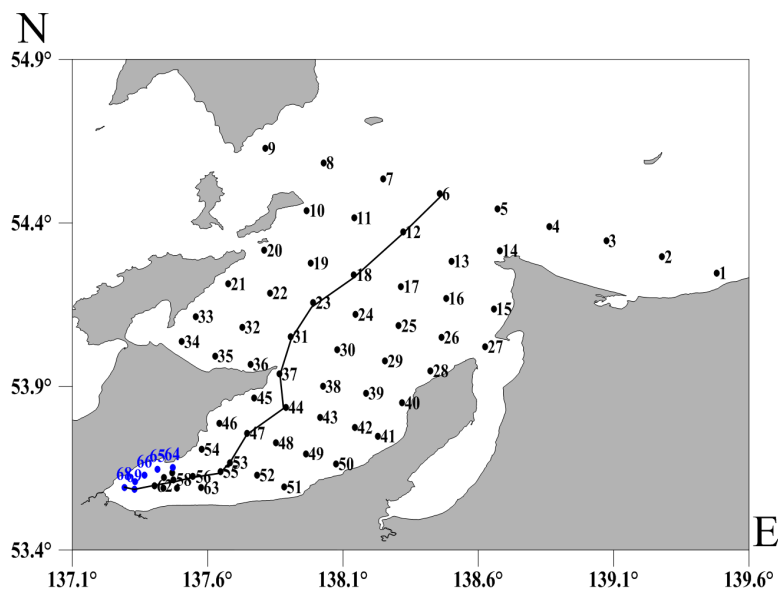


Рис. 2. Географическое положение станций и их нумерация. Синим цветом отмечены лодочные станции. НИС «Академик Опарин», сентябрь 2020 г.

Fig. 2. Location of stations and their numbers (RV Akademik Oparin, September, 2020). The stations made from boat are marked in blue. The transects lines are shown

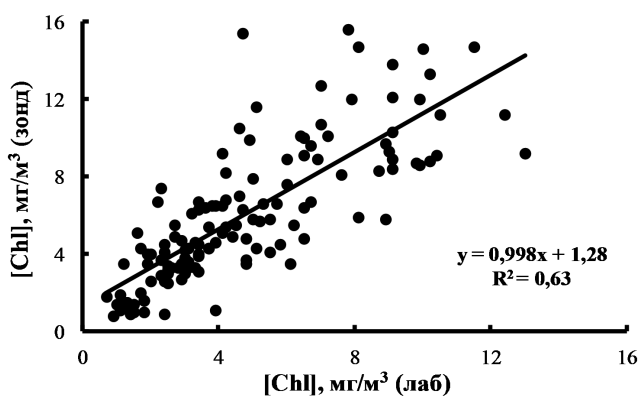
В куттовой части залива 6 станций были выполнены на надувной лодке. Зондирование водной толщи осуществляли профилографом SBE 19plus V2, оснащенный датчиками температуры, давления, электропроводности, растворенного кислорода, флюоресценции хлорофилла *a*, мутности, фотосинтетически активной радиации (ФАР) в комплекте с батометрической системой SBE-55 с 6 батометрами объемом 4 л каждый. Подробное описание отбора проб на гидрохимические анализы дано в работе П.Я. Тищенко с соавторами [2022].

Определение концентраций хлорофилла *a* и феофитина в поверхностных и придонных горизонтах выполняли спектрофотометрическим методом [Jeffrey and Humphrey, 1975]. Детали метода приведены в работе П.П. Тищенко с соавторами [2019]. Сравнение результатов спектрофотометрического измерения хлорофилла *a* с результатами измерений СТД-зондом на основе флюоресценции показало хорошую корреляционную зависимость (рис. 3).

* Ловля Охотского моря. Вып. 2. Северная часть моря. М.: УНГС ВМФ, 1960. 200 с.

Рис. 3. Сравнительная зависимость концентраций хлорофилла a $[Chl]$, полученных на основе флуоресценции при зондированиях с лабораторными спектрофотометрическими измерениями поверхностных и придонных горизонтов на всех станциях. Линия соответствует корреляционной зависимости $[Chl]_{\text{зонд}} = 0,998[Chl]_{\text{лаб}} + 1,28$

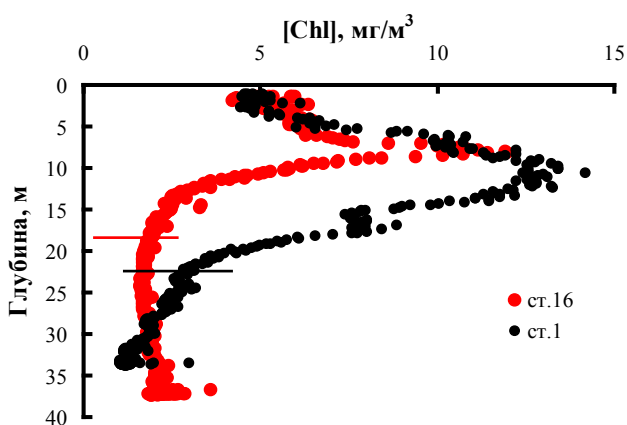
Fig. 3. Comparison of the chlorophyll a concentrations at the sea surface and sea bottom measured by the methods of *in situ* fluorescence ($[Chl]_{\text{prode}}$) and laboratory spectrophotometry ($[Chl]_{\text{lab}}$). The regression line $[Chl]_{\text{prode}} = 0.998[Chl]_{\text{lab}} + 1.28$ is shown derived by the least square method



Данные зондирования использовали для оценки содержания хлорофилла a в эвфотическом слое. В дневной период выполнения станций глубину эвфотического слоя оценивали по величине 1 % от значения ФАР на поверхности воды [Ryther, 1956] либо по глубине видимости диска Секки, которая определялась на 6 лодочных станциях в кутовой части Ульбанского залива. В последнем случае глубина эвфотического слоя равна утроенной глубине видимости диска Секки [Pilgrim, 1987]. Треть станций была выполнена в темное время суток. В этом случае толщину эвфотического слоя определяли из его зависимости от глубины максимума хлорофилла a . Пример приведен на рис. 4.

Рис. 4. Вертикальные профили концентраций хлорофилла a , полученные для станции № 1 в ночное время (черный цвет) и станции № 16 в дневное время (красный цвет). Горизонтальные линии соответствуют глубинам эвфотического слоя, красная получена из измерений ФАР (1 % от поверхностного значения)

Fig. 4. Vertical profiles of chlorophyll a concentration for Station 1 at night (black) and Station 16 at daytime (red). Horizontal lines show the depth of euphotic layer, the red line indicates the level of 1 % PAR relative to the sea surface value



Суммирование концентраций хлорофилла a $[Chl]$, полученных зондом, в пределах эвфотического слоя давало значение интегральной характеристики его содержания в столбе воды ($\text{мг}/\text{м}^2$) [Тищенко и др., 2019]:

$$Chl_{eu} = \sum_i [Chl]_i \cdot Z_i, \quad (2)$$

где Chl_{eu} — содержание хлорофилла a в эвфотическом слое, $\text{мг}/\text{м}^2$; Z_i — толщина шага i , м. Определение интегральной первичной продукции выполняли с помощью установленного нами в 2016 г. ассимиляционного числа для зал. Академии ($4,45 \text{ мг С}/(\text{мг Хл} \cdot \text{ч})$) [Тищенко и др., 2023] и световой модели, предложенной В.И. Звалинским [2008]. Модель базируется на информации о содержании хлорофилла a в эвфотическом слое вод акватории, которое было получено из результатов зондирования и экспоненциальной зависимости уменьшения проникновения ФАР с глубиной. Детали расчета опубликованы ранее [Тищенко и др., 2019].

Поверхностные и придонные пробы морской воды объемом по 1 л для анализа фитопланктона отбирали в пластиковые бутылки из батометра Нискина и фиксировали раствором Утермеля из расчета 2 мл на 1 л пробы. Фиксированную пробу хранили в темном прохладном месте до анализа. Всего было собранно и обработано 138 проб на 69 станциях. Численность клеток подсчитывали в счетных камерах объемом 0,05 и 1,0 мл [Федоров, 1979]. Биомассу водорослей оценивали объемным методом, используя оригинальные и литературные [Коновалова, 1972; Федоров, 1979] данные измерений объема клеток для каждого вида. Под плотностью понимали численность клеток микроводорослей в 1 л воды. Доминирующими считали виды, плотность которых составляла не менее 20 % от общей плотности остальных видов в сообществе [Коновалова, 1984]. К субдоминирующим относили виды, плотность которых составляла не менее 10 % от общей плотности остальных видов в сообществе.

Пробы зоопланктона отбирали на каждой станции вертикальным ловом от дна до поверхности с помощью планктонной сети Джеди из капронового сита № 14 и диаметром входного отверстия 37 см. Коэффициент уловистости к сети не применялся. Собранные пробы переливали в маркированные пластиковые емкости и фиксировали 4 %-ным раствором формалина, хранили в темном прохладном месте до начала анализа в лаборатории. Количественный подсчет особей проводили в соответствии со стандартными гидробиологическими методиками. Пробу промывали в пресной воде, а затем помещали в чашку Петри, из которой отбирали крупный планктон (более 10 мм), сагитты учитывали полностью. В зависимости от плотности планктона пробу разбавляли водой до 100–150 см³. После тщательного перемешивания пробы с помощью штемпель-пипетки отбирали порцию в 1 см³, которая переносилась в камеру Богорова. Здесь производили подсчет по размерам и видовому составу зоопланктона. Для каждой пробы обрабатывали от 1 до 10 см³ [Инструкция..., 1982]. Подсчет производили под стереомикроскопом, оснащенным камерой AxioCam Icc 3 модель Stemi 2000-C. Организмы, встреченные в небольшом количестве, подсчитывали во всей пробе. Биомассу находили при помощи таблиц стандартных весов и номограмм Л.Л. Численко [Численко, 1968; Микулич, Родионов, 1975] или по формуле

$$W = qL^b, \quad (3)$$

где W — масса животного; L — линейный размер, мм; q — константа, равная массе тела при длине 1 мм. Все данные в дальнейшем пересчитаны на экземпляры на кубический метр, а сумма массы всех организмов на кубический метр — биомасса.

По ходу движения корабля производился эхолотный промер на частоте 200 кГц с задачей установления структуры планктонных полей и придонных аномалий. Измерения осуществляли с помощью эхолота Echotrac E20.

Результаты и их обсуждение

Муссонный климат Шантарского архипелага [Петров и др., 2000] обуславливает в летний сезон обильные атмосферные осадки, что в сочетании с таянием снега приводит к летнему паводку рек, впадающих в заливы [Семкин и др., 2021, 2022]. В зал. Академии впадают реки Сыран, Ульбан, Иткан с общим стоком около 0,8 км³/год [Семкин и др., 2022], играя важную роль в формировании продукции в заливе.

Во-первых, сток рек вызывает эстуарную циркуляцию в заливе, важнейшая особенность которой состоит в том, что речные воды формируют доминирующее поверхностное течение от берега к морю и компенсационное придонное течение от моря к берегу [Михайлов, 1997]. Поступление придонных вод Охотского моря обогащает северную часть залива биогенными веществами [Тищенко и др., 2022, 2024].

Во-вторых, во всех реках, впадающих в зал. Академии, нерестится лосось [Канзепарова, 2018]. Основными видами являются кета и горбуша [Золотухин, 2005; Кульбачный, 2010; Канзепарова, 2018]. Приходящий в июле-августе на нерест лосось в

результате гибели обогащает устьевую акваторию биогенными веществами [Тищенко и др., 2022, 2024; Zhang et al., 2023].

Гидрологические характеристики поверхностных и придонных вод зал. Академии, полученные 15–19 сентября 2020 г., представлены на рис. 5. Из данных зондирования следует, что для сентября 2020 г. были характерны высокие температуры, как правило, в диапазоне 8–13 °С и солёности от 27 епс (единица практической солёности) в кутовой части залива до 32 епс в северной части залива. Сравнительно высокая температура (около 13 °С) поверхностных вод зал. Академии была характерна только для южной части, находящейся под влиянием речного стока, что подтверждается низкой солёностью вод.

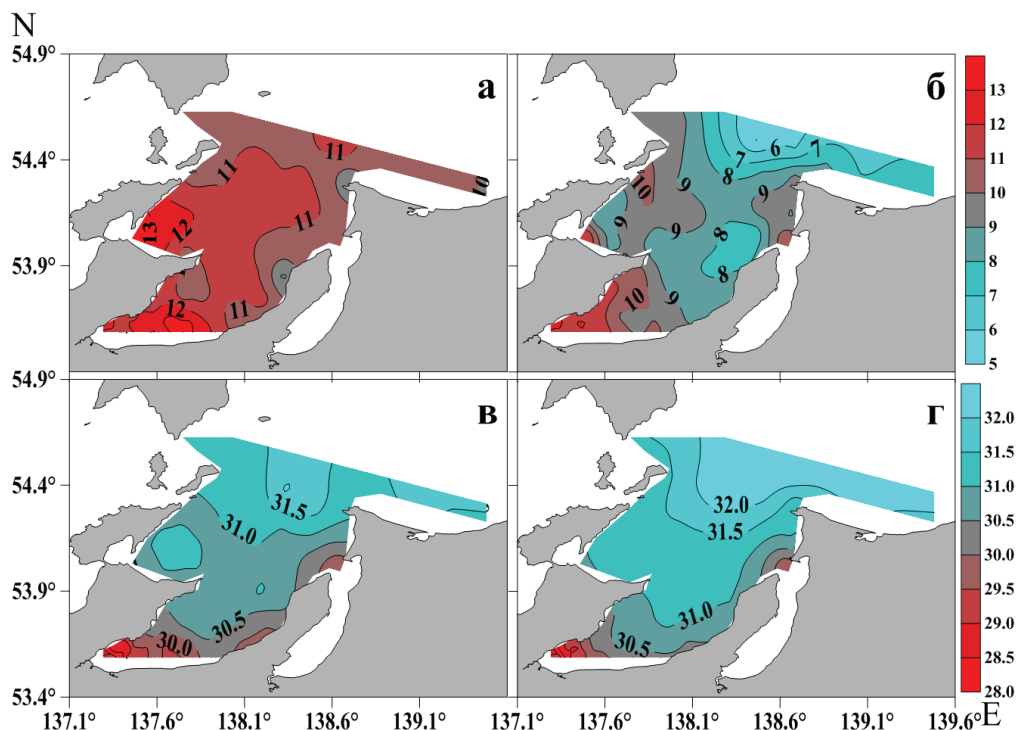


Рис. 5. Распределение температуры (а, б) и солёности (в, г) в поверхностных (а, в) и придонных (б, г) горизонтах зал. Академии. Сентябрь 2020 г.

Fig. 5. Water temperature (а, б) and salinity (в, г) at the sea surface (а, в) and at the bottom (б, г) in Academy Bay in September, 2020

Сравнение результатов спектрофотометрического измерения хлорофилла *a* с результатами измерений зонда на основе флуоресценции показало хорошую корреляционную зависимость (см. рис. 3). Угол наклона между двумя подходами измерений хлорофилла *a* фактически равен единице. Лабораторные измерения систематически выше результатов зондирования на величину в 1,3 мг/м³. Разброс данных относительно прямой линии достаточно высокий, с коэффициентом квадрата корреляции 0,63. По этой причине какие-либо поправки в результаты зондирования не были внесены.

Профили концентраций хлорофилла *a*, полученные на станциях при зондировании, использовали для определения содержания хлорофилла *a* в толщине эвфотического слоя (рис. 6, а) по формуле (2). На основе содержания хлорофилла *a* в эвфотическом слое и измеренном ранее ассимиляционном числе для зал. Академии [Тищенко и др., 2023] по световой модели В.И. Звалинского была рассчитана первичная продукция (ПП), которая изменялась в пределах от 300 до 6050 мгС/(м²сут), что сравнимо с летним сезоном 2016 г. (от 1069 до 4268 мгС/(м²сут) [Тищенко и др., 2023]. Результаты расчетов ПП представлены на рис. 6 (б). Форма распределения интегральной ПП соответствует

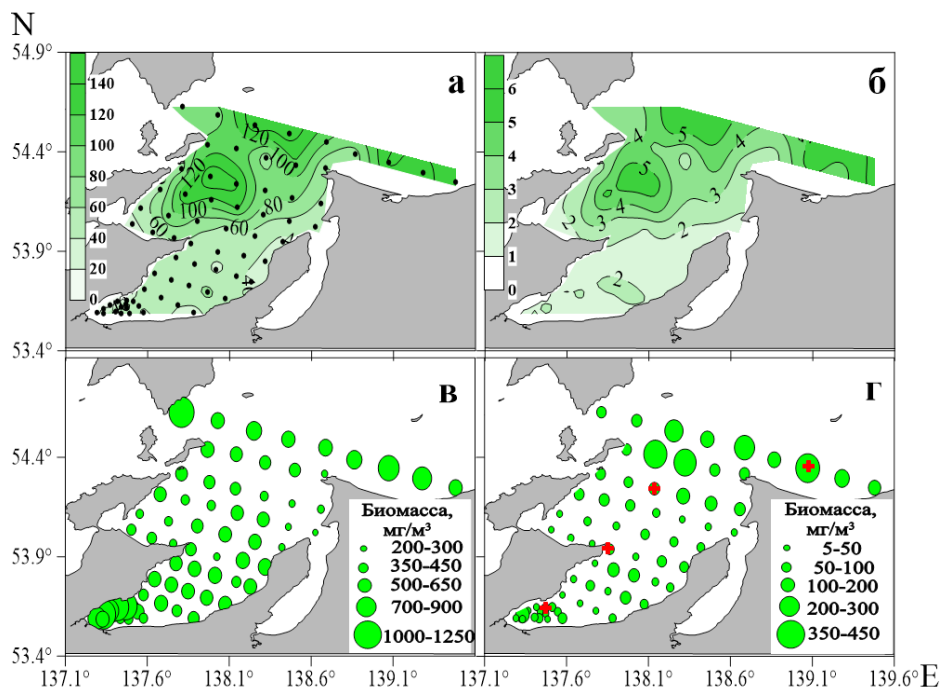


Рис. 6. Распределение содержания: а — хлорофилла *a* в эвфотическом слое, мг/м^2 ; б — первичной продукции, $\text{гС}/(\text{м}^2\text{сут})$; в — биомассы фитопланктона, мг/м^3 ; г — биомассы зоопланктона, мг/м^3 . Зал. Академии, сентябрь 2020 г., 59-й рейс НИС «Академик Опарин». Красным крестиком указаны местоположения эхограмм, станции 3, 18, 37, 58

Fig. 6. Spatial distribution of chlorophyll *a* in the euphotic layer, mg/m^2 (а), primary production, $\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ (б), phytoplankton biomass, mg/m^3 (в), and zooplankton biomass, mg/m^3 (г) in the Academy Bay in September, 2020 (59th cruise of RV Akademik Oparin). Red crosses show the sites of echosounding

форме распределения содержания хлорофилла *a* в эвфотическом слое, что очевидно, так как основной переменной характеристикой в расчете ПП является интегральное содержание хлорофилла *a*. Таким образом, северная часть зал. Академии характеризовалась наиболее высокой продукционной активностью.

Видовой состав фитопланктона зал. Академии был сформирован тремя отделами микроводорослей: динофитовые (Dinophyta), диатомовые (Bacillariophyta) и криптофитовые (Cryptophyta). Всего было обнаружено 33 вида и внутривидовых таксона микроводорослей. По числу видов ведущее положение занимал отдел диатомовых (25 видов и внутривидовых таксонов, 75,75 % от общего числа). Динофитовых микроводорослей было встречено 6 видов, или 18,18 % от общего числа, а криптофитовые были представлены всего двумя видами, или 6,07 %. Основу флоры микроводорослей формировали неритические (17 видов, или 77,27 % от общего числа) и панталассные виды (4, или 18,18 %), а океанические были представлены всего одним видом (4,54 %). Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что в период наблюдений преобладали широко распространенные виды-космополиты, что совпадает с данными биогеографического анализа, полученными ранее для ряда районов северо-западной части Японского и Охотского морей [Коновалова, Орлова, 1988; Коновалова и др., 1989; Долганова, 2001; Орлова и др., 2004].

Результатами анализа проб фитопланктона установлено, что в период наблюдений в поверхностном слое численность микроводорослей изменялась от 494150 до 928400 кл./л, а биомасса — от 691 до 1262 мг/м^3 . Для придонного горизонта были получены близкие значения: численность клеток находилась в пределах от 443700 до 886655 кл./л, а биомасса — от 628 до 1185 мг/м^3 . В период наблюдений диатомовые водоросли являлись

доминирующей группой фитопланктона в районе исследования. Их плотность составляла 98 % от общей плотности фитопланктона и такую же долю биомасса диатомовых составляла от общей биомассы микроводорослей. Распределение средней биомассы фитопланктона для поверхностного и придонного горизонтов в зал. Академии в сентябре 2020 г. представлено на рис. 6 (в). Высокие значения биомассы фитопланктона были характерны для кутовой части зал. Ульбанского, а максимальные значения наблюдались в зал. Академии на северном разрезе в его западной и восточной частях.

В исследованиях зоопланктона в водах зал. Академии были обнаружены представители 11 таксономических групп. Большая часть видов относится к постоянному планктону (голопланктон): Copepoda, Chaetognatha, Cladocera, Tunicata, а остальные — к личиночному планктону (меропланктон): Mollusca (Gastropoda и Bivalvia), Polychaeta, Decapoda и Cirripedia. В пробах были отмечены Pteropoda. Все представленные группы и виды планктеров характерны для данного района [Мельников, Федорец, 2016]. По количеству видов преобладали копеподы, что согласуется с работой А.Ф. Волкова [2008].

Общая биомасса зоопланктона на исследуемых станциях находилась в пределах от 18 до 478 мг/м³. Численность варьировала от 136 до 5886 экз./м³. Максимум численности и биомассы был зарегистрирован на станции № 3 (северная часть залива), а минимум — на станции № 60 (южная часть залива). Основу численности и биомассы зоопланктона составляли Copepoda. Численность копепод варьировала от 115 до 5141 экз./м³ (в среднем 87 %), а биомасса изменялась в пределах от 14 до 446 мг/м³ (в среднем 93 %). В сообществе копепод доминировали два широко распространенных вида: *Pseudocalanus newmani* (от 30 до 1877 экз./м³) и *Oithona similis* (от 36 до 2678 экз./м³). В пробах были отмечены nauplii сор. от 9 до 211 экз./м³. Плотность других видов копепод не превышала 1–20 экз./м³. Популяция Copepoda зал. Академии в осенний период состоит из неритических видов поверхностных слоев воды.

Распределение биомассы зоопланктона в зал. Академии представлено на рис. 6 (г). Максимальная биомасса зоопланктона в целом для зал. Академии осенью 2020 г. наблюдается в его северной части, в некоторых случаях превышая 440 мг/м³ при доминировании копепод [Волков, 2008].

Для южной части залива в кутовой области была установлена высокая биомасса фитопланктона, что согласуется с распределением хлорофилла *a* (рис. 7), но при этом наблюдались сравнительно низкие ПП и биомасса зоопланктона в единице объема. Отметим, что распределение хлорофилла *a* в поверхностном и придонном слоях не в полной мере отражает действительное распределение концентраций хлорофилла *a* в заливе, так как в северной и центральной частях залива есть горизонты в области

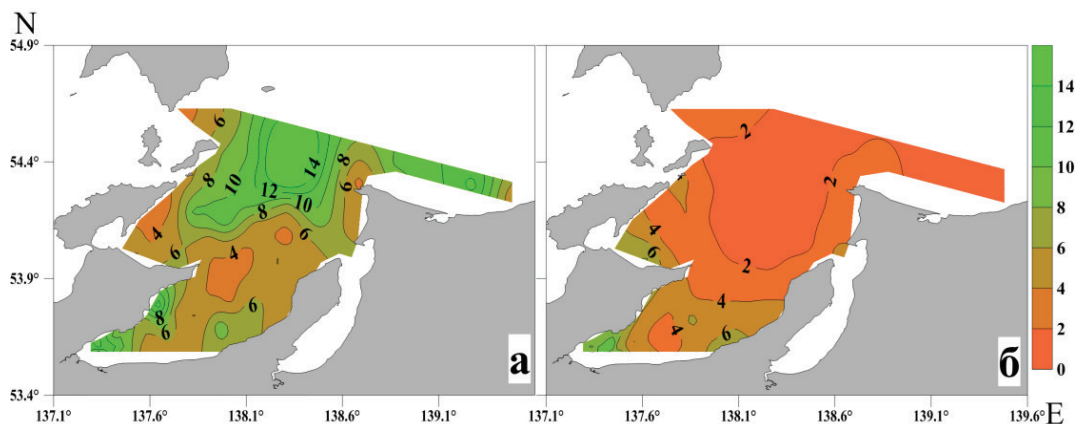


Рис. 7. Распределение концентрации хлорофилла *a* (мг/м³), в поверхностном (а) и придонном (б) слоях зал. Академии; сентябрь 2020 г., 59-й рейс НИС «Академик Опарин»

Fig. 7. Spatial distribution of chlorophyll *a* (mg/m³) at the sea surface (a) and at the bottom (b) in the Academy Bay in September, 2020 (59th cruise of RV Akademik Oparin)

глубин 10–15 м с экстремально высокими концентрациями хлорофилла, превышающими $10,0 \text{ мг/м}^3$ (см. рис. 4), а для станции 24 концентрация в области максимума была $23,4 \text{ мг/м}^3$, что нами рассматривается как «цветение» фитопланктона. В вершине залива вследствие сильного приливного перемешивания вертикальные характеристики становятся однородными. Именно вертикальная неоднородность концентраций хлорофилла *a* в заливе приводит к тому, что распределение содержания хлорофилла *a* (мг/м^3) в фотическом слое и ПП (см. рис. 6) отличается от распределения концентрации хлорофилла *a* (мг/м^3) в поверхностном слое (см. рис. 7).

Поскольку профили концентраций хлорофилла *a* для большей части зал. Академии проявляют максимумы (см. рис. 4), для получения более адекватного представления о продукционных характеристиках в разных районах залива было проведено сравнение максимальных концентраций хлорофилла *a* в фотическом слое на разрезе станций (см. рис. 2), представленное на рис. 8.

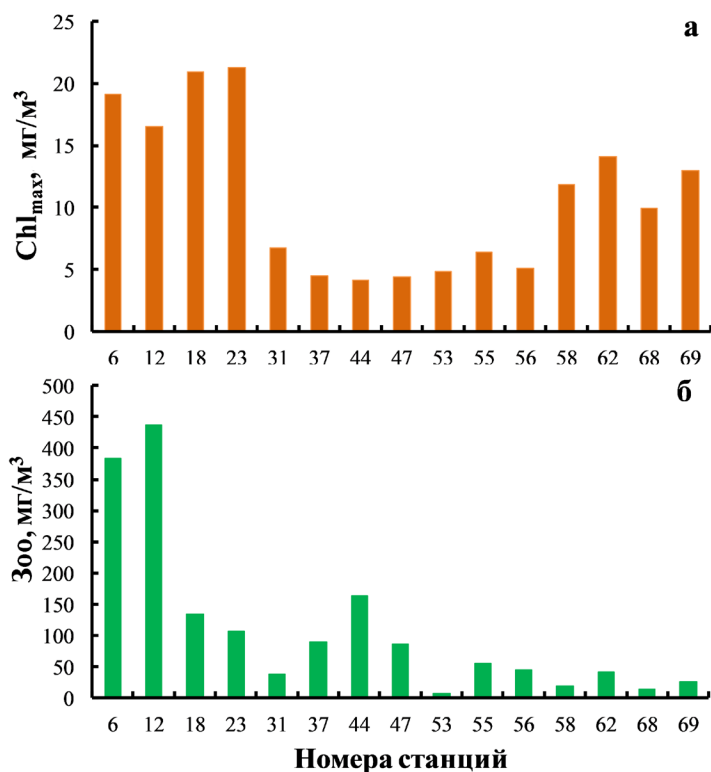


Рис. 8. Максимальные значения концентраций (мг/м^3) хлорофилла *a* в фотическом слое (а) и биомассы зоопланктона (мг/м^3) (б) на разрезе через станции 6, 12, 18, 23, 31, 37, 44, 47, 53, 55, 56, 58, 62, 68, 69, линия разреза показана на рис. 2. Зал. Академии, 15–19 сентября 2020 г.

Fig. 8. Maximum values of chlorophyll *a* concentration on profiles within the euphotic layer, mg/m^3 (а) and zooplankton biomass, mg/m^3 (б) on the transect through stations 6, 12, 18, 23, 31, 37, 44, 47, 53, 55, 56, 58, 62, 68, 69 in the Academy Bay on September 15–19, 2020. The transect line location is shown at Fig. 2

Из данных рис. 8 (а) следует, что северная часть залива является наиболее продуктивной. Глубины положения максимума хлорофилла *a* изменялись в широком диапазоне от 1,1 м (станции 56, 68) до 16,5 м (станция 44) при средней величине 8,0 м. Биомасса зоопланктона, выраженная в концентрационных единицах (мг/м^3), на разрезе, приведенном на рис. 8 (б), также указывает, что северная часть залива является более продуктивной.

Высокое содержание хлорофилла *a* в эвфотическом слое и высокая ПП в северной части акватории зал. Академии (см. рис. 6, а, б) были обусловлены эстуарной цирку-

лящей вод залива, которая в сочетании с приливным перемешиванием обогащала северную часть залива биогенными веществами [Тищенко и др., 2022, 2024]. Следует также отметить, что высокая ПП в северной части залива также была установлена и для июля 2016 г. [Тищенко и др., 2023].

Характерная особенность в распределении биомассы фитопланктона в зал. Академии состояла в высоком ее содержании в кутовой и северной частях залива. Следует отметить, что есть определенные трудности в простом объяснении достаточно высоких концентраций как хлорофилла *a* (см. рис. 7, 8, а), так и биомассы фитопланктона (см. рис. 6, в) для вершины залива. Эти трудности обусловлены тем, что высокая мутность вод в вершине залива должна ограничивать фотосинтез (рис. 9). Толщина видимости диска Секки в области высокой мутности была 0,4–0,5 м. Поэтому, несмотря на высокие концентрации хлорофилла, рассчитываемая нами ПП была низкой. Для вершины залива возникло несоответствие между низкой ПП, низкой биомассой зоопланктона, с одной стороны, и достаточно высокой биомассой фитопланктона, а также концентрацией хлорофилла — с другой стороны.

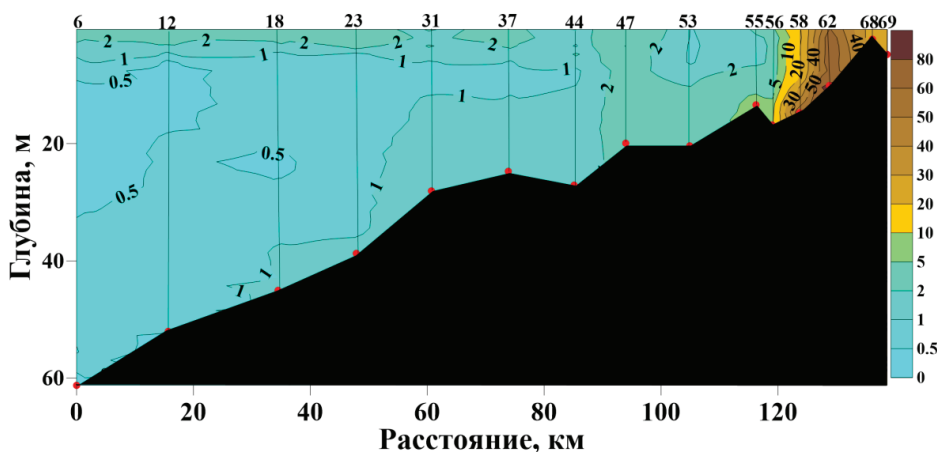


Рис. 9. Распределение мутности (FTU — Formazin Turbidity Unit) на разрезе через станции 6, 12, 18, 23, 31, 37, 44, 47, 53, 55, 56, 58, 62, 68, 69, линия разреза показана на рис. 2. Зал. Академии, 15–19 сентября 2020 г.

Fig. 9. Turbidity (FTU, in formazin turbidity units) on the transect through stations 6, 12, 18, 23, 31, 37, 44, 47, 53, 55, 56, 58, 62, 68, 69 in the Academy Bay on September 15–19, 2020. The transect line location is shown at Fig. 2

Мы предполагаем две причины, объясняющие расхождения в наблюдаемых продукционных характеристиках. Одна из них связана с возможными ошибками в оценках биомассы зоопланктона и ПП, другая — с тем, что фитопланктон имеет аллохтонное происхождение.

В кутовой части глубины были небольшими, менее 10 м. Отбор проб производился с лодки в дневное время. Известно, что в дневное время уловистость сетного зоопланктона в эпипелагиали Охотского моря, как правило, ниже по сравнению с ночным временем суток [Шунтов, Волвенко, 2017]. По-видимому, этот факт связан с вертикальной миграцией организмов в придонный слой в дневное время. Малые глубины и вертикальный лов зоопланктона будут приводить к заниженным результатам биомассы зоопланктона, так как организмы в это время концентрируются у дна, а между сеткой и дном существует «мертвое» пространство. При работах с лодки глубину фотического слоя устанавливали по диску Секки [Pilgrim, 1987]. Такой подход может быть в данном случае не совсем корректен. Полусуточные приливные волны в этой части залива очень высокие (до 6 м), и клетки фитопланктона могут периодически входить в область проникновения ФАР с глубин, где проникновение ФАР менее 1 %. Поэтому световая модель В.И. Звалинского [2008] в сочетании с установлением

глубины фотического слоя по диску Секки в этой части залива может приводить к заниженным результатам.

Другая причина обусловлена возможным процессом «цветения» фитопланктона во время отливов на осушках, не в море. Во время приливов эта часть суши покрыта мутной водой, ограничивающей фотосинтез. В результате отлива большая прибрежная площадь подвергается мощной инсоляции, что вызывает интенсивное «цветение» фитопланктона на осушке. С наступлением прилива образовавшийся фитопланктон поступает в море. Периодически затопляемые приливами области называются «солевыми маршами». Эти области относятся к самым продуктивным прибрежным экосистемам, наряду с мангровыми лесами и мелководными бассейнами, покрытыми морскими травами [Fourqurean et al., 2014]. Приливно-отливные процессы в прибрежной зоне обогащают ее фитопланктоном. К сожалению, проверка этого возможного процесса нами в экспедиции не проведена.

Отметим, что на рис. 6 содержание хлорофилла *a* и ПП приведены к 1 м² глубины фотического слоя, а содержание биомассы фито- и зоопланктона дано в объемных концентрациях (мг/м³). Для более корректного сравнения ПП и биомассы фито- и зоопланктона концентрационные единицы (мг/м³) были умножены на глубину фотического слоя, которая в среднем равна 15,0 м и изменялась в пределах от 23,3 м (станция 31) до 2,1 м (станция 68). Результаты представлены на рис. 10.

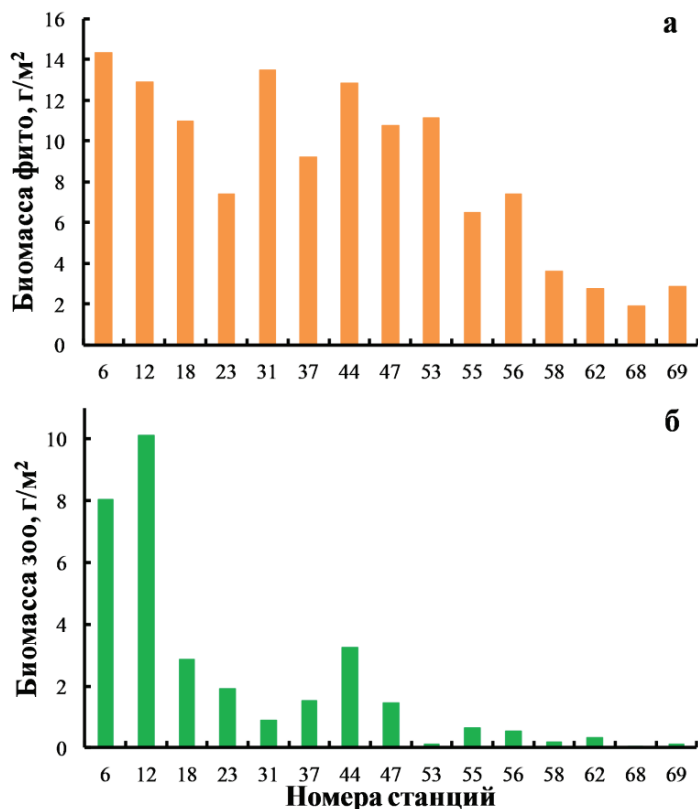


Рис. 10. Биомасса фито- (а) и зоопланктона (б) в столбе воды эвфотического слоя (г/м²) для станций, расположенных от открытой части залива к его вершине. Расположение станций показано на рис. 2. Зал. Академии, 15–19 сентября 2020 г.

Fig. 10. Changes of phytoplankton (a) and zooplankton (b) biomass in the euphotic water (g/m²) for the Academy Bay external to its top on September 15–19, 2020. The location of stations is shown at Fig. 2

Из полученных данных следует, что наблюдаемое распределение биомассы фитопланктона, зоопланктона в фотическом слое и ПП (см. рис. 6, 10) в общих чертах

согласуется между собой. Запасы биомассы фито- и зоопланктона планктона в фотическом слое существенно уменьшаются от открытой части залива в направлении его вершины. В этом же направлении изменяется и ПП.

Результаты эхолотного промера оказались неожиданными. Для северной части залива наблюдался достаточно интенсивный сигнал в верхнем слое толщиной 2–5 м (рис. 11, а). При движении корабля к югу в направлении Ульбанского залива возникали интенсивные планктонные аномалии (рис. 11).

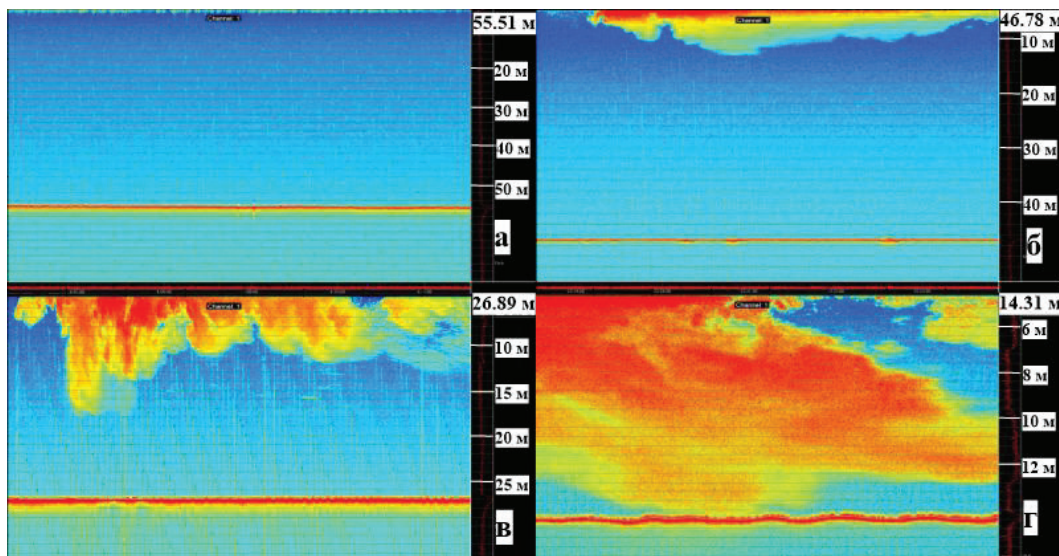


Рис. 11. Эхограммы звукорассеивающих слоев на частоте 200 кГц, полученные эхолотом Echotrac E20: **а** — северная часть акватории перед входом в зал. Академии (15 сентября, 4:11, 54,351° с.ш. 139,084° в.д., станция 3); **б** — северная часть зал. Академии (15 сентября, 23:21, 54,242° с.ш. 138,141° в.д., станция 18); **в** — Ульбанский залив (16 сентября, 23:30, 53,935° с.ш. 137,864° в.д., станция 37); **г** — Ульбанский залив (19 сентября, 12:10, 53,615° с.ш. 137,468° в.д., станция 58)

Fig. 11. Echograms of the sound-diffusing layer obtained by Echotrac E20 echosounder at 200 kHz: **а** — northward from the entrance to Academy Bay (September 15, 4:11, 54.351° N 139.084° E, St. 3); **б** — in the northern Academy Bay (September 15, 23:21, 54.242° N 139.141° E, St. 18); **в** — in the Ulban Bay (September 16, 23:30, 53.935° N 137.864° E, St. 37); **г** — in the Ulban Bay (September 19, 12:10, 53.615° N 137.468° E, St. 58)

Максимальная биомасса сетного зоопланктона (см. рис. 6, г) не согласуется с толщиной отраженных слоев эхограмм, полученных эхолотом Echotrac E20 на частоте 200 кГц. Эхограммы (см. рис. 11) были получены в ночное время, за исключением кутовой части залива (рис. 11, г). Толщина отраженного сигнала дает качественную характеристику о количестве зоопланктона в разных местах залива. Следует отметить, что вертикальный масштаб эхограмм на рис. 11 изменяется в зависимости от глубины места. Поэтому простое зрительное сравнение эхограмм может привести к ошибочному выводу о толщине отражающего слоя. Эхограмма на рис. 11 (а) соответствует глубине 55,5 м, толщина верхнего отражающего слоя 5,0 м. Для северной части зал. Академии эхограмма, представленная на рис. 11 (а), является типичной и была получена в области высокого содержания биомассы сетного зоопланктона (см. рис. 6, г). Толщина отражающих слоев для эхограмм на рис. 11 (б–г) была соответственно 13, 17 и 14 м. В последнем случае толщина отражающего слоя соответствовала глубине места, т.е. морские организмы заполнили собой всю водную толщу. Отметим, что ближайшими к эхограммам были станции 3, 18, 37 и 58, для которых получены содержания биомассы сетного зоопланктона соответственно 478, 135, 89 и 19 мг/м³, или 10,1, 8,0, 11,0, 0,19 г/м². Иначе говоря, биомасса сетного зоопланктона ни в единицах концентраций (мг/м³), ни в единицах содержания

в столбе фотического слоя (г/м^2) никак не согласуется с толщиной отражающего слоя для эхограмм. Неопределенности в оценках биомассы сетного зоопланктона известны [Шунтов, 2001], как правило, они и приводят к заниженным результатам. Однако основная причина в качественном расхождении между биомассой сетного зоопланктона и толщиной эхограмм, представленных на рис. 11 (б–г), обусловлена тем, что отраженные слои вызваны скоплением мелких рыб, а не копеподами. Наиболее существенное различие наблюдается для станции 58, где биомасса сетного зоопланктона была $0,19 \text{ г/м}^2$, а эхограмма демонстрировала наличие огромного количества организмов в воде (рис. 11, г). Для более разреженных слоев просматриваются очертания рыб (рис. 12). У дна — крупные рыбы, а в верхнем слое — мелкие. Скопления мелких рыб чаще регистрируются эхолотом в южной части зал. Академии. Следует отметить, снимки на рис. 11 (г) и 12 были произведены в одной и той же точке с разницей в три минуты, что указывает на высокую скорость движения организмов. Корабль в это время стоял на якорю в ожидании лодки.

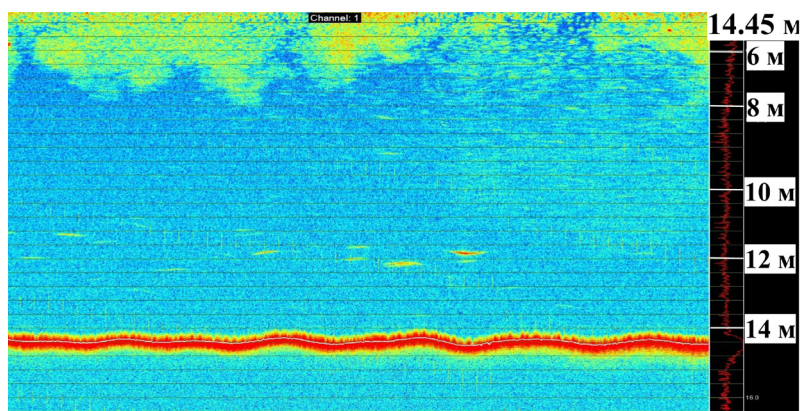


Рис. 12. Отражение акустического сигнала на частоте 200 кГц, зарегистрированное эхолотом Echotrac E20 в Ульбанском заливе 19 сентября в 12 час 13 мин в координатах $53,615^\circ$ с.ш. $137,468^\circ$ в.д. У дна — крупная рыба, в верхнем отраженном слое — мелкая

Fig. 12. Echosound signal from Echotrac E20 echosounder at 200 kHz obtained in the Ulbansky Bay (53.615° N 137.468° E) in September 19, 12 h 13 min. Large-sized fish is detected near the bottom and small-sized fish in the upper sound-diffusing layer

Места скопления китов и пути их миграции тесно связаны с питанием этих животных [Линдгольм, 2008 (1886)]. В настоящее время наиболее крупные стада (до 50 голов) были отмечены в кутовой части Ульбанского залива [Rogachev et al., 2008; Шпак, Парамонов, 2015, 2018; Мельников, Федорец, 2016]. В соответствии с общепринятой точкой зрения, основной пищей гренландских китов является зоопланктон (например, Lowry et al. [1984, 2004]). В этом случае пищевая цепь для них может быть записана укороченной схемой, в которой отсутствуют рыбы (схема (1)). Южнее косы Бетти для осени 2020 г. средняя концентрация зоопланктона составляла 43 мг/м^3 , а ПП — $1,3 \text{ гС}/(\text{м}^2\text{сут})$. Общая площадь вершины залива южнее этой косы — около 150 км^2 . Приняв среднюю глубину в 10 м, элементарные расчеты дают 66 т сырой биомассы зоопланктона и около 200 т ежесуточной продукции сырой биомассы зоопланктона для данной акватории. Если допустить, что ежедневно кит потребляет зоопланктона в объеме 1,5–2,0 т (2 % от массы кита) [Reilly et al., 2004], то максимальное количество китов, которое может быть обеспечено питанием, равно 30 голов. В этих расчетах не учитывается, что молодь рыб может выступать конкурентом в пищевой цепи по отношению к китам, поедая мелкий зоопланктон. В 2022 г. мы одновременно наблюдали 23 китов на акватории площадью примерно 5 км^2 . Для этой акватории общая биомасса зоопланктона составляет около 2,5 т, а суточная продукция равна 7 т. Очевидно, что этой биомассы зоопланктона недостаточно для наблюдаемого количества китов. Также возникает более общий вопрос,

почему киты предпочитают менее продуктивную (см. рис. 6, 8, 10) мелководную часть вершины залива более продуктивной глубоководной части зал. Академии. На наш взгляд, важную роль в питании китов играют энергозатраты. В этом случае все решает агрегация пищи и общая биомасса пищевой основы, которая позволяет китам длительное время питаться на одном месте, а высокая агрегация биомассы (концентрация) снижает энергозатраты. Если принять гипотезу, что, помимо зоопланктона, киты используют в пищу молодь рыб, то она объясняет, почему с наблюдаемыми особенностями продукционных характеристик, включая эхограммы отраженных сигналов, киты выбирают для питания мелководную вершину залива. Анализы содержимого желудков гренландских китов указывают на наличие в них небольших рыбок [Lowry, Frost, 1984] и рыбных костей, масса которых была около 6 % от содержимого желудка [Pomerleau et al., 2011]. В соответствии с анатомическими особенностями усатых китов вода, содержащая пищу, подвергается тангенциальной фильтрации в пасти кита, что позволяет получать добычу в размере от 1 мм (например, мелкие копеподы) до более крупных объектов — рыб длиной до 20 см [Werth, Potvin, 2024].

Заключение

Для осеннего сезона (сентябрь 2020 г.) были определены продукционные характеристики зал. Академии, такие как содержание хлорофилла *a* в эвфотическом слое, первичная продукция, плотность биомассы фитопланктона и зоопланктона, получены эхограммы акустического сигнала на частоте 200 кГц.

Распределение содержания хлорофилла *a* в столбе воды, ПП, плотность фито- и зоопланктона указывают на то, что северная часть зал. Академии была более продуктивной. Более высокая продукция северной части залива была обусловлена поступлением биогенных веществ из Охотского моря в связи с общей эстуарной циркуляцией вод залива.

Установлено кажущееся противоречие между измеренной биомассой сетного зоопланктона и толщиной отраженного слоя эхограмм. Аномальная толщина эхограмм в южной и средней частях залива была обусловлена не копеподами, а скоплением мелких рыб — сеголеток лосося. Эти скопления чаще наблюдались эхолотом в эстуарной части залива.

Несоответствие районов частой встречаемости гренландских китов (южная часть зал. Академии) с областью высокой ПП и высокой плотностью сетного зоопланктона (северная часть залива) мы объясняем другим источником питания животных помимо зоопланктона. Таким источником питания могут быть скопления мелких рыб в южной части залива.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность научному составу и экипажу 59-го рейса НИС «Академик Опарин» за помощь в проведении экспедиционных работ.

The authors are grateful to the scientific staff and crew of the 59th cruise of RV Akademik Oparin for their assistance in the expedition work.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, 21-55-53015 и госбюджетных тем 121021500052-9 и 121021700346-7.

The study is conducted under financial support of the Russian Foundation for Basic Research (grant 21-55-53015) and state budget (topics 121021500052-9 and 121021700346-7).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объектов. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The study does not use animals as subjects. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

С.А. Зверев, С.П. Кукла, А.Ф. Сергеев, П.П. Тищенко — зондирование водной толщи, отбор проб, их консервация, эхолотный промер; Л.Е. Васильева, О.А. Еловская, Ю.В. Федорец — анализ проб на фито-зоопланктон; П.П. Тищенко, П.Я. Тищенко — расчет ПП; все авторы — сбор литературных данных, интерпретация полученных результатов, подготовка статьи и окончательное утверждение версии для печати.

S.A. Zverev, S.P. Kukla, A.F. Sergeev, P.P. Tishchenko — water profiling and sampling, the samples preservation, echo sounding; L.E. Vasilyeva, O.A. Elovskaya, Yu.V. Fedorets — phyto- and zooplankton biomass measurements; P.P. Tishchenko, P.Ya. Tishchenko — primary production calculation; P.Ya. Tishchenko, P.P. Tishchenko, L.E. Vasilyeva, O.A. Elovskaya, S.A. Zverev, S.P. Kukla, A.F. Sergeev, Yu.V. Fedorets — literature data analysis, the obtained results discussing and interpretation, the text writing and illustrating.

Список литературы

Волков А.Ф. Интегральные схемы количественного распределения массовых видов зоопланктона дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана по среднегодовым данным (1984–2006 гг.) // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 154. — С. 135–143.

Долганова Н.Т. Состав, сезонная и межгодовая динамика планктона северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 810–889.

Звалинский В.И. Количественное описание морских экосистем. I. Общие подходы // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 152. — С. 132–153.

Золотухин С.Ф. Предварительная оценка нерестового фонда кеты и горбуши Тугуро-Чумиканского района (Охотское море) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — Вып. 3. — С. 622–628.

Иванков В.Н., Иванкова Е.В., Кульбачный С.Е. Внутривидовая экологическая и темпоральная дифференциация у тихоокеанских лососей. Эколого-темпоральные расы и темпоральные популяции кеты *Oncorhynchus keta* // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 163. — С. 91–105.

Инструкция по количественной обработке морского сетного планктона / сост. Е.П. Каредин. — Владивосток : ТИНРО, 1982. — 29 с.

Канзепарова А.Н. Особенности биологии и современное состояние запасов горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) северо-западного побережья Охотского моря : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО, 2018. — 148 с.

Коновалова Г.В. Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря // Океанол. — 1972. — Т. 12, № 1. — С. 123–128.

Коновалова Г.В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря // Биол. моря. — 1984. — Т. 10, № 1. — С. 13–23.

Коновалова Г.В., Орлова Т.Ю. Структура фитопланктона мелководий северо-западной части Японского моря // Биол. моря. — 1988. — № 5. — С. 10–20.

Коновалова Г.В., Орлова Т.Ю., Паутова Л.А. Атлас фитопланктона Японского моря. — Л. : Наука, 1989. — 160 с.

Кульбачный С.Е. Экология и структура популяций кеты северо-западной части континентального побережья Охотского моря : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВО РАН, 2010. — 148 с.

Линдгольм О.В. Китовый промысел // Русское судоходство торговое и промысловое на реках, озерах, и морях. — СПб., 1888. — № 33. — С. 5–20.

Линдгольм О.В. Киты и влияние на них приливов и течений в Охотском море // Дальний Восток (Хабаровск). — 2008 (1886). — № 6. — С. 177–180.

Мельников В.В., Федорец Ю.В. Распределение зоопланктона и полярного кита *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758 в заливе Академии Охотского моря // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 189–194.

Микулич Л.В., Родионов Н.А. Весовая характеристика некоторых зоопланктеров Японского моря // Тр. ТОИ ДВНЦ АН СССР. — 1975. — № 9. — С. 75–83.

Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек : моногр. — М. : ГЕОС, 1997. — 176 с.

- Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В.** Видовой состав микроводорослей планктона охотоморского побережья острова Сахалин // Биол. моря. — 2004. — Т. 30, № 2. — С. 96–104.
- Петров Е.С., Новороцкий П.В., Леншин В.Т.** Климат Хабаровского края и Еврейской автономной области. — Владивосток ; Хабаровск : Дальнаука, 2000. — 174 с.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Павлова Г.Ю. и др.** Влияние речного стока на гидрохимические характеристики вод Удской губы и залива Николая (Охотское море) в летний сезон // Океанол. — 2021. — Т. 61, № 3. — С. 387–400. DOI: 10.31857/S003015742103014X.
- Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Павлова Г.Ю. и др.** Карбонатная система эстуариев рек Сыран и Ульбан (Ульбанский залив Охотского моря) в период летнего паводка // Водные ресурсы. — 2022. — Т. 49, № 5. — С. 650–661. DOI: 10.31857/S0321059622050145.
- Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Еловская О.А. и др.** Условия формирования первичной продукции фитопланктона в заливе Восток (Японское море) весной 2016 г. // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 164–185. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-164-185.
- Тищенко П.П., Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Швецова М.Г.** Первичная продукция фитопланктона в акватории Шантарского архипелага // Биол. моря. — 2023. — Т. 49, № 1. — С. 56–65. DOI: 10.31857/S0134347523010096.
- Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Тищенко П.П. и др.** Гидрохимические исследования залива Академии (Охотское море) // Океанол. — 2022. — Т. 62, № 1. — С. 98–111. DOI: 10.31857/S0030157422010166.
- Тищенко П.Я., Семкин П.Ю., Тищенко П.П. и др.** Лосось как основа функционирования экосистемы залива Академии (Охотское море). Возможные угрозы ее деградации // Вестн. ДВО РАН. — 2024. — № 2(234). — С. 90–106. DOI: 10.31857/S0869769824020098.
- Федоров В.Д.** О методах изучения фитопланктона и его активности : учеб. пособие. — М. : МГУ, 1979. — 167 с.
- Численко Л.Л.** Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела : моногр. — Л. : Наука, 1968. — 106 с.
- Шпак О.В., Парамонов А.Ю.** Гренландский кит *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758 в западной части Охотского моря (2009–2016 гг.): особенности распределения, поведение, угрозы // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 3. — С. 179–186.
- Шпак О.В., Парамонов А.Ю.** Наблюдения за гренландскими китами (*Balaena mysticetus*) в Шантарском регионе Охотского моря; потенциальные угрозы для восстановления численности популяции // Морские млекопитающие Голарктики : сб. науч. тр. — М. : РОО «Совет по морским млекопитающим», 2015. — Т. 2. — С. 334–342.
- Шунтов В.П.** Биология дальневосточных морей России: в 3 томах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.
- Шунтов В.П., Волвенко И.В.** Дополнения к количественным оценкам зоопланктона дальневосточных морей и сопредельных вод Северной Пацифики // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 130–146. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-130-146.
- Fourqurean J., Johnson B., Kauffman J.B. et al.** Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses meadows. — Arlington, Virginia, USA : Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, 2014. — 181 p.
- Jeffrey S.W. and Humphrey G.F.** New Spectrophotometric Equations for Determining Chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in Higher Plants, Algae and Natural Phytoplankton // Biochem. Physiol. Pflanzen. — 1975. — Vol. 167, Iss. 2. — P. 191–194. DOI: 10.1016/S0015-3796(17)30778-3.
- Lowry L.F., Frost K.J.** Foods and feeding of bowhead whales in western and northern Alaska // Sci. Rep. Whales Res. Inst. — 1984. — № 35. — P. 1–16.
- Lowry L.F., Sheffield G., George J.C.** Bowhead whale feeding in the Alaskan Beaufort Sea, based on stomach contents analyses // J. Cetacean Res. Manage. — 2004. — Vol. 6, № 3. — P. 215–223. DOI: 10.47536/jcrm.v6i3.763.
- Pilgrim D.A.** Measurement and estimation of the extinction coefficient in turbid estuarine waters // Cont. Shelf Res. — 1987. — Vol. 7, Iss. 11–12. — P. 1425–1428. DOI: 10.1016/0278-4343(87)90049-5.
- Pomerleau C., Ferguson S.H., Walkusz W.** Stomach contents of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) from four locations in the Canadian Arctic // Polar Biol. — 2011. — Vol. 34(4). — P. 615–620. DOI: 10.1007/s00300-010-0914-9.
- Reilly S., Hedley S., Borberg J. et al.** Biomass and energy transfer to baleen whales in the South Atlantic sector of the Southern Ocean // Deep-Sea Res. II. — 2004. — Vol. 51. — P. 1397–1409. DOI: 10.1016/j.dsr2.2004.06.008.

Rogachev K.A., Carmack E.C., Foreman M.G.G. Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk // *Continental Shelf Research*. — 2008. — Vol. 28, № 14. — P. 1811–1826. DOI: 10.1016/j.csr.2008.04.014.

Ryther J.H. The measurement of primary production // *Limnol. and Oceanogr.* — 1956. — Vol. 1, Iss. 2. — P. 72–84. DOI: 10.4319/lo.1956.1.2.0072.

Werth A.J., Potvin J. Dynamic filtration in baleen whales: recent discoveries and emerging trends // *Front. Mar. Sci.* — 2024. — Vol. 11. — P. 1347497. DOI: 10.3389/fmars.2024.1347497.

Zhang J., Tishchenko P.Ya., Jiang Z.J. et al. Diverse nature of the seasonally coastal eutrophication dominated by oceanic nutrients: An eco-system based analysis characterized by salmon migration and aquaculture // *Mar. Pollut. Bull.* — 2023. — Vol. 193. — P. 115–150. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.115150.

References

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.

Dolganova, N.T., Composition, seasonal and interannual dynamics of plankton in the north-western part of the Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 810–889.

Zvalinskiy, V.I., Quantitative description of marine ecosystems. I. General approach, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 152, pp. 132–153.

Zolotukhin, S.F., Preliminary estimation of chum and pink salmon spawning range in Tugur-Chumikan territory (Sea of Okhotsk), in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka, 2005, vol. 3, pp. 622–628.

Ivankov, V.N., Ivankova, E.V., and Kulbachny, S.E., Intraspecific ecological and temporal differentiation of pacific salmons. Ecologo-temporal races and temporal populations of chum salmon *Oncorhynchus keta*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 163, pp. 91–105.

Karedin, E.P., *Instruktsiya po kolichestvennoy obrabotke morskogo setnogo planktona* (Instructions for the quantitative processing of marine net plankton), Vladivostok: TINRO, 1982.

Kanzeparova, A.N., Features of biology and the current state of the stocks of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) on the northwestern coast of the Sea of Okhotsk, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2018.

Konovalova, G.V., Seasonal characteristics of phytoplankton in the Amursky Bay of the Sea of Japan, *Okeanol.*, 1972, vol. 12, no. 1, pp. 123–128.

Konovalova, G.V., Structure of plankton phytocenosis of the East Bay of the Sea of Japan, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1984, vol. 10, no. 1, pp. 13–23.

Konovalova, G.V. and Orlova, T.Yu., The structure of phytoplankton in shallow waters of the northwestern Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1988, no. 5, pp. 10–20.

Konovalova, G.V., Orlova, T.Yu., and Pautova, L.A., *Atlas fitoplanktona Yaponskogo morya* (Atlas of phytoplankton of the Sea of Japan), Leningrad: Nauka, 1989.

Kulbachny, S.E., Ecology and structure of chum salmon populations in the northwestern part of the continental coast of the Sea of Okhotsk, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2010.

Lindholm, O.V., Whale fishing, *Russkoye sudokhodstvo trgovoye i promyslovoe na rekakh, ozerakh, i moryakh*, St. Petersburg, 1888, no. 33, pp. 5–20.

Lindholm, O.V., Whales and how tides and currents in the Okhotsk Sea affect them, *Dal'niy Vostok (Khabarovsk)* (Far East (Khabarovsk)), 2008 (1886), no. 6, pp. 177–180.

Melnikov, V.V. and Fedorets, Y.V., The distribution of zooplankton and bowhead whales, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in Akademiya Bay, Sea of Okhotsk, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 216–221. doi 10.1134/S106307401603007X

Mikulich, L.V. and Rodionov, N.A., Weight characteristics of some zooplankters of the Sea of Japan, *Tr. Tikhookean. Okeanolog. Inst. Dal'nevost. Nauchn. Tsentra Akad. Nauk SSSR*, 1975, no. 9, pp. 75–83.

Mikhailov, V.N., *Gidrologicheskie protsessy v ust'yakh rek* (Hydrological Processes in River Estuaries), Moscow: GEOS, 1997.

Orlova, T.Yu., Selina, M.S., and Stonik, I.V., Species structure of plankton microalgae on the coast of the Sea of Okhotsk on Sakhalin Island, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2004, vol. 30, no. 2, pp. 77–86. doi 10.1023/B:RUMB.0000025983.20298.9a

Petrov, E.S., Novorotsky, P.V., and Lenshin, V.T., *Klimat Khabarovskogo kraia i Yevreyskoy avtonomnoy oblasti* (Climate of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region), Vladivostok; Khabarovsk: Dalnauka, 2000.

Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.Ya., Pavlova, G.Yu., Sagalaev, S.G., Tishchenko, P.P., Khodoronko, N.D., Shkirnikova, E.M., and Shvetsova, M.G., Effect of river runoff on the hydrochemical characteristics of water in Udskeya Bay and Nikolaya Bay (the Sea of Okhotsk) in summer, *Oceanology*, 2021, vol. 61, no. 3, pp. 338–350. doi 10.1134/S0001437021030139

Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.Ya., Pavlova, G.Yu., Tishchenko, P.P., Sagalaev, S.G., Shkirnikova, E.M., and Shvetsova, M.G., The carbonate system of the estuaries of the Syran and Ul'ban rivers (Ul'banskii Bay, the Sea of Okhotsk) during spring flood, *Water Resour.*, 2022, vol. 49, no. 5, pp. 869–879. doi 10.1134/S0097807822050141

Tishchenko, P.P., Tishchenko, P.Ya., Elovskaya, O.A., Zvalinsky, V.I., and Fedorets, Yu.V., Conditions for primary production of phytoplankton in the Vostok Bay (Japan Sea) in spring 2016, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 164–185. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-164-185

Tishchenko, P.P., Tishchenko, P.Ya., Semkin, P.Yu., and Shvetsova, M.G., Phytoplankton primary production in the coastal water surrounding Shantar Archipelago, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2023, vol. 49, no. 1, pp. 56–65. doi 10.31857/S0134347523010096

Tishchenko, P.Y., Lobanov, V.B., Tishchenko, P.P., Semkin, P.Y., Sergeev, A.F., Anisimova, E.V., Barabanshchikov, Y.A., Melnikov, V.V., Ryumina, A.A., Sagalaev, S.G., Ulanova, O.A., Shvetsova, M.G., and Shkirnikova, E.M., Hydrochemical study of Academy Bay (Sea of Okhotsk), *Oceanology*, 2022, vol. 62, no. 1, pp. 80–92. doi 10.1134/s0001437022010155

Tishchenko, P.Ya., Semkin, P.Yu., Tishchenko, P.P., Lobanov, V.B., Sergeev, A.F., Roginskaya, M.O., Anokhina, R.S., Rabanshchikov, Yu.A., Ryumina, A.A., Sagalaev, S.G., Shvetsova, M.G., Shkirnikova, E.M., and Ulanova, O.A., Salmon as the basis for the functioning of the ecosystem of the Academy Bay (Okhotsk Sea). Possible threats to its degradation, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2024, no. 2(2340), pp. 90–106. doi 10.31857/S0869769824020098

Fedorov, V.D., *O metodakh izucheniya fitoplanktona i yego aktivnosti* (On methods of studying phytoplankton and its activity), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1979.

Chislenko, L.L., *Nomogrammy dlya opredeleniya vesa vodnykh organizmov po razmeram i forme tela* (Nomograms for determining the weight of aquatic organisms by size and body shape), Leningrad: Nauka, 1968.

Shpak, O.V. and Paramonov, A.Yu., The bowhead whale, *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758, in the western Sea of Okhotsk (2009–2016): distribution pattern, behavior, and threats, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 3, pp. 210–218. doi 10.1134/S1063074018030082

Shpak, O.V. and Paramonov, A.Yu., Observations of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) in Shantar region of the Okhotsk Sea; potential threats for population recovery, in *Marine Mammals of the Holarctic*, Moscow: RPO “Marine Mammal Council”, 2015, vol. 2, pp. 334–342.

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 Volvenko, I.V., Supplements to quantitative assessments of zooplankton in the Far Eastern Seas and adjacent waters of the North Pacific, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 130–146. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-130-146

Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J.B., Kennedy, H., Lovelock, C., Megonigal, J.P., Rahman, A., Saintilan, N., and Simard, M., *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses meadows*, Arlington, Virginia, USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature, 2014.

Jeffrey, S.W. and Humphrey, G.F., New Spectrophotometric Equations for Determining Chlorophylls *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in Higher Plants, Algae and Natural Phytoplankton, *Biochem. Physiol. Pflanzen*, 1975, vol. 167, no. 2, pp. 191–194. doi 10.1016/S0015-3796(17)30778-3

Lowry, L.F. and Frost, K.J., Foods and feeding of bowhead whales in western and northern Alaska, *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, 1984, no. 35, pp. 1–16.

Lowry, L.F., Sheffield, G., and George, J.C., Bowhead whale feeding in the Alaskan Beaufort Sea, based on stomach contents analyses, *J. Cetacean Res. Manage.*, 2004, vol. 6, no. 3, pp. 215–223. doi 10.47536/jcrm.v6i3.763

Pilgrim, D.A., Measurement and estimation of the extinction coefficient in turbid estuarine waters, *Cont. Shelf Res.*, 1987, vol. 7, no. 11–12, pp. 1425–1428. doi 10.1016/0278-4343(87)90049-5

Pomerleau, C., Ferguson, S.H., and Walkusz, W., Stomach contents of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) from four locations in the Canadian Arctic, *Polar Biol.*, 2011, vol. 34(4), pp. 615–620. doi 10.1007/s00300-010-0914-9

Reilly, S., Hedley, S., Borberg, J., Hewitt, R., Thiele, D., Watkins, J., and Naganobu, M., Biomass and energy transfer to baleen whales in the South Atlantic sector of the Southern Ocean, *Deep Sea Res., Part II*, 2004, vol. 51, pp. 1397–1409. doi 10.1016/j.dsr2.2004.06.008

Rogachev, K.A., Carmack, E.C., and Foreman, M.G.G., Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk, *Continental Shelf Research*, 2008, vol. 28, no. 14, pp. 1811–1826. doi 10.1016/j.csr.2008.04.014

Ryther, J.H., The measurement of primary production, *Limnol. and Oceanogr.*, 1956, vol. 1, no. 2, pp. 72–84. doi 10.4319/lo.1956.1.2.0072

Werth, A.J. and Potvin, J., Dynamic filtration in baleen whales: recent discoveries and emerging trends, *Front. Mar. Sci.*, 2024, vol. 11, pp. 1347497. doi 10.3389/fmars.2024.1347497

Zhang, J., Tishchenko, P.Ya., Jiang, Z.J., Semkin, P.Yu., Tishchenko, P. P., Zheng, W., Lobanov, V.B., Sergeev, A.F., and Jiang, Sh., Diverse nature of the seasonally coastal eutrophication dominated by oceanic nutrients: An eco-system based analysis characterized by salmon migration and aquaculture, *Mar. Pollut. Bull.*, 2023, vol. 193, pp. 115–150. doi 10.1016/j.marpolbul.2023.115150

Lotsiya Okhotskogo morya. Vypusk 2. Severnaya chast' morya (Pilot position of the Sea of Okhotsk. Issue 2. Northern part of the sea), Moscow: Upravleniye navigatsionno-gidrograficheskoy sluzhby Voenno-morskogo flota, 1960.

Поступила в редакцию 14.01.2025 г.

После доработки 5.02.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

*The article was submitted 14.01.2025; approved after reviewing 5.02.2025;
accepted for publication 10.03.2025*

Научная статья

УДК 592(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-111-128

EDN: YYLINW



ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕГАБЕНТОСА
БУХТЫ АЛЕКСЕЕВА
(АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Р.В. Власенко, Д.А. Соколенко*

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

Аннотация. По результатам водолажных исследований бухты Алексева в 2017 г. изучен видовой состав и обилие мегабентоса, выделено 6 группировок мегазообентоса, приведены их характеристики. Показано, что за последние 50 лет характер пространственного распределения биомассы мегазообентоса в бухте, как и ее средний показатель, не претерпели существенных изменений, за исключением границ рассмотренных биотических группировок и обилия слагающих их видов. По-прежнему доминируют фильтрующие сестонофаги — мидия Грея *Crenomytilus grayanus* и модиолус *Modiolus kurilensis*, распространение и обилие которого значительно увеличилось. Сформировалась ранее не отмеченная группировка с преобладанием устрицы *Crassostrea gigas*. Снизилось обилие морских ежей *Mesocentrotus nudus* и *Strongylocentrotus intermedius*, приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* и трепанга *Apostichopus japonicus*. Массовая в прошлом асцидия пурпурная *Halocynthia aurantium* стала редким элементом донной фауны и самостоятельного сообщества не образует. Высказываются предположения о причинах произошедших изменений.

Ключевые слова: бухта Алексева, Амурский залив, мегабентос, биомасса, группировки, размерный состав

Для цитирования: Власенко Р.В., Соколенко Д.А. Особенности распределения мегабентоса бухты Алексева (Амурский залив, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 111–128. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-111-128. EDN: YYLINW.

Original article

Distribution patterns for megabenthos in the Alekseev Bay (Amur Bay, Japan Sea)

Roman V. Vlasenko*, Dmitry A. Sokolenko**

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

* leading specialist, roman.vlasenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7988-2672

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

Abstract. Species composition and abundance of megazoobenthos is considered on results of SCUBA survey in the Alekseev Bay conducted in 2017. Six groupings of megabenthos

* Власенко Роман Викторович, ведущий специалист, roman.vlasenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7988-2672; Соколенко Дмитрий Анатольевич, заведующий сектором, dmitrii.sokolenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4431-6571.

© Власенко Р.В., Соколенко Д.А., 2025

are determined within the bay. The stock of megabenthos and general patterns of its biomass spatial distribution did not change much over the past 50 years, but some changes are detected for the boundaries of biotic groupings and their quantitative species composition. Filtering sestonophages, as mussel *Crenomytilus grayanus* and horsemussel *Modiolus kurilensis*, still dominated, but the latter became more abundant and wider distributed. Sea urchins *Mesocentrotus nudus* and *Strongylocentrotus intermedius*, yesso scallop *Mizuhopecten yessoensis* and japanese spiky sea cucumber *Apostichopus japonicus* became less abundant; sea peach *Halocynthia aurantium*, rather common previously, became rare in the benthic fauna and did not longer form a separate grouping. On the contrary, a new grouping appeared formed by oyster *Crassostrea gigas* and mussel *Crenomytilus grayanus*. Possible causes of the occurred changes are discussed.

Keywords: Alekseev Bay, Amur Bay, megabenthos, benthos biomass, biotic grouping, size composition

For citation: Vlasenko R.V., Sokolenko D.A. Patterns of megabenthos distribution in the Alekseev Bay (Amur Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 111–128. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-111-128. EDN: YYLINW.

Введение

Бухта Алексеева о. Попова, по-видимому, является одной из самых изученных акваторий зал. Петра Великого, мониторинговые исследования состояния среды здесь ведутся уже более 50 лет [Гайко, Зимин, 2016]. К настоящему времени опубликовано несколько работ, посвященных изучению бентосных сообществ, подводных ландшафтов и отдельных видов гидробионтов [Волова и др., 1980; Долматова и др., 2008; Жариков, Преображенский, 2010; Федорец и др., 2011], а также экологическому мониторингу [Гальцова, Павлюк, 1993; Ващенко и др., 1999; Федорец и др., 2011]. В результате марикультурной деятельности за период 1978–1988 гг. бухта подверглась трансформации, что вызвало в ней пространственную перестройку структуры экосистемы [Жариков, Преображенский, 2010]. Мониторинг состояния биоты бухты Алексеева позволяет приблизиться к пониманию механизмов процессов произошедших изменений.

Цель настоящей работы — оценить современное состояние мегазообентоса в бухте Алексеева по результатам водолазных исследований 2017 г.

Материалы и методы

В работе использованы данные водолазной гидробиологической съемки в бухте Алексеева, проведенной сотрудниками ТИНРО на НИС «Убежденный» (БИФ «ВНИРО») 6 сентября 2017 г. в рамках ресурсных исследований. Схема водолажных станций планировалась заранее с учетом рельефа дна и глубин. На акватории бухты выполнено 58 станций (рис. 1) в диапазоне глубин от 1,5 до 21,0 м. Местоположение выполненных станций фиксировали портативным GPS-навигатором, глубину в месте погружения — эхолотом мотобота и глубиномером на консоли водолаза. На каждой станции отбор проб производили с использованием мерной рамки площадью 1 м², располагавшейся на грунте, случайным образом в непосредственной близости друг от друга в трехкратной последовательности. В сборы входили организмы, обитающие как на поверхности грунта, так и в его толще до глубины 15–30 см. Учет крупных эпифаунных гидробионтов производился методами трансект и галсов, обследованная площадь дна при этом на станциях варьировала от 10 до 100 м² [Аверинцев и др., 1982; Блинова и др., 2003]. Также учитывались водоросли и морские травы, для каждого вида оценивалось проективное покрытие. В результате было определено 36 видов беспозвоночных, 1 вид морских трав и 4 вида водорослей. Актуальные названия видов и таксонов приведены в соответствие с систематическими каталогами «World Register of Marine Species» (<https://www.marinespecies.org/>) и «AlgaeBase» (<https://www.algaebase.org/>).

При проведении биологического анализа линейные размеры беспозвоночных определяли штангенциркулем с точностью до 1 мм, сырую массу особей — взвешиванием

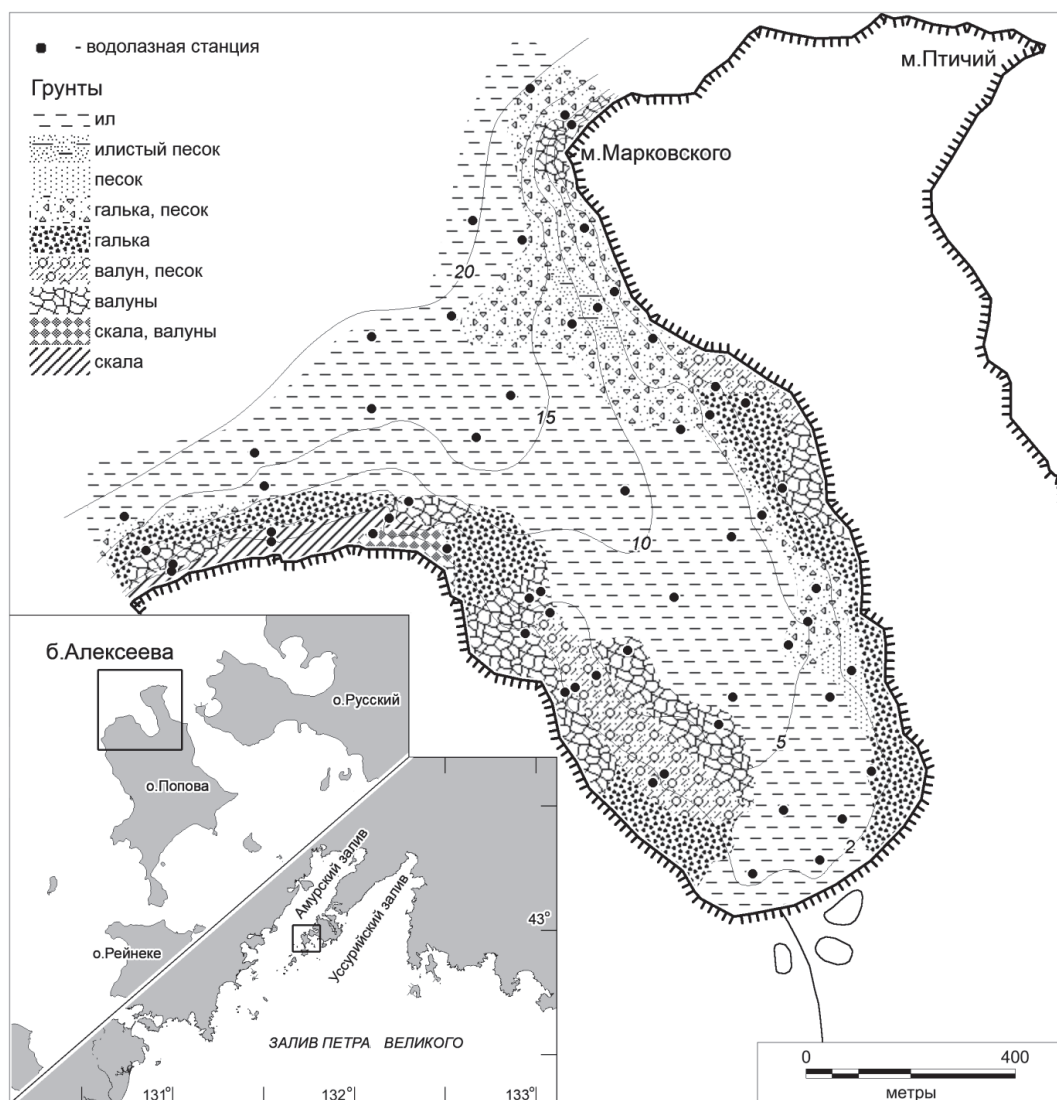


Рис. 1. Схема станций и распределение грунтов в бухте Алексеева, 2017 г.

Fig. 1. Scheme of diving survey in 2017 and bottom sediments distribution in the Alekseev Bay

с точностью до 1 г с помощью электронных весов морского исполнения. Произведены промеры более 500 гидробионтов. Типизация поселений массовых видов беспозвоночных выполнена по методике, приведенной А.И. Буяновским [2004].

Принимая во внимание ресурсную направленность методики сбора материала, наиболее полно нами были учтены крупные, средообразующие и многочисленные организмы, относящиеся к категории «мегабентос» (размер более 1 см или масса более 1 г) [Атлас..., 2018], а также молодь этих гидробионтов, которая входит в категорию «макробентос». Мелкоразмерные и малочисленные таксоны практически не учитывались (амфиподы, полихеты и др.), что не позволило привести «классическое» описание бентосных сообществ и полноценно оценить видовое богатство исследованной акватории. Исходя из этого в настоящей работе мы используем более общее понятие «группировка».

Выделение группировок мегазобентоса проведено по методике, принятой для бентосных сообществ, опираясь на доминирующие по биомассе виды [Воробьев, 1949]. Внутри группировок виды классифицированы по показателям встречаемости и обилия

на три категории: «многочисленен» — более 50 % встреч, «обычен» — 10–50 % встреч, «редок» — менее 10 % встреч [Шейко, Федоров, 2000].

Данные о температуре и солености морских вод получены с помощью гидрологического зонда Rinko Profiler ASTD102-ALC-R02.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программ Statistica и Microsoft Excel [Боровиков, 2003]. Картографическая обработка данных и построение карт выполнены с применением ГИС MapInfo Professional [Ерунова, Гостева, 2004].

Результаты и их обсуждение

Условия обитания. Бухта Алексеева вдается в северо-западный берег о. Попова, представляет собой полузакрытую акваторию эстуарного типа, выходящую в Амурский залив, по своей геоморфологии является характерной для зал. Петра Великого. Входные мысы обрывистые, сформированы скальными породами и валунами, которые уходят под воду с резким уклоном до глубины 10–15 м. Борта бухты обрывистые и каменистые, подводные склоны вдоль них до глубины 5 м сформированы валунами, галькой, на отдельных участках с примесью песка и илистого песка. Берег вершины бухты низменный, с песчано-галечным пляжем, уклон дна здесь сравнительно слабый, грунт в прибрежной части представлен галькой с илистым песком, сменяющимся илом на глубине более 2 м. Котловина почти от самой вершины и до выхода занята илами, изредка встречаются единичные валуны, мусор и затонувшие объекты антропогенного происхождения, являющиеся преимущественно остатками марикультурных гидробиологических технических сооружений. В южную часть вершины бухты впадает ручей. По направлению от вершины бухты до ее середины глубина постепенно увеличивается и достигает 10 м, далее к выходу возрастет до 20 м. По уклону дна бухта относится к типу приглубых (уклон дна более 0,03). Акватория бухты открыта ветрам западных и северо-западных румбов, движение воды характеризуется слабым циклоническим круговоротом, что затрудняет вынос илистых осадков за ее пределы [Волова и др., 1980; Мануйлов, 1990; Лоция..., 1996*; Павлюк и др., 2005; Жариков, Преображенский, 2010].

Площадь обследованной акватории составила около 107 га, мягкие грунты (ил, илистый песок и песок) занимают 57 % площади дна бухты, галька — 30 %, твердые грунты (скала, валуны, булыжники) — 13 % (рис. 1).

Водолазные работы на мелководных прибрежных участках при проведении ресурсных исследований осложнены их труднодоступностью для подхода мотобота (волнение, мели, заросли водорослей и морских трав). В связи с этим мелководья бухты Алексеева, которые по данным предшествующих исследований покрываются густыми зарослями макрофитов [Волова и др., 1980; Жариков, Преображенский, 2010], нами обследованы недостаточно полно. Заросли морской травы *Zostera marina* с проективным покрытием до 100 % отмечены в глубине бухты вдоль северо-восточного берега на мелководье. Единично zostера встречалась у юго-западного побережья в средней части бухты на глубине 4 м. Поля зеленой водоросли *Ulva fenestrata* наблюдались в кутовой части бухты на глубине 2,5 м с проективным покрытием 20–100 % и в районе западного входного мыса на глубине 2,0 м с проективным покрытием 40 %. В средней части бухты по обоим берегам на глубине 1,5–4,2 м встречались одиночные растения *Codium yezoense*. Вдоль юго-западного побережья бухты от средней части до выхода отмечены известковые водоросли *Lithothamnion phymatodeum* на глубине 1,5–2,7 м и *Bossiella cretacea* на глубине 1,5–4,2 м с проективным покрытием соответственно до 3 и 5 %.

* Лоция северо-западного берега Японского моря. От реки Туманная до мыса Белкина. № 1401. СПб.: ГУНиО МО РФ, 1996. 360 с.

На момент съемки поверхностная температура воды в бухте колебалась от 20,6 до 22,6 °С, на глубине 10 м составляла 19,2–20,0 °С, на 20 м — 16,4–20,0 °С. Соленость поверхностных вод была равна 31,5 eps, на глубине 20 м — 33,2 eps.

Общая характеристика мегазообентоса. Общая биомасса мегазообентоса в бухте Алексева изменялась от 11 до 7150 г/м², в среднем составила 799 г/м². По биомассе преобладают моллюски со средней биомассой 718,5 г/м² (89,9 %), на втором месте иглокожие — 76,0 г/м² (9,5 %). Вклад остальных групп незначительный — 4,5 г/м² (0,6 %) (табл. 1). Максимальные показатели обилия (более 2000 г/м²) отмечены на мелководье в юго-западной части бухты на валунах и гальке. Вдоль северо-восточного берега показатели биомассы не превышают 2000 г/м² и также приурочены к валунным и галечным субстратам. В основной части заиленной котловины бухты биомасса мегазообентоса колеблется от 300 до 1000 г/м², на выходе снижается — менее 100 г/м² (рис. 2) Среди моллюсков по биомассе доминируют двустворчатые с долей 99,7 %, среди иглокожих доля морских ежей составляет 55,3 %, морских звезд — 43,3 %.

Таблица 1
Биомасса отдельных таксонов бентосных гидробионтов бухты Алексева, 2017 г., г/м²
Table 1

Biomass of certain taxa of benthos in the Alekseev Bay in 2017, g/m²

Группа, класс	Средняя биомасса	Доля, %
Mollusca	718,50	89,90
Bivalvia	716,50	89,65
Gastropoda	1,85	0,23
Polyplacophora (Loricata)	0,15	0,02
Echinodermata	76,00	9,50
Echinoidea	42,00	5,25
Asteroidea	33,00	4,10
Ophiuroidea	0,70	0,10
Holothuroidea	0,30	0,05
Crustacea	2,50	0,30
Coelenterata	1,50	0,20
Tunicata	0,50	0,10
Bcero	799,00	100,00

Группировки мегазообентоса. На основе полученных данных в бухте Алексева выделено 6 группировок мегазообентоса (рис. 3, табл. 2).

1. Группировка мидии Грея *Crenomytilus grayanus* располагается вдоль северо-восточного побережья от входного мыса до средней части бухты на гальке и булыжниках, редко на валунах в диапазоне глубин 1,8–4,5 м. Вдоль юго-западного побережья она формирует пояс, простирающийся от входного мыса до кутовой части бухты на илах, валунах и булыжниках от 1,5 до 10,0 м, в отдельных местах до 18,0 м. Средняя биомасса группировки *C. grayanus* составляет 948,0 г/м² (пределы — 27,5–3333,5 г/м²), доля руководящего вида — 80,5 %. Почти повсеместно здесь встречаются шаровидные морские ежи *Mesocentrotus nudus* (4,6 % от общей биомассы группировки) и *Strongylocentrotus intermedius* (1,3 %). Также многочисленными являются морские звезды *Patiria pectinifera* (1,5 %) и *Asterias amurensis* (0,7 %), модиолус *Modiolus kurilensis* обычен, его доля составляет 9,7 % от биомассы группировки. Вклад остальных видов не превышает 2 %.

2. Группировка *M. kurilensis* занимает большую часть котловины бухты на илах и заиленной гальке с ракушей в диапазоне глубин 1,5–16,3 м, а также на выходе у мыса Марковского на 18,3 м. Средняя биомасса группировки составляет 819,6 г/м² (пределы — 36,0–2228,9 г/м²), доля руководящего вида — 72,1 % от общей биомассы. *C. grayanus* является субдоминантом с долей 20,2 %. Повсеместно встречается морская

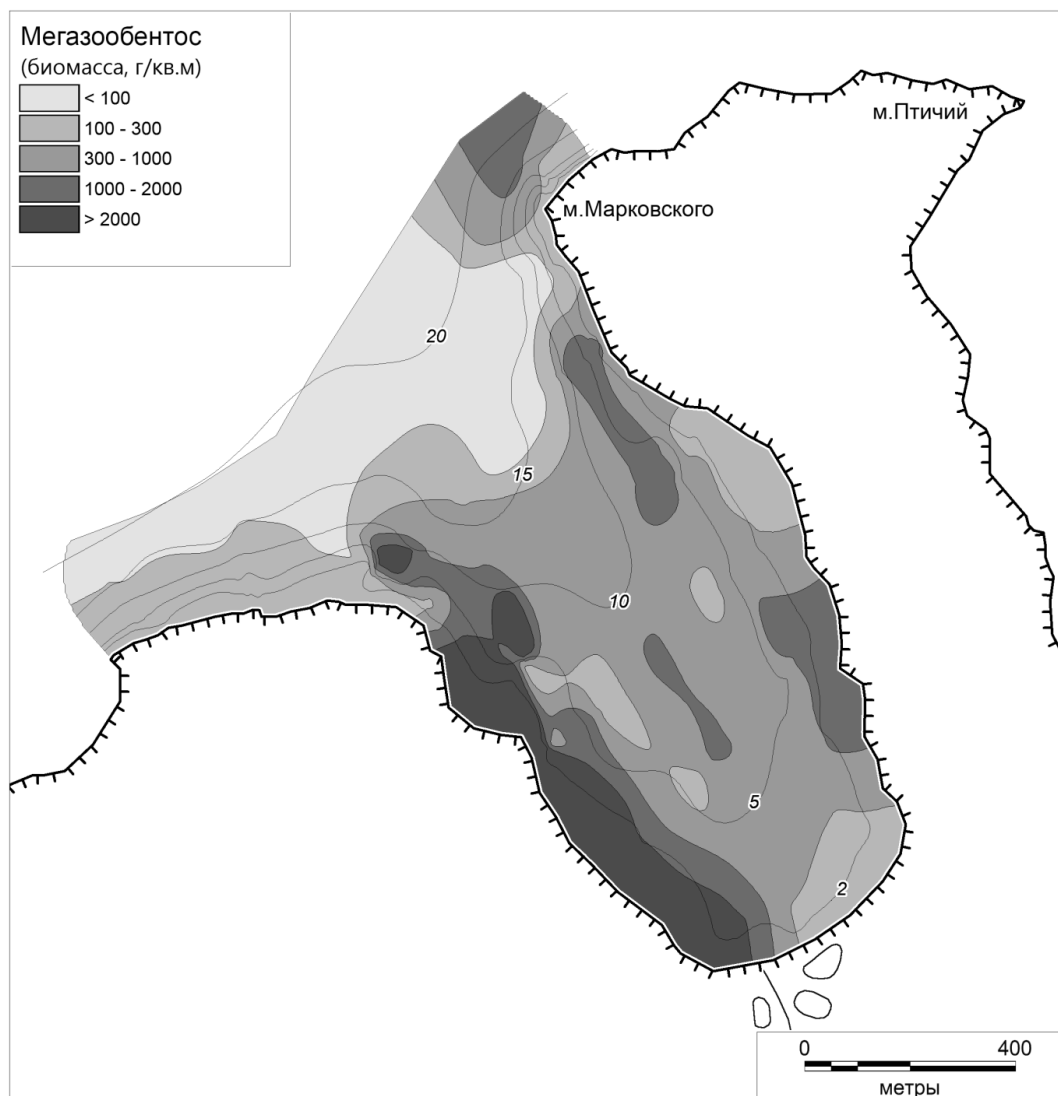


Рис. 2. Распределение биомассы мегазообентоса в бухте Алексева, 2017 г.

Fig. 2. Spatial distribution of the total megazoobenthos biomass in the Alekseev Bay in 2017

звезда *P. pectinifera* (3,8 %), массовыми являются морские ежи *S. intermedius* (1,7 %) и *M. nudus* (1,3 %). На остальных представителей мегазообентоса приходится менее 1 % биомассы группировки.

3. Группировка морских ежей *M. nudus* + *S. intermedius* отмечена вдоль бортов бухты от входных мысов до ее средней части: у северо-восточного берега в диапазоне глубин 1,4–3,8 м на гальке с песком и ракушей; у юго-западного берега разрозненно от 2,0 до 3,0 м на скально-валунных субстратах, в средней части бухты, уходя вглубь до 8,2 м. Средняя биомасса данной группировки составляет 136,0 г/м² (пределы — 75,7–280,4 г/м²), руководящие виды *M. nudus* и *S. intermedius* — соответственно 43,0 и 14,3 % от общей биомассы. Массовыми являются морские звезды *P. pectinifera* и *A. amurensis* с долями 10,7 и 10,6 %, обычна *Distolasterias nipon* с долей 2,2 %. Массовой является мидия *C. grayanus* — 11,0 %. У юго-западного побережья на глубине около 2,5 м встречается устрица *Crassostrea gigas* (1,7 %). Обычен хищный брюхоногий моллюск *Nucella heyseana* с долей 3,4 %. Другие представители мегазообентоса суммарно насчитывают 3,1 % от биомассы группировки.

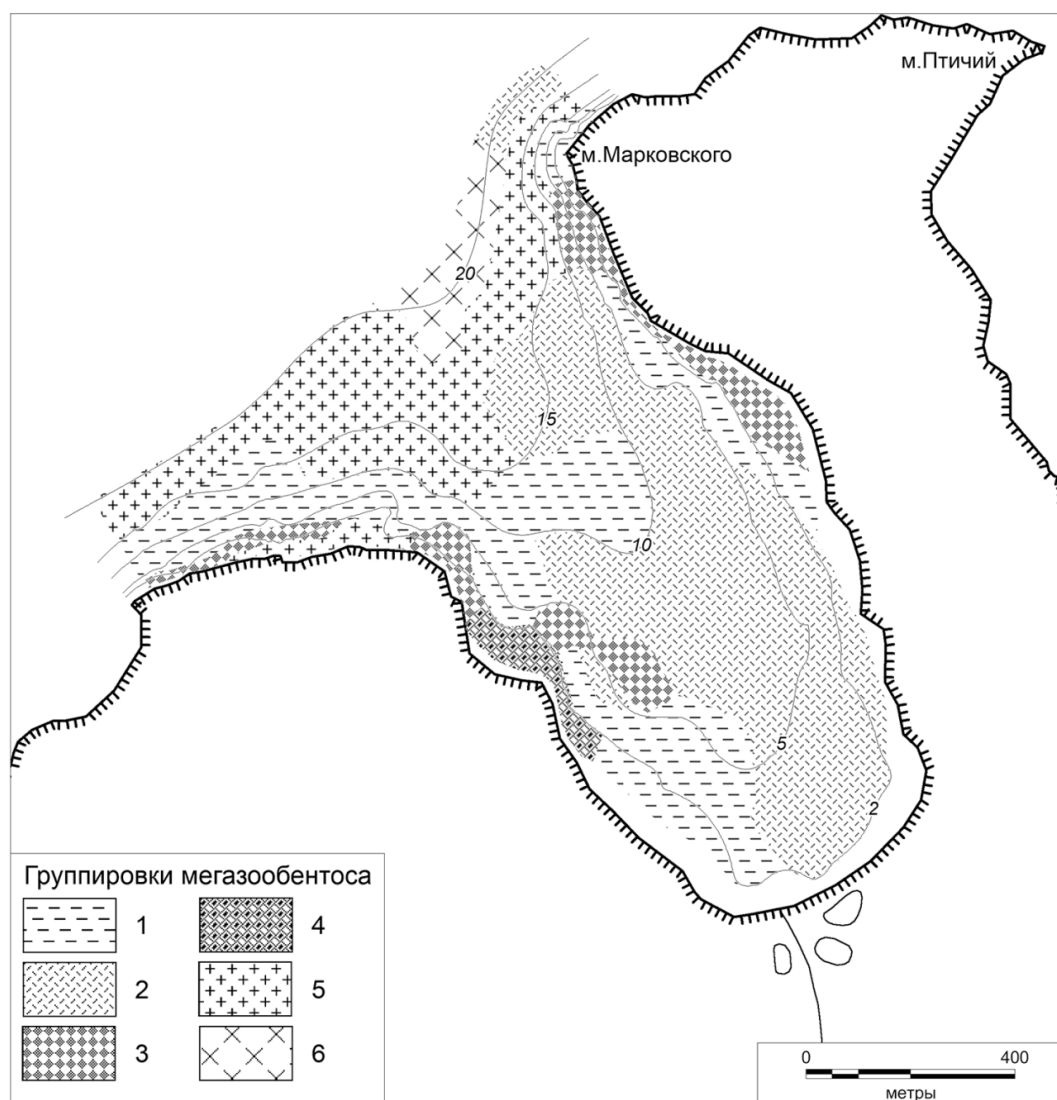


Рис. 3. Группировки мегазообентоса в бухте Алексева, 2017 г.: 1 — *Crenomytilus grayanus*; 2 — *Modiolus kurilensis*; 3 — *Mesocentrotus nudus* + *Strongylocentrotus intermedius*; 4 — *Crasostrea gigas* + *Crenomytilus grayanus*; 5 — *Asterias amurensis* + *Mesocentrotus nudus* + *Patiria pectinifera*; 6 — *Ophiura sarsi*

Fig. 3. Groupings of megazoobenthos in the Alekseev Bay in 2017: 1 — *Crenomytilus grayanus*; 2 — *Modiolus kurilensis*; 3 — *Mesocentrotus nudus* + *Strongylocentrotus intermedius*; 4 — *Crasostrea gigas* + *Crenomytilus grayanus*; 5 — *Asterias amurensis* + *Mesocentrotus nudus* + *Patiria pectinifera*; 6 — *Ophiura sarsi*

4. У юго-западного побережья на глубине 1,5–2,0 м на булыжниках и крупной гальке располагается группировка *C. gigas* + *C. grayanus* с наибольшими показателями средней биомассы всей исследованной акватории — 4907,6 г/м² (пределы — 2664,7–7150,7 г/м²) (рис. 4). Доля устрицы по биомассе составляет 61,4 %, мидии — 37,2 %. Другие представители мегазообентоса не играют заметной роли в данной группировке, их суммарная доля менее 2 %. Массовые виды — гребешок японский *Chlamys farreri*, черный морской еж *M. nudus*, морские звезды *A. amurensis* и *P. pectinifera*.

5. Группировка морских звезд и ежей *A. amurensis* + *M. nudus* + *P. pectinifera* располагается небольшой узкой полосой на скалах и валунах у юго-западного входного мыса бухты на глубине около 1,5 м и занимает обширную площадь илистого дна в

Таблица 2

Состав группировок мегазообентоса в бухте Алексеева, 2017 г.

Table 2

Species composition of the megazoobenthos groupings in Alekseev Bay in 2017

№ п/п	Сообщество; кол-во станций; глубина; ср. биом. $\pm$ ст. откл.	Таксон и вид	Группа	Встречи, %	Обилие	Биомасса, г/м ²	Кол-во, экз./м ²	Доля от биомассы, %
1	<i>Crenomytilus grayanus</i> ; 20 станций; 1,8–18,0 м; 948,0 $\pm$ 1022,3 г/м ²	<i>Crenomytilus grayanus</i>	Bi	100	м	763,8	8,7	80,5
		<i>Modiolus kurilensis</i>	Bi	10	о	91,6	0,6	9,7
		<i>Mesocentrotus nudus</i>	Ech	90	м	43,5	1,1	4,6
		<i>Patiria pectinifera</i>	As	65	м	14,3	1,1	1,5
		<i>Strongylocentrotus intermedius</i>	Ech	95	м	12,3	0,4	1,3
		<i>Asterias amurensis</i>	As	75	м	7,0	0,08	0,74
		<i>Chlamys swifti</i>	Bi	25	о	3,6	0,03	0,38
		<i>Mizuhopecten yessoensis</i>	Bi	25	о	2,4	0,01	0,25
		<i>Halocynthia aurantium</i>	Tu	15	о	0,9	0,01	0,09
		<i>Crassostrea gigas</i>	Bi	30	о	3,6	0,02	0,38
		<i>Tegula rustica</i>	Ga	15	о	1,5	0,35	0,2
		<i>Ezocallista brevisiphonata</i>	Bi	5	р	1,4	0,01	0,15
		<i>Protocallithaca adamsii</i>	Bi	5	р	0,4	0,005	0,05
		<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	De	10	о	0,3	0,05	0,032
		Loricata	Lo	20	о	0,3	0,31	0,031
		<i>Apostichopus japonicus</i>	Ho	25	о	0,21	0,003	0,022
		<i>Distolasterias nipon</i>	As	25	о	0,2	0,007	0,021
		<i>Balanus</i> sp.	Ci	10	о	0,16	0,017	0,02
		<i>Gigahomalopoma sangarense</i>	Bi	5	р	0,1	0,05	0,011
		<i>Styela clava</i>	Ho	10	о	0,09	0,015	0,01
		<i>Chlamys farreri</i>	Bi	10	о	0,036	0,001	0,004
		<i>Ophiura sarsi</i>	Oph	5	р	0,025	0,05	0,003
		<i>Scyra bidentata</i>	De	5	р	0,025	0,05	0,003
		<i>Glebocarcinus amphioetus</i>	De	5	р	0,02	0,005	0,002
		<i>Hiatella arctica</i>	Bi	5	р	0,005	0,05	0,001
2	<i>Modiolus kurilensis</i> ; 19 станций; 1,5–18,3 м; 819,6 $\pm$ 639,2 г/м ²	<i>M. kurilensis</i>	Bi	100	м	591,0	4,8	72,1
		<i>C. grayanus</i>	Bi	58	м	165,9	1,56	20,2
		<i>P. pectinifera</i>	As	100	м	31,3	4,06	3,8
		<i>S. intermedius</i>	Ech	63	м	14,3	0,5	1,7
		<i>M. nudus</i>	Ech	84	м	10,9	0,18	1,3
		<i>A. amurensis</i>	As	53	м	1,4	0,04	0,2
		<i>P. adamsii</i>	Bi	16	о	1,1	0,016	0,15
		<i>Balanus</i> sp.	Ci	5	р	1,0	0,05	0,12
		<i>M. yessoensis</i>	Bi	26	о	0,7	0,002	0,1
		<i>C. gigas</i>	Bi	5	р	0,56	0,0005	0,1
		<i>Tetrarca boucardi</i>	Bi	5	р	0,5	0,005	0,06
		<i>G. amphioetus</i>	De	5	р	0,25	0,05	0,05
		<i>A. japonicus</i>	Ho	5	р	0,2	0,001	0,02
		<i>S. clava</i>	Ho	10	о	0,16	0,05	0,02
		<i>Cucumaria frondosa japonica</i>	Ho	10	о	0,12	0,001	0,01
		Loricata	Lo	10	о	0,1	0,1	0,01
		<i>Ophiura sarsi</i>	Oph	10	о	0,05	0,1	0,01
		<i>D. nipon</i>	As	5	р	0,02	0,0005	0,01

Продолжение табл. 2
Table 2 continued

№ п/п	Сообщество; кол-во станций; глубина; ср. биом. $\pm$ ст. откл.	Таксон и вид	Группа	Встречи, %	Обилие	Биомасса, г/м ²	Кол-во, экз./м ²	Доля от биомассы, %
3	<i>Mesocentrotus nudus</i> + <i>Strongylocentrotus intermedius</i> ; 7 станций; 1,4–8,2 м; 136,0 $\pm$ 71,1 г/м ²	<i>M. nudus</i>	Ech	100	м	58,5	1,7	43,0
		<i>S. intermedius</i>	Ech	100	м	19,5	0,5	14,3
		<i>C. grayanus</i>	Bi	57	м	15,0	0,2	11,0
		<i>P. pectinifera</i>	As	86	м	14,6	1,2	10,7
		<i>A. amurensis</i>	As	86	м	14,4	0,1	10,6
		<i>Nucella heyseana</i>	Ga	14	о	4,6	0,4	3,4
		<i>D. nipon</i>	As	43	о	3,0	0,03	2,2
		<i>C. gigas</i>	Bi	28	о	2,3	0,03	1,7
		<i>Pagurus</i> spp.	De	14	о	1,4	0,14	1,0
		<i>Metridium senile</i>	Ac	14	о	0,7	0,01	0,5
		Actiniaria	Ac	14	о	0,7	0,1	0,5
		<i>T. rustica</i>	Ga	14	о	0,6	0,2	0,5
		<i>M. kurilensis</i>	Bi	14	о	0,23	0,001	0,2
		<i>Ch. swifti</i>	Bi	14	о	0,2	0,001	0,1
		<i>A. japonicus</i>	Ho	14	о	0,1	0,001	0,1
		<i>Ophiura sarsi</i>	Oph	14	о	0,07	0,1	0,1
		<i>Ch. farreri</i>	Bi	14	о	0,04	0,001	0,03
		<i>Pachycheles stevensii</i>	De	14	о	0,02	0,01	0,02
		<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	De	14	о	0,07	0,01	0,05
4	<i>Crassostrea gigas</i> + <i>Crenomytilus grayanus</i> ; 2 станции; 1,5–2,0 м; 4907,6 $\pm$ 3172,0 г/м ²	<i>C. gigas</i>	Bi	100	м	3014,0	27,0	61,4
		<i>C. grayanus</i>	Bi	100	м	1827,5	29,0	37,2
		<i>A. amurensis</i>	As	100	м	16,0	0,2	0,3
		<i>M. nudus</i>	Ech	100	м	6,3	0,6	0,12
		<i>P. pectinifera</i>	As	100	м	5,0	0,6	0,1
		<i>Ch. farreri</i>	Bi	100	м	3,8	0,07	0,1
		<i>M. kurilensis</i>	Bi	50	о	12,5	2,5	0,3
		<i>T. boucardi</i>	Bi	50	о	7,0	1,5	0,1
		<i>N. heyseana</i>	Ga	50	о	4,3	0,16	0,1
		<i>H. sanguineus</i>	De	50	о	4,7	1,0	0,1
		<i>T. rustica</i>	Ga	50	о	3,0	1,0	0,1
		<i>S. intermedius</i>	Ech	50	о	2,0	0,1	0,04
		<i>Ch. swifti</i>	Bi	50	о	0,7	0,005	0,02
		<i>D. nipon</i>	As	50	о	0,5	0,05	0,01
		<i>Mytilisepta keenae</i>	Bi	50	о	0,25	0,5	0,01
5	<i>Asterias amurensis</i> + <i>Mesocentrotus nudus</i> + <i>Patiria pectinifera</i> ; 8 станций; 1,5–18,5 м; 116,0 $\pm$ 89,0 г/м ²	<i>A. amurensis</i>	As	100	м	46,7	0,7	40,2
		<i>M. nudus</i>	Ech	87	м	32,5	0,6	28,0
		<i>P. pectinifera</i>	As	87	м	20,1	2,9	17,3
		<i>Balanus</i> sp.	Ci	25	о	9,0	6,7	7,7
		<i>N. hyesiana</i>	Ga	12	о	2,7	0,25	2,3
		<i>S. intermedius</i>	Ech	75	м	1,4	0,05	1,2
		<i>C. grayanus</i>	Bi	25	о	1,3	0,004	1,1
		<i>M. kurilensis</i>	Bi	25	о	0,6	0,002	0,5
		<i>C. frondosa japonica</i>	Ho	25	о	0,7	0,003	0,6
		<i>M. yessoensis</i>	Bi	12	о	0,3	0,001	0,3
		<i>D. nipon</i>	As	25	о	0,3	0,002	0,3
		<i>Telmessus cheiragonus</i>	De	12	о	0,2	0,001	0,25
		<i>A. japonicus</i>	Ho	12	о	0,1	0,001	0,12
		<i>M. senile</i>	Ac	12	о	0,06	0,001	0,05
		Actiniaria	Ac	12	о	0,06	0,001	0,05
		<i>Henricia</i> sp.	As	12	о	0,04	0,001	0,03

Окончание табл. 2
Table 2 finished

№ п/п	Сообщество; кол-во станций; глубина; ср. биом. ± ст. откл.	Таксон и вид	Группа	Встречи, %	Обилие	Биомасса, г/м ²	Кол-во, экз./м ²	Доля от биомассы, %
6	<i>Ophiura sarsi</i> ; 2 станции; 19,5–21,0 м; 55,1 ± 23,0 г/м ²	<i>O. sarsi</i>	Oph	100	м	19,0	45	34,6
		<i>P. pectinifera</i>	As	100	м	13,0	2,0	23,6
		<i>P. adamsii</i>	Bi	100	м	11,9	0,15	21,6
		<i>A. amurensis</i>	As	50	о	10,6	1,0	19,2
		<i>M. yessoensis</i>	Bi	50	о	0,5	0,005	1,0

Примечания. В столбце «Группа»: Ac — актинии, As — морские звезды, Bi — двустворчатые моллюски, Ci — усоногие раки, De — десятиногие раки, Ech — морские ежи, Ga — брюхоногие моллюски, Ho — голотурии, Lo — панцирные моллюски, Oph — офиуры, Tu — оболочники. В столбце «Обилие»: м — многочисленный, о — обычный, р — редкий.



Рис. 4. Группировка *Crassostrea gigas* + *Crenomytilus grayanus*
Fig. 4. Grouping of *Crassostrea gigas* + *Crenomytilus grayanus*

приглубой открытой ее части на глубине 11,0–18,5 м. Средняя биомасса группировки — 116,0 г/м² (пределы — 11,0–273,7 г/м²), доминант *A. amurensis* составляет 40,2 % от этой величины, субдоминанты *M. nudus* и *P. pectinifera* — соответственно 28,0 и 17,3 %. Массовым является морской еж *S. intermedius* — 1,2 % от общей биомассы. Морские желуди *Balanus* sp. обычны на скальных и илистых грунтах с долей 7,7 %. На глубине 15 м присутствуют *C. grayanus* и *M. kurilensis* — соответственно 1,1 и 0,5 %. На прочих представителей мегазообентоса приходится менее 4 % от биомассы группировки.

6. На выходе из бухты в диапазоне глубин 19,5–21,0 м на илах выделена группировка *O. sarsi* со средней биомассой 55,1 г/м² (пределы 38,7–71,6 г/м²), руководящий вид формирует 34,6 % биомассы. Массовыми видами здесь являются морская звезда *P. pectinifera* и двустворчатый инфаунный моллюск каллитака *P. adamsii*, составляющие соответственно 23,6 и 21,6 % биомассы. Морская звезда *A. amurensis* (19,2 % биомассы) и гребешок приморский *M. yessoensis* (1,0 %) находятся в статусе обычных видов.

Размерный состав массовых промысловых видов. При немалом количестве исследований, проведенных в бухте Алексева, ни в одной работе не демонстрируется размерный или весовой состав поселений массовых видов, несмотря на то что эти данные являются важнейшими показателями для оценки пополнения, роста и смертности. Многолетние изменения размерной структуры — не менее важный индикатор состояния популяции, чем динамика численности или биомасса [Буяновский, 2004].

Длина раковины мидии *C. grayanus* изменялась в пределах 25–184 мм (средняя — $83,8 \pm 2,7$ мм), индивидуальная масса — от 2 до 720 г (средняя — $119,1 \pm 10,5$ г). Частотное распределение моллюсков по длине раковины полимодальное, по индивидуальной массе характеризуется превалированием особей со значениями менее 20 г (25,4 %) и постепенной убылью численности в ряду возрастающих весовых классов. Мидии с длиной раковины менее 100 мм, являющиеся непромысловыми*, составили 65,4 % от общей численности. Наиболее крупные моллюски размером более 150 мм немногочисленны — 3,6 % от общей численности, особи с массой более 240 г — 12,7 % (рис. 5). Доминирование среднеразмерных особей на фоне присутствия крупных моллюсков позволяет присвоить данному поселению мидий статус сформированного с прерывистым пополнением.

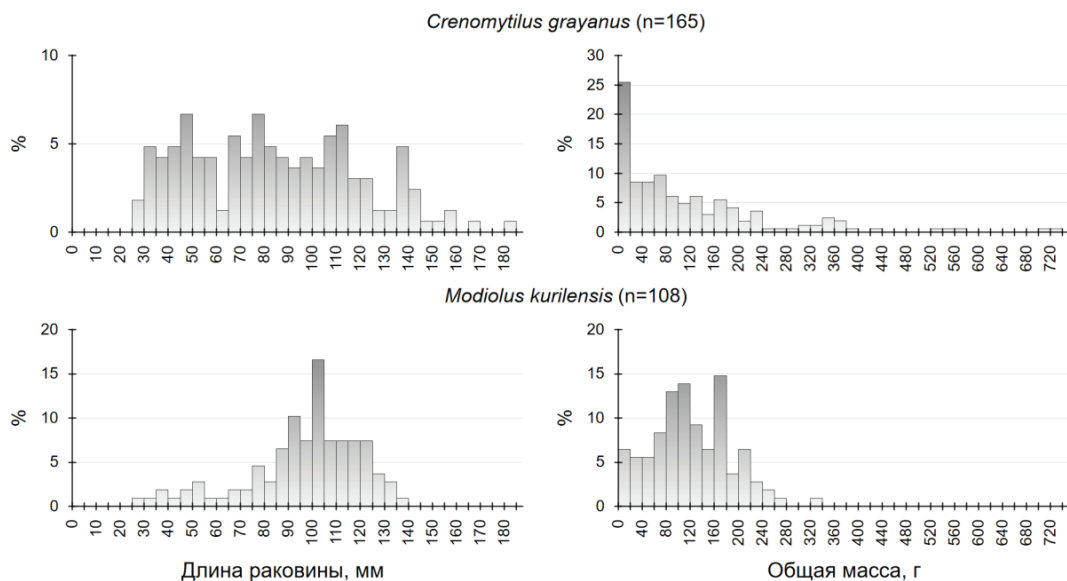


Рис. 5. Размерный (слева) и весовой (справа) составы поселений мидии и модиолуса
Fig. 5. Size (left) and weight (right) compositions of *C. grayanus* and *M. kurilensis*

Длина раковины модиолуса *M. kurilensis* — 29–137 мм (средняя — $96,3 \pm 2,2$ мм), индивидуальная масса — 3–321 г (средняя — $121,9 \pm 6,2$ г). В выборках преобладали особи с размером 85–125 мм (70,3 %) и индивидуальной массой от 80 до 180 г (57,4 %). Доля наиболее крупных моллюсков с размерами более 125 мм — 7,4 %, особи размером менее 100 мм составили 46,3 % от выборки (рис. 5). Поселение модиолуса можно охарактеризовать как сформированное с ослабленным пополнением.

Высота раковины устрицы *C. gigas* в наших сборах изменялась в пределах 2–275 мм (средняя — $90,5 \pm 4,6$ мм), индивидуальная масса — от 2 до 1061 г (средняя — $139,4 \pm 17,8$ г). Моллюски размером от 75 до 125 мм составили 70,3 % выборки (рис. 6). Индивидуальная масса большинства особей (84,3 %) не превышала 200 г. Доля непромысловых моллюсков (с высотой раковины менее 120 мм) была 84,3 %. В исследованном поселении устрицы отмечено наличие мелкоразмерных особей, значительное количество среднеразмерных и почти полное отсутствие крупных (старых) особей, что позволяет установить его статус как формирующееся.

Высота раковины гребешка приморского *M. yessoensis* — 83–160 мм (средняя — $112,6 \pm 2,3$ мм), индивидуальная масса — 70–546 г (средняя — $198,0 \pm 13,1$ г). Моллюски размером 95–125 мм составили 77,2 % от общей численности, с индивидуальной массой

* Приказ Минсельхоза России от 06.05.2022 № 285 (ред. от 22.10.2024) Об утверждении правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025) (<https://base.garant.ru/404781783/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>).

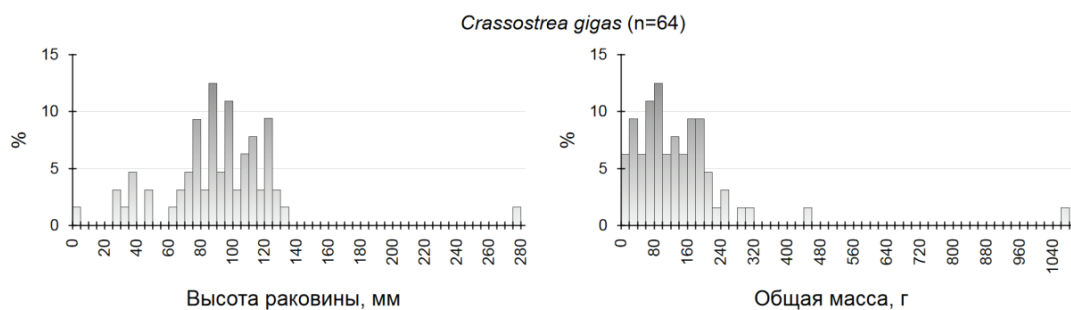


Рис. 6. Размерный (слева) и весовой (справа) составы поселения устрицы
Fig. 6. Size (left) and weight (right) compositions of *C. gigas*

от 100 до 240 г — 72,7 %. В размерном составе отмечается резкая убыль численности моллюсков с высотой раковины более 125 мм и массой свыше 240 г (рис. 7). Непромысловые особи (с высотой раковины менее 120 мм) составляют 68,2 %. Размерный состав исследованного поселения приморского гребешка характеризуется отсутствием мелкогазмерных (моладых) моллюсков и доминированием особей средних размеров. Статус данного поселения — сформированный с ослабленным пополнением. При отсутствии пополнения его статус может измениться на деградирующий, представленный только крупногазмерными (старыми) особями.

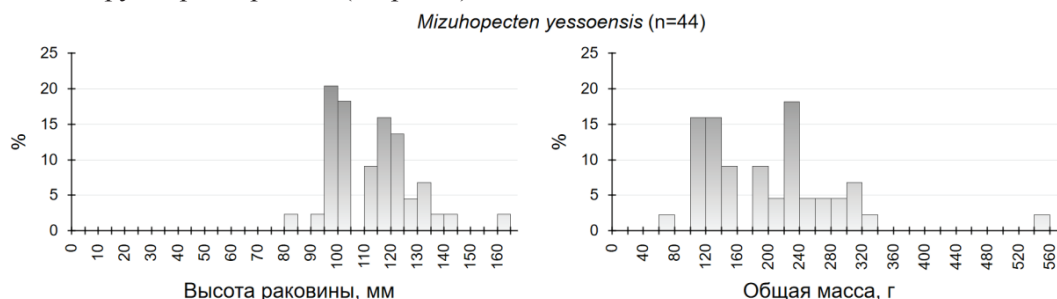


Рис. 7. Размерный (слева) и весовой (справа) составы поселения гребешка приморского
Fig. 7. Size (left) and weight (right) compositions of *M. yessoensis*

Диаметр панциря серого морского ежа *S. intermedius* в выборках варьировал в пределах 19–70 мм (средний — $43,6 \pm 1,8$ мм), индивидуальная масса изменялась от 4 до 140 г (средняя — $45,0 \pm 4,3$ г). Частотное распределение ежей как по размеру, так и по массе полимодальное, характерна резкая убыль особей по достижении диаметра панциря 60 мм. Непромысловые особи (с диаметром панциря менее 45 мм) составили 53,3 % от общей численности (рис. 8).

Диаметр панциря черного морского ежа *M. nudus* изменялся от 6 до 85 мм (средний — $44,2 \pm 1,7$ мм), индивидуальная масса — от 1 до 248 г (средняя — $49,7 \pm 4,9$ г). В выборках преобладали ежи с размерами от 35 до 60 мм (72,8 %) и массой 20–50 г (42 %). Так же как и в поселении серого морского ежа, доля особей с диаметром панциря более 60 мм резко сокращалась. Непромысловые особи (с диаметром панциря менее 55 мм) составили 77,7 % от общей численности (рис. 8).

Таким образом, для поселений двух видов морских ежей в бухте Алексеева характерна незначительная доля мелкогазмерных особей и доминирование среднеразмерных животных. Существует высокая вероятность недоучета мелких ежей, обитающих в убежищах, труднодоступных для водолазного учета. В целом размерный состав морских ежей характеризует их поселения как сформированные с прерывистым или ослабленным пополнением.

Подходя к оценке текущего состояния мегазообентоса в бухте Алексеева, сравним наши результаты с данными предшествующих работ. В 1968 и 1971 гг. в бухте

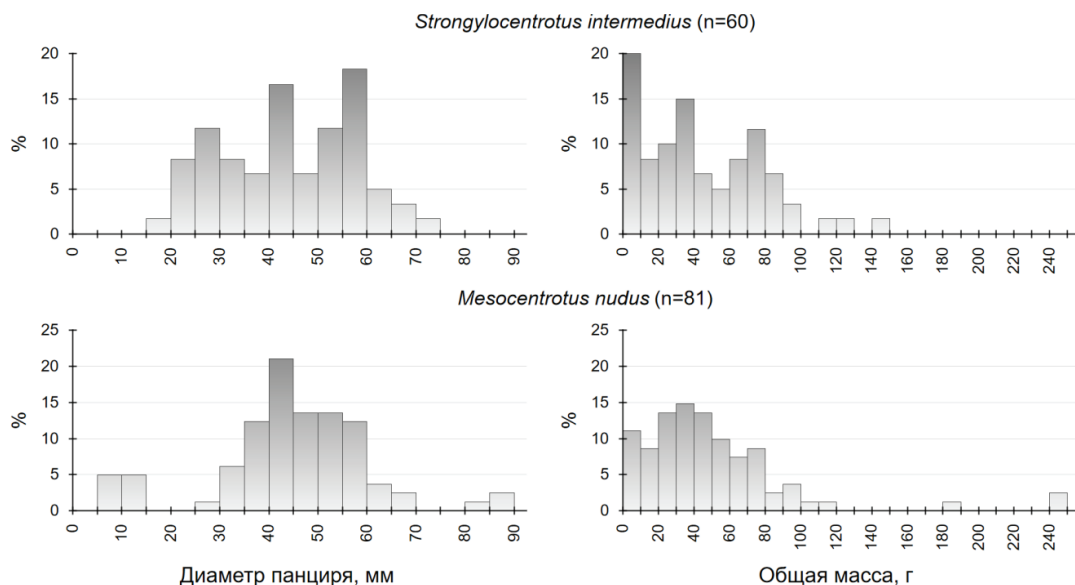


Рис. 8. Размерный (слева) и весовой (справа) составы поселений морских ежей
Fig. 8. Size (left) and weight (right) compositions of *S. intermedius* and *M. nudus*

были проведены гидробиологические исследования водолазным и дночерпательным способами, видовой список беспозвоночных превышал 250 видов, определено 15 бентосных сообществ, 8 из которых сублиторальные, приведены данные по обилию гидробионтов [Волова и др., 1980].

Средние показатели биомассы зообентоса в 1968 и 1971 гг. составили соответственно 818 и 497 г/м², на различия в оценке повлияла разница в местоположении станций, усредненное значение — 657 г/м² [Волова и др., 1980]. По результатам наших исследований этот показатель составил 799 г/м², что вполне сопоставимо с данными пятидесятилетней давности. Моллюски сохранили доминирующую позицию по показателям биомассы, иглокожие, как и прежде, являются субдоминантами, но если доля первых по нашим данным существенно возросла (с 45 до 90 %), то доля вторых значительно снизилась (с 33,0 до 9,5 %). Различия методик сбора материала не позволяют провести корректное сравнение показателей обилия по другим группам беспозвоночных.

Картирование пространственного распределения общей биомассы зообентоса в бухте ранее не приводилось, однако по описаниям можно заключить, что в настоящее время картина распространения обилия донного населения в целом соответствует ретроспективному и характеризуется аналогичной неравномерностью. Наибольшие значения биомассы отмечены на твердых субстратах у входных мысов и вдоль бортов бухты, наименьшие — на илах, занимающих среднюю часть котловины.

Расположение группировки мидии *C. grayanus* во многом совпадает с описанным ранее одноименным сообществом, она занимает значительную площадь дна исследованной акватории, области ее распределения прежние, за исключением района у северо-восточного побережья, где мидию заместил модиолус. Отмечено небольшое снижение средней биомассы группировки мидии по сравнению с показателями аналогичного сообщества 1970-х гг. — с 1273 до 948 г/м². Биомасса руководящего вида почти не изменилась: ранее 725 г/м², в настоящее время 764 г/м². Показатели обилия массовых и обычных видов (*M. nudus*, *S. intermedius*, *P. pectinifera*, *Ch. swifti* и *M. kurilensis*) практически остались прежними. Заметно уменьшилась биомасса *A. amurensis* — с 43,3 до 7,0 г/м². Отмечено катастрофическое снижение биомассы трепанга *A. japonicus* — с 52,4 до 0,2 г/м², асцидии пурпурной *H. aurantium* — с 74,4 до 0,9 г/м², а асцидия бугорчатая *H. roretzi* в наших исследованиях не встречена.

Сообщество модиолуса *M. kurilensis* в 1970-е гг. располагалось на небольших участках заиленного дна, теперь группировка с доминированием данного вида занимает наибольшую часть дна исследованной акватории. Расширение распространения модиолуса отмечалось в 2010 г. [Жариков, Преображенский, 2010]. В целом средняя биомасса группировки модиолуса с 1970-х гг. немного увеличилась, с 681,2 до 819,9 г/м², биомасса руководящего вида заметно возросла — с 275,6 до 591,0 г/м². Стоит отметить существенное увеличение обилия мидии *C. grayanus* — с 7,0 до 165,9 г/м², уменьшение биомассы трепанга с 44,4 до 0,2 г/м² и отсутствие асцидий *H. aurantium* и *H. roretzi*. Обилие морской звезды *P. pectinifera* практически не изменилось, тогда как биомасса *A. amurensis* заметно снизилась, с 4,9 до 1,4 г/м².

Обычно пространственное распределение сообществ на твердых грунтах постоянно, в отличие от распространения на мягких субстратах. Так, группировка морских ежей (*M. nudus* + *S. intermedius*) преимущественно сохранила места своей прежней локализации. Средняя биомасса данного формирования по сравнению с одноименным сообществом, описанным в 1970-х гг., уменьшилась с 477,2 до 135,9 г/м², закономерно снизилось и обилие руководящих видов: *M. nudus* — с 223,8 до 58,4 г/м² и *S. intermedius* — с 99,4 до 19,5 г/м². Упомянув характерные виды, отметим, что обилие *A. amurensis* не изменилось, у *P. pectinifera* уменьшилось с 56,9 до 14,6 г/м², а у *C. grayanus* возросло с 9,1 до 15,1 г/м². Почти не встречался характерный в прошлом трепанг *A. japonicus*, его обилие снизилось с 34,9 до 0,1 г/м², не отмечены *H. aurantium* и *Ch. swifti*.

Группировка с преобладанием устрицы (*C. gigas* + *C. grayanus*) впервые зафиксирована у юго-западного побережья бухты, в месте, где ранее доминировала мидия, которая в настоящее время здесь является субдоминантом. В 1970-е гг. взрослые особи устрицы отмечались только в сублиторальном сообществе zostеры *Zostera marina*, тогда как ювенильные встречались в большинстве сообществ, главным образом литоральных.

В открытой приглубой части бухты, где в 1970-е гг. доминировали инфаунные многощетинковые черви *Maldane sarsi*, а субдоминантами были морские звезды, нами околонтурена группировка морских звезд и ежей. Настоящими методами сбора практически не охвачены черви, обитающие в толще грунта. В исследованиях 2010 г. говорится о снижении доминирования *M. sarsi* в сообществах бухты из-за накопления органики [Жариков, Преображенский, 2010], но все же отмечается преобладание данного вида у входа бухты на глубине более 15 м [Федорец и др., 2011].

Сообщество асцидий (*H. aurantium* + *H. roretzi*) в центральной глубоководной части бухты, о котором упоминалось в 1970-е гг., в 2010 г. уже отсутствовало [Жариков, Преображенский, 2010], а на его месте доминировали инфаунные многощетинковые черви и офиуры. По результатам наших исследований здесь располагается группировка морских звезд и ежей. Данные сотрудников ТОИ ДВО РАН демонстрируют, что в 2009 и 2010 гг. асцидии встречались на камнях и скалах в открытой части бухты с максимальным обилием до 15 экз./м² на глубинах 7–10 м [Федорец и др., 2011], однако в настоящее время их встречаемость и обилие низкие.

На месте существовавшего в 1970-е гг. сообщества сердцевидного морского ежа и мидии Грея (*Echinocardium cordatum* + *C. grayanus*) в юго-западной части бухты сейчас доминирующая роль у мидии, а *E. cordatum* отсутствует.

Результаты настоящей работы демонстрируют, что средние показатели биомассы зообентоса, как и общая картина его пространственного распределения в бухте Алексеева, во многом схожи с данными предшествующих исследований. Главенствующую роль сохраняют фильтрующие сестонофаги — мидия Грея и модиолус. Но если площадь группировки мидии уменьшилась, то у модиолуса — возросла, данная тенденция отмечалась В.В. Жариковым и Б.В. Преображенским [2010].

Как и в прежние годы, заметная роль во всех сообществах принадлежит морским звездам — *P. pectinifera* и *A. amurensis*, однако если встречаемость и обилие первой за длительный срок практически не изменились, то второй — существенно снизились. Отмечено уменьшение обилия морских ежей скальных биотопов.

Теплый период года (лето — начало осени) не является оптимальным для учета трепанга, что связано с особенностями его нерестового поведения, поэтому оценки его обилия занижены. Однако сроки нашей съемки сопоставимы со сроками исследований пятидесятилетней давности [Волова и др., 1980], что позволяет сделать вывод о депрессивном состоянии поселения трепанга в настоящее время.

На акватории бухты нами не отмечено скоплений асцидий р. *Halocynthia*, а гребешок приморский встречен в разных биотопах, но с низкими показателями обилия.

Обнаружено поселение устрицы *C. gigas*, которое в предыдущих исследованиях не описано. Вероятно, массовое распространение устриц здесь произошло в последние несколько лет. Настоящее скопление способно обеспечить личиночный пул для экспансии моллюсков на близлежащие акватории.

Анализ размерного состава отдельных массовых видов беспозвоночных на исследованной акватории свидетельствует о стабильном состоянии их поселений.

Со времени первого масштабного исследования биоты бухты Алексеева прошло около 50 лет, в то время на акваторию еще не оказывалось существенного антропогенного воздействия. Затем, в результате деятельности хозяйства марикультуры по выращиванию гребешка и мидии, произошло накопление органических веществ в донных отложениях, что привело к перестройкам биоценозов преимущественно мягких грунтов. Впоследствии выяснилось, что эвтрофикация отрицательно сказалась на росте и жизнеспособности культивируемых объектов, и марикультурная деятельность была прекращена [Волова и др., 1980; Тарасова, 2004; Жариков, Преображенский, 2010].

Прошло около 30 лет после окончания деятельности марикультурного хозяйства, экологическая ситуация в бухте стала улучшаться, однако считается, что прошлое коренным образом повлияло на изменение ландшафтной структуры бухты [Жариков, Преображенский, 2010] и, вероятно, будет определять дальнейшую сукцессию донных сообществ. Приблизиться к пониманию дальнейших последствий антропогенной деятельности — задача сложная, тем более на фоне природных процессов циклического развития экосистем, влияния климатических процессов на них, а также природных аномальных явлений.

Ряд наблюдаемых изменений в бухте Алексеева, таких как расширение границ группировки с преобладанием модиолуса, объясняется увеличившимся заилинием грунта, наиболее выраженным в ее восточной части. Группировка мидии Грея лучше развита у западного побережья бухты, где среда наиболее динамична из-за открытости прибою при ветрах северных и северо-западных румбов. Низкое обилие приморского гребешка и трепанга обусловлено непрекращающимся браконьерством. А вот снижение обилия морских ежей, амурской звезды и асцидий, скорее всего, происходит вследствие более сложных причин, связанных с климатом и гидрологией.

Выводы

Исследования бентоса бухты Алексеева, выполненные за последние несколько десятилетий, демонстрируют достаточную устойчивость пространственного распределения и обилия массовых средообразующих представителей мегабентоса — мидии Грея, модиолуса, черного и серого морских ежей. Наблюдаемые процессы сукцессии донного населения обусловлены продолжительным воздействием в прошлом марикультурной деятельности, непрекращающимся браконьерством, рекреационной нагрузкой и климатическими изменениями.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The authors are grateful to anonymous reviewers for their valuable comments, which were taken into account when preparing the manuscript for publication.

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 соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования, сбор биологического материала, обработка данных, обсуждение результатов исследования и редактирование — совместно; написание текста — Р.В. Власенко.

Concept of the study, samples collection, data processing, results discussing — both authors jointly; text is written and illustrated by R.V. Vlasenko and finally edited by both authors.

Список литературы

Аверинцев В.К., Голиков А.Н., Сиренко Б.И., Шереметевский А.М. Количественный водолазный метод при проведении гидробиологических исследований // Подводные гидробиологические исследования. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1982. — С. 48–58.

Атлас мегабентосных организмов Баренцева моря и сопредельных акваторий / Захаров Д.В., Стрелкова Н.А., Манушин И.Е. и др. — Мурманск : ПИНРО, 2018. — 530 с.

Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М., Пронина О.А. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. — М. : ВНИРО, 2003. — 80 с.

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

Буяновский А.И. Пространственно-временная изменчивость размерного состава в популяциях двустворчатых моллюсков, морских ежей и десятиногих ракообразных : моногр. — М. : ВНИРО, 2004. — 306 с.

Вашенко М.А., Лучшева Л.Н., Жадан П.М. и др. Оценка экологической ситуации в бухте Алексеева (залива Петра Великого Японского моря) по биологическим и биогеохимическим показателям // Биол. моря. — 1999. — Т. 25, № 2. — С. 96–97.

Волова Г.Н., Жаккина Т.И., Микулич Л.В. Бентос бухты Алексеева (залив Петра Великого) // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 32–56.

Воробьев В.П. Бентос Азовского моря : моногр. — Симферополь : Крымиздат, 1949. — 193 с. (Тр. АзЧерНИРО; вып. 13.)

Гайко Л.А., Зимин П.С. Научные исследования на морской экспериментальной станции «Остров Попова» Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН: история и современное состояние (бухта Алексеева, Японское море) // Морские биологические исследования: достижения и перспектив : в 3-х т. : сб. мат-лов Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции / под общей ред. А.В. Гаевской. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. — Т. 1. — С. 21–24.

Гальцова В.В., Павлюк О.Н. Мейобентос в условиях марикультуры приморского грешка в бухте Алексеева Японского моря // Биол. моря. — 1993. — Т. 19, № 5/6. — С. 17–22.

Долматова Л.С., Долматов И.Ю., Добряков Ю.И., Косьяненко А.А. Исследование состояния биотопов голотурий и асцидий в бухте Алексеева (залив Петра Великого) // Современное состояние и тенденции изменения природной среды залива Петра Великого Японского моря. — М. : ГЕОС, 2008. — С. 261–270.

Ерунова М.Г., Гостева А.А. Географические и земельно-информационные системы. Ч. 2. Картографирование средствами инструментальной ГИС MapInfo. Методические указания. — Красноярск : Красн. гос. аграр. ун-т, 2004. — 83 с.

Жариков В.В., Преображенский Б.В. Ландшафтный мониторинг бухты Алексева (залив Петра Великого, Японское море) // Подводные исследования и робототехника. — 2010. — № 2(10). — С. 72–85.

Захаров Д.В., Стрелкова Н.А., Манушин И.Е. [и др.]. Атлас мегабентосных организмов Баренцева моря и сопредельных акваторий. — Мурманск, ПИНРО, 2018. — 530 с.

Мануйлов А.А. Подводные ландшафты залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ДВГУ, 1990. — 168 с.

Павлюк О.Н., Требухова Ю.А., Чернова Е.Н. Мейобентос в условиях марикультуры приморского гребешка в бухте Миноносков (залив Петра Великого Японского моря) // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 5. — С. 329–337.

Тарасова Т.С. Состав и распределение бентосных фораминифер в условиях марикультуры (залив Петра Великого, Японское море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2004. — 24 с.

Федоренко Ю.В., Шарова О.А., Косьяненко А.А. и др. Экологический мониторинг морской биоты бухты Алексева (залив Петра Великого) // Изв. Самарск. науч. центра РАН. — 2011. — Т. 13, № 1(6). — С. 1386–1392.

Шейко Б.А., Федоров В.В. Глава 1. Рыбообразные и рыбы // Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. — Петропавловск-Камчатский : Камч. печ. двор, 2000. — С. 7–69.

References

Averintsev, V.G., Golikov, A.N., Sirenko, B.I., and Sheremetevsky, A.M., Quantitative diving method of hydrobiological research, in *Podvodnyye gidrobiologicheskiye issledovaniya* (Underwater hydrobiological research), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1982, pp. 48–58.

Zakharov, D.V., Strelkova, N.A., Manushin, I.E., Zimina, O.L., Jørgensen, L.L., Luybin, P.A., Nosova, T.B., Zhuravleva, N.E., Golikov, A.V., and Blinova, D.Ju., *Atlas of the megabenthic organisms of the Barents Sea and adjacent waters*, Murmansk: PINRO, 2018.

Blinova, E.I., Vilkova, O.Yu., Milyutin, D.M., and Pronina, O.A., *Metodicheskie rekomendatsii po uchetu zapasov promyslovyykh gidrobiontov v pribrezhnoi zone* (Methodological Recommendations for the Inventory of Stocks of Commercial Aquatic Species in the Coastal Zone), Moscow: VNIRO, 2003.

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

Buyanovsky, A.I., *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' razmernogo sostava v populyatsiyakh dvustvorchatykh mollyuskov, morskikh ezhei i desyatinogikh rakoobraznykh* (Spatio-temporal Variability of Size Structure in Populations of Bivalve Mollusks, Sea Urchins, and Decapod Crustaceans), Moscow: VNIRO, 2004.

Vaschenko, M.A., Luchsheva, L.N., Zhadan, P.M., Bel'cheva, N.N., Syasina, I.G., and Silina, A.V., Assessment of Ecological Condition in the Alekseev Bight (Peter the Great Bay, the Sea of Japan) by Biological and Biogeochemical Parameters, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1999, vol. 25, no. 2, pp. 98–100.

Volova, G.N., Zhakina, T.I., and Mikulich, L.V., Benthos of Alekseeva Bay (Peter the Great Bay, in *Pribrezhnyy plankton i bentos severnoy chasti Yaponskogo morya* (Coastal plankton and benthos of the northern part of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1980, pp. 32–56.

Vorobyev, V.P., *Bentos Azovskogo morya* (Benthos of the Sea of Azov), Simferopol: Krymizdat, 1949.

Gayko, L.A. and Zimin, P.S., Scientific research at the Marine Experimental Station «Popov Island» of the V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences: History and Current state (Alekseev Bay, Sea of Japan), in *Morskie biologicheskiye issledovaniya: dostizheniya i perspektivy* (Marine biological research: achievements and prospects): collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 145th anniversary of the Sevastopol biological station, edited by A.V. Gaevskaya, Sevastopol: ECOSI-Gidrophysics, 2016, vol. 1, pp. 21–24.

Galtsova, V.V. and Pavlyuk, O.N., Meiobenthos in the areas of mariculture of the Japanese scallop *Mizuhopecten yessoensis* in Alekseev Bay (Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 1993, vol. 19, no. 5/6, pp. 17–22.

Dolmatova, L.S., Dolmatov, I.Yu., Dobryakov, Yu.I., and Kosyanenko, A.A., Study of the state of sea cucumber and ascidian biotopes in Alekseev Bay (Peter the Great Bay), in *Sovremennoe*

sostoyanie i tendentsii izmeneniya prirodnoi sredy zaliva Petra Velikogo Yaponskogo morya (Current State and Trends in the Natural Environment of Peter the Great Bay, Sea of Japan), Moscow: GEOS, 2008, pp. 261–270.

Erunova, M.G. and Gosteva, A.A., *Geographical and land information systems. Part 2. Mapping with MapInfo: guidelines*. Krasnoyarsk, 2004.

Zharikov, V.V. and Preobrazhensky, B.V., Ecosystem transformation and its eventual landscape manifestation in the aquaculture-affected Alekseeva Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan), in *Podvodnie issledovaniya i robototekhnika* (Underwater investigation and robotics), 2010, no. 2(10), pp. 72–85.

Manuylov, A.A., *Podvodnyye landshafty zaliva Petra Velikogo* (Underwater landscapes of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1990.

Pavlyuk, O.N., Trebuhov, J.A., and Chernova, E.N., Meiobenthos of Japanese scallop culture grounds in Minonosok Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2005, vol. 31, no. 5, pp. 329–337.

Tarasova, T.S., Composition and distribution of benthic foraminifera in mariculture conditions (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2004.

Fedorets, Yu.V., Sharova, O.A., Kosyanenko, A.A., Aksentov, K.I., Rakov, V.A., and Vasilyeva, L.E., Marine biota ecological monitoring in Alekseev Bay (Peter the Great Gulf), *Izv. Samarsk. nauch. tsentra RAN*, 2011, vol. 13, no. 1(6), pp. 1386–1392.

Sheiko, B.A. and Fedorov, V.V., Chapter 1. Fish-like and fishes, in *Katalog pozvonochnykh Kamchatki i sopredel'nykh morskikh akvatoriy* (Catalog of Kamchatka's vertebrates and adjacent marine areas), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatsky Pechatny Dvor, 2000, pp. 7–69.

World Register of Marine Species (WoRMS). <https://www.marinespecies.org/about.php>. Cited December 10, 2024.

<https://www.algaebase.org/>. Cited December 10, 2024.

Lotsiya severo-zapadnogo berega Yaponskogo morya. Ot reki Tumannaya do mysy Belkina (Northwestern Sea of Japan Coast Pilot. From the Tumen River to Cape Belkin), St. Petersburg: Gl. Upr. Navig. Okeanogr. Minist. Oborony, 1996, no. 1401.

Pravila rybolovstva dlya Dal'nevostochnogo rybokhozyaystvennogo basseyna. Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 06.05.2022 № 285 (s izmeneniyami na 22.10.2024) (Fishing Rules for the Far Eastern Fisheries Basin (as amended as of 22.10.2024). <https://docs.cntd.ru/document/350550495>. Cited December 10, 2024.

Поступила в редакцию 9.12.2024 г.

После доработки 6.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

The article was submitted 9.12.2024; approved after reviewing 6.03.2025; accepted for publication 10.03.2025

Научная статья

УДК 556.5

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-129-149

EDN: VPDKDX



**КРОНОЦКОЕ ОЗЕРО (П-ОВ КАМЧАТКА) — УНИКАЛЬНАЯ
ЛАБОРАТОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ: ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ
ВОДОЕМА И ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА**

Л.А. Анисимова¹, С.Л. Горин¹, Г.Н. Маркевич^{2*}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19;

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
119071, г. Москва, Ленинский проспект, 33

Аннотация. Представлены результаты исследования термодинамического и кислородного режима Кроноцкого озера — крупнейшего пресного водоёма на Камчатке, уникальной природной лаборатории эволюции. Именно в этом озере ранее был описан самый большой из известных в мире симпатрических пучков форм лососёвых рыб, а с 2010 г. проводятся экосистемные, в том числе гидрологические, исследования. Обсуждается история изучения озера и ее отражение в научной литературе. Приводятся сведения о морфометрии озера, присущих ему колебаниях уровня воды, ледовых явлениях, пространственно-временной изменчивости температуры воды и содержания кислорода, ветровом и конвективном перемешивании. Обсуждаются причины таких важных для существования и формообразования лососевых рыб особенностей озера, как его холодноводность и высокое содержание в нем кислорода, а также значительная пространственная неоднородность поля поверхностной температуры.

Ключевые слова: Кроноцкое озеро, Камчатка, термодинамика, кислород, симпатрия

Для цитирования: Анисимова Л.А., Горин С.Л., Маркевич Г.Н. Кроноцкое озеро (п-ов Камчатка) — уникальная лаборатория эволюции: гидрологическая изученность водоема и основные черты его гидрологического режима // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 129–149. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-129-149. EDN: VPDKDX.

* Анисимова Людмила Александровна, главный специалист, anisimova@vniro.ru, ORCID 0000-0003-3873-2306; Горин Сергей Львович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, gorinser@mail.ru, ORCID 0000-0001-8436-8379; Маркевич Григорий Николаевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, g-markevich@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6893-4286.

© Анисимова Л.А., Горин С.Л., Маркевич Г.Н., 2025

Original article

Kronotskoe Lake (Kamchatka Peninsula) — a unique laboratory of evolution: hydrological studies on the reservoir and the main features of its hydrological regime

Lyudmila A. Anisimova*, Sergey L. Gorin, Grigory N. Markevich*****

*, ** Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

*** Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Ac. Sci.,
33, Leninsky Prospekt, Moscow, 119071, Russia

* chief specialist, anisimova@vniro.ru, ORCID 0000-0003-3873-2306

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

*** Ph.D., senior researcher, g-markevich@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6893-4286

Abstract. Lake Kronotskoe is the largest freshwater body in Kamchatka. It is a unique natural laboratory of evolution: the largest in the world sympatric flock of salmonids has been described here. Complex ecosystem researches, including hydrological surveys, are conducted on the lake since 2010. Thermodynamic and oxygen regime of this dimictic water body are described, preceded by history of researches and review of scientific literature. Data on morphometry of the lake, its water level fluctuations, ice phenomena, spatio-temporal variability of water temperature and dissolved oxygen content, wind and convective mixing are provided. Specific features of the lake, important for salmonids, as a large cold water mass, high oxygen saturation, and spatial heterogeneity of the surface temperature are discussed.

Keywords: Kronotskoe Lake, Kamchatka, thermodynamics, dissolved oxygen, sympatry

For citation: Anisimova L.A., Gorin S.L., Markevich G.N. Kronotskoe Lake (Kamchatka Peninsula) — a unique laboratory of evolution: hydrological studies on the reservoir and the main features of its hydrological regime, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 129–149. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-129-149. EDN: VPDKDX.

Введение

Кроноцкое озеро находится в горах восточной части п-ова Камчатка, образовалось более 11,7 тыс. лет назад в результате извержения вулканов Крашенинникова и Кроноцкой сопки [Мелекесцев, 1980]. Лавовые потоки перегородили р. Пра-Кроноцкую и образовали плотину, после чего в озере оказались изолированными два вида рыб: мальма и нерка. За прошедшее время оба вида рыб диверсифицировали — разделились на несколько генетически и/или морфологически обособленных групп. Важно, что это произошло в пределах единого водоема, внутри которого отсутствуют непреодолимые для рыб барьеры. Подобное явление называется симпатрическим формообразованием [Darwin, 1859; Kondrashov, Mina, 1986], а образовавшиеся группы родственных животных — симпатрическими «пучками» форм [Greenwood, 1984]. В настоящее время в Кроноцком озере описаны 10 форм гольцов и 2 формы озерной нерки (кокани) [Markevich et al., 2021a, 2022; Markevich, Esin, 2025]. И пока это самый разнообразный из известных науке симпатрический комплекс лососевых в мире [Markevich et al., 2018; Маркевич и др., 2019]. Благодаря этому Кроноцкое озеро можно считать уникальной природной лабораторией, имеющей мировое значение для исследований симпатрического видообразования позвоночных животных.

Ранее было показано, в том числе на примере Кроноцкого озера, что существуют общие механизмы инициации, поддержания и развития симпатрического формообразования; решающую роль при этом играет не столько биология вида, сколько комплекс факторов окружающей среды [Есин, Маркевич, 2017]. Так, в пресных водоемах северных широт одним из ключевых факторов формообразования является температура, которая определяет различия в местах и сроках нереста, кормовой базе, сроках инкубации, темпах роста рыб [Markevich et al., 2021a]. Таким образом, для понимания протекающих в Кроноцком озере эволюционных процессов необходимо знание его гидрологического

режима. Но до недавнего времени даже об основных гидрологических характеристиках озера — температуре и уровне воды, насыщении воды кислородом, ледовых явлениях и т.п. — были известны лишь отрывочные факты. Для биологических исследований это представляло собой проблему, которая в значительной степени была решена благодаря нашей работе.

Цель настоящей статьи — дать общее представление об основных чертах современного термодинамического и кислородного режима Кроноцкого озера в контексте возможного влияния гидрологических условий этого водоема на формирование его уникальной ихтиофауны.

Материалы и методы

Статья основана на полевых данных, которые собирались более 10 лет — в 2010–2022 гг. В связи с поставленной целью в статье подробно рассмотрена история исследования озера и ее отражение в научной литературе.

Общие сведения об озере. Кроноцкое озеро — крупнейший пресный водоем п-ова Камчатка. Оно расположено между 54°42′ и 54°55′ с.ш. и 160°00′ и 160°22′ в.д., на высоте 372 м над уровнем моря, в 40 км от берега Тихого океана, на территории Кроноцкого заповедника, в 250 км к северо-востоку от г. Петропавловска-Камчатского и не подвержено антропогенному влиянию (рис. 1).

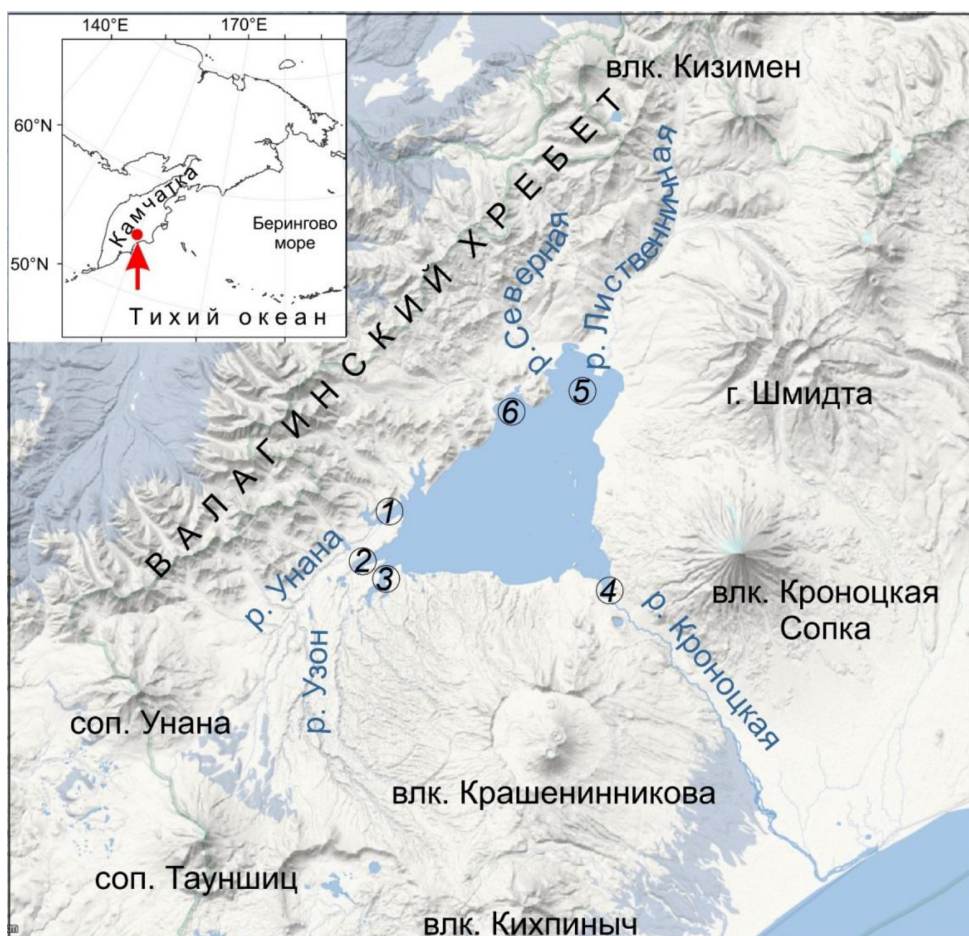


Рис. 1. Бассейн Кроноцкого озера: 1 — зал. Уна́на; 2 — зал. Узо́н; 3 — зал. Крашенинникова; 4 — зал. Кродакы́г; 5 — зал. Камчадалов; 6 — зал. Лаге́рья

Fig. 1. Scheme of Lake Kronotskoye: 1 — Unana Bay; 2 — Uzon Bay; 3 — Krashenninnikov Bay; 4 — Krodakyg Bay; 5 — Kamchadalov Bay; 6 — Lagerya Bay

В плане озеро напоминает треугольник, который с трёх сторон окружён горами. В 30 км к северу от озера расположен вулкан Кизимен, который в ноябре 2010 г. перешёл в активную стадию извержения, после чего частицы его пирокластического материала стали поступать в озеро и на его водосбор.

В озеро впадает около 30 рек и ручьев, самые крупные — Унана, Лиственничная, Северная и Узон (рис. 1), а вытекает р. Кроноцкая, первые 16 км которой представляют собой систему порогов, непреодолимых для анадромных рыб. На озере расположены 11 островов суммарной площадью ~0,5 км².

Берега озера изрезаны слабо, за исключением его юго-западной части, где расположены узкие фьордообразные заливы Унана, Узон и Крашенинникова (рис. 1).

Климат в районе озера имеет ярко выраженную муссонность. Зимой преобладают северные и северо-западные ветры, а летом — южные и юго-восточные. Погода очень неустойчива: зимой случаются оттепели, а летом понижения температуры воздуха до 0 °С. Летом часто наблюдаются различия в погоде в северной и южной частях озера. Юго-восточный угол больше подвержен влиянию океана (например, в летний период, особенно в июне, там часты адвективные туманы). По данным реанализа MERRA-2 за 2000–2023 гг. средняя годовая температура воздуха в районе озера составила минус 2,3 °С, самый холодный месяц года — январь (минус 16,2 °С), самые теплые месяцы — июль и август (13,9 и 12,2 °С). Средняя годовая сумма осадков, выпадающих на акваторию озера, за этот период — 1190 мм (на склонах окружающих водоем гор осадков выпадает еще больше). Более 60 % осадков выпадает в холодный период (с октября по апрель). Первый снег выпадает в начале октября, устойчивый снежный покров формируется к концу октября или в ноябре. К апрелю толщина снежного покрова достигает 1 м и больше [Агарков и др., 1975]. Таяние снега начинается в конце апреля, заканчивается в конце мая — июне. Наиболее ветреным является холодный период (средняя суточная скорость ветра на высоте 10 м 5,18 м/с), в летние месяцы ветер ослабевает (2,66 м/с). Для теплой части года характерны бризовые ветры [Агарков и др., 1975].

Гидрологическая изученность озера. Данные о Кроноцком озере накапливались в продолжение почти трех столетий, в соответствии с этим менялись и уточнялись представления об этом водоеме.

Первые упоминания Кроноцкого озера принадлежат С.П. Крашенинникову [1755], который путешествовал по восточному берегу Камчатки в 1739 г. и об озере написал со слов местных жителей.

В 1908–1910 гг. озеро посетила Камчатская экспедиция Ф.П. Рябушинского, снаряженная Русским географическим обществом [Лебедев, 1911, 1915; Комаров, 1912; Шмидт, 1916]. В результате были получены общие сведения об озере и его берегах. Были выдвинуты первые предположения о происхождении озера, определены его приблизительные координаты и высотная отметка уреза, сделаны первые схемы глубин и берегов.

Зимой 1935 г. Камчатское отделение ТИНРО (КоТИНРО, теперь КамчатНИРО) организовало экспедицию на Кроноцкое озеро для изучения его ихтиофауны [Крохин, 1936]. Участники экспедиции несколько раз измерили температуру поверхности воды, а также температуру на двух вертикалях в разных частях озера, отобрали пробы воды для химического анализа, собрали донный грунт и пробы зоопланктона.

В 1952–1957, 1959 гг. рыбохозяйственные исследования на озере проводили сотрудники КоТИНРО — Е.М. Крохин и И.И. Куренков. Основным объектом их изучения была озерная форма нерки [Крохин, Куренков, 1964]. Кроме того, они оценили продукцию фитопланктона, отобрали пробы зоопланктона, измерили температуру воды в сентябре на трех вертикалях в разных частях озера [Крохин, Куренков, 1964; Куренков, 1978, 1984, 2005].

С 1961 по 1966 г. на двух притоках озера (реки Лиственничная и Унана) действовали гидрометрические посты Камчатского УГМС [Ресурсы..., 1973]. Данные измерений были опубликованы в Гидрологических ежегодниках.

С сентября 1966 по июнь 1973 г. на озере (в связи с предполагаемым строительством ГЭС на вытекающей из озера р. Кроноцкой) работала экспедиция Ленгидропроекта [Агарков и др., 1975]. В бассейне озера и на р. Кроноцкой была организована сеть постов, на которых проводились систематические измерения уровня и температуры воды. На постах на реках Кроноцкой и Лиственничной измеряли скорости и расходы воды. Около истока реки работала метеостанция, в зал. Кродакыг регулярно, с периодичностью 1–3 раза в месяц, выполнялись температурные разрезы (5–8 вертикалей по 6 горизонтов на каждой). В озерном заливе измеряли испарение, параметры волн по волномерной рейке, определяли направление течений, проводили водолазное обследование подводного склона. Отдельное внимание уделили становлению и сходу ледяного покрова, распределению и размеру льдин при ледоходе, а также химическому составу воды. Результаты исследований отражены в ныне малодоступных отчетах Ленгидропроекта (1968, 1969, 1970, 1971, 1972), а также в одной статье [Агарков и др., 1975].

С 1967 по 1976 г. на озере работал сотрудник КоТИНРО С.И. Куренков, который изучал внутривидовую структуру кокани (озерной формы красной) [Куренков, 1972, 1974, 1977, 1979; Черненко и др., 1980; Бугаев, Куренков, 1985]. В 1970–1972 гг. три полевых сезона на озере провел ихтиолог Р.М. Викторовский. Целью его исследований были морфология и кариология гольцов, попутно он фиксировал некоторые данные и по биологии гольцов [Викторовский, 1978]. В 1989–1990 гг. на озере работали сотрудники Института биологии моря ДВО РАН, изучавшие систематику гольцов [Глубоковский, Шевчук, 1994]. В 2003–2004 гг. на озере работала совместная экспедиция Института биологии моря ДВО РАН и Кроноцкого заповедника. Исследовали кариологию, систематику и паразитологию рыб [Романов и др., 2003, 2007, 2011; Паренский и др., 2004; Буторина и др., 2008]. В 2003 и 2004 гг. на озере работали ихтиологи из Московского государственного университета — соответственно Ostberg с соавторами [2009] и Г.Н. Маркевич [2008]. Все перечисленные выше работы были сугубо биологическими, вопросы гидрологии в публикациях не освещались.

Таким образом, к 2010 г. по гидрологии Кроноцкого озера было известно следующее: для всего озера — основные морфометрические характеристики (длина, ширина, площадь; конфигурация берегов), а также вертикальное распределение температуры на нескольких вертикалях в сентябре и в апреле (1967–1972 гг.); только для зал. Кродакыг — внутригодовые колебания уровня, характеристики волн, даты становления и схода льда, вертикальное распределение температуры воды в разные сезоны (1967–1972 гг.); расходы и скорости течения на р. Кроноцкой [Крохин, 1936; Крохин, Куренков, 1964; Агарков и др., 1975].

Наши гидрологические исследования на Кроноцком озере проводились в рамках комплексной работы по изучению процессов микроэволюции эндемичной ихтиофауны в этом водоеме. Работа была начата в 2010 г. и продолжается по сей день под общим руководством сотрудников Института проблем экологии и эволюции РАН (г. Москва) Г.Н. Маркевича и Е.В. Есина [Markevich et al., 2018].

Наиболее масштабные гидрологические исследования на озере и его притоках были проведены в 2010–2014 гг. В 2015 и 2018 гг. исследовались только притоки озера. С ноября 2019 г. до августа 2021 г. в озере работали логгеры температуры воды. В феврале 2020 г. и в декабре 2022 г. в озере было выполнено по одной гидрологической съемке.

Для получения представлений о современных морфометрических характеристиках озера произвели промеры глубин. Методика проведения этих работ опубликована ранее [Аракельянц, Ткаченко, 2012].

Пространственно-временную изменчивость основных гидрологических характеристик озера изучали методом гидрологических съемок по сетке станций (рис. 2). В разные годы количество станций варьировало от 4 до 28 (табл. 1). При этом использовали гидрологический зонд, оборудованный датчиками давления (глубины), температуры,

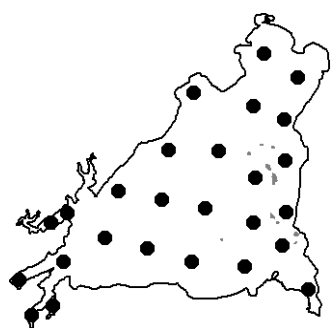


Рис. 2. Схема расположения станций гидрологических съемок
Fig. 2. Scheme of hydrological stations location

Общая информация о гидрологических съемках на Кроноцком озере

Таблица 1

Table 1

General information about hydrological surveys of Lake Kronotskoe

Период работ	Объем работ
Июль-сентябрь 2011 г.	6 съемок по 7–26 станций
Июль-октябрь 2012 г.	6 съемок по 16–27 станций
Июнь-сентябрь 2013 г.	4 съемки по 21–28 станций
Июнь-ноябрь 2014 г.	3 съемки по 12–20 станций
Февраль 2020 г.	1 съемка — 5 станций
Декабрь 2022 г.	1 съемка — 4 станции

Примечание. Периодичность съемок выбиралась через равные интервалы.

электропроводности, растворенного кислорода и мутности воды. Точность измерения характеристик составляла: глубины — $\pm 0,05$ %, температуры — $0,002$ °C, электропроводности — $\pm 0,003$ мкСм/см, мутности — ± 2 %, содержания кислорода ± 2 %.

Для получения более полного представления о термическом режиме в озеро и в его притоки были установлены соответствующие логгеры (табл. 2, рис. 3).

Основные сведения о наблюдениях за температурой воды с помощью логгеров

Таблица 2

Table 2

General information about water temperature monitoring with loggers

Продолжительность измерений	Кол-во станций	Горизонты (глубины, м)	Номера на карте (рис. 2)
27.06–26.10.14	3	0,5	1, 2, 3
29.06–18.08.14	4	0,5; 5,0; 10,0	4, 5, 6, 7
22.11.19–23.08.21	4	От поверхности до дна через 10 м (всего 26 приборов до глубины 120 м)	8, 9, 10, 11

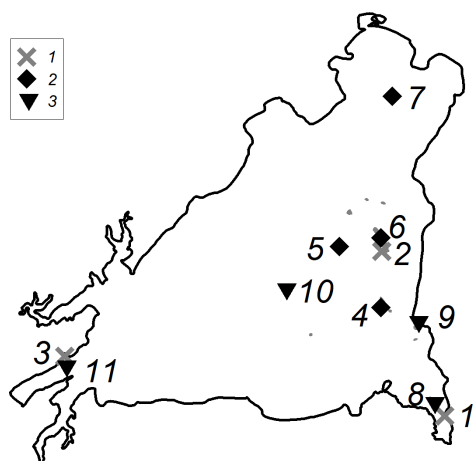


Рис. 3. Места установки логгеров температуры: 1 — сезонные поверхностные, 2 — сезонные на нескольких горизонтах, 3 — годовые

Fig. 3. Scheme of the temperature loggers location: 1 — seasonal at the surface, 2 — seasonal at several depths, 3 — annual

Для оценки характерных дат начала и конца ледостава, а также его продолжительности были проанализированы космические снимки Modis (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) за 2000–2023 гг. Для описания современного климата в районе озера использованы метеорологические данные с сайта (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>), на котором представлены результаты ретроспективного анализа MERRA-2.

Для анализа вертикальных распределений температуры воды все исходные измерения были проинтерполированы по вертикали с шагом 0,5 м. Слой скачка в озере выделяли по методике, приведенной М.А. Науменко, В.В. Гузиватым [2022], согласно которой градиент плотности в слое скачка должен быть не менее $0,5 \cdot 10^{-4}$ г/м³/м. Плотность воды рассчитывали по уравнению состояния пресной воды Чена-Миллера [Chen, Millero, 1986]. Верхняя граница слоя скачка — это толщина эпилимниона, а нижняя является верхней границей гиполимниона.

Результаты и их обсуждение

Морфометрия озера. По нашим измерениям площадь водного зеркала озера ($F_{оз}$) составляет 246 км²; объем озера (W) равен 14,4 км³ (рис. 4, 5), площадь водосбора ($F_{бас}$) — 2330 км². Максимальная глубина озера ($H_{ср}$) — 136 м, средняя глубина ($H_{ср} = W/F_{оз}$) — 58 м. Удельный водосбор ($F_{бас}/F_{оз}$) равен ~9,47, показатель формы озерной котловины ($H_{ср}/H_{макс}$) ~0,43. Коэффициент условного водообмена озера (отношение годового стока р. Кроноцкой по данным Ленгидропроекта за 1967–1968 гг. к объему озера) равен ~0,13 в маловодные и ~0,18 в многоводные годы. Расходы крупнейших притоков озера и вытекающей из него р. Кроноцкой представлены в табл. 3. В подводном рельефе озера прослеживаются долины затопленных пра-рек: еще до образования Кроноцкого озера они сливались в центральной части современной котловины, и в то

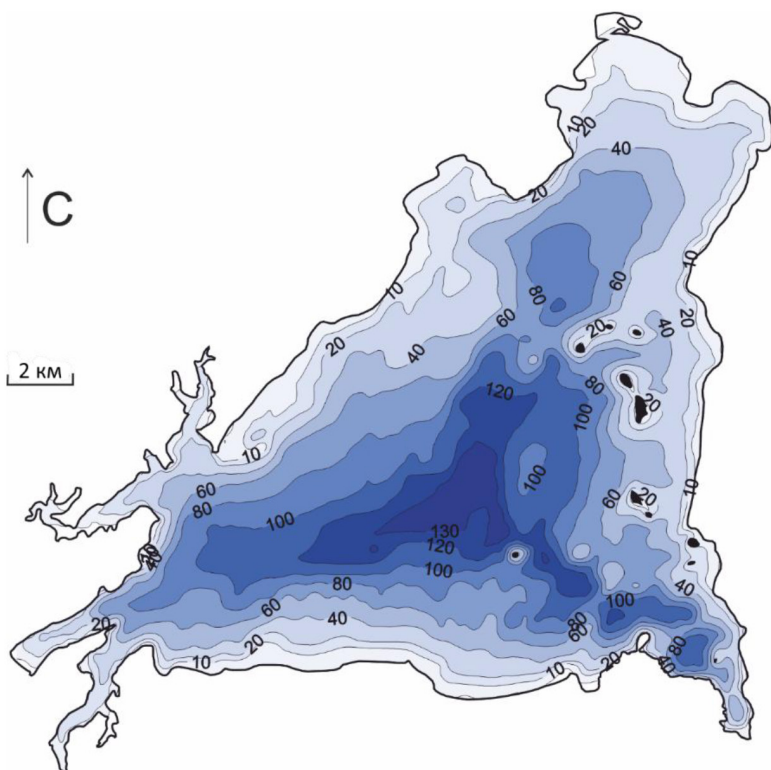


Рис. 4. Карта глубин Кроноцкого озера, построенная по результатам промеров глубин в 2010 г. [Аракельянц, Ткаченко, 2012]

Fig. 4. Bathymetry of Lake Kronotskoe on results of depth measurements in 2010 [Arakelyants, Tkachenko, 2012]

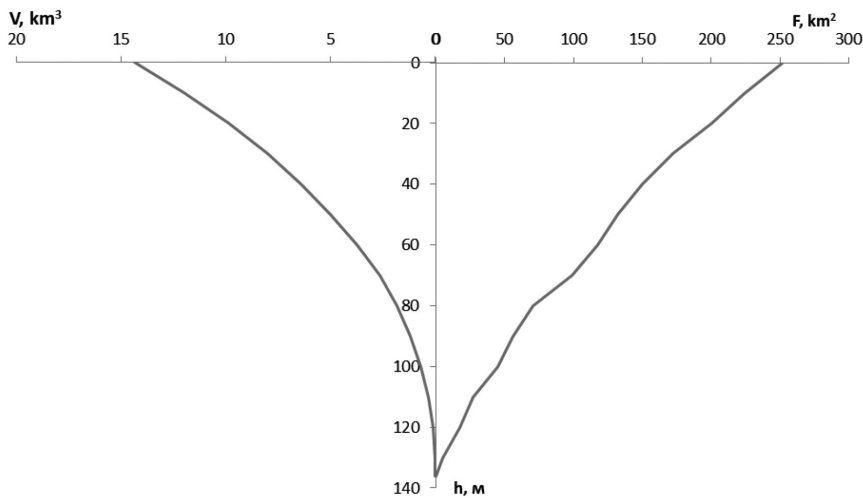


Рис. 5. Кривые площадей и объемов Кроноцкого озера построены на основе карты глубин с шагом через 10 м от 0 до 136 м. Объем воды, заключенный под каждой изобатой, рассчитан по формуле усеченного конуса

Fig. 5. Surface area and the volume below the surface for certain depths in Lake Kronotskoe, with a step of 10 m from 0 to 136 m (the volumes between isobaths are approximated by truncated cones)

время здесь, возможно, существовал небольшой пра-водоем. Согласно исследованиям Ленгидропроекта [Агарков и др., 1975] около 30 % стока из озера происходит под землей — фильтруется через порог (вулканическую плотину) в истоке р. Кроноцкой.

Таблица 3

Расходы воды некоторых водотоков в летнюю межень (начало августа 2011 г.)

Table 3

Water discharge of some watercourses in summer low flow (early August, 2011)

Приток		Сток	
Река	Q, м³/с	Река	Q, м³/с
Унана	16,0	Кроноцкая	66,7
Лиственничная	9,87		
Узон	5,47		
Северная	5,39		

Уровень воды. По данным логгеров давления, установленных в зал. Кродакыг, колебания уровня воды за период с ноября 2019 г. по август 2021 г. составили 50 см (рис. 6). По графику можно выделить три фазы режима уровня воды: плавное снижение уровня с сентября по вторую половину мая, последующий интенсивный подъем до конца июня — начала июля и затем период интенсивного спада, который длится до начала сентября.

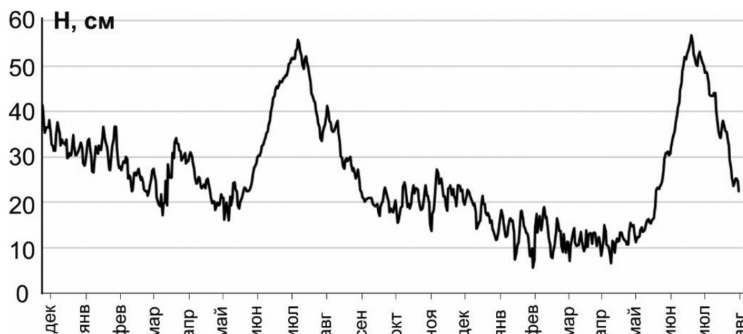


Рис. 6. Изменения уровня воды в Кроноцком озере с 22.11.2019 по 03.08.2021 г. (H — глубина установки логгера). Система высот условная

Fig. 6. Water level dynamics in Lake Kronotskoe from November 22, 2019 to August 3, 2021 (local height system; H — logger installation depth)

Полвека назад по данным экспедиции Ленгидропроекта [Агарков и др., 1975] годовая величина колебаний уровня в заливе около истока р. Кроноцкой в характерные по водности годы составляла: 48 см в 1968 г. (маловодном) и 120 см в 1969 г. (очень многоводном). Таким образом, наши наблюдения за уровнем воды, по-видимому, пришлись на маловодный период.

Ледовые явления. Анализ космических снимков Modis за 2000–2023 гг. показал, что в среднем озеро полностью покрывается льдом 23 декабря, а очищается ото льда 7 июня (табл. 4). При этом средняя продолжительность ледостава составляет 166 дней, т.е. почти полгода озеро находится подо льдом. Минимальная продолжительность ледостава была зимой 2011 г., когда активно извергался вулкан Кизимен. Из-за выпавшего пепла озеро поздно покрылось льдом (2 января) и рано освободилось ото льда (27 мая). Максимальная продолжительность ледостава наблюдалась в 2008 (9 декабря — 7 июня) и 2018 (20 декабря — 22 июня) гг. По нашим наблюдениям, лед на озере обычно имеет кристаллическую структуру, и уже в начале ледостава он покрывается мощным слоем снега.

Таблица 4

Характерные даты и продолжительность периода ледостава (2000–2023 гг.)

Table 4

Characteristic data and duration of the ice freezing in 2000–2023

Показатель	Ледостав		
	Ранний	Средний	Поздний
Начало	9 декабря	23 декабря	9 января
Конец	27 мая	7 июня	22 июня
Продолжительность, дни	145	166	181

В конце 1960-х гг. по данным экспедиции Ленгидропроекта [Агарков и др., 1975] озеро покрывалось льдом в декабре, к апрелю-маю его мощность достигала 1,5 м, а полное очищение ото льда происходило в середине-конце июня. Сравнивая эти данные с современными (табл. 4), можно предположить, что потепление климата в последние годы [Шкаберда, Василевская, 2013, 2014] повлияло на гидрологический режим озера таким образом, что оно стало на 1–2 нед. позже покрываться льдом и настолько же раньше очищаться от него.

Температура воды и перемешивание. В термическом режиме Кроноцкого озера хорошо выделяются три фазы (рис. 7): весенне-летнего нагревания (в поверхностном слое — 5 мес., с начала апреля до середины августа), осенне-зимнего охлаждения (в поверхностном слое — 4 мес., с конца августа до конца декабря) и зимней стагнации (3 мес., с января по март).

Сразу после очищения ото льда — в первой половине июня — в озере устанавливается гомотермия (рис. 8). В это время гипolimнион фактически занимает весь объем озера (как и в других димиктических озерах [Науменко, Гузиватый, 2022]). Полное вертикальное перемешивание длится около двух недель в середине июня (см. рис. 7 и 8). Затем, благодаря активному прогреванию поверхностного слоя, озеро начинает стратифицироваться. В первой половине июля постепенно формируется эпилимнион — сначала на мелководьях и с некоторым запозданием в центральной глубоководной и юго-восточной частях озера (рис. 7, табл. 5). Верхняя граница гипolimниона при этом расположена на глубинах больше 26,5 м (табл. 5, рис. 8), а температура в этом слое изменяется от 4,8 до 3,8 °C. К концу июля эпилимнион фиксируется на всей акватории озера, а к середине августа в глубоководной части его мощность достигает 6,5 м (табл. 5, рис. 8). В наибольшей степени вода в эпилимнионе прогревается к началу-середине августа, когда ее температура достигает 14 °C (см. рис. 7). Верхняя граница гипolimниона в это время залегает глубже 27,5 м, а температура в нем изменяется от 4,9 до 3,9 °C (табл. 5, рис. 8). К концу августа температура поверхностного слоя несколько снижается, при этом его толщина увеличивается. К середине сентября температура в

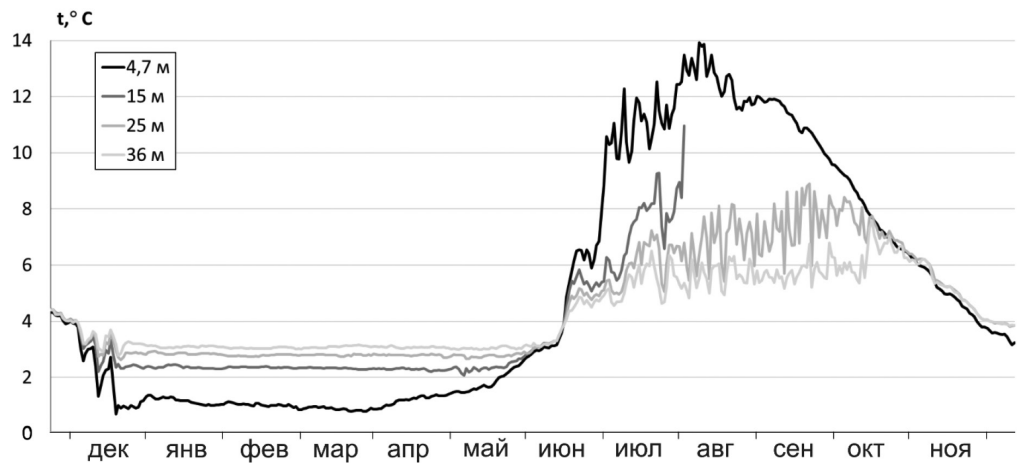


Рис. 7. Изменение температуры воды на разных горизонтах Кроноцкого озера с ноября 2019 по декабрь 2020 г. (зал. Узон, станция 11 на рис. 3): 4,7 м, 15 м... — глубины установки логовров
Fig. 7. Water temperature dynamics in the Uzon Bay of Lake Kronotskoe (Station 11 at Fig. 3) from November 2019 to December 2020, by depth of loggers installation (shown by numbers)

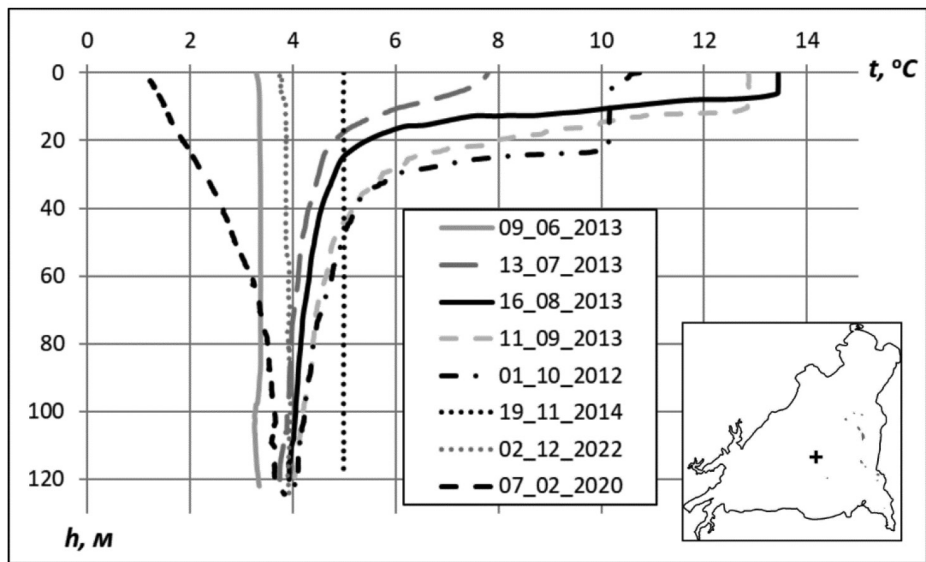


Рис. 8. Вертикальное распределение температуры воды на центральной станции Кроноцкого озера и ее расположение на озере
Fig. 8. Vertical profile of water temperature at the central station in Lake Kronotskoe. The station location is shown

Таблица 5
Характеристики эпи-, мета- и гипolimниона для периода с прямой стратификацией

Parameters of the epi-, meta- and hypolimnion in the season of stable stratification

Дата	Граница слоя скачка, м		Эпилимнион		Металимнион		Гиполимнион	
	Верхняя	Нижняя	км³	%	км³	%	км³	%
13.07.2013	0	26,5	0	0	5,1	36	9,2	64
16.08.2013	6,5	27,5	1,5	11	4,3	30	8,5	59
11.09.2013	10,5	32,5	2,5	17	4,2	29	7,7	53
01.10.2012	22,5	37,5	5,0	35	2,6	18	6,8	47

Примечание. Расчеты сделаны по данным рис. 8.

эпилимнионе еще больше понижается (до $12,9^{\circ}\text{C}$), а его мощность в глубоководной части увеличивается до 10,5 м (табл. 5, рис. 8). Слой скачка при этом заглубляется, и гипolimнион залегает ниже 32,5 м. Температура в нем изменяется от $5,6$ до $4,0^{\circ}\text{C}$. К началу октября толщина верхнего перемешанного слоя продолжает увеличиваться и достигает 22,5 м (табл. 5, рис. 8). В это время температура в нем немного превышает 10°C . Гипolimнион начинается глубже 37,5 м, а температура в нем изменяется от $5,3$ до $4,0^{\circ}\text{C}$.

Осенняя гомотермия в озере начинается во второй половине октября (см. рис. 7, 8) и длится 1,0–1,5 мес., что гораздо больше периода весенней гомотермии. В это время эпилимнион занимает все пространство по вертикали от поверхности до дна (как и в других димиктических озерах [Науменко, Гузиватый, 2022]), вода в озере интенсивно и долго перемешивается, а придонный слой насыщается кислородом. К началу декабря поверхностный слой выхолаживается ниже 4°C и начинает формироваться обратная температурная стратификация, которая наблюдается до конца мая (рис. 8).

Таким образом, по особенностям своего термодинамического режима Кроноцкое озеро относится к димиктическим водоемам [Hutchinson and Löffler, 1956].

Пространственная неоднородность температуры поверхностного слоя воды хорошо видна по данным гидрологических съемок 2012–2013 гг. (рис. 9 и 10). Сразу после очищения озера ото льда на большей части акватории температура воды ниже 4°C , однако

Рис. 9. Температура поверхностного слоя воды по данным гидрологической съемки 9 июня 2013 г.

Fig. 9. Surface water temperature by data of the survey on June 9, 2013

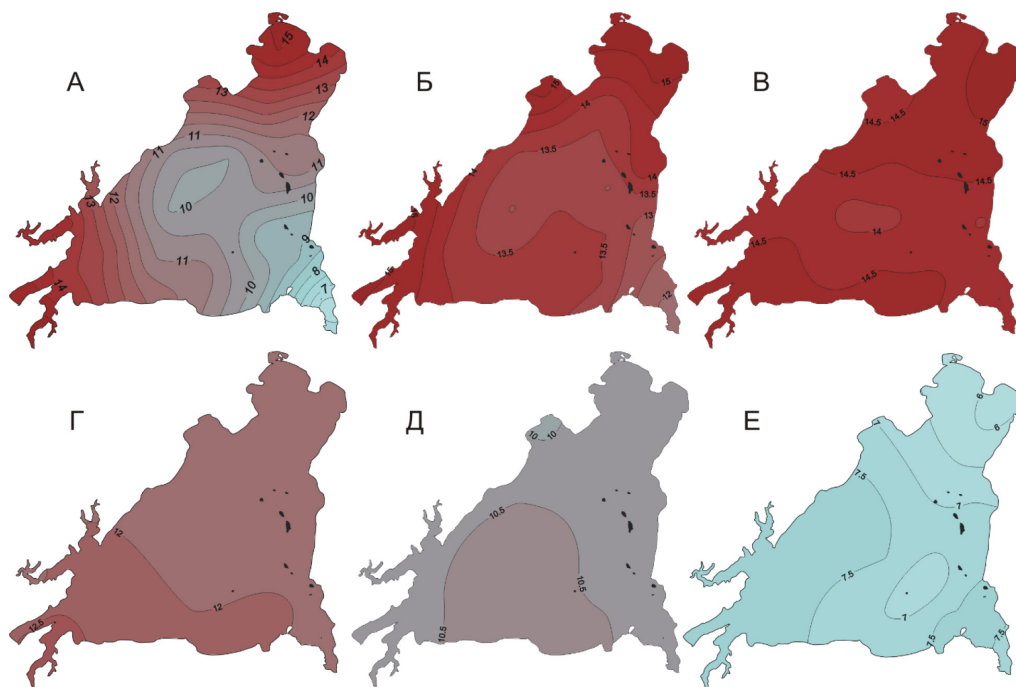
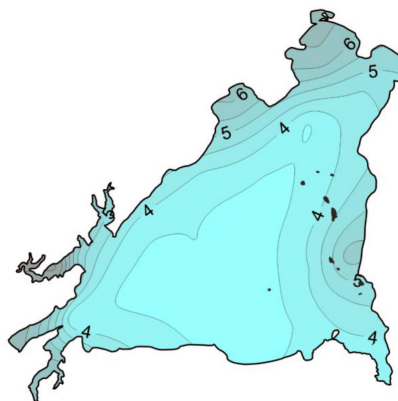


Рис. 10. Распределение температуры поверхностного слоя воды по акватории озера (А — 16 июля, Б — 4 августа, В — 24 августа, Г — 17 сентября, Д — 1 октября, Е — 14 октября 2012 г.), построенное по сетке станций (см. рис. 2)

Fig. 10. Spatial distribution of temperature in the surface layer in 2012: А — July 16, Б — August 4, В — August 24, Г — September 17, Д — October 1, Е — October 14, 2012

мелководные заливы и часть озера за островами уже начинают интенсивно прогреваться (рис. 9). В этот период отчетливо диагностируется термическая фронтальная зона (термобар 4 °С), а горизонтальные различия по температуре поверхностного слоя воды составляют около 4 °С.

В середине июля в поверхностном слое воды наблюдается наибольшая пространственная неоднородность температуры: в это время два дальних от истока реки угла озера уже прогреваются до 15–16 °С, а в самом истоке температура воды составляет всего лишь 6–7 °С (рис. 10, А), т.е. различия по температуре превышают 9 °С.

К началу августа поверхностный слой воды в холодном юго-восточном углу озера (в истоке реки) прогревается почти до 12 °С, что на 3–4 °С меньше, чем в «теплых» дальних углах озера (рис. 10, Б). В целом северная и юго-западная части озера прогреваются лучше, чем центральная и юго-восточная. К концу августа центральная часть озера продолжает прогреваться, в то время как дальние углы озера уже начинают охлаждаться. В это время пространственная неоднородность по температуре поверхностного слоя озера снижается до 2 °С (рис. 10, В). В сентябре температура поверхностного слоя снижается по всей акватории, ее пространственные различия в это время не превышают 1 °С (рис. 10, Г и Д). В дальнейшем разная интенсивность выхолаживания приводит к некоторому увеличению пространственной неоднородности температуры поверхности — к середине октября до 2–3 °С (рис. 10, Е). В это время наиболее холодными являются северная и центральная части озера, а наиболее теплой — западная.

Таким образом, пространственная неоднородность температуры поверхностного слоя воды Кроноцкого озера является его характерной чертой, которая особенно ярко проявляется в первой половине лета.

Растворенный кислород. Сразу после схода льда поверхностный слой насыщен кислородом на 100 % и более (рис. 11, А). В самых теплых и мелководных заливах, где уже начали активно развиваться водоросли, содержание кислорода в воде значительно превышает 100 %. В период летнего нагревания насыщение кислородом в поверхностном слое превышает 100 % (рис. 11, Б), а в придонном слое оно больше 90 %. К середине августа, когда на озере отмечен пик биомассы зоопланктона, содержание кислорода несколько снижается, но все равно превышает 100 % (рис. 11, В). Интересно

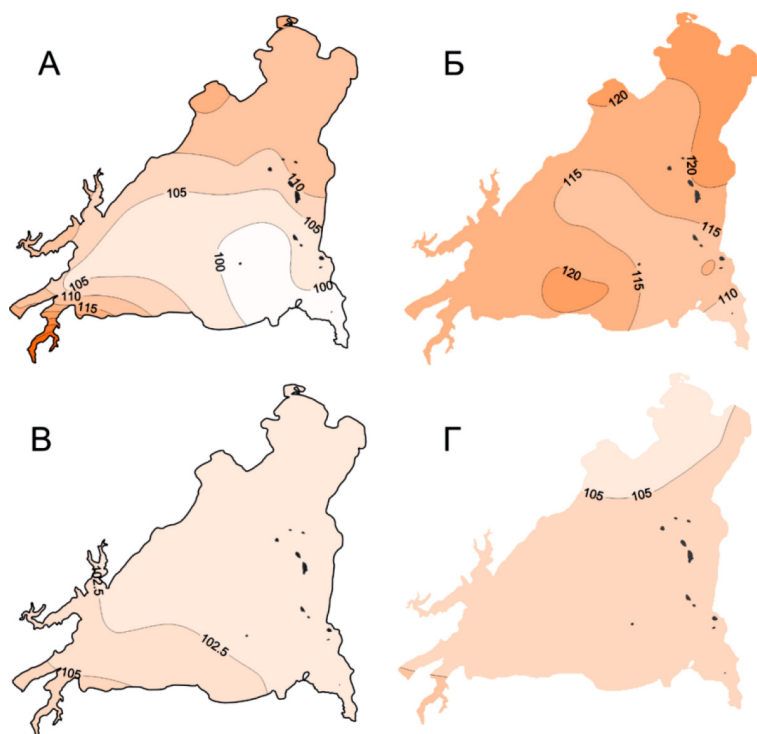


Рис. 11. Насыщение кислородом (%) поверхностного слоя воды Кроноцкого озера по данным съемки за 2013 г. (А — 9 июня, Б — 13 июля, В — 16 августа, Г — 11 сентября), построенное по сетке станций (см. рис. 2)

Fig. 11. Oxygen saturation (%) of the surface layer in Lake Kronotskoye in 2013: А — June 9, Б — July 13, В — August 16, Г — September 11

отметить, что в это время максимумы содержания кислорода по вертикали могут наблюдаться в слое скачка (рис. 12), что, вероятно, связано с развитием фитопланктона на соответствующей глубине. К середине сентября насыщение поверхностного слоя воды кислородом остается на столь же высоком уровне (см. рис. 11, Г). Во время осенней гомотермии содержание кислорода во всей толще выравнивается и при этом превышает 90 % (рис. 12). Минимальное содержание кислорода в воде озера отмечено в разгар зимы, когда его насыщение уменьшается до 90 % в поверхностном слое и до 50 % у дна (рис. 12). При этом в большей части озера оно превышает 80 %.

По абсолютной величине содержание кислорода в воде в течение всего года превышает 10 мг/л, за исключением зимы, когда на глубине больше 110 м его содержание падает до 6 мг/л (рис. 12). Сразу после очищения озера ото льда, когда весеннее перемешивание еще только начинается, содержание кислорода в самых глубоких горизонтах также невелико (рис. 12).

Таким образом, по содержанию растворенного в воде кислорода Кроноцкое озеро относится к водоемам с высоким насыщением.

Некоторые обобщения. Хотя Кроноцкое озеро расположено в умеренных широтах (южнее 55° с.ш.), однако температура воды в нем довольно низкая — максимум до 14 °С. (Здесь и ниже речь идет о температуре поверхностного слоя воды в центральной части обсуждаемых водоемов.) Так, например, максимальная температура поверхности оз. Глубокое (55,8° с.ш., Подмосковье) превышает 25 °С [Соколов и др., 2018], а оз. Ладожского, которое расположено значительно севернее (60,0–61,6° с.ш.), составляет 16,1 °С [Современное состояние..., 2021]. Очевидно, на термическом режиме Кроноцкого озера сказывается сравнительно холодный климат, обусловленный влиянием Тихого океана (переносом холодного воздуха в сторону суши и высокой повторяемостью плотной облачности и адвективных туманов). Так, в июле средняя температура воздуха в районе Кроноцкого озера составляет всего лишь 13,9 °С (по данным реанализа MERRA-2 за 2000–2024 гг.), а в районах озер Глубокое и Ладожское она значительно выше — соответственно 18,6 и 16,9–18,5 °С [Современное состояние..., 2021]. Стоит отметить, что низкая температура воды в Кроноцком озере благоприятна для населяющих его лососевых рыб [Esin et al., 2021].

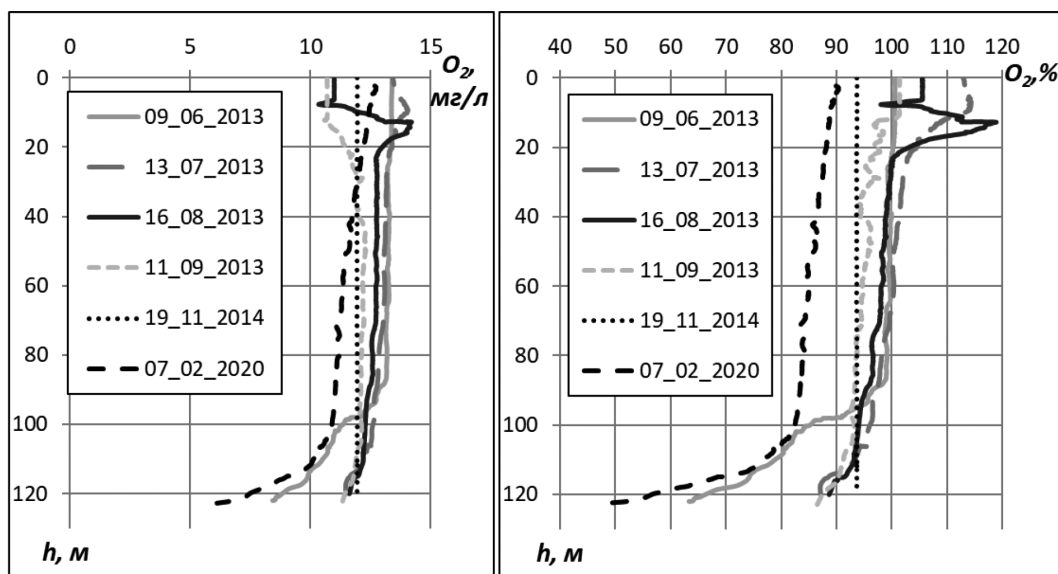


Рис. 12. Вертикальное распределение содержания кислорода в воде (% , мг/л) на центральной станции Кроноцкого озера

Fig. 12. Vertical profile of dissolved oxygen content and saturation (mg/L, %) at the central station in Lake Kronotskoye

В теплое время года для Кроноцкого озера, несмотря на его относительно небольшую площадь, характерна значительная пространственная неоднородность температуры воды в поверхностном слое (особенно летом). По нашему мнению, это обусловлено главным образом влиянием бризовых ветров. Важным фактором при этом является треугольная форма озера в плане, а также особенности его расположения относительно океана и окружающих гор. Так, в июле температура поверхностного слоя воды в юго-восточной части водоема формируется под влиянием океанических бризов, ежедневно приносящих адвективные туманы. В этот период преобладающие ветры юго-восточных румбов (рис. 13) [Дебольский и др., 2012] способствуют стону поверхностной теплой воды в дальние углы озера, а на ее место поднимаются холодные глубинные воды. В результате прогревание водной толщи в этой части озера замедляется, в то время как в двух других углах озера этот процесс происходит быстрее. Благодаря этому на озере в первой половине лета наблюдаются большие различия в температуре воды поверхностного слоя (больше 9 °C). Это создает высокую гетерогенность условий среды, что является важным триггером для запуска и поддержания процессов формообразования у рыб [Markevich et al., 2021b].

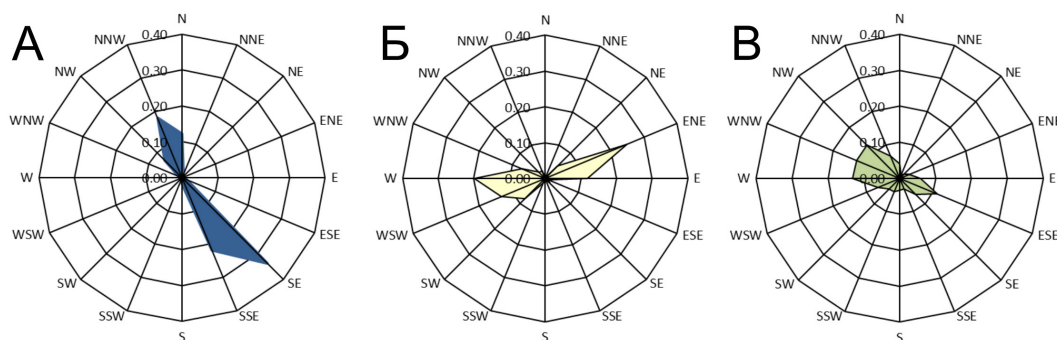


Рис. 13. Роза ветров по данным измерений автоматической метеостанции в районе истока р. Кроноцкой за июль (А), август (Б) и сентябрь-октябрь (В) 2011–2012 гг. (вертикальная ось — доли единицы)

Fig. 13. Wind roses for July (A), August (B) and September-October (B) of 2011–2012 on the data of automatic weather station mounted at the source of Kronotskaya River (frequency in relative units)

Для Кроноцкого озера характерно высокое содержание кислорода, в том числе у дна на глубинах более 100 м. В безледный период сильные ежедневные ветры обеспечивают интенсивное динамическое перемешивание поверхностного слоя водоема и закачку в него кислорода. Сразу после таяния льда, пока разница температуры между поверхностным и придонным слоем воды мала, активное ветровое перемешивание может достигать больших глубин. Позже, во время прямой стратификации, глубина перемешивания ограничивается значительными градиентами плотности воды в слое скачка. Но постепенно — благодаря действию ветра — мощность эпилимниона увеличивается от 3–10 м в начале августа до 21–25 м в начале октября, и соответствующим образом увеличивается глубина перемешивания. В ноябре в результате свободной конвекции перемешивание достигает дна и, соответственно, в глубинные слои поступает кислород. В первые зимние месяцы сильные ветры препятствуют раннему становлению льда и это, на фоне конвекции, приводит к сильному выхолаживанию всей водной толщи и ее длительному насыщению кислородом. Именно в это время в гипolimнион поступает большой объем кислорода, запасы которого позже расходуются в период длительного ледостава. Другим важным фактором, обеспечивающим высокое содержание кислорода в озере, является большой объем (относительно эпилимниона, табл. 5) и низкая температура (см. рис. 7 и 8) его гипolimниона в период прямой стратификации. Благодаря этому в Кроноцком озере создаются большие запасы кислорода, которые с избытком покрывают его расходование на деструкцию. Для сравнения,

летом в оз. Глубоком, которое помимо более высокой температуры воды характеризуется небольшим объемом гипolimниона, уже в середине июля — начале августа формируется бескислородная зона, которая сначала охватывает наиболее глубокие горизонты (28–32 м), а к октябрю распространяется от дна до глубины 16 м [Соколов и др., 2018]. В противоположность этому, в Ладожском озере, обладающем большим объемом и низкой температурой гипolimниона, высокое содержание растворенного в воде кислорода наблюдается в течение всего года [Современное состояние..., 2021]. Следует подчеркнуть, что хорошее насыщение кислородом всей толщи Кроноцкого озера создает благоприятные условия для обитающих в озере лососевых рыб, очень требовательных к кислородным условиям.

Заключение

Кроноцкое озеро — крупнейший пресный водоем Камчатки, в котором описан самый разнообразный из известных в мировой науке симпатрический комплекс лососевых рыб.

История изучения Кроноцкого озера продолжается уже более 100 лет. Но в гидрологическом отношении озеро долго оставалось слабоизученным. Этот пробел был восполнен благодаря нашим полевым исследованиям, которые были выполнены с 2010 по 2022 г.

К настоящему времени на основе собственных полевых данных, а также анализа архивных и литературных сведений установлено следующее. Площадь акватории озера составляет 246 км², а объем водоема — 14,4 км³. Максимальная глубина озера — 136 м, средняя глубина — 58 м. Колебания уровня воды в озере составляют 50–120 см в год. При этом максимум уровня приходится на период таяния снега на водосборе на рубеже июня и июля. В последние десятилетия озеро покрыто льдом с конца декабря до начала июня — в среднем 166 дней. В термическом режиме Кроноцкого озера выделяются три фазы: весенне-летнего нагревания (в поверхностном слое — 5 мес., с начала апреля до середины августа), осенне-зимнего охлаждения (в поверхностном слое — 4 мес., с конца августа до конца декабря) и зимней стагнации (3 мес., с января по март).

По особенностям своего термодинамического режима Кроноцкое озеро относится к димиктическим водоемам. Весеннее перемешивание в нем продолжается ~2 нед. в начале июня, а осеннее длится до 1,0–1,5 мес. в октябре-ноябре. Летом в озере наблюдается прямая температурная стратификация, а зимой — обратная. В эпилимнионе вода в наибольшей степени прогревается к началу-середине августа, когда температура здесь достигает ~14 °С. В гипolimнионе температура воды зимой составляет ~3,5–4,0 °С, а летом повышается до ~5–6 °С. Несмотря на положение в умеренной зоне (южнее 55° с.ш.) и небольшую высоту над уровнем моря (372 м), вода в озере имеет относительно низкую температуру. Это обусловлено сравнительно холодным климатом, который определяется главным образом влиянием Тихого океана (переносом холодного воздуха в сторону суши и высокой повторяемостью плотной облачности и адвективных туманов). Характерной чертой Кроноцкого озера является пространственная неоднородность температуры его поверхностного слоя в безледный период, которая особенно ярко проявляется в первой половине лета. Это объясняется действием морских бризов, которые в условиях сложного рельефа неодинаково влияют на разные части озера.

По содержанию растворенного в воде кислорода Кроноцкое озеро относится к водоемам с высоким насыщением. В течение всего года вода насыщена кислородом на 90 % и более (за небольшими исключениями). По абсолютной величине содержание кислорода в озере весь год превышает 10 мг/л (и только зимой на глубине более 110 м его содержание падает до 6 мг/л). Высокое содержание кислорода в озерной воде объясняется постоянным ветровым перемешиванием эпилимниона в безледный период, длительной осенней конвекцией (до 1,5 мес.), а также большим объемом и

холодноводностью его гипоплимниона. Первое способствует закачке большого количества кислорода в слой скачка и ниже в безледный период, а второе — созданию очень больших запасов кислорода, которых с избытком хватает на покрытие его расхода на деструкцию как в период ледостава, так и во время летней стратификации.

Низкая температура озерных вод и высокое содержание кислорода — это необходимые условия для сохранения популяции обитающих в озере лососевых рыб, очень требовательных к условиям среды. А значительная пространственная неоднородность термических условий является важным триггером для запуска и поддержания эволюционных процессов их формообразования.

В настоящей статье представлены лишь первые, самые общие, результаты осмысления имеющихся данных по гидрологическому режиму Кроноцкого озера. В дальнейшем планируется более детально изучить термодинамику и кислородный режим озера — в том числе с использованием моделирования.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность всем студентам, аспирантам и сотрудникам МГУ им. М.В. Ломоносова, принимавшим участие в полевых работах. Особо хочется отметить большой вклад, который внесли в общий результат А.А. Телегина, Е.А. Телегина, А.В. Дебольский, Г.А. Абызова, Д.В. Зленко, А.Д. Аракельянц, О.В. Ткаченко. Отдельная благодарность Е.В. Есину (ИПЭЭ РАН) за помощь в организации работы, В.М. Степаненко за обсуждение ее результатов, М.А. Науменко за конструктивную критику и советы по анализу данных, А.Г. Маркевичу за помощь при подготовке статьи. Также выражаем свою признательность сотруднику КамчатНИРО Е.В. Лепской. Авторы также благодарны сотрудникам Кроноцкого заповедника за разностороннюю и крайне необходимую помощь в организационном и материально-техническом обеспечении работ (с транспортом, размещением полевой группы, хранением полевого снаряжения и многим другим). Отдельное спасибо Т.И. Шпиленку (директору заповедника в 2009–2016 гг.) и Д.М. Паничевой (начальнику научного отдела заповедника 2010–2023 гг.).

The authors are thankful to all colleagues from Moscow State University, including students and postgraduates, who joined the fieldworks on the lake, in particular, to those who made the greatest contribution to our studies, as A.A. Telegina, E.A. Telegina, A.V. Debolsky, G.A. Abyzova, D.V. Zlenko, A.D. Arakelyanz, and O.V. Tkachenko. Special thanks to colleagues from the Inst. of Ecology and Evolution: to E.V. Esin for his assistance in conducting the study, to V.M. Stepanenko for discussing the results, to M.A. Naumenko for valuable advice in data analysis, and to A.G. Markevich for his assistance in writing the article. We are also thankful to E.V. Lepskaya of KamchatNIRO. The authors are widely grateful to the Kronotsky Nature Reserve for versatile and much-needed organizational and logistical support (transport, accommodation, storage of field equipment, etc.), with special thanks to T.I. Shpilenok (director of the reserve in 2009–2016) and D.M. Panicheva (head of the scientific department in 2010–2023).

Финансирование работы (FUNDING)

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

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объекта.

The authors declare that they have no conflict of interest. This article does not concern any research with using animals as a subject.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Л.А. Анисимова — сбор и анализ данных, написание статьи, С.Л. Горин — анализ данных, написание статьи, Г.Н. Маркевич — сбор данных, написание статьи.

L.A. Anisimova — data collection and analysis, the text writing and illustrating, S.L. Gorin — data analysis, the text writing, G.N. Markevich — data collection, the text writing.

Список литературы

Агарков А.Ю., Дмитриева Л.Я., Догановский А.М. Некоторые черты гидрологии Кроноцкого озера на Камчатке // Изв. Всесоюзного географического общества. — 1975. — Т. 107, вып. 4. — С. 352–357.

Аракельянц А.Д., Ткаченко О.В. Гидрологические характеристики Кроноцкого озера (Камчатка) в начале XXI века // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. — 2012. — Вып. 6. — С. 77–83.

Бугаев В.Ф., Куренков С.И. Некоторые особенности структуры чешуи кокани оз. Кроноцкого // Вопросы географии Камчатки. — 1985. — № 9. — С. 116–119.

Буторина Т.Е., Шедько М.Б., Горовая О.Ю. Особенности экологии гольцов рода *Salvelinus* (Salmonidae) бассейна озера Кроноцкое (Камчатка) по паразитологическим данным // Вопр. ихтиол. — 2008. — Т. 48, № 5. — С. 652–667.

Викторовский Р.М. Механизмы видообразования у гольцов Кроноцкого озера : моногр. — М. : Наука, 1978. — 111 с.

Глубоковский М.К., Шевчук С.А. Систематика гольцов озера Кроноцкое (Камчатка) // Систематика, биология и биотехника разведения лососевых рыб : мат-лы 5-го Всерос. совещ. — СПб. : ГосНИОРХ, 1994. — С. 44–46.

Дебольский А.В., Степаненко В.М., Маркевич Г.Н. и др. Микроклиматический режим озера Кроноцкое в июле 2011 г. // Тр. Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. — 2012. — Вып. 1. — С. 218–220.

Есин Е.В., Маркевич Г.Н. Гольцы рода *Salvelinus* азиатской части Северной Пацифики: происхождение, эволюция и современное разнообразие : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2017. — 188 с.

Комаров В.Л. Путешествие по Камчатке в 1908–1909 г. : моногр. — М., 1912. — 456 с. <https://elibrary.ru/handle/123456789/213195>.

Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки : моногр. Т. 1. — СПб. : Императорская академия наук, 1755. — 438 с.

Крохин Е.М. Исследование Кроноцкого озера в марте-мае 1935 г. // Изв. Гос. Геогр. общ. — 1936. — Т. 68, № 5. — С. 702–727.

Крохин Е.М., Куренков И.И. Рыбохозяйственное освоение Кроноцкого озера // Лососевое хозяйство Дальнего Востока : мат-лы 3-го совещ. по вопросам лососевого хозяйства. — М. : Наука, 1964. — С. 100–105.

Куренков И.И. Биологические ресурсы внутренних водоемов Камчатки // Биологические ресурсы внутренних водоемов Сибири и Дальнего Востока. — М. : Наука, 1984. — С. 87–98.

Куренков И.И. Зоопланктон озер Камчатки : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2005. — 178 с.

Куренков И.И. Планктон Кроноцкого озера (Камчатка) // Тр. Биолого-почвенного института. — 1978. — Т. 49(152). — С. 46–55.

Куренков С.И. Возраст и линейный рост кокани оз. Кроноцкого // Изв. ТИНРО. — 1974. — Т. 90. — С. 111–118.

Куренков С.И. Две репродуктивно изолированные группы жилой нерки Кроноцкого озера // Вопр. ихтиол. — 1977. — Т. 17, вып. 4. — С. 597–606.

Куренков С.И. Морфологические особенности жилой красной Кроноцкого озера // Изв. ТИНРО. — 1972. — Т. 82. — С. 125–134.

Куренков С.И. Популяционная структура кокани Кроноцкого озера : дис. ... канд. биол. наук. — М. : МГУ, 1979. — 255 с.

Лебедев В.Н. Воды юго-восточной Камчатки. Часть 1. Озера : моногр. — М., 1915. — 370 с.

Лебедев В.Н. Предварительный отчет об исследовании вод Камчатки в 1908–1909 гг. // Изв. Императорского Русского географического общества. — 1911. — Т. 47. — С. 27–81.

Маркевич Г.Н. Возрастная структура и рост жилой нерки кокани *Oncorhynchus nerka* естественной и интродуцированных популяций в озерах Камчатки // Вопр. ихтиол. — 2008. — Т. 48, № 4. — С. 494–500.

- Маркевич Г.Н., Есин Е.В., Леман В.Н. и др.** Перспективы рыбохозяйственного освоения озера Кроноцкого, полуостров Камчатка // *Вопр. рыб-ва.* — 2019. — Т. 20, № 1. — С. 5–22.
- Мелекесцев И.В.** Вулканизм и рельефообразование : моногр. — М. : Наука, 1980. — 212 с.
- Науменко М.А., Гузватый В.В.** Методические подходы и результаты анализа климатического сезонного хода параметров устойчивой стратификации димиктического озера (на примере центральной части Ладожского озера) // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* — 2022. — Т. 58, № 1. — С. 52–62. DOI: 10.31857/S0002351522010102.
- Паренский В.А., Романов Н.С., Фролов С.В. и др.** Краниологический анализ гольцов (*Salvelinus*) озера Кроноцкого (Камчатка) // *Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 5-й науч. конф.* — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2004. — С. 280–283.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т. 20 : Камчатка** / под ред. М.Г. Васильковского. — Л. : Гидрометеиздат, 1973. — 368 с.
- Романов Н.С., Репин М.Ю., Никаноров А.П.** Морфологическая изменчивость гольцов: белого — *Salvelinus albus* Glubokovsky и Шмидта — *S. Schmidt* Viktorovsky (*Salmoniformes*, *Salmonidae*) Кроноцкого озера // *Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 4-й науч. конф.* — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2003. — С. 261–267.
- Романов Н.С., Фролов С.В., Никаноров А.П., Репин М.Ю.** Некоторые аспекты морфологической изменчивости гольцов (*Salvelinus*, *Salmonidae*) Кроноцкого озера (Камчатка) // *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова.* — 2011. — № 5. — С. 458–463.
- Романов Н.С., Фролов С.В., Репин М.Ю., Никаноров А.П.** Морфологическая изменчивость длинноголового гольца — *Salvelinus kronocius* Viktorovsky и мальмы — *S. malma* Walbaum (*Salmoniformes*, *Salmonidae*) Кроноцкого озера (Камчатка) // *Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы VIII науч. конф.* — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2007. — С. 342–344.
- Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата** : моногр. / В.М. Анохин, М.А. Барбашова, С.Д. Голосов и др. — М. : РАН, 2021. — 637 с. DOI: 10.12731/978-5-907366-50-3.
- Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терешина М.А., Вилимович Е.Н.** Современный гидроэкологический режим озера Глубокое // *Тр. II Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития».* — СПб., 2018. — С. 590–593.
- Черненко Е.В., Куренков С.И., Рябова Г.Д.** Дифференциация стада жилой нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) озера Кроноцкого // *Популяционная биология и систематика лососевых.* — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 11–15.
- Шкаберда О.А., Василевская Л.Н.** Многолетняя изменчивость температурно-влажностного режима на полуострове Камчатка // *Изв. ТИНРО.* — 2014. — Т. 178. — С. 217–233. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-178-217-233.
- Шкаберда О.А., Василевская Л.Н.** Оценка изменений температуры воздуха на Камчатке за последние 60 лет // *Вестн. ДВО РАН.* — 2013. — № 3(169). — С. 69–77.
- Шмидт П.Ю.** Работы Зоологического отдела на Камчатке в 1908–1909 гг. — М. : Типограф-ва Рябушинских, 1916. — 434 с. <https://elibrary.ru/handle/123456789/213120>.
- Chen C.T.A., Millero F.J.** Precise thermodynamic properties for natural waters covering only the limnological range // *Limnol. Oceanogr.* — 1986. — Vol. 31, № 3. — P. 657–662. DOI: 10.4319/lm.1986.31.3.0657.
- Darwin C.** On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. — L. : John Murray, 1859. — 504 p.
- Esin E.V., Markevich G.N., Melnik N.O. et al.** Ambient temperature as a factor contributing to the developmental divergence in sympatric salmonids // *PLoS ONE.* — 2021. — Vol. 16, № 10. — P. 1–21. DOI: 10.1371/journal.pone.0258536.
- Greenwood P.H.** What is a species flock? // *Evolution of fish species flocks.* — Orono : Orono Press, 1984. — P. 13–19.
- Hutchinson G.E. and Löffler H.** The thermal classification of lakes // *Proc. Nat. Acad. Sci.* — 1956. — Vol. 42, № 2. — P. 84–86. DOI: 10.1073/pnas.42.2.84.
- Kondrashov A.S., Mina M.V.** Sympatric speciation: when is it possible? // *Biological Journal of the Linnean Society.* — 1986. — Vol. 27, № 3. — P. 201–223. DOI: 10.1111/j.1095-8312.1986.tb01734.x.
- Markevich G., Esin E., Anisimova L.** Basic description and some notes on the evolution of seven sympatric morphs of Dolly Varden *Salvelinus malma* from the Lake Kronotskoe Basin // *Ecology and Evolution.* — 2018. — Vol. 8, № 5. — P. 2554–2567. DOI: 10.1002/ece3.3806.

Markevich G.N., Esin E.V. Studying the diversity of piscivorous morphs composing the most diverse assemblage of charrs (*Salvelinus*, Salmonidae) from post-glacial Lake Kronotskoe // *Ecology of freshwater fishes*. — 2025. — Vol. 34, Iss. 1. — e12818. DOI: 10.1111/eff.12818.

Markevich G.N., Zlenko D.V., Shkil F.N. et al. Natural barriers and internal sources for the reproductive isolation in sympatric salmonids from the lake-river system // *Evolutionary Biology*. — 2021a. — Vol. 48. — P. 407–421. DOI: 10.1007/s11692-021-09546-w.

Markevich G.N., Esin E.V., Medvedev D.A. et al. Trophic-based diversification in benthivorous charrs (*Salvelinus*) dwelling littoral zones of Northern lakes // *Hydrobiologia*. — 2021b. — Vol. 848, № 6. — C. 4115–4133. DOI: 10.1007/s10750-021-04628-4.

Markevich G.N., Izvekova E.I., Anisimova L.A. et al. Annual temperatures and dynamics of food availability are associated with the pelagic-benthic diversification in a sympatric pair of salmonid fish // *Evolutionary Biology*. — 2022. — Vol. 49. — P. 142–155. DOI: 10.1007/s11692-022-09560-6.

Ostberg C.O., Pavlov S.D., Hauser L. Evolutionary relationships among sympatric life history forms of Dolly Varden inhabiting the landlocked Kronotsky Lake, Kamchatka, and a neighboring anadromous population // *Trans. Am. Fish. Soc.* — 2009. — Vol. 138, № 1. — P. 1–14.

References

Agarkov, A.Yu., Dmitrieva, L.Ya., and Doganovsky, A.M., Some features of the hydrology of Kronotskoye Lake in Kamchatka, *Izv. Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1975, vol. 107, no. 4, pp. 352–357.

Arakeliantz, A.D. and Tkachenko, O.V., Hydrological parameters of the Kronotskoye Lake (Kamchatka) at the beginning of the 21st century, *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. 5. Geografiya*, 2012, no. 6, pp. 77–83.

Bugaev, V.F. and Kurenkov, S.I., Some features of the scale structure of kokanee from Kronotskoye Lake, *Vopr. geografii Kamchatki*, 1985, no. 9, pp. 116–119.

Butorina, T.E., Shedko, M.B., and Gorovaya, O.Yu., Peculiarities of ecology of charrs of the genus *Salvelinus* (Salmonidae) of the Kronotskoye Lake basin (Kamchatka) according to parasitological data, *Vopr. Ikhtiol.*, 2008, vol. 48, no. 5, pp. 652–667.

Viktorovsky, R.M., *Mekhanizmy vidoobrazovaniya u gol'tsov Kronotskogo ozera* (Mechanisms of speciation in charrs of Kronotskoye Lake), Moscow: Nauka, 1978.

Glubokovsky, M.K. and Shevchuk, S.A., Taxonomy of charrs of Lake Kronotskoye (Kamchatka), in *Mater. 5-go Vseros. Soveshch. "Sistematika, biologiya i biotekhnika razvedeniya lososevykh ryb"* (Materials of the 5th All-Russian Meeting "Taxonomy, biology and biotechnics of salmon breeding"), St. Petersburg: GosNIORKh, 1994, pp. 44–46.

Debolsky, A.V., Stepanenko, V.M., Markevich, G.N., Eremina, I.D., and Chubarova, N.E., Microclimatic regime of Lake Kronotskoye in July 2011, *Trudy Kronotskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika*, 2012, no. 1, pp. 218–220.

Esin, E.V. and Markevich, G.N., *Gol'tsy roda Salvelinus aziatskoy chasti Severnoy Patsifiki: proiskhozhdeniye, evolyutsiya i sovremennoye raznoobraziye* (Charrs of genus *Salvelinus* of asian North Pacific: origin, evolution and modern diversity), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2017.

Komarov, V.L., *Puteshestviye po Kamchatke v 1908–1909 g.* (Travels across Kamchatka in 1908–1909), Moscow, 1912.

Krashenninnikov, S.P., *Opisaniye zemli Kamchatk* (Description of the land of Kamchatka), vol. 1, St. Petersburg: Imperial Academy of Sciences, 1755.

Krohin, E.M., Study of Kronotskoye Lake in March-May 1935, *Izv. Gos. Geogr. obshch.*, 1936, vol. 68, no. 5, pp. 702–727.

Krohin, E.M. and Kurenkov, I.I., Fishery development of Kronotskoye Lake, in *Mater. 3-go soveshch. po voprosam lososevogo khozyaystva "Lososevoye khozyaystvo Dal'nego Vostoka"* (Materials of the 3rd conference on salmon farming issues "Salmon farming of the Far East"), Moscow: Nauka, 1964, pp. 100–105.

Kurenkov, I.I., Biological resources of inland waters of Kamchatka, in *Biologicheskkiye resursy vnutrennikh vodoyemov Sibiri i Dal'nego Vostoka* (Biological resources of inland water bodies of Siberia and the Far East), Moscow: Nauka, 1984, pp. 87–98.

Kurenkov, I.I., *Zooplankton ozer Kamchatki* (Zooplankton of Kamchatka Lakes), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2005.

Kurenkov, I.I., Plankton of Kronotsky Lake (Kamchatka), *Tr. Biologo-pochvennogo instituta*, 1978, vol. 49(152), pp. 46–55.

Kurenkov, S.I., Age and linear growth of land-locked sockeye lake Kronotskoe, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1974, vol. 90, pp. 111–118.

Kurenkov, S.I., Two reproductively isolated groups of resident sockeye salmon of Kronotskoye Lake, *Vopr. Ikhtiol.*, 1977, vol. 17, no. 4, pp. 597–606.

Kurenkov, S.I., Specific morphological features of land-locked sockeye salmon in Lake Kronotskoe, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1972, vol. 82, pp. 125–134.

Kurenkov, S.I., Population structure of kokanee of Kronotsky Lake, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1979.

Lebedev, V.N., *Vody yugo-vostochnoy Kamchatki. Chast' 1. Ozora* (Waters of south-eastern Kamchatka. Part 1. Lakes), Moscow, 1915.

Lebedev, V.N., Preliminary report on the study of Kamchatka waters in 1908–1909, *Izv. Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 1911, vol. 47, pp. 27–81.

Markevich, G.N., Age structure and growth of resident kokanee *Oncorhynchus nerka* of natural and introduced populations in lakes of Kamchatka, *J. Ichthyol.*, 2008, vol. 48, no. 6, pp. 452–459.

Markevich, G.N., Esin, E.V., Leman, V.N., Kuzishin, K.V., and Shevliakov, E.A., Fishery development prospects in the Lake Kronotskoe basin, Kamchatka Peninsula, *Vopr. Rybolov.*, 2019, vol. 20, no. 1, pp. 5–22.

Melekestsev, I.V., *Vulkanizm i rel'yefoobrazovaniye* (Volcanism and relief formation), Moscow: Nauka, 1980.

Naumenko, V.A. and Guzivaty, V.V., Methodological Approaches and Results of the Analysis of Climatic Seasonal Course of Stable Stratification Parameters of a Dimictic Lake (the Central Part of Lake Ladoga Case Study), *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2022, vol. 58, no. 1, pp. 44–53. doi 10.1134/S0001433822010108

Parensky, V.A., Romanov, N.S., Frolov, S.V., Nikanorov, A.P., and Repin, M.Yu., Cranio-logical analysis of char (*Salvelinus*) of Lake Kronotskoye (Kamchatka), in *Mater. V nauchn. konf. "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey"* (Materials of the V Sci. Conf. "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2004, pp. 280–283.

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 2: Kamchatka (Surface water resources of the USSR. Hydrological study, vol. 20: Kamchatka), M.G. Vaskovsky, ed., Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973.

Romanov, N.S., Repin, M.Yu., and Nikanorov, A.P., Morphological variability of chars: white — *Salvelinus albus* Glubokovsky and Schmidt — *S. Schmidt* Viktorovsky (Salmoniformes, Salmonidae) of Kronotskoye Lake, in *Mater. IV nauchn. konf. "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey"* (Materials of the IV Sci. Conf. "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas"), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2003, pp. 261–267.

Romanov, N.S., Frolov, S.V., Nikanorov, A.P., and Repin, M.Yu., Some aspects of morphological variability of chars (*Salvelinus*, Salmonidae) of Kronotskoye Lake (Kamchatka), in *Vladimir Yakovlevich Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka, 2011, vol. 5, pp. 458–463.

Romanov, N.S., Frolov, S.V., Repin, M.Yu., and Nikanorov, A.P., Morphological variability of longhead char — *Salvelinus kronocius* Viktorovsky and dolly char — *S. malma* Walbaum (Salmoniformes, Salmonidae) of Kronotskoye Lake (Kamchatka), in *Mater. VIII nauchn. konf. "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey"* (Materials of the VIII Sci. Conf. "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2007, pp. 342–344.

Anokhin, V.M., Barbashova, M.A., Golosov, S.D., Guzeva, A.V., Guseva, M.A., Dudakov, M.O., Zverev, I.S., Ivanova, E.V., Ignateva, N.V., Izmailova, A.V., Kapustina, L.L., Karetnikov, S.G., Kondratiev, S.A., Korneenkova, N.Yu., Korobchenkova, K.D., Kuznetsov, D.D., Kurashov, E.A., Lapenkov, A.E., Ludikova, A.V., Lyakhovskaya, A.K., Mitrukova, G.G., Naumenko, M.A., Pavlova, O.A., Petrova, T.N., Pozdnyakov, Sh.R., Protopopova, E.V., Rasulova, A.M., Revunova, A.V., Rummyantsev, V.A., Rybakina, V.N., Rusanov, A.G., Sapelko, T.V., Terekhov, A.V., Tikhonova, D.A., Tokarev, I.V., Trifonova, M.S., Ulichev, V.I., Shipunova, E.A., Shmakova, M.V., Voyakina, E.Yu., Kulibaba, V.V., Balagansky, A.F., Filatov, N.N., Karpechko, Yu.V., Isaev, A.V., Menshutkin, V.V., Bruchanov, V.U., Vasilev, E.V., Oblomkova, N.S., Arshanitsa, N.M., Grebennikov, V.A., Grebtsov, M.R., Ekimova, S.B., Zuev, Yu.A., Kolosovskaya, E.V., Leonov, A.G., Krylova, Yu.V., Lyashenko, G.F., Ponomarenko, A.M., Romanov, A.Yu., Svetashova, E.S., Sinyakova, M.A., Fisak, E.M., Shurukhin, A.S., Yavid, E.Ya., Savchuk, O.P., Babin, A.V., Zueva, N.V., Stepanova, A.B., Chernyshev, A.N., Kulichenko, A.Yu., Stekolnikov, A.A., Trukhanova, I.S., Hodonovich, V.V., *Sovremennoye sostoyaniye i problemy antropogennoy transformatsii ekosistemy Ladozhskogo ozera v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata* (Current state and problems of anthropogenic transformation of the ecosystem of Lake Ladoga in a changing climate), Moscow: Ross. Akad. Nauk, 2021. doi 10.12731/978-5-907366-50-3

Sokolov, D.I., Erina, O.N., Tereshina, M.A., and Vilimovich, E.N., Present hydroecological regime of Lake Glubokoe, in *Tr. II Vseros. konf. "Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya"* (Proc. II All-Russian Conf. «Hydrometeorology and Ecology: Achievements and Development Prospects»), St. Petersburg, 2018, pp. 590–593.

Chernenko, E.V., Kurenkov, S.I., and Ryabova, G.D., Differentiation of the stock of resident sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) of Lake Kronotskoye, in *Populyatsionnaya biologiya i sistematika lososevykh* (Population Biology and Taxonomy of Salmon), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1980, pp. 11–15.

Shkaberda, O.A. and Vasilevskaya, L.N., Long-term changes of temperature and humidity regime on Kamchatka Peninsula, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 178, pp. 217–233. doi 10.26428/1606-9919-2014-178-217-233

Shkaberda, O.A. and Vasilevskaya, L.N., The estimation of air temperature changes in Kamchatka over the last 60 years, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2013, no. 3(169), pp. 69–77.

Schmidt, P.Yu., *Raboty Zoologicheskogo otdela na Kamchatke v 1908–1909 gg.* (Works of the Zoological Department in Kamchatka in 1908–1909), Moscow: Tipogr. t-va Ryabushinskiikh, 1916.

Chen, C.T.A. and Millero, F.J., Precise thermodynamic properties for natural waters covering only the limnological range, *Limnol. Oceanogr.*, 1986, vol. 31, no. 3, pp. 657–662. doi 10.4319/lo.1986.31.3.0657

Darwin, C., *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, London: John Murray, 1859.

Esin, E.V., Markevich, G.N., Melnik, N.O., Zlenko, D.V., and Shkil, F.N., Ambient temperature as a factor contributing to the developmental divergence in sympatric salmonids, *PLoS ONE*, 2021, vol. 16, no. 10, pp. 1–21. doi 10.1371/journal.pone.0258536

Greenwood, P.H., What is a species flock?, *Evolution of Fish Species Flocks*, Orono: Orono Press, 1984, pp. 13–19.

Hutchinson, G.E. and Löffler, H., The thermal classification of lakes, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1956, vol. 42, no. 2, pp. 84–86. doi 10.1073/pnas.42.2.84

Kondrashov, A.S. and Mina, M.V., Sympatric speciation: when is it possible?, *Biological Journal of the Linnean Society*, 1986, vol. 27, no. 3, pp. 201–223. doi 10.1111/j.1095-8312.1986.tb01734.x

Markevich, G., Esin, E., and Anisimova, L., Basic description and some notes on the evolution of seven sympatric morphs of Dolly Varden *Salvelinus malma* from the Lake Kronotskoe Basin, *Ecology and Evolution*, 2018, vol. 8, no. 5, pp. 2554–2567. doi 10.1002/ece3.3806

Markevich, G.N. and Esin, E.V., Studying the diversity of piscivorous morphs composing the most diverse assemblage of charrs (*Salvelinus*, *Salmonidae*) from post-glacial Lake Kronotskoe, *Ecology of freshwater fishes*, 2025, vol. 34, iss. 1, e12818. doi 10.1111/eff.12818

Markevich, G.N., Zlenko, D.V., Shkil, F.N., Schliwen, U.K., Anisimova, L.A., Sharapkova, A.A., and Esin, E.V., Natural barriers and internal sources for the reproductive isolation in sympatric salmonids from the lake-river system, *Evolutionary Biology*, 2021, vol. 48, pp. 407–421. doi 10.1007/s11692-021-09546-w

Markevich, G.N., Esin, E.V., Medvedev, D.A., Busarova, O.Yu., and Tiunov, A.V., Trophic-based diversification in benthivorous charrs (*Salvelinus*) dwelling littoral zones of Northern lakes, *Hydrobiologia*, 2021, vol. 848, no. 6, pp. 4115–4133. doi 10.1007/s10750-021-04628-4

Markevich, G.N., Izvekova, E.I., Anisimova, L.A., Mugue, N.S., Bonk, T.V., and Esin, E.V., Annual temperatures and dynamics of food availability are associated with the pelagic-benthic diversification in a sympatric pair of salmonid fish, *Evolutionary Biology*, 2022, vol. 49, pp. 142–155. doi 10.1007/s11692-022-09560-6

Ostberg, C.O., Pavlov, S.D., and Hauser, L., Evolutionary relationships among sympatric life history forms of Dolly Varden inhabiting the landlocked Kronotsky Lake, Kamchatka, and a neighboring anadromous population, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2009, vol. 138, no. 1, pp. 1–14.

<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>. Cited September 27, 2024.

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Cited September 27, 2024.

Поступила в редакцию 11.11.2024 г.

После доработки 26.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 26.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE

Научная статья

УДК 639.371:597.552.51

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-150-166

EDN: VJGCMN

ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОДИ КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA*
И ГОРБУШИ *O. GORBUSCHA* ПРИ ЗАВОДСКОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ
В БАССЕЙНЕ РЕКИ МАРГАРИТОВКА (ЦЕНТРАЛЬНОЕ ПРИМОРЬЕ)И.С. Манзаева¹, О.В. Зеленников^{2*}¹ Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19;² Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9

Аннотация. Исследовали молодь кеты *Oncorhynchus keta* и горбуши *O. gorbuscha* при их выращивании на рыбноводном заводе «Пфусунг» в бассейне р. Маргаритовка (центральное Приморье). Икру кеты заложили на инкубацию от производителей собственного стада в период с 30 сентября по 7 ноября 2023 г., мальков начали кормить в садках, установленных в русле реки, с 26 февраля по 15 апреля и выпустили в естественную среду с 11 апреля по 15 мая при массе тела от 895 до 1100 мг в количестве 7,665 млн экз. За полный период выращивания от начала инкубации до выпуска молодь кеты в среднем набрала 1103,7 градусо-дня. Зародышей горбуши перевезли на завод с юго-востока о. Сахалин непосредственно перед вылуплением при сумме тепла в 501,8 градусо-дня. Начали кормить 26 февраля и выпустили 10 апреля 120 тыс. мальков при сумме в 1335,9 градусо-дня и массе тела в среднем 448,6 мг. Провели гистологическое исследование развития кардиального и пилорического отделов желудка, средней и спиральной кишки, печени и гонад у рыб обоих видов в период от вылупления до выпуска. Отметили последовательное изменение функциональной активности желудочных желез, клеток пищеварительного эпителия, увеличение количества слизевых клеток в кишечнике мальков и различия в содержании жира в печени у рыб в пределах каждой возрастной группы.

Ключевые слова: горбуша, кета, заводское воспроизводство молоди, центральное Приморье

Для цитирования: Манзаева И.С., Зеленников О.В. Характеристика молоди кеты *Oncorhynchus keta* и горбуши *O. gorbuscha* при заводском воспроизводстве в бассейне реки Маргаритовка (центральное Приморье) // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 150–166. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-150-166. EDN: VJGCMN.

* Манзаева Ирина Станиславовна, аспирант, bashitova@yandex.ru, ORCID 0009-0000-5241-1221; Зеленников Олег Владимирович, доктор биологических наук, доцент, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419.

© Манзаева И.С., Зеленников О.В., 2025

Original article

Characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* and pink salmon *O. gorbuscha* in hatchery reproduction in the Margaritovka River basin (central Primorye)

Irina S. Manzaeva*, Oleg V. Zelennikov**

* Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

** St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, 199034, Russia

* postgraduate student, bashitova@yandex.ru, ORCID 0009-0000-5241-1221

** D.Biol., assistant professor, oleg_zelennikov@rambler.ru, ORCID 0000-0001-8779-7419

Abstract. Juveniles of chum salmon *Oncorhynchus keta* and pink salmon *O. gorbuscha* reared at Pfusung fish hatchery in the Margaritovka River basin (central Primorye) are investigated. The chum salmon eggs were incubated from the breeders of local stock between September 30 and November 7, fed in cages installed in the riverbed between February 26 and April 15, and were released into the wild in amount of $7.665 \cdot 10^6$ ind. between April 11 and May 15 with the body weight of 895–1100 mg. Over the entire rearing period from start of incubation to release, the juvenile chum salmon had accumulated 1103.7 degree-days of heat, on average. The pink salmon embryos were transported to the hatchery from southeastern Sakhalin immediately before hatching, with the heat accumulation of 501.8 degree-days. Their feeding began on February 26. These fish were released on April 11, after the total accumulation of 1335.9 degree-days of heat. Histological control of cardiac and pyloric sections of stomach, mid-gut and spiral valve, liver and gonads development was conducted for both species during the period from hatching to release. Consistent changes in functional activity of the gastric glands and digestive epithelial cells were detected, with increasing the number of mucus cells in the intestines of fry. Differences in fat content in the liver were noted between age groups.

Keywords: pink salmon, chum salmon, hatchery reproduction of juveniles, central Primorye

For citation: Manzaeva I.S., Zelennikov O.V. Characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* and pink salmon *O. gorbuscha* in hatchery reproduction in the Margaritovka River basin (central Primorye), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 150–166. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-150-166. EDN: VJGCMN.

Введение

Масштаб заводского воспроизводства молоди тихоокеанских лососей в Приморском крае был и до настоящего времени остается незначительным. Только в 1986 и 1987 гг. в регионе были построены два федеральных лососевых рыбоводных завода (ЛРЗ), ориентированных на воспроизводство молоди кеты и в небольшом количестве молоди симы *Oncorhynchus masou* [Марковцев, 2014; Леман и др., 2015]. В 2012 г. вступили в строй еще два завода, но уже частной формы собственности, также предназначенные для выращивания молоди кеты [Курганский, 2021]. Дальнейшего увеличения производственных мощностей для воспроизводства молоди не происходило. В целом же в развитии лососевого хозяйства Приморского края сложилась противоречивая ситуация. С одной стороны, уже давно была утверждена программа, предусматривающая увеличение масштаба заводского воспроизводства молоди тихоокеанских лососей в Приморском крае*, да и само строительство рыбоводных предприятий считалось оправданным с соблюдением, конечно, биологических и технических норм [Курганский, Марковцев, 2005]. Однако, с другой стороны, результативность воспроизводства кеты изначально была низкой [Крупянко, Скирин, 2003], а в работе рыбоводных заводов зачастую видели вред для функционирования биологических сообществ [Семенченко,

* КЦП «Лосось»: Создать крупномасштабное управляемое хозяйство на Дальнем Востоке в период 1988–1990 гг. и до 1995 г. Утверждена постановлением коллегии МРХ СССР, протокол № 32 от 13.12.88. 319 с.

Крупяно, 2005]. Промышленный лов кеты в регионе фактически так и не начался, а в отдельные годы не хватает производителей даже для выполнения плановой закладки икры [Курганский, 2021]. Молодь самого массового из тихоокеанских лососей — горбуши — в Приморском крае не разводят, а ее естественное воспроизводство, по крайней мере на юге Приморья, оказывается незначительным [Золотухин, 2002]. Более того, на 2024 г. не было даже нормативов для выпуска молоди горбуши в Приморском крае, и выпуск был разрешен по временно утвержденному нормативу, разработанному для Сахалинской области. Вместе с тем в научной печати не формулировались какие-либо обоснованные утверждения о нежелательности строительства новых рыбоводных заводов в Приморском крае, как не было и официальных решений, препятствующих такому строительству.

В 2024 г. в р. Маргаритовка (пос. Морьяк-Рыболов, Ольгинский район, Приморский край) впервые выпустили молодь кеты и горбуши с нового рыбоводного завода — ЛРЗ «Пфусунг». Цель нашей работы — описать условия воспроизводства молоди тихоокеанских лососей на новом предприятии и охарактеризовать молодь кеты и горбуши первого выпуска.

Материалы и методы

Икру кеты в количестве 8,503 млн шт. собрали от производителей, пойманных в базовом водотоке завода — р. Маргаритовка — в период с 30 сентября по 7 ноября 2023 г. В начале, середине и конце нерестового хода с целью характеристики промыслового стада кеты провели биологический анализ производителей, в ходе которого рыб измеряли, взвешивали и определяли их возраст по чешуе. Всю собранную икру объединили в три партии — от сбора соответственно с 30 сентября по 3 октября, с 12 по 21 октября и со 2 по 7 ноября. В дальнейшем икру этих партий инкубировали, молодь выдерживали и кормили отдельно, контролируя ее развитие.

Икру инкубировали в пластиковых боксах, предназначенных как для инкубации икры, так и для выдерживания предличинок от вылупления до начала кормления. В верхней части бокса на сетную рамку (рис. 1, А) помещали икру в количестве 320 тыс. шт. на бокс. Незадолго до вылупления зародышей количество икры уменьшали до 220 тыс. шт. на бокс. После вылупления зародыши через сетное дно инкубационного отсека бокса попадали в его нижнюю часть и оказывались в трубчатом пластиковом субстрате, уложенном на нижнее сетное дно бокса. В этом субстрате предличинок выдерживали в период их эндогенного питания, поднимали на плав (рис. 1, Б), приучали к корму и после начала их экзогенного питания перевозили в садки, установленные непосредственно в русле реки (рис. 2), где рыб выращивали вплоть до выпуска в естественную среду. Всего выпустили 7,665 млн мальков.

Икру горбуши в количестве 140 тыс. шт. собрали 14 сентября 2023 г. от производителей, пойманных в р. Бахура, и первоначально инкубировали на ЛРЗ «Бахура» (юго-восточный Сахалин). На ЛРЗ «Пфусунг» икру завезли 1 ноября 2023 г. непосредственно перед вылуплением, через 47 сут после начала инкубации (501,8 градусо-дня). Условия инкубации икры, выдерживания предличинок и выращивания молоди были такими же, как и для кеты. Всего выпустили 120 тыс. мальков.

На заводе используют два водных источника — собственно базовую реку, температура в которой изменяется в соответствии с сезоном, и подрусловой поток. Содержание кислорода в течение всего рыбоводного цикла не опускалось ниже 9,2 мг/л.

Рыб кормили кормом производства «Далькорм» (Россия), крупной разной фракции, а также рыбным фаршем собственного приготовления из таких рыб, как кета, треска *Gadus macrocephalus*, навага *Eleginus gracilis*, минтай *Theragra chalcogramma* и сельдь *Clupea pallasii*. Корм задавали вручную. В период раскармливания личинок 1 раз в день, а в дальнейшем довели число кормлений до 12 при рационе 0,4–0,8 % от массы тела в сутки. При подращивания в реке наблюдали развитие зоопланктона, который являлся дополнительным источником питания.

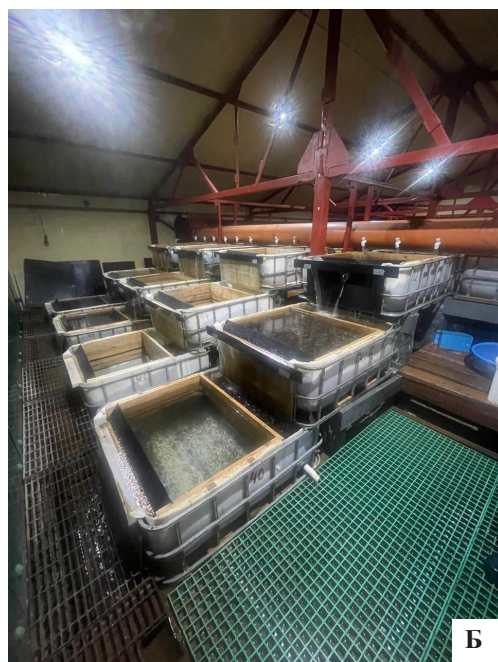


Рис. 1. Внешний вид боксов, применяемых на ЛРЗ «Пфусунг», в период инкубации икры кеты (А) и подъема личинок на плав (Б). Пояснение в тексте

Fig. 1. External view of the boxes used at Pfusung fish hatchery for incubation of chum salmon eggs (А) and raising the larvae to the surface (Б). See explanations in the text



Рис. 2. Внешний вид садков, установленных в русле реки, в которых на ЛРЗ «Пфусунг» выращивали молодь кеты и горбуши

Fig. 2. External view of the cages for rearing young chum and pink salmon at Pfusung fish hatchery

Для контроля развития молоди и расчета рациона периодически проводили биологические анализы, в ходе которых рыб измеряли, взвешивали и определяли массу остаточного желтка. Анализы выполняли в соответствии с правилами, принятыми для использования позвоночных животных в лабораторных исследованиях. Рыб предварительно усыпляли.

В ходе проведения анализов часть рыб фиксировали в жидкости Буэна для последующего гистоморфологического исследования. Все пробы были переправлены в Санкт-Петербург, где их обрабатывали на кафедре ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета. В процессе гистологической обработки у каждой особи выделяли комплекс внутренних органов, который обезживали в спиртах возрастающей крепости и двух порциях хлороформа, затем заливали в парафин-воск. Из залитых в парафин тканей делали серийные поперечные срезы толщиной по 5 мкм, которые окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну. При статистическом анализе достоверность различий средних выявляли при помощи t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Для промыслового стада кеты р. Маргаритовка присущи все показатели, которые характерны для кеты как биологического вида, в том числе для абсолютного большинства азиатских стад. Во-первых, согласно общей специфике миграции тихоокеанских лососей, в начале нерестового хода выраженно преобладали самцы, а в его конце — самки. Так, в анализах от 5, 25 октября и 11 ноября доля самцов составила соответственно 60,4, 48,5 и 31,9 %. Во-вторых, основу промыслового стада составили производители в возрасте 3+; их доля в анализах была 73,3; 63,6 и 72,3 %. В-третьих, даже несмотря на сравнительно небольшие выборки, масса рыб более старшего возраста всегда была больше массы рыб младших возрастных групп у производителей обоих полов, а масса самцов всегда была больше массы самок (табл. 1).

Таблица 1
Характеристика производителей кеты промыслового стада р. Маргаритовка
Table 1

Characteristics of chum salmon spawners in the commercial stock of Margaritovka River

Дата анализа	Число рыб	Возраст 2+		Возраст 3+		Возраст 4+	
		Кол-во рыб, экз.	Масса рыб, г	Кол-во рыб, экз.	Масса рыб, г	Кол-во рыб, экз.	Масса рыб, г
Самки							
05.10.23	40	1	2,35	29	$\frac{2,86 \pm 0,09}{1,92-3,68}$	10	$\frac{3,69 \pm 0,17}{2,83-4,91}$
25.10.23	51	9	$\frac{2,27 \pm 0,07}{1,96-2,53}$	29	$\frac{2,93 \pm 0,08}{2,14-3,78}$	13	$\frac{3,62 \pm 0,14}{2,83-4,91}$
07.11.23	64	4	$\frac{2,98 \pm 0,35}{2,38-3,86}$	45	$\frac{3,04 \pm 0,08}{2,14-4,80}$	15	$\frac{3,69 \pm 0,14}{2,83-4,91}$
Самцы							
05.10.23	61	5	$\frac{2,68 \pm 0,14}{2,38-3,22}$	45	$\frac{3,35 \pm 0,09}{2,38-4,80}$	11	$\frac{4,30 \pm 0,25}{3,20-5,72}$
25.10.23	48	2	$\frac{2,84}{2,23-3,46}$	34	$\frac{3,41 \pm 0,11}{2,41-4,45}$	12	$\frac{3,57 \pm 0,16}{2,45-4,30}$
07.11.23	30	2	$\frac{2,74}{2,73-2,76}$	23	$\frac{3,35 \pm 0,18}{1,19-5,28}$	5	$\frac{3,89 \pm 0,60}{2,52-5,46}$

Икру кеты всех трех партий начали инкубировать с использованием воды подруслового потока. Здесь следует особо отметить, что в связи с существенным заглублением водозабора температура воды в подрусловом потоке была сравнительно высокой и оставалась одинаковой в течение всего периода использования — 8,8 °С. С 1 декабря

2023 г., с целью замедлить развитие молоди и в дальнейшем приступить к ее кормлению не в зимний, а в весенний период, инкубацию икры продолжили с использованием речной воды. Но, поскольку технически использование речной воды возможно только для всего цеха, получилось, что для зародышей первой группы температуру воды понизили в день начала выклева, или через 63 сут после начала инкубации (551,3 градусо-дня), для второй — через 51 сут (445,3 градусо-дня), а третьей — через 30 сут (260,5 градусо-дня). Таким образом, зародышей, личинок и мальков кеты всех групп в течение всего периода выращивания на заводе содержали при одинаковой температуре. Вместе с тем на графике (рис. 3) видно, что одинаковые изменения температуры у рыб трех групп происходили в разном календарном возрасте и совпадали с разными этапами онтогенеза.

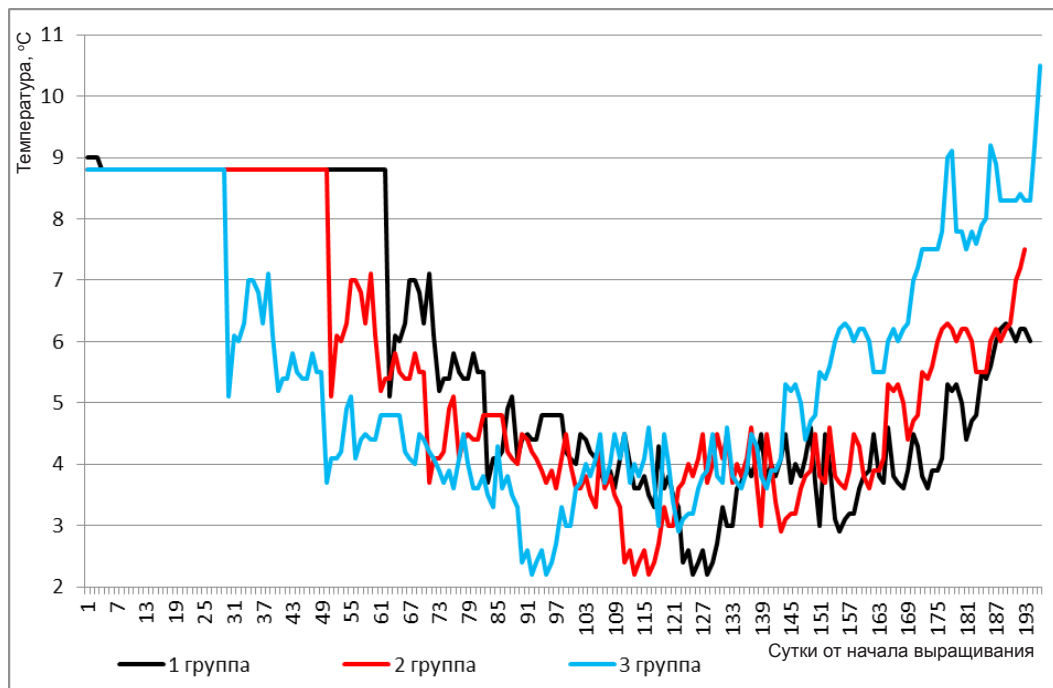


Рис. 3. Температура при выращивании кеты первой, второй и третьей групп от начала инкубации икры до выпуска молоди на ЛРЗ «Пфусунг» в рыбоводном цикле 2023/24 г.

Fig. 3. Temperature during rearing of the first, second and third batches of chum salmon at Pfusung fish hatchery from the beginning of eggs incubation to the release of juveniles in the breeding cycle of 2023/24

По факту получилось, что молодь кеты первой, второй и третьей групп выращивали на заводе в течение практически одинакового периода — соответственно 194, 193 и 196 сут. А поскольку икру кеты третьей группы начинали инкубировать более чем через месяц после начала работы с икрой первой группы, то эта разница — более месяца между первой и третьей группами — сохранялась и в последующем — в момент начала кормления и перед выпуском. Более того, молодь кеты трех групп набрала за полный период выращивания практически одинаковую сумму градусо-дней: 1125,1; 1083,0 и 1103,0 (табл. 2). Казалось бы, для зародышей третьей группы температуру воды понизили при значительно более раннем этапе онтогенеза. Однако впоследствии эта группа «добрала» сумму тепла в мае на заключительном этапе выращивания мальков, когда температура воды в реке существенно повысилась, а молодь первой и второй партий уже выпустили с завода.

Во время выдерживания предличинок увеличение массы их тела компенсировалось уменьшением массы желточного мешка, а на изменение средних значений массы в значительной мере влияло случайное попадание более крупных особей в выборки для

Таблица 2
Характеристика зародышей, личинок и молоди горбуши и кеты при выращивании на ЛРЗ «Пфуеунг» Приморского края (р. Маргаритовка)
Table 2
Characteristics of embryos, larvae and juveniles of pink and chum salmon when rearing at Pfusung fish hatchery in the Primorye Region (Margaritovka River)

Дата закладки	Вылупление			Начало кормления			Выпуск			
	Дата	Сут	Градусо-дни	Масса рыб, мг	Дата	Сут	Градусо-дни	Масса рыб, мг	Дата	Сут
Кета										
30.09–03.10.2023	05.12	67	589,8	286,8	26.02	150	926,8	324,6	11.04	194
12–21.10.2023	27.12	77	589,1	279,6	08.03	149	860,1	325,3	22.04	193
02–07.11.2023	16.01	75	490,6	305,8	15.04	165	886,5	356,5	15.05	196
Горбуша										
14.09.2023	04.11	51	528,2	164,2	26.02	165	1137,6	226,3	10.04	209
										1335,9
										37,6
										448,6

анализа (табл. 3). Заметный рост мальков начался после их перевода сначала на смешанное, а затем и на внешнее питание. Периоды кормления молоди в соответствии с температурным режимом существенно различались. Если мальков первой группы кормили в течение 44 сут и перед выпуском их масса была в среднем 1100 мг при варьировании от 770 до 1823 мг, то молодь кеты третьей группы кормили в течение 31 сут и выпустили при средней массе существенно меньше — 895 мг при варьировании от 517 до 1508 мг (табл. 3). Интересно отметить, что в среднем прирост массы тела для рыб первой и третьей групп за полный период кормления был практически одинаковым — соответственно 17,62 и 17,37 мг, а относительный прирост массы тела у молоди третьей группы был даже несколько выше — 1,60 и 1,94 %. Более высокая скорость роста у рыб третьей группы в среднем была обусловлена максимально высокой (8,5–10,5 °С) температурой воды на заключительном этапе выращивания молоди (рис. 3).

Уже в момент вылупления все участки пищеварительного тракта — кардиальный и пилорический отделы желудка, пилорические придатки, «ампула» (передняя расширенная часть) средней кишки — были сформированы, и наблюдалась их дальнейшая дифференцировка. В спиральной кишке наблюдали формирование складок. И при вылуплении, и в дальнейшем в период выдерживания предличинок просветы в отделах желудка и в кишечнике были очень малы, а складки высокими и коническими (рис. 4, А), так, как это и характерно для непитающейся молоди. Внутренние просветы в пилорических придатках практически отсутствовали (рис. 4, Б). Слизевые клетки в ампуле и спиральной кишке были единичными. Между пилорическими придатками и кардиальным отделом желудка располагалась ткань поджелудочной железы.

Развитие половых желез проходило в соответствии с температурным режимом и возрастом. В момент вылупления гонады были обособлены, сформированы и располагались непосредственно рядом с первичнопочечными протоками (рис. 4, В). Фонд половых клеток был представлен только гониями (1–3 на поперечный срез), часть из которых находилась в состоянии митоза (рис. 4, В). Через 30 сут после вылупления у предличинок прошла дифференцировка пола, и в яичниках, помимо гониев, можно было видеть ооциты периода ранней профазы мейоза преимущественно в состоянии зиготены (рис. 4, Г).

Таблица 3

Масса молоди кеты и горбуши в период выращивания на ЛРЗ «Пфусунг»
в сезоне 2023/24 гг. (над чертой — среднее значение и его ошибка;
под чертой — предел варьирования показателя; в скобках — масса желтка), мг.
Цветом выделено начало кормления

Table 3

Weight indices for juvenile chum and pink salmon during rearing at Pfusung fish hatchery
in 2023/24, mg (numerator — average body weight and its error;
denominator — range of body weight; in brackets — weight of yolk).
The beginning of feeding is marked

Дата	Кета 1-я группа	Кета 2-я группа	Кета 3-я группа	Горбуша
04.11.23	—	—	—	<u>164.20 ± 1,28</u> 140–192 (100,3)
05.12.23	<u>286.80 ± 4,10</u> 220–395 (143,0)	—	—	—
20.12.23	—	—	—	<u>207.30 ± 2,60</u> 158–279 (57,8)
27.12.23	—	<u>279.60 ± 3,14</u> 195–335 (151,1)	—	—
16.01.24	<u>278.40 ± 3,58</u> 192–356 (78,0)	<u>337.60 ± 3,54</u> 247–403 (104,6)	<u>305.30 ± 3,54</u> 166–380 (153,3)	<u>207.30 ± 2,13</u> 170–280 (58,2)
16.02.24	<u>337.80 ± 5,68</u> 270–410 (54,6)	<u>376.50 ± 5,23</u> 224–524 (54,4)	<u>348.60 ± 3,49</u> 199–435 (101,2)	<u>215.80 ± 2,12</u> 165–267 (5,0)
29.02.24	<u>324.60 ± 3,19</u> 216–412 (44,5)	<u>353.30 ± 8,88</u> 259–470 (44,9)	<u>401.80 ± 3,55</u> 261–483 (62,2)	—
08.03.24	—	<u>325.30 ± 3,46</u> 237–390 (32,8)	<u>325.30 ± 3,75</u> 226–450 (46,1)	—
15.03.24	<u>453.50 ± 9,85</u> 235–661 (28,0)	—	<u>412.20 ± 3,69</u> 323–539 (39,2)	<u>347.60 ± 6,21</u> 165–580
28.03.24	<u>720.00 ± 12,07</u> 278–909	<u>467.30 ± 5,52</u> 362–654 (16,2)	<u>451.2*</u>	<u>385.20 ± 8,03</u> 230–628
11.04.24	<u>1100.00 ± 17,54</u> 770–1823	<u>776.00 ± 6,58</u> 642–972	<u>518.2*</u>	<u>448.60 ± 7,81</u> 287–654
22.04.24	—	<u>980.00 ± 8,86</u> 723–1195	<u>523.2*</u>	—
15.05.24	—	—	<u>895.00 ± 18,60</u> 517–1508	—

* Взвешивание произведено объемным методом.

Личинок кеты первой и второй групп переводили на внешнее питание при значительном остатке желточного мешка. Как видно на рис. 5, масса желтка у этих рыб составляла до половины поперечного среза через весь комплекс внутренних органов. Начало кормления личинок при значительном остатке желточного мешка было обусловлено снижением концентрации кислорода до 4,6 мг/л и в связи с этим необходимостью перевозить рыбоводную продукцию в русловые садки. Вместе с тем личинки, поднятые на плав, быстро расходовали эндогенный ресурс; их перевод на внешнее питание не сопровождался увеличением отхода.

В дальнейшем, вплоть до выпуска, наблюдали активное питание молоди всех групп, а также темп роста рыб, который соответствовал температуре воды и интенсивности потребления пищи. Обеспечивали этот рост качественное изменение специализированных клеток и желез всех отделов пищеварительной системы. Все отделы пищеварительного тракта были сильно растянуты. Если в начале периода кормления в кардиальном отделе желудка можно было видеть высокие складки пищеварительного эпителия, занимающие практически весь внутренний просвет желудка (рис.

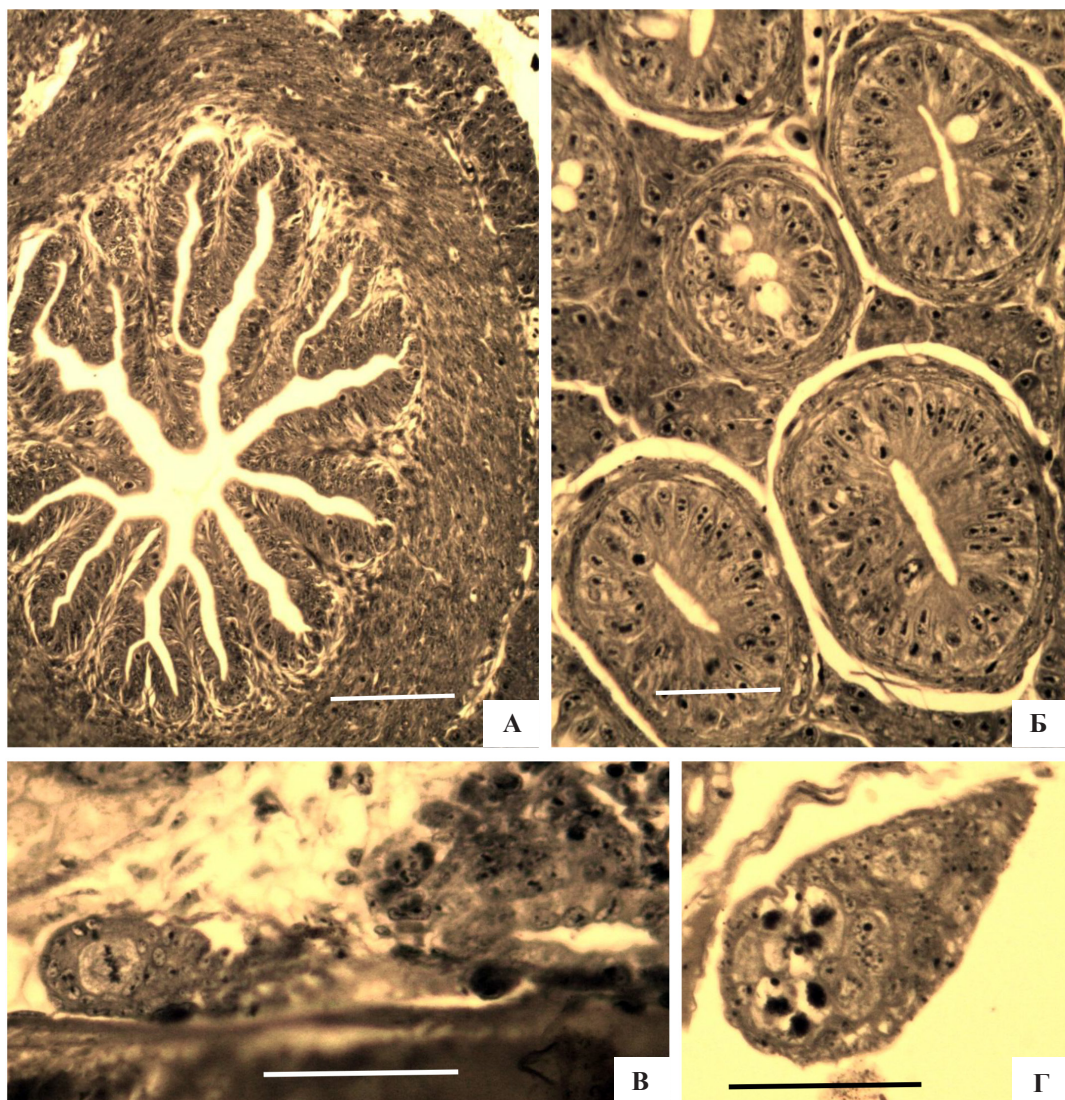


Рис. 4. Поперечный срез через пилорический отдел желудка (А) и группу пилорических придатков (Б) у предличинки кеты 3-й партии через 31 сут после вылупления и за 58 сут до начала кормления. Можно видеть высокие складки эпителия, практически заполняющие внутреннюю часть желудка. Состояние гонад у зародыша кеты в момент вылупления (В) и у предличинки через 30 сут после (Г). Пояснение в тексте. Шкала = 0,05 мм

Fig. 4. Cross-section through pyloric part of stomach (A) and a group of pyloric appendages (Б) for chum salmon pre-larvae of the 3rd batch in 31 days after hatching and 58 days before the start of feeding (high folds of epithelium can be seen, which practically filled the inside of the stomach). State of gonads in chum salmon embryo at the moment of hatching (В) and in the larva in 30 days after hatching (Г). See explanations in the text. Scale bar 0.05 mm

6, А), то в дальнейшем из-за растяжения стенок кишечной трубки во многих фрагментах кардиального отдела желудка (рис. 6, В), а также в переднем отделе средней кишки складки полностью исчезают. В кардиальном отделе желудка можно видеть сформированные и активно функционирующие пищеварительные железы (рис. 6, В). Об этом свидетельствует соотношение между объемом желез и площадью на срезе их внутренних просветов. В складках пищеварительного эпителия ампулы средней кишки и спиральной кишки присутствовали многочисленные слизевые клетки (рис. 6, Г). Более того, в цитоплазме апикальных отделов (обращенных в просвет кишки)

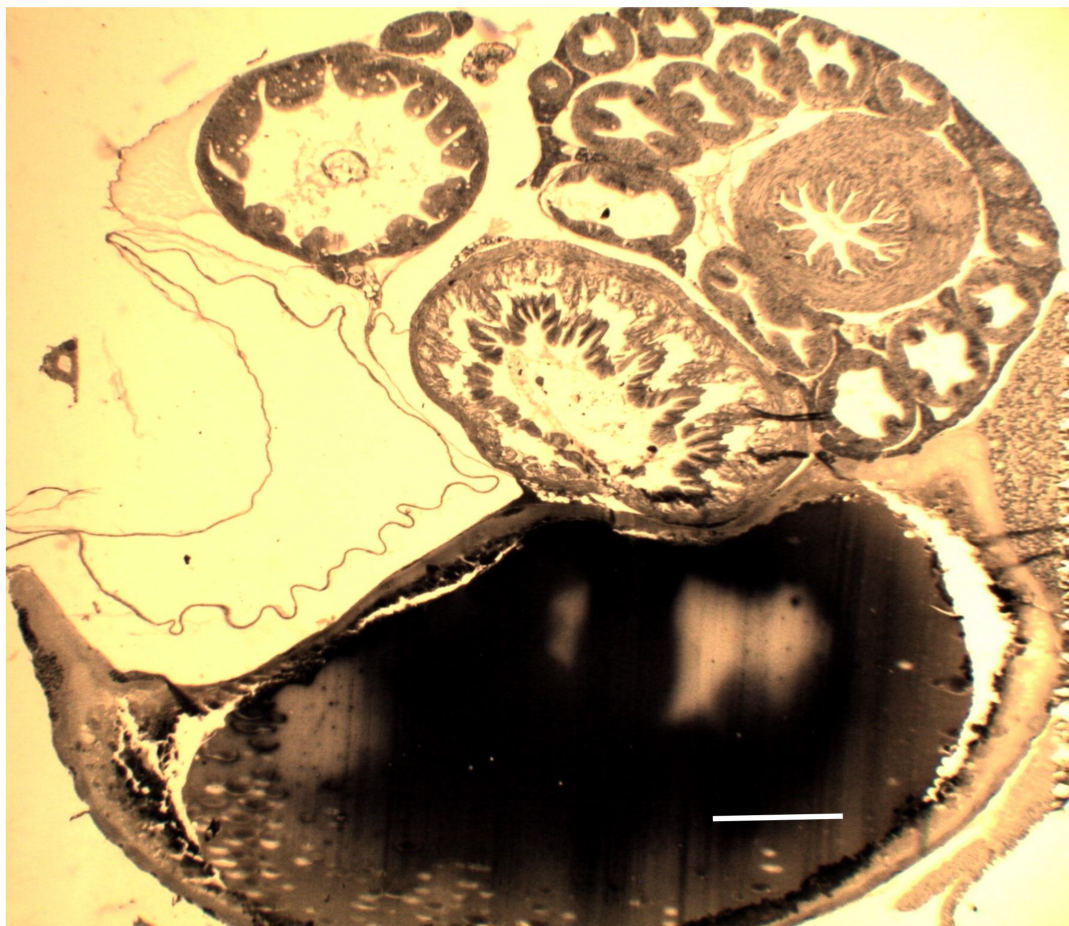


Рис. 5. Поперечный срез через комплекс внутренних органов личинки кеты в момент начала кормления. Можно видеть большой объем желточного мешка, кардиальный и пилорический отделы желудка, пилорические придатки, «ампулу» средней кишки, плавательный пузырь. Шкала = 0,3 мм

Fig. 5. Cross-section through internal organ complex of chum salmon larvae at the start of feeding. Large volume of the yolk sac, cardiac and pyloric sections of the stomach, pyloric appendages, “ampulla” of the mid-gut, and swim bladder are visible. Scale bar 0.3 mm

эпителиальных клеток спиральной кишки становится выраженной пенистая структура (рис. 6, Г), свидетельствующая об их синтетической активности. Перед выпуском старшую генерацию половых клеток у всех самок кеты составляли ооциты периода превителлогенеза диаметром до 40–50 мкм (рис. 6, Б).

Оценивая качество мальков, рыбоводы в первую очередь обращают внимание на состояние печени, употребляя такие термины, как песочная, серая, рыхлая и др. Как правило, внешний вид печени зависит от содержания в ней жира в составе жировых вакуолей, характерных для клеток печеночной паренхимы. Следует особо подчеркнуть, что содержание жира в печени мальков кеты индивидуально широко варьирует и может качественно различаться у особей в пределах каждой партии, например у самок первой группы массой 898 мг (рис. 7, А) и 910 мг (рис. 7, Б), зафиксированных перед выпуском 10.04.24 г. Можно видеть, что за счет объема жировых вакуолей расстояние между ядрами гепатоцитов у второй особи (рис. 7, Б) по крайней мере в 2 раза больше.

Молодь горбуши начали кормить 26 февраля при сумме набранного тепла в 1137,6 градусо-дня. Таким образом, молодь горбуши и кеты первой группы начали кормить в

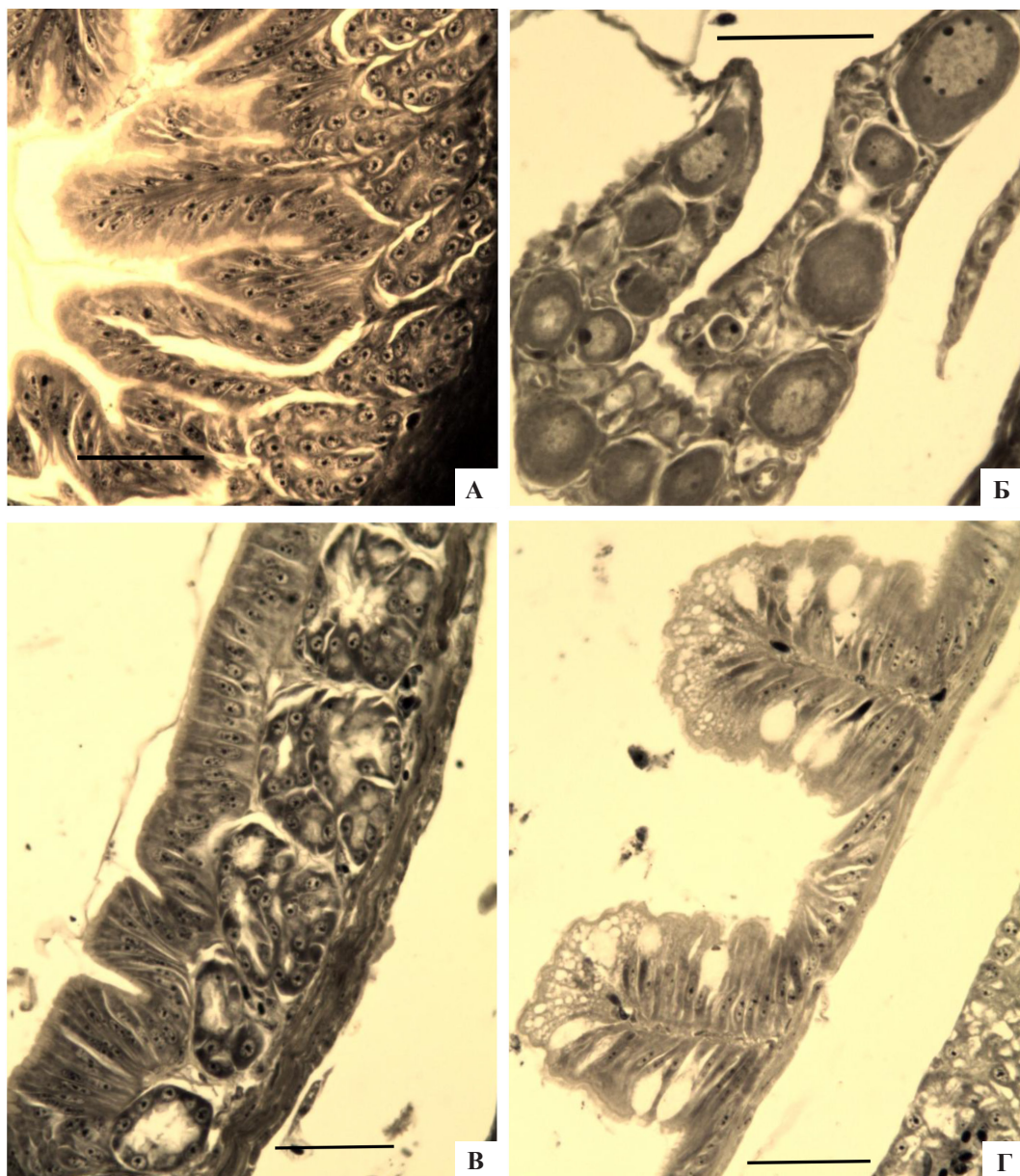


Рис. 6. Состояние кардиального отдела желудка в момент начала (А) и завершения (В) периода кормления, яичника (Б) и спиральной кишки (Г) у мальков кеты третьей группы. Пояснение в тексте. Шкала = 0,05 мм

Fig. 6. State of cardiac part of the stomach at the beginning (А) and the end (В) of feeding period, ovary (Б) and spiral valve (Г) for chum salmon fry of the third batch. See explanations in the text. Scale bar 0.05 mm

один день и одновременно выпускали 10 апреля. Масса горбуши при выпуске в среднем достигла 448,6 мг при варьировании от 287 до 654 мг. При исследовании состояния ряда органов жизнеобеспечения отметили такие же закономерности, как и у молоди кеты. Уже при вылуплении у предличинок все отделы пищеварительного тракта были анатомически сформированы и находились в состоянии, характерном для особей, не потребляющих внешнюю пищу. В кардиальном и пилорическом отделах желудка были высокие складки пищеварительного эпителия, практически закрывающие просвет. После перехода на внешнее питание складки пищеварительного эпителия во всех

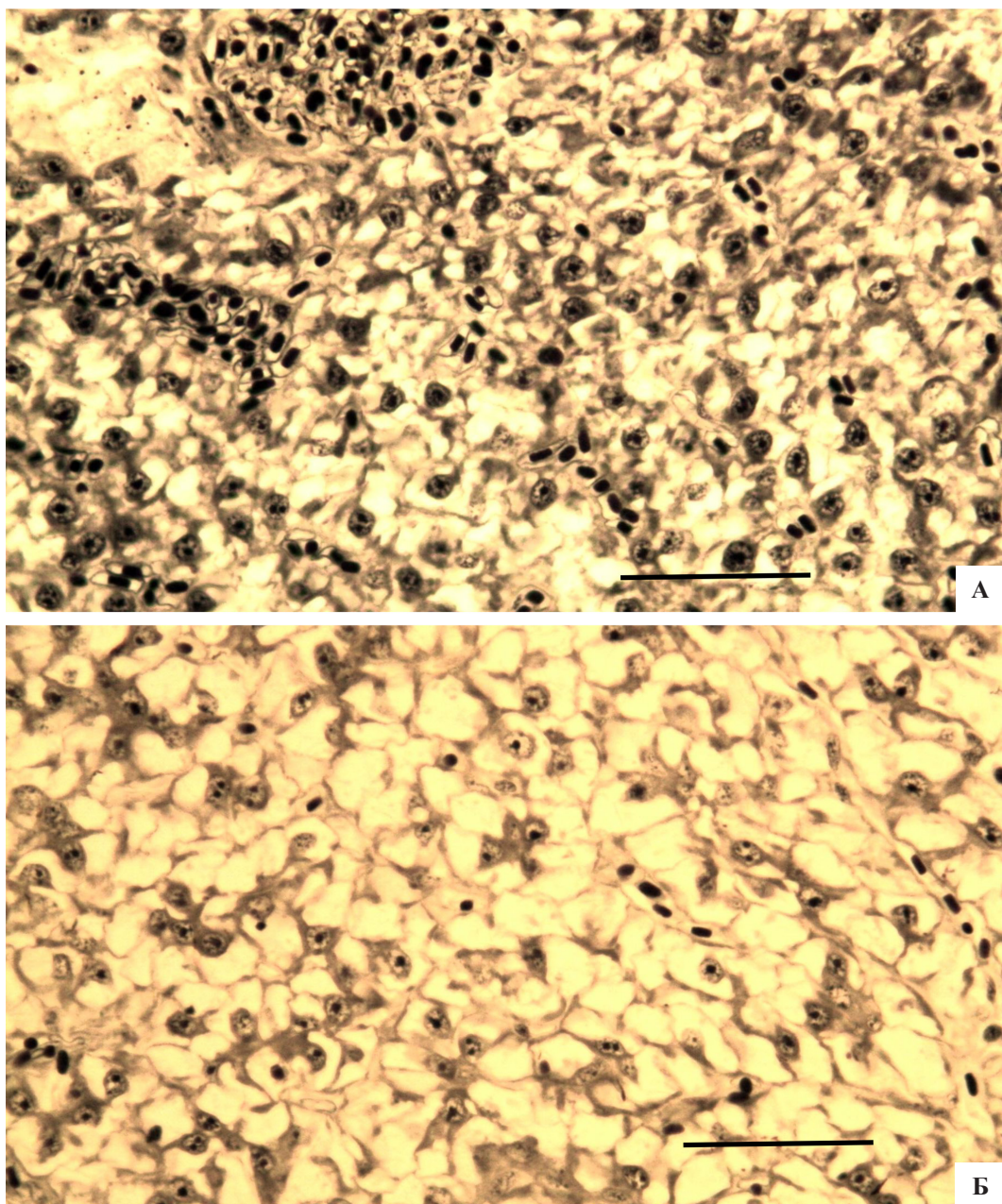


Рис. 7. Состояние печени у мальков кеты первой партии массой 898 мг (А) и 910 мг (Б), зафиксированных перед выпуском 10.04.24 г. Пояснение в тексте. Шкала = 0,05 мм

Fig. 7. State of liver for chum salmon fry of the first batch with weight of 898 mg (А) and 910 mg (Б) before their release on April 10, 2024. See explanation in the text. Scale bar 0.05 mm

отделах пищеварительной трубки растягивались. Желудочные железы увеличились в размерах, главным образом за счет увеличения площади их внутреннего просвета, как это характерно для активно функционирующей железы. По мере усиления интенсивности питания в «ампуле» средней кишки и в спиральной кишке увеличивалось число слизевых клеток. У мальков горбуши перед выпуском, как и у молоди кеты каждой из групп, существенно различалось состояние гепатоцитов, главным образом за счет разного содержания жировых вакуолей. Среди мальков горбуши также были особи с относительно большим содержанием жира в печени (рис. 8, А).

В яичниках у самок горбуши перед выпуском уже была сформирована старшая генерация ооцитов периода превителлогенеза сходного размера и внешнего облика (рис. 8, Б), как это и характерно для рыб, размножающихся один раз в жизни. Впоследствии, как мы знаем, эта генерация станет единственной, а пока до выхода рыб в морскую среду размножение гониев и инициирование новых мейотических циклов продолжается [Зеленников, 2021]. В гонадах можно встретить и одиночные, и целые группы половых клеток более ранних периодов развития, например ооциты периода ранней профазы мейоза в состоянии зиготены (рис. 8, В). Старшую генерацию ооцитов они не пополняют и подвергаются резорбции, о чем наглядно свидетельствует отсутствие в яичниках горбуши ооцитов переходных размерных групп.

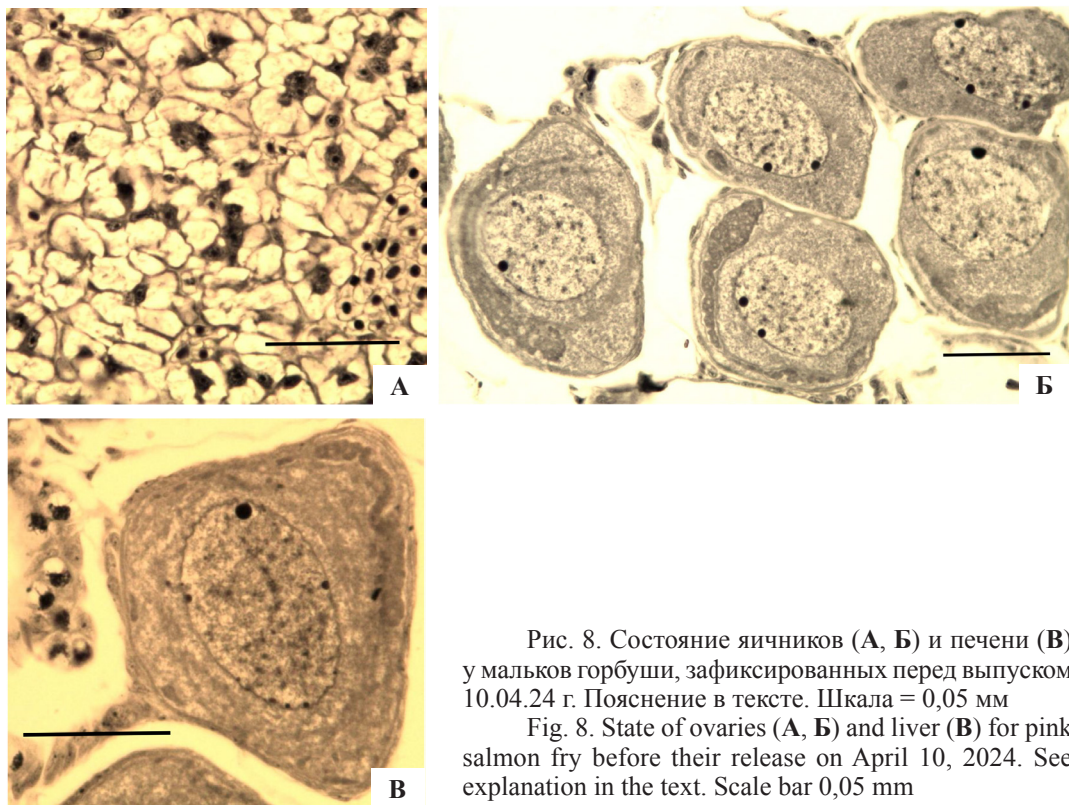


Рис. 8. Состояние яичников (А, Б) и печени (В) у мальков горбуши, зафиксированных перед выпуском 10.04.24 г. Пояснение в тексте. Шкала = 0,05 мм

Fig. 8. State of ovaries (А, Б) and liver (В) for pink salmon fry before their release on April 10, 2024. See explanation in the text. Scale bar 0,05 mm

Единственное принципиальное различие молоди кеты и горбуши заключалось в том, что у горбуши были несопоставимо более развитые яичники. Это четко видно при сравнении гонад кеты и горбуши (см. рис. 6, Б и 8, А, Б) при одинаковом увеличении. При массе тела в 2,0–2,5 раза меньше ооциты у молоди горбуши были в 2,0–2,5 раза крупнее, чем у молоди кеты, что отражает ее половое созревание в более раннем возрасте.

Начиная обсуждение, в первую очередь отметим, что полученные нами данные во многом соответствуют сведениям, имеющимся в литературе. Во-первых, среди производителей кеты промыслового стада р. Маргаритовка выраженно преобладают особи в возрасте 3+, как это и характерно для стад, обследованных в базовых реках рыбоводных заводов южных районов Приморья [Горяинов и др., 2007].

Во-вторых, инкубировать икру начинали в период природного нереста кеты [Микулич, Гавренков, 1986], а также в соответствии с технологией ее искусственного воспроизводства, поскольку для южного Приморья закладка икры длится с начала октября по начало ноября [Курганский, 2021].

В-третьих, выпуск молоди кеты был осуществлен именно в тот период, когда с природных нерестилищ массово мигрирует молодь от естественного нереста и вы-

пускают мальков со всех рыбоводных заводов Приморья [Гавренков, 1983; Кашкин и др., 1988; Колпаков и др., 2012].

Вместе с тем при выращивании кеты предполагали не только выпустить рыбоводную продукцию в тот период, когда мигрирует молодь с природных нерестилищ, но и вырастить более крупных мальков по сравнению с мальками от естественного нереста. Эту задачу выполнить удалось, поскольку, согласно накопленным данным, природная молодь выходит в море при массе от 200 до 1420 мг, а в среднем около 400–450 мг [Микулич, Гавренков, 1986]. Молодь, выращенная на ЛРЗ «Пфусунг», имела массу в среднем от 895 до 1100 мг в разных группах, а значит, во-первых, была практически в 2 раза крупнее молоди от естественного нереста, а во-вторых, имела именно такую массу, при которой ее выпускают с многочисленных рыбоводных заводов Сахалинской области [Горяинов и др., 2007; Зеленников, 2021].

Молодь горбуши, несмотря на то что именно этот вид является основой промысла тихоокеанских лососей на всей акватории Дальнего Востока России [Марченко, 2022], воспроизводят в заметном количестве только в Сахалино-Курильском регионе. Впрочем, и там воспроизводство молоди горбуши сокращается в пользу воспроизводства кеты, которая является наиболее рентабельной для пастбищного рыбоводства [Хованский, 2006]. Также следует подчеркнуть, что горбушу воспроизводят на наиболее холодно-водных предприятиях. В результате в течение полного цикла выращивания молоди от начала инкубации икры до выпуска молодь набирает от 761 до 1047 градусо-дней. Самый тепловодный завод, на котором планомерно и в значительном количестве выращивают молодь горбуши — Рейдовый ЛРЗ (о. Итуруп, южные Курильские острова). Но и на этом предприятии перед выпуском молодь набирает только 1167 градусо-дней [Зеленников, Юрчак, 2019]. При такой сумме тепла на ЛРЗ «Пфусунг» личинок горбуши только начали кормить. В результате перед выпуском, который также был произведен в период ската немногочисленной природной молоди [Микулич, Гавренков, 1986; Золотухин, 1992], молодь горбуши в среднем была в 2,0–2,5 раза крупнее, чем молодь от природного нереста в период ската на Камчатке [Зеленников, 2019], Сахалине и Курильских островах [Зеленников, Федоров, 2005; Зеленников и др., 2020], а также в Приморье [Микулич, Гавренков, 1986; Золотухин, 1992].

Заключение

По совокупности всех полученных фактов можно ожидать от молоди кеты, впервые выпущенной с ЛРЗ «Пфусунг», высокого возврата рыбоводной продукции. Во-первых, вся икра была получена от производителей собственного стада, т.е. рыб, зашедших на нерест именно в р. Маргаритовка, базовый водоток нового рыбоводного завода. Во-вторых, икру для инкубации получали в течение всего нерестового хода и от рыб исходно разной зрелости. При этом незрелых рыб содержали в русловых садках до полового созревания. Икру, личинок и мальков кеты соответственно начинали инкубировать, кормить, а также выпускали в течение месяца с лишним, что позволило вырастить максимально разнокачественную молодь для данного региона. В-третьих, молодь выпускали, предположительно, в наиболее оптимальные сроки. На это указывала динамика миграции в прибрежье мальков от природного нереста. И наконец, в-четвертых, заводская молодь была крупнее рыб от естественного нереста, что должно теоретически, при прочих равных условиях, обеспечить их более высокую выживаемость в прибрежье.

Что касается горбуши, то большого возврата от выпуска 120 тыс. мальков ожидать не приходится, особенно с учетом того, что производители этого вида, мигрируя на нерест, могут далеко отклоняться от водоема воспроизводства [Мякишев и др., 2019]. Вместе с тем первый опыт воспроизводства молоди горбуши на ЛРЗ «Пфусунг», по нашему мнению, можно признать успешным. Мальков выпустили в период ската природных рыб, но при значительно большей массе тела. Можно ожидать, что эти два обстоятельства также поспособствуют более высокой выживаемости рыбоводной продукции.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность генеральному директору ООО «Пфусунг» Т.В. Кучерук за помощь в организации работ.

The authors are grateful to T.V. Kucheruk, head of Pfusung fish hatchery, for his assistance in organizing the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Для биологических анализов использовали рыбу только из промысловых уловов. Анализы молоди делали в соответствии с правилами использования позвоночных животных для лабораторных исследований.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Fish from commercial catches only were subjected to biological analyses. The analyses of juveniles were carried out in accordance with the rules for the use of vertebrate animals for laboratory research.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

И.С. Манзаева руководила проведением всех работ по выращиванию молоди горбуши и кеты, провела биологические анализы, собрала материалы для проведения гистологического исследования. Авторы совместно анализировали данные. О.В. Зеленников провел гистологическую обработку материалов, написал и подготовил статью к печати.

I.S. Manzaeva supervised all works on growing pink salmon and chum salmon juveniles, conducted biological analyses, and collected materials for histological examination. O.V. Zelennikov made histological processing of the materials, wrote and illustrated the text of article. Both authors analyzed the data jointly.

Список литературы

Гавренков Ю.И. О биологии приморской кеты в связи с вопросами ее культивирования // Тез. докл. 4-го Всесоюз. совещ. по науч.-техн. проблемам марикультуры. — Владивосток : ТИНРО, 1983. — С. 43.

Горяинов А.А., Шатилина Т.А., Лысенко А.В., Заволокина Е.А. Приморская кета (рыбохозяйственный очерк) : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2007. — 198 с.

Зеленников О.В. Влияние процессов раннего оогенеза на развитие воспроизводительной системы у рыб : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИРО, 2021. — 43 с.

Зеленников О.В. Гаметогенез тихоокеанских лососей. 4. Состояние яичников у молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* от естественного нереста в период катадромной миграции // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации : мат-лы IV Нац. науч.-практ. конф. — Калининград, 2019. — С. 100–104.

Зеленников О.В., Проскуряков К.А., Рудакова Г.С., Мякишев М.С. Сравнительная характеристика молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) при ее естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Биол. моря. — 2020. — Т. 46, № 1. — С. 14–23. DOI: 10.31857/S0134347520010118.

Зеленников О.В., Федоров К.Е. Ранний гаметоогенез горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* при ее естественном и заводском воспроизводстве на островах Сахалин и Итуруп // Вопр. ихтиол. — 2005. — Т. 45, вып. 5. — С. 653–664.

Зеленников О.В., Юрчак М.И. Гаметогенез тихоокеанских лососей. 1. Состояние гонад у молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* при ее естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Вопр. ихтиол. — 2019. — Т. 59, № 6. — С. 741–744. DOI: 10.1134/S0042875219060195.

- Золотухин С.Ф.** Анадромные рыбы российского материкового побережья Японского моря и современный статус их численности // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 800–818.
- Золотухин С.Ф.** Особенности биологии горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* юга ареала (залив Петра Великого, Японское море) // Вопр. ихтиол. — 1992. — Т. 32, вып. 6. — С. 120–128.
- Кашкин К.А., Золотухин С.Ф., Цыгир В.В.** Катадромная миграция молоди кеты в реках Южного Приморья // Современное состояние исследований лососевидных рыб : тез. докл. 3-го Всесоюз. совещ. по лососевидным рыбам. — Тольятти : ИЭВБ АН СССР, 1988. — С. 150–151.
- Колпаков Н.В., Милованкин П.Г., Колпаков Е.В.** Новые данные по биологии молоди кеты *Oncorhynchus keta* эстуариев залива Ольги (центральное Приморье) // Бюл. № 7 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — С. 167–173.
- Крупяно Н.И., Скирин В.И.** Эффективность воспроизводства кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) в Южном Приморье // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — 2003. — Вып. 2. — С. 511–522.
- Курганский Г.Н.** Современное состояние искусственного воспроизводства кеты в Приморском крае // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 3. — С. 686–701. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-686-701.
- Курганский Г.Н., Марковцев В.Г.** Биологические и технические основы разведения лососей в Приморском крае // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 141. — С. 325–334.
- Леман В.Н., Смирнов Б.П., Точилина Т.Г.** Пастбищное лососеводство на Дальнем Востоке: современное состояние и существующие проблемы // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 153. — С. 105–120.
- Марковцев В.Г.** Состояние разведения симы в странах бассейна Японского моря // Бюл. № 9 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — С. 121–126.
- Марченко С.Л.** Анализ лососевой путины 2021 г. // Бюл. № 16 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2022. — С. 3–14. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-3-14.
- Микулич Л.В., Гавренков Ю.И.** Некоторые черты биологии и питание покатной молоди кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) Южного Приморья // Вопр. ихтиол. — 1986. — Т. 26, вып. 4. — С. 610–618.
- Мякишев М.С., Иванова М.А., Зеленников О.В.** К вопросу о мечении молоди тихоокеанских лососей и эффективности работы рыбоводных заводов // Биол. моря. — 2019. — Т. 45, № 5. — С. 342–348. DOI: 10.1134/S0134347519050085.
- Семенченко А.Ю., Крупяно Н.И.** Исследование рыбного сообщества реки Барабашевка в связи с созданием промышленных стад лососей // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — Вып. 3. — С. 636–649.
- Хованский И.Е.** Эколого-физиологические и биотехнологические факторы эффективности лососеводства (на примере искусственного разведения тихоокеанских лососей на северном побережье Охотского моря) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Хабаровск, 2006. — 47 с.

References

- Gavrenkov, Yu.I.,** On the biology of the Primorsky chum salmon in connection with issues of its cultivation, in *Tezisy dokl. 4-go Vsesoyuz. soveshch. nauch.-tekhn. problemam marikul'tury* (Abstract of the report of the 4th All-Union Scientific and Technical Conference on Mariculture Problems), Vladivostok: TINRO, 1983, p. 43.
- Goryainov, A.A., Shatilina, T.A., Lysenko, A.V., and Zavolokina, E.A.,** *Primorskaya keta (rybokhozyaystvennyy ocherk)* (Primorskaya chum salmon (fishery sketch)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2007.
- Zelennikov, O.V.,** The influence of early oogenesis processes on the development of the reproductive system in fish, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2021.
- Zelennikov, O.V.,** Gametogenesis of Pacific salmon. 4. Ovarian status in juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* from natural spawning during catadromous migration, in *Sostoyaniye i puti razvitiya akvakul'tury v Rossiyskoy Federatsii* (Status and development paths of aquaculture in the Russian Federation), Kaliningrad, 2019, pp. 100–104.
- Zelennikov, O.V., Proskuryakov, K.A., Rudakova, G.S., and Myakishev, M.S.,** The comparative characteristics of naturally produced and hatchery-reared juvenile pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), from Sakhalin Oblast, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 1, pp. 12–21. doi 10.1134/S1063074020010095

Zelennikov, O.V. and Fedorov, K.E., Early gametogenesis of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* under natural and fish hatchery reproduction in Sakhalin and Iturup islands, *J. Ichthyol.*, 2005, vol. 45, no. 5, pp. 621–632.

Zelennikov, O.V. and Yurchak, M.I., Gametogenesis of pacific salmon: 1. The state of gonads of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* under the conditions of its natural and hatchery reproduction in Sakhalin oblast, *J. Ichthyol.*, 2019, vol. 59, no. 6, pp. 966–969. doi 10.1134/S003294521906016X

Zolotukhin, S.F., Anadromous fish of the Russian continental coast of the Japan Sea and recent state of their abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 800–818.

Zolotukhin, S.F., Biological peculiarities of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, from the region near southern limit of its distribution (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Vopr. Ikhtiol.*, 1992, vol. 32, no. 6, pp. 120–128.

Kashkin, K.A., Zolotukhin, S.F., and Tsygir, V.V., Catadromous migration of chum salmon in the rivers of southern Primorye, in *Tezisy dokl. 3-go Vsesoyuz. soveshch. po lososevidnym rybam* “Sovremennoe sostoyanie issledovaniy lososevidnykh ryb” (Proc. 3rd All-Sov. Meet. Salmonids “The Current State of Salmonid Research”), Tolyatti: Inst. Ekol. Volzhskogo Basseina Akad. Nauk SSSR, 1988, pp. 150–151.

Kolpakov, N.V., Milovankin, P.G., and Kolpakov, E.V., New data on the biology of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* in the estuaries of Olga Bay (central Primorye), in *Byull. N 7 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 7 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2012, pp. 167–173.

Krupjanko, N.I. and Skirin, V.I., Efficiency of reproduction chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) in southern Primorye, in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka, 2003, vol. 2, pp. 511–522.

Kurgansky, G.N., Current state of artificial reproduction of chum salmon in Primorye Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 3, pp. 686–701. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-686-701

Kurgansky, G.N. and Markovtsev, V.G., Biological and technical basis of the artificial salmon culturing in Primorsky Territory, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 141, pp. 325–334.

Leman, V.N., Smirnov, B.P., and Tochilina, T.G., Pacific Salmon Hatchery Program on Russian Far East: Current Status and Essential Problems, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 153, pp. 105–120.

Markovtsev, V.G., The status of masu salmon cultivation in the countries of the Sea of Japan basin, in *Byull. N 9 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 9 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014, pp. 121–126.

Marchenko, S.L., Analysis of 2021 pacific salmon fishing season, in *Byull. N 16 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 16 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2022, pp. 3–14. doi 10.26428/losos_bull16-2022-3-14

Mikulich, L.V. and Gavrenkov, Yu.I., Some features of the biology and the feeding of juvenile seaward migrants of chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) from the southern Maritime Primorye, *Vopr. Ikhtiol.*, 1986, vol. 26, no. 4, pp. 610–618.

Myakishev, M.S., Ivanova, M.A., and Zelennikov, O.V., Marking of salmon juveniles and the efficiency of fish farming, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 5, pp. 363–369. doi 10.1134/S1063074019050080

Semenchenko, A.Yu. and Krupjanko, N.I., Research of the fish community of Barabashevka river in connection with the creation of industrial salmon stocks, in *Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*, Vladivostok: Dal'nauka, 2005, vol. 3, pp. 636–649.

Khovanskiy, I.E., Ecological, physiological and biotechnological factors of the efficiency of salmon breeding (on the example of artificial breeding of Pacific salmon on the northern coast of the Sea of Okhotsk), *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Khabarovsk, 2006.

KTSP «Losos'»: Sozdat' krupnomasshtabnoye upravlyayemoye khozyaystvo na Dal'nem Vostoke v period 1988–1900 gg. i do 1995 g. Utverzhdena postanovleniyem kollegii MRKH SSSR, protokol № 32 ot 13.12.88 (KCP “Salmon”: To create a large-scale managed economy in the Far East in the period 1988–1900 and up to 1995. Approved by the resolution of the board of the USSR Ministry of Agriculture, protocol No. 32 of 13.12.88).

Поступила в редакцию 15.10.2024 г.

После доработки 2.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 2.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*

Научная статья

УДК 595.384:591.134

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-167-178

EDN: ZOBSVH



ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СОДЕРЖАНИЯ В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА С ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ КЛЕШНЯМИ

В.С. Жарников*

Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Обсуждаются данные, полученные при проведении эксперимента о влиянии плотности посадки (150, 255 и 350 экз./м²) австралийского красноклешневого рака с иммобилизованными клешнями (первой пары грудных конечностей) на приросты длины и массы тела, продолжительность межлиночных интервалов, количество совершенных линек и выживаемость в трех равных по площади дна секциях аквариума. По окончании эксперимента (120 дней) выживаемость раков в первой секции сократилась до 75 экз./м² (50,0 %), во второй — до 102 экз./м² (40,0 %) и в третьей до — 114 экз./м² (37,5 %). Раки в первой секции были менее агрессивны по отношению к своим сородичам, испытывали минимальный стресс, доля погибших особей во время линьки была ниже, чем в других секциях, и составила 35 %. Показано, что в процессе эксперимента во всех трех секциях количество погибших особей в межлиночный период составило 15,0–17,5 %.

Ключевые слова: австралийский красноклешневый рак, каннибализм, иммобилизация клешней, линька, выживаемость, плотность, агрессия, травмированные особи

Для цитирования: Жарников В.С. Влияние плотности посадки на результаты содержания в искусственных условиях австралийского красноклешневого рака с иммобилизованными клешнями // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 167–178. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-167-178. EDN: ZOBSVH.

Original article

Effect of planting density on the results of growing in artificial conditions for Australian red-clawed crayfish with immobilized claws

Vyacheslav S. Zharnikov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

Ph.D., senior researcher, zharnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-6420-8175

Abstract. Results of experimental growing of Australian red-clawed crayfish with immobilized dactylopodites (movable fingers) of claws are considered. Effects of planting density

* Жарников Вячеслав Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, zharnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-6420-8175.

© Жарников В.С., 2025

on body size and weight gains, duration of intermolting intervals, number of completed moults, and survival of crayfish were evaluated in three sections of aquarium with the same bottom area but different density, as 150, 255 and 350 ind./m². At the end of the experiment (120 days), 75 ind./m² had survived in the first section (50.0 %), 102 ind./m² (40.0 %) in the second section, and 114 ind./m² (37.5 %) in the third section. Crayfish in the first section were less aggressive towards their neighbors, less stressed, and their mortality during molting was lower than in the other sections (35 %). In the intermolting period, the crayfish mortality was approximately equal in all sections (15.0–17.5 %). Effect of the dactylopodites immobilization for reducing aggression and cannibalism of redclaws during their growing in artificial conditions is discussed.

Keywords: redclaw, cannibalism, immobilization of claws, molting, survival, planting density, crayfish aggression, crayfish injuring

For citation: Zharnikov V.S. Effect of planting density on the results of growing in artificial conditions for Australian red-clawed crayfish with immobilized claws, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 167–178. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-167-178. EDN: ZOBSVH.

Введение

Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868) — австралийский красноклешневый рак, тропический теплолюбивый вид, обитает в пресных водах, но известна его устойчивость к соленой воде. В сухой период раки перемещаются в эстуарную зону рек, где отмечается повышенный уровень соленой воды [Анцупова и др., 2023]. Традиционным местообитанием считаются реки на северо-западе штата Квинсленд и северной территории Австралии, был обнаружен в Папуа — Новая Гвинея [Анкешева и др., 2021]. В естественных условиях самцы могут достигать массы 500 г, а самки 400 [Lawrence, Jones, 2002]. В аквакультуре данный вид беспозвоночных привлекателен высоким темпом роста, за короткий промежуток времени (4–6 мес.) может достигнуть товарного размера. В сравнении с другими ракообразными австралийский красноклешневый рак не требователен к качеству воды, а важнейшим фактором жизнеобеспечения гидробионтов является температура [De Bock, Lopez Greco, 2010]. Оптимальная температура для выращивания составляет 25–30 °C [Xiaohuan et al., 1995], смертельная — ниже 10 и выше 36 °C [Lawrence, Jones, 2002].

В последние годы количество хозяйств по выращиванию австралийского красноклешневого рака в России возрастает [Борисов и др., 2022]. В большинстве случаев для его выращивания используют систему земляных прудов [Анкешева и др., 2021]. Однако из-за короткого теплого сезона (до 4 мес.) полный цикл роста красноклешневого рака до товарного размера (около 6 мес.) в прудах юга России невозможен, поэтому для достижения конечного роста или получения молоди необходима передержка раков в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) [Хорошко, Крючков, 2010].

Для повышения рентабельности УЗВ требуется увеличить плотность посадки гидробионтов. Однако существует одна из главных проблем десятиногих ракообразных — высокий уровень агрессии и каннибализма в группах с повышенной плотностью содержания [Борисов и др., 2014]. Число случаев каннибализма и агрессии увеличивается при дефиците пищи, укрытий и повышенной плотности популяции [Цукерзис и др., 1977]. Для снижения уровня каннибализма красноклешневого рака предпринимаются различные меры, включающие сортировку особей по полу, размеру, установку укрытий против агрессивных контактов при повышении плотности посадки раков. У наиболее агрессивных видов десятиногих ракообразных (крабов, омаров) для предотвращения травмированности при плотном их содержании во время транспортировки часто используют иммобилизацию клешней [Kendall et al., 1982]. Следует отметить, что австралийскому красноклешневому раку клешни (первая пара грудных конечностей) необходимы для захвата и удержания крупных объектов, защиты от хищников, спаривания, передвижения по растениям и агрессивных контактов между сородичами. Вторая и третья пара переопод имеют на конце дактилоподит (подвижный палец) и проподит (неподвижный палец), образуя небольшие клешни, участвующие в

процессе питания, выполняющие основной объем работ по поиску, сбору, удержанию и передаче пищевых объектов к ротовым конечностям [Борисов, 2020]. Таким образом, иммобилизация первой пары переопод (клешней) не сказывается на возможности поиска и употребления пищи.

Цель работы — оценить влияние иммобилизации первой пары переопод (клешней) на показатели выживаемости, темпа роста длины, массы тела, продолжительности межлиночных интервалов и оптимальной плотности посадки красноклешневого рака в искусственных условиях.

Материалы и методы

Научно-экспериментальные работы с иммобилизованными дактилоподами первой пары грудных конечностей (клешней) проводили в течение 120 дней. В эксперименте задействовано 90 экз. австралийского красноклешневого рака с начальной длиной (зоологическая длина) $45,7\text{--}101,0$ мм (среднее $59,8 \pm 1,10$ мм) и массой тела $2,1\text{--}9,8$ г (среднее $6,06 \pm 0,27$ г). У каждой особи произведена первичная оценка длины (мм), массы тела (г), наносился порядковый номер с помощью влагостойкого маркера. Особей содержали в емкостях с площадью дна $0,4\text{ м}^2$ и объемом 200 л. Аквариум был разделен пластиковыми перегородками на три равные секции (по $0,133\text{ м}^2$). В первой находилось 20 раков (150 экз./м^2), во второй 30 (255 экз./м^2) и в третьей 40 особей (300 экз./м^2) (рис. 1).

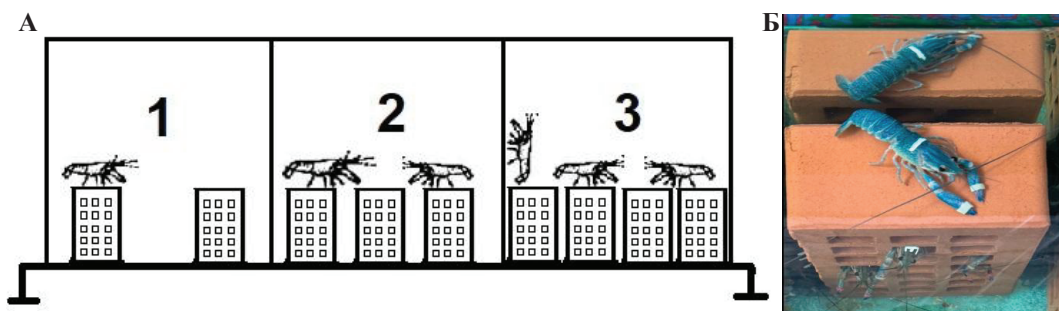


Рис. 1. Схема проведения эксперимента с австралийским красноклешневым раком (А): 1 — первая секция (20 экз.), 2 — вторая секция (30 экз.), 3 — третья секция (40 экз.); австралийский красноклешневый рак с иммобилизованными дактилоподами первой пары грудных конечностей (клешней) (Б)

Fig. 1. Scheme of the experiment with Australian red-clawed crayfish (А): 1 — first section (20 ind.), 2 — second section (30 ind.), 3 — third section (40 ind.); Australian red-clawed crayfish with immobilized dactylopodites of claws (Б)

После каждой линьки рака извлекали экзувий (линочная шкурка) и отмечали его номер. Через 2–3 дня после затвердения внешних покровов отмечали на панцире номер, проводили измерения длины тела, определяли массу перелинявшего рака и вновь фиксировали дактилоподит у особей, надевая круглую силиконовую резинку и стягивая подвижный (дактилоподит) и неподвижный (проподит) пальцы первой пары грудных конечностей (клешни), а затем особей возвращали вновь в аквариум. В ходе эксперимента длину тела от рострума до тельсона определяли с помощью штангенциркуля с точностью до $0,1$ мм, а массу раков с использованием электронных весов Superior mini digital i 2000 с точностью до $0,01$ г.

В процессе проведения работ регистрировали количество линек каждой особи. Межлиночный интервал определяли после первой и второй, второй и третьей, третьей и четвертой линьками раков. Общее количество линек определяли путем подсчета среднего количества линек на одну особь.

В качестве укрытия для раков в каждую секцию помещали по одному кирпичу с 21 квадратным отверстием шириной 21 мм и длиной 91 мм, кратному для 10 ракам,

в начале эксперимента. Таким образом, в первой секции было соответственно два, во второй — три, а в третьей — четыре кирпича. Температуру в емкостях поддерживали в пределах 25–29 °С аквариумным нагревателем. В каждой емкости проводилась аэрация компрессором Tetra APS 300 и очистка воды с помощью биофилтра Eheim 2215. В качестве корма использовали комбикорм TetraWafer Mix (Германия). Корректировку количества корма по ходу эксперимента проводили в соответствии с ростом, смертностью и интенсивностью его потребления раками. Корм для раков вносили два раза в сутки в течение 120 дней эксперимента, из расчета 0,5–1,5 % от массы тела особей (при этом предварительно рассчитали суточную норму корма для каждой секции аквариума). Один раз в 3 дня проводили чистку емкостей от остатков корма и продуктов жизнедеятельности, один раз в неделю — контроль гидрохимических параметров аквариумными тестами (Tetra, производство Германия). Диапазон контролируемых показателей составлял по содержанию аммонийного азота (NH_4^+) — не более 0,25 мг/л, нитритов (NO_2) — < от 0,03 до 0,30 мг/л, нитратов (NO_3) — от 25 до 100 мг/л и уровень pH — от 7,0 до 8,5. Все диапазоны контролируемых показателей находились в пределах допустимых значений согласно рекомендациям Я. Брайнбалле [2010] и А.В. Жигина [2011]. Потери воды в результате чистки емкостей и испарения компенсировали доливом. В случае повышения нитратов до уровня выше 60–100 мг/л, проводили подмену части воды (около 50–70 %).

Для статистической обработки данных применяли программу Statistica 10.0. Для параметрических анализов данных использовали t-критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. В тексте указана ошибка среднего.

Результаты и их обсуждение

Динамика выживаемости раков. Через 30 сут от начала эксперимента максимальная выживаемость раков — 70 % (14 экз.) — отмечена в первой секции с плотностью 105 экз./м². Выживаемость 60,0 (18 экз.) и 67,5 % (27 экз.) зафиксированы во второй и третьей секциях с плотностью посадки соответственно 135 и 203 экз./м². По окончании 60 дней эксперимента выживаемость раков в первой секции составила 50 % (10 экз.) с плотностью 75 экз./м² и в течение всего эксперимента (120 дней) не снижалась. Во второй и третьей секциях выживаемость в течение всего эксперимента постепенно снижалась. На 60-й день во второй секции выживаемость в емкости аквариума составила 53,3 % (16 экз.) с плотностью 120 экз./м², в третьей — 55,0 % (22 экз.) с плотностью 165 экз./м². Выживаемость и плотность раков по окончании эксперимента (120 дней) в первой секции составила 50,0 %, или 75 экз./м² (10 экз.), во второй — 40,0 %, или 90 экз./м² (12 экз.), а в третьей — 37,5 %, или 113 экз./м² (15 экз.) (рис. 2). В первой секции в конце эксперимента приходилось по 4 убежища (отверстия кирпича) на одного рака. Во второй и третьей секциях количество укрытий на одного рака составило соответ-

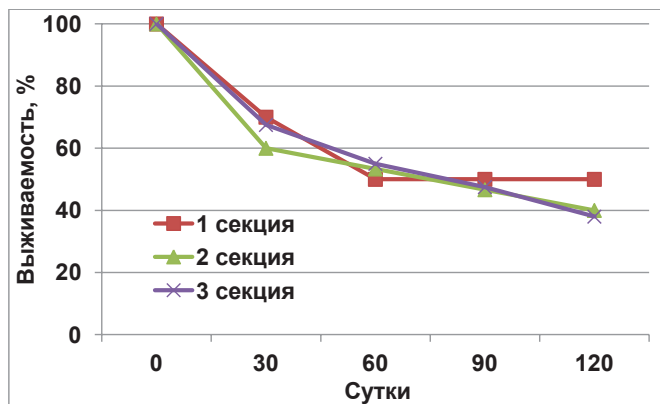


Рис. 2. Выживаемость красноклешневого рака в течение 120 дней эксперимента, %

Fig. 2. Survival of redclaw in 120 days of the experiment, %

ственно 5 и 6 отверстий. Экспериментальные данные показали, что в первой секции у раков с плотностью посадки 75 экз./м² снижение численности во втором периоде эксперимента не наблюдалось, однако во второй и третьей секциях с плотностью посадки 90 и 113 экз./м² снижение количества живых особей продолжалось в течение всего эксперимента. По наблюдениям, количество укрытий не отразилось на выживаемости раков, так как во время линьки особи беззащитны и находятся на дне аквариума, на видном месте для остальных сородичей.

Снижение выживаемости раков в искусственных условиях происходило в результате проявления каннибализма и естественной смертности в межлиночный период. Каннибализм раков наблюдался во время линьки, когда линяющая особь имеет мягкие покровы и беззащитна. Нападению своих сородичей подвергались как линяющие, так и особи, находящиеся в межлиночном периоде, при этом не происходило каннибализма, но им наносились травмы и увечья в виде оторванных конечностей. Раки с травмами медленней росли, так как большая часть энергетических затрат расходуется на восстановление потерянных конечностей [Борисов, 2020].

Подобные эксперименты с иммобилизацией и удалением клешней были проведены исследователями на омарах. Через 6 мес. лучшая выживаемость (82 %) отмечалась среди дактилотомированных (удалены подвижные пальцы (дактилоподит) первой пары грудных конечностей) омаров, а худшая выживаемость (55 %) наблюдалась в необработанном контроле. При хелотомии (удаление первой пары грудных конечностей) выживаемость составила 79 %, а у тех, у кого были склеены клеем дактилоподит и проподит (дактилостаз), она равнялась 64 % [Aiken, Young-Lai, 1981]. По мнению Aiken, Young-Lai [1979], при иммобилизации клешней у молодых красноклешневых раков увеличивалась выживаемость в сравнении с особями, находившимися в контроле. Такая же закономерность была обнаружена и у американского омара [Aiken, Young-Lai, 1979].

Проведенные исследования подтверждают тот факт, что иммобилизация клешней у красноклешневого рака приводит к увеличению выживаемости при повышенной плотности содержания в аквариуме. Так, при классическом содержании рекомендуемая плотность посадки раков может колебаться от 6 до 30 экз./м² (в среднем 20–30 экз./м²) в зависимости от массы особей [Saoud et al., 2013; Борисов, Никонова, 2018]. Другие исследования, проведенные нами в течение 140 дней по иммобилизации первой пары переопод у красноклешневого рака, при сравнении с контрольной группой показали, что фиксация клешней снижает значения приростов длины и массы тела особей, но повышает выживаемость при содержании в аквариуме с повышенной плотностью. Так, например, плотность посадки раков по окончании эксперимента в контроле снизилась с 75 экз./м² (209,1 г/м²) до 20 экз./м² (253,6 г/м²), а выживаемость составила 26,7 % [Жарников и др., 2025]. В нашем случае раки с иммобилизованными клешнями первой пары грудных конечностей с плотностью посадки 70–80 экз./м² и с биомассой до 650–740 г/м² при достаточном количестве укрытий и вносимого корма практически не подвергались каннибализму. Таким образом, в искусственных условиях при иммобилизации клешней можно содержать раков с большей плотностью посадки (2–3 раза), чем при классическом способе содержания (20–30 экз./м²).

Линька раков. Наблюдение за раками с иммобилизованными двумя клешнями первой пары грудных конечностей позволило сравнить частоту линек особей в каждой секции. На протяжении 120 дней эксперимента в первой секции среднее количество линек на одного рака составило $1,32 \pm 0,15$ раза (интервал между линек $90,9 \pm 10,3$ дня). Во второй секции количество линек на одного рака было $1,34 \pm 0,09$ раза, а интервал между ними — $89,50 \pm 6,10$ дня. В третьей секции, где плотность посадки раков равнялась 300 экз./м², количество линек было максимальным, за весь период особи полиняли $1,44 \pm 0,13$ раза, а межлиночный интервал составил в среднем $83,30 \pm 7,52$ дня. Таким образом, межлиночный период в третьей секции был короче, чем в первой и во второй секции, соответственно на 7,6 и 6,2 дня.

Подобная закономерность выявлена и у других десятиногих ракообразных. У американского омара при повышенной плотности и постоянном взаимодействии между молодыми особями увеличивается частота линьки [Cobb, Tamm, 1974, 1975; Cobb et al., 1982]. У креветки *Macrobrachium rosenbergii* при высокой плотности рост подавляется за счет уменьшения прироста за линьку [Karplus et al., 1992]. По данным А. Барки с соавторами [Barki et al., 1997] у красноклещевого рака при содержании с повышенной плотностью посадки и социальных взаимодействиях увеличивается частота линьки, но уменьшается прирост длины тела, что в совокупности способствует снижению роста особей.

Используемые в качестве укрытий кирпичи с отверстиями для раков в эксперименте показали себя как недостаточно структурированное пространство, где могут благоприятно полинять красноклещевые раки, не подвергаясь во время линьки каннибализму. Линька происходила не в укрытиях, а на дне аквариума, где раки были беззащитны. Исследования показали, что выживаемость раков снижалась из-за каннибализма полинявших особей и смертностью в межлиночный период. В первой секции аквариума выживаемость раков составила 50 %, из 10 экз. мертвых особей 7 экз. погибли во время линьки от каннибализма (35 %), а 3 экз. (15 %) — в межлиночный период по естественным причинам. Во второй секции выживаемость раков составила 40,0 %, из 18 мертвых особей (60,0 %) 13 экз. (43,4 %) погибло от каннибализма во время линьки, а 5 экз. (16,6 %) — в межлиночный период. В третьей секции выживаемость раков составила 37,5 %, из 25 мертвых особей (62,5 %) 18 экз. (45,0 %) погибло от каннибализма во время линьки, а 7 экз. (17,5 %) — в межлиночный период по естественным причинам. Следует отметить, что плотность посадки раков не повлияла на смертность в межлиночный период: количество погибших особей находилось на уровне 15,0–17,5 % во всех секциях эксперимента (табл. 1). Выживаемость раков во всех секциях была в прямой зависимости от уровня каннибализма во время линьки и в меньшей степени от смертности в межлиночный период.

Таблица 1

Количество погибших раков от каннибализма во время линьки и в межлиночный период в различных секциях, экз./%

Table 1

Number and percentage of crayfish died from cannibalism during molting and in the intermolting period, ind./%

Показатель	Первая секция	Вторая секция	Третья секция
Кол-во выживших особей	10/50	12/40,0	15/37,5
Смертность	10/50	18/60,0	25/62,5
Погибшие во время линьки от каннибализма	7/35	13/43,4	18/45,0
Смертность в межлиночный период	3/15	5/16,6	7/17,5
Травмированные особи (соотношение)	1 (1 : 10)	2 (1 : 6)	5 (1 : 3)

Повышение плотности содержания раков увеличило количество травмированных особей. В первой секции в конце эксперимента количество травмированных особей и без повреждений составило в соотношении 1 : 10 (отсутствовали переоподы — клешни первой пары грудных конечностей или ходильные конечности). Во второй (1 : 6) и третьей секциях (1 : 3) количество травмированных особей встречалось чаще (табл. 1).

Приросты длины и массы раков. За 120 дней эксперимента наиболее существенные показатели приростов длины и массы тела продемонстрировали выжившие особи из первой секции. Средняя длина выживших раков увеличилась с $57,61 \pm 2,02$ до $71,38 \pm 2,56$ мм, прирост длины тела составил $13,77 \pm 0,72$ мм (23,9 %), а масса тела увеличилась с $5,30 \pm 0,88$ до $9,25 \pm 1,12$ г, прирост — $3,95 \pm 0,64$ г (74,5 %). Менее существенные показатели приростов длины и массы тела продемонстрировали выжившие особи из второй и третьей секций. Так, средняя длина и масса тела раков во второй секции увеличилась с $64,30 \pm 1,41$ до $71,56 \pm 2,85$ мм (прирост длины тела $7,26 \pm 0,50$ мм, или 11,3 %), а масса тела — с $6,95 \pm 1,04$ до $8,74 \pm 1,04$ г ($1,79 \pm 0,34$ г, или 25,7 %).

В третьей секции прироста длины и массы тела были на уровне показателей второй секции, длина тела увеличилась с $63,03 \pm 1,57$ до $70,54 \pm 2,33$ мм (прирост $7,51 \pm 0,30$ мм, или 11,9 %), а масса тела с $6,50 \pm 0,71$ до $8,28 \pm 0,71$ г ($1,78 \pm 0,17$ г, или 27,4 %) (табл. 2). Подобные данные были получены нами при проведении другого эксперимента с одной, двумя иммобилизованными и свободными клешнями. Прирост массы раков с одной иммобилизованной клешней составил $2,75 \pm 0,85$ г, или 30 %. А наиболее низкие показатели прироста массы были у особей с двумя иммобилизованными клешнями $1,78 \pm 0,36$ г (21 %). У раков в контроле (свободные клешни) прирост составил $4,18 \pm 1,24$ г, или 49 % [Жарников и др., 2025]. Таким образом, иммобилизация клешней влияет на прирост массы тела при высокой плотности посадки раков, но не отражается при низкой, даже при избытке корма в аквариуме.

Таблица 2
Изменение длины, массы тела и выживаемость красноклешневого рака в ходе эксперимента
Table 2
Dynamics of body length, body weight and survival of redclaw during the experiment

Показатель	Первая секция	Вторая секция	Третья секция
	Начало эксперимента		
Кол-во особей, экз.	20	30	40
Средняя длина особей в начале эксперимента, мм	$57,61 \pm 2,02$	$64,30 \pm 1,41$	$63,03 \pm 1,57$
Средняя масса особей в начале эксперимента, г	$5,30 \pm 0,88$	$6,95 \pm 1,04$	$6,50 \pm 0,71$
	Конец эксперимента		
	10	12	15
Средняя длина выживших особей, мм	$71,38 \pm 2,56$	$71,56 \pm 2,85$	$70,54 \pm 2,33$
Средняя масса выживших особей, г	$9,25 \pm 1,12$	$8,74 \pm 1,04$	$8,28 \pm 0,71$
Выживаемость за весь срок эксперимента, %	50,0	40,0	37,5
Кол-во линек, раз	$1,32 \pm 0,15$	$1,34 \pm 0,09$	$1,44 \pm 0,13$

Статистический анализ показал, что прирост длины ($t = 0,0087$; $p = 0,9929$) и массы ($t = 0,0068$; $p = 0,9945$) тела раков во второй и третьей секциях достоверно не различались, в остальных случаях различия были достоверны (табл. 3).

Таблица 3
Сравнение показателей приростов длины и массы раков в трех секциях эксперимента
Table 3
Comparison of length and weight gains for crayfish in three sections of the experiment

Секции экспериментов	–	Вторая секция		Третья секция	
–	Прирост	Длина	Масса	Длина	Масса
Первая	Длина	$t = 4,420$; $p = 0,0020$	–	$t = 3,3901$; $p = 0,0025$	–
	Масса	–	$t = 3,0950$; $p = 0,0059$	–	$t = 3,4291$; $p = 0,0023$
Вторая	Длина	–	–	$t = 0,0087$; $p = 0,9929$	–
	Масса	–	–	–	$t = 0,0068$; $p = 0,9945$

Скорость роста ракообразных зависит от линек, во время которых они растут [Storer, 2005]. Как показали исследования Лоуренса и Джонса [Lawrence, Jones, 2002], рост австралийского красноклешневого рака обратно пропорционален плотности посадки, даже когда пища не была ограничивающим фактором, как при интенсивном выращивании в земляных прудах, так и в интенсивных рециркуляционных системах (УЗВ). При низкой плотности, предположительно с меньшим количеством социальных взаимодействий, более половины раков достигало больших размеров, и рост был от-

носителем однородным, тогда как при высокой плотности рост снижался, а вариации размеров увеличивались [Pinto, Rouse, 1996; Jones, Ruscoe, 2000]. По мнению исследователей, влияние иммобилизации клешней на рост ракообразных было незначительным и проявлялось в несколько более коротких интервалах линьки по сравнению с особями, имеющими свободные клешни [Kendall et al., 1982].

Результаты настоящего исследования подтверждают ранее опубликованные данные, что у австралийского красноклешневого рака наблюдается обратная зависимость между плотностью и увеличением средней массы, даже если кормление проводится с избытком [Jones et al., 2000]. Добавление укрытий для красноклешневого рака приводит к увеличению массы и уменьшению коэффициента ее вариации, несмотря на то что уровни кормления, выживаемость и плотность аналогичны таковым в контрольных группах без укрытий [Karplus et al., 1995]. Использование укрытий и иммобилизация клешней у красноклешневого рака в эксперименте в первой секции способствовало снижению агрессивных контактов между особями, что привело к более равномерному росту всех особей в группе. В то же время высокая плотность раков во второй и третьей секциях содействовала низкому приросту длины и массы тела, а также повышенному травматизму особей.

Выращивание австралийского красноклешневого рака в естественных условиях на юге России возможно только при прогреве воды не менее 20 °С. По опыту прудового выращивания красноклешневого рака в Астраханской области известно, что при посадке особей массой более $5,0 \pm 3,1$ г за 60 дней средняя масса тела раков увеличилась до $32,5 \pm 14,4$ г (минимальная товарная масса 30 г), а за 100 дней — до $82,4 \pm 26,5$ г [Пятикопова и др., 2024]. Таким образом, при посадке красноклешневых раков в УЗВ и выпуске их в пруды для подращивания можно получить особей товарного размера за короткий промежуток времени (60–100 дней).

Заключение

Проведенный эксперимент по иммобилизации клешней у австралийского красноклешневого рака продемонстрировал положительный результат. Иммобилизация клешней позволила в три раза повысить плотность посадки раков, в отличие от классического способа содержания. В первой секции показатель выживаемости составил 50,0 % (75 экз./м²), а во второй и третьей секциях аквариума с более высокой плотностью раков выживаемость снизилась соответственно до 40,0 % (90 экз./м²) и 37,5 % (113 экз./м²). Плотность посадки раков не отразилась на смертности в межлиночный период (15,0–17,5 %), однако уровень погибших от каннибализма был различен и составлял от 35 до 45 %. Результаты эксперимента выявили, что иммобилизация клешней является перспективным методом для повышения эффективности временного содержания взрослых раков в искусственных условиях. Она позволяет увеличить плотность посадки, снизить каннибализм и травмированность взрослых животных, тем самым улучшить товарное качество особей в рециркуляционных установках. Оптимальным вариантом использования технологии иммобилизации первой пары переопод — это содержание раков в УЗВ с дальнейшим выпуском их в пруды для подращивания до товарного размера. По завершении летнего сезона можно длительно содержать их при повышенной плотности посадки и сохранении высокой выживаемости в искусственных условиях для последующей реализации. Полученные данные эксперимента открывают новые возможности для оптимизации выращивания раков на производстве, что может быть особенно ценным для аквакультурных хозяйств, стремящихся увеличить продуктивность и снизить затраты при временном содержании животных в искусственных условиях.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает искреннюю благодарность ведущему специалисту отдела аквакультуры беспозвоночных ВНИРО Ирине Николаевне Никоновой за существенную помощь в организации и предоставлении живого материала для проведения эксперимента.

The author is sincerely grateful to Irina N. Nikonova, leading specialist of the Invertebrate Aquaculture Dept. of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) for her great help in organizing the experiment and providing live specimens of crayfish.

Финансирование работы (FUNDING)

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

The study was conducted within the framework of budgetary funding of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO).

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 no conflict of interest.

Список литературы

Анкешева Б.М., Тангатарова Р.Р., Пятикопова О.В. Формирование ремонтно-маточного стада австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) в индустриальной аквакультуре // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 948–959. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959.

Анцупова А.М., Шумейко Д.В., Скафарь Д.Н. и др. Влияние растворов хлорида натрия на рост и выживаемость молоди австралийского красноклещевого рака // Тр. ВНИРО. — 2023. — Т. 194. — С. 143–154. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-194-143-154.

Борисов Р.Р. Морфология и поведение десятиногих ракообразных (Crustacea: Decapoda) в постэмбриональном онтогенезе : дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИРО, 2020. — 395 с.

Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Артемов Р.В. и др. Оценка эффекта применения комбикормов с различным уровнем белка для молоди австралийского красноклещевого рака в условиях УЗВ // Тр. ВНИРО. — 2022. — Т. 187. — С. 128–137. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137.

Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Паршин-Чудин А.В. Управление пространственным распределением десятиногих ракообразных (отр. Decapoda) при культивировании в искусственных условиях // Рыб. хоз-во. — 2014. — № 3. — С. 84–89.

Борисов Р.Р., Никонова И.Н. Особенности роста десятиногих ракообразных в рециркуляционных установках на примере австралийского рака *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) // Морской биологический журнал. — 2018. — Т. 3, № 3. — С. 3–12. DOI: 10.21072/MBJ.2018.03.3.01.

Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы. — Копенгаген : ФАО, 2010. — 70 с.

Жарников В.С., Никонова И.Н., Глазунов А.А. Особенности роста и выживаемости австралийского красноклещевого рака при иммобилизации клешней в искусственных условиях // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2025. — № 2. — С. 102–114. DOI: 10.33920/sel-09-2502-03.

Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре : моногр. — М. : РГАУ-МСХА, 2011. — 664 с.

Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Тангатарова Р.Р. Опыт прудового выращивания красноклещевого рака в Астраханской области // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 659–669. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

Хорошко А.В., Крючков В.Н. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. — 2010. — Т. 2. — С. 51–54.

Цукерзис Я.М., Шаштояк И.А., Тамкявичене Е.А. Канныализм у широкопалого рака // Тр. АН ЛитССР. Сер. В. — 1977. — Т. 3, № 79. — С. 97–103.

Aiken D.E., Young Lai W.W. Cheliped ablation and immobilization: methods for improving survival and growth of juvenile American lobster in commercial culture tanks // Proc. World Mariculture. Soc. — 1979. — Vol. 10. — P. 159–161.

Aiken D.E., Young-Lai W.W. Dactylotomy, chelotomy and dactylostasis. Methods for enhancing survival and growth of small lobsters (*Homarus americanus*) in communal conditions // Aquaculture. — 1981. — Vol. 22. — P. 45–52. DOI: 10.1016/0044-8486(81)90132-0.

Barki A., Levi T., Shrem A., Karplus I. Ration and spatial distribution of feed affect survival, growth and competition in juvenile red-claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in the laboratory // Aquaculture. — 1997. — Vol. 148, № 2–3. — P. 169–177. DOI: 10.1016/S0044-8486(96)01418-4.

Cobb J.S., Tamm G.R. Dominance status and molt order in lobsters (*Homarus americanus*) // Mar. Behav. Physiol. — 1975. — Vol. 3, № 2. — P. 119–124. DOI: 10.1080/10236247509378501.

Cobb J.S., Tamm G.R. Social conditions increase intermolt period in juvenile lobsters, *Homarus americanus* // J. Fish. Res. Board Can. — 1974. — Vol. 32. — P. 1941–1943.

Cobb J.S., Tamm G.R., Wang D. Behavioral mechanisms influencing molt frequency in the American lobster, *Homarus americanus* Milne Edwards // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. — 1982. — Vol. 62, № 3. — P. 185–200. DOI: 10.1016/0022-0981(82)90200-3.

De Bock M.S., López Greco L.S. Sex reversal and growth performance in juvenile females of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae): effect of increasing temperature and androgenic gland extract in the diet // Aquacult. Int. — 2010. — № 18. — P. 231–243. DOI: 10.1007/s10499-008-9239-x.

Jones C.M., Ruscoe I.M. Assessment of stocking size and density in the production of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda: Parastacidae), cultured under earthen pond conditions // Aquaculture. — 2000. — Vol. 189, № 1–2. — P. 63–71. DOI: 10.1016/S0044-8486(00)00359-8.

Karplus I., Barki A., Levi T. et al. Effects of kinship and shelters on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Freshw. Crayfish. — 1995. — Vol. 10. — P. 494–505.

Karplus I., Hulata G., Ovadia D., Jaffe R. Social control of growth in *Macrobrachium rosenbergii*. III. The role of claws in bull-runt interactions // Aquaculture. — 1992. — Vol. 105, № 3–4. — P. 281–296. DOI: 10.1016/0044-8486(92)90093-Z.

Kendall R.A., Van Olst J.C., Carlberg J.M. Effects of chelae immobilization on growth and survivorship for individually and communally raised lobsters, *Homarus americanus* // Aquaculture. — 1982. — Vol. 29, № 3–4. — P. 359–372. DOI: 10.1016/0044-8486(82)90148-X.

Lawrence C., Jones C. Chapter Cherax // Biology of Freshwater Crayfish. — Oxford : Blackwell Science, 2002. — P. 635–670.

Pinto G.F., Rouse D.B. Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds // J. World Aquacul. Soc. — 1996. — Vol. 27, № 2. — P. 187–193. DOI: 10.1111/j.1749-7345.1996.tb00268.x.

Saoud I.P., Ghanawi J., Thompson K.R., Webster C.D. A Review of the Culture and Diseases of Redclaw Crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) // J. World Aquacul. Soc. — 2013. — Vol. 44, № 1. — P. 1–29. DOI: 10.1111/jwas.12011.

Storer T.J. Ethology and production of freshwater crayfish in aquatic polysystems in Western Australia : thesis of Doctor of Philosophy. — Curtin : Univ. of Technolog, 2005. — 370 p.

Xiaoxuan C., Zhixin W., Licai H. Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus* // J. Huazhong (Central China) Agricultural University. — 1995. — Vol. 14(5). — P. 477–480.

References

Ankesheva, B.M., Tangatarova, R.R., and Pyatikopova, O.V. Growing of replacement broodstock for australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial aquaculture, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 948–959. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959

Antsupova, A.M., Shumeyko, D.V., Skafar, D.N., Markov, A.D., Kosheleva, E.E., and Borisova, S.O. Influence of sodium chloride solutions on the juvenile Australian red-clawed growth and survival, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 194, pp. 143–154. doi 10.36038/2307-3497-2023-194-143-154

Borisov, R.R. Morphology and behavior of decapod crustaceans (Crustacea: Decapoda) in postembryonic ontogenesis, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2020.

Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., Artemov, R.V., Nikonova, I.N., Arnautov, M.V., Artemov, A.V., and Gershunskaya, V.V., Efficiency assessment of the use of compound feeds with protein different levels for juveniles Australian red claw crayfish in RAS conditions, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 187, pp. 128–137. doi 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137

Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., and Parshin-Chudin, A.V., Decapoda spacing management of the process of cultivation under artificial conditions, *Rybn. Khoz.*, 2014, no. 3, pp. 84–89.

Borisov, R.R. and Nikonova, I.N., Special aspects of decapod crustaceans growth in recirculating aquaculture systems as exemplified by australian crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae), *Morskoy biologicheskiy zhurnal*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 3–12. doi 10.21072/MBJ.2018.03.3.01

Brynalle, Ya., *Rukovodstvo po akvakul'ture v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya. Vvedeniye v novyye ekologicheskiye i vysokoproduktivnyye zamknutyie rybovodnyye sistemy* (Guide to aquaculture in closed water supply installations. Introduction to new ecological and highly productive closed fish farming systems), Copenhagen: FAO, 2010.

Zharnikov, V.S., Nikonova, I.N., and Glazunov, A.A., Features of growth and survival of the Australian red-claw crayfish during immobilization of claws in artificial conditions, *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2025, no. 2, pp. 102–114. doi 10.33920/sel-09-2502-03

Zhigin, A.V., *Zamknutyie sistemy v akvakul'ture* (Closed systems in aquaculture), Moscow: RGAU-MSKHA, 2011.

Pyatikopova, O.V., Bedritskaya, I.N., Popov, D.A., and Tangatarova, R.R., Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 659–669. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

Khoroshko, A.V. and Kryuchkov, V.N., New directions of pond aquaculture in the southern regions of Russia, *Teoreticheskiye i prikladnyye problemy agropromyshlennogo kompleksa*, 2010, vol. 2, pp. 51–54.

Tsukerzis, Y.M., Shashtoyaks, I.A., and Tamkyavichene, E.A., Cannibalism in broad-clawed crayfish, *Trudy Akademii nauk Litovskoy SSR, Ser. B*, 1977, vol. 3, no. 79, pp. 97–103.

Aiken, D.E. and Young Lai, W.W., Cheliped ablation and immobilization: methods for improving survival and growth of juvenile American lobster in commercial culture tanks, *Proc. World Mariculture. Soc.*, 1979, vol. 10, pp. 159–161.

Aiken, D.E. and Young-Lai, W.W., Dactylotomy, chelotomy and dactylostasis. Methods for enhancing survival and growth of small lobsters (*Homarus americanus*) in communal conditions, *Aquaculture*, 1981, vol. 22, pp. 45–52. doi 10.1016/0044-8486(81)90132-0

Barki, A., Levi, T., Shrem, A., and Karplus, I., Ration and spatial distribution of feed affect survival, growth and competition in juvenile red-claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in the laboratory, *Aquaculture*, 1997, vol. 148, no. 2–3, pp. 169–177. doi 10.1016/S0044-8486(96)01418-4

Cobb, J.S. and Tamm, G.R., Dominance status and molt order in lobsters (*Homarus americanus*), *Mar. Behav. Physiol.*, 1975, vol. 3, no. 2, pp. 119–124. doi 10.1080/10236247509378501

Cobb, J.S. and Tamm, G.R., Social conditions increase intermolt period in juvenile lobsters, *Homarus americanus*, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1974, vol. 32, pp. 1941–1943.

Cobb, J.S., Tamm, G.R., and Wang, D., Behavioral mechanisms influencing molt frequency in the American lobster, *Homarus americanus* Milne Edwards, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1982, vol. 62, no. 3, pp. 185–200. doi 10.1016/0022-0981(82)90200-3

De Bock, M.S. and López Greco, L.S., Sex reversal and growth performance in juvenile females of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae): effect of increasing temperature and androgenic gland extract in the diet, *Aquacult. Int.*, 2010, no. 18, pp. 231–243. doi 10.1007/s10499-008-9239-x

Jones, C.M. and Ruscoe, I.M., Assessment of stocking size and density in the production of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda: Parastacidae), cultured under earthen pond conditions, *Aquaculture*, 2000, vol. 189, no. 1–2, pp. 63–71. doi 10.1016/S0044-8486(00)00359-8

Karplus, I., Barki, A., Levi, T., Hulata, G., and Harpaz, S., Effects of kinship and shelters on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*), *Freshw. Crayfish*, 1995, vol. 10, pp. 494–505.

Karplus, I., Hulata, G., Ovadia, D., and Jaffe, R., Social control of growth in *Macrobrachium rosenbergii*. III. The role of claws in bull-runt interactions, *Aquaculture*, 1992, vol. 105, no. 3–4, pp. 281–296. doi 10.1016/0044-8486(92)90093-Z

Kendall, R.A., Van Olst, J.C., and Carlberg, J.M., Effects of chelae immobilization on growth and survivorship for individually and communally raised lobsters, *Homarus americanus*, *Aquaculture*, 1982, vol. 29, no. 3–4, pp. 359–372. doi 10.1016/0044-8486(82)90148-X

Lawrence, C. and Jones, C., Chapter Cherax, *Biology of Freshwater Crayfish*, Oxford: Blackwell Science, 2002, pp. 635–670.

Pinto, G.F. and Rouse, D.B., Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds, *J. World Aquacul. Soc.*, 1996, vol. 27, no. 2, pp. 187–193. doi 10.1111/j.1749-7345.1996.tb00268.x

Saoud, I.P., Ghanawi, J., Thompson, K.R., and Webster, C.D., A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868, *J. World Aquacul. Soc.*, 2013, vol. 44, no. 1, pp. 1–29. doi 10.1111/jwas.12011

Storer, T.J., Ethology and production of freshwater crayfish in aquatic polysystems in Western Australia, *Thesis of Doctor of Philosophy*, Curtin: Univ. of Technolog, 2005.

Xiaoxuan, C., Zhixin, W., and Licai, H., Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus*, *J. Huazhong (Central China) Agricultural University*, 1995, vol. 14(5), pp. 477–480.

Поступила в редакцию 24.02.2025 г.

После доработки 6.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

*The article was submitted 24.02.2025; approved after reviewing 6.03.2025;
accepted for publication 10.03.2025*

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 534.88:639.2.065**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-179-194****EDN: YOPAMO****МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПОДВОДНОГО
ШУМА СУДОВ НАУЧНО-ПРОМЫСЛОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ****М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, И.А. Убарчук, В.И. Шевцов***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе действующих технических регламентов и стандартов составлены методические рекомендации по измерению подводного шума судов, предназначенных для рыбохозяйственных исследований и мониторинга биоресурсов. Описаны основные термины и средства измерений, требования к условиям проведения измерений и их возможные погрешности, порядок выполнения, обработки и оформления результатов измерений. Отражены принципы размещения, функционирования и взаимодействия основных узлов гидроакустического измерительного комплекса и объекта измерений. В ходе тестирования осуществляется контроль параметров движения судна по галсу и расстояния до точки регистрации. Предусматривается измерение уровней звукового давления шума, излучаемого судном в диапазоне частот 10–25000 Гц в узких и 1/3-октавных частотных полосах. Измерения шума выполняются в дальнем акустическом поле судна и затем приводятся к расстоянию 1 м. Уровни звукового давления шума представляются в децибелах относительно опорного давления звука 1 мкПа. Производится сравнение измеренного шума с рекомендуемым ИКЕС, ниже которого эффектами избегания рыбами судна можно пренебречь, и выявление областей спектра и уровней его превышения. Методические рекомендации будут использоваться как составная часть программы приемо-сдаточных испытаний новых научно-исследовательских рыболовных судов проекта 17050, а также для акустической аттестации других судов, привлекаемых для проведения биоресурсных исследований ВНИРО и его филиалов.

Ключевые слова: шум судна, шумовые характеристики, гидрофон, гидроакустическое поле, уровень звукового давления, диаграмма направленности, акустическая аттестация судов, оценка запасов рыб

Для цитирования: Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.А., Шевцов В.И. Методические рекомендации по измерению подводного шума судов научно-промыслового назначения // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 179–194. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-179-194. EDN: YOPAMO.

* Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, mikhail.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959; Поляничко Владимир Ильич, заведующий сектором, vladimir.polianichko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494; Убарчук Игорь Анатольевич, главный специалист, igor.ubarchuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2570-1885; Шевцов Василий Игнатьевич, ведущий специалист, vasilii.shevtsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2761-441X.

Original article

Methodic recommendations for measuring underwater noise of research and commercial vessels

Mikhail Yu. Kuznetsov*, Vladimir I. Polyanichko, Igor A. Ubarchuk***, Vasily I. Shevtsov******

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

* Ph.D., head of laboratory, mikhail.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959

** head of sector, vladimir.polianichko@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494

*** chief specialist, igor.ubarchuk@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2570-1885

**** leading specialist, vasilii.shevtsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2761-441X

Abstract. Recommendations for measuring underwater noise from vessels intended for fisheries researches and monitoring of bioresources are compiled based on current technical regulations and standards. Key terms and tools for the measurement are described, requirements for conditions of the measuring are determined, potential uncertainties of the data and procedures of the data recording and postprocessing are explained. The principles of placement, operation, and interaction are established for the main components of the hydroacoustic measurement system and the object of measurement. The sound pressure levels of noise emitted by vessel in the frequency range of 10–25,000 Hz in narrow and 1/3-octave frequency bands is measured. Parameters of the vessel movement along the track and distance to the registration point are monitored during the testing; the noise level is measured in the far acoustic field of the vessel and then normalized to a distance of 1 m. The sound pressure levels of noise are presented in dB relative to the reference sound pressure of 1 μ Pa. The measured noise levels are compared with the thresholds recommended by the International Council for the Exploration of the Sea (ICES). These thresholds represent the levels below which the effect of fish avoiding the vessel can be ignored. Frequency ranges and levels of the noise exceeding these limits are identified. These recommendations will be used as a component of the acceptance testing program for new research fishing vessels of Project 17050, as well as for acoustic certification of other vessels engaged in researches conducted by the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) and its branches.

Keywords: vessel noise, noise level, hydrophone, hydroacoustic field, sound pressure level, directional diagram, acoustic certification of vessel, fish stock assessment

For citation: Kuznetsov M.Yu., Polyanichko V.I., Ubarchuk I.A., Shevtsov V.I. Methodic recommendations for measuring underwater noise of research and commercial vessels, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 179–194. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-179-194. EDN: YOPAMO.

Введение

Шум любого движущегося технического средства вызывает акустическое загрязнение окружающей среды. Движущееся в водной среде судно служит источником гидроакустического поля, характеризующегося определенным частотным спектром и направленностью. К сожалению, здесь мы не можем воспроизвести звук, который создает крупнотоннажное рыболовное судно под водой: он напоминает шум приближающегося поезда. При этом максимум спектральной энергии подводного судового шума находится в диапазоне слуха большинства видов рыб и других водных животных, т.е. они прекрасно слышат шум судна и могут воспринимать его составляющие на больших расстояниях [Кузнецов, 2011]. На путях миграций, в местах нагула и размножения многих млекопитающих и рыб интенсивные акустические шумы судов нарушают «комфортные» условия для реализации этих биологических актов.

Кроме этого, подводный шум научно-исследовательского рыболовного судна (НИРС), выполняющего съемку биоресурсов, может оказывать существенное влияние на их оценки [Underwater noise..., 1995*; Vabø et al., 2002; De Robertis, Wilson, 2006;

* Underwater noise of research vessels: review and recommendations : ICES Cooperative Research Report / ed. R.B. Mitson. 1995. № 209. DOI: 10.17895/ices.pub.5317.

Ona et al., 2007; Кузнецов, Вологдин, 2009; Кузнецов, 2011; De Robertis, Handegard, 2013; Кузнецов и др., 2017; Kuznetsov et al., 2023]. Избегательная реакция вызывает изменение естественного распределения и плотности рыб на пути судна, а наклон рыб при погружении является причиной уменьшения отражательной способности скопления и занижения эхоинтеграционных оценок [McQuinn, 1999; Ona et al., 2007]. Немаловажным является селективирующее влияние шума судна с искажением размерно-видового состава рыб в траловых уловах.

О необходимости снижения или хотя бы контроля шумовых характеристик научно-исследовательских судов в литературе упоминалось неоднократно [Ona, Godø, 1990; Кузнецов, Вологдин, 2009; Левашов, 2010; Кузнецов, 2011]. Уровни шума НИРС должны регулярно измеряться и быть одним из критериев их пригодности для тралово-акустических съемок биоресурсов. Существуют Рекомендации Международного совета по исследованию моря ИКЕС (ICES — International Council for the Exploration of the Sea) № 209, согласно которым уровень шума НИРС на частотах ниже 10 кГц не должен превышать порог восприятия рыбами шума на расстоянии 20 м*.

В последние 20 лет практически у всех зарубежных НИРС при строительстве предусмотрены технические усовершенствования по снижению шумового излучения, а уже построенные регулярно проходят акустическую аттестацию на их соответствие требованиям ИКЕС [Левашов, 2010; Левашов, Буланова, 2021]. В РФ НИРС пока не сертифицированы по шуму, а поскольку большинство из них построены еще в прошлом веке на основе проектов промысловых судов, то имеют уровни шума, значительно превышающие рекомендованные [Кузнецов и др., 2014].

Как известно, в ноябре 2021 г. на Невском судостроительном заводе было начато строительство двух научно-исследовательских судов нового поколения, специально предназначенных для выполнения многовидовых тралово-акустических съемок биоресурсов (рис. 1). В качестве прототипа строящихся НИРС проекта 17050 взято НИС «Jákur Sverri» [Левашов, Буланова, 2021]. Необычная форма носовой части улучшает управление кораблем и снижает расход топлива и шума за счет меньшего гидродинамического сопротивления. Судно спроектировано в соответствии с рекомендациями ИКЕС по шуму, для чего применена одновальная пропульсивная установка с системой



Рис. 1. Внешний вид НИРС проекта 17050 (<https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/11/sudno-17050-1024x594.jpg>)

Fig. 1. Design of research fishing vessel of Project 17050 (from: <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2021/11/sudno-17050-1024x594.jpg>)

* Underwater noise of research vessels: review and recommendations (1995).

малощумного электродвижения, все судовое оборудование установлено на антивибрационных опорах, а машинное отделение звукоизолировано.

В 2026 г. запланированы приемо-сдаточные испытания новых НИРС [Левашов, Татарников, 2024]. Программой приемо-сдаточных испытаний предусмотрены изменения их шумовых характеристик, в связи с чем необходимо разработать процедуру снятия гидроакустических параметров излучаемых судном шумов и их проверки на соответствие требованиям ИКЕС. Для этого были инициированы работы по подготовке методики измерений шума НИРС проекта 17050 как составной части программы их ходовых испытаний на соответствие допустимым уровням шумов, а также для акустической аттестации других судов, привлекаемых для проведения биоресурсных исследований ВНИРО и его филиалов.

Цель данной работы — представить основные принципы, технические средства и процедуры выполнения измерения подводного шума судов, предназначенных для рыбохозяйственных исследований и мониторинга водных биоресурсов.

Основные положения

Методики измерения шумового поля движущихся объектов в большинстве случаев используют основной подход, заключающийся в том, что на некотором расстоянии от трассы движения объекта размещается приемник звуковых волн. В процессе прохода объекта мимо приемника измеряется уровень излучаемого шума и анализируется его спектральный состав в стандартных (октавных, 1/3-октавных) и в узких частотных полосах для выявления причин и источников повышенного шума [Тукианен и др., 2005].

Методические рекомендации составлены на основе действующих Рекомендаций по метрологии Госстандарта РФ*, Рекомендаций ИКЕС**, Стандарта ANSI/ASA*** и ряда работ, регламентирующих термины и определения, а также порядок проведения измерений сигналов и шумов и представления их результатов [Урик, 1978; Кузнецов и др., 1979, 2014; Кузнецов, 2007, 2011; Кузнецов, Вологдин, 2009].

Предусматривается измерение уровней звукового давления шума, излучаемого научно-исследовательскими и промысловыми судами, и сравнение измеренного шума с рекомендуемым ИКЕС, ниже которого эффектами избегания рыбами судна можно пренебречь. Измерения уровней подводного звукового давления шума выполняются в диапазоне частот 10–25000 Гц в дальнем акустическом поле судна и затем приводятся к расстоянию 1 м с учетом чувствительности гидрофонов и усиления аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Уровни звукового давления шума представляются в децибелах относительно опорного давления звука 1 мкПа. Для интегрального уровня звукового давления шума и отдельных частотных составляющих спектра в диапазоне максимальной слуховой чувствительности рыб, являющихся объектами ресурсных исследований и промысла, могут быть представлены круговые диаграммы направленности.

Параметры гидроакустического поля судна*

Мгновенное акустическое давление — разность между давлением, существующим в рассматриваемый момент времени в некоторой точке среды, и статическим давлением.

Звуковое давление — среднее квадратическое значение мгновенного акустического давления для данного интервала времени.

* Термины и определения по: Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения гидроакустические. Термины и определения. М.: Госстандарт России, 2004. 60 с.

** Underwater noise of research vessels: review and recommendations (1995).

*** Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships. Part 1: General Requirements : American National Standard ANSI/ASA S12.64-2009/Part 1. Melville, NY, 2009. 22 p.

Акустическая мощность источника звука — полная акустическая энергия, излучаемая источником в определенном интервале времени и в определенной частотной полосе, деленная на этот интервал времени.

Интенсивность звука (плотность потока звуковой энергии) — поток звуковой энергии в определенном направлении через поверхность, перпендикулярную к этому направлению, деленный на площадь этой поверхности.

Плоская волна — волна, в которой волновые фронты всюду являются плоскостями, перпендикулярными к направлению распространения.

Сферическая волна — волна, в которой волновые фронты являются концентрическими шаровыми поверхностями.

Гидроакустическое поле судна — совокупность акустических волн, создаваемых судном в водной среде.

Ближнее звуковое поле — звуковое поле вблизи источника звука, в котором фазы мгновенного звукового давления и мгновенной колебательной скорости существенно различны.

Дальнее звуковое поле — звуковое поле вдали от источника звука, в котором фазы мгновенного звукового давления и мгновенной колебательной скорости близки.

Дифракция звука — явление, при котором изменяется направление распространения звуковой волны под воздействием препятствия или другой неоднородности в упругой среде.

Интерференция звука — сложение в пространстве двух или нескольких звуковых волн, при котором в разных точках пространства получается усиление или ослабление амплитуды результирующей волны.

Затухание — потери (вследствие рассеяния и поглощения) энергии колебаний в зависимости от времени или расстояния.

Спектр звука — представление амплитуд составляющих сложного звука в виде функции частоты.

Шумы судов — звуковые волны, излучаемые в воду подводными частями судна.

Шумность судна — функция уровней звукового давления в третьоктавных полосах в контролируемом диапазоне частот, определенная специальными методами.

Шум моря (фоновый шум) — звуки в море, создаваемые естественными факторами, такими как температурные возмущения, ветер, волны, течения и дождь, т.е. от всех источников, кроме судна.

Прокладная характеристика — временная зависимость уровня звукового давления, измеряемого в заданной полосе частот, при равномерном прямолинейном движении судна относительно неподвижного измерительного устройства, сначала при приближении к нему, а затем при удалении от него.

Измерительный галс — участок прямолинейного равномерного движения судна, на котором проводят измерения его шума.

Аэрированный слой — состояние моря, встречающееся на мелкой воде или вблизи корпуса судна в море, особенно при волнении, характеризующееся наличием большого числа воздушных пузырьков.

Требования к средствам измерений и вспомогательным устройствам (состав и характеристики)

Для организации измерений параметров гидроакустического поля судна требуются следующие инструментальные средства (системы).

Гидрофонная измерительная система (ГИС) предназначена для измерения уровней подводного шума и обеспечивает преобразование гидроакустического сигнала в электрический сигнал, его оцифровку, усиление (при необходимости) и передачу в компьютер. В состав ГИС входят калиброванные измерительные гидрофоны с кабелем и АЦП.

Гидрофоны должны быть ненаправленными во всем диапазоне частот, иметь чувствительность, ширину полосы и динамический диапазон, необходимые для измерения шума судна при тестировании. АЦП должен быть калиброванным с тремя

или более независимыми каналами для измерения абсолютных уровней звукового давления от трех и более гидрофонов с функцией ступенчатой регулировки усиления и прецизионной передачи данных компьютеру.

В качестве ГИС предполагается использование трех калиброванных измерительных гидрофонов «Standard Measuring Hydrophone Brüel & Kjær Type 8104» (Дания) с кабелем 50 м, 100 и 150 м и предварительным усилителем «NEXUS» в комплекте и калиброванного четырехканального интерфейса «USB Dynamic signal analyzer PHOTON+». Аналогом может служить система из трех калиброванных измерительных гидрофонов «BC-311 ZETLAB» (Россия) с усилителями заряда «ZET440» и анализатора спектра виброакустических сигналов «ZET034» (АЦП).

Система сбора, обработки и визуализации данных. Система предназначена для сбора и накопления акустических данных от гидрофонов с возможностью их последующей визуализации и обработки. Обработка включает программный анализ сигналов по алгоритму быстрого преобразования Фурье (FFT Spectral Analysis System) во время измерений и предварительно записанных сигналов, включающий октавный и 1/3-октавный анализ на основе параллельных цифровых фильтров, узкополосный спектральный анализ. Система сбора данных должна иметь частоту дискретизации не менее 48 кГц, отвечающую требованиям Найквиста, и надлежащий динамический диапазон (не менее 100 дБ).

Сигнал от каждого гидрофона во время измерительного галса должен быть получен и записан одновременно по всем каналам. Временные отметки должны производиться синхронно с записью акустических данных, чтобы дать возможность реконструировать измерительный галс и обеспечить синхронную обработку данных от всех гидрофонов в реальном масштабе времени. Широкополосная обработка должна покрывать полосы в одну треть октавы от 10 до 25000 Гц. Узкополосная обработка должна быть в соответствующем диапазоне частот, который может быть определен до 5000 Гц или выше, если потребуется.

Предполагается использование в качестве системы сбора, накопления и обработки акустических данных от ГИС программного анализатора для измерений амплитудно-временных характеристик и спектров шумов в режиме экспресс-контроля, записи и обработки (спектрального анализа) звуковых сигналов «RT Pro Playback software for post-processing (Brüel & Kjær)» (<https://www.bksv.com>). Аналог — программное обеспечение «ZETLAB ANALIZ» (<https://zetlab.com>).

Система измерения дистанции. Для приведения уровней звукового давления шума судна к расстоянию 1 м необходимо обеспечить измерение горизонтальной дистанции от точки регистрации (гидрофона) до акустического центра судна. Для этого можно применять любой метод (оптический, акустический, GPS, радарный). Система должна иметь точность измерения дистанции до 2 % по дистанции в точке максимального приближения (ТМП).

Для определения параметров движения судна и его позиционирования (измерения дистанции между ГИС и судном) планируется использование навигационной системы спутникового позиционирования GPS и программы Sounder [Кузнецов, 2013], с помощью которой производятся считывание данных с приемника GPS и расчет скорости движения судна и курсового угла (при их отсутствии в выходных телеграммах GPS). Программа Sounder обеспечивает представление данных в файлах формата csv, вид которых показан на рис. 2.

Дата	Время, час:мин:с	Пройденное расстояние, миля	Широта, °	Долгота, °	Курс судна, °	Скорость судна, уз.	Глубина, м
11.10.2021	03:17:16	75,16	43,03938	131,56742	16	4,4	122
11.10.2021	03:17:32	75,18	43,03926	131,56776	16	4,3	123
11.10.2021	03:17:48	75,20	43,02983	131,59539	16	4,4	118

Рис. 2. Фрагмент выходного файла данных в программе Sounder
Fig. 2. Fragment of the output data file of Sounder software

Приемники GPS с программой Sounder должны быть установлены как на судне — объекте измерений, так и на вспомогательном плавсредстве, с которого производятся акустические измерения шума. Запись акустических данных и запись данных с GPS на основном и вспомогательном судах должны быть синхронизированы во времени, чтобы иметь возможность измерить параметры гидроакустического поля судна в любой точке галса и одновременно определить горизонтальное расстояние до этой точки. При измерении допускается, что судно является точечным источником шума.

Требования к условиям проведения измерений

Основное значение имеет глубина в месте измерений и удаленность от путей интенсивного судоходства. Другими факторами для рассмотрения являются окружающий шум, направление и сила течения, гидрологические условия, тип дна, погода и маневренность судна.

Измерения и запись фонового шума выполняются одновременно по всем каналам (усреднение 30 с), когда судно находится не менее чем в 2 км от гидрофонов. Измеренная в децибелах разность уровней звукового давления шума судна на галсе (полезный сигнал плюс фоновый шум) и окружающего фонового шума должна быть не менее 3 дБ во всем частотном диапазоне. Значения ниже 3 дБ исключаются из процедуры обработки. Там, где разница уровней судового и фонового шума находится в диапазоне 3–10 дБ, при вторичной обработке должна применяться коррекция.

Минимальная глубина дна в месте тестирования должна быть не менее 100 м или удвоенной длины судна. Измерения, проводимые в более мелководных районах, могут иметь погрешность на частотах ниже 200 Гц.

Состояние поверхности моря во время измерений также имеет значение, так как волнение выше 3 баллов может вызвать дополнительный фоновый шум и образование в приповерхностном слое вблизи корпуса аэрированного слоя, искажающих акустическое поле судна. В общем случае, чтобы обеспечить согласованность и повторяемость измерений при различных состояниях морской поверхности, рекомендуется ограничение в скорости ветра $\leq 8\text{--}10$ м/с для судов длиной более 50 м. Измерения шумов судов меньше 50 м должны выполняться при скорости ветра ≤ 5 м/с. Большие суда длиной более 100 м допускают более жесткие погодные условия.

Порядок выполнения измерений*

Принципы размещения, функционирования и взаимодействия основных узлов измерительного комплекса и объекта измерений.

Расположение гидрофонов. Гидрофоны должны быть размещены в толще воды вертикально таким образом, чтобы измерять объемную форму гидроакустического поля судна при тестировании. Гидрофоны располагаются на глубинах, которые получаются из номинальных углов 15° , 30° и 45° от морской поверхности на дистанции в ТМП (рис. 3). Например, если расстояние в ТМП составляет 50 м, гидрофоны должны быть размещены на глубинах 15 м, 30 и 50 м.

Оснащение гидрофонов должно быть таким, чтобы уменьшить влияние вибрации кабеля и волнения морской поверхности на результаты измерений. Одним из вариантов может быть крепление гидрофонов на тросе с грузом. Для исключения вертикальных движений гидрофонов при волнении моря должна использоваться развязка в виде пружинного или иного подвеса. При этом кабель гидрофона крепится к тросу без нагрузки. Возможны другие технические решения, позволяющие обеспечить требуемое расположение измерительных гидрофонов в толще воды.

Курс и движение судна во время измерений. Конфигурация взаимного положения и движения судна во время измерений показана на рис. 4. Судно проходит по прямой линии мимо вспомогательного судна, с которого производятся акусти-

* Quantities and Procedures for Description and Measurement... (2009).

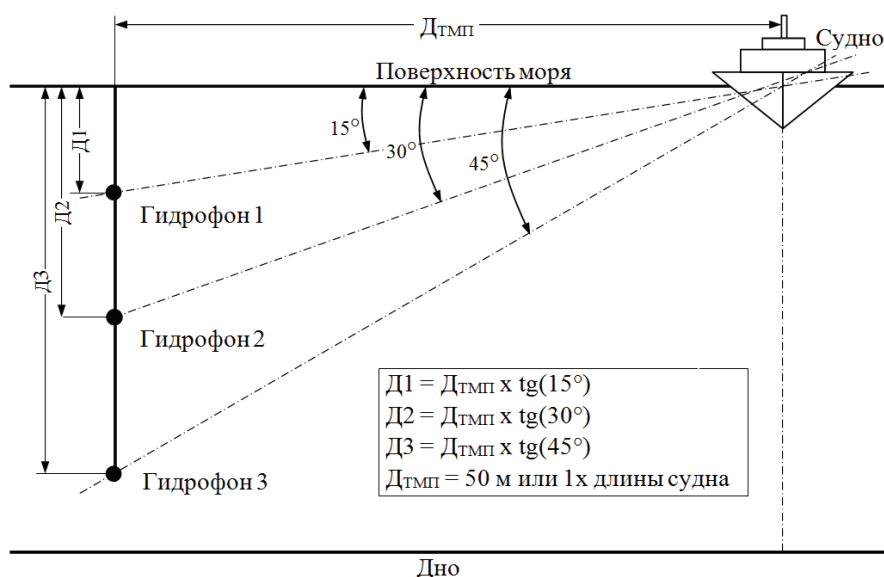


Рис. 3. Вертикальная геометрия гидрофонов и судна в ТМП*

Fig. 3. Vertical geometry of hydrophones and the vessel in the closest point of approach (according to [Quantities..., 2009])

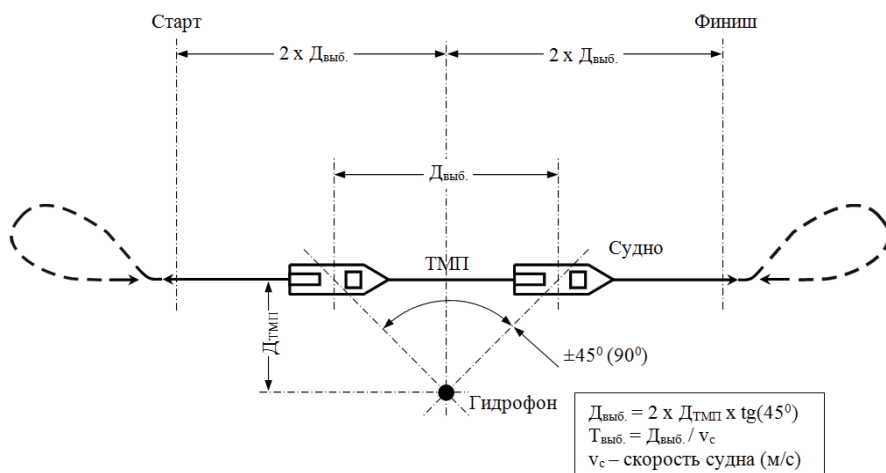


Рис. 4. Схема взаимного положения гидрофона и судна при его движении по галсу во время измерений

Fig. 4. Scheme of relative position of hydrophone and the vessel sailing along beam during the measurements

ческие измерения, таким постоянным курсом, при котором достигается требуемое значение дистанции до гидрофонов, когда судно находится на траверзе (ТМП). Начальная точка галса (или «Старт») является удвоенной длиной окна выборки данных ($D_{\text{выб.}}$) перед ТМП или ($4 \times D_{\text{ТМП}}$). Конечная точка галса (или «Финиш») является удвоенной $D_{\text{выб.}}$ (или $4 \times D_{\text{ТМП}}$) после прохода ТМП. В точке «Старт» судно должно достигнуть требуемый режим работы двигателя и скорость движения, пока не пройдет через точку «Финиш». После этого судно выполняет циркуляцию и выходит на следующий галс другим бортом. Дистанции между ГИС и судном и параметры движения судна в каждой точке галса рассчитываются с использованием программы Sounder.

* Quantities and Procedures for Description and Measurement... (2009).

Последовательность измерений. Перед выполнением галсов судно удаляется не менее чем на 2 км от вспомогательного судна с гидрофонами. После завершения измерений фоновый шум тестируемое судно начинает движение в точку «Старт». Включается запись акустических данных от ГИС и запускается программа Sounder.

Когда судно достигнет точки начала галса (точка «Старт»), все установки двигателей и параметры движения судна (обороты двигателя и угол ВРШ, скорость и курс судна) должны соответствовать требуемым и оставаться неизменными до достижения точки «Финиш».

В точке «Старт» в журнале событий программы Sounder производится отметка начала галса. Далее делаются отметки прибытия судна в точку начала окна выборки данных ($L_{выб}$), в ТМП, точку конца выборки данных и в точку «Финиш».

В точке «Финиш» судно выполняет циркуляцию и выходит на следующий галс, как показано на рис. 4. Для каждого тестируемого режима работы двигателя и движения судна должны быть выполнены шесть проходов (по три чередующиеся галса правым и левым бортом). По окончании работ еще раз выполняются измерения фонового шума моря.

Обработка результатов измерений

Когда измерения шума завершены, чтобы отрегулировать уровни звукового давления с учетом фонового шума и чувствительности гидрофонов, а также для приведения (нормализации) данных на различных дистанциях к опорному расстоянию 1 м, требуется их вторичная (постпроцессинговая) обработка. Далее задача состоит в объединении данных, полученных с 3 гидрофонов, и усреднении данных во время галсов*.

Угол окна выборки данных составляет $\pm 45^\circ$ от ТМП, как показано на рис. 4. Дистанция до судна в ТМП должна быть равна 50 м или общей длине судна с допустимым отклонением $\pm 10\%$. Длина окна выборки данных ($L_{выб}$) является расстоянием, пройденным судном по галсу при тестировании в пределах сектора $\pm 45^\circ$ от ТМП (м):

$$L_{выб} = 2 \times L_{ТМП} \times \operatorname{tg}(45^\circ) = 2 \times L_{ТМП} \quad (1)$$

Период окна выборки данных ($T_{выб}$) — это время, которое требуется судну, чтобы пройти расстояние ($L_{выб}$). Период окна данных должен быть разделен на независимые выборки длительностью 1 с каждая.

Регулировки с учетом фонового шума. Значения фонового шума должны быть учтены путем сравнения измеренного уровня шума судна с фоновым шумом в районе тестирования. Отношение сигнал плюс шум к шуму или определяется равенством (2):

$$\Delta = 20 \log \left(\frac{p+n}{n} \right) = 10 \log \left(\frac{p+n}{n} \right)^2 = L_{p+n} - L_n \quad (2)$$

где Δ — отношение сигнала с шумом к шуму для каждой полосы 1/3 октавы; $p+n$ — звуковое давление на гидрофоне, которое составляет $10^{(L_{p+n}/20)}$, мкПа (эта величина включает как полезный сигнал, так и нежелательный фоновый шум); n — давление фонового шума, равное $10^{(L_n/20)}$, мкПа; L_{p+n} — уровень звукового давления шума на измерительном галсе, дБ; L_n — уровень звукового давления фонового шума (тестируемое судно неподвижно и находится на расстоянии 2 км от гидрофонов, дБ).

Если Δ больше 10 дБ — нет необходимости в регулировке. Если Δ между 3 и 10 дБ и фоновый шум существенно стационарен, тогда требуется регулировка в измерениях с использованием равенства:

$$L_p = 10 \log (10^{(L_{p+n}/10)} - 10^{(L_n/10)}), \quad (3)$$

где L_p — откорректированный с учетом фонового шума уровень звукового давления судна при тестировании, вычисленный в полосах в 1/3 октавы.

Если Δ меньше 3 дБ, данные должны быть соответствующим образом отсортированы и исключены из процедуры обработки. При этом в отчете должно быть отмечено, где и какие коррекции были применены.

* Quantities and Procedures for Description and Measurement... (2009).

Регулировки с учетом чувствительности. Кроме коррекций, связанных с наложением фонового шума на полезный сигнал, должны быть учтены чувствительность гидрофона с кабелем и усиление приемника. Регулировки чувствительности должны быть учтены в уровне шума в виде равенства:

$$L_p'' = L_p' + A_{SEN}, \quad (4)$$

где L_p'' — отрегулированный уровень звукового давления шума судна; A_{SEN} — поправка, учитывающая суммарную чувствительность и усиление всех элементов ГИС.

Нормализация (приведение) дистанции. Конечной регулировкой измеренного и откорректированного с учетом фонового шума и чувствительности уровня звукового давления шума L_p'' является нормализация по дистанции (приведение данных к опорному расстоянию 1 м). Дистанция от движущегося по галсу судна до гидрофонов изменяется от максимальной в точках «Старт» и «Финиш» до минимальной в ТМП. При этом из-за течения и волнения эта дистанция может варьировать на 10 % и более, но это все приемлемо, пока она измеряется системой спутникового позиционирования GPS и программой Sounder.

Дистанция от судна до гидрофона может быть вычислена с использованием двух других: горизонтальной от акустического центра судна до буя (вспомогательного судна) и вертикальной от морской поверхности до каждого гидрофона. Дистанция от судна до каждого гидрофона определяется с использованием равенства

$$d_{total} = \sqrt{d_{horz}^2 + d_{vert}^2(h)}, \quad (5)$$

где d_{total} — полная дистанция до гидрофона, используемая для нормализации данных по дистанции; d_{horz} — горизонтальная дистанция от акустического центра тестируемого судна до буя, поддерживающего гидрофоны; d_{vert} — глубина гидрофона ($h_1 = 15$ м, $h_2 = 30$ м и $h_3 = 50$ м).

Приведенный уровень подводного звукового давления шума для каждого гидрофона и каждого измерительного галса определяется выражением

$$L_s(r, h) = L_p'' + 20 \log(d_{total}/d_{ref}), \quad (6)$$

где $L_s(r, h)$ — уровень подводного звукового давления шума, создаваемого судном на опорной дистанции 1 м, как функция от числа пробегов (r) и местоположения гидрофона (глубина h_1 , h_2 или h_3); d_{total} — полная дистанция от судна на галсе до каждого гидрофона, м; d_{ref} — опорная дистанция 1 м.

Специфика вторичной обработки данных. Результирующее множество данных измерений должны составлять уровни звукового давления шума, измеренные в узких (1 Гц) и 1/3-октавных частотных полосах, в децибелах относительно 1 мкПа, в диапазоне частот от 10 до 25000 Гц. Такие множества данных должны быть подготовлены для трех гидрофонов и для 6 галсов (по 3 на левый и правый борт). Галсы, соответствующие аспектам левого и правого бортов, должны приводиться отдельно. Эти ряды данных должны быть откорректированы и нормализованы (см. выше).

Первым шагом в финальной обработке является усреднение по мощности уровня подводного шума источника от трех гидрофонов (h_1 , h_2 и h_3), которое представляется как уровень звукового давления шума судна для каждого галса (пробега) $L_s(r)$:

$$L_s(r) = 10 \log\{(10^{L_s(r, h_1)/10} + 10^{L_s(r, h_2)/10} + 10^{L_s(r, h_3)/10})/3\}, \quad (7)$$

где $L_s(r)$ — усредненный по мощности уровень подводного судового шума на опорной дистанции 1 м для трех гидрофонов для галса (пробега) номер r ; $L_s(r, h_1)$ — уровень подводного судового шума для мелководного (h_1) гидрофона для пробега номер r ; $L_s(r, h_2)$ — уровень подводного шума источника для среднего (h_2) гидрофона для пробега номер r ; $L_s(r, h_3)$ — уровень подводного шума источника для глубоководного (h_3) гидрофона для пробега номер r .

Чтобы определить конечную величину звукового давления шума, создаваемого судном, данные по 6 галсам арифметически усредняются:

$$L_s = \{\sum_{r=1}^{r=k} L_s(r)\}/k, \quad (8)$$

где L_s — результирующая характеристика (сигнатура) гидроакустического шума для k пробегов; $L_s(r)$ — усредненный по мощности уровень подводного звукового давления шума на опорной дистанции 1 м от источника для трех гидрофонов и для числа галсов (пробегов) r ; k — общее число пробегов: $k = 6$.

Для каждого режима работы судна L_s должна быть определена отдельно для каждой стороны судна (т.е. аспект левого и аспект правого борта) и затем для обоих бортов вместе. Эти финальные величины звукового давления шума L_s как функция частоты в узких полосах (1 Гц) и в полосах 1/3-октавы приводятся в отчете, где данные для различных режимов работы судна сравниваются с рекомендуемыми ИКЕС, а также отмечаются используемые ограничения, коррекции и другие установки.

Точность измерений

Общую погрешность измерений подводного шума судна определяют случайные ошибки, где погрешность может быть оценена из повторяемости измерений, и систематические смещения в оценках. Неопределенность результата измерения включает объединенный эффект от нескольких компонентов, имеющих стандартные значения между 0,5 и 1,0 дБ. Эти компоненты формируются из ошибок, связанных с системой измерения и сбора данных (аппаратурная погрешность): градуировка гидрофонов (1,0 дБ), чувствительность (1,0 дБ); обработка данных (0,5 дБ) и усиление приемника (0,5 дБ). Общая погрешность измерений имеет значение порядка 1,5 дБ (вычисленное как корень из суммы квадратов индивидуальных значений).

Неопределенность в зависимости от условий измерения подводного шума определяют количественные ошибки в определении расстояний, расположения гидрофонов по глубине, температурные градиенты и т.д. Общая погрешность для каждого гидрофона должна составлять около 2,0 дБ. Усреднение данных по трем гидрофонам снижает неопределенность до 1,5 дБ. Эти значения являются типичными для морских акустических измерений.

Близость поверхности и дна также может вызвать смещения в оценках. Акустические волны давления от судна при распространении вблизи поверхности подвержены эффектам отражения от свободной границы вода–воздух, а в мелком море — и дна. Кроме этого, большое значение имеет степень аэрации и рассеяния звука вблизи поверхности. Разнесение гидрофонов по глубине снижает влияние приповерхностных эффектов отражения, но не исключает возможное влияние донных переотражений звука в зависимости от типа дна.

Повторяемость измерений подвержена влиянию ошибки измерения расстояния и обработки сигнала, а также других ошибок, которые различаются от галса к галсу. Среднее от двух или более пробегов уменьшает общую ошибку измерений на величину, которая является квадратным корнем из числа галсов. На результирующие уровни источников также влияет повторяемость режима работы самого судна.

Отчет о результатах измерений

Результаты измерений оформляются в виде отчета (протокола). Отчет должен включать всю доступную, относящуюся к измерениям шума, и сопутствующую информацию согласно форме (см. таблицу).

Все тестируемые режимы работы двигателя и движения судна должны быть сведены в таблицу (рис. 5).

Форма отчета о результатах измерений подводного шума судна (рекомендуемая)
Recommended format of the report on measurements of underwater noise of vessel

Характеристики судна	Характеристики тестирования	Отчет о проблемах
1. Название/тип (классификация)	1. Дата	1. Возможные источники подводного шума
2. Верфь и год построения	2. Местоположение/окружающие условия	2. Соблюдение условий и процедуры тестирования
3. Размерности	2.1 Широта/долгота	3. Внешнее манипулирование данными
3.1 Форма корпуса	2.2 Высота волны/состояние моря	4. Окружающие/фоновые регулировки
3.2 Длина	2.3 Глубина дна/тип дна	5. Переход от ШП к УП
3.3 Ширина	2.4 Соленость/температура/профиль скорости звука	6. Модификации, регулировки данных
3.4 Осадка	3. Измерительная система	7. Коррекция уровня шума
3.5 Тоннаж	3.1 Описание системы подвеса/схема движения судна	
3.6 Балластные условия	3.2 Глубина гидрофонов	
4. Состояние корпуса	3.3 Модель гидрофона/направленность/чувствительность	
5. Характеристики силовой установки	3.4 Методы и результаты калибровки гидрофонов	
5.1 Трансмиссия	4. Программа тестирования	
5.2 Число валов	4.1 Расстояние в ТМП	
5.3 Число лопастей винта	4.2 Окно данных	
5.4 Обороты на узел	4.3 Геометрия маневрирования	
	4.4 Уровни фонового шума	

Номер режима	Обороты двигателя/мин	Угол ВРШ, град.	Скорость судна, уз.
--------------	-----------------------	-----------------	---------------------

Рис. 5. Режимы работы двигателя и скорости движения судна во время измерений
Fig. 5. Engine operating modes and the vessel speed during the measurements

Максимально допустимый предел уровня подводного шума в полосах частот 1 Гц может быть вычислен по следующим формулам*:

— в диапазоне от 1 Гц до 1 кГц:

$$L_s \leq 135 - 1,66 \log(f_{Гц}), \tag{9}$$

— в диапазоне от 1 кГц до 100 кГц:

$$L_s \leq 130 - 1,66 \log(f_{Гц}). \tag{10}$$

В отчете приводятся спектральные характеристики уровня подводного звукового давления шума в децибелах относительно 1 мкПа на расстоянии 1 м для каждого режима работы двигателя и скорости движения судна в одногерцовом и третьоктавном представлении со шкалой центральных частот. На рис. 6 в качестве примера приведены спектральные характеристики шума одного из НИС БИФ ВНИРО проекта «Атлантик-833», измеренные согласно изложенным выше методическим рекомендациям.

Полученные данные сравниваются с рекомендуемыми ИКЕС уровнями шума. Результаты сравнения для каждого режима работы судна заносятся в таблицу, вид которой представлен на рис. 7.

Для интегрального уровня звукового давления и дискретных составляющих шума в диапазоне слухового восприятия рыб представляются круговые диаграммы направленности (линии равной интенсивности) гидроакустического поля судна.

* Underwater noise of research vessels... (1995).

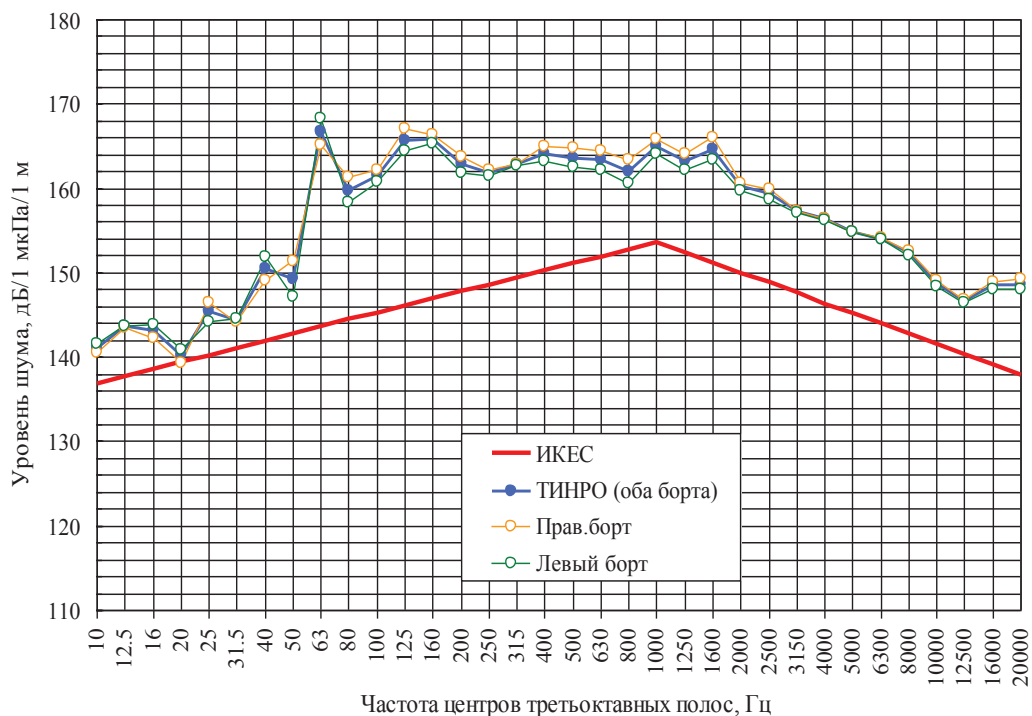


Рис. 6. Шумовые характеристики НИС «ТИНРО» и границы допустимого уровня шума согласно Рекомендациям ИКЕС* в 1/3-октавных диапазонах частот

Fig. 6. Noise characteristics of the research vessel TINRO relative to the permissible noise levels according to ICES recommendations [Underwater noise..., 1995], by 1/3-octave frequency bands

Третьоктавн. полоса, Гц	Уровень шума выше ИКЕС, дБ			Возможный источник
	Скорость судна 6 уз. (125 об./мин)	Скорость судна 9 уз. (150 об./мин)	Скорость судна 12 уз. (180 об./мин)	
10				
12.5				
...				
20000				

Рис. 7. Уровни подводного шума в третьоктавных полосах частот выше рекомендуемых ИКЕС

Fig. 7. The levels of underwater noise of research vessel above the permissible levels recommended by ICES, by 1/3-octave frequency bands

Закключение

Избегательная реакция рыб на шумы научно-исследовательских и промысловых судов является одним из источников погрешности в результатах оценок запасов и нестабильности промысла рыб.

На основании действующих технических регламентов и стандартов составлены методические рекомендации по измерению гидроакустического шума научно-исследовательских и промысловых судов как часть программы ходовых испытаний нового поколения российских НИРС, выполнение которых позволит оценить качество их проектирования и строительства в целом.

Предполагается, что данные измерений судовых шумов будут использованы при разработке технологии их контроля (мониторинга) и критериев оценки, напри-

* Underwater noise of research vessels... (1995).

мер, насколько уровень шумов превышает допустимый уровень для данного объекта исследований или промысла, а также при разработке нормативных требований, необходимых для проведения акустической аттестации (сертификации) судов научного и промыслового назначения.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность руководству БИФ ВНИРО и экипажам НИС «ТИНРО» и НИС «Профессор Кагановский» БИФ ВНИРО за организацию и всестороннюю помощь в проведении экспериментальных работ, результаты которых были использованы при подготовке настоящей методики.

The authors are grateful to managers of the research fleet base of VNIRO and crews of the research vessels TINRO and Professor Kaganovsky for their assistance in experimental studies, which results became the base for these methodic recommendations.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ВНИРО № 076-00002-21-00 по теме «Нормативно-техническое и информационное обеспечение экспедиционных исследований и деятельности рыбодобывающего флота и предприятий» (подтема 19.5 «Материалы к разработке программы и методики испытаний НИРС на соответствие требований Рекомендаций ИКЕС № 209 относительно допустимых уровней судовых шумов, излучаемых в воду»).

The study was conducted as a part of the state assignment of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) No. 076-00002-21-00 (Section 6. Conducting applied scientific researches) on the topic «Regulatory, technical, and informational support for expeditionary research and activities of the fishing fleet and enterprises» (Subtopic 19.5. Materials for development of programs and methodology for testing the research fishing vessel in compliance with the requirements of ICES Recommendation No. 209 regarding permissible levels of vessel noise emitted into water).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

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

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

М.Ю. Кузнецов — актуализация проблемы и разработка структуры методики, написание текста статьи; В.И. Шевцов, В.И. Поляничко — систематизация материалов по теме исследования, написание текста; И.А. Убарчук — алгоритмы обработки результатов измерений.

M.Yu. Kuznetsov — actualized the issue, developed the methodology structure, wrote the draft of the manuscript; V.I. Shevtsov, V.I. Polyanychko — systematized and analyzed the materials, wrote and illustrated the text; I.A. Ubarchuk — developed algorithms for processing the measurement data.

Список литературы

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства дистанционного управления поведением рыб на промысле : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2007. — 131 с.

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 20–51.

Кузнецов М.Ю. Дистанции реагирования различных видов рыб на гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и допустимые уровни шума // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 157–176.

Кузнецов М.Ю., Вологдин В.Н. Гидроакустические шумы промысловых и научно-исследовательских судов и их влияние на поведение и оценки запасов рыб (обзор и перспективы исследований) // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 157. — С. 334–355.

Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.А., Сыроваткин Е.В. Влияние гидроакустического шума судна на эхоинтеграционные оценки запасов рыб и уловистость учетного трала (на примере минтая Охотского моря) // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 190. — С. 85–100. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-85-100. EDN: WQVNHJB.

Кузнецов М.Ю., Шевцов В.И., Поляничко В.И. Характеристики гидроакустического шума научно-исследовательских судов ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 177. — С. 235–256. DOI: 10.26428/1606-9919-2014-177-235-256.

Кузнецов Ю.А., Китлицкий В.С., Федосенков В.С., Шибков А.Н. Методика исследования гидроакустических шумов промысловых судов // Промышленное рыболовство. — Владивосток : ТИНРО, 1979. — Вып. 9. — С. 86–90.

Левашов Д.Е. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований : моногр. — М.: ВНИРО, 2010. — 400 с.

Левашов Д.Е., Буланова Н.П. Некоторые суда для рыбопромысловых исследований, построенные в 2019–2020 гг. // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 184. — С. 203–217. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217.

Левашов Д.Е., Татарников В.А. Методические аспекты приемо-сдаточных испытаний новых отраслевых научно-исследовательских судов на основе отечественного и зарубежного опыта // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2024. — С. 493–500.

Тукиянен А.Н., Теверовский Г.В., Цыганков С.Г. Измерение шумности — актуальная задача // Судостроение. — 2005. — № 6(763). — С. 39–40.

Урик Р.Д. Основы гидроакустики : моногр. — Л. : Судостроение, 1978. — 448 с. (Пер. с англ.)

De Robertis A., Handegard N.O. Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review // ICES J. Mar. Sci. — 2013. — Vol. 70, № 2 — P. 34–45. DOI: 10.1093/icesjms/fss155.

De Robertis A., Wilson C.D. Walleye pollock respond to trawling vessels // ICES J. Mar. Sci. — 2006. — Vol. 63, № 3. — P. 514–522. DOI: 10.1016/j.icesjms.2005.08.014.

Kuznetsov M.Y., Polyanichko V.I., Ubarchuk I.A. Effects of vessel noise on walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) behaviour // The Effects of Noise on Aquatic Life. — Springer Nature Link, 2023. — P. 1–13. DOI: 10.1007/978-3-031-10417-6_86-1.

McQuinn I.H. A review of the effects of fish avoidance and other fish behaviours on acoustic target strength, special identification and biomass estimation : ICES FAST WG. — St. John's, Canada, 1999. — 17 p.

Ona E., Godø O.R. Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling // Rapp. P.-v. Reun. Const. Int. Explor. Mer. — 1990. — Vol. 189. — P. 159–166.

Ona E., Godø O.R., Handegard N.O. et al. Silent research vessels are not quiet // J. Acoustical Society of America. — 2007. — Vol. 121, № 4. — P. 145–150. DOI: 10.1121/1.2710741.

Vabø R., Olsen K., Huse I. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring // Fish. Res. — 2002. — Vol. 58(1). — P. 59–77. DOI: 10.1016/S0165-7836(01)00360-5.

References

Kuznetsov, M.Yu., *Hydroacoustic methods and means of remote control of fish behavior in fishing*, Vladivostok: Dalrybtvuz, 2007.

Kuznetsov, M.Yu., Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance. Part 1. Hydroacoustic tools and technologies of their use in bioresource researches of TINRO-center, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2013, vol. 172, pp. 20–51.

Kuznetsov, M.Yu., Distance of certain fish species reaction to underwater noise from fishing and research vessels and admissible levels of the noise. *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2011, vol. 164, pp. 157–176.

Kuznetsov, M.Yu. and Vologdin, V.N., Hydroacoustic noise from fishing and research vessels and its influence on fish behaviour and fish stocks estimation (review and prospects of study), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2009, vol. 157, pp. 334–355.

Kuznetsov, M.Yu., Polyanichko, V.I., Ubarchuk, I.A., and Syrovatkin, E.V., Influence of hydroacoustic noise from vessel on echo integration estimations of fish stocks and catchability of accounting trawl (on example of walleye pollock in the Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2017, vol. 190, pp. 85–100. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-85-100. EDN: WQVHJB.

Kuznetsov, M.Yu., Shevtsov, V.I., and Polyanichko, V.I., Underwater noise characteristics of TINRO-Center's research vessels, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanog.*, 2014, vol. 177, pp. 235–256. doi 10.26428/1606-9919-2014-177-235-256

Kuznetsov, Yu.A., Kitlitsky, V.S., Fedoseenkov, V.S., and Shibkov, A.N., Methodology for studying hydroacoustic noises from fishing vessels, in *Promyshlennoye rybolovstvo* (Industrial fishing), Vladivostok: TINRO, 1979, vol. 9, pp. 86–90.

Levashov, D.E., *Sovremennyye suda i sudovoye oborudovaniye dlya rybopromyslovykh issledovaniy* (Modern vessels and ship equipment for fishery research), Moscow: VNIRO, 2010.

Levashov, D.E. and Bulanova, N.P., Some vessels for fishery research built in 2019–2020, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 184, pp. 203–217. doi 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217

Levashov, D.E. and Tatarnikov, V.A., Methodological aspects of acceptance tests for new industry research vessels based on domestic and foreign experience, in *Mater. II Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: 300 let rossiyskoy akademicheskoy nauke"* (Proc. II Int. Sci. Pract. Conf. "The fishery complex of Russia: 300 years of Russian academic science"), Moscow: VNIRO, 2024, pp. 493–500.

Tukiyanen, A.N., Teverovskiy, G.V., and Tsygankov, S.G., Noise measurements — relevant task, *Sudostroyeniye*, 2005, vol. 6(763), pp. 39–40.

Urik, R.J., *Principles of underwater sound*, New York: McGraw-Hill, 1975.

De Robertis, A. and Handegard, N.O., Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review, *ICES J. Mar. Sci.*, 2013, vol. 70, no. 2, pp. 34–45. doi 10.1093/icesjms/fss155

De Robertis, A. and Wilson, C.D., Walleye pollock respond to trawling vessels, *ICES J. Mar. Sci.*, 2006, vol. 63, no. 3, pp. 514–522. doi 10.1016/j.icesjms.2005.08.014

Kuznetsov, M.Y., Polyanichko, V.I., and Ubarchuk, I.A., The effects of vessel noise on wall-eye pollock (*Theragra chalcogramma*) behavior, in *Effects of Noise on Aquatic Life*, Springer Nature Link, 2023, pp. 1–13. doi 10.1007/978-3-031-10417-6_86-1

McQuinn, I.H., A review of the effects of fish avoidance and other fish behaviours on acoustic target strength, special identification and biomass estimation, *ICES FAST WG*, St. John's, Canada, 1999.

Ona, E. and Godø, O.R., Fish reaction to trawling noise: the significance for trawl sampling, *Rapp. P.-v. Reun. Const. Int. Explor. Mer.*, 1990, vol. 189, pp. 159–166.

Ona, E., Godø, O.R., Handegard, N.O., Hjellvik, V., Patel, R., and Pedersen, G., Silent research vessels are not quiet, *J. Acoustical Society of America*, 2007, vol. 121, no. 4, pp. 145–150. doi 10.1121/1.2710741

Vabø, R., Olsen, K., and Huse, I., The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring, *Fish. Res.*, 2002, vol. 58, no. 1, pp. 59–77. doi 10.1016/S0165-7836(01)00360-5

Underwater noise of research vessels: review and recommendations, *ICES Cooperative Research Report*, Mitson, R.B., ed., 1995, no. 209. doi 10.17895/ices.pub.5317

Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Izmereniya gidroakusticheskoye (State system for ensuring the uniformity of measurements. Hydroacoustic measurements. Terms and definitions), Moscow: Gosstandart of Russia, 2004.

Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships. Part I: General Requirements, American National Standard ANSI/ASA S12.64-2009/Part I, Melville, NY, 2009.

<https://www.bksv.com>. Cited November, 2024.

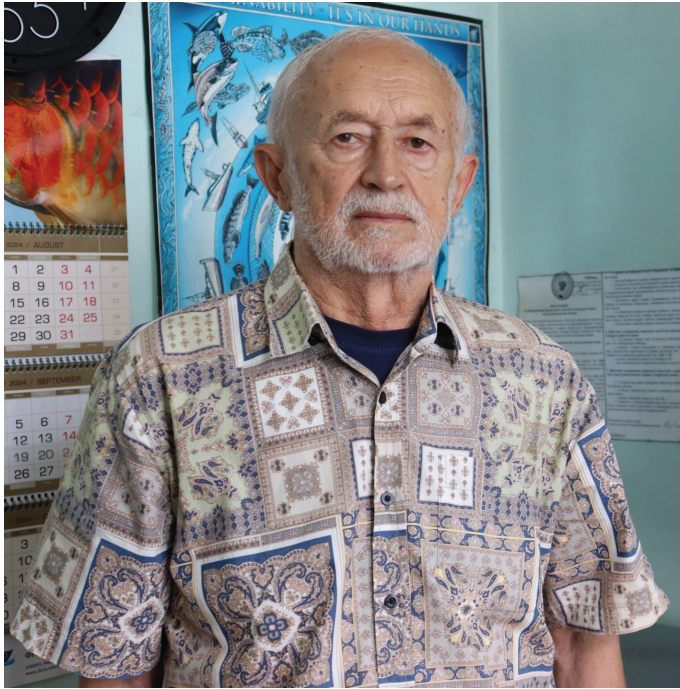
<https://zetlab.com>. Cited November, 2024.

Поступила в редакцию 20.12.2024 г.

После доработки 4.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

The article was submitted 20.12.2024; approved after reviewing 4.03.2025; accepted for publication 10.03.2025

**СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ
SCROLLS OF MEMORY****ВОЛКОВ АНАТОЛИЙ ФЕДОРОВИЧ
(9.12.1938–27.01.2025)**

27 января 2025 г. в возрасте 86 лет ушел из жизни Анатолий Федорович Волков — доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории бентоса ТИНРО, талантливый ученый, отзывчивый коллега. Трудно свыкнуться с мыслью, что его с нами больше нет.

Вся жизнь Анатолия Федоровича была связана с морской гидробиологией, в развитие которой он внес неоценимый вклад. Работе в ТИНРО Анатолий Федорович посвятил практически 60 лет. В 1965 г. сразу после окончания университета он пришел в лабораторию гидробиологии, затем с 1975 по 1978 г. заведовал лабораторией культивирования ракообразных и иглокожих. С 1979 до июля 1982 г., пройдя по конкурсу, А.Ф. Волков работал в Институте биологии внутренних вод (г. Борок), затем вернулся в стены ТИНРО, которому служил до последних дней, специализируясь на исследованиях планктона дальневосточных морей как кормовой базы nekтона.

В 1970 г. А.Ф. Волков защитил кандидатскую диссертацию, посвященную закономерностям распределения планктона в юго-восточной части Тихого океана, а в 1997 г. — диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук по теме «Зоопланктон эпипелагиали дальневосточных морей: состав сообществ, межгодовая динамика, значение в питании nekтона». Именно этот труд позволил по-новому оценить состояние кормовых ресурсов планктона в дальневосточных морях, являющихся одними из наиболее продуктивных регионов Мирового океана. В настоящее время разработанные А.Ф. Волковым методические подходы к проблеме оценки кормовых ресурсов морей широко применяются в ходе экспедиционных исследований.

Анатолий Федорович состоялся как профессионал своего дела и талантливый ученый во многом благодаря своей высокой работоспособности, целеустремленности и значительному опыту морских и океанических экосистемных исследований. За время 39 морских экспедиций он провел в дальневосточных морях и Тихом океане почти 10 лет.

В начале 1960-х гг. А.Ф. Волков принял участие в Международной Индоокеанской экспедиции и вписал свое имя в число людей, судьба которых связана с комплексными исследованиями Мирового океана на борту легендарного посла дружбы и мира — НИС «Витязь». С 2002 г. он участвовал в работе восьми международных экспедиций (Россия, США, Канада, Япония, Южная Корея) по программе «BASIS» (NPAFC).

Постоянно повышая свой научный кругозор, Анатолий Федорович стал одним из авторитетных специалистов в области исследований тихоокеанского планктона. Высокий уровень его работ получил признание в отечественном и международном научных сообществах.

А.Ф. Волковым опубликовано более 160 научных работ. Большой заслугой Анатолия Федоровича является разработка и внедрение экспресс-методик и практических рекомендаций по обработке планктонных сборов: благодаря им ученые получили возможность прямо на борту судна оперативно анализировать огромные массивы материалов по характеристике планктонных сообществ, кормовой базе нектона и состоянию накормленности планктоноядного нектона.

В 2011 г. А.Ф. Волков создал электронную базу данных «Зоопланктон» по Охотскому, Берингову и Чукотскому морям, северной части Тихого океана, основанную на результатах научных экспедиций ТИНРО за период с 1984 г., которую впоследствии объединил с созданной им же базой «Трофология», известной как база данных по питанию рыб. Особую ценность представляют количественные оценки концентраций и запасов зоопланктона, включая кормовую базу нектона.

А.Ф. Волков на протяжении более 25 лет активно участвовал в работе редакционной коллегии научного журнала «Известия ТИНРО». Рецензировал статьи для журнала «Биология моря».

Достижения А.Ф. Волкова в развитии представлений о кормовой базе и рыбопродуктивной ценности дальневосточных морей неоднократно отмечены правительственными и отраслевыми наградами, среди которых знак «Почетный работник рыбного хозяйства России», звание «Почетный работник ТИНРО», медаль «За заслуги в развитии рыбного хозяйства России».

В коллективе Анатолий Федорович пользовался искренним уважением коллег за приверженность научным ценностям, ответственность, порядочность и отзывчивость. Он любил жизнь во всех ее проявлениях, был очень интересным человеком: ярким, творческим, эрудированным, знал множество стихов, любил путешествовать.

Память об Анатолии Федоровиче Волкове останется в сердцах его учеников, последователей и всех близких ему людей. Его вклад в развитие морской гидробиологии трудно переоценить.

Коллеги и друзья

ВАЛЕРИЙ НИКОЛАЕВИЧ АКУЛИН
(21.08.1938–21.02.2025)



Ушел из жизни В.Н. Акулин — ведущий ученый ТИНРО, руководитель научно-исследовательских работ, талантливый администратор.

Валерий Николаевич после окончания школы в 1956 г. поступил на биолого-почвенный факультет Дальневосточного государственного университета, который окончил в 1961 г. Его трудовая деятельность началась в Паратунской экспериментальной лаборатории Камчатского отделения ТИНРО (1961–1966 гг.). После окончания аспирантуры Института эволюционной физиологии и биохимии им. Сеченова (г. Ленинград) он защитил кандидатскую диссертацию (1969 г.) по теме «Жирнокислотный состав фосфолипидов мышц и печени красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) на разных этапах ее жизненного цикла». С 1970 г. В.Н. Акулин продолжил работать в ТИНРО в лаборатории технической биохимии в г. Владивосток. Основной темой его научных интересов в ТИНРО стали исследования в области химии и биохимии липидов морских организмов.

В общей сложности им опубликовано более 130 научных трудов, в том числе патенты, связанные с рациональным использованием промысловых гидробионтов. Большинство этих работ представляет интерес для рыбохозяйственной науки и рыбной промышленности в целом. Из самых последних работ заслуживают упоминания две коллективные монографии (Ресурсы и рациональное использование морских водорослей и трав дальневосточных морей России, 2020; Технохимическая характеристика и рациональное использование промысловых гидробионтов Дальневосточного бассейна, 2023), в которых он был не только автором, но и научным редактором. В.Н. Акулин долгие годы участвовал в редколлегии «Журнала эволюционной биохимии» и до последних дней (25 лет) был членом редколлегии журнала «Известия ТИНРО».

С 1974 г. Валерий Николаевич работал заместителем директора ТИНРО по научной части, направляя деятельность лабораторий технического профиля. Под его руководством была реорганизована структура технологического отделения, укреплен материально-техническая база, получило развитие новое для рыбной отрасли направление — выделение биологически активных веществ из отходов рыбопереработки.

С 1991 по 1998 г. В.Н. Акулин занимал пост директора ТИНРО, решал сложные вопросы сохранения структуры и флота института, дальнейшего развития всех существующих направлений научно-исследовательских работ и международного научного сотрудничества.

В последние годы В.Н. Акулин курировал деятельность Ассоциации «НТО ТИНРО» (20 лет), объединявшей дальневосточные рыбохозяйственные научные организации, работал в должности заместителя директора и главного специалиста при администрации ТИНРО, уделяя особое внимание работам по технологическому профилю, марикультуре, экономике, а также опекая по поручению администрации Совет ветеранов ТИНРО.

Вклад В.Н. Акулина в совершенствование отечественной рыбной отрасли отмечен многочисленными ведомственными наградами, среди которых — присвоение ему званий «Заслуженный работник рыбного хозяйства Российской Федерации» и «Почетный работник рыбного хозяйства России».

Память о Валерии Николаевиче Акулине, его высоких профессиональных и человеческих качествах навсегда останется в сердцах коллектива ТИНРО.

Коллеги и друзья