



ISSN 1606-9919

Научный журнал

ИЗВЕСТИЯ ТИНРО

Год основания 1928



IZVESTIYA TINRO

2025. Том 205, вып. 4

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

Импакт-фактор РИНЦ: 1,006

Периодичность: 4 раза в год

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

СМИ зарегистрировано Роскомнадзором, запись о регистрации ПИ № ФЧ77-73773 от 21 сентября 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ	551
Бугаев А.В., Зикунова О.В., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В., Баева В.Н. Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае в 2024–2025 гг.	551
Найденко С.В., Старовойтов А.Н. Многолетняя динамика некоторых биологических показателей горбуши азиатских стад	596
Цыгир В.В., Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Новые данные о симе <i>Oncorhynchus masou</i> (Salmonidae) из бассейна Дачинского водохранилища (Приморский край)	625
Великанов А.Я., Буслов А.В., Заварзина Н.К., Шевченко Г.В., Мухаметов И.Н. Сезонные миграции, оценки биомас- сы и некоторые долгопериодные особенности распростра- нения японского анчоуса <i>Engraulis japonicus</i> (Engraulidae) у бе- регов о. Сахалин	641
Курбанов Ю.К., Овчеренко Р.Т. Распределение и экология длинноперего малоротца <i>Glyptocephalus zachirus</i> (Pleuronectidae) в северо-западной части Берингова моря в летний период ...	663
Калчугин П.В., Соломатов С.Ф. Влияние сезонности прове- дения донных траловых съемок на оценку запасов донных рыб ..	680
Михайлова О.Г. Биология и промысел волосатого четырех- угольного краба <i>Erimacrus isenbeckii</i> в восточной части Охотс- кого моря	696
Дулепова Е.П., Напазакон В.В. Особенности функциониро- вания планктонных сообществ и питания тихоокеанских лос- осей в глубоководных районах Берингова и Охотского морей (сравнительный анализ)	710
УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ	728
Кильматов Т.Р., Рудых Н.И. Поток энтропии через поверх- ность раздела между океаном и атмосферой как интеграль- ный индикатор климатических изменений океана	728
АКВАКУЛЬТУРА	737
Рачек Е.И., Амвросов Д.Ю. Результаты выращивания сего- леток амурского сома <i>Parasilurus asotus</i> (Linnaeus, 1758) в ус- ловиях тепловодного хозяйства	737
Кузнецов Ю.Н., Караулова Е.П., Баштовой А.Н., Тимчи- шина Г.Н., Слуцкая Т.Н. Исследование состава стартовых кормов и эффективность их использования для выращивания молоды кеты <i>Oncorhynchus keta</i>	754
Чебан К.А., Савина Л.В. Расчет ожидаемого промыслового возврата при зарыблении заливов Калининградской области молодью европейского угря <i>Anguilla anguilla</i>	767
Шайхиев И.Г., Санатуллова З.Т., Шайхиева К.И., Свер- гузова С.В. Использование личинок черной львинки <i>Herme- tia illucens</i> в рационах для культивирования белonoгих кре- веток <i>Litopenaeus vannamei</i> в аквакультуре (обзор мировой литературы)	781
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	807
Макоедов А.А., Скорик А.В., Колпаков Н.В. Аэрофотограм- метрический мониторинг нерестовой миграции горбуши <i>On- corhynchus gorbusha</i> с использованием БПЛА потребитель- ского класса применительно к топографическим условиям рек Сахалина	807
СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ	821
Заслуженному экологу Надежде Константиновне Христо- форовой 85 лет	821

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES	551
Bugaev A.V., Zikunova O.V., Artyukhina N.B., Shubkin S.V., Baeva V.N. Analytical review of results of the salmon fishery in Kamchatka Region in 2024–2025	551
Naydenko S.V., Starovoitov A.N. Long-term dynamics for some biological parameters of pink salmon from Asiatic herds	596
Tsygir V.V., Barabanshchikov E.I., Shapovalov M.E. New da- ta on masu salmon <i>Oncorhynchus masou</i> (Salmonidae) from the Dachinskoye reservoir (Primorye Region)	625
Velikanov A.Ya., Buslov A.V., Zavarzina N.K., Shevchenko G.V., Mukhametov I.N. Seasonal migrations, assessed biomass and some long-term patterns of distribution for japanese ancho- vy <i>Engraulis japonicus</i> (Engraulidae) at the coasts of Sakhalin Island	641
Kurbanov Yu.K., Ovcherenko R.T. Distribution and ecology of rex sole <i>Glyptocephalus zachirus</i> (Pleuronectidae) in the north- western Bering Sea in the summer season	663
Kalchugin P.V., Solomatov S.F. Influence of seasonality of bot- tom trawl surveys on assessment of stocks for bottom fish	680
Mikhaylova O.G. Biology and fishery of horsehair crab <i>Erimacrus isenbeckii</i> in the eastern Okhotsk Sea	696
Dulepova E.P., Napazakov V.V. Features of functioning for plankton communities and feeding for pacific salmon in the deep-water areas of Bering and Okhotsk Seas (comparative analysis)	710
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES	728
Kilmatov T.R., Rudykh N.I. Entropy flux through the ocean- atmosphere boundary as an integral indicator of the ocean cli- mate change	728
AQUACULTURE	737
Rachek E.I., Amvrososov D.Yu. Results on rearing of fingerlings of amur catfish <i>Parasilurus asotus</i> (Linnaeus, 1758) in condi- tions of warm-water farm	737
Kuznetsov I.N., Karaulova E.P., Bashtovoy A.N., Timchishi- na G.N., Slutskaya T.N. A study on composition of starter feeds and effectiveness of their use for growing fry of chum salmon <i>Oncorhynchus keta</i>	754
Cheban K.A., Savina L.V. Calculation of the expected commer- cial return after stocking the lagoons in the Kaliningrad region with juvenile european eel <i>Anguilla anguilla</i>	767
Shaikhiev I.G., Sanatullova Z.T., Shaikhieva K.I., Sver- guzova S.V. Use of black soldier fly <i>Hermetia illucens</i> larvae in diets for cultivation of whiteleg shrimp <i>Litope- naeus vannamei</i> in aquaculture (world-wide literature re- view)	781
METHODS OF INVESTIGATIONS	807
Makoevov A.A., Skorik A.V., Kolpakov N.V. Aerial pho- togrammetric monitoring on spawning migration of pink salmon <i>Oncorhynchus gorbusha</i> using consumer-class UAVs applied to topographic conditions of the rivers in Sa- khalin	807
SCROLLS OF MEMORY	821
Honored Ecologist Nadezhda Konstantinovna Khristoforova is 85 years old	821

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. Байталоук, канд. биол. наук, заместитель директора — руководитель ТИНО; Р.Дж. Бимиш, 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; Дэлинь Дуан, д-р биол. наук, проф. Океанологического института экспериментальной морской биологии, Китайская академия наук; Е.П. Дулепова, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНО; 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, ТИНО (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. Слущкая, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник, ТИНО; профессор, Дальрыбвтуз; Н.С. Самойлова, начальник отдела издательство, ТИНО (ответственный секретарь)

Editorial board:

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

Адрес учредителя:

105187, г. Москва, проезд Окружной, дом 19

Адрес издателя:

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Адрес редакции:

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Телефон: (423) 2400-509

Факс: (423) 2300751

e-mail: izvestiya@tinro.vniro.ru

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

Том к печати подготовили:

начальник издательства Н.С. Самойлова
редакторы С.О. Шумкова, А.А. Ваккер
переводчики Ю.И. Зуенко, Е.П. Швецов
компьютерная верстка О.В. Степановой

Подписано в печать 3.12.2025 г. Формат 70х108/16.

Печ. л. 17,4. Уч.-изд. л. 16,0. Тираж 50 экз.

Заказ № 11. Цена 660 р.

Выход тома в свет 16.12.2025 г.

Отпечатано в издательстве ТИНО

690091, Владивосток, ул. Западная, 10

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 639.2.053.7(571.66)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-551-595

EDN: MNHURC

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИТОГОВ ЛОСОСЕВЫХ ПУТИН
В КАМЧАТСКОМ КРАЕ В 2024–2025 ГГ.****А.В. Бугаев, О.В. Зикунова, Н.Б. Артюхина, С.В. Шубкин, В.Н. Баева***

Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),

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

Аннотация. Представлен обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае в 2024 и 2025 гг. Приведены подробные данные промысловой статистики, оценки численности нерестовых запасов и подходов всех видов тихоокеанских лососей в указанные годы. Дополнительно проведен сравнительный анализ итогов путины 2024 и 2025 гг. с многолетними рядами наблюдений динамики численности региональных лососевых запасов (вылов, пропуск на нерест, подходы) по данным 2001–2025 гг. Выполнен анализ оправданности прогнозов подходов и вылова основных единиц запасов камчатских лососей в 2024 и 2025 гг. Обозначены возможные причины несоответствий прогнозным ожиданиям.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, Камчатский край, промысел, прогнозы, динамика численности, нерестовый запас

Для цитирования: Бугаев А.В., Зикунова О.В., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В., Баева В.Н. Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае в 2024–2025 гг. // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 551–595. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-551-595. EDN: MNHURC.

Original article

Analytical review of results of the salmon fishery in Kamchatka Region in 2024–2025**Alexander V. Bugaev^{1*}, Olga V. Zikunova^{2*}, Nina B. Artyukhina^{3*},****Sergey V. Shubkin^{4*}, Vera N. Baeva^{5*}**^{1*–5*} Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),

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

^{1*} D.Biol., deputy director, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131^{2*} Ph.D., head of laboratory, o.zikunova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-6173-5667^{3*} head of sector, n.artuyuhina@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2713-8172^{4*} Ph.D., leading researcher, s.shubkin@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-9033-1056^{5*} leading specialist, v.baeva@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-7781-0258

* Бугаев Александр Викторович, доктор биологических наук, заместитель руководителя, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131; Зикунова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, o.zikunova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-6173-5667; Артюхина Нина Борисовна, заведующая сектором, n.artuyuhina@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2713-8172; Шубкин Сергей Викторович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, s.shubkin@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-9033-1056; Баева Вера Николаевна, ведущий специалист, v.baeva@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-7781-0258.

© Бугаев А.В., Зикунова О.В., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В., Баева В.Н., 2025

Abstract. Results of the salmon fishing campaigns in the Kamchatka Region in 2024 and 2025 are reviewed. Detailed data of fishery statistics concerned pacific salmon, estimations of their runs abundance and spawning stocks are presented for all salmon species and compared between these years and with long-term indices of the regional stocks dynamics (annual catch, spawning escapement and run abundance) for 2001–2025. Accuracy of the run and catch forecasts is analyzed for the major stock units in 2024–2025 and possible reasons for discrepancies of the forecasted expectations with real situation are discussed.

Keywords: pacific salmon, Kamchatka Region, fishing, fishery forecast, stock dynamics, spawning stock

For citation: Bugaev A.V., Zikunova O.V., Artyukhina N.B., Shubkin S.V., Baeva V.N. Analytical review of results of the salmon fishery in Kamchatka Region in 2024–2025, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 551–595. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-551-595. EDN: MHHURC.

Введение

Тихоокеанские лососи *Oncorhynchus* spp. относятся к важнейшим промысловым рыбам Дальнего Востока России. Начиная с середины 2000-х гг. был отмечен значительный рост их численности. Основной причиной этого является изменение климата Земли. Причем, несмотря на множественный характер воздействия климато-океанологических условий на условия обитания тихоокеанских лососей в бассейне Северной Пацифики, в наибольшей степени увеличение численности их запасов связано с процессом глобального потепления климата Земли [Бугаев, Тепнин, 2024].

По данным многолетней промысловой статистики вылов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России в XX веке (1925–2000 гг.) ежегодно в среднем составлял около 121 тыс. т (34–260 тыс. т). В XXI веке (2001–2023 гг.) среднегодовое вылов дальневосточных лососей достиг 365 тыс. т (162–677 тыс. т). В этот период доля тихоокеанских лососей Камчатки в общем лососевом промысле Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна по среднесреднегодовым данным равнялась 55 % (34–82 %). При этом их фактический ежегодный вылов в среднем соответствовал 205 тыс. т (77–498 тыс. т).

Учитывая столь высокий вклад камчатских стад тихоокеанских лососей в структуру лососевого промысла Дальнего Востока России, понятно, что анализ промысловой обстановки и оценка состояния запасов данных ценных водных биоресурсов имеют важнейшую практическую значимость для всего регионального рыбохозяйственного комплекса. Представленная работа является продолжением аналитических обзоров итогов лососевых путин, проводимых в Камчатском крае (Камчатка) в 2010–2020-х гг. [Бугаев и др., 2023а, б, 2024а]. Рассмотрены основные показатели оценок состояния региональных запасов тихоокеанских лососей (промысел, пропуск на нерест, подходы) в 2024 и 2025 гг. Дополнительно приводятся сравнительные многолетние сведения о динамике численности отдельных видов. Цикл настоящих тематических статей направлен на анализ оправдываемости прогнозов подходов и вылова основных единиц запасов тихоокеанских лососей Камчатки, а также на объяснение возможных причин несоответствий прогнозных ожиданий.

Целью работы является аналитический обзор итогов промысла и оценка состояния запасов тихоокеанских лососей Камчатского края в 2024–2025 гг.

Материалы и методы

В качестве промысловой статистики послужили данные Северо-Восточного территориального управления Росрыболовства о вылове тихоокеанских лососей в Камчатском крае в 2001–2025 гг. Согласно стандартной схеме рыболовных зон Российской Федерации в пределах региона лососевый промысел осуществляется в следующих районах: Западно-Беринговоморская зона (61.01), Карагинская (61.02.1), Петропавловско-Командорская (61.02.2), Западно-Камчатская (61.05.2), Камчатско-Курильская подзоны (61.05.4).

Оценка численности нерестовых запасов тихоокеанских лососей Камчатки включает данные 2024 и 2025 гг. Обследование нерестилищ выполняли аэровизуальным способом с помощью вертолета Ми-2 по методикам, разработанным специалистами КоТИНРО/КамчатНИРО [Остроумов, 1962, 1964, 1975; Шевляков, Маслов, 2011]. Авиачетные съемки охватывали бассейны реперных рек, являющихся наиболее промыслово-значимыми и обеспечивающими порядка 80 % нерестовых лососевых запасов Камчатки. Кроме того, в 2025 г. для оценки численности производителей в реках Большая и Камчатка использовали беспилотный летательный аппарат самолетного типа. Подсчет особей осуществляли экспертно-оценочным методом (визуальная интерпретация специалистами), поштучным методом с использованием как ручного, так и автоматизированного анализа изображений [Свиридов, Поваров, 2024; Потапов и др., в печати]. В последние годы наблюдается активное внедрение беспилотных летательных аппаратов в практику авиаучетов тихоокеанских лососей, а их эффективность все чаще подтверждается современными исследованиями [Свиридов и др., 2022а, б; Коцюк и др., 2024]. Для определения численности пропуска производителей нерки, воспроизводимых в бассейне оз. Азабачьего, выявления особенностей их суточной и сезонной динамики хода применяли гидроакустическую систему горизонтального зондирования «DT-X» (BioSonics Inc.) [Фадеев и др., 2019]. В качестве критерия оценки потенциальной эффективности нереста использовали данные о целевых ориентирах пропуска производителей на нерестилища, смоделированные специалистами КамчатНИРО [Фельдман и др., 2016, 2018а, 2019].

Общую численность зрелой части стад тихоокеанских лососей (подход) определяли путем суммирования количества выловленных и пропущенных на нерест рыб (подход = вылов + пропуск на нерест). Численность уловов рассчитывали с помощью средней массы тела (навески) тихоокеанских лососей для каждого промыслового района. Оценка состояния запасов выполняли по региональному принципу для основных промысловых единиц конкретных видов. Как правило, в качестве отдельных единиц запасов выступают региональные группировки стад (популяций) тихоокеанских лососей. Это характерно для всех видов. Самостоятельными единицами запасов являются локальные стада только тех видов, которые воспроизводятся в реках Камчатка (нерка, кета, кижуч, чавыча) и Озерная (нерка).

Прогнозирование численности подходов камчатских лососей выполняли по методикам, разработанным специалистами КамчатНИРО [Дубынин и др., 2007; Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман и др., 2018б; Зикунва и др., 2021; Фельдман, Бугаев, 2021; Бугаев и др., 2024б]. Определение объемов их прогнозируемого вылова (ПВ) осуществляли на основе смоделированных правил регулирования промысла (ПРП) для основных единиц запасов каждого вида [Фельдман и др., 2022]. Краткое описание методов и результатов прогнозирования подходов и вылова тихоокеанских лососей Камчатки в 2024 и 2025 гг. представлено в материалах путинных лососевых прогнозов для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна*.

Результаты и их обсуждение

В 2024 и 2025 гг. в Камчатском крае лососевые путины проходили по стандартному сценарию. Общее открытие промысла пришлось на 1.06, а полное закрытие — фактическое (2024 г.) и плановое (2025 г.) — на 31.10. На восточном побережье осуществление основной путины начиналось с 15.06 в Карагинской подзоне, а на западном побережье — с 11.07 в Камчатско-Курильской и Западно-Камчатской подзонах. Всего в 2024 г. в режимах промышленного рыболовства в целях обеспечения традиционного образа жизни и осуществления традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации

* Лососи–2024 (путинный прогноз). Владивосток: ТИНРО, 2024. 90 с.; Лососи–2025 (путинный прогноз). Владивосток: ТИНРО, 2025. 98 с.

(традиционного) и любительского рыболовства было задействовано 802 рыболовных участка (РЛУ) (речные — 320, морские — 482), а в 2025 г. — 809 РЛУ (речные — 335, морские — 474) (табл. 1).

Таблица 1

Общее количество рыболовных участков для всех видов рыболовства тихоокеанских лососей в Камчатском крае по районам промысла в 2024 и 2025 гг.

Table 1

Total number of the licensed fishing plots for all types of fishery on pacific salmon in the Kamchatka Region in 2024 and 2025, by fishing districts

Год	Вид рыболовства	Тип РЛУ	61.01	61.02.1	61.02.2	61.05.2	61.05.4	Всего
2024	Промышленное	Речной	8	27	18	57	35	145
		Морской	1	202	17	80	92	392
		Все	—	229	35	137	127	528
	Традиционное КМНС	Речной	—	23	17	57	4	101
		Морской	—	17	19	14	25	75
		Все	—	40	36	71	29	176
	Любительское	Речной	—	6	28	33	15	82
		Морской	—	6	1	7	2	16
		Все	—	12	29	40	17	98
	Все виды	Речной	—	56	63	147	54	320
		Морской	—	225	37	101	119	482
		Все	9	281	100	248	173	802
2025	Промышленное	Речной	6	26	26	58	35	151
		Морской	—	198	17	80	92	387
		Все	—	224	43	138	127	532
	Традиционное КМНС	Речной	—	24	16	57	4	101
		Морской	—	19	12	15	26	72
		Все	—	43	28	72	30	173
	Любительское	Речной	—	4	32	35	18	89
		Морской	—	6	1	6	2	15
		Все	—	10	33	41	20	104
	Все виды	Речной	—	54	74	150	57	335
		Морской	—	223	30	101	120	474
		Все	6	277	104	251	177	809

Общий вылов тихоокеанских лососей в 2024 г. составил 130,766 тыс. т (по состоянию на 31.12), а в 2025 г. — 258,893 тыс. т (по состоянию на 05.10) (табл. 2 и 3). Основным объектом добычи (вылова) в оба года была горбуша: в 2024 г. — 74,705 (57 %) и в 2025 г. — 184,936 тыс. т (71 %). Второе место в промысле занимала нерка: в 2024 г. — 34,191 (26 %) и в 2025 г. — 41,256 тыс. т (16 %). Третье место в уловах приходилось на кету: в 2024 г. — 14,592 (11 %) и в 2025 г. — 23,807 тыс. т (9 %). Указанные (массовые) виды суммарно составляли 94 и 96 % от общего промыслового изъятия тихоокеанских лососей в Камчатском крае соответственно в 2024 и 2025 гг.

В начале XXI века состояние запасов тихоокеанских лососей Камчатки можно охарактеризовать как очень хорошее. Заметный подъем численности наблюдался начиная с середины 2000-х гг. (рис. 1). В этот период ежегодные уловы достигли порядка 150–200 тыс. т. В 2010-е гг. средние показатели вылова превысили планку 200 тыс. т. В годы пиков вылова (2018 и 2019) уровень добычи тихоокеанских лососей достигал порядка 400–500 тыс. т. В 2020-е гг. аналогичные промысловые показатели были зафиксированы в 2021 и 2023 гг. В 2024 и 2025 гг. произошло некоторое снижение лососевых уловов. В первом случае до уровня второй половины 2000-х гг., а во втором — до уровня первой половины 2010-х гг. По сути, даже отмеченное сокращение добычи тихоокеанских лососей в 2024 и 2025 гг. по объему вылова соответствовало

Таблица 2
Прогнозируемый (ПВ) и фактический (ФВ) вылов, а также освоение изначальных объемов ПВ (%) тихоокеанских лососей в промысловых районах Камчатского края в 2024 г., т

Table 2
Forecasted (ПВ) and actual (ФВ) catches (t) and realized percentage of the forecast for pacific salmon in Kamchatka in 2024, by fishing districts

Район	Горбуша		Кета		Нерка		Кижуч		Чавыча		Сима		Всего	
	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ
61.01	100	9,369	9,4	30	10,296	34,3	300	118,493	39,5	20	5,555	27,8	450	143,713
61.02.1	66000	37703,524	57,1	6400	3981,292	62,2	2300	1578,398	68,6	300	122,984	41,0	75080	43415,927
61.02.2	2000	546,883	27,3	2900	1262,563	43,5	6450	2338,481	36,3	1580	1769,559	112,0	13230	6152,025
61.05.2	19000	18366,655	96,7	10500	4986,846	47,5	2000	2464,861	123,2	4400	2277,437	51,8	4	28119,777
61.05.4	19000	18078,472	95,1	6000	4350,722	72,5	14400	27690,874	192,3	3200	2771,140	86,6	6	52934,220
Итого	106100	74704,903	70,4	25830	14591,719	56,5	25450	34191,107	134,3	9500	6946,675	73,1	10	130765,662

Таблица 3
Прогнозируемый (ПВ) и фактический (ФВ) вылов, а также освоение изначальных объемов ПВ (%) тихоокеанских лососей в промысловых районах Камчатского края в 2025 г., т

Table 3
Forecasted (ПВ) and actual (ФВ) catches (t) and realized percentage of the forecast for pacific salmon in Kamchatka in 2025, by fishing districts

Район	Горбуша		Кета		Нерка		Кижуч		Чавыча		Сима		Всего	
	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ	%	ПВ	ФВ
61.01	100	3,306	3,3	30	1,283	4,3	300	0,781	0,3	20	0,000	0	450	5,370
61.02.1	71000	81657,374	115,0	6500	6436,155	99,0	1500	2940,917	196,1	300	402,413	134,1	79380	91451,788
61.02.2	1500	619,811	41,3	2000	3016,015	150,8	4000	3949,479	98,7	1600	1389,234	86,8	9510	9131,909
61.05.2	42600	50299,349	118,1	6400	6343,030	99,1	1800	3940,017	218,9	2500	4204,559	168,2	53335	64807,889
61.05.4	28400	52356,133	184,4	4000	8010,548	200,3	21600	30424,691	140,9	2500	2649,273	106	25	93495,667
Итого	143600	184935,973	128,8	18930	23807,031	125,8	29200	41255,885	141,3	6920	8645,479	124,9	199250	258892,623

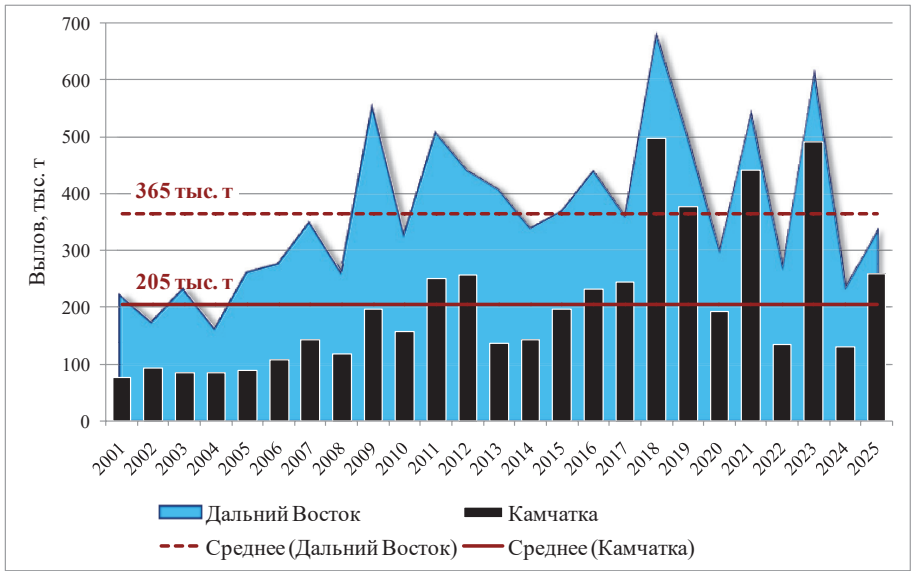


Рис. 1. Сравнительная динамика уловов тихоокеанских лососей Дальнего Востока и Камчатки в 2001–2025 гг.

Fig. 1. Comparative dynamics for the catches of pacific salmon in Kamchatka and entire Far East of Russia in 2001–2025

среднегодовым промысловым показателям первой четверти XXI века. Разумеется, динамику численности лососевых запасов Камчатки необходимо рассматривать в контексте межгодового чередования урожайных и неурожайных поколений самого массового вида — горбуши. Как правило, ее доля в региональных уловах составляет порядка 70–80 % [Бугаев и др., 2023а].

Следует отметить, что вклад тихоокеанских лососей Камчатки в общий лососевый промысел на Дальнем Востоке России в 2001–2025 гг. остается существенным, несмотря на флюктуацию численности горбуши в четные и нечетные годы. По среднегодовым данным ежегодное изъятие камчатских лососей составляет около 205 тыс. т, что соответствует приблизительно 56 % от их среднегодового вылова в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне (~365 тыс. т). Минимальный вклад Камчатки в общий промысел в течение рассматриваемого ряда лет — 34 % (2005 г.), а максимальный — 82 % (2021 г.). Непосредственно в 2024 г. доля камчатских стад лососей в дальневосточном промысле достигала среднегодового показателя (~56 %), а в 2025 г. — более 77 %.

Ниже представлены итоги путин в Камчатском крае в 2024 и 2025 гг. отдельно для каждого вида тихоокеанских лососей. Рассмотрены фактические показатели состояния их запасов (вылов, пропуск на нерест, подходы) относительно прогнозных ожиданий.

Горбуша. В пределах камчатского ареала горбуша имеет два основных центра воспроизводства. Первый формирует группировка стад (популяций), представляющих нерестовые реки северо-восточной Камчатки (Карагинская подзона), а второй — комплекс стад западной Камчатки (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) [Бугаев, Шевляков, 2008]. В этих регионах сосредоточено более 98 % камчатских запасов вида [Бугаев и др., 2023а]. Поэтому представленный анализ промысла горбуши ориентирован именно на указанные региональные группировки стад, которые являются главными промысловыми единицами вида.

Фактический вылов горбуши Камчатского края по всем районам промысла в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 74704,903 и 184935,973 т (табл. 2 и 3).

Уточним, что в табличном формате все уловы тихоокеанских лососей даются подробно в тоннах, а в аналитической части используются округление до тысяч тонн (исключение составляют малочисленные виды — чавыча и сима). Это облегчает вос-

приятие данных, когда обсуждается динамика численности основных видовых единиц запасов.

Целесообразно рассмотреть итоги промысла камчатской горбуши в 2024 и 2025 гг. относительно многолетних показателей. По данным 2001–2025 гг. ее общий среднемноголетний вылов составлял 140,933 тыс. т (39,252–420,103) (рис. 2). На северо-восточной Камчатке в среднем добывали 73,179 тыс. т (2,179–225,055), а на западной Камчатке — 65,663 тыс. т (0,205–301,316).

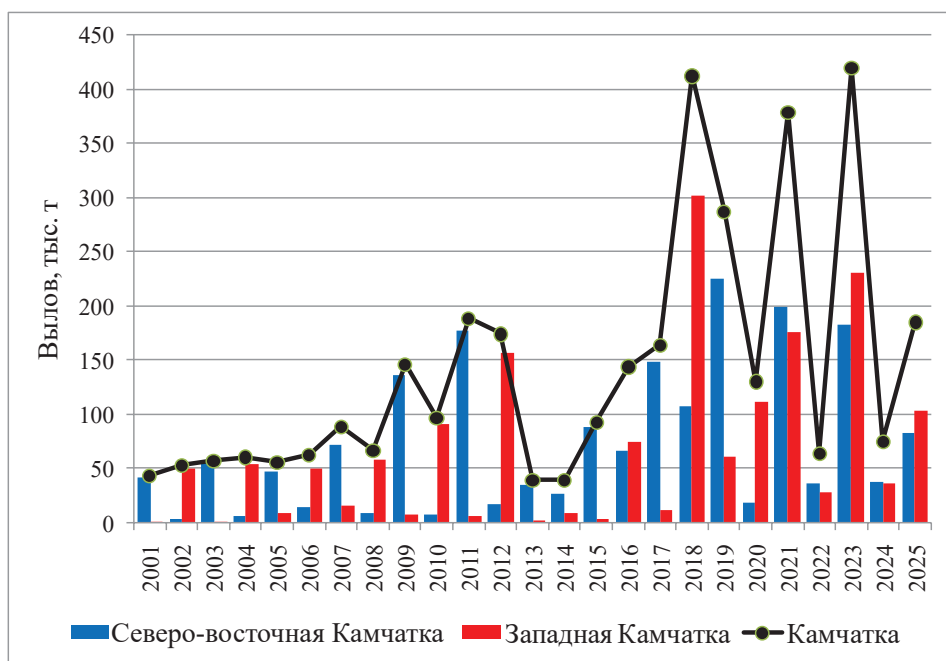


Рис. 2. Динамика уловов горбуши Камчатки (общая и по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

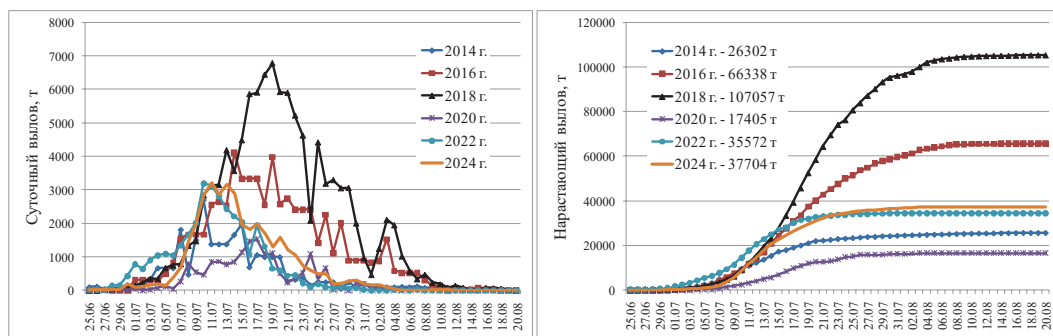
Fig. 2. Dynamics of the pink salmon catches in Kamchatka in 2001–2025, totally and by major stock units

В доле эквиваленте соотношение уловов горбуши в основных районах промысла составляет приблизительно 53 : 47 %. У обеих региональных группировок стад вида наблюдалась сходная тенденция роста уловов с середины 2000-х гг. Исключениями были только 2013 и 2014 гг., когда суммарный вылов горбуши обоих побережий не превысил рубеж 50 тыс. т. Учитывая высокую численность вида в пределах камчатского ареала, динамика уловов горбуши полностью соответствует общей динамике вылова тихоокеанских лососей в регионе (см. рис. 1). В целом объемы добычи (вылова) камчатской горбуши в 2024 и 2025 гг. близки к среднемноголетним показателям 2001–2025 гг. с учетом принадлежности указанных лет к линиям урожайных или неурожайных поколений вида.

На северо-восточной Камчатке в течение всего приведенного ряда наблюдений 2001–2025 гг. урожайными были поколения горбуши нечетных лет воспроизводства. На западной Камчатке в 2001–2020 гг. в уловах вида доминировали поколения четных лет воспроизводства. Начиная с 2021 г. в регионе произошла смена доминантных поколений. С этого года урожайными стали поколения горбуши, которые нерестятся в нечетные годы. Таким образом, в 2024 г. для обоих побережий Камчатки отмечался возврат производителей неурожайных поколений, а в 2025 г., наоборот, урожайных поколений.

Для анализа хода промысла горбуши северо-восточной и западной Камчатки в 2024 и 2025 гг. на рис. 3 и 4 представлена динамика ее суточных и нарастающих уло-

Четные годы



Нечетные годы

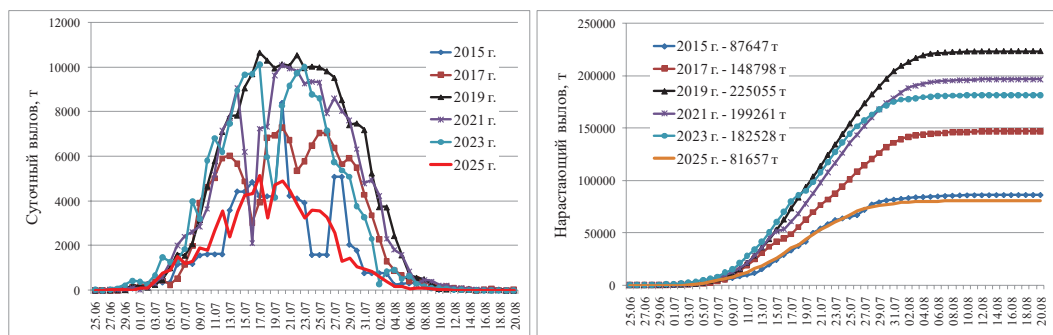


Рис. 3. Динамика суточных и нарастающих уловов четных и нечетных поколений горбуши северо-восточной Камчатки по данным промышленного рыболовства 2014–2025 гг.

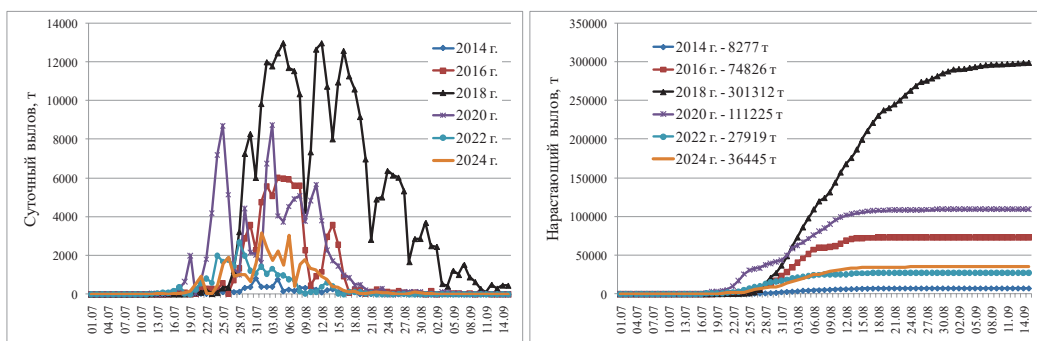
Fig. 3. Dynamics of daily catch and cumulative catch of pink salmon in northeastern Kamchatka in 2014–2025 by the commercial fishery statistics, separately for even and odd year-classes

вов в основных районах добычи. Данные приводятся в сравнительном формате для предыдущих 5 лет, отражающих промысел горбуши для линий четных и нечетных лет. Это позволяет оценить характер отличий пугин 2024 и 2025 гг. относительно много-летнего периода для каждого поколения.

Как ранее было отмечено, 2024 г. является неурожайным для горбуши обоих побережий Камчатки. На приведенных графиках видно, что на северо-восточном побережье этот год по динамике промысла и фактическому итоговому вылову вида наиболее близок 2022 г. В эти годы пик суточных уловов горбуши приходился на 2-ю декаду июля. Максимальные уловы в 2024 г. достигали порядка 3000 т за 1 сут. Динамика нарастающих уловов в этот год практически синхронна с показателями 2022 г. Уточним, что вылов в пределах 35–40 тыс. т можно оценить на уровне нижней границы «среднего» запаса (вылов 30–70 тыс. т) камчатской горбуши [Бугаев и др., 2023а]. Для сравнения отметим, что уловы горбуши северо-восточной Камчатки в 2016 и 2018 гг. (неурожайная линия лет) относятся к верхней границе соответственно «среднего» и «высокого» (вылов 70–130 тыс. т) запасов. Однако в оба эти года были зафиксированы исторические пики вылова вида в данном регионе для четных лет.

В 2025 г. на северо-восточной Камчатке, несмотря на возврат урожайного поколения, общий вылов горбуши был ниже предыдущих терминальных 5 лет. Динамика суточных и нарастающих уловов вида в этот год практически полностью совпадала только с уловами 2015 г. Максимальный суточный вылов в 2025 г. приходился на 2–3-ю декады июля, когда добывали порядка 3000–5000 т за 1 сут. Активизация нарастающего вылова наблюдалась с середины июля. Итоговые уловы 2015 и 2025 гг. на уровне 80–90 тыс. т характерны для нижней границы «высокого» запаса вида.

Четные годы



Нечетные годы

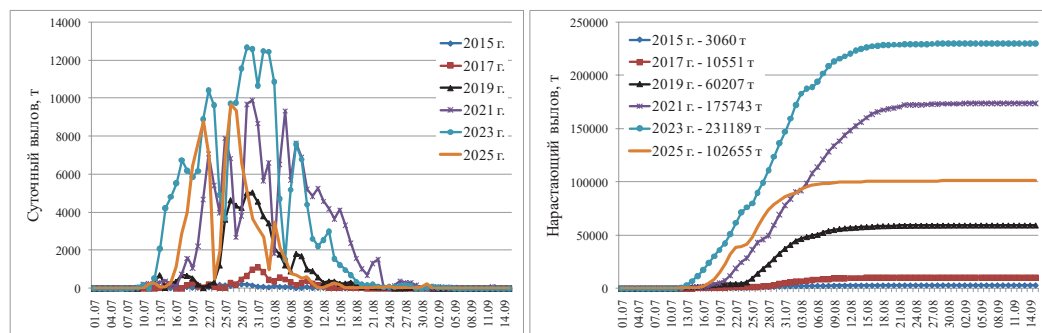


Рис. 4. Динамика суточных и нарастающих уловов четных и нечетных поколений горбуши западной Камчатки по данным промышленного рыболовства 2014–2025 гг.

Fig. 4. Dynamics of daily catch and cumulative catch of pink salmon in western Kamchatka in 2014–2025 by the commercial fishery statistics, separately for even and odd year-classes

На западной Камчатке в 2024 г., после произошедшей в 2021 г. смены доминанты численности горбуши четных и нечетных лет воспроизводства, наблюдался возврат неурожайного поколения. Это наложило определенный отпечаток на характер динамики вылова в 2024 г. относительно предыдущих 5 четных лет. В этот год суточные и нарастающие уловы находились на минимальном уровне, близко к показателям 2022 г. Общий итоговый вылов в 2022 и 2024 гг. колебался в пределах порядка 30–40 тыс. т, т.е. на нижней границе «среднего» запаса. Наиболее высокие суточные уловы горбуши в 2024 г. приходились на 3-ю декаду июля — 1-ю декаду августа, составляя порядка 2000–3000 т.

Соответственно, в 2025 г. на западном побережье Камчатки наблюдался возврат урожайного поколения горбуши. Максимальные суточные уловы в этот год были зафиксированы во 2–3-й декадах июля с высокой вариабельностью в пределах 4000–10000 т. Нарастающие уловы демонстрировали промежуточные показатели, характерные как для высокочисленных, так и для малочисленных подходов вида. Однако промысловое изъятие на уровне 100 тыс. т все-таки свидетельствует о «высоком» общем запасе западнокамчатской горбуши в 2025 г.

Межгодовая динамика нерестовых запасов горбуши Камчатки в 2001–2025 гг. отражает общую логику подходов производителей урожайных и неурожайных поколений (рис. 5). Для всего ряда наблюдений среднескользящая численность пропущенных на нерест производителей соответствовала следующим величинам: северо-восточная Камчатка — 41,1 млн рыб (2,0–102,3); западная Камчатка — 25,8 млн рыб (0,1–112,6). В четные/нечетные годы аналогичные показатели составляли: северо-восточная Камчатка — 19,7/60,8 млн рыб (2,0/11,0–41,4/102,3); западная Камчатка — 36,4/16,0 млн рыб

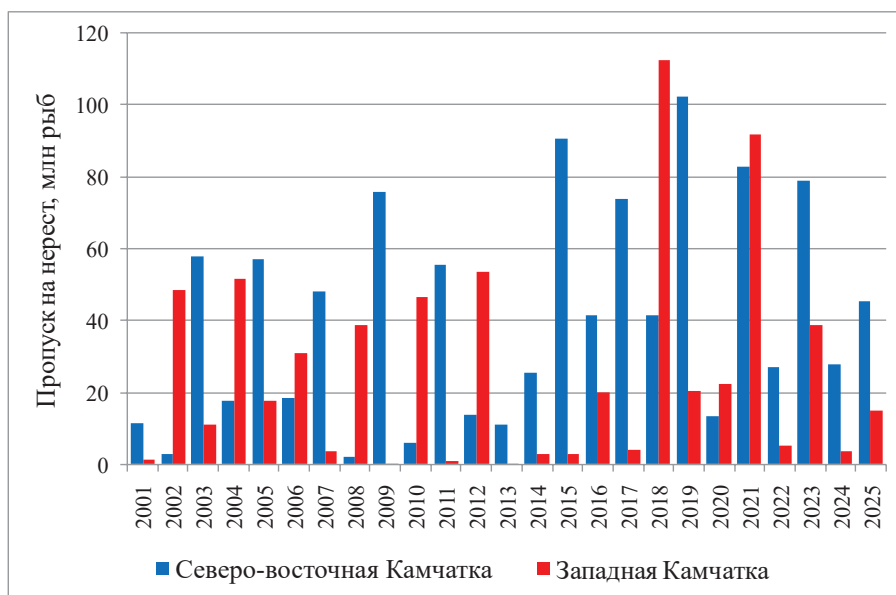


Рис. 5. Динамика нерестовой численности горбуши Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 5. Dynamics of the pink salmon spawning stock in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

(3,0/0,1–112,6/91,7). Видно, что в урожайные годы заполнение нерестилищ горбуши по среднегодовым данным было выше.

Необходимо обратить внимание на то, что критически низкие оценки нерестового запаса горбуши, например 0,1 млн рыб в 2009 г. или 0,2 млн рыб в 2013 г., характерны только для западного побережья Камчатки. В основном это связано с недоучетом производителей вида в отдельные нечетные годы, когда в течение 2001–2020 гг. в регионе доминировали поколения горбуши четных лет воспроизводства. Поэтому в нечетные годы аэровизуальный учет производителей вида на нерестилищах из-за экономии финансовых средств нередко осуществляли по остаточному принципу, отдавая приоритет двум другим массовым видам — кете и нерке. При этом прогноз подходов для неурожайных поколений горбуши западной Камчатки практически до конца 2010-х гг. в основном строился по инерционному принципу по данным среднегодовых уловов для неурожайных лет.

Непосредственно в 2024 и 2025 гг. оценки численности нерестовых запасов горбуши Камчатки соответствовали следующим показателям: северо-восточная Камчатка — 2024 г. — 27,6 млн рыб, 2025 г. — 45,4 млн рыб; западная Камчатка — 2024 г. — 3,5 млн рыб, 2025 г. — 14,8 млн рыб. Характеризуя состояние заполнения нерестилищ в рассматриваемый период лет, можно отметить следующее. Целевые ориентиры пропуска горбуши на нерест в оба года были полностью достигнуты со значительным превышением на северо-восточной Камчатке. Уточним, что для этого региона целевой ориентир пропуска (S_{msy}) вида определен на уровне 18,3 млн рыб, а промежуточный граничный (S_{buf}) и минимальный (допустимый для обеспечения рыболовства) (S_0) ориентиры — в пределах соответственно 11,1 и 9,1 млн рыб [Фельдман и др., 2018а]. На западной Камчатке в 2024 г. целевой ориентир пропуска не был достигнут, так как расчетный S_{msy} составляет 17,1, S_0 — 8,3, а S_{buf} — 8,7 млн рыб [Фельдман и др., 2019]. В 2025 г. необходимые условия по пропуску западнокамчатской горбуши были выдержаны.

В данном случае необходимо учитывать, что моделирование параметров целевых ориентиров пропуска камчатской горбуши на нерест производили совместно для обеих

репродуктивных линий без учета чередования урожайных и неурожайных поколений. Это обуславливалось сходным влиянием среды на воспроизводство и последующий нагул горбуши независимо от эндогенной структуры. Поэтому получилось так, что для неурожайных поколений ориентиры были несколько завышены, а для урожайных поколений, наоборот, занижены. Имеющиеся многолетние данные о заполнении нерестилищ горбуши западной Камчатки в неурожайные годы на уровне 2–4 млн рыб подтверждают, что 3,5 млн рыб обеспечивают вполне эффективный возврат для малочисленных поколений. Отметим, что выживаемость вида во многом зависит от условий среды, особенно на ранних этапах морского нагула.

Полученные в результате авиаучетных работ данные о пространственном распределении численности горбуши на нерестилищах наиболее промыслово-значимых рек Камчатки (реперные реки) показали, что на северо-восточном побережье основной нерестовый запас вида в 2024 и 2025 гг. был традиционно сосредоточен в реках бассейна Карагинского залива (рис. 6). Максимальные показатели заполнения нерестилищ зафиксированы здесь в таких реках, как Хайлюля, Дранка, Ивашка, Карага, Тымлат, Кичига, Белая, Валовая и Анапка (в среднем в них учитывалось 2,0–3,5 млн рыб). В бассейнах заливов Корфа и Олюторский наиболее продуктивными были реки Вывенка, Пахача и Апука (средний пропуск до 1,0–1,5 млн рыб). На западной Камчатке основной нерестовый запас горбуши был сосредоточен в реках запада и юго-запада полуострова. К данным водным объектам относятся такие реки, как Большая, Кихчик, Пымта, Коль, Воровская, Колпакова, Облуковина и Ича (средний пропуск до 0,5 млн рыб). Разумеется, плотность нерестовых скоплений в реках обоих побережий зависит от численности того или иного поколения, поэтому в 2024 г. средняя плотность скоплений была ниже, чем в 2025 г.

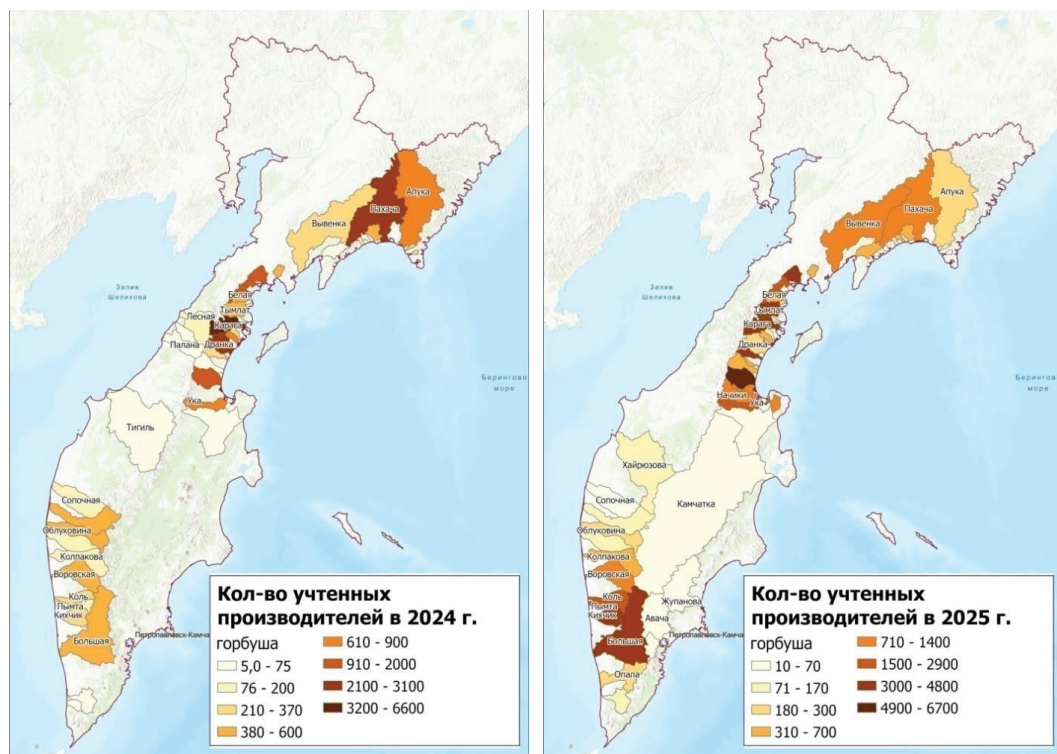


Рис. 6. Пространственное распределение численности производителей горбуши на нерестилищах в бассейнах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг., тыс. рыб

Fig. 6. Abundance of pink salmon spawners in the spawning grounds of Kamchatka in 2024 and 2025, by the reference river basins, 10^3 ind.

По данным о численности вылова и пропуска на нерест оценили величину подходов (возвратов) горбуши Камчатки. Межгодовая динамика подходов вида рассмотрена на основе ряда наблюдений 2001–2025 гг. (рис. 7). В целом среднемноголетняя численность подходов основных единиц запасов горбуши соответствовала следующим величинам: северо-восточная Камчатка — 103,9 млн рыб (4,4–301,1); западная Камчатка — 73,2 млн рыб (1,4–350,0). В четные/нечетные годы аналогичные показатели составляли: северо-восточная Камчатка — 43,5/159,8 млн рыб (4,4/37,1–134,5/301,1); западная Камчатка — 94,6/53,6 млн рыб (7,7/1,4–350,0/229,0). На северо-восточном побережье основные пики подходов вида были зафиксированы в 2011, 2019, 2021 и 2023 гг., а на западном побережье — в 2018, 2021 и 2023 гг. Стоит подчеркнуть, что два из западнокамчатских пиков подходов отмечены после смены доминантных поколений.

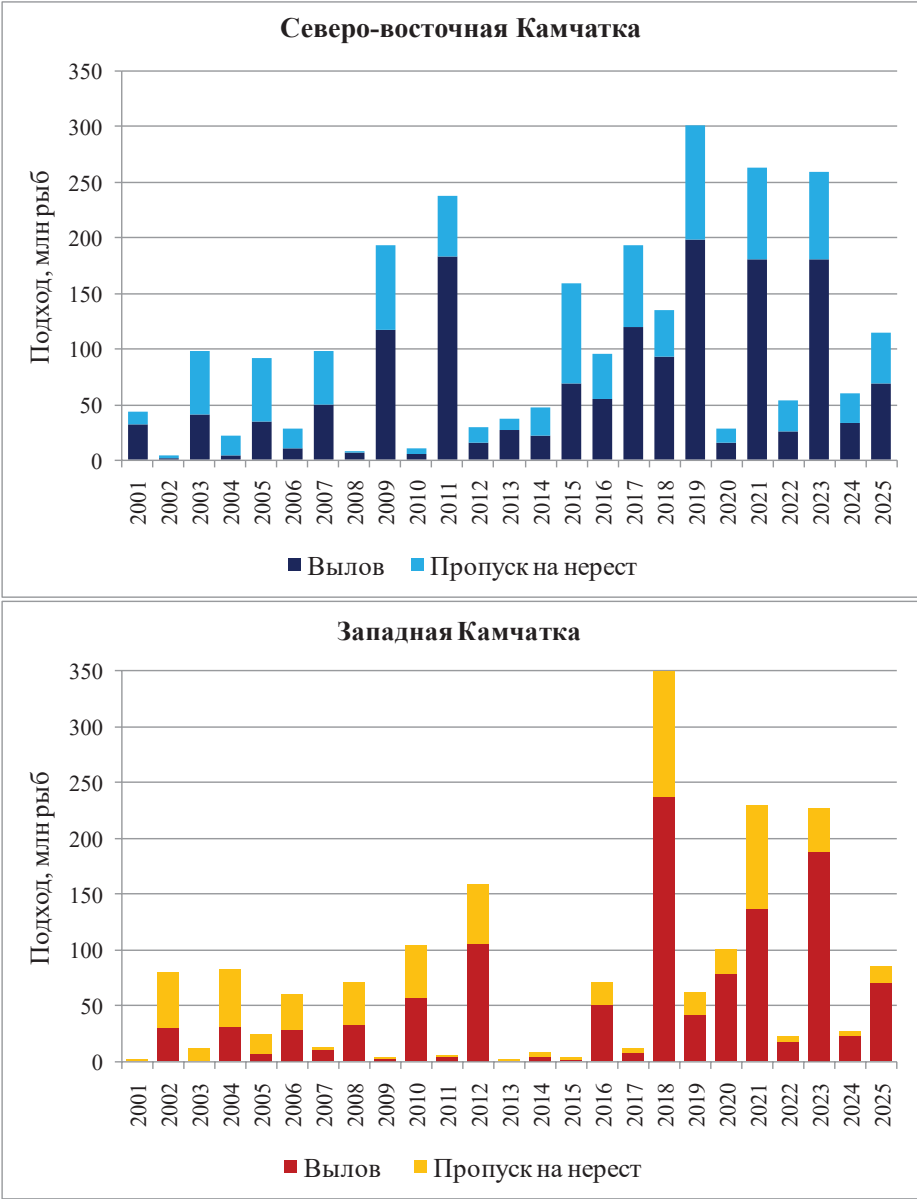


Рис. 7. Динамика численности подходов горбуши Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 7. Dynamics of the pink salmon run abundance in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

Далее оценим степень оправдываемости прогнозов подходов и вылова основных единиц запасов горбуши Камчатки в 2024 и 2025 гг. Следует уточнить, что для всех видов тихоокеанских лососей более уместно рассматривать не только показатель освоения ПВ, но и прогнозируемую величину запаса (подход). Именно на основе численности подходов с помощью ПРП или средненоголетних оценок соотношения пропуска и вылова в конечном итоге определяется объем ПВ. При этом оценка численности подхода главных единиц лосевых запасов является математически смоделированным показателем. Следовательно, определение ошибки численности подхода относится к методическим аспектам прогнозирования. В свою очередь, освоение объема ПВ напрямую зависит не только от численности подходов производителей, но и от организации рыболовства тихоокеанских лососей (антропогенный фактор), а также гидрометеорологических условий и характера преднерестовых миграций рыб в районах промысла (природный фактор). Таким образом, с биологической точки зрения именно оценка численности подхода является более корректным критерием для определения оправдываемости прогноза.

Необходимо подчеркнуть, что сложившаяся современная практика прогнозирования тихоокеанских лососей всегда следует предосторожной доктрине. В результате чего численность подходов, а следовательно, и объемы ПВ рассчитываются по минимальным параметрам прогностических оценок. Это обусловлено утвержденной Росрыболовством возможностью проведения дополнительных корректировок изначальных объемов ПВ на основе фактических данных оперативного мониторинга подходов тихоокеанских лососей непосредственно в течение путины. Указанное обстоятельство является первопричиной зачастую более высокого уровня фактического освоения объемов ПВ от первичных оценок. В большей степени это относится к массовым видам. Поэтому в этой ситуации для осуществления успешного лососевого промысла важно правильно задать тренд общей численности подходов и объемов ПВ в границах стандартной ошибки прогнозирования, принятой для рассматриваемых видов водных биоресурсов ($\pm 25\%$) [Бугаев и др., 2024в].

Как отмечено выше, для камчатской горбуши биологически обосновано наличие 2 основных единиц запаса, которые воспроизводятся на северо-восточном (Карагинская подзона) и западном (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) побережьях полуострова. Причем на западной Камчатке в обеих указанных промысловых подзонах воспроизводится единый запас горбуши. Прогнозирование численности ее подходов осуществляется именно по этому принципу. Следовательно, оценку оправдываемости прогнозов для западнокамчатской группировки стад необходимо делать в целом для региона без разделения на административные районы, которые не отражают биологическую составляющую, а сформированы лишь в интересах контроля и организации рыболовства.

По итогам путин 2024 и 2025 гг. оцененная фактическая численность подхода горбуши северо-восточной Камчатки составила соответственно 60,3 и 114,1 млн рыб. По минимальным оценкам прогноз в эти годы предполагал подходы на уровне 70 и 102 млн рыб. Таким образом, оправдываемость прогноза подхода в 2024 г. соответствовала 86 %, а в 2025 г. — 112 %. При этом фактический вылов в 2024 г. составил 37,704 тыс. т, или 57 % от изначального заявленного объема ПВ (66,000 тыс. т). В 2025 г. вылов превысил прогнозные ожидания, достигнув 81,657 тыс. т, что соответствовало 115 % от объема ПВ (71,000 тыс. т).

Предосторожные прогнозы численности подходов горбуши западной Камчатки в 2024 и 2025 гг. составили 30 и 69 млн рыб. Фактические подходы были оценены соответственно в 26,6 и 84,7 млн рыб. Таким образом, оправдываемость ожидаемой оценки возврата в 2024 г. достигла 87 %, а в 2025 г. — 123 %. Фактический вылов западнокамчатской горбуши в первом случае составил 36,445 тыс. т, или 96 % от объема ПВ (38,000 тыс. т), а во втором случае — 102,655 тыс. т, или 145 % от изначального объема ПВ (71,000 тыс. т). Более подробная информация о вылове и освоении ПВ непосредственно по всем промысловым районам Камчатки представлена в табл. 2 и 3.

Из представленных данных видно, что для горбуши северо-восточной Камчатки прогнозные ожидания численности подходов в 2024 и 2025 гг. подтвердились, так как отклонения не превысили 25 %-ный порог стандартной ошибки. В 2024 г. региональный ПВ горбуши не оправдался, так как отклонение от стартовой величины достигло –43 %. В 2025 г., наоборот, ПВ вида также соответствовал трендовым ожиданиям, незначительно превысив изначальный объем (+15 %).

На западной Камчатке численность подхода горбуши в 2024 г. была определена достаточно верно, так как не превысила стандартной ошибки метода (отклонение –13 %). В 2025 г. отклонение от прогноза возврата было высоким — +47 %. Фактический вылов в 2024 г. также соответствовал прогнозным ожиданиям, так как отклонение составило всего –4 %. В свою очередь, в 2025 г. показатель освоения был заметно выше объема ПВ (отклонение — +45 %). По сути, в 2025 г. изначальный прогноз подхода и потенциального вылова были занижены.

Оценивая возможные причины несоответствия прогнозных ожиданий величин подходов и вылова горбуши северо-восточной (2024 г. — 57 % от объема ПВ) и западной (2025 г. — 147 % от численности подхода и 145 % от объема ПВ) Камчатки, необходимо отметить следующее.

1. Учитывая, что численность подхода горбуши северо-восточной Камчатки в 2024 г. была спрогнозирована достаточно точно (оправдываемость 86 %), наиболее вероятной причиной столь высокого недоосвоения объема ПВ (отклонение –43 %) может быть лишь недостаточная эффективность промысла вида (антропогенный фактор). Пропуск на нерест 27,6 млн рыб допускал изъятие на уровне еще порядка 10–15 млн рыб без нанесения ущерба воспроизводству. Это эквивалентно приблизительно 15 тыс. т. При этом условии освоение объема ПВ достигло бы приблизительно 80 %, т.е. соответствовало допустимой ошибке прогнозирования.

Кроме того, наиболее вероятной биологической причиной низкой эффективности промысла в 2024 г. считаем особенности характера преднерестовых миграций в прибрежных водах северо-восточного побережья Камчатки в этот год (природный фактор). Дело в том, что в данном регионе практически весь промысел осуществляется с помощью ставных морских неводов. При низкой численности тихоокеанских лососей уменьшается плотность их преднерестовых скоплений, в результате чего эффективность работы ставных неводов резко снижается. В 2024 г. наблюдался подход неурожайного поколения горбуши, т.е. преднерестовые скопления априори были разреженными. При этом речной промысел с помощью жаберных сетей в регионе не развит, что не дает возможности поймки рыб, которые миновали зоны облова ставных неводов.

Обращаем внимание, что в 2025 г., по сути, наблюдалась сходная ситуация. Из 45 млн рыб, пропущенных на нерест, без ущерба воспроизводству могло быть освоено порядка 25 млн особей, или приблизительно 30 тыс. т. Это составило бы фактическое изъятие на уровне около 110 тыс. т. Именно эта величина изначально закладывалась в прогноз вылова горбуши северо-восточной Камчатки на основе средних оценок прогностических моделей. Но, как видно, заниженный объем ПВ на уровне 71 тыс. т оказался ближе к показателю фактического вылова. Таким образом, уже просматривается системная проблема организации эффективного промысла горбуши северо-восточной Камчатки с помощью ставных морских неводов.

Однако следует признать, что в ошибке прогнозирования численности вида на северо-восточном побережье Камчатки в 2024 г. была заложена и методическая погрешность. Отметим, что прогноз численности подхода горбуши для данной единицы запаса строится на основе комплексной оценки, полученной путем осреднения результатов моделирования связей «родители–потомство», «запас–пополнение» с учетом климато-океанологических индикаторов и «учет в море — возврат» [Бугаев и др., 2024б]. Вместе с тем приоритетными остаются оценки величины возврата, полученные с помощью оценок учтенной численности молоди горбуши во время откочевки в юго-западной

части Берингова моря. Эти данные предоставляются специалистами ТИНРО по итогам осенних траловых съемок. В сентябре-октябре 2023 г. оценка численности молоди, которая созреет в 2024 г., составила около 298 млн рыб. Это был низкий показатель численности. Однако другие модельные оценки давали относительно высокие ожидания возврата. Поэтому средний показатель, даже взятый по минимальным прогностическим показателям, оказался несколько выше фактической численности подхода и вылова.

В 2025 г., когда на основе траловой съемки ТИНРО оценка численности молоди в исследуемой акватории Берингова моря составила 452 млн рыб (относительно низкая численность для урожайного поколения), данное обстоятельство было учтено. Вследствие этого прогнозы подходов и вылова горбуши северо-восточной Камчатки изначально были занижены с позиции предосторожного подхода.

2. На западной Камчатке основной причиной отклонения фактического вылова горбуши в 2025 г. от прогнозных ожиданий был сверхпредосторожный подход при определении величины потенциального подхода. По материалам прогноза по средней оценке моделирования численности подхода его величина составляла 82 млн рыб. При использовании этой величины оправдываемость прогноза достигла бы 104 % (фактическая численность подхода около 85 млн рыб, отклонение +4 %). Но по факту приняли заниженную величину подхода — 69 млн рыб. Однако нельзя сказать, что заниженный уровень изначального объема ПВ не был оправдан. Существовал риск негативного влияния климато-океанологических условий на выживаемость западнокамчатской горбуши во время зимне-весеннего нагула в океане. Кроме того, определенные сомнения вносили данные учетной осенней траловой съемки ТИНРО, выполненной осенью 2024 г. в бассейне Охотского моря. Несмотря на относительно высокий уровень оцененной численности (1077 млн рыб), а также доминирования в траловых уловах рыб «северной» группировки стад (74 %), имелось смещение стандартных многолетних сроков съемки (по среднемноголетним данным — 3-я декада сентября — 3-я декада октября, в 2025 г. — 2-я декада октября — 1-я декада ноября). Это обстоятельство могло сказаться на репрезентативности полученных результатов съемки.

В качестве дополнительной информации уточним, что в Петропавловско-Командорской подзоне освоение ПВ горбуши в 2024 г. составило около 27 %, а в 2025 г. — 41 %. В Западно-Беринговоморской зоне данные показатели для рассматриваемых лет немногим превысили соответственно 9 и 3 %. Основными причинами является низкий уровень собственных запасов горбуши в этих районах, что не позволяет сформировать здесь полноценный «горбушевый» промысел. Поэтому определение объемов ПВ для Петропавловско-Командорской подзоны и Западно-Беринговоморской зоны строится по инерционному принципу на основе среднемноголетних уловов. Кроме того, в Петропавловско-Командорской подзоне добыча (вылов) горбуши в значительной степени зависит от транзитных рыб, мигрирующих в Карагинскую подзону. Это актуально для Камчатского залива. Но использование инерционного прогноза для определения объема ПВ вида не позволяет в полной мере учитывать данное обстоятельство, так как миграционная активность рыб зависит от комплекса климато-океанологических условий и не может прогнозироваться для каждого конкретного года.

В заключение данного раздела рассмотрим многолетнюю динамику подходов основных региональных единиц запаса горбуши в 2001–2025 гг. (рис. 7). Из представленных графических данных видно, что общая численность вида в 2024 и 2025 гг. существенно снизилась относительно периода 2018–2023 гг. Однако ее величина остается достаточно близкой к среднемноголетнему уровню возвратов поколений урожайных и неурожайных лет для первой четверти XXI века. Более того, в 2024 г. подходы для обеих основных единиц запаса горбуши были максимальными у рыб неурожайных лет воспроизводства для всего рассматриваемого ряда наблюдений.

Отметим, что после пиков исторических подходов горбуши Камчатки (2018, 2021 и 2023 гг.) логично предположить некий спад ее численности. Наиболее вероятно, это

может быть связано с воздействием плотностного фактора и изменчивостью климато-океанологических условий нагула горбуши. Относительно первого явления понятно, что увеличение численности вида в районах морского/океанического нагула влечет обострение внутри- и межвидовой пищевой конкуренции с последующим негативным влиянием на размерно-массовые характеристики вида и, как следствие, ведет к повышению уровня естественной смертности. Второе явление непосредственно влияет на формирование кормовой базы и на соматический рост рыб. Однако механизм комплексного воздействия указанных причинно-следственных явлений до сих пор не ясен. Существуют различные прогнозы долгосрочного развития показателей продуктивности лососевых запасов. Результаты последних исследований свидетельствуют о возможности потенциального снижения численности тихоокеанских лососей в 2030–2050-е гг. [Кровнин, 2019; Бугаев, Тепнин, 2024; Шевляков, Островский, 2025]. Данный процесс логично связывают с многолетней цикличностью динамики численности тихоокеанских лососей под влиянием глобальных климатических факторов. Тем не менее, каким будет реальное воздействие климата на численность гидробионтов в ближайшие десятилетия, ответить весьма затруднительно, так как природа этого процесса слишком многофакторная.

Кета. В пределах камчатского ареала вид формирует три основные единицы запаса [Бугаев и др., 2023а]. На восточном побережье Камчатки кета массово воспроизводится в реках Карагинской подзоны, а также в бассейне р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона). На западном побережье вид образует единый запас (реки Камчатско-Курильской и Западно-Камчатской подзон). В указанных центрах воспроизводства добывается более 95 % камчатской кеты.

Фактический вылов кеты Камчатского края по всем районам промысла в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 14591,719 и 23807,031 т (табл. 2 и 3).

Анализ динамики многолетних уловов кеты Камчатки по данным 2001–2025 гг. показал, что в регионе ежегодно в среднем добывали около 24,772 тыс. т (7,528–50,662) (рис. 8). По основным единицам запаса вида распределение среднеемноголетних

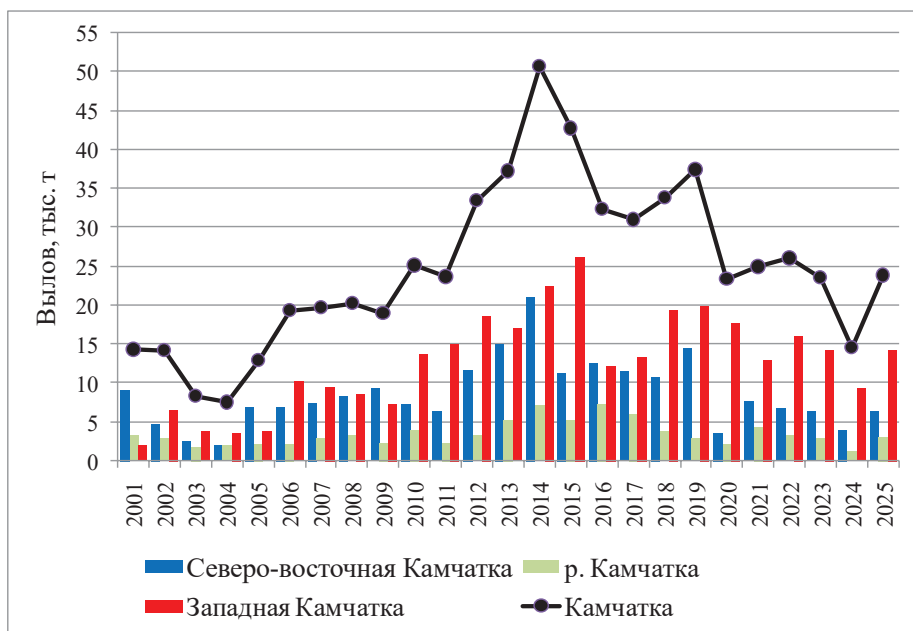


Рис. 8. Динамика уловов кеты Камчатки (общая и по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

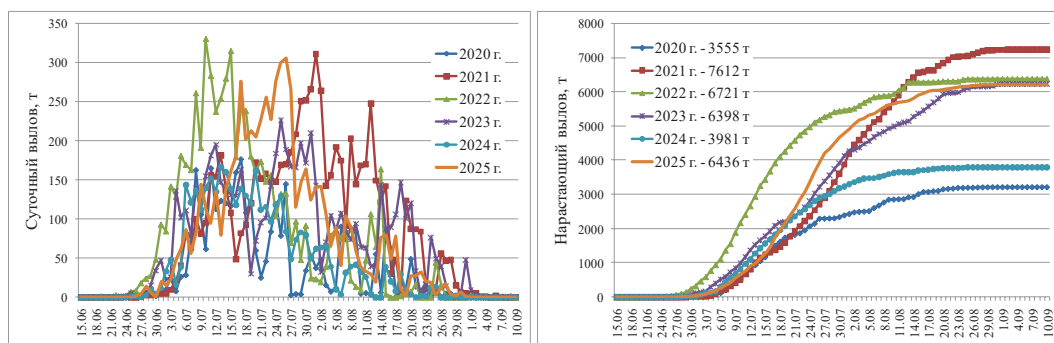
Fig. 8. Dynamics of the chum salmon catches in Kamchatka in 2001–2025, totally and by major stock units

уловов выглядело следующим образом: северо-восточная Камчатка — 8,561 тыс. т (2,013–21,107); р. Камчатка — 3,477 тыс. т (1,263–7,337 тыс. т); западная Камчатка — 12,727 тыс. т (1,897–26,228 тыс. т). При этом в течение рассматриваемого ряда лет пик вылова кеты Камчатки был зафиксирован в 2014 г., когда объем ее добычи достиг рубежа более 50 тыс. т. После этого наблюдалась четкая тенденция снижения уловов кеты. Причем это характерно для всех основных единиц запаса вида. Однако в 2025 г. снова наметился тренд роста численности кеты во всех регионах воспроизводства.

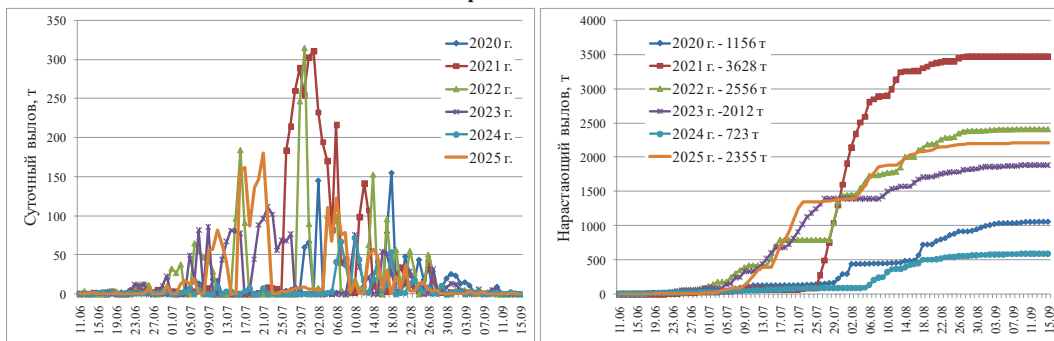
Динамика суточных и нарастающих уловов камчатской кеты основных региональных единиц запаса по данным 2020–2025 гг. представлена на рис. 9.

На рис. 9 видно, что на северо-восточной Камчатке характер анадромного хода и нарастающий вылов кеты в 2024 г. были близки к таковым путины 2020 г., а в 2025 г. — 2022 и 2023 гг. Активизация хода вида в регионе в оба года приходилась на

Северо-восточная Камчатка



р. Камчатка



Западная Камчатка

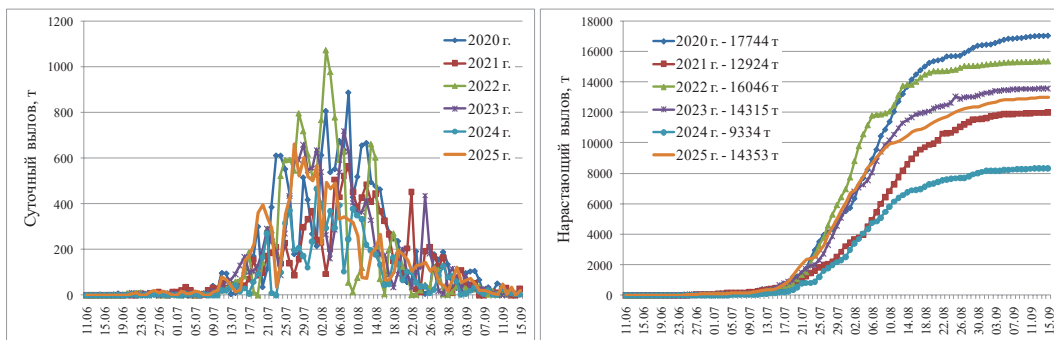


Рис. 9. Динамика суточных и нарастающих уловов кеты Камчатки (по основным единицам запаса) по данным промышленного рыболовства 2020–2025 гг.

Fig. 9. Dynamics of daily catch and cumulative catch of chum salmon in Kamchatka in 2020–2025 by the commercial fishery statistics, by major stock units

начало июля. Наиболее высокие суточные уловы кеты в 2024 г. наблюдались во 2–3-й декадах июля, в среднем достигая порядка 110 т (максимум до 170 т). В 2025 г. в этот же период суточные уловы в среднем составляли около 200 т (максимум до 310 т). В 1-й декаде сентября анадромный ход вида в регионе в оба года заканчивался.

В бассейне р. Камчатка в 2024 г. динамика анадромного хода вида была выражена крайне слабо. Относительно заметные суточные уловы были зафиксированы здесь лишь в 1–2-й декадах августа (в среднем около 35 т, максимум до 70 т). По уровню нарастающего вылова 2024 г. был наиболее близким к 2020 г. В 2025 г. ситуация с динамикой суточных и нарастающих уловов кеты приближалась к 2022 и 2023 гг. При этом максимальные уловы в 2025 г. фиксировались во 2-й декаде июля — 1-й декаде августа. В среднем в сутки в этот период ловили около 55 т (максимум до 180 т) кеты. В 1-й декаде сентября в оба года анадромный ход вида в бассейне р. Камчатка заканчивался.

На западной Камчатке активный ход кеты в 2024 и 2025 гг. начался во 2-й декаде июля. Пиковые суточные уловы в обоих случаях отмечались в 3-й декаде июля — 2-й декаде августа, достигая в 2024 г. в среднем 220 т (максимум до 470 т), а в 2025 г. — 310 т (максимум до 660 т). По уровню нарастающих уловов 2024 г. был минимальным с 2020 г. В 2025 г. наблюдалось сходство с 2023 г. Во 2-й декаде сентября анадромный ход вида в регионе заканчивался.

Многолетняя динамика нерестовой численности кеты Камчатки в 2001–2025 гг. представлена на рис. 10.

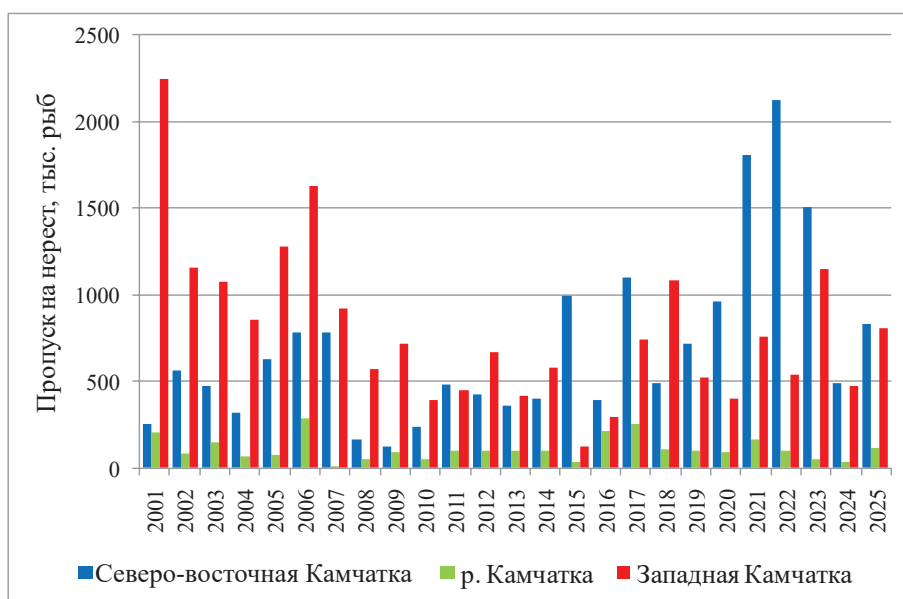


Рис. 10. Динамика нерестовой численности кеты Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 10. Dynamics of the chum salmon spawning stock in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

По имеющимся среднемноголетним данным авиаучетных работ на северо-восточной Камчатке численность производителей кеты на нерестилищах составляла 695 тыс. рыб (123–2123). В 2024 г. этот показатель соответствовал 485 тыс. рыб, а в 2025 г. достиг 833 тыс. рыб. При этом S_{msy} вида на нерест по региону равен 250 тыс. рыб, а S_{buf} — 183 тыс. рыб [Фельдман и др., 2018а]. Следовательно, пропуск кеты на нерест в оба рассматриваемых года заметно превысил не только целевой ориентир, но и показатель пропуска для расширенного воспроизводства (S_{max}) вида — 364 тыс. рыб.

В бассейне р. Камчатка оценку заполнения нерестилищ кеты в основном выполняют с помощью модельных расчетов по данным уловов на усилие на РЛУ № 832

(нижнее течение реки) [Фадеев и др., 2019]. Авиачетные работы в отношении вида не имеют целевого характера. В основном это связано с относительно низкой нерестовой численностью кеты, а также большим географическим разбросом локаций ее нерестилищ внутри бассейна реки. По полученным среднесезонным данным 2001–2025 гг. пропуск кеты р. Камчатка составлял 107 тыс. рыб (максимум до 288 тыс. рыб). В 2024 г. по имеющимся оценкам на нерест было пропущено 33 тыс. рыб, а в 2025 г. — 120 тыс. рыб. Расчетный целевой ориентир пропуска вида на нерест в бассейн реки соответствует 142 тыс. рыб, а промежуточный ориентир — 51 тыс. рыб [Фельдман и др., 2016]. Как видно из представленных данных, условие о необходимом уровне пропуска кеты на нерест в бассейн р. Камчатка было выполнено только в 2025 г. В 2024 г. этот показатель был ниже буферного ориентира. Однако чем ниже численность объекта, тем выше вероятность ошибки для модельных методов учета. Следовательно, пока нет возможности дать однозначную оценку состояния нерестовых запасов кеты в 2024 г. Возможно, мы получим ответ в 2028 и 2029 гг., когда будет массовый возврат производителей от нереста этого года.

На западной Камчатке среднесезонный пропуск кеты на нерестилища по данным авиачетных работ 2001–2025 гг. составил 793 тыс. рыб (121–2251 тыс. рыб). В 2024 г. всего было пропущено 475 тыс. рыб, а в 2025 г. — 805 тыс. рыб. S_{msy} вида на нерест в регионе соответствует 638 тыс. рыб, S_{buf} — 427 тыс. рыб [Фельдман и др., 2019]. В оба года наблюдений пропуск западнокамчатской кеты на нерест превысил оптимальные показатели, практически достигнув планки S_{max} — 844 тыс. рыб.

Анализ пространственного распределения численности производителей кеты на нерестилищах Камчатки в 2024 и 2025 гг. показал достаточно стандартную схему локализации ее основных нерестовых скоплений в бассейнах реперных рек (рис. 11). На северо-восточной Камчатке в оба года наиболее продуктивными были следующие

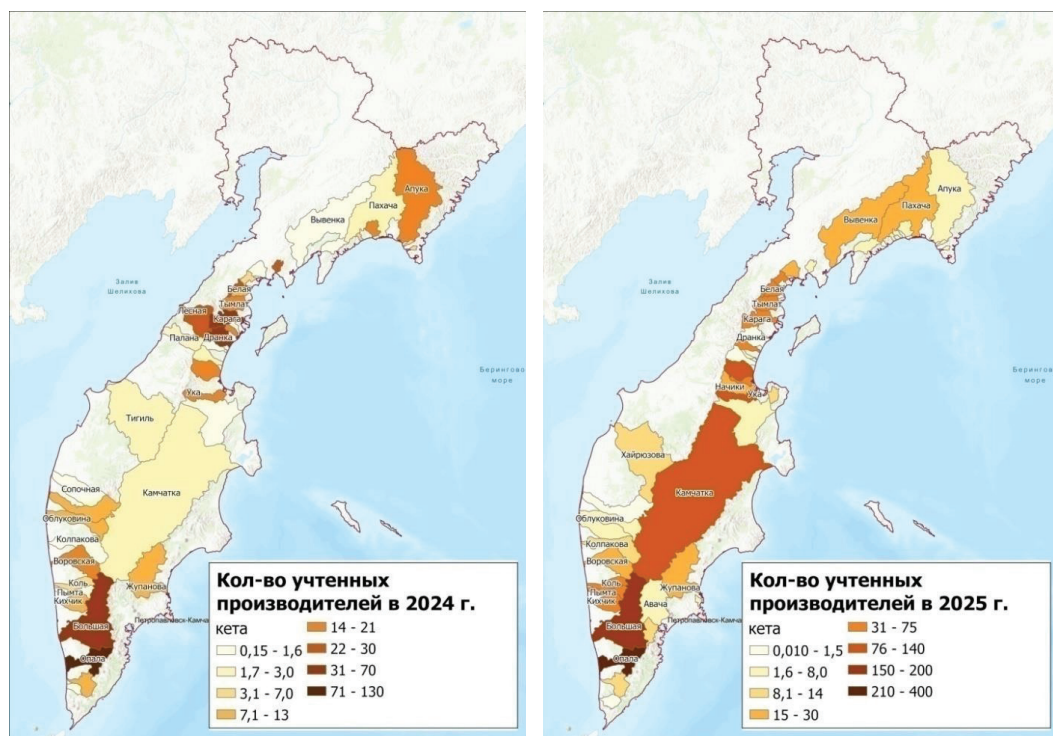


Рис. 11. Пространственное распределение численности производителей кеты на нерестилищах в бассейнах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг., тыс. рыб

Fig. 11. Abundance of chum salmon spawners in the spawning grounds of Kamchatka in 2024 and 2025, by the reference river basins, 10^3 ind.

реки: зал. Карагинский — Ука, Хайлюля, Дранка, Карага, Тымлат, Кичига, Белая; заливы Корфа и Олюторский — Вывенка, Култушная, Авьяваям, Пахача, Имка, Апука. В среднем заполнение их нерестилищ соответствовало приблизительно 30–40 тыс. рыб. Максимальный уровень пропуска производителей на нерест в одну реку в 2024 г. был зафиксирован на уровне 70 тыс. рыб, а в 2025 г. — на уровне 176 тыс. рыб.

На основе количественных оценок вылова и пропуска производителей на нерест была определена численность подходов кеты Камчатки в 2024 и 2025 г. По основным единицам запаса распределение численности подходов имело следующий вид:

— 2024 г. — северо-восточная Камчатка — 1942 тыс. рыб, р. Камчатка — 282 тыс. рыб, западная Камчатка — 3651 тыс. рыб;

— 2025 г. — северо-восточная Камчатка — 3011 тыс. рыб, р. Камчатка — 920 тыс. рыб, западная Камчатка — 5705 тыс. рыб.

Сравнительная многолетняя динамика численности подходов кеты Камчатки по данным 2001–2025 гг. представлена на рис. 12.

Согласно имеющимся данным среднемноголетняя численность подходов кеты Камчатки по основным единицам запаса составляла: северо-восточная Камчатка — 3532 тыс. рыб (961–6520 тыс. рыб), р. Камчатка — 940 (282–2060), западная Камчатка — 4711 тыс. рыб (1847–7691 тыс. рыб). В долевом эквиваленте многолетнее соотношение численности указанных запасов вида соответствовало 38 %, 10 и 52 %. Из представленных данных понятно, что численность подходов кеты восточной и западной Камчатки находится приблизительно на одном уровне.

Оправдываемость прогнозов подходов/вылова кеты Камчатки по основным единицам запаса в 2024 и 2025 гг. составляла соответственно:

— северо-восточная Камчатка — 70/62 % (прогноз/факт: подход — 2756/1942 тыс. рыб, вылов — 6,400/3,981 тыс. т), р. Камчатка — 36/33 % (прогноз/факт: подход — 792/282 тыс. рыб, вылов — 2,200/0,723 тыс. т), западная Камчатка — 58/60 % (прогноз/факт: подход — 6313/3651 тыс. рыб, вылов — 16,500/9,338 тыс. т);

— северо-восточная Камчатка — 107/99 % (прогноз/факт: подход — 2822/3011 тыс. рыб, вылов — 6,500/6,436 тыс. т), р. Камчатка — 183/181 % (прогноз/факт: подход — 504/920 тыс. рыб, вылов — 1,300/2,355 тыс. т), западная Камчатка — 115/138 % (прогноз/факт: подход — 4940/5705 тыс. рыб, вылов — 10,400/14,354 тыс. т).

Из полученных данных видно, что по кете прогноз подхода и вылова оправдался лишь на северо-восточной Камчатке в 2025 г. В остальные годы практически все отклонения прогнозных ожиданий обоих параметров не входили в границы стандартной методической ошибки (± 25 %). Однако критический характер ошибок в оба года наблюдений имели лишь прогнозы кеты р. Камчатка. В 2024 г. фактические показатели подхода и вылова были значительно ниже прогнозных ожиданий, а в 2025 г., наоборот, заметно выше.

Наиболее вероятной причиной этого считаем недостаточную информативность оценок нерестовой численности кеты в бассейне р. Камчатка. Ранее было отмечено, что оценка пропуска вида в указанном водоеме получается на основе модельных расчетов, так как прямой учет производителей на нерестилищах с помощью аэровизуальных наблюдений не представляется возможным. Однако из-за низкой численности запаса кеты р. Камчатка ее модельный учет сопряжен с большой методической ошибкой. По сути, получаемые оценки вполне сопоставимы с возможной экосистемной смертностью вида, а также высоким воздействием ННН-промысла. Последнее усугубляется тем, что кета р. Камчатка в основном нерестится в притоках среднего и верхнего течения, где локализовано несколько населенных пунктов. Кроме того, численность нерестового запаса кеты р. Камчатка очень сильно зависит от интенсивности промысловой нагрузки на данное стадо. По среднемноголетним оценкам во время промысла изымается порядка 90 % рыб в подходе [Бугаев и др., 2022].

Все вышеперечисленные факторы привели к тому, что прогнозы подходов и, соответственно, вылова кеты р. Камчатка приобрели сверхпредосторожный характер.

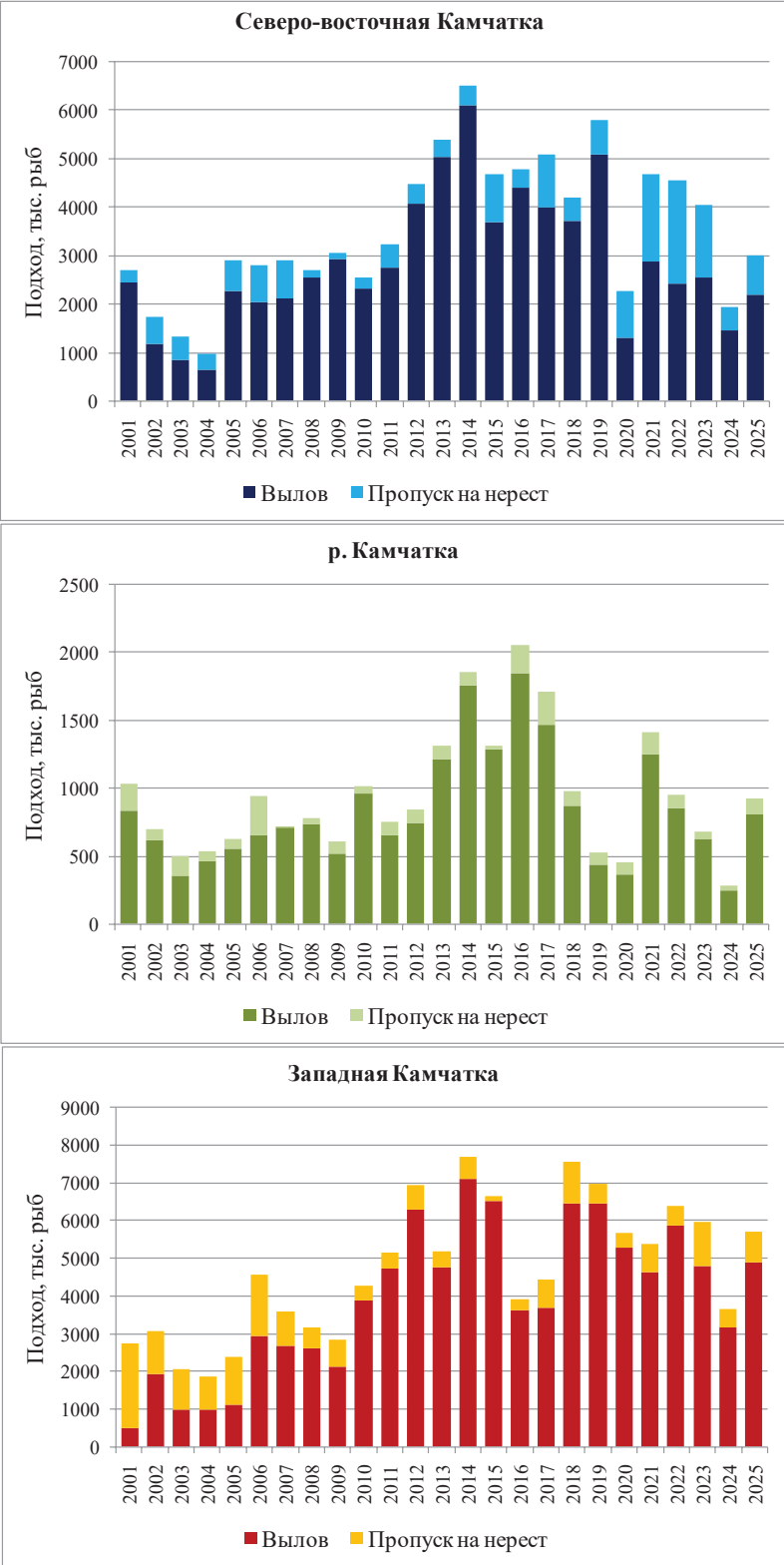


Рис. 12. Динамика численности подходов кеты Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 12. Dynamics of the chum salmon runs abundance in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

Этому четким примером является 2025 г., когда ожидалась относительно высокая численность возврата кеты в возрасте 0.3 от нереста 2021 г. Однако численность подхода и ПВ были оценены по имеющемуся тренду численности по минимальным модельным показателям.

Отдельно следует упомянуть некоторые нюансы оправдываемости прогнозов подходов и вылова кеты северо-восточной Камчатки. Несмотря на относительно низкие прогнозные ожидания (подход — 70 %, ПВ — 62 %) для данной единицы запаса вида, оцененное заполнение нерестилищ вида в регионе в 2024 г. превысило целевой ориентир пропуска (250 тыс. рыб) приблизительно в 2 раза (485 тыс. рыб), а в 2025 г. — более чем в 3 раза (833 тыс. рыб). По сути, с кетой северо-восточной Камчатки наблюдается такая же ситуация, как и с горбушей. Фактически ее освоение могло быть выше порядка 250–500 тыс. рыб, что эквивалентно приблизительно 0,750–1,500 тыс. т. Однако, принимая во внимание специфику неводного морского промысла, ориентированного на облов высокочисленных преднерестовых скоплений тихоокеанских лососей, интенсивность промысла кеты в регионе остается низкой. В значительной степени это связано с окончанием лососевой путины в прибрежной зоне северо-восточной Камчатки уже к середине августа, когда заканчивается нерестовый ход горбуши. При этом кета продолжает заходить в нерестовые реки региона до середины сентября.

Нерка. В пределах Камчатского края в современный период вид занимает второе место по численности запасов. При этом порядка 80–90 % нерки воспроизводится в двух водоемах — реки Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона) и Озерная (Камчатско-Курильская подзона) [Бугаев, 2011; Бугаев и др., 2023б], поэтому данные стада рассматриваются как основные единицы запаса вида. Причем это относится как к Камчатке, так и ко всему Дальнему Востоку России, поскольку более 95 % запасов нерки в пределах азиатского ареала сосредоточено в камчатском регионе [Бугаев, Бугаев, 2003]. Помимо указанных единиц запаса, имеются еще 3 региональных центра воспроизводства вида, расположенные на северо-восточной (Карагинская подзона), юго-западной (Камчатско-Курильская подзона) и северо-западной (Западно-Камчатская подзона) Камчатке. Данные центры образованы комплексами второстепенных стад нерки. Из них по уровню численности вида наиболее значимыми являются стада рек Большая (юго-западная Камчатка) и Палана (северо-западная Камчатка). Принимая во внимание высокий промысловый статус нерки рек Камчатка и Озерная, мы акцентируем анализ итогов путины в Камчатском крае в 2024 и 2025 гг. именно на данных единицах запаса.

Общий фактический вылов нерки Камчатского края по всем районам промысла в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 34191,107 и 41255,885 т (табл. 2 и 3).

По среднемноголетним данным 2001–2025 гг. ежегодный вылов камчатской нерки составлял 32,643 тыс. т (15,954–49,452 тыс. т) (рис. 13). По основным единицам запаса аналогичные показатели выглядели следующим образом: р. Камчатка — 7,763 тыс. т (2,218–15,088 тыс. т); р. Озерная — 21,409 тыс. т (11,554–31,341 тыс. т). Их суммарная среднемноголетняя доля составляет около 89 %.

Сравнительный анализ многолетних уловов нерки Камчатки показал, что после 2018 г. наметился тренд на снижение запасов вида. Однако в 2024 и 2025 гг. ситуация изменилась в лучшую сторону. При этом рост уловов вида в основном происходил за счет высоких подходов стада р. Озерной. Состояние запасов нерки р. Камчатка в последние годы демонстрирует устойчиво низкий уровень.

Динамика суточных и нарастающих уловов нерки рек Камчатка и Озерная в период путин 2020–2025 гг. представлена на рис. 14.

В 2024 и 2025 гг. уловы нерки р. Камчатка находились на самом низком уровне за весь рассматриваемый период лет. Это отразилось на показателях как суточного, так и нарастающего вылова. Максимальную интенсивность анадромного хода нерки р. Камчатка традиционно фиксировали в июне, когда осуществляет миграцию ранняя форма данного стада. В этот период средние суточные уловы в 2024 г. достигали порядка 50 т, а в 2025 г. — 80 т. Незначительный рост уловов в начале августа был связан

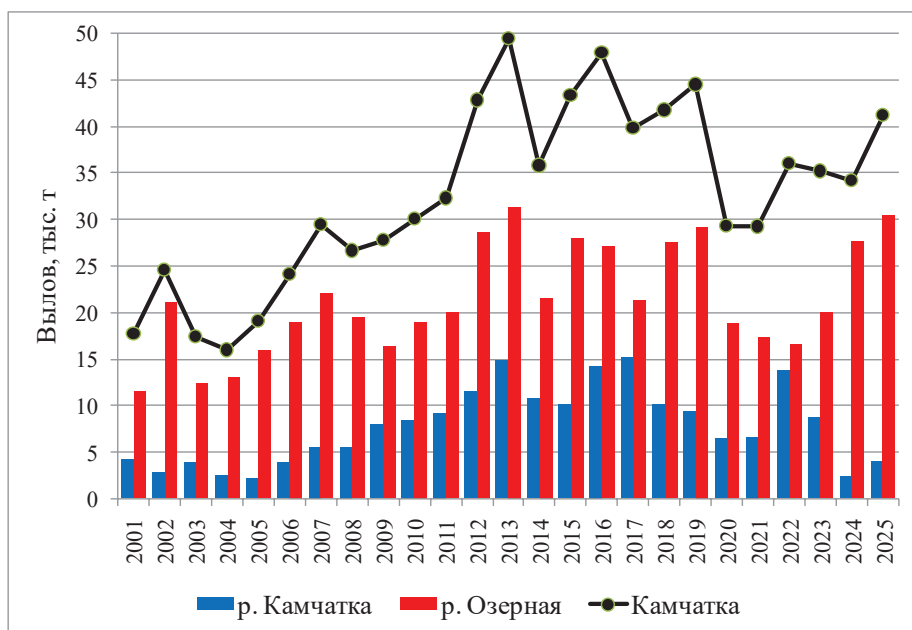


Рис. 13. Динамика уловов нерки Камчатки (общая и по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 13. Dynamics of the sockeye salmon catches in Kamchatka in 2001–2025, totally and by major stock units

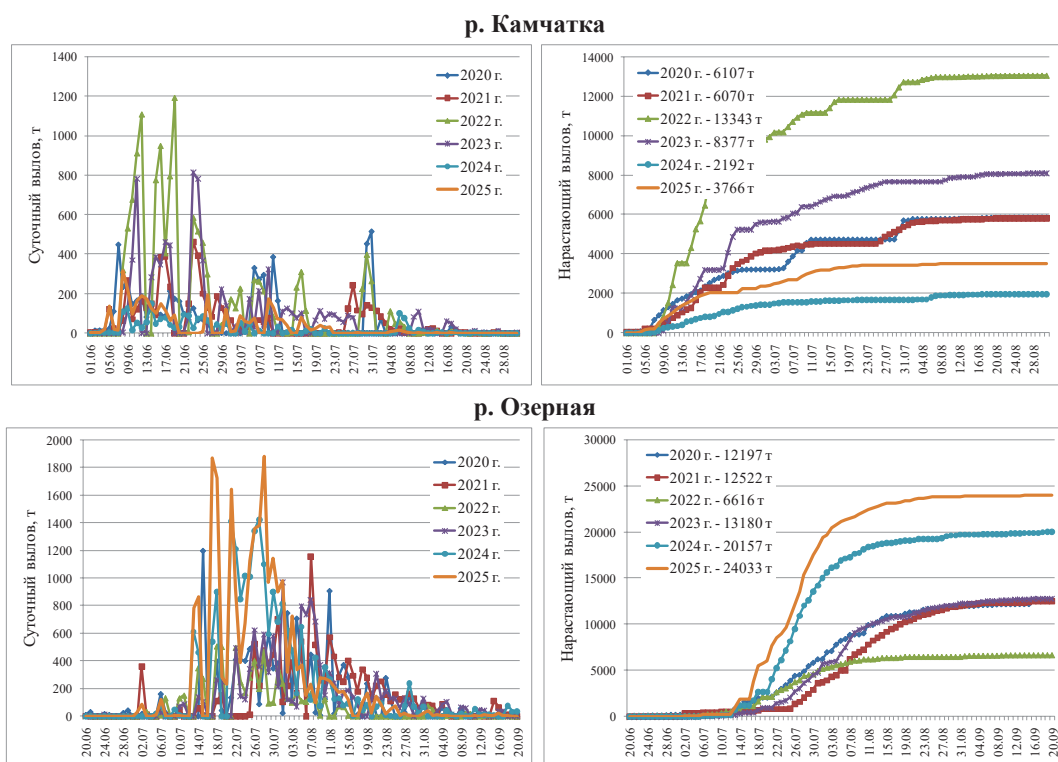


Рис. 14. Динамика суточных и нарастающих уловов нерки Камчатки (по основным единицам запаса) по данным промышленного рыболовства 2020–2025 гг.

Fig. 14. Dynamics of daily catches and cumulative catches of sockeye salmon in Kamchatka in 2020–2025, by the commercial fishery statistics

с подходами поздней расы нерки. В середине августа анадромный ход вида в бассейне р. Камчатка заканчивался.

Нерка р. Озерной в 2024 и 2025 гг., наоборот, показывала наиболее высокие суточные и нарастающие уловы в течение периода 2020–2025 гг. В оба года наиболее высокий уровень анадромного хода вида приходился на 2-ю декаду июля — 1-ю декаду августа. В этот период суточные уловы нерки в среднем достигали 700–800 т. В 2025 г. уровень суточного и нарастающего вылова был несколько выше. В оба года в конце августа анадромный ход нерки р. Озерной заканчивался.

Анализ динамики численности нерестовых запасов нерки рек Камчатка и Озерная показал, что по среднемноголетним данным 2001–2025 гг. пропуск на нерест производителей указанных стад составляет соответственно 429 тыс. рыб (112–925 тыс. рыб) и 1871 тыс. рыб (1114–4910 тыс. рыб) (рис. 15).

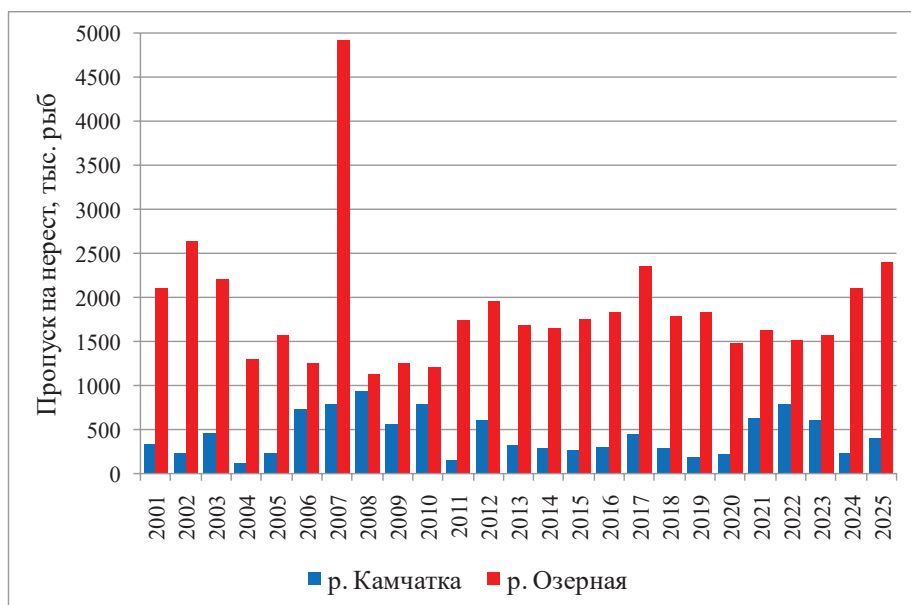


Рис. 15. Динамика нерестовой численности нерки Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 15. Dynamics of the sockeye salmon spawning stock in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

В 2024 и 2025 гг. заполнение нерестилищ нерки р. Камчатка было оценено на уровне 237 и 384 тыс. рыб. Обращаем внимание, что данный вид является доминирующим среди тихоокеанских лососей, воспроизводящихся в бассейне р. Камчатка, поэтому в отношении этой единицы запаса ежегодно проводятся авиаучетные работы для оценки нерестовой численности.

Расчетный целевой ориентир пропуска на нерест нерки р. Камчатка соответствует 460 тыс. рыб, а промежуточный ориентир — 187 тыс. рыб [Фельдман и др., 2016]. В 2024 и 2025 гг. пропуск на нерест производителей данной единицы запаса превысил граничный ориентир. Однако сформированный нерестовый запас нерки р. Камчатка в эти годы был далек от оптимальных показателей. Уточним, что расчетная величина пропуска производителей вида для расширенного воспроизводства составляет 850 тыс. рыб. При этом анализ многолетних данных динамики численности пропуска и подходов показал, что оптимальным для эффективного воспроизводства обеих рас нерки р. Камчатка был бы пропуск на нерест на уровне 650 тыс. рыб (450 тыс. рыб — ранняя раса, 200 тыс. рыб — поздняя раса) [Бугаев и др., 2022].

Пропуск на нерест нерки р. Озерной в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 2109 и 2400 тыс. рыб. В этом случае учет пропущенных на нерестилища произво-дителей

лей осуществляется на рыбоучетном заграждении (РУЗ), которое установлено в истоке р. Озерной [Дубынин и др., 2021]. Данный метод позволяет учитывать нерку, которая мигрирует на нерест в оз. Курильское, где воспроизводится более 95 % бассейновых запасов вида.

Для нерки р. Озерной также определен S_{msy} , который составляет 1100 тыс. рыб [Фельдман и др., 2019]. При этом ориентиры S_{buf} и S_{max} соответствуют 750 и 1900 тыс. рыб. Однако принятая величина оптимума заполнения нерестилищ оз. Курильского составляет 1500 тыс. рыб [Дубынин, 2012]. Именно этот уровень нерестового запаса позволяет обеспечить стабильное эффективное воспроизводство данной промысловой единицы вида. Отметим, что в 2024 и 2025 гг. заполнение нерестилищ нерки р. Озерной превышало даже максимальный ориентир пропуска.

Анализ пространственного распределения численности производителей нерки на нерестилищах основных промысловых рек Камчатки показал характерную для региональных запасов вида картину (рис. 16). Основные места нереста включали бассейны рек Камчатка и Озерная. Достаточно высокий уровень заполнения нерестилищ наблюдался в бассейнах рек Большая (юго-западная Камчатка) и Палана (северо-западная Камчатка). При этом значительные нерестовые запасы нерки в 2024 и 2025 гг. фиксировали в водных объектах северо-восточной Камчатки (реки Вывенка, Пахача и Апука). Здесь сосредоточен комплекс стад вида, воспроизводящихся в нагульных озерах указанных речных бассейнов [Шубкин, Бугаев, 2021].

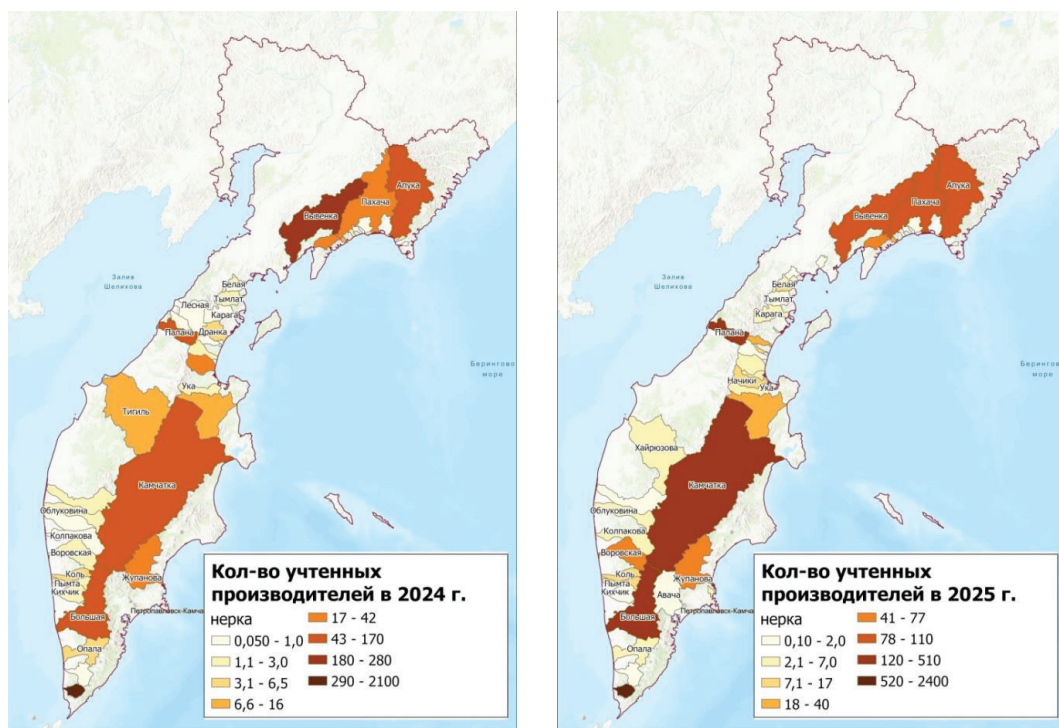


Рис. 16. Пространственное распределение численности производителей нерки на нерестилищах в бассейнах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг., тыс. рыб

Fig. 16. Abundance of sockeye salmon spawners in the spawning grounds of Kamchatka in 2024 and 2025, by the reference river basins, 10^3 ind.

Оценки численности подходов нерки р. Камчатка в 2024 и 2025 гг. составили 1404 и 2231 тыс. рыб (рис. 17). По среднемноголетним данным 2001–2025 гг. ежегодный возврат производителей этого стада соответствовал 4038 тыс. рыб (1033–8007 тыс. рыб). Понятно, что уровень подходов в 2024 и 2025 гг. практически в 2–3 раза был ниже этого показателя. На графиках видно, что максимальная численность подходов вида наблю-

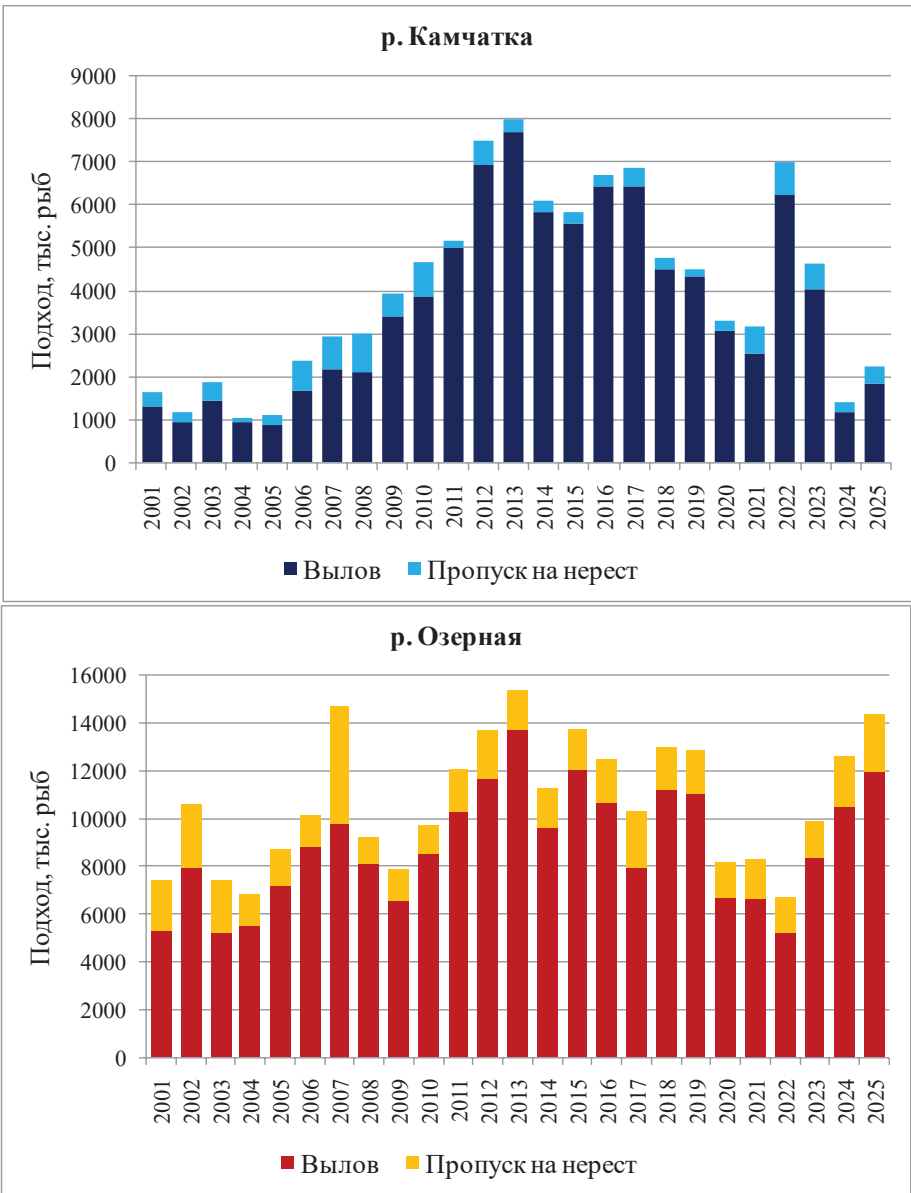


Рис. 17. Динамика численности подходов нерки Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 17. Dynamics of the sockeye salmon runs abundance in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

далась в 2012–2017 гг., а также в 2022 г. При этом в 2024 и 2025 гг. были зафиксированы минимальные подходы нерки р. Камчатка, близкие к уровню 2001–2005 гг.

У нерки р. Озерной численность подходов намного меньше подвержена межгодовой изменчивости. Несомненно, это напрямую связано со стабильным и достаточным многолетним уровнем пропуска производителей на нерест. По среднееголетним данным 2001–2023 гг. ежегодный подход вида составил 10700 тыс. рыб (6727–15432 тыс. рыб). В 2024 и 2025 гг. уровень подходов соответствовал 12621 и 14379 тыс. рыб. После 2019 г. было заметно снижение общей численности нерки р. Озерной. Однако начиная с 2023 г. снова наблюдалось увеличение численности ее подходов.

Оправдываемость прогнозов подходов/вылова нерки Камчатки по основным единицам запаса в 2024 и 2025 гг. соответствовала:

— 2024 г. — р. Камчатка — 42/35 % (прогноз/факт: подход — 3362/1404 тыс. рыб, вылов — 6,200/2,192 тыс. т), р. Озерная — 165/191 % (прогноз/факт: подход — 7639/12621 тыс. рыб, вылов — 12,600/24,122 тыс. т);

— 2025 г. — р. Камчатка — 88/86 % (прогноз/факт: подход — 2545/2231 тыс. рыб, вылов — 4,400/3,766 тыс. т), р. Озерная — 129/138 % (прогноз/факт: подход — 11104/14379 тыс. рыб, вылов — 19,800/27,396 тыс. т).

Из представленных данных следует, что в отношении рассматриваемых единиц запасов вида прогнозы не оправдались только в 2024 г. Причем для стада нерки р. Камчатка наблюдается отрицательная разница прогнозируемого и фактического подхода/вылова, а для стада р. Озерной, наоборот, положительная.

На наш взгляд, тут абсолютно разные причинно-следственные связи несоответствий. В случае с неркой р. Камчатка, полагаем, первопричиной ошибки является низкий уровень ее нерестовой численности, который, как правило, наблюдался в течение последних 15 лет. В основном это связано с высокой интенсивностью промысла, осваивающего до 90–95 % рыб от подхода и нарушенной внутривидовой структурой запаса [Бугаев и др., 2022]. Так, в рассматриваемые годы практически полностью был утрачен воспроизводственный потенциал группировки нерки р. Камчатка верхнего течения, и поддержание численности запаса ограничивалось группировками производителей, нерестующих в бассейне р. Еловка и оз. Азабачье. Исходя из потенциально низкой эффективности нереста, прогноз подхода/вылова нерки априори дается заниженный. Этому четкий пример, когда объем ПВ в 2025 г. был снижен по сравнению с 2024 г. на 1,800 тыс. т, что по итогам путины оказалось полностью оправданным. Это было сделано в рамках предосторожного подхода в связи с наличием тренда потенциального снижения общей численности нерки р. Камчатка на ближайшие годы. Возможно, некоторые относительно высокочисленные поколения, например от нереста 2021–2023 гг., смогут обеспечить повышенный возврат производителей в соответствующие годы созревания рыб в возрасте 1.3 и 2.3, но, наиболее вероятно, это будет краткосрочное явление, так как нерестовые запасы вида, сформированные в 2024 и 2025 гг., также находятся на низком уровне.

У нерки р. Озерной, как отмечено выше, наоборот, в последние годы наблюдается рост численности подходов. В 2024 г. по инерции прогноз строился в преосторожном ключе, ориентированном на относительно низкие подходы 2022 и 2023 гг. Однако в 2025 г. тренд на увеличение численности подхода был учтен. Понятно, что всегда существует искусственное занижение прогноза (особенно объема ПВ), учитывая возможность его оперативной корректировки на основе данных фактических подходов рыб в течение путины. Тем не менее возможной причиной увеличения численности запасов нерки может быть общее сокращение запасов камчатской горбуши, которое наблюдалось в 2024 и 2025 гг. Учитывая, что формирование нерестовых запасов нерки р. Озерной стабильно на протяжении достаточно продолжительного периода времени, полагаем, что только естественные причины могут лимитировать ее численность. Одной из подобных причин могут быть конкурентные пищевые отношения с горбушей. Ранее специалистами КамчатНИРО неоднократно указывалась взаимосвязь колебаний численности камчатских стад нерки и горбуши [Бугаев, 2011; Дубынин, 2023]. Это может быть напрямую связано с повышением пищевой конкуренцией видов из-за сходства спектров питания в морской/океанический период жизни [Карпенко и др., 2013].

Отдельно следует упомянуть о состоянии запасов второстепенных стад нерки Камчатки в 2024 и 2025 гг. По итогам двух путин были получены достаточно обнадеживающие результаты. В 2024 г. группировки стад северо-восточной (Карагинская подзона) и северо-западной (Западно-Камчатская подзона) Камчатки показали освоение ПВ на уровне соответственно 69 и 123 %. В 2025 г. в этих же районах этот показатель достиг 196 и 219 %. Аналогичная ситуация наблюдалась и при промысле второстепенных стад нерки Камчатско-Курильской подзоны (включая р. Большую). По сути, в 2024 г. рост численности подходов нерки был зафиксирован для всех стад западной Камчатки, а

в 2025 г. эта тенденция проявилась и для стад северо-восточной Камчатки. Похоже, в настоящее время в течение морского/океанического периода жизни складываются благоприятные условия нагула для всех стад камчатской нерки. Исключением является стадо нерки р. Камчатка, но это прежде всего связано с антропогенным влиянием.

В заключение раздела отметим, что по современным запасам нерки Западно-Беринговоморской зоны ничего достоверно определить нельзя. В 2024 и 2025 гг. активный промысел вида в районе не велся. Лов осуществляли всего на 9 (2024 г.) и 6 (2025 г.) РЛУ. Для сравнения уточним, что в 2018–2021 гг. в регионе функционировали около 20–30 РЛУ, поэтому фактический вылов нерки в Западно-Беринговоморской зоне в 2024 и 2025 гг. был априори ниже прогнозируемого уровня, так как прогноз был инерционно ориентирован на среднесноголетние показатели вылова прошлых лет.

Кижуч. Вид повсеместно распространен в водных объектах Камчатки. По численности запасов кижуч занимает 4-е место в регионе, после горбуши, нерки и кеты. Вид считается относительно малочисленным [Зорбиди, 2010]. Относительно высокочисленные промысловые запасы кижуча формируются только в бассейне р. Камчатка и группировке рек западной Камчатки [Бугаев и др., 2023б]. Суммарно обе указанные единицы запаса составляют около 90–95 % вылова вида на Камчатке. Поэтому анализ итогов путин 2024 и 2025 гг. в отношении кижуча представлен на примере их динамики численности.

Общий фактический вылов кижуча Камчатского края по всем районам промысла в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 6946,675 и 8645,479 т (табл. 2 и 3).

По среднесноголетним данным 2001–2025 гг. вылов вида на Камчатке составлял 5,734 тыс. т (0,647–13,026 тыс. т) (рис. 18). Ежегодный вылов кижуча стада р. Камчатка в среднем соответствовал 1,493 тыс. т (0,437–3,552 тыс. т), а группировки стад западной Камчатки — 4,040 тыс. т (0,201–9,637 тыс. т). Представленные данные подтверждают, что основной единицей запаса вида на Камчатке в современный период является западнокамчатский комплекс стад. На долю стада р. Камчатка приходится около 26 % среднесноголетних показателей изъятия камчатского кижуча, а на долю стад западной Камчатки — более 70 %.

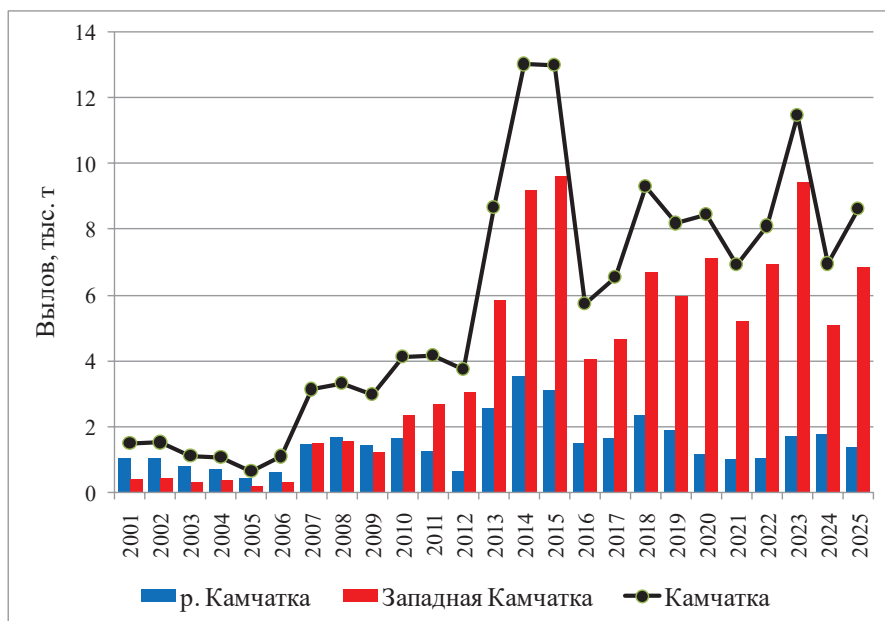


Рис. 18. Динамика уловов кижуча Камчатки (общая и по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 18. Dynamics of the coho salmon catches in Kamchatka in 2001–2025, totally and by major stock units

Анализ многолетней динамики промысла кижуча Камчатки показал, что значительное увеличение его численности отмечено с начала 2010-х гг. При этом рост улова был зафиксирован уже в середине 2000-х гг. Увеличение численности наблюдалось для обеих основных единиц запаса вида. Однако доля западнокамчатских стад в уловах стала доминирующей. Пики уловов кижуча стада р. Камчатка были зафиксированы в 2014 и 2015 гг., а комплекса стад западной Камчатки — в 2014, 2015 и 2023 гг. При этом в период 2013–2025 гг. уловы западнокамчатского кижуча находились на очень высоком для этого вида уровне, ежегодно составляя в среднем порядка 6 тыс. т. В 2024 и 2025 гг. уровень добычи (вылова) кижуча р. Камчатка и западной Камчатки был выше среднемноголетних показателей 2001–2025 гг.

Оценивая динамику суточных и нарастающих уловов кижуча по основным единицам запаса в 2024 и 2025 гг., следует уточнить, что вид относится к тихоокеанским лососям, которые являются поздненерестующими (в основном в сентябре). Поэтому активизация его анадромного хода в районах промысла наблюдается в 3-й декаде июля или 1-й декаде августа (рис. 19). Общий период массового хода для всех единиц запаса вида включает 1-ю декаду августа — 1-ю декаду сентября. У кижуча р. Камчатка интенсивность уловов возрастает уже в конце июля. Во время массового хода (1–3-я декады августа) уровень уловов вида в 2024 и 2025 гг. достигал порядка 100–150 т. Кижуч западной Камчатки наиболее интенсивно мигрирует несколько позднее — во 2-й декаде августа — 1-й декаде сентября. В этот период его суточные уловы в 2024 и 2025 гг. составляли приблизительно до 150–200 т, в отдельных случаях достигая порядка 400 т.

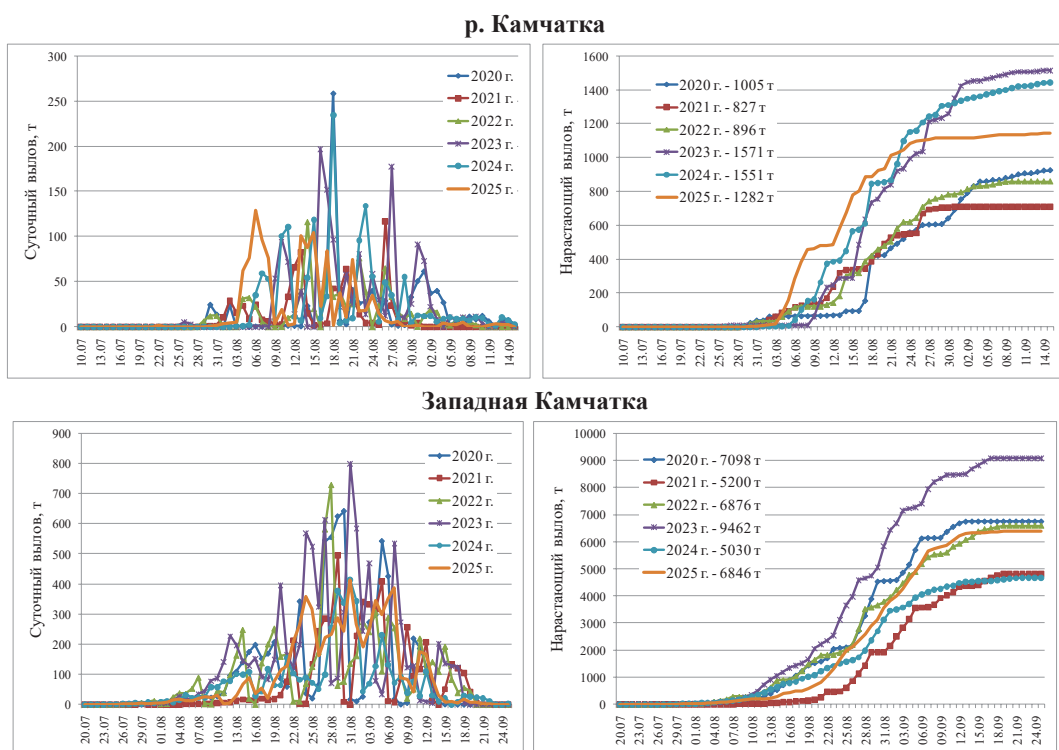


Рис. 19. Динамика суточных и нарастающих уловов кижуча Камчатки (по основным единицам запаса) по данным промышленного рыболовства 2020–2025 гг.

Fig. 19. Dynamics of daily catches and cumulative catches of coho salmon in Kamchatka in 2020–2025 by the commercial fishery statistics, by major stock units

Наиболее близким по интенсивности анадромного хода в 2024 и 2025 гг. для кижуча р. Камчатка был 2023 г. Это четко прослеживается по динамике нарастающих

уловов. У кижуча западной Камчатки в 2024 г. наблюдалась сходная динамика уловов с 2021 г., а в 2025 г. — с 2020 и 2022 гг. В принципе характер анадромного хода вида всегда согласуется с общей численностью подхода и, соответственно, фактическими уловами, поэтому наиболее близки по динамике суточных и нарастающих уловов те годы, итоговый вылов которых приблизительно сходен.

По среднесноголетним данным 2001–2025 гг. пропуск на нерест кижуча стада р. Камчатка составлял 96 тыс. рыб (5–279 тыс. рыб), а группировки стад западной Камчатки — 257 тыс. рыб (53–748 тыс. рыб) (рис. 20). При анализе динамики нерестового запаса вида можно отметить высокую вариабельность величин пропуска рыб на нерестилища для обеих единиц запаса. При минимальных годовых показателях заполнения нерестилищ кижуча, как правило, происходит недоучет производителей на нерестилищах. В рассматриваемый период подобная ситуация возникала в 2000-е гг. В основном это связано с организацией проведения авиаучетных исследований вида. Дело в том, что кижуч, как вид с поздним периодом нереста и относительно низкой численностью запасов, нередко недоучитывался из-за финансовых соображений, так как вертолетное время стоит дорого (в 2025 г. порядка 200 тыс. руб. за 1 летный час вертолета Ми-2). В качестве исправления этой ситуации, например для кижуча р. Камчатка, с 2016 г. осуществляется модельный учет пропуска рыб на нерест на основе данных уловов на усилие на РЛУ № 832 [Фадеев и др., 2019], а на западной Камчатке определен перечень водотоков, которые подлежат обязательному ежегодному авиаучету. Это позволило стабилизировать получение информации о нерестовых запасах вида в данном водном объекте.



Рис. 20. Динамика нерестовой численности кижуча Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 20. Dynamics of the coho salmon spawning stock in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

При этом на рис. 20 четко видно, что в отдельные годы, например на западной Камчатке, численность нерестового запаса кижуча достигала порядка 400–700 тыс. рыб. Подобный уровень заполнения нерестилищ в этом регионе характерен для такого массового вида тихоокеанских лососей, как кета. Это происходит не только по причине высокочисленных подходов вида, но и из-за недоосвоения вида промыслом. Дело в том, что кижуч не формирует концентрированных высокочисленных запасов, что значительно усложняет его промысел с помощью ставных морских неводов. В дан-

ном случае срабатывает экономика организации рыбодобывающей промышленности, так как рыболовство малочисленных объектов не окупает производственных затрат. Особенно это касается использования ставных морских неводов. Поэтому зачастую большинство предприятий заканчивает лососевый промысел, не проявляя полноценного коммерческого интереса к этому виду. Те предприятия, которые продолжают промысел кижуча, в основном его добывают на речных РЛУ с помощью жаберных сетей.

Непосредственно в 2024 и 2025 гг. оцененная численность производителей кижуча на нерестилищах составила: р. Камчатка — соответственно 200 и 130 тыс. рыб, группировки рек западной Камчатки — 300 и 277 тыс. рыб. Целевой ориентир пропуск на нерест вида в бассейн р. Камчатка рассчитан на уровне 108 тыс. рыб, промежуточный — 62 тыс. рыб, а максимальный — 187 тыс. рыб [Фельдман и др., 2016]. Аналогичные показатели ориентиров пропуск для стад кижуча западной Камчатки: $S_{msy} = 247$ тыс. рыб, $S_{buf} = 144$ тыс. рыб, $S_{max} = 319$ тыс. рыб [Фельдман и др., 2019]. Исходя из представленных оценок, в 2024 и 2025 гг. пропуск на нерест кижуча обеих единиц запаса был близок к показателям для расширенного воспроизводства вида.

Карта-схема пространственного распределения численности кижуча на нерестилищах основных промыслово-значимых рек Камчатки представлена на рис. 21, на котором видно, что на восточной Камчатке наиболее значимые нерестовые запасы вида сосредоточены в реках Камчатка и Жупанова. На западной Камчатке традиционно максимальная нерестовая численность вида отмечена в кластере рек Большая — Ича. В среднем наполняемость нерестилищ основных западнокамчатских рек производителями кижуча составляла порядка 20–30 тыс. рыб.

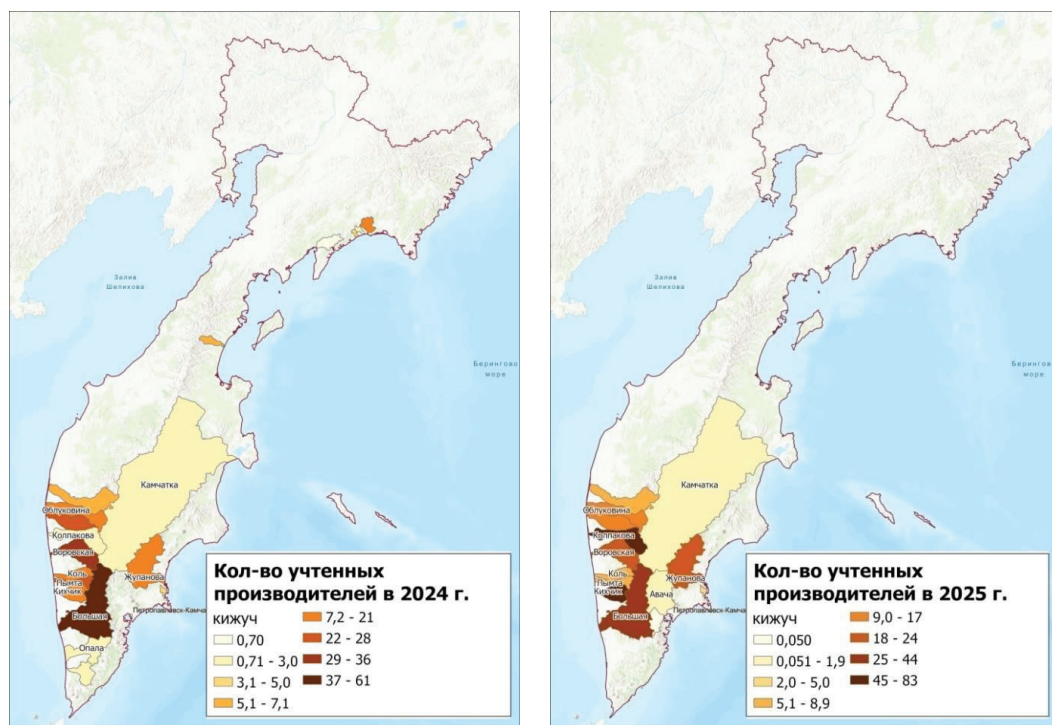


Рис. 21. Пространственное распределение численности производителей кижуча на нерестилищах в бассейнах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг., тыс. рыб

Fig. 21. Abundance of coho salmon spawners in the spawning grounds of Kamchatka in 2024 and 2025, by the reference river basins, 10^3 ind.

Оценки среднеемноголетних подходов кижуча р. Камчатка и группировки рек западной Камчатки составили 638 (212–1558) и 1688 тыс. рыб (186–3738 тыс. рыб). На рис. 22 видно, что пиковые подходы стада р. Камчатка были зафиксированы в 2014 и

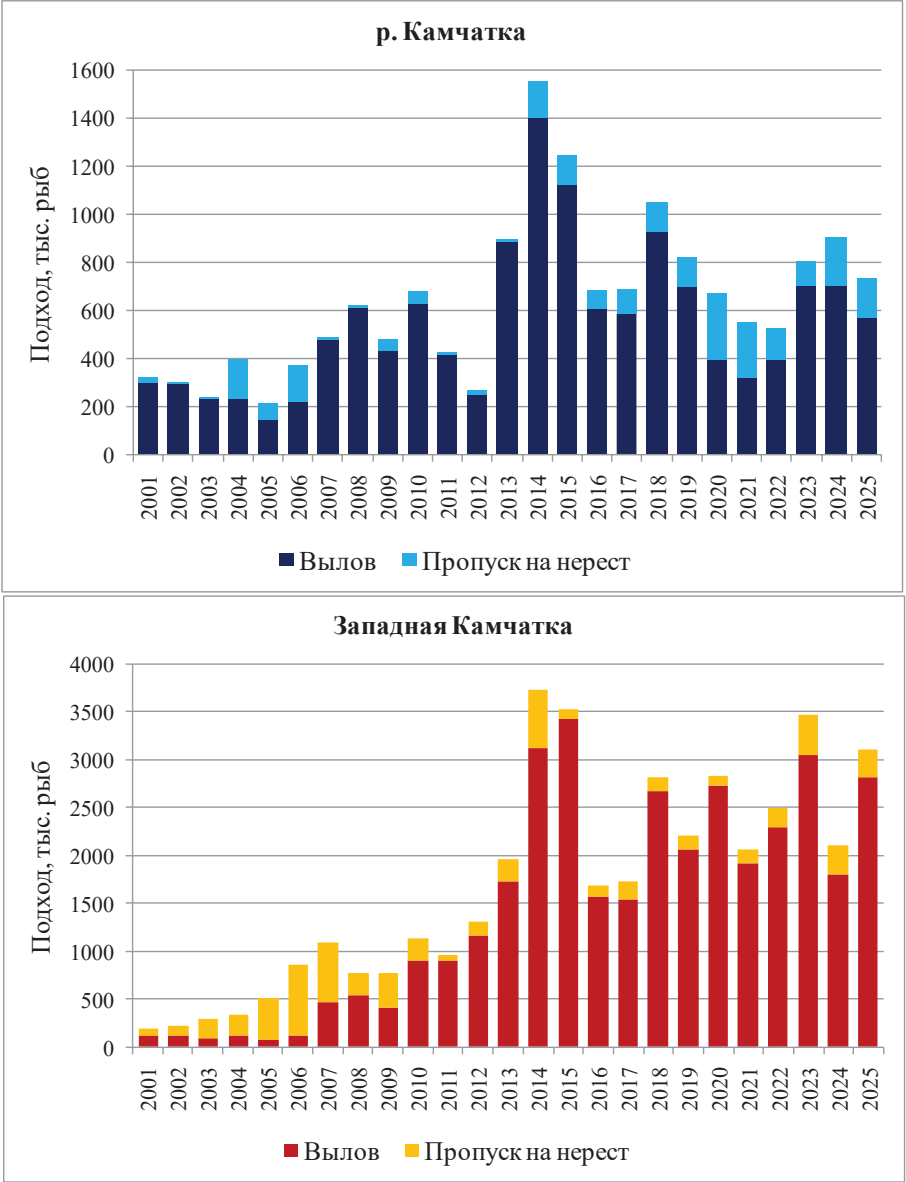


Рис. 22. Динамика численности подходов кижуча Камчатки (по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 22. Dynamics of the coho salmon runs abundance in Kamchatka in 2001–2025, by major stock units

2015 гг. В целом со второй половины 2010-х и в первой половине 2020-х гг. подходы вида к данному водоему оставались относительно стабильными — порядка 600–800 тыс. рыб. На западной Камчатке наблюдается достаточно схожая динамика численности подходов кижуча. Уровень запасов вида остается очень высоким с середины 2010-х гг. — колебания подходов в пределах 1500–3500 тыс. рыб.

Непосредственно в 2024 и 2025 гг. подходы кижуча р. Камчатка были оценены на уровне 905 и 696 тыс. рыб. Аналогичные показатели для комплекса стад западной Камчатки в данные годы составляли 2103 и 3106 тыс. рыб. Указанные количественные оценки пропуска кижуча в 2024 и 2025 гг. заметно превосходят среднемноголетний уровень. Это свидетельствует о хорошем современном состоянии запасов вида на Камчатке.

Для приведения оценок оправдываемости прогнозов подходов и вылова для основных единиц запаса кижуча восточной Камчатки необходимо небольшое уточнение. Прогноз для восточнокамчатских стад кижуча (включая р. Камчатка) готовится в едином формате. При этом порядка 70 % региональных запасов вида сосредоточено в бассейне р. Камчатка. По прогнозам на 2024 и 2025 гг. суммарная численность подходов этого стада была оценена на уровне 946 и 869 тыс. рыб. Таким образом, оправдываемость прогнозов подходов кижуча р. Камчатка в рассматриваемые годы — приблизительно 96 и 80 %.

Оправдываемость прогнозируемого и фактического вылова для кижуча р. Камчатка логично оценивать по данным промысловой статистики вида в Петропавловско-Командорской подзоне. По сути, обстановка с промыслом кижуча в этом районе отражает ситуацию с состоянием запасов вида именно в р. Камчатка. Таким образом, оправдываемость освоения объемов ПВ кижуча в Петропавловско-Командорской подзоне в 2024 и 2025 гг. составила 112 и 87 % (табл. 2 и 3).

На западной Камчатке прогнозы численности подходов кижуча в 2024 и 2025 гг. — 2968 и 1964 тыс. рыб. Оправдываемость данных прогнозов достигала 71 и 158 %. Освоение объемов ПВ составило в 2024 г. около 66 %, а в 2025 г. — 137 %.

Подводя итог данному разделу, отметим, что в большинстве случаев оценки оправдываемости прогнозов подходов и вылова кижуча Камчатки были выше 100 %-ного уровня или близки к нему. Наиболее вероятно, что основной причиной этого является недоучет производителей на нерестилищах из-за более продолжительного нерестового хода вида. Причем это касается не только прямого аэровизуального учета рыб на нерестилищах, но и модельных расчетов пропуска, как в бассейне р. Камчатка. Дело в том, что в конце августа — начале сентября в бассейне данного водоема промышленное рыболовство (включая РЛУ № 832) кижуча практически заканчивается, поэтому информация о пропуске производителей вида в бассейн р. Камчатка в сентябре уже недостаточна.

Чавыча. В пределах азиатского ареала вид является малочисленным [Зикунова, 2022]. Причем практически 100 % запасов чавычи сосредоточено на Камчатке. Здесь основные запасы вида формируются в бассейне р. Камчатка, реках северо-восточной и западной Камчатки [Бугаев и др., 2007; Зикунова, 2022]. Однако в современный период промышленное и традиционное КМНС рыболовство чавычи осуществляется только на восточной Камчатке (Петропавловско-Командорская и Карагинская подзоны). Доля стада р. Камчатка в регионе превышает 90 %. На западной Камчатке лов вида ведется исключительно в режиме любительского рыболовства.

Общий фактический вылов чавычи Камчатского края по всем районам промысла в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 321,041 и 235,096 т (табл. 2 и 3).

Многолетняя динамика уловов чавычи Камчатки в 2001–2025 гг. представлена на рис. 23, где видно, что имеются два достаточно хорошо обозначенных пика вылова вида в 2005–2011 и в 2015–2016 гг. По среднемноголетним данным вылов чавычи р. Камчатка составлял 440,400 т (155,500–814,400 т), что около 82 % общего изъятия вида на Камчатке. Аналогичные показатели вылова для комплекса стад западной Камчатки — 42,000 т (23,900–88,900 т), или 8 %. На долю стад чавычи северо-восточной Камчатки приходилось приблизительно 10 % общего среднемноголетнего вылова вида на Камчатке — 524,769 т (224,570–929,724 т). Из приведенных данных понятно, что в 2024 и 2025 гг. уловы вида были заметно ниже средних показателей 2001–2025 гг.

При этом основная единица запаса (стадо р. Камчатка) в 2025 г. демонстрирует максимальное снижение уловов до уровня 2003 г. Уровень вылова в 2024 г. является третьим по минимальным объемам после 2003 и 2025 гг. Данный факт указывает на неудовлетворительное состояние запасов чавычи р. Камчатка в современный период. При этом после понижения добычи (вылова) вида на западной Камчатке после 2010 г. (введение ограничений на промышленное и традиционное КМНС рыболовство) в 2020-е гг. наметился тренд на

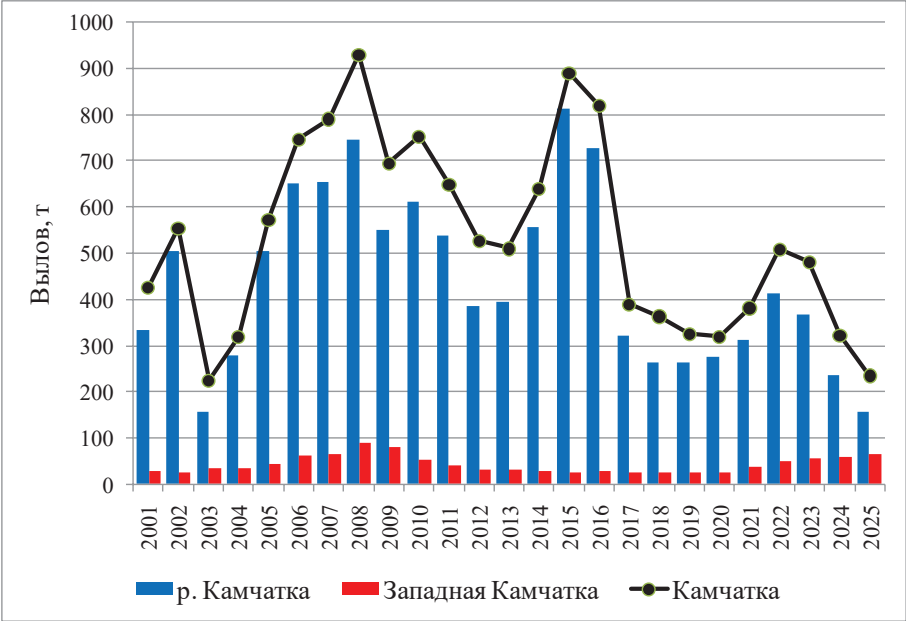


Рис. 23. Динамика уловов чавычи Камчатки (общая и по основным единицам запаса) в 2001–2025 гг.

Fig. 23. Dynamics of the chinook salmon catches in Kamchatka in 2001–2025, totally and by major stock units

увеличение уловов. Поэтому увеличение объемов ПВ чавычи западной Камчатки до 70 т в 2024 и 2025 гг. (в период 2011–2023 гг. ПВ около 30–40 т) было обусловлено реальным увеличением численности ее региональных подходов.

Анализ многолетней динамики суточных и нарастающих уловов чавычи р. Камчатка выявил, что в 2024 и 2025 гг. наблюдались минимальные показатели их динамики (рис. 24). Причем если 2024 г. по уровню суточных и нарастающих уловов был относительно близок 2020 г., то 2025 г. имел минимум этих показателей в рассматриваемом ряду наблюдений 2020–2025 гг.

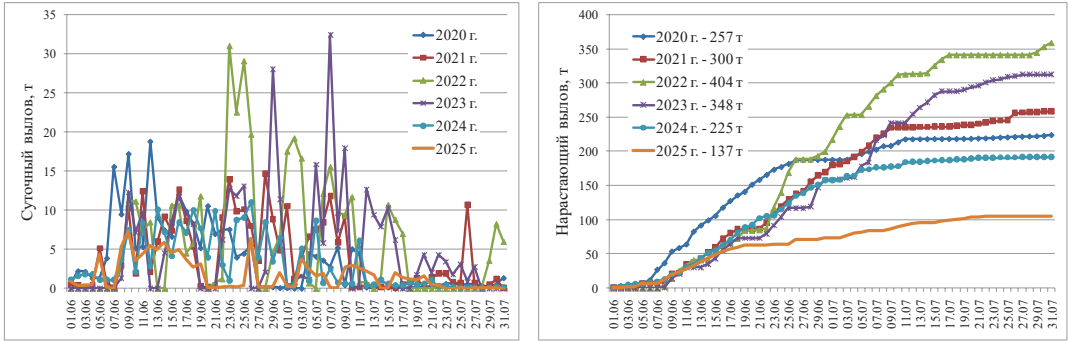


Рис. 24. Динамика суточных и нарастающих уловов чавычи р. Камчатка по данным промышленного рыболовства 2020–2025 гг.

Fig. 24. Dynamics of daily catches and cumulative catches of chinook salmon in Kamchatka in 2020–2025 by the commercial fishery statistics

Отметим, что анадромный ход чавычи на Камчатке начинается приблизительно с середины мая. Однако в бассейне р. Камчатка промысел открывается в начале июня. Поэтому динамику ее уловов можно проследить только с этого периода. В 2024 и 2025 гг. первые значимые уловы чавычи традиционно фиксировали в 1-й декаде июня. Мас-

совый ход вида приходился на 2–3-ю декады июня. К середине июля анадромный ход чавычи р. Камчатка, как правило, заканчивался. Имеющиеся данные о вылове вида во второй половине июля, вероятно, могут относиться к поздней расе вида, которая отличается малочисленностью.

По среднемноголетним данным пропуск на нерест чавычи р. Камчатка в 2001–2025 гг. составлял около 58 тыс. рыб (30–139 тыс. рыб) (рис. 25). По динамике нерестового запаса вида можно определить, что начиная с 2011 г. наблюдается некая стагнация ее численности на уровне приблизительно 40 тыс. рыб. В 2024 и 2025 гг. оцененный пропуск чавычи р. Камчатка составил 50 и 30 тыс. рыб. Уточним, что этот вид, так же как кета и кижуч, в данном водном объекте с 2016 г. оценивается модельным методом [Фадеев и др., 2019]. Поэтому оценки современной нерестовой численности вида даются достаточно приблизительно. В первую очередь это связано с малочисленностью вида, а во вторую — с ранними сроками нереста чавычи, что не позволяет осуществлять ее авиаучет на нерестилищах в полном объеме.

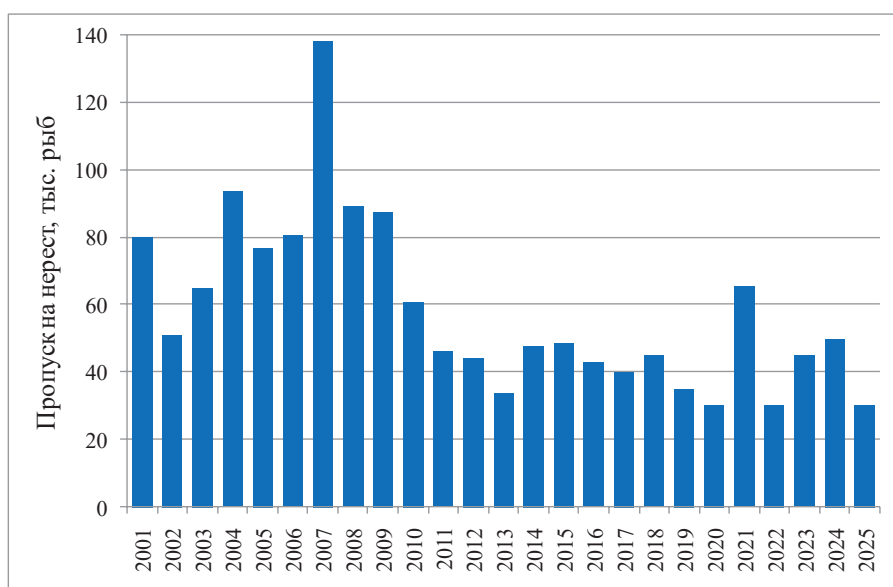


Рис. 25. Динамика нерестовой численности чавычи р. Камчатка в 2001–2025 гг.
Fig. 25. Dynamics of the chinook salmon spawning stock in Kamchatka in 2001–2025

При этом рассчитанные ориентиры пропуска для стада чавычи р. Камчатка — $S_{msy} = 72$ тыс. рыб, $S_{buf} = 45$, $S_{max} = 108$ тыс. рыб [Фельдман и др., 2016]. По сути, оцененный пропуск вида на нерест в 2024 и 2025 гг. близок к буферному ориентиру. Однако вероятность методической ошибки подобных оценок остается высокой.

Пространственное количественное распределение чавычи на нерестилищах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг. показывает, что на восточном побережье ее нерестовая численность наиболее высока в бассейнах рек Камчатка и Апука (рис. 26). На западной Камчатке основное воспроизводство сосредоточено в кластере рек Большая — Колпакова. Здесь заполнение в каждой реке в среднем составляет около 1,5 тыс. рыб.

Среднемноголетний уровень подходов чавычи р. Камчатка по данным 2001–2025 гг. составляет около 136 тыс. рыб (63–264 тыс. рыб) (рис. 27). Заметно снижение численности подходов после 2016 г. В период 2017–2024 гг. наблюдается определенная стабилизация подходов на ежегодном уровне — порядка 100 тыс. рыб или немногим выше. Как правило, подходы чавычи в последнее десятилетие были ниже среднемноголетнего уровня. При этом в 2025 г. отмечена минимальная численность подхода в течение 2001–2025 гг.

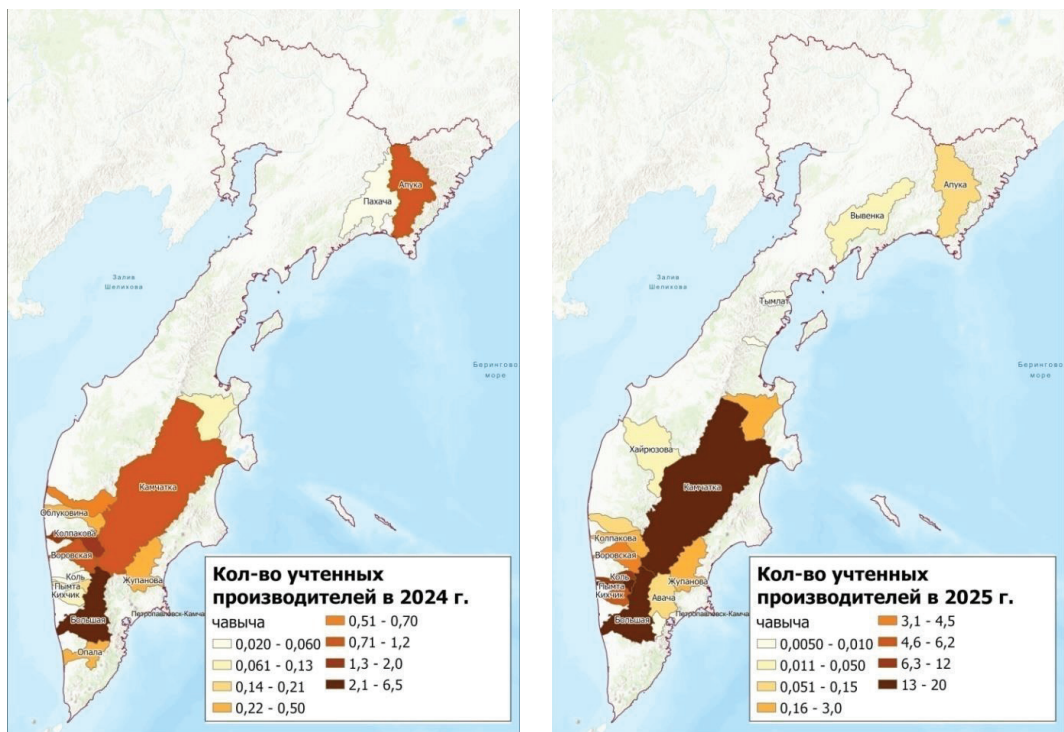


Рис. 26. Пространственное распределение численности производителей чавычи на нерестилищах в бассейнах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг., тыс. рыб
Fig. 26. Abundance of chinook salmon spawners in the spawning grounds of Kamchatka in 2024 and 2025, by the reference river basins, 10³ ind.

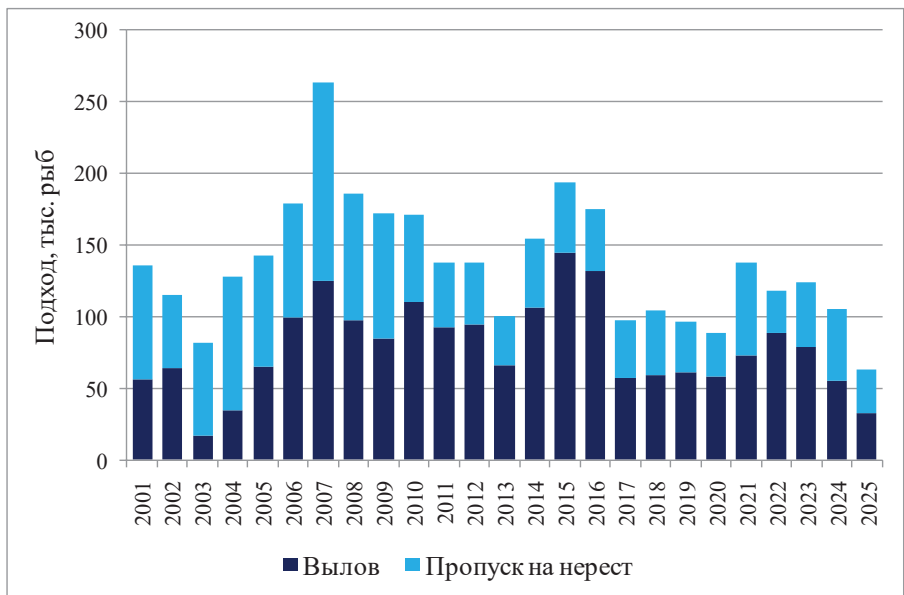


Рис. 27. Динамика численности подходов чавычи р. Камчатка в 2001–2025 гг.
Fig. 27. Dynamics of the abundance of Chinook salmon runs in the Kamchatka in 2001–2025

Оценка оправдываемости подходов чавычи р. Камчатка не очень показательна, учитывая отсутствие полноценной информации о численности ее нерестовых запасов. Более аргументированным представляется анализ освоения объемов ПВ вида в Петропавловско-Командорской подзоне, где стадо р. Камчатка обеспечивает порядка

95 % ее вылова. Таким образом, по данным 2024 и 2025 гг. оправдываемость ПВ в этом промысловом районе составила соответственно 78 и 38 %.

Понятно, что в 2025 г. прогноз вылова чавычи р. Камчатка не оправдался. Вторым, что наиболее вероятной причиной этого является системный многолетний характер недостаточности данных о нерестовом запасе вида. Это не позволяет получить репрезентативные ряды численности ее подходов, что необходимо для прогнозирования динамики запасов любых видов тихоокеанских лососей. Следует дополнительно отметить, что аналогичная ситуация с чавычей наблюдается и в реках северо-восточной и западной Камчатки. Кроме того, обстановка с нерестовыми запасами вида на Камчатке усугубляется ее масштабным ННН-промыслом, так как чавыча является излюбленным объектом браконьерского рыболовства. В связи с этим уточним, что в настоящее время, пожалуй, наиболее защищенными являются запасы западнокамчатской чавычи. В основном это связано с запретом промышленного и традиционного КМНС рыболовства, а также заинтересованностью пользователей любительских РЛУ в сохранении запасов чавычи в водных объектах, где осуществляется их хозяйственная деятельность.

Сима. Самый малочисленный вид тихоокеанских лососей в пределах Камчатки. Воспроизводство симы сосредоточено только на западном побережье — в Камчатско-Курильской и Западно-Камчатской подзонах. В период 2010–2024 гг. вид добывали только в качестве объекта любительского рыболовства. Начиная с 2025 г. была разрешена добыча (вылов) симы в режимах промышленного и традиционного КМНС рыболовства.

Общий фактический вылов симы Камчатского края по всем районам промысла в 2024 и 2025 гг. составил соответственно 10,217 и 13,159 т (табл. 2 и 3).

Оценивая многолетнюю промысловую статистику симы Камчатки в 2010–2025 гг., можно отметить четкий тренд на увеличение ее уловов до уровня 10–13 т (рис. 28). В настоящее время трудно судить о фактической динамике запасов камчатской симы. Промысловая статистика во многом зависит от заинтересованности пользователей РЛУ в данном объекте для осуществления рыболовства. Вид относится к ранненерестующим, поэтому начинает заходить в водные объекты западной Камчатки уже в мае, когда рыболовство в регионе еще не разрешено. В значительной степени это связано с необходимостью сохранения запасов западнокамчатской чавычи, которая заходит в

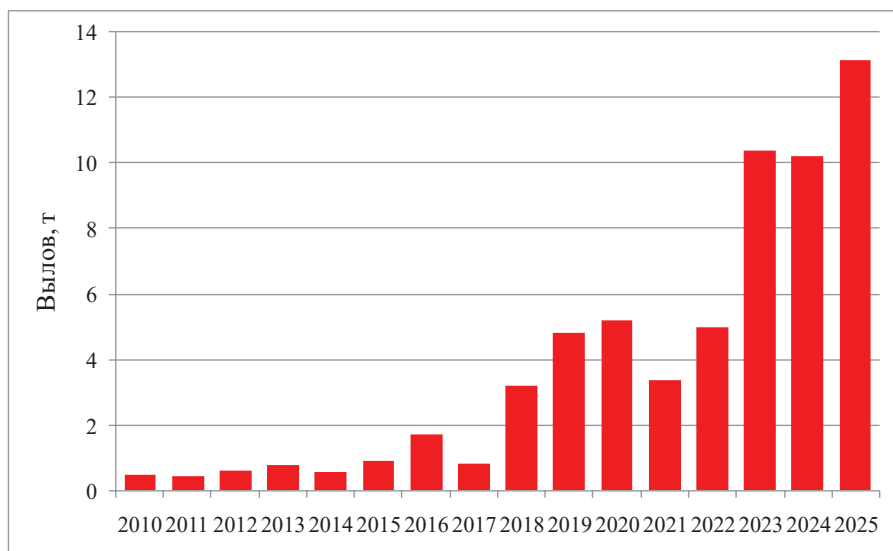


Рис. 28. Динамика уловов симы западной Камчатки в 2010–2025 гг.

Fig. 28. Dynamics of the masu salmon catches in West Kamchatka in 2010–2025

нерестовые водоемы приблизительно в одно и то же время. Поэтому долгие годы поимки симы носили достаточно случайный характер. Начиная с 2023 г. видом всерьез заинтересовались предприниматели, осуществляющие любительское рыболовство. Это привело к заметному росту объемов вылова симы. В результате в 2025 г. были принято решение о разрешении промышленного и традиционного рыболовства по отношению к этому виду.

Нерестовый запас симы западной Камчатки начали системно оценивать с 2019 г. (рис. 29). Однако информацию о вылове вида нельзя считать полной. В связи с этим мы в работе не приводим данные о многолетних подходах вида. Приблизительно с 2019 г. сима стала целевым объектом любительского рыболовства, поэтому мониторинг ее запасов приобрел системный характер.

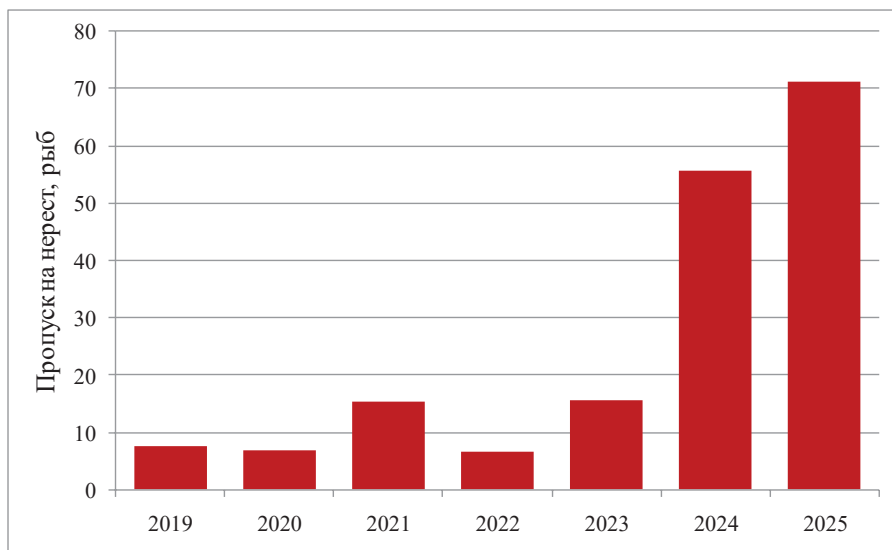


Рис. 29. Динамика нерестовой численности симы западной Камчатки в 2019–2025 гг.
Fig. 29. Dynamics of the masu salmon spawning stock in West Kamchatka in 2019–2025

Непосредственно в 2024 и 2025 г. заполнение нерестилищ симы в водных объектах западной Камчатки было оценено на уровне соответственно 56 и 71 тыс. рыб. Вылов в эти же годы составил приблизительно 4 и 9 тыс. рыб. Следовательно, уровень подходов симы западной Камчатки в 2024 и 2025 гг. достиг 60 и 80 тыс. рыб. Из этих данных понятно, что интенсивность добычи (вылова) вида крайне низкая — порядка 10 %.

Пространственное распределение численности симы на нерестилищах в водных объектах Камчатки представлено на рис. 30. Наиболее высока численность производителей симы в бассейне р. Большой. Кроме того, в заметных количествах вид встречается в реках Кихчик, Пымта, Коль, Воровская и Колпакова. Имеется информация о присутствии симы в р. Тигиль (Западно-Камчатская подзона). Однако достоверных сведений, подтверждающих эти данные, у КамчатНИРО пока не имеется.

Анализ оправдываемости прогнозов подходов и вылова симы западной Камчатки пока неактуален. Определение объемов ПВ вида осуществляется инерционным путем на основе данных предыдущих лет. По факту в 2024 г. освоение ПВ симы в регионе составило 102 %, а в 2025 г. — 33 %. Следует отметить, что в 2025 г., как мы ранее указывали, был проведен эксперимент по разрешению всех видов рыболовства в отношении данного запаса. По-видимому, вид еще не стал объектом промышленного и традиционного КМНС рыболовства в полной мере, что отразилось на оправдываемости освоения объемов ПВ в этом году.

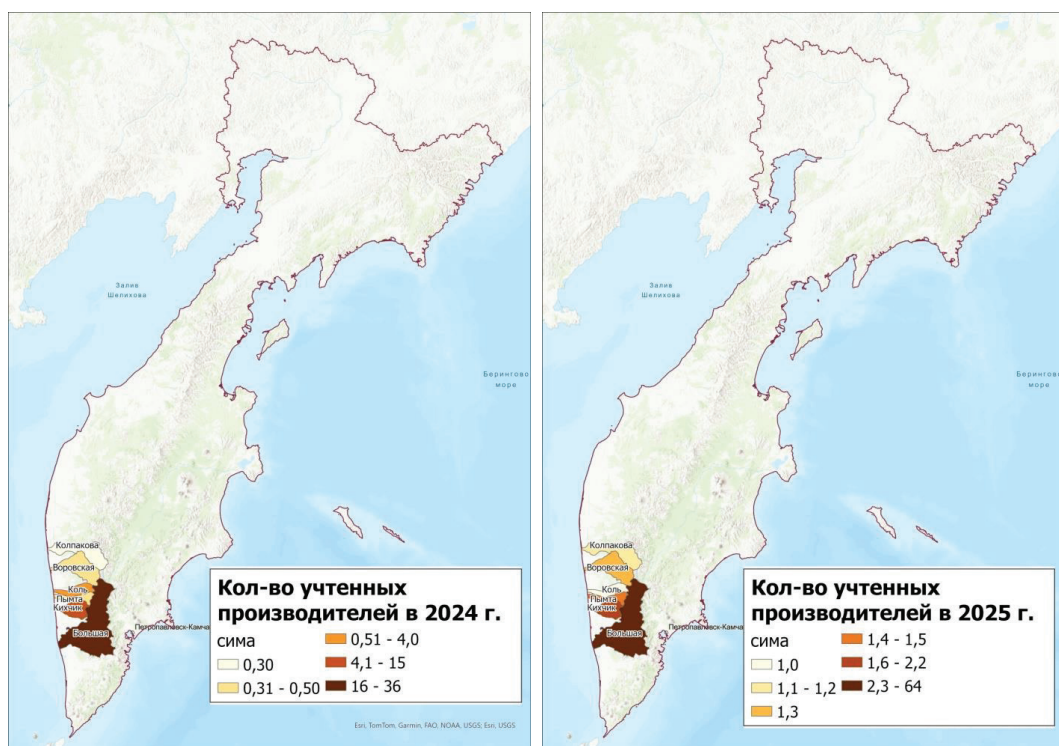


Рис. 30. Пространственное распределение численности производителей симы на нерестилищах в бассейнах реперных рек Камчатки в 2024 и 2025 гг., тыс. рыб

Fig. 30. Abundance of masu salmon spawners in the spawning grounds of Kamchatka in 2024 and 2025, by the reference river basins, 10^3 ind.

Закключение

В работе подведены итоги лососевых путин в Камчатском крае в 2024 и 2025 гг. Приведена подробная статистика вылова, оценок численности пропуска на нерест и подходов основных единиц промысловых запасов для всех видов тихоокеанских лососей. Выполнен анализ многолетней динамики численности лососевых запасов по данным 2001–2025 гг. Определены оправдываемость прогнозов подходов и вылова тихоокеанских лососей Камчатки в современный период.

По результатам проведенных исследований в 2024 и 2025 гг. отмечено некоторое общее снижение численности запасов тихоокеанских лососей по сравнению с 2018–2023 гг. Особенно большую роль в этом сыграло сокращение подходов горбуши северо-восточной и западной Камчатки. Причем в большей степени это касается урожайного поколения 2025 г. Однако по другим видам тихоокеанских лососей в эти же годы фиксировали разнонаправленную динамику численности запасов. Так, у кеты низкий уровень запаса наблюдается на северо-восточной Камчатке и в бассейне р. Камчатка. На западной Камчатке, наоборот, фиксируется увеличение подходов и вылова вида. У нерки в депрессивном состоянии находятся запасы р. Камчатка. На северо-восточной и западной Камчатке, напротив, наблюдается значительное увеличение численности запасов вида. У кижуча отмечены стабильно высокий уровень уловов и подходов для обоих побережий Камчатки. Запасы чавычи восточной Камчатки заметно сокращаются в последние годы. На западной Камчатке, наоборот, наблюдается относительно небольшой рост нерестовой численности. У симы состояние запасов находится на достаточно высоком уровне для развития всех видов рыболовства.

В целом для основных единиц запасов тихоокеанских лососей Камчатки оправдываемость прогнозов подходов и вылова находится на хорошем уровне. Как прави-

ло, освоение объемов ПВ у массовых видов превосходит изначальные ожидаемые величины. В основном это связано с предосторожным подходом при определении численности потенциальных подходов и вылова. Изначально прогнозные оценки берутся по минимальным показателям прогностических моделей. Это связано с возможностью оперативной корректировки объемов ПВ от изначальной величины по данным оперативного мониторинга подходов тихоокеанских лососей в основные районы воспроизводства.

В случаях, когда прогнозные оценки ниже фактических показателей численности подходов или вылова, рассматриваются различные методические причины имеющихся несоответствий. Наиболее распространенной причиной подобных ошибок является недостаток информации о нерестовых запасах той или иной единицы запаса. Особенно это касается малочисленных видов или тех их стад/группировок стад, которые подвержены высокому антропогенному воздействию (ННН-промысел).

Из естественных причин, влияющих на величину подходов и, соответственно, вылова, можно отметить меняющиеся климато-океанологические условия, а также воздействие плотностного фактора. Последнее особенно актуально для второй половины 2010-х и первой половины 2020-х гг., когда численность массовых видов лососей достигала своих исторических значений. Полагаем, совокупное влияние природных факторов обусловило зафиксированное снижение размерно-массовых показателей практически всех видов тихоокеанских лососей, что в отдельные годы могло отражаться на их выживаемости во время морского/океанического нагула. Но в рамках данной работы подробный анализ взаимодействия указанных причинно-следственных связей не проводили, так как это отдельное большое исследование.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам КамчатНИРО, занимающимся прогнозированием численности тихоокеанских лососей Камчатского края, — В.А. Дубынину, А.М. Бирюкову, канд. биол. наук В.А. Рябчун, канд. биол. наук Е.А. Кирилловой, В.А. Савину. Кроме того, благодарим группу авиаучетных исследований лососевых нерестилищ — А.М. Бирюкова и И.Н. Киреева.

The authors are grateful to their colleagues in KamchatNIRO involved in forecasting of pacific salmon abundance in Kamchatka: V.A. Dubynin, A.M. Biryukov, V.A. Ryabchun, E.A. Kirillova, and V.A. Savin and particular to the group of aerial surveys of salmon spawning grounds formed by A.M. Biryukov and I.N. Kireev.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.В. Бугаев — обобщение и анализ материалов, подготовка демонстрационных материалов, написание статьи; О.В. Зикунова — анализ материалов, подготовка демонстрационных материалов и методического раздела статьи; Н.Б. Артюхина — подготовка и предоставление данных промысловой и биологической статистики;

С.В. Шубкин — подготовка демонстрационных материалов; В.Н. Баева — подготовка и предоставление данных промысловой и биологической статистики.

A.V. Bugaev — data generalization and analysis, writing and illustrating the text; O.V. Zikunova — data analysis, illustrating the text and writing the methodological section; N.B. Artyukhina — fishery statistics and biological data processing; S.V. Shubkin — illustrating the text; V.N. Baeva — fishery statistics and biological data processing.

Список литературы

Бугаев А.В., Бугаев В.Ф. Многолетние тенденции промысла и динамики численности азиатских стад нерки *Oncorhynchus nerka* // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 134. — С. 101–119.

Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., АртЮхина Н.Б., Шубкин С.В. Итоги лососевой путины в Камчатском крае в 2023 г. // Бюл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2024а. — № 18. — С. 19–41. DOI: 10.26428/losos_bull18-2024-19-41. EDN: CAXNEI.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Шпигальская Н.Ю., Кулик В.В. Описание регрессионных моделей для прогнозирования динамики численности горбуши Камчатского края на основе климато-океанологических и популяционно-генетических данных // Изв. ТИНРО. — 2024б. — Т. 204, вып. 2. — С. 477–508. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-477-508. EDN: KJUSG.

Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Тепнин О.Б. и др. Основные принципы формирования и интерпретация оправдываемости промысловых прогнозов тихоокеанских лососей Камчатского края в современный период (аналитический обзор 2010–2020-х гг.) // Изв. ТИНРО. — 2024в. — Т. 204, вып. 4. — С. 964–1002. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002. EDN: UWVHLB.

Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Тепнин О.Б. и др. Оценка комплексного воздействия промысла и гидрологических условий Камчатского залива на формирование нерестовых запасов тихоокеанских лососей р. Камчатка // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022. — Вып. 66. — С. 5–51. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.65.5-51.

Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Шпигальская Н.Ю. и др. Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае на рубеже 2010–2020-х гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщение 1 (горбуша, кета) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023а. — Вып. 68. — С. 5–41. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.5-41.

Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., АртЮхина Н.Б., Шубкин С.В. Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае на рубеже 2010–2020-х гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщение 2 (нерка, кижуч, чавыча) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023б. — Вып. 68. — С. 42–62. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.42-62.

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

Бугаев А.В., Шевляков Е.А. Флюктуации численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* западной и восточной Камчатки на рубеже XX и XXI веков // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-Центр, 2008. — С. 63–74.

Бугаев В.Ф. Азиатская нерка–2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX — начале XXI вв.) : моногр. — Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2011. — 380 с.

Бугаев В.Ф., Вронский Б.Б., Заварина Л.О. и др. Рыбы реки Камчатка : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2007. — 494 с.

Дубынин В.А. Изменчивость биологических показателей и динамика численности нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) стада р. Озерной в современный период (1971–2020 гг.) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023. — Вып. 71. — С. 60–79. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79.

Дубынин В.А. Об оптимальности производителей нерки на нерестилищах бассейна р. Озерная в современный период // Мат.-лы Всерос. науч. конф. «Водные биологические ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг, управление», посвящ. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2012. — С. 302–308.

Дубынин В.А., Лепская Е.В., Кириллова Е.А. Методика визуального учета производителей нерки, заходящих на нерест в озеро Курильское (Камчатка) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2021. — Вып. 63. — С. 73–81. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.63.73-81.

Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Ильин О.И. К методике прогнозирования численности поколений нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 219–225.

Зикунцова О.В. Основные аспекты биологии и принципы рационального использования запасов чавычи *Oncorhynchus tshawytscha* Камчатки : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2022. — 23 с.

Зикунцова О.В., Дубынин В.А., Заварина Л.О. и др. Тенденции изменения численности, прогноз, управление запасами нерки (*Oncorhynchus nerka*) и кеты (*Oncorhynchus keta*) в Камчатском крае // Вопр. рыб-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 75–85. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85.

Зорбиди Ж.Х. Кижуч азиатских стад : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2010. — 308 с.

Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2013. — 303 с.

Коцюк Д.В., Свиридов В. В., Поваров А.Ю. Опыт реализации и способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Охотском районе Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 705–721. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

Кровнин А.С. Роль крупномасштабных климатических факторов Северного полушария в многолетних колебаниях запасов основных объектов российского промысла : дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИРО, 2019. — 149 с.

Остроумов А.Г. Нерестовый фонд и состояние запасов дальневосточных лососей в водоемах п-ова Камчатка и Корякского нагорья в 1957–1971 гг. (по материалам авиаучетов и аэрофотоъемок) // Тр. ВНИРО. — 1975. — Т. 106. — С. 21–33.

Остроумов А.Г. Опыт применения аэрометодов для оценки заполнения нерестилищ лососями // Лососевое хозяйство Дальнего Востока. — М. : Наука, 1964. — С. 90–99.

Остроумов А.Г. Опыт применения аэрометодов учета тихоокеанских лососей в реках Камчатки. — Петропавловск-Камчатский : Книжная редакция «Камчатской правды», 1962. — 41 с.

Потапов А.С., Фадеев Е.С., Малых К.М. Применение методов компьютерного зрения для аэровизуального учета производителей нерки с борта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в бассейне оз. Азабачье в 2024 г. // Вопр. рыб-ва (в печати).

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022а. — Т. 202, вып. 2. — С. 429–449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449.

Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 4. — С. 1015–1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Применение методов искусственного интеллекта для автоматизации беспилотного учета отнерестившихся особей кеты в Хабаровском крае // Вопр. рыб-ва. — 2024. — Т. 25, № 4. — С. 113–124. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-4-113-124.

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Фельдман М.Г. Комплексный мониторинг пропуска производителей тихоокеанских лососей р. Камчатка в режиме реального времени // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 3–20. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20.

Фельдман М.Г., Бугаев А.В. Современные принципы управления запасами горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Камчатского края (динамика численности, прогнозирование, регулирование промысла) // Вопр. рыб-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 86–95. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-86-95.

Фельдман М.Г., Бугаев А.В., Зикунцова О.В. и др. Обоснование правил регулирования лососевого промысла Камчатки с учетом концепции предосторожного подхода и обеспечения максимального устойчивого вылова // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022. — Вып. 64. — С. 5–34. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.64.5-34.

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

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Артюхина Н.Б. Оценка ориентиров пропуска производителей тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в бассейнах рек Восточной и Юго-Восточной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2016. — Вып. 41. — С. 51–80. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.41.51-80.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Артюхина Н.Б. Оценка ориентиров пропуска производителей тихоокеанских лососей в бассейнах рек Северо-Восточной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2018а. — Вып. 51. — С. 5–26. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.51.5-26.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Дубынин В.А. Оценка величины, прогноз и управление запасами тихоокеанских лососей в Камчатском крае // Современное состояние и перспективы лососевого хозяйства на Дальнем Востоке России : мат-лы науч. конф. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2018б. — С. 38–48.

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

Шевляков Е.А., Маслов А.В. Реки, определяющие воспроизводство тихоокеанских лососей на Камчатке, как реперы для оценки заполнения нерестового фонда // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 114–139.

Шевляков Е.А., Островский В.И. Вековая динамика запасов и средней индивидуальной массы тихоокеанских лососей Дальнего Востока России через призму климатических циклов и трендов // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 2. — С. 199–222. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-199-222. EDN: BZQPIL.

Шубкин С.В., Бугаев А.В. Динамика запасов нерки *Oncorhynchus nerka* северо-восточной Камчатки в XX и начале XXI века // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2021. — Вып. 62. — С. 5–25. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.62.5-25.

References

Bugaev, A.V. and Bugaev, V.F., Long-term tendencies of fishery and abundance dynamics of asian stocks of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 134, pp. 101–119.

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Artyukhina, N.B., and Shubkin, S.V., Results of the salmon fishery season in Kamchatka Region in 2023, *Bull. study of Pacific Salmon in the Far East*, Vladivostok: TINRO, 2024, no. 18, pp. 19–41. doi 10.26428/losos_bull18-2024-19-41. EDN: CAXNEI.

Bugaev, A.V., Tepnin, O.B., Shpigalskaya, N.Yu., and Kulik, V.V., Description of regression models for predicting the dynamics of pink salmon returns in the Kamchatka region based on climate-oceanological and population-genetic data, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 2, pp. 477–508. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-477-508. EDN: KKJUSG.

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Tepnin, O.B., Artyukhina, N.B., and Shpigalskaya, N.Yu., Basic principles of developing and interpretation of validity for fishery forecasts of pacific salmon in the Kamchatka Region in the modern period (analytical review for 2010–2020s), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 964–1002. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002. EDN: UWVHLB.

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Tepnin, O.B., Shubkin, S.V., Koval, M.V., Soshin, A.V., Fadeev, E.S., Artyukhina, N.B., and Malykh, K.M., Assessment of the complex effects of fisheries and hydrological conditions in Kamchatsky Gulf on formation of the pacific salmon spawning stocks in Kamchatka River, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 66, pp. 5–51. doi 10.15853/2072-8212.2022.65.5-51

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Shpigalskaya, N.Yu., Artyukhina, N.B., Shubkin, S.V., Kovalenko, M.N., and Lozovoy, A.P., Analytical review of the results of salmon fisheries in Kamchatka territory in 2018–2022 (forecasts, fisheries, stocks). Communication 1 (pink salmon, chum salmon), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 68, pp. 5–41. doi 10.15853/2072-8212.2023.68.5-41

Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Artyukhina, N.B., and Shubkin, S.V., Analytical review of the results of salmon fisheries in Kamchatka territory in 2018–2022 (forecasts, fisheries, stocks). Communication 2 (sockeye salmon, coho salmon, chinook salmon), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 68, pp. 42–62. doi 10.15853/2072-8212.2023.68.42-62

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

Bugaev, A.V. and Shevlyakov, E.A., Fluctuations in the abundance of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in western and eastern Kamchatka at the turn of the 20th and 21st centuries, in *Byull. N 3 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh*

lososei” (Bull. no. 3 Implementation “Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon”), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 63–74.

Bugaev, V.F., Aziatskaya nerka–2 (biologicheskaya struktura i dinamika chislennosti lokal’nykh stad v kontse XX — nachale XXI vv.) (Asian Sockeye Salmon–2 (Biological Structure and Abundance Dynamics of Local Stocks in the Late 20th and the Early 21st Century)), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2011.

Bugaev, V.F., Vronsky, B.B., Zavarina, L.O., Zorbidi, Zh.Kh., Ostroumov, A.G., and Tiller, I.V., Ryby reki Kamchatka (Fish of the Kamchatka River), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2007.

Dubynin, V.A., Variability of biological indices and abundance dynamics of the Ozernaya River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) stock in the modern period (1971–2020), *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2023, vol. 71, pp. 60–79. doi 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79

Dubynin, V.A., On the optimum of sockeye salmon spawners in the spawning grounds of the Ozernaya River basin in the modern period, in *Mater. Vseross. nauchn. konf. posvyashch. 80-letnemu yubileyu FGUP “KamchatNIRO” “Vodnye biologicheskie resursy severnoi chasti Tikhogo okeana: sostoyanie, monitoring, upravlenie”* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Commem. 80th Aniv. FGUP KamchatNIRO “Aquatic Biological Resources of the Northern Pacific Ocean: Status, Monitoring, and Management”), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2012, pp. 302–308.

Dubynin, V.A., Lepskaya, E.V., and Kirillova, E.A., Method of quantitative visual assessment of abundance of sockeye salmon spawners running to Kurile Lake (Kamchatka) for reproduction, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2021, vol. 63, pp. 73–81. doi 10.15853/2072-8212.2021.63.73-81

Dubynin, V.A., Shevlyakov, E.A., and Ilyin, O.E., On the forecast method of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* generation abundance for the Ozernaya River stock, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 149, pp. 219–225.

Zikunova, O.V., Basic aspects of biology and principles of rational use of chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* stocks in Kamchatka, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2022.

Zikunova, O.V., Dubynin, V.A., Zavarina, L.O., Shubkin, S.V., and Bugaev, A.V., Trends in abundance, prediction, fishery management sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) and chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Kamchatka territory, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 75–85. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85

Zorbidi, J.H., *Kizhuch aziatskikh stad* (Coho salmon of Asian herds), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2010.

Karpenko, V.I., Andrievskaya, L.D., and Koval’, M.V., *Pitaniye i osobennosti rosta tikhookeanskikh lososei v morskikh vodakh* (Feeding Habits and Pattern of Growth of Pacific Salmon in Marine Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2013.

Kotsyuk, D.V., Sviridov, V.V., and Povarov, A.Yu., Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 705–721. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

Krovnin, A.S., The role of large-scale climatic phenomena of the Northern Hemisphere in long-term fluctuations in the reserves of the main objects of the Russian fishery, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2019.

Ostroumov, A.G., Spawning stock and status of Far Eastern salmon reserves in the waters of the Kamchatka Peninsula and the Koryak Highlands in 1957–1971 (based on aerial surveys and aerial photography), *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 106, pp. 21–33.

Ostroumov, A.G., The experience of using aerial methods to assess the filling of spawning grounds with salmon, in *Lososevoye khozyaystvo Dal’nego Vostoka* (Salmon farming in the Far East), Moscow: Nauka, 1964, pp. 90–99.

Ostroumov, A.G., *Opyt primeneniya aerometodov ucheta tikhookeanskikh lososey v rekakh Kamchatki* (The experience of using aeromethods of Pacific salmon accounting in the rivers of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: Book edition of Kamchatka Pravda, 1962.

Potapov, A.S., Fadeev, E.S., and Malykh, K.M., Application of computer vision methods for aerial visual accounting of sockeye salmon producers from an unmanned aerial vehicle (UAV) in the basin of Lake Azabachye in 2024, *Vopr. Rybolov.* (in press).

Sviridov, V.V., Kotsyuk, D.V., and Podorozhnyuk, E.V., Photogrammetric counts of pacific salmon using consumer-grade unmanned aerial vehicles, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2022, vol. 48, no. 7, pp. 587–600. doi 10.1134/s1063074022070136

Sviridov, V.V., Podorozhnyuk, E.V., Nikitin, V.D., and Skorik, A.V., Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmon in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1015–1031. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Sviridov, V.V. and Povarov, A.Yu., Application of artificial intelligence methods to automate post-spawn chum salmon individuals enumeration by means of unmanned aerial vehicles in Khabarovsk Territory, *Vopr. Rybolov.*, 2024, vol. 25, no. 4, pp. 113–124. doi 10.36038/0234-2774-2024-25-4-113-124

Fadeev, E.S., Shevlyakov, E.A., and Feldman, M.G., Integrated Monitoring of Escapement of Pacific Salmon Spawners to the Kamchatka River in Real-Time Mode, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 7, pp. 546–559. doi 10.1134/S1063074019070022

Feldman, M.G. and Bugaev, A.V., Modern principles of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) stocks management in the Kamchatka region (population dynamics, forecasting, fishing regulation), *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 86–95. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-86-95

Feldman, M.G., Bugaev, A.V., Zikunova, O.V., Shubkin, S.V., and Dubynin, V.A., Substantiation of the harvest control rules for salmon fishery in Kamchatka in view of the concept of precautionary approach and providing the maximum sustainable yield, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 64, pp. 5–34. doi 10.15853/2072-8212.2022.64.5-34

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

Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Artukhina, N.B., An assessment of the Pacific salmon *Oncorhynchus* adult escapement parameters for the river basins on east and southeast Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2016, vol. 41, pp. 51–80. doi 10.15853/2072-8212.2016.41.51-80

Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Artukhina, N.B., Evaluation of pacific salmon spawning escapement parameters for the river basins of North-East Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 51, pp. 5–26. doi 10.15853/2072-8212.2018.51.5-26

Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Dubynin, V.A., Estimation of the size, forecast and management of Pacific salmon stocks in Kamchatka Krai, in *Mater. nauch. konf. "Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy lososevogo khozyaystva na Dal'nem Vostoke Rossii"* (Proc. Sci. Conf. "Current state and prospects of salmon farming in the Russian Far East"), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2018, pp. 38–48.

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

Shevlyakov, E.A. and Maslov, A.V., The rivers determining reproduction of pacific salmon in Kamchatka as indicators of spawning grounds filling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 164, pp. 114–139.

Shevlyakov, E.A. and Ostrovsky, V.I., Century-long dynamics of stocks and average body weight of pacific salmon in the Russian Far East through the prism of climate cycles and trends, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 2, pp. 199–222. doi 10.26428/1606-9919-2025-205-199-222. EDN: BZQPIL.

Shubkin, S.V. and Bugaev, A.V., Dynamics of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* stock of northeast Kamchatka in the XX — early XXI centuries, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2021, no. 62, pp. 5–25. doi 10.15853/2072-8212.2021.62.5-25

Losos'–2024 (putinnyy progniz), Salmon-2024 (preseason forecast), Vladivostok: TINRO, 2024.

Losos'–2025 (putinnyy progniz), Salmon-2025 (preseason forecast), Vladivostok: TINRO, 2025.

Поступила в редакцию 21.10.2025 г.

После доработки 11.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 21.10.2025; approved after reviewing 11.11.2025;

accepted for publication 3.12.2025

Научная статья

УДК 597.552.511–152.6(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-596-624

EDN: MXDZOU

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА НЕКОТОРЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРБУШИ АЗИАТСКИХ СТАД****С.В. Найденко, А.Н. Старовойтов***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Проанализирована и оценена связь между размерами горбуши и ее численностью (общей и региональной) отдельно для смежных поколений и периодов лет, а также между размерами молоди и взрослых рыб, вернувшихся на нерест. Установлено, что размеры горбуши разных районов воспроизводства (кроме восточного Сахалина и южных Курильских островов) в большей степени коррелируют с региональной численностью, чем с суммарной численностью всех стад. Связь между размерами молоди и вернувшихся на нерест взрослых рыб наблюдалась у восточносахалинской горбуши в линии нечетных урожайных поколений, у восточнокамчатской — при разной численности подходов и у западнокамчатской — в обеих линиях воспроизводства. Вероятно, особенности формирования линейно-массовых характеристик горбуши, заложенные в ранний период жизни, сохраняются с некоторыми изменениями в ту или иную сторону в последующие этапы нагула и миграций к местам нереста.

Ключевые слова: горбуша, численность, масса тела, упитанность, накормленность, темп роста, корреляция, Тихий океан, Охотское море, Берингово море

Для цитирования: Найденко С.В., Старовойтов А.Н. Многолетняя динамика некоторых биологических показателей горбуши азиатских стад // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 596–624. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-596-624. EDN: MXDZOU.

Original article

Long-term dynamics for some biological parameters of pink salmon from Asiatic herds**Svetlana V. Naydenko*, Aleksandr N. Starovoitov****

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

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

** Ph.D., chief specialist, aleksandr.starovoitov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-5617-776X

Abstract. Relationships of year-to-year dynamics are analyzed between the body size of pink salmon and their regional and total abundance and between the size of juveniles and the

* Найденко Светлана Васильевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991; Старовойтов Александр Николаевич, кандидат биологических наук, главный специалист, aleksandr.starovoitov@tinro.vniro.ru ORCID 0000-0001-5617-776X.

© Найденко С.В., Старовойтов А.Н., 2025

size of returned adults. The dependencies are estimated for odd and even year-classes, separately, and for different periods of years. The body size variations relate closer with changes of regional abundance than with changes of total abundance for pink salmon from almost all regional herds except those reproduced in East Sakhalin and southern Kuril Islands. Variations of the body size correlate well between the juveniles and adults returning for spawning for the herds from East and West Kamchatka (both for odd and even year-classes) and East Sakhalin (for high abundance odd years-classes). Sustainability of some size-weight features formed in the early period of life during the further stages of feeding and spawning migration is assumed for pink salmon.

Keywords: pink salmon, fish abundance, body size, fatness, feeding, growth rate, correlation, Pacific Ocean, Okhotsk Sea, Bering Sea

For citation: Naydenko S.V., Starovoitov A.N. Long-term dynamics for some biological parameters of pink salmon from Asiatic herds, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 596–624. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-596-624. EDN: MXDZOU.

Введение

Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн лидирует по улову водных биологических ресурсов в России. Среди разнообразных объектов добычи особое место занимают анадромные тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus*. На фоне значительной межгодовой динамики объемы добычи лососевых видов рыб растут (рис. 1). Этому способствуют изменения численности лососей на популяционном уровне, различные природные процессы, оказывающие влияние на состояние естественных популяций, а также повышение эффективности деятельности рыбоводных предприятий. Большое значение имеют также комплексные технические возможности рыбодобывающей и рыбоперерабатывающей отраслей, организационные мероприятия и совершенствование научного сопровождения, определяющие интенсивность и успешность промысла.

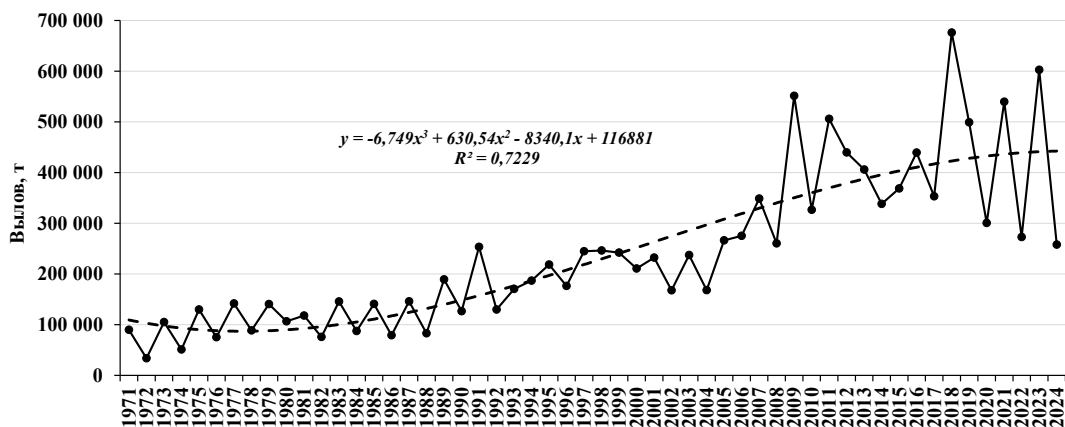


Рис. 1. Динамика вылова тихоокеанских лососей в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне (<https://www.npafc.org/statistics/>): пунктирная линия — полиномиальная линия тренда

Fig. 1. Dynamics of commercial catch for pacific salmon in the Far Eastern fishery basin (<https://www.npafc.org/statistics/>). Polynomial trend is shown by dashed line

В 2023 г. вылов лососей на Дальнем Востоке достиг почти 609 тыс. т, это второй результат за всю имеющуюся статистику промысла [Kanzeparova et al., 2025; <https://www.npafc.org/statistics/>]. Основу вылова тихоокеанских лососей традиционно формирует горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, среднемноголетний улов которой в Дальневосточном регионе поступательно увеличился, составляя в 1970-е и 1980-е гг. всего соответственно 73 и 80 тыс. т, в последующие 1990-е и 2000-е гг. — 152 и 203 тыс. т, а в 2011–2024 гг. уже достиг 279 тыс. т. При этом за длительный период промысла было отмечено не только наличие разницы в биологических показателях горбуши смежных поколений,

но и заметное уменьшение размеров горбуши в отдельные годы и ее измельчание в определенные периоды лет во всех районах одновременно.

По мнению многих исследователей [Кагановский, 1949; Веденский, 1954; Крыхтин, Смирнов, 1962; Андриевская, 1966; Ефанов, Чупахин, 1982; Иванков, 1984; Бирман, 1985; Карпенко и др., 2013; и др.], горбуша урожайных поколений имеет меньшие размеры, чем рыба менее урожайных, а наиболее значительное уменьшение размеров происходит при ее высокой численности. Однако сведения, полученные на этот счет, показали неоднозначную картину, поскольку в каждом конкретном регионе наблюдаются свои специфические особенности межгодовой динамики линейно-массовых показателей горбуши, в том числе и в поколениях смежных лет воспроизводства.

Так, исследование горбуши япономорских стад выявило, что именно в более высокочисленные нечетные годы приходящие на нерест производители обычно крупнее, чем в четные малочисленные [Кагановский, 1949; Пушкарева, 1975; Гаврилов, Пушкарева, 1996]. Для этого региона отмечен и весьма специфический характер изменения средних размеров рыб в зависимости от уровня их численности. В частности, в 1970-е и 1980-е гг. при снижении численности приморской горбуши ее размеры не увеличились, а синхронно уменьшились [Бирман, 1985; Гаврилов, Пушкарева, 1996; Темных, 1999]. В более поздних исследованиях [Темных, 2004] было установлено, что для горбуши Японского моря в линии четных и нечетных лет наблюдалась разная корреляционная зависимость массы особей как от величины каждого япономорского стада, так и от их общей численности. В четной линии воспроизводства средние размеры горбуши всех япономорских стад уменьшились при увеличении с 1994 г. их численности. При этом наиболее заметная отрицательная корреляция средних размеров была выявлена в отношении не общей численности стад, а каждого из них. В то же время при снижении почти в 2 раза численности нечетной (высокочисленной) линии размеры рыб не изменились. Был сделан вывод, что линейно-массовые показатели горбуши зависят не только от конкретных условий роста, но и от наследственных факторов [Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2008].

У горбуши бассейна р. Амур отмечено отсутствие существенных различий в средних размерах рыб разных по численности поколений [Енютина, 1972]. По данным М.Л. Крыхтина и А.Г. Смирнова [1962] тенденция снижения размеров амурской горбуши проявлялась только в годы ее высокочисленных поколений, в других случаях размеры варьировали. Механизм причинно-следственных связей одни исследователи [Рослый, 2002] объясняли тем, что ее размеры и численность формируются еще в реке, другие [Золотухин и др., 2008] — тем, что размерные показатели горбуши в большей степени коррелируют с гидрологическими условиями в местах морского нагула, чем с численностью поколений.

У сахалинской горбуши морфологические различия поколений четных и нечетных лет воспроизводства отмечаются вполне четко и обусловлены, по мнению некоторых исследователей [Кагановский, 1949; Крыхтин, Смирнов, 1962; Ефанов, Чупахин, 1982; Иванков, 1984], урожайностью генеративных линий. Также упоминают и общую для сахалинской горбуши тенденцию уменьшения размеров. Однако, по заключению О.Ф. Гриценко [2002], у горбуши, заходящей в реки западных районов о. Сахалин, это могло быть связано с селективным воздействием сетного японского морского промысла, а в восточных районах — в первую очередь с увеличением численности стад. Замедление роста рыб при увеличении их численности, по мнению данного автора, являлось следствием повышенной плотности горбуши в нагульных скоплениях, оказывающей угнетающее действие на рост через механизмы эндокринной системы.

У южнокурильской (о. Итуруп) горбуши за многолетний период наблюдений крупнее становились рыбы в возвратах то четных, то нечетных поколений. Так, уменьшение размеров наблюдалось в 1965–1980 гг. (наиболее выражено в четные годы) на фоне роста ее численности, а межгодовые изменения размеров рыб этого стада связали с воздействием фактора плотности [Ефанов, Чупахин, 1982]. Однако в

период снижения численности четных поколений в середине 1980-х гг. размеры горбуши оставались относительно небольшими, но после увеличения ее численности с конца 1980-х гг. последовал рост размеров [Каев, 2022]. В 1990-е гг. горбуша четных поколений была достоверно мельче, чем нечетных [Темных и др., 2002а]. В эти же годы возврату в среднем наиболее многочисленных поколений горбуши сопутствовали крупные размеры рыб [Каев, Чупахин, 2003]. В 2000–2010-е гг. у горбуши (природного происхождения) северной части о. Итуруп, на фоне отсутствия выраженного доминирования в смежных линиях воспроизводства, были обнаружены достоверные различия в биологических параметрах четных и нечетных поколений [Углова, 2020]. В целом у горбуши о. Итуруп расхождения между биологическими показателями рыб нечетных и четных лет нереста были существенно выше в периоды доминирования по численности той или иной генеративной линии, но при анализе всего ряда многолетних наблюдений различий не выявлено [Каев, 2022].

На северном побережье Охотского моря в период с 1960 по 1983 г. горбуша смежных поколений имела близкие биологические показатели. Но начиная с 1984 г. в размерах четных и нечетных поколений североохотоморской горбуши наблюдалась устойчивая разница: производители ряда четных лет стали мельче, а нечетных — крупнее [Темных и др., 2002а; Марченко, 2004, 2022; Темных, 2004]. В качестве одной из возможных версий изменения размеров, в частности их уменьшения в линии четных поколений, указывается влияние фактора плотности, обусловленного высокой численностью западнокамчатской горбуши [Марченко, 2004; Темных и др., 2004]. Для горбуши ряда нечетных генераций установлено [Горохов, 2022], что крупные размеры рыб урожайных поколений северной части материкового побережья Охотского моря (Тауйская губа, зал. Шелехова) не связаны с их численностью. К такому же выводу пришла А.Н. Канзепарова [2019]: во всех районах северо-западного побережья Охотского моря (Сахалинский залив, Тугуро-Чумиканский и Аяно-Майский районы) средняя длина и масса тела горбуши нечетных урожайных поколений были выше по сравнению с таковыми четных поколений, хотя численность последних была в 5,5 раза меньше.

Одной из причин снижения линейно-массовых показателей камчатской горбуши, в том числе в отдельно взятые годы, также называется высокая численность лососей и, как следствие, ухудшение условий нагула и снижение общей скорости роста [Андреевская, 1966; Бирман, 1985; Карпенко и др., 2012, 2013]. В то же время для горбуши восточного побережья Камчатки на материалах 1971–2006 гг. статистически доказано отсутствие значимой связи между средними размерами и численностью подходов в линии четных и нечетных лет [Темных, 2004; Темных, Куренкова, 2007]. Кроме этого, имеются данные, показывающие, что размерные показатели производителей западнокамчатской горбуши (р. Утка) нечетных лет воспроизводства остались меньшими по сравнению с четной линией воспроизводства, несмотря на смену доминант урожайных поколений [Кинас, 2005].

Тенденция уменьшения размеров, особенно заметная в последнее десятилетие, отмечается не только у горбуши, но и у всех видов тихоокеанских лососей, и связывается это как с кормовыми условиями, так и с климатическими факторами. Однако при проведении анализа влияния термических характеристик окружающей среды на размерные показатели тихоокеанских лососей в отношении камчатской горбуши было установлено, что снижение размеров тела у этого вида зависит не от температуры, а от обилия совместно нагуливающих особей, особенно в годы формирования экстравысокочисленных поколений [Шевляков, Островский, 2025]. По другим данным [Бугаев, 2017] периодические колебания средней массы тела лососей не являются следствием негативного влияния климатических изменений или плотностного фактора, а, вероятнее всего, могут быть адаптивной реакцией рыб на изменяющиеся условия нагула в связи с необходимостью поддержания оптимального для воспроизводства уровня запасов.

Многие из вышеперечисленных исследователей пришли к заключению, что невозможно судить о росте лососей и его динамике только с позиции фактора плотности или

климатических изменений. По мнению В.П. Шунтова и О.С. Темных [2011], эта проблема более сложная и многоплановая. Таким образом, несмотря на значительный прогресс, достигнутый в познании биологии горбуши, мнения исследователей о причинах, обуславливающих изменения ее размеров, оказались весьма противоречивыми, а поиск причинно-следственных связей этих изменений до сих пор остается незавершенным.

За последние десятилетия во всех регионах Дальнего Востока база промысловой статистики по вылову и заполнению нерестилищ, а также размеров производителей горбуши была существенно пополнена. Были продолжены мониторинговые работы по учету численности лососей летом (в период преданадромных миграций к нерестовым рекам) и их молоди осенью (во время миграций на зимовку в океан). Это позволило проанализировать динамику биологических показателей горбуши с учетом новых данных.

Целью настоящей статьи являются выявление и оценка зависимости между размерами горбуши и ее численностью (региональной и суммарной для всех стад) отдельно для смежных поколений и периодов лет и между размерами молоди и вернувшихся через год взрослых рыб. Результаты данного исследования, на взгляд авторов, могут внести определенный вклад в понимание причин и механизма снижения продукционных показателей лососей.

Материалы и методы

В качестве исходного статистического материала были использованы данные по подходам (промысловый вылов и пропуск производителей в реки на нерестилища) и средней массе тела горбуши за 1971–2024 гг., предоставляемые территориальными управлениями Росрыболовства (Амурским, Охотским, Северо-Восточным, Сахалино-Курильским и Приморским), доступные на официальных сайтах ВНИРО (<http://vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/lososevaya-putina>) и Международной комиссии по анадромным рыбам северной части Тихого океана — НПАФК (<https://www.npafc.org/statistics/>). Кроме этого, привлекались сведения промысловой статистики о продукционных показателях производителей горбуши северо- и юго-восточного побережий о. Сахалин, собранные и любезно предоставленные А.М. Каевым (СахНИРО).

Для оценки численности молоди горбуши охотоморских стад (откочевывающей на зимовку в океан) и взрослых рыб (во время преданадромных миграций к местам нереста) привлечены материалы морских траловых съемок, выполненных ТИНРО в Охотском море осенью 1998–2024 гг. и в северо-западной части Тихого океана летом (июнь-июль) 2004–2024 гг. Морские исследования проводились по стандартным схемам и срокам, определенным в зависимости от поставленных задач отдельно для лета и осени [Шунтов, Темных, 2010]. Для анализа связи размеров горбуши региональных стад и общей численности ее молоди отбирались данные только тех осенних съемок, при выполнении которых исследуемая акватория была охвачена тралениями наиболее полно.

Для выявления наличия и оценки силы связи между статистическими параметрами использовали корреляционный анализ. Оценка силы (тесноты) корреляционной связи между признаками определялась по шкале Чеддока [Chaddock, 1925]: как слабая (коэффициент корреляции r от 0 до 0,3), умеренная (r от 0,3 до 0,5), заметная (r от 0,5 до 0,7), высокая (сильная) (r от 0,7 до 0,9) и весьма высокая (очень сильная) (r от 0,9 до 1,0).

При определении упитанности рыб применялась формула Кларк [Clark, 1928]: $Q = (W \cdot 100)/l^3$, где Q — коэффициент упитанности; W — масса рыбы без внутренностей (не имеющих отношения к упитанности), г; l — длина рыбы по Смитту (АС, см) — от вершины рыла до конца средних лучей хвостового плавника. Данный экстерьерный показатель, по нашему мнению, вполне подходит для сравнительного анализа биологического состояния преданадромной горбуши в межгодовом аспекте.

В статье приняты сокращения: ВСх — восточный Сахалин, МПОМ — материковое побережье северной части Охотского моря, р. Амур — бассейн р. Амур, ЮКР — южные Курильские острова, ЗК — западная Камчатка, ВК — восточная Камчатка.

Результаты и их обсуждение

В охотоморском бассейне общий запас горбуши составляют несколько региональных комплексов, среди которых наиболее крупными являются западнокамчатское и восточносахалинское промысловые стада. Их среднемноголетняя (за 2001–2024 гг.) совокупная доля в общей численности горбуши Охотского моря оценивается в 75 %. Вклад трех других стад — южнокурильского, североохотоморского и бассейна р. Амур — заметно ниже. Несмотря на значительную за весь период промысла межгодовую динамику и неоднородность трендов регионального вылова, наиболее высокие совокупные подходы охотоморской горбуши отмечены в период с 2000 по 2024 г. Численность восточнокамчатской горбуши в последние годы также увеличилась (см. таблицу, рис. 2).

Подходы горбуши разных районов* воспроизводства по десятилетиям, млн экз.

Returns of pink salmon to certain areas of reproduction, by decades, 10⁶ ind.

Периоды лет	ВСх	МПОМ	Р. Амур	ЮКР	ЗК	ВК
1971–1980	32,4	5,7	2,3	13,6	19,5	23,7
1981–1990	27,4	10,0	4,8	14,8	37,5	33,1
1991–2000	52,4	14,3	3,0	21,4	42,2	49,5
2001–2010	75,1	16,1	3,6	24,9	45,1	61,4
2011–2024	51,8	21,6	11,0	10,6	91,0	134,5
Max подход	169,0	46,7	53,5	36,3	350,0	301,1

* Здесь и далее: сокращения районов приведены в материалах и методах.

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее высокочисленные среднемноголетние подходы.

На обоих побережьях Камчатки увеличение численности подходов наблюдалось не только в линии традиционно урожайных в последние десятилетия, но и в некоторые годы прежде неурожайных генеративных линий — нечетной на западном и четной на восточном побережьях [Шевляков и др., 2018; Шевляков, Дедерер, 2022]. Рост численности неурожайного четного поколения горбуши отмечается и на североохотоморском побережье, в то время как на восточном Сахалине в последние годы подходы горбуши сохраняются на низком уровне в обеих смежных линиях воспроизводства. На Курильских островах и в бассейне р. Амур ситуацию с подходами горбуши можно охарактеризовать как нестабильную (рис. 2).

Изменение численности горбуши в большинстве случаев сопровождалось изменением ее размерно-массовых показателей. Так, во многих промысловых районах в 1980-е гг. произошло уменьшение размеров горбуши, затем в 1990–2000-е гг. их увеличение [Шунтов, Темных, 2008, 2011]. Следует отметить, что в 1970–1980-е гг. измельчание горбуши наблюдалось в районах Британской Колумбии и юго-восточной Аляски [Ricker et al., 1978], а с середины 1990-х гг. у многих североамериканских популяций этого вида лососей фиксировался рост размеров тела [Helle et al., 2007]. В последние годы все российские региональные стада демонстрируют снижение данного параметра, на что указывают сглаженные тренды (рис. 3). При этом, несмотря на общую тенденцию изменений, различия в качественных показателях горбуши разных региональных стад четных и нечетных линий воспроизводства хорошо выражены (см. рис. 2).

Помимо этого, в общей динамике выделяются отдельные годы с очень низкими размерами горбуши. В Охотском море существенное снижение, в частности массы тела, нередко наблюдалось во всех промысловых районах одновременно (рис. 4). Это свидетельствует об однонаправленном действии факторов (или их совокупности) на биологические показатели рыб [Шунтов, Темных, 2008]. В обоих регионах (охотоморском и восточнокамчатском) минимальные размеры горбуши часто совпадали с ее максимальной численностью (рис. 4).

На снижение размерно-массовых показателей и темпа роста лососей именно в периоды их высокой численности указывают многие исследователи [Ishida et al., 1993;

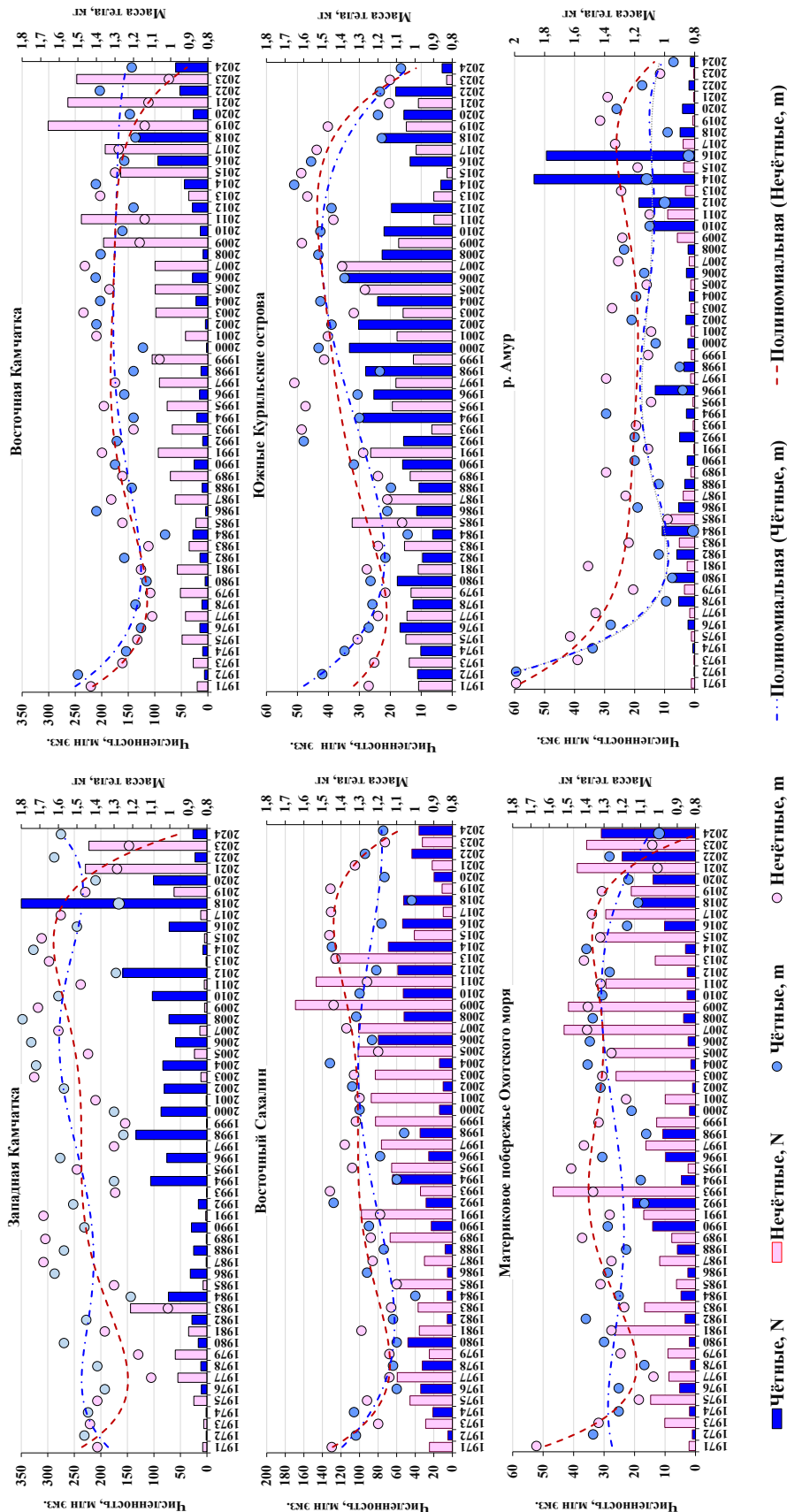


Рис. 2. Межгодовая динамика численности подходов (млн экз.) и массы тела (кг) горбуши в разных районах Дальневосточного бассейна в четные и нечетные годы: пунктирная линия — полиномиальная линия тренда в четные (синяя) и нечетные (красная) годы

Fig. 2. Interannual dynamics of returns (10⁶ ind.) and body weight (kg) for pink salmon of even and odd year-classes, by areas of the Far Eastern fishery basin. Polynomial trends are shown by blue dotted lines for even year-classes and by red dotted lines for odd year-classes

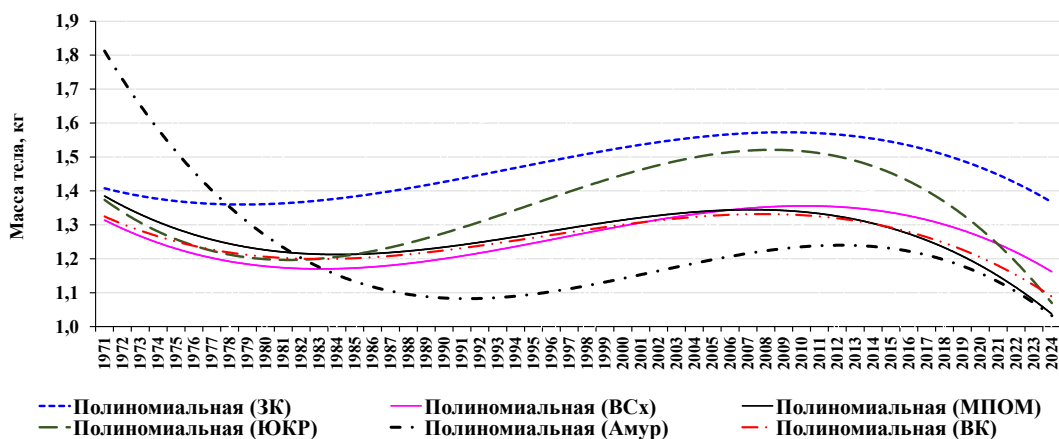


Рис. 3. Межгодовая динамика изменения массы тела (кг) горбуши из разных регионов. Линия тренда — полиномиальная

Fig. 3. Interannual dynamics of body weight (kg) for pink salmon, by regions. Polynomial trend is shown

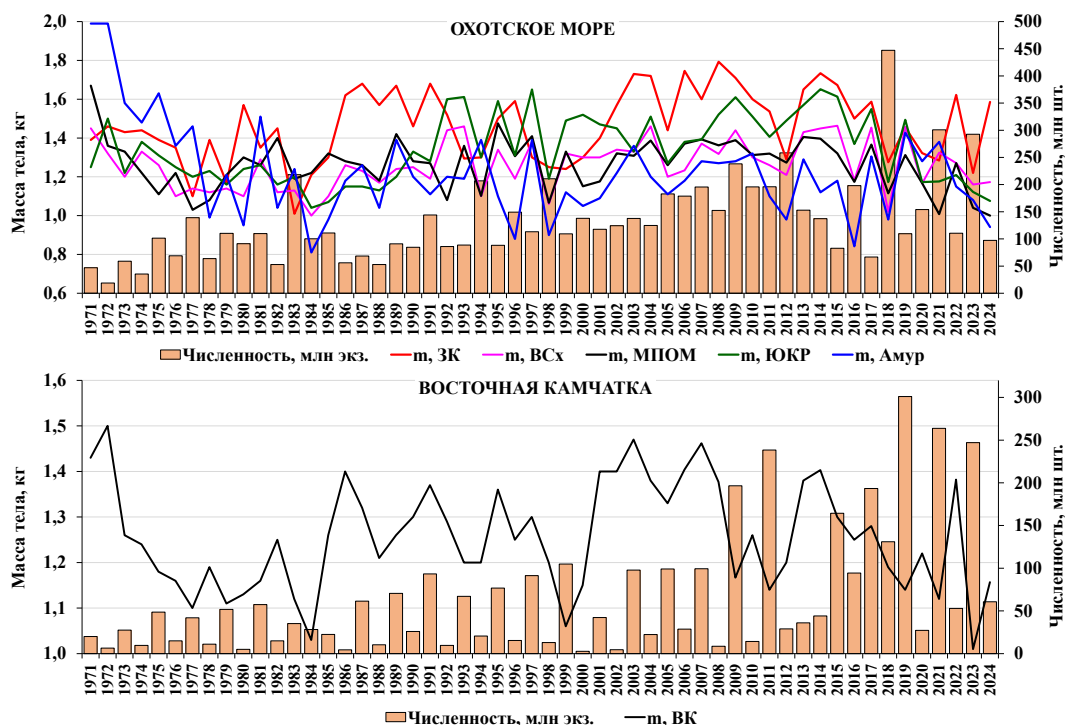


Рис. 4. Динамика средней массы тела (m, кг) горбуши разных региональных стад и общей их численности (млн экз.)

Fig. 4. Dynamics of body weight (kg) averaged by regional herds of pink salmon and abundance of these herds (10^6 ind.)

Welch, Morris, 1994; Bigler et al., 1996; Kaeriyama, 1998, 2003; Волобуев, Волобуев, 2000; Каев, 2003; Лагунов, 2004; Свиридов и др., 2004; Заволокин и др., 2008, 2012; и др.]. Связь биологических показателей горбуши с численностью (региональной и суммарной) и в разные периоды лет проверили с помощью корреляционного анализа.

Зависимость массы тела от региональной численности. В каждом отдельно взятом районе в соответствии со сложившимися условиями воспроизводства и адаптациями к гидрографии и гидрологии локального пресноводного бассейна исторически

сформировался определенный запас горбуши, различающийся в смежных поколениях, и наблюдаются различия по биологическим характеристикам. Поэтому в первую очередь зависимость размеров рыб от их численности проверили отдельно для каждого регионального стада (далее по тексту размер/региональная численность).

На обоих побережьях Камчатки наиболее выраженное снижение массы тела отмечено в нечетные годы воспроизводства последнего десятилетия. Но на западном побережье это произошло при повышении численности неурожайной линии (с 2015 по 2023 г.), а на восточном — урожайной (с 2009 по 2023 г.) (см. рис. 2). И наоборот, повышение показателей массы наблюдалось при сокращении численности подходов урожайного поколения западнокамчатской и неурожайного поколения восточнокамчатской горбуши. По данным 2001–2024 гг. корреляционная связь размер/региональная численность для четных и нечетных линий воспроизводства западнокамчатского региона оказалась сильной с высокой статистической значимостью — соответственно $r = -0,72, p < 0,01$ и $r = -0,78, p < 0,01$ (рис. 5). В то же время ретроспективный анализ показал, что у западнокамчатской горбуши в линии нечетного поколения связь была сильной отрицательной только в периоды повышенной численности подходов, т.е. в 1971–1980 гг. и с 2015 г. (r от $-0,85$ до $-0,94, p < 0,05$). При очень низкой численности подходов связь была либо положительной ($r = 0,85, p < 0,05$ в 1991–2000 гг.), либо низкой отрицательной ($r = -0,15, p < 0,05$ в 2001–2010 гг.). В линии четных (урожайных) поколений статистически значимая средняя и высокая отрицательная корреляции отмечены для всех десятилетий начиная с 1980 г.

У восточнокамчатской горбуши в нечетной (урожайной) линии воспроизводства в 2001–2024 гг. корреляционная связь была сильной и статистически значимой ($r = -0,87, p < 0,001$) (рис. 5). При более детальном анализе выяснили, что при уровне численности горбуши в пределах до 100 млн экз. связь отсутствовала, но при увеличении численности подходов с 2009 г. размеры рыб стали достоверно снижаться ($r = -0,82, p < 0,05$). Для четных менее урожайных поколений полученные значения корреляции лишь указывают на возможную тенденцию к формированию зависимости размер/региональная численность (рис. 5).

Таким образом, явная «противофазность» трендов показателей массы тела и численности горбуши на обоих побережьях наиболее четко проявлялась при высоких ее подходах, особенно при уровне 200 млн экз. и более. Это может объяснять отсутствие значимой связи между рассматриваемыми показателями у восточнокамчатской горбуши, полученной на более ранних материалах (1971–2006 гг.) при не очень высокой (не более 110 млн экз.) ее численности [Темных, Куренкова, 2007; Шунтов, Темных, 2011].

На восточносахалинском побережье, где нечетная линия воспроизводства более урожайная, чем четная, самые высокие подходы (130–170 млн экз.) отмечались в 2009, 2011 и 2013 гг. Но в эти годы пониженная (относительно среднегодовой) масса тела горбуши наблюдалась только в 2011 г. В целом при разной численности подходов горбуши в четных и нечетных линиях воспроизводства разброс значений средней массы тела рыб был значительным (см. рис. 2). Согласно результатам корреляционного анализа в разные периоды лет связь размер/региональная численность либо была очень слабая отрицательная, либо отсутствовала, в том числе в 2001–2024 гг. (см. рис. 5).

На южных Курильских островах в нечетной линии воспроизводства наиболее крупные ($m_{\max} = 1,56–1,65$ кг) размеры рыб отмечались главным образом при численности подходов ниже среднегодовой, а мелкие и средние размеры — при разной численности. В четной линии воспроизводства размеры горбуши были крупными в период как увеличения (1990-е гг.), так и снижения (2008–2016 гг.) численности (см. рис. 2). В последние годы в данном районе прослеживается тенденция снижения массы тела в обеих генеративных линиях. Корреляционная связь размер/региональная численность у южнокурильской горбуши оценена как очень слабая (см. рис. 5). Это согласуется с выводами, полученными ранее [Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2011], что средние размеры горбуши сахалино-курильских стад не зависят от их собственной численности.

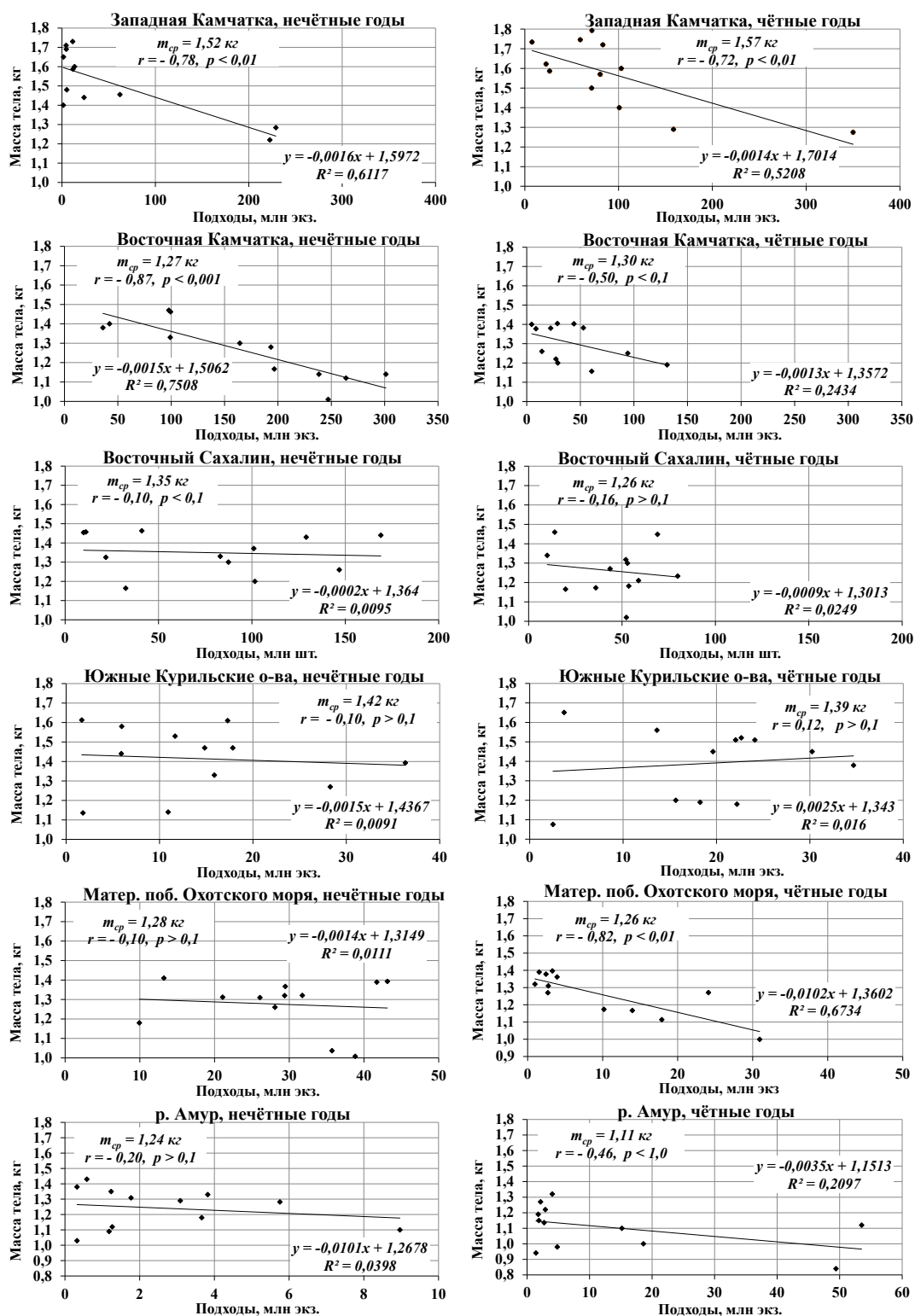


Рис. 5. Динамика изменения средней массы тела (кг) горбуши разных охотоморских стад в зависимости от региональной численности подходов (млн экз.) в четные и нечетные 2001–2024 гг.

Fig. 5. Dynamics of body weight (kg) averaged by regional herds of pink salmon in the Okhotsk Sea in dependence on their returns (10^6 ind.) in 2001–2024, by even and odd year-classes

На материковом побережье северной части Охотского моря выраженная противозначность изменчивости размеров рыб и их численности отмечалась у поколений четных лет. В 2000–2014 гг. при снижении численности подходов четной неурожайной линии величина массы тела горбуши не имела большого разброса и была повышенной ($m_{cp} = 1,35$ кг). При повышении с 2015 г. численности четной линии масса тела рыб снизилась ($m_{cp} = 1,15$ кг), в то время как в нечетной урожайной линии изменчивость показателей массы была значительной. Однако при увеличении с 2003 г. численности подходов горбуши ее размеры остались выше среднемноголетней величины. И только в последние 2021 и 2023 гг. наблюдалось снижение массы тела горбуши (см. рис. 2). Это может свидетельствовать о том, что не только численность является причиной изменения продукционных показателей. Сила связи размер/региональная численность для четной неурожайной линии (2002–2024 гг.) оценена как высокая ($r = -0,82$, $p < 0,01$), а в нечетной урожайной (2001–2023 гг.) она отсутствовала (см. рис. 5). До 2000-х гг., наоборот, коэффициент корреляции в разные десятилетия в нечетной линии изменялся от $-0,18$ до $-0,46$, а в четной линии связь либо отсутствовала, либо была очень слабой.

Масса тела амурской горбуши в четной урожайной линии воспроизводства ниже, чем в нечетной неурожайной (см. рис. 2). В данном районе изменчивость значений массы тела в четные годы (2002–2024) составила от 0,84 до 1,32 кг, а в нечетные (2001–2023 гг.) — от 1,03 до 1,43 кг. При повышенной численности в четные урожайные 2010–2016 годы воспроизводства масса тела рыб была ниже среднемноголетней, но при снижении численности в последующие годы горбуша имела как повышенные, так и низкие показатели массы. Соответственно, коэффициент корреляции между данными параметрами для четных 2002–2024 гг. составил $-0,46$ ($p > 0,1$) (см. рис. 5). Для нечетных 2001–2023 гг. получено отсутствие корреляционной связи. Однако для периода с 1971 по 1990 г. для обеих линий воспроизводства получены высокие статистически значимые значения корреляции (соответственно $r = -0,80$ и $-0,83$, $p < 0,05$ для четных и нечетных линий).

Следует отметить, что в 2001–2024 гг. высокая и средняя корреляция размер/региональная численность горбуши в обеих линиях воспроизводства западной и восточной Камчатки, в четной менее урожайной североохотоморского побережья и четной урожайной амурской линии получены при существенном изменении региональной численности (в случае менее урожайных поколений при ее увеличении).

Зависимость массы тела от общей численности. Поскольку области распространения молоди горбуши разных охотоморских стад совпадают при осеннем нагуле в глубоководной части Охотского моря и частично перекрываются для охотоморских и восточнокамчатских стад зимой в океане [Шунтов, Темных, 2008, 2011; Шунтов и др., 2010а], можно предположить, что суммарная численность всех региональных стад в качестве плотностно-зависимого фактора может сказываться на размерах производителей.

Для периода наблюдений начиная с 1971 г. между массой тела горбуши, рассчитанной в среднем по охотоморскому региону, и величиной ее общих подходов в Охотское море корреляционная связь для нечетных поколений оценена как слабая отрицательная ($r = -0,42$, $p < 0,05$), а в отношении четных поколений можно говорить об отсутствии связи ($r = -0,29$, $p > 0,1$). Для периода 2001–2024 гг. коэффициенты корреляции были несколько выше, составляя в нечетных и четных линиях соответственно $-0,62$ ($p < 0,05$) и $-0,54$ ($p < 0,10$).

При анализе зависимости размеров производителей горбуши каждого отдельного стада и суммарной численности их подходов в охотоморский регион (размер/общая численность) также получены низкие коэффициенты корреляции для всего ряда наблюдений. Для периода 2001–2024 гг. отрицательная статистически значимая связь (r на уровне от $-0,52$ до $-0,69$ при $p < 0,05$) прослеживалась только в четной линии воспроизводства на западной Камчатке и восточном Сахалине и нечетной линии на южных Курильских островах и материковом побережье Охотского моря (рис. 6).

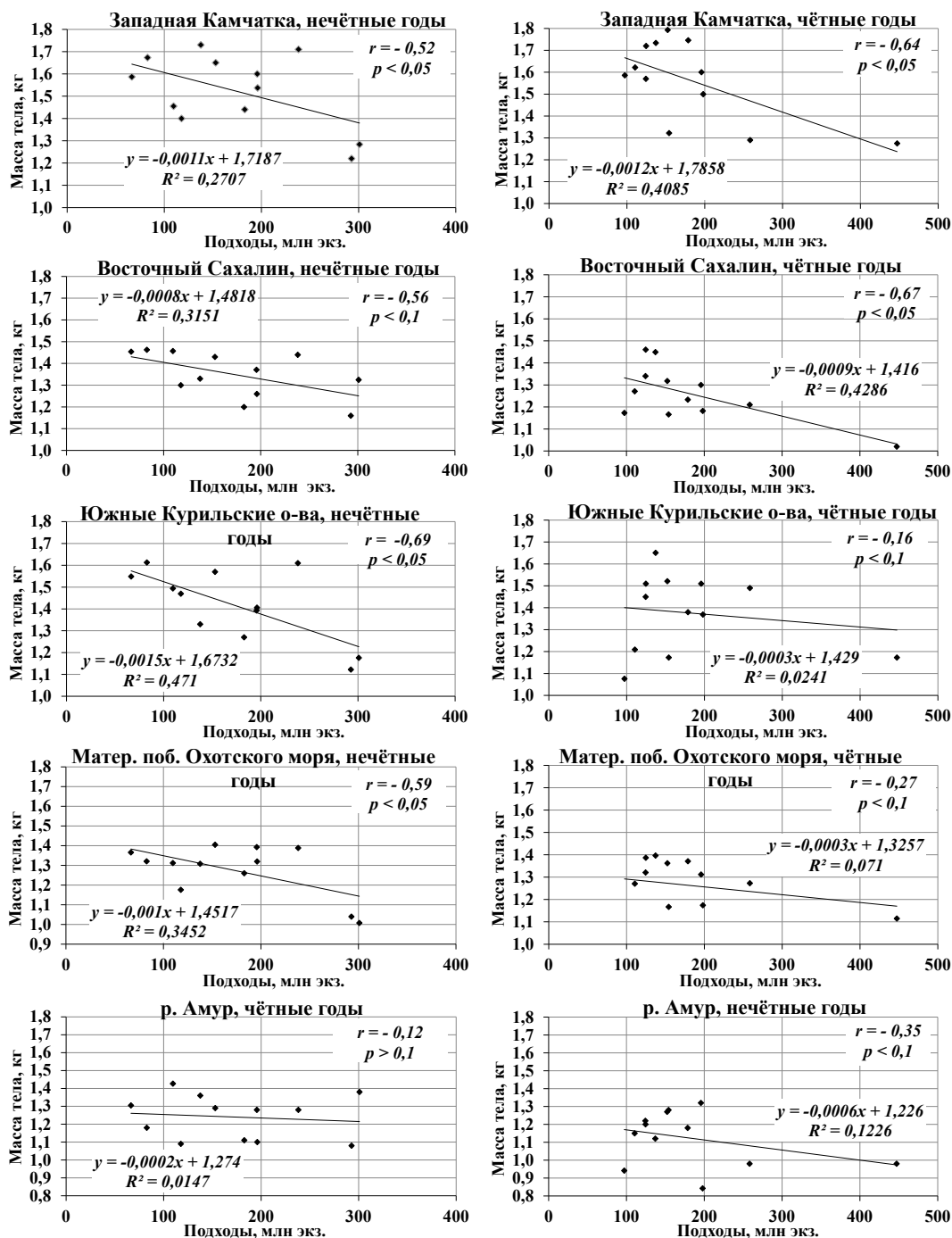


Рис. 6. Зависимость массы тела (кг) горбуши разных охотоморских стад и суммарной численности их подходов (млн экз.) в охотоморский бассейн в четные и нечетные 2001–2024 гг.

Fig. 6. Dependence of body weight (kg) for pink salmon from certain herds on their total return (10⁶ ind.) to the Okhotsk Sea basin in 2001–2024, by even and odd year-classes

У южнокурильской, восточносахалинской и североохотоморской горбуши статистически значимые отрицательные корреляционные связи (соответственно $r = -0,71$, $-0,63$ и $-0,44$) между навеской и общими подходами горбуши всех охотоморских стад были также выявлены в 1990–2002 гг., в то время как у западнокамчатской горбуши связь в эти годы отсутствовала [Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2011]. Но, анализируя связь

размер/общая численность в отдельных смежных поколениях западнокамчатской горбуши, мы получили в четной линии отрицательный коэффициент корреляции ($r = -0,69, p < 0,1$), в нечетной — положительный ($r = 0,55, p < 0,1$). Следует отметить, что у горбуши четных поколений западной Камчатки с 1994 г. начала увеличиваться собственная численность, а у нечетных поколений, напротив, она значительно снизилась по сравнению с 1980-ми гг. Как указывалось выше, в эти годы сила связи размер/региональная численность была сильной: в четных поколениях отрицательной, в нечетных — положительной. Вероятно, размерно-массовые показатели западнокамчатской горбуши могли в большей степени зависеть от собственной численности.

У горбуши северного побережья Охотского моря наиболее заметное сокращение размеров наблюдалось в 1990-е гг., при этом размеры производителей некоторых северных рек (Гижика, Кухтуй и Тауй) в большей мере коррелировали с уловами западнокамчатской горбуши (соответственно $r = -0,5; -0,59; -0,65$), чем с суммарными уловами охотоморских стад [Темных и др., 2002a]. В качестве одной из возможных версий изменения размеров, в частности их заметного уменьшения в линии четных поколений, допустили влияние фактора плотности, когда высокая численность западнокамчатской горбуши в местах совместного нагула лимитировала рост горбуши североохотоморских группировок в четные годы [Марченко, 2004; Темных и др., 2004]. По нашим данным размеры горбуши североохотоморских рек коррелировали с численностью подходов западнокамчатской в разные годы с разной силой (r составил $-0,55, -0,71, 0,28$ и $-0,64$ ($p < 0,05$) соответственно для 1980, 1990, 2000-х и 2011–2024 гг.). Но если в 1980-х и 1990-х гг. уменьшение размеров североохотоморской горбуши наблюдалось на фоне повышения численности западнокамчатской горбуши, то в 2000-е гг. ее размеры были выше среднемноголетних, несмотря на то что численность подходов западнокамчатской горбуши осталась на высоком уровне. При этом подходы горбуши к рекам материкового побережья северной части Охотского моря, напротив, сократились, а производители стали крупнее. Исходя из этого полагаем, что размеры североохотоморской горбуши также в большей степени зависят от ее региональной численности, чем от численности западнокамчатского или всех охотоморских стад.

У горбуши восточного Сахалина зависимость размер/общая численность в разные периоды изменялась довольно сильно. В частности, в этом регионе в нечетной линии воспроизводства сила связи варьировала от очень слабой ($r = -0,02, p < 0,1$) в 1991–2009 гг. до высокой ($r = -0,84, p < 0,1$) в 2011–2023 гг., когда общая численность подходов в Охотское море несколько увеличилась. Из этого можно было бы заключить, что уменьшение размеров восточносахалинской горбуши связано с общей высокой численностью горбуши. Но в последние десятилетия сокращение размеров наблюдалось у горбуши и других региональных стад, в том числе тех, у которых корреляция размеров с общей численностью была низкой. В четной менее урожайной линии связь размер/общая численность во все годы была выше, чем в нечетной, особенно при увеличении численности горбуши охотоморских стад в 1992–2010 гг., в то время как корреляция размер/региональная численность в четных поколениях была низкой. Таким образом, в случае с восточносахалинской горбушей наблюдается неоднозначная картина корреляции размеров рыб как с общей, так и с региональной численностью.

Влияние суммарной численности охотоморских и восточнокамчатских стад на размеры рыб восточнокамчатской горбуши возможно только во время их совместного нагула в океане. Однако нагульные акватории горбуши этих бассейнов перекрываются лишь частично [Атлас..., 2002; Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2008, 2011], что необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов. Так, высокие значения коэффициента корреляции ($r = -0,88, p < 0,001$) размеры рыб/общая численность в нечетных поколениях воспроизводства в 2021–2023 гг. совпали не только с высокой численностью охотоморской горбуши в эти годы, но и с высокой численностью подходов восточнокамчатской (когда корреляция размер/региональная численность была

сильной). В четных поколениях 2002–2024 гг. корреляция размер/общая численность была слабой ($r = -0,49$, $p < 0,1$), как и корреляция размер/региональная численность (см. рис. 5). В то же время в период с 1971 до 1990 г., когда общая численность горбуши была ниже, чем в 2000–2010-е гг., связь размеров с общей численностью в обоих смежных поколениях была высокой, а связь с региональной численностью оценена как средняя.

Таким образом, результаты корреляционного анализа показали, что размеры горбуши разных районов воспроизводства (кроме восточного Сахалина и южных Курильских островов) в большей степени коррелируют с региональной численностью, чем с суммарной численностью всех стад. В некоторых случаях наблюдается совпадение высокой общей численности горбуши и снижения размеров рыб конкретного стада, обусловленное собственной динамикой численности, а также локальными нагульными и иными условиями.

Численность и упитанность горбуши. Одним из возможных факторов плотностно-зависимой регуляции является обеспеченность пищей. Если в местах совместного нагула различных стад горбуши при высокой численности изменяется пищевая обеспеченность, то это, по всей видимости, должно отражаться на ее упитанности, поскольку данный показатель является не только отражением биологического состояния рыб (возраста, пола, степени зрелости гонад, времени года), но и условий обитания. Некоторая противофазность колебаний упитанности горбуши (проходящей в июне-июле через тихоокеанские воды Курильских островов и Камчатки) и численности ее подходов в Охотское море действительно отмечается, хотя коэффициент корреляции для этих переменных оказался средним — $-0,47$ ($p < 0,05$) (рис. 7). Однако следует иметь в виду, что структуру миграционного потока преданадромной горбуши из океана в Охотское море слагают рыбы различных региональных (южных и северных) и временных (ранних и поздних) группировок. Соответственно, в уловах присутствуют рыбы с разными биологическими показателями, поэтому при интерпретации полученных результатов учитывали количественное соотношение региональных стад в общих подходах.

Так, при очень высокой численности (более 250 млн экз.) охотоморской горбуши в 2012, 2018, 2021 и 2023 гг. коэффициент упитанности рыб, проходящих через тихоокеанские прикурильские воды, не превышал среднемноголетний показатель ($k_{sp} = 1,06$) (рис. 7, б, в красном квадрате). Причем наименьшая упитанность ($k = 1,0$) горбуши наблюдалась в 2018 г. при самой высокой (более 400 млн экз.) численности ее подходов в Охотское море. В указанные годы в подходах доминировала западнокамчатская горбуша (61–78 % общей численности охотоморских стад) с низкой массой тела (1,2–1,3 кг), что и отразилось на общем показателе упитанности рыб. Следует отметить, что в 2012, 2018 и 2023 гг. снижение биологических показателей наблюдалось у горбуши не только западной Камчатки, но и во всех регионах одновременно.

Самая высокая упитанность ($k \geq 1,1$) горбуши наблюдалась в 2009 и 2022 гг. при ее разной численности. Величина подхода горбуши в районы воспроизводства в Охотском море в 2009 г. превысила среднемноголетний уровень в 2 раза, составив 238 млн экз., из которых на долю рыб западной Камчатки пришлось всего 2 %, а восточного Сахалина — 71 %. Характеристики массы горбуши этих регионов были повышенными — у западнокамчатской 1,7 кг (что было вторым показателем начиная с 2000 г.), у восточно-сахалинской (несмотря на высокую для этого региона численность подходов) — 1,4 кг. Масса тела рыб других регионов также была выше среднемноголетней (см. рис. 2). За счет доминирования в подходах в охотоморский бассейн крупноразмерной горбуши средний коэффициент упитанности рыб, учтенных в прикурильских тихоокеанских водах, был высоким (см. рис. 7, б). В 2022 г. общая численность охотоморской горбуши оценена всего в 111 млн экз., среди которых доминировала рыба восточносахалинского, западнокамчатского и северного материкового побережий (соответственно 40, 21 и 22 %). В этих и других регионах подходы горбуши были ниже, а ее размеры — выше

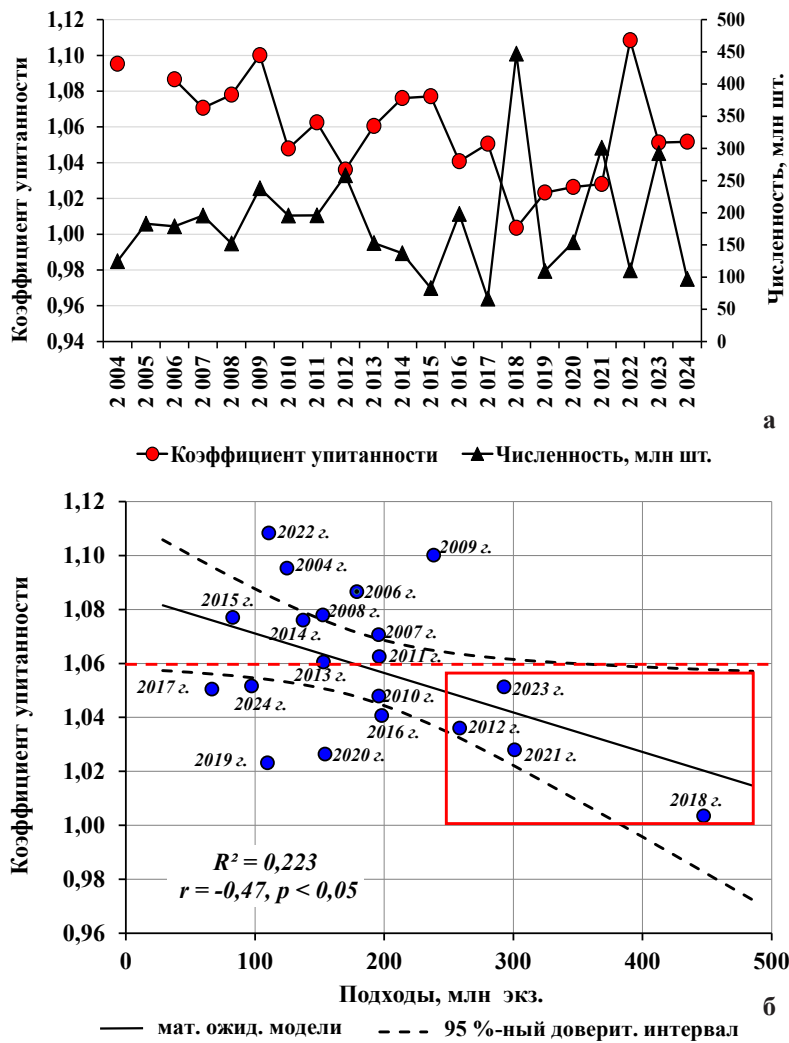


Рис. 7. Межгодовая динамика упитанности горбуши (а) и динамика изменения упитанности (б) в зависимости от общей численности (млн экз.) подходов горбуши в охотоморский бассейн. Указаны годы подхода, коэффициент корреляции (r); пунктирная красная линия — среднеегодегний показатель коэффициента упитанности

Fig. 7. Interannual dynamics of pink salmon fatness by Clark [1928] (a) and the fatness increments (б) in dependence on their total return (10^6 ind.) to the Okhotsk Sea basin The years of returns are indicated; dashed red line — long-term mean coefficient of fatness

среднегодегнего уровня. Соответственно, средняя упитанность горбуши в общих подходах оказалась высокой. Повышенную упитанность горбуши отмечали также в 2004–2008, 2014 и 2015 гг. при ее пониженной численности. В остальных случаях (при численности подходов не более 200 млн экз.) упитанность рыб варьировала от 1,02 до 1,06. Коэффициент корреляции упитанности и средней массы всей охотоморской горбуши составил 0,58 ($p < 0,01$).

Таким образом, средняя упитанность преданадромной горбуши, учтенной в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки, изменялась в зависимости от численного доминирования региональных группировок с определенными продукционными показателями рыб. При доминировании в общем миграционном потоке горбуши конкретных стад с низкой массой тела общий коэффициент упитанности был пониженным, и наоборот, при повышенной массе тела — повышенным.

Как уже было сказано выше, показатель упитанности горбуши, возвращающейся на нерест, отражает в том числе и степень успешности нагула в районах, через которые ей приходится мигрировать. При этом районы обитания и нагула на пути ее миграций, довольно существенно различаются по составу и запасам кормовых ресурсов. Доступность и достаточное обилие наиболее важных кормовых объектов в этих районах обуславливают пищевую обеспеченность горбуши, одним из показателей которой является накормленность. Анализ большого массива фактических данных по питанию лососей показал, что, во-первых, синхронного изменения накормленности горбуши и кормовой базы в местах ее нагула не происходит. В некоторых случаях одновременное снижение интенсивности питания рыб и обилия пищи может наблюдаться, но в целом низкие коэффициенты корреляции между двумя этими показателями свидетельствуют об отсутствии связи. Например, во время миграций горбуши через тихоокеанские воды Курильских островов он составил всего 0,10 [Найденко, 2023]. Слабая связь получена нами и для других районов нагула. Во-вторых, запасы кормовых организмов, даже с учетом сезонной динамики количественного распределения и выедания прочими потребителями, значительно выше, чем пищевые потребности горбуши. Установлено, что пищевая обеспеченность лососей в морских и океанических районах может изменяться, но не в тех пределах, чтобы жестко лимитировать выживаемость, определять их итоговую численность или линейно-массовые показатели [Дулепова, 2002; Темных, 2004; Чучукало, 2006; Найденко, 2007, 2023; Шунтов и др., 2010б; Заволокин и др., 2012; Заволокин, 2014; Волков, 2016; Найденко, Темных, 2016; Шунтов, 2016]. Это подтверждается и тем фактом, что наблюдаются разнонаправленные отклонения (относительно средне многолетних значений) биологических показателей горбуши разных региональных стад, несмотря на одинаковые условия их нагула в совместных скоплениях (осенью в море и в зимне-весенний период в океане). То, что варьирование размеров рыб, особенно в малочисленных поколениях, нельзя объяснить только недостатком пищи и внутривидовой конкуренцией, было показано и в ранних исследованиях на примере камчатской горбуши [Семко, 1954].

Зависимость между массой тела молоди и вернувшихся на нерест производителей. В соответствии с уже высказанными заключениями [Каев, Чупахин, 2002; Радченко и др., 2002] факторы внешней и внутренней среды влияют на изменения темпов роста горбуши в ранний морской период ее жизни (включая обитание в прибрежных водах) довольно значительно. В частности, существенное прямое или косвенное воздействие на развитие, питание, сроки миграций молоди горбуши оказывает гидрологический режим вод [Хованская, 2007; Коваль, Коломейцев, 2011; Каев, 2015, 2018; Дедерер и др., 2024; Каев и др., 2024; Шевляков и др., 2024]. Следовательно, изменчивость размеров горбуши — это результат не только морских и океанических условий нагула, но и в большей мере условий обитания ее молоди в прибрежных водах. На это должно указывать наличие связи между размерами сеголеток (после завершения роста в прибрежье и глубоководных районах моря) и взрослых рыб (вернувшихся на нерест).

В южной глубоководной половине Охотского моря, где в летне-осенний сезон сосредоточены высокие концентрации кормовых объектов, нагуливается значительная доля общей массы молоди горбуши разных региональных комплексов [Дулепова, 1998; Темных и др., 2002а, б, 2003; Шунтов, Темных, 2008]. Соответственно, определить размеры сеголеток горбуши с привязкой к конкретным регионам невозможно. Поэтому для корреляционного анализа использовали массу тела всей молоди охотоморской горбуши (рассчитанной как средневзвешенное значение по числу рыб, учтенных в период осеннего нагула в глубоководной части моря) и массу тела производителей (в среднем по охотоморскому бассейну), вернувшихся на следующий год. Такой подход отображает исследуемую зависимость только в общих чертах, тем не менее он позволяет проследить межгодовые изменения размеров молоди у разных поколений горбуши и выявить наличие связи между размерами сеголеток и взрослых рыб.

По данным 1998–2007 гг. средние размеры сеголеток нечетных (высокочисленных) поколений охотоморской горбуши были выше, чем четных (25 см и 161 г против 24 см и 147 г) [Шунтов, Темных, 2008]. По результатам учетных осенних съемок 2003–2024 гг. средняя масса молоди нечетных поколений также отличалась от четных (соответственно 155 и 152 г), но незначительно, что может быть связано в том числе и с изменением в 2010-х гг. численности обоих поколений горбуши западнокамчатского и восточносахалинского регионов. Однако в четные 2010 и 2022 и нечетные 2011, 2017, 2019 годы осенних учетов средняя масса тела молоди охотоморской горбуши в смешанных скоплениях была пониженной (менее 140 г). Вернувшиеся на нерест производители в 2011 г. (при высокой численности и доминировании в общих подходах восточносахалинской и североохотоморской горбуши) и в 2012, 2018, 2020 и 2023 гг. (при доминировании западнокамчатской горбуши при ее высокой численности в эти годы) также имели низкие продукционные показатели (m 1,12–1,32 кг) (рис. 8, в нижнем красном квадрате).

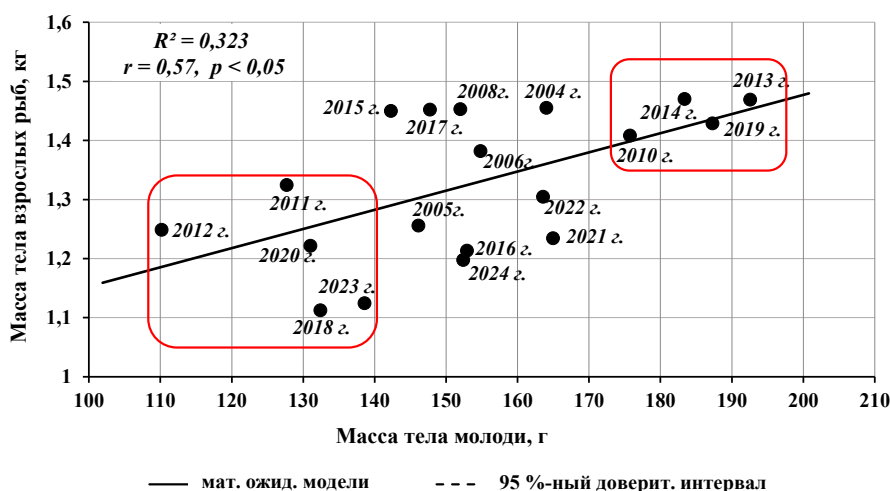


Рис. 8. Корреляция средневзвешенной по съемке массы тела осенней молоди и средней массы тела вернувшихся через год производителей охотоморской горбуши. Указаны годы подхода горбуши в Охотское море. В красных квадратах — годы максимальных и минимальных продукционных показателей горбуши

Fig. 8. Relationship between the body weight of pink salmon juveniles (averaged by annual autumn surveys) and the mean body weight of their adults returned to the Okhotsk Sea in a year later. The years of return are indicated; red squares show the years with the maximum and minimum body weight of adults

В другие годы учетов при средних размерах молоди (от 140 до 175 г) масса тела вернувшихся взрослых рыб варьировала от 1,17 до 1,46 кг, а при повышенных (масса молоди более 175 г) — была только высокой (у взрослых рыб в 2010, 2013–2014 и 2019 гг. от 1,41 до 1,47 кг) (рис. 8, в верхнем красном квадрате). Коэффициент корреляции между данными параметрами, вероятно, в силу обобщения данных по всему охотоморскому бассейну, оказался средним ($r = 0,57, p < 0,05$), тем не менее связь между размерами молоди и массой вернувшихся через год взрослых рыб вполне просматривается и статистически значима.

Детально такую связь можно проследить на примере восточносахалинской горбуши. По данным ретроспективного изучения линейного роста горбуши юго-восточного побережья о. Сахалин [Каев и др., 2023] среднемноголетняя (за 2004–2019 гг.) длина ее молоди при 1 (условное начало роста в прибрежье), 7 (после его завершения) и 16 (завершение периода быстрого роста сеголеток в Охотском море) склеритах на чешуе составила соответственно 6,01; 12,31 и 23,24 см. Среднемноголетние размерные показатели молоди сравнили с данными промысловой статистики о продукционных по-

казателях производителей (данные любезно предоставлены А.М. Каевым, СахНИРО). Выявлена довольно четкая связь между размерами молоди после нагула в прибрежье и осенью в глубоководной части моря и массой тела взрослых рыб, вернувшихся на нерест (рис. 9, а, б). Однако сила связи различалась в четных и нечетных поколениях горбуши (рис. 9, в–е).

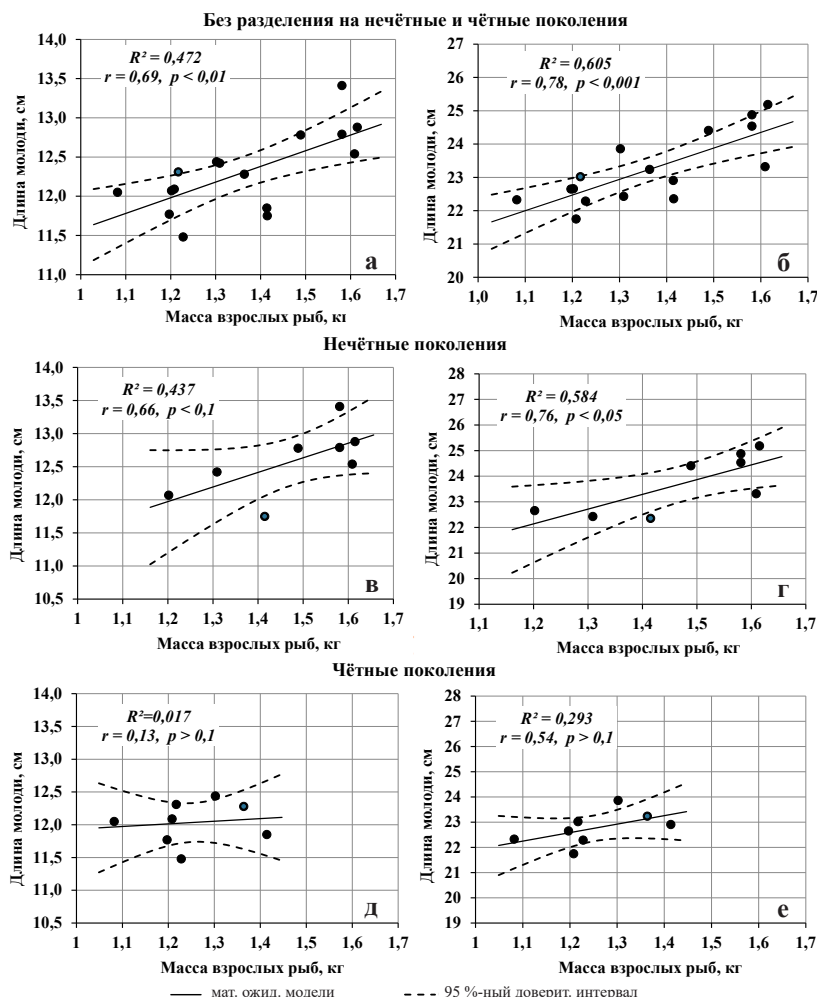


Рис. 9. Зависимость массы тела (кг) взрослых рыб, вернувшихся на нерест, от длины (АС, см) молоди горбуши юго-восточного побережья о. Сахалин, завершившей нагул в прибрежных водах (а, в, д) и в глубоководной части Охотском моря осенью (б, г, е) (по данным А.М. Каева с соавторами [2023], в том числе неопубликованным)

Fig. 9. Body weight (kg) of adult pink salmon returned for spawning in dependence on length (AS, cm) of their juveniles at the southeast coast of Sakhalin Island after feeding in the coastal waters (а, в, д) and in the deep-water area of Okhotsk Sea in autumn (б, г, е) on the data of A.M. Kaev et al. [2023] and unpublished

Как указывалось выше, на восточном побережье о. Сахалин нечетные поколения горбуши более урожайные, чем четные, хотя после 2015 г. численность нечетных поколений сократилась (см. рис. 2). Горбуша нечетных поколений крупнее, чем четных (рис. 2 и 5), а у юго-восточного побережья крупнее, чем у северо-восточного, но тенденция изменения массы тела рыб этих побережий почти совпадает (рис. 10).

В нечетные высокочисленные 2005 и 2011 гг. масса тела горбуши восточносахалинского побережья была заметно ниже среднегогодовых значений (рис. 10). В эти годы рыба юго-восточного побережья имела мелкие размеры не только в период

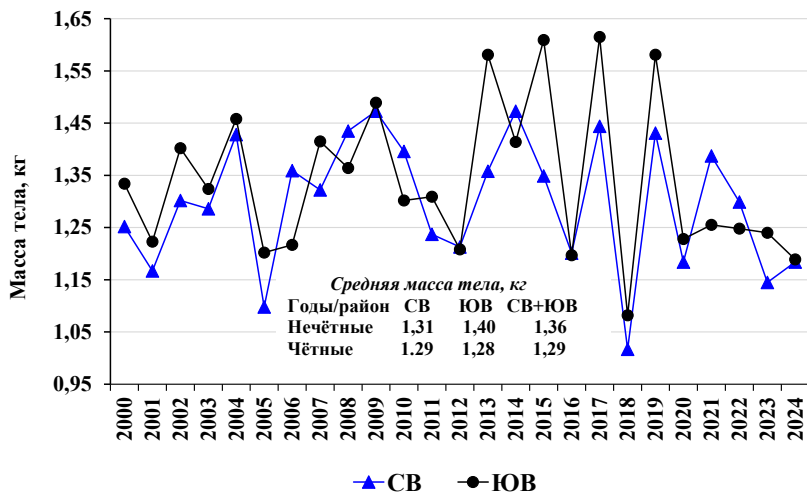


Рис. 10. Межгодовая динамика массы тела (кг) горбуши северо-восточного (CB) и юго-восточного (IOB) побережий о. Сахалин (по неопубликованным данным А.М. Каева (СахНИРО))

Fig. 10. Interannual dynamics of body weight (kg) for pink salmon at the northeastern (CB) and southeastern (IOB) coasts of Sakhalin Island (A.M. Kaev, personal communication)

подхода на нерест. Исходя из данных линейного роста [Каев и др., 2023], рыба была мелкоразмерной уже на этапе нагула молоди в прибрежье и глубоководных районах моря (см. рис. 9, в, д). В то же время в высокоурожайные 2007, 2009 и 2013 гг. горбуша была, напротив, крупноразмерной как на этапе половозрелых рыб, так и годом ранее, на стадии молоди. В годы снижения численности высокоурожайных поколений, в частности в 2015, 2017 и 2019, у горбуши на всех стадиях нагула до момента нереста наблюдались размеры выше среднемноголетних. Сила связи между размерами молоди и вернувшихся на нерест взрослых рыб для нечетного поколения оценена как средняя ($r = 0,66, p < 0,10$) и высокая ($r = 0,76, p < 0,05$) после нагула соответственно в прибрежье и море.

В четные, менее урожайные, годы размеры производителей мельче, чем в нечетные, и варьируют, в частности у рыб юго-восточного побережья, от 1,08 до 1,46 кг (см. рис. 10). При этом в 2012, 2016, 2018 и 2020 гг. взрослая горбуша имела размеры ниже или на уровне среднемноголетних, в том числе и на стадии молоди, а в 2008 и 2010 гг. — чуть выше среднемноголетних на всех этапах нагула. Следует отметить, что подходы горбуши к восточносакхалинскому побережью в эти годы (кроме 2020 г.) были лишь немного выше среднемноголетнего уровня (см. рис. 2). Для четной линии воспроизводства получены низкий и средний коэффициенты корреляции размеров молоди и вернувшихся рыб (см. рис. 9, д, е).

На западной Камчатке самые минимальные с 2001 по 2024 г. размеры половозрелых рыб (с массой тела 1,22–1,29 кг) отмечены при высокой численности — в четные высокоурожайные 2012 и 2018 гг., а также при повышении численности менее урожайных нечетных поколений в 2021 и 2023 гг. (см. рис. 2). По результатам осенних учетных съемок именно в 2011, 2017, 2020 и 2022 гг. размеры молоди горбуши в смешанных скоплениях (где численно доминировала западнокамчатская рыба) были пониженными, и масса тела вернувшейся через год охотоморской горбуши (среди которой также доминировала рыба западной Камчатки) была ниже среднемноголетней величины ($m_{сред} = 1,34$ кг) (см. рис. 8, нижний красный квадрат). Подобная ситуация отмечалась и ранее, в частности в 1982, 1995 и 1997 гг., когда размерные показатели и коэффициент упитанности (k , по Фультону) молоди горбуши западнокамчатского происхождения в прикамчатских водах были заметно ниже (АС 18,6–19,8 см и $k = 0,97–1,07$), чем в иные годы (1985–1991 гг.: АС 19,5–22,9 см и $k = 1,06–1,19$) [Ерохин, 2002]. Производители,

подошедшие на следующий год на нерест в реки западной Камчатки, также имели продукционные показатели ниже среднеемноголетних, особенно при высоких возвратах горбуши в 1983 и 1998 гг. (масса соответственно 1,01 и 1,25 кг).

На восточной Камчатке, где самым многочисленным является восточнокамчатское стадо, основной запас которого сосредоточен в реках Карагинского залива, связь между размерами молоди и возвращающихся на нерест взрослых рыб прослеживается довольно четко. В этом районе учет численности осенней молоди горбуши во время ее откочевки в океан проводят с начала 2000-х гг. Но для оценки силы связи между исследуемыми параметрами использовались данные только тех съемок, которые совпадали по срокам проведения учетных работ. Даже на малом ряде наблюдений хорошо выражена связь ($r = 0,82, p < 0,01$) между средней массой осенней молоди восточнокамчатской горбуши и средней массой взрослых рыб, вернувшихся летом следующего года (рис. 11). При этом в годы высокой численности молодь и взрослые рыбы имели преимущественно мелкие размеры.

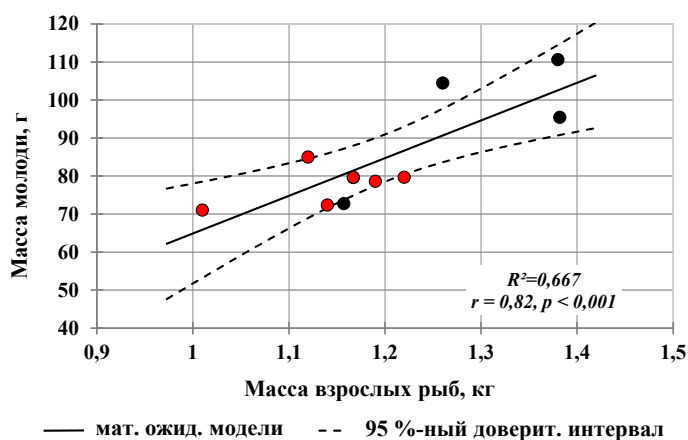


Рис. 11. Корреляция средневзвешенной по съемке массы тела осенней молоди и средней массы тела вернувшихся через год производителей восточнокамчатской горбуши. Красным цветом обозначена масса тела в годы высокочисленных подходов

Fig. 11. Relationship between the body weight of pink salmon juveniles (averaged by annual autumn surveys) and the mean body weight of their adults returned to East Kamchatka in a year later. The years of highly abundant returns are indicated by red color

Таким образом, у восточносахалинской горбуши между размерами молоди и вернувшихся на нерест взрослых рыб высокая корреляция наблюдалась главным образом в линии нечетных урожайных поколений, но при разной численности подходов. Западнокамчатская горбуша имела мелкие размеры при высокой численности в обеих линиях воспроизводства на стадии как молоди, так и вернувшихся производителей. У восточнокамчатской горбуши отмечена четкая зависимость между этими переменными: при высокой численности молодь уже была мелкоразмерной.

Закключение

Проведенное исследование выявило слабую связь между размерами горбуши и ее численностью для всего периода исследований с 1971 по 2024 г. и зависимость разного уровня (в некоторых случаях высокую) при анализе данных отдельно по смежным генеративным линиям воспроизводства и разным периодам лет. В 2001–2024 гг. на обоих побережьях Камчатки в обеих линиях воспроизводства, а также в четных поколениях на североохотоморском побережье и в бассейне р. Амур размеры рыб в большей степени коррелировали с численностью своего регионального стада, чем с суммарной численностью всех стад. При этом размеры горбуши этих регионов достоверно снижались при очень высокой региональной численности, в том числе при

ее увеличении в линии менее урожайных поколений. В то же время на восточном Сахалине и южных Курильских островах такой связи установлено не было. В этих районах с начала 1990-х и почти до 2010 г. увеличению численности горбуши сопутствовали ее крупные размеры. Это вполне может быть связано как с благоприятными в этот период общими и провинциальными климато-океанологическими условиями, так с деятельностью лососевых рыбоводных заводов, выпускающих в естественную среду уже подрощенную молодь.

За многолетний период наблюдений продукционные характеристики горбуши разных региональных стад, нагуливающих совместно в пределах морских и океанических акваторий, изменялись относительно среднесноголетней величины разнонаправленно, а в отдельные годы — однонаправленно. Наиболее значительное снижение размеров рыб во всех регионах одновременно отмечалось в линии четных лет в 1984, 1988, 2012, 2018 и 2024 гг. и в линии нечетных — в 2005, 2011, 2023 гг. В некоторых случаях это совпадало с высокой общей численностью горбуши. Мы не исключаем того, что повышенная плотность рыб в совместных нагульных скоплениях, в частности через снижение кормовой обеспеченности, может быть причиной замедления роста и уменьшения размеров горбуши, либо наоборот, при низкой численности условия нагула и роста могут быть лучше. Но достоверной зависимости, и уж тем более высокой корреляции, между обилием пищи именно в период морского/океанического нагула и такими показателями, как накормленность, упитанность рыб и размеры возвращающихся на нерест производителей горбуши, нами не обнаружено.

В то же время хорошо известно, что плотностно-зависимые факторы большую роль играют на других этапах жизненного цикла горбуши, в частности в пресноводный во время нереста и в прибрежный после массового ската из рек (например, через ограниченность кормовой базы). Несмотря на то что степень жесткости их лимитирующего воздействия на выживаемость, численность и рост горбуши не установлена и оценивается по косвенным признакам, сам факт такого влияния не отрицается. Существенное воздействие на развитие кормовой базы, а также питание, рост и сроки миграций молоди горбуши оказывают внешние факторы, в частности гидрологический режим вод. Следовательно, совокупность плотностно-зависимых факторов и условий среды обитания уже в раннем периоде жизни горбуши может в той или иной степени оказывать влияние на темпы ее роста и дальнейшие размеры. Мы предполагаем, что заложенные в этот период особенности формирования линейно-массовых характеристик сохраняются с некоторыми изменениями в ту или иную сторону в последующие этапы нагула и миграций к местам нереста. Об этом свидетельствует высокая корреляция между размерами молоди и взрослых рыб, вернувшихся на нерест, полученная нами, в частности, для горбуши восточного Сахалина и обоих побережий Камчатки. Но отсутствие достаточных данных, в том числе по другим регионам, не позволяет в полной мере определить, является ли отмеченная зависимость устойчивой, т.е. закономерной. Для полной ясности в этом вопросе необходимы изучение темпов линейного роста горбуши в разных регионах, выявление различий роста рыб северных и южных популяций, а также проведение гидрологического и гидробиологического мониторинга прибрежных вод для оценки условий обитания и качественных характеристик молоди.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают искреннюю благодарность всем участникам экспедиций за сбор и обработку первичных материалов, которые использованы в настоящей публикации, а также всем сотрудникам дальневосточных филиалов ВНИРО, которые принимали участие в сборе информации и формировании статистической базы данных по вылову и биологическим показателям лососей. Отдельная благодарность Е.А. Шевлякову (ТИНРО) за ценные консультации и А.М. Каеву (СахНИРО) за любезно предоставленные материалы.

The authors are grateful to all scientific staff in marine expeditions for collecting and processing the primary materials used for the study and to colleagues from the Far Eastern branches of VNIRO who many years collected the information on catches and biological indices of pacific salmon and created the excellent database, with particular thanks to E.A. Shevlyakov (TINRO) for valuable consultations and to A.M. Kaev (SakhNIRO) for kindly provided data on body weight of pink salmon at Sakhalin.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

С.В. Найденко — постановка задачи, анализ материалов, статистическая обработка данных, интерпретация результатов, написание текста статьи, подготовка таблиц и рисунков; А.Н. Старовойтов — сбор материалов, расчет количественных данных, обсуждение результатов.

S.V. Naydenko — concept of the study, data analysis, statistical processing, the results interpretation, the text writing and illustrating; A.N. Starovoitov — data collection and processing, discussion on the results.

Список литературы

Андривская Л.Д. Пищевые взаимоотношения тихоокеанских лососей в море // *Вопр. ихтиол.* — 1966. — Т. 6, вып. 1(38). — С. 84–90.

Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций / под ред. О.Ф. Гриценко. — М.: ВНИРО, 2002. — 190 с.

Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей : моногр. — М.: Агропромиздат, 1985. — 208 с.

Бугаев А.В. Оценка влияния численности стад и глобальной температурной аномалии на среднюю массу тела тихоокеанских лососей в бассейне Северной Пацифики // *Изв. ТИНРО.* — 2017. — Т. 191. — С. 3–33. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-3-33.

Веденский А.П. Возраст горбуши и закономерности колебаний ее численности // *Изв. ТИНРО.* — 1954. — Т. 41. — С. 111–195.

Волков А.Ф. Элементарная трофология тихоокеанских лососей в Беринговом море. Видовые и региональные отличия. Обеспеченность пищей при различных условиях среды // *Изв. ТИНРО.* — 2016. — Т. 187. — С. 162–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186.

Волобуев В.В., Волобуев М.В. Экология и структура популяций как основные элементы формирования жизненной стратегии кеты *Oncorhynchus keta* континентального побережья Охотского моря // *Вопр. ихтиол.* — 2000. — Т. 40, № 4. — С. 516–529.

Гаврилов Г.М., Пушкарева Н.Ф. Динамика численности приморской горбуши // *Изв. ТИНРО.* — 1996. — Т. 119. — С. 178–193.

Горохов М.Н. Биология, состояние запасов и промысел тихоокеанских лососей в Магаданской области в XXI веке : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М.: ВНИРО, 2022. — 25 с.

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

Дедерер Н.А., Шевляков Е.А., Найденко С.В. Термика прибрежных вод и возможные механизмы формирования высокочисленных поколений западнокамчатской горбуши // *Изв.*

ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 745–763. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763. EDN: XUCDWA.

Дулепова Е.П. Сеголетки горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *O. keta* в трофической структуре эпипелагиали южной части Охотского моря // Вопр. ихтиол. — 1998. — Т. 38, № 5. — С. 633–640.

Дулепова Е.П. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 274 с.

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

Ерохин В.Г. Биология молоди тихоокеанских лососей в прикамчатских водах Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2002. — 24 с.

Ефанов В.Н., Чупахин В.М. Динамика некоторых показателей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) острова Итуруп (Курильские острова) // Вопр. ихтиол. — 1982. — Т. 22, № 1. — С. 54–61.

Заволокин А.В. Пищевая обеспеченность тихоокеанских лососей в период морского и океанического нагула : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 354 с.

Заволокин А.В., Заволокина Е.А., Хохлов Ю.Н. Динамика размеров тела и темпа роста анадырской кеты в 1962–2007 гг. // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 79–82.

Заволокин А.В., Кулик В.В., Глебов И.И. и др. Динамика размеров, возраста и внутри-годовых темпов роста анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в 1962–2010 гг. // Вопр. ихтиол. — 2012. — Т. 52, вып. 2. — С. 215–233.

Золотухин С.Ф., Капанова Н.Ф., Черниенко И.С. и др. Размеры созревания горбуши р. Амур в различные по гидрологическому типу периоды // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 154. — С. 46–57.

Иванков В.Н. Причины периодических и ежегодных флюктуаций численности и изменений биологических признаков горбуши Южных Курильских островов // Вопр. ихтиол. — 1984. — Т. 24, № 6. — С. 895–906.

Кагановский А.Г. Некоторые вопросы биологии и динамики численности горбуши // Изв. ТИНРО. — 1949. — Т. 31. — С. 3–57.

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

Каев А.М. Особенности промысла и показатели воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Курильские острова) // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 1. — С. 71–91. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91.

Каев А.М. Ретроспективная оценка роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* по чешуе: межгодовая изменчивость // Вопр. ихтиол. — 2015. — Т. 55, № 5. — С. 570–585. DOI: 10.7868/S0042875215050094.

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

Каев А.М., Ромасенко Л.В., Каев Д.А. Изучение темпа линейного роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) по чешуе // Вопр. ихтиол. — 2023. — Т. 63, № 1. — С. 50–60. DOI: 10.31857/S004287522301006X.

Каев А.М., Самарский В.Г., Ромасенко Л.В. Связь сроков эмбрионально-личиночного развития горбуши и покатной миграции ее молоди // Тр. ВНИРО. — 2024. — Т. 198. — С. 18–33.

Каев А.М., Чупахин В.М. Динамика стада горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Курильские острова) // Вопр. ихтиол. — 2003. — Т. 43, № 6. — С. 801–811.

Каев А.М., Чупахин В.М. Ранний морской период жизни горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* о. Итуруп // Тр. СахНИРО. — 2002. — Т. 4. — С. 116–132.

Канзепарова А.Н. Особенности биологии и современное состояние запасов горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) северо-западного побережья Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2019. — 24 с.

Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2013. — 303 с.

Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. Роль трофического фактора в формировании продукции тихоокеанских лососей Камчатки в морских водах // Мат-лы Всерос. науч. конф. «Водные биологические ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг,

управление», посвящ. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2012. — С. 165–175.

Кинас Н.М. Сравнительная характеристика популяционных параметров четного и нечетного поколения горбуши р. Утка (западное побережье) и р. Хайлюля (восточное побережье Камчатки) // Популяционная биология, генетика и систематика гидробионтов. — Петропавловск-Камчатский, 2005. — Т. 1. — С. 287–294.

Коваль М.В., Коломейцев В.В. Особенности гидрологических условий и нагула молоди лососей в прибрежных водах западной Камчатки в июле 2011 г. // Бюл. № 6 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — С. 202–209.

Крыхтин М.Л., Смирнов А.Г. О взаимосвязи численности и качественных показателей нерестовых стад амурских лососей // Вопр. ихтиол. — 1962. — Т. 1, вып. 22. — С. 29–41.

Лагунов И.И. О рыболовстве японцев на северных Курильских островах // Вопросы истории рыбной промышленности Камчатки. — Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2004. — Вып. 7. — С. 124–136.

Марченко С.Л. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmoniformes, Salmonidae) материкового побережья Охотского моря. Сообщение 1. Производители // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 741–773. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-741-773.

Марченко С.Л. Особенности биологии и популяционная структура горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) северного побережья Охотского моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2004. — 24 с.

Найденко С.В. Роль тихоокеанских лососей в трофической структуре эпипелагиали западной части Берингова моря в летне-осенний период 2002–2006 гг. // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 151. — С. 214–239.

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

Найденко С.В., Темных О.С. Выживаемость тихоокеанских лососей в Северной Пацифике в зимне-весенний период // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 185. — С. 67–94. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-67-94.

Пушкарева Н.Ф. Состояние запасов приморской горбуши и пути увеличения ее численности // Тр. ВНИРО. — 1975. — Т. 106. — С. 106–113.

Радченко В.И., Кантаков Г.А., Шубин А.О. и др. Ихтиоцены и физические условия верхней эпипелагиали шельфа юго-восточного Сахалина в период после ската молоди лососей // Тр. СахНИРО. — 2002. — Т. 4. — С. 70–92.

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

Свиридов В.В., Темных О.С., Заволокин А.В. и др. Межгодовая динамика биологических показателей и структура чешуи анадырской кеты // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 139. — С. 61–77.

Семко Р.С. Запасы западнокамчатских лососей и их промысловое использование // Изв. ТИНРО. — 1954. — Т. 41. — С. 3–109.

Темных О.С. Азиатская горбуша в морской период жизни: биология, пространственная дифференциация, место и роль в пелагических сообществах : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-Центр, 2004. — 465 с.

Темных О.С. Рост приморской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в периоды высокой и низкой ее численности // Вопр. ихтиол. — 1999. — Т. 39, вып. 2. — С. 219–223.

Темных О.С., Глебов И.И., Найденко С.В. и др. Современный статус тихоокеанских лососей в пелагических сообществах дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 137. — С. 28–44.

Темных О.С., Голованов И.С., Марченко С.Л. Особенности роста охотоморской горбуши в связи с динамикой ее численности // Изв. ТИНРО. — 2002а. — Т. 130. — С. 893–903.

Темных О.С., Мельников И.В., Вайтукевич Д.В. Учет сеголетков горбуши в Охотском море и перспективы путины в 2002 г. // Рыб. хоз-во. — 2002б. — № 2. — С. 31–32.

Темных О.С., Куренкова Е.В. Особенности посткатадромных и преданадромных миграций горбуши в западной части Берингова моря в 2002–2006 гг. // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 151. — С. 96–114.

Темных О.С., Старовойтов А.Н., Глебов И.И. и др. Тихоокеанские лососи в пелагических сообществах южной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 132. — С. 112–153.

Углова Т.Ю. Биология, структура нерестовых подходов и промысел горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) о. Итуруп (южные Курильские острова) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 2020. — 26 с.

Хованская Л.Л. Влияние температуры воды на рост и развитие личинок и молоди тихоокеанских лососей на ЛРЗ Магаданской области // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 150. — С. 328–351.

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

Шевляков Е.А., Дедерер Н.А. Динамика численности и внутривидовая структура горбуши западного и северо-восточного побережий Камчатки // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 369–389. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-369-389. EDN: FDOGZS.

Шевляков Е.А., Дедерер Н.А., Островский В.И., Хен Г.В. Термические условия морских прибрежных вод как фактор, благоприятствующий появлению экстремальночисленных поколений карагинской горбуши // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 30–47. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-30-47. EDN: RVYEMU.

Шевляков Е.А., Островский В.И. Вековая динамика запасов и средней индивидуальной массы тихоокеанских лососей Дальнего Востока России через призму климатических циклов и трендов // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 2. — С. 199–222. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-199-222.

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

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

Шунтов В.П., Волвенко И.В., Темных О.С. и др. К обоснованию экологической емкости дальневосточных морей и субарктической Пацифики для пастбищного выращивания тихоокеанских лососей. Сообщение 1. Нагульные акватории тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. — 2010а. — Т. 160. — С. 149–184.

Шунтов В.П., Темных О.С., Найденко С.В. и др. К обоснованию экологической емкости дальневосточных морей и субарктической Пацифики для пастбищного выращивания тихоокеанских лососей. Сообщение 4. Влияние фактора плотности на обеспеченность тихоокеанских лососей пищей и их роль в потреблении кормовой базы nekтона // Изв. ТИНРО. — 2010б. — Т. 161. — С. 25–52.

Шунтов В.П., Темных О.С. Изученность экологии горбуши на разных этапах жизненного цикла в связи с прогнозированием уловов и управлением ее ресурсами и промыслом // Бюл. № 5 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 226–242.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — Т. 1. — 481 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — Т. 2. — 473 с.

Bigler B.S., Welch D.W., Helle J.H. A review of size trends among North Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1996. — Vol. 53, № 2. — P. 455–465.

Chaddock R.E. Principles and methods of statistics. — Boston ; New York ; Chicago ; San Francisco : Houghton Mifflin Company 1925. — 471 p.

Clark F.N. The weight-length relationship of the California Sardine (*Sardina caerulea*) at San Pedro // Fish. Bull. — 1928. — № 12. — P. 5–59.

Helle J.H., Martinson E.C., Eggers D.M., Gritsenko O. Influence of salmon abundance and ocean conditions on body size of Pacific salmon // NPAFC Bull. — 2007. — № 4. — P. 289–298.

Ishida Y., Ito S., Kaeriyama M. et al. Resent changes in age and size of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and possible causes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1993. — Vol. 50, № 2. — P. 290–295. DOI: 10.1139/f93-033.

Kaeriyama M. Dynamics of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, population released from Hokkaido, Japan // NPAFC Bull. — 1998. — № 1. — P. 90–102.

Kaeriyama M. Evolution of Carrying Capacity of Pacific Salmons in the North Pacific Ocean for Ecosystem-Based Sustainable Conservation Management // Bull. NPAFC Techn. Rep. — 2003. — № 5. — P. 1–4.

Kanzeperova A.N., Naydenko S.V., Shevlyakov V.A. et al. Biostatistical information on salmon catches, escapement and enhancement production in Russia in 2024 : NPAFC Doc. — 2025. — № 2226. — 2 p. (Available at <http://www.npafc.org>)

Ricker W.E., Bilton H.T., Aro K.V. Causes of the decrease in size of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) : Tech. Rep. Fish. Mar. Serv. Can. — 1978. — № 820. — 93 p.

Welch D.W., Morris J.F.T. Evidence for density-dependent marine growth in British Columbia pink salmon populations : NPAFC Doc. — 1994. — № 97. — 33 p.

References

- Andriyevskaya, L.D.**, On the food relationships of the Pacific salmon in the sea, *Vopr. Ikhtiol.*, 1966, vol. 6, no. 1(38), pp. 84–90.
- Atlas rasprostraneniya v more razlichnykh stad tikhookeanskikh lososey v period vesenno-letnego nagula i prednerestovyykh migratsiy* (Atlas of the distribution in the sea of various herds of Pacific salmon during the spring-summer feeding and pre-spawning migrations), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2002.
- Birman, I.B.**, *Morskoi period zhizni i voprosy dinamiki stada tikhookeanskikh lososei* (The Marine Life History and the Issues of Dynamics of the Pacific Salmon Stock), Moscow: Agropromizdat, 1985.
- Bugaev, A.V.**, Evaluation of contributions of stock abundance and global temperature anomaly to mean body weight of pacific salmon in the North Pacific basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 3–33. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-3-33
- Vedensky, A.P.**, The age of pink salmon and patterns of fluctuations in its abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 41, pp. 111–195.
- Volkov, A.F.**, Elementary trophic ecology of pacific salmon in the Bering Sea. Species and regional differences. Provision with food in different environments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 162–186. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186
- Volobuyev, V.V. and Volobuyev, M.V.**, Ecology and population structure as principal elements of the formation of the life strategy of *Oncorhynchus keta* on the continental coast of the Sea of Okhotsk, *J. Ichthyol.*, 2000, vol. 40, no. 6, pp. 443–456.
- Gavrilov, G.M. and Pushkareva, N.F.**, Stock dynamics of pink salmon in Primore, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1996, vol. 119, pp. 178–193.
- Gorokhov, M.N.**, Biology, stock status and fishing of Pacific salmon in the Magadan region in the 21st century, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2022.
- Gritsenko, O.F.**, *Prokhodnye ryby ostrova Sakhalin (sistematika, ekologiya, promysel)* (Diadromous Fishes of Sakhalin (Systematics, Ecology, Fisheries)), Moscow: VNIRO, 2002.
- Dederer, N.A., Shevlyakov, E.A., and Naydenko, S.V.**, Thermal regime of coastal waters and possible mechanisms of formation for strong year-classes of West Kamchatka pink salmon *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 745–763. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763. EDN: XUCDWA.
- Dulepova, E.P.**, Fingerlings of *Oncorhynchus gorbuscha* and *O. keta* in the trophical structure of the epipelagial zone of the southern part of the Sea of Okhotsk, *Vopr. Ikhtiol.*, 1998, vol. 38, no. 5, pp. 633–640.
- Dulepova, E.P.**, *Sravnitel'naya bioproduktivnost' makroekosistem dal'nevostochnykh morei* (Comparative Bioproductivity of Macroecosystems in Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2002.
- Yeniutina, R.I.**, The Amur humpback salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1972, vol. 77, pp. 3–126.
- Erokhin, V.G.**, Biology of juvenile Pacific salmon in the Kamchatka waters of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2002.
- Efanov, V.N. and Chupakhin, V.M.**, Dynamics of some indicators of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) from Iturup Island (Kuril Islands), *Vopr. Ikhtiol.*, 1982, vol. 22, no. 1, pp. 54–61.
- Zavolokin, A.V.**, Food availability for Pacific salmon during the period of feeding in sea and ocean, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.
- Zavolokin, A.V., Zavolokina, E.A., and Khokhlov, Yu.N.**, Dynamics of body size and growth rate of Anadyr chum salmon in 1962–2007, in *Byull. N 3 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoi programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. no. 3 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 79–82.
- Zavolokin, A.V., Kulik, V.V., Glebov, I.I., Dubovets, E.N., and Khokhlov, Y.N.**, Dynamics of body size, age, and annual growth rate of anadyr chum salmon *Oncorhynchus keta* in 1962–2010, *J. Ichthyol.*, 2012, vol. 52, no. 3, pp. 207–225. doi 10.1134/S0032945212010122
- Zolotukhin, S.F., Kaplanova, N.F., Chernienko, I.S., Kanzeperova, A.N., and Kozlova T.V.**, Size at maturity for the Amur River pink salmon in different hydrological periods, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 154, pp. 46–57.

Ivankov, V.N., Causes of periodic and annual fluctuations in abundance and changes in biological characteristics of pink salmon in the South Kuril Islands, *Vopr. Ikhtiol.*, 1984, vol. 24, no. 6, pp. 895–906.

Kaganovsky, A.G., Some questions of biology and population dynamics of pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1949, vol. 31, pp. 3–57.

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

Kaev, A.M., Features of fishery and indices of reproduction for pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* of Iturup Island (Kuril Islands), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 1, pp. 71–91. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91

Kaev, A.M., Retrospective analysis of growth of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* from scales: interannual variability, *J. Ichthyol.*, 2015, vol. 55, no. 5, pp. 707–722. doi 10.1134/S0032945215050070

Kaev, A.M., A decrease in the pink salmon (*Oncorhynchus gorbusha*) abundance in the Sakhalin-Kuril region under the effects of extreme environmental factors, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 7, pp. 540–548. doi 10.1134/S1063074018070039

Kaev, A.M., Romasenko, L.V., and Kaev, D.A., Study of the linear growth rate of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Salmonidae) by scales, *Vopr. Ikhtiol.*, 2023, vol. 63, no. 1, pp. 50–60. doi 10.31857/s004287522301006x

Kaev, A.M., Samarsky, V.G., and Romasenko, L.V., Relationship between the timing of embryonic and larval development of pink salmon and downstream migration of its juveniles, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 198, pp. 18–33.

Kaev, A.M. and Chupakhin, V.M., Dynamics of the school of the pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* of Iturup Island (the Kuril Islands), *J. Ichthyol.*, 2003, vol. 43, no. 6, pp. 801–811.

Kaev, A.M. and Chupahin, V.M., Early sea period of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* in Iturup Island, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 4, pp. 116–132.

Kanzeparova, A.N., Features of biology and the current state of the stocks of pink salmon (*Oncorhynchus gorbusha*) on the northwestern coast of the Sea of Okhotsk, *Extended Abstract of Cand. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2019.

Karpenko, V.I., Andrievskaya, L.D., and Koval', M.V., *Pitaniye i osobennosti rosta tikhookeanskikh lososei v morskikh vodakh* (Feeding Habits and Pattern of Growth of Pacific Salmon in Marine Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2013.

Karpenko, V.I., Andrievskaya, L.D., and Koval, M.V., The role of the trophic factor in the formation of production of Kamchatka Pacific salmon in sea waters, in *Mater. Vseross. nauchn. konf. posvyashch. 80-letnemu yubileyu FGUP "KamchatNIRO" "Vodnye biologicheskie resursy severnoi chasti Tikhogo okeana: sostoyaniye, monitoring, upravleniye"* (Proc. All-Russ. Sci. Conf. Commem. 80th Aniv. FGUP KamchatNIRO "Aquatic Biological Resources of the Northern Pacific Ocean: Status, Monitoring, and Management"), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2012, pp. 165–175.

Kinas, N.M., Comparative characteristics of population parameters of even and odd generations of pink salmon of the Utkha River (western coast) and the Khaylyulya River (eastern coast of Kamchatka), in *Populyatsionnaya biologiya, genetika i sistematika gidrobiontov* (Population biology, genetics and systematics of hydrobionts), Petropavlovsk-Kamchatsky, 2005, vol. 1, pp. 287–294.

Koval, M.V. and Kolomeitsev, V.V., Features of hydrological conditions and feeding of juvenile salmon in the coastal waters of western Kamchatka in July 2011, in *Byull. N 6 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 6 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, pp. 202–209.

Krykhtin, M.L. and Smirnov, A.G., On the relationship between the abundance and qualitative indicators of spawning stocks of Amur salmon, *Vopr. Ikhtiol.*, 1962, vol. 1, no. 22, pp. 29–41.

Lagunov, I.I., On the fishing of the Japanese in the northern Kuril Islands, in *Voprosy istorii rybnoy promyshlennosti Kamchatki* (Issues of the history of the fishing industry in Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU, 2004, no. 7, pp. 124–136.

Marchenko, S.L., Pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Salmoniformes, Salmonidae) on the continental coast of the Okhotsk Sea. Communication 1. The spawners, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 741–773. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-741-773

Marchenko, S.L., Features of biology and population structure of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) from the northern coast of the Sea of Okhotsk, *Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2004.

Naydenko, S.V., Implication of pacific salmon in trophic structure of the upper epipelagic layer in the western bering sea in summer-autumn of 2002–2006, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 151, pp. 214–239.

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

Naydenko, S.V. and Temnykh, O.S., The survival of pacific salmon in the North Pacific in the winter and spring, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 7, pp. 527–550. doi 10.1134/S1063074016070087

Pushkareva, N.F., The state of stocks of Primorsky pink salmon and ways to increase its numbers, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 106, pp. 106–113.

Radchenko, V.I., Kantakov, G.A., Shubin, A.O., Stominok, D.Yu., Fefilov, Yu.V., Malakhova, Yu.A., and Dolgikh, M.G., Ichthyocenes and physical conditions of the upper epipelagic zone of the shelf of southeastern Sakhalin in the period after the downstream migration of juvenile salmon, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 4, pp. 70–92.

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

Sviridov, V.V., Temnykh, O.S., Zavolotkin, A.V., Panchenko, E.A., and Putivkin, S.V., Interannual dynamics in Anadyr River chum salmon biological characteristics and scale parameters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 139, pp. 61–77.

Semko, R.S., Stocks of West Kamchatka salmon and their commercial use, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 41, pp. 3–109.

Temnykh, O.S., Asian pink salmon in the marine period of life: biology, spatial differentiation, place and role in pelagic communities, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2004.

Temnykh, O.S., Growth of primorsky pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* during periods of high and low abundance, *Vopr. Ikhtiol.*, 1999, vol. 39, no. 2, pp. 219–223.

Temnykh, O.S., Glebov, I.I., Naydenko, S.V., Starovoytov, A.N., Efimkin, A.Ya., Sviridov, V.V., Rassadnikov, O.A., and Kuznetsova, N.A., Contemporary status of Pacific salmon in the pelagic communities of the Far Eastern Seas, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 137, pp. 28–44.

Temnykh, O.S., Golovanov, I.S., and Marchenko, S.L., Features of the pink salmon growth in relation with abundance of the Okhotsk Sea stock, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 893–903.

Temnykh, O.S., Melnikov, I.V., and Vaitukevich, D.V., Survey of pink salmon fingerlings in the Sea of Okhotsk and perspectives of the fishing season in 2002, *Rybn. Khoz.*, 2002, no. 2, pp. 31–32.

Temnykh, O.S. and Kurenkova, E.V., Distinctive features of preanadromous and postcatadromous migrations of pink salmon in the western Bering Sea in 2002–2006, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 151, pp. 96–114.

Temnykh, O.S., Starovoytov, A.N., Glebov, I.I., Merzlyakov, A.Yu., and Sviridov, V.V., Pacific salmon in the epipelagic fish communities of the south Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 132, pp. 112–153.

Uglova, T.Yu., Biology, structure of spawning approaches and fisheries for pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) Iturup (South Kuril Islands), *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 2020.

Khovanskaya, L.L., Water temperature influence on growth and development of young pacific salmon at the salmon hatcheries of Magadan Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 150, pp. 328–351.

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

Shevlyakov, E.A. and Dederer, N.A., The dynamics of the abundance and intrapopulation structure of pink salmon at the western and northeastern coasts of Kamchatka, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2022, vol. 48, no. 7, pp. 555–568. doi 10.1134/s1063074022070124

Shevlyakov, E.A., Dederer, N.A., Ostrovsky, V.I., and Khen, G.V., Thermal conditions in marine coastal waters as a favorable factor for formation of extremely strong year classes of Karaginsky Bay pink salmon, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2024, vol. 50, no. 7, pp. 486–496. doi 10.1134/S106307402470041X

Shevlyakov, E.A. and Ostrovsky, V.I., Century-long dynamics of stocks and average body weight of pacific salmon in the Russian Far East through the prism of climate cycles and trends, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 2, pp. 199–222. doi 10.26428/1606-9919-2025-205-199-222. EDN: BZQPIL.

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

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., Volvenko, I.V., Temnykh, O.S., Volkov, A.F., Zavolokin, A.V., Naydenko, S.V., and Dolganova, N.T., To substantiation of carrying capacity of the Far-Eastern Seas and Subarctic Pacific for pacific salmon pasturing. Report 1. Feeding grounds of pacific salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 160, pp. 149–184.

Shuntov, V.P., Temnykh, O.S., Naydenko, S.V., Zavolokin, A.V., Dolganova, N.T., Volkov, A.F., and Volvenko, I.V., To substantiation of carrying capacity of the Far-Eastern Seas and Subarctic Pacific for pacific salmon pasturing. Report 4. Effect of density-dependent interactions on pacific salmon food supply and role of the salmon in consumption of nekton's forage base, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 161, pp. 25–52.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Study of the ecology of pink salmon at different stages of the life cycle in connection with forecasting catches and managing its resources and fisheries, in *Byull. N 5 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. no. 5 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2010, pp. 226–242.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, vol. 1.

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

Bigler, B.S., Welch, D.W., and Helle, J.H., A review of size trends among North Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1996, vol. 53, no. 2, pp. 455–465.

Chaddock, R.E., *Principles and methods of statistics*, Boston; New York; Chicago; San Francisco: Houghton Mifflin Company, 1925.

Clark, F.N., The weight-length relationship of the California Sardine (*Sardina caerulea*) at San Pedro, *Fish. Bull.*, 1928, no. 12, pp. 5–59.

Helle, J.H., Martinson, E.C., Eggers, D.M., and Gritsenko, O., Influence of salmon abundance and ocean conditions on body size of Pacific salmon, *NPAFC Bull.*, 2007, no. 4, pp. 289–298.

Ishida, Y., Ito, S., Kaeriyama, M., McKinnell, S., and Nagasawa, K., Resent changes in age and size of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and possible causes, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1993, vol. 50, no. 2, pp. 290–295. doi 10.1139/f93-033

Kaeriyama, M., Dynamics of chum salmon, *Oncorhynchus keta*, population released from Hokkaido, Japan, *NPAFC Bull.*, 1998, no. 1, pp. 90–102.

Kaeriyama, M., Evolution of Carrying Capacity of Pacific Salmons in the North Pacific Ocean for Ecosystem-Based Sustainable Conservation Management, *Bull. NPAFC Techn. Rep.*, 2003, no. 5, pp. 1–4.

Kanzeparova, A.N., Naydenko, S.V., Shevlyakov, V.A., Lysenko, A.V., Batanov, R.L., Bugaev, A.V., Kaev, A.M., Khovanskaya, L.L., and Kozlova, T.V., Biostatistical information on salmon catches, escapement and enhancement production in Russia in 2024, *NPAFC Doc.*, 2025, no. 2226.

Ricker, W.E., Bilton, H.T., and Aro, K.V., Causes of the decrease in size of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*), *Tech. Rep. Fish. Mar. Serv. Can.*, 1978, no. 820.

Welch, D.W. and Morris, J.F.T., Evidence for Density-Depended Marine Growth in British Columbia Pink Salmon Population, *NPAFC Doc.*, 1994, no. 97.

NPAFC Statistics: Pacific Salmonid Catch and Hatchery Release Data. <https://www.npafc.org/statistics/>. Cited September, 30, 2025.

<http://vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/lososevaya-putina>. Cited September, 30, 2025.

<https://www.npafc.org/statistics/>. Cited September, 30, 2025.

Поступила в редакцию 22.10.2025 г.

После доработки 26.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 22.10.2025; approved after reviewing 26.11.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

Научная статья

УДК 597.552.511(282.257.58)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-625-640

EDN: KYRFJF



НОВЫЕ ДАННЫЕ О СИМЕ *ONCORHYNCHUS MASOU* (SALMONIDAE) ИЗ БАССЕЙНА ДАЧИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

В.В. Цыгир, Е.И. Барабанщиков, М.Е. Шаповалов*

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

Аннотация. В Дачинском водохранилище в бассейне р. Уссури (правый приток первого порядка р. Амур) в 2012 г. обнаружена жилая сима *Oncorhynchus masou*. Однако исследование выловленных особей в полевых условиях не было достаточно полным, поэтому после анализа рыбы были зафиксированы в формалине для лабораторного изучения. Приводятся новые результаты измерений размеров рыб, определения пола, стадий зрелости гонад, оценки возраста и другие данные по симе Дачинского водохранилища.

Ключевые слова: сима *Oncorhynchus masou*, озерная форма, изображение чешуи, возраст, питание

Для цитирования: Цыгир В.В., Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Новые данные о симе *Oncorhynchus masou* (Salmonidae) из бассейна Дачинского водохранилища (Приморский край) // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 625–640. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-625-640. EDN: KYRFJF.

Original article

New data on masu salmon *Oncorhynchus masou* (Salmonidae) from the Dachinskoye reservoir (Primorye Region)

Victor V. Tsygir*, Evgeny I. Barabanshchikov**, Maksim E. Shapovalov***

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

* chief specialist, victor.tsygir@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-1375-586X

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

*** Ph.D., leading researcher, maksim.shapovalov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-1172-1765

Abstract. Landlocked masu salmon *Oncorhynchus masou* were found in the Dachinskoye Reservoir in the Ussuri River basin (the right tributary of the Amur) in 2012. Results of laboratory analysis of the samples fixed in formaldehyde solution are presented, including the data on fish size, age, sex, and stage of gonad maturity. Concepts of landlocked and migratory

* Цыгир Виктор Валентинович, главный специалист, victor.tsygir@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-1375-586X; Барабанщиков Евгений Иванович, кандидат биологических наук, ведущий лабораторией, evgenii.barabanshchikov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2609-7555; Шаповалов Максим Евгеньевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, maksim.shapovalov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-1172-1765.

© Цыгир В.В., Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е., 2025

forms of masu salmon are overviewed briefly, all known cases of masu salmon habitation in the reservoirs of Primorye are considered.

Keywords: masu salmon, *Oncorhynchus masou*, lacustrine form, fish scale, fish age, fish feeding

For citation: Tsygir V.V., Barabanshchikov E.I., Shapovalov M.E. New data on masu salmon *Oncorhynchus masou* (Salmonidae) from the Dachinskoye reservoir (Primorye Region), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 625–640. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-625-640. EDN: KYRFJF.

Введение

В пределах естественного ареала воспроизводства сима *Oncorhynchus masou* (Brevoort, 1856) образует морскую проходную (мигрирующую в море; sea-run form) и жилые (обитающие только в пресных водных объектах) формы. Наибольшую численность в водоемах России имеет морская проходная форма*. Самки и часть самцов сими этой формы после 1–3 зимовок в реках мигрируют в море, где они живут, как правило, одну зиму. После роста в море и созревания производители морской проходной формы сими мигрируют в родные реки для нереста, который происходит в конце лета — осенью.

Часть самцов из потомства морской проходной формы созревает в реках на стадии пестрятки и никогда не мигрирует в море. Таких самцов сими называют карликовыми [Берг, 1926], неотеническими [Иванков, Броневский, 1978], скороспелыми (precocious) и остаточными (resident) [Utoh, 1976, 1977]. Они могут нереститься вместе с производителями морской проходной формы.

Жилые самовоспроизводящиеся формы сими (пресноводные, не выходящие в море) могут быть разделены на озерную и речную формы. Жизненный цикл сими таких форм происходит только в пресной воде. Озерная форма обитает в бассейнах озер и водохранилищ. Сима озерной формы в результате роста в них приобретает пелагическую серебристую окраску. Для таких рыб озеро (водохранилище) как биотоп в значительной степени подобно морю. Озерная форма сими известна в основном из озер и водохранилищ Японии [Osanaï, 1962; Tamate, Maekawa, 2000; Yamaguchi et al., 2000; Morita, 2018a]. Нерест этой формы сими происходит в реках, куда производители поднимаются от мест нагула вверх по течению. Поэтому многие авторы называют ее озерной проходной формой (lake-run form) [Tamate, Maekawa, 2000; Yamaguchi et al., 2000; и др.].

В некоторых реках на юге Японии есть самовоспроизводящиеся популяции речной формы сими, где как самцы, так и самки созревают на стадии пестрятки в реках [Kimura, 1972, 1989; Morita et al., 2018]. Южной границей естественного распространения речной формы сими является о. Тайвань [Behnke, 1959; Behnke et al., 1962; Золотухин, 2017; Morita, 2018b].

Морская проходная форма сими размножается в реках азиатского побережья от п-ова Корея до материкового побережья Охотского моря севернее р. Амур; в реках Камчатки, Хоккайдо, Хонсю, Сахалина и южных Курильских островов. Информация по ареалу естественного воспроизводства сими с картами-схемами ее распространения приводится в научных обзорах [Morita, 2018a; Марченко и др., 2024].

В Приморском крае об образовании пресноводных самовоспроизводящихся популяций сими в бассейнах двух водохранилищ — Седанкинского и Артемовского, расположенных на реках Пионерская (Седанка) и Артемовка**, известно из литературных источников [Моисеев, 1957; Акулин и др., 1984; Цыгир, Иванков, 1987; Цыгир, 1990].

В бассейнах этих водохранилищ популяции жилой сими сформировались из молоди проходной формы сими естественного воспроизводства, производители которой

* Терминология авторов настоящей работы о формах сими не совпадает с терминологией в публикации С.Л. Марченко [2023].

** До 1972 г. р. Артемовка называлась Майхэ.

до строительства плотин на реках мигрировали в реки из моря и поднимались к местам нереста (нерестилищам), которые располагались выше (по течению) мест возведения плотин. После строительства плотин миграция молоди сими (смолтов) с участков рек, расположенных выше водохранилищ, в море оказалась невозможна. В итоге молодь сими стала вынужденно обитать в водохранилищах, где она росла и созревала. В результате роста молоди сими в водохранилищах особи достигали половой зрелости (становились производителями), мигрировали из водохранилищ во впадающие в них реки вверх по течению в поисках нерестилищ и нереста в подходящих местах.

После строительства плотин на трех других реках Приморского края: Кучелинова Падь, сокращенно р. Кучелинова (1960 г.*), Петровка (1978 г.***) и Волчанка (1983 г.***)) — на этих реках также были образованы водохранилища. После этого в реках выше мест впадения в водохранилища были случаи нереста сими, выросшей в них. В результате в реках бассейнов этих трех водохранилищ обитали пестрятки сими (молодь и половозрелые самцы). Однако впоследствии воспроизводство сими выше плотин прекратилось, и сима исчезла из этих водоемов (неопубликованные данные В.В. Цыгира).

Из этого следует, что долговременно самовоспроизводящиеся пресноводные популяции сими формировались не во всех случаях после строительства плотин и образования водохранилищ в реках, где воспроизводилась проходная сима.

В июле 1987 г. сотрудниками лаборатории экологии и воспроизводства лососей ТИНРО была организована экспериментальная перевозка молоди сими в возрасте 0+ из Рязановского экспериментально-производственного лососевого рыбозаводного завода (Рязановского ЭПЛРЗ) и ее выпуск в р. Кучелинова на участке выше места впадения реки в Кучелиновское водохранилище. После этого воспроизводство сими в бассейне Кучелиновского водохранилища на период подготовки данной публикации (2025 г.) сохранилось и продолжается.

Дачинское водохранилище расположено в бассейне р. Уссури (правый приток первого порядка р. Амур), в районе, где воспроизводства сими, по имеющимся у авторов данным, в обозримом прошлом не было (рис. 1). Поэтому озерная сима в нем не могла вырасти из молоди проходной формы естественного воспроизводства. В 2008 г. молодь сими в это водохранилище была завезена из Рязановского ЭПЛРЗ [Барабанщиков, Шаповалов, 2015].

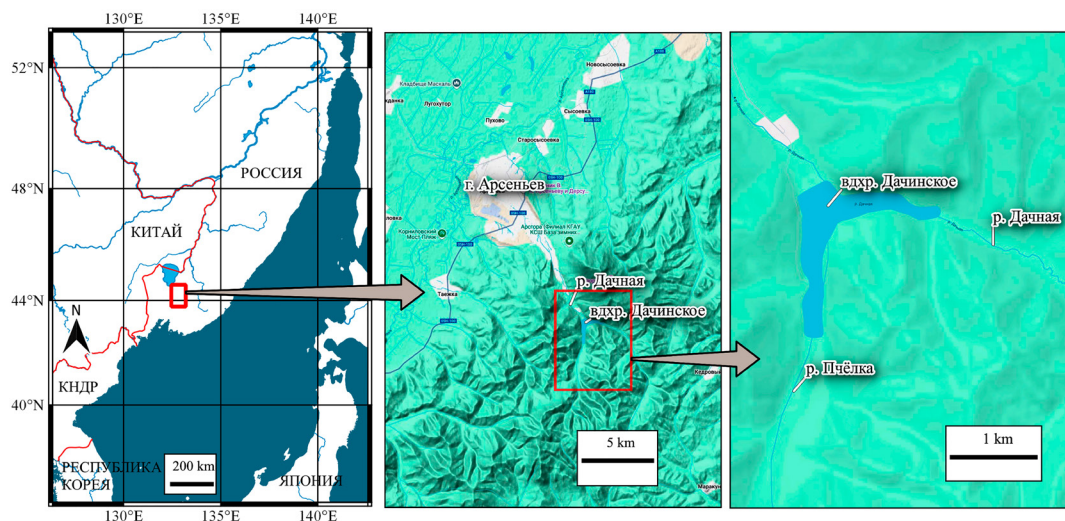


Рис. 1. Карта-схема расположения Дачинского водохранилища

Fig. 1. Scheme of the Dachinskoye Reservoir location

* Год окончания строительства плотины.

** Введена в действие 1-я очередь строительства плотины на р. Петровка.

*** Введена в действие 1-я очередь строительства плотины на р. Волчанка.

В августе и октябре 2012 г. в Дачинском водохранилище сотрудниками ТИНРО была обнаружена жилая сима *Oncorhynchus masou* и отловлено 9 особей [Барабанщиков, Шаповалов, 2015]. Основное исследование выловленных особей в силу технических причин в полевых условиях не было достаточно полным и было оставлено для лабораторных условий.

В связи с этим целью настоящей работы было проведение дополнительного исследования и анализа полученных данных по симе из Дачинского водохранилища, включая результаты измерений размеров, определения пола и стадий зрелости гонад рыб; изучение регистрирующих структур, оценки возраста симы и соотнесение их с возможным возрастным составом; описание питания и темпа роста, экстерьера рыб, указание возможных мест и сроков нереста.

Материалы и методы

Все девять экземпляров симы, выловленные в Дачинском водохранилище в 2012 г., после поимки и измерений были зафиксированы в 10 %-ном растворе формалина. В 2025 г. каждая рыба после отмачивания в воде была измерена* и взвешена повторно. У рыб были взяты образцы чешуи по возможности в стандартном месте — между спинным и жировым плавниками, в так называемой зоне «А» (преимущественно выше боковой линии) [MacLellan, 1987, 2004]. Место сбора обусловлено тем, что чешуя на теле молоди тихоокеанских лососей закладывается в зоне «А» раньше других мест, поэтому собранная здесь чешуя имеет наибольшее количество склеритов [Clutter, Whitesel, 1956], а также, вероятно, и наибольший радиус.

В случае, если чешуя отсутствовала в необходимом месте, ее брали в наиболее близко расположенных к зоне «А» местах, после чего отмывали от кожи и загрязнений. Затем изучали под бинокулярами МБС-10 (производство СССР) и RF4 (7–50×) (производство КНР), отбирали образцы с невосстановленными центрами, по возможности наиболее крупные и «правильной» формы. Из отобранных чешуй изготовили препараты на предметных стеклах и получили их изображения с помощью видеокамеры (Mіchrome 20: производитель «Tucsen», КНР), установленной на микроскоп-тринокуляр (AmScore Doctor Veterinary Clinic Microscope, производство КНР).

Кроме чешуи, сделана попытка извлечь и изучить отолиды всех рыб. Однако из-за многолетнего нахождения рыб в растворе формалина их отолиды частично или полностью разрушились и стали непригодными для определения возраста.

Результаты и их обсуждение

После проведения дополнительных лабораторных исследований симы Дачинского водохранилища получены уточненные и новые данные (табл. 1).

Длина и масса тела. Средняя длина тела трех самцов при поимке (кроме самца-пестрятки длиной 100 мм) составила 288 ± 19 мм (варьировала от 253 до 330 мм), масса тела — 385 ± 82 г (236–560 г). Средняя длина тела пяти самок при поимке составила 311 ± 6 мм, масса тела — 348 ± 23 г (285–415 г) (табл. 1).

Стадия зрелости гонад. Самец симы длиной тела 100 мм в возрасте 0+ имел нитевидные гонады (массой около 1 мг; II стадия зрелости гонад**) и мог стать половозрелым не ранее чем в следующем году после поимки (в 2013 г. или позже).

Три самца в возрасте 1+ (№ 1–3), отловленные в водохранилище в августе 2012 г., были половозрелыми. Гонады их находились на IV стадии зрелости. Их масса (после фиксации) варьировала в пределах 22–44 г, GSI — от 9,6 до 10,4 % (табл. 1).

* В работе во всех случаях приводится длина тела рыб по Смитту (АС, или Fork length (FL)).

** Стадии зрелости гонад определяли визуально по методике И.Ф. Правдина [1966].

Таблица 1

Биологические показатели 9 экз. симы из Дачинского водохранилища

Table 1

Biological indices of masu salmon from the Dachinskoye Reservoir

Показатель	Самцы, порядковый номер				Самки, порядковый номер				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FL при поимке, мм	330	253	280	100	300	333	308	315	297
FL после фиксации, мм	322	249	277	100	287	321	290	306	280
FL после фиксации, % от FL при поимке	98	98	99	100	96	96	94	97	94
Масса тела при поимке, г	560	236	360	11,2	396	415	328	316	285
Масса тела после фиксации, г	457	207	327	9,7	353	394	292	294	256
Масса после фиксации, % от массы при поимке	82	88	91	87	89	95	89	93	90
Пол, стадия зрелости гонад	♂ IV	♂ IV	♂ IV	♂ II	♀ II	♀ II	♀ II	♀ II	♀ II
Масса гонад после фиксации, г	43,88	21,61	32,57	≈ 1 мг	1,82	3,72	2,82	3,13	3,23
Гонадосоматический индекс (GSI), %	9,60	10,44	9,96	0,01	0,52	0,94	0,97	1,06	1,26
Возраст	1+	1+	1+	0+	0+.1+ ?	0+.1+ ?	1+	0+.1+ ?	1+
Изображение чешуи (рис. 2)	б	г	в	а	ж	з	д	и	е
Изображение рыбы (рис. 3)	б	в	г	а	д	—	е	ж	—
Дата поимки, 2012 г.	12.08	12.08	10.08	19.10	11.08	19.10	19.10	19.10	19.10

Примечание. «?» — предположительный возраст.

Все отловленные пять самок симы были неполовозрелыми. Их гонады находились на II стадии зрелости. Масса гонад самок (после фиксации) варьировала в пределах 1,8–3,7 г, GSI — от 0,5 до 1,3 % (табл. 1). Самки симы могли стать половозрелыми не ранее, чем на следующий год после поимки (в 2013 г. или позже).

Возраст. Определение возраста шести (из девяти) экземпляров симы не вызывает сомнений. Экземпляр молоди симы (пестрятка) с наименьшей длиной тела 100 мм оказался неполовозрелым самцом (стадия зрелости гонад — II) и была сеголеткой (возраст 0+). Изображение ее чешуи приводится на рис. 2 (а), изображение рыбы — на рис. 3 (а).

Все другие рыбы (№ 1–3 и 5–9, табл. 1) были значительно крупнее, длина их тела варьировала от 253 до 333 мм. Судя по структуре чешуи, они прожили в бассейне водохранилища не менее одной зимы.

В центре чешуи всех особей симы, выловленных в 2012 г. в Дачинском водохранилище, наблюдается «речная» зона. На рис. 2 наружные границы «речных» зон у экземпляров № 2–9 обозначены ближайшими к центру стрелками. На чешуе пяти особей после «речной» зоны имеется значительный прирост последнего года жизни в водохранилище (№ 1–3, 7, 9). Соответственно, рыбы с такой чешуей прожили в бассейне водохранилища (в реке или непосредственно в водохранилище) только одну зиму и были двухлетками, общий их возраст 1+ (рис. 2, б–е). Сомнений в определении возраста этих рыб у авторов настоящей публикации нет.

Наиболее вероятный вариант трактовки такой структуры чешуи состоит в том, что рыбы с подобной чешуей провели одну зиму в реке, после чего мигрировали в водохранилище, где быстро росли. Возраст таких рыб с разделением на речной и «озерный»*

* Период жизни в водохранилище.

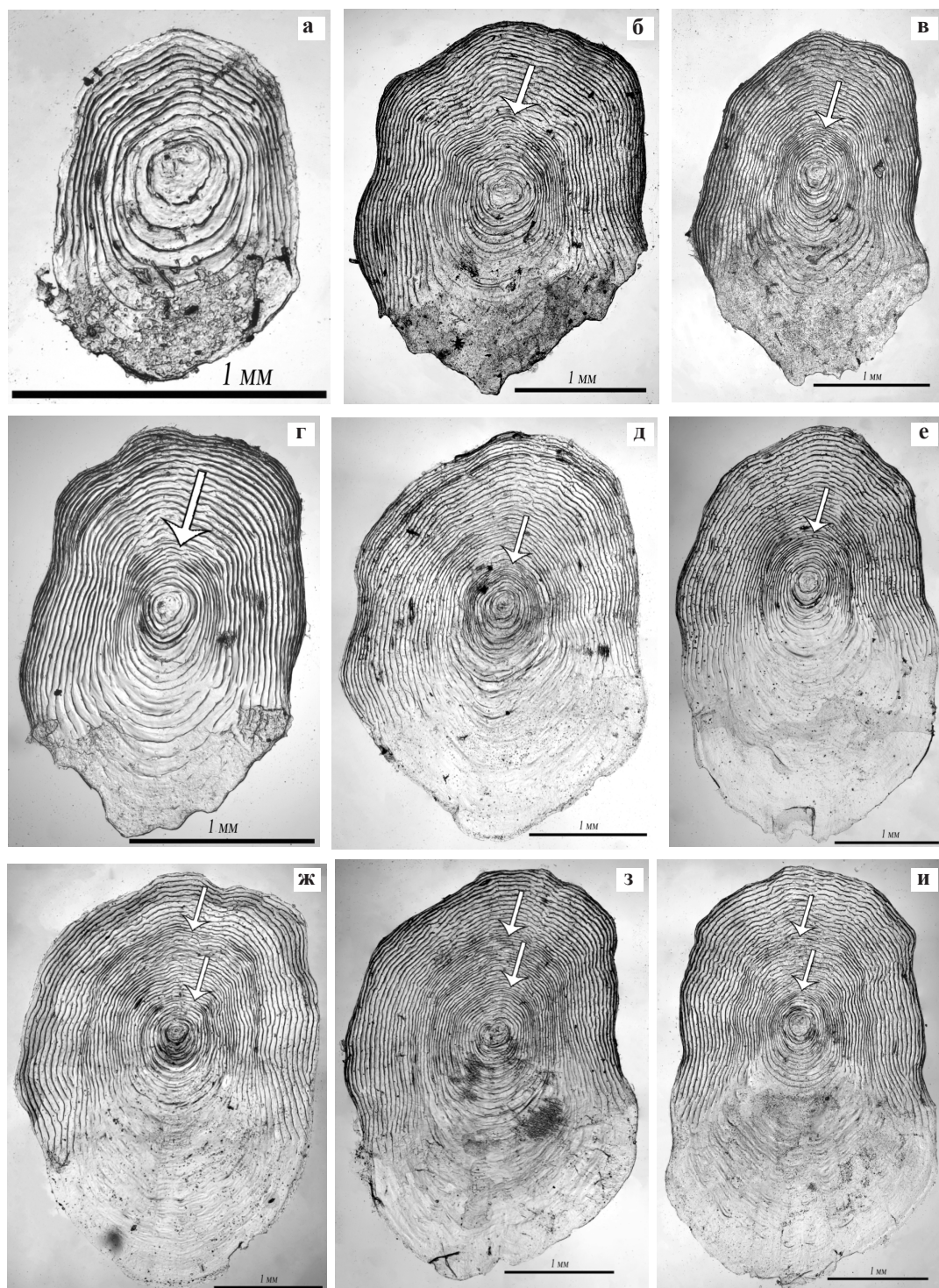


Рис. 2. Изображения чешуи симы из Дачинского водохранилища: **а** — чешуя пестрятки симы длиной тела 100 мм в возрасте 0+ (экз. № 4); **б** — чешуя самца симы длиной тела 330 мм в возрасте 1+ (экз. № 1), *стрелка* указывает на границу 1-й годовой зоны роста; **в** — чешуя самца симы длиной тела 280 мм в возрасте 1+ (экз. № 3), *стрелка* указывает на границу 1-й годовой зоны; **г** — чешуя самца симы длиной тела 253 мм в возрасте 1+ (экз. № 2), *стрелка* указывает на границу 1-й годовой зоны роста; **д** — чешуя самки симы длиной тела 308 мм в возрасте 1+ (экз. № 7), *стрелка* указывает на вероятную границу 1-й годовой зоны роста; **е** — чешуя самки симы длиной тела 297 мм в возрасте 1+ (экз. № 9), *стрелка* указывает на вероятную границу

периоды жизни можно обозначить как 1.0+, где цифра до точки — количество зимовок в реке, цифра после точки — в водохранилище. Данные образцы чешуи симы и размеры соответствующих рыб свидетельствуют о том, что они росли в водохранилище сравнительно быстро.

Чешуя трех особей симы (№ 5, 6, 8) имеет несколько зон роста, две из которых предположительно могут соответствовать двум годовым зонам. На рис. 2 (ж–и) границы таких двух зон обозначены двумя соответствующими стрелками. Если вторые от центра (по направлению к наружному краю чешуи) стрелки на этих рисунках соответствуют границам вторых годовых зон роста, то рыбы с такой чешуей прожили в бассейне водохранилища (в реке и/или в водохранилище) две зимы и являются трехлетками (их общий возраст 2+).

Однако известно, что молодь жилой симы в бассейнах водохранилищ может мигрировать из рек в водохранилище не только после зимовки в реках, годовиками и двухлетками (в возрасте 1–1+), но и осенью сеголетками в возрасте 0+.

Для Дачинского водохранилища это подтверждается поимкой сеголетки симы в водохранилище в октябре 2012 г. (№ 5). Также известно, что скорость образования склеритов на чешуе жилой симы в соответствии с темпом роста рыб в водохранилище больше, чем в реке [Цыгир, Иванков, 1987; Цыгир, 1990; неопубл. данные В.В. Цыгира].

Поэтому в случае миграции из реки в водохранилище молоди симы сеголетками (в возрасте 0+) возраст рыб с чешуей, представленной на рис. 2 (ж–и), может быть оценен как 0+.1+. В результате общий возраст соответствующих экземпляров симы (без разделения на речной и озерный периоды), несмотря на наличие нескольких зон на чешуе, соответствует возрасту 1+ (вместо 2+).

В соответствии с указанным выше возрастным составом симы и возможными годами ее нереста (2010 и 2011) (табл. 2) существования в 2012 г. рыб этого вида в возрасте 2+ в бассейне водохранилища не предполагается.

Внешний вид симы в водохранилище. Несмотря на один и тот же возраст половозрелых самцов симы (1+), они имели различный экстерьер. Самцы № 1 и 3 выглядели подобно мелким проходным самцам, парр-полосы (parr-marks) на их теле были незаметны (рис. 3, б, г). Судя по внешнему виду, эти самцы во время обитания в водохранилище прошли в своем развитии стадию «серебрянки».

Самцы № 1 и 3 не имели значительных преднерестовых изменений, присущих крупно- и среднеразмерным самцам проходной симы. По внешнему виду они были

1-й годовой зоны роста; ж — чешуя самки симы длиной тела 300 мм (экз. № 5), ближняя к центру *стрелка* указывает на границу «речной» зоны, вторая от центра *стрелка* указывает на вероятную границу годовой зоны роста; з — чешуя самки симы длиной тела 333 мм (экз. № 6), ближняя к центру *стрелка* указывает на границу «речной» зоны, вторая от центра — на вероятную границу годовой зоны роста; и — чешуя самки симы длиной тела 315 мм (экз. № 8), ближняя к центру *стрелка* указывает на границу «речной» зоны, вторая от центра — на вероятную границу годовой зоны роста

Fig. 2. Scales of masu salmon from the Dachinskoye Reservoir: а — scale of parr at age 0+ (specimen № 4, FL 100 mm); б — scale of male at age 1+ (specimen № 1, FL 330 mm), *arrow* indicates the boundary of the 1st annual growth zone; в — scale of male at age 1+ (specimen № 3, FL 280 mm), *arrow* indicates the boundary of the 1st annual growth zone; г — scales of male at age 1+ (specimen № 2, FL 253 mm), *arrow* indicates the boundary of the 1st annual growth zone; д — scale of female at age 1+ (specimen № 7, FL 308 mm), *arrow* indicates the probable boundary of the 1st annual growth zone; е — scale of female at age 1+ (specimen № 9, FL 297 mm), *arrow* indicates the probable boundary of the 1st annual growth zone; ж — scale of female with FL 300 mm (specimen № 5), the *arrow* closest to the center indicates the boundary of «river» zone, the *arrow* second from the center indicates the probable boundary of the annual growth zone; з — scale of female with FL 333 mm (specimen № 6), closest to the center *arrow* indicates on boundary of «river» zone, the second from the center *arrow* indicates on probable boundary of the annual growth zone; и — scale of masu salmon female (FL = 315 mm, specimen № 8), closest to the center *arrow* indicates on boundary of «river» zone, the second from the center *arrow* indicates on probable boundary of the annual growth zone



Рис. 3.
Fig. 3.



Рис. 3. Изображения особей симы из Дачинского водохранилища: **а** — пестрятка симы, самец длиной тела 100 мм, возраст 0+, поимка 19.10.2012 (№ 4); **б** — самец симы длиной тела 330 мм, возраст 1+, поимка 12.08.2012 (№ 1); **в** — самец симы длиной тела 253 мм, возраст 1+, дата поимки 12.08.2012 (№ 2); **г** — самец симы длиной тела 280 мм, возраст 1+, поимка 10.08.2012 (№ 3); **д** — самка симы длиной тела 300 мм, поимка 11.08.2012 (№ 5)*; **е** — самка симы длиной тела 308 мм, возраст 1+, дата поимки 19.10.2012 (№ 7); **ж** — самка длиной тела 315 мм, дата поимки 19.10.2012 (№ 8)

Fig. 3. Masu salmon specimens from the Dachinskoye Reservoir: **a** — parr male caught on October 19, 2012, FL 100 mm, age 0+ (№ 4); **б** — male caught on August 12, 2012, FL 330 mm, age 1+ (№ 1); **в** — male caught on August 12, 2012, FL 253 mm, age 1+ (№ 2); **г** — male caught on August 10, 2012, FL 280 mm, age 1+ (№ 3); **д** — female caught on August 11, 2012, FL 300 mm (№ 5); **е** — female caught on October 19, 2012, FL 308 mm, age 1+ (№ 7); **ж** — female caught on October 19, 2012, FL 315 mm (№ 8)

* В предыдущем исследовании симы Дачинского водохранилища данная рыба была ошибочно определена как преднерестовый самец, имеющий гонады на IV стадии зрелости (верхнее фото на рис. 8 в публикации Е.И. Барабанщикова, М.Е. Шаповалова [2015]). Повторное исследование данного экземпляра (фиксированного в 10 %-ном формалине) в апреле 2025 г. показало, что данная рыба является самкой с гонадами на II стадии зрелости.

Таблица 2
Возможный возрастной состав сими в бассейне Дачинского водохранилища в 2008–2012 гг.
Table 2
Possible age composition of masu salmon in the Dachinskoye Reservoir basin in 2008–2012

Год	События	Возраст сими	Возраст рыб от нереста 2010 г.	Возраст рыб от нереста 2011 г.
2008	Выпуск молоди	0+		
2009	Нагул молоди в водохранилище; созревание самцов	1+		
2010	Созревание самок и самцов, 1-й нерест в реке	2+		
2011	Созревание самок и самцов, 2-й нерест в реке	3+	0+	
2012	Нагул молоди в водохранилище; созревание самцов		1+	0+

похожи на «джеков» — мелких проходных самцов сими, которые прожили в море несколько месяцев (без зимовки) и вернулись в реки половозрелыми в год их миграции из рек в море [Tsiger et al., 1994]. Вероятно, данное сходство объясняется одинаковыми размерами половозрелых самцов из водохранилища и «джеков» проходной сими.

Экземпляр № 2 имел хорошо заметные парр-полосы (parр-marks) и внешне был очень похож на карликового (речного) самца (рис. 3, в). Во время обитания в водохранилище этот самец в значительной степени сохранил речную окраску.

Пойманные в августе и октябре 2012 г. пять самок сими были неполовозрелыми и имели серебристую окраску (рис. 3, д–ж). После опадания чешуи у некоторых образцов стали заметны остаточные парр-полосы (parр-marks) (рис. 3, д, е).

Питание сими в водохранилище. Данные о содержимом желудков сими представлены в табл. 3. В желудке пестрятки сими длиной 100 мм находились остатки

Таблица 3
Содержимое желудков сими из Дачинского водохранилища в 2012 г.
Table 3
Stomach content of masu salmon from the Dachinskoye Reservoir in 2012

Номер рыб	Пол	Содержимое желудков
1	Самцы	0
2		Полупереваренные остатки рыбы
3		0
4		Воздушные и водные беспозвоночные: 1. <i>Palamon modestus</i> (Heller, 1862) (сем. Palaemonidae). 2. Остатки брюхоногого моллюска Gastropoda. 3. Остатки Chironomidae (larvae). 4. Остатки Ephemeroptera (larvae). 5. Остатки Plecoptera (larvae). 6. Остатки Diptera сем. Limoniidae (larvae). 7. Остатки имаго стрекоз сем. Coenagrionidae
5	Самки	Переваренные остатки рыбы
6		1. 1 экз. голяня длиной ≈ 75 мм (р. Rhynchocypris) (сем. Leuciscidae). 2. Личинка поденки <i>Ephemera sachalinensis</i> Matsumura, 1911 (сем. Ephemeridae)
7		0
8		0
9		Воздушные беспозвоночные: 1. Жуки божьи коровки <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773) (сем. Coccinellidae), имаго. 2. Остатки имаго Diptera. 3. Остатки имаго равнокрылой стрекозы лютки р. Lestes (сем. Lestidae). 4. Остатки Lepidoptera (larvae). 5. Остатки имаго листоеда <i>Plagysterna aenea</i> (Linnaeus, 1758) (сем. Chrysomelidae). 6. Остатки имаго листоеда <i>Chrysolina virgata</i> (Motschulsky, 1860) (сем. Chrysomelidae)

Примечание. «0» — пустой желудок.

воздушных и водных беспозвоночных (№ 4). Желудки двух половозрелых самцов были пустыми (№ 1 и 3), в желудке одного самца (№ 2) находились полупереваренные остатки рыбы. Желудки двух самок (№ 7, 8) были пустыми. В желудке одной самки (№ 6) была полупереваренная рыба (гольян длиной около 75 мм) и личинка поденки, в желудке другой самки (№ 9) — воздушные беспозвоночные (жуки сем. Coccinellidae и др.).

Вероятно, после миграции из реки, в которой происходил нерест, в Дачинское водохранилище молодь сими там питается водными беспозвоночными, а по мере роста переходит на питание рыбой, которое отмечено для сими в Артемовском и Седанкинском водохранилищах. В Артемовском водохранилище летом сима обычно питалась голями [Цыгир, Иванков, 1987], а в Седанкинском (осенью) — молодью бычка [Цыгир, 1990]. Кроме того, в бассейне Артемовского водохранилища отдельные озерные особи сими в теплое время года употребляли в пищу воздушных насекомых [Цыгир, Иванков, 1987].

Темп роста сими. Размеры сеголетки сими ($FL = 100$ мм) из Дачинского водохранилища (№ 4) обычны для молоди сими из рек южного Приморья в возрасте 0+, длина тела (FL) которых в октябре составляет 7–12 см [Иванков и др., 1984; Семенченко, 1989]. Однако самцы в возрасте 1+ из Дачинского водохранилища в августе 2012 г. имели длину тела 253–330 мм (№ 1–3), что значительно превышает известные размеры карликовых самцов проходной сими из рек Приморья как в возрасте 1+, так и в возрасте 2+ [Иванков и др., 1984; Семенченко и др., 2003]. Двухлетних самцов (в возрасте 1+) озерной сими таких размеров в бассейне Артемовского и Седанкинских водохранилищ также не отмечено [Цыгир, Иванков, 1987; Цыгир, 1990]. Неполовозрелые самки из Дачинского водохранилища в возрасте 1.0+ (№ 7, 9) имели сходные размеры с размерами самцов. Это свидетельствует о том, что отловленные в 2012 г. в Дачинском водохранилище особи сими росли быстрее, чем карликовые самцы морской проходной сими в реках и сима озерной формы в бассейнах Артемовского и Седанкинских водохранилищ Приморья.

Возможные места и сроки нереста сими в бассейне Дачинского водохранилища. Сима не нерестится в озерах и водохранилищах (нерест в них не отмечен), ее нерест происходит обязательно в реках. В Дачинское водохранилище впадают две небольшие реки — Дачная и Пчелка, — поэтому возможные места нереста сими могли (могут) располагаться только в какой-то из этих рек либо в обеих реках.

Что касается сроков нереста сими, в реках бассейна зал. Петра Великого, откуда берет происхождение доставленная в водохранилище ее молодь, он происходит обычно в третьей декаде сентября. Известны также немногочисленные случаи нереста сими в вышеуказанном районе в первой декаде октября и во второй декаде сентября. Нерест озерной формы сими в р. Солдатка, впадающей в Артемовское водохранилище, в 1980-е гг. происходил во второй половине сентября [Цыгир, Иванков, 1987]. С учетом того, что Дачинское водохранилище расположено значительно севернее рек зал. Петра Великого, возможно, нерест сими происходил в его бассейне несколько раньше — в первой половине сентября.

Исследований возможных мест нереста сими во впадающих в Дачинское водохранилище реках не производилось. Сеголетка сими (возраст 0+) была отловлена в октябре 2012 г. в районе впадения в водохранилище р. Дачной. Возможно, пойманная пестрятка сими мигрировала в водохранилище из расположенной недалеко от места поймки р. Дачной. А нерест сими, в результате которого она появилась, также происходил в р. Дачной (2011 г.), которая имеет большую протяженность из двух впадающих в водохранилище рек.

Возможные возраст производителей и годы нереста сими. Возможный возрастной состав сими в бассейне Дачинского водохранилища в 2008–2012 гг. представлен в табл. 2.

Для успешного нереста сими после ее нагула и созревания в водохранилище необходимы половозрелые самки и самцы. Для сими из рек Приморского края известны

половозрелые самцы-пестрятки в возрасте 0+ (редко)*, 1+, 2+ и 3+ (очень редко). Поэтому очевидно, что самцы симы могли быть половозрелыми в возрасте 1+ уже на следующий год (2009 г.) после выпуска молоди симы в бассейн Дачинского водохранилища. Успешность оплодотворения икры проходной симы спермой карликовых (неотенических) самцов подтверждается экспериментальными данными [Цыгир, Зайцев, 1988].

Самки морской проходной симы в Приморском крае созревают после одного года жизни в море в возрасте трех лет — 2+ (1.1+**) и четырех — 3+ (2.1+) [Цыгир, 1988]. В бассейне Артемовского водохранилища самки жилой симы созревали в возрасте 2+ и 3+, а в очень редких случаях — в возрасте 4+ [Цыгир, Иванков, 1987]. В бассейнах водохранилищ созревание самок симы происходило после их миграции из рек в водохранилище, зимовки и нагула рыб в водохранилищах в течение не менее нескольких месяцев при достижении длины тела обычно около 30 см и более. Случаи созревания самок симы в двухлетнем возрасте (1+) в бассейнах водохранилищ и в каких-либо других водоемах Приморского края неизвестны. Таким образом, минимальным (известным) возрастом созревания самок симы в водоемах Приморья является 2+. Самки и часть самцов симы в условиях водохранилищ проходят стадию «серебрянки», по мере роста рыб парр-полосы на их теле исчезают.

Молодь симы была выпущена в Дачинское водохранилище в 2008 г. [Барабанищikov, Шаповалов, 2015]. Однако информация о размерах, возрасте и количестве выпущенной молоди симы отсутствует. Наиболее вероятным представляется, что с Рязановского ЭПРЗ были доставлены сеголетки симы (0+), так как их перевозку осуществить значительно проще, чем более крупных рыб двухлетнего возраста (1+).

С учетом минимального возможного возраста созревания самок симы (2+), в случае выпуска сеголеток (0+) симы в 2008 г. первый ее нерест в какой-либо из двух рек, впадающих в Дачинское водохранилище, был возможен в 2010 г. Поимка пяти экземпляров двухлеток симы (возраст 1+) в 2012 г. подтверждает, что нерест симы в 2010 г. был, и он был успешным. Нерестовавшие в 2010 г. производители, как самки, так и самцы, могли быть только в возрасте 2+ (трехлетками). Поимка же пестрятки симы в возрасте 0+ в 2012 г. подтверждает, что успешный нерест симы был также и в 2011 г. Нерестовавшая самка (самки) симы в 2011 г. могла быть только четырехлетней (в возрасте 3+) (табл. 2). Нерестовавший самец, наиболее вероятно, был также в возрасте 3+. Однако созревание и нерест самцов в возрасте 0+ не могут быть исключены.

Если предположить, что три особи симы с несколькими зонами на чешуе (№ 5, 6, 8, см. табл. 1) прожили в бассейне водохранилища две зимы и являются трехлетками (2+), то эти рыбы должны были появиться из икры, отложенной при нересте в 2009 г. Однако в 2009 г. половозрелых самок симы (в возрасте 1+) в водохранилище еще быть не могло. Поэтому предполагается, что рыбы с несколькими зонами на чешуе — № 5, 6, 8, также как и № 1, 2, 3, 7, 9 (табл. 1), — являются двухлетками (1+). Судя по структуре чешуи, предполагается, что такие рыбы мигрировали в водохранилище сеголетками (0+) в 2011 г. и их возраст с разделением на речной и озерный (жизнь в водохранилище) периоды жизни, вероятно, соответствует обозначению 0+.1+.

Заключение

В результате проведенных лабораторных исследований чешуи установлено, что один экземпляр симы при поимке был в возрасте 0+, пять экземпляров — в возрасте 1+, а возраст трех экземпляров не определен однозначно. Предполагается, что общий

* Созревание самцов на стадии пестрятки в возрасте 0+ известно для морской проходной симы из бассейна р. Киевка [Иванков и др., 1984], р. Кедровая (персональное сообщение А.Ю. Семенченко), нескольких других рек бассейна зал. Петра Великого (неопубл. данные В.В. Цыгира), а также для жилой симы из р. Большая Седанка (бассейн Седанкинского водохранилища) [Цыгир, 1990].

** Цифра до точки соответствует количеству зим, прожитых рыбой в реке; цифра после точки — количеству зим, прожитых в морской воде.

возраст этих рыб может быть 1+ либо 2+. С учетом поимки в 2012 г. рыб в возрасте 0+ и 1+ установлено, что в бассейне Дачинского водохранилища происходил успешный нерест сими в 2010 и 2011 гг.

Отмечено, что в Дачинском водохранилище озерная сима росла быстрее, чем молодь и карликовые самцы морской проходной формы сими в реках Приморья, а также озерная сима в бассейнах Артемовского и Седанкинского водохранилищ. На основании исследований содержимого желудков выяснено, что отловленная в водохранилище в 2012 г. сима питалась разнообразными пищевыми объектами — водными и воздушными беспозвоночными, а также рыбой.

Для дальнейших наблюдений за симой в бассейне Дачинского водохранилища целесообразно провести дополнительные исследования по оценке численности и возрастному составу сими в реках и водохранилище, а также по выявлению мест нереста.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность уважаемым рецензентам за ценные и конструктивные замечания по содержанию рукописи.

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

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Информация о пойманных рыбах включена в статью. Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного журнала.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the use of animals were followed. Information on the caught fish is presented in the article. Bibliographic references to all data from other authors are formatted in accordance with the rules of the journal.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

В.В. Цыгир выполнил лабораторное исследование образцов сими из Дачинского водохранилища, собранных в 2012 г., а также их биологический анализ, подготовил препараты чешуи, сделал оценку возраста сими, проект рукописи; Е.И. Барабанщиков и М.Е. Шаповалов собрали материал в 2012 г. в Дачинском водохранилище, провели его первичное исследование, принимали активное участие в редактировании рукописи; Е.И. Барабанщиков и В.В. Цыгир произвели анализ содержимого желудков сими.

V.V. Tsygir made the laboratory analyses of the masu salmon specimens collected in the Dachinskoye Reservoir in 2012, prepared the scale preparations, estimated the age of fish, wrote the draft of the manuscript and edited it. E.I. Barabanshchikov and M.E. Shapovalov collected and processed the samples in the Dachinskoye Reservoir in 2012 and actively participated in editing the manuscript. E.I. Barabanshchikov and V.V. Tsygir analyzed the content of masu salmon stomachs.

Список литературы

Акулин В.Н., Гавренков Ю.И., Марковцев В.Г. О нахождении жилой формы сими *Oncorhynchus masu* (Brevoort) (Salmonidae) в водохранилище Артемовского гидроузла (Южное Приморье) // Вопр. ихтиол. — 1984. — Т. 24, № 5. — С. 856–859.

Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Жилая форма сима (*Oncorhynchus masou*) из бассейна р. Усури (Приморский край) // Бюл. № 10 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2015. — С. 140–146.

Берг Л.С. Карликовые самцы у рыб // Природа. — 1926. — № 8. — С. 96–100.

Золотухин С.Ф. Сима острова Тайвань // Бюл. № 12 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2017. — С. 113–116.

Иванков В.Н., Бронеvский А.М. Постларвальная неoтения у рыб // Зоол. журн. — 1978. — Т. 57, № 1. — С. 87–93.

Иванков В.Н., Падецкий С.Н., Карпенко С.Н., Лукьянов П.Е. Биология проходных рыб южного Приморья // Биология проходных рыб Дальнего Востока. — Владивосток : ДВГУ, 1984. — С. 10–36.

Марченко С.Л. Жизненные стратегии тихоокеанских лососей. Сообщение 1. Разнообразие жизненных форм // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 4. — С. 770–786. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-770-786. EDN: NQROVE.

Марченко С.Л., Подорожнюк Е.В., Кириллова Е.А. Современное распространение сима *Oncorhynchus masou* на Дальнем Востоке // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : мат-лы 8-й Междунар. науч.-техн. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2024. — С. 190–194.

Моисеев П.А. Образование жилой формы сима (*Oncorhynchus masou morpha formosanus* (Jordan et Oshima)) в бассейне реки Седанка // ДАН СССР. — 1957. — Т. 112, № 1. — С. 163–164.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. — М. : Пищ. пром-сть, 1966. — 376 с.

Семенченко А.Ю. Приморская сима : моногр. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. — 192 с.

Семенченко А.Ю., Крупяvнко Н.И., Гавренков Ю.И. Экологические формы самцов сима *Oncorhynchus masou* из бассейнов рек Приморья // Вопр. ихтиол. — 2003. — Т. 43, № 4. — С. 483–489.

Цыгир В.В. Возраст сима *Oncorhynchus masou* // Вопр. ихтиол. — 1988. — Т. 28, № 2. — С. 248–258.

Цыгир В.В. Жилая сима из бассейна Седанкиvнского водохранилища (южное Приморье) // Биология шельфовых и проходных рыб. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1990. — С. 47–52.

Цыгир В.В., Зайцев С.В. Выживаемость потомства проходных и неотенических самцов сима // Современное состояние исследований лососевидных рыб : тез. докл. 3-го Всесоюз. совещ. по лососевидным рыбам. — Тольятти : ИЭВБ АН СССР, 1988. — С. 356–358.

Цыгир В.В., Иванков В.Н. Жилая сима *Oncorhynchus masou* из бассейна Артемовского водохранилища (Приморский край) // Вопр. ихтиол. — 1987. — Т. 27, № 4. — С. 576–583.

Behnke R.J. A note on *Oncorhynchus formosanus* and *Oncorhynchus masou* // Jap. J. Ichthyol. — 1959. — Vol. 7, № 5/6. — P. 151–152.

Behnke R.J., Koh T.P., Needham P.R. Status of the Landlocked Salmonid Fishes of Formosa with a Review of *Oncorhynchus masou* (Brevoort) // Copeia. — 1962. — № 2. — P. 400–407. DOI: 10.2307/1440908.

Clutter R.I., Whitesel L.E. Collection and interpretation of sockeye salmon scales : Int. Pacif. Salmon Fish. Comm. — 1956. — Vol. 9. — 159 p.

Kimura S. On the spawning behavior of the fluvial dwarf form of masu salmon *Oncorhynchus masou* // Jap. J. Ichthyol. — 1972. — Vol. 19, № 2. — P. 111–119. DOI: 10.11369/JJI1950.19.111.

Kimura S. The Yamame, land-locked Masu salmon of Kyusyu Island, Japan // Physiol. Ecol. Jpn. Spec. — 1989. — Vol. 1. — P. 77–92.

MacLellan S.E. Guide for sampling structures used in age determination of Pacific salmon. — British Columbia, Nanaimo : Pacific Biological Station, 1987. — 27 p.

MacLellan S.E. Guide for sampling structures used in age determination of Pacific salmon. — British Columbia, Nanaimo : Pacific Biological Station, 2004. — 31 p.

Morita K. General biology of masu salmon // The Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout. — Bethesda, Maryland : American Fisheries Society, 2018a. — P. 703–730.

Morita K. Masu salmon group // The Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout. — Bethesda, Maryland : American Fisheries Society, 2018b. — P. 697–702.

Morita K., Tsuboi J.I., Sahashi G. et al. Iteroparity of stream resident masu salmon *Oncorhynchus masou* // J. Fish Biol. — 2018. — Vol. 93, № 4. — P. 750–754. DOI: 10.1111/jfb.13771.

Osanai M. Ecological Studies on the landlocked masu salmon, *Oncorhynchus masou* (Brevoort). 1. Ecological succession on the limnological conditions and feeding habit of the lake-locked form at Uryu reservoir // Sci. Rep. Hok. Fish. Hatch. — 1962. — № 17. — P. 21–29.

Tamate T., Maekawa K. Life cycle of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Shumarinai Lake, northern Hokkaido, Japan // Eurasian J. For. Res. — 2000. — Vol. 1. — P. 39–42.

Tsiger V.V., Skirin V.I., Krupyanko N.I. et al. Life history forms of male masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in South Primor'ye, Russia // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1994. — Vol. 51, № 1. — P. 197–208. DOI: 10.1139/f94-022.

Utoh H. Study of the mechanism of differentiation between the stream resident form and the seaward migratory form in masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort. I. Growth and sexual maturity of precocious masu salmon parr // Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. — 1976. — Vol. 26(4). — P. 321–326 (in Japanese).

Utoh H. Study of the mechanism of differentiation between the stream resident form and the seaward migratory form in masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort. II. Growth and sexual maturity of precocious masu salmon parr // Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. — 1977. — Vol. 28(2). — P. 66–73 (in Japanese).

Yamaguchi K., Nakamura T., Maruyama T. Age composition, sex ratio, growth, and feeding habit of native and introduced hatchery-reared lake-run masu salmon, *Oncorhynchus masou masou* in a Japanese mountain reservoir // Suisan zoshoku. — 2000. — Vol. 48, № 4. — P. 615–622 (in Japanese).

References

Akulin, V.N., Gavrenkov, Yu.I., and Markovtsev, V.G., A record of the freshwater form of *Oncorhynchus masu* (Brevoort) (Salmonidae) in the reservoir of the Artemovsk hydrosystem (southern Primor'ye), *Vopr. Ikhtiol.*, 1984, vol. 24, no. 5, pp. 856–859.

Barabanshchikov, E.I. and Shapovalov, M.E., Residential form of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) from the river basin. Ussuri (Primorsky Territory), in *Byull. N 10 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 10 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2015, pp. 140–146.

Berg, L.S., Dwarf males in fish, *Priroda*, 1926, no. 8, pp. 96–100.

Zolotukhin, S.F., Sima Island, Taiwan, in *Byull. N 12 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 12 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2017, pp. 113–116.

Ivankov, V.N. and Bronevsky, A.M., Postlarval neoteny in fishes, *Zool. Zh.*, 1978, vol. 57, no. 1, pp. 87–93.

Ivankov, V.N., Padetsky, S.N., Karpenko, S.N., and Lukyanov, P.E., Biology of anadromous fishes in southern Primorsky Krai, in *Biologiya prokhodnykh ryb Dal'nego Vostoka* (Biology of Anadromous Fishes in the Far East), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1984, pp. 10–36.

Marchenko, S.L., Life strategies of pacific salmon. Communication 1. Diversity of life forms, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 770–786. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-770-786. EDN: NQROVE.

Marchenko, S.L., Podorozhnyuk, Ye.V., and Kirillova, Ye.A., Modern distribution of masu salmon *Oncorhynchus masou* in the Far East, in *Mater. 8 mezhdunar. nauchno-tech. conf. "Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana"* (Proc. 8th Int. Sci. Tech. Conf. "The Actual Problems of Development of Biological Resources of the World Ocean"), Vladivostok: Dal'rybvuz, 2024, pp. 190–194.

Moiseev, P.A., Formation of a residential form of masu salmon (*Oncorhynchus masou morpha formosanus* (Jordan et Oshima)) in the Sedanka River basin, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1957, vol. 112, no. 1, pp. 163–164.

Pravdin, I.F., *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* (Guide to the Study of Fish), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1966.

Semenchenko, A.Yu., *Primorskaya sima* (Masu Salmon of Primorsky Krai), Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Akad. Nauk SSSR, 1989.

Semenchenko, A.Yu., Krupyanko, N.I., and Gavrenkov, Yu.I., Ecological forms of males of the masu salmon *Oncorhynchus masou* from river basins of Primor'ye, *Vopr. Ikhtiol.*, 2003, vol. 43, no. 4, pp. 483–489.

Tsygir, V.V., Age-related masu salmon *Oncorhynchus masou*, *Vopr. Ikhtiol.*, 1988, vol. 28, no. 2, pp. 248–258.

Tsygir, V.V., Residential masu salmon from the Sedankinskoe reservoir basin (southern Primor'ye), in *Biologiya shel' fovykh i prokhodnykh ryb* (Biology of shelf and anadromous fish), Vladivostok: Dal'nevost. Otd., Akad. Nauk. SSSR, 1990, pp. 47–52.

Tsygir, V.V. and Zaitsev, S.V., Survival of the offspring of anadromous and neotenic male masu salmon, 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. 356–358.

Tsygir, V.V. and Ivankov, V.N., The freshwater masu *Oncorhynchus masou* from the Artemovsk reservoir basin (the Maritime Province of the USSR Pacific coast), *Vopr. Ikhtiol.*, 1987, vol. 27, no. 4, pp. 576–583.

Behnke, R.J., A note on *Oncorhynchus formosanus* and *Oncorhynchus masou*, *Jap. J. Ichthyol.*, 1959, vol. 7, no. 5/6, pp. 151–152.

Behnke, R.J., Koh, T.P., and Needham, P.R., Status of the Landlocked Salmonid Fishes of Formosa with a Review of *Oncorhynchus masou* (Brevoort), *Copeia*, 1962, no. 2, pp. 400–407. doi 10.2307/1440908

Clutter, R.I. and Whitesel, L.E., Collection and interpretation of sockeye salmon scales, *Int. Pacif. Salmon Fish. Comm.*, 1956, vol. 9.

Kimura, S., On the spawning behavior of the fluvial dwarf form of masu salmon *Oncorhynchus masou*, *Jap. J. Ichthyol.*, 1972, vol. 19, no. 2, pp. 111–119. doi 10.11369/jji1950.19.111

Kimura, S., The Yamame, land-locked Masu salmon of Kyusyu Island, Japan, *Physiol. Ecol. Jpn. Spec.*, 1989, vol. 1, pp. 77–92.

MacLellan, S.E., *Guide for sampling structures used in age determination of Pacific salmon*, British Columbia, Nanaimo: Pacific Biological Station, 1987.

MacLellan, S.E., *Guide for sampling structures used in age determination of Pacific salmon*, British Columbia, Nanaimo: Pacific Biological Station, 2004.

Morita, K., General biology of masu salmon, *The Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout*, Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2018, pp. 703–730.

Morita, K., Masu salmon group, *The Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout*, Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2018, pp. 697–702.

Morita, K., Tsuboi, J.I., Sahashi, G., Kikko, T., Ishizaki, D., Kishi, D., Endo, Sh., and Koseki, Y., Iteroparity of stream resident masu salmon *Oncorhynchus masou*, *J. Fish Biol.*, 2018, vol. 93, no. 4, pp. 750–754. doi 10.1111/jfb.13771

Osanai, M., Ecological Studies on the landlocked masu salmon, *Oncorhynchus masou* (Brevoort). 1. Ecological succession on the limnological conditions and feeding habit of the lake-locked form at Uryu reservoir, *Sci. Rep. Hok. Fish. Hatch.*, 1962, no. 17, pp. 21–29.

Tamate, T. and Maekawa, K., Life cycle of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in Shumarinai Lake, northern Hokkaido, Japan, *Eurasian J. For. Res.*, 2000, vol. 1, pp. 39–42.

Tsiger, V.V., Skirin, V.I., Krupyanko, N.I., Kashkin, K.A., and Semenchenko, A.Yu., Life history forms of male masu salmon (*Oncorhynchus masou*) in South Primor’e, Russia, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1994, vol. 51, № 1, pp. 197–208. doi 10.1139/f94-022

Utoh, H., Study of the mechanism of differentiation between the stream resident form and the seaward migratory form in masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort. I. Growth and sexual maturity of precocious masu salmon parr, *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 1976, vol. 26, no. 4, pp. 321–326 (in Japanese).

Utoh, H., Study of the mechanism of differentiation between the stream resident form and the seaward migratory form in masu salmon, *Oncorhynchus masou* Brevoort. II. Growth and sexual maturity of precocious masu salmon parr, *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 1977, vol. 28, no. 2, pp. 66–73 (in Japanese).

Yamaguchi, K., Nakamura, T., and Maruyama, T., Age composition, sex ratio, growth, and feeding habit of native and introduced hatchery-reared lake-run masu salmon, *Oncorhynchus masou masou* in a Japanese mountain reservoir, *Suisan zoshoku*, 2000, vol. 48, no. 4, pp. 615–622 (in Japanese).

Поступила в редакцию 18.08.2025 г.

После доработки 24.09.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 18.08.2025; approved after reviewing 24.09.2025;
accepted for publication 3.12.2025

Научная статья

УДК 597.541–154.343

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-641-662

EDN: LHETJW



СЕЗОННЫЕ МИГРАЦИИ, ОЦЕНКИ БИОМАССЫ И НЕКОТОРЫЕ
ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ЯПОНСКОГО АНЧОУСА *ENGRAULIS JAPONICUS* (ENGRAULIDAE)
У БЕРЕГОВ О. САХАЛИН

А.Я. Великанов¹, А.В. Буслов², Н.К. Заварзина¹, Г.В. Шевченко¹,
И.Н. Мухаметов^{1*}

¹ Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196;

² Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. В первые десятилетия XXI века скопления японского анчоуса регулярно отмечались в летне-осенний период у западного и восточного побережий Сахалина, в Татарском проливе — до 52° с.ш., в охотоморских районах — до 53°20' с.ш. В 1989–2023 гг. продолжительность многолетнего периода миграций этого вида рыб в первом районе составила 35 лет, во втором — 23 года. Многолетняя продолжительность подходов анчоуса в Татарский пролив и южную часть Охотского моря хорошо согласуется с динамикой запасов его цусимской и тихоокеанской популяций в современном цикле. Массовые сезонные миграции анчоуса в северные районы ареала наблюдались на фоне низкой численности дальневосточной сардины в Японском море и северо-западной части Тихого океана. В периоды высокой численности при должной организации промысла годовой вылов этого вида у берегов Сахалина максимально может находиться в диапазоне 100–300 тыс. т.

Ключевые слова: японский анчоус, западный и восточный Сахалин, сезонные миграции, циклы численности, оценки биомассы, возможный вылов

Для цитирования: Великанов А.Я., Буслов А.В., Заварзина Н.К., Шевченко Г.В., Мухаметов И.Н. Сезонные миграции, оценки биомассы и некоторые долгопериодные особенности распространения японского анчоуса *Engraulis japonicus* (Engraulidae) у берегов о. Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 641–662. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-641-662. EDN: LHETJW.

* Великанов Анатолий Яковлевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, velikanovaya@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0008-4211-3739; Буслов Александр Вячеславович, кандидат биологических наук, заместитель руководителя филиала, aleksandr.buslov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4800-5666; Заварзина Наталья Кирилловна, ведущий специалист, zavarzinank@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0006-9220-8598; Шевченко Георгий Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, shevchenko_zhora@mail.ru, ORCID 0000-0003-0785-4618; Мухаметов Ильяс Ниазович, кандидат биологических наук, заведующий сектором, muhametovin@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-6147-2052.

© Великанов А.Я., Буслов А.В., Заварзина Н.К., Шевченко Г.В., Мухаметов И.Н., 2025

Original article

Seasonal migrations, assessed biomass and some long-term patterns of distribution for japanese anchovy *Engraulis japonicus* (Engraulidae) at the coasts of Sakhalin Island

Anatoly Ya. Velikanov^{1*}, Alexandr V. Buslov^{2*}, Natalia K. Zavarzina^{3*},
Georgy V. Shevchenko^{4*}, Ilias N. Mukhametov^{5*}

^{1*}, ^{3*}, ^{4*}, ^{5*} Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),
196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023 Russia

^{2*} Pacific branch of VNIRO (TINRO),
4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

^{1*} Ph.D., leading researcher, velikanovaya@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0008-4211-3739

^{2*} Ph.D., deputy head, aleksandr.buslov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4800-5666

^{3*} leading specialist, zavarzinank@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0006-9220-8598

^{4*} D.Phys.-Math., head of laboratory, shevchenko_zhora@mail.ru, ORCID 0000-0003-0785-4618

^{5*} Ph.D., head of sector, muhametovin@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-6147-2052

Abstract. In the first decade of 21st century, aggregations of japanese anchovy were regularly observed off the western and eastern coasts of Sakhalin in summer and autumn seasons, where reached 52°00' N in the Tatar Strait and 53°20' N in the Okhotsk Sea. In total, they migrated to the eastern coast during 23 years and to the western coast during 35 years (since 1989 till 2023). The anchovy approaches to the Sakhalin coasts corresponded with dynamics of this species populations in the Tsushima Current and Kuroshio waters and coincided well with the period of japanese sardine depression both in the Japan Sea and North-West Pacific. In the years of high abundance, about 100–300 thousand tons of japanese anchovy could be landed at Sakhalin annually, if the fishery would be organized properly.

Keywords: japanese anchovy, Sakhalin, seasonal migration of fish, cycle of abundance, biomass assessment, possible catch

For citation: Velikanov A.Ya., Buslov A.V., Zavarzina N.K., Shevchenko G.V., Mukhametov I.N. Seasonal migrations, assessed biomass and some long-term patterns of distribution for japanese anchovy *Engraulis japonicus* (Engraulidae) at the coasts of Sakhalin Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 641–662. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-641-662. EDN: LHETJW.

Введение

Японский анчоус *Engraulis japonicus* Temminck & Schlegel, 1846 — мелкоразмерный, стайный, нерито-эпипелагический вид рыб, принадлежащий к низкобореальному и субтропическому приазиатскому комплексам [Соколовский и др., 2007].

По современным представлениям японский анчоус подразделяется на две популяции (два стада) — цусимскую и тихоокеанскую. Анчоус цусимской популяции широко распространен в Восточно-Китайском, Желтом и Японском морях, в последнем преимущественно в зоне теплого Цусимского течения [Yatsu, 2019]. Тихоокеанское стадо японского анчоуса в основном приурочено к прибрежным водам тихоокеанской стороны Японского архипелага [Murase et al., 2012]. Этот вид характеризуется протяженными сезонными миграциями. С весенним прогревом вод его скопления начинают перемещаться из южных в северные районы ареала, где он распространяется вплоть до прол. Невельского в Японском море, в Охотском море — до п-ова Шмидта (о. Сахалин) и аяно-шантарского района [Байталюк, Радченко, 2024; Великанов и др., 2025]. Известно несколько основных миграционных потоков этой рыбы в северном направлении: через Цусимский пролив вдоль побережья п-ова Корея и Приморья, а также вдоль япономорского и тихоокеанского побережий Японии [Степаненко, 1986]. В годы высокой численности тихоокеанское стадо анчоуса распространяется далеко на восток от прибрежных районов, до 170° в.д. [Yatsu, 2019], по другим данным — вплоть до 180° в.д. [Murase et al., 2012].

Продолжительность жизни японского анчоуса невелика, не более 4 лет, с преобладанием в половозрелой части стада 2–3-леток — до 97–98 % [Фадеев, 2005; Шелехов,

2017]. В связи с этим, как и у других видов рыб с коротким жизненным циклом, эффективность его воспроизводства подвержена большим колебаниям. Соответственно, в многолетней динамике запасов этой рыбы проявляется четко выраженная цикличность. Это существенно отражается на изменении величины годовых уловов, а также приводит к расширению или уменьшению видового ареала, в том числе за счет миграций в северные районы [Степаненко, 1986; Perry et al., 2003; Фадеев, 2005; Kawasaki, 2013; Yatsu, 2019; Peck et al., 2021]. Однако массовое появление анчоуса в северной части Японского моря, в том числе в Татарском проливе, не всегда может быть обусловлено уровнем численности запаса этой рыбы, оно определяется и другими факторами, например благоприятными океанологическими условиями в период северных миграций [Байталюк, Радченко, 2024].

Рыбопромысловые исследования, проведенные в течение XX века, показали, что периодически анчоус появлялся у побережья Сахалина как в Татарском проливе, так и с охотоморской стороны. Первые отечественные сведения о распространении и встречаемости японского анчоуса у берегов Сахалина получены в 1930-е гг. [Таранец, 1937]. В 1950–1960-е гг. была опубликована уже серия работ, касающихся распространения анчоуса в рассматриваемом районе [Дружинин, Фридлянд, 1951; Пробатов, 1953; Линдберг, 1959; Дружинин, Дарда, 1963; Скалкин, 1965; Дарда, 1968а, б]. Однако после 1967 г. дальнейшие исследования и наблюдения, основанные на результатах донных траловых съемок и анализах видового состава уловов прибрежных и кошельковых неводов в летний период, свидетельствовали об отсутствии анчоуса у западного побережья Сахалина вплоть до конца 1980-х гг., тогда как, например, дальневосточная сардина *Sardinops melanostictus* стала вновь встречаться в этом районе после длительного отсутствия начиная с 1975 г. [Дарда, 1968б; Великанов, 2004]. Очередные исследования анчоуса у берегов Сахалина и в прилегающих районах были связаны с активизацией морских и прибрежных экспедиционных наблюдений и состоялись только через три десятилетия, во время нового периода роста его численности. В эти годы было опубликовано более десятка научных статей [Василенко, Шершенков, 1997; Радченко и др., 1997, 2002; Великанов, 2001, 2003, 2004, 2006; Мерзляков, Темных, 2002; Великанов, Стоминок, 2004; Мухаметова, 2004; Великанов и др., 2005, 2012; Великанов, Мухаметов, 2011]. Но лишь в двух статьях приведены некоторые оценки периодичности появления (миграций) анчоуса у берегов Сахалина в XX и в начале XXI века [Великанов, 2006, 2016].

В настоящее время анчоус является важным объектом международного рыболовства. В 1993 г. общий вылов этой рыбы всеми странами, кроме России, составил более 1,0 млн т [Фадеев, 2005]. В 1998 г. общий вылов возрос вдвое — до 2,1 млн т, при этом доля Китая была 68,6 % [Промысловые рыбы России, 2006]. Однако к 2005 г. с учетом данных японского вылова [Yatsu, 2019] его уловы насчитывали менее 1,4 млн т, в последующие годы наблюдалось дальнейшее снижение общих уловов. Промысел анчоуса осуществляется преимущественно кошельковыми и закидными неводами, реже — ставными неводами и подъемными ловушками с привлечением стай рыб на подводный электрический свет.

Исторически в российских водах промышленное рыболовство анчоуса не характеризовалось высокой результативностью. В районе западного Сахалина в 1950-е гг. кошельковыми неводами добывалось по 100–200 т анчоуса, но это были случайные приловы при промысле нагульной тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* [Фадеев, 2005]. В 2002–2005 гг. вылов анчоуса в Западно-Сахалинской подзоне находился примерно на том же уровне — до 165 т. В целом российский промысел японского анчоуса, в том числе у Сахалина и южных Курильских островов, до сих пор не производится по ряду технических, технологических и экономических причин [Байталюк, Радченко, 2024].

За прошедшие годы исследований накоплен большой объем данных по распространению и ежегодной встречаемости анчоуса (или его отсутствию) в морских водах

Сахалина. В частности, были обобщены и проанализированы материалы по некоторым аспектам его биологии и регулярным выбросам этой рыбы на побережье [Великанов и др., 2025]. В последние годы получены оценки численности и биомассы этого вида в северной части Японского моря, включая Татарский пролив [Байталюк, Радченко, 2024], тогда как в предыдущие годы такие количественные показатели были установлены лишь для южной части Охотского моря [Мерзляков, Темных, 2002]. Все это позволяет обобщить полученную информацию касательно миграций, распространения, оценки сезонного запаса японского анчоуса у берегов Сахалина в 2000 — начале 2020-х гг. и в конечном итоге рассмотреть теоретические перспективы промыслового освоения ресурсов этого вида рыб в водах Сахалина.

Цель настоящего исследования — на основе имеющихся данных представить характеристику миграций и распределения японского анчоуса у берегов Сахалина, выявить особенности многолетней продолжительности периода северных миграций этой рыбы в первые десятилетия XXI века.

Материалы и методы

Исходные данные о сроках и районах экспедиций, в которых был собран материал о распространении и встречаемости японского анчоуса у берегов Сахалина в 2000–2023 гг., показаны в таблице. Непосредственные наблюдения за распространением анчоуса у западного Сахалина проводились с июля по ноябрь, в охотоморских районах Сахалина — с июня по ноябрь.

Данные о наблюдениях по распространению и встречаемости японского анчоуса у берегов Сахалина в 2000–2023 гг.
Observations on occurrence and distribution of japanese anchovy at the coasts of Sakhalin Island in 2000–2023

Годы	Месяцы	Плав. средства	Орудия лова	Число траловых станций	Обследованная площадь моря, тыс. миль ²	Выбросы рыб в прибойную зону
<i>Западный Сахалин</i>						
2000–2005	Июль–октябрь	НИС «Дмитрий Песков», лодка	Донный трал, пелагический трал, закидной невод	62	4,02	Нет
2006–2010	Июль–октябрь	НИС «Дмитрий Песков», лодка	Донный трал, икhtiопланктонная сеть, ставной невод, сетные сачки	105	6,82	2007, август–сентябрь, СЗ Сахалин
2011–2015	Август–ноябрь	НИС «Дмитрий Песков», «Профессор Пробатов», лодка	Донный трал, закидной невод, ставные сети	155	8,67	2011, октябрь, СЗ Сахалин
2016–2020	Август–октябрь	Нет (береговые наблюдения, фотографии)	Нет	0	0	2016, октябрь, СЗ Сахалин, 2018, 30 августа, ЮЗ Сахалин
2021–2023	Август–ноябрь	НИС «Владимир Сафонов», «Дмитрий Песков»	Пелагический трал, гидроакустическая аппаратура (съемка)	33	~2,89	2021, ноябрь СЗ Сахалин; 2023, август, СЗ Сахалин; 2023, сентябрь (дважды), ЮЗ Сахалин

Окончание таблицы
Table finished

Годы	Месяцы	Плав. средства	Орудия лова	Число траловых станций	Обследованная площадь моря, тыс. миль ²	Выбросы рыб в прибойную зону
<i>Восточный Сахалин</i>						
2000–2005	Июнь–октябрь	НИС «Дмитрий Песков», лодка	Пелагический трал, донный трал, закидной невод	882	34,69	Нет
2006–2010	Июнь–сентябрь	НИС «Дмитрий Песков», промысловая шхуна, лодка	Пелагический трал, донные ставные сети, ставной невод	451	11,56	Нет
2011–2015	Июнь–октябрь	НИС «Дмитрий Песков», «Профессор Пробатов», лодка	Пелагический трал, закидной невод	111	1,44	2012, октябрь, зал. Анива
2021–2023	Октябрь–ноябрь	НИС «Владимир Сафонов», «Дмитрий Песков»	Пелагический трал, донный трал	120	17,34	Нет

Примечание. СЗ — северо-западный Сахалин; ЮЗ — юго-западный Сахалин.

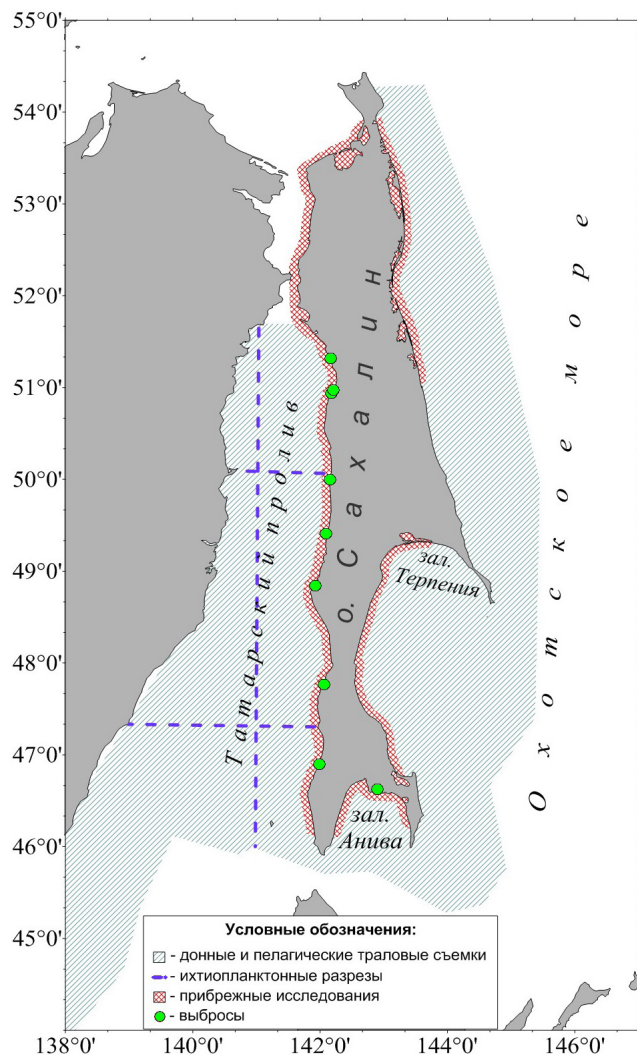
Детальная информация по использованию научно-исследовательских судов и других плавсредств при выполнении морских экспедиционных и прибрежных исследований, а также примененных разнообразных орудий лова была опубликована недавно [Великанов и др., 2025]. Дополнительно к результатам экспедиционных исследований использовались сведения о выбросах этого вида рыб в прибойную зону для характеристики присутствия вида в этих акваториях. Подробный анализ этих материалов также представлен ранее [Великанов и др., 2025].

Оценки пространственного распределения, численности и биомассы японского анчоуса в Татарском проливе осенью 2021 и 2023 гг. были получены по данным тралово-акустических съемок, выполненных на НИС специалистами Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО). В качестве основной гидроакустической измерительной системы использовался судовой рыбопоисковый эхолот Furuno FCV-1200L (Япония) с дополнительным применением гидролокатора кругового обзора MAQ-60 (Канада). При обнаружении плотных эхозаписей для идентификации обнаруженных скоплений и контроля размерного состава объектов на обратных курсах или по изобатам выполнялись траления пелагическим тралом. Численность (экз./милю²) и биомассу (т/милю²) анчоуса на единицу обловленной площади определяли стандартным для подобных учетных съемок методом, применяемым в ТИНРО [Планирование..., 2005]. В указанной монографии подробно рассмотрены методики оценки плотности распределения анчоуса и оценки общей численности (как произведение средней геометрической плотности распределения вида на площадь района). Согласно этой комплексной методологической разработке при расчетах оценки численности анчоуса в траловых уловах использовался коэффициент уловистости 0,1.

Результаты ряда аналогичных предыдущих пелагических траловых съемок по оценке численности и биомассы анчоуса в Татарском проливе начиная с 1981 г. были представлены недавно [Байталюк, Радченко, 2024]. Методики проведения съемок донным и пелагическим тралом у западного и восточного Сахалина, выполненных СахНИРО в 2002–2015 гг., как и результаты этих работ, также опубликованы ранее [Радченко и др., 2002; Великанов, 2004; Великанов и др., 2005; Великанов, Мухаметов, 2011]. Результаты донных траловых съемок у берегов Сахалина не учитывались при оценках численности и биомассы анчоуса в связи с низкими величинами обилия

этого вида при донных тралениях. По этой же причине не рассматриваются данные по численности и биомассе анчоуса в присахалинских водах, полученные по результатам донных траловых съемок, выполненных специалистами ТИНРО в осенний период 2021 и 2023 гг.

Общая схема проведенных наблюдений с использованием различных средств и методов показана на рис. 1.



В качестве количественных показателей распределения скоплений анчоуса в районах наблюдений брали оценки общей учтенной биомассы (численности), полученные по результатам пелагических траловых съемок ТИНРО разных лет.

Рис. 1. Схема районов исследований японского анчоуса у берегов о. Сахалин в 2000–2023 гг.

Fig. 1. Scheme of surveys on japanese anchovy in the Sakhalin waters in 2000–2023

При оценках условной биомассы некоторых видов неритических рыб исходили из следующих данных. По дальневосточной сардине использовали величину годовых уловов в Татарском проливе в 1930-е и 1979–1991 гг. [Великанов, 2016]. По японскому анчоусу — оценки ТИНРО по динамике его общей биомассы в российских водах Японского моря, включая Татарский пролив в 1980-е–2023 гг. [Байталюк, Радченко, 2024], а также литературные данные о встречаемости и распространении этого вида в районе наших наблюдений в предыдущий период начиная с 1930-х гг. Для дальневосточной мойвы *Mallotus catervarius* основывались на результатах учетных съемок (гидроакустических, траловых, икорных) по оценке биомассы этого вида у западного Сахалина в 1976–2023 гг., как и на литературных и архивных данных о встречаемости этого вида в 1920–1960-е гг. [Великанов, 2018, 2024; Ким и др., 2022]. Показатели динамики условной биомассы анчоуса в охотоморских водах Сахалина оценивались по осредненным данным общей биомассы вида в юго-западной части Охотского моря

[Мерзляков, Темных, 2002], а также по материалам о его встречаемости и предварительным оценкам биомассы у восточных берегов Сахалина в 1979–2023 гг. в соответствии с литературными источниками, указанными во Введении [Великанов и др., 2005; и др.], и современными данными [Великанов и др., 2025]. Привлеченные количественные показатели использованы для обозначения двух уровней запасов — высокого и низкого, последовательно сменяющих друг друга в соответствующие периоды лет (сардина и анчоус — сезонная биомасса, мойва — нерестовая биомасса).

Гидрологические исследования во время экспедиционных работ осенью 2021 и 2023 гг. проводились океанографическим зондом SBE Sea-Bird 19+ в слое 0–1000 м или до дна при меньших глубинах. Дальнейшая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программ SeaTerm, OBZerver, Ocean Data View. Преимущественно анализировались материалы по температуре и солености воды в слое 0–200 м.

Рисунок со схемой районов исследований японского анчоуса у берегов о. Сахалин построен с помощью программной среды Surfer, по распределению анчоуса осенью 2021 и 2023 гг. — в программной среде Карт-мастер.

Результаты и их обсуждение

Встречаемость, распространение и оценки биомассы японского анчоуса у Сахалина в 2000–2023 гг.

В соответствии с опубликованными данными в 1950–1960-е гг., как и в 1990-е гг., анчоус подходил в южную часть Татарского пролива обычно в июне, а через месяц достигал уже северных участков пролива. В сентябре–ноябре он совершал обратную миграцию на юг. В зал. Анива эта рыба встречалась также с июня по октябрь, а у юго-восточного побережья Сахалина — с июля–августа до начала ноября [Дарда, 1968б; Nagasawa et al., 1995; Великанов, 2001, 2003]. Близкие сроки нахождения анчоуса у берегов Сахалина отмечены и в современный период. В 2000–2023 гг. у западного побережья Сахалина этот вид наблюдался с июля по октябрь, в отдельные годы — до первой декады ноября, в зал. Анива — с июня по октябрь, иногда до последних чисел ноября, у юго-восточных берегов острова — с июня по сентябрь.

В зависимости от сложившихся температурных условий моря скопления анчоуса в водах Сахалина распределяются ближе или дальше от берега. У юго-западного побережья острова они фиксировались на удалении до 3–4 миль от берега, а в южной части Охотского моря — далеко за пределами 12-мильной зоны. Однако в теплые годы скопления анчоуса распределялись очень близко к берегу и в 1950-е гг. даже в сентябре облавливались закидными неводами [Дарда, 1968б; Великанов, 2001, 2003].

Как было показано выше, данные о пространственном распределении скоплений анчоуса в Татарском проливе и у охотоморских берегов Сахалина в разные сезоны и годы в современный период представлены в целом ряде публикаций. В связи с этим более актуально рассмотреть многолетние изменения распространения этого низкобореального и субтропического вида в районе исследований.

Проведенные наблюдения показали, что в начальные десятилетия XXI века скопления анчоуса регулярно отмечались в летне-осенний период как у западного, так и у восточного Сахалина, хотя и не ежегодно. В своем распространении на север во время сезонных миграций этот вид достигал в Татарском проливе примерно 52° с.ш., а в охотоморских районах острова — 53°20' с.ш. (рис. 2).

Отсутствие анчоуса у западного побережья Сахалина в отдельные годы по данным наших наблюдений не всегда означает, что этот вид не совершал миграции в Татарский пролив в летние месяцы. Это может быть обусловлено тем, что присутствие анчоуса в те или иные годы отмечалось лишь по прибрежным уловам закидным неводом, а также по его береговым выбросам после штормов, преимущественно в осенний период. При отсутствии такого рода обловов и явлений скопления анчоуса у западного Сахалина

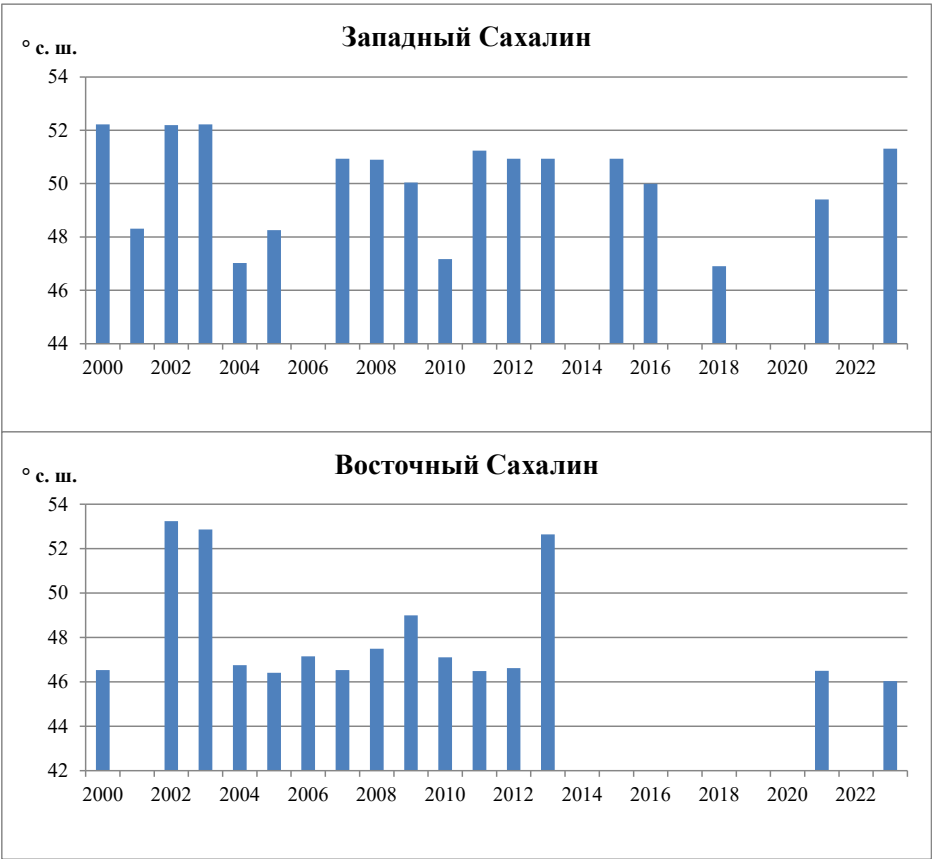


Рис. 2. Ежегодное распространение анчоуса на север у западного и восточного побережий Сахалина по данным наблюдений СахНИРО в 2000–2023 гг.

Fig. 2. Northern limits of japanese anchovy migrations at the western and eastern coasts of Sakhalin in 2000–2023

могли оставаться невыявленными. В то же время только береговые наблюдения позволили установить присутствие анчоуса у западного побережья Сахалина, как это было в летне-осенний период 2016 и 2018 гг., а также в 2021 и 2023 гг. (см. таблицу).

Несомненно, что более достоверно подтвердить наличие или отсутствие скоплений какого-либо вида рыб на исследуемой акватории можно при выполнении учетных траловых съемок, которые в рассматриваемых районах морей выполнялись не ежегодно [Байталюк, Радченко, 2024]. Еще одним аргументом в пользу высказанных рассуждений могут служить данные по распределению скоплений анчоуса в Татарском проливе осенью 2021 и 2023 гг.

Согласно результатам тралово-акустической съемки, выполненной в октябре-ноябре 2021 г., основные скопления анчоуса были сосредоточены в западной части Татарского пролива, у материкового побережья (рис. 3). В водах, прилегающих к сахалинскому побережью, этот вид практически не встречался, за исключением редких минимальных уловов [Байталюк, Радченко, 2024].

В октябре 2023 г. анчоус, напротив, был широко распространен вдоль западного побережья Сахалина — от 46 до 50° с.ш. (рис. 4). Однако наиболее плотные скопления этой рыбы были отмечены в районе центральной оси пролива. В направлении к побережью Сахалина плотность скоплений существенно снижалась на всем протяжении района распространения этого вида.

Подобный характер распределения анчоуса в Татарском проливе в осенний период значительно уменьшает вероятность обнаружения этой рыбы в прибрежных водах западного Сахалина. Вместе с тем, согласно данным таблицы, массовые выбросы анчоуса

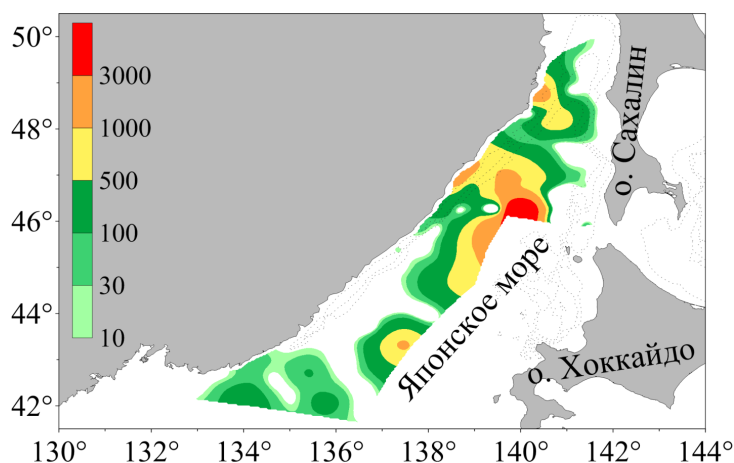


Рис. 3. Пространственное распределение японского анчоуса в верхней эпипелагиали северо-западной части Японского моря по данным тралово-акустических съемок ТИНРО в октябре-ноябре 2021 г., тыс. экз./милю²

Fig. 3. Spatial distribution of japanese anchovy in the upper epipelagic layer of the northwestern Japan Sea in October-November 2021, 10^3 ind./mile² (data of trawl-acoustic survey)

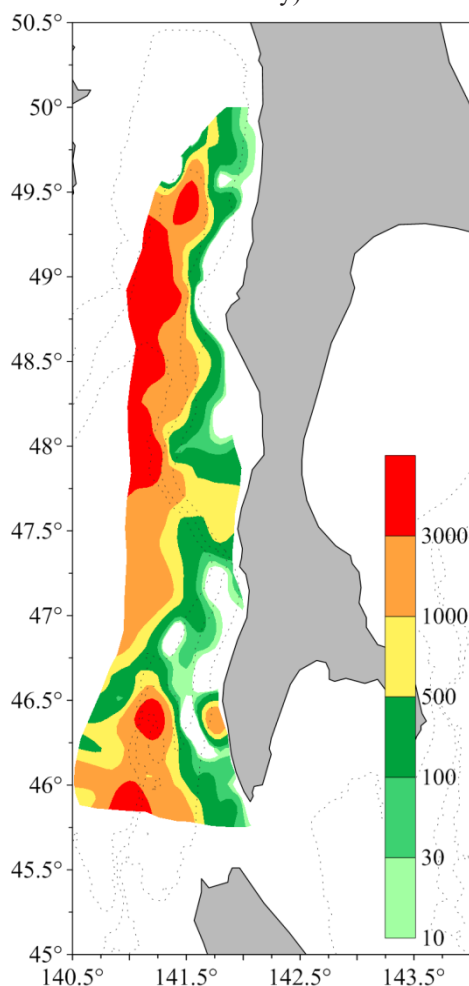


Рис. 4. Пространственное распределение японского анчоуса в водах западного Сахалина по данным тралово-акустических съемок ТИНРО в октябре 2023 г., тыс. экз./милю²

Fig. 4. Spatial distribution of japanese anchovy at the western Sakhalin waters in October 2023, 10^3 ind./mile² (data of trawl-acoustic survey)

на побережье Сахалина были выявлены и в ноябре 2021 г., и в августе и сентябре 2023 г. Такого рода информация дополняет общую картину распространения этого вида в Татарском проливе, установленную по данным тралово-акустических съемок.

Отметим, что в данной статье не рассматривается общая схема сезонных миграций анчоуса в Татарский пролив из-за отсутствия данных траловых съемок, одновременно охватывающих западную и восточную части этого пролива в первую половину лета (в июне-июле).

Выявленные закономерности распределения анчоуса в Татарском проливе в октябре-ноябре, вероятно, были обусловлены положительными температурными аномалиями. Наблюдения в период съемки осенью 2021 г. показали, что значения температуры поверхности моря (ТПМ) варьировали в широком диапазоне — от 12–13 °С на юге до 7–8 °С на севере, с минимумом 4–5 °С вдоль юго-западного Сахалина. На глубине 50 м в водах Западно-Сахалинской ветви Цусимского течения, отклонившейся на запад, к материковому побережью, отмечались положительные аномалии до 2–4 °С. Отрицательные аномалии на этой глубине были лишь на шельфовых участках к северу от 45° с.ш. и по сторонам вод Западно-Сахалинской ветви Цусимского течения: до –1 °С — на правой периферии (в локальном очаге вод течения Шренка) и наиболее существенные с аномалиями до –2...–3 °С — в водах противотечения вдоль юго-западного Сахалина.

Ранее было установлено [Шевченко, Ложкин, 2023], что наиболее высокие средние многолетние значения ТПМ в Татарском проливе в октябре и ноябре 1998–2021 гг. отмечены в его юго-западной части — соответственно 12,2 и 7,1 °С. В юго-восточной и северной частях пролива аналогичные показатели были заметно ниже, на юго-востоке — 11,8 и 6,4 °С, в северной части — только 9,9 и 3,7 °С.

Можно предположить, что более теплые воды приповерхностного слоя Татарского пролива в осенний период при общем фоне их охлаждения наиболее привлекательны для этого субтропического вида рыб во время его обратных миграций в южные районы Японского моря. На это указывают и повышенные концентрации анчоуса в самом южном районе юго-восточной части пролива, т.е. в водной массе ветви теплого Цусимского течения, в октябре 2023 г. Однако как долго выявленные тенденции распределения анчоуса в Татарском проливе в осенний период 2021 и 2023 гг. могут быть устойчивыми, покажут лишь дальнейшие морские экспедиционные исследования.

По имеющимся в нашем распоряжении данным пока сложно объяснить конкретные причины распространения анчоуса в самые северные участки ареала в летний период, что происходило нерегулярно (см. рис. 2). При сопоставлении данных по северной границе распространения и опубликованных данных усредненных показателей вариаций ТПМ для юго-восточного и северного районов Татарского пролива [Шевченко, Ложкин, 2023] значимые связи установить не удалось. Например, наиболее высокая ТПМ у юго-западного Сахалина в июле-августе отмечена в 2000 г. (21,5 °С), но в 2002 и 2003 гг. она была существенно ниже, составив соответственно 17 и 18 °С, хотя северная граница распространения и встречаемости анчоуса была одной и той же в эти три года, несмотря на большую разницу температуры воды (3,5–4,5 °С). Сходная ситуация наблюдалась в 2007 и 2011 гг., когда ТПМ составила соответственно 19 и 21 °С. В северной части Татарского пролива показатель максимальной ТПМ в 2001–2018 гг. находился в очень узком диапазоне (17,5–18,0 °С). Следует добавить, что средние многолетние значения ТПМ в юго-западной и юго-восточной частях Татарского пролива в июне-августе, т.е. во время северных миграций, были достаточно близкими, но с небольшим превышением в юго-восточном районе — соответственно 9,5–18,2 и 9,6–18,4 °С [Шевченко, Ложкин, 2023]. Вместе с тем этот вид обитает в довольно широком диапазоне температур. По данным М.А. Степаненко [1986] — от 8 до 30 °С, по данным А.Ю. Мерзлякова и О.С. Темных [2002] японский анчоус покидает пелагиаль Охотского моря с понижением температуры поверхностных вод до 6 °С. Можно предположить, что проникновение анчоуса в самые северные участки Татарского пролива обусловлено не только температурными условиями акватории, по которой он перемещается с юга на север, но и рядом других причин (например, большой численностью его скоплений, хорошими кормовыми полями зоопланктона, сформировавшимися в северных участках в августе, и т.д.).

Однако подтвердить или опровергнуть выдвинутые предположения будет возможно на следующих этапах исследований.

На рис. 2 видно, что в многолетнем плане общая продолжительность периода появления анчоуса у охотоморских берегов Сахалина была на 10 лет меньше, чем в Татарском проливе. После 2013 г. его массовые миграции у восточного Сахалина уже не регистрировались. В том числе в мае-июле 2018–2022 гг. в прибрежных уловах закидного невода в зал. Анива и у юго-восточного Сахалина (между 46°30' и 48°00' с.ш.) японский анчоус отсутствовал. Для сравнения отметим, что в 2002–2004 гг. в уловах пелагического трала НИС «Дмитрий Песков» он ежегодно встречался вблизи побережья зал. Анива и юго-восточного Сахалина в июне-июле [Великанов и др., 2005]. Небольшие скопления анчоуса были отмечены в октябре 2021 и в конце ноября 2023 гг. лишь в зал. Анива в ходе траловых съемок, в основном в его западной части, наиболее близко расположенной к восточной границе Японского моря. Похоже, что эти разрозненные скопления переместились в залив из ближайшего района соседнего моря. В то же время, как показали результаты донной траловой съемки в октябре 2021 г., анчоус отсутствовал в уловах у северо-восточного Сахалина, на акватории между мысом Терпения и мысом Елизаветы, с охватом глубин 17–468 м.

Наблюдавшиеся подходы анчоуса в шельфовые воды Сахалина в первые десятилетия нового столетия, очевидно, являлись продолжением периода летних миграций этой рыбы в северные районы ареала, начавшегося в конце 1980-х — начале 1990-х гг.

Конечно, привлекают внимание установленные оценки численности и биомассы анчоуса в Татарском проливе и южной части Охотского моря, которые свидетельствуют о достаточно высоком ресурсном потенциале этого вида рыб в период северных сезонных миграций в отдельные годы. Как показали результаты комплексной съемки на НИС «Владимир Сафонов» в октябре-ноябре 2021 г., в Татарском проливе анчоус доминировал в составе нектона по общей биомассе (242,4 тыс. т) и численности (39,7 млрд экз.), а также оказался наиболее часто встречающимся в уловах видом (57,4 % станций) [Байталюк, Радченко, 2024].

В октябре 2023 г. наиболее плотные скопления этого вида были сосредоточены в центральной части Татарского пролива, вдали от островного побережья, между 47°40' и 49°30' с.ш., где показатели концентрации рыб достигали 300000 экз./милю². Оцененная общая биомасса японского анчоуса в Западно-Сахалинской подзоне осенью 2023 г. составила 121 тыс. т, а численность достигала 10 млрд экз. Отметим, что уровни биомассы этого вида рыб у западного Сахалина и в северо-западной части Японского моря, выявленные двумя годами ранее, вполне сопоставимы (одного порядка), что свидетельствует о достаточно высокой численности анчоуса, мигрирующего на нагул в Татарский пролив в последние годы. Данные биомассы и численности анчоуса осенью 2023 г. отражают особенности распределения этого вида только в Западно-Сахалинской подзоне. Как показано на рис. 4, наибольшие концентрации скоплений анчоуса в этом году были выявлены вдоль центральной оси Татарского пролива. В связи с этим нетрудно предположить, что осенью 2023 г., по аналогии с особенностями распределения этого вида осенью 2021 г., определенные скопления анчоуса находились также и в западной части пролива, прилегающей к материковому побережью. Это дает основание считать, что общая биомасса и численность анчоуса в Татарском проливе в целом в октябре 2023 г. могли быть существенно больше, чем указанные величины для Западно-Сахалинской подзоны.

Еще более высокая биомасса нагульных скоплений анчоуса была выявлена в октябре-ноябре 1998 г. в южной части Охотского моря, на морской акватории, прилегающей к южным Курильским островам и юго-восточному Сахалину, включая заливы Анива и Терпения. По результатам учетной траловой пелагической съемки величина биомассы анчоуса в указанном районе составила более 617 тыс. т. Но в другие годы

оценки биомассы этого вида рыб в данном районе были гораздо ниже: в 1995 г. — 56 тыс. т, в 1999 г. — около 24 тыс. т, а в 2000 г. — менее 15 тыс. т [Мерзляков, Темных, 2002]. По мнению А.Ю. Мерзлякова и О.С. Темных [2002], столь большие различия в оценках биомассы, скорее всего, были обусловлены межгодовыми изменениями урожайности поколений этого короткоциклового вида, но на ситуацию могли повлиять и межгодовые различия океанологических условий в южной части Охотского моря. В целом установленные величины сезонной биомассы анчоуса в Татарском проливе и Охотском море свидетельствуют о том, что ресурсы этого вида могут быть весьма перспективными для промысла как в первом, так и во втором районах. Конечно, при разработке рекомендаций по промыслу следует иметь в виду, что организация добычи анчоуса в российских водах, как и дальневосточной сардины, возможна лишь во время периодов его высокой численности.

*Изменения в долгопериодных циклах миграций японского анчоуса
в Татарский пролив в первой четверти XXI века*

Проведенными ранее исследованиями установлено, что многолетняя динамика численности дальневосточной сардины и японского анчоуса, как и других близких видов этой группы мелких пелагических рыб, характеризуется статистически значимой связью. При этом годы роста численности одного из этой пары видов сопровождаются почти синхронным уменьшением численности альтернативного вида [Беляев и др., 1991; Lluch-Belda et al., 1992; Kuwae et al., 2008; Takahashi et al., 2009; Kawasaki, 2013]. На протяжении XX столетия выделяются два основных периода появления анчоуса в Татарском проливе (продолжительностью около 20 лет и более): 1949–1967 гг. и с 1989 г. до конца века и далее по настоящее время (рис. 5). На рис. 5 видно, что противофазность в динамике численности дальневосточной сардины и японского анчоуса в XX веке проявлялась также и в изменениях их многолетних массовых миграций в Татарский пролив [Великанов, 2016].

Привлекает внимание определенная синхронность во флюктуациях численности сардины в Японском море и дальневосточной мойвы в Татарском проливе (рис. 5). В частности, периоды и высокой, и низкой численности сардины и мойвы в прошлом столетии практически совпадали. Ранее указывалось [Великанов, 2016], что сардина и мойва, как и японский анчоус, являются одними из важных видов эпипелагического сообщества рыб Японского моря, многолетняя динамика запасов и вылова которых может служить своеобразным индикатором изменчивости состояния морских экосистем в его южной и северной частях.

В то же время массовые миграции анчоуса и сардины в Татарский пролив в XX и в первые десятилетия XXI века не были абсолютно идентичными по срокам и продолжительности, каждый период характеризовался своими особенностями. Это же просматривается и при оценке синхронности в цикличности нагульных миграций сардины в Татарский пролив и флюктуаций численности дальневосточной мойвы у западного Сахалина.

Сезонные миграции анчоуса к западному побережью Сахалина продолжают уже около 35 лет, что является максимальным показателем за весь 100-летний период наблюдений (рис. 5). Конечно, в течение последних двух десятилетий в отдельные годы анчоус не был отмечен у сахалинского побережья Татарского пролива. Однако его появление в рассматриваемом районе возобновлялось каждый раз после отсутствия, при этом его скопления в своем распространении достигали, как правило, северных участков пролива. Во всяком случае, более длительного исчезновения скоплений этого вида рыб в восточной части Татарского пролива, не 1–2 года, а не менее 5–6 лет и более, в рассматриваемые годы не зарегистрировано. Некоторые возможные причины отсутствия анчоуса у западного Сахалина в отдельные годы указаны выше. Отметим, что сходная картина распространения скоплений в северные участки аре-

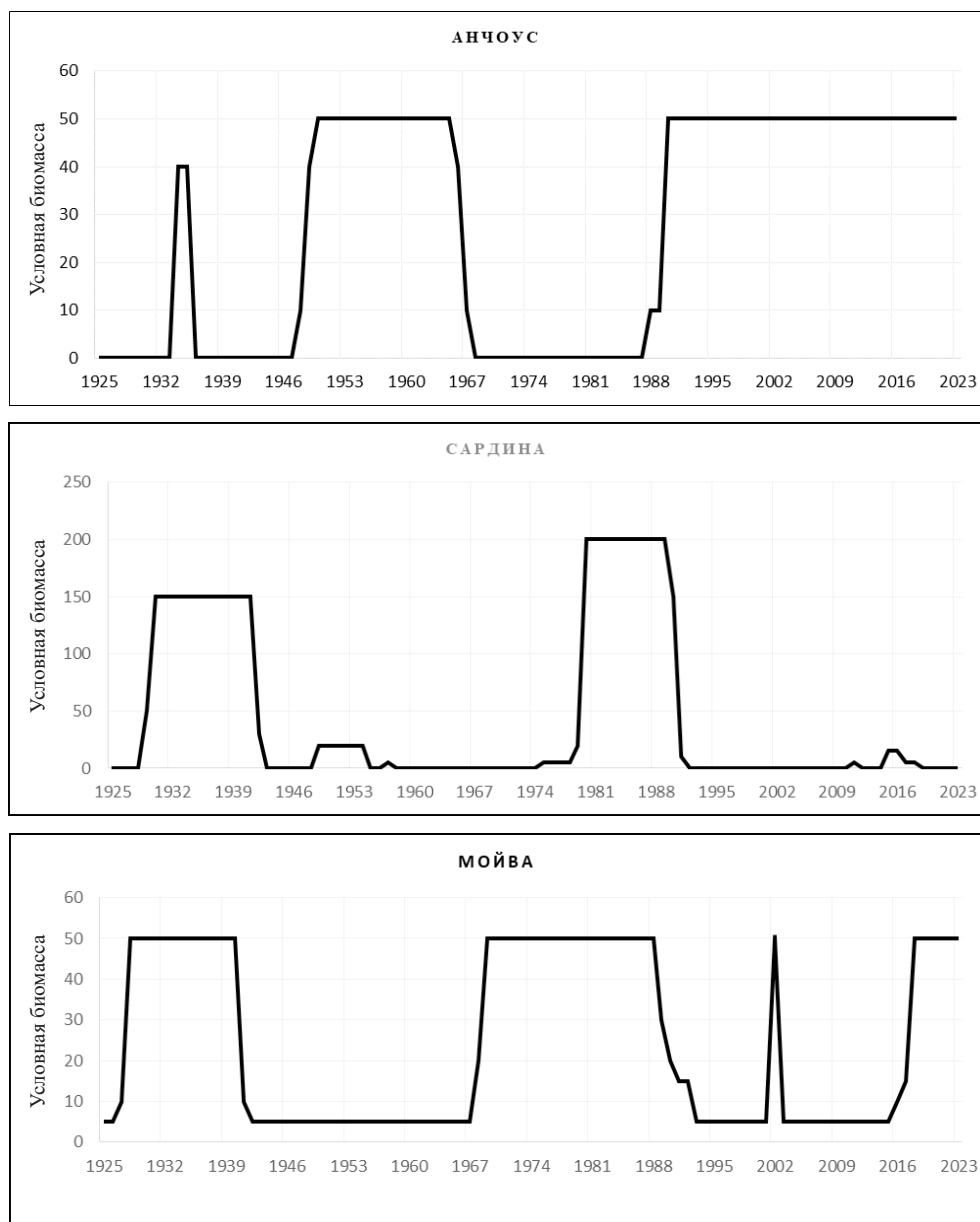


Рис. 5. Периодичность миграций японского анчоуса и дальневосточной сардины в Татарский пролив и периоды высокой и низкой численности дальневосточной мойвы у западного Сахалина в XX и в первые десятилетия XXI века [Великанов, 2016, с дополнениями]

Fig. 5. Cases of japanese anchovy and japanese sardine migrations to the Tatar Strait on the background of high and low abundance of pacific capelin at western Sakhalin in the 20th and early 21st centuries [from: Velikanov, 2016, with additions]

ала наблюдалась также у дальневосточной сардины в 1980-е гг., т.е. в предыдущий период ее высокой численности. В частности, когда северное распространение этой рыбы у западного Сахалина в 1985–1986 гг. ограничивалось 47° с.ш., а в южной части Охотского моря летом 1983 г. — 45° с.ш. Отсутствие скоплений сардины в более северных участках в указанные годы приводило к существенному снижению величины ее российского вылова. В последующие годы этого периода сардина распределялась в указанных районах более широко, достигая в первом районе 51° с.ш., во втором — 49° с.ш. [Великанов, 2016].

Продолжающиеся сезонные миграции анчоуса в Татарский пролив хорошо согласуются и с многолетней динамикой годовых уловов цусимских популяций этого вида и сардины иваси (рис. 6). Как видно, начиная примерно с 1997 г. и по настоящее время ежегодный вылов анчоуса остается на сравнительно высоком уровне (0,6–1,4 млн т). Показатели годового вылова дальневосточной сардины в этот же период характеризуются минимально низкими цифрами, хотя с 2011 по 2018 г. вылов сардины цусимской популяции немного увеличился по сравнению с предыдущими годами (ориентировочно вдвое). В 1981–1995 гг. величина запаса цусимской популяции сардины характеризовалась высоким уровнем, когда ее годовые уловы были внушительными и близкими по уровню к высоким годовым уловам анчоуса. Основной промысел этого стада сардины иваси в те годы осуществлялся в Восточно-Китайском, Желтом и Японском морях соответственно Китаем, Японией, Республикой Корея и Россией, но в период низкой численности ее лов ведется в небольшом объеме преимущественно у западного побережья Японского архипелага [Yatsu, 2019].

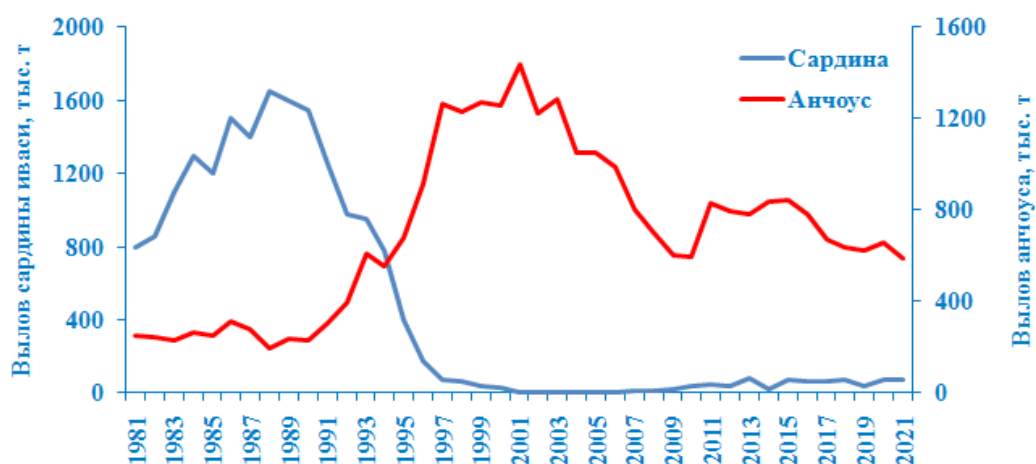


Рис. 6. Сопоставление динамики вылова дальневосточной сардины и японского анчоуса (цусимские популяции) в 1981–2021 гг.

Fig. 6. Compared dynamics of annual catches for japanese sardine and japanese anchovy in 1981–2021 (for the Tsushima populations only)

На этом фоне массовые миграции сардины к западному Сахалину совершенно отсутствуют, как и в предыдущие аналогичные периоды, за исключением появления (обнаружения) небольших скоплений этого вида в 2011 и 2015–2018 гг., что совпадает с годами небольшого увеличения ее вылова (см. рис. 5, 6). Но вместе с тем если в XX веке в периоды массовых и продолжительных миграций анчоуса в Татарский пролив численность мойвы, воспроизводящейся у западного Сахалина, находилась на низком уровне, то в настоящее время такой синхронности не наблюдается. Наоборот, примерно с середины второго десятилетия XXI века запасы дальневосточной мойвы в этом районе стремительно возросли и продолжают оставаться на высоком уровне вплоть до наших дней, о чем свидетельствуют ежегодные оценки нерестовой биомассы — до 45,0 тыс. т [Ким и др., 2022] — и рекордные величины ее годовых уловов последних лет, начиная с 2016 г., — от 3,5 до 13,7 тыс. т [Великанов, 2024].

В целом приведенные на рис. 5 данные о цикличности многолетних миграций некоторых видов субтропических рыб в Татарский пролив и флуктуаций численности дальневосточной мойвы в этом районе полностью подтверждают высказанные 30 лет назад утверждения о том, что при рассмотрении повторяемости климато-океанологических эпох и их воздействия на биоту правильнее в таких случаях говорить об их аналогичности, но не о полной идентичности [Шунтов и др., 1997]. В.П. Шунтов с соавторами [1997] подчеркивают, что полное подобие в таких ситуациях вообще нере-

ально, хотя бы в связи с тем, что изначальные состав, структура и состояние экосистем в аналогичные периоды довольно сильно различаются.

Похоже, что в настоящее время происходят очередные климато-океанологические изменения, результаты которых по-новому отражаются на состоянии и функционировании морских экосистем рассматриваемого региона, в том числе на необычно большой продолжительности массовых сезонных миграций японского анчоуса в Татарский пролив и более ранней, чем в первой половине XX века, очередной вспышке численности дальневосточной мойвы, размножающейся у западного побережья Сахалина. Конечно, наблюдения и исследования такого рода в рассматриваемом районе необходимо продолжать, чтобы получить достаточно объективные данные по конечным результатам этого циклического природного процесса.

*Особенности миграций анчоуса к берегам Сахалина в Охотском море
в связи с многолетними флюктуациями его численности*

В охотоморских районах Сахалина ситуация с многолетними сезонными миграциями японского анчоуса в последний период возрастания его численности по некоторым признакам существенно отличается от положения дел в Татарском проливе. Прежде всего многолетняя продолжительность миграций анчоуса в южную часть Охотского моря в течение этого периода была значительно короче — не более 23 лет против как минимум 35 лет в северной части Японского моря. И хотя продолжительность миграций анчоуса в Охотское море в последний период высокой численности была короче, чем в Татарском проливе, тем не менее она почти вдвое больше, чем в предыдущий период (1950–1960 гг.) в этом же районе.

Многолетние изменения подходов анчоуса в южную часть Охотского моря хорошо согласуются и с многолетней динамикой его биомассы (рис. 7, а, б). Опубликованные данные [Yatsu, 2019] свидетельствуют о том, что существенный рост запасов тихоокеанской популяции этого вида начался в 1990 г., а в 2003 г. он достиг максимума (1,5 млн т). В последующие годы биомасса анчоуса снижалась, к 2015 г. запас сократился в 5 раз.

В то же время годы массовых миграций анчоуса в Охотское море в последний период его высокой численности полностью укладываются в период отсутствия российского промысла сардины в северо-западной части Тихого океана и Охотском море. В том числе прекращение массовых миграций анчоуса в южную часть Охотского моря вполне совпадает со значительным увеличением российского вылова сардины иваси в северо-западной части Тихого океана в новейшее время (рис. 7, в). Начиная с 2016 г. отечественный экспедиционный промысел сардины осуществляется в основном в тихоокеанской подзоне южных Курильских островов, а в последние 4–5 лет — частично и с охотоморской стороны этих островов, продвигаясь на север вплоть до 46° с.ш.

Значительное увеличение отечественных уловов дальневосточной сардины на протяжении сравнительно короткого ряда лет (с 6,7 тыс. т в 2016 г. до 544,0 тыс. т в 2023 г. и 580,0 тыс. т в 2024 г.), конечно, свидетельствует о больших величинах сезонного запаса тихоокеанской популяции этого вида рыб у южных Курильских островов. Следовательно, очередная вспышка численности дальневосточной сардины в северо-западной части Тихого океана, как и массовые миграции этой рыбы в южную часть Охотского моря, где она формировала скопления промыслового характера, начались в XXI веке заметно раньше, чем в Японском море и Татарском проливе.

Аналогичная картина с промыслом этой рыбы в Охотском море (вплоть до 49° с.ш.) наблюдалась и в предыдущие годы высокой численности тихоокеанской популяции иваси [Zhigalin, Belayev, 1999].

Как видно из представленных данных, сезонные миграции анчоуса в южную часть Охотского моря хорошо укладываются в выявленную ранее классическую схему, согласно которой численность дальневосточной сардины и японского анчоуса, находится в противофазе, что отражается на цикличности массовых миграций этих видов

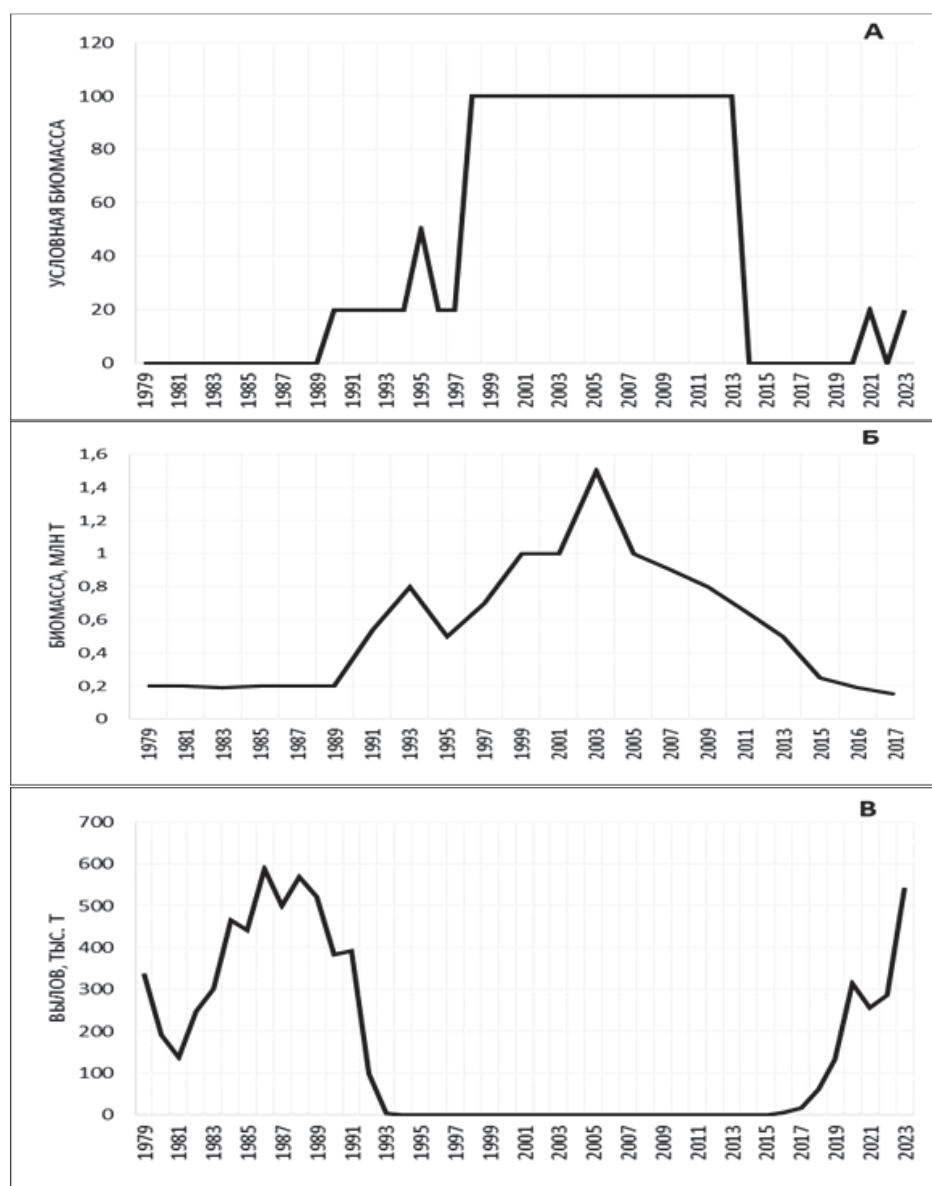


Рис. 7. Периодичность миграций японского анчоуса *Engraulis japonicus* к охотоморскому побережью Сахалина (а), динамика биомассы его тихоокеанской популяции [по: Yatsu, 2019] (б) и российский вылов дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* в северо-западной части Тихого океана и Охотском море (в), 1979–2023 гг.

Fig. 7. Cases of Japanese anchovy migrations to the Okhotsk Sea coast of Sakhalin (а), dynamics of biomass for the Pacific population of this species [Yatsu, 2019] (б), and dynamics of annual catch of Japanese sardine by Russia in the North-West Pacific and Okhotsk Sea (в) in 1979–2023

в северные районы ареала. Это наблюдается также в массовых подходах (или их отсутствии) указанных видов рыб в Татарский пролив, где массовые миграции анчоуса почти ежегодно отмечаются вплоть до наших дней, тогда как подходы сардины в большом (промысловом) количестве отсутствуют на протяжении уже нескольких десятилетий. Но вместе с тем нужно иметь в виду, что в разные климато-океанологические периоды высокой численности продолжительность периода многолетних сезонных миграций японского анчоуса к берегам Сахалина может существенно изменяться, что в предварительном виде и показали проведенные в последние 100 лет наблюдения.

Заключение

Результаты выполненных исследований позволили достоверно установить северные границы распространения скоплений японского анчоуса в летний период как в Татарском проливе (52° с.ш.), так и в охотоморских районах Сахалина (53°20' с.ш.). Это стало возможным благодаря применению двух форм экспедиционных исследований — морских судовых и прибрежных с использованием лодок, закидного невода и ставных сетей на мелководье, не доступном для судовых траловых работ. Прибрежные исследования, включая данные о выбросах анчоуса в зону прилива, существенно дополнили информацию о распределении этого вида у берегов Сахалина, полученную по данным донных и пелагических траловых съемок.

В современный период высокой численности японского анчоуса общая продолжительность времени его миграций в Татарский пролив была на 10–12 лет больше, чем у восточного Сахалина, что близко к соотношению аналогичных трендов, отмеченных в XX веке. Многолетняя продолжительность подходов анчоуса в Татарский пролив и юго-западную часть Охотского моря хорошо согласуется с динамикой запасов его цусимской и тихоокеанской популяций в современный период высокой численности. Однако также массовые сезонные миграции анчоуса в северные районы ареала наблюдались на фоне низкой численности дальневосточной сардины в Японском море и северо-западной части Тихого океана, что еще раз подтверждает противофазность динамики запасов этих двух видов рыб, отмеченную многими учеными ранее.

Во время периодов высокой численности при должной организации промысла годовой вылов японского анчоуса у берегов Сахалина по ориентировочной оценке максимально может находиться в диапазоне 100–300 тыс. т. В то же время результаты проведенных исследований показали, что многие вопросы экологии японского анчоуса во время сезонных миграций в северные районы ареала остаются еще слабо изученными. В их числе отметим такие, что частично затронуты в этой статье: конкретные пути миграций летом на север и осенью на юг в разные годы; факторы, влияющие на распространение этого вида рыб к северной границе ареала; как изменяются пути миграций на север и обратно в зависимости от температурных условий, — и многие другие, изучение которых в конечном счете будет способствовать разработке обоснованных рекомендаций по вовлечению в промысловую сферу российского рыбохозяйственного комплекса этого высокочисленного рыбного ресурса.

В связи с этим реализация предложений по возобновлению комплексных экспедиционных исследований, направленных на изучение состава и функционирования пелагических экосистем в условиях меняющегося климата, как и уточнение состояния запасов промысловых видов, включая высокочисленных трансграничных рыб, ежегодно совершающих сезонные миграции в северную часть Японского и юго-западную часть Охотского морей [Байталюк, Радченко, 2024], несомненно, ускорит разрешение многих вопросов такого рода.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают свою признательность рецензентам за конструктивную оценку рукописи и полезные предложения по ее улучшению.

The authors are grateful to anonymous reviewers for their constructive evaluation of the manuscript and useful suggestions for its improvement.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках финансирования по государственному заданию ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00001-24-00.

The study was conducted within the framework of the Governmental Task to the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography No. 076-00001-24-00.

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 guidelines for the care and use of animals were followed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.Я. Великанов — идея работы, анализ данных, подготовка таблицы и рисунков, написание статьи; А.В. Буслов — анализ данных, подготовка рисунков, участие в написании статьи; Н.К. Заварзина — сбор материалов, подготовка рисунков, анализ данных, обсуждение полученных результатов; Г.В. Шевченко — анализ данных, обсуждение полученных результатов; И.Н. Мухаметов — обсуждение полученных результатов, редакторская правка.

A.Ya. Velikanov — conception of the study, data analysis, the text writing and illustrating; A.V. Buslov — data analysis, partial writing and illustrating the text; N.K. Zavarzina — data collection, data analysis, discussing the results; G.V. Shevchenko — data analysis, discussing the results; I.N. Mukhametov — discussing the results, the text editing.

Список литературы

Байталоук А.А., Радченко В.И. Современное состояние и тенденции промыслового запаса японского анчоуса *Engraulis japonicus* (Engraulidae) в российских водах Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 2. — С. 257–275. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-257-275.

Беляев В.А., Новиков Ю.В., Свирский В.Г. Запасы дальневосточной сардины и изменения в ихтиоцене СЗТО // Рыб. хоз-во. — 1991. — № 8. — С. 24–27.

Василенко А.В., Шершенков С.Ю. Анчоус Японского моря: перспективы освоения промыслом // Рыб. хоз-во. — 1997. — № 1. — С. 36–38.

Великанов А.Я. Анчоус и сайра у берегов Сахалина // Вестн. Сахалинского музея. — 2001. — № 1(8). — С. 295–300.

Великанов А.Я. Дальневосточная мойва: распределение, особенности биологии, динамика биомассы, проблемы и перспективы промыслового освоения // Вопр. рыб-ва. — 2018. — Т. 19, № 3. — С. 300–326.

Великанов А.Я. История освоения ресурсов дальневосточной мойвы *Mallotus catervarius* (Osmeriformes) у берегов Сахалина и причины рекордных уловов в современный период // Вопр. рыб-ва. — 2024. — Т. 25, № 1. — С. 29–48. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-1-29-48.

Великанов А.Я. Миграции дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* к берегам острова Сахалин в XX — начале XXI столетия // Вопр. ихтиол. — 2016. — Т. 56, № 5. — С. 548–561. DOI: 10.7868/S0042875216040184.

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

Великанов А.Я. О состоянии сообществ пелагических рыб у западного и восточного Сахалина в 2002 г. // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 137. — С. 207–225.

Великанов А.Я. Сезонная встречаемость пелагических видов рыб в некоторых микрорайонах юго-западной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 135. — С. 72–93.

Великанов А.Я., Буслов А.В., Никитин В.Д. и др. Очередное появление дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* (Clupeidae) у западного побережья Сахалина // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 62–68.

Великанов А.Я., Мухаметов И.Н. Изменения в сообществах рыб в верхней эпипелагиали зал. Анива (о. Сахалин) в течение летнего сезона // Тр. СахНИРО. — 2011. — Т. 12. — С. 28–54.

Великанов А.Я., Мухаметов И.Н., Шевченко Г.В., Заварзина Н.К. Биологическая характеристика японского анчоуса *Engraulis japonicus* (Engraulidae) в период сезонных миграций у берегов о. Сахалин в 2000–2023 гг. // Вопр. рыб-ва. — 2025. — Т. 26, № 1. — С. 59–76. DOI: 10.36038/0234-2774-2025-26-1-59-76.

Великанов А.Я., Стоминоков Д.Ю. Современное состояние ихтиофауны залива Анива (о. Сахалин) // Тр. СахНИРО. — 2004. — Т. 6. — С. 55–69.

- Великанов А.Я., Стоминоков Д.Ю., Шубин А.О., Коряковцев Л.В.** Межгодовые изменения в сообществах рыб верхней эпипелагиали зал. Анива и прилегающих районов Охотского моря в летний период // Тр. СахНИРО. — 2005. — Т. 7. — С. 3–22.
- Дарда М.А.** Возможности промысла анчоуса в водах западного Сахалина // Рыб. хоз-во. — 1968а. — № 6. — С. 7–8.
- Дарда М.А.** Распределение и биологическая характеристика анчоуса (*Engraulis japonicus* Schl.) в водах Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1968б. — Т. 65. — С. 42–48.
- Дружинин А.Д., Дарда М.А.** Некоторые данные о сардине и анчоусе // Изв. ТИНРО. — 1963. — Т. 49. — С. 238–239.
- Дружинин А.Д., Фридлянд И.Г.** Некоторые данные об анчоусе в водах Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1951. — Т. 35. — С. 186–187.
- Ким С.Т., Ившина Э.Р., Заварзина Н.К.** Современное состояние сырьевых ресурсов рыб в северо-восточной части Японского моря // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. — 2022. — № 4. — С. 70–84. DOI: 10.34078/1814-0998-2022-4-70-84.
- Линдберг Г.У.** Список фауны морских вод южного Сахалина и южных Курильских островов // Исследования дальневосточных морей СССР. — М. ; Л. : АН СССР, 1959. — Вып. 6. — С. 173–256.
- Мерзляков А.Ю., Темных О.С.** Динамика состава пелагического ихтиоценоза Охотского моря в связи с миграциями рыб различных экологических и географических группировок // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 1215–1227.
- Мухаметова О.Н.** Некоторые особенности пространственного распределения и развития икры и личинок японского анчоуса *Engraulis japonicus* (Engraulidae) в водах острова Сахалина // Вопр. ихтиол. — 2004. — Т. 44, № 2. — С. 239–248.
- Планирование, организация и обеспечение исследований рыбных ресурсов дальневосточных морей России и северо-западной части Тихого океана** : моногр. / отв. ред. Л.Н. Бочаров, И.В. Мельников. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 231 с.
- Пробатов А.Н.** Анчоус и сардина у берегов южного Сахалина // Природа. — 1953. — № 6. — С. 110–111.
- Промысловые рыбы России.** В двух томах : моногр. / под ред. О.Ф. Гриценко, А.Н. Котляра и Б.Н. Котенева. — М. : ВНИРО, 2006. — Т. 1. — 656 с.
- Радченко В.И., Кантаков Г.А., Шубин А.О. и др.** Ихтиоцены и физические условия верхней эпипелагиали шельфа юго-восточного Сахалина в период после ската молоди лососей // Тр. СахНИРО. — 2002. — Т. 4. — С. 70–92.
- Радченко В.И., Мельников И.В., Волков А.Ф. и др.** Условия среды, состав планктона и нектона эпипелагиали южной части Охотского моря и сопредельных океанских вод летом // Биол. моря. — 1997. — Т. 23, № 1. — С. 15–25.
- Скалкин В.А.** О случаях массовой гибели рыб у берегов западного Сахалина // Вопр. ихтиол. — 1965. — Т. 5, вып. 1(34). — С. 212–214.
- Соколовский А.С., Дударев В.А., Соколовская Т.Г., Соломатов С.Ф.** Рыбы российских вод Японского моря: аннотированный и иллюстрированный каталог. — Владивосток : Дальнаука, 2007. — 200 с.
- Степаненко М.А.** Анчоусы // Биологические ресурсы Тихого океана. — М. : Наука, 1986. — С. 167–175.
- Таранец А.Я.** Материалы к познанию ихтиофауны Советского Сахалина // Изв. ТИНРО. — 1937. — Т. 12. — С. 5–50.
- Фадеев Н.С.** Справочник по биологии и промыслу рыб северной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 366 с.
- Шевченко Г.В., Ложкин Д.М.** Сезонные и межгодовые вариации температуры поверхности моря в Татарском проливе по спутниковым данным // Геосистемы переходных зон. — 2023. — Т. 7, № 3. — С. 276–291. DOI: 10.30730/gtr.2023.7.3.276-291.
- Шелехов В.А.** Японский анчоус *Engraulis japonicus* (Schlegel): возраст, рост и популяционная структура : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ННЦМБ ДВО РАН, 2017. — 23 с.
- Шунтов В.П., Радченко В.И., Дулепова Е.П., Темных О.С.** Биологические ресурсы дальневосточной российской экономической зоны: структура пелагических и донных сообществ, современный статус, тенденции многолетней динамики // Изв. ТИНРО. — 1997. — Т. 122. — С. 3–15.
- Kawasaki T.** Regime Shift — Fish and Climate Change. — Sendai : Tohoku University Press, 2013. — 162 p.

Kuwaie M., Takeoka H., Sugimoto T. Long-term variability of Japanese anchovy and sardine abundance reconstructed by fossil scales // Kaiyo Monthly. — 2008. — № 453. — P. 448–453 (in Jap.).

Lluch-Belda D., Schwartzlose R.A., Serra R. et al. Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report // Fish. Oceanogr. — 1992. — № 1(4). — P. 339–347.

Murase H., Kawabata A., Kubota H. et al. Basin-scale distribution pattern and biomass estimation of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the western North Pacific // Fish. Sci. — 2012. — Vol. 78. — P. 761–773. DOI: 10.1007/s12562-012-0508-2.

Nagasawa K., Ueno Ya., Azuma T. et al. Distribution and abundance of epipelagic fishes and squids, excluding salmonids, in the southern Okhotsk Sea and Western North Pacific Ocean off the Kuril Islands in the autumn of 1993 // Salmon Rep. Ser. — 1995. — № 40. — P. 128–143.

Peck M.A., Alheit J., Bertrand A. et al. Small pelagic fish in the new millennium: A bottom-up view of global research effort // Prog. Oceanogr. — 2021. — Vol. 191. — 102494. DOI: 10.1016/j.pcean.2020.102494.

Perry I., Batchelder H., Ishida Y. et al. The Status of North Pacific Marine Ecosystems. Synthesis : PICES North Pacific Ecosystems Status Report. — Victoria, Canada, 2003. — 38 p.

Takahashi M., Watanabe Y., Yatsu A., Nishida A. Contrasting responses in larval and juvenile growth to a climate-ocean regime shift between anchovy and sardine // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2009. — № 66(6). — P. 972–982. DOI: 10.1139/F09-051.

Yatsu A. Review of population dynamics and management of small pelagic fishes around the Japanese Archipelago // Fish. Sci. — 2019. — Vol. 85. — P. 611–639. DOI: 10.1007/s12562-019-01305-3.

Zhigalin A.Yu., Belayev V.A. Distribution of the Far-east Sardine and Russian Fishery in the Pacific waters and Okhotsk Sea during 1974–1993 // Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr. — 1999. — Vol. 63(4). — P. 215–220.

References

Baitaliuk, A.A. and Radchenko, V.I., The current status and trends in the commercial stock of the Japanese anchovy, *Engraulis japonicas* (Engraulidae), in Russian waters of the Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2024, vol. 50, no. 7, pp. 380–391. doi 10.1134/S1063074024700299

Belyaev, V.A., Novikov, Yu.V., and Svirskiy, V.G., Stocks of the Far Eastern sardine and changes in the ichthyocen of the North Western Pacific, *Rybn. Khoz.*, 1991, vol. 8, pp. 24–27.

Vasilenko, A.V. and Shershenkov, S.Yu., Anchovy of the Sea of Japan: prospects for development of the fishery, *Rybn. Khoz.*, 1997, no. 1, pp. 36–38.

Velikanov, A.Ya., Anchovy and saury off the coast of Sakhalin, *Vestnik sakhalinskogo muzeya*, 2001, no. 1(8), pp. 295–300.

Velikanov, A.Ya., Far Eastern capelin: distribution, biological features, biomass dynamics, problems and prospects for commercial development, *Vopr. Rybolov.*, 2018, vol. 19, no. 3, pp. 300–326.

Velikanov, A.Ya., History of the Pacific capelin *Mallotus catervarius* (Osmeriformes) fishery near the Sakhalin coast and reasons of its catch records in present period, *Vopr. Rybolov.*, 2024, vol. 25, no. 1, pp. 29–48. doi 10.36038/0234-2774-2024-25-1-29-48

Velikanov, A.Y., Pacific sardine (*Sardinops melanostictus*) migrations to the shores of Sakhalin Island in the 20th–early 21st centuries, *Vopr. Ikhtiol.*, 2016, vol. 56, no. 5, pp. 715–727. doi 10.1134/S0032945216040147

Velikanov, A.Ya., A new wave of migrations of fish from southern latitudes to the shores of Sakhalin, *Vestnik sakhalinskogo muzeya*, 2006, no. 1(13), pp. 265–278.

Velikanov, A.Ya., On the status of pelagic fish communities off the west and east Sakhalin Island in 2002, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 137, pp. 207–225.

Velikanov, A.Ya., Seasonal frequency of pelagic fish species in some small areas of the southwestern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 135, pp. 72–93.

Velikanov, A.Ya., Buslov, A.V., Nikitin, V.D., Kusailo, O.V., Tshay, Zh.R., Latkovskaya, E.M., Frolov, E.V., and Lysikova, A.S., New appearance of japanese sardine *Sardinops melanostictus* (Clupeidae) at the western coast of Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 171, pp. 62–68.

Velikanov, A.Ya. and Moukhametov, I.N., Changes in fish communities of the upper epipelagial of Aniva Bay (Sakhalin Island) during the summer season, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 12, pp. 28–54.

Velikanov, A.Ya., Mukhametov, I.N., Shevchenko, G.V., and Zavarzina, N.K., Biological characteristics of the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* (Engraulidae) during seasonal migrations off the Sakhalin Island in 2000–2023, *Vopr. Rybolov.*, 2025, vol. 26, no. 1, pp. 59–76. doi 10.36038/0234-2774-2025-26-1-59-76

Velikanov, A.Ya. and Stominok, D.Yu., Current state of the Aniva Bay ichthyofauna (Sakhalin Island), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 6, pp. 55–69.

Velikanov, A.Ya., Stominok, D.Yu., Shubin, A.O., and Koryakovtsev, L.V., Interannual changes in fish communities of the Aniva Bay upper epipelagic zone and adjoining areas of the Okhotsk Sea in a summer period, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 7, pp. 3–22.

Darda, M.A., Anchovy fishing opportunities in the waters of Western Sakhalin, *Rybn. Khoz.*, 1968, no. 6, pp. 7–8.

Darda, M.A., Distribution and biological characteristics of the Japanese anchovy (*Engraulis japonicus* Schl.) in Sakhalin waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1968, vol. 65, pp. 42–48.

Druzhinin, A.D. and Darda, M.A., Some data on sardine and anchovy, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1963, vol. 49, pp. 238–239.

Druzhinin, A.D. and Fridlyand, I.G., Some data on anchovy in Sakhalin waters, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1951, vol. 35, pp. 186–187.

Kim, S.T., Ivshina, E.R., and Zavarzina, N.K., Current state of fish resources in the North-Eastern part of the Sea of Japan, *Vestn. Sev.-Vost. Nauch. Tsentra, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2022, no. 4, pp. 70–84. doi 10.34078/1814-0998-2022-4-70-84

Lindberg, G.U., A list of the fauna of the sea waters of the South Sakhalin and South Kuril Islands, in *Issledovaniya dal'nevostochnykh morei SSSR* (Research of the Far Eastern Seas of the USSR), Moscow; Leningrad: Akad. Nauk SSSR, 1959, no. 6, pp. 173–256.

Merzlyakov, A.Yu. and Temnykh, O.S., Dynamics of composition of pelagic ichthyofauna of the Okhotsk Sea in connection with migrations of different ecological and geographical groups, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 1215–1227.

Mukhametova, O.N., Some characteristics of spatial distribution and development of eggs and larvae in the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* (Engraulidae) in waters off Sakhalin, *J. Ichthyol.*, 2004, vol. 44, no. 2, pp. 158–166.

Planirovanie, organizatsiya i obespechenie issledovaniy rybnykh resursov dal'nevostochnykh morei Rossii i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana (Planning, Conducting and Support of Fishery Resource Studies in the Far Eastern Seas of Russia and North-West Pacific Ocean), Bocharov, L.N., Melnikov, I.V., eds, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Probatov, A.N., Anchovy and sardine off the coast of southern Sakhalin, *Priroda*, 1953, no. 6, pp. 110–111.

Promyslovyye ryby Rossii. V dvukh tomakh (Commercial fishes of Russia: in 2 volumes), Gritsenko, O.F., Kotlyar, A.N., and Kotenev, B.N., eds, Moscow: VNIRO, 2006, vol. 1.

Radchenko, V.I., Kantakov, G.A., Shubin, A.O., Stominok, D.Yu., Fefilov, Yu.V., and Malakhova, Yu.A., and Dolgikh, M.G., Fish communities and physical conditions of shelf epipelagic of south-eastern part of Sakhalin after juvenile salmon leaving the river, *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 4, pp. 70–92.

Radchenko, V.I., Melnikov, I.V., Volkov, A.F., Semchenko, A.Yu., Glebov, I.I., and Mikheev, A.A., Composition of planktonic and nektonic communities of the epipelagic northern Sea of Okhotsk in the autumn of 1994, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1997, vol. 23, no. 3, pp. 123–130.

Skalkin, V.A., Mass death of fish at the coasts of Western Sakhalin, *Vopr. Ichthyol.*, 1965, vol. 5, no. 1(34), pp. 212–214.

Sokolovsky, A.S., Dudarev, V.A., Sokolovskaya, T.G., and Solomatov, S.F., *Ryby rossiyskikh vod Yaponskogo morya: annotirovannyi i illyustrirovannyi katalog* (Fishes of the Russian waters of the Sea of Japan: an annotated and illustrated catalogue), Vladivostok: Dal'nauka, 2007.

Stepanenko, M.A., Anchovy, in *Biologicheskie resursy Tikhogo okeana* (Biological resources of the Pacific Ocean), Moscow: Nauka, 1986, pp. 167–175.

Taranets, A.Y., Materials for the knowledge of the ichthyofauna of Soviet Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1937, vol. 12, pp. 5–50.

Fadeev, N.S., *Spravochnik po biologii i promyslu ryb severnoi chasti Tikhogo okeana* (A Reference Book on Biology and Harvesting of Fishes in the Northern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Shevchenko, G.V. and Lozhkin, D.M., Seasonal and interannual variations in sea surface temperature in the Tatar Strait according to satellite data, *Geosistemy perehodnykh zon*, 2023, vol. 7, no. 3, pp. 276–291. doi 10.30730/gtr.2023.7.3.276-291

Shelekhov, V.A., Japanese anchovy *Engraulis japonicus* (Schlegel): age, growth and population structure, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.)*, Vladivostok, 2017.

Shuntov, V.P., Radchenko, V.I., Dulepova, E.P., and Temnykh, O.S., Biological resources of the Far Eastern Russian economic zone: structure of pelagic and bottom communities, up-to-date status, tendencies of long-term dynamics, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1997, vol. 122, pp. 3–15.

Kawasaki, T., *Regime Shift — Fish and Climate Change*, Sendai: Tohoku University Press, 2013.

Kuwae, M., Takeoka, H., and Sugimoto, T., Long-term variability of Japanese anchovy and sardine abundance reconstructed by fossil scales, *Kaiyo Monthly*, 2008, no. 453, pp. 448–453.

Lluch-Belda, D., Schwartzlose, R.A., Serra, R., Parrish, R., Kawasaki, T., Hedgecock, D., and Crawford, R.J.M., Sardine and anchovy regime fluctuations of abundance in four regions of the world oceans: a workshop report, *Fish. Oceanogr.*, 1992, vol. 1, no. 4, pp. 339–347.

Murase, H., Kawabata, A., Kubota, H., Nakagami, M., Abe, K., Miyashita, K., and Oozeki, Y., Basin-scale distribution pattern and biomass estimation of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the western North Pacific, *Fish. Sci.*, 2012, vol. 78, pp. 761–773. doi 10.1007/s12562-012-0508-2

Nagasawa, K., Ueno, Ya., Azuma, T., Ogura, M., Startsev, A.V., Ivanova, I.M., and Morris, J., Distribution and abundance of epipelagic fishes and squids, excluding salmonids, in the southern Okhotsk Sea and Western North Pacific Ocean off the Kuril Islands in the autumn of 1993, *Salmon Rep. Ser.*, 1995, no. 40, pp. 128–143.

Peck, M.A., Alheit, J., Bertrand, A., Catalán, I.A., Garrido, S., Moyano, M., Rykaczewski, R.R., Takasuka, A., and van Der Lingen, C.D., Small pelagic fish in the new millennium: A bottom-up view of global research effort, *Prog. Oceanogr.*, 2021, vol. 191, 102494. doi 10.1016/j.pcean.2020.102494

Perry, I., Batchelder, H., Ishida, Y., Kashiwai, M., Kim, K., McKinnell, S., Radchenko, V., and Stein, J., The Status of North Pacific Marine Ecosystems. Synthesis, *PICES North Pacific Ecosystem Status Report*, Victoria, Canada, 2003.

Takahashi, M., Watanabe, Y., Yatsu, A., and Nishida, A., Contrasting responses in larval and juvenile growth to a climate-ocean regime shift between anchovy and sardine, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2009, vol. 66, no. 6, pp. 972–982. doi 10.1139/F09-051

Yatsu, A., Review of population dynamics and management of small pelagic fishes around the Japanese Archipelago, *Fish. Sci.*, 2019, vol. 85, pp. 611–639. doi 10.1007/s12562-019-01305-3

Zhigalin, A.Yu. and Belayev, V.A., Distribution of the Far-east sardine and Russian fishery in the Pacific waters and Okhotsk Sea during 1974–1993, *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, 1999, vol. 63, no. 4, pp. 215–220.

Поступила в редакцию 9.07.2025 г.

После доработки 20.10.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 9.07.2025; approved after reviewing 20.10.2025;
accepted for publication 3.12.2025

Научная статья

УДК 597.556.35(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-663-679

EDN: LMLEHE



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ ДЛИННОПЕРОГО МАЛОРОТА
GLYPTOCEPHALUS ZACHIRUS (PLEURONECTIDAE)
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ
В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Ю.К. Курбанов¹, Р.Т. Овчеренко^{2*}¹ Камчатский государственный технический университет (КамчатГТУ),
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 37;² Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18

Аннотация. Представлены новые сведения о распределении, экологии и размерном составе длинноперого малорота *Glyptocephalus zachirus* в северо-западной части Берингова моря в летний период. Вид был отмечен в пределах теплой промежуточной водной массы на глубине 120–718 м при придонной температуре 2,6–4,9 °С. Скопления повышенной плотности встречены в батиметрическом диапазоне 200–400 м. Уловы малорота состояли из особей длиной 11–49 см. Установлено, что его молодь избегает шельфовые участки, населяя только верхнюю батиаль. Предполагается, что основная зона обитания малорота находится под влиянием теплого Наваринского течения.

Ключевые слова: длинноперый малорот, *Glyptocephalus zachirus*, Pleuronectidae, распределение, встречаемость, экология, размерный состав, Берингово море

Для цитирования: Курбанов Ю.К., Овчеренко Р.Т. Распределение и экология длинноперого малорота *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) в северо-западной части Берингова моря в летний период // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 663–679. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-663-679. EDN: LMLEHE.

Original article

Distribution and ecology of rex sole *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae)
in the northwestern Bering Sea in the summer season

Yuri K. Kurbanov*, Rinata T. Ovcherenko**

* Kamchatka State Technical University,

37, Klyuchevskaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003, Russia

** Kamchatka Branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography,

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

* graduate student, gremlin__91@mail.ru, ORCID 0000-0002-1176-4386

** Ph.D., senior researcher, r.ovcherenko@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2610-1534

* Курбанов Юрий Каримович, аспирант, gremlin__91@mail.ru, ORCID 0000-0002-1176-4386; Овчеренко Рината Таалайбековна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, r.ovcherenko@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2610-1534.

© Курбанов Ю.К., Овчеренко Р.Т., 2025

Abstract. New data on distribution, ecology, and size composition of rex sole *Glyptocephalus zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer are presented. Fish of this species were recorded at the depths of 120–718 m, mainly within the warm Intermediate water mass, under water temperature of 2.6–4.9 °C at the bottom, with the maximum of distribution density in the bathymetric range of 200–400 m. The fish of 11–49 cm in length prevailed in the trawl catches. The juveniles avoided shelf areas and dwelled in the upper bathyal layer only. The main habitat of rex sole is supposedly subjected to influence of the warm Navarin Current.

Keywords: rex sole, *Glyptocephalus zachirus*, Pleuronectidae, distribution, occurrence, ecology, size composition, Bering Sea

For citation: Kurbanov Yu.K., Ovcherenko R.T. Distribution and ecology of rex sole *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) in the northwestern Bering Sea in the summer season, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 663–679. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-663-679. EDN: LMLEHE.

Введение

К настоящему времени известно, что в северной части Тихого океана обитают три вида малоротых камбал рода *Glyptocephalus*: длинноперая *G. zachirus*, Стеллера *G. stelleri* и танакия *G. kitaharae* [Cooper, Chapleau, 1998; Vinnikov et al., 2018; <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>]. Все они имеют отличный друг от друга тип географического распространения и характеризуются разным обилием в пределах своих ареалов. Танакию можно отнести к субтропическому комплексу, которая встречается в Японском, Желтом и Восточно-Китайском морях, но в силу своей малой численности считается редким видом [Линдберг, Федоров, 1993; Kim et al., 2005]. Малорот Стеллера является низкобореальным представителем камбаловых, который наиболее обилен в северо-западной части Японского и прилегающих районах Охотского моря, где долгие годы эксплуатируется промыслом [Тарасюк, 1997; Иванкова, 2000; Фадеев, 2005]. В отличие от двух указанных видов, длинноперый малорот имеет более широкое распространение и отмечается у обоих побережий Северной Пацифики. Наибольшей численности достигает у Британской Колумбии, Вашингтона, Орегона, Калифорнии, Алеутских островов, а также в зал. Аляска. Довольно обычен он и в восточной части Берингова моря [Новиков, 1974; Фадеев, 1987; Allen, Smith, 1988; Mecklenburg et al., 2002]. Характерно, что в азиатских водах длинноперого малорота стали отмечать лишь с 1960-х гг. Первые сообщения относились к северо-западной части Берингова моря (побережье Корякского нагорья, Олюторский залив) и Командорскому архипелагу [Куликов, 1964а, б; Новиков, 1974]. Несколько позднее он был обнаружен в тихоокеанских водах у северных Курильских островов и юго-восточной оконечности Камчатки [Орлов, 2000, 2001; Токранов, Винников, 2000; Orlov, 2004]. Из-за относительно редких поимок информация о распределении и биологии малорота в северо-западной части Тихого океана имеет довольно отрывистый и фрагментарный характер [Orlov et al., 2002; Орлов, Токранов, 2006; Orlov, Tokranov, 2007; Глубоков и др., 2017; Курбанов, Овчеренко, 2021]. Наравне с этим жизненный цикл данного вида в приамериканских водах изучен достаточно подробно [Минева, 1964; Новиков, 1974; Hosie, Horton, 1977; Pearcy et al., 1977; Pearcy, 1978; Pearcy, Hancock, 1978; Фадеев, 1987; Castillo, 1995; Abookire, 2006; Abookire, Bailey, 2007].

Таким образом, цель нашего сообщения — представить новые сведения о встречаемости, распределении и экологии длинноперого малорота в северо-западной части Берингова моря.

Материалы и методы

Материалом для настоящего исследования послужили результаты четырех донных траловых съемок, выполненных на НИС «Профессор Леванидов», «Профессор Кагановский» и «Дмитрий Песков» в северо-западной части Берингова моря в июле-сентябре 2018–2024 гг. В пределах указанной акватории анализировали участок, расположенный

между мысами Олюторским и Наварин до границы исключительной экономической зоны России. Суммарно выполнено 263 траления на глубинах 21–957 м (рис. 1, табл. 1). В качестве орудия лова использовали донный трал 27,1 м, вертикальное и горизонтальное раскрытия которого в ходе работ варьировали в пределах соответственно 1,8–6,8 и 12,0–16,0 м. Скорость судов во время тралений составляла 2,0–4,5 уз. (в среднем 3,0) и зависела от волнения, гидрометеорологических условий в районе, глубины траловой станции и т.д.

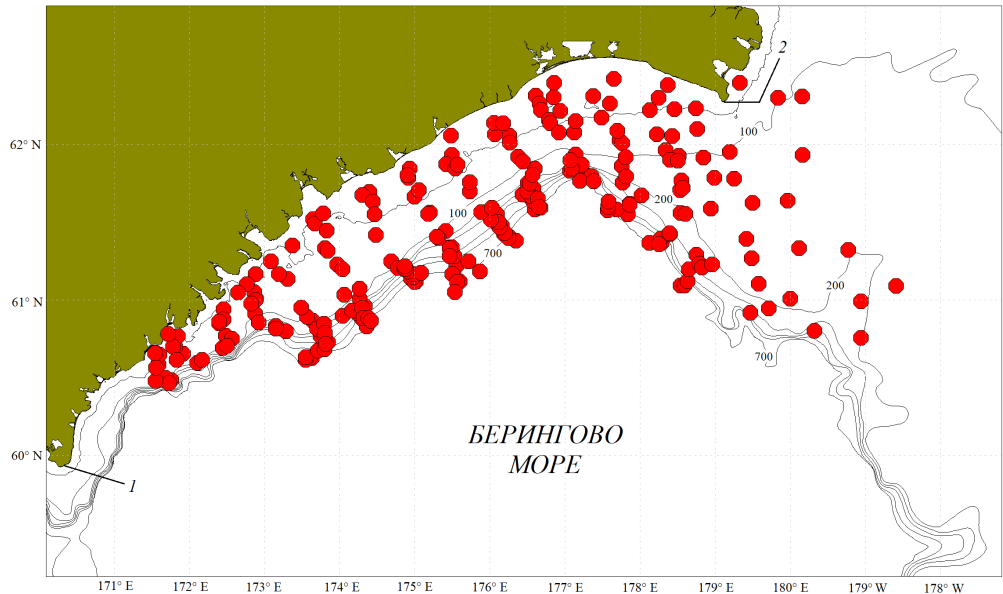


Рис. 1. Схема траловых станций, выполненных в северо-западной части Берингова моря в июле-сентябре 2018–2024 гг.: 1 — мыс Олюторский; 2 — мыс Наварин

Fig. 1. Scheme of the trawl surveys conducted in the northwestern Bering Sea in July-September of 2018–2024: 1 — Cape Olyutorsky; 2 — Cape Navarin

Таблица 1

Список донных траловых съемок, выполненных в северо-западной части Берингова моря в летний период

Table 1

List of the bottom trawl surveys conducted in the northwestern Bering Sea in summer

Научно-исследовательское судно	Год	Месяц	Глубина, м	Число тралений		n_0/n , экз.
				N	N_R	
«Профессор Леванидов»	2018	IX	86–766	55	12	378/143
	2019	VII–VIII	21–355	112	17	75/27
«Профессор Кагановский»	2020	IX	21–957	48	16	535/363
«Дмитрий Песков»	2024	VII–VIII	25–282	48	4	16/16

Примечание. N — общее число тралений; N_R — число результативных тралений, в уловах которых обнаружен длинноперый малорот; n_0 — общее количество пойманных особей; n — число промеренных особей.

Пространственное распределение уловов строили с использованием программы MapInfo 15.0 Professional («Pitney Bowes Software Inc.»). Частоту встречаемости определяли как отношение числа результативных тралений, в которых был обнаружен малорот, к их общему числу. Плотность распределения рассчитывали методом площадей по формуле

$$P = m / (1,852 \cdot a \cdot v \cdot t \cdot k \cdot 0,001),$$

где P — плотность распределения вида, экз./км² или кг/км²; m — улов, экз. или кг; v — скорость траления, уз.; t — время траления, ч; a — горизонтальное раскрытие

трала, м; k — коэффициент уловистости; 1,852 — коэффициент перевода длины, выраженной в морских милях, в километры; 0,001 — коэффициент перевода метров в километры [Волвенко, 1998]. Затем этот показатель осредняли по батиметрическим и термическим диапазонам. При вычислении средних значений плотности использовали коэффициент уловистости 0,4. Поскольку в период работ длинноперый малорот не был отмечен на глубине менее 100 и более 750 м, проанализированы уловы только 154 тралений, охвативших диапазон в пределах указанных значений.

Характеристика размерного состава основана на результатах измерений абсолютной длины рыб с точностью до 1 см. Всего было промерено 549 особей исследуемого вида.

Результаты и их обсуждение

В ходе учетных работ на обследованных глубинах было встречено 11 представителей семейства Pleuronectidae. Несмотря на то что уловы длинноперого малорота в редких случаях могли достигать более 300 экз. и 40 кг за часовое траление, все же он не являлся доминирующим видом. Наиболее обильными были в пределах шельфовой зоны камбалы желтоперая *Limanda aspera* и северная двухлинейная *Lepidopsetta polyxystra*, в верхних и средних отделах батиаля — палтусы черный *Reinhardtius hippoglossoides* и американский стрелозубый *Atheresthes stomias* (табл. 2). В целом уловы малорота на единицу времени редко превышали 100 экз. и 15 кг, а доля по массе была относительно мала.

Таблица 2

Видовой состав и количественные показатели уловов представителей семейства Pleuronectidae в северо-западной части Берингова моря в июле-сентябре 2018–2024 гг. (глубина 100–750 м)

Table 2

Species composition and catch values for fam. Pleuronectidae in the northwestern Bering Sea in July–September of 2018–2024 (depths of 100–750 m)

Вид	FO, %	Доля от общего улова по массе, %		Улов на час траления				Глубина, м
				Экз.		Кг		
		min–max	M	min–max	M	min–max	M	
<i>Atheresthes evermanni</i>	56,5	0,1–9,4	1,9	2–57	6,1	1,1–74,3	7,6	100–650
<i>A. stomias</i>	62,3	0,1–39,2	8,2	2–246	22,1	1,9–320,1	32,8	100–458
<i>Embassichthys bathybius</i>	1,3	0,1–0,5	0,3	2	+	1,1–1,8	+	645–731
<i>Glyptocephalus zachirus</i>	31,8	< 0,1–8,8	1,0	2–328	13,5	0,1–43,5	1,9	120–718
<i>Hippoglossoides elassodon</i>	35,1	< 0,1–13,6	2,8	2–496	22,6	< 0,1–76,1	5,8	100–356
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	11,7	0,2–32,2	6,2	2–12	0,6	1,6–68,6	2,3	100–367
<i>Lepidopsetta polyxystra</i>	19,5	0,1–17,0	3,3	3–372	7,9	0,5–103,2	3,8	100–246
<i>Limanda aspera</i>	2,6	0,6–24,0	6,9	6–130	1,6	2,9–52,3	0,6	100–120
<i>L. sakhalinesis</i>	0,6	+		3	+	0,2	+	130
<i>Pleuronectes quadrituberculatus</i>	4,5	0,5–11,8	3,1	2–63	0,8	2,9–56,2	0,9	100–146
<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>	55,2	0,1–38,3	4,3	2–54	5,1	2,9–128,5	14,6	130–742

Примечание. FO — частота встречаемости; min–max — пределы варьирования показателя; M — среднее значение; «+» — менее 0,1.

Широтно-меридиональное распределение исследуемого вида в период работ имело практически непрерывный характер, однако можно наблюдать два участка, где были локализованы основные поимки (рис. 2). Первый располагался юго-западнее каньона (долины) Витязя (177–178° в.д.), протянувшись вдоль центрального побережья Корякского нагорья. Здесь относительное обилие длинноперого мало-

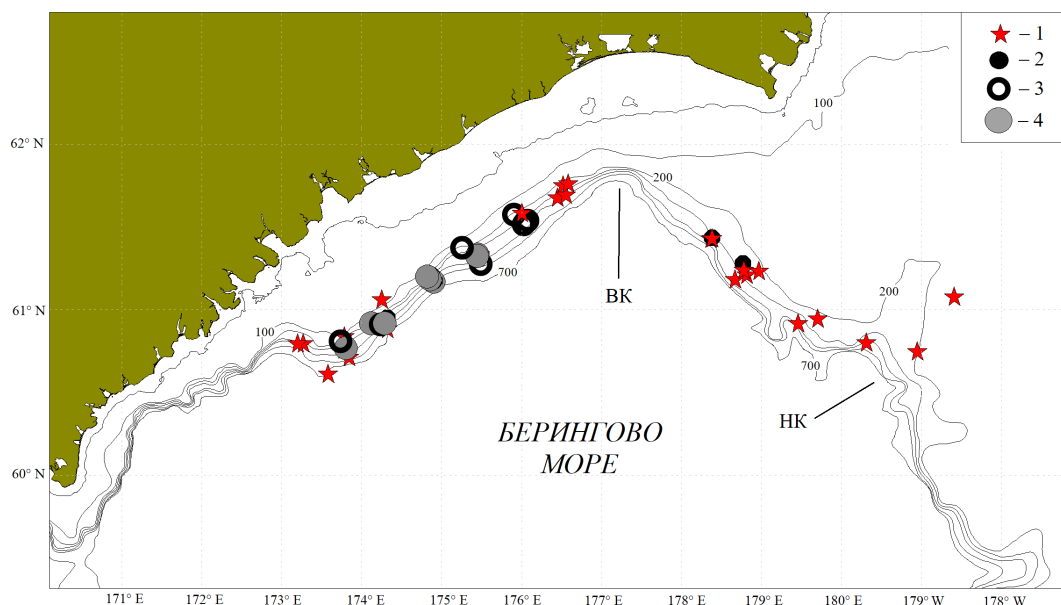


Рис. 2. Пространственное распределение (экз./км²) длинноперого малороты *G. zachirus* в северо-западной части Берингова моря в летний период: 1 — 50–500; 2 — 501–1000; 3 — 1001–2500; 4 — 2501–11172; ВК — каньон Витязя, НК — Наваринский каньон

Fig. 2. Spatial distribution of rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer, ind./km². ВК — Vityaz canyon, НК — Navarin canyon. Legend: 1 — 50–500; 2 — 501–1000; 3 — 1001–2500; 4 — 2501–11172

рота достигало максимальных величин, особенно между 60°45' и 61°30' с.ш., — до 4520–11172 экз./км² (473,1–1310,7 кг/км²). Второй участок находился восточнее 178-го меридиана у северо-западного склона Наваринского каньона, где плотность скоплений рыб была значительно меньше — 53–698 экз./км² (2,1–181,5 кг/км²). В целом по всей исследуемой акватории средняя относительная численность составила 448 экз./км², а биомасса — 62,8 кг/км². Следует отметить, что несколько иные плотностные показатели малороты в пределах олюторско-наваринского района приведены в работе А.И. Глубокова [2006]. Согласно его сведениям, относительная численность вида летом 1996–2003 гг. от мыса Наварин до границы исключительной экономической зоны России в некоторых случаях достигала 619,5 экз./милю², биомасса — 61,9 кг/милю², в то время как у коряжского побережья — 575,2 экз./милю² и 135,8 кг/милю². Если пересчитать указанные величины, дополнительно применив коэффициент уловистости 0,4, то на первом участке обилие составило 451,5 экз./км² (45,1 кг/км²), а на втором — 419,2 экз./км² (98,9 кг/км²). Тем не менее расчеты упомянутого автора все же следует признать несколько заниженными в силу того, что исследования за тот период были ограничены верхней частью материкового склона до глубины 370–400 м.

Характерно, что выявленное нами низкое обилие длинноперого малороты в прилегающем к Наваринскому каньону районе не является «артефактом» первичных материалов или ошибкой в их сборе при проведении учетных работ, так как подобное наблюдалось и американскими специалистами [Hoff, Britt, 2003, 2011; Hoff, 2016]. При этом от указанного участка плотность скоплений вида на материковом склоне Берингова моря постепенно увеличивалась в юго-восточном направлении в сторону группы Лисьих островов Алеутской гряды и п-ова Аляска. Наибольшие величины отмечены в каньонах Жемчуг, Сарычева и Прибыловском и достигали в некоторые годы 75,38 кг/га (7538 кг/км²), что более чем в 5 раз выше аналогичного показателя, зафиксированного нами у коряжского побережья (1310,7 кг/км²). Результаты учетных

работ непосредственно у Алеутских островов также свидетельствуют о том, что биомасса малорота здесь существенно выше, в особенности в центральной и восточной частях архипелага [Zenger, 2004; von Szalay et al., 2011, 2017]. На указанных участках она могла составлять 64,97 кг/га [von Szalay, Raring, 2020], т.е. 6497 кг/км².

Следует отметить, что длинноперый малорот в западном секторе Берингова моря считается редким видом [Шейко, Федоров, 2000; Фадеев, 2005; Парин и др., 2014]. Однако если обобщить сведения об известных поимках [Куликов, 1964б; Орлов, 2000, 2001; Борец и др., 2001; Глубоков, 2006; Глубоков и др., 2017; Курбанов, Овчеренко, 2021] и представленные материалы (табл. 2, рис. 2), то можно заключить, что его следует признать хоть и обычным, но не достигающим высокого обилия представителем камбаловых, который непрерывно распространен на значительной части западноберинговоморской акватории — от границы исключительной экономической зоны России у мыса Наварин до Олюторского залива включительно. Примечательно, что до сих пор нет достоверных данных о его обитании в пределах верхней батии, прилегающей к шельфу Карагинского залива [Борец, 2000; Парин и др., 2014]. Однако это, по нашему мнению, объясняется лишь отсутствием учетных траловых съемок на материковом склоне указанного района, так как многолетние наблюдения на промысловых судах свидетельствуют о присутствии вида вдоль всего тихоокеанского побережья Камчатки до мыса Лопатка [Токранов, Винников, 2000; Orlov et al., 2002; Орлов, Токранов, 2006; Orlov, Tokranov, 2007; Курбанов, Овчеренко, 2021].

Область вертикального распространения длинноперого малорота в пределах всего ареала достаточно широка, он встречается на глубине 0–1237 м [Kramer et al., 1995; Love et al., 2021]. Однако обитание в приповерхностном слое для него характерно лишь в период раннего онтогенеза [Pearcy et al., 1977; Abookire, Bailey, 2007]. В ходе траловых работ наблюдается от средней сублиторали в диапазоне 20–30 м [Фадеев, 1987]. В районах северо-восточной Пацифики, включая Алеутские острова, зал. Аляска, а также побережья Вашингтона, Орегона и Северной Калифорнии, длинноперый малорот наиболее многочислен на глубинах от 50–100 до 450–600 м [Новиков, 1974; Allen, Smith, 1988; Lauth, 2001; Weinberg et al., 2002; Keller et al., 2014; von Szalay, Raring, 2018, 2020]. В северо-западной части Берингова моря все предыдущие находки этого вида зарегистрированы в интервале 164–520 м, большая часть их приурочена к диапазону 300–400 м [Орлов, 2000, 2001; Борец и др., 2001; Orlov et al., 2002]. По нашим данным, в исследуемом районе малорот распределен значительно шире, встречаясь в июле–сентябре на глубинах 120–718 м. Высокие показатели плотности и частоты поимок (64–80 %) зафиксированы в диапазоне 200–400 м (рис. 3, табл. 3). На глубине менее 200 и более 500 м вид оказался очень редок. Кроме того, по результатам одного траления (в 2018 г.) было встречено плотное скопление малорота (5646 экз./км²) и в интервале 401–500 м, однако этот случай следует признать единичным.

Существует мнение, что на северных участках ареала, в частности в Беринговом море, длинноперый малорот не населяет глубины менее 150 м [Новиков, 1974; Фадеев, 2005]. Однако данное утверждение следует признать верным только для северо-западной части указанного водоема, так как верхний предел обитания вида здесь ограничен главным образом диапазоном 160–180 м [Борец и др., 2001; наши данные]. Напротив, летом на других шельфовых участках Берингова моря (от п-ова Аляска до о. Святого Матвея) глубины обнаружения малорота регулярно варьируют в пределах 30–192 м [Lauth, Acuna, 2009; Lauth, Conner, 2014; Markowitz et al., 2023]. Если рассматривать имеющиеся сведения о его поимках в целом у азиатских берегов вплоть до северных Курильских островов [Орлов, 2000, 2001; Orlov et al., 2002; Орлов, Токранов, 2006; Orlov, Tokranov, 2007; Курбанов, Овчеренко, 2021], то верхняя граница батиметрического распределения, по аналогии с водами у западного побережья Северной Америки [Новиков, 1974], также с севера на юг постепенно смещается на верхнюю часть шельфа, но уже к диапазону 80–90 м. Тем не менее основная масса рыб как в тихоокеанском,

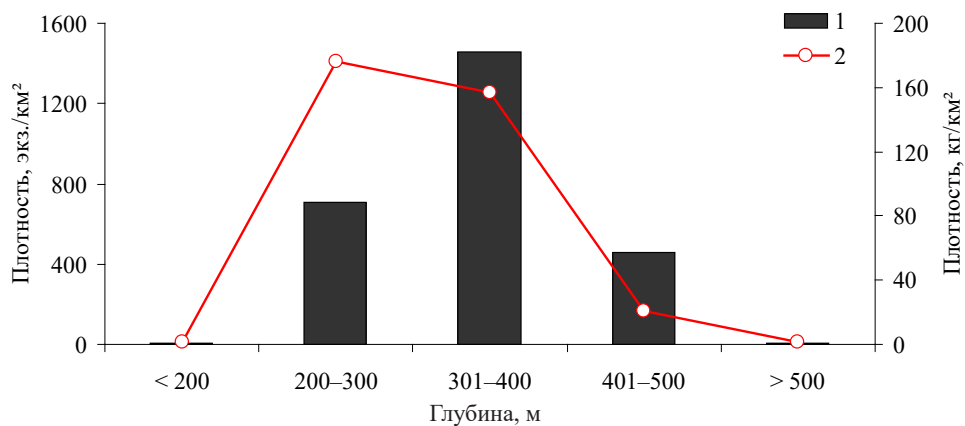


Рис. 3. Средняя плотность распределения длинноперого малорота *G. zachirus* по диапазонам глубины в северо-западной части Берингова моря в летний период: 1 — по численности; 2 — по биомассе

Fig. 3. Average density of distribution for rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer, by depth ranges: 1 — abundance; 2 — biomass

Таблица 3

Батиметрическое распределение длинноперого малорота *G. zachirus* в северо-западной части Берингова моря в летний период

Table 3

Bathymetric distribution of rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer

Глубина, м	FO, %	Плотность*		N/N _R
		Экз./км²	Кг/км²	
< 200	5,1	79–109	7,1–49,5	39/2
200–300	64,0	82–5682	12,2–1310,7	25/16
301–400	80,0	53–11172	2,1–940,3	30/24
401–500	31,3	58–5646	1,7–171,3	16/5
> 500	4,5	56–58	12,4–65,2	44/2

Примечание. FO — частота встречаемости; N — общее число тралений; N_R — число тралений, в уловах которых отмечен длинноперый малорот.

* Указаны пределы варьирования показателя.

так и в западноберинговоморском районах концентрируется в пределах верхней батии — 200–400 м.

Сведения о предельной длине длинноперого малорота достаточно противоречивы. По данным некоторых исследователей, таковая составляет 61 см [Kramer et al., 1995; Mecklenburg et al., 2002; Love et al., 2021]. Однако, как показали результаты донных траловых съемок в восточной части Берингова моря, максимальная длина может быть значительно больше — 64–67 см [Hoff, Britt, 2003, 2011; Hoff, 2016]. Напротив, в северо-западной Пацифике столь крупные особи длинноперого малорота не отмечаются. Ранее нами было установлено [Курбанов, Овчеренко, 2021], что наибольшие показатели характерны для Олюторского и Кроноцкого заливов, соответственно 53 и 57 см. Относительно близкая предельная длина, 51 см, отмечена у особей у Командорских островов [Куликов, 1964а]. Но следует признать, что упомянутые случаи достаточно редки. В основном в азиатской части ареала размеры малорота не превышают 40 см [Орлов, 2000; Orlov et al., 2002; Орлов, Токранов, 2006; Orlov, Tokranov, 2007; Глубоков и др., 2017]. Согласно материалам траловых съемок в олюторско-наваринском районе Берингова моря в июле-сентябре 2018–2024 гг. встречены особи длиной 11–49 см, среди которых преобладали модальные группы 24–35 см (рис. 4). Масса некоторых рыб, достигших 18–47 см, варьировала в пределах 30–1120 г.

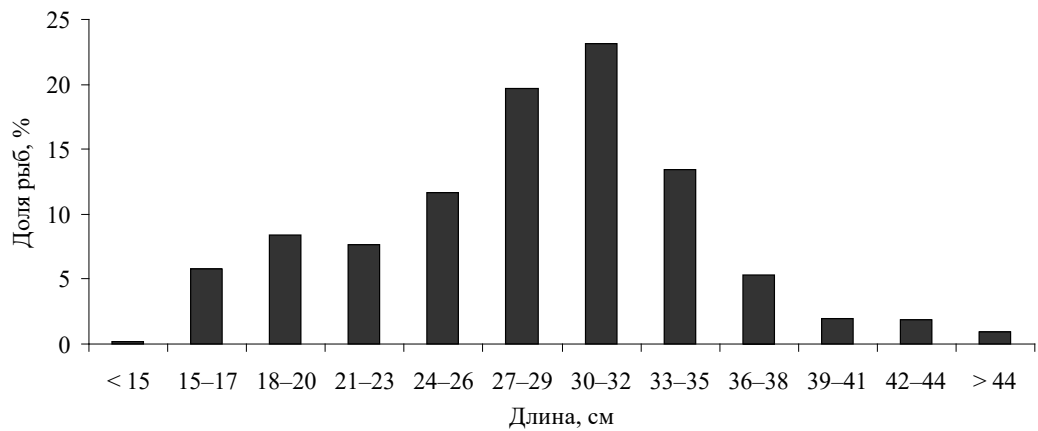


Рис. 4. Размерный состав длинноперого малорота *G. zachirus* в северо-западной части Берингова моря в летний период ($M = 28,3$ см, $n = 549$ экз.)

Fig. 4. Size composition of rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer ($M = 28.3$ cm, $n = 549$ ind.)

Согласно данным предыдущих исследований преобладающие размеры длинноперого малорота в уловах могут существенно различаться в пределах ареала вида [Orlov et al., 2002; Орлов, Токранов, 2006; Orlov, Tokranov, 2007]. Наш анализ показал, что из всех близлежащих акваторий Берингова моря к рыбам из олюторско-наваринского района по этому показателю могут быть близки только особи, обитающие у западных Алеутских островов, и лишь в некоторые годы, когда в уловах также доминируют модальные группы 25–35 см. В целом же у Алеутской гряды превалирует длинноперый малорот длиной 35–53 см [Zenger, 2004; von Szalay et al., 2011, 2017; von Szalay, Raring, 2020; и др.]. На материковом склоне восточной части Берингова моря, включая прилегающие участки у п-ова Аляска, доля рыб, достигших 30–35 см, не столь высока, а наиболее часто встречаются особи размерных групп 40–55 см [Hoff, Britt, 2011; Hoff, 2016; von Szalay, Raring, 2020].

Ранее Н.П. Новиковым [1974] было показано, что для длинноперого малорота в приамериканских водах характерно увеличение размеров с глубиной. Однако ничего подобного в северо-западной части Берингова моря нами не зафиксировано. Если считать одиночные поимки рыб на глубине менее 200 и более 500 м не более чем случайностью, то в исследуемом районе, наоборот, происходит уменьшение средней длины и массы малорота при увеличении батиметрического диапазона обитания (табл. 4, рис. 5).

Таблица 4

Распределение размерных групп длинноперого малорота *G. zachirus* по глубине в северо-западной части Берингова моря в летний период, %

Table 4

Bathyal distribution of rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer, by size groups, %

Глубина, м	Размерная группа, см							M, см	n, экз.
	< 15	15–20	21–25	26–30	31–35	36–40	> 40		
< 200	–	–	33,3	–	–	–	66,7	34,7	3
200–300	–	3,9	4,5	25,3	48,0	14,5	3,8	32,0	179
301–400	0,3	13,7	22,7	37,3	20,2	3,7	2,1	27,2	322
401–500	–	62,8	7,0	23,3	6,9	–	–	20,7	43
> 500	–	–	–	–	50,0	–	50,0	40,0	2

Информация, характеризующая термические условия обитания вида в пределах ареала, немногочисленна. Известно, что в северо-восточном секторе Тихого океана длинноперый малорот зафиксирован при температуре воды у дна от 2,5 до 11,0 °C.

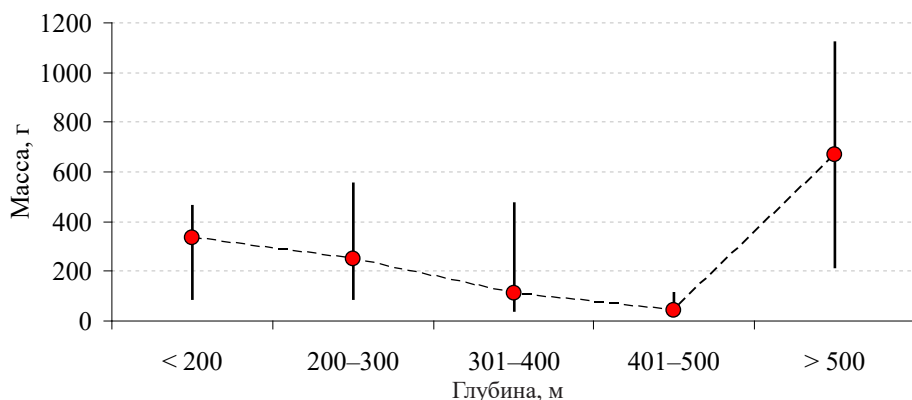


Рис. 5. Изменение массы особей длинноперого малороты *G. zachirus* по глубине в северо-западной части Берингова моря в летний период: вертикальная линия — пределы варьирования; кружок — среднее значение

Fig. 5. Body weight of rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer, by depth ranges: circles — mean weight; whiskers — variation range

Причем с юга на север пределы варьирования данного показателя сужаются. Так, у побережья Калифорнии высокая плотность скоплений сосредоточена в интервале 6,0–9,0 °C, а в зал. Аляска — 3,0–5,0 °C [Новиков, 1974; Фадеев, 1987]. На материковом склоне восточной части Берингова моря этот вид отмечен при 2,8–3,9 °C [Минева, 1964]. У тихоокеанского побережья юго-восточной оконечности Камчатки и северных Курильских островов значения придонной температуры почти во всех случаях поимок особей варьировали в пределах 3,2–3,6 °C [Орлов, Токранов, 2006; Orlov, Tokranov, 2007]. Лишь однажды таковые составили 1,1–1,3 °C [Токранов, Винников, 2000]. По нашим данным, в северо-западной части Берингова моря длинноперый малорот в летний период населял участки дна, температура воды над которыми изменялась от 2,6 до 4,9 °C. Высокие показатели средней плотности зафиксированы при значениях 3,0–3,2 °C и более 3,6 °C (рис. 6). Вместе с тем наблюдаются некоторые различия в динамике полученных величин относительного обилия по численности и по биомассе. Если в первом случае средняя плотность малороты была максимальна при температуре 3,6–4,9 °C, выделяясь существенной стабильностью (836–872 экз./км²), то

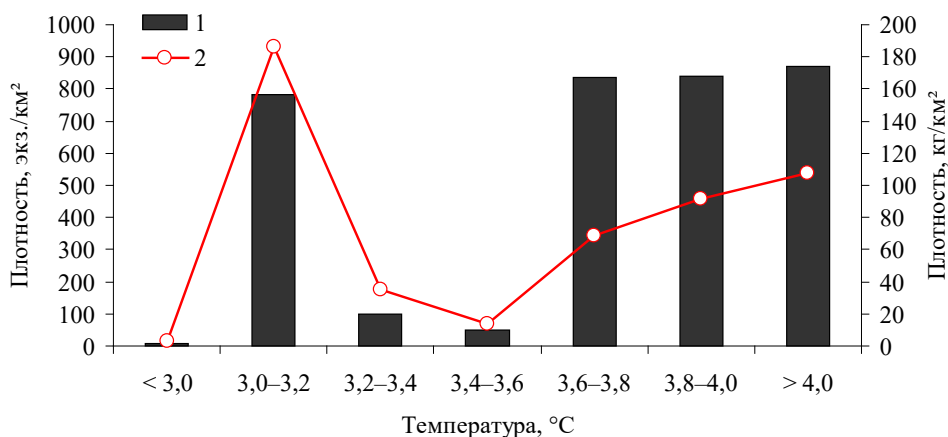


Рис. 6. Средняя плотность распределения длинноперого малороты *G. zachirus* в зависимости от температуры придонного слоя воды в северо-западной части Берингова моря в летний период (глубина 100–750 м): 1 — по численности; 2 — по биомассе

Fig. 6. Average density of distribution for rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer (depths of 100–750 m) in dependence on water temperature at the sea bottom: 1 — abundance; 2 — biomass

во втором — при 3,0–3,2 °C (186,6 кг/км²). Подобный характер динамики обилия объясняется наличием большего числа мелких рыб на более теплых участках дна (рис. 7).

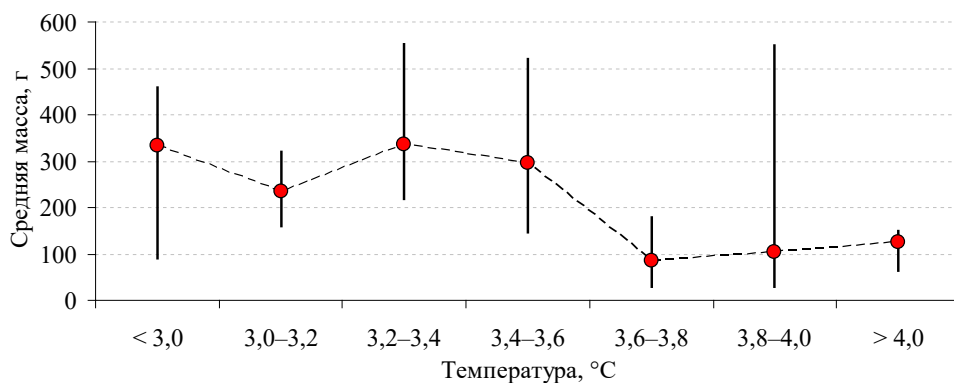


Рис. 7. Масса особей длинноперого малорота *G. zachirus* в зависимости от температуры придонного слоя в северо-западной части Берингова моря в летний период: вертикальная линия — пределы варьирования; кружок — среднее значение

Fig. 7. Body weight of rex sole *G. zachirus* in the northwestern Bering Sea in summer in dependence on water temperature at the sea bottom: circle — mean weight; whiskers — variation range

Примечательно, что выявленные нами предпочитаемые температурные условия хорошо согласуются с батиметрическим распределением вида. Например, средняя глубина обитания малорота при температуре 3,0–3,2 °C оценена в 255 м, что укладывается в диапазон 200–300 м. Именно здесь относительная биомасса вида и доля рыб длиной более 30 см были максимальны. Интервалы температур 3,6–3,8 и 3,8–4,0 °C ассоциируются со средними глубинами соответственно 422 и 339 м, совпадая с батиметрическим диапазоном 300–500 м, где количество отловленных мелких особей оказалось существенно выше (см. рис. 3, 5, табл. 3, 4).

Сопоставив полученные данные о вертикальном распределении и термических условиях, можно заключить, что длинноперый малорот в северо-западной части Берингова моря является типичным обитателем теплого промежуточного слоя, который расположен на глубинах от 150–250 до 700–1000 м, а его воды имеют температуру 3,4–3,9 °C [Арсеньев, 1967; Ohtani, 1973]. Именно в указанных диапазонах и зафиксированы высокие показатели плотности малорота. Характерно, что теплый промежуточный слой в Беринговом море образуется под воздействием трансформации теплых тихоокеанских вод, поступающих через глубоководные проливы Алеутской гряды, такие как Ближний, Амчитка и Амухта. При этом их основная часть, отклоняясь вправо, формирует течение Атту. Оно, в свою очередь, усиливаясь водами, идущими через другие проливы, в юго-восточной части глубоководной котловины Берингова моря поворачивает влево и движется вдоль материкового склона на северо-запад, образуя новое формирование, известное как Склоновое (Центрально-Беринговоморское) течение. Эта водная структура приблизительно на 59-й параллели отходит от присклоновых участков и направляется в сторону корякского побережья, у которого в районе 174–176° в.д. разделяется на теплое Наваринское течение, движущееся затем на северо-восток, и холодное Камчатское, идущее на юго-запад [Takenouti, Ohtani, 1974; Khen, 1989; Хен, 2010]. Следовательно, основная область обитания длинноперого малорота в северо-западной части Берингова моря, вероятно, находится под влиянием первого из них.

Не исключается, что в целом неустойчивая динамика вод в олюторско-наваринском районе существенно влияет и на вертикальное распространение этого вида, а именно на практически полное его отсутствие в шельфовой зоне, где в летний период значительное время сохраняются низкие температуры вследствие остаточного зимнего охлаждения. Кроме того, в редких случаях, когда положение теплого Наваринского течения смещено на более мористые участки, холодные воды Анадырского залива,

прорываясь, огибают мыс Наварин и уходят на юго-запад вдоль коряжского побережья [Verhunov, Tkachenko, 1992; Хен, 2010]. Вероятно, именно поэтому в пределах северо-западной части Берингова моря и наблюдается совершенно иной (т.е. глубоководный) характер распределения мелких особей, которые населяют участки верхней батииали (табл. 4, рис. 5), где колебания температуры не столь ощутимы, в то время как у побережья Северной Америки, наоборот, молодь длинноперого малорота может быть обильна в пределах шельфовой зоны [Новиков, 1974; Zimmermann et al., 1994]. Более суровые термические условия также обусловили отсутствие этого вида и в Анадырском заливе. Лишь в редких случаях здесь может наблюдаться малорот [Борец и др., 2001]. Однако подобные поимки приурочены к юго-западной части указанной акватории и только к нижним отделам шельфа, прилегающим к мысу Наварин, у которого, в свою очередь, и происходит основной приток с одноименным течением более теплых вод. Интересно, что нечто подобное было зафиксировано и для другого представителя камбаловых — северной двуххвостой камбалы [Харитонов и др., 1999]. Несмотря на известную пластичность по отношению к термическим условиям, оказалось, что основные скопления в Анадырском заливе этот вид образует только в пределах зоны действия теплого Наваринского течения.

Заключение

Результаты донных траловых съемок свидетельствуют о том, что длинноперый малорот в северо-западной части Берингова моря является обычным, но немногочисленным видом семейства камбаловых. В летний период он наблюдается на глубинах 120–718 м при температуре воды у дна 2,6–4,9 °С, достигая наибольшего обилия в пределах тепло-го промежуточного слоя в батиметрическом диапазоне 200–400 м. Предполагается, что основная зона обитания находится под существенным влиянием Наваринского течения.

Длина длинноперого малорота на обследованном участке Берингова моря варьирует от 11 до 49 см, масса — от 30 до 1120 г. При этом выявлено, что, в отличие от северо-восточной Пацифики, молодь этого вида обитает в пределах верхней батииали, избегая низкие температуры у дна, характерные для шельфовой зоны олюторско-наваринского района.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам КамчатНИРО и ТИНРО, осуществлявшим сбор первичных материалов в ходе донных траловых съемок в 2018–2024 гг.

The authors are grateful to their colleagues from KamchatNIRO and TINRO who collected primary data in the bottom trawl surveys conducted in 2018–2024.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

All applicable international, national and/or institutional and ethical guidelines are implemented. The authors declare that they have no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция статьи, сбор первичных данных в 2019 и 2024 гг., подготовка иллюстраций — Ю.К. Курбанов; обработка и анализ данных — Р.Т. Овчеренко; обсуждение

результатов, формулировка выводов и написание текста статьи выполнены авторами совместно.

Concept of the study, the primary data collecting in 2019 and 2024, illustrations — Yu.K. Kurbanov; the data processing and analysis — R.T. Ovcherenko; the results were discussed, the conclusions were formulated, and the text was written by both authors jointly.

Список литературы

- Арсеньев В.С.** Течения и водные массы Берингова моря : моногр. — М. : Наука, 1967. — 135 с.
- Борец Л.А.** Аннотированный список рыб дальневосточных морей. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2000. — 192 с.
- Борец Л.А., Савин А.Б., Бомко С.П., Пальм С.А.** Состояние донных ихтиоценов в северо-западной части Берингова моря в конце 90-х годов // Вопр. рыб-ва. — 2001. — Т. 2, № 2(6). — С. 242–257.
- Волвенко И.В.** Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съёмов // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.
- Глубоков А.И.** Атлас количественного распределения демерсальных рыб шельфа и верхнего материкового склона северо-западной части Берингова моря. — М. : ВНИРО, 2006. — 121 с.
- Глубоков А.И., Афанасьев П.К., Мельников С.П.** Новые данные о длиннопером малоротце *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) из северо-западной части Берингова моря // Вопр. ихтиол. — 2017. — Т. 57, № 6. — С. 750–754. DOI: 10.7868/S0042875217060042.
- Иванкова З.Г.** Биология и состояние запасов камбал залива Петра Великого. 1. Желтоперая и малоротая камбалы // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 188–202.
- Куликов М.Ю.** Новые данные по ихтиофауне Командорских островов // Изв. ТИНРО. — 1964а. — Т. 55. — С. 249–250.
- Куликов М.Ю.** Первый случай обнаружения малоротой длинноперой камбалы *Errex zachirus* (Lock) у азиатского побережья Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 1964б. — Т. 55. — С. 245.
- Курбанов Ю.К., Овчеренко Р.Т.** Новые сведения о длиннопером малоротце *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) у восточного побережья Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 22-й междунар. науч. конф. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2021. — С. 142–146. DOI: 10.53657/9785961004038_142.
- Линдберг Г.У., Федоров В.В.** Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей : моногр. — СПб. : Наука, 1993. — Ч. 6. — 272 с. (Определители по фауне СССР, изд. АН СССР, № 166.)
- Минева Т.А.** Материалы по биологии некоторых видов камбал восточной части Берингова моря // Тр. ВНИРО. — Т. 49 : Изв. ТИНРО. — Т. 51. — 1964. — С. 215–224.
- Новиков Н.П.** Промысловые рыбы материкового склона северной части Тихого океана : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1974. — 307 с.
- Орлов А.М.** Особенности пространственного и вертикального распределения представителей Орегонской ихтиофауны у азиатского побережья // Бюл. МОИП. Отд. биол. — 2001. — Т. 106, вып. 4. — С. 23–37.
- Орлов А.М.** Представители орегонской ихтиофауны у азиатских берегов // Промышленно-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских островов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. — М. : ВНИРО, 2000. — С. 187–214.
- Орлов А.М., Токранов А.М.** Распределение и некоторые черты биологии четырех редких видов камбал (Pleuronectiformes; Pleuronectidae) в прикурильских и прикамчатских водах Тихого океана // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 145. — С. 191–214.
- Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д.** Рыбы морей России: аннотированный каталог. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2014. — 733 с.
- Тарасюк С.Н.** Биология и динамика численности основных промысловых видов камбал Сахалина : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 1997. — 22 с.
- Токранов А.М., Винников А.В.** О находке длинноперого малоротца *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) в водах Юго-Восточной Камчатки // Вопр. ихтиол. — 2000. — Т. 40, № 3. — С. 397–398.
- Фадеев Н.С.** Северотихоокеанские камбалы (распространение и биология) : моногр. — М. : Агропромиздат, 1987. — 175 с.

- Фадеев Н.С.** Справочник по биологии и промыслу рыб северной части Тихого океана : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. — 363 с.
- Харитонова Е.В., Батанов Р.Л., Датский А.В.** Особенности распределения массовых видов камбал в Анадырском заливе в летний период // Изв. ТИНРО. — 1999. — Т. 126. — С. 285–295.
- Хен Г.В.** Гидрометеорологическая характеристика западной части Берингова моря // Современное состояние экосистемы западной части Берингова моря. — Ростов н/Д : ЮНЦ РАН, 2010. — С. 14–36.
- Шейко Б.А., Федоров В.В.** Класс Cephalaspidomorphi — Миноги. Класс Chondrichthyes — Хрящевые рыбы. Класс Holoccephali — Цельноголовые. Класс Osteichthyes — Костные рыбы // Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. — Петропавловск-Камчатский : Камчат. печат. двор, 2000. — С. 7–69.
- Abookire A.A.** Reproductive biology, spawning season, and growth of female rex sole (*Glyptocephalus zachirus*) in the Gulf of Alaska // Fish. Bull. — 2006. — Vol. 104. — P. 350–359.
- Abookire A.A., Bailey K.M.** The distribution of life cycle stages of two deep-water pleuronectids, Dover sole (*Microstomus pacificus*) and rex sole (*Glyptocephalus zachirus*), at the northern extent of their range in the Gulf of Alaska // J. Sea Res. — 2007. — Vol. 57. — P. 198–208.
- Allen M.J., Smith G.B.** Atlas and Zoogeography of Common Fishes in the Bering Sea and Northeastern Pacific : NOAA Tech. Rep. NMFS. — 1988. — № 66. — 151 p.
- Castillo G.C.** Latitudinal patterns in reproductive life history traits of Northeast Pacific flatfish : Proceedings of the international symposium on north Pacific flatfish. — Fairbanks, 1995. — P. 51–72.
- Cooper J.A., Chapleau F.** Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification // Fish. Bull. — 1998. — Vol. 96(4). — P. 686–726.
- Hoff G.R.** Results of the 2016 eastern Bering Sea upper continental slope survey of groundfish and invertebrate resources : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-339. — 2016. — 272 p. DOI: 10.7289/V5/TM-AFSC-339.
- Hoff G.R., Britt L.L.** Results of the 2010 eastern Bering Sea upper continental slope survey of groundfish and invertebrate resources : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-224. — 2011. — 300 p.
- Hoff G.R., Britt L.L.** The 2002 eastern Bering Sea upper continental slope survey of groundfish and invertebrate resources : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-141. — 2003. — 286 p.
- Hosie M.J., Horton H.F.** Biology of the rex sole, *Glyptocephalus zachirus*, in waters off Oregon // Fish. Bull. — 1977. — Vol. 75, № 1. — P. 51–60.
- Keller A.A., Wakefield W.W., Whitmire C.E. et al.** Distribution of demersal fishes along the US west coast (Canada to Mexico) in relation to spatial fishing closures (2003–2011) // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2014. — Vol. 501. — P. 169–190. DOI: 10.3354/meps10674.
- Khen G.V.** Oceanographic conditions and Bering Sea biological productivity // Proc. Intern. Symp. Biol. Walleye Pollock. — Fairbanks, Alaska, 1989. — P. 79–89.
- Kim I.S., Choi Y., Lee C.L. et al.** Illustrated book of Korean fishes. — Seoul : Kyo-Hak Publ., 2005. — 615 p.
- Kramer D.E., Barss W.H., Paust B.C., Bracken B.E.** Guide to northeast Pacific flatfishes // Mar. Advis. Bull. — 1995. — № 47. — P. 1–104.
- Lauth R.R.** The 2000 Pacific west coast upper continental slope trawl survey of groundfishes resources off Washington, Oregon, and California: estimates of distribution, abundance, and length composition : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-120. — 2001. — 284 p.
- Lauth R.R., Acuna E.** Results of the 2008 eastern Bering Sea continental shelf bottom trawl survey of groundfish and invertebrate resources : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-195. — 2009. — 229 p.
- Lauth R.R., Conner J.** Results of the 2011 Eastern Bering Sea Continental Shelf Bottom Trawl Survey of Groundfish and Invertebrate Fauna : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-266. — 2014. — 185 p.
- Love M.S., Bizzarro J.J., Cornthwaite A.M. et al.** Checklist of marine and estuarine fishes from the Alaska–Yukon Border, Beaufort Sea, to Cabo San Lucas, Mexico // Zootaxa. — 2021. — Vol. 5053, № 1. — P. 1–285. DOI: 10.11646/zootaxa.5053.1.1.
- Markowitz E.H., Dawson E.J., Anderson C.B. et al.** Results of the 2022 eastern and northern Bering Sea continental shelf bottom trawl survey of groundfish and invertebrate fauna : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-469. — 2023. — 213 p. DOI: 10.25923/rt50-th19.
- Mecklenburg C.W., Mecklenburg T.A., Thorsteinson L.K.** Fishes of Alaska. — Bethesda, Maryland : American Fisheries Society, 2002. — 1037 p.

- Ohtani K.** Oceanographic structure in the Bering Sea // Mem. Fac. Fish. Hok. Univ. — 1973. — Vol. 21, № 1. — P. 64–106.
- Orlov A.M.** Migrations of various fish species between Asian and American waters in the North Pacific Ocean // J. Ichthyol. Aquat. Biol. — 2004. — Vol. 8, № 3. — P. 109–124.
- Orlov A.M., Tokranov A.M.** Distribution and some biological features of four poorly studied deep benthic flatfishes (Pleuronectiformes: Pleuronectidae) in the Northwestern Pacific Ocean // The Raffles Bulletin of Zoology. — 2007. — № 14. — P. 221–235.
- Orlov A.M., Tokranov A.M., Biryukov I.A.** New records of rex sole *Glyptocephalus zachirus* Lockington, 1879 (Teleostei: Pleuronectidae) from the north-western Pacific // J. Ichthyol. Aquat. Biol. — 2002. — Vol. 5, № 3. — P. 89–98.
- Pearcy W.G.** Distribution and abundance of small flatfishes and other demersal fishes in a region of diverse sediments and bathymetry off Oregon // Fish. Bull. — 1978. — Vol. 76, № 3. — P. 629–640.
- Pearcy W.G., Hancock D.** Feeding habits of Dover sole *Microstomus pacificus*; rex sole, *Glyptocephalus zachirus*; slender sole, *Lyopsetta exilis*; and Pacific sanddab, *Citarichthys sordidus*, in a region of diverse sediments and bathymetry off Oregon // Fish. Bull. — 1978. — Vol. 76, № 3. — P. 641–651.
- Pearcy W.G., Hosie M.J., Richardson S.L.** Distribution and duration of pelagic life of larvae of Dover sole, *Microstomus pacificus*; rex sole, *Glyptocephalus zachirus*; and petrale sole, *Eopsetta jordani*, in waters off Oregon // Fish. Bull. — 1977. — Vol. 75, № 1. — P. 173–183.
- Takenouti A.Y., Ohtani K.** Currents and water masses in the Bering Sea: a review of Japanese work // Oceanography of the Bering Sea. — Fairbanks, 1974. — P. 39–57.
- Verkhunov A.V., Tkachenko Y.Y.** Recent observation of variability in the western Bering Sea current system // J. Geophys. Res. — 1992. — Vol. 97, Iss. C9. — P. 14,369–14,376.
- Vinnikov K.A., Thomson R.C., Munroe T.A.** Revised classification of the righteye flounders (Teleostei: Pleuronectidae) based on multilocus phylogeny with complete taxon sampling // Molecular Phylogenetics and Evolution. — 2018. — Vol. 125. — P. 147–162. DOI: 10.1016/j.ympev.2018.03.014.
- von Szalay P.G., Raring N.W.** Data Report: 2017 Gulf of Alaska bottom trawl survey : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-374. — 2018. — 260 p. DOI: 10.7289/V5/TM-AFSC-374.
- von Szalay P.G., Raring N.W.** Data Report: 2018 Aleutian Islands Bottom Trawl Survey : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-409. — 2020. — 175 p.
- von Szalay P.G., Raring N.W., Rooper C.N., Laman E.A.** Data Report: 2016 Aleutian Islands bottom trawl survey : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-349. — 2017. — 161 p. DOI: 10.7289/V5/TM-AFSC-349.
- von Szalay P.G., Rooper C.N., Raring N.W., Martin M.H.** Data Report: 2010 Aleutian Islands bottom trawl survey : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-215. — 2011. — 153 p.
- Weinberg K.L., Wilkins M.E., Shaw F.R., Zimmermann M.** The 2001 Pacific west coast bottom trawl survey of groundfish resources: estimates of distribution, abundance, and length and age composition : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-128. — 2002. — 140 p.
- Zenger H.H.** Data report: 2002 Aleutian Islands bottom trawl survey : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-143. — 2004. — 247 p.
- Zimmermann M., Wilkins M.E., Lauth R.R., Weinberg K.L.** The 1992 Pacific west coast bottom trawl survey of groundfish resources: estimates of distribution, abundance, and length and age composition : U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-42. — 1994. — 124 p.

References

- Arsenyev, V.S., Tesheniya i vodnye massy Beringova morya** (Currents and water masses of the Bering Sea), Moscow: Nauka, 1967.
- Borets, L.A., Annotirovannyi spisok ryb dal'nevostochnykh morei** (Annotated List of Fishes of the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2000.
- Borets, L.A., Savin, A.B., Bomko, S.P., and Pal'm, S.A.,** The state of bottom ichthyocenoses in the northwestern Bering sea in the late 1990s, *Vopr. Rybolov.*, 2001, vol. 2, no. 2(6), pp. 242–257.
- Volvenko, I.V.,** Problems in quantitative estimation of fish abundance by trawl sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 473–500.
- Glubokov, A.I., Atlas mnogoobraznogo raspredeleniya demersal'nykh rybnykh shel'fa i verkhney chasti materikovogo sklona severo-zapadnoy chasti Beringova morya** (Atlas of the diverse distribution of demersal fisheries on the shelf and upper continental slope of the northwestern Bering Sea), Moscow: VNIRO, 2006.

Glubokov, A.I., Afanasyev, P.K., and Melnikov, S.P., New data on rex sole *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) in the northwestern part of the Bering Sea, *J. Ichthyol.*, 2017, vol. 57, no. 6, pp. 926–930. doi 10.1134/S0032945217060042

Ivankova, Z.G., Biology and stock condition of flounders in peter the Great Bay. 1. Yellowfin sole and korean flounder, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2000, vol. 127, pp. 188–202.

Kulikov, M.Yu., New data on the ichthyofauna of the Commander Islands, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1964, vol. 55, pp. 249–250.

Kulikov, M.Yu., First case of detection of the smallmouth flounder *Errex zachirus* (Lock) off the Asian coast of the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1964, vol. 55, pp. 245.

Kurbanov, Yu.K. and Ovcherenko, R.T., New data on the rex sole *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) at the Eastern Coast of Kamchatka, in *Mater. 22-y mezhdunar. nauch. konf "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey"* (Mater. of the 22nd Int. Sci. Conf. "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2021, pp. 142–146. doi 10.53657/9785961004038_142

Lindberg, G.U. and Fedorov, V.V., *Opredeliteli po faune, izdavaemye zoologicheskimi institutami Rossiiskoi akademii nauk. T. 166: Ryby Yaponskogo morya i sopredel'nykh chastei Okhotskogo i Zheltogo morei* (Keys to Fauna Published by the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, vol. 166: Fishes of the Sea of Japan and Adjacent Waters of the Sea of Okhotsk and the Yellow Sea), St. Petersburg: Nauka, 1993, part 6.

Mineva, T.A., Materials on the biology of some species of flounders in the eastern Bering Sea, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1964, vol. 49, pp. 215–224.

Novikov, N.P., *Promyslovye ryby materikovogo sklona severnoi chasti Tikhogo okeana* (Commercial Fishes of the Continental Slope of the northern Pacific Ocean), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1974.

Orlov, A.M., Features of the spatial and vertical distribution of representatives of the Oregon ichthyofauna off the Asian coast, *Byull. Mosk. O-va. Ispyt. Prir., Otd. Biol.*, 2001, vol. 106, no. 4, pp. 23–37.

Orlov, A.M., Representatives of the Oregon ichthyofauna off the Asian coast, in *Promyslovobiologicheskie issledovaniya ryb v tikhookeanskikh vodakh Kuril'skikh ostrovov i prilezhashchikh raionakh Okhotskogo i Beringova morei v 1992–1998 gg.* (Fisheries and Biological Studies of Fish in the Pacific Waters off the Kuril Islands and Adjacent Areas of the Sea of Okhotsk and the Bering Sea in 1992–1998), Moscow: VNIRO, 2000, pp. 187–214.

Orlov, A.M. and Tokranov, A.M., Distribution and some data on biology of four rare flatfish species (Pleuronectiformes; Pleuronectidae) in the pacific waters off Kurils and Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 145, pp. 191–214.

Parin, N.V., Evseenko, S.A., and Vasiljeva, E.D., *Ryby morei Rossii: annotirovannyy katalog* (Fishes of Russian Seas: Annotated Catalogue), Moscow: KMK, 2014.

Tarasyuk, S.N., Biology and population dynamics of the main commercial species of flounders on Sakhalin, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 1997.

Tokranov, A.M. and Vinnikov, A.V., About the single finding of the Rex sole *Glyptocephalus zachirus* (Pleuronectidae) in the waters off southeastern Kamchatka, *J. Ichthyol.*, 2000, vol. 40, no. 3, pp. 397–398.

Fadeev, N.S., *Severotikhookeanskies kambaly (rasprostraneniye i biologiya)* (North Pacific Flounders (Distribution and Biology)), Moscow: Agropromizdat, 1987.

Fadeev, N.S., *Spravochnik po biologii i promyslu ryb severnoi chasti Tikhogo okeana* (A Reference Book on Biology and Harvesting of Fishes in the Northern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2005.

Haritonova, E.V., Batanov, R.L., and Datsky, A.V., Features of distribution of mass flounders in Anadyr Gulf in summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1999, vol. 126, pp. 285–295.

Hen, G.V., Hydrometeorological characteristics of the western part of the Bering Sea, in *Sovremennoye sostoyaniye ekosistemy zapadnoy chasti Beringova morya* (Current state of the ecosystem of the Western Bering Sea), Rostov-on-Don: Yuzhn. Nauchn. Tsentr, Ross. Akad. Nauk, 2010, pp. 14–36.

Sheiko, B.A. and Fedorov, V.V., Class Cephalaspidomorpha — Lampreys. Class Chondrichthyes — Cartilaginous fishes. Class Holocephala — Homocephali. Class Osteichthyes — Bony fishes, in *Catalog of Vertebrates of Kamchatka and Adjacent Waters*, Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchat. pechat. dvor, 2000, pp. 7–69.

- Abookire, A.A.**, Reproductive biology, spawning season, and growth of female rex sole (*Glyptocephalus zachirus*) in the Gulf of Alaska, *Fish. Bull.*, 2006, vol. 104, pp. 350–359.
- Abookire, A.A. and Bailey, K.M.**, The distribution of life cycle stages of two deep-water pleuronectids, Dover sole (*Microstomus pacificus*) and rex sole (*Glyptocephalus zachirus*), at the northern extent of their range in the Gulf of Alaska, *J. Sea Res.*, 2007, vol. 57, pp. 198–208.
- Allen, M.J. and Smith, G.B.**, Atlas and Zoogeography of Common Fishes in the Bering Sea and Northeastern Pacific, *NOAA Tech. Rep., NMFS*, 1988, no. 66.
- Castillo, G.C.**, Latitudinal patterns in reproductive life history traits of northeast Pacific flatfish, *Proceedings of the international symposium on north Pacific flatfish*, Fairbanks, 1995, pp. 51–72.
- Cooper, J.A. and Chapleau, F.**, Monophyly and intrarelationships of the family Pleuronectidae (Pleuronectiformes), with a revised classification, *Fish. Bull.*, 1998, vol. 96(4), pp. 686–726.
- Hoff, G.R.**, Results of the 2016 eastern Bering Sea upper continental slope survey of groundfish and invertebrate resources, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-339*, 2016. doi 10.7289/V5/TM-AFSC-339
- Hoff, G.R. and Britt, L.L.**, Results of the 2010 eastern Bering Sea upper continental slope survey of groundfish and invertebrate resources, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-224*, 2011.
- Hoff, G.R. and Britt, L.L.**, The 2002 eastern Bering Sea upper continental slope survey of groundfish and invertebrate resources, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-141*, 2003.
- Hosie, M.J. and Horton, H.F.**, Biology of the rex sole, *Glyptocephalus zachirus*, in waters off Oregon, *Fish. Bull.*, 1977, vol. 75, no. 1, pp. 51–60.
- Keller, A.A., Wakefield, W.W., Whitmire, C.E., Horness, B.H., Bellman, M.A., and Bosley, K.L.**, Distribution of demersal fishes along the US west coast (Canada to Mexico) in relation to spatial fishing closures (2003–2011), *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2014, vol. 501, pp. 169–190. doi 10.3354/meps10674
- Khen, G.V.**, Oceanographic conditions and Bering Sea biological productivity, *Proc. Intern. Symp. Biol. Walleye Pollock*, Fairbanks, Alaska, 1989, pp. 79–89.
- Kim, I.S., Choi, Y., Lee, C.L., Lee, Y.J., Kim, B.J., Kim, J.H., Kim, I.S., Choi, Y., Lee, C.L., Lee, Y.J., Kim, B.Y., and Kim, J.H.**, *Illustrated book of Korean fishes*, Seoul: Kyo-Hak Publ., 2005.
- Kramer, D.E., Barss, W.H., Paust, B.C., and Bracken, B.E.**, Guide to northeast Pacific flatfishes, *Mar. Advis. Bull.*, 1995, no. 47, pp. 1–104.
- Lauth, R.R.**, The 2000 Pacific west coast upper continental slope trawl survey of groundfishes resources off Washington, Oregon, and California: estimates of distribution, abundance, and length composition, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-120*, 2001.
- Lauth, R.R. and Acuna, E.**, Results of the 2008 eastern Bering Sea continental shelf bottom trawl survey of groundfish and invertebrate resources, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-195*, 2009.
- Lauth, R.R. and Conner, J.**, Results of the 2011 Eastern Bering Sea Continental Shelf Bottom Trawl Survey of Groundfish and Invertebrate Fauna, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-266*, 2014.
- Love, M.S., Bizzarro, J.J., Cornthwaite, A.M., Frable, B.W., and Maslenikov, K.P.**, Check-list of marine and estuarine fishes from the Alaska–Yukon Border, Beaufort Sea, to Cabo San Lucas, Mexico, *Zootaxa*, 2021, vol. 5053, no. 1, pp. 1–285. doi 10.11646/zootaxa.5053.1.1
- Markowitz, E.H., Dawson, E.J., Anderson, C.B., Rohan, S.K., Charriere, N.E., Prohaska, B.K., and Stevenson, D.E.**, Results of the 2022 eastern and northern Bering Sea continental shelf bottom trawl survey of groundfish and invertebrate fauna, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-469*, 2023. doi 10.25923/rt50-th19
- Mecklenburg, C.W., Mecklenburg, T.A., and Thorsteinson, L.K.**, *Fishes of Alaska*, Bethesda, Maryland: American Fisheries Society, 2002.
- Ohtani, K.**, Oceanographic structure in the Bering Sea, *Mem. Fac. Fish. Hok. Univ.*, 1973, vol. 21, no. 1, pp. 64–106.
- Orlov, A.M.**, Migrations of various fish species between Asian and American waters in the North Pacific Ocean, *J. Ichthyol. Aquat. Biol.*, 2004, vol. 8, no. 3, pp. 109–124.
- Orlov, A.M. and Tokranov, A.M.**, Distribution and some biological features of four poorly studied deep benthic flatfishes (Pleuronectiformes: Pleuronectidae) in the Northwestern Pacific Ocean, *The Raffles Bulletin of Zoology*, 2007, no. 14, pp. 221–235.
- Orlov, A.M., Tokranov, A.M., and Biryukov, I.A.**, New records of rex sole *Glyptocephalus zachirus* Lockington, 1879 (Teleostei: Pleuronectidae) from the north-western Pacific, *J. Ichthyol. Aquat. Biol.*, 2002, vol. 5, no. 3, pp. 89–98.

Pearcy, W.G., Distribution and abundance of small flatfishes and other demersal fishes in a region of diverse sediments and bathymetry off Oregon, *Fish. Bull.*, 1978, vol. 76, no. 3, pp. 629–640.

Pearcy, W.G. and Hancock, D., Feeding habits of Dover sole *Microstomus pacificus*; rex sole, *Glyptocephalus zachirus*; slender sole, *Lyopsetta exilis*; and Pacific sanddab, *Citarichthys sordidus*, in a region of diverse sediments and bathymetry off Oregon, *Fish. Bull.*, 1978, vol. 76, no. 3, pp. 641–651.

Pearcy, W.G., Hosie, M.J., and Richardson, S.L., Distribution and duration of pelagic life of larvae of Dover sole, *Microstomus pacificus*; rex sole, *Glyptocephalus zachirus*; and petrale sole, *Eopsetta jordani*, in waters off Oregon, *Fish. Bull.*, 1977, vol. 75, no. 1, pp. 173–183.

Takenouti, A.Y. and Ohtani, K., Currents and water masses in the Bering Sea: a review of Japanese work, *Oceanography of the Bering Sea*, Fairbanks, 1974, pp. 39–57.

Verkhunov, A.V. and Tkachenko, Y.Y., Recent observation of variability in the western Bering Sea current system, *J. Geophys. Res.*, 1992, vol. 97, no. C9, pp. 14,369–14,376.

Vinnikov, K.A., Thomson, R.C., and Munroe, T.A., Revised classification of the righteye flounders (Teleostei: Pleuronectidae) based on multilocus phylogeny with complete taxon sampling, *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2018, vol. 125, pp. 147–162. doi 10.1016/j.ympev.2018.03.014

von Szalay, P.G. and Raring, N.W., Data Report: 2017 Gulf of Alaska bottom trawl survey, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-374*, 2018. doi 10.7289/V5/TM-AFSC-374

von Szalay, P.G. and Raring, N.W., Data Report: 2018 Aleutian Islands Bottom Trawl Survey, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-409*, 2020.

von Szalay, P.G., Raring, N.W., Rooper, C.N., and Laman, E.A., Data Report: 2016 Aleutian Islands bottom trawl survey, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-349*, 2017. doi 10.7289/V5/TM-AFSC-349

von Szalay, P.G., Rooper, C.N., Raring, N.W., and Martin, M.H., Data Report: 2010 Aleutian Islands bottom trawl survey, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-215*, 2011.

Weinberg, K.L., Wilkins, M.E., Shaw, F.R., and Zimmermann, M., The 2001 Pacific west coast bottom trawl survey of groundfish resources: estimates of distribution, abundance, and length and age composition, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-128*, 2002.

Zenger, H.H., Data report: 2002 Aleutian Islands bottom trawl survey, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-143*, 2004.

Zimmermann, M., Wilkins, M.E., Lauth, R.R., and Weinberg, K.L., The 1992 Pacific west coast bottom trawl survey of groundfish resources: estimates of distribution, abundance, and length and age composition, *U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-42*, 1994.

Fricke, R., Eschmeyer, W.N., and Van der Laan, R., *Eschmeyer's catalog of fishes: genera, species, references*, 2025. <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fish-catmain.asp>. Electronic version accessed 27 June 2025.

Поступила в редакцию 8.09.2025 г.

После доработки 28.10.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 8.09.2025; approved after reviewing 28.10.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

Научная статья

УДК 639.2.053.7

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-680-695

EDN: MLFOEE

**ВЛИЯНИЕ СЕЗОННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ДОННЫХ
ТРАЛОВЫХ СЪЕМОК НА ОЦЕНКУ ЗАПАСОВ ДОННЫХ РЫБ****П.В. Калчугин¹, С.Ф. Соломатов^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Национальный научный центр морской биологии
им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Пальчевского, 17

Аннотация. Рассматривается зависимость оценки запасов донных рыб от сезона проведения донных траловых съемок. В смежные сезоны (весна, лето) 2013 г. были выполнены две комплексные донные траловые съемки в зал. Петра Великого. Результаты исследований показали, что оценки запасов, полученные по результатам учетных работ в летний период, когда скопления рыб распределяются равномерно на исследуемой акватории, наиболее достоверны. В этот период облавливаются практически все размерные группы рыб, что позволяет учитывать не только промысловую часть популяций, но и младшевозрастные группы, которые вступят в промысел в ближайшие годы. Таким образом, оптимальным периодом проведения учетных донных траловых съемок для оценки запасов рыб является летний период, что необходимо учитывать при планировании исследований.

Ключевые слова: рыбы, весна, лето, плотность концентраций, сезонные миграции, оценка запасов

Для цитирования: Калчугин П.В., Соломатов С.Ф. Влияние сезонности проведения донных траловых съемок на оценку запасов донных рыб // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 680–695. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-680-695. EDN: MLFOEE.

Original article

**Influence of seasonality of bottom trawl surveys on assessment of stocks
for bottom fish****Pavel V. Kalchugin*, Sergey F. Solomatov****

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

** Institute of Marine Biology, National Scientific Center of Marine Biology,
Far Eastern Branch, Russian Ac. Sci., 17, Palchevsky Str., Vladivostok, 690041, Russia

* chief specialist, pavel.kalchugin@vniro.tinro.ru, ORCID 0009-0003-9034-9344

** Ph.D., researcher, solosf@yandex.ru, ORCID 0009-0001-5350-7062

* Калчугин Павел Васильевич, главный специалист, pavel.kalchugin@vniro.tinro.ru, ORCID 0009-0003-9034-9344; Соломатов Сергей Федорович, кандидат биологических наук, научный сотрудник, solosf@yandex.ru, ORCID 0009-0001-5350-7062.

© Калчугин П.В., Соломатов С.Ф., 2025

Abstract. Reliability of the fish stock assessments is affected by many factors, including seasonal patterns of fish distribution and inhomogeneity of distribution density. Results of two bottom trawl surveys are compared, which were conducted in the same area of Peter the Great Bay (Japan Sea) and in the same year 2013 but in different seasons, as spring and summer. The fish species stock assessments were mostly higher in summer, with exclusion of sculpins with insignificant difference between the seasons (except actively migrated graypurple sculpin). The observed difference was reasoned by seasonal bathymetric migrations. Therefore, an optimal for trawl surveys season can be determined taking into account the bathymetric migration of bottom species. In spring, the fish concentrated mainly at the depths more than 300 m, with the maximum density of 24.86 t/km² in the range of 400–500 m, where walleye pollock and blackfin flounder prevailed. In summer, the highest concentration was found in the range of 20–50 m but its value was much lower, 14.5 t/km². No more than 10 % of fish biomass remained in the deep-water areas with the depth from 200 to 700 m. The fish concentration in dense but small-sized aggregations increases inhomogeneity of the biomass mosaic distribution and reduces accuracy of their stock assessments. That's why the summer season with relatively even distribution of bottom fish is the optimal time for bottom trawl surveys.

Keywords: fish distribution, spring, summer, distribution density, seasonal migration, stock assessment

For citation: Kalchugin P.V., Solomatov S.F. Influence of seasonality of bottom trawl surveys on assessment of stocks for bottom fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 680–695. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-680-695. EDN: MLFOEE.

Введение

Одна из основных задач рыбохозяйственной науки — определение биомассы и численности рыб и других групп животных для их рационального использования. Учитывая важность этих работ, к проблеме их выполнения исследователи возвращаются неоднократно [Юданов, 1995; Волвенко, 1998; Тарасюк, 2000; Мельников, 2006; Яржомбек, Датский, 2014; и др.]. Оценку и контроль состояния запасов можно осуществлять с помощью комплексных учетных траловых съемок. При высокой стоимости экспедиционных исследований решением проблем рациональной эксплуатации водных биологических ресурсов может стать использование методов математического моделирования и различных продукционных моделей, однако промыслово-статистические данные, лежащие в основе этих моделей, не всегда достоверны, что не позволяет использовать их в полной мере. По этой причине комплексные съемки в настоящее время продолжают оставаться одним из основных методов учета и контроля состояния запасов и оценки биомассы промысловых видов гидробионтов.

Одно из требований при проведении таких съемок — сопоставимость площади распределения скоплений и обследованной акватории. Другим немаловажным условием при планировании съемок является выполнение их в период, когда распределение учитываемых объектов наиболее равномерно. Такое условие характерно для нагульного периода.

В то же время некоторые исследователи считают, что во времена напряженного состояния запасов рыб для наиболее достоверной их оценки съемки необходимо проводить не только в нагульный, но и в зимовальный и нерестовый периоды, когда гидробионты концентрируются на локальных участках [Юданов, 2001].

Цель работы — показать влияние сезонности проведения донных траловых съемок на оценки биомассы рыб.

Материалы и методы

В основу работы положены материалы комплексных донных траловых съемок, выполненных в зал. Петра Великого Японского моря весной (начало мая) и летом (июль-август) 2013 г. Работы проводились на РК МРТ «Бухоро». В летний период траления выполняли 21,3-метровым донным тралом типа ДТ/ТВ (горизонтальное раскрытие 13 м). В весенней съемке использовался донный трал 27,1/24,4 (горизон-

тальное раскрытие 16 м). Оснастка тралов была стандартной: оба были вооружены цепным мягким грунтропом, длина поводцов, соединяющих грунтроп с нижней подборой через 1 м, составляла 20 см. Для определения доли молоди в уловах в траловых мешках использовалась мелкочейная вставка размером 10 x 10 мм. Скорость траления в зависимости от глубины варьировала от 2,6 до 3,0 уз при среднем значении 2,8 уз. Плановая продолжительность тралений составляла 30 мин, однако на некоторых станциях была сокращена до 20 мин, а на сложных (задевистых) грунтах продолжительность определялась конкретными условиями тралений.

Биомассу и численность рыб рассчитывали площадным методом [Аксютин, 1968].

Величины коэффициента уловистости k в сравниваемые сезоны совпадали и были приняты на основе имеющихся литературных данных [Борец, 1985, 1997; Гаврилов и др., 1988] с некоторой корректировкой [Измятинский, 2005]. Для трески *Gadus macrocephalus*, южного одноперого терпуга *Pleurogrammus azonus* величина k составляла 0,3, для наваги *Eleginus gracilis* и колючей камбалы *Acanthopsetta nadeshnyi* — 0,4; для всех остальных — 0,5.

Расчет плотности концентраций рыб выполняли по формуле $Pn(w) = N(W)/S$, где $Pn(w)$ — удельная численность (биомасса), тыс. экз./км² (т/км²); $N(W)$ — численность (биомасса), тыс. экз. (т); S — площадь батиметрического диапазона, км².

Традиционно в зал. Петра Великого исследования проводили в летний, нагульный для рыб период. Сетка станций состояла из 120 станций, равномерно покрывающих всю акваторию залива. В весенний период количество станций обычно не превышало 60, т.е. в 2 раза меньше, при этом в диапазоне глубин от 100 до 700 м распределение станций и их количество практически совпадают (табл. 1). Такое различие в количестве станций обусловлено особенностями сезонного распределения рыб. Известно, что в зимний период их основные концентрации распределяются на больших глубинах, поэтому плотность концентрации в весенний период на мелководье значительно ниже. Миграции рыб на мелководье начинаются с весенним прогревом водных масс акватории залива [Соломатов, 2008]. По этой причине малые глубины в весенний период охвачены траловыми станциями значительно меньше, чем летом.

Таблица 1

Распределение траловых станций по диапазонам глубин и плотность их распределения в зал. Петра Великого весной и летом 2013 г.

Table 1

Number and distribution density of trawl stations for spring and summer surveys in Peter the Great Bay in 2013, by depth ranges

Показатель	Глубина, м							
	5–20	21–50	51–100	101–200	201–300	301–400	401–500	501–700
Кол-во тралений весной	—	13	14	10	6	6	6	5
Кол-во тралений летом	25	14	43	9	9	8	6	6
Площадь диапазонов, км ²	1160,7	2672,3	5269,3	1120,9	276,3	217,0	203,2	350,0
Плотность распределения станций летом (1 ст. на 1 км ²)	46,4	191,0	126,0	125,0	30,7	31,0	34,0	58,0
Плотность распределения станций весной (1 ст. на 1 км ²)	—	206,0	376,0	125,0	46,0	36,0	34,0	58,0

Результаты и их обсуждение

Таксономическое разнообразие ихтиофауны из траловых уловов

В состав ихтиофауны зал. Петра Великого входят 316 видов рыб, относящихся к 87 семействам [Соколовский и др., 2011], однако в отдельных траловых съемках число видов закономерно значительно меньше. Различается их количество и в зависимости

от сезона исследований. По нашим данным, в летний период в траловых уловах отмечается большее количество видов и семейств рыб, чем в весенний (табл. 2).

Таблица 2

Семейства и число видов в них, отмеченные в зал. Петра Великого в разные сезоны 2013 г.

Table 2

Fish families and the number of species in them found in catches of the bottom trawl surveys conducted in Peter the Great Bay in spring and summer of 2013

Семейство	Весна	Лето
	Число видов	
Rajidae — Обыкновенные скаты	2	2
Clupeidae — Сельдевые	1	1
Osmeridae — Корюшковые	3	2
Salangidae — Лапша-рыбы	1	1
Gadidae — Тресковые	3	3
Scorpaenidae — Скорпеновые	3	5
Gasterosteidae — Колюшковые	1	1
Hexagrammidae — Терпуговые	2	3
Cottidae — Рогатковые	15	22
Hemitripteraeidae — Волосатковые	1	2
Psychrolutidae — Психролютовые	4	4
Agonidae — Лисичковые	10	13
Cyclopteridae — Пинагоровые	3	4
Liparidae — Липаровые	4	6
Bathymasteridae — Батимастеровые	1	1
Zoarcidae — Бельдюговые	7	8
Stichaeidae — Стихеевые	9	17
Ammodytidae — Песчанковые	1	1
Trichodontidae — Волосозубые	1	1
Hypoptychidae — Короткоперые песчанки	1	1
Pleuronectidae — Камбаловые	9	11
Squalidae — Колючие акулы	—	1
Salmonidae — Лососевые	—	1
Engraulidae — Анчоусовые	—	1
Cyprinidae — Карповые	—	1
Syngnathidae — Иглового	—	1
Mugilidae — Кефалевые	—	1
Pholididae — Маслюковые	—	3
Cryptacanthoidae — Криворотые	—	1
Gobiidae — Бычковые	—	1
Tetraodontidae — Четырехзубые	—	1
Число семейств/видов	21/82	31/121

Виды рыб, не отмеченные в весенних съемках, можно разделить на две группы: южные мигранты, проникающие в залив с теплыми водами Восточно-Корейского течения в летний период, а также группа проходных и полупроходных рыб, в зимний период мигрирующих на зимовку в реки и весной также не облавливаемых (табл. 2).

Но и южные мигранты, и группа проходных и полупроходных рыб не оказывали значительного влияния на оценки биомассы по результатам донных траловых съемок.

При сравнении семейств, состоящих в основном из рыб, ведущих донный и придонный образ жизни, в летней съемке отмечено большее количество видов, чем в весенней. В основном это происходило за счет рогатковых (*Argyrocottus zanderi*, *Bero elegans*, *Gymnocanthus intermedius*) и стихеевых (*Alectrias benjamini*, *A. cirratus*, *Kasatkia memorabilis*) и в меньшей степени за счет липаровых (*Liparis agassizii*) и лисичковых (*Agonomalus proboscoidalis*). Это виды, обитающие на мелководе, поэтому в весенней съемке они не облавливались.

Оценка запасов рыб в весенний и летний сезоны

Основу биомассы донного ихтиоценоза в зал. Петра Великого, как и в подзоне Приморье в целом, формировали представители 4 семейств: тресковых, камбаловых, терпуговых и рогатковых, в отдельные периоды (конец 1970-х — начало 1990-х гг.) значительную долю (до 30 %) составляла сельдь, представляющая семейство сельдевых [Гаврилов, Посадова, 1982; Гаврилов и др., 1988; Дударев, 1996; Калчугин и др., 2004а, б; Соломатов, Калчугин, 2013; Панченко, Бойко, 2014]. Эти семейства являлись основой учтенной биомассы рыб вне зависимости от сезона проведения учетных работ. Доля их варьировала в сравниваемые сезоны от 83,6 до 90,2 %.

Семейства камбаловых и рогатковых представлены большим числом видов, у тресковых и терпуговых наиболее массовыми в зал. Петра Великого являются соответственно минтай, навага и южный одноперый терпуг. Сравнивая оценки биомасс основных промысловых видов в исследуемые сезоны, можно отметить, что общая оценка биомассы в весенний период практически в 2 раза (1,87) ниже оценок, полученных в летний период (табл. 3).

Таблица 3

Биомасса и соотношение массовых семейств и видов рыб в зал. Петра Великого по результатам учетных траловых съемок, выполненных в разные сезоны 2013 г.

Table 3

Biomass of mass fish species and families on the data of bottom trawl surveys in Peter the Great Bay in spring and summer of 2013 and their portions in the total assessed biomass

Семейство, вид	Весна		Лето	
	Тыс. т	%	Тыс. т	%
Навага	9,0	15,3	12,7	11,5
Треска	1,0	1,7	2,0	1,8
Минтай	8,7	14,8	24,5	22,2
Южный одноперый терпуг	2,2	3,7	7,5	6,8
Рогатковые	24,1	40,9	29,2	26,5
Камбалы	8,1	13,8	16,3	14,8
Итого	53,1	90,2	92,2	83,6
Общая учтенная биомасса рыб	58,9	100	110,3	100

Для того чтобы минимизировать ошибки в оценках биомассы рыб, связанные с сезонными перемещениями, мы исключили активно мигрирующие неритические и придонно-пелагические виды (минтай, южный одноперый терпуг, навага, сельдь). Они могли уходить за пределы зал. Петра Великого либо подниматься в толщу воды и не облавливаясь донным тралом.

При результативности летних и весенних работ были проанализированы количественные оценки биомассы двух семейств — камбаловых и рогатковых, так как виды, их составляющие, ведут донный и придонный образ жизни, совершают сезонные батиметрические миграции, однако редко покидают пределы обследованной акватории.

В семействе камбаловых можно выделить две группы: мелководные и относительно глубоководные виды [Антоненко, 2007; Калчугин и др., 2016]. Оценки их биомасс и соотношение по сезонам в зал. Петра Великого различались (рис. 1).

В весенний период оцененная биомасса камбал составила 8,1 тыс. т, при этом доля глубоководных камбал равнялась 64,2 %. В летний период учтенная биомасса камбал была в 2 раза выше — 16,3 тыс. т, по-прежнему преобладали глубоководные виды, однако их доля снизилась до 54,4 %.

Сравнивая учтенную биомассу по отдельным видам, можно отметить, что в весенней съемке только один вид камбал, малоротая, получил более высокие оценки, чем в летней. Все остальные виды весной были учтены либо хуже, либо значительно хуже, чем летом (рис. 2).



Рис. 1. Соотношение общей биомассы мелководных (1) и глубоководных (2) камбал в весенней и летней съемках 2013 г. в зал. Петра Великого

Fig. 1. Ratio of shallow-water (1) and deep-water (2) species in the total biomass of flounders assessed by the bottom trawl surveys in Peter the Great Bay in spring and summer of 2013

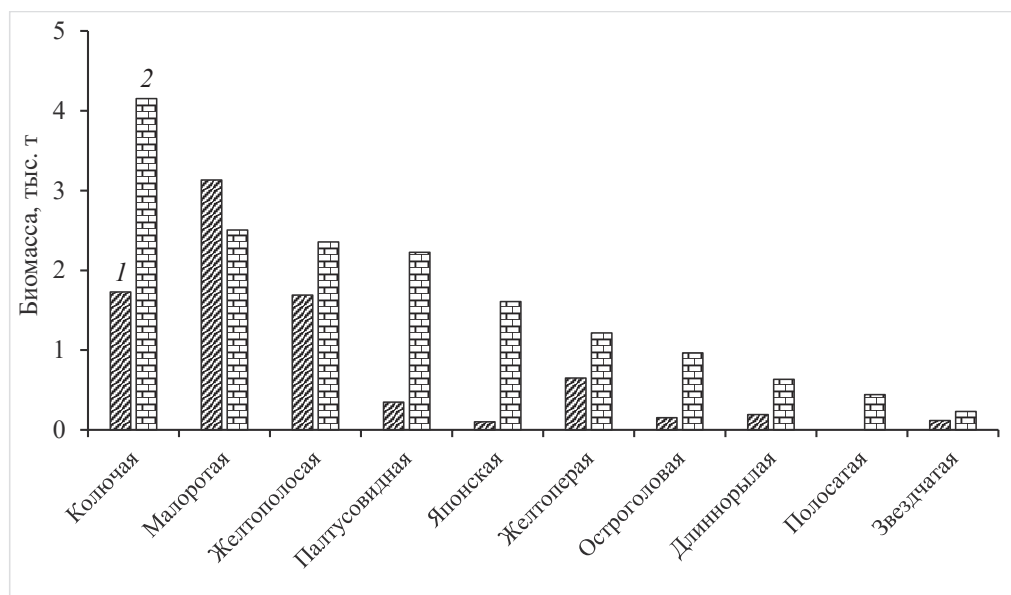


Рис. 2. Сезонные оценки биомасс камбал в зал. Петра Великого в 2013 г., тыс. т: 1 — весна; 2 — лето

Fig. 2. Seasonal assessments of flounder biomass in Peter the Great Bay in 2013: 1 — spring; 2 — summer

Основу биомассы семейства весной составляла малоротая камбала — 3,2 тыс. т, а ее доля в общей учтенной биомассе камбал — 38,6 %. Летом к доминирующим видам относилась уже колочая камбала — 4,2 тыс. т. У палтусовидной камбалы оценки в летний период были выше в 5,5 раза (0,4 тыс. т весной и 2,2 тыс. т летом).

Весной концентрации камбал были сосредоточены в узком диапазоне вдоль границы шельфа залива (рис. 3, а). Летом же распределение было более равномерным по всей акватории залива, высокая плотность отмечалась в заливах второго и третьего порядков (Амурском, Уссурийском, Восток) (рис. 3, б).

Сравнивая распределение размерного состава камбал по диапазонам глубин в разные сезоны, можно отметить определенные закономерности, характерные для всех видов камбал, это в первую очередь увеличение размеров с глубиной [Вдовин и

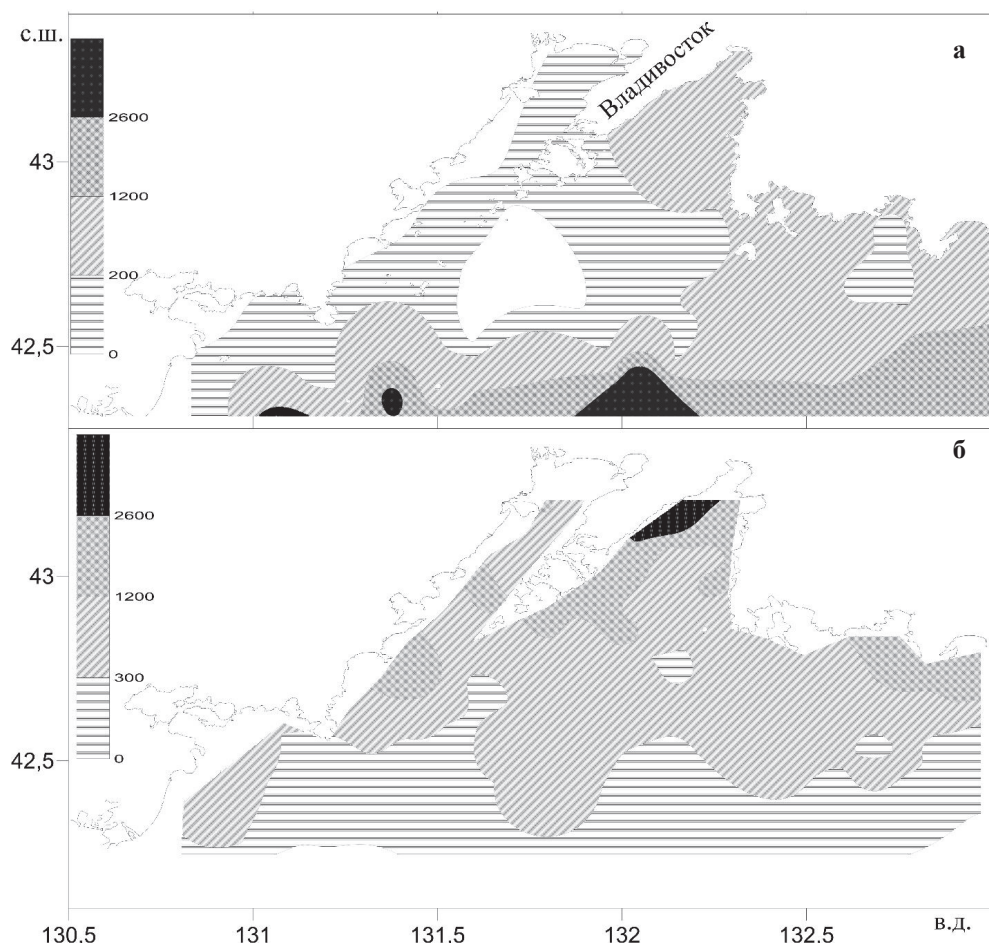


Рис. 3. Распределение камбал (кг/км²) в зал. Петра Великого весной (а) и летом (б)

Fig. 3. Distribution density for flounders in Peter the Great Bay in spring (а) and summer (б) of 2013, kg/km²

др., 2001, 2004а, б]. Наиболее массовый вид — колючая камбала, в летний период в диапазоне глубин от 20 до 200 м концентрируется до 82 % ее учетной биомассы, в то время как в весенний до глубины 400 м распределяется 64 % биомассы. При близком размерном составе в весенний период в уловах практически не отмечается молодь камбал, а в летний период ее доля весьма значительна, до 20 % численности (рис. 4).

Аналогичная картина отмечалась и для малоротой камбалы, однако, в отличие от колючей, в весенний период на глубине менее 300 м концентрируется не более 10 % учетной биомассы. В группе мелководных видов характер сезонного распределения был сходным. В качестве примера можно рассмотреть один из наиболее массовых для залива видов камбал — желтополосую [Соломатов, Калчугин, 2013]. В летний период ее основные концентрации были сосредоточены в диапазоне глубин 21–50 м (2,3 тыс. т, или 85 %). В отличие от глубоководных видов, в весенний период ее распределение было ограничено глубинами до 400 м, при этом наиболее высокие концентрации отмечались до 200-метровой глубины (1,6 тыс. т, или 97 %). Молодь фиксировалась в основном в диапазоне 21–200 м, глубже концентрировалась старшевозрастная камбала.

У рогатковых картина батиметрического распределения отличалась, так как размах сезонных миграций у них менее выражен [Калчугин, 1998; Панченко, 1998; Калчугин, Панченко, 2004]. Основу биомассы рогатковых составляли 4 вида: два вида керчаков — яок *Myoxocephalus jaok* и многоиглый *M. polyacanthocephalus* — и

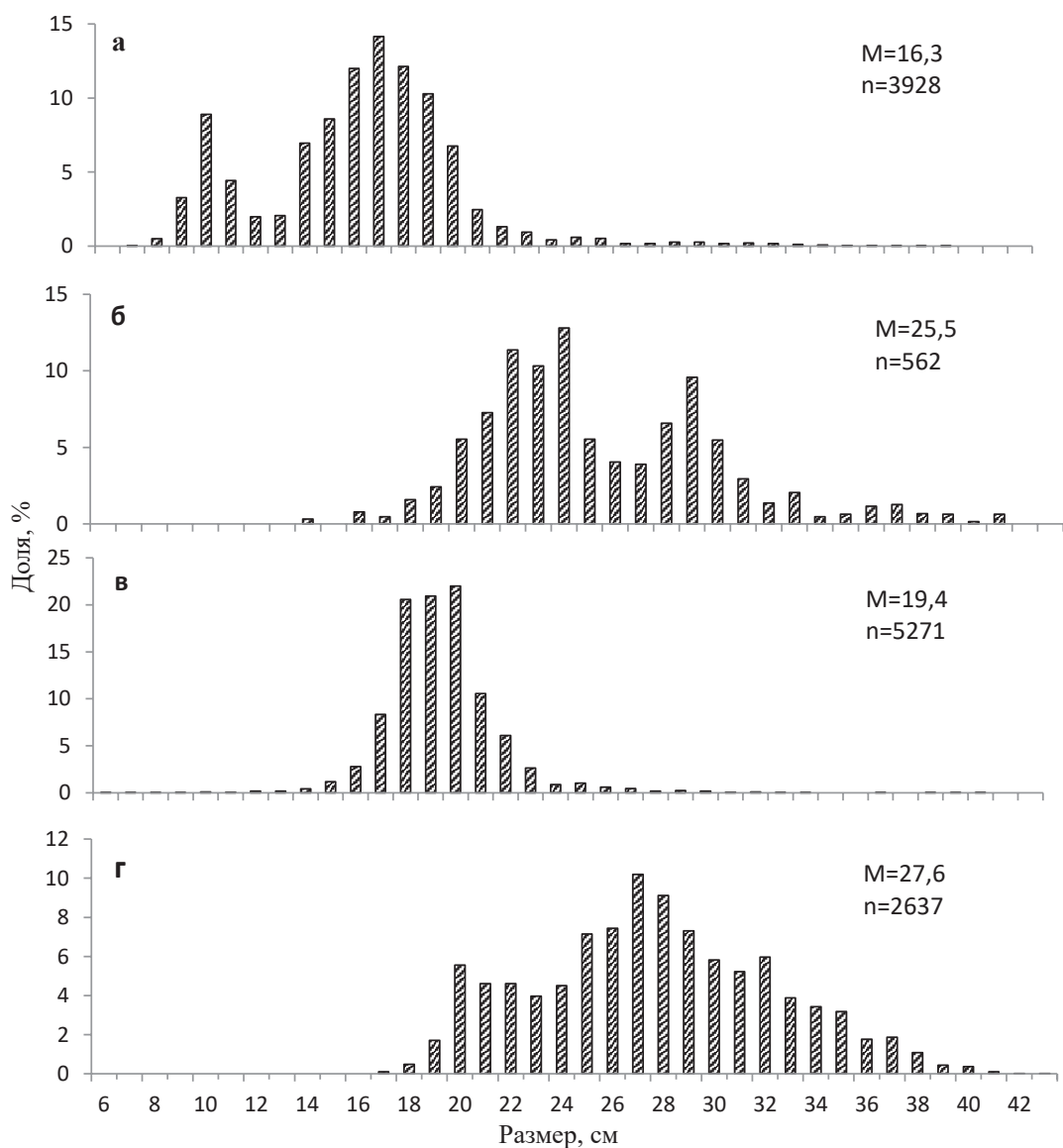


Рис. 4. Размерный состав колючей камбалы в летний (а — глубины менее 200 м; б — глубины более 200 м) и в весенний периоды (в — глубины менее 400 м, г — глубины более 400 м)

Fig. 4. Size composition of scale-eye plaice in Peter the Great Bay in spring and summer of 2013: а — summer, depth < 200 m; б — summer, depth > 200 m, в — spring, depth < 400 m, г — spring, depth > 400 m

два вида шлемоносцев — широколобый *Gymnocanthus detrisus* и дальневосточный *G. herzensteini*. Эти виды характеризуются зимним нерестом, причем самцы керчаков охраняют кладки икры и покидают нерестилища только после выклева личинок. Нерест проходит в ранневесенний период, когда они мигрируют как на мелководье, так и на внешний шельф [Панченко, 2003; Панченко, Антоненко, 2004; Панченко, Пушина, 2004]. Такая особенность их биологии нашла отражение в сезонном распределении этой группы (рис. 5). Основные концентрации рогатковых вне зависимости от сезона наблюдаются в диапазоне от 20 до 100 м. Более широкое распределение в весенний период практически не влияло на оценки биомассы по батиметрическим диапазонам. В весенний период на глубине более 300 м было отмечено 0,9 % учтенной биомассы рогатковых, в летний — 0,1 %.

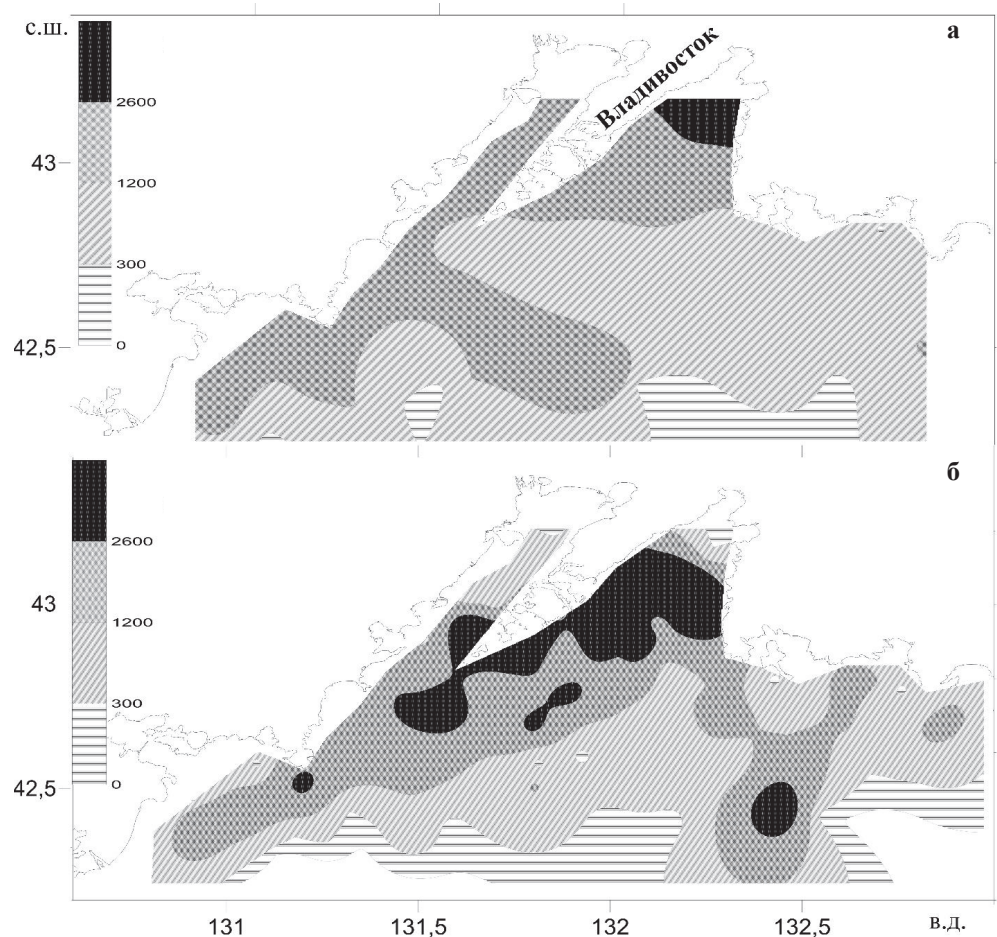


Рис. 5. Распределение рогатковых (кг/км²) в зал. Петра Великого весной (а) и летом (б)
Fig. 5. Distribution density for sculpins in Peter the Great Bay in spring (а) and summer (б) of 2013, kg/km²

Рогатковые, как и камбаловые, совершают зимовальные миграции, однако диапазон их не так широк, поэтому во время весенней съемки их высокие уловы были отмечены в пределах шельфовой зоны залива. По этой причине весенние и летние оценки биомассы бычков, за исключением глубоководного широколобного шлемоносца, были очень близки (табл. 4).

Таблица 4
Биомасса и соотношение массовых видов рогатковых в зал. Петра Великого в разные сезоны 2013 г.

Table 4
Biomass of sculpin mass species in Peter the Great Bay in spring and summer of 2013 and their ratio in the total biomass of sculpins

Вид	Весна		Лето	
	Биомасса, т	%	Биомасса, т	%
Многоиглый керчак	4491	18,7	3259	11,2
Керчак-яок	12227	50,8	12946	44,4
Широколобый шлемоносец	1558	6,5	4026	13,8
Дальневосточный шлемоносец	2366	9,8	2106	7,2
Итого	20643	85,8	22337	76,6
Общая биомасса рогатковых	24054	100	29161	100

Вопрос оценки состояния запасов водных биологических ресурсов был актуален во все времена, особенно с увеличением интенсивности промысла. К этой теме исследователи обращались неоднократно, часть из них перечислена выше. В подзоне Приморье рассматривались как прямые методы учета основных промысловых рыб, так и математические модели [Вдовин, Дударев, 2000; Вдовин, 2005]. Указывалось, что на достоверность оценок влияет большое количество факторов — объективных и субъективных. К таким факторам относятся особенности сезонного распределения и различная плотность концентраций. В зависимости от сроков проведения исследований получаемые значения запасов трески могут значительно различаться [Калчугин, 2004; Калчугин и др., 2004а]. Результаты наших работ показывают, что это актуально не только для отдельно взятых видов, но и для всего комплекса рыб.

Рассмотрев и сравнив результаты двух донных траловых съемок, выполненных на акватории зал. Петра Великого весной и летом 2013 г., можно выделить общую закономерность: практически по всем видам наблюдались более высокие оценки биомасс в летний период по сравнению с весенним (см. табл. 3). Исключение составляли рогатковые, их оценки различались незначительно: 24,1 тыс. т весной и 29,2 тыс. т летом. При этом необходимо отметить, что такая разница обусловлена в основном высокими оценками в летний период одного вида — широколобого шлемоносца (см. табл. 4). Из 4 рассматриваемых массовых видов семейства у него наиболее широкий диапазон сезонных миграций [Калчугин, 1998].

Площадь дна зал. Петра Великого в диапазоне 51–100 м составляет почти половину (46,8 %) обследуемого (5–700 м) при проведении донных траловых съемок. В весеннем рейсе 2002 г. на РК МРТ «Бухоро» в зал. Петра Великого нами уже были отмечены незначительные запасы рыб на этих глубинах, поэтому весной 2013 г. при планировании работ в условиях ограниченного времени на исследования было решено сократить здесь число станций. Анализ уловов подтвердил предположения: в весенний период на глубине 51–100 м была самая низкая плотность рыб по сравнению с другими глубинами — 3,28 т/км² (табл. 5).

Таблица 5

Плотность концентраций рыб по диапазонам глубин в зал. Петра Великого весной и летом 2013 г.

Таблица 5

Distribution density of bottom fish in Peter the Great Bay in spring and summer of 2013, by depth ranges

Показатель	Глубина, м								
	5–20	21–50	51–100	101–200	201–300	301–400	401–500	501–700	Общее
S, км²	1160,7	2672,3	5269,3	1120,9	276,3	217,0	203,2	350,0	11269,7
Доля от общей площади, %	10,3	23,7	46,8	9,9	2,5	1,9	1,8	3,1	100
Весна									
Биомасса, т	–	15289	17331	10809	2718	2314	5053	5372	58886
P(w), т/км²	–	5,72	3,28	9,64	9,83	10,66	24,86	15,34	5,82
Лето									
Биомасса, т	9319	38845	51911	6013	3123	457	342	282	110299
P(w), т/км²	8.02	14,53	9,85	5,36	11,30	2,10	1,68	0,80	10,91

В слое 51–100 м в весенний и летний периоды можно отметить определенные закономерности распределения доминирующих видов. Оценки запасов видов со слабо выраженной сезонной миграционной активностью подвержены меньшим колебаниям по сезонам. К таким видам относятся дальневосточный шлемоносец, многоиглый керчак, керчак-яок. Вместе с тем оценки биомассы мигрирующих рыб различаются весьма значительно. У таких видов, как навага (3,8 тыс. т весной, 2,3 тыс. т летом) и желтополосая камбала (0,6 тыс. т весной, 0,1 тыс. т летом), оценки запасов в этом

диапазоне выше в весенний период, в то время как у минтая (1,3 тыс. т весной, 16,9 тыс. т летом) и широколоблого шлемоносца (0,4 тыс. т весной, 2,6 тыс. т летом) весной оценки ниже. По-видимому, это связано с особенностями биологии этих видов. Навага и желтополосая камбала в летний период мигрируют в мелководные участки залива, а такие виды, как минтай и широколобый шлемоносец, распределяются более широко и концентрируются на больших глубинах [Соломатов, 2008]. При этом оценки слабо мигрирующих видов в зависимости от сезона изменяются незначительно. Мы подробно рассмотрели несколько видов, вклад которых весьма значителен в слое 51–100 м в оба исследуемых сезона. Таким образом, несмотря на меньшее количество станций в этом диапазоне в весенний период, учитывая особенности сезонного распределения, результаты оценок можно использовать для сравнения.

Анализируя распределение рыб по батиметрическим диапазонам, видим, что глубже 301 м плотности их концентраций в весенний период значительно превышали таковые в летний сезон (табл. 5). Максимальная плотность (24,9 т/км²) была характерна для глубины 401–500 м, основу составляли минтай (12,4 т/км²) и малоротая камбала (4,2 т/км²).

В летний период глубже 301 м таких высоких концентраций не наблюдалось, максимальные отмечались в диапазоне 21–50 м. Скопления повышенной плотности здесь были образованы за счет большого количества видов: наваги, минтая, терпуга, керчака-яока, волосатой рогатки и большинства мелководных видов камбал. Однако при столь высоком видовом разнообразии плотности концентраций оказались значительно ниже, чем на больших глубинах в весенний период. Причина, на наш взгляд, достаточно проста: доля глубин от 201 до 700 м не превышает 10 % исследуемой площади залива.

В весенний период скопления рыб концентрировались на локальных участках материкового склона. Летом плотность их концентраций снижалась за счет более равномерного распределения видов на большей части акватории зал. Петра Великого (см. рис. 3, 5), при этом оценки запасов, по нашему мнению, получаются более достоверные. Высокая плотность концентраций рыбных скоплений на малых площадях приводит к мозаичности распределения и снижает достоверность точности оценок запасов гидробионтов.

Таким образом, не исключая проведения съемок при напряженном состоянии запасов в нерестовый или зимовальный период [Юданов, 2001], мы считаем, что оптимальным периодом является нагульный. Кроме того, в сезон образования высоких концентраций (зимовальный или нерестовый) учет видового состава будет неполным, также могут быть получены недостоверные данные о размерном составе, что приведет к неправильным выводам о составе ихтиоцены и биомассе рыб.

Оказывать влияние на оценку запасов могут и миграции рыб, которые начинаются в зимне-весенний период. В это время возможны как недоучет, так и двойной учет рыб.

Наиболее оптимальный период проведения донной траловой съемки — летний, когда рыба достаточно равномерно распределяется на акватории и не совершает миграций. Это утверждение может выглядеть достаточно спорно, однако большинство рыб вышеперечисленных групп, и не только их, относится к эврифагам [Чучукало, 2006; Пущина, 2012]. Исследования, проведенные в зал. Петра Великого в летний период, показали высокую концентрацию кормового макробентоса [Надточий и др., 2005; Надточий, Галышева, 2012; Надточий, Колпаков, 2017]. Учитывая, что у рыб отсутствует ярко выраженная избирательность в питании, необходимости образования кормовых локальных концентраций нет. По этой причине их распределение в нагульный период носит более равномерный характер.

Заключение

Сравнение результатов донных траловых съемок, выполненных в зал. Петра Великого в смежные сезоны (весна, лето), позволило оценить их достоверность.

Весной распределение рыб носит локальный характер, они образуют скопления высокой плотности на небольших участках. В этот период возможен недоучет рыб из-за вероятности не охватить тралениями места их наибольших концентраций.

В летний нагульный период рыбы распределяются по всей акватории. Плотность концентраций ниже, но при равномерной сетке станций оценки их запасов получаются более достоверными. В этот период облавливаются практически все размерные группы рыб, что позволяет учитывать не только промысловую часть популяций, но и младшевозрастные группы, которые вступят в промысел в ближайшие годы.

Таким образом, оптимальным периодом проведения учетных донных траловых съемок для оценки запасов рыб является летний, что необходимо учитывать при планировании исследований на перспективу.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность рецензентам за ценные замечания, полученные при подготовке работы.

The authors are thankful to anonymous reviewers for their valuable comments useful for the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

This study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторы в равной мере принимали участие в подготовке и написании работы.

Both authors were equally involved in the data collection, processing and analysis, in the results discussion, and in writing and illustrating the text.

Список литературы

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

Антоненко Д.В. Многолетняя динамика видового состава и обилия камбал в водах Приморья (Японское море) // *Вопр. ихтиол.* — 2007. — Т. 47, № 2. — С. 188–195.

Борец Л.А. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1997. — 217 с.

Борец Л.А. Состав и биомасса донных рыб на шельфе Охотского моря // *Биол. моря.* — 1985. — Т. 11, № 4. — С. 54–65.

Вдовин А.Н. Изучение состояния запасов основных промысловых рыб в водах Приморья // *Изв. ТИНРО.* — 2005. — Т. 141. — С. 74–102.

Вдовин А.Н., Дударев В.А. Сравнительная оценка количественных учетов рыбной сырьевой базы Приморья // *Вопр. рыб-ва.* — 2000. — Т. 1, № 4. — С. 46–57.

Вдовин А.Н., Швыдкий Г.В., Калчугин П.В. Сезонное распределение колючей камбалы *Acanthopsetta nadesnyi* в северо-западной части Японского моря // *Вопр. ихтиол.* — 2001. — Т. 41, № 1. — С. 36–41.

Вдовин А.Н., Швыдкий Г.В., Калчугин П.В. Сезонное распределение япономорской палтусовидной камбалы *Hippoglossoides dubius* (Pleuronectidae) в северо-западной части Японского моря // Вопр. ихтиол. — 2004а. — Т. 44, № 3. — С. 370–374.

Вдовин А.Н., Измятинский Д.В., Соломатов С.Ф. Основные результаты исследований рыб морского прибрежного комплекса Приморья // Изв. ТИНРО. — 2004б. — Т. 138. — С. 168–190.

Волвенко И.В. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съемок // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 124. — С. 473–500.

Гаврилов Г.М., Посадова В.П. Динамика численности тихоокеанской сельди *Clupea pallasi pallasi* Valenciennes (Clupeidae) залива Петра Великого // Вопр. ихтиол. — 1982. — Т. 22, вып. 5. — С. 760–772.

Гаврилов Г.М., Пушкарева Н.Ф., Стрельцов М.С. Состав и биомасса донных и придонных рыб экономической зоны СССР Японского моря // Изменчивость состава ихтиофауны, урожайности поколений и методы прогнозирования запасов рыб в северной части Тихого океана. — Владивосток : ТИНРО, 1988. — С. 37–55.

Дударев В.А. Состав и биомасса донных и придонных рыб на шельфе северного Приморья // Вопр. ихтиол. — 1996. — Т. 36, № 3. — С. 333–338.

Измятинский Д.В. Характеристика сообщества рыб элиторали залива Петра Великого (Японское море) в период гидрологического лета // Вопр. ихтиол. — 2005. — Т. 45, № 3. — С. 315–323.

Калчугин П.В. О перспективах промысла трески в подзоне «Приморье» // Вопр. рыб-ва. — 2004. — Т. 5, № 1. — С. 95–102.

Калчугин П.В. Распределение рогатковых (Cottidae) у северного Приморья // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 82–88.

Калчугин П.В., Зуенко Ю.И., Нуждин В.А. Об особенностях распределения молоди трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae) в заливе Петра Великого // Вопр. ихтиол. — 2004а. — Т. 44, вып. 6. — С. 805–810.

Калчугин П.В., Панченко В.В., Соломатов С.Ф. Состояние рыбных сырьевых ресурсов материкового побережья северной части Японского моря // О приоритетных задачах рыбохозяйственной науки в развитии рыбной отрасли России до 2020 года : тез. докл. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2004б. — С. 93–94.

Калчугин П.В., Панченко В.В. Особенности сезонного распределения и миграции рогатковых (Cottidae) в Приморье // Проект «Моря». Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8 : Японское море, вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоиздат, 2004. — С. 234–238.

Калчугин П.В., Соломатов С.Ф., Бойко М.И. Распределение и запасы массовых донных и придонных рыб в различных районах северо-западной части Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 185. — С. 3–15. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-3-15.

Мельников И.В. К методике выполнения крупномасштабных пелагических траловых съемок // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2006. — Вып. 8. — С. 98–108.

Надточий В.А., Будникова Л.Л., Безруков Р.Г. Макрозообентос залива Петра Великого (Японское море): состав, распределение, ресурсы // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 140. — С. 170–195.

Надточий В.А., Галышева Ю.А. Ретроспективный анализ количественного распределения макробентоса залива Петра Великого // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : Издат дом. ДВФУ, 2012. — С. 129–174.

Надточий В.А., Колпаков Н.В. Состав, распределение и ресурсы макробентоса в заливе Петра Великого в 2011 г. // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 190. — С. 101–118. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-190-101-118.

Панченко В.В. Распределение бычков рода *Myoxocephalus* (Cottidae) в заливе Петра Великого Японского моря в летний период // Изв. ТИНРО. — 1998. — Т. 123. — С. 89–99.

Панченко В.В. Сезонное батиметрическое распределение керчака-яока *Myoxocephalus jaok* (Cottidae) в северной части Японского моря // Вопр. ихтиол. — 2003. — Т. 43, № 6. — С. 783–788.

Панченко В.В., Антоненко Д.В. Сезонное распределение дальневосточного шлемоносца *Gymnocanthus herzensteini* (Cottidae) в заливе Петра Великого (Японское море) // Вопр. ихтиол. — 2004. — Т. 44, № 6. — С. 793–798.

Панченко В.В., Бойко М.И. Современное состояние ресурсов донных рыб в водах Северного Приморья (Японское море) // Вторая междунар. науч.-практ. конф. «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». — Калининград : КГТУ, 2014. — С. 48–51.

- Панченко В.В., Пушина О.И.** Биологическая характеристика керчаков рода *Муохосерphalus* (Cottidae) зал. Петра Великого Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 138. — С. 120–153.
- Пушина О.И.** Питание и трофические связи демерсальных рыб зал. Петра Великого (Японское море) в летний период : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток, 2012. — 24 с.
- 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.
- Соломатов С.Ф.** Состав и многолетняя динамика донных ихтиоценов северного Приморья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО, 2008. — 24 с.
- Соломатов С.Ф., Калчугин П.В.** Современное состояние ресурсов рыб в зал. Петра Великого (Японское море) // Тр. СахНИРО. — 2013. — Т. 14. — С. 36–45.
- Тарасюк С.Н.** Использование результатов донных траловых съемок для оценки запасов гидробионтов // Рыб. хоз-во. — 2000. — № 1. — С. 38–40
- Чучукало В.И.** Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.
- Юданов К.И.** Роль учетных съемок в экосистемном регулировании промысловых ресурсов // Рыб. хоз-во. — 2001. — № 2. — С. 30–32.
- Юданов К.И.** Результативность учетных съемок // Рыб. хоз-во. — 1995. — № 4. — С. 48–49.
- Яржомбек А.А., Датский А.В.** К вопросу об уловистости орудий лова // Рыб. хоз-во. — 2014. — № 1. — С. 82–85.

References

- Aksyutina, Z.M.,** *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudenii v biologicheskikh i rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh* (Elements of Mathematical Evaluation of the Results of Observations in Biological and Fishery Research), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1968.
- Antonenko, D.V.,** Yearly dynamics of species composition and abundance of flatfishes in waters of Primorye (the Sea of Japan), *Vopr. Ichthyol.*, 2007, vol. 47, no. 2, pp. 154–161.
- Borets, L.A.,** *Donnye ikhtiotseny rossiiskogo shel'fa dal'nevostochnykh morei: sostav, struktura, elementy funktsionirovaniya i promyslovoe znachenie* (Benthic Ichthyocoenes on the Russian Shelf of the Far Eastern Seas: Composition, Structure, Functioning Elements, and Commercial Significance), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 1997.
- Borets, L.A.,** Composition of bottom fishes on the shelf of the Sea of Okhotsk, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1985, vol. 11, no. 4, pp. 229–234.
- Vdovin, A.N.,** Studies of the stocks condition of the basic commercial fishes in the waters of Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 141, pp. 74–102.
- Vdovin, A.N. and Dudarev, V.A.,** Comparative estimation on the quantitative accounts of fish stock in Primorye, *Vopr. Rybolov.*, 2000, vol. 1, no. 4, pp. 46–57.
- Vdovin, A.N., Shvydkiy, G.V., and Kalchugin, P.V.,** Season distribution of the sealyeye plaice *Acanthopsetta nadesynyi* in the northwestern part of the Sea of Japan, *Vopr. Ichthyol.*, 2001, vol. 41, no. 1, pp. 36–41.
- Vdovin, A.N., Shvydkiy, G.V., and Kalchugin, P.V.,** Seasonal distribution of the red halibut *Hippoglossoides dubius* in the Northwestern part of the Sea of JAPAN, *Vopr. Ichthyol.*, 2004, vol. 44, no. 3, pp. 370–374.
- Vdovin, A.N., Izmyatinsky, D.V., and Solomатов, S.F.,** The main results of research of marine coastal complex of ichthyofauna in Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 168–190.
- Volvenko, I.V.,** Problems in quantitative estimation of fish abundance by trawl sampling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 124, pp. 473–500.
- Gavrilov, G.M. and Posadova, V.P.,** Population dynamics of the Pacific herring *Clupea pallasii* Valenciennes (Clupeidae) from the Peter the Great Bay, *Vopr. Ichthyol.*, 1982, vol. 22, no. 5, pp. 760–772.
- Gavrilov, G.M., Pushkareva, N.F., and Streltsov, M.S.,** The composition and biomass of demersal fish in the USSR economic zone of the Sea of Japan, in *Izmenchivost' sostava ikhtiofauny, urozhnosti pokolenii i metody prognozirovaniya zapasov ryb v severnoi chasti Tikhogo okeana* (Variations in the Composition of Ichthyofauna, Strength of Year-Classes, and the Methods to Predict Fish Stocks in the Northern Pacific Ocean), Vladivostok: TINRO, 1988, pp. 37–55.
- Dudarev, V.A.,** Composition and biomass of benthic and benthopelagic fishes on the shelf of the northern Primorye, *Vopr. Ikhtiolog.*, 1996, vol. 36, no. 3, pp. 333–338.

Izmyatinskii, D.V., Characteristics of fish community of the Peter the Great Bay ellitoral (the Sea of Japan) during the hydrological summer, *Vopr. Ikhtiol.*, 2005, vol. 45, no. 3, pp. 315–323.

Kalchugin, P.V., The prospects of commercial fishery of cod in Primorie waters, *Vopr. Rybolov.*, 2004, vol. 5, no. 1, pp. 95–102.

Kalchugin, P.V., Distribution of stag frogs (Cottidae) in northern Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 82–88.

Kalchugin, P.V., Zuyenko, Yu.I., and Nuzhdin, V.A., Characteristics of the distribution of the cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae) in the Peter the Great Bay, *Vopr. Ikhtiol.*, 2004, vol. 44, no. 6, pp. 805–810.

Kalchugin, P.V., Panchenko, V.V., and Solomатов, S.F., The state of fishery raw material resources of the continental coast of the northern part of the Sea of Japan, in *Tezisy dokl. nauchno-prakt. konf. «O prioritnykh zadachakh rybokhozyaystvennoy nauki v razvitiy rybnoy otrasli Rossii do 2020 goda»* (Proc. Sci.-Pract. Conf. «On the priority tasks of fisheries science in the development of the fishing industry of Russia until 2020»), Moscow: VNIRO, 2004, pp. 93–94.

Kalchugin, P.V. and Panchenko, V.V., Features of seasonal distribution and migration of sculpins (Cottidae) in Primorye, in *Proyekt «Morya». Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey. T. 8: Yaponskoye more, vyp. 2: Gidrokhimicheskiye usloviya i okeanologicheskiye osnovy formirovaniya biologicheskoy produktivnosti* (Project “Seas”. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas. Vol. 8: Sea of Japan, issue 2: Hydrochemical conditions and oceanological bases for the formation of biological productivity), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2004, pp. 234–238.

Kalchugin, P.V., Solomатов, S.F., and Boyko, M.I., Distribution and stocks of mass bottom and demersal fishes by areas of the northwestern Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 185, pp. 3–15. doi 10.26428/1606-9919-2016-185-3-15

Melnikov, I.V., To methodic of realization of the large-scale pelagic trawl surveys, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2006, no. 8, pp. 98–108.

Nadtochy, V.A., Budnikova, L.L., and Bezrukov, R.G., Macrozoobenthos of Peter the Great Bay (Japan Sea): composition, distribution, stocks, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 140, pp. 170–195.

Nadtochiy, V.A. and Galysheva, Yu.A., Retrospective analysis of the quantitative distribution of macrobenthos in Peter the Great Bay, in *Current ecological state of Peter the Great bay, sea of Japan*, Vladivostok: Izd. Dom DVFU, 2012, pp. 129–174.

Nadtochiy, V.A. and Kolpakov, N.V., Taxonomic composition, distribution and resources of macrobenthos in Peter the Great Bay in 2011, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 190, pp. 101–118. doi 10.26428/1606-9919-2017-190-101-118

Panchenko, V.V., Distribution of bullheads of the genus *Myoxocephalus* (Cottidae) in Peter the Great Bay, Japan Sea, during the summer period, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1998, vol. 123, pp. 89–99.

Panchenko, V.V., The Seasonal bathymetric distribution of the sculpin *Myoxocephalus jaok* (Cottidae) in the northern part of the Sea of Japan, *Vopr. Ichthyol.*, 2003, vol. 43, no. 6, pp. 783–788.

Panchenko, V.V. and Antonenko, D.V., Seasonal distribution of the Far Eastern helmeted bat *Gymnocanthus herzensteini* (Cottidae) in Peter the Great Bay (Sea of Japan), *Vopr. Ichthyol.*, 2004, vol. 44, no. 6, pp. 793–798.

Panchenko, V.V. and Boyko, M.I., Current state of bottom fish resources in the waters of Northern Primorye (Sea of Japan), in *Vtoraya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Vodnyye bioresursy, akvakul'tura i ekologiya vodoyemov»* (Second international scientific and practical conference «Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of reservoirs»), Kaliningrad: KGTU, 2014, pp. 45–48.

Panchenko, V.V. and Pushchina, O.I., Biological characteristic of sculpins of genus *Myoxocephalus* (Cottidae) of Peter the Great Bay (Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 138, pp. 120–153.

Pushchina, O.I., Food and trophic connections of demersal fish Peter the Great (Sea of Japan) in the summer, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2012.

Sokolovsky, A.S., Sokolovskaya, T.G., and Yakovlev, Yu.M., *Ryby zaliva Petra Velikogo* (Fishes of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nauka, 2011.

Solomатов, S.F., Composition and long-term dynamics of benthic ichthyocenoses of northern Primorye, *Extended abstract of Cand. Sci. (Biol.)*, Vladivostok: TINRO, 2008.

Solomатов, S.F. and Kalchugin, P.V., The present state of fish resources in Peter the Great Bay (Japan Sea), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 14, pp. 36–45.

Tarasyuk, S.N., Using the results of bottom trawl surveys to assess aquatic life stocks, *Rybn. Khoz.*, 2000, no. 1, pp. 38–40.

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.

Yudanov, K.I., The role of surveys in the ecosystem regulation of commercial resources, *Rybn. Khoz.*, 2001, no. 2, pp. 30–32.

Yudanov, K.I., Efficacy of surveys ofr taking account, *Rybn. Khoz.*, 1995, no. 4, pp. 48–49.

Yarzhombek, A.A. and Datskiy, A.V., About the catchability coefficient of fishing gears, *Rybn. Khoz.*, 2014, no. 1, pp. 82–85.

Поступила в редакцию 3.10.2025 г.

После доработки 13.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 3.10.2025; approved after reviewing 13.11.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

Научная статья

УДК 595.384.8:639.28

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-696-709

EDN: LQFIMS



БИОЛОГИЯ И ПРОМЫСЕЛ ВОЛОСАТОГО ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНОГО КРАБА *ERIMACRUS ISENBECKII* В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

О.Г. Михайлова*

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

Аннотация. Добыча волосатого четырехугольного краба *Erimacrus isenbeckii* в восточной части Охотского моря активно развивается с 2017 г. Основные промысловые скопления вида формируются в Камчатско-Курильской подзоне, в районе 40-метровой изобаты. На протяжении исследований наблюдаются значительные колебания численности и плотности распределения краба. В 2024 г. максимальная плотность скоплений достигала 4,3 тыс. экз./км², а численность — 3,8 млн экз. Регулирование промысла осуществляется с учетом сезонной динамики линьки и особенностей распределения функциональных групп. Результаты работы могут быть использованы для оптимизации стратегии управления ресурсами и устойчивого использования группировки волосатого четырехугольного краба у юго-восточной Камчатки.

Ключевые слова: волосатый четырехугольный краб, западнокамчатский шельф, Камчатско-Курильская подзона, состояние популяции, промысловый запас, плотность распределения, вылов на судо-сутки

Для цитирования: Михайлова О.Г. Биология и промысел волосатого четырехугольного краба *Erimacrus isenbeckii* в восточной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 696–709. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-696-709. EDN: LQFIMS.

Original article

Biology and fishery of horsehair crab *Erimacrus isenbeckii* in the eastern Okhotsk Sea

Oksana G. Mikhaylova

Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),
18, Naberezhnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia
Ph.D., leading researcher, o.mihaylova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-5963-2203

Abstract. The horsehair crab *Erimacrus isenbeckii* fishery develops actively in the eastern Okhotsk Sea since 2017. The main commercial aggregations of this species are located around the 40 m isobath in the Kamchatka-Kuril fishing subzone. Significant fluctuations in its abundance and distribution density are noted. The maximum density of the crab aggregations up to

* Михайлова Оксана Геннадьевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, o.mihaylova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-5963-2203.

4,300 ind./km² was observed in 2024, when the stock was assessed in $3.8 \cdot 10^6$ ind. The fishery is regulated taking into account seasonal dynamics of molting and distribution of functional groups. The results of the study allow to optimize the resource management strategy and to provide sustainable exploitation of the horsehair crab population at southeastern Kamchatka.

Keywords: horsehair crab, West Kamchatka shelf, Kamchatka-Kuril fishing subzone, population status, commercial stock, distribution density, catch per vessel-day

For citation: Mikhaylova O.G. Biology and fishery of horsehair crab *Erimacrus isenbeckii* in the eastern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 696–709. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-696-709. EDN: LQFIMS.

Введение

Волосатый четырехугольный краб *Erimacrus isenbeckii* (JF Brandt, 1848) является представителем широкобореальных видов, обитающим от побережья Корейского полуострова до северных вод Охотского моря, включая зал. Шелихова [Абаев, Юсупов, 2011; Артеменков и др., 2023], и до Кроноцкого залива на тихоокеанском побережье Камчатки [Слизкин, Сафронов, 2000]. В последние годы на Дальнем Востоке России промысел этого краба активно развивается в трех основных районах: в подзоне Приморье, у о. Сахалин (Восточно- и Западно-Сахалинская подзоны) и у юго-западной Камчатки (Камчатско-Курильская подзона). Согласно данным судовых суточных донесений из отраслевой системы мониторинга (ОСМ) за 2024 г. наибольший объем вылова этого краба приходится на подзону Приморье, где зафиксировано 72 % от общего вылова в Дальневосточном регионе, в то время как доля вылова у о. Сахалин составляет 26 %. Вклад Камчатско-Курильской подзоны, где добыча волосатого краба заметно интенсифицировалась лишь в 2017 г., в общий вылов вида в настоящее время невелик — около 2 %. Несмотря на это, с 2017 г. наблюдается устойчивый рост промысловых нагрузок на группировку этого вида краба Камчатско-Курильской подзоны.

Для эффективного регулирования вылова в условиях усиленной эксплуатации требуется более детализированная информация о пространственном распределении рассматриваемого вида, его размерно-возрастной и половой структуре, а также особенностях репродуктивного цикла в традиционном районе добычи. С момента последней публикации, касающейся этих вопросов [Пучнина, 2016], прошло 9 лет, при этом в ее основу легли материалы, полученные до возобновления промысла волосатого четырехугольного краба у юго-восточного побережья Камчатки в 2017 г. Еще две работы посвящены перспективам промысла крабов [Сидоров, 2016, 2019], в том числе волосатого четырехугольного, у расположенных в непосредственной близости к рассматриваемому району северных Курильских островов (Северо-Курильская зона), но их результаты пока не нашли практического применения и добыча вида в восточной части Охотского моря осуществляется исключительно у юго-западной Камчатки — в Камчатско-Курильской подзоне. Накопление нового материала, в том числе данных, полученных на промысловых судах в режиме мониторинга добычи, дало возможность провести анализ актуального состояния популяции волосатого четырехугольного краба в этом регионе, систематизировать информацию и оценить не только биологические, но и промысловые показатели. Это позволяет создать необходимую базу для дальнейшего научного и практического изучения данного объекта промысла, что и стало основной целью настоящей работы.

Материалы и методы

Для анализа биологических данных использован материал, собранный в ходе выполнения учетных донных траловых съемок по стандартной сетке станций вдоль всего западного побережья Камчатки в летний период 2017–2022 и 2024 гг. В качестве орудия лова при проведении съемок использовали учетный донный трал ДТ № 27,1/24,4 м с горизонтальным раскрытием 16 м. Коэффициент уловистости трала для волосатого

краба принят равным 0,5. В общей сложности за рассматриваемый период проанализировано более 1,5 тыс. тралений 7 учетных донных съемок, биологическому анализу подвергнуто более 4,1 тыс. экз. волосатого четырехугольного краба.

Для оценки промысловых показателей использованы данные, полученные во время проведения специалистами КамчатНИРО исследований в режиме мониторинга добычи на промысловых судах в Камчатско-Курильской подзоне в осенне-зимний период 2017 и 2018 гг. Промысел осуществлялся на изобатах 28–60 м. За два года в общей сложности учтено 48 промысловых порядков, состоящих из 150/120 конических ловушек японского образца, проведен биоанализ свыше 1,2 тыс. экз. волосатого четырехугольного краба.

Сбор и обработка материала проводились по стандартной методике [Низяев и др., 2006].

Анализ промысла за 2017–2024 гг. проводили, используя данные судовых суточных донесений из отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов*.

Для построения карт-схем распределения самцов краба, получения оценок численности и плотности использовали ГИС «КартМастер v.4.2» [Бизиков, Поляков, 2004]. Для анализа и обработки данных применяли программу электронных таблиц Excel v.7.0 с пакетом статистического анализа.

Результаты и их обсуждение

Учетные съемки

Распределение самцов волосатого четырехугольного краба у западной Камчатки представлено на рис. 1 и 2. Результаты летних учетных донных траловых съемок во все годы исследований демонстрируют неизменное расположение основных промысловых скоплений в Камчатско-Курильской подзоне между параллелями 52–54° с.ш., преимущественно в районе 40-метровой изобаты. В отдельные годы (2017, 2018) плотные промысловые скопления фиксировались также на самом южном участке работ — в зал. Камбальном.

Наиболее плотные скопления промысловые самцы *E. isenbeckii* в Камчатско-Курильской подзоне формировали в 2017, 2018 и 2024 гг. (рис. 1). В эти годы их максимальная плотность распределения на скоплениях достигала соответственно 3,3, 4,8 и 4,4 тыс. экз./км² (табл. 1), а оцененная численность в подзоне составляла 2,5–3,8 млн экз. В остальные годы плотность на скоплениях не превышала 1 тыс. экз./км², а промысловая численность — 1,8 млн экз.

Сравнительно многочисленные промысловые скопления краба в некоторые годы (2017, 2022 и 2024 гг.) отмечались и в Западно-Камчатской подзоне, на несколько меньшей глубине, около 30 м, где показатели плотности составляли соответственно 1,2, 0,9 и 0,6 тыс. экз./км². В эти годы оцененная численность промысловых самцов волосатого четырехугольного краба в данной подзоне превышала 1 млн экз.

Распределение непромысловых самцов в Камчатско-Курильской подзоне в целом сходно с таковым для особей промыслового размера: они отмечались главным образом на тех же глубинах, на участке подзоны между параллелями 52–54° с.ш. (рис. 2). В отдельные годы формируемые такими самцами скопления характеризовались значительно большими плотностями, чем состоящие из промысловых самцов. Так, в 2020 и 2022 гг. максимальные плотности достигали 1,9 экз./км², а в 2024 г. — 4,9 экз./км² особей волосатого четырехугольного краба непромыслового размера (табл. 1). Соответственно, в эти годы численность непромысловых самцов была сопоставима (2024 г.) или превышала (2020 и 2022 гг.) оценки для промысловых самцов.

* Vasilets P.M. FMS analyst — computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.5186.0962.

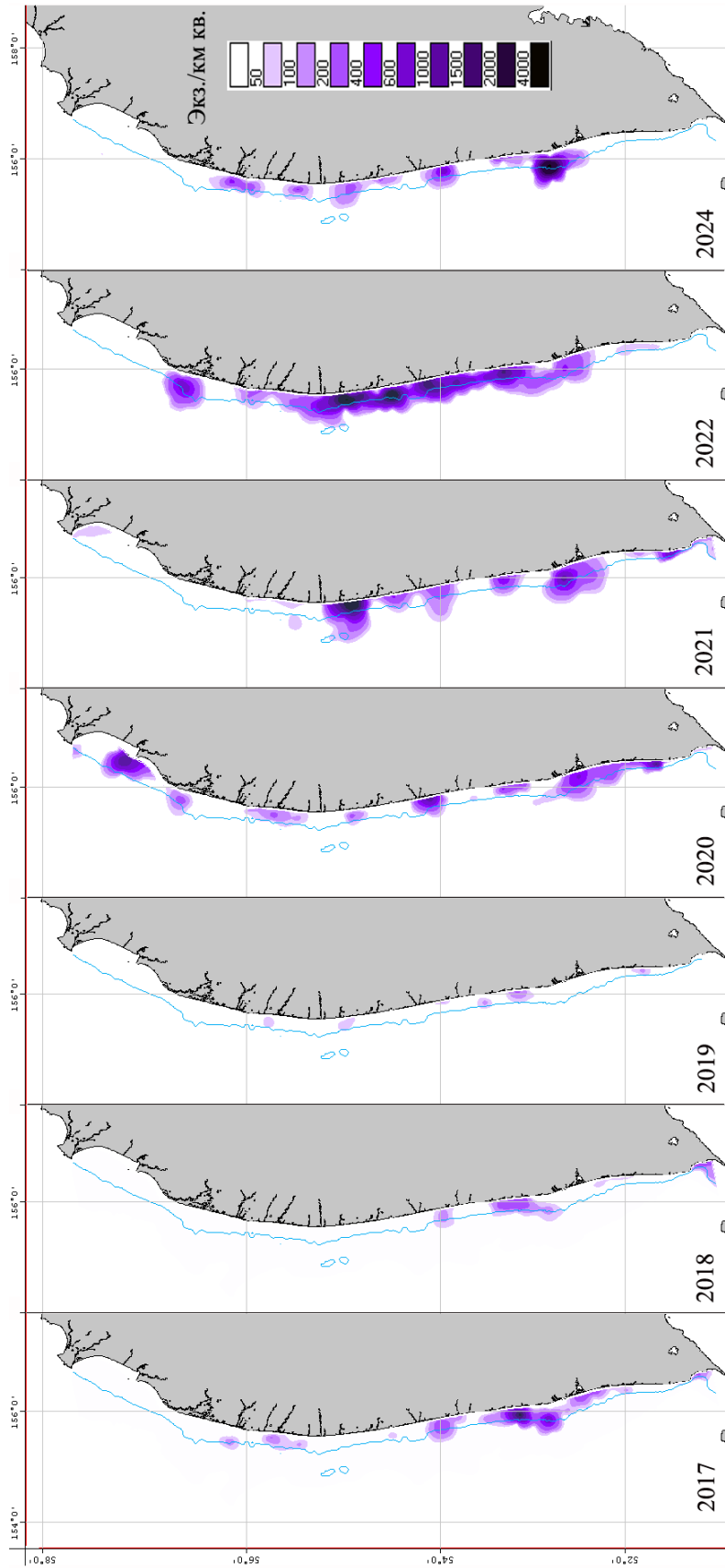


Рис. 2. Распределение непровисловых самцов волосяного краба у западной Камчатки по данным учетных донных траловых съемок в 2017–2022 и 2024 гг.

Fig. 2. Non-commercial males of horseshair crab distribution at West Kamchatka on the data of bottom trawl surveys in 2017–2022 and 2024

Таблица 1

Значения численности и максимальных плотностей самцов волосатого четырехугольного краба у побережья западной Камчатки по данным учетных донных траловых съемок в 2017–2022, 2024 гг.

Table 1

Abundance and maximum distribution density for males of horsehair crab at the coast of West Kamchatka on the data of bottom trawl surveys in 2017–2022 and 2024

Год	Камчатско-Курильская подзона		Западно-Камчатская подзона	
	Промысловые	Непромысловые	Промысловые	Непромысловые
<i>Численность, млн экз.</i>				
2017	3,808	1,213	1,140	0,240
2018	2,499	0,383	0,802	0,025
2019	0,622	0,126	0,299	0,076
2020	0,857	1,086	0,507	0,940
2021	1,639	1,240	0,322	1,558
2022	1,805	2,322	1,058	4,572
2024	3,085	2,097	1,344	0,651
<i>Максимальная плотность, тыс. экз./км²</i>				
2017	3,278	2,467	1,214	0,279
2018	4,751	0,418	0,299	–
2019	0,584	0,249	0,249	0,099
2020	0,774	1,908	0,558	1,661
2021	0,907	1,291	0,549	3,299
2022	0,819	1,928	0,867	4,676
2024	4,381	4,917	0,626	0,584

В то время как численность промысловых особей в Западно-Камчатской подзоне в рассматриваемые годы никогда не превышала значения, полученного для Камчатско-Курильской подзоны, распределение непромысловых самцов отражает определенные межгодовые колебания. Так, в 2021 и 2022 гг. их численность в Западно-Камчатской подзоне была выше, чем в Камчатско-Курильской. В то же время в остальные годы наблюдений более высокая численность непромысловых самцов сохранялась в Камчатско-Курильской подзоне, где, по-видимому, формируются основные скопления молоди.

Оценки максимальных плотностей распределения и численности самцов волосатого четырехугольного краба обеих функциональных групп в Камчатско-Курильской подзоне на современном этапе характеризуются высокими значениями. При этом для промысловых самцов они в 2024 г. близки к таковым в 2017–2018 гг., а для непромысловых — сходны или превышают значения 2020 и 2022 гг.

Размеры самцов во время исследований находились в пределах 25–127 мм. Среди промысловых самцов на протяжении всего периода наблюдается постепенное уменьшение средней ширины карапакса с 94,6 мм в 2017 г. до 89,1 мм в последний год исследования (табл. 2). Одной из причин изменений размеров может быть начало промысла в этом районе в 2017 г. Известно, что при увеличении промыслового пресса часто отмечается уменьшение размеров за счет нагрузки на более крупных особей. У непромысловых самцов обнаружено небольшое уменьшение размеров в 2019–2022 гг., за которым последовало увеличение этого показателя.

По данным 2017–2018 гг. в размерном ряду самцов четко прослеживалась одна мода — 90–100 мм. Аналогичные показатели были зафиксированы в 2013–2015 гг. [Пучнина, 2016]. Однако с 2019 г. отмечается сдвиг моды в сторону уменьшения: в 2019 г. — до 85–90 мм, в 2020–2022 гг. — до 60–75 мм. В 2024 г. наблюдается увеличение моды до 75–85 мм, что свидетельствует о потенциале пополнения промысловой части популяции.

Таблица 2

Размерные показатели волосатого четырехугольного краба, обитающего у западного побережья Камчатки, по данным уловов учетных тралений в 2017–2022, 2024 гг., мм

Table 2

Size parameters for horsehair crab from the catches of bottom trawl surveys at the western coast of Kamchatka in 2017–2022 and 2024, mm

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2024
Средняя ширина карапакса							
Промысловые самцы	94,6	93,0	94,5	93,3	94,3	90,2	89,1
Непромысловые самцы	72,8	71,9	66,9	63,7	68,4	69,6	71,1
Самки	73,0	76,4	63,6	59,6	66,3	63,0	65,6
Самцы, ширина карапакса							
Минимум	47	40	42	25	53	37	45
Максимум	120	117	127	111	113	107	116
Самки, ширина карапакса							
Минимум	33	70	41	37	48	23	48
Максимум	94	80	82	94	92	96	93

Анализ соотношения размерно-функциональных групп показал, что в период с 2017 по 2019 г. наибольшую долю в уловах составляли самцы промыслового размера, доля их встречаемости превышала 60 % от общего числа особей (рис. 3). С 2020 г. отмечается рост доли непромысловых самцов, что хорошо коррелирует с динамикой размерных рядов (рис. 4). Считается, что это явление связано с образованием урожайного поколения, прослеживаемого до 2022 г. Аналогичная картина наблюдалась в 1995 г. [Слизкин и др., 2001], когда увеличение численности мелкоразмерных особей продолжалось три года, после чего происходило смещение модальной группы в сторону увеличения. По нашим данным, в 2024 г. также зафиксировано смещение размеров в сторону увеличения, что, вероятно, связано с успешным пополнением промысловой части популяции в предшествующие годы. Этот процесс демонстрирует важность учета динамики размерных рядов и соотношения размерно-половых групп при планировании и управлении промыслом.

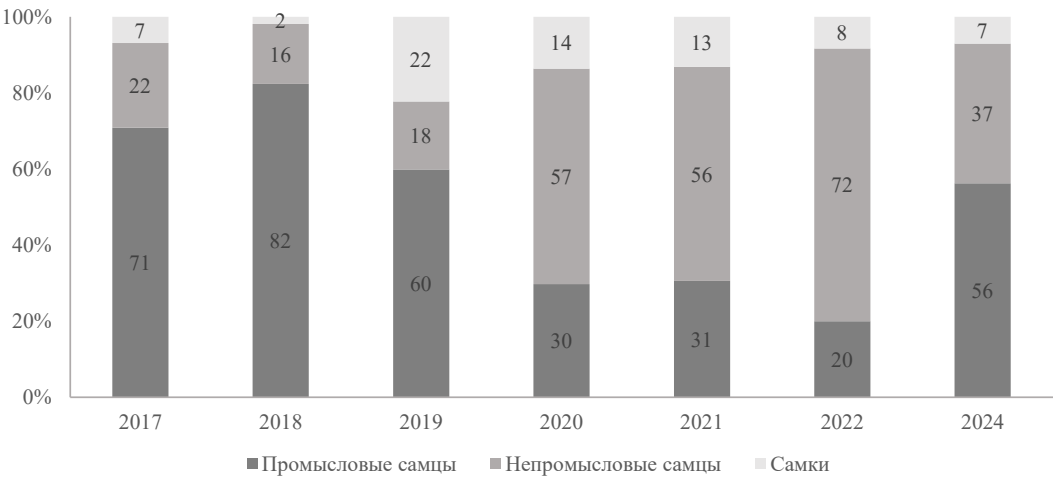


Рис. 3. Соотношение функциональных групп *E. isenbeckii* в уловах учетного трала у побережья западной Камчатки в 2017–2022, 2024 гг.

Fig. 3. Ratio of functional groups for *E. isenbeckii* from the catches of bottom trawl surveys at the coast of West Kamchatka in 2017–2022 and 2024

Обобщая результаты исследований, можно заключить, что динамика размерного ряда и соотношение размерно-функциональных групп волосатого четырехугольного

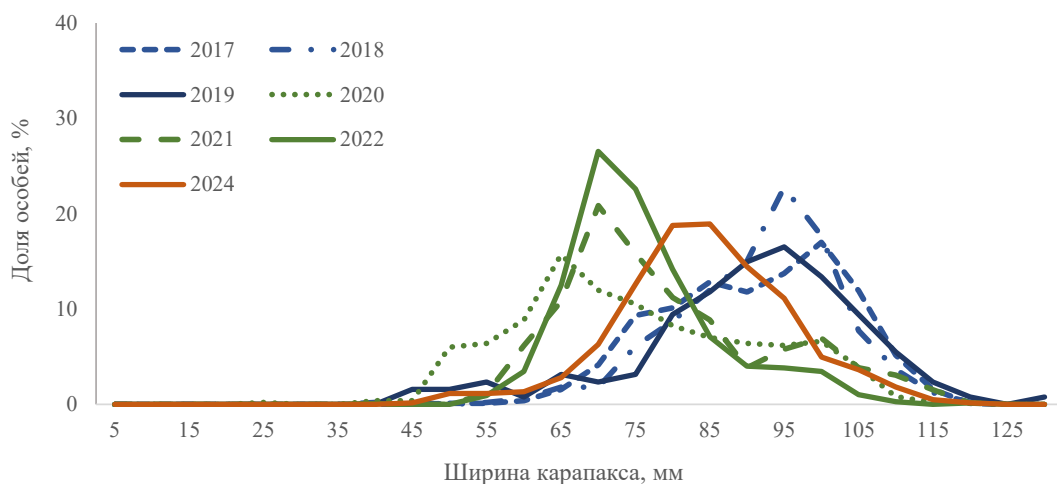


Рис. 4. Размерный ряд самцов волосатого четырехугольного краба в уловах учетного трала у побережья западной Камчатки в 2017–2022, 2024 гг.

Fig. 4. Size composition for males of horseshair crab from the catches of bottom trawl surveys at the coast of West Kamchatka in 2017–2022 and 2024

краба в восточной части Охотского моря отражают сложные процессы, связанные с воспроизводством популяции и ее эксплуатацией. В последние годы наблюдается тенденция увеличения модальных размеров особей, что может указывать как на эффективность текущей стратегии управления этим водным биологическим ресурсом, так и на возможное влияние снижения промысловой нагрузки.

Одним из ключевых показателей, характеризующих биологию волосатого четырехугольного краба, является стадия состояния панциря (ССП) самцов. Анализ межлиночной категории позволяет не только оценить степень «наполнения» мясом ног краба [Слизкин и др., 2001], но и определить сроки линьки, что имеет большое значение для управления промыслом. В периоды линьки, когда панцирь краба еще не окреп, особи становятся уязвимыми как для хищников, так и для промысловых операций. Кроме того, этот период играет ключевую роль в процессе воспроизводства популяции, что особенно важно для промысловых объектов.

Исследования КамчатНИРО, проведенные ранее, позволили установить сроки массовой линьки самцов волосатого четырехугольного краба и внести соответствующие изменения и дополнения в Правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. С целью сохранения и рационального использования запасов волосатого четырехугольного краба в Камчатско-Курильской подзоне запретные для его добычи сроки установлены в период с 1 мая по 31 августа. Эти меры способствуют защите популяции, снижению промыслового прессинга на краба, находящегося на наиболее уязвимых стадиях развития, и сохранению биоресурса.

Согласно анализу состояния панциря промысловых самцов, во время исследований в траловых уловах в ранний летний период наблюдалась высокая доля особей с неокрепшим панцирем. Практически каждый год в июне доля таких крабов составляла не менее 25 % (рис. 5). Исключениями стали 2017 и 2022 гг., когда траловые учетные съемки проводились в более поздние сроки.

В августе доля крабов на ранней стадии состояния панциря (3р) снижалась до 3 %, тогда как доля особей с окрепшим панцирем на третьей стадии (3) возрастала до 83 %. Эти данные подтверждают постепенное укрепление панциря у крабов в течение летнего периода, актуальность действующих запретных сроков и важность учета сезонной динамики состояния панциря при планировании промысла.

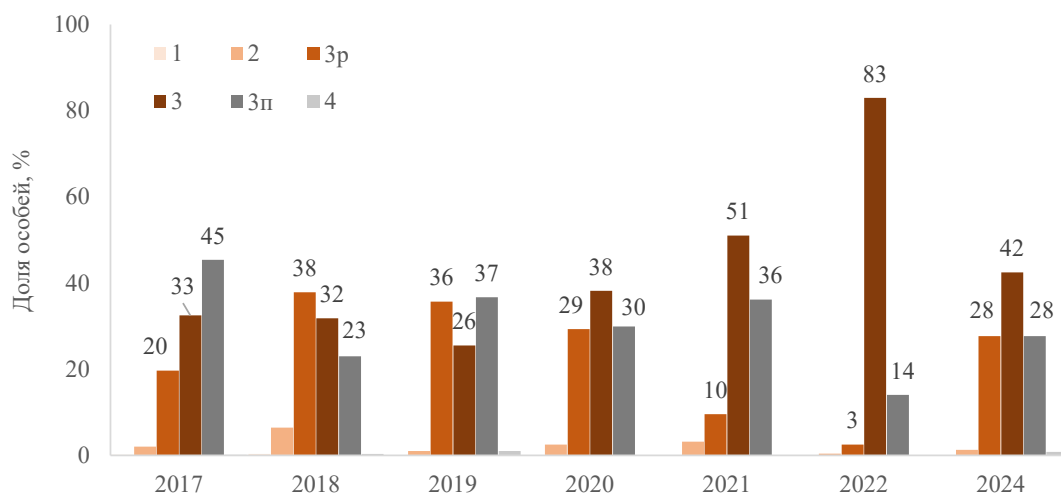


Рис. 5. Стадии состояния панциря промысловых самцов волосатого четырехугольного краба в уловах учетных тралов у побережья западной Камчатки в 2017–2022, 2024 гг.: 1 — 1-я; 2 — 2-я; 3p — 3-я ранняя; 3 — 3-я; 3n — 3-я поздняя; 4 — 4-я

Fig. 5. Stages of shell condition for commercial males of horseshoe crab in the catches of bottom trawl surveys at the coast of West Kamchatka in 2017–2022 and 2024: 1 — 1st stage; 2 — 2nd stage; 3p — early 3rd stage; 3 — 3rd stage; 3n — late 3rd stage; 4 — 4th stage

Промысел

В 2017 г., после проведения аукциона по продаже права на закрепление долей квот добычи волосатого четырехугольного краба для осуществления его вылова в Камчатско-Курильской подзоне, началась целенаправленная добыча этого вида в данном районе. Такое решение было вызвано растущей заинтересованностью в освоении запасов этой промысловой единицы, обладающей значительной промысловой ценностью.

Промысел краба в Камчатско-Курильской подзоне осуществляется практически круглогодично, за исключением периода массовой линьки (с 1 июня по 31 августа), когда добыча запрещена в целях сохранения популяции. Географическое распространение волосатого четырехугольного краба охватывает практически все побережье западной Камчатки, однако промысловая деятельность сосредоточена исключительно в районе 61.05.4 (Камчатско-Курильская подзона), что объясняется высокой плотностью скоплений этого вида краба в его пределах.

Динамика вылова *E. isenbeckii*, представленная на рис. 6, отражает изменения добычи с 2017 по 2024 г. В первый год промысла общий вылов составил 32,3 т. Вплоть до 2020 г. фиксировался устойчивый рост вылова, достигший максимального объема 44,6 т (90 % освоения ОДУ). Однако в последующие годы наблюдалось заметное снижение промысловой нагрузки, а вылов достиг минимума (22,1 т) в 2022 г. Небольшой рост до 31,3 т был отмечен в 2023 г., однако в 2024 г. объем вылова вновь сократился до 6,6 т (16 % от ОДУ). Важно отметить, что в последние три года снижение объемов вылова не связано с состоянием запаса, а обусловлено причинами организационного характера.

В добыче волосатого четырехугольного краба с момента начала промысла и по настоящее время участвуют среднетоннажные суда трех типов — СРТМ, СТР и СДС (среднее добывающее судно). По данным ССД видно, что показатели вылова на судосутки в целом сопоставимы у разных типов судов, с несколько более низкими результатами для СДС, где суточный вылов не превышал 1 т. В 2017–2024 гг. вылов краба на судосутки колебался в пределах 0,4–1,7 т (рис. 7), с максимальными значениями в первый год промысла (1,7 т), а также в 2023 г., когда добыча осуществлялась одним судном. В 2024 г. средний вылов на судосутки составил всего 0,6 т, несмотря на работу одного судна на скоплении.

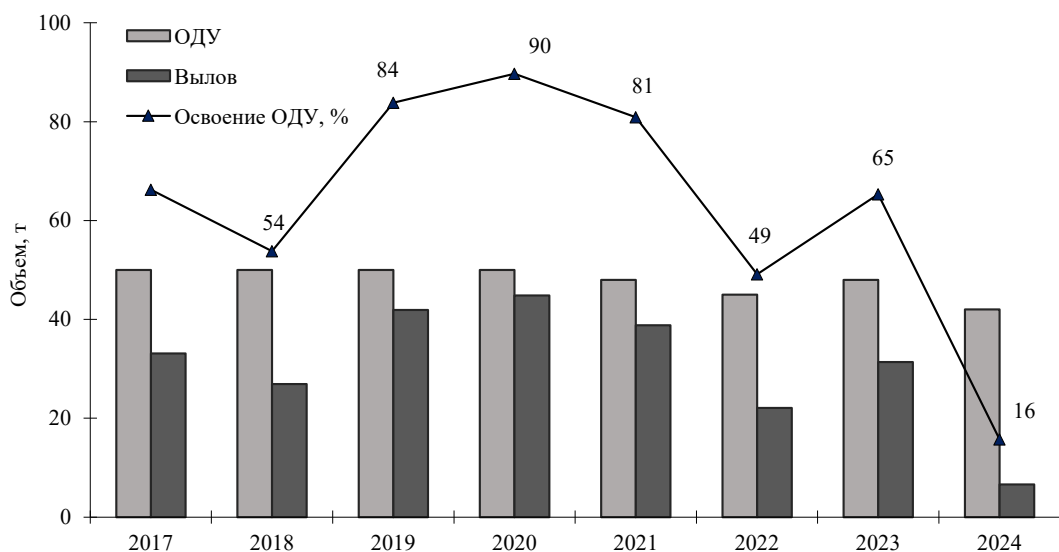


Рис. 6. Динамика ОДУ, вылова и освоения ОДУ волосатого четырехугольного краба в Камчатско-Курильской подзоне в 2017–2024 гг.

Fig. 6. Dynamics of the total allowed catch (TAC) for horsehair, actual annual catch of this species, and percent TAC utilization in the Kamchatka-Kuril fishing subzone in 2017–2024

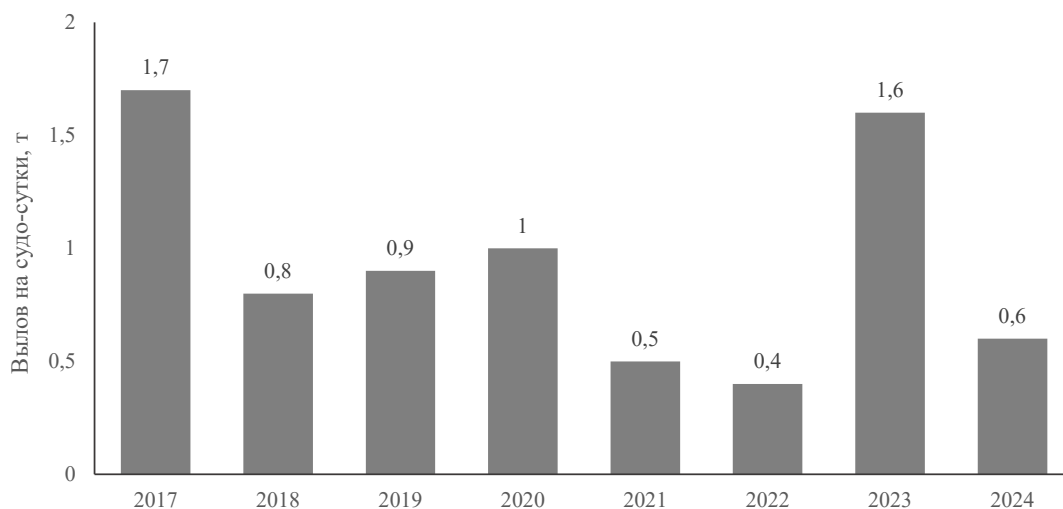


Рис. 7. Средний вылов волосатого четырехугольного краба в Камчатско-Курильской подзоне на судно-сутки в 2017–2024 гг. по данным ОСМ

Fig. 7. Average CPUE (catch per vessel-day) for horsehair crab in the Kamchatka-Kuril fishing subzone in 2017–2024 on the data of fishery monitoring system

Размеры самцов в промысловых уловах варьировали в 2017 г. от 78 до 119 мм, в 2018 г. — от 57 до 134 мм (рис. 8). Средняя ширина карапакса промысловых самцов в ходе добычи в 2017 г. составляла 99,9 мм, а год спустя — 106,6 мм.

Согласно имеющимся данным, в ловушках добывающих судов фактически преобладали самцы промыслового размера, за исключением единичных экземпляров, не достигших промысловой меры. Самки в уловах полностью отсутствовали. По всей видимости, это связано с особенностями поведения данного вида. Как показали работы по изучению поведения волосатого краба в районе размещения орудий лова [Переладов, 1999], если в ловушке уже находятся другие особи, то они активно начинают противодействовать проникновению крабов, находящихся снаружи, и зачастую противостояния заканчиваются прекращением попыток попадания в ловушку.

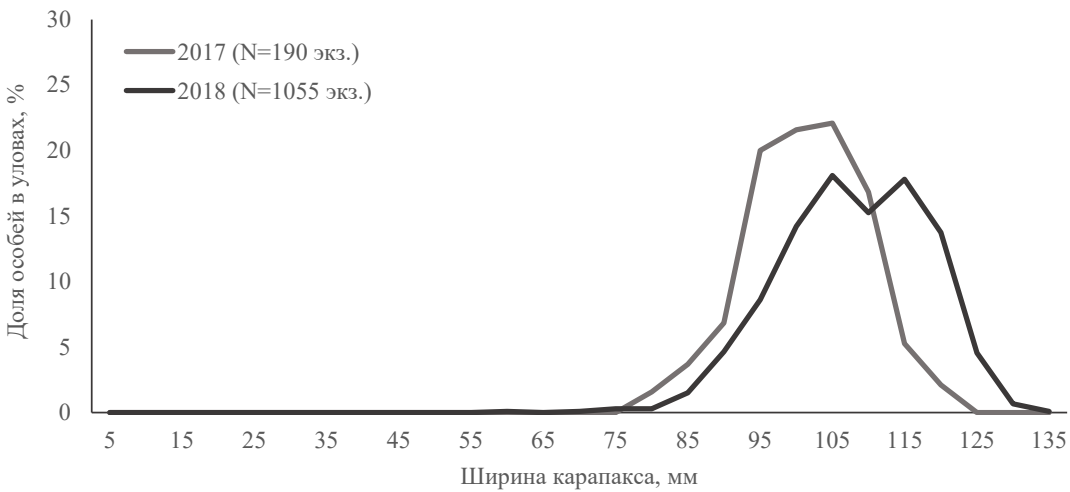


Рис. 8. Размерный состав самцов волосатого четырехугольного краба в 2017–2018 гг. по данным мониторинга промысла в Камчатско-Курильской подзоне

Fig. 8. Size composition of male horseshair crab in the Kamchatka-Kuril fishing subzone in 2017–2018 on the data of fishery monitoring system

В таких ситуациях отмечено практически полное доминирование крупных самцов над мелкими и самками.

Дополнительно проведен анализ видов продукции, изготавливаемой из волосатого четырехугольного краба, добытого в Камчатско-Курильской подзоне в рассматриваемый период. Изначально ввиду удаленности районов промысла от рынков сбыта основным видом продукции были варено-мороженые секции конечностей [Слизкин, Сафронов, 2000]. В настоящее время широкое распространение получили вылов и транспортировка добытого в дальневосточных морях России краба в живом виде [Иванов, 2020, 2024]. В первый год промысла волосатого четырехугольного краба в Камчатско-Курильской подзоне практически весь добытый краб (99,5 %) также перевозился из района промысла в порты сдачи уловов в живом виде (рис. 9). В последующем (2018–2023 гг.) отмечался рост интереса к производству продукции в виде «краба волосатого четырехугольного

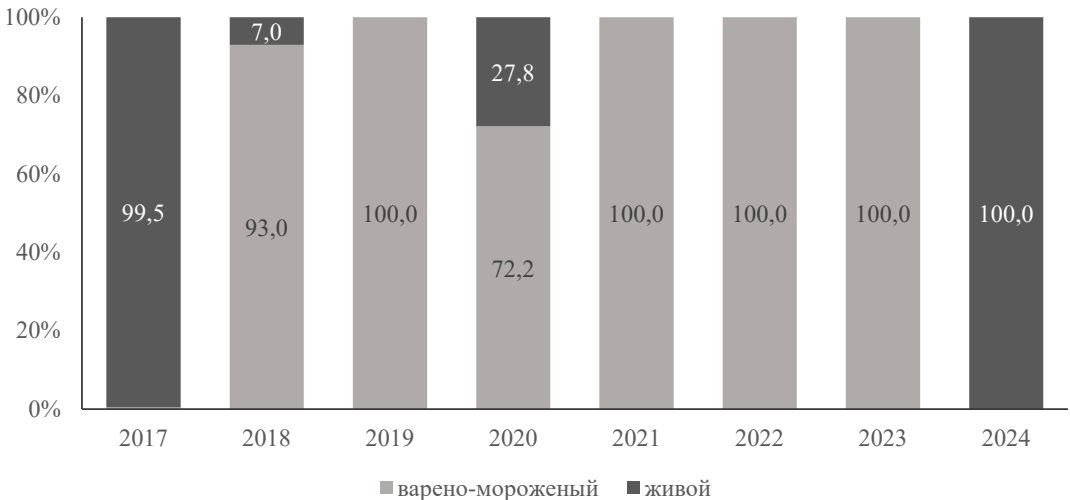


Рис. 9. Соотношение видов выпускаемой продукции из волосатого четырехугольного краба на судах-краболовах в Камчатско-Курильской подзоне в 2017–2024 гг. по данным ОСМ

Fig. 9. Ratio for outputs of horseshair crab produced aboard fishing vessels in the Kamchatka-Kuril fishing subzone in 2017–2024 on the data of fishery monitoring system

варено-мороженого целиком», что, вероятно, обусловлено изменениями логистических возможностей и рыночного спроса. Тем не менее уже в 2024 г. вновь был зафиксирован переход на вылов и дальнейшую транспортировку краба в живом виде (100 %).

Проведенные исследования демонстрируют значительную изменчивость в показателях вылова и видах продукции, что связано как с биологическими особенностями краба, так и с рыночными факторами. Динамика промысла отражает необходимость дальнейшего изучения состояния запаса и поведения популяции, что позволит более эффективно регулировать добычу и обеспечивать устойчивое использование ресурса. Применение современных методов мониторинга и адаптивное управление промыслом являются ключевыми направлениями для сохранения популяции и увеличения ее промысловой ценности.

Заключение

Результаты проведенного исследования позволили оценить современное состояние популяции волосатого четырехугольного краба *E. isenbeckii* в восточной части Охотского моря. Установлено, что промысловые скопления краба у западной Камчатки концентрируются преимущественно в Камчатско-Курильской подзоне на глубине около 40 м, с максимальными плотностями 3,3–4,8 тыс. экз./км² в 2017, 2018 и 2024 гг. Численность промысловых самцов варьировала от 1,8 до 3,8 млн экз., что свидетельствует об устойчивости популяции к вылову, несмотря на динамику промысловой нагрузки.

Размерный анализ выявил, что доля самцов промыслового размера с 2016 по 2019 г. составляла более 60 %, однако с 2020 г. увеличилась доля непромысловых самцов, что можно связать с успешным пополнением промысловой части популяции. Анализ динамики размерного ряда самцов указывает на восстановление популяции в последние годы, что подтверждается смещением модальных групп в сторону увеличения размера.

Важную роль в стабилизации численности сыграли меры по ограничению промысла в периоды массовой линьки, что позволило снизить нагрузку на краба в наиболее уязвимые периоды жизнедеятельности. Состояние панциря и сезонная динамика линьки подтверждают необходимость строгого учета биологических особенностей вида при управлении промыслом. Высокая доля крабов с неокрепшим панцирем в ранний летний период (до 25 %) подчеркивает значимость сезонных ограничений добычи.

Преобладание промысловых самцов в уловах свидетельствует о направленности промысла на устойчивое использование ресурса. Отмеченные изменения в соотношении производства живой и варено-мороженой продукции в последние годы отражают адаптацию к изменениям рынка и логистических условий.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует необходимость продолжения мониторинга популяции и комплексного подхода к управлению ресурсами волосатого четырехугольного краба в Охотском море. Учет биологических и промысловых характеристик, включая динамику размерного ряда, численность, плотность распределения и состояние панциря, позволит обеспечить устойчивое использование данного вида водных биоресурсов в ближайшем будущем.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор признательна коллегам из КамчатНИРО и ТИНРО за помощь в сборе материала.

The author is grateful to colleagues from KamchatNIRO and TINRO who assisted her in collecting materials for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование проведено на бюджетные средства.

The study was conducted on budget funds.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

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

Список литературы

Абаев А.Д., Юсупов Р.Р. Первые сведения о поимках четырехугольного волосатого краба (*Erimacrus isenbeckii* Brandt) в зал. Забияка, северная часть Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 164. — С. 177–179.

Артеменков Д.В., Иванов П.Ю., Морозов Т.Б., Сологуб Д.О. Новые данные о биологии и поимках *Erimacrus isenbeckii* (Decapoda: Cheiragonidae) в заливе Шелихова (северная часть Охотского моря) // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 519–528. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-519-528. EDN: CLBLWI.

Бизиков В.А., Поляков А.В. Географическая информационная система «КАРТМАСТЕР»: новые возможности и перспективы для рыбохозяйственных исследований // Математическое моделирование и информационные технологии в исследованиях биоресурсов Мирового океана : тез. докл. мат-лов отрасл. семин. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2004. — С. 89–91.

Иванов П.Ю. Краб-стригун Бэрда у юго-западной Камчатки: промысел, состояние запаса и особенности его оценки // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 48–68. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-48-68. EDN: YWTODX.

Иванов П.Ю. Современное состояние запаса и промысла камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* у западной Камчатки // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 245–269. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-245-269.

Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К. и др. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2006. — 114 с.

Переладов М.В. Некоторые аспекты поведения волосатого краба в естественных условиях и в районе размещения орудий лова // Прибрежные гидробиологические исследования. — М. : ВНИРО, 1999. — С. 155–164.

Пучнина Е.В. Волосатый четырехугольный краб *Erimacrus isenbeckii* западной Камчатки: особенности биологии, состояние запаса и перспективы промысла // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2016. — Вып. 40. — С. 50–56. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.50-56.

Сидоров Л.К. О влиянии температуры воды на распределение крабов в районе северных Курильских островов // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 175. — С. 20–35.

Сидоров Л.К. Перспектива промысла крабов в охотоморской части Северных Курильских островов: камчатского, волосатого четырехугольного и краба-стригуна Бэрди // Тр. ВНИРО. — 2016. — Т. 161. — С. 38–51.

Слизкин А.Г., Букин С.Д., Слизкин А.А. Четырехугольный волосатый краб (*Erimacrus isenbeckii*) северокурильско-камчатского шельфа: биология, распределение, численность // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 554–570.

Слизкин А.Г., Сафронов С.Г. Промысловые крабы прикамчатских вод : моногр. — Петропавловск-Камчатский : Северная Пацифика, 2000. — 180 с.

References

Abaev, A.D. and Yusupov, R.R., First reports on catches of horsehair crab (*Erimacrus isenbeckii* Brandt) in the Zabiya Bay, northern Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 164, pp. 177–179.

Artemenkov, D.V., Ivanov, P.Yu., Morozov, T.B., and Sologub, D.O., New data on biology and captures of *Erimacrus isenbeckii* (Decapoda: Cheiragonidae) in the Shelikhov Bay (northern Okhotsk Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 519–528. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-519-528. EDN: CLBLWI.

Bizikov, V.A. and Polyakov, A.V., Geographic information system “KARTMASTER”: new opportunities and prospects for fisheries research, in *Tezisy dokl. mat-lov otrasl. semin. «Matematicheskoye modelirovaniye i informatsionnyye tekhnologii v issledovaniyakh bioresursov*

Mirovogo okeana) (Proc. report mat-fishing otrasl semin. «Mathematical modeling and information technology in the study of biological resources of the oceans»), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2004, pp. 89–91.

Ivanov, P.Yu., The Tanner crab off southwestern Kamchatka: fishery, stock condition and specifics of assessment, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2024, vol. 50, no. 7, pp. 410–422. doi 10.1134/S1063074024700378

Ivanov, P.Y., The current status of the red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) stock and fishery off Western Kamchatka, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 7, pp. 507–523. doi 10.1134/S1063074020070032

Nizyaev, S.A., Bukin, S.D., Klitin, A.K., Pervееva, E.R., Abramova, E.V., and Krutchenko, A.A., *Posobiye po izucheniyu promyslovykh rakoobraznykh dal'nevostochnykh morei Rossii* (Handbook for the Study of Commercial Crustaceans in the Far Eastern Seas of Russia), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2006.

Pereladov, M.V., Some aspects of the behavior of the hairy crab in natural conditions and in the area of placement of fishing gear, in *Pribrezhnyye gidrobiologicheskiye issledovaniya* (Coastal hydrobiological studies), Moscow: VNIRO, 1999, pp. 155–164.

Puchnina, E.V., Hair crab *Erimacrus isenbeckii* on west Kamchatka: specifics of biology, stock condition and commercial prospects, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2016, vol. 40, pp. 50–56. doi 10.15853/2072-8212.2016.40.50-56

Sidorov, L.K., On the influence of water temperature on the distribution of crabs in the area of northern Kuril islands, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 175, pp. 20–35.

Sidorov, L.K., The perspective of the crab commercial fishery on the coastal water of the Kuril Islands: red king crab, horsehair crab and Bairdi snow crab (the Sea of Okhotsk), *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 161, pp. 38–51.

Slizkin, A.G., Bukin, S.D., and Slizkin, A.A., Korean horsehair crab (*Erimacrus isenbeckii*) from the northkurilkamchatka shelf: biology, distribution, abundance, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 554–570.

Slizkin, A.G. and Safronov, S.G., *Promyslovye kraby prikamchatskikh vod* (Commercial Crabs of Kamchatkan Coastal Waters), Petropavlovsk-Kamchatsky: Severnaya Patsifika, 2000.

Vasilets, P.M., *FMS analyst — computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System*, 2015. doi 10.13140/RG.2.1.5186.0962

Поступила в редакцию 8.10.2025 г.

После доработки 21.10.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 8.10.2025; approved after reviewing 21.10.2025;
accepted for publication 3.12.2025

Научная статья

УДК 597–153:574.583

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-710-727

EDN: MMYLJG



ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ И ПИТАНИЯ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В ГЛУБОКОВОДНЫХ РАЙОНАХ БЕРИНГОВА И ОХОТСКОГО МОРЕЙ (СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ)

Е.П. Дулепова, В.В. Напазаков*

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

Аннотация. На основании многолетних данных (1986–2022 гг.) проанализированы состав, структура и продукция планктонных сообществ, а также питание тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus gorbuscha*, *O. keta*) в период нагульных миграций в глубоководных районах Берингова и Охотского морей. Выявлены значительные региональные различия в структуре, биомассе и продуктивности макропланктона. Показано, что с позиций кормовой обеспеченности лососей наиболее эффективно функционируют планктонные сообщества Охотского моря. Установлены различия в батиметрическом и внутрисезонном распределении планктонных групп. Отмечено, что в питании молоди горбуши и нагуливающейся кеты доминируют амфиподы, копеподы и щетинкочелюстные, при этом интенсивность питания и состав кормовых объектов варьируют между регионами. Подчеркивается, что в исследуемых районах высокая продукция планктонных хищников и постоянный привнос зоопланктона извне обеспечивают устойчивую кормовую базу для лососей даже в условиях низкой общей продукции сообщества зоопланктона. Полученные результаты имеют большое значение для понимания условий нагула лососей, механизмов формирования урожайности их поколений, а также управления их запасами.

Ключевые слова: Берингово море, Охотское море, глубоководные районы, зоопланктон, тихоокеанские лососи, питание, продукция, кормовая база

Для цитирования: Дулепова Е.П., Напазаков В.В. Особенности функционирования планктонных сообществ и питания тихоокеанских лососей в глубоководных районах Берингова и Охотского морей (сравнительный анализ) // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 710–727. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-710-727. EDN: MMYLJG.

* Дулепова Елена Петровна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, elena.dulepova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6971-9329; Напазаков Владимир Валерьевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, vladimir.napazakov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-7206-159X.

Original article

Features of functioning for plankton communities and feeding for pacific salmon in the deep-water areas of Bering and Okhotsk Seas (comparative analysis)

Elena P. Dulepova*, Vladimir V. Napazakov**

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

* D.Biol., principal researcher, elena.dulepova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6971-9329

** Ph.D., head of laboratory, vladimir.napazakov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-7206-159X

Abstract. Species composition, functional structure and production of plankton communities is considered on the long-term data collected in 1986–2022 together with diet and ration for two species of pacific salmon (*Oncorhynchus gorbuscha* and *Oncorhynchus keta*) during their feeding in the deep waters of Bering Sea and Okhotsk Sea. Significant regional differences are found for the macroplankton. The functioning of plankton communities in the Okhotsk Sea is more efficient for maintenance of the salmon feeding. Both salmon species consume mainly amphipods, copepods and arrowworms. Bathymetric distribution of plankton and seasonal succession of the plankton communities are different between the seas, so the feeding intensity, daily ration and species composition of diet vary considerably between them, as well. However, high production of large-sized planktonic predators and active transport of zooplankton from outside areas are noted for both regions that provides a stable food base for salmon even in cases when the total production of zooplankton community is low there. The results obtained are important for understanding the feeding abilities for salmon species and the mechanisms of their year-classes yield formation as a basis for the stocks management.

Keywords: Bering Sea, Okhotsk Sea, deep water, zooplankton, pacific salmon, feeding, production of zooplankton, food base

For citation: Dulepova E.P., Napazakov V.V. Features of functioning for plankton communities and feeding for pacific salmon in the deep-water areas of Bering and Okhotsk Seas (comparative analysis), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 710–727. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-710-727. EDN: MLFOEE.

Введение

Значимость тихоокеанских лососей для российского рыбного промысла, как и их роль в экосистемах дальневосточных морей, трудно переоценить. Одним из наиболее важных этапов жизни лососей считается раннеморской период, когда молодь находится в глубоководных котловинах Берингова и Охотского морей. Эти районы служат их основными нагульными ареалами, обеспечивая необходимую кормовую базу до выхода в Тихий океан [Шунтов, Темных, 2008]. Начиная с 1986 г. и по настоящее время практически ежегодно в этих районах проводится мониторинг состояния планктонных сообществ, сопровождающийся сбором данных по питанию тихоокеанских лососей. Вся полученная в районах глубоководных котловин информация имеет большое значение не только для понимания формирования урожайности поколений лососей, но и для сравнительного анализа особенностей функционирования планктонных сообществ.

Целью настоящего исследования является выявление специфичных черт формирования кормовых ресурсов, а также особенностей питания лососей во время их нагула в рассматриваемых районах. Все это позволяет представить современную картину формирования кормовой базы лососей и обеспеченности их пищей.

Материалы и методы

В работе использованы многолетние материалы лаборатории мониторинга кормовой базы и питания рыб по планктону с 1986 г. и по питанию лососей начиная с 1990 г. по настоящее время. Планктонные и трофологические пробы были собраны в глубоководных районах 9 (центральная котловина) и 12 (южная котловина) Охотского моря, а также в районах 8 (западная часть Алеутской котловины) и 12 (Командорская котловина) Берингова моря в период с августа по ноябрь (см. таблицу, рис. 1). Исследу-

Количество планктонных (200–0 м) и трофологических проб, собранных в годы мониторинга в августе–ноябре в глубоководных районах Охотского и Берингова морей по статистическим районам
Number of planktonic (200–0 m) and trophological samples collected in the deep-water areas of the Okhotsk and Bering Seas in August–November, by biostatistical area

Статистический район	Средняя глубина, м	Планктон (кол-во проб)	Питание (кол-во проб)	
			Горбуша	Кета
9 (Охотское море)	1122	279	915	1156
12 (Охотское море)	2834	210		
8 (Берингово море)	2645	215	802	2123
12 (Берингово море)	3080	300		

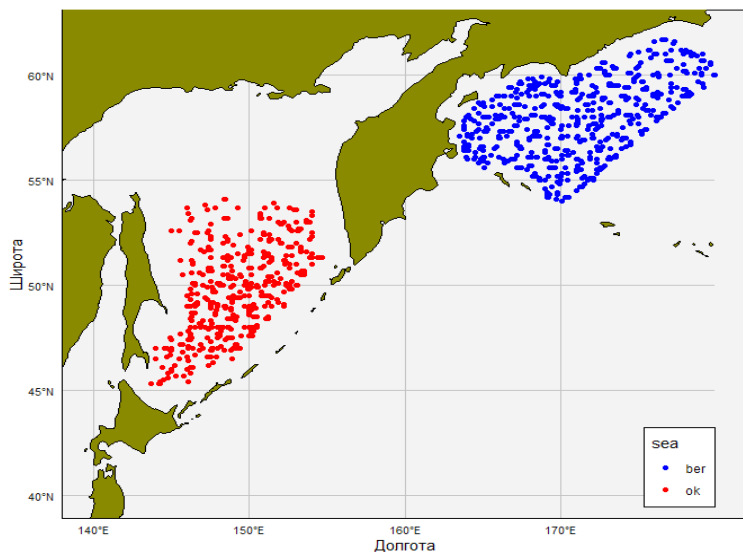


Рис. 1. Схема планктонных и траловых станций в глубоководных районах Охотского и Берингова морей

Fig. 1. Scheme of plankton and trawl surveys in the deep-water areas of Okhotsk and Bering Seas

емые районы были выделены ранее на основе точной морфометрической информации, полученной с использованием современных ГИС-технологий [Волвенко, 2003].

В ходе комплексных экосистемных съемок ТИНРО, проводимых в пелагиали Охотского и Берингова морей, была получена информация по качественным и количественным характеристикам зоопланктона, а также трофологическим характеристикам тихоокеанских лососей в глубоководных районах. На основе результатов многолетних съемок в лаборатории мониторинга кормовой базы и питания рыб ТИНРО были созданы базы данных «Зоопланктон» и «Трофология» в формате Excel [Волков, 2019], которые послужили основой настоящей работы.

Сбор и обработка проб зоопланктона проводились согласно традиционной методике, используемой при проведении экосистемных съемок [Волков, 2008]. В основе этой методики лежат: 1 — принцип механического разделения планктонной пробы на размерные фракции (мелкую, среднюю и крупную); 2 — применение для различных групп планктона дифференцированных коэффициентов уловистости; 3 — оценка кормовой базы нектона применительно ко времени суток. В результате обработки зоопланктона получается информация о количестве зоопланктона, его качественном составе и размерной структуре: мелкая фракция (животные от 0,8 мм до 1,2 мм), средняя (1,2–3,2 мм) и крупная (> 3,2 мм).

Для расчета такой функциональной характеристики зоопланктона, как продукция, использовались известные методы с учетом ранее определенной удельной продукции и биомассы [Заика, 1983]. В данном случае продукция популяций за сезон (90 сут) равна:

$$P = \bar{C} \cdot \bar{B} \cdot 90,$$

где $\bar{C}$ — среднесезонная суточная удельная продукция; $\bar{B}$ — средняя за сезон биомасса.

Показатели суточной удельной продукции массовых видов, доминирующих в той или иной таксономической группе в осенний сезон, были получены непосредственно для районов исследования [Шебанова и др., 2010, 2011, 2014; Шебанова, 2016]. При расчетах структурно-функциональных характеристик зоопланктона были использованы ранее применяемые методики анализа трофического статуса зоопланктеров [Дулепова, 2002], позволившие выделить два функциональных элемента — «хищный» и «нехищный» зоопланктон. В группировку «хищный» зоопланктон были включены гиперииды, хетогнаты, полихеты, гребневники и медузы. Эври- и фитофаги (в основном копеподы и эвфаузииды) были выделены в группу «нехищный» зоопланктон. Продукция каждой функциональной группировки рассчитывалась на основе данных о ее качественном составе, соотношении доминирующих видов и сведений об их удельной суточной продукции.

Оценка видового состава и структуры планктонных сообществ, а также закономерностей пищевого поведения лососей (по индексу наполнения желудков — ИНЖ, ‰) проведена на основе многолетних данных с применением метода непрямой ординации — неметрического многомерного шкалирования (nMDS, non-metric multidimensional scaling), основанного на анализе матрицы сходства. Статистическая обработка выполнялась в среде R* с использованием пакетов *vegan* 2.5-7 [cran.r-project.org, <https://github.com/vegandevs/vegan>, 2020] и *ggplot2***.

Цель использования nMDS заключалась в выявлении сходства и различий между изучаемыми объектами. Для количественной оценки несходства выборок применялась метрика Брэй-Кертиса, что позволило функции *metaMDS* из пакета *vegan* отобразить ранговые различия между объектами в виде нелинейной проекции на двумерное пространство. Качество ординации оценивалось по индексу «стресс», варьирующему от 0 до 1. В нашем случае значения находились в пределах 0.1–0.2, что считается допустимым уровнем соответствия исходным данным (cran.r-project.org/doc/contrib/Herve-Aide-memoire-statistique.pdf. Version 06/2023).

Результаты и их обсуждение

Структурные и функциональные характеристики зоопланктона. Берингово и Охотское моря входят в число наиболее высокопродуктивных регионов Мирового океана. Районы глубоководных котловин этих морей отличаются значительной циркуляционной активностью, которая способствует переносу и накоплению зоопланктона в местах завихрений [Чернявский и др., 1996; Грузевич и др., 1997; Khen et al., 2013].

Планктонную часть кормовой базы лососей в рассматриваемых районах Берингова и Охотского морей формируют широко распространенные виды с размерами свыше 3,2 мм, имеющие ценное кормовое значение и принадлежащие в основном к следующим таксономическим группам: копеподы (*Neocalanus plumchrus*, *N. cristatus*, *Eucalanus bungii*, *Metridia pacifica*, *M. okhotensis*), эвфаузиевые (*Thysanoessa raschii*, *Th. longipes*, *Th. inermis*, *Th. inspinata*), амфиподы (*Themisto pacifica*, *Primno macropa*, *Hyperia galba*), щетинкочелюстные (*Parasagitta elegans*), птероподы (*Clione limacina*, *Limacina helicina*) и медузы (*Aglantha digitale*). В группу прочих входят мизиды, декаподы, кумовые, остракоды, полихеты и аппендикулярии, биомасса которых в целом не превышает 2 % от биомассы макрозоопланктона. На протяжении всего периода исследований видовой состав зоопланктона рассматриваемых сообществ, в отличие от их структуры, остается практически неизменным. Структура сообществ под влиянием климато-океанологических и биоценологических факторов меняется довольно сильно (рис. 2). Наиболее значительными были изменения в 1990-е гг., когда в Северной Пацифике произошли кардинальные экосистемные перестройки [Shuntov et al., 1996;

* R Core Team. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2021.

** Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. 2nd ed. N.Y.: Springer Verlag, 2016. 268 p.

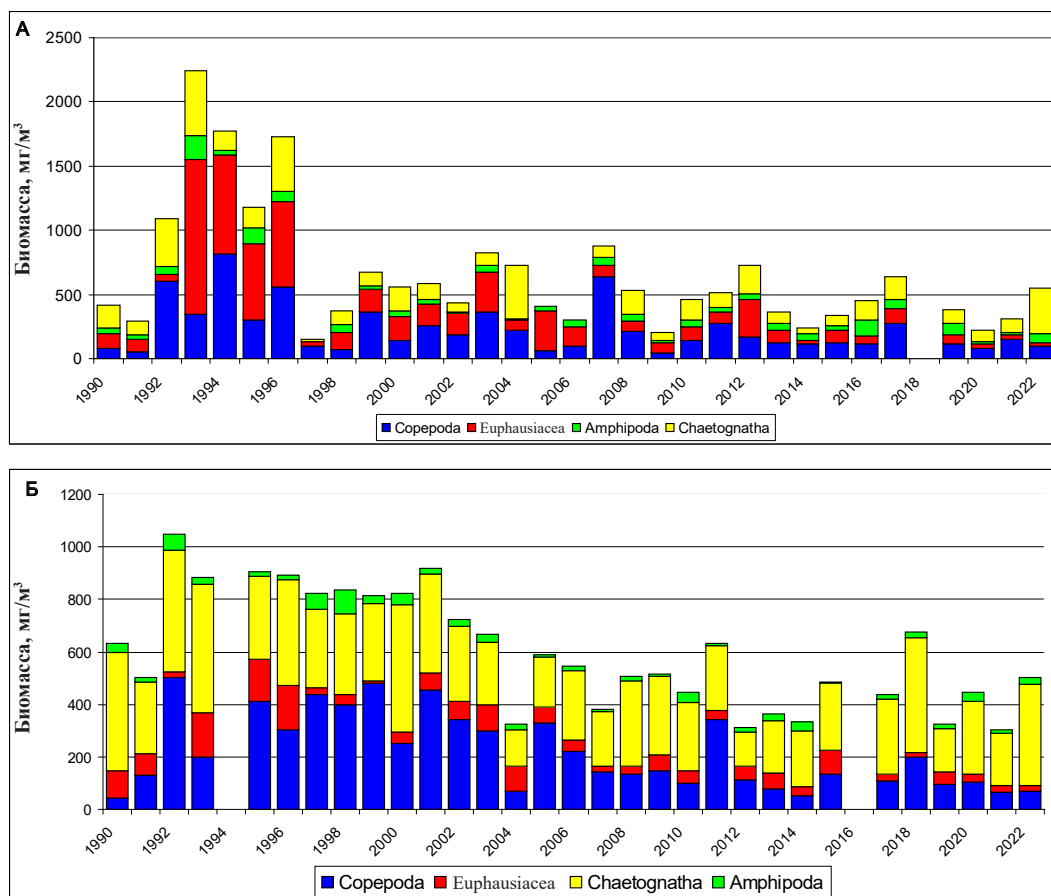


Рис. 2. Динамика таксономического состава макрозоопланктона в глубоководных районах Охотского (А) и Берингова (Б) морей [Дулепова, 2024; Дулепова, Напазаков, 2024]

Fig. 2. Dynamics of macrozooplankton taxonomic composition in the deep-water areas of Okhotsk (A) and Bering (B) Seas [Dulepova, 2024; Dulepova and Napazakov, 2024]

Шунтов и др., 2007]. Именно в это время наблюдалось снижение рыбопродуктивности и увеличение доли хищного зоопланктона, компенсирующего возникший недостаток потребителей зоопланктона.

Кроме климато-океанологических факторов, на формирование структуры и динамику сообщества макрозоопланктона (и, соответственно, на кормовую базу рыб) оказывают влияние биоценотические связи между компонентами сообщества [Дулепова, 2021]. Это касается щетинкочелюстных и копепод, взаимоотношения которых происходят по типу «хищник–жертва». Именно поэтому в планктонных сообществах глубоководных котловин зачастую прослеживается противофазность динамики биомассы щетинкочелюстных и крупных копепод, что, безусловно, сказывается на уровне продукционного потенциала кормовых ресурсов нектона, включая молодь лососей.

Проведенный статистический анализ всей имеющейся информации выявил некоторые различия в ряде характеристик макрозоопланктона в исследуемых районах. Одно из них — значительная пространственная неоднородность зоопланктона в глубоководной зоне Охотского моря. Так, средняя плотность биомассы зоопланктона для района 12 (756,70 мг/м³) значительно выше, чем для района 9 (624,85 мг/м³), с разностью средних величин в интервале от 17,999 до 245,700 мг/м³ (95 %-ный доверительный уровень). В Беринговом море несходство средних плотностей биомассы зоопланктона между регионами 8 (593,04 мг/м³) и 12 (589,48 мг/м³) оказалось статистически незначимым ($p = 0,9133$). Вы-

явленные различия в составе планктона глубоководной части Охотского моря обусловили необходимость раздельного расчета описательных статистик для районов 9 и 12.

Вполне очевидно, что указанная пространственная неоднородность распределения зоопланктона в глубоководной зоне Охотского моря связана с гидрологическими особенностями каждого из рассматриваемых подрайонов [Чернявский и др., 1996; Дарницкий, Булатов, 1997]. Например, в южной части глубоководной зоны Охотского моря (район 12) присутствуют водные массы различного происхождения, за счет чего в этой зоне наблюдается сложная динамика в их распределении, которая влияет на формирование здесь повышенной продуктивности [Грузевич и др., 1997].

Обработка данных позволила оценить среднемноголетнюю структуру и количественные характеристики зоопланктона в глубоководных районах (рис. 3). В Охотском море среднемноголетняя биомасса планктона для осени была оценена в $673,5 \text{ мг/м}^3$, что заметно выше, чем в районах Берингова моря ($591,0 \text{ мг/м}^3$). Эти показатели практически совпали с результатами более ранних исследований [Волков, 2008], что свидетельствует об определенной устойчивости в функционировании планктонных сообществ.

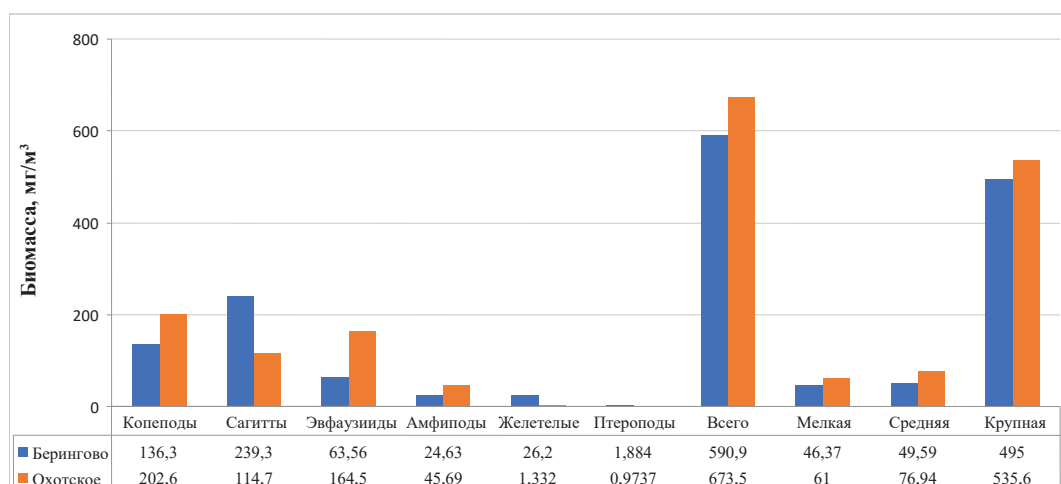


Рис. 3. Среднемноголетние значения биомассы фракций и основных таксонов в глубоководных районах Охотского и Берингова морей

Fig. 3. Average biomass for the main size fractions and taxa of zooplankton in the deep-water areas of Okhotsk and Bering Seas

Структура макропланктона двух рассматриваемых регионов, безусловно, сильно различается: биомасса всех крупных таксонов, формирующих кормовую базу лососей (за исключением щетинкочелюстных), в Охотском море выше, чем в Беринговом.

Динамику биомассы основных доминирующих групп зоопланктона в районах можно рассмотреть с позиций взаимосвязи между ними, а также сезонности и изменений по глубине. Результаты nMDS-анализа структуры и динамики планктонного сообщества представлены на рис. 4–6. Точками являются отдельные пробы, а эллипсы обозначают области сходных данных для статистических районов. Красные векторы отражают корреляции и показывают влияние биомассы основных групп планктона (мг/м^3) на структуру сообщества, синие — градиент общей биомассы планктона как внешней переменной.

В глубоководных районах как Охотского, так и Берингова морей выявлена отрицательная корреляция между биомассой копепоид и эвфаузиид (рис. 4), что выражается в противоположной направленности их векторов на диаграмме ординации. Биомасса копепоид и сагитт демонстрирует положительную корреляцию, на что указывает параллельная направленность соответствующих векторов. Это объясняется тесной связью между указанными группами по принципу «хищник–жертва» [Дулепова, 2021].

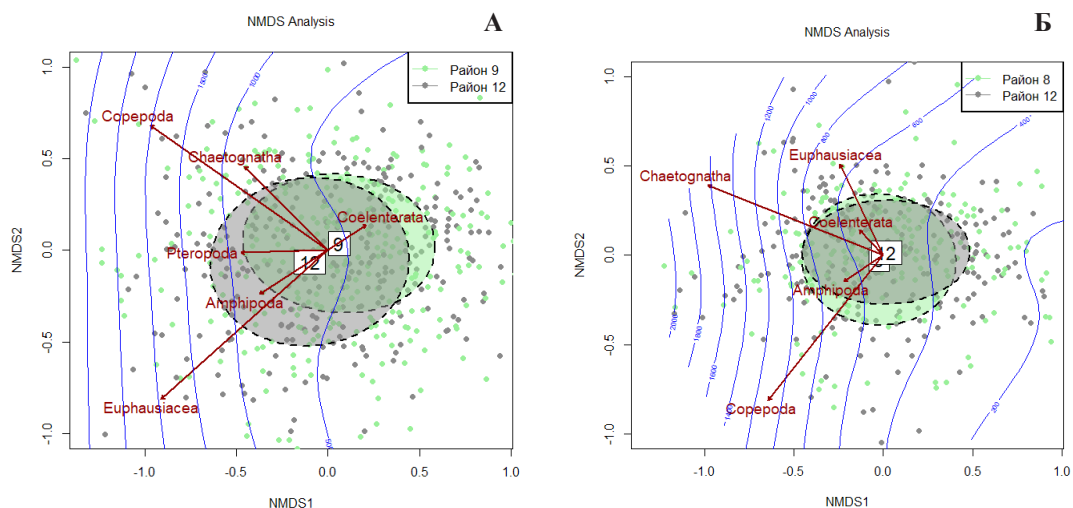


Рис. 4. Результаты nMDS-анализа, отражающие взаимосвязи в динамике биомассы основных групп кормового зоопланктона в глубоководных районах Охотского (А) и Берингова (Б) морей, синие изолинии — биомасса крупной фракции зоопланктона, mg/m^3

Fig. 4. Results of nMDS analysis reflecting the relationships in the biomass dynamics for the main groups of forage zooplankton in the deep-water areas of Okhotsk (A) and Bering (B) Seas. Blue isolines show the biomass of large-sized fraction, mg/m^3

Батиметрическое распределение биомассы различных групп планктона существенно различается между рассматриваемыми регионами (рис. 5). В Охотском море (рис. 5, А) биомасса эвфаузиид, амфипод и птеропод положительно коррелирует с глубиной, тогда как у копепод и сагитт зависимость от глубины выражена слабо. Биомасса кишечнополостных, напротив, отрицательно коррелирует с глубиной. В Беринговом море (рис. 5, Б) характер распределения биомассы планктона более сложный. Копеподы и амфиподы демонстрируют обратную зависимость: их биомасса увеличивается с уменьшением глубины. Эвфаузииды, как и в Охотском море, сохраняют положительную корреляцию биомассы с глубиной. Для сагитт и кишечнополостных достоверных корреляций не обнаружено. Выявленные различия в батиметрическом распределении

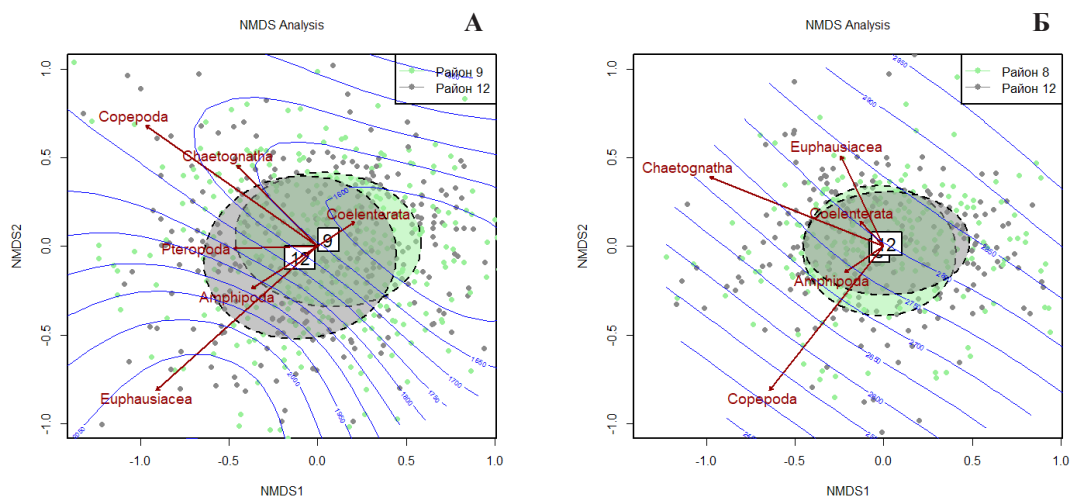


Рис. 5. Результаты nMDS-анализа, демонстрирующие зависимость биомассы основных групп зоопланктона от глубины в Охотском (А) и Беринговом морях (Б), синие изолинии — изобаты, м

Fig. 5. Results of nMDS analysis demonstrating the biomass dependence on depth for the main groups of zooplankton in the Okhotsk (A) and Bering Seas (B). Blue isolines correspond to isobaths, m

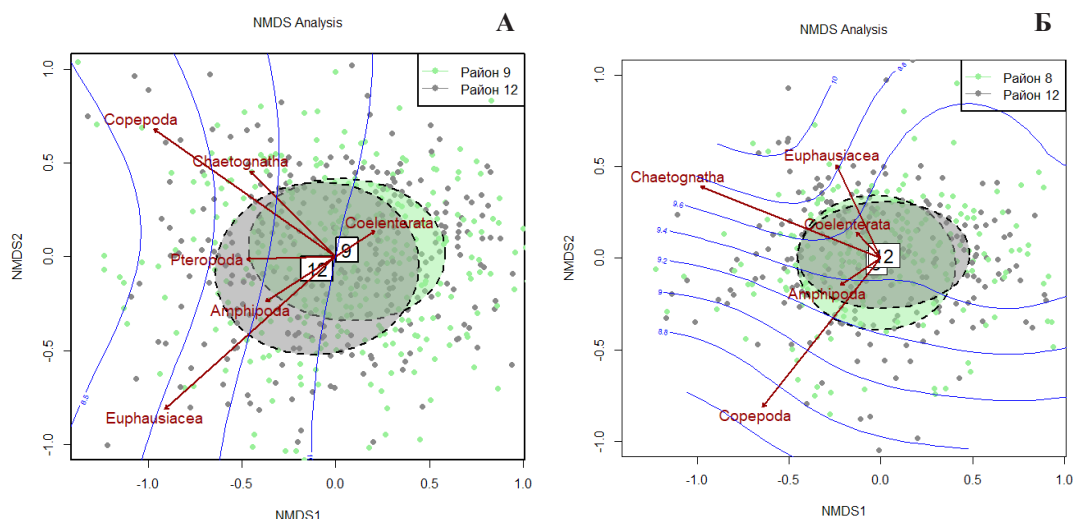


Рис. 6. Результаты nMDS-анализа внутрисезонной динамики биомассы зоопланктона в Охотском (А) и Беринговом (Б) морях, синие изолинии — месяцы, август-ноябрь

Fig. 6. Results of nMDS analysis for seasonal dynamics of zooplankton biomass in the Okhotsk (A) and Bering (Б) Seas. Blue isolines show months from August to November

биомассы планктона подтверждают высказанное ранее А.Ф. Волковым [1996] мнение о структурных различиях планктонных сообществ разных морских бассейнов.

При анализе состояния планктонных ресурсов глубоководных районов важно учитывать внутрисезонную динамику развития планктонных сообществ. В Охотском море динамика биомассы основных групп планктона (копепод, хетогнат, птеропод и амфипод) снижается от лета к зиме, тогда как у кишечнотелых наблюдается противоположная картина. В Беринговом море копеподы и амфиподы также снижают биомассу к зиме, однако для эвфаузиид прослеживается выраженная противоположная динамика (рис. 6).

Таким образом, проведенный анализ качественных и количественных характеристик планктонных сообществ и их динамики в районах Охотского и Берингова морей выявил как общие закономерности, так и региональные особенности в распределении и динамике основных таксонов, составляющих кормовую базу лососей. Установленные тенденции характерны для осеннего планктона и служат основой для дальнейшей оценки кормовой обеспеченности молоди горбуши и нагульной кеты в рассматриваемых районах.

Все изложенное выше позволило не только наглядно представить осредненную таксономическую структуру сообщества макропланктона (рис. 7), но и оценить продукционные характеристики функциональных элементов сообщества.

В районах Охотского и Берингова морей соотношения трофических группировок в макрозоопланктоне диаметрально противоположны: если в Охотском море по биомассе доминирует нехищный зоопланктон (70 % от общей биомассы), то в Беринговом море преобладают планктонные хищники (60 %).

Среднегодовья биомасса «нехищного» зоопланктона в глубоководных районах Охотского моря оценивается в 373 мг/м^3 , что гораздо выше, чем в аналогичных районах Берингова моря (203 мг/м^3).

Продукция основных таксонов, формирующих трофические группировки в глубоководных районах, представлена на рис. 8, на котором видно, что в глубоководных районах Охотского моря продукция основных групп макрозоопланктона (за исключением сагитт и желетелых) была выше, чем в аналогичных районах Берингова моря.

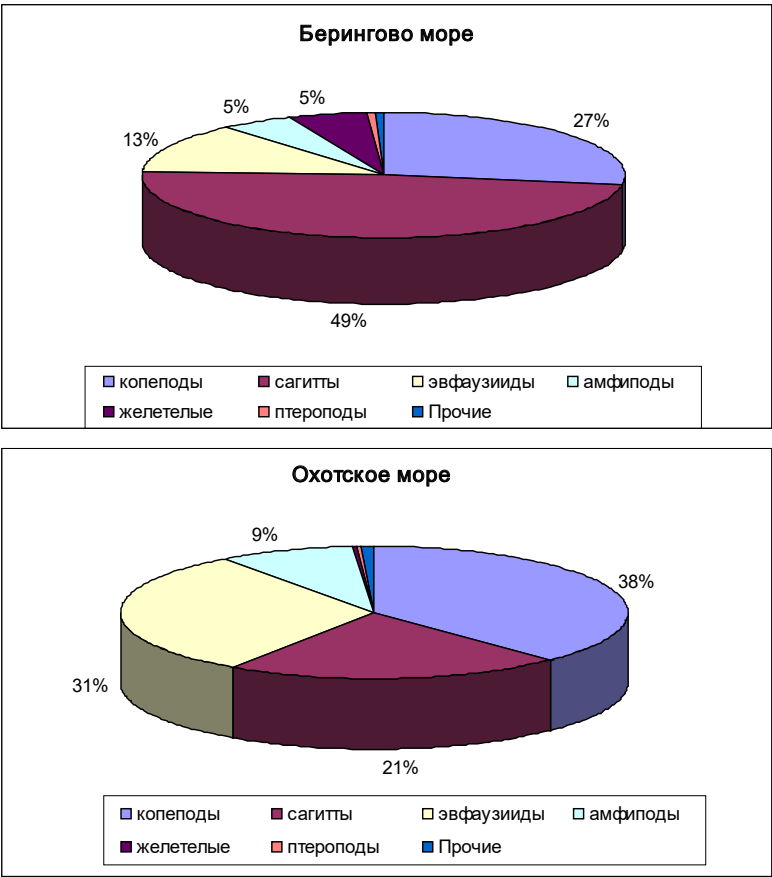


Рис. 7. Таксономическая структура макрозоопланктона по биомассе в глубоководных районах Охотского и Берингова морей

Fig. 7. Taxonomic structure by biomass for macrozooplankton in the deep-water areas of Okhotsk and Bering Seas

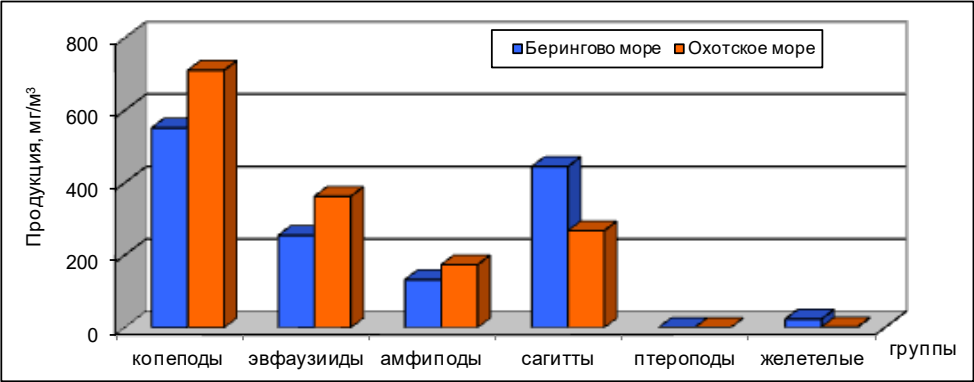


Рис. 8. Среднеголетняя продукция основных групп макропланктона в глубоководных районах Охотского и Берингова морей, mg/m^3

Fig. 8. Average production of the main macroplankton groups in the deep-water areas of Okhotsk and Bering Seas, mg/m^3 per 90 days

Поскольку основу биомассы «нехищного» зоопланктона формируют эвфаузиевые и копеподы (до 98 %), именно эти группы слагают основу продукции данной трофической группировки. Роль же прочих групп весьма незначительна (от 2 % и ниже). От соотношения доминирующих в трофических группировках видов зависит величина

сезонного Р/В-коэффициента группировки зоопланктона и, соответственно, их продукция. Например, группировку «нехищный» зоопланктон в сравниваемых районах формируют такие виды, как *M. pacifica*, *N. plumchrus*, *E. bungii*, *T. longipes* и *T. raschii*. В Охотском море к числу названных выше видов добавляется еще и *M. okhotensis*. В целом удельная суточная продукция копепод в Охотском море варьирует в пределах 0,044–0,070, а у эвфаузиевых этот показатель существенно ниже (0,021–0,028).

В Беринговом море складывается совершенно иная ситуация: темпы продуцирования у эвфаузиид более значительны, чем у копепод. Эти показатели для эвфаузиид и копепод составляют соответственно 0,0368–0,0460 и 0,019–0,044. Таким образом, даже при почти идентичном видовом составе удельная суточная продукция видов, слагающих данный компонент планктонного сообщества, довольно сильно различается, что связано как со своеобразием таксономического состава, так и с влиянием климато-океанологических условий. Среднегодовое значение показателя продукции «нехищного» зоопланктона в глубоководных районах Охотского и Берингова морей был оценен соответственно в 1076 и 807 мг/м³.

Что же касается хищного зоопланктона, то основа его продукции формируется почти исключительно *P. elegans* с суточной удельной продукцией 0,0206–0,0260. Тем не менее немаловажная роль в формировании продукции группировки принадлежит гипериидам (*T. pacifica*), удельная суточная продукция которых довольно высока и варьирует по районам от 0,0430 (Охотское море) до 0,0596 (Берингово море). Именно этот вид является излюбленной пищей лососей.

Среднегодовое значение показателя продукции планктонных хищников в Беринговом и Охотском морях равен соответственно 602 и 361 мг/м³.

Полученные результаты дают возможность оценить эффективность функционирования сообществ зоопланктона в каждом из исследуемых районов. Этот показатель определяется величиной продукции сообщества зоопланктона с использованием следующего выражения:

$$P_z = P_2 + P_3 - A_3, \text{ или } P_z = P_2 + P_3 - P_3/K_{2,3},$$

где P_z — продукция сообщества; P_2 и P_3 — продукция соответственно нехищного и хищного зоопланктона; A_3 — ассимилированная хищным зоопланктоном часть рациона; $K_{2,3}$ — коэффициент эффективности второго порядка для хищного зоопланктона, величина которого в морских экосистемах оценивается в 0,3–0,4.

Чем ниже эффективность использования ассимилированной пищи хищниками, тем меньше будет и продукция сообщества. Но, хотя большая часть рациона хищного зоопланктона (в основном сагитт) состоит из нехищных планктеров, до 10 % рациона приходится на простейших и бактерий [Сорокин и др., 1995]. Если учесть этот факт, то, безусловно, продукция сообщества макропланктона будет несколько выше, но незначительно. Следует отметить, что она может быть даже отрицательной, но только либо для определенного сезона, либо при значительной гидродинамической активности в районе и, соответственно, привносе сообществ на высокой стадии сукцессии из других регионов [Виноградов, 1978]. В данном случае осредненные показатели продукции сообществ зоопланктона, полученные на основании анализа массива данных, неотрицательны, хотя в районах Берингова моря эта величина более чем в 10 раз ниже, чем в Охотском море, и оценивается в 77 мг/м³, тогда как в районах Охотского моря превышает 800 мг/м³. На основании проведенного анализа можно утверждать, что планктонные глубоководные сообщества Охотского моря в целом функционируют гораздо более эффективно с точки зрения кормовой обеспеченности планктоноядных рыб.

Однако в межгодовом плане все выглядит не так однозначно. В каждом из районов уровень продуцирования органического вещества компонентами сообщества из года в год довольно сильно варьирует (рис. 9, 10) и, соответственно, изменяется его общая продукция.

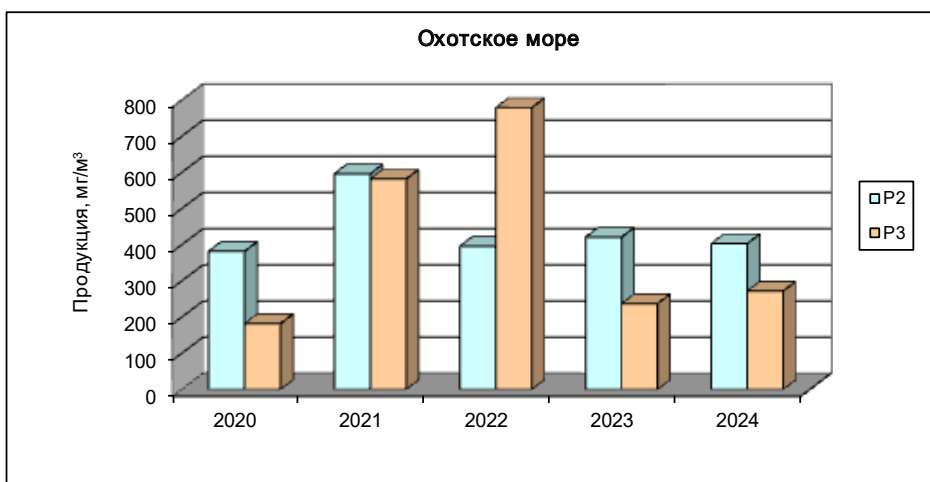


Рис. 9. Продукция трофических группировок в глубоководных районах Охотского моря: P2 — «нехищный» зоопланктон; P3 — «хищный»

Fig. 9. Production of non-predatory (P2) and predatory (P3) zooplankton in the deep-water areas of Okhotsk Sea

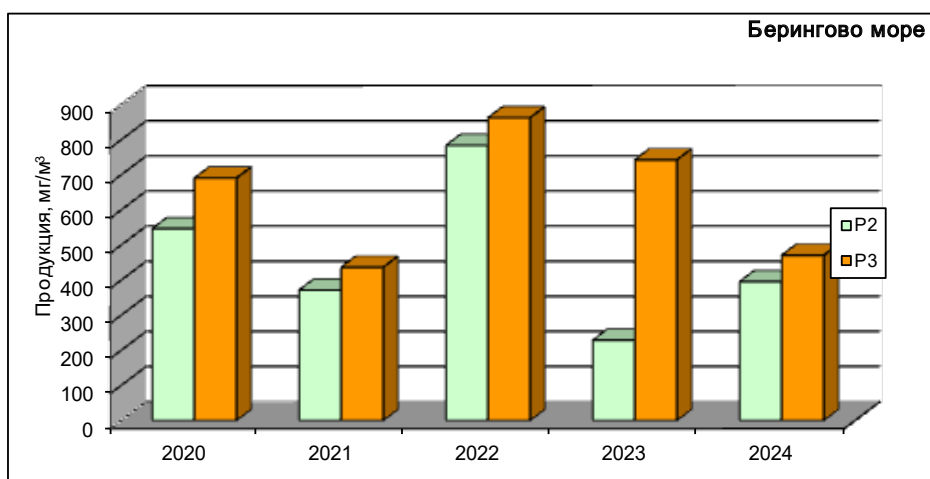


Рис. 10. Продукция трофических группировок в глубоководных районах Берингова моря. Обозначения как на рис. 9

Fig. 10. Production of non-predatory (P2) and predatory (P3) zooplankton in the deep-water areas of Bering Sea

Значительная величина продукции хищных зоопланктеров в глубоководных районах (рис. 9, 10) свидетельствует о привносе из других акваторий более зрелых планктонных сообществ на высокой стадии сукцессии. Все это, в свою очередь, отражается на величине общей продукции сообщества (рис. 11), которая во всех рассматриваемых районах отрицательна. Основополагающей фоновой причиной многолетней динамики в планктоне глубоководных районов является интенсивность течений в кольце Северо-Тихоокеанского круговорота [Шунтов 2010]. Однако нельзя не учитывать и провинциальных особенностей в динамике биомасс макропланктона.

Привлекает внимание значительная продукция планктонных хищников в обоих районах в 2022 г. Особенно в этом плане выделяется Охотское море, где до 50 % продукции этой трофической группировки формируется амфиподами. В Беринговом море более 80 % продукции хищных планктеров составляют сагитты. Как указывалось выше, планктонным сообществам рассматриваемых районов присуща одна общая черта —

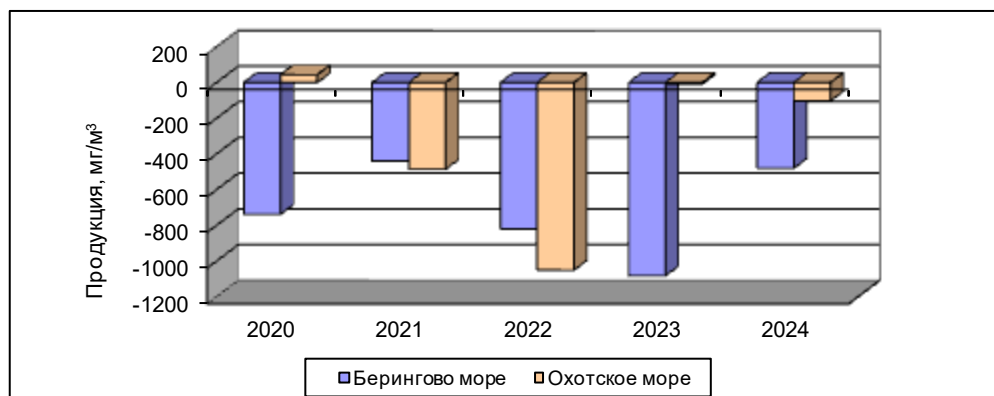


Рис. 11. Динамика общей продукции сообществ зоопланктона в глубоководных районах Охотского и Берингова морей (2020–2024 гг.)

Fig. 11. Dynamics of the total production for zooplankton communities in the deep-water areas of Okhotsk and Bering Seas (2020–2024)

постоянный привнос зоопланктона с других акваторий. За счет этого напряженные трофические отношения в сообществах могут сглаживаться. Однако есть и другая особенность такого привноса: сообщества, приносимые в глубоководные районы за счет дрейфа, перемещаясь в пространстве, развиваются во времени и находятся на более поздних стадиях сезонной сукцессии, характеризующейся значительной долей планктонных хищников. Этот факт также имеет значение, так как в питании лососей представители хищного зоопланктона (особенно амфиподы) играют важную роль [Волков, 2024].

Все указанные выше структурные и функциональные особенности планктонных сообществ глубоководных районов, без сомнения, повлияли на состояние кормовой базы и особенности питания лососей в исследованных районах Берингова и Охотского морей.

Таким образом, проведенный анализ планктонных сообществ Охотского и Берингова морей выявил ряд существенных различий и некоторые черты сходства между этими акваториями. Охотское море характеризуется более высокой общей биомассой планктона по сравнению с Беринговым морем. Пространственное распределение планктона в обоих морях демонстрирует зависимость от глубины, однако характер этой зависимости различается как для разных групп планктона, так и между морями. Наиболее заметны различия в распределении копепод. Сезонная динамика имеет свои особенности в каждом море. В Охотском море наблюдается общая тенденция к снижению биомассы большинства групп планктона от лета к зиме, тогда как в Беринговом море этот тренд не столь однонаправлен. Статистический анализ выявил значимые различия между двумя глубоководными районами в Охотском море, что указывает на большую пространственную неоднородность планктонного сообщества в этой акватории по сравнению с Беринговым морем.

Следует отметить, что выявленные тенденции характерны для осеннего планктона и далее интерпретируются в контексте оценки кормовой обеспеченности молоди горбуши и кеты.

Структура питания кеты и горбуши в глубоководных районах Охотского и Берингова морей. Анализ рационов кеты различных размерных групп и молоди горбуши в глубоководных районах Охотского и Берингова морей выполнен с применением метода nMDS (рис. 12, 13). Каждая точка на диаграммах отражает отдельную пробу, эллипсы обозначают кластеры с близким составом пищи. Красные векторы указывают направление и степень влияния основных трофических компонентов (‰), синие изолинии — корреляцию с индексом наполнения желудков (ИНЖ, ‰).

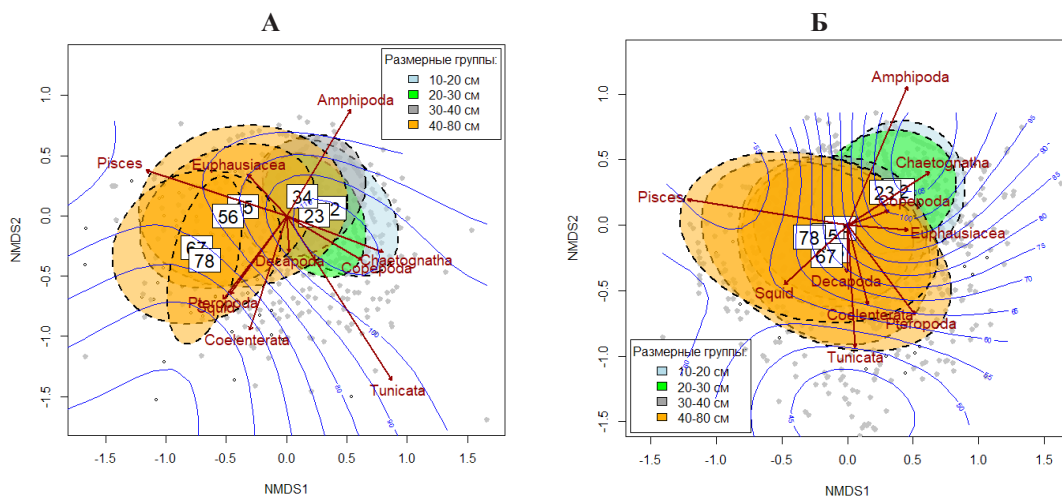


Рис. 12. Ординационная диаграмма рационов разноразмерных групп кеты в глубоководной части Охотского (А) и Берингова морей (Б) (метод nMDS-анализа)

Fig. 12. Ordination diagram of nMDS analysis for the diet of chum salmon in the deep waters of Okhotsk (A) and Bering (Б) Seas, by size groups

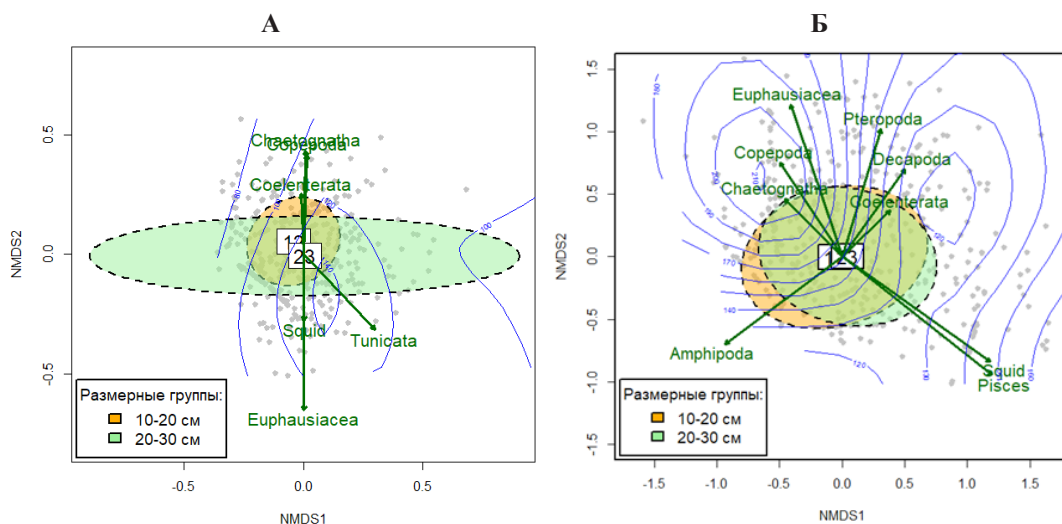


Рис. 13. Ординационная диаграмма рациона молоди горбуши (10–30 см) в глубоководной части Охотского (А) и Берингова морей (Б) (метод nMDS-анализа)

Fig. 13. Ordination diagram of nMDS analysis for the diet of juvenile pink salmon (10–30 cm length) in the deep waters of Okhotsk (A) and Bering (Б) Seas

На рис. 12 представлена структура рациона кеты в Охотском и Беринговом морях. В обоих регионах доминируют амфиподы, копеподы и сагитты. Однако интенсивность питания различается: в Охотском море средний ИНЖ составляет 90,1 ‰, в Беринговом — 71,0 ‰. С увеличением глубины в рационе появляются кальмары, кишечнотолостные, аппендикулярии, птероподы и декаподы.

На рис. 13 отражены особенности питания молоди горбуши (10–30 см). В Охотском море (рис. 13, А) основными кормовыми объектами служат амфиподы, эвфаузииды и копеподы, средний ИНЖ составляет 118,3 ‰. У особей 10–20 см в составе рациона также присутствуют сагитты. У горбуши длиной 20–30 см интенсивность питания снижается почти вдвое. В Беринговом море (рис. 13, Б) наблюдается более высокая степень наполнения желудка (154,7 ‰); в рационе доминируют эвфаузииды, птероподы, копеподы и мальки рыб. Снижение ИНЖ у горбуши 20–30 см не зафиксировано.

Таким образом, состав пищи кеты в обоих морях во многом сходен, но интенсивность питания у молоди лососей выше именно в Охотском море. Наиболее высокие значения ИНЖ характерны для особей длиной до 40 см. Влияние глубины проявляется в росте трофического разнообразия в пище с увеличением доли крупных планктонных объектов.

Для горбуши установлены следующие межрегиональные различия: в Беринговом море пищевой спектр шире, а интенсивность питания выше, чем в Охотском. В Охотском море основу рациона формировали амфиподы, эвфаузииды и копеподы. В Беринговом море состав пищи был разнообразнее и включал в себя амфипод, эвфаузиид, копепод, птеропод и мальков рыб. В целом все это указывает на различия в трофических условиях нагула и адаптациях к ним.

И хотя в большинстве случаев в последние годы продукция сообществ зоопланктона в рассматриваемых районах была либо весьма незначительна (2020 г.), либо отрицательна (2022 г.), молодь лососей обитает в этих районах в большом количестве до середины зимы в связи с тем, что существенный пресс лососей в районах приходится именно на хищный зоопланктон, в частности амфипод, обладающих высоким продукционным потенциалом. И насыщение среды этим ресурсом таково, что даже его использование другими представителями нектона не сильно снизит продукцию группы из-за высокой гидродинамической активности региона и, соответственно, постоянного привноса зоопланктона извне. Ранее это было показано для Охотского моря [Дулупова, Напазаков, 2024], где в 2020 г. уровень использования таких групп, как амфиподы, эвфаузиевые и копеподы, варьировал в пределах 0,5–8,0 % от их сезонной продукции при биомассе лососей 231 тыс. т. В 2022 г. эти показатели изменялись в диапазоне 0,2–1,7 % при значительно большей биомассе лососей (307 тыс. т).

Заключение

Результаты многолетнего исследования показали, что глубоководным районам Охотского и Берингова морей присущи ярко выраженные различия как в структурной, так и в функциональной организации зоопланктонных сообществ, что оказывает влияние на питание нагуливающих там лососей. В Охотском море зоопланктон представлен более высокой общей биомассой и продукцией, а также преобладанием «нехищного» компонента, что создает стабильную кормовую базу для планктоноядных рыб. В Беринговом море наблюдается иная структура трофических звеньев — с доминированием хищного зоопланктона за счет значительного внешнего привноса планктонных сообществ на более высокой стадии сукцессии.

Питание кеты и горбуши в этих районах отражает специфику локальных экосистем: в Охотском море отмечены самые высокие значения ИНЖ и преобладание амфипод, эвфаузиид и копепод в составе пищи, в то время как в Беринговом море рационы более разнообразны, включают молодь рыб, кальмаров и характеризуются большей интенсивностью питания у горбуши. Для обоих морей выявлена корреляция расширения пищевого спектра, особенно у кеты, с глубиной, а также показана значимость амфипод как ключевого трофического ресурса.

Несмотря на локально низкие значения продукционного потенциала в отдельные годы и даже отрицательные величины продукции сообществ, тихоокеанские лососи продолжают активно использовать рассматриваемые районы в качестве нагульных. Это связано с высокой гидродинамической активностью районов, обеспечивающей регулярный приток зоопланктона, и способностью компонентов планктона поддерживать высокий уровень продуцирования даже при значительном трофическом давлении со стороны нектона.

Таким образом, глубоководные районы Охотского и Берингова морей, несмотря на различия в структуре планктонных сообществ и продукционных характеристиках, остаются и на предвидимое будущее будут оставаться ключевыми зонами нагула

тихоокеанских лососей. Для объективной оценки кормовых условий этих районов необходимо учитывать не только состав и трофическую структуру сообществ, но и их продукционный потенциал, включая влияние межгодовой и пространственной изменчивости.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность научным сотрудникам ТИНРО, принимавшим участие в сборе и обработке гидробиологической и другой информации, которая использована в настоящей статье.

The authors are deeply grateful to their colleagues of TINRO who collected and processed a number of zooplankton and stomach samples, which data are analyzed in the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study has no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

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

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторы в равной мере принимали участие в подготовке и написании работы.

Both authors were equally involved in the data collection, processing and analysis, in the results discussion, and in writing and illustrating the text.

Список литературы

Виноградов М.Е. Оценка некоторых функциональных характеристик сообществ океанской пелагиали и их изменчивости // *Элементы водных экосистем : сб. науч. тр.* — М. : Наука, 1978. — С. 3–18.

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

Волков А.Ф. Возможности и приемы при работе с базами данных ТИНРО «Зоопланктон северной части Тихого океана, Охотского, Берингова и Чукотского морей», «Трофология нектона» и «Морская биология» // *Изв. ТИНРО.* — 2019. — Т. 198. — С. 239–261. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261.

Волков А.Ф. Зоопланктон эпипелагиали дальневосточных морей: состав сообществ, межгодовая динамика, значение в питании нектона : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 1996. — 70 с.

Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию нектона (пошаговые инструкции) // *Изв. ТИНРО.* — 2008. — Т. 154. — С. 405–416.

Волков А.Ф. Трофологический календарь лососей Охотского моря // *Изв. ТИНРО.* — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 683–704. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-683-704. EDN: RCLUVF.

Грузевич А.К., Аржанова Н.В., Сапожников В.В. Мезомасштабные вихри над шельфом и материковым склоном и их влияние на формирование гидрохимической структуры Охотского моря // *Комплексные исследования экосистемы Охотского моря.* — М. : ВНИРО, 1997. — С. 79–86.

Дарницкий В.Б., Булатов Н.В. Охотоморские вихри прикурльского района // *Комплексные исследования экосистемы Охотского моря.* — М. : ВНИРО, 1997. — С. 36–39.

Дулепова Е.П. Кормовая база нектона глубоководных районов западной части Берингова моря: динамика, современное состояние и ее потребление тихоокеанскими лососями // *Изв. ТИНРО.* — 2024. — Т. 204, вып. 2. — С. 399–414. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-399-414. EDN: IRPDRC.

Дулепова Е.П. Роль *Sagitta elegans* (Chaetognatha) в сообществах зоопланктона западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — С. 425–439. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-425-439.

Дулепова Е.П. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2002. — 274 с.

Дулепова Е.П., Напазаков В.В. Функциональные особенности и кормовая база лососей в глубоководных районах Охотского моря в осенний период // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке : мат-лы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2024. — С. 131–138.

Заика В.Е. Сравнительная продуктивность гидробионтов : моногр. — Киев : Наук. думка, 1983. — 206 с.

Сорокин Ю.И., Мамаева Т.И., Сорокин П.Ю. К характеристике бактериопланктона в Беринговом море и в прилегающей северной части Тихого океана // Комплексные исследования экосистемы Берингова моря. — М. : ВНИРО, 1995. — С. 280–286.

Чернявский В.И., Жигалов И.А., Матвеев В.И. Океанологические основы формирования зон высокой биологической продуктивности // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море; вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоиздат, 1996. — С. 157–160.

Шебанова М.А. Соматическая продукция и жизненные циклы сагитты *Parasagitta elegans* в Охотском и Беринговом морях // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : мат-лы 4-й междунар. науч.-техн. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2016. — Ч. 1. — С. 218–222.

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

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

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

Шунтов В.П. Некоторые результаты экосистемного изучения биологических ресурсов дальневосточных морей в связи с задачами дальнейших исследований // Бюл. № 5 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — С. 186–195.

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

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — Т. 1. — 481 с.

Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // Deep-Sea Res. II. — 2013. — Vol. 94. — P. 106–120. DOI: 10.1016/j.dsr2.2013.03.034.

Shuntov V.P., Dulepova E.P., Radchenko V.I., Lapko V.V. New data about communities of plankton and nekton of the Far-Eastern seas in connection with climate-oceanological reorganization // Fish. Oceanogr. — 1996. — Vol. 5, № 1. — P. 38–44.

References

Vinogradov, M.E., Assessment of some characteristics of ocean pelagic communities and their variability, in *Sb. nauchn. tr. "Elementy vodnykh ekosistem"* (Collect. Sci. Works "Elements of aquatic ecosystems"), Moscow: Nauka, 1978, pp. 3–18.

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

Volkov, A.F., Opportunities and techniques of using the databases of TINRO "Zooplankton of the north Pacific, Okhotsk, Bering, and Chukchi Seas", "Nekton trophology", and "Marine biology", *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 239–261. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261

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

Volkov, A.F., Technique of collecting and processing the samples of plankton and the samples on nekton feeding (step-by-step instructions), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 154, pp. 405–416.

Volkov, A.F., Trophological calendar of salmon in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 683–704. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-683-704/ EDN: RCLUVF.

Gruzevich, A.K., Arzhanova, N.V., and Sapozhnikov, V.V., Mesoscale eddies over the shelf and continental slope and their influence on the formation of the hydrochemical structure of the Sea of Okhotsk, in *Kompleksnyye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya* (Complex Studies of the Sea of Okhotsk), Moscow: VNIRO, 1997, pp. 79–86.

Darnitsky, V.B. and Bulatov, N.V., Okhotsk Sea eddies of the Kuril region, in *Kompleksnyye issledovaniya ekosistemy Okhotskogo morya* (Complex Studies of the Sea of Okhotsk), Moscow: VNIRO, 1997, pp. 36–39.

Dulepova, E.P., Food base of nekton in deep-sea areas of the western Bering Sea: dynamics, current state and its consumption by pacific salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 2, pp. 399–414, doi 10.26428/1606-9919-2024-204-399-414. EDN: IRPDR.

Dulepova, E.P., Role of arrowworm *Sagitta elegans* (Chaetognatha) in plankton communities of the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 425–439. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-425-439

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

Dulepova, E.P. and Napazakov, V.V., Functional characteristics and food supply of salmon in deep-water areas of the Sea of Okhotsk in autumn, in *Mater. 2 Mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Rybnokhozyaystvennyy kompleks Rossii: 300 let rossiyskoy akademicheskoy nauke"* (Proc. 2nd Int. scientific-practical. conf. "Fishery complex of Russia: 300 years of Russian academic science"), Moscow: VNIRO, 2024, pp. 131–138.

Zaika, V.E., *Sravnitel'naya produktivnost' gidrobiontov* (Comparative Productivity of Aquatic Organisms), Kiev: Naukova Dumka, 1983.

Sorokin, Yu.I., Mamaeva, T.I., and Sorokin, P.Yu., On the characterization of bacterioplankton in the Bering Sea and in the adjacent northern part of the Pacific Ocean, in *Kompleksnyye issledovaniya ekosistemy Beringova morya* (Complex Studies of Ecosystem of the Bering Sea), Moscow: VNIRO, 1995, pp. 280–286.

Chernyavsky, V.I., Zhigalov, I.A., and Matveev, V.I., Oceanological foundations for the formation of zones of high biological productivity, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1996, issue 2, pp. 157–160.

Shebanova, M.A., Somatic production and life cycles of the Parasagitta elegans sagitta in the Sea of Okhotsk and the Bering Sea, in *Mater. 4 mezhdunar. nauchno-tech. conf. "Aktual'nye problemy osvoeniya biologicheskikh resursov Mirovogo okeana"* (Proc. 4th Int. Sci. Tech. Conf. "The Actual Problems of Development of Biological Resources of the World Ocean"), Vladivostok: Dal'rybvntuz, 2016, part 1, pp. 218–222.

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

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

Shebanova, M.A., Chuchukalo, V.I., and Dulepova, E.P., Some biological features and productive characteristics of *Oithona similis* (Copepoda) in the Sea of Okhotsk and western Bering Sea, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2011, vol. 37, no. 7, pp. 594–603. doi 10.1134/S1063074011070066

Shuntov, V.P., Some results of the ecosystem study of biological resources in the Far Eastern seas in connection with the objectives of further studies, *Bull. N 5 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoi programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. no. 5 of Realization of the "Con-

cept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon”), Vladivostok: Tikhookean. Nauchno-Issled. Rybokhoz. Tsentr, 2010, pp. 186–195.

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

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskii lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, vol. 1.

Khen, G.V., Basyuk, E.O., Vanin, N.S., and Matveev, V.I., Hydrography and biological resources in the western Bering Sea, *Deep-Sea Res., Part II*, 2013, vol. 94, pp. 106–120. doi 10.1016/j.dsr2.2013.03.034

Shuntov, V.P., Dulepova, E.P., Radchenko, V.I., and Lapko, V.V., New data about communities of plankton and nekton of the Far-Eastern seas in connection with climate-oceanological reorganization, *Fish. Oceanogr.*, 1996, vol. 5, no. 1, pp. 38–44.

R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021.

Oksanen, J.O., Blanchet, F.G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D.R., Minchin, P., O’Hara, R., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H., Szoecs, E., and Wagner, H., *Vegan: Community Ecology Package. R package Version 2.5-7*. URL <https://cran.r-project.org>, <https://github.com/vegandevs/vegan>. 2020. Cited September, 30, 2025.

Wickham, H., *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*, New York, 2016, 2nd ed.

Herve, M., *Aide-mémoire de statistique appliquée à la biologie. Construire son étude et analyser les résultats à l’aide du logiciel R. Version finale*. <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Herve-Aide-memoire-statistique.pdf>. Cited September, 30, 2025.

Поступила в редакцию 29.09.2025 г.

После доработки 18.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 29.09.2025; approved after reviewing 18.11.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

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

Научная статья

УДК 551.465.7

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-728-736

EDN: MDSIMQ

**ПОТОК ЭНТРОПИИ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНОСТЬ РАЗДЕЛА
МЕЖДУ ОКЕАНОМ И АТМОСФЕРОЙ КАК ИНТЕГРАЛЬНЫЙ
ИНДИКАТОР КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ОКЕАНА****Т.Р. Кильматов^{1,2}, Н.И. Рудых^{1*}**¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43;² Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690003, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

Аннотация. Представлен расчет климатического тренда потока энтропии через поверхность вода–воздух для меридионального разреза 180° в Тихом океане. Расчеты проведены по среднегодовым данным тепловых характеристик поверхности воды и компонентам теплового баланса с пространственным шагом 4° за 1979–2024 гг. Порядок отрицательного потока энтропии $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ W/m²K, и эта величина имеет временную тенденцию приближения к нулю. Сделана оценка средней скорости диссипации механической (турбулентной) энергии на единицу массы $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ m²/с³. Обсуждается разность трендов тепловых характеристик вследствие «открытости» и «закрытости» полярных акваторий Тихого океана в южном и северном полушариях. Отмечается возможность обратной связи параметров в направлении климатической устойчивости. Приближение потока энтропии к нулю уменьшает динамические процессы. Деградация движений увеличивает меридиональную разность температур между нагревателем (тропики) и холодильником (полюсы). Это приводит к обратному процессу — увеличению потока энтропии и возвращению океана к предыдущему стационарному состоянию.

Ключевые слова: Тихий океан, поверхность океан–атмосфера, баланс потока тепла, климатический тренд, поток энтропии

Для цитирования: Кильматов Т.Р., Рудых Н.И. Поток энтропии через поверхность раздела между океаном и атмосферой как интегральный индикатор климатических изменений океана // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 728–736. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-728-736. EDN: MDSIMQ.

* Кильматов Талгат Рустемович, доктор физико-математических наук, профессор, talgat_k@mail.ru, ORCID 0000-0002-0574-1452; Рудых Наталья Ивановна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, rudykh@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0001-6714-7662.

© Кильматов Т.Р., Рудых Н.И., 2025

Original article

Entropy flux through the ocean–atmosphere boundary as an integral indicator of the ocean climate change

Talgat R. Kilmatov*, Natalia I. Rudykh**

* Pacific Oceanological Institute, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041; Maritime State University, 50, Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003, Russia

** Pacific Oceanological Institute, Russian Ac. Sci., 43, Baltiyskaya Str., Vladivostok, 690041, Russia

* D.Phys.-Math., professor, talgat_k@mail.ru, ORCID 0000-0002-0574-1452

** Ph.D., senior researcher, rudykh@poi.dvo.ru, ORCID 0000-0001-6714-7662

Abstract. Climatic trend of the entropy flux across the water-air boundary is determined for the oceanographic section along 180° meridian in the Pacific Ocean. The flux is calculated on the average annual data for SST and components of heat balance with 4-degree spatial resolution for 1979–2024. The flux is negative with the value $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ W/m²K and has a tendency toward zero. Mean rate of the turbulent energy dissipation per unit mass is evaluated as $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ m²/s³. Different trends in thermal conditions for the “closed” and “open” polar areas in the Southern and Northern Hemispheres, respectively, are discussed. Possible feedback of the parameters toward climate stability is noted: the lower the entropy flux, the weaker water dynamics, and the higher SST difference between tropical and polar zones, that leads to reverse process of increasing the entropy flux and returns the ocean back to its previous stationary state.

Keywords: Pacific Ocean, ocean-atmosphere boundary, heat flux balance, climatic trend, entropy

For citation: Kilmatov T.R., Rudykh N.I. Entropy flux through the ocean–atmosphere boundary as an integral indicator of the ocean climate change, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 728–736. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-728-736. EDN: MDSIMQ.

Введение

Сложность адекватного описания термодинамических процессов, происходящих в климатической системе, на сегодняшний день не преодолена. Это связано с тем, что множество взаимосвязанных параметров разной природы влияют на систему и их роль в клубке этих взаимодействий точно не параметризована. Поэтому в данной ситуации используются разные подходы, в том числе подходы термодинамики.

Методы классической термодинамики [Седов 1973; Ландау, Лифшиц, 2002], неравновесной термодинамики [Гленсдорф, Пригожин, 1973] широко применяются для описания климатической системы Земли и ее компонентов [Lucarini et al., 2011, 2014; Kleidon et al., 2019; Ghill, Lucarini, 2020]. Выделим работу В.В. Шулейкина [1968], где ясно изложен подход к климатической системе как термодинамической машине с нагревателями и холодильниками разных частей планеты. Много публикаций посвящено исследованию стационарных состояний климата планеты в целом [напр., Ghill, Lucarini, 2020], поскольку такая система замкнута и лучше соответствует теоретическим постулатам неравновесной термодинамики. Есть также серия статей [Голицин, Мохов, 1978; Paltridge, 2001; Pascale et al., 2011, 2012; Lucarini et al., 2014; Yang et al., 2025] по исследованию экстремальных свойств производства энтропии для выделения климатических стационарных устойчивых состояний с помощью теоретических построений и численных экспериментов. Отметим работы приложения неравновесной термодинамики к океану как отдельному компоненту климатической системы [Кильматов, 1984, 1987; Bannon, Najjar, 2018], хотя рассмотрение океана как замкнутой термодинамической системы возможно только в определенном приближении. Океан через границы, кроме тепловых потоков на поверхности, обменивается массой (осадки–испарение), плюс геотермальные потоки на дне. Дополнительно генерируется поток тепла вследствие диссипации работы ветра, приливной энергии. Подчеркнем, что эффект теплообмена на поверхности океан–атмосфера является доминирующим

в процессе генерации потока энтропии [Кильматов, 1984, 1987; Bannon, Najjar, 2018], поэтому ниже ограничиваемся только учетом этого фактора.

В стационарном состоянии интегральное производство энтропии компенсируется суммарным потоком энтропии через границу [Гленсдорф, Пригожин, 1973]. Важно, что интегральный поток энтропии можно оценить через граничные параметры без учета внутренней структуры изучаемого объекта. Поток энтропии является мерой отклонения системы от равновесного состояния. Количественная интерпретация суммарного потока энтропии показывает, какая часть тепловой энергии (нормированная на температуру) вследствие неравномерности нагрева–охлаждения акватории может переходить в механическую работу. Чем значительнее поток энтропии, тем интенсивнее динамические процессы в океане. Это имеет прямую связь с изменением кинетической энергии вод океана.

Цель настоящей работы — на основе базы данных* провести количественную оценку декадной изменчивости интегрального потока энтропии для выделенной акватории Тихого океана. Изменчивость рассчитываемого параметра за последние десятилетия характеризует тенденцию изменения динамических процессов в океане вследствие наблюдаемых климатических трендов. Здесь надо отметить, что используемые компоненты потоков тепла на верхней границе океана, в свою очередь, являются рассчитываемыми по полуэмпирическим формулам величинами [Краус, 1976], поэтому в представленных результатах главным являются не абсолютные значения потоков энтропии, а тенденции климатических трендов.

Модельные упрощения и блоковая имитация

В работе используются следующие упрощения. Рассматривается только тепловое взаимодействие через поверхность океан–атмосфера как суммарный поток тепла Q (сумма потоков радиационного баланса, скрытого и явного тепла). Термодинамика океана описывается среднегодовыми характеристиками и близка к стационарному состоянию. В качестве примера представлена простая двухблочная модель, имитирующая тропические широты — нагреватель и субполярные — холодильник (рис. 1).

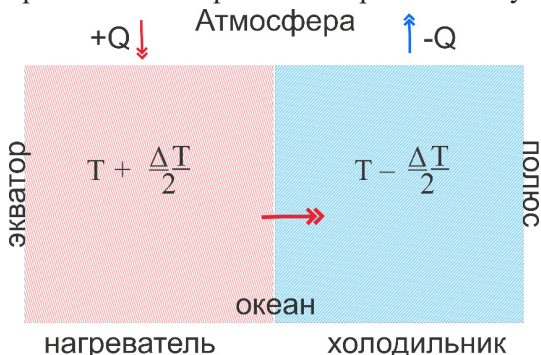


Рис. 1. Простая замкнутая стационарная двухблочная модель теплового взаимодействия океана и атмосферы. Суммарный поток тепла Q , средняя температура поверхности T , перепад температур между блоками ΔT

Fig. 1. Simple stationary two-block model of thermal interaction between the ocean and atmosphere. Q — heat flux; T — average sea surface temperature; ΔT — temperature difference between blocks

В данном приближении внутри непрерывное производство энтропии (выравнивание градиента температуры между блоками) компенсируется отрицательным потоком энтропии E . Этот поток энтропии рассчитывается по формуле

$$E = \frac{Q}{T + \frac{\Delta T}{2}} + \frac{-Q}{T - \frac{\Delta T}{2}} \approx -Q \frac{\Delta T}{T^2} \approx -2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2\text{К}. \quad (1)$$

В правой части (1) параметры и их характерные значения в океане: суммарный тепловой баланс на поверхности океана $Q \sim 100 \text{ Вт/м}^2$; средняя температура воды на поверхности $T \sim 280 \text{ К}$; перепад температуры между «нагревателем» и «холодильником» $\Delta T \sim 20 \text{ К}$. Формально в данном приближении по глубине рассматривается только верхний деятельный слой океана [Краус, 1976].

* Schlitzer R. Ocean Data View. Software. 2025. <https://odv.awi.de>.

Структура формулы потока энтропии показывает, что нагрев поверхности океана, увеличение средней температуры воды, уменьшение перепада температур, уменьшение суммарного потока тепла приближают поток энтропии к нулю, т.е. приводят к тенденции ослабления динамических потоков в океане. В частности в сценарии, когда при прочих равных условиях фиксируется климатическая тенденция нагрева воды на δT , поток энтропии уменьшается:

$$E_{\delta T} = \frac{Q}{T + \delta T + \frac{\Delta T}{2}} + \frac{-Q}{T + \delta T - \frac{\Delta T}{2}} \approx -Q \frac{\Delta T}{(T + \delta T)^2} \approx E(1 - 2 \frac{\delta T}{T}), \quad (2)$$

система ближе к состоянию равновесия, динамические процессы в океане ослабевают. Аналогичный процесс происходит при уменьшении поступающего теплового потока в океан на величину δQ , поток энтропии уменьшается, $E_{\delta Q} \approx E(1 - \frac{\delta Q}{T})$. Оба сценария приводят к более «вялой» динамике, уменьшению кинетической энергии, как следствие, к ослаблению устойчивости струйных потоков, меандров, синоптических вихрей.

Расчет изменчивости потока энтропии в акватории Тихого океана за последние 45 лет

Применим рассмотренный выше подход для расчета суммарного потока энтропии для акватории Тихого океана по разрезу, ориентированному вдоль 180-го меридиана. Акватория выбрана таким образом, чтобы было максимальное удаление от материков, длина меридионального разреза охватывала высокие и низкие широты в северном и южном полушариях. Размеры блоков вдоль разреза 4°, количество блоков в северном полушарии 17, в южном — 20. Осреднение и шаг по времени один год, период времени 45 лет (1979–2024 гг.). Ясно, что для каждого выделенного года суммарное число значений по температуре поверхности воды и баланса теплового потока равно числу блоков, т.е. 37.

Расчеты трендов проводились в трех вариантах — для северного и для южного полушарий, а также для всего разреза в целом. Результаты представлены изменением параметров во времени. Цель расчетов — проследить климатические тренды рассматриваемых характеристик.

Исходные данные для суммарного потока тепла с 1979 по 2024 г. получены с NCEP/DOE Reanalysis II (<https://www.psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>) [Kanamitsu et al., 2011]. Также для расчетов использовалась температура поверхности океана (sst) с NOAA Extended Reconstructed SST V5 (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html>) [Huang et al., 2017].

Краткая статистика для значений Q : диапазон изменений по разрезу за 1979–2024 гг. от -202 до $+157 \text{ W/m}^2$, стандартное отклонение $\sim 59,14 \text{ W/m}^2$. Для температуры воды T : диапазон изменений 271–304 К, среднее значение $\sim 290 \text{ K}$, стандартное отклонение $\sim 10,7 \text{ K}$. Отметим, что суммарный баланс потока тепла по выделенным акваториям не равен нулю, среднее значение годового баланса $\sim 7,5486 \text{ W/m}^2$ (что составляет 2,1 % от диапазона изменений потока), характерное среднее значение положительного потока теплового баланса $Q^+ \sim 50 \text{ W/m}^2$.

Временная изменчивость и климатические тренды рассматриваемых характеристик

Ниже представлены количественные оценки изменчивости рассматриваемых параметров — температуры, потока тепла, потока энтропии — в последние десятилетия на выделенном разрезе. Результаты приведены в графическом виде. На рис. 2 (а) показано, что поверхностная температура воды в рассматриваемой акватории увеличивается, это порядка 0,15 К/10 лет. Здесь $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum T_i$ — средняя температура. Знак Σ^* в работе означает суммирование характеристики (*) по выделенному разрезу для каждого года в отдельности.

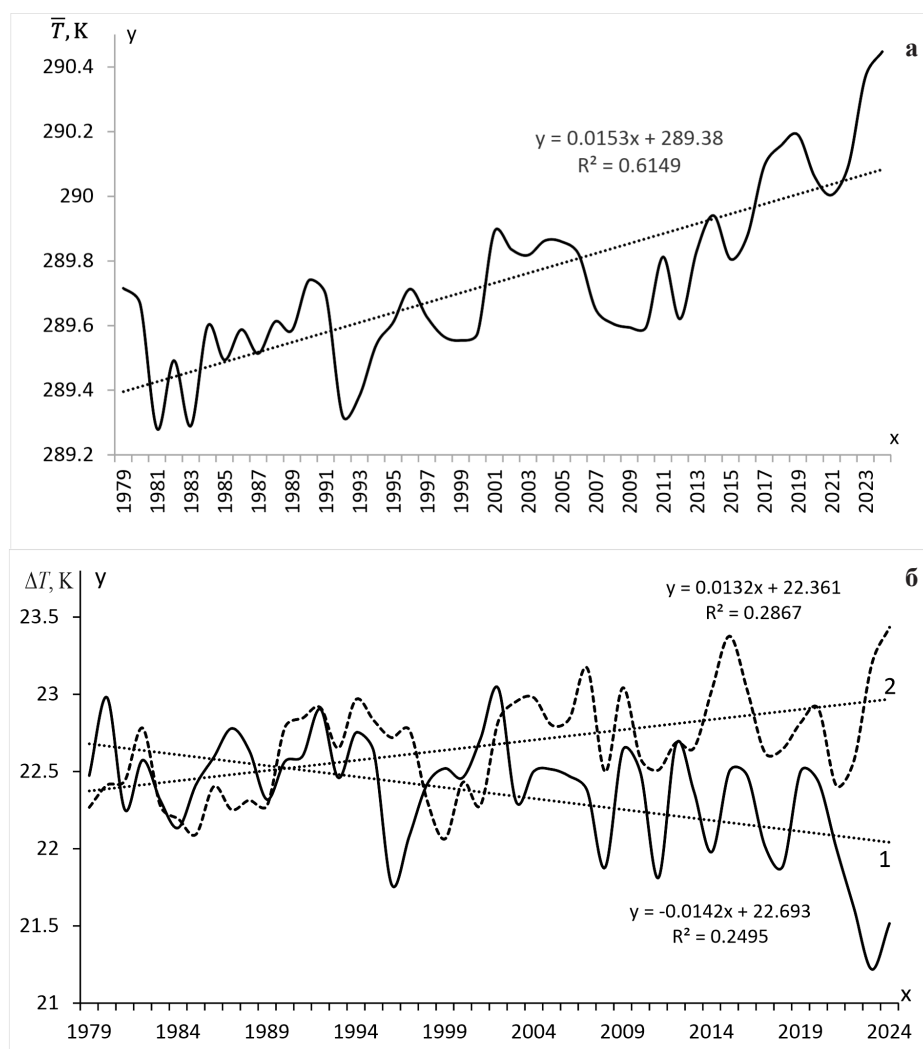


Рис. 2. Временное изменение средней температуры поверхности на разрезе по 180° (а) и изменение перепада поверхностных температур между экватором и высокими широтами (б): 1 — северное полушарие, 2 — южное

Fig. 2. Dynamics of average SST at the section along 180° (a) and the SST difference between the equator and polar areas along the section (b): 1 — Northern Hemisphere, 2 — Southern Hemisphere

На рис. 2 (б) отметим разнонаправленный тренд перепада поверхностных температур. Это разность средней поверхностной температуры тропических широт ($\pm 20^\circ$ широты) и субполярных поверхностных вод (выше 40° широты) соответственно в северном и южном полушариях. Северное полушарие изолировано от полярных вод, наблюдаемая тенденция на выравнивание перепада температур направлена на уменьшение потока энтропии (при прочих равных условиях). Следствием этого является климатическая направленность на деградацию динамических процессов в этом регионе. Южный Тихий океан открыт к полярным водам, меридиональный перепад температур увеличивается на разрезе. Хотя общий нагрев воды направлен в сторону уменьшения потока энтропии, перепад температур частично компенсирует уменьшение. Это разнонаправленный процесс с точки зрения влияния на изменения потока энтропии только в южном полушарии.

Временные тренды суммарного теплового баланса $\bar{Q} = \sum Q_i$ (рис. 3) для северного и южного полушарий имеют разные линейные скорости изменения. Характерный порядок разнонаправленного изменения $\sim 1W/\text{десятилетие}$.

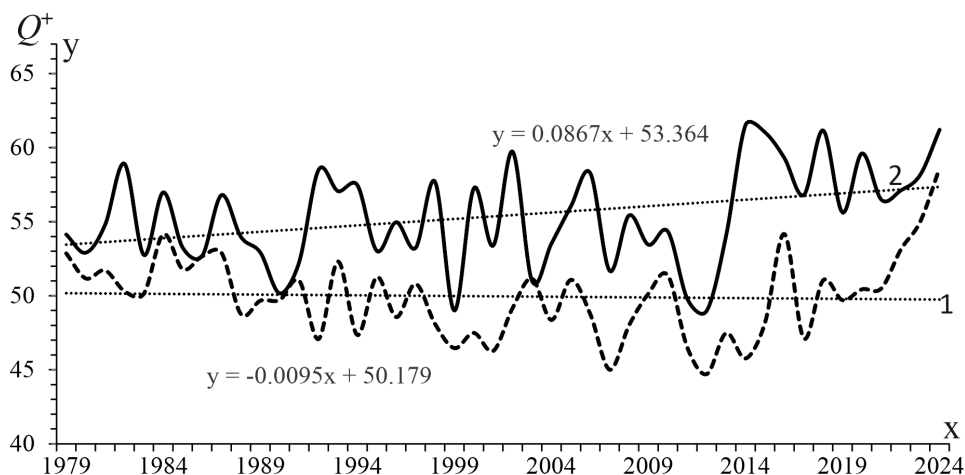


Рис. 3. Климатический тренд поступающего теплового потока Q^+ для северного (1) и южного (2) полушарий на меридиональном разрезе 180°

Fig. 3. Climatic trend of the incoming heat flux Q^+ for the parts of section along 180° in the Northern (1) and Southern (2) Hemispheres

Представленная на рис. 4 временная изменчивость потока энтропии за последние десятилетия демонстрирует, что производство кинетической (механической) энергии уменьшается, поскольку наблюдается тенденция приближения потока энтропии к нулю со скоростью примерно 1 % за десятилетие. Это следует из того, что в соответствии с термодинамикой скорость диссипации механической (турбулентной) энергии на единицу массы в океане A можно оценить

по формуле $A = \frac{E\bar{T}}{\rho H} \approx 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}^3$, где $\rho \sim 10^3 \text{ кг/м}^3$ — масштаб плотности морской воды, $H \sim 4 \cdot 10^3 \text{ м}$ — характерная глубина океана. В целом отметим, что имеется тенденция климатического уменьшения динамической активности в последние десятилетия, связанная с возможностью преобразования тепловой энергии.

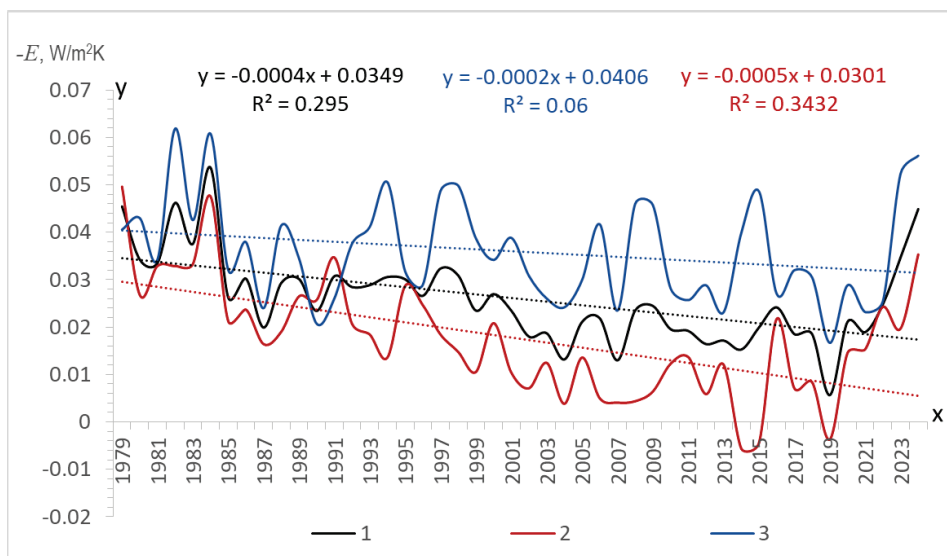


Рис. 4. Временная изменчивость среднегодового отрицательного потока энтропии ($-E$) по всему разрезу (1), в южном (2) и северном (3) полушариях

Fig. 4. Temporal variability of the annual mean entropy flow $-E$ (modular values) for the entire section along 180° (1) and for its parts in the Southern (2) and Northern (3) Hemispheres

Заключение

Представленный подход оценки климатических изменений с использованием оценки трендов потока энтропии через поверхность океана имеет положительные и отрицательные особенности. Положительные — возможность интегральной оценки скорости преобразования тепловой энергии в кинетическую; использование для расчетов только данных наблюдений на поверхности океана; в качестве теоретической основы можно применять только первые два закона термодинамики; не нужно привлекать дополнительные гипотезы и модели для описания внутренних процессов в океане. Отрицательные — результаты и интерпретация возможны только в интегральном виде; невозможность детализации процессов; компоненты теплового баланса на поверхности рассчитываются по полуэмпирическим формулам; значения этих потоков в наблюдаемом масштабе являются оценочными, как следствие — главное внимание надо уделять временным трендам рассчитываемых величин, а не абсолютным значениям.

Представленный расчет для разреза 180° для северной и южной частей Тихого океана показывает, что имеется разность в климатических трендах, которые связаны, скорее всего, с «закрытостью» северной части материками от «холодильника» — полярной зоны.

Рассматривая климатический тренд потока энтропии, можно отметить возможность потенциальной способности океана к устойчивости климата вследствие эффекта отрицательной обратной связи. Приближение потока энтропии к нулю уменьшает динамические процессы, их затухание увеличивает разность температур между нагревателем (тропики) и холодильником (полюсы), что, в свою очередь, приведет к обратному процессу — увеличению потока энтропии и возвращению океана к прежнему стационарному состоянию.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность рецензентам за ценные замечания, полученные при подготовке работы.

The authors are thankful to anonymous reviewers for their valuable comments useful for the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа была выполнена в рамках двух Государственных заданий ТОИ ДВО РАН: «Исследование климатических аспектов распространения природных газов в морских акваториях и на прибрежных территориях, а также связанных с этим явлений и процессов», регистрационный номер 125051406034-3; «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений», регистрационный номер 124022100079-4.

The study was funded from the budget of Pacific Oceanological Institute, Far-Eastern branch of Russian Ac. Sci. in the frameworks of two state assignments, as «Study of climatic aspects of natural gas distribution in marine waters and coastal areas, as well as related phenomena and processes» (registration number 125051406034-3) and “Study of the structure and dynamics of the waters of the World Ocean under conditions of modern climate change” (registration number 124022100079-4).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article does not concern any study with using animals as subjects.

The authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Т.Р. Кильматов — физико-математическая постановка и построение модели, текст работы, интерпретация результатов; Н.И. Рудых — сбор, обработка, анализ данных, интерпретация результатов.

T.R. Kilmatov — physical and mathematical concept of the study and the model development, interpretation of the results, writing and illustrating the text; N.I. Rudykh — data collection, processing and analysis, interpretation of the results.

Список литературы

Глендсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций : моногр. : пер. с англ. — М. : Мир, 1973. — 280 с.

Голицин Г.С., Мохов И.И. Об устойчивости и экстремальных свойствах моделей климата // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. — 1978. — Т. 14, № 4. — С. 378–387.

Кильматов Т.Р. Методы неравновесной термодинамики в физической океанологии : моногр. — Владивосток : ДВО АН СССР, 1987. — 79 с.

Кильматов Т.Р. Средний поток энтропии через поверхность Мирового океана // ДАН СССР. — 1984. — Т. 275, № 4. — С. 1015–1018.

Краус Е. Взаимодействие атмосферы и океана : моногр. : пер. с англ. — Л. : Гидрометео-издат, 1976. — 295 с.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика : учеб. пособ. : для вузов. В 10 т. Т. 5 : Статистическая физика. Ч. 1. — 5-е изд. — М. : Физматлит, 2002. — 616 с.

Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1 : моногр. — М. : Наука, 1973. — 536 с.

Шулейкин В.В. Физика моря : моногр. — М. : Наука, 1968. — 1090 с.

Bannon P.R., Najjar R.G. Heat-Engine and Entropy-Production Analyses of the World Ocean // J. Geophys. Res. Oceans. — 2018. — Vol. 123(8). — P. 8532–8547. DOI: 10.1029/2018JC014261.

Ghill M., Lucarini V. The Physics of Climate Variability and Climate Change // Reviews of Modern Physics. — 2020. — Vol. 92, № 3. — P. 1–77. DOI: 10.1103/RevModPhys.92.035002.

Huang B., Thorne P.W., Banzon V.F. et al. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons // J. Climate. — 2017. — Vol. 30, Iss. 20. — P. 8179–8205. DOI: 10.1175/jcli-d-16-0836.1.

Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J. et al. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bulletin of the American Meteorological Society. — 2011. — Vol. 83, № 11. — P. 1631–1644. DOI: 10.1175/BAMS-83-11-1631.

Kleidon A., Zehe E., Loritz R. ESD Ideas: Structures dominate the functioning of Earth systems, but their dynamics are not well represented // Earth Syst. Dynam. — 2019. — Discuss. [preprint]. DOI: 10.5194/esd-2019-52.

Lucarini V., Fraedrich K., Ragone F. New Results on the Thermodynamic Properties of the Climate System // J. Atmos. Sci. — 2011. — Vol. 68, № 10. — P. 2438–2458. DOI: 10.1175/2011JAS3713.1.

Lucarini V., Pascale S. Entropy production and coarse graining of the climate fields in a general circulation model // Climate Dynamics. — 2014. — Vol. 43. — P. 981–1000. DOI: 10.1007/s00382-014-2052-5.

Paltridge G.W. A physical basis for a maximum of thermodynamic dissipation of the climate system // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. — 2001. — Vol. 127(572). — P. 305–313. DOI: 10.1002/qj.49712757203.

Pascale S., Gregory J.M., Ambaum M., Tailleux R. A parametric sensitivity study of entropy production and kinetic energy dissipation using the FAMOUS AOGCM // Climate Dynamics. — 2012. — Vol. 38(5). — P. 1211–1227. DOI: 10.1007/s00382-011-0996-2.

Pascale S., Gregory J.M., Ambaum M., Tailleux R. Climate entropy budget of the HadCM3 atmosphere–ocean general circulation model and of FAMOUS, its low-resolution version // Climate Dynamics. — 2011. — Vol. 36. — P. 1189–1206. DOI: 10.1007/s00382-009-0718-1.

Yang Y., Sun H., Wang J. et al. Global ocean surface heat fluxes derived from the maximum entropy production framework accounting for ocean heat storage and Bowen ratio adjustments // Earth System Science Data. — 2025. — Vol. 17, Iss. 3. — P. 1191–1216. DOI: 10.5194/essd-17-1191-2025.

Reference

Glansdorff, P. and Prigogine, I., *Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuation*, Université Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium, and University of Texas, Austin, Texas, 1971.

- Golitsyn, G.S. and Mokhov, I.I.**, On the stability and extremal properties of climatic models, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Fizika atmosfery i okeana*, 1978, vol. 14, no. 4, pp. 378–387.
- Kilmatov, T.R.**, *Metody neravnovesnoy termodinamiki v okeanologii* (Methods of nonequilibrium thermodynamics in oceanology), Vladivostok: Dal'nevost. Otd. Akad. Nauk SSSR, 1987.
- Kilmatov, T.R.**, The average entropy flux through the surface of the World Ocean, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1984, vol. 275, no. 4, pp. 1015–1018.
- Kraus, E.B.**, *Atmosphere-ocean interaction*, Oxford, Clarendon Press, 1972.
- Landau, L.D. and Lifshitz, E.M.**, *Teoreticheskaya fizika : ucheb. posob. : dlya vuzov. V 10 t. T. 5: Statisticheskaya fizika. Ch. 1* (Theoretical Physics: a textbook: for universities. In 10 volumes. Vol. 5: Statistical Physics. Part 1), 5th ed., Moscow: FIZMATLIT, 2002.
- Sedov, L.I.**, *Mekhanika sploshnoy sredy* (Continuum Mechanics), vol. 1, Moscow: Nauka, 1973.
- Shuleikin, V.V.**, *Fizika morya* (Physics of the Sea), Moscow: Nauka, 1968.
- Bannon, P.R. and Najjar, R.G.**, Heat-Engine and Entropy-Production Analyses of the World Ocean, *J. Geophys. Res. Oceans*, 2018, vol. 123, no. 8, pp. 8532–8547. doi 10.1029/2018JC014261
- Ghill, M. and Lucarini, V.**, The Physics of Climate Variability and Climate Change, *Reviews of Modern Physics*, 2020, vol. 92, no. 3, pp. 1–77. doi 10.1103/RevModPhys.92.035002
- Huang, B., Thorne, P.W., Banzon, V.F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, Jay, H., Menne, M.J., Smith, T.M., Vose, R.S., and Huai-Min Zhanget**, Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons, *J. Climate*, 2017, vol. 30, no. 20, pp. 8179–8205. doi 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
- Kanamitsu, M., Ebisuzaki, W., Woollen, J., Yang, S-K., Hnilo, J.J., Fiorino, M., and Potter, G.L.**, NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2011, vol. 83, no. 11, pp. 1631–1644. doi 10.1175/BAMS-83-11-1631
- Kleidon, A., Zehe, E., and Loritz, R.**, ESD Ideas: Structures dominate the functioning of Earth systems, but their dynamics are not well represented, *Earth Syst. Dynam.*, 2019, Discuss., [preprint]. doi 10.5194/esd-2019-52
- Lucarini, V., Fraedrich, K., and Ragone, F.**, New Results on the Thermodynamic Properties of the Climate System, *J. Atmos. Sci.*, 2011, vol. 68, no. 10, pp. 2438–2458. doi 10.1175/2011JAS3713.1
- Lucarini, V. and Pascale, S.**, Entropy production and coarse graining of the climate fields in a general circulation model, *Climate Dynamics*, 2014, vol. 43, pp. 981–1000. doi 10.1007/s00382-014-2052-5
- Paltridge, G.W.**, A Physical Basis for a Maximum of Thermodynamic Dissipation of the Climate System, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2001, vol. 127, no. 572, pp. 305–313. doi 10.1002/qj.49712757203
- Pascale, S., Gregory, J.M., Ambaum, M., and Tailleux, R.**, A parametric sensitivity study of entropy production and kinetic energy dissipation using the FAMOUS AOGCM, *Climate Dynamics*, 2012, vol. 38, no. 5, pp. 1211–1227. doi 10.1007/s00382-011-0996-2
- Pascale, S., Gregory, J.M., Ambaum, M., and Tailleux, R.**, Climate entropy budget of the HadCM3 atmosphere–ocean general circulation model and of FAMOUS, its low-resolution version, *Climate Dynamics*, 2011, vol. 36, pp. 1189–1206. doi 10.1007/s00382-009-0718-1
- Yang, Y., Sun, H., Wang, J., Zhang, W., Zhao, G., Wang, W., Cheng, L., Chen, L., Qin, H., and Cai, Zh.**, Global ocean surface heat fluxes derived from the maximum entropy production framework accounting for ocean heat storage and Bowen ratio adjustments, *Earth System Science Data*, 2025, vol. 17, no. 3, pp. 1191–1216. doi 10.5194/essd-17-1191-2025
- Schlitzer, R.**, *Ocean Data View*, <https://odv.awi.de>, 2025.
<https://www.psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>. Cited July, 24, 2025.
<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html>. Cited July, 24, 2025.

Поступила в редакцию 12.08.2025 г.

После доработки 5.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 12.08.2025; approved after reviewing 5.11.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

**АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE**

Научная статья

УДК 639.371:597.551.4**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-737-753****EDN: NSLKVL****РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕГОЛЕТОК АМУРСКОГО СОМА
PARASILURUS ASOTUS (LINNAEUS, 1758)
В УСЛОВИЯХ ТЕПЛОВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА****Е.И. Рачек, Д.Ю. Амвросов***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Приведены данные по размерно-половому составу маточного стада амурского сома, проведению его нереста и выращиванию молоди до возраста сеголетки в условиях полносистемного тепловодного хозяйства комбинированным методом в бассейне, пруду и садках с применением живых и искусственных гранулированных кормов. Для нереста отобраны две самки массой 1,95 и 3,10 кг и один самец массой 1,20 кг. Для стимуляции созревания производителей использован гипофиз карповых рыб. Получено 300 г икры с массой ненабухших икринок 3,3–3,5 мг. Выупление личинок зафиксировано через 69 ч после осеменения икринок. На 13-е сутки после перехода личинок на активное питание средняя масса молоди увеличилась до 0,3 г, а после 2 мес. содержания в пруду — до 112 г. Через 1,5 мес. выращивания в садках сеголеток она составила 220 г — от 30 до 590 г. Отмечены каннибализм и агрессивное поведение амурских сомов при выращивании в бассейне и садках.

Ключевые слова: амурский сом, производители, нерест, молодь, сеголетки, бассейн, пруд, садки, выращивание, каннибализм

Для цитирования: Рачек Е.И., Амвросов Д.Ю. Результаты выращивания сеголеток амурского сома *Parasilurus asotus* (Linnaeus, 1758) в условиях тепловодного хозяйства // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 737–753. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-737-753. EDN: NSLKVL.

Original article

Results on rearing of fingerlings of amur catfish *Parasilurus asotus* (Linnaeus, 1758) in conditions of warm-water farm**Evgeny I. Rachek*, Dmitry Yu. Amvrosov****

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

* Ph.D., leading researcher, evgenii.rachek@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2985-894X** Ph.D., head of station, dmitrii.amvrosov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0005-2095-8835

* Рачек Евгений Иванович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, evgenii.rachek@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2985-894X; Амвросов Дмитрий Юрьевич, кандидат биологических наук, начальник рыболовной станции, dmitrii.amvrosov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0005-2095-8835.

© Рачек Е.И., Амвросов Д.Ю., 2025

Abstract. Data on size and sex composition are presented for broodstock of amur catfish, their spawning and the progeny rearing in a full-system warm-water farm are described. The juveniles were reared successively in the water tank, pond, and cages, and fed with alive and artificial granulated feeds. Two females weighing 1.95 and 3.10 kg and one male weighing 1.20 kg were selected for the spawning, their maturation was stimulated with extract of pituitary gland of carp. The females yielded 300 g of eggs with an unswollen egg weight of 3.3–3.5 mg. The eggs were dry inseminated and distributed throughout the artificial spawning grounds. The larvae hatched 69 hours after the onset of egg cleavage. Within 13 days after the larvae began active feeding, the weight of juveniles increased to 0.3 g, then they continued to grow in the pond where reached the mean weight of 112 g in two months, and further after 1.5 month of growing in the cages the weight of fingerlings increased on average to 220 g, with a wide range from 30 to 590 g. Cannibalism and aggressive behavior of juveniles were observed when they were reared in the tank and cages.

Keywords: amur catfish, spawner, spawning, juvenile, fingerling, water tank, pond, cage, fish cultivation, cannibalism

For citation: Rachek E.I., Amvrosov D.Yu. Results on rearing of fingerlings of amur catfish *Parasilurus asotus* (Linnaeus, 1758) in conditions of warm-water farm, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 737–753. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-737-753. EDN: NSLKVL.

Введение

Рыбы семейства сомообразных Siluridae широко распространены по всему миру и обитают на всех континентах, кроме Антарктиды. По данным последних лет всего насчитывается 3781 вид сомов. Каждый двадцатый вид позвоночных и десятый вид рыбы — это сомы, причем около 1600 видов живут в реках и озерах Южной Америки. Далее по численности видов следуют Африка и Юго-Восточная Азия. Около 30 видов сомов обитают в Северной Америке. Наименьшее количество приходится на Европу. Сомы живут в горных ручьях, малых и больших реках, озерах, подземных водоемах, в солоноватых водах. Держатся они в основном на дне и в придонных слоях воды. Тело сомов голое или покрыто костными щитками. По типу питания большинство из них хищники или бентофаги [Никольский, 1971; Nelson et al., 2016; Взлет и рост..., 2021*].

Из огромного многообразия сомовых рыб несколько сотен видов используются для товарного выращивания или содержатся в аквариумах. Десятки видов сомовых рыб массово культивируют на всех континентах, используя для этого отгороженные участки водоемов, пруды, бассейны и садки. Общие объемы их выращивания в аквакультурных хозяйствах различных стран достигли 6 млн т. Рыбы семейства сомообразных в последние годы вышли на второе место в мире по объемам выращивания после карповых рыб, обогнав тилапий. Наибольший вклад в мировую аквакультуру сомовых вносят пангасиусы из Юго-Восточной Азии, клариевые сомы из африканских стран и канальные сомы из Северной Америки**.

В России рыб семейства сомообразных выращивают в небольших объемах, причем для этого используют не местные виды, а завезенных из США канального сома *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818) и африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822).

Большинство канальных сомов в России содержат в садках тепловодных хозяйств при рыбопродуктивности 80–120 кг/м² и навеске двухлеток 400–500 г. В 2023 г. в таких хозяйствах вырастили 1957 т товарных канальных сомов***.

Клариевый сом впервые был завезен в Россию с целью промышленного выращивания в 1994 г. В настоящее время в России действуют около 10 крупных предприятий

* Взлет и рост мировой культуры сома. <http://www.agro-matik.ru>. 3 ноября 2021 г.

** Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. На пути к «голубой» трансформации. Рим: ФАО, 2022. 236 с.

*** Статистические сведения по рыбной промышленности России. М.: ВНИРО, 2024. 84 с.

и большое количество предприятий фермерского типа по товарному выращиванию клариевого сома в установках замкнутого водообеспечения с общей мощностью более 1,5 тыс. т в год [Власов, 2009; Завьялов и др., 2010; Калайда и др., 2020; Российский рынок..., 2022*].

Большинство предприятий по культивированию сомов располагается в Краснодарском крае, Московской и Ленинградской областях России.

В природных водоемах России встречаются три вида сомов. В европейской части РФ обитает европейский сом *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758), его промысел ведется в дельте Волги и Каспии (в количестве около 6 тыс. т**). Объемы выращивания европейского сома в условиях аквакультуры незначительны и в статистических сведениях не учитываются. Обычно его подсаживают в пруды в качестве хищника — биологического мелиоратора, уничтожающего мелких малоценных рыб.

В бассейне р. Амур обитают два вида сомов. Первый вид — это крупный и более редкий сом Солдатова *Silurus soldatovi* Nikolsky et Soin, 1948, близкий родственник европейского сома. Второй вид — амурский, или дальневосточный, сом *Parasilurus asotus* (Linnaeus, 1758). Существует незначительный промысел амурских сомов. По данным специалистов Хабаровского и Тихоокеанского филиалов ВНИРО ежегодный вылов обоих видов в бассейне Амура, р. Усури и оз. Ханка в последнее десятилетие составляет около 50 т.

Оба вида амурских сомов выращивают в аквакультурных хозяйствах Китая, Республики Корея, Японии и странах Юго-Восточной Азии. В Китае общие объемы культивирования амурских сомов в 2024 г. достигли 326 тыс. т, в основном его содержат в прудовых хозяйствах. В северных приграничных с Россией провинциях страны объем выращивания составляет 4,5 тыс. т обоих видов с преобладанием амурского сома. В Республике Корея амурского сома в объеме 3,88 тыс. т разводят в 146 фермерских хозяйствах, он стоит на втором месте по объемам культивирования после угря [Kim et al., 2023].

Амурский сом по размерам значительно меньше сома Солдатова. Средний размер рыб в уловах 1,5–2,0 кг. Максимальная масса амурского сома в оз. Ханка достигает 17 кг, а возраст 20 лет. В первые три года жизни наблюдается наиболее высокий темп роста этого вида. Созревают амурские сомы в возрасте от 3+ до 4+ при длине более 35 см и ежегодно нерестятся в начале лета при температуре воды 16–18 °С и выше. В отличие от европейских сомов, самцы которых охраняют кладку икры, амурские сомы разбрасывают икру среди затопленных кочек на прошлогодней и новой растительности на площади диаметром 8–10 м и не охраняют. Икра амурского сома зеленоватого цвета, слабосклеивающаяся, со вторичной студенистой оболочкой. Диаметр набухших икринок с оболочкой составляет около 4 мм [Соин, 1947; Кучеренко, 1988; Новиков и др., 2002; Горяинов и др., 2014; Рыбы Амура, 2019].

В начале 90-х гг. прошлого века в условиях тепловодного хозяйства Приморья проводили два опыта по выращиванию сеголеток и двухлеток амурского сома. Использовали молодь сома, отловленную в отшнуровавшихся пересыхающих водоемах на островах р. Бикин и полученную от естественного нереста. Двухлетки сома вырастали до 400–640 г [Рачек, 2000].

Выявили, что амурский сом хорошо растет при температурах более 25 °С и высоких плотностях посадки, потребляя рыбу, влажные корма и сухие гранулированные кормосмеси. В итоге было предложено использовать этот аборигенный вид в качестве дополнительного объекта культивирования в рыбоводных хозяйствах России.

Однако до настоящего времени технологической документации и биотехнических нормативов по выращиванию амурского сома в России не существует. В связи с этим данная разработка актуальна и может быть востребована в прудовых и тепловодных

* Российский рынок африканского (клариевого) сома и продукции из него. Маркетинговое исследование. СПб.: ГК «Агриконсалт», 2022.

** Статистические сведения..., 2024.

хозяйствах РФ, расширяя спектр отечественных видов рыб, перспективных для аквакультуры.

За два последних года на Лучегорской рыбоводной НИС Тихоокеанского филиала ВНИРО в Приморском крае сформировали маточное стадо амурского сома. В предлагаемой работе приведены результаты проведенного в 2025 г. эксперимента по выращиванию его потомства до сеголеток комбинированным методом в бассейне, тепловодном мальковом пруду и садках.

Материалы и методы

Объектом исследований являлся амурский сом *P. asotus* разного возраста. Материалом для исследований служили производители, икра, личинки, молодь и сеголетки. Работу проводили в 2025 г. на рыбоводной научно-исследовательской станции ТИНРО, расположенной на территории Приморской ГРЭС в пос. Лучегорск на севере Приморского края.

В состав станции входят понтонная линия ЛМ-4 со 128 типовыми садками площадью 10 м² каждый, установленная в водоподводящем канале электростанции, инкубационно-выростной комплекс (ИВК) с бассейнами и тепловодные мальковые пруды площадью от 0,2 до 0,7 га.

В нерестовой кампании 2025 г., проведенной 10–15 июня, использовали 3 самок и 1 самца амурского сома, содержащихся в садках. Для стимуляции нереста всем самцам и самкам однократно ввели по 4,5 мг/кг ацетонированного карпового гипофиза. Икру получали методом сцеживания. Ее взвешивали, определяли среднюю массу икринок, рассчитывали рабочую и относительную плодовитость и оосоматический индекс самок. Для осеменения икры использовали смесь спермы и продавленного через капроновое сито семенника от вскрытого самца амурского сома. Инкубация икры проходила на искусственном нерестилище из полипропиленовых нитей, установленном в проточном бассейне удлиненной формы размером 3,6 x 0,7 x 0,65 м площадью 2,52 м². После вылупления личинок нерестилище убрали и дальнейшее подращивание личинок и молоди провели в этом же бассейне. С целью профилактики с 21 июня в бассейн с объемом воды 0,5 м³ начали вносить лечебно-профилактический препарат «Антибак-500» дозой 30 г с полной остановкой протока на 1 ч (60 мг/л). За период подращивания личинок и молоди обработку повторяли еще 5 раз.

Через 2 нед после вылупления подрощенную молодь перевезли в мальковый пруд площадью 0,2 га со средней глубиной 1,3 м. Пруд заливали и подпитывали водой из водоема-охладителя электростанции. В нем установили постоянно работающий аэратор. Рыбу в пруду подращивали совместно с молодью сазано-карповых гибридов, цветных карпов и белых амуров, посаженными в него личинками в качестве кормовой рыбы. С 16 июля по 14 августа один раз в двое-трое суток по несколько десятков сомов из пруда отлавливали ловушками и пересаживали в отдельный садок на понтонной линии.

В середине августа всех отловленных сомов рассортировали на две размерные группы — крупно- и среднеразмерные — и рассадили по двум садкам. Мелкие особи также находились в группе среднеразмерных рыб. В середине третьей декады августа пруд слили, оставшихся сомов перевезли в бассейны ИВК, где рассортировали на три размерные группы. Крупных и среднеразмерных сеголеток добавили в садки с ранее отсаженными сомами близкого размера. Самых мелких отсортированных особей пересадили в один из силосов ИВК объемом 1,2 м³ на подращивание.

Затем во второй декаде октябре всех сомов из садков и силоса вновь рассортировали на три размерные группы — мелко-, средне- и крупноразмерные.

Производителей амурского сома кормили живой малоценной рыбой, отловленной вблизи понтонной линии ловушками. В основном это горчак колючий *Acanthorhodeus asmusii* и востробрюшка корейская *Hemiculter leucisculus*. Для кормления личинок и молоди в бассейнах использовали живую артемию, мороженый мотыль, личинок са-

зана и крупку модифицированного стартового корма Ст-07, изготовленного в ТИНРО. Кормление происходило от 3 до 5 раз в сутки.

Для кормления молоди сомов и карповых рыб в пруду использовали модифицированную рецептуру осетрового стартового корма СТ-07 в виде крупки от 0,4 до 1,0 мм и гранул диаметром 2,5 мм при кратности кормления 2–3 раза в сутки. В садках для кормления сеголеток применяли производственный гранулированный корм производства Далькорм и ТИНРО диаметром 3,5 и 4,5 мм. В обеих рецептурах содержание протеина составляло 48–49 %.

Во время осенней и весенней бонитировок у производителей измеряли длины тела АВ и AD, высоту и обхват с точностью до 2 мм и массу с точностью 50 г на электронных весах марки GAS. Упитанность рыб рассчитывали на основе длины AD от кончика рыла до начала лучей хвостового плавника по Фультону ($P \cdot 100/AD^3$). Личинок и молодь сомов измеряли с точностью до 1 мм и взвешивали на ювелирных весах с точностью до 10 мг, сеголеток — на электронных весах с точностью 1 г [Правдин, 1966]. Для определения размерно-массовых характеристик сеголеток различных размерных групп из садков методом случайной выборки отлавливали по 50 особей. Определяли выживаемость рыбы на этапах выращивания и кормовые затраты на прирост рыбы за этот период. Во время эксперимента за температурой воды следили ртутными и электронными термометрами, содержание кислорода определяли при помощи термооксиметра HANNA INSTRUMENT. Гидрохимический состав воды в пруду контролировали при помощи набора НИЛПА.

Статистическую обработку данных контрольных взвешиваний и бонитировок выполняли с применением пакета прикладных программ Excel.

Результаты и их обсуждение

Данные по формированию и размерно-половому составу маточного стада амурского сома

Осенью 2024 г. маточное стадо амурских сомов Лучегорской НИС было представлено 8 самками массой от 1,9 до 4,7 кг и одним самцом массой 2,25 кг. Приводим данные измерений производителей маточного стада в конце вегетационного периода 2024 г. (табл. 1).

Размерно-массовые показатели производителей амурского сома осенью 2024 г.

Table 1

Size and weight parameters of amur catfish in autumn 2024

Показатель	AB, см	AD, см	Высота, см	Обхват, см	Масса, кг	Кэфф. упитанности
Самки (8 экз.)						
M ± m	74,6 ± 2,4	69,5 ± 2,3	10,8 ± 0,4	32,6 ± 2,0	2,85 ± 0,29	0,83 ± 0,02
Lim	66,0–90,0	61,2–84,8	8,8–12,5	26,7–43,3	1,9–4,7	0,74–0,96
Cv	9,8	10,0	11,4	18,3	31,0	7,8
Самцы (1 экз.)						
M ± m	65,9	61,0	10,6	28,8	2,25	0,99

Производители провели зимовку в общем садке при температуре от 1,5 до 12,0 °С. Выживаемость к весне 2025 г. составила 100 %, средняя масса особей за период зимовки возросла на 112 г за счет потребления кормовой рыбы, а упитанность несколько снизилась.

В апреле-мае 2025 г. формирование маточного стада продолжили. В него добавили еще 9 завезенных особей, причем 5 из них были определены как самцы. В третьей декаде мая 2025 г. провели весеннюю бонитировку производителей маточного стада, во время которой определили размерно-массовые характеристики сомов, уточнили их пол и готовность к участию в нерестовой кампании.

Выявлено, что из 5 рыб, идентифицированных как самцы, 4 особи в действительности являются самками. Среди производителей оказалось 16 самок и 2 самца амурского сома. Таким образом, перед нерестовой кампанией самок в маточном стаде было в 8 раз больше, чем самцов. Значительное преобладание самок над самцами по численности в естественных популяциях амурского сома отмечали и некоторые зарубежные исследователи [Machata, 2007].

Весной у сомов небольшого размера массой около 1 кг очень высока вероятность определения самки как самца. По экстерьеру оба пола очень близки. Незрелые рыбы имеют бледные и небольшие половые сосочки. Ближе к нересту в конце мая половой сосочек самки увеличивается и выглядит значительно более крупным и широким, чем у самца, и имеет округлое половое отверстие, приобретая розовато-фиолетовый цвет. У самца половой сосочек ближе к треугольной форме, а половое отверстие щелевидное.

Средняя масса самок по сравнению с осенними данными уменьшилась за счет добавления в стадо нескольких небольших самок. Масса перезимовавшего самца возросла на 100 г. Новый самец имел небольшие размеры 1,2 кг. У сомов наблюдался половой диморфизм по массе тела и линейным размерам. Самцы были меньше самок, но имели более высокую упитанность.

В табл. 2 приведены данные измерений производителей амурских сомов во время весенней бонитировки в конце второй декады мая 2025 г.

Таблица 2

Размерные показатели производителей амурского сома из садков Лучегорской НИС

Table 2

Size parameters of amur catfish in the cages of the Luchegorsk Research Station selected for spawning

Показатель	AB, см	AD, см	Высота, см	Обхват, см	Масса, кг	Козфф. упитанности
<i>Самки (16 экз.)</i>						
M ± m	67,1 ± 2,8	62,5 ± 2,8	10,80 ± 0,23	30,50 ± 1,18	2,31 ± 0,24	0,93 ± 0,05
Lim	49,2–89,0	45,0–84,4	8,8–12,5	23,5–38,0	0,9–4,5	0,69–1,24
Cv, %	17,0	17,8	8,7	15,5	41,4	18,8
<i>Самцы (2 экз.)</i>						
M ± m	59,0 ± 7,0	55,2 ± 7,2	9,30 ± 1,25	26,20 ± 0,15	1,78 ± 0,58	1,03 ± 0,06
Lim	52,0–66,0	48,0–62,4	8,0–10,5	26,0–26,3	1,20–2,35	0,97–1,09
Cv, %	16,8	18,4	19,1	0,8	45,8	8,1

Было установлено, что рыба еще не готова к нересту из-за низкой температуры воды в садках, вызванной сильными ливневыми дождями. Проба икры, взятая у самок прижизненным биопсийным методом, показала, что она еще недозревшая и находится на стадиях развития III и III–IV. Средняя масса икринок составила 2,8 мг.

Проведение нерестовой кампании и подращивание молоди амурского сома в ИБК

Нерестовую кампанию сомов провели в конце первой декады июня 2025 г. при температуре воды 22–23 °С. Для участия отобрали 3 самок и 2 самцов. Икру от двух самок получили 11 июня 2025 г. через 26,5 ч после однократной инъекции производителей карповым гипофизом. Значительная часть недозревшей икры осталось в полости тела самок. У третьей самки оказалась более крупная жидкая резорбировавшая икра, которую для осеменения не использовали.

Сперму от самцов путем сцеживания получить не удалось, поэтому лучший самец был вскрыт, из семенников выдавили небольшое количество спермы в объеме 0,5–0,7 мл. Затем семенники протерли и процедили через мелкое капроновое сито. Смесью небольшого количества спермы и ткани семенника произвели осеменение смеси икры от обеих самок (рис. 1).



Рис. 1. Получение половых продуктов от производителей амурского сома: **а** — сцеживание икры; **б** — зрелый семенник с небольшим количеством спермы; **в** — осеменение икры

Fig. 1. Obtaining sexual products from the spawners of amur catfish: **а** — squeezing out the eggs; **б** — mature testis with a small amount of sperm; **в** — insemination of the eggs

По литературным данным известно, что существуют трудности при попытках сцеживания спермы от большинства видов сомов. При нересте европейских и африканских сомов часто получают сперму от вскрытых самцов [Стеффенс, 1985; Козлов, 1998; Калайда и др., 2020]. Такую же методику получения спермы от самцов амурского сома применяют и в прудовых хозяйствах КНР. Наши данные по нерестовой кампании сомов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Производственные показатели самок амурского сома, участвующих в нерестовой кампании 2025 г.
Table 3

Production indices of the amur catfish females spawned in the 2025

Масса самки, кг	Масса самца, кг	Масса икры, г	Масса икринки, мг	Рабочая плодовитость, тыс. икр.	Оосоматический индекс, %
3,01	1,6	154	3,27	47	5,1
1,95		148	3,51	42	7,6
4,40*		218	3,70	59	5,0

* Для осеменения не использовали.

Часть икры у самок оказалась недозревшей и была сцежена в неполном объеме. В связи с этим масса икры, рабочая плодовитость и оосоматический индекс были довольно низкими. Количество развивающихся эмбрионов в начальный период инкубации было также невысоким, на уровне 14 %. Мы считаем, что на это повлияло низкое качество икры и способ осеменения с небольшим количеством спермы.

Инкубация икринок проходила в приклеенном состоянии на нитях искусственного нерестилища и на дне бассейна. Через 1,5 ч после осеменения у икринок овальной

формы появилась большая студенистая оболочка. Диаметр самих икринок составлял 1,2 мм, вместе со студенистой оболочкой 3,5 мм. Через 2 ч икринки находились на стадии дробления зародышевого диска на 16 бластомеров, через 3,5 ч отмечено начало мелкоклеточной морулы. Эмбрионы в диапазоне температур 21,7–23,4 °С развивались очень быстро. Через 1 сут после начала дробления икринок они начали двигаться. Через 2 сут инкубации эмбрионы вполне сформировались. Они активно вращались внутри икринки, на хвостовой части тела хорошо просматривались миомеры, а на голове зачатки усов (рис. 2).

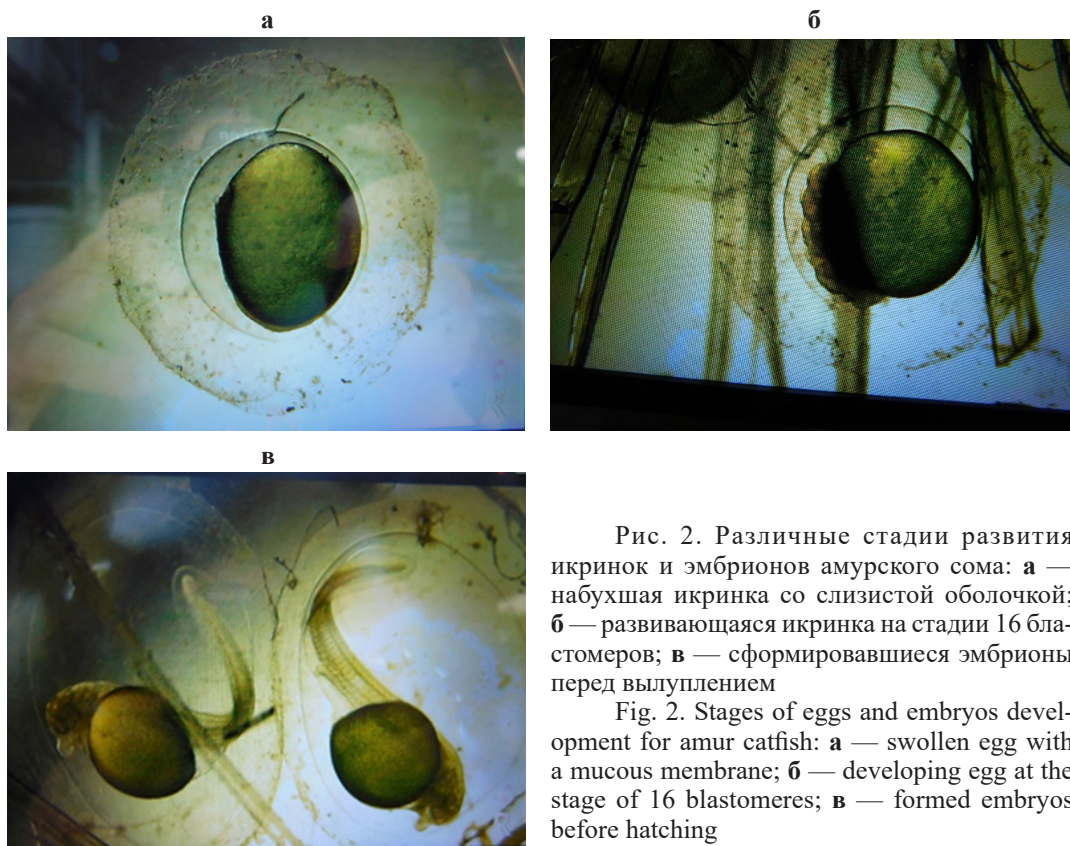


Рис. 2. Различные стадии развития икринок и эмбрионов амурского сома: **а** — набухшая икринка со слизистой оболочкой; **б** — развивающаяся икринка на стадии 16 бластомеров; **в** — сформировавшиеся эмбрионы перед вылуплением

Fig. 2. Stages of eggs and embryos development for amur catfish: **a** — swollen egg with a mucous membrane; **б** — developing egg at the stage of 16 blastomeres; **в** — formed embryos before hatching

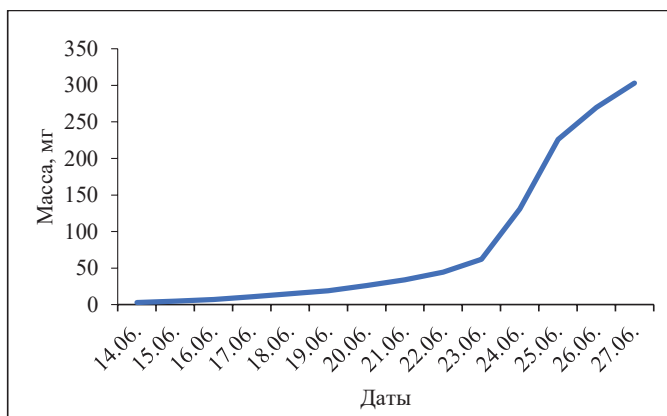
Вылупление первых личинок началось 15 июня, через 69 ч (1610 градусо-часов) от начала осеменения икринок. Личинки поднимались к поверхности и прикреплялись на стенках бассейна по урезу воды. Через 1 сут нерестилища убрали, провели первую чистку бассейна, а его затенили пластиковыми листами. Некоторые личинки в это время уже начали плавать. Через 3 сут после вылупления (1450 градусо-часов) все личинки уже плавали и питались науплиями артемии. Несмотря на обилие живого корма, отмечена значительная разница в размерах молоди сомов и случаи каннибализма. По мере роста личинок им постепенно вводили в рацион крупку стартового корма разных размеров, несколько раз предлагали по 40–50 г живых личинок сазана массой 5–7 мг. С 23 июня сомы начали дополнительно получать мороженный мотыль среднего размера.

Личинки и молодь активно потребляли живую артемию и стартовый корм, за час выедали кормовых личинок сазана. Но самым привлекательным кормовым объектом для них оказался размороженный мотыль. Наиболее высокий темп роста молоди сома наблюдался при массе более 60 мг и использовании преимущественно живых кормов (рис. 3).

Провести сортировку молоди по размерам не представлялось возможным. Бассейн находился на прямоточном водоснабжении, и в него ежедневно поступало с мутной водой и отлагалось на дне и стенках в виде осадка много взвесей из охладителя. В

Рис. 3. Динамика роста личинок и молоди амурского сома в бассейне

Fig. 3. Growth dynamics for larvae and juveniles of amur catfish in the water tank



смеси осадка, экскрементов и остатков корма сомы быстро прятались при попытках облова, обнаружить и отловить их без травмирования было достаточно трудно. Характерно, что у личинок и молоди не наблюдалось сильного отрицательного фототаксиса на освещение, который проявляется у европейского сома и весьма удобен при чистке бассейнов. Часть мелких сомов попадали в шланги при чистке лотка вместе с осадком, где травмировались и затем погибали.

На 13-е сут после начала активного питания личинок было принято решение о переводе сомов из бассейна в мальковый пруд для дальнейшего выращивания. В опыте по выращиванию амурского сома в Малайзии при температуре около 27 °С его личинки превратились в мальков через 12 сут после вылупления при длине $34,1 \pm 0,9$ мм [Nawang et al., 2020]. Длина молоди в конце нашего опыта через 15 сут после вылупления и культивирования в диапазоне температур 23,1–26,7 °С составила $36,5 \pm 1,1$ мм при варьировании от 18 до 55 мм, масса молоди — 303 ± 35 мг при колебаниях от 80 до 980 мг с преобладанием небольших рыб. Распределение молоди по размерным группам было следующим: 80–270 мг — 66 %, 320–510 мг — 27, 950–980 мг — 7 % (рис. 4).

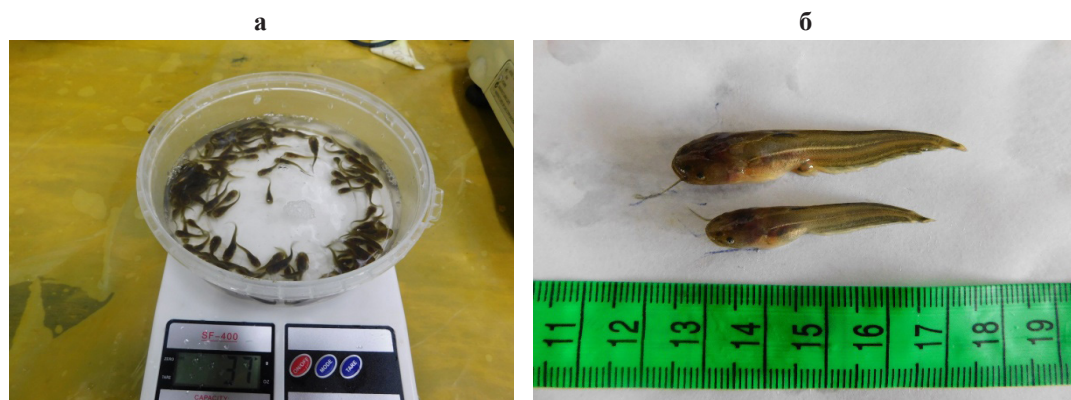


Рис. 4. Контрольное взвешивание молоди сома (а) и молодь сома через 15 сут после вылупления (б)

Fig. 4. Weighing juveniles of amur catfish (а) and appearance of juvenile catfish in 15 days after hatching (б)

Зарегистрированный отход личинок и молоди за период подращивания в бассейне составил 265 экз. Остальной отход произошел вследствие каннибализма и гибели мелких личинок после чистки бассейна. Результаты инкубации икры и подращивания молоди амурского сома в бассейне: общее количество икринок — 89000 шт.; количество развившихся икринок — 12640 шт., или 14,2 %; выход

личинки от развившихся икринок — 4890 шт., или 39,3 %; выход молоди от личинок — 2070 шт., или 42,3 %.

Анализируя данные, можно сделать вывод, что на этапах развития эмбрионов и подращивания гибель сомов была довольно высокой, выживаемость приближалась к 40 %. Отхода сомов от заболеваний не зарегистрировано. Мы считаем, что многократная профилактическая обработка рыбы в лотке препаратом «Антибак-500» помогла предотвратить бактериальные заболевания личинок и молоди.

При общей начальной массе личинок 24 г конечная масса молоди — 625 г, общий прирост массы — 601 г. Общие затраты стартовых искусственных (300 г) и живых (1340 г) кормов (общее количество — 1640 г) с преобладанием мотыля на этапе подращивания составили 2,7 г/г прироста.

Выращивание сеголеток амурского сома в мальковом пруду и садках

Зарыбление пруда № 1 площадью 0,2 га произвели 25 июня 2025 г. Всего в него выпустили 325 тыс. кормовых личинок беспородных карпов и белого амура массой по 2–3 мг в соотношении 12 : 1. Молодь амурского сома в количестве 2000 шт. завезли в пруд вечером 27 июня. Кормление рыбы в пруду началось через 5 дней — с 3 июля 2025 г.

Первых сомов длиной 7–10 см отметили на кормушках 5 июля. Вместе с ними на кормушках находились и кормились карпы длиной 2–3 см. Через неделю карпы на кормушках больше не появлялись. Сеголетки сома питались не только искусственным кормом. За два месяца опыта они съели всех головастиков, лягушек, личинок хищных насекомых и большинство кормовой рыбы.

Лето 2025 г. было очень жарким, температура воды на всех горизонтах пруда держалась в диапазоне 25,8–27,2 °С и была благоприятной для роста рыбы. Большинство гидрохимических показателей находились в пределах допустимых значений. В связи с наличием большого слоя разлагающегося ила и отмирающих растений содержание кислорода в пруду за 2 мес. опыта снизилось с 6,1 до 4,6 мг/л, а содержание аммония возросло с 0,4 до 1,0 мг/л (табл. 4).

Таблица 4

Гидрохимические показатели пруда с сеголетками амурского сома 25 августа 2025 г., мг/л

Table 4

Chemical conditions for pond with amur catfish fingerlings on August 25, 2025, mg/l

Показатель	NH ₃	NO ₂	NO ₃	pH	CO ₂	O ₂	PO ₄
Концентрация	1,0	0,07	2,0	7,2	14,0	4,6	0,25
ПДК*	1,0	0,2	3,0	7–8	30,0	До 4,9	0,5

* Допустимые нормативные значения качества воды в карповых прудах.

Снижение концентрации кислорода не отразилось на росте сомов. Наиболее интенсивно хищники росли в течение первых 20 сут содержания в пруду, когда их масса возросла до 40 г. За 2 мес. выращивания средняя масса сомов увеличилась с 0,3 до 112 г и варьировала в пределах от 20 до 290 г. В общей сложности ловушками и при спуске пруда выловили 1575 сеголеток сома общей массой 176 кг со средней навеской 112 г. После сортировки рыба распределилась по трем группам в зависимости от массы тела — крупно-, средне- и мелкоразмерные (табл. 5).

Соотношение размерных групп по сравнению с таковым при зарыблении пруда изменилось. Возросла численность средне- и крупноразмерных особей, но преобладали по-прежнему мелкоразмерные рыбы.

Кроме сомов, из пруда выловили 120 кг очень крупных сеголеток карпов и белого амура массой от 80 до 150 г в количестве 1200 шт., что составило 0,37 % от посадки личинок этих рыб. Скорее всего, сомы не смогли их уничтожить из-за больших размеров. Общие кормовые затраты на выращивание сомов и карповых рыб в пруду оказались

Таблица 5

Масса и соотношение трех размерных групп сеголеток сомов при вылове из пруда

Table 5

Weight and size groups of amur catfish fingerlings caught from the pond

Размерная группа	Показатель	Длина АВ, см	Масса, г	Соотношение групп, %	
				При посадке	При облове
Крупноразмерная	$M \pm m$	$30,6 \pm 0,4$	$177,2 \pm 6,6$	7	17
	Lim	26,1–35,7	110–290		
	Cv, %	6,6	20,3		
Среднеразмерная	$M \pm m$	$26,6 \pm 0,3$	$108,9 \pm 3,8$	27	35
	Lim	23,4–29,4	72–150		
	Cv, %	6,4	19,2		
Мелкоразмерная	$M \pm m$	$17,3 \pm 0,2$	$47,3 \pm 0,2$	66	48
	Lim	14,6–21,3	20–105		
	Cv, %	6,7	37,6		
Все размерные группы	$M \pm m$	$24,8 \pm 0,6$	$112,2 \pm 6,2$	100	100
	Lim	14,6–35,7	20–290		
	Cv, %	23,4	52,6		

невысокими — 1,2 кг/кг прироста. Рыбопродуктивность пруда составила 1415 кг/га, из нее по сомам — 815 кг/га, по карповым — 600 кг/га.

С конца августа сеголеток продолжили выращивать в садках. Большая разница в массе сеголеток внутри размерных групп, агрессивное поведение и каннибализм привели к необходимости еще двух сортировок сомов в середине сентября и в октябре перед зимовкой. Температура воды в садках за этот период снизилась с 27,7 до 11,7 °С. Средняя масса сеголеток к середине октября составила 220 г. Приводим данные по росту особей всех размерных групп амурских сомов в пруду и садках (рис. 5).

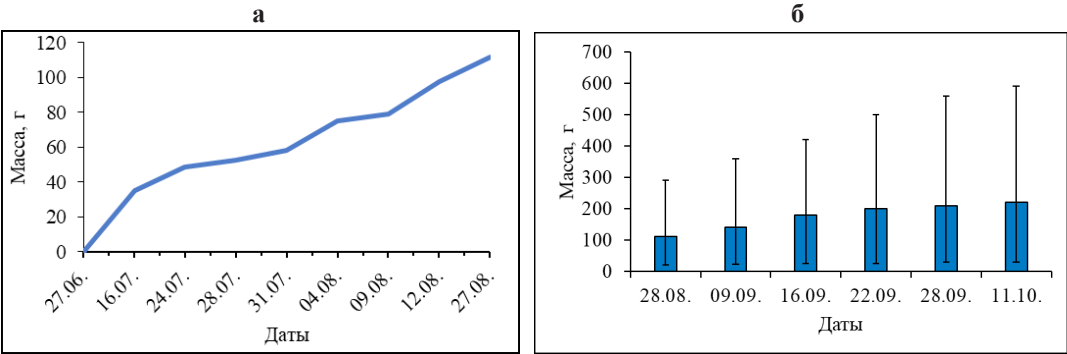


Рис. 5. Динамика роста молоди и сеголеток амурского сома в пруду (а) и садках (б)
Fig. 5. Growth dynamics for the juveniles of amur catfish in the pond (а) and cages (б)

При содержании в садках наибольший прирост оказался у группы крупных особей, которые кроме гранул дополнительно использовали в качестве кормовых объектов особей своего вида. Масса лидирующих особей за 1,5 мес. содержания в садках возросла на 103 % — с 290 до 590 г. Мелкие особи массой 20 г выросли до 30 г, увеличив массу тела на 50 %. Их упитанность была самой низкой. Общая совокупность сеголеток сома всех размерных групп по массе тела весьма неоднородна, так как коэффициент вариации значительно превышает 33 % (табл. 6).

Сравнивая распределение сомов по размерным группам после облова прудов и на конечном этапе эксперимента, можно отметить, что в садках число особей в группе мелкоразмерных сократилось на 8 %. Численность группы крупноразмерных, наоборот, возросла на 7 %. Соотношение среднеразмерных рыб осталось практически одинаковым (табл. 5, 6).

Таблица 6

Размеры и соотношение трех групп сеголеток сомов в конце эксперимента

Table 6

Sizes groups of amur catfish fingerlings at the end of experiment						
Размерная группа	Показатель	Длина АВ, см	Длина АД, см	Масса, г	Коэфф. упитанности	Соотношение, %
Крупноразмерная	M ± m	38,10 ± 0,45	35,60 ± 0,41	394 ± 14	0,88 ± 0,02	24
	Lim	32,4–43,0	30,1–40,5	270–594	0,68–1,20	
	Cv	6,5	6,3	19,8	14,2	
Среднеразмерная	M ± m	33,10 ± 0,41	30,50 ± 0,28	232 ± 9	0,81 ± 0,20	36
	Lim	29,4–39,1	27,5–33,8	168–386	0,65–1,09	
	Cv	6,9	5,1	20,5	11,6	
Мелкоразмерная	M ± m	25,80 ± 0,54	23,70 ± 0,51	99,9 ± 6	0,73 ± 0,03	40
	Lim	19,5–31,2	18,1–28,8	30–156	0,41–0,99	
	Cv	11,5	11,7	35,5	18,8	
Все размерные группы	M ± m	32,3 ± 0,6	29,90 ± 0,57	220 ± 14	0,80 ± 0,01	100
	Lim	19,5–43,0	18,1–40,5	30–594	0,41–1,20	
	Cv	17,6	18,0	55,1	16,5	

Особей модальной массы в трех размерных группах сеголеток насчитывалось от 40 до 48 %. Численность медленнорастущих сеголеток массой от 30 до 50 г среди группы мелкоразмерных рыб составила 10 %, или 4 % от общей численности рыб. Скорее всего, эти «затянутые» особи появились на первом этапе эксперимента из мелких неполноценных икринок и испытывали в дальнейшем сильную пищевую конкуренцию со стороны агрессивных сомов значительно бóльших размеров (рис. 6).

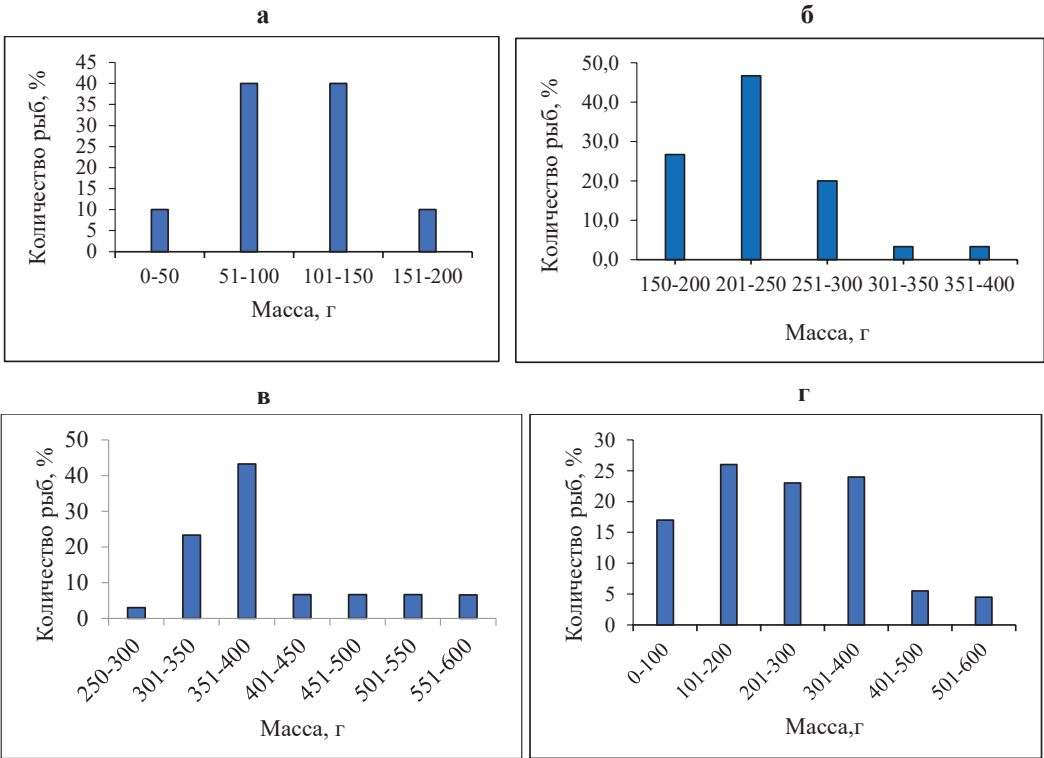


Рис. 6. Распределение сеголеток амурского сома по массе тела внутри различных размерных групп: а — мелкоразмерные; б — среднеразмерные; в — крупноразмерные; г — все группы

Fig. 6. Weight composition of amur catfish fingerlings within their size groups: а — small-sized group; б — medium-sized group; в — large-sized group; г — all fingerlings

Масса большинства сеголеток сомов находилась в диапазоне 100–400 г. Среди крупноразмерных рыб насчитывалось несколько десятков особей, масса которых к концу сезона приближалась к 600 г (рис. 7).

Рис. 7. Сеголетка амурского сома массой 590 г

Fig. 7. Amur catfish fingerling weighing 590 g



Большая разница в размерах амурских сомов сохраняется и в возрасте производителей. Ученые, наблюдавшие за их ростом в бассейнах в течение длительного времени, отмечали, что разница в размерах мелких и крупных производителей в возрасте 48 мес. бывает шестикратной у самцов и десятикратной у самок [Mohmin et al., 2022].

Крупные сомы во всех размерных группах отличались каннибализмом и агрессивным поведением. Кроме того что хищники уничтожили значительное количество мелких особей, они наносили увечья своим собратьям, откусывая у них усы, вырывая из тела куски мяса и нанося другие повреждения на голове и различных частях тела. Количество травмированных особей в середине октября 2025 г. составило 104 экз., или 8 % от общей численности сомов всех размерных групп. Большинство из травмированных сомов может погибнуть в период зимовки.

На наш взгляд, такое поведение сомов можно объяснить тем, что в течение 2 мес. они росли в пруду при низкой плотности посадки и потребляли в большом количестве живую рыбу. Перевод сомов в садки на искусственные корма при высокой плотности посадки вызвал сильный стресс у хищников, приведший к возрастанию кормовых затрат на прирост и сопровождающийся усилением агрессивного начала. Ученые из других стран также обращали внимание на повышенное агрессивное поведение амурского сома [Maehata, 2007; Nawang et al., 2020; Mohmin et al., 2022]. Для снижения агрессии и каннибализма они рекомендовали вводить в рацион сомов специализированные комбикорма, тщательно сортировать рыбу по размерам, повышать уровень кислорода в воде, увеличивать проточность, избегать лишнего стресса.

Еще одна неприятная особенность поведения сомов на заключительном этапе эксперимента заключалась в том, что они находили небольшие отверстия или порывы одной нити в ячеях дели садков, расширяли их, перетирая щетинковидными зубами, и уходили в водоем в большом количестве. Причем отверстие могло быть в два раза меньше ширины головы сомов. За две недели октября по этой причине пришлось два раза заменять садки со средне- и мелкоразмерными особями.

Нет гарантии, что такие эпизоды не повторятся.

Обобщая данные эксперимента, можно отметить следующее. За 117 сут выращивания амурских сомов с возраста личинки до сеголетки их масса возросла с 5 мг до 220 г. Минимальная выживаемость отмечена на этапе подращивания в бассейне. Самые низкие затраты корма на прирост зарегистрированы при совместном выращивании сомов в условиях поликультуры с карповыми рыбами, где хищники дополнительно использовали этих рыб в пищу и уничтожили большинство из них (табл. 7).

В опытах продолжительностью от 166 до 315 сут при выращивании амурских сомов в пруду в Республике Корея от молоди навеской 6,3–10,0 г удалось вырастить рыбу массой от 324 до 392 г [Kim et al., 2023]. В непроточной системе аквапоники за 151 сут амурские сомы увеличили массу с 2,8 до 171–235 г при выживаемости 65 % [Kim et al., 2019]. В нашем опыте сомы набирали массу значительно быстрее.

Основные рыбоводно-биологические характеристики амурского сома на различных этапах выращивания

Table 7

The main fish-breeding and biological characteristics of amur catfish at certain stages of rearing

Этап эксперимента	Длительность этапа, сут	Масса в начале этапа, г	Масса в конце этапа, г	Выживаемость, %	Затраты корма на прирост, кг/кг
Бассейновый	13	0,005	0,30 ± 0,04	42,3	1,7
Прудовый	60	0,303	112,0 ± 6,0	78,8	1,2
Садковый	44	112,0	220,0 ± 14,0	88,3	2,5

В соответствии с нормативами по выращиванию европейского сома, наиболее близкого по темпу роста с амурским сомом в садках, масса сеголеток при обычном режиме кормления должна составлять 30–50 г, при интенсивном режиме кормления — до 200 г и выживаемости в садках 90 % [Козлов, 1998]. Наши результаты близки к этим нормативам.

Заключение

Исследования, проведенные в условиях полносистемного тепловодного рыбоводного хозяйства, показали, что численность самок амурского сома в маточном стаде Лучегорской НИС многократно превышает численность самцов, как и в природных условиях.

Основной проблемой во время проведения нереста амурского сома в прошедшем сезоне являлась нехватка самцов и трудность получения от них качественных половых продуктов. Путем сцеживания получить сперму от самцов весьма сложно и их приходится вскрывать. Аналогичная проблема с получением спермы, вызывающая необходимость вскрытия самцов, существует у европейского сома и клариевых сомов.

Развитие эмбрионов амурского сома до вылупления при температуре 22–24 °С происходит в течение 3 сут. Еще через 3 сут личинки переходят на активное питание. При кормлении живыми и искусственными кормами в диапазоне температур 23–27 °С личинки за две недели превращаются в молодь массой 300 мг, предпочитая из всех типов кормов мотыля.

У личинок с первых дней активного питания проявляется каннибализм и наблюдается значительная разница в размерах, которая сохраняется и у сеголеток, несмотря на последующие сортировки при выращивании в садках. Существует двадцатикратная разница в массе мелких и крупных сеголеток. Средняя масса сеголеток в конце эксперимента общей продолжительностью 117 сут составила 220 г, что сопоставимо с нормативами по выращиванию европейского сома и превышает массу сеголеток сома при выращивании в некоторых азиатских странах. Отмечается высокий уровень каннибализма и агрессивное поведение крупных особей сома в садках после прудового этапа при переходе на сухие искусственные корма. Лидеры наносят серьезные травмы особям своего вида меньшего размера, зачастую приводящие к гибели последних. При содержании в садках сомы находят малейшую возможность ухода из них в водоем даже через небольшие отверстия, которые сами помогают расширять.

Для сокращения каннибализма сомов и разницы в размерах необходимо очень тщательно сортировать молодь массой 0,3–2,0 г на несколько размерных групп перед посадкой в пруды или при дальнейшем выращивании в бассейнах. Выращивание сеголеток в прудовых условиях в течение двух месяцев является слишком продолжительным периодом для сомов. За это время они уничтожают практически всех карповых рыб в водоеме, привыкают к хищническому образу жизни и затем долго адаптируются к искусственным кормам в садках и плохо их усваивают. Поэтому, если не имеется возможности продолжить выращивание молоди сомов в бассейнах, срок их подращивания в пруду не должен превышать одного месяца, а масса 20–40 г.

Выращивание амурских сомов в садках сопряжено с высоким риском повреждения садков и ухода рыбы в водоем. Поэтому для их содержания необходимо использовать очень прочные садки из латексированной дели. Однако лучшим вариантом, на наш взгляд, является выращивание сеголеток сомов в прудах или бассейнах, снабжаемых теплой водой.

Благодарности (ACKNOWLEDGMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке статьи к печати.

The authors are grateful to the reviewers for their valuable comments, which were taken into account when preparing the article for publication.

Финансирование работ (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования по прикладной теме 32.2.
The study was conducted within the framework of budgetary funding for the topic 32.2.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки на использованную в работе литературу оформлены в соответствии с правилами данного издания.

All applicable international, national, and/or institutional guidelines for animal use were followed. References are formatted according to the guidelines for the journal.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Е.И. Рачек — подготовка производителей, планирование и проведение нереста и экспериментов в бассейне и пруду, сбор, обработка и систематизация полученных данных, написание, редактирование и подготовка окончательного варианта статьи. Д.Ю. Амвросов — проведение нереста, планирование и проведение экспериментов в садках, сортировки, осенняя бонитировка, сбор, обработка и систематизация полученных данных.

E.I. Rachek — preparation of spawners, planning and conducting the spawning and the experiments in tank and pond, the data collecting, processing and systematization, the text writing, illustrating and editing. D.Yu. Amvrosov — planning and conducting the spawning and the experiments in cages, the juveniles sorting and autumn grading, the data collecting, processing and systematization.

Список литературы

Власов В.А. Рост и развитие африканского сома (*Claris gariepinus* Burchell) в зависимости от условий кормления и содержания // Изв. ТСХА. — 2009. — Вып. 3. — С. 148–156.

Горяинов А.А., Барабанщиков Е.И., Шаповалов М.Е. Рыбохозяйственный атлас озера Ханка. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 205 с.

Завьялов А.П., Власов В.А., Есавкин Ю.И. Рекомендации по воспроизводству и выращиванию клариевого сома с использованием установок с замкнутым циклом водообеспечения. — М. : Росинформагротех, 2010. — 48 с.

Калайда М.Л., Пиганов Е.С., Калайда А.А., Хамитова М.Ф. Клариевый сом *Clarias gariepinus* при задачах искусственного воспроизводства // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации : мат-лы 5-й Национ. науч.-практ. конф. — Саратов : Амирит, 2020. — С. 108–112.

Козлов В.И. Справочник фермера-рыбовода. — М. : ВНИРО, 1998. — 448 с.

Кучеренко С.П. Рыбы у себя дома : моногр. — Хабаровск : Кн. изд-во, 1988. — 352 с.

Никольский Г.В. Частная ихтиология : моногр. — М. : Высш. шк., 1971. — 472 с.

Новиков Н.П., Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Яковлев Ю.М. Рыбы Приморья : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2002. — 552 с.

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

Рачек Е.И. Амурский сом (*Parasilurus asotus*) в садках тепловодного хозяйства // Изв. ТИНРО. — 2000. — Т. 127. — С. 234–241.

Рыбы Амура : моногр. / А.Л. Антонов, Е.И. Барабанщиков, С.Ф. Золотухин и др. — Владивосток : Всемирный фонд охраны природы (WWF), 2019. — 318 с.

Соин С.Г. Об особенностях биологии размножения европейского и амурского сомов // ДАН СССР. — 1947. — Т. 57, № 6. — С. 629–632.

Стеффенс В. Индустриальные методы выращивания рыбы : моногр. : пер. с нем. / науч. ред. А. Канидеев. — М. : Агропромиздат, 1985. — 384 с.

Kim H., Park J., Choi B. Fish farm monitoring report for outdoor aquaculture of Far Eastern catfish *Silurus asotus* in Korea // Fish. Aquat. Sci. — 2023. — Vol. 26, № 11. — P. 660–668.

Kim S.R., Jang J.W., Kim B.J. et al. Urban aquaculture of catfish, *Silurus asotus*, using biofloc and aquaponics systems // Environ. Biol. Res. — 2019. — Vol. 37, № 4. — P. 545–553. DOI: 10.11626/KJEB.2019.37.4.545.

Maehata M. Reproductive ecology of the Far Eastern catfish, *Silurus asotus* (Siluridae), with a comparison to its two congeners in Lake Biwa, Japan // Environ. Biol. Fish. — 2007. — Vol. 78. — P. 135–146. DOI: 10.1007/s10641-006-9083-7.

Mohmin H.A., Faudzi N.M., Ching F.F., Senoo S. Length-weight relationship, relative condition factor, morphological and endoscopic assessments for sex differentiation of cultured Amur catfish, *Silurus asotus*, broodstock // AACL Bioflux. — 2022. — Vol. 15, Iss. 4. — P. 2078–2089. <http://www.bioflux.com.ro/aac>l.

Nawang S.M., Fui C.F., Senoo S. Biological development and growth of amur catfish, *Silurus asotus* reared under controlled tropical condition // Malays. Appl. Biol. — 2020. — Vol. 49(5). — P. 11–23. DOI: 10.55230/mabjournal.v49i5.1633.

Nelson J.S., Grande T.C., Wilson M.V.H. Fishes of the world. — Fifth edition. — Hoboken : John Wiley & Sons, 2016. — 707 p. DOI: 10.1002/9781119174844.

References

Vlasov, V.A., Growth and development of African catfish (*Claris gariepinus* Burchell) depending on feeding and maintenance conditions, *Izvestiya TSKhA*, 2009, no. 3, pp. 148–156.

Goryainov, A.A., Barabanshchikov, Ye.I., and Shapovalov, M.Ye., *Rybohozyajstvennyj atlas ozera Khanka* (Fishery Atlas of Lake Khanka), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.

Zavyalov, A.P., Vlasov, V.A., and Esavkin, Yu.I., *Rekomendatsii po vosproizvodstvu i vyrashchivaniyu klariyevogo soma s ispol'zovaniyem ustanovok s zamknutym tsiklom vodoobespecheniya* (Recommendations for the reproduction and cultivation of sharptooth catfish using closed-loop water supply systems), Moscow: Rosinformagrotekh, 2010.

Kalaida, M.L., Piganov, E.S., Kalaida, A.A., and Khamitova, M.F., *Clarias gariepinus* catfish in artificial reproduction, in *Mater. 5-y natsion. nauchno-prakt. konf. "Sostoyaniye i puti razvitiya akvakul'tury v Rossiyskoy Federatsii"* (Proc. 5th National. Sci. Pract. Conf. "Status and development of aquaculture in the Russian Federation"), Saratov: Amirit, 2020, pp. 108–112.

Kozlov, V.I., *Spravochnik fermer-a-rybovoda* (Handbook of a fish farmer), Moscow: VNIRO, 1998.

Kucherenko, S.P., *Ryby u sebya doma* (Pisces at home), Khabarovsk: Knizhnoye izdatel'stvo, 1988.

Nikolsky, G.V., *Chastnaya ikhtiologiya* (Private ichthyology), Moscow: Vysshaya Shkola, 1971.

Novikov, N.P., Sokolovsky, A.S., Sokolovskaya, T.G., and Yakovlev, Yu.M., *Ryby Primorya* (Fishes of Primorsky Krai), Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2002.

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

Rachek, E.I., Amur catfish (*Parasilurus asotus*) in warm-water farm cages, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2000, vol. 127, pp. 234–241.

Antonov, A.L., Barabanshchikov, E.I., Zolotukhin, S.F., Mikheev, I.E., and Shapovalov, M.E., *Ryby Amura* (Cupid fish), Vladivostok: Vsemirnyy fond okhrany prirody (WWF), 2019.

Soin, S.G., On the features of the reproduction biology of European and Amur catfish, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1947, vol. 57, no. 6, pp. 629–632.

Steffens, W., *Moderne Fischwirtschaft. Grundlagen und Praxis*, Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1979.

Kim, H., Park, J., and Choi, B., Fish farm monitoring report for outdoor aquaculture of Far Eastern catfish *Silurus asotus* in Korea, *Fish. Aquat. Sci.*, 2023, vol. 26, no. 11, pp. 660–668.

Kim, S.R., Jang, J.W., Kim, B.J., Jang, I.K., Lim, H.J., and Kim, S.K., Urban aquaculture of catfish, *Silurus asotus*, using biofloc and aquaponics systems, *Environ. Biol. Res.*, 2019, vol. 37, no. 4, pp. 545–553. doi 10.11626/KJEB.2019.37.4.545

Maehata, M., Reproductive ecology of the Far Eastern catfish, *Silurus asotus* (Siluridae), with a comparison to its two congeners in Lake Biwa, Japan, *Environ. Biol. Fish.*, 2007, vol. 78, pp. 135–146. doi 10.1007/s10641-006-9083-7

Mohmin, H.A., Faudzi, N.M., Ching, F.F., and Senoo, S., Length-weight relationship, relative condition factor, morphological and endoscopic assessments for sex differentiation of cultured Amur catfish, *Silurus asotus*, broodstock, *AACL Bioflux*, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 2078–2089. <http://www.bioflux.com.ro/aac1>

Nawang, S.M., Fui, C.F., and Senoo, S., Biological development and growth of amur catfish, *Silurus asotus* reared under controlled tropical condition, *Malays. Appl. Biol.*, 2020, vol. 49, no. 5, pp. 11–23. doi 10.55230/mabjournal.v49i5.1633

Nelson, J.S., *Fishes of the world*, 5th ed., Hoboken: John Wiley & Sons, 2016. doi 10.1002/9781119174844

The Rise and Growth of Global Catfish Culture. <http://www.agro-matik.ru>. November 3, 2021.

Sostoyaniye mirovogo rybolovstva i akvakul'tury — 2022. Na puti k "goluboy" transformatsii (The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards a Blue Transformation), Rim: FAO, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0461ru>.

Statisticheskiye svedeniya po rybnoy promyshlennosti Rossii (Statistical information on the fishing industry in Russia), Moscow: VNIRO, 2024.

Rossiyskiy rynek afrikanskogo (klariyevogo) soma i produktsii iz nego. Marketingovoye issledovaniye (The Russian market for African catfish and its products. Marketing research), St. Petersburg: GC "Agriconsult", 2022.

Поступила в редакцию 19.10.2025 г.

После доработки 2.12.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 19.10.2025; approved after reviewing 2.12.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

Научная статья

УДК 639.3.043.2

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-754-766

EDN: LEXDTA



ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА СТАРТОВЫХ КОРМОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДИ КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA*

Ю.Н. Кузнецов, Е.П. Караулова, А.Н. Баштовой, Г.Н. Тимчишина,
Т.Н. Слуцкая*

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

Аннотация. В результате сравнительных исследований состава экструдированных стартовых кормов, полученных из животного, растительного сырья и продуктов на основе микробиологического синтеза, установлено, что они содержат 19–32 % углеводов, 10–11 % липидов, 7–9 % минеральных веществ, 47–56 % белка при влажности 3–6 %. Водорастворимые белки кормовых добавок, применяемых в рецептурах кормов, содержат от 30 (гапсин) до 98 % (ферментолитат рыбный) биологически активных пептидов с молекулярной массой (ММ) 1–10 кДа. Исследование молекулярно-массового состава водорастворимой части белков комбикормов, используемых при кормлении кеты, показало, что количество пептидов с ММ 1–10 кДа зависит от вида кормовых добавок и составляет 18–56 % от водорастворимого белка. Наибольшая эффективность стартовых комбикормов, определяемая по конечной массе, выживаемости, абсолютному приросту мальков и кормовому коэффициенту, на Рязановском экспериментально-производственном рыбоводном заводе (РЭПРЗ) установлена для варианта с содержанием биологически активных пептидов около 56 %.

Ключевые слова: стартовые корма, мальки кеты, биологически активные пептиды, рыбоводные испытания, молекулярная масса

Для цитирования: Кузнецов Ю.Н., Караулова Е.П., Баштовой А.Н., Тимчишина Г.Н., Слуцкая Т.Н. Исследование состава стартовых кормов и эффективность их использования для выращивания молоди кеты *Oncorhynchus keta* // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 754–766. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-754-766. EDN: LEXDTA.

* Кузнецов Юрий Николаевич, кандидат технических наук, заведующий отделом, iurii.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2352-2593; Караулова Екатерина Павловна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ekaterina.karaulova@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-8508-9603; Баштовой Александр Николаевич, кандидат технических наук, заведующий сектором, aleksandr.bashtovoi@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547; Тимчишина Галина Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, galina.timchishina@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657; Слуцкая Татьяна Ноевна, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, tatiana.slutskaia@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047.

Original article

**A study on composition of starter feeds and effectiveness of their use
for growing fry of chum salmon *Oncorhynchus keta***

**Yury N. Kuznetsov^{1*}, Ekaterina P. Karaulova^{2*}, Alexander N. Bashtovoy^{3*},
Galina N. Timchishina^{4*}, Tatyana N. Slutskaya^{5*}**

^{1*-5*} Pacific branch of VNIRO (TINRO), Shevchenko Alley, 4, Vladivostok, 690091, Russia

^{1*} Ph.D., head of department, iurii.kuznetsov@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0009-2352-2593

^{2*} Ph.D., leading researcher, ekaterina.karaulova@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-8508-9603

^{3*} Ph.D., head of sector, aleksandr.bashtovoi@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-1398-3547

^{4*} Ph.D., leading researcher, galina.timchishina@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8889-8657

^{5*} D.Tech., professor, principal researcher, tatiana.slutskaya@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3228-3047

Abstract. Low molecular weight peptides in the fish feed can enhance growth of fish fry. The protein-containing components of such feeds as raw and hydrolyzed fish, fly larvae, haprin, hydrolyzed yeast, and experimental extruded starter feeds are examined. The extruded feeds (KRLS-1, KRLS-2, KRLS-3, and EF) were produced by another branch of VNIRO (VNIPRH) on the Amandus Kahl pilot production line (Germany). The contents of moisture, mineral fraction, water-soluble proteins and lipids were assessed using standard analytical procedures and the nitrogen content was measured by Kjeldahl method. Protein fractionation was performed using high-performance chromatography. On these data, daily rations of fry were calculated. Mortality of fry was determined by direct counting. Absolute weight gain was calculated as the difference between final and initial weights of fry. The feed coefficient was calculated as the total amount of feed consumed during the 60-day rearing divided by the weight gain, corrected for mortality. Fish farming tests were conducted according to the standard protocol. The examined starter feeds contained 3.5–6.0 % moisture, approximately 50 % protein, 10–11 % lipids, up to 9 % minerals, and 20–30 % carbohydrates. The hydrolysate from raw fish had the highest portion of low molecular weight peptides (1–10 kDa) — 98 % of the water-soluble protein fraction. Hydrolyzed yeast, fly larvae, and haprin contained 96, 51, and approximately 30 % of low molecular weight peptides, respectively. The extruded feeds were well-balanced and contained substantial amounts of low molecular weight peptides, with the highest content for KRLS-3 (55 %) due to its heightened hydrolysate fraction, whereas KRLS-1, KRLS-2, and EF contained 49, 18, and 35 % low molecular weight peptides, respectively (relative to the water-soluble protein fraction). The fish farming tests demonstrated that the fry fed with KRLS-3 starter feed had the biggest final weight (0.830 g) and the highest mean daily weight gain (1.45 %), with the lowest feed conversion ratio (0.88). The feeds KRLS-1 and KRLS-2 showed comparable results. The feed EF was less effective by growth parameters but provided the best survival of fry (98.9 %, compared to 97.0 % for KRLS-3). All tested starter feeds are quite suitable for industrial rearing of chum salmon fry.

Keywords: starter feed, salmon fry, biologically active peptide, fish farming, molecular weight

For citation: Kuznetsov I.N., Karaulova E.P., Bashtovoy A.N., Timchishina G.N., Slutskaya T.N. A study on composition of starter feeds and effectiveness of their use for growing fry of chum salmon *Oncorhynchus keta*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 754–766. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-754-766. EDN: LEXDTA.

Введение

Исследования по разработке стартовых кормов для тихоокеанских лососевых показали, что с учетом особенностей питания мальков их пища на начальном этапе развития должна содержать достаточно высокое количество легкоусвояемых пептидов [Гамыгин, 1987; Пономарев, Пономарева, 2003]. На практике это находит подтверждение в работах, посвященных сравнительному анализу ихтиологических показателей мальков не только лососевых, но и других рыб [Остроумова и др., 2018], продемонстрировавших эффективность кормов, содержащих высокое количество пептидных фракций. Особое внимание при этом уделяется низкомолекулярным пептидам [Гро-

зеску, 2016; Остроумова и др., 2018;], которые проявляют различные положительные физиологические свойства [Islam et al., 2022].

В области фармакологии пептиды известны достаточно давно: в 1980–1990-е гг. в научной литературе была описана серия пептидных комплексов, выделенных из различных органов животных и обладающих тканеспецифическим действием [Хавинсон, 2020].

К настоящему времени во многих работах приведены результаты, описывающие положительное участие коротких пептидов в таких физиологических процессах, как рост и развитие организма, стресс, регуляция эмоционального поведения, а также в иммунных реакциях [Хавинсон и др., 2016; Иванов, Дейгин, 2023].

Способ использования коротких пептидов заключается в выделении соответствующих компонентов из органов и тканей животных. После установления их аминокислотного состава возможен синтез аналогов — ди-, три-, тетрапептидов и олигопептидов [Пат. RU 2503684 C2]. Биологические испытания на животных, а также клинические исследования на людях показали эффективность таких препаратов, которая заключается в нормализации многих функций организма — когнитивной активности, стрессо-устойчивости, микроциркуляции крови, метаболизма клеток и др. [Журкович и др., 2020]. В последнее десятилетие в России появился ряд запатентованных препаратов, которые содержат короткие пептиды и применяются в практической медицине [Прозоровский и др., 2018; Пат. RU 2767532 C1; Пат. RU 2778505 C1].

Исследования фракционного состава белков различных видов зоопланктона (науплиусы, хирономиды, олигохеты, гаммарусы), являющихся естественным кормом для рыбной молоди в природной среде обитания, выявили высокое содержание водорастворимых белковых веществ — от 45 до 70 % по отношению к массе белка. Основную часть этих экстрактивных веществ составляли пептиды с молекулярной массой от 1,0 до 1,3 кДа — для мелкого пресноводного зоопланктона и от 1,3 до 10,0 кДа — для крупного планктона [Пономарев, 1995; Пономарев, Пономарева, 2003]. Очевидно, что уровень содержания пептидных фракций с молекулярными массами до 10 кДа в составе стартовых комбикормов является главным показателем при оценке их эффективности.

С учетом представленных выше результатов исследований содержание пептидов различных молекулярных фракций в составе кормовых компонентов и готовых комбикормов является важной составляющей для оценки кормовых продуктов.

В настоящее время технология получения кормов основана на экспериментальном подборе количества кормовых компонентов, которые могут быть источниками физиологически активных пептидов. В состав стартовых кормов, как правило, включают компоненты растительного и животного происхождения, производство которых является массовым.

Основным белковым компонентом кормов является рыбная мука, пищевая ценность которой зависит от состава и качества исходного сырья, условий получения, хранения и транспортировки [Желтов, 2006].

Альтернативным источником азотсодержащих веществ белкового происхождения могут быть кормовые продукты микробиологического синтеза, в частности гаприн. Он характеризуется высоким содержанием белковых веществ, в том числе водорастворимых, однако его состав вариателен из-за особенностей конкретных производств [Остроумова и др., 1989; Судакова, 1998]. Преимуществом таких продуктов по сравнению с рыбной мукой является их относительно низкая цена.

Наряду с гаприном перспективным источником белка можно считать продукты культивирования отдельных видов насекомых, в частности концентрат личинки черной львинки [Лиман и др., 2021].

Все указанные выше белковые компоненты имеют различный состав пептидов, что необходимо учитывать при создании рецептур стартовых кормов. Чтобы повысить

степень их усвояемости, может применяться ферментация, что приводит к изменению молекулярных масс и способствует повышению в конечном продукте доли низкомолекулярных пептидов, благотворно влияющих на рост и выживаемость мальков рыб [Mukherjee et al., 2016; Dawood, Koshio, 2020]. Поэтому в рецептуры стартовых кормов могут включаться разные гидролизаты (рыбного белка, дрожжей), в которых белок уже превращен в пептиды различной молекулярной массы.

Можно утверждать, что при создании рецептур стартовых кормов для лососевых важным этапом является исследование молекулярно-массового состава белковой части исходных кормовых компонентов и готовых продуктов.

Цель данной работы — исследование молекулярно-массового состава белковой части основных компонентов стартовых кормов, готовых композиций, их содержащих, а также установление эффективности выбранных вариантов при выращивании мальков кеты.

Материалы и методы

Комплекс работ, представленных в статье, является неотъемлемой частью системных исследований по изучению питательной, биологической ценности перспективных видов сырья, входящего в состав комбикормов для различных объектов аквакультуры Российской Федерации, с учетом их видовой, возрастной специфики и технологий выращивания. Экспериментальные рецепты стартовых экструдированных комбикормов для тихоокеанских лососей серии КРЛС были смоделированы на основании аналитических данных по питательной и биологической ценности компонентов и расчета сбалансированности с помощью компьютерной программы «Оптим Эксперт» (ООО «КормоРесурс»).

Все экспериментальные комбикорма были произведены в научно-производственном отделе по изготовлению комбикормов для объектов аквакультуры ВНИИПРХ (филиала ВНИРО) на опытно-производственной линии Amandus Kahl (Германия).

Для оценки молекулярно-массового распределения низкомолекулярных белков и пептидов использовали следующие варианты комбикормов: КРЛС-1, КРЛС-2, КРЛС-3 и ЭФ. Основными компонентами всех исследованных комбикормов являются мука рыбная и пшеничная, рыбный жир. В качестве дополнительных источников белка использованы рыбный ферментоллизат, белковый концентрат из личинки черной львинки, микробный белок гаприн, дрожжи гидролизные. Соотношение указанных компонентов в комбикормах варьирует:

- рыбной муки в образце ЭФ — 44,3 %; в образцах КРЛС — от 41,2 до 61,0 %;
- пшеничной муки в образце ЭФ — не более 27 %; в образцах КРЛС — от 7,7 до 9,1 %;
- рыбного жира во всех исследованных комбикормах — от 2,7 до 4,5 %.

Премикс, витамины и другие кормовые компоненты присутствуют в составе каждого исследованного комбикорма, их количество составляет от 0,01 до 3,50 %.

Стартовые корма КРЛС различных вариантов имели примерно равное содержание белка. Дополнительные источники белка были включены в состав следующих образцов:

КРЛС-1: ферментоллизат рыбный (6 %), гаприн (5 %);

КРЛС-2: гаприн (30 %);

КРЛС-3: ферментоллизат рыбный (9,4 %), белковый концентрат личинки черной львинки (5,0 %).

Экспериментальный образец ЭФ содержит дрожжи гидролизные — 10 %.

Объектом и материалом рыбоводно-биологических исследований служила молодь лососевых (*Oncorhynchus keta*), инкубированная на Рязановском экспериментально-производственном рыбоводном заводе (Рязановский ЭПЗ) (Приморский край, Хасанский район, с. Рязановка) после подъема на плав.

Параметры для проведения рыбоводно-биологических испытаний комбикормов представлены в табл. 1.

Таблица 1
Параметры рыбоводно-биологических испытаний комбикормов для молоди лососевых
Table 1
Examined parameters of starter feeds for salmon juveniles

Наименование параметра	Характеристика
Место проведения экспериментов	Приморский край, Хасанский район, с. Рязановка, Приморский филиал Главрыбвода, ЭПРЗ «Рязановский»
Шифр испытываемых комбикормов	КРЛС-1, КРЛС-2, КРЛС-3, ЭФ
Объект исследования	Молодь кеты
Средняя начальная масса, г	0,349 ± 0,080
Количество молоди в бассейне, шт.	5000
Плотность посадки, шт./м³	1560
Условия содержания молоди: – система выращивания – водообмен – размер емкостей – объем бассейна – количество емкостей для каждого варианта опыта – всего емкостей	Установка замкнутого водоснабжения 15 л/мин 200×200×80 см 3,2 м³ 1 5
Нормы кормления	Рассчитывают в зависимости от массы тела рыб и температуры воды
Способ кормления	Ручной
Условия выращивания (кормления): – температура, °С – содержание кислорода в воде, % насыщения – периодичность контроля	2,2–4,4 Не менее 82–94 Ежедневно
Периодичность контроля биологических показателей: – масса тела – отход	1 раз в 10 дней Ежедневно
Продолжительность экспериментов	60 сут
Рыбоводные показатели, по которым проведена оценка воздействия	Выживаемость, абсолютный прирост, средне-суточный прирост, кормовой коэффициент

Из данных табл. 1 следует, что температурный и кислородный режим, плотность посадки, расход воды и объемы емкостей для выращивания молоди соответствовали биотехническим нормативам подраживания молоди кеты на лососевых заводах Приморского края [Марковцев, 2012].

Эксперименты продолжались в течение 60 сут до смолтификации молоди, т.е. достижения ими средней массы не менее 0,6 г (для Приморского края)*, после чего молодь была выпущена в уличные садки, а затем в естественную среду обитания.

В образцах комбикормов определяли общий азот по методу Кьельдаля на приборе «Kjeltec 2300» (Foss, Швеция) (ГОСТ 13496.4-93), воду (ГОСТ Р 54951-2012), минеральные вещества (ГОСТ 32933-2014), массовую долю липидов [Bligh, Dyer, 1959], долю углеводов рассчитывали по остаточному принципу.

Экстракцию водорастворимых белковых веществ проводили согласно рекомендациям [Лазаревский, 1955]. Фракционный состав белков и пептидов анализировали методом гельпроникающей хроматографии на хроматографе высокого давления Agilent

* Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 25 августа 2015 г. № 377 «О внесении изменений в методику расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства), утвержденную Приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30 января 2015 г. № 25».

Technologies liquid chromatograph (Agilent Technologies 1260 Infinity, США), оснащенном ультрафиолетовым детектором. Колонка TSKgel G 3000PWXL column, 7,8mm I.D.×30cm (TOSOH Corporation, Токио, Япония), поток 0,3 мл/мин, температура 25 °С. Подвижная фаза 0,1N NaCl-20 mMTris-HCl [Досон и др., 1991; Rosenberg, 1996].

Суточные рационы комбикормов рассчитывали в зависимости от массы тела личинок, мальков и температуры воды, с учетом многолетнего опыта проведения экспериментальных работ на Рязановском ЭПРЗ. Для расчета норм кормления также учитывались данные, представленные в литературе для этого вида рыб [Марковцев, 2012].

Отход молоди определяли методом прямого подсчета погибших особей [Щербина, Гамыгин, 2006], выживаемость — методом вычитания количества погибшей молоди (отход) из общего количества рыбы в бассейне (в процентах).

Абсолютный прирост рассчитывали как разность между конечной и начальной массой молоди в граммах*.

Кормовой коэффициент находили путем деления количества вносимого корма за весь период подращивания на прирост молоди с учетом ее отхода за это время [Щербина, Гамыгин, 2006].

Среднесуточный прирост (удельная скорость роста), выраженный в процентах к средней массе за расчетный период, показывает изменение массы рыб за каждые сутки времени кормления [Щербина, Гамыгин, 2006].

Результаты исследований обрабатывали статистическими методами [Кенуй, 1979], достоверность данных достигали экспериментами, необходимыми и достаточными для их точности. Статистическая обработка материала проводилась с использованием пакета программ Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

Исследование молекулярно-массового распределения пептидов в экстрактивной части кормовых компонентов, являющихся источниками белка в рецептурах комбикормов, показало наиболее высокое содержание суммарной пептидной фракции с молекулярной массой до 10 кДа в общей массе водорастворимого белка в рыбной муке и продуктах ферментативного гидролиза (ферментолитат рыбный и дрожжи гидролизные) — от 75,3 до 97,8 % (табл. 2).

Таблица 2

Молекулярно-массовое распределение водорастворимой фракции кормовых компонентов, среднее значение, %

Table 2

Components of water-soluble fraction of starter feeds, by average molecular weight, %

Компонент	Содержание фракций пептидов (ММ, кДа) в водорастворимом белке				Водорастворимый белок
	Менее 1	1–5	5–10	Сумма фракций с ММ от менее 1 до 10 кДа, среднее	
Рыбная мука	33,5 ± 3,1	10,9 ± 2,0	30,9 ± 2,7	75,3 ± 4,6	6,9 ± 1,3
Гаприн	4,1 ± 0,9	1,0 ± 0,4	24,6 ± 3,4	29,7 ± 3,5	9,4 ± 1,7
Ферментолитат рыбный	40,0 ± 3,3	15,0 ± 3,3	42,8 ± 3,7	97,8 ± 3,9	72,6 ± 2,4
Кормовая добавка из личинки черной львинки	7,5 ± 1,9	3,7 ± 1,1	39,9 ± 3,6	51,1 ± 3,8	9,3 ± 0,7
Дрожжи гидролизные	9,0 ± 2,2	13,2 ± 1,5	74,1 ± 4,1	96,3 ± 4,3	10,0 ± 1,5

* Инструкция о порядке учета рыбоводной продукции, выпускаемой организациями Российской Федерации в естественные водоемы и водохранилища / утв. Роскомрыболовства 29.10.94 № 44А-У. Зарегистрировано в Минюсте РФ 9 февраля 1995 г. № 792.

С учетом того, что масса растворимых белков в ферментолизатах самая высокая, можно считать, что их включение в состав кормов позволяет обеспечить наибольшее количество пептидов для питания мальков. Гаприн и личинки черной львинки при более низком суммарном количестве пептидов, судя по данным табл. 2, являются источниками пептидов с ММ 5–10 кДа, количество которых достигает 25–40 %.

Данные, представленные в табл. 2, получены при исследовании образцов кормовых компонентов разных производителей и характеризуются вариабельностью молекулярно-массового состава белковой части, что объясняется разными условиями производства, неоднородностью исходного сырья и его качественных показателей.

Химический состав исследованных образцов стартовых экструдированных кормов для лососевых приведен в табл. 3.

Таблица 3
Общий химический состав экспериментальных экструдированных стартовых комбикормов, %

Table 3

General chemical composition of extruded starter feeds, %

Наименование образца	Вода	Белок	Липиды	Минеральные вещества	Углеводные соединения
ЭФ	3,5 ± 0,1	47,0 ± 0,4	10,4 ± 0,1	7,2 ± 0,2	31,9 ± 0,4
КРЛС-1	6,2 ± 0,2	54,8 ± 0,2	11,1 ± 0,2	8,9 ± 0,2	19,0 ± 0,2
КРЛС-2	4,5 ± 0,2	56,0 ± 0,3	10,9 ± 0,1	8,7 ± 0,2	19,9 ± 0,1
КРЛС-3	5,4 ± 0,3	54,1 ± 0,2	10,1 ± 0,1	8,9 ± 0,2	21,5 ± 0,3

Сравнение полученных данных позволяет сделать заключение о сходстве кормов серии КРЛС, а также более высоком содержании углеводов в экспериментальном образце ЭФ. Роль углеводов в питании рыб заключается в том, что они являются доступным источником энергии, известен успешный опыт применения их в ограниченных количествах в составе комбикормов [Singh et al., 1999; Остроумова, 2012].

Из данных табл. 4 видно, что пептиды присутствуют во всех образцах. Наиболее высокое содержание их установлено для КРЛС-3, что, скорее всего, связано с количеством ферментолизата в его составе и наличием кормовой добавки из личинки черной львинки. Количество наиболее ценной в отношении биологического действия фракции 5–10 кДа наименьшее в образце КРЛС-2. Можно ожидать, что при рыбоводных испытаниях

Таблица 4
Молекулярно-массовое распределение водорастворимой части белков и пептидов в экспериментальных комбикормах и кормовых организмах, %

Table 4

Molecular weight composition for the water-soluble fraction of proteins and peptides in starter feeds, %

Шифр корма	Содержание фракций пептидов (ММ, кДа) в водорастворимом белке					Белок	Водорастворимый белок
	Менее 0,3	0,3–1,0	1,0–5,0	5,0–10,0	Сумма пептидов		
ЭФ	15,6	1,9	8,3	9,3	35,1	47,0	4,9
КРЛС-1	12,7	–	19,9	16,4	49,0	54,7	8,9
КРЛС-2	8,2	–	5,3	4,5	18,0	56,0	5,5
КРЛС-3	20,9	–	24,3	10,6	55,8	54,1	8,9
Кормовые организмы молоди лососевых*	0,4–0,6	–	52,3–81,1		67,2	35,0–60,0	44,0–73,0
Мелкий зоопланктон**	7,0–10,0	–	60,0–86,0		81,5		

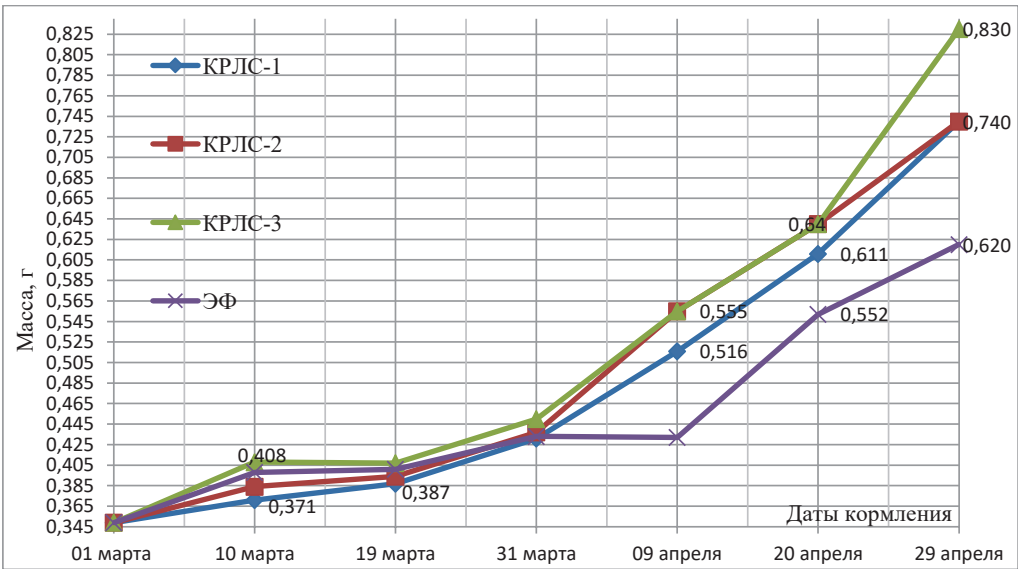
* Хируномиды, олигохеты, гаммарусы [Пономарев, Пономарева, 2003].

** Данные из литературы [Латреш, 1998; Чипинова, 2006; Пономарев, Пономарева, 2003].

вариант КРЛС-3 будет опережать по эффективности остальные. Однако, судя по доле данной фракции (5–10 кДа) в других образцах, которая составляет от 4,5 до 16,4 %, все они могут оказать положительное влияние на выживаемость и прирост массы мальков.

Стоит отметить, что экспериментальные образцы содержат значительно меньше водорастворимого белка, чем кормовые организмы (до 9 % по сравнению с 44–73 %). Это можно объяснить техническими особенностями способа изготовления сухих экструдированных комбикормов, который не позволяет полностью скопировать состав кормовых организмов, служащих питанием лососевым в естественной среде обитания. Наличие заметного количества (от 5,3 до 24,3) пептидов с ММ 1–5 кДа во всех вариантах кормов является фактором, который может положительно влиять на развитие мальков, поскольку из научной литературы известно их стимулирующее воздействие на развитие пищеварительного ферментного комплекса [Пономарев, 1995; Латреш, 1998; Грозеску, 2016].

Рыбоводные испытания, проведенные на ЭПРЗ «Рязановский», показали (см. рисунок, табл. 5), что мальки, питавшиеся экспериментальными кормами, достигли стандартной массы не менее 0,6 г* в течение исследованного периода кормления.



Изменение массы молоди кеты при кормлении на ЭПРЗ «Рязановский»
Dynamics of chum salmon fry weight during feeding at the Ryazanovsky fish farm

Таблица 5

Рыбоводно-ихтиологические показатели при испытании экспериментальных
экструдированных комбикормов на ЭПРЗ «Рязановский»

Table 5

Fish farming indices for extruded starter feeds tested at the Ryazanovsky fish farm

Показатель	Комбикорм			
	ЭФ	КРЛС-1	КРЛС-2	КРЛС-3
Абсолютный прирост, г	0,27	0,39	0,39	0,48
Среднесуточный прирост, %	0,93	1,26	1,26	1,45
Кормовой коэффициент, г корма/г прироста	1,38	1,04	1,05	0,88
Выживаемость, %	98,90	95,20	98,58	97,44

Сравнение рыбоводных показателей при использовании кормов позволяет заключить: как конечная масса, так и абсолютный прирост наиболее высокие (0,830 г и

* Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 25 августа 2015 г. № 377...

1,45 %) при кормлении стартовым кормом КРЛС-3, при этом кормовой коэффициент в данном варианте самый низкий (0,88 г корма/г прироста). Корма вариантов КРЛС-1 и КРЛС-2 оказались близкими по рыбоводным показателям, корм ЭФ им уступал. Однако по показателю «выживаемость» ЭФ оказался самым эффективным (98,9 %), тогда как выживаемость при использовании корма КРЛС-3 97,4 %. Установленные различия не столь существенны, поскольку получены положительные результаты для всех исследованных образцов комбикормов. В целом выживаемость мальков во время испытаний была высокой, составив в среднем 97,5 %, что выше нормативного показателя.

Выводы

Установлено, что исследованные кормовые добавки по составу близки к естественному корму мальков и содержат до 98 % (к водорастворимому белку) низкомолекулярных биологически активных пептидов.

Конечная масса, как и абсолютный прирост, наиболее высокие (соответственно 0,830 г и 1,45 %) при кормлении КРЛС-3, при этом кормовой коэффициент в данном варианте ниже, чем у других комбикормов, и составляет 0,88 г корма/г прироста. Полученные результаты позволяют считать, что при подращивании мальков кеты наиболее эффективными среди исследованных являются корма, содержащие в водорастворимой части около 56 % пептидов с ММ до 10 кДа.

Сравнение рыбоводно-ихтиологических показателей выращивания мальков кеты при использовании экспериментальных стартовых кормов продемонстрировало положительные результаты для всех испытанных вариантов.

При оценке эффективности комбикормов в данной работе не обсуждается экономическая составляющая, поэтому окончательное заключение и рекомендации могут быть сформулированы с учетом стоимости кормов, а также технических возможностей предприятия-изготовителя.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность к.х.н. К.Г. Павелю за полученные им экспериментальные данные, которые были использованы в работе, а также выражают свою признательность Г.В. Самойленко за помощь в проведении исследований.

The authors are grateful to Konstantin G. Pavel (TINRO) for his experimental data used in the study and also express their gratitude to Galina V. Samoilenko for her kind assistance in the work.

Финансирование работы (FUNDING)

Основанием для проведения научно-исследовательской работы являлась Государственная работа «Проведение прикладных научных исследований» государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076–00004–23–01.

The study was based on the State work “Conducting applied scientific research” in the framework of the state assignment to VNIRO No. 076–00004–23–01.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Библиографические ссылки на все использованные в работе данные других авторов оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Bibliographic references to all data of other authors used in the work are formatted in accordance with the rules of this publication.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Авторы в равной мере участвовали в постановке цели, планировании и организации работы, получении экспериментальных данных, их обработке и анализе, составлении макета статьи, формулировании выводов.

The authors were equally involved in the study targeting, planning and organizing, in the samples analyses and the experimental data processing and analyzing, as well as in writing the manuscript and formulating the study conclusions.

Список литературы

- Гамыгин Е.А.** Корма и кормление рыб : ОИ / ЦНИИТЭИРХ. — 1987. — Вып. 1. — 82 с.
- Грозеску Ю.Н.** Инновационные методы повышения эффективности кормления осетровых рыб на основе использования в рационах нетрадиционного кормового сырья и биологически активных препаратов : дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. — Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2016. — 307 с.
- Досон Р., Эллиот Д., Эллиот У., Джонс К.** Справочник биохимика : пер. с англ. — М. : Мир, 1991. — 544 с.
- Желтов Ю.А.** Кормление разновозрастных ценных видов рыб в фермерских рыбных хозяйствах : моногр. — Киев : Фирма «ИНКОС», 2006. — 221 с.
- Журкович И.К., Ковров Н.Г., Рыжак Е.К. и др.** Идентификация коротких пептидов в составе полипептидных комплексов, выделенных из органов животных // Успехи современной биологии. — 2020. — Т. 140, № 2. — С. 140–148. DOI: 10.31857/S004213242002012X.
- Иванов В.Т., Дейгин В.И.** Эволюция биофармацевтики пептидных препаратов // Биоорганическая химия. — 2023. — Т. 49, № 3. — С. 229–242. DOI: 10.31857/S0132342323030120.
- Кенуй М.Г.** Быстрые статистические вычисления : справочник : пер. с англ. — М. : Статистика, 1979. — 70 с.
- Лазаревский А.А.** Техничко-химический контроль в рыбообработывающей промышленности : пособие для работников заводских и исслед. лабораторий. — М. : Пищепромиздат, 1955. — 520 с.
- Латреш Х.** Физиологические аспекты белкового питания осетровых рыб в раннем постэмбриогенезе : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Астрахань : АГТУ, 1998. — 26 с.
- Лиман С.А., Давыденко Т.М., Лебедев В.Ю., Ушакова Н.А.** Перспективность использования личинок черной львинки *Hermetia illucens* в кормах для объектов индустриальной аквакультуры // Достижения науки и техники АПК. — 2021. — Т. 35, № 8. — С. 35–39. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_8_35.
- Марковцев В.Г.** Инструкция по искусственному разведению приморской кеты в заводских условиях. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2012. — 46 с.
- Остроумова И.Н.** Биологические основы кормления рыб. 2-е изд., испр. и доп. : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 2012. — 564 с.
- Остроумова И.Н., Аршавский Д.С., Афанасьева Ю.О. и др.** Результаты испытания гаприна в составе кормов для карпа разного возраста на теплых водах // Медико-биологическая оценка и эффективность применения в сельском хозяйстве белковых продуктов микробиологического синтеза : тез. докл. Всесоюз. конф. — М., 1989. — С. 36–38.
- Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А. и др.** Включение в стартовые корма для сиговых рыб (Coregonidae) бактериальной биомассы и белковых гидролизатов // Вопр. рыб-ва. — 2018. — Т. 19, № 1. — С. 82–98.
- Пат. RU 2503684 C2.** Иммуномоделирующие олигопептиды / С.В. Литвинов. — Заявл. 29.03.2007; Оpubл. 10.01.2014; Бюл. № 1.
- Пат. RU 2767532 C1.** Пептид, обладающий бромхопротекторным действием, фармакологическая композиция на его основе и способ применения / В.Х. Хавинсон, Г.А. Рыжак, Н.С. Линькова, Е.С. Миронова. — Заявл. 27.05.2021; Оpubл. 17.03.22; Бюл. № 8.
- Пат. RU 2778505 C1.** Пептид, обладающий нефропротекторным действием, фармакологическая композиция на его основе и способ применения / В.Х. Хавинсон, Г.А. Рыжак, Е.С. Миронова, А.Т. Ильина. — Заявл. 7.07.2021; Оpubл. 22.08.2022; Бюл. 24.
- Пономарев С.В.** Биологические основы кормления лососевых рыб в раннем постэмбриогенезе : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1995. — 43 с.
- Пономарев С.В., Пономарева Е.Н.** Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в индустриальных условиях : моногр. — Астрахань : АГТУ, 2003. — 186 с.
- Прозоровский В.Н., Торховская Т.И., Кострюкова Л.В., Ипатова О.М.** Использование специфических пептидов для адресной доставки наночастиц с противоопухолевыми лекарствами // Биофармацевтический журнал. — 2018. — Т. 10, № 4. — С. 3–18.
- Судакова Н.В.** Сравнительная эффективность продуктов микробного синтеза в составе стартовых кормов для молоди осетровых рыб : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М. : ВНИИПРХ, 1998. — 26 с.

Хавинсон В.Х. Лекарственные пептидные препараты: прошлое, настоящее, будущее // Клиническая медицина. — 2020. — Т. 98, № 3. — С. 165–177. DOI: 10.30629/0023-2149-2020-98-3-165-177.

Хавинсон В.Х., Минькова Н.С., Тарновская С.И. Короткие пептиды регулируют экспрессию генов // Бюл. экспериментальной биологии и медицины. — 2016. — Т. 162, № 8. — С. 259–264.

Чипинова Г.М. Технологические особенности кормления молоди осетровых рыб при индустриальном выращивании : дис. ... канд. биол. наук. — Астрахань, 2006. — 149 с.

Щербина М.А., Гамыгин Е.А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре : моногр. — М. : ВНИРО, 2006. — 360 с.

Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. — 1959. — Vol. 37, № 8. — P. 911–917. DOI: 10.1139/o59-099.

Dawood M.A., Koshio S. Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture // Reviews in Aquaculture. — 2020. — Vol. 12, no. 2. — P. 987–1002. DOI: 10.1111/raq.12368.

Islam M.S., Wang H., Admassu H. et al. Health benefits of bioactive peptides produced from muscle proteins: Antioxidant, anti-cancer, and anti-diabetic activities // Process Biochemistry. — 2022. — Vol. 116. — P. 116–125. DOI: 10.1016/j.procbio.2022.03.007.

Mukherjee R., Chakraborty R., Dutta A. Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal — a review // Asian-Australasian J. Animal Sci. — 2016. — Vol. 29, № 11. — P. 1523–1529. DOI: 10.5713/ajas.15.0627.

Rosenberg I.M. Protein Analysis and Purification: Benchtop Techniques. — Springer Science+Business Media, LLC, 1996. — 520 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-1108-0.

Singh R., Dhawan A., Saxena P.K. Potential of press mud — a sugar factory byproduct — in supplementary diets and its impact on fish growth // Bioresource Technology. — 1999. — Vol. 67, № 1. — P. 61–64. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00067-X.

References

Gamygin, E.A., *Korma i kormleniye ryb* (Fish feed and feeding), Moscow: TsNIITEIRKh, 1987, vol. 1.

Grosescu, Yu.N., Innovative methods to increase the feeding efficiency of sturgeon fish based on the use of unconventional feed raw materials and biologically active preparations in diets, *Doctoral (Agricultural) Dissertation*, Astrahan': AGTU, 2016.

Dawson, R., Elliot, D., Elliot, W., and Jones, K., Handbook of Biochemist, Moscow: Mir, 1991.

Zhel'tov, Yu.A., *Kormleniye raznovozrastnykh tsennykh vidov ryb v fermerskikh rybnykh khozyaystvakh* (Feeding valuable fish species of different ages in farmed fisheries), Kiev: INKOS, 2006.

Zhurkovich, I.K., Kovrov, N.G., Ryzhak, G.A., Mironova, E.S., and Khavinson, V.Kh., Identification of short peptides as part of polypeptide complexes isolated from animal organs, *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2020, vol. 140, no. 2, pp. 140–148. Doi 10.31857/S004213242002012X

Ivanov, V.T. and Deigin, V.I., Evolution of peptide biopharmaceuticals, *Bioorganicheskaya khimiya*, 2023, vol. 49, no. 3, pp. 229–242. doi 10.31857/S0132342323030120

Kenuy, M.G., *Bystryye statisticheskiye vychisleniya* (Fast statistical calculations), Moscow: Statistics, 1979.

Lazarevsky, A.A., *Tekhniko-khimicheskii kontrol' v ryboobrabatyvayushchey promyshlennosti: posobiye dlya rabotnikov zavodskikh i issled. laboratoriy* (Technical and chemical control in the fish processing industry: a manual for factory workers and research. laboratories), Moscow: Pishchepromizdat, 1955.

Latresh, H., Physiological aspects of protein nutrition in sturgeon fish in early postembryogenesis, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Astrakhan: Astrakhan State Technical University, 1998.

Liman, S.A., Davydenko, T.M., Lebedev, V.Yu., and Ushakova, N.A., Prospects for the use of the *Hermetia illucens* larvae in feed for industrial aquaculture objects, *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2021, vol. 35, no. 8, pp. 35–39. doi 10.53859/02352451_2021_35_8_35

Markovtsev, V.G., *Instruktsiya po iskusstvennomu razvedeniyu primorskoy kety v zavodskikh usloviyakh* (Instructions for artificial breeding of Primorsky chum salmon in factory conditions), Vladivostok: TINRO-Tsent, 2012.

Ostroumova, I.N., *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* (Biological basis of fish feeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 2012. 2nd ed.

Ostroumova, I.N., Arshavsky, D.S., Afanasyeva, Yu.O., Moseychuk, S.B., Grigorieva, S.V., and Smirnova, L.V., Results of testing gaprin in the composition of feed for carp of different ages in warm waters, in *Tezisy dokl. Vsesoyuz. konf. "Mediko-biologicheskaya otsenka i effektivnost' primeneniya v sel'skom khozyaystve belkovykh produktov mikrobiologicheskogo sinteza"* (Proc. Rep. All-Union conf. "Medical and biological assessment and efficiency of application in agriculture of protein products of microbiological synthesis"), Moscow, 1989, pp. 36–38.

Ostroumova, I.N., Kostyunichev, V.V., Lyutikov, A.A., Bogdanova, V.A., Shumilina, A.K., Danilova, T.P., Kozmina, A.V., and Filatova, T.A., Inclusion of bacterial biomass and protein hydrolysates in starter feeds for whitefish (Coregonidae), *Vopr. Rybolov.*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. 82–98.

Litvinov, S.V., Patent RU 2503684 C2, Immunomodulatory oligopeptides, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2014, no. 1.

Khavinson, V.Kh., Ryzhak, G.A., Linkova, N.S., and Mironova, E.S., A peptide with bromochoprotective action, a pharmacological composition based on it and a method of application, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2022, no. 8.

Khavinson, V.Kh., Ryzhak, G.A., Mironova, E.S., and Ilyina, A.T., Peptide with nephroprotective action, pharmacological composition based on it and method of application, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2022, no. 24.

Ponomarev, S.V., Biological principles of feeding salmon fish in early postembryogenesis, *Extended Abstract of Doct. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: Vses. Nauchno-Issled. Inst. Presnovodn. Rybn. Khoz., 1995.

Ponomarev, S.V. and Ponomareva, E.N., *Tekhnologicheskiye osnovy razvedeniya i kormleniya lososevykh ryb v industrial'nykh usloviyakh* (Technological foundations of breeding and feeding salmon fish in an industrial environment), Astrakhan: Astrakh. Gos. Tekh. Univ., 2003.

Prozorovskii, V.N., Torkhovskaya, T.I., Kostryukova, L.V., and Ipatova, O.M., Specific peptides usage for targeted delivery of nanoparticles with antitumor drugs, *Biofarmatsevticheskii zhurnal*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 3–18.

Sudakova, N.V., Comparative efficiency of microbial synthesis products in starter feeds for sturgeon fry, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow: Vses. Nauchno-Issled. Inst. Presnovodn. Rybn. Khoz., 1998.

Khavinson, V.Kh., Peptide medicines: past, present, future, *Clinical Medicine*, 2020, vol. 98, no. 3, pp. 165–177. doi 10.30629/0023-2149-2020-98-3-165-177

Khavinson, V.Kh., Lin'kova, N.S., and Tarnovskaya, S.I., Short peptides regulate gene expression, *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2016, vol. 162, no. 2, pp. 288–292. doi 10.1007/s10517-016-3596-7

Chipinova, G.M., Technological features of feeding juvenile sturgeon during industrial farming, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Astrakhan, 2006.

Shcherbina, M.A. and Gamygin, E.A., *Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture* (Feeding fish in freshwater aquaculture), Moscow: VNIRO, 2006.

Bligh, E.G. and Dyer, W.J., A rapid method of total lipid extraction and purification, *Can. J. Biochem. Physiol.*, 1959, vol. 37, no. 8, pp. 911–917. doi 10.1139/o59-099

Dawood, M.A. and Koshio, S., Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture, *Reviews in Aquaculture*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 987–1002. doi 10.1111/raq.12368

Islam, M.S., Wang, H., Admassu, H., Sulieman, A.A., and Wei, F.A., Health benefits of bioactive peptides produced from muscle proteins: Antioxidant, anti-cancer, and anti-diabetic activities, *Process Biochemistry*, 2022, vol. 116, pp. 116–125. doi 10.1016/j.procbio.2022.03.007

Mukherjee, R., Chakraborty, R., and Dutta, A., Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal — a review, *Asian-Australasian J. Animal Sci.*, 2016, vol. 29, no. 11, pp. 1523–1529. doi 10.5713/ajas.15.0627

Rosenberg, I.M., *Protein Analysis and Purification: Benchtop Techniques*, Springer Science+Business Media, LLC, 1996. doi 10.1007/978-1-4757-1108-0

Singh, R., Dhawan, A., and Saxena, P.K., Potential of press mud — a sugar factory byproduct — in supplementary diets and its impact on fish growth, *Bioresource Technology*, 1999, vol. 67, no. 1, pp. 61–64. doi 10.1016/S0960-8524(99)00067-X

Instruktsiya o poryadke ucheta rybovodnoy produktsii, vypuskayemoy organizatsiyami Rossiyskoy Federatsii v yestestvennyye vodoyemy i vodokhranilishcha / utv. Roskomrybolovstva 29.10.94 № 44A-U. Zaregistrirvano v Minyuste RF 9 fevralya 1995 g. № 792 (Instructions on the procedure for recording fish-breeding products released by organizations of the Russian Federation into natural

water bodies and reservoirs / approved by Roskomrybolovstvo on October 29, 1994, No. 44A-U. Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on February 9, 1995, No. 792).

Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii ot 25 avgusta 2015 g. № 377 "O vnesenii izmeneniy v metodiku rascheta ob'yema dobychi (vylova) vodnykh biologicheskikh resursov, neobkhodimogo dlya obespecheniya sokhraneniya vodnykh biologicheskikh resursov, neobkhodimogo dlya obespecheniya sokhraneniya vodnykh biologicheskikh resursov i obespecheniya deyatel'nosti rybovodnykh khozyaystv pri osushchestvlenii rybolovstva v tselyakh akvakul'tury (rybovodstva), utverzhdennoyu Prikazom Ministerstva" (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated August 25, 2015 No. 377 "On Amendments to the Methodology for Calculating the Volume of Extraction (Catch) of Aquatic Biological Resources Necessary to Ensure the Conservation of Aquatic Biological Resources and Ensure the Operation of Fish Farms in the Implementation of Fisheries for the Purposes of Aquaculture (Fish Farming), Approved by Order of the Ministry)".

Поступила в редакцию 12.08.2025 г.

После доработки 17.10.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

*The article was submitted 12.08.2025; approved after reviewing 17.10.2025;
accepted for publication 3.12.2025*

Научная статья

УДК 639.2.053.4:597.53

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-767-780

EDN: KUTFOK



РАСЧЕТ ОЖИДАЕМОГО ПРОМЫСЛОВОГО ВОЗВРАТА
ПРИ ЗАРЫБЛЕНИИ ЗАЛИВОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ
МОЛОДЬЮ ЕВРОПЕЙСКОГО УГРЯ *ANGUILLA ANGUILLA*

К.А. Чебан, Л.В. Савина*

Калининградский государственный технический университет,
236040, г. Калининград, Советский проспект, 1

Аннотация. Оценена ожидаемая величина промыслового возврата для обоснования объемов зарыбления и разработки мер восстановления популяции европейского угря *Anguilla anguilla* в Калининградском и Куршском заливах Калининградской области. Применены три метода расчета: прямой расчет по показателям ожидаемого улова и целевых показателей пропуска производителей на нерест, рассчитанных в Планах управления, модифицированная формула С.В. Шибасева и интерполяция литературных данных. Установлено, что ожидаемая величина промыслового возврата для молоди угря массой 1–4 г в заливах Калининградской области может составить 12–14 %. Полученные значения служат основой для планирования ресурсных мероприятий, но требуют дальнейшего уточнения в рамках долгосрочной программы мониторинга, учитывающей видовые особенности угря, проведение ежегодных оценок с разделением в уловах на желтого и серебристого угря.

Ключевые слова: европейский угорь, *Anguilla anguilla*, промысловый возврат, пополнение запаса, улов, серебристый угорь, желтый угорь, стекловидная личинка

Для цитирования: Чебан К.А., Савина Л.В. Расчет ожидаемого промыслового возврата при зарыблении заливов Калининградской области молодь европейского угря *Anguilla anguilla* // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 767–780. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-767-780. EDN: KUTFOK.

Original article

Calculation of the expected commercial return after stocking the lagoons
in the Kaliningrad Region with juvenile european eel *Anguilla anguilla*

Ksenia A. Cheban*, Liana V. Savina**

*, ** Kaliningrad State Technical University, 1, Sovetsky Prospect, Kaliningrad, 236040, Russia

* Ph.D., head of department, kseniia.cheban@gmail.com, ORCID 0000-0002-2400-4618

** Ph.D., associate professor, lecturer, liana.savina@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7795-9071

Abstract. The population of european eel *Anguilla anguilla* is in critical condition, having reached a historic low. In the framework of the Eel Management Plans, juvenile eels

* Чебан Ксения Андреевна, кандидат биологических наук, начальник отдела, kseniia.cheban@gmail.com, ORCID 0000-0002-2400-4618; Савина Лиана Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент, преподаватель, liana.savina@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7795-9071.

© Чебан К.А., Савина Л.В., 2025

have been stocked in the Kaliningrad and Curonian Lagoons since 2022. The key indicator for effectiveness of these measures is the commercial return, but its calculation is complicated by lack of systematic monitoring. To justify the volume of stocking and effect of measures for restoring the population, the expected commercial return is estimated by three methods of calculation: i) direct calculation based on expected catch and planned escapement of spawners to the spawning grounds; ii) interpolation of data from scientific literature; and iii) modified formula proposed by S.V. Shibaev. As the result, the expected value of commercial return for juvenile eels weighing 1–5 g is estimated as 12–14 % for these two vast lagoons in the Kaliningrad Region. This value can be used as a basis for planning resource activities, but require further clarification within the long-term monitoring program that conducts annual assessments of the eel stock taking into account the species features, as separate counting the yellow and silver stages of eel in catches.

Keywords: european eel, *Anguilla anguilla*, fish return, fish stock replenishment, catch, silver eel, yellow eel, glass larva

For citation: Cheban K.A., Savina L.V. Calculation of the expected commercial return after stocking the lagoons in the Kaliningrad region with juvenile european eel *Anguilla anguilla*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 767–780. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-767-780. EDN: KUTFOK.

Введение

Согласно последней оценке Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП), популяция европейского угря *Anguilla anguilla* находится под угрозой исчезновения, с начала 1980-х гг. она сократилась на 95 %, что отчасти объясняется факторами, действующими на разных этапах его жизненного цикла [Wright et al., 2022]. Совет Европейского союза (ЕС) принял постановление № 1100/2007*, предлагающее государствам-членам ЕС представить План управления популяцией европейского угря (Eel management plan) для каждого бассейна, являющегося естественной средой обитания этого вида. Каждая страна сама решает, какой массой будет выпускать угря в естественную среду. Европейские страны по-разному подходят к зарыблению, но в основном придерживаются одной тактики — зарыбление угря после 2–3-месячного карантина.

По этому постановлению для восстановления популяции необходимо пропустить не менее 40 % нетронутой биомассы серебряного угря (т.е. без какого-либо антропогенного воздействия). Для оценки его запаса разработаны и протестированы различные методы: прямой отлов и/или подсчет серебряного угря, косвенные индикаторы, основанные на знаниях о популяциях желтого угря, а также модельные прогнозы и экстраполяции [Report..., 2010**; <https://hal.science/hal-04270649v1>]. Оценки общего количества улова, когда перехватывается весь поток серебряного угря, встречаются редко, и, как правило, их приходится получать на основе исследования с повторным отловом или прямых подсчетов**.

Планы управления популяцией европейского угря со стороны Российской Федерации были разработаны в 2021 г. для Калининградского (Вислинского) залива и в 2022 г. для Куршского залива Калининградской области [Khrustalev, Cheban, 2021, 2022***; Чебан и др., 2022]. Данные Планы были утверждены английским CITES и уже с 2022 г. при поддержке правительства Калининградской области ООО «Гудфиш» начал реализовывать проект по зарыблению европейского угря в Калининградский (Вислинский) и Куршский заливы.

* Council of the European Union. Council Regulation (EC) No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel, Brussels. 7 p.

** Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL): ICES CM 2010/ACOM:18. Hamburg, Germany, 2010. 201 p.

*** Khrustalev E., Cheban K. Russian Eel Management Plan for the Vistula Lagoon Drainage Basin in the Kaliningrad region. Kaliningrad, 2021. 73 p.; Khrustalev E., Cheban K. Russian Eel Management Plan for Curonian Lagoon Drainage Basin in the Kaliningrad region. Kaliningrad, 2022. 99 p.

Правительством РФ в 2024 г. были внесены изменения в Приказ Министерства сельского хозяйства от 21.10.2020 г. № 620 «Об утверждении правил рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна» — введен шестимесячный запрет на вылов угря, что соответствует предложению Брюссельского совета (https://www.parlament.gv.at/dokument/XXVIII/EU/974/imfname_11424195.pdf).

В ведомственных нормативных правовых актах имеются сведения о величине пополнения запаса (промыслового возврата) 20 % от молоди угря средней массой 5–10 г*. Но, как показала практика, угорь достигает данной массы только через год выращивания, что экономически не целесообразно, а длительное пребывание в искусственной среде может плохо сказаться на выживаемости угря в естественной среде после зарыбления. По данным Davey, Jellyman [2005] при большой плотности посадки рыбы в бассейнах и более длительном пребывании в них формируется больше самцов. Чем раньше угорь будет выпущен в естественную среду, тем легче ему будет адаптироваться в ней. И наоборот, те угри, которые долгое время поддерживались в искусственной среде, будут иметь большую зависимость от своего искусственного окружения, и им потребуется гораздо больше времени для адаптации.

Для разработки научно обоснованных и экономически эффективных программ пастбищного угреводства, включая зарыбление, первостепенное значение имеет определение расчетных (ожидаемых) величин ключевых показателей эффективности, таких как промысловый возврат. Эти прогнозные значения, полученные на основе анализа исторических данных, литературных источников и модельных расчетов, служат критически важной основой для планирования объемов выпуска молоди, необходимых для достижения целевых показателей по пополнению промыслового запаса. Подчеркнем, что данные расчетные значения носят предварительный характер и являются отправной точкой. Их принципиальная функция заключается в формировании реалистичных управленческих решений на старте программы. Последующий непрерывный мониторинг и проверка полученных результатов на основе сбора актуальных данных о вылове, росте и выживаемости выпущенной молоди являются обязательным условием для коррекции как самих моделей прогнозирования, так и объемов зарыбления.

В условиях отсутствия системного мониторинга и данных мечения планирование мероприятий по зарыблению на начальном этапе возможно лишь на основе экспертных оценок и расчетных методов, регламентированных нормативно-правовой базой. В данной работе мы не декларируем точной величины промыслового возврата, а даем сравнительный анализ результатов, полученных различными методами, для формирования обоснованных исходных данных объемов зарыбления и последующей оценки эффективности рыбоводных мероприятий на основе данных мониторинга. Поэтому целью работы являлось прогнозирование величины промыслового возврата от молоди европейского угря массой 1–4 г, выпускаемой в заливы Калининградской области в рамках программы сохранения и восстановления популяции угря.

* Приказ Минсельхоза России от 30.01.2015 г. № 25 (ред. от 18.12.2023) «Об утверждении Методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства)»; Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26.05.2025 № 297 «О внесении изменения в Методику определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния, утвержденную приказом Федерального агентства по рыболовству от 6 мая 2020 г. № 238».

Материалы и методы

Авторами проведен поиск отечественной и иностранной литературы о понимании и методологических подходах к расчету величины промыслового возврата. Также рассмотрены имеющиеся данные о величине промыслового возврата европейского угря в ряде стран: СССР (Россия, Беларусь, Литва, Эстония), Польша, Финляндия, Швеция, Тунис.

Для формирования рабочей оценки были применены три метода расчета промыслового возврата европейского угря для выпускаемой молоди массой 1–4 г, рекомендуемые или используемые в отечественной практике управления рыболовством.

Первый метод основывался на прямом расчете от планируемых объемов улова и целевых показателей пропуска производителей на нерест, установленных в Планах управления для Калининградского и Куршского заливов [Khrustalev, Cheban, 2021, 2022*; Чебан и др., 2022]. Второй метод базируется на авторской модифицированной формуле С.В. Шибаева [2018], применяемой для выпускаемых рыб различной массы. Для адаптации формулы были использованы биологические параметры угря, характерные для региона исследования. Третий метод представляет собой интерполяцию между известными литературными значениями промыслового возврата для стекловидной личинки и подрощенной молоди массой 5–10 г и предлагается для использования в случае отсутствия данных**.

Все расчеты проводились на основании собственных и литературных данных, в том числе зарубежных, по биологическим параметрам угря трансграничных заливов Калининградской области.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время термин «величина промыслового возврата» применяется как при проектировании рыбоводных хозяйств, так и при оценке затрат на компенсацию ущерба, наносимого водным биоресурсам в результате различных видов хозяйственной деятельности***.

Анализируя отечественные и зарубежные литературные источники, можно отметить значительную вариабельность показателей промыслового возврата для одного вида в различные годы и в разных водных бассейнах при сохранении общего порядка величин.

Современные исследования позволяют расширить и детализировать эти положения, выделяя дополнительные значимые факторы: качество и физиологическое состояние молоди при выпуске; трофические условия в водоеме вселения; уровень промысловой нагрузки; антропогенная трансформация местообитаний (наличие миграционных барьеров, изменение гидрологического режима).

Учет всего комплекса факторов необходим для достоверного прогнозирования эффективности мероприятий по зарыблению молодью угря.

В связи с ограниченностью и фрагментарностью данных по промысловому возврату европейского угря нами был проведен систематический анализ отечественных и зарубежных литературных источников с целью обобщения имеющихся сведений о величине данного показателя.

В СССР зарыбление внутренних водоемов проводили стекловидной личинкой угря без проведения карантина. За 1960–1980-е гг. среднегодовые объемы завоза стекловидной личинки составили около 8 млн шт. [Мусатов, 1968; Кохненко, 1969; Кохненко и др., 1977; Петухов, 2004]. Средняя масса зарыбленных личинок угря — 0,3–0,4 г. В Польше производили зарыбление стекловидной личинкой угря, прошедшей месячный

* Khrustalev E., Cheban K. Russian Eel Management Plan... (2021, 2022).

** Приказ ФАП от 26 мая 2025 г. № 297.

*** Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 31 марта 2020 г. № 167 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам».

карантин с кормлением (средняя масса молоди 0,5–0,6 г) или без кормления (средняя масса молоди 0,3 г).

Положительный пример зарыбления молоди угря, ее роста, продолжительности участия в промысле одной генерации, а также данных о вылове за ряд лет промыслового угря был получен в водоемах Белоруссии, где в отдельные годы уловы достигали 80 т (годы вылова 1962–1972 гг., зарыбление 1956 г.). В предыдущие годы промысловый возврат был 5,7 %, при зарыблении в 1956 г. промвозврат в 1962–1972 гг. составил 2–20 % [Кохненко, 1969].

Ограниченные отечественные публикации дают информацию о вероятной величине промыслового возврата европейского угря. Так, в одном источнике [Справочник..., 1983] приводятся данные о величине промвозврата в озерах Белоруссии 8–10 % от стекловидных личинок массой 0,30–0,45 г. В других источниках [Кохненко, 1969; Козлов, Абрамович, 1991] отмечено, что на практике промысловый возврат для подрошенной молоди (после проведения карантина) значительно выше (до 40–60 %), чем при зарыблении сразу стекловидным угрем в разнотипные озера (20–30 %) [Schäperclaus, 1949]. А.А. Костюченко и Г.П. Прищепов [1972] определили, что промвозврат от зарыбления разовой посадки стекловидного угря в изолированные озера и озерные группы Белоруссии находился в пределах 1,5–8,5 % и в среднем был принят равным 4,0 %. В целом для Белоруссии по факту учтенного вылова от всех генераций за всю угревую кампанию промысловый возврат составил 3,94 % [Костоусов и др., 2009], или примерно те же 4,0 %, установленные ранее.

По данным АтлантНИРО, который оценил результаты зарыбления Польшей Вислинского (Калининградского) залива стекловидной личинкой угря в 1970–1994 гг. (<https://fish.gov.ru/tag/rossijsko-polskaya-smeshannaya-komissiya-po-rybному-khozyajstvu/>), и в статье Е. Филюк* величина коэффициента промыслового возврата от стекловидной личинки угря в среднемноголетнем измерении составила 8 %.

Близкие результаты указаны в эстонских исследованиях, где величина промвозврата от стекловидной личинки — 5,0–8,3 %**. Поэтому значение 8 % мы взяли за основу в своих расчетах для стекловидной личинки угря.

В финских исследованиях*** представлена информация об озерах в Эво, которые находятся под пристальным наблюдением с момента первого зарыбления в 1890-е гг. По обе стороны от берега на рубеже веков зарыбление проводилось в 7 озерах, из которых вытекают лишь небольшие каналы или ручьи. Самый длительный период вылова на этих участках насчитывает почти 80 лет [Tulonen, Pursiainen, 1992]. Выход рыбы варьировал от 19,4 до 42,7 %, в среднем 28,0 %. На тысячу зарыблений было получено около 73 кг улова. До настоящего времени наиболее тщательно контролировалось зарыбление стекловидной личинкой желтого угря в исследовательских водах Эво в 1966 г. Желтых угрей разводили в трех озерах, в двух из которых (Маяярви, Валкеаи Муста) ловили только в озере, а в Хаутаярви также с помощью садков для угрей в отводном канале. Показатели возврата в первых двух составили соответственно 22,9 и 45,1 %, а в Хаутаярви — 47,8 %.

В общей сложности на сегодняшний день от зарыблений получено 630 кг улова на тысячу экземпляров угря. Мониторинг зарыблений, проведенных в 1978 и 1989 гг., все еще продолжается, но на данном этапе возврат составляет 10,0–35,7 %***.

Из отчета о заседании в 2010 г. объединенной рабочей группы EIFAC/ICES по угрям**** можно выделить уровень повторной поимки угрей: около 30 % за период до начала XXI века и современный — 10 %.

* Филюк Е. Результаты ихтиологических исследований, проводившихся в польской части Вислинского залива, и сравнение их с результатами исследований прошлых лет: пер. с польск. Гдыня: Морской институт рыболовства, 1989. 14 с.

** Eel management plan Estonia. 2008. 32 p.

*** The Finnish Eel Management Plan. Suomi, Finland, 2009. 79 p.

**** Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group..., 2010.

Так, уже в начале 2000-х гг. уровень нерестового выхода европейского угря из прибрежных вод Швеции был крайне низок (около 1 % от уровня нерестовой популяции, или около 10 % от потенциального уровня)*. Полученные значения демонстрируют критически низкий уровень промыслового возврата, что свидетельствует о необходимости реализации комплексных мер для сохранения и восстановления популяционного потенциала вида. Рабочей группой EIFAC/ICES предложена целевая величина нерестового выхода (escapement) на уровне 50 %, для достижения которой рекомендованы следующие приоритетные мероприятия: полное прекращение промысловой эксплуатации и ежегодное зарыбление не менее 80 млн особей в Балтийском бассейне и 90 млн особей на западном побережье Европы. В качестве альтернативного сценария рассматривается комбинация полного промыслового запрета с частичным зарыблением и реализацией мер по повышению выживаемости на всех этапах онтогенеза*.

Эксперимент по цветовому мечению и повторному отлову проводился в оз. Ичкеул (Тунис) с декабря 2013 г. по февраль 2014 г., охватывая зимний скат угрей. Размеры мигрирующих рыб составляли от 33 до 79 см, преобладающими были 63,0 и 69,5 см, а средняя масса — $585,30 \pm 156,77$ г. Среди них 97 % — самки. Численность мигрирующих серебряных угрей оценивалась в 342221 (297956–386486) экз., что соответствовало биомассе 200,2 (174,3–226,1) т при рыбопродуктивности 23,55 (20,51–26,60) кг/га, а промысловый возврат — в 18,8 % (16,6–21,5 %), что соответствует коэффициенту ухода (спуска) на нерест 81,2 % (78,5–83,4 %) [Derouiche et al., 2016].

В соответствии с данными обзора Плана трансграничного управления популяцией европейского угря в польско-российской зоне бассейна р. Преголя и Вислинского залива исторический уровень нерестового пропуска (escapement) оценивался приблизительно в 161,5 тыс. особей серебряной стадии, что соответствовало 40 % от целевого показателя, составлявшего около 64,6 тыс. особей**. В 2010–2012 гг. фактический пропуск производителей был зафиксирован на уровне 6,3 тыс. особей, что составило лишь 3,9 % от исторического значения. В контексте восстановления популяции, по данным Р. Кольмана и С. Робака [2007], ожидаемый промысловый возврат от молоди массой 2–10 г в условиях Польши может достигать 50 %.

Шведские исследователи оценили современный нерестовый выход производителей европейского угря и сопоставили его с максимально возможным нерестовым выходом современной популяции и расчетным нерестовым выходом популяции угря*. В пересчете на нынешнюю популяцию пропуск производителей на шведском побережье Балтийского моря равен 8 % от возможного пропуска без промысла, учитывая современный популяционный состав угря. Аналогичный показатель на западном побережье Швеции составил примерно 11 %.

В пересчете на прошлую популяцию, учитывая десятикратное сокращение популяционного состава угря с середины XX века, текущий пропуск производителей соответствует 0,8 и 1,1 % от пропусков производителей расчетного поголовья угря середины прошлого века. Такая разница объяснима тем, что пополнение популяции угря за последние 20 лет составляло лишь около 5–10 % от пополнения популяции в середине 1900 г.*

Как следует из работы С.В. Шибеева [2018], оценка величины промыслового возврата может осуществляться на основе нескольких подходов:

— путем мечения тем или иным способом выпускаемой молоди с последующим ее отловом по достижении промысловых размеров;

* Åström M., Wickström H., Andersson J. Spawner escapement of the European eel (*Anguilla anguilla* (L.)) from Swedish coastal waters: ICES CM 2004/K:74. 2004. DOI: 10.17895/ices.pub.25349563.v1.

** Walker A., Dekker W., Poole R. Review of the Trans-border management plan for European eel, *Anguilla anguilla*, in the Polish-Russian zone of the Pregola River basin and Vistula Lagoon: ICES CM 2016/ACOM:49.2016. 14 p. DOI: 10.17895/ices.pub.19283948.

— регистрацией изменения величины улова в связи с проведением искусственного воспроизводства;

— на основе изучения выживаемости молоди рыб на разных стадиях ее развития.

Для выявления общего коэффициента промыслового возврата необходимо каждый год учитывать вылов рыб одного года посадки, для чего необходимо проводить размерно-возрастной анализ всего улова разводимых рыб.

Для расчета доли особей, выживших до момента вступления в промысловый запас, рабочая группа по угрям ICES/EIFAC рекомендовала использовать значения выживаемости от размера пополнения промысла желтого угря (L_R) до нерестового пропуска (при L_λ) и количество угрей, ежегодно попадающих на длину L_R^* .

По данным С.В. Кохненко [1969], на величину промыслового возврата влияют в основном два фактора:

— естественная смертность, куда относят также гибель зарыбленной молоди от хищников, и вылов особей, не достигших промысловых размеров;

— уход серебряного угря в море на нерест.

Но рядом исследователей [Кохненко, 1969; Костюченко, Прищепов, 1972; Бездежных, 1983; Петухов, 2004; Плюта и др., 2016; Костоусов, Колтунов, 2020; Ризевский и др., 2020] отмечалось также, что скат угря в целях саморасселения (до достижения покатной стадии) имеет существенное, а порой определяющее значение для формирования промысловой численности и биомассы угря при зарыблении стекловидной или подрощенной молодью.

Отлов рыбаками-любителями молоди угря, не достигшей промыслового размера, может сказаться на численности его стада. Естественная смертность, гибель от хищников и вылов особей, не достигших промысловых размеров, снижают промысловый возврат. Поэтому показатель естественной смертности необходимо учитывать в расчетах величины промыслового возврата.

Для расчета коэффициента промыслового возврата в отечественной рыболовной практике часто использовалась стандартная методика, принятая отдельно для каждого вида:

$$\text{Кп. в} = \left(\frac{N_b}{N_n} \right) 100,$$

где Кп.в — коэффициент промыслового возврата, %; N_b — количество выловленных рыб (разводимых), экз.; N_n — количество выпущенных на нагул (разводимых), экз. [Справочник..., 1983].

Следует отметить, что данная формула не учитывает естественную смертность и миграционные потери, что может приводить к завышению промыслового возврата.

Для выявления общего коэффициента промыслового возврата предлагается учитывать вылов рыб одного года посадки [Справочник..., 1983], для чего необходимо проводить размерно-возрастной анализ всего улова разводимых рыб. Коэффициент общего промыслового возврата находится по следующей формуле:

$$\text{Кп. в} = [(N_{b_1} + N_{b_2} + N_{b_3} + \dots + N_{b_m}) / N_n] 100,$$

где N_{b_1} , N_{b_2} , N_{b_3} , N_{b_m} — количество выловленных рыб одной посадки в возрасте 1, 2, 3, ..., m лет, экз.; N_n — общее количество выпущенных на нагул рыб одной посадки, экз.

С.В. Кохненко [1969] для расчета ожидаемого улова угря предлагает пользоваться формулой

$$Y = npb / 100,$$

где Y — ожидаемый общий вылов угря, ц; n — количество посаженных стекловидных угрей, шт.; p — промысловый возврат, % к количеству посаженных угрей; b — расчетная средняя масса одного угря, кг.

Прямое применение приведенных методик расчета промыслового возврата невозможно в связи с отсутствием системного мониторинга популяции. Несмотря на

* Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group..., 2010.

запуск программы мониторинга в 2024 г., текущая система учета не включает дифференциацию между выпущенной молодью и природной популяцией. Метка хлоридом стронция, применяемая перед зарыблением, требует использования специализированного оборудования для детекции, что ограничивает возможности оперативной оценки эффективности рыбоводных мероприятий. Данная методика мечения не дает точного понимания, выпущенный ли это угорь Российской Федерации или трансграничных стран — Польши и Литвы, так как данным видом мечения пользуются многие европейские страны ввиду его экологичности. Необходимо применять дополнительные виды мечения и/или проводить смешанные комиссии с трансграничными странами для договоренности о разных видах мечения угря.

Расчет промовозврата на основе средней массы угря и ожидаемого улова. В Планах управления угрем в Калининградском и Куршском заливах с опорой на методику ICES нами был сделан расчет целевого показателя для Калининградского залива [Khrustalev, Cheban, 2021*; Чебан и др., 2022, 2023], который составил 57,6 т (40 %). Формирование стабильного ядра серебряного угря на таком уровне позволяет довести объем уловов в будущем (не ранее чем через 12–14 лет) до 86,4 т. Это может быть достигнуто только путем ежегодного зарыбления 1,5–4,0 млн экз. молоди угря (в расчете приняли среднее значение — 2,75 млн экз.).

Величину промыслового возврата можно рассчитать по формуле Н.И. Кожина [1951] с учетом средней массы угря в уловах за последние годы 0,4 кг:

$$\frac{144000 \text{ кг}}{0,4 \text{ кг}} = 360000;$$

$$\frac{360000 \cdot 100 \%}{2750000} = 13,1 \%.$$

В Плате управления угрем для Куршского залива** расчет целевого показателя составил 98,4 т (40 %), что позволяет довести в будущем (не ранее чем через 12–14 лет) объем уловов до 148 т. Это может быть достигнуто путем ежегодного зарыбления 3,0–7,5 млн экз. молоди угря (в расчете примем среднее значение — 5,25 млн экз.). При средней массе угря в уловах 0,4 кг величина промыслового возврата составит

$$\frac{2460000}{0,4 \text{ кг}} = 615000;$$

$$\frac{615000 \cdot 100 \%}{5250000} = 11,7 \%.$$

Таким образом, можно усреднить расчетные данные возможной величины промыслового возврата по обоим заливам для молоди угря 12,4 % (или, округлив, получим 12 %).

Формула С.В. Шибаева. С.В. Шибаев [2018] предложил формулу, которая позволяет рассчитывать коэффициент промыслового возврата для молоди любой массы (W_a) и не требует данных о фактическом пополнении промыслового запаса:

$$K_R = e^{-M_0 e^{-m W_a} - M(t_s - 1)}.$$

Также данная формула учитывает значения смертности, что отсутствует в других расчетах. Величина начальной смертности M_0 , мгновенный коэффициент естественной смертности M приняты по обобщенной модели [Шибаев, 2018]. Возрастные параметры (возраст созревания, в котором оказываются половозрелыми 50 % особей, t_s , и предельный возраст жизни угря, t_x) рассчитывались исходя из имеющихся региональных фондовых и зарубежных данных, так как водоемы Калининградской области являются трансграничными [Lin et al., 2007; Шибаев и др., 2008; Simon, 2015].

Практическое применение данной формулы требует предварительного определения неизвестного коэффициента m . Расчет данного параметра осуществляется на основе биологических характеристик объекта выращивания. Начальная масса стекловидной

* Khrustalev E., Cheban K. Russian Eel Management Plan... (2021).

** Khrustalev E., Cheban K. Russian Eel Management Plan... (2022).

личинки угря $W_0 = 0,1-0,3$ г (в расчетах принято среднее значение $0,2$ г). Масса в конце выращивания $W_1 = 1-4$ г. Величина начальной смертности $M_0 = 7,091$, коэффициент естественной смертности $M = 0,179$, а конечная смертность будет соответствовать месячной гибели взрослых рыб $M_1 = M/12$. Если выпуск молоди происходит в середине года, то при необходимости можно пропорционально пересчитать и конечную смертность M_1 . В нашем случае мы использовали данные компании ООО «Гудфиш», которые получили за три года выращивания угря перед ее выпуском в заливы. До массы 1 г молодь угря выращивают $4-5$ мес., 2 г — 6 мес., 3 г — 7 мес., 4 г — 8 мес.

Для примера мы привели расчет по выпускаемой молоди угря массой 4 г с длительностью выращивания 8 мес. от стекловидной личинки угря (см. таблицу). В результате искомый коэффициент m будет равен

$$m = - \frac{\ln \frac{M}{8M_0}}{W_1 - W_0},$$
$$m = - \frac{\ln \frac{0,179}{8 \times 7,091}}{4 - 0,2} = 1,515.$$

Таким образом, имея все значения и подставив их в формулу, получим, что при массе зарыбляемой молоди $W_a = 4$ г коэффициент промыслового возврата K_R составит:

$$K_R = e^{-7,091} e^{-1,515 \times 4 - 0,179 (12-1)} = e^{-1,952} = 0,137, \text{ или } 13,7 \, \%.$$

Рассчитанный коэффициент промыслового возврата европейского угря по формуле С.В. Шibaева [2018] для молоди массой $1-4$ г
The calculated coefficient of commercial return of European eel according to the formula of S.V. Shibaev [2018] for juveniles weighing $1-4$ g

Параметр	Масса выпускаемого угря (W_a), г			
	1	2	3	4
Длительность выращивания от стекловидной личинки до выпускаемой молоди W_1 , мес.	4–5	6	7	8
M_1	$M/4$	$M/6$	$M/7$	$M/8$
t_d , годы	30	30	30	30
t_s , годы	12	12	12	12
W_0 , г	0,2	0,2	0,2	0,2
M , 1/год	0,179	0,179	0,179	0,179
M_0 , 1/год	7,091	7,091	7,091	7,091
m , 1/год	6,331	3,039	2,009	1,515
Величина промыслового возврата K_R , %	13,8	13,7	13,7	13,7

По данному методу мы получили, что для выпускаемой молоди угря массой $1-4$ г коэффициент промыслового возврата K_R составит $13,7 \, \%$ (или, округлив, — $14 \, \%$).

Метод интерполяции. Для установления величины промыслового возврата можно применить метод интерполяции. Данный метод ранее был рекомендован Минрыбхозом СССР 18.12.1989, в настоящее время предлагается к использованию в Приказе Федерального агентства по рыболовству от 6 мая 2020 № 238, когда при отсутствии данных по отдельным стадиям развития и весовым категориям водных биоресурсов величины промыслового возврата для них должны определяться методом интерполяции.

Поскольку данный метод трактуется неоднозначно, мы предлагаем усовершенствовать его расчет. Вместо простого сравнения величин промвозврата для стекловидной личинки и молоди угря мы предлагаем интерполировать эти показатели, учитывая разницу в массе между стадиями.

Для расчетов применялись известные величины промыслового возврата:

— для стекловидной личинки угря Вислинского залива (по данным АтлантНИРО) — $8 \, \%$.

— для подрощенной молоди угря массой $5-10$ г — $20 \, \%^*$.

* Приказ ФАР от 26 мая 2025 г. № 297.

Для начала мы определили средние значения величин:

— между известными величинами промыслового возврата 20 и 8 % (среднее значение 14 %)

— между массой зарыбляемой молоди 5,0–10,0 г (среднее значение 7,5 г) и прошедшей карантин стекловидной личинки 0,50–0,60 г (среднее значение 0,55 г). Разница в массе между молодью (7,5 г) и стекловидной личинкой (0,55 г) составляет 6,95 г.

Следовательно, прирост величины промвозврата в расчете на градиент возрастания массы 1 г — $14\%/6,95\text{ г} = 2,01\%$, или 2 %.

Если взять за основу, что промвозврат для стекловидной личинки массой 0,55 г составляет 8 %, то для угря массой 1 г величина промыслового возврата — 9 % ($8\% + 1\%$), массой 2 г — 11 %, 3 г — 13, 4 г — 15, 5 г — 17 %. Выделяя группу рыб массой 1–2 г, мы учитываем, что такой размерный ряд встречается большую часть летнего периода, поэтому при обосновании промыслового возврата для этой группы молоди целесообразно учитывать величину показателя как среднюю, т.е. 10 %.

Среднее значение величины промвозврата для молоди угря массой 1–4 г можно принять 12 %, массой 1–5 г — 13 %.

Применение совокупности методов позволило получить интегральную оценку ожидаемой величины промыслового возврата для молоди угря массой 1–4 г на уровне 12–14 %. Совпадение результатов, полученных разными методами, повышает надежность расчетов и позволяет рекомендовать этот диапазон в качестве основы для планирования ресурсных мероприятий на начальном этапе.

Полученные значения промыслового возврата, безусловно, нуждаются в корректировке, что возможно лишь при проведении качественного ежегодного мониторинга угря в заливах Калининградской области.

Заключение

Проведенные различными методами расчеты демонстрируют сопоставимые результаты, позволяющие прогнозировать для молоди европейского угря массой 1–4 г в заливах Калининградской области ожидаемую величину промыслового возврата на уровне 12–14 %. Полученная расчетная величина дает возможность сформировать научно обоснованные исходные параметры для планирования первоначальных объемов выпуска молоди в условиях дефицита фактических данных. Одновременно этот показатель задает конкретные целевые ориентиры для программы мониторинга, которая направлена на проверку и уточнение значения ожидаемого промыслового возврата с последующей коррекцией по мере накопления данных.

Полученные значения носят предварительный характер и требуют дальнейшего уточнения в рамках долгосрочной программы ежегодного мониторинга. Конкретные условия применяемых технологий выращивания посадочного материала угря и особенности гидрологических и гидробиологических режимов заливов позволят выбрать оптимальную схему зарыбления молодью угря в рассматриваемом диапазоне значений массы. Для повышения точности прогнозов необходима разработка комплексной динамической модели, учитывающей видовые особенности угря: возрастную структуру, естественную и промысловую смертность; численность особей, пополняющих промысловый запас; значения выживаемости от длины пополнения промысла желтого угря (L_R) до нерестового пропуска (при L_λ); количество угрей, ежегодно попадающих на длину L_R ; миграционную активность и возраст достижения половой зрелости.

Ключевыми направлениями для совершенствования системы оценки эффективности зарыбления являются:

— внедрение единой программы мониторинга с обязательным мечением всей выпускаемой молоди и последующим генетическим или элементным анализом для дифференциации естественной и заводской генераций;

— проведение ежегодных оценок с раздельным учетом желтой и серебристой стадий угря в уловах;

— реализация международных согласованных мер управления, включая полный запрет на промысел и масштабные повторные зарыбления в соответствии с рекомендациями ICES.

Применение адаптивного подхода к управлению популяцией, основанного на постоянном мониторинге и коррекции моделей, позволит повысить эффективность рыбоводных мероприятий в рамках естественного ареала угря.

Таким образом, представленные оценки служат важной отправной точкой для планирования ресурсных мероприятий, однако их практическое использование должно сопровождаться созданием системы оперативного контроля и подтверждения данных.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Мы благодарим анонимных рецензентов за анализ нашей работы и ценные рекомендации, которые были учтены при доработке статьи.

The authors are thankful to anonymous reviewers for their detailed analysis of the study and valuable recommendations taken into account in the article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

Безденежных В.А., Петухов В.Б., Петриков А.М. Проблемы размножения угря : моногр. — Минск : Наука и техника, 1983. — 143 с.

Кожин Н.И. Коэффициент промыслового возврата // Тр. ВНИРО. — 1951. — Т. 19. — С. 22–29.

Козлов В.И., Абрамович Л.С. Справочник рыбовода. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Росагропромиздат, 1991. — 238 с.

Кольман Р., Робак С. Аквакультура Варминьско-Мазурского воеводства как компонент регионального сотрудничества Польши, Литвы и Калининградской области РФ : моногр. — Ольштын, 2007. — 115 с.

Костоусов В.Г., Колтунов В.В. Угорь: останется ли с нами рыба-феномен? // Наука и инновации. — 2020. — № 3(205). — С. 31–34.

Костоусов В.Г., Прищепов Г.П., Петухов В.Б. Научные основы устойчивого использования ресурсов угря и разработка национального плана по их управлению // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. — Минск, 2009. — Вып. 25. — С. 168–175.

Костюченко А.А., Прищепов Г.П. Промысловый возврат угря из озер Белоруссии и определяющие его факторы // Вопр. ихтиол. — 1972. — Т. 12, вып. 6. — С. 1064–1072.

Кохненко С.В. Европейский угорь : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1969. — 108 с.

Кохненко С.В., Безденежных В.А., Горовая С.М. Эколого-физиологическая пластичность европейского угря *Anguilla anguilla* L. : моногр. — Минск : Наука и техника, 1977. — 192 с.

Мусатов А.П. Новые данные о биологии угря и мировом угревом хозяйстве : моногр. — М. : ВНИРО, 1968. — 115 с.

Петухов В.Б. Пресноводные угри *Anguillidae*: репродуктивная биология и аквакультура : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Минск, 2004. — 38 с.

Плюта М.В., Ризевский В.К., Лещенко А.В., Ермолаева И.А. Оценка количества годового ската европейского угря из водоемов Беларуси в трансграничные речные бассейны с целью устойчивого использования его ресурсов // Природные ресурсы и окружающая среда : сб. науч. мат.-лов. — Минск : Беларуская наука, 2016. — С. 189–193.

Ризевский В.К., Костоусов В.Г., Куницкий Д.Ф. и др. Проблема сохранения европейского угря (*Anguilla anguilla* L.) // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сб. науч. тр. — Минск, 2020. — Вып. 36. — С. 170–179.

Справочник по озерному и садковому рыбоводству / под общ. ред. Г.П. Руденко. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 312 с.

Чебан К.А., Хрусталева Е.И., Винокуров Ю.А. План по сохранению запасов европейского угря в Калининградском (Вислинском) заливе // Рыб. хоз-во. — 2022. — № 4. — С. 4–14. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-4-4-14.

Чебан К.А., Хрусталева Е.И., Шаповалова И.Е., Винокуров Ю.А. К вопросу обоснования величины коэффициента промыслового возврата европейского угря (*Anguilla anguilla*) в заливах Калининградской области // Рыб. хоз-во. — 2023. — № 3. — С. 52–59. DOI:10.37663/0131-6184-2023-3-52-59.

Шибяев С.В. Формализация методики оценки промыслового возврата при искусственном воспроизводстве водных биоресурсов // Вопр. рыб-ва. — 2018. — Т. 19, № 2. — С. 247–264.

Шибяев С.В., Хлопников М.М., Соколов А.В. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. — Калининград : ИП Мишуткина, 2008. — 197 с.

Davey A.J.H., Jellyman D.J. Sex determination in fresh-water eels and management options for manipulation of sex // Rev. Fish Biol. Fish. — 2005. — Vol. 15. — P. 37–52. DOI: 10.1007/s11160-005-7431-x.

Derouiche E., Habbechi B.H., Kraïem Med.M., Elie P. Estimates of escapement, exploitation rate, and number of downstream migrating European eels *Anguilla anguilla* in Ichkeul Lake (northern Tunisia) // ICES J. Mar. Sci. — 2016. — Vol. 73, Iss. 1. — P. 142–149. DOI: 10.1093/Icesjms/Fsv185.

Lin Y.-J., Ložys L., Shiao J.-C. et al. Growth differences between naturally recruited and stocked European eel *Anguilla anguilla* from different habitats in Lithuania // J. Fish Biol. — 2007. — Vol. 71. — P. 1773–1787. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2007.01642.x.

Simon J. Age and growth of European eels (*Anguilla anguilla*) in the Elbe River system in Germany // Fish. Res. — 2015. — Vol. 164. — P. 278–285. DOI: 10.1016/j.fishres.2014.12.005.

Schäperclaus W. Grundriss der Teichwirtschaft: Anlage und Bewirtschaftung von Fischteichen und Fischzuchtanlagen. — Parey Berlin, 1949. — 239 s.

Tulonen J., Pursiainen M. Eel stockings in the waters of the Evo State Fisheries and Aquaculture Research Station // Suomen Kalatalous. — 1992. — Vol. 60. — P. 246–261.

Wright R.M., Piper A.T., Aarestrup K. et al. First direct evidence of adult European eels migrating to their breeding place in the Sargasso Sea // Sci. Rep. — 2022. — Vol. 12. 21684. DOI: 10.1038/s41598-022-26117-x.

References

Bezdenezhnykh, V.A., Petukhov, V.B., and Petrikov, A.M., *Problemy razmnzheniya ugrya* (Problems of eel reproduction), Minsk: Nauka i tekhnika, 1983.

Kozhin, N.I., Coefficient of commercial return, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1951, vol. 19, pp. 22–29.

Kozlov, V.I. and Abramovich, L.S., *Spravochnik rybovoda* (Fish farmer's handbook), Moscow: Rosagropromizdat, 1991, 2nd ed.

Kohlman, R. and Robak, S., *Akvakul'tura Varmin'sko-Mazurskogo voyevodstva kak component regional'nogo sotrudnichestva Pol'shi, Litvy i Kaliningradskoy oblasti RF* (Aquaculture of the Warmian-Masurian Voivodeship as a Component of Regional Cooperation of Poland, Lithuania and the Kaliningrad Region of the Russian Federation), Olsztyn, 2007.

Kostousov, V.G. and Koltunov, V.V., Eel: will the fish-phenomenon still remain?, *Nauka i innovatsii*, 2020, no. 3(205), pp. 31–34.

Kostousov, V.G., Prischepov, G.P., and Petukhov, V.B., Cientific bases of a stable use of eel resources and the development of the national plan on their management, in *Sb. nauch. tr. "Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi"* (Col. sci. papers "Fisheries issues in Belarus"), Minsk, 2009, vol. 25, pp. 168–175.

- Kostyuchenko, A.A. and Prishchepov, G.P.**, Commercial return of eel from lakes of Belarus and the factors determining it, *Vopr. Ikhtiol.*, 1972, vol. 12, no. 6, pp. 1064–1072.
- Kokhnenko, S.V.**, *Yevropeyskiy ugor* (European eel), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1969.
- Kokhnenko, S.V., Bezdenezhnykh, V.A., and Gorovaya, S.M.**, *Ekologo-fiziologicheskaya plastichnost' yevropeyskogo ugrya Anguilla anguilla L.* (Ecological and physiological plasticity of the European eel *Anguilla anguilla* L.), Minsk: Nauka i tekhnika, 1977.
- Musatov, A.P.**, *Novyye dannyye o biologii ugrya I mirovom ugrevom khozyaystve* (New data on the biology of the eel and the world eel economy), Moscow: VNIRO, 1968.
- Petukhov, V.B.**, Freshwater eels Anguillidae: reproductive biology and aquaculture, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Minsk, 2004.
- Plyuta, M.V., Rizevsky, V.K., Leshchenko, A.V., and Ermolaeva, I.A.**, Estimation of the amount of annual migration of European eel from water bodies of Belarus to transboundary river basins for the purpose of sustainable use of its resources, in *Sb. nauch. mat-lov "Prirodnyye resursy I okruzhayushchaya sreda"* (Col. sci. materials "Natural resources and the environment"), Minsk: Belaruskaya nauka, 2016, pp. 189–193.
- Rizovsky, V., Kostusov, U., Kunitski, D., Koltunov, V., and Poletaev, A.**, Problem of conservation of the European eel (*Anguilla anguilla* L.), in *Sb. nauch. tr. "Voprosy rybnogo khozyaystva Belarusi"* (Col. sci. papers "Fisheries issues in Belarus"), Minsk, 2020, vol. 36, pp. 170–179.
- Spravochnik po ozernomu I sadkovomu rybovodstvu* (Handbook of Lake and Cage Fish Farming), Rudenko, G.P., ed., Moscow: Legkaya I Pishchevaya Promyshlennost', 1983.
- Cheban, K.A., Khrustalev, E.I., and Vinokurov, Yu.A.**, Eel management plan for Kaliningrad (Vistula) Lagoon, *Rybn. Khoz.*, 2022, no. 4, pp. 4–14. doi 10.37663/0131-6184-2022-4-4-14
- Cheban, K.A., Khrustalev, E.I., Shapovalova, I.E., and Vinokurov, Yu.A.**, To the question of substantiating the value of the coefficient of commercial return of the European eel (*Anguilla anguilla*) in the bays of the Kaliningrad Region, *Rybn. Khoz.*, 2023, no. 3, pp. 52–59. doi 10.37663/0131-6184-2023-3-52-59
- Shibaev, S.V.**, Formalization of Methodic for evaluation of commercial return at artificial reproduction of water bioresources, *Vopr. Rybolov.*, 2018, vol. 19, no. 2, pp. 247–264.
- Shibaev, S.V., Khlopnikov, M.M., and Sokolov, A.V.**, *Rybokhozyaystvennyy kadastr transgranichnykh vodoyemov Rossii (Kaliningradskaya oblast') i Litvy* (Fisheries cadastre of transboundary water bodies of Russia (Kaliningrad region) and Lithuania), Kaliningrad: IP Mishutkina, 2008.
- Davey, A.J.H. and Jellyman, D.J.**, Sex determination in fresh-water eels and management options for manipulation of sex, *Rev. Fish Biol. Fish.*, 2005, vol. 15, pp. 37–52. doi 10.1007/s11160-005-7431-x
- Derouiche, E., Habbechi, B.H., Kraïem, Med.M., and Elie, P.**, Estimates of escapement, exploitation rate, and number of downstream migrating European eels *Anguilla anguilla* in Ichkeul Lake (northern Tunisia), *ICES J. Mar. Sci.*, 2016, vol. 73, no. 1, pp. 142–149. doi 10.1093/Icesjms/Fsv185
- Lin, Y.-J., Ložys, L., Shiao, J.-C., Iizuka, Y., and Tzeng, W.-N.**, Growth differences between naturally recruited and stocked European eel *Anguilla anguilla* from different habitats in Lithuania, *J. Fish Biol.*, 2007, vol. 71, pp. 1773–1787. doi 10.1111/j.1095-8649.2007.01642.x
- Simon, J.**, Age and growth of European eels (*Anguilla anguilla*) in the Elbe River system in Germany, *Fish. Res.*, 2015, vol. 164, pp. 278–285. doi 10.1016/j.fishres.2014.12.005
- Schäperclaus, W.**, *Grundriss der Teichwirtschaft: Anlage und Bewirtschaftung von Fischteichen und Fischzuchtanlagen*, Parey Berlin, 1949.
- Tulonen, J. and Pursiainen, M.**, Eel stockings in the waters of the Evo State Fisheries and Aquaculture Research Station, *Suomen Kalatalous*, 1992, vol. 60, pp. 246–261.
- Wright, R.M., Piper, A.T., Aarestrup, K., Azevedo, J.M.N., Cowan, G., Don, A., Gollock, M., Ramallo, S.R., Velterop, R., Walker, A., Westerberg, H., and Righton, D.**, First direct evidence of adult European eels migrating to their breeding place in the Sargasso Sea, *Sci. Rep.*, 2022, vol. 12, 21684. doi 10.1038/s41598-022-26117-x
- Council of the European Union. Council Regulation (EC) No 1100/2007 of 18 September 2007 establishing measures for the recovery of the stock of European eel*, Brussels.
- Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL): ICES CM 2010/ACOM:18*, Hamburg, Germany, 2010.
- Khrustalev, E. and Cheban, K.**, *Russian Eel Management Plan for Curonian Lagoon Drainage Basin in the Kaliningrad region*, Kaliningrad, 2022.
- Khrustalev, E. and Cheban, K.**, *Russian Eel Management Plan for the Vistula Lagoon Drainage Basin in the Kaliningrad region*, Kaliningrad, 2021.

Walker, A.M., Andonegi, E., Apostolaki, P., Aprahamian, M., Beaulaton, L., Bevacqua, P., Briand, C., Cannas, A., De Eyto, E., Dekker, W., De Leo, G., Diaz, E., Doering-Arjes, P., Fladung, E., Jouanin, C., Lambert, P., Poole, R., Oeberst, R., and Schiavina, M., *Studies and pilot projects for carrying out the common fisheries policy. Lot 2: pilot projects to estimate potential and actual escapement of silver eel*. For the European Commission Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, final report, 2011. <https://hal.science/hal-04270649v1>.

https://www.parlament.gv.at/dokument/XXVIII/EU/974/imfname_11424195.pdf. Cited June 27, 2025.

Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 30.01.2015 g. № 25 (red. ot 18.12.2023) «Ob utverzhdenii Metodiki rascheta ob'yema dobychi (vylova) vodnykh biologicheskikh resursov, neobkhodimogo dlya obespecheniya sokhraneniya vodnykh biologicheskikh resursov i obespecheniya deyatel'nosti rybovodnykh khozyaystv, pri osushchestvlenii rybolovstva v tselyakh akvakul'tury (rybovodstva)» (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated January 30, 2015 No. 25 (as amended on December 18, 2023)) "On approval of the Methodology for calculating the volume of extraction (catch) of aquatic biological resources necessary to ensure the conservation of aquatic biological resources and the activities of fish farms when carrying out fisheries for the purposes of aquaculture (fish farming)".

Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 26.05.2025 № 297 «O vnesenii izmeneniya v Metodiku opredeleniya posledstviy negativnogo vozdeystviya pri stroitel'stve, rekonstruktsii, kapital'nom remonte ob'yektov kapital'nogo stroitel'stva, vnedrenii novykh tekhnologicheskikh protsessov i osushchestvlenii inoy deyatel'nosti na sostoyaniye vodnykh biologicheskikh resursov i sredi ikh obitaniya i razrabotki meropriyatiy po ustraneniyu posledstviy negativnogo vozdeystviya na sostoyaniye vodnykh biologicheskikh resursov i sredi ikh obitaniya, napravlennykh na vosstanovleniye ikh narushennogo sostoyaniya, utverzhennuyu prikazom Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 6 maya 2020 g. № 238» (Order of the Federal Agency for Fisheries dated May 26, 2025 No. 297 "On Amending the Methodology for Determining the Consequences of Negative Impacts during Construction, Reconstruction, Major Repairs of Capital Construction Projects, the Introduction of New Technological Processes, and the Implementation of Other Activities on the State of Aquatic Biological Resources and Their Habitat, and the Development of Measures to Eliminate the Consequences of Negative Impacts on the State of Aquatic Biological Resources and Their Habitat, Aimed at Restoring Their Disturbed State, Approved by Order of the Federal Agency for Fisheries dated May 6, 2020 No. 238").

Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 31 marta 2020 g. № 167 "Ob utverzhdenii Metodiki ischisleniya razmera vreda, prichinennogo vodnym biologicheskim resursam" (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated March 31, 2020 No. 167 "On approval of the Methodology for calculating the amount of damage caused to aquatic biological resources").

Filyuk, E., *Rezul'taty ikhtiologicheskikh issledovaniy, provodivshikhsya v pol'skoy chaste Vislinskogo zaliva, i sravneniye ikh s rezul'tatami issledovaniy proshlykh let* (Results of ichthyological studies conducted in the Polish part of the Vistula Lagoon and their comparison with the results of studies of previous years), Gdynia: Marine Fisheries Institute, 1989.

Eel management plan Estonia, 2008.

The Finnish Eel Management Plan, Suomi, Finland, 2009.

Åström, M., Wickström, H., and Andersson, J., Spawner escapement of the European eel (*Anguilla anguilla* (L.)) from Swedish coastal waters, *ICES CM 2004/K:74*, 2004. doi 10.17895/ices.pub.25349563.v1

Walker, A., Dekker, W., and Poole, R., Review of the Trans-border management plan for European eel, *Anguilla anguilla*, in the Polish-Russian zone of the Pregola River basin and Vistula Lagoon, *ICES CM 2016/ACOM:49*, 2016.

Поступила в редакцию 2.09.2025 г.

После доработки 7.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 2.09.2025; approved after reviewing 7.11.2025; accepted for publication 3.12.2025

Обзорная статья

УДК 639.512

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-781-806

EDN: MOFTYX



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ
HERMETIA ILLUCENS В РАЦИОНАХ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
БЕЛОНОГИХ КРЕВЕТОК *LITOPENAEUS VANNAMEI*
В АКВАКУЛЬТУРЕ (ОБЗОР МИРОВОЙ ЛИТЕРАТУРЫ)**

И.Г. Шайхиев¹, З.Т. Санатуллова¹, К.И. Шайхиева¹, С.В. Свергузова^{2*}

¹ Казанский национальный исследовательский технологический университет,
420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68;

² Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46

Аннотация. Обобщены материалы мировых литературных источников по использованию личинок мухи черная львинка *Hermetia illucens* в составе кормов для выращивания в аквакультуре белоногих креветок *Litopenaeus vannamei*. Приведены данные мирового опыта по разведению белоногих креветок в аквакультуре. Кратко изложена информация по морфологии и жизненному циклу *H. illucens*. Показано содержание белка и жирных кислот в составе нативных и обезжиренных личинок черной львинки. Выявлено, что мука из личинок черной львинки является эффективной кормовой добавкой для различных животных и рыб в аквакультуре. Описаны результаты разных литературных источников по замене рыбной муки мукой из жирных и обезжиренных личинок *H. illucens* на 5–100 % в рационах для выращивания молоди и взрослых особей креветок. Показано влияние замены рыбной муки личиночной мукой на ростовые, весовые, физиологические и морфологические показатели развития белоногих креветок. Выявлено, что наиболее оптимальным для развития креветок является замена рыбной муки мукой из креветок до 30 %. Описаны варианты использования личиночного жира, трех побочных продуктов, образующихся при производстве личинок черной львинки (экзувии, коконы, имаго), а также компоста в составе кормов для культивирования креветок.

Ключевые слова: белоногая креветка, *Litopenaeus vannamei*, личинки, муха черная львинка, *Hermetia illucens*, аквакультура, выращивание

Для цитирования: Шайхиев И.Г., Санатуллова З.Т., Шайхиева К.И., Свергузова С.В. Использование личинок черной львинки *Hermetia illucens* в рационах для культивирования белоногих креветок *Litopenaeus vannamei* в аквакультуре (обзор мировой литературы) // Изв. ТИПРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 781–806. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-781-806. EDN: MOFTYX.

* Шайхиев Ильдар Гильманович, доктор технических наук, профессор, ildars@inbox.ru, ORCID 0000-0001-9160-0412; Санатуллова Земфира Талгатовна, кандидат технических наук, доцент, zemka511@yandex.ru, ORCID 0009-0005-1620-3616; Шайхиева Карина Ильдаровна, кандидат технических наук, доцент, shaykhievak@gmail.com, ORCID 0000-0003-1188-7885; Свергузова Светлана Васильевна, доктор технических наук, профессор, pe@bstu.ru, ORCID 0000-0002-3845-8741.

Use of black soldier fly *Hermetia illucens* larvae in diets for cultivation of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* in aquaculture (world-wide literature review)

Ildar G. Shaikhiev*, Zemfira T. Sanatullova, Karina I. Shaikhieva***, Svetlana V. Sverguзова******

*—**** Kazan National Research Technological University, 68, Karl Marx Str., 420015, Kazan, Russia

**** Belgorod State Technological University, 46, Kostyukov Str., 308012, Belgorod, Russia

* D.Tech., professor, ildars@inbox.ru, ORCID 0000-0001-9160-0412

** Ph.D., assistant professor, zemka511@yandex.ru, ORCID 0009-0005-1620-3616

*** Ph.D., assistant professor, shaykhievak@gmail.com, ORCID 0000-0003-1188-7885

**** D.Tech., professor, pe@bstu.ru, ORCID 0000-0002-3845-8741

Abstract. Cultivation of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* is overviewed, data on this species yield in the world aquaculture are presented, and information from world-wide literature sources on using the larvae of black soldier fly *Hermetia illucens* in feed rations for this shrimp species are summarized. Morphology and life cycle of *H. illucens* are considered briefly. Protein and fatty acid contents of the native and defatted larvae are investigated in details and effectiveness of insect larvae usage for feeding fish and invertebrates in aquaculture is concluded. In diets for growing and adult whiteleg shrimp, the fish meal can be replaced by the feeds produced from fatty and defatted *H. illucens* larvae in amounts from 5 to 100 % with positive effect on growth and physiological and morphological parameters of cultivated shrimps. The replacement of fish meal in 30 % is optimal for their growth and physiological development. The larval fat, three by-products of the larvae (exuviae, cocoons, imago), and compost of the wastes can be used for the shrimp feeding, as well.

Keywords: whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*, fly larva, black soldier fly, *Hermetia illucens*, aquaculture, rearing

For citation: Shaikhiev I.G., Sanatullova Z.T., Shaikhieva K.I., Sverguзова S.V. Use of black soldier fly *Hermetia illucens* larvae in diets for cultivation of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* in aquaculture (world-wide literature review), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 781–806. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-781-806. EDN: MOFTYX.

Введение

В настоящее время в мировом пространстве интенсивно развивается направление аквакультуры по разведению и выращиванию гидробионтов в естественных и искусственных водоемах, а также на специально созданных морских плантациях. В последние годы объем выращенных гидробионтов, в частности рыб, превысил вылов из Мирового океана: 52 % употребляемой человечеством рыбы выращено в искусственных условиях [Pauly, Zeller, 2017]. Однако в сфере искусственного воспроизводства и выращивания гидробионтов возникла серьезная проблема: существенно уменьшились объемы вырабатываемой рыбной муки (РМ) и рыбного жира (РЖ), входящих в состав различных рационов для искусственного выращивания гидробионтов. Также повсеместное развитие аквакультуры и все увеличивающийся спрос на выращиваемую рыбу привели к росту цен на РМ и РЖ, что делает процесс промышленного выращивания гидробионтов менее рентабельным.

В связи с вышеизложенным в настоящее время наметилась тенденция использования в качестве ингредиентов в рационах для выращивания некоторых видов гидробионтов биомассы различных насекомых [Nugroho, Nur, 2018]. К использованию в качестве добавок в кормовые смеси для выращивания животных, птиц, рыб и других гидробионтов рекомендованы 7 следующих видов насекомых: личинки и/или куколки двукрылой мухи *Hermetia illucens*, домашней мухи *Musca domestica*, личинки мучного червя *Tenebrio molitor*, саранча и кузнечики Acrididae, сверчки Gryllidae и катидиды Tettigoniidae, а также куколки тутового шелкопряда *Bombyx mori* [Tran et al., 2015].

Особый интерес представляют личинки и куколки мухи *H. illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). За рубежом муха носит название черный солдатик, в России — черная львинка. *H. illucens* — крупная муха из семейства львинковых *Stratiomyia chamaeleon*, в естественных условиях распространена в тропических и субтропических зонах планеты. Тело взрослых насекомых черного цвета, голени и лапки — белого (рис. 1, а). В настоящее время личинки черной львинки выращиваются в искусственных условиях в большом количестве за рубежом. Данное направление развивается и в Российской Федерации.



Рис. 1. *Hermetia illucens*: а — имаго, б — личинка

Fig. 1. *Hermetia illucens*: а — imago, б — larva

Цель обзора — обобщить данные различных литературных источников по использованию биомассы личинок черной львинки в рационах кормов для выращивания белоногих креветок в аквакультуре и выявить влияние на рост и биологические показатели последних.

Использованы материалы литературных источников, опубликованных с 2002 по 2025 г. Обзорных работ по названной тематике в мировой литературе не выявлено.

Общие данные о черной львинке *H. illucens*

Жизненный цикл *H. illucens* включает несколько фаз развития [Singh, Kumari, 2019]. После вылупления из куколок взрослые особи спариваются на третий день жизни, и уже через несколько дней самка насекомого откладывает до 1000 яиц во влажную питательную среду, в качестве которой можно использовать различные органические субстраты, например навоз сельскохозяйственных животных [Li et al., 2011; Oonincx et al., 2015; Pastor et al., 2015; Julita et al., 2018; Liu et al., 2022; Grassauer et al., 2023], куриный помет [Boaru et al., 2018; Xiao et al., 2018; Свергузова и др., 2021а], пищевые [Zheng et al., 2012; Parra Paz et al., 2015; Ritika et al., 2015; Шайхиев и др., 2020а], сельскохозяйственные отходы [Jucker et al., 2017; Isibika et al., 2019; Amrul et al., 2022; Hidayat et al., 2024] и др. Через несколько дней из яиц вылупляются личинки размерами до 5 мм, которые развиваются в течение 14–20 дней.

За этот отрезок времени личинки *H. illucens* усиленно усваивают органический субстрат, увеличиваясь в размерах вплоть до 30 мм в длину, 6 мм в ширину с соответствующим ростом биомассы. Многочисленными исследованиями выявлено, что личинки черной львинки могут перерабатывать более 40 % органического субстрата, превращая его в ценный компост [Da Silva, Hesselberg, 2020; Veldkamp et al., 2021]. Когда личинки насекомого достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкуколок с последующим окукливанием и превращением в куколки, из которых впоследствии выводятся взрослые особи (имаго), и жизненный цикл повторяется. Отличительной чертой личинок *H. illucens* является их состав, включающий большое количество сырого белка (30–45 %), жирных кислот (13–45 %) и хитина (до 5 %). На предприятиях по выращиванию личинок черной львинки последних отделяют от субстрата, высушивают и далее используют в составе кормов или же выдавливают

жидкое содержимое и обезжиренный остаток также применяют в различных рационах. Указывается, что содержание сырого белка и жирных кислот в личинках составило соответственно 30,72 и 36,20 г/100 г сухой массы личинок, после обезжиривания — 47,70 и 8,11 г/100 г сухой массы личинок [Saputra et al., 2023]. Аминокислотный состав нативных и обезжиренных личинок насекомого приведен в табл. 1.

Таблица 1
Аминокислотный состав нативных и обезжиренных личинок *H. illucens* [Saputra et al., 2023],
г/100 г сухой массы

Table 1
Amino acid composition for native and defatted larvae of *H. illucens* [Saputra et al., 2023],
g/100 g dry weight

Аминокислота	Нативные личинки	Обезжиренные личинки
Аланин	1,28	0,72
Аргинин	1,23	0,70
Аспаргат	2,35	1,84
Глицин	1,85	0,84
Гистидин	0,43	0,72
Глутамин	3,21	3,12
Серин	1,65	0,71
Треонин	0,77	0,82
Пролин	1,82	0,84
Тирозин	0,78	0,71
Валин	1,27	0,61
Метионин	0,61	0,52
Цистеин	0,74	0,61
Лейцин	2,13	1,30
Изолейцин	1,18	0,88
Фенилаланин	0,88	0,69
Лизин	2,16	1,26

Следует отметить, что аминокислотный состав личинок *H. illucens* зависит от многих параметров, таких как состав субстрата, на котором они выращиваются, температура, время развития и др., и может варьировать в широких пределах. Так, в обзоре Saputra с соавторами [2023] по данным различных источников указывается, что содержание, в частности, аминокислот, составляет (г/100 г сухого вещества личинки насекомого): аргинин — 1,0–5,4, гистидин — 0,8–3,2, изолейцин — 0,6–4,9, лейцин — 1,4–7,8, лизин — 0,8–6,8, метионин — 0,6–8,7, фенилаланин — 0,7–7,7, тирозин — 1,1–4,6, треонин — 0,7–3,1 и валин — 0,5–6,7.

Содержание некоторых жирных кислот по данным Saputra с соавторами [2023] в нативных и обезжиренных личинках *H. illucens* приведено в табл. 2.

При этом содержание жирных кислот также колеблется в широких пределах в зависимости от параметров выращивания личинок *H. illucens* (г/100 г сухого вещества личинки): лауриновая (C12:0) — 14,7–57,3, миристиновая (C14:0) — 3,1–39,9, пальмитиновая — 5,3–20,6, пальмитолеиновая кислота (C16:1) — 1,6–6,2, стеариновая (C18:0) — 0,8–4,6, олеиновая (C18:1) — 0,6–24,0, линолевая (C18:2) — 0,1–29,6, линоленовая (C18:3) — 0,1–1,9, арахидоновая (C20:0) — 0,1–0,3 и арахидоновая (C20:2) — 0,1–0,4 [Saputra et al., 2023].

Высушенные или обезжиренные личинки черной львинки, учитывая наличие в их составе большого количества протеина и жиров, применяют в рационах кормов для выращивания свиней [Barragan-Fonseca et al., 2017; Шайхиев и др., 20206; Lu et al., 2022; Siddiqui et al., 2024; Zou et al., 2024; Mohamad et al., 2025; Oliveira et al., 2025], овец [Rahman et al., 2021; Odeon et al., 2025], кроликов [Свергузова и др., 20216], бройлеров и несушек [Barragan-Fonseca et al., 2017; Abd El-Hack et al., 2020; Sverguzova et al., 2021; Lu et al., 2022; Ahmed et al., 2023; Dalmoro et al., 2023; Siddiqui et al., 2024] и других

Таблица 2

Содержание некоторых жирных кислот в нативных и обезжиренных личинках *H. illucens* [Saputra et al., 2023], г/100 г сухой массы

Table 2

Content of some fatty acids in native and defatted larvae of *H. illucens* [Saputra et al., 2023], g/100 g dry weight

Кислота	Нативные личинки	Обезжиренные личинки
Лауриновая	7,21	1,23
Миристиновая	10,23	7,52
Пальмитиновая	26,45	15,2
Стеариновая	4,12	1,85
Арахидиновая	0,23	—
Олеиновая	23,45	17,12
Линолевая	34,32	26,10
Линоленовая	2,12	1,05

птиц [Свергузова и др., 2021в]. По данным Oliveira с соавторами [2025], примерно 50 % выращенных личинок *H. illucens* используются в аквакультуре для выращивания рыб различных видов [Wang, Shelomi, 2017; Шайхиев и др., 2020в, 2021а, б; Свергузова и др., 2021г; Nairuti et al., 2021; Mohan et al., 2022; Shah, Çetingül, 2022; Raghuvaram et al., 2024], таких как форель радужная *Oncorhynchus mykiss* [Свергузова и др., 2021а], осетр сибирский *Acipenser baerii* [Свергузова и др., 2021д], лосось атлантический *Salmo salar* [Leeper et al., 2022], тилапия различных видов [Ушакова и др., 2018; Шайхиев и др., 2021б], лаврак обыкновенный *Dicentrarchus labrax* [Свергузова и др., 2021г], молодь барамунди *Lates calcarifer* [Liu et al., 2024], сом африканский *Clarias gariepinus* [Fawole et al., 2020], сом канальный *Ictalurus punctatus* [De Farias et al., 2025], сом желтый *Pelteobagrus fulvidraco* [Xiao et al., 2018] и др.

Использование личинок *H. illucens* для выращивания белоногих креветок в аквакультуре

Одним из видов гидробионтов, которых также выращивают в настоящее время в условиях аквакультуры, является белоногая креветка *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), известная как тихоокеанская белая креветка, или королевская креветка, или белая креветка (рис. 2).

Рис. 2. *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)

Fig. 2. *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931)



Она обитает в восточной части Тихого океана, от мексиканского штата Сонора до северного Перу. Креветки вырастают до максимальной длины 230 мм, длина панциря при этом составляет 90 мм [Ковачева и др., 2018]. Взрослые особи живут в океане, на глубине до 72 м, в то время как молодые особи обитают в эстуариях. Рострум умеренно длинный, с 7–10 зубцами на дорсальной стороне и двумя-четырьмя зубцами на вентральной стороне. Это эвригалинный вид тропических креветок, способный расти при солёности от 0 до 40 ‰, при этом оптимальная солёность для роста — от 15 до 25 ‰. Оптимальный pH для белоногих креветок составляет 7,56, а уровень растворённого кислорода должен поддерживаться выше 2,80 мг О/дм³. Особи *L. vannamei* могут расти при температуре воды от 15 до 38 °С, при этом оптимальная для роста составляет от 22 до 35 °С; зона обитания ограничена районами, где температура воды остается выше 20 °С в течение всего года [Ковачева и др., 2018].

В 2022 г. на долю выращиваемых в аквакультуре креветок приходилось 63 % от общего объема производства последних в мире. В этом же году мировое производство *L. vannamei* в аквакультуре составило примерно 7000 тыс. т [N'Souvi et al., 2024], мировой рынок креветок оценивался приблизительно в 46,0 млрд долл. США, и ожидается, что к 2028 г. он составит 69,35 млрд долл. США [Alam, 2024]. Лидирующее место по производству белоногих креветок занимает Китай. Также крупнейшими производителями этого вида креветок являются Индия, Индонезия, Эквадор, Вьетнам и Мексика. Перспективы выращивания *L. vannamei* в России изложены в работе Н.П. Ковачевой с соавторами [2018].

Выращивание белоногих креветок в аквакультуре производится с использованием различных рационов, содержащих в своем составе РМ, соевый шрот в сочетании с куриными субпродуктами, сухую барду с растворимыми веществами, гороховой [Sookying, Davis, 2011], кукурузной [Amaya et al., 2007] или пшеничной [Tacon et al., 2002] мукой. Используются также мука из кальмаров, РЖ, пивные дрожжи, соевый лецитин, крахмал [Lee, Lee, 2018], премиксы, витамины, натриевые и кальциевые соли фосфатов [Tacon et al., 2002] и ряд других компонентов.

В связи с дефицитом РМ, РЖ и других компонентов кормов, как отмечалось выше, наметилась тенденция замены последних в рационах для выращивания белоногих креветок альтернативным сырьем животного происхождения [Shin, Lee, 2021; Porto-Fragozo, Rodríguez-Forero, 2023; Röthig et al., 2023; Chen et al., 2024; Rajalakshmi et al., 2024, 2025; Candela-Maldonado et al., 2025]. Большое количество исследований посвящено замене РМ в рационах для выращивания *L. vannamei* в аквакультуре мукой из нативных и обезжиренных личинок *H. illucens* [Cummins et al., 2017; Herawati et al., 2019, 2023; Chen et al., 2021, 2022, 2023a, b; Usman et al., 2021; Wang et al., 2021; He et al., 2022a, b, 2024; Li et al., 2022, 2023; Yildirim-Aksoy et al., 2022; Nunes et al., 2023; Fricke et al., 2024; Herawati et al., 2024; Keetanon et al., 2024; Novriadi et al., 2024; Rizal et al., 2024; Zheng et al., 2024; Barth et al., 2025; Chang et al., 2025; Ko et al., 2025; Ling et al., 2025; Stadlander et al., 2025].

Так, в работе Novriadi с соавторами [2024] оценивалась возможность включения в рацион белоногих креветок муки и жира из личинок *H. illucens*. Проводились эксперименты по измерению показателей роста и кормовой эффективности в сбалансированных изоазотистых и изолипидных (36 % белка и 6 % липидов) экспериментальных рационах, составленных из стандартных ингредиентов коммерческого происхождения. Содержание муки из личинок насекомого или жира — до 5 % каждого. Креветки с начальной средней массой 0,97 г кормились в течение 90 дней. Выявлено, что включение до 5 % как муки из личинок черной львинки, так и жира улучшало показатели в отношении скорости роста и эффективности использования корма. Общее количество гемоцитов и активность лизоцима отражали названные тенденции, демонстрируя преимущества групп экспериментальных рационов по сравнению с контрольной группой, получавшей базовое питание. Также проводился тест на заражение болезнью с использованием инфекционной модели с *Vibrio harveyi* в концентрации 10^5 КОЕ/креветку в контролируемых лабораторных условиях. Включения муки из личинок насекомого и жира увеличили выживаемость особей в экспериментальных группах с 40 до 60–80 %, усиливали иммунный ответ и улучшали гистопатологические профили тканей гепатопанкреаса у креветок [Novriadi et al., 2024].

Изучалось влияние муки из личинок *H. illucens* при замене РМ на показатели роста, выживаемость, иммунный ответ и устойчивость к инфекции *Vibrio parahaemolyticus* у белоногих креветок, питавшихся кормом с низким содержанием РМ. Были составлены четыре экспериментальных рациона: контрольный, содержащий 12 % РМ, и 2, 5, 10 % муки из личинок насекомого. Результаты экспериментов показали, что креветки, потреблявшие пищу, содержащую 5 и 10 % муки из личинок, значительно увеличили массу тела, снизили количество *Vibrio* spp. в гепатопанкреатической и кишечной тканях и улучшили иммунные параметры. Выживаемость особей во всех экспериментальных

группах после бактериального заражения составила не менее 60 %, что выше, чем в контрольной группе (50 %) [Keetanon et al., 2024]. Кроме того, выявлено, что замена РМ на 10 % мукой из личинок насекомого приводит к некоторому увеличению удельной скорости роста креветок (контроль — $9,16 \pm 0,25$ %/день; эксперимент — $9,24 \pm 0,25$ %/день). Обе группы показали очень близкие коэффициенты конверсии корма: 1,56 г корма на грамм прироста в контрольной группе и 1,52 г корма на грамм прироста в группе сравнения [Stadtlander et al., 2025].

В работе Usman с соавторами [2021] проводилась оценка влияния замены РМ в количестве 7,5–22,5 % в рационах на рост *L. vannamei*. Начальная масса молоди креветок составила $1,20 \pm 0,07$ г. В экспериментальных рационах содержание корма было 3–8 % от массы тела в день (с уменьшением по мере роста креветок) в течение 49 дней выращивания. Результаты не выявили существенной разницы между вариантами кормления по удельным темпам роста, набору массы, выживаемости, эффективности кормления и коэффициенту эффективности использования протеина.

Близкие значения замены РМ на муку из личинок черной львинки (8, 16 и 24 %) приведены в исследовании Herawati с соавторами [2019]. Молодь креветок имела несколько большую начальную массу ($2,62 \pm 0,12$ г) по сравнению с предыдущим исследованием. Выявлено, что замена РМ мукой из личинок значительно повлияла ($p < 0,05$) на относительную скорость роста, общее потребление корма, эффективность использования, коэффициент конверсии корма и коэффициент эффективности протеина креветок, но не на их жизнеспособность. Было определено, что оптимальное соотношение замены РМ мукой из личинок *H. illucens* составило 16 %, что привело к относительной скорости роста молоди креветок $7,51 \pm 0,07$ %/день, эффективности использования корма $53,97 \pm 0,82$ %, коэффициенту конверсии корма $1,85 \pm 0,03$ и эффективности использования протеина $1,52 \pm 0,02$ % [Herawati et al., 2019]. В том случае, когда взрослые особи креветок имели начальную массу 52 г, относительная скорость их роста составила 7,55 %/день, эффективность использования корма — 55,87 %, коэффициент конверсии корма — 1,35, коэффициент эффективности протеина — 1,52 и общее потребление корма — 274,10 г. Также выявлено, что замена 16 % РМ мукой из личинок насекомого привела к лучшему профилю аминокислот и жирных кислот в креветках [Herawati et al., 2019, 2024].

Оценивалось влияние муки из личинок черной львинки на показатели роста, состояние кишечника и восприимчивость к *V. parahaemolyticus* молоди *L. vannamei* (средняя начальная масса — 0,88 г). Основной рацион был составлен с содержанием 25 % РМ, которая на 10, 20 и 30 % заменена мукой из личинок. Кормили молодь креветок 4 раза в день в течение 7 нед. Результаты экспериментов выявили, что показатели роста существенно не изменились у особей, питавшихся кормом с заменой 10 и 20 % РМ, и значительно снизились у креветок, потреблявших пищу с заменой 30 % РМ по сравнению с контролем. После пробного кормления и отбора проб проводилось испытание на заражение *V. parahaemolyticus*. Исследования выявили, что выживаемость креветок, питавшихся кормом с заменой 10 % РМ, была значительно выше, чем в контроле. Результаты гистологии показали, что ширина и высота складок слизистой оболочки кишечника, а также уровни мРНК неспецифических иммунозависимых генов dorsal и relish значительно уменьшились у креветок, потреблявших пищу с заменой 20 и 30 % РМ. Уровни мРНК генов alf (антилипополисахаридного фактора), связанных с антимикробными пептидами, повышены у креветок, питавшихся рационом с заменой 10 % РМ, но снижены у креветок, которых кормили пищей с заменой 30 % РМ. Также определено, что бактериальные сообщества кишечника на уровне операционных таксономических единиц между экспериментальными группами не были существенно дифференцированы согласно анализу β -разнообразия. На уровне родов у особей из экспериментальных групп наблюдалось снижение численности *Vibrio*, *Photobacterium* и увеличение численности *Bacillus* и *Pseudoalteromonas*, что способствует улучшению кишечной микробиоты. Рекомендовано 20 % РМ в рационах для кормления креветок

заменять на муку из личинок *H. illucens* [Chen et al., 2021]. Кроме того, выявлено снижение содержания сырых липидов и общего уровня холестерина с увеличением замены количества РМ на муку из личинок насекомого. По результатам метаболомики паттерны метаболитов креветок, получавших питание по различным рационам, изменились, причем значительные изменения наблюдались в метаболитах, связанных с липидным обменом, метаболизмом глюкозы, а также циклом Кребса. Экспрессия мРНК *hk*, *pfk*, *pk*, *perck*, *ampk*, *mcd*, *cpt-1* и *scd1* в гепатопанкреасе была снижена у креветок, получавших максимальный уровень муки из личинок в экспериментах. В то же время экспрессия мРНК *fas*, *cpt-1*, *fbr* и *bpgd* в гепатопанкреасе была повышена у креветок, которых кормили пищей с заменой 20 % РМ. Исследование показывает, что данный рацион способствовал синтезу липидов и липолизу, в то время как рацион с заменой 30 % РМ ослаблял β -окисление и гликолиз, а также влиял на синтез ненасыщенных жирных кислот, что может воздействовать на показатели роста и состав тела креветок. Подтверждено, что показатели роста креветок, питавшихся по рациону с максимальной заменой РМ на муку из личинок, значительно снизились по сравнению с контролем, но не было значительной разницы в выживаемости между группами [Chen et al., 2022].

Кроме того, выявлено, что уровни триглицеридов и общего холестерина в гемолимфе, а также активность кислой и щелочной фосфатазы гепатопанкреаса были значительно ниже в группе с заменой 30 % РМ по сравнению с контролем. Активность аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы гемолимфы существенно снизилась во всех экспериментальных группах по сравнению с контрольной. Наибольшая антиоксидантная активность наблюдалась у креветок, кормившихся по рациону с заменой 20 % РМ, а активность супероксиддисмутазы в группе, питавшейся по рациону с заменой 10 % РМ, была заметно выше, чем в контроле. Активность синтазы жирных кислот в группах, питавшихся кормом с заменой 10 или 20 % РМ, была достоверно выше, чем в контроле. Активность карнитинпальмитилтрансферазы в группе, которую кормили пищей с заменой 20 % РМ, была выше, чем в трех других группах, а активность изоцитратдегидрогеназы в группе, питавшейся по рациону с заменой 30 % РМ, была выше, чем в контрольной группе. Активность липидтриглицеридлипазы гемолимфы и α -кетоглутаратдегидрогеназы во всех экспериментальных группах была выше, чем в контрольной группе. Замена 10 или 20 % РМ на муку из личинок черной львинки не оказала отрицательного влияния на рост *L. vannamei* и снизила активность глутаматтрансаминазы гемолимфы [Chen et al., 2023b].

В работе Rizal с соавторами [2024] исследовались влияние рационов на рост и продуктивность креветок, потребление корма, коэффициент конверсии корма, выживаемость, пищевой состав (приблизительный, аминокислотный профиль и профиль жирных кислот), общее количество бактерий в пищеварительном тракте креветок и общее количество гемоцитов в гемолимфе креветок. Экспериментальные рационы включали три типа: контроль; рацион с заменой 34 % РМ на муку из личинок черной львинки и рацион с добавлением 2 % жира из личинок насекомого ко второму рациону. В противовес вышесказанному установлено, что замена РМ на 34 % мукой из личинок (2-й рацион) не повлияла на показатели роста креветок, выращиваемых в креветочных прудах, по сравнению с контрольной группой. Оценка аминокислотного профиля выявила минимальные различия между группами. Тем не менее в обеих экспериментальных группах отмечено снижение концентрации ненасыщенных жирных кислот, в частности $n-3$ и $n-6$, по сравнению с контролем. В то же время третья группа имела самые высокие уровни содержания насыщенных жирных кислот и омега-9 жирных кислот.

В работе Cummins с соавторами [2017] молодь креветок со средней массой 1,24 г откармливали по шести изоазотистым (35 % сырого протеина) и изоэнергетическим (16,7 кДж энергии/г) рационам, в которые входили дифференцированные уровни муки из личинок *H. illucens* в качестве замены РМ. Контрольная диета содержала 25 % РМ и 23 % соевого шрота. Опытные рационы были составлены по принципу дозозависимой серии, в которой РМ постепенно заменялась мукой из личинок насекомого при уровнях

включения 7–36 % рациона. Продолжительность эксперимента — 63 дня. Он показал, что наибольшие значения конечной массы креветок, набора массы, удельной скорости роста и конверсии пищи получены в случае, если замена РМ мукой из личинок насекомого не превышала 25 %. Между тем максимальное содержание белка и липидов в креветках достигалось, когда включение муки из личинок составляло соответственно более 29 и 15 %.

Шесть экспериментальных рационов разработаны путем замены РМ на 10–50 % на основе коммерческого рациона креветок. Показатели роста креветок линейно снижались с увеличением уровня муки из личинок черной львинки в рационе. Согласно анализу кишечной микрофлоры небольшое количество муки из личинок насекомого увеличивает количество бактерий, которые могут способствовать утилизации углеводов, в то время как высокий уровень замены РМ в рационах может вызывать кишечные заболевания и низкий иммунный ответ кишечника. Можно сделать вывод, что содержание 60–80 г муки из личинок насекомого на 1 кг корма не оказывает неблагоприятного влияния на рост, антиоксидантную способность и кишечную флору креветок [Chen et al., 2023a].

РМ, содержание которой в рационе белоногой креветки составляло 20 %, на 25, 50 и 75 % заменялась мукой из жирных или обезжиренных личинок *H. illucens*. Отобрано 560 экз. молоди креветок с начальной массой $0,77 \pm 0,02$ г. Их кормили по одному из рационов шесть раз в день в течение 8 нед. Было выявлено, что креветки, которые питались кормом с мукой из жирных и обезжиренных личинок черной львинки, показали значительно повышенную экспрессию мРНК гена профенолоксидазы, чем креветки контрольной группы. Существенной разницы в аминокислотном составе мышц креветок среди всех групп не наблюдалось. Относительная экспрессия гена белка, связывающего инсулиноподобный фактор роста, была значительно увеличена в группах креветок, получавших пищу по рациону, содержащему замену 50 и 75 % РМ мукой из личинок насекомого. Вместе с тем активность фенолоксидазы была значительно повышена в экспериментальных группах, которые содержали на рационах с заменой 50 и 75 % РМ мукой из обезжиренных личинок *H. illucens*. Уровень лауриновой кислоты профилей жирных кислот гепатопанкреаса был значительно повышен за счет увеличения добавок муки из личинок насекомого в рацион. Уровни эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот как в мышцах, так и в гепатопанкреасе были значительно ниже по сравнению с контролем в группах креветок, получавших корм, содержащий муку из жирных личинок. Таким образом, предпочтительнее замена РМ мукой из обезжиренных личинок *H. illucens* [Ko et al., 2025].

Подтверждением вышеназванного утверждения являются данные, приведенные в работе Chang с соавторами [2025]. В данном исследовании проводился 8-недельный эксперимент по оценке влияния замены РМ на обезжиренную муку из личинок черной львинки на рост, текстуру мышц и кишечник креветок. Было составлено шесть изоазотистых и изолипидных диет с добавлением муки из обезжиренных личинок насекомого взамен РМ в количестве 15–75 % (4,12–20,61 % в составе всей диеты). Результаты экспериментов показали, что добавление до 20,61 % обезжиренной муки из личинок для замены 75 % РМ не оказало существенного влияния на показатели роста креветок. Оптимальный уровень замены РМ составляет от 15 до 30 %, что уменьшает воспаление кишечника и улучшает взаимодействие кишечной микробиоты, а также текстуру и вкус мышц, одновременно повышая иммунитет и антиоксидантную способность. Добавление более 16,48 % муки из насекомого в рацион приводит к воспалению кишечника и повреждению гепатоцеллюлярной ткани, к тому же отрицательно влияет на текстуру мышц и аминокислотный состав. Авторы рекомендуют уровень включения муки из личинок насекомого в состав рациона для питания *L. vannamei* не более 12,36 % (для замены 45 % РМ) [Chang et al., 2025].

Также проведено 56-дневное исследование для оценки влияния частичной замены РМ на муку из обезжиренных личинок на показатели роста, состав тела, удержание питательных веществ, метаболиты крови, антиоксидантный и иммунный ответ, актив-

ность пищеварительных ферментов и морфологию печени белоногих креветок. Было составлено шесть изоазотистых и изоэнергетических диет путем замены 15–80 % РМ на муку из обезжиренных личинок. Содержание сырого протеина и липидов во всем теле и мышцах у креветок снижалось по мере увеличения доли муки из обезжиренных личинок в рационах. Креветки, которых кормили кормом с максимальным содержанием муки из обезжиренных личинок, имели более низкую конечную массу тела, прирост массы тела и удельную скорость роста, а также более высокий коэффициент конверсии корма. Кроме того, у особей в этой группе наблюдался более низкий уровень общего холестерина в сыворотке, но более высокая общая антиоксидантная способность, чем у особей из других групп. Содержание малонового диальдегида в сыворотке было ниже у креветок, которых кормили пищей с заменой 60–80 % РМ, чем у креветок, которые были на рационах с содержанием до 30 % муки из обезжиренных личинок. Активность пищеварительных ферментов печени и кишечника не изменялась во всех группах креветок. Показано, что гепатоциты имеют различную степень вакуольной дегенерации, атрофию печеночных телец и звездчатую утрату просвета, как это наблюдалось у особей из групп, которых выращивали на рационах с заменой 60–80 % РМ. Результаты исследований показали, что до 60 % РМ можно заменить мукой из обезжиренных личинок *H. illucens* без какого-либо негативного влияния на показатели роста, активность иммунных ферментов, антиоксидантную активность и активность пищеварительных ферментов креветок [Wang et al., 2021].

Кроме того, до 100 % РМ, содержание которой в рационе составляло 560 г/кг, заменялось мукой из обезжиренных личинок черной львинки для выращивания молоди креветок с начальной массой 1,70 г. Креветки в экспериментальных группах, в рационах которых замена РМ была более 20 %, показали низкие значения конечной массы по сравнению с особями контрольной группы. Выявлено значительное снижение содержания сырых липидов, коллагена и аминокислот в мякоти креветок. В то же время потери при варке и размораживании были значительно увеличены, когда замена РМ составляла ≥ 40 %. При замене РМ на 60 % твердость тела, содержание терморастворимого коллагена, сила сдвига, покраснение поверхности тела и соотношение n-3/n-6 жирных кислот были значительно ниже. Содержание n-6 полиненасыщенных жирных кислот и общее содержание свободных аминокислот в теле креветок экспериментальных групп были значительно выше, чем в контроле. Следовательно, в рационе мукой из обезжиренных личинок черной львинки можно успешно заменить 20 % РМ, а более высокий уровень замены снижает показатели роста и качество мяса *L. vannamei* [Zheng et al., 2024].

В работе Nunes с соавторами [2023] изучались рост и экономические показатели выращивания постличиночной молоди креветок с начальной массой $2,7 \pm 0,2$ мг, питавшихся кормом с постепенной заменой РМ на муку из личинок *H. illucens* на 25–100 %. Молодь креветок выращивалась в течение 42 дней. Конечная выживаемость креветок ($90,5 \pm 7,6$ %), суточный прирост массы ($14,7 \pm 1,1$ мг/день) и видимое потребление корма ($0,67 \pm 0,03$ г/1 креветку) не зависели от состава рациона. Наибольший прирост (791 ± 52 и 776 ± 38 г/м³) и конечная масса тела ($621,0 \pm 7,2$ и $632,0 \pm 7,2$ мг) были достигнуты при замене РМ на муку из личинок соответственно на 50 и 75 %, а наименьший — в контроле (726 ± 34 г/м³ и $598,0 \pm 8,1$ мг). Креветки, потреблявшие пищу с заменой РМ в количестве 0 % (контроль) и 100 %, продемонстрировали наивысший коэффициент конверсии корма (соответственно $1,25 \pm 0,04$ и $1,24 \pm 0,08$) по сравнению с креветками, потреблявшими корм с заменой 50 % РМ ($1,16 \pm 0,06$).

В работе He с соавторами [2022b] оценивалось влияние кормления *L. vannamei* живыми личинками *H. illucens* в рационах с заменой до 100 % РМ. Рассматривались выживаемость, показатели роста, активность пищеварительных ферментов, гистология кишечника и активность антиоксидантных ферментов креветок. Эксперимент по культивированию длился 45 дней, и результаты показали, что масса креветок по окончании эксперимента уменьшилась при увеличении содержания личинок в рационах по

сравнению с особями, выращенными в контрольной группе. Когда уровень замены РМ личинками черной львинки был равен или превышал 75 %, выживаемость, конечная масса и прирост массы тела креветок значительно снижались. Однако гепатосоматический индекс повышался с увеличением уровня замены РМ и был намного выше в группах с максимальной заменой личинками насекомого, чем в других группах. Не наблюдалось существенных различий в активности амилазы и липазы в гепатопанкреатической ткани креветок всех групп. Но по сравнению с контрольной группой активность протеазы в гепатопанкреатической ткани креветок была существенно выше при замене до 25 % РМ. Гистологическая структура кишечника постепенно патологически изменялась, например, с увеличением доли свежих личинок в рационе разрушалась ткань. Значительное снижение высоты складок кишечника обнаружено в группе с максимальной заменой РМ, а также наблюдалось уменьшение толщины мышечной оболочки кишечника креветок во всех группах. Активность сывороточной общей синтазы оксида азота, щелочной и кислой фосфатазы значительно повышалась в группе креветок, которых кормили пищей с заменой 25 % РМ. Отмечено, что активность иммунных ферментов гепатопанкреаса заметно снизилась во всех группах, питавшихся личинками, по сравнению с контрольной группой. Концентрации аммиачного азота на протяжении экспериментальной фазы и нитратов в средней и поздней фазах эксперимента коррелировали отрицательно. Выявлено, что *Proteobacteria* и *Bacteroidetes* были доминирующими в кишечнике креветок, относительное обилие *Proteobacteria* и *Firmicutes* снизилось, а *Bacteroidetes* и *Planctomycetes* увеличивалось в группах, питавшихся по рационам, содержащим личинки насекомого. Наблюдалась высокая относительная численность потенциальных пробиотиков, таких как *Motilimonas*, *Shimia*, *Pseudoalteromonas* и *Shewanella*, и более низкая относительная численность рода *Vibrio* в группах, питавшихся свежими личинками черной львинки. Кроме того, отмечено, что креветки с данным рационом питания имели более высокое бактериальное богатство и разнообразие в кишечнике. Можно сделать вывод, что замена до 50 % РМ свежими личинками может быть целесообразна для выращивания *L. vannamei* [He et al., 2022b].

В то же время указывается, что свежий белок личинок в составе кормов оказывал отрицательное влияние на рост креветок, тогда как ферментированный и гранулированный при высокой температуре белок личинок черной львинки улучшал рост и выживаемость особей. Кроме того, ферментированный и гранулированный при высокой температуре белок личинок мух увеличивал численность полезных (*Ruegeria* и *Pseudomonas*) и снижал рост вредных (*Vibrio*) бактерий в кишечнике креветок [Li et al., 2023].

Кормление креветок с добавлением муки из личинок *H. illucens* показало наименьшие значения параметра прироста массы тела по сравнению с особями, кормившимися кормом, содержащим муку из внутренностей иберийской свиньи и из субпродуктов форели. Рацион с мукой из личинок насекомого имел значительно более низкую усвояемость белка (68,89 %) по сравнению с контролем и вышеперечисленными заменителями и значительно более высокую активность трипсина (0,17 мЕд/г). У креветок на рационе, содержащем личиночную муку, значительно более низкая доля белка в теле (19,69 %), чем у особей на рационах с мукой из внутренностей иберийской свиньи и мукой из субпродуктов форели. Выявлены также некоторые существенные различия в уровнях аминокислот в рационе, влияющих на аминокислотный состав тела креветок [Candela-Maldonado et al., 2025].

В работе Li с соавторами [2022] проводилась оценка коэффициентов кажущейся усвояемости шести новых источников белка для белоногих креветок, включая муку из личинок черной львинки, муку *Chlorella vulgaris*, концентрат белка хлопкового семени, муку из личинок желтого мучного хрущака *Tenebrio molitor*, белок *Clostridium autoethanogenum* и муку из метанотрофных бактерий *Methylococcus capsulatus*. Выявлено, что коэффициенты усвояемости сухого вещества рациона, а также кажущиеся коэффициенты усвояемости сырого протеина, сырых липидов и фосфора при исполь-

зовании в рационах муки из личинок черной львинки в большинстве случаев уступают другим альтернативным источникам белка для откорма креветок.

Что касается экономических аспектов использования муки из личинок черной львинки для выращивания белоногих креветок, при цене 2 долл./кг продемонстрирована выгодная окупаемость инвестиций по сравнению с РМ независимо от уровня замены. При замене на 25 и 50 % РМ мукой из личинок она оставалась конкурентоспособной по цене до 3,50 долл./кг. При замене на 75 % РМ не наблюдалось существенных различий в окупаемости инвестиций в диапазоне цен от 2,00 до 3,04 долл./кг. При полной замене РМ на муку из личинок насекомого окупаемость инвестиций значительно снижается при цене последней 2,50 долл./кг и выше. Следовательно, РМ может быть полностью заменена на муку из личинок *H. illucens* в сбалансированных рационах для молоди креветок [Nunes et al., 2023].

Использование жира личинок черной львинки для выращивания белоногих креветок в аквакультуре

Выше указывалось, что личинки *H. illucens* содержат в своем составе большое количество насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. С целью замены РЖ, входящего в состав кормов для выращивания креветок, проводились работы по использованию жиров из личинок насекомого в составе рационов. В работе Herawati с соавторами [2024] рацион для белоногих креветок был составлен с применением различных уровней жира личинок (1,0–2,5 %) в качестве замены РЖ на 100 г рациона. Для образцов брали креветок с начальной массой 0,13–0,14 г. Последние выращивались в течение 42 дней в контейнере объемом 15 дм³ при плотности посадки 15 особей на контейнер и кормились четыре раза в день. Добавление жира личинок *H. illucens* в рацион для креветок оказало значительное влияние на общее потребление и эффективность использования корма, коэффициент эффективности использования протеина, удельную скорость роста, абсолютную массу, абсолютную длину и удержание протеина. Вместе с тем использование жира личинок не оказало сильного воздействия ($p < 0,05$) на выживаемость креветок. Наилучшие результаты были получены в варианте, содержащем 1,5 % жиров, особенно в отношении показателей роста, аминокислотного и жирнокислотного профилей ракообразного.

Проводилась оценка возможности замены РЖ в рационах питания белоногих креветок с начальной массой $4,95 \pm 0,10$ г на жир личинок и изучалось влияние этой замены на рост, биохимические показатели, приблизительный состав, экспрессию генов, связанных с иммунной системой, липидным обменом и антиоксидантным ответом. Было составлено пять рационов, содержащих различные уровни замены РЖ на жир личинок: 0 %, 25, 50, 75 и 100 %. По результатам исследования показатель конечной массы креветок снижался, когда уровень замещения РЖ был более 50 %. Состав жирных кислот гепатопанкреаса был положительно связан с содержанием жира личинок насекомого в рационе, а содержание лауриновой кислоты значительно повышалось с увеличением последнего вместо РЖ в рационе. Экспрессия синтеза, связанного с липидами, существенно увеличивалась при полной замене РЖ на жир личинок, а гены липолиза показали тенденцию к росту. При увеличении доли жира личинок с 0 до 100 % экспрессия мРНК генов, связанных с иммунитетом, повышалась. Более того, увеличение доли замещения заметно увеличивало активность показателей гемолимфы. Согласно квадратичному регрессионному анализу оптимальный уровень замены РЖ на жир личинок черной львинки был оценен в 34,92 % [He et al., 2024].

Использование отходов и компоста от культивирования личинок *H. illucens* для выращивания белоногих креветок в аквакультуре

Кроме муки и жира из личинок *H. illucens* в рационах для выращивания белоногих креветок исследовалась возможность использования трех побочных продуктов,

образующихся при производстве личинок черной львинки (экзувии, коконы, имаго). Содержание белка составило 317 г/кг в экзувиях, 433 г/кг в коконах и до 521 г/кг в имаго. В муке имаго обнаружено значительное количество незаменимых аминокислот, что достоверно соответствовало идеальному аминокислотному составу рациона для креветок-пеноидов ($r^2 = 0,66$, $p = 0,0076$). Экзувии и коконы содержали умеренное количество липидов (64–140 г/кг), а имаго — 356 г общего количества липидов на 1 кг массы насекомого. Насыщенные жирные кислоты преобладали во всех частях насекомого (47–83 % от общего количества жирных кислот). Концентрация хитина была самой высокой в коконах и экзувиях — соответственно 154 и 139 г/кг — и низкой в имаго — 51 г/кг. Эксперимент с кормлением креветок выявил коэффициенты усвояемости 20–59 % для белка, 24–54 % — для энергии, 25–49 % — для углерода и 27–68 % — для меди. Обезжиривание имаго повысило усвояемость белка, энергии и углерода соответственно на 77, 64 и 61 %. Авторами сделан вывод, что обезжиренная мука из имаго может служить белковой добавкой к креветочному рациону [Fricke et al., 2024].

Весьма интересно исследование по использованию компоста от жизнедеятельности личинок *H. illucens* в рационах для выращивания креветок. Компост, помимо высокого содержания белка и жира (соответственно 21,6 и 6,0 %), содержит большое количество питательных веществ, хитин и полезные микроорганизмы [Yildirim-Aksoy et al., 2022]. Пять изокалорийных диет, содержащих компост 5–30 % в качестве частичной замены комбинации соевого и хлопкового шрота, пшеничной и кукурузной муки на равной основе белка, предлагались белоногим креветкам четыре раза в день. Четыре повторные группы по 15 креветок с начальной массой $4,06 \pm 0,05$ г содержали на экспериментальных рационах из расчета 4 % от общей массы тела ежедневно в течение 12 нед. Наблюдалась квадратичная тенденция роста с увеличением уровня компоста в рационе креветок. Кормление последних пищей с 5 и 30 % компоста показало соответственно наибольший и наименьший прирост массы. Доля липидов в филе линейно снижалась с увеличением доли компоста в рационе, а креветки, питавшиеся кормом с 20 %-ным и более высоким содержанием экструдата, имели значительно более низкий уровень липидов в филе. Сыворотка креветок, принимавших 20 % компоста в рационе, заметно увеличивала ингибирование роста *V. parahaemolyticus* по сравнению с контрольной группой. Однако другие параметры гемолимфы (общее количество гемоцитов, гемоцианин, сывороточный белок и сывороточный холестерин) не отличались от контроля. Можно сделать вывод, что компост от жизнедеятельности личинок черной львинки может быть включен в рацион креветок до 30 %, не влияя на показатели роста, состав тела, параметры гемолимфы ракообразных [Yildirim-Aksoy et al., 2022].

В работе Barth с соавторами [2025] указывается, что исследования кормов на основе личинок насекомого в аквакультуре креветок начались только недавно и показывают неоднородную картину с точки зрения параметров роста *L. vannamei*. Сравнение приблизительного состава рациона на основе РМ и личинок черной львинки позволяет заключить, что они имеют схожее содержание белка, но доля жира у личинок значительно выше. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что личинки *H. illucens* хорошо подходят в качестве корма для креветок с точки зрения содержания белка, но большое количество жира может быть серьезной проблемой. Частичная замена РМ личинками насекомого в рационах привела к снижению скорости роста, но к незначительному повышению выживаемости. При объединении этих двух параметров индекс продуктивности между вариантами питания существенно не различается. Оптимальным является замена до 30 % РМ мукой из личинок черной львинки. Добавление свежих личинок насекомого в рационы на основе РМ при выращивании креветок может быть экологически и экономически устойчивым подходом к улучшению аквакультуры.

Заключение

Обобщены данные различных литературных источников по применению личинок двукрылой мухи черная львинка *H. illucens*, Linnaeus, 1758 в составе рационов для

выращивания в аквакультуре белоногих креветок *L. vannamei* (Boone, 1931). Согласно этим сведениям мука из личинок черной львинки является эффективной кормовой добавкой для выращивания различных животных и рыб в аквакультуре, а использование небольшого количества муки из личинок насекомого в рационе питания креветок увеличивает количество и видовой состав бактерий в кишечнике. Однако большая дозировка муки из личинок черной львинки способствует воспалению кишечника, а также отрицательно влияет на текстуру мышц и аминокислотный состав креветок. Следовательно, рыбную муку до 60 % можно заменить мукой из обезжиренных личинок без каких-либо негативных последствий на показатели роста, активность иммунных ферментов, антиоксидантную активность и активность пищеварительных ферментов ракообразного.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарен рецензентам за интерес, проявленный к работе.

The authors are grateful to anonymous reviewers for their interest to the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование осуществлялось на инициативной основе и не имело спонсорской поддержки.

The study was conducted on the authors' initiative and not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

Ковачева Н.П., Борисов Р.Р., Никонова И.Н. и др. Выращивание белоногой креветки (*Penaeus vannamei*, *Penaeidae*, *Decapoda*) в рециркуляционных установках: первый опыт экспериментального культивирования вида в России // Рыб. хоз-во. — 2018. — № 3. — С. 62–68.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Сапронова Ж.А., Бомба И.В. Переработка куриного помета с использованием личинок черной львинки (*Hermetia illucens*): обзор // Птицеводство. — 2021а. — № 2. — С. 68–73. DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-2-68-73.

Свергузова С.В., Воронина Ю.С., Шайхиев И.Г. Зарубежный опыт использования биомассы насекомых в рационах кормов для выращивания кроликов // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : сб. докл. Междунар. науч. конф. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021б. — С. 346–351.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Пендюрин Е.А. и др. Выращивание уток, индеек, цесарок, перепелов и куропаток с использованием биомассы насекомых (обзор литературы) // Птицеводство. — 2021в. — № 6. — С. 29–34. DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-29-34.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Воронина Ю.С. Зарубежный опыт выращивания обыкновенного лаврака (*Dicentrarchus labrax*) в аквакультуре с использованием муки из личинок и предкулолок черной львинки // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология : сб. докл. Междунар. науч. конф. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021г. — С. 356–362.

Свергузова С.В., Шайхиев И.Г., Воронина Ю.С. Выращивание осетра сибирского (*Acipenser baerii*) с использованием муки из личинок и предкулолок черной львинки // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : сб. докл. Всерос. науч. конф. — Белгород : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2021д. — С. 311–316.

Ушакова Н.А., Пономарев С.В., Федоровых Ю.В., Бастраков А.И. Использование протеин-хитинового концентрата личинок черной львинки *Hermetia illucens* в рационе всеядных рыб на примере красной тиляпии // Изв. Уфимского научного центра РАН. — 2018. — № 3. — С. 57–62. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-03-57-62.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А. и др. Использование биомассы насекомых для выращивания радужной форели в аквакультуре (краткий обзор зарубежной литературы) // Вестн. АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. — 2021а. — № 1. — С. 69–81. DOI: 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Воронина Ю.С. Опыт выращивания тиляпий в аквакультуре с использованием личинок мухи *Hermetia illucens* за рубежом (обзор литературы) // Sciences of Europe. — 2021б. — Vol. 67–2. — С. 42–51. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-67-2-42-51.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Антюфеева Е.С. Использование пищевых отходов для выращивания личинок мухи *Hermetia illucens* (краткий обзор зарубежной литературы) // Экономика строительства и природопользования. — 2020а. — № 4(77). — С. 17–30. DOI: 10.37279/2519-4453-2020-4-17-30.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А. Использование личинок мухи *Hermetia illucens* в рационах кормов для выращивания поросят и взрослых свиней // Sciences of Europe. — 2020б. — Vol. 59–2. — P. 12–19.

Шайхиев И.Г., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Даньшина Е.П. Использование биомассы личинок *Hermetia illucens* для выращивания рыб в аквакультуре (обзор зарубежной литературы) // Рыб. хоз-во. — 2020в. — № 5. — С. 86–92. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-5-86-92.

Abd El-Hack M.E., Shafi M.E., Alghamdi W.Y. et al. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review // Agriculture. — 2020. — Vol. 10, № 8. — Article 339. DOI: 10.3390/agriculture10080339.

Ahmed I., İnal F., Riaz R. et al. A review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a potential alternative protein source in broiler diets // Annals of Animal Science. — 2023. — Vol. 23, № 4. DOI: 10.2478/aoas-2022-0094.

Alam S.N.M. Portraying the Bangladesh shrimp industry: A SWOT analysis // Sustainability. — 2024. — Vol. 16, № 3. — Article 1290. DOI: 10.3390/su16031290.

Amaya E., Davis D.A., Rouse D.B. Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* // Aquaculture. — 2007. — Vol. 262, № 2. — P. 419–425. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.11.001.

Amrul N.F., Ahmad I.K., Basri N.E.A. et al. A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*) // Sustainability. — 2022. — Vol. 14, № 8. — Article 4565. DOI: 10.3390/su14084565.

Barragan-Fonseca K.B., Dicke M., van Loon J.J. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2017. — Vol. 3, № 2. — P. 105–120. DOI: 10.3920/JIFF2016.0055.

Barth A., Stelbrink B., Klüber P. et al. Broad acceptance of sustainable insect-based shrimp feeds requires reproducible and comparable research // Aquaculture International. — 2025. — Vol. 33, № 2. — Article 101. — P. 1–24. DOI: 10.1007/s10499-024-01769-w.

Boaru A., Antal Vigh A., Ladoși D. et al. Studies regarding the fertilizing capacity of poultry manure biocomposted by fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) // AAB Bioflux. — 2018. — Vol. 10, № 3. — P. 114–121.

Candela-Maldonado Y., Megder I., Tefal E. et al. Four organic protein source alternatives to fish meal for pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) feeding // Fishes. — 2025. — Vol. 10, № 8. — Article 384. DOI: 10.3390/fishes10080384.

Chang T., Lin H., Han F. et al. Impact of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture, and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) // Aquaculture. — 2025. — Vol. 596. — Article 741755. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.741755.

Chen Y., Chi S., Zhang S. et al. Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on lipid and glucose metabolism of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* // Br. J. Nutr. — 2022. — Vol. 128, № 9. — P. 1674–1688. DOI: 10.1017/S0007114521004670.

Chen Y., Chi S., Zhang S. et al. Evaluation of the dietary Black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) on growth performance, intestinal health, and disease resistance to *Vibrio parahaemolyticus*

of the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Front. Mar. Sci. — 2021. — Vol. 8. — Article 706463. DOI: 10.3389/fmars.2021.706463.

Chen Y., Mitra A., Rahimnejad S. et al. Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects // Rev. Aquacult. — 2024. — Vol. 16, № 1. — P. 382–409. DOI: 10.1111/raq.12843.

Chen Y., Zheng C., Zhang S. et al. Dietary black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, non-specific immunity and lipid metabolism of *Litopenaeus vannamei* // Acta Hydrobiol. Sin. — 2023a. — Vol. 47, № 2. — P. 269–278. DOI: 10.7541/2023.2022.0201 (на кит.).

Chen Y., Zhuang Z., Liu J. et al. Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis // Comparative Biochemistry and Physiology. Part D: Genomics and Proteomics. — 2023b. — Vol. 46. — Article 101080. DOI: 10.1016/j.cbd.2023.101080.

Cummins Jr V.C., Rawles S.D., Thompson K.R. et al. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Aquaculture. — 2017. — Vol. 473. — P. 337–344. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022.

Da Silva G.D.P., Hesselberg T. A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to compost organic waste in tropical regions // Neotrop. Entomol. — 2020. — Vol. 49, № 2. — P. 151–162. DOI: 10.1007/s13744-019-00719-z.

Dalmoro Y.K., Franceschi C.H., Stefanello C. A systematic review and metanalysis on the use of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* in diets for poultry // Vet. Sci. — 2023. — Vol. 10, № 12. — Article 702. — P. 1–23. DOI: 10.3390/vetsci10120702.

De Farias A.B.S., Santana T.M., Silva V.F. et al. Dietary inclusion of frass from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae modulates gut microbiota without compromising the growth performance and health status of catfish (*Ictalurus punctatus*) juveniles // Fish Physiology and Biochemistry. — 2025. — Vol. 51, № 4. — Article 137. DOI: 10.1007/s10695-025-01552-5.

Isibika A., Vinnerås B., Kibazohi O. et al. Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae // Waste Management. — 2019. — Vol. 100. — P. 151–160. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.09.017.

Fawole F.J., Adeoye A.A., Tiarniyu L.O. et al. Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haematological response, and oxidative stress biomarker // Aquaculture. — 2020. — Vol. 518. — Article 734849. — P. 1–7. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734849.

Fricke E., Saborowski R., Slater M.J. Utility of by-products of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) production as feed ingredients for Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // J. World Aquac. Soc. — 2024. — Vol. 55, № 4. — Article e13070. — P. 1–16. DOI: 10.1111/jwas.13070.

Grassauer F., Ferdous J., Pelletier N. Manure valorization using black soldier fly larvae: a review of current systems, production characteristics, utilized feed substrates, and bioconversion and nitrogen conversion efficiencies // Sustainability. — 2023. — Vol. 15, № 16. — Article 12177. — P. 1–20. DOI: 10.3390/su151612177.

He Y., Liu X., Zhang N. et al. Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Aquac. Nutr. — 2022a. — Vol. 2022, № 1. — Article 9130400. — P. 1–8. DOI: 10.1155/2022/9130400.

He Y., Zhang N., Wang A. et al. Positive effects of replacing commercial feeds by fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Immune enzyme, water quality, and intestinal microbiota // Front. Mar. Sci. — 2022b. — Vol. 9. — Article 987363. — P. 1–15. DOI: 10.3389/fmars.2022.987363.

He Y., Peng H., Jin M. et al. Application evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil in shrimp feed: Effects on growth performance, antioxidant capacity and lipid metabolism // Aquac. Rep. — 2024. — Vol. 36. — Article 102174. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102174.

Herawati V.E., Elfitasari T., Darmanto Y.S. et al. Effect of different ratios of maggot meal (*Hermetia illucens*) on growth performance and body composition of vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) post larvae // AACL Bioflux. — 2023. — Vol. 16, № 2. — P. 768–779.

Herawati V.E., Susilo A., Pinandoyo P. et al. Optimization of fish meal substitution with maggot meal (*Hermetia illucens*) for growth and feed utilization efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei* //

Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Science. — 2019. — Vol. 21, № 2. — P. 284–297. DOI: 10.1051/bioconf/20237401024.

Herawati W.E., Windarto S., Anggraeni N., Arfan M. Optimal dietary maggot oil for juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Growth performance, feed utilization, and nutritional quality // AACL Bioflux. — 2024. — Vol. 17, № 1. — P. 61–71.

Hidayat N., Anggarini S., Sunyoto N.M.S. et al. Bioconversion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on agricultural waste: Potential source of protein and lipid, the application (A mini-review) // Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering. — 2024. — Vol. 7, № 1. — P. 78–92. DOI: 10.21776/ub.afssae.2024.007.01.8.

Jucker C., Erba D., Leonardi M.G. et al. Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae // Environ. Entomol. — 2017. — Vol. 46, № 6. — P. 1415–1423. DOI: 10.1093/ee/nvx154.

Julita U., Suryani Y., Kinasih I. et al. Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L), (Diptera : Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2018. — Vol. 187. — Article 012071. DOI: 10.1088/1755-1315/187/1/012071.

Keetanon A., Chuchird N., Phansawat P. et al. Effects of black soldier fly larval meal on the growth performance, survival, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Aquaculture International. — 2024. — Vol. 32. — P. 2233–2248. DOI: 10.1007/s10499-023-01267-5.

Ko D., Lee Y., Kim S. Full-fat or defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a fish meal replacer in diet for *Penaeus vannamei* // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2025 (preprint). DOI: 10.1163/23524588-bja10257.

Lee C., Lee K.J. Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages // Fisheries and Aquatic Sciences. — 2018. — Vol. 21, № 1. — P. 1–6. DOI: 10.1186/s41240-018-0105-0.

Leeper A., Benhaïm D., Smárason B.O. et al. Feeding black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic rest streams alters gut characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2022. — Vol. 8, № 11. — P. 1355–1372. DOI: 10.3920/JIFF2021.0105.

Li Q., Zheng L., Qiu N. et al. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production // Waste Management. — 2011. — Vol. 31, № 6. — P. 1316–1320. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.01.005.

Li X., Chen Y., Zheng C. et al. Evaluation of six novel protein sources on apparent digestibility in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* // Aquac. Nutr. — 2022. — Vol. 2022. — Article 8225273. — P. 1–11. DOI: 10.1155/2022/8225273.

Li X., Yang L., Jiang S. et al. Effect of fly maggot protein as dietary on growth and intestinal microbial community of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* // Biology. — 2023. — Vol. 12, № 11. — Article 1433. — P. 1–17. DOI: 10.3390/biology12111433.

Ling S.L.Y., Shafiee M., Longworth Z. et al. Black soldier fly larvae meal (BSFLM) as an alternative protein source in sustainable aquaculture production: A scoping review of its comprehensive impact on shrimp and prawn farming // Animal Feed Science and Technology. — 2025. — Vol. 319, № 6. — Article 116174. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2024.116174.

Liu T., Klammsteiner T., Dregulo A.M. et al. Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review // Sci. Total Environ. — 2022. — Vol. 833. — Article 155122. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155122.

Liu Y., Andin V.C., Chor W.K. et al. A preliminary study on the effects of substituting fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval meal on Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles: Growth performance, feed efficiency, nutrient composition, disease resistance, and economic returns // J. Fish Biol. — 2024. — Vol. 105, № 6. — P. 1681–1693. DOI: 10.1111/jfb.15908.

Lu S., Taethaisong N., Meethip W. et al. Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review // Insects. — 2022. — Vol. 13, № 9. — Article 831. — P. 1–17. DOI: 10.3390/insects13090831.

Mohamad A., Tan C.K., Shah N.N.A.K. et al. Insect protein: A pathway to sustainable protein supply chains, challenges, and prospects // Journ. of Agriculture and Food Research. — 2025. — Vol. 19. — Article 101678. — P. 1–10. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.101678.

Mohan K., Rajan D.K., Muralisankar T. et al. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs // Aquaculture. — 2022. — Vol. 553. — Article 738095. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738095.

Nairuti R.N., Musyoka S.N., Yegon M.J., Opiyo M.A. Utilization of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae as a protein source for fish feed — a review // Aquaculture Studies. — 2021. — Vol. 22, № 2. — P. 1–12. DOI: 10.4194/AQUAST697.

Novriadi R., Davies S., Triatmaja K.I.K. et al. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as an alternative to marine ingredients elicits superior growth performance and resistance to *Vibrio harveyi* infection for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. — 2024. — Vol. 24, № 1. — TRJFAS24343. DOI: 10.4194/TRJFAS24343.

N'Souvi K., Sun C., Che B., Vodounon A. Shrimp industry in China: overview of the trends in the production, imports and exports during the last two decades, challenges, and outlook // Front. Sustain. Food Syst. — 2024. — Vol. 7. — Article 1287034. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1287034.

Nugroho R.A., Nur F.M. Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2018. — Vol. 144. — Article 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/144/1/012002.

Nunes A.J.P., Yamamoto H., Simões J.P. et al. The Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can fully replace fish meal in practical nursery diets for post-larval *Penaeus vannamei* under high-density culture // Fishes. — 2023. — Vol. 8. — Article 605. — P. 1–15. DOI: 10.3390/fishes8120605.

Odeon M.M., Fernández-Arhex V., García-Falabella B. et al. Innovative protein sources for sustainable sheep farming: assessing Black soldier fly larvae meal in merino lamb diet // Small Ruminant Research. — 2025. — Vol. 250. — Article 107556. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2025.107556.

Oliveira J.S., Ribeiro C.D.F., de Souza C.O., Ribeiro C.V.D.M. Mapping the use of insects in animal feed: scientific and technological data of *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens*, and *Zophobas morio* // Animal Production Science. — 2025. — Vol. 65, № 9. — AN24415. DOI: 10.1071/AN24415.

Oonincx D.G.A.B., van Huis A., van Loon J.J.A. Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2015. — Vol. 1, № 2. — P. 131–139. DOI: 10.3920/JIFF2014.0023.

Parra Paz A.S., Carrejo N.S., Gómes Rodríguez C.H. Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) // Waste Biomass Valor. — 2015. — Vol. 6. — P. 1059–1065. DOI: 10.1007/s12649-015-9418-8.

Pastor B., Velásquez Y., Gobbi P., Rojo S. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2015. — Vol. 1, № 3. — P. 179–193. DOI: 10.3920/JIFF2014.0024.

Pauly D., Zeller D. Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture (SOFIA 2016) // Marine Policy. — 2017. — Vol. 77. — P. 176–181. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.01.006.

Porto-Fragozo P.L., Rodríguez-Forero A. Fuentes proteicas alternas como sustituto parcial a la harina de pescado en las formulaciones nutricionales del cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*) // Orinoquia. — 2023. — Vol. 27, № 2. — e-767. DOI: 10.22579/20112629.767 (на исп.).

Raghuvaran N., Varghese T., Jana P. et al. Current status and global research trend patterns of insect meal in aquaculture from scientometric perspective: (2013–2022) // Aquac. Nutr. — 2024. — Article 5466604. DOI: 10.1155/2024/5466604.

Rahman R., Laconi E.B., Jayanegara A., Astuti D.A. Effect of dietary black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and bioconversion product of cocoa pod husk on performance and hematological profile of sheep // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. — 2021. — Vol. 1098, № 6. — Article 062058. DOI: 10.1088/1757-899X/1098/6/062058.

Rajalakshmi K., Felix N., Ranjan A. et al. Exploring sustainable animal protein sources for shrimp aquaculture in India // Sustainable Feed Ingredients and Additives for Aquaculture Farming. Sustainability Sciences in Asia and Africa. — Springer, Singapore, 2024. — P. 187–214. DOI: 10.1007/978-981-97-4279-0_9.

Rajalakshmi K., Nathan F., Ranjan A. et al. Physiological, immunological and nutritional assessment of *Penaeus vannamei* fed with different combinations of novel feed ingredients // Annals of Animal Science. — 2025. — Vol. 25, № 3. — P. 1087–1100. DOI: 10.2478/aoas-2025-0006.

Ritika P., Satyawati S., Rajendra P. Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste // Intern. Journ. Res. Biosci. — 2015. — Vol. 4, № 4. — P. 38–45.

Rizal M., Astuti D.A., Fahmi M.R. Evaluation of BSF larva meal and oil as white shrimp feed on growth performance, body composition, and health response // Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada. — 2024. — Vol. 26, № 2. — P. 193–201. DOI: 10.22146/jfs.97636.

Röthig T., Barth A., Tschirner M. et al. Insect feed in sustainable crustacean aquaculture // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2023. — Vol. 9, № 9. — P. 1115–1138. DOI: 10.3920/JIFF2022.0117.

- Saputra I., Lee Y.N.** Nutrition composition of commercial full-fat and defatted black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a potential protein resource for aquafeeds // Biodiversitas. — 2023. — Vol. 24, № 9. — P. 4877–4884. DOI: 10.13057/biodiv/d240930.
- Shah S.R.A., Çetingül I.S.** Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an ecological, immune booster and economical feedstuff for aquaculture // Mar. Sci. Tech. Bull. — 2022. — Vol. 11, № 1. — P. 52–62. DOI: 10.33714/masteb.1041493.
- Shin J., Lee K.J.** Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses // PloS One. — 2021. — Vol. 16, № 11. — Article e0260305. — P. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0260305.
- Siddiqui S.A., Gadge A.S., Hasan M. et al.** Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer — A systematic review // Environment, Development and Sustainability. — 2024. — Vol. 26, № 12. — P. 30273–30354. DOI: 10.1007/s10668-024-04673-8.
- Singh A., Kumari K.** An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black soldier fly larvae: A review // Journ. Environ. Management. — 2019. — Vol. 251. — Article 109569. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109569.
- Sookying D., Davis D.A.** Pond production of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed high levels of soybean meal in various combinations // Aquaculture. — 2011. — Vol. 319, № 1–2. — P. 141–149. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.06.049.
- Stadtlander T., Deininger K., Sandrock C. et al.** Larven-Mehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eignet sich für die Fütterung der Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) unter Praxisbedingungen in einer modernen Kreislaufanlage // Ernährungs Umschau. — 2025. — Vol. 72, № 8. — AP. 44–52. DOI: 10.4455/eu.2025.034 (на немец.).
- Sverguzova S.V., Shaikhiev I.H., Sapronova Z.A. et al.** Use of fly larvae *Hermetia illucens* in poultry feeding: a review paper // Journ. of Water and Land Development. — 2021. — Vol. 49. — P. 95–103. DOI: 10.24425/jwld.2021.137101.
- Tacon A.G.J., Cody J.J., Conquest L.D. et al.** Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets // Aquac. Nutr. — 2002. — Vol. 8, № 2. — P. 121–137. DOI: 10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x.
- Tran G., Heuzé V., Makkar H.** Insects in fish diets // Animal Frontiers. — 2015. — Vol. 5, № 2. — P. 37–44. DOI: 10.2527/af.2015-0018.
- Usman, Fahrur M., Kamaruddin et al.** The utilization of black soldier fly larvae meal as a substitution of fish meal in diet for white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, grow-out // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2021. — Vol. 860, № 1. — Article 012023. — P. 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/860/1/012023.
- Veldkamp T., van Rozen K., Elissen H. et al.** Bioconversion of digestate, pig manure and vegetal residue-based waste operated by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) // Animals. — 2021. — Vol. 11, № 11. — Article 3082. — P. 1–10. DOI: 10.3390/ani11113082.
- Wang G., Peng K., Hu J. et al.** Evaluation of defatted *Hermetia illucens* larvae meal for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth performance, nutrition retention, antioxidant and immune response, digestive enzyme activity and hepatic morphology // Aquac. Nutr. — 2021. — Vol. 27, № 4. — P. 986–997. DOI: 10.1111/anu.13240.
- Wang Y.S., Shelomi M.** Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // Foods. — 2017. — Vol. 6, № 10. — Article 91. — P. 1–23. DOI: 10.3390/foods6100091.
- Xiao X., Jin P., Zheng L. et al.** Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) // Aquac. Res. — 2018. — Vol. 49, № 4. — P. 1569–1577. DOI: 10.1111/are.13611.
- Xiao X., Mazza L., Yu Y. et al.** Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria // J. Environ. Management. — 2018. — Vol. 217. — P. 668–676. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.122.
- Yildirim-Aksoy M., Eljack R., Beck B.H., Peatman E.** Nutritional evaluation of frass from black soldier fly larvae as potential feed ingredient for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* // Aquac. Rep. — 2022. — Vol. 27. — Article 101353. — P. 1–8. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101353.
- Zheng J.Y., Gan Z.R., Huang T.Y. et al.** Replacement of fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): growth, flesh quality

and transcriptome // Journ. of Insects as Food and Feed. — 2024. — Vol. 11, № 5. — P. 873–893. DOI: 10.1163/23524588-00001235.

Zou X., Liu M., Li X. et al. Applications of insect nutrition resources in animal production // Journ. of Agriculture and Food Research. — 2024. — Vol. 15. — Article 100966. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.100966.

Zheng L., Li Q., Zhang J., Ziniu Y. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production // Renewable Energy. — 2012. — Vol. 41. — P. 75–79. DOI: 10.1016/j.renene.2011.10.004.

References

Kovacheva, N.P., Borisov, R.R., Nikonova, I.N., Kryakhova, N.V., and Lebedev, R.O., White shrimp *Penaeus vannamei*, Penaeidae, Decapoda cultivation in closed recycling water system: the first experience of the species' experimental cultivation in Russia, *Rybn. Khoz.*, 2018, no. 3, pp. 62–68.

Sverguзова, S.V., Shaikhiev, I.G., Sapronova, Zh.A., and Bomba, I.V., The Processing of Chicken Manure by the Larvae of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*): A Review, *Ptitsevodstvo*, 2021, no. 2, pp. 68–73. doi 10.33845/0033-3239-2021-70-2-68-73

Sverguзова, S.V., Voronina, Yu.S., and Shaikhiev, I.G., Foreign experience in using insect biomass in rabbit feed rations, in *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Ratsional'noye ispol'zovaniye prirodnikh resursov i pererabotka tekhnogennogo syr'ya: fundamental'nyye problemy nauki, materialovedeniye, khimiya i biotekhnologiya"* (Collection of reports of the International scientific conference "Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry, and biotechnology"), Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 346–351.

Sverguзова, S.V., Shaikhiev, I.G., Pendyurin, E.A., Sapronova, J.A., and Bomba, I.V., The use of insect biomass in diets for ducks, turkeys, guinea fowl, quails, and partridges (a review), *Ptitsevodstvo*, 2021, no. 6, pp. 29–34. doi 10.33845/0033-3239-2021-70-6-29-34

Sverguзова, S.V., Shaikhiev, I.G., and Voronina, Yu.S., Foreign experience in growing common sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in aquaculture using flour from larvae and pre-pupae of Black lily-of-the-valley, in *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Ratsional'noye ispol'zovaniye prirodnikh resursov i pererabotka tekhnogennogo syr'ya: fundamental'nyye problemy nauki, materialovedeniye, khimiya i biotekhnologiya"* (Collection of reports of the International scientific conference "Rational use of natural resources and processing of technogenic raw materials: fundamental problems of science, materials science, chemistry, and biotechnology"), Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 356–362.

Sverguзова, S.V., Shaikhiev, I.G., and Voronina, Yu.S., Cultivation of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) using flour from larvae and pre-pupae of the black ladybird, in *Sb. dokl. Vseros. nauch. konf. "Bezopasnost', zashchita i okhrana okruzhayushchey prirodnoy sredy: fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya"* (Collection of Reports of the All-Russian Scientific Conference «Safety, Protection, and Conservation of the Natural Environment: Fundamental and Applied Research»), Belgorod: BGTU im. V.G. Shukhova, 2021, pp. 311–316.

Ushakova, N.A., Ponomarev, S.V., Fedorovykh, Yu.V., and Bastrakov, A.I., Using protein and chitin concentrate of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) in omnivorous fish feeding: a case study of red tilapia, *Izv. Ufimskogo nauchnogo tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2018, no. 3, pp. 57–62. doi 10.31040/2222-8349-2018-0-3-57-62

Shaykhiev, I.G., Sverguзова, S.V., Sapronova, Zh.A., Svyatchenko, A.V., and Ushakova, N.A., Using insect biomass for rainbow trout cultivation in aquaculture (foreign literature review), *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Rybnoye khozyaystvo*, 2021, no. 1, pp. 69–81. doi 10.24143/2073-5529-2021-1-69-81

Shaikhiev, I.G., Sverguзова, S.V., Sapronova, Zh.A., and Voronina, Yu.S., Experience of tilapia cultivation in aquaculture using *Hermetia illucens* flies abroad (literature review), *Sciences of Europe*, 2021, no. 67–2, pp. 42–51. doi 10.24412/3162-2364-2021-67-2-42-51

Shaikhiev, I.G., Sverguзова, S.V., Sapronova, Zh.A., and Antyufeeva, E.S., Using food waste for the growing of *Hermetia illucens* fly larvae (brief review of foreign literature), *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*, 2020, no. 4(77), pp. 17–30. doi 10.37279/2519-4453-2020-4-17-30

Shaikhiev, I., Sverguзова, S., and Sapronova, Zh., Use of fly larvae *Hermetia illucens* in feed diets for growing piglets and adult pigs, *Sciences of Europe*, 2020, vol. 59–2, pp. 12–19.

- Shaikhiev, I.G., Sverguzova, S.V., Sapronova, Zh.A., and Danshina, E.P.,** Using intact and minced *Hermetia illucens* larvae as a fodder in aquaculture (review of foreign literature), *Rybn. Khoz.*, 2020, no. 5, pp. 86–92. doi 10.37663/0131-6184-2020-5-86-92
- Abd El-Hack, M.E., Shafi, M.E., Alghamdi, W.Y., Abdelnour, S.A., Shehata, A.M., Noreldin, A.E., Ashour, E.A., Swelum, A.A., Al-Sagan, A.A., Alkhateeb, M., Taha, A.E., Abdel-Moneim, A.-M.E., Tufarelli, V., and Ragni M.,** Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review, *Agriculture*, 2020, vol. 10, no. 8, art. ID 339. doi 10.3390/agriculture10080339
- Ahmed, I., İnal, F., Riaz, R., Ahsan, U., Kuter, E., and Ali, U.,** A review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a potential alternative protein source in broiler diets, *Annals of Animal Science*, 2023, vol. 23, no. 4. doi 10.2478/aoas-2022-0094
- Alam, S.N.M.,** Portraying the Bangladesh shrimp industry: A SWOT analysis, *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 3, art. ID 1290. doi 10.3390/su16031290
- Amaya, E., Davis, D.A., and Rouse, D.B.,** Alternative diets for the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture*, 2007, vol. 262, no. 2, pp. 419–425. doi 10.1016/j.aquaculture.2006.11.001
- Amrul, N.F., Ahmad, I.K., Basri, N.E.A., Suja, F., Jalil, N.A.A., and Azman, N.A.,** A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*), *Sustainability*, 2022, vol. 14, no. 8, art. ID 4565. doi 10.3390/su14084565
- Barragan-Fonseca, K.B., Dicke, M., and van Loon, J.J.,** Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 105–120. doi 10.3920/JIFF2016.0055
- Barth, A., Stelbrink, B., Klüber, P., Schubert, P., Bendag, S., and Wilke, T.,** Broad acceptance of sustainable insect-based shrimp feeds requires reproducible and comparable research, *Aquaculture International*, 2025, vol. 33, no. 2, art. ID 101, pp. 1–24. doi 10.1007/s10499-024-01769-w
- Boaru, A., Antal Vigh, A., Ladoși, D., Struți, D., Păpuc, T., and Georgescu, B.,** Studies regarding the fertilizing capacity of poultry manure biocomposted by fly larvae (Diptera: Stratiomyidae), *AAB Bioflux*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 114–121.
- Candela-Maldonado, Y., Megder, I., Tefal, E., Peñaranda, D.S., Martínez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., and Jauralde, I.,** Four organic protein source alternatives to fish meal for pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) feeding, *Fishes*, 2025, vol. 10, no. 8, art. ID 384. doi 10.3390/fishes10080384
- Chang, T., Lin, H., Han, F., Xu, C., and Li, E.,** Impact of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on health, muscle texture, and intestinal microbiota in Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*), *Aquaculture*, 2025, vol. 596, art. ID 741755. doi 10.1016/j.aquaculture.2024.741755
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., and Xie, S.,** Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on lipid and glucose metabolism of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, *British Journal of Nutrition*, 2022, vol. 128, no. 9, pp. 1674–1688. doi 10.1017/S0007114521004670
- Chen, Y., Chi, S., Zhang, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., and Xie, S.,** Evaluation of the dietary Black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) on growth performance, intestinal health, and disease resistance to *Vibrio parahaemolyticus* of the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Frontiers in Marine Science*, 2021, vol. 8, art. ID 706463. doi 10.3389/fmars.2021.706463
- Chen, Y., Mitra, A., Rahimnejad, S., Chi, S., Kumar, V., Tan, B., Niu, J., and Xie, S.,** Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects, *Reviews in Aquaculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 382–409. doi 10.1111/raq.12843
- Chen, Y., Zheng, C., Zhang, S., Chi, S., Dong, X., Yang, Q., Liu, H., Tan, B., and Xie, S.,** Dietary black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on growth performance, non-specific immunity and lipid metabolism of *Litopenaeus vannamei*, *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, vol. 47, no. 2, pp. 269–278. doi 10.7541/2023.2022.0201 (in Chinese)
- Chen, Y., Zhuang, Z., Liu, J., Wang, Z., Guo, Y., Chen, A., Chen, B., Zhao, W., and Niu, J.,** Effects of *Hermetia illucens* larvae meal on the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) revealed by innate immunity and 16S rRNA gene sequencing analysis, *Comparative Biochemistry and Physiology. Part D: Genomics and Proteomics*, 2023, vol. 46, art. ID 101080. doi 10.1016/j.cbd.2023.101080
- Cummins, Jr V.C., Rawles, S.D., Thompson, K.R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., and Webster, C.D.,** Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total

replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture*, 2017, vol. 473, pp. 337–344. doi 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022

Da Silva, G.D.P. and Hesselberg, T., A review of the use of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to compost organic waste in tropical regions, *Neotropical Entomology*, 2020, vol. 49, no. 2, pp. 151–162. doi 10.1007/s13744-019-00719-z

Dalmoro, Y.K., Franceschi, C.H., and Stefanello, C., A systematic review and metanalysis on the use of *Hermetia illucens* and *Tenebrio molitor* in diets for poultry, *Veterinary Sciences*, 2023, vol. 10, no. 12, art. ID 702, pp. 1–23. doi 10.3390/vetsci10120702

De Farias, A.B.S., Santana, T.M., Silva, V.F., Older, C.E., Conde, C.L., Romano, N., Gatlin, D.M., Gonçalves, L.U., and Yamamoto, F.Y., Dietary inclusion of frass from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae modulates gut microbiota without compromising the growth performance and health status of catfish (*Ictalurus punctatus*) juveniles, *Fish Physiology and Biochemistry*, 2025, vol. 51, no. 4, art. ID 137. doi 10.1007/s10695-025-01552-5

Isibika, A., Vinnerås, B., Kibazohi, O., Zurbrugg, C., and Lalander, C., Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)), Diptera: Stratiomyidae) larvae, *Waste Management*, 2019, vol. 100, pp. 151–160. doi 10.1016/j.wasman.2019.09.017

Fawole, F.J., Adeoye, A.A., Tihamiyu, L.O., Ajalaa, K.I., Obadara, S.O., and Ganiyu, I.O., Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker, *Aquaculture*, 2020, vol. 518, art. ID 734849, pp. 1–7. doi 10.1016/j.aquaculture.2019.734849

Fricke, E., Saborowski, R., and Slater, M.J., Utility of by products of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) production as feed ingredients for Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Journal of the World Aquaculture Society*, 2024, vol. 55, no. 4, art. ID e13070, pp. 1–16. doi 10.1111/jwas.13070

Grassauer, F., Ferdous, J., and Pelletier, N., Manure valorization using black soldier fly larvae: a review of current systems, production characteristics, utilized feed substrates, and bioconversion and nitrogen conversion efficiencies, *Sustainability*, 2023, vol. 15, no. 16, art. ID 12177, pp. 1–20. doi 10.3390/su151612177

He, Y., Liu, X., Zhang, N., Wang, S., Wang, A., Zuo, R., and Jiang, Y., Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture Nutrition*, 2022, no. 1, art. ID 9130400, pp. 1–8. doi: 10.1155/2022/9130400

He, Y., Zhang, N., Wang, A., Wang, S., Che, Y., Huang, S., Yi, Q., Ma, Y., and Jiang, Y., Positive effects of replacing commercial feeds by fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Immune enzyme, water quality, and intestinal microbiota, *Frontiers in Marine Science*, 2022, vol. 9, art. ID 987363, pp. 1–15. doi 10.3389/fmars.2022.987363

He, Y., Peng, H., Jin, M., Wang, J., Li, S., Li, M., Zhu, T., Zhang, L., Chen, X., and Zhou, Q., Application evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil in shrimp feed: Effects on growth performance, antioxidant capacity and lipid metabolism, *Aquaculture Reports*, 2024, vol. 36, art. ID 102174. doi 10.1016/j.aqrep.2024.102174

Herawati, V.E., Elfitasari, T., Darmanto, Y.S., Anggraeni, N., and Windarto, S., Effect of different ratios of maggot meal (*Hermetia illucens*) on growth performance and body composition of vannamei shrimp (*Litopennaeus vannamei*) post larvae, *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 768–779.

Herawati, V.E., Susilo, A., Pinandoyo, P., Hutabarat, J., Sugianto, D.N., Wirasatriya, A., and Karnaradjasa, O., Optimization of fish meal substitution with maggot meal (*Hermetia illucens*) for growth and feed utilization efficiency of juvenile *Litopenaeus vannamei*, *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Science*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 284–297. doi 10.1051/bioconf/20237401024

Herawati, W.E., Windarto, S., Anggraeni, N., and Arfan, M., Optimal dietary maggot oil for juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): Growth performance, feed utilization, and nutritional quality, *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 61–71.

Hidayat, N., Anggarini, S., Sunyoto, N.M.S., Fitri, L.E., Suhartini, S., Rohma, N.A., Elviliana, E., Setyawan, S.A.A., Subekti, I.F., Namira, A.A., Nafi'ah, R.W., Afifah, F.N., and Pratama, A.P.A., Bioconversion of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on agricultural waste: Potential source of protein and lipid, the application (A mini-review), *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 2024, vol. 7, no. 1, pp. 78–92. doi 10.21776/ub.afssaae.2024.007.01.8

- Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M.G., Lupi, D., Savoldelli, S., Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae, *Environmental Entomology*, 2017, vol. 46, no. 6, pp. 1415–1423. doi 10.1093/ee/nvx154
- Julita, U., Suryani, Y., Kinasih, I., Yuliawati, A., Cahyanto, T., Maryeti, Y., Permana, A., and Fitri, L., Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L), (Diptera : Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 187, art. ID 012071. doi 10.1088/1755-1315/187/1/012071
- Keetanon, A., Chuchird, N., Phansawat, P., Kitsanayanyong, L., Chou, C.-C., Verstraete, P., Ménard, R., Richards, C.S., Ducharne, F., and Rairat, T., Effects of black soldier fly larval meal on the growth performance, survival, immune responses, and resistance to *Vibrio parahaemolyticus* infection of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Aquaculture International*, 2024, vol. 32, pp. 2233–2248. doi 10.1007/s10499-023-01267-5
- Ko, D., Lee, Y., Kim, S., Song, S., Kim, W., Kim, S., Hur, S.W., Kim, K.-W., and Lee, K.-J., Full-fat or defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a fish meal replacer in diet for *Penaeus vannamei*, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2025, preprint, pp. 1–17. doi 10.1163/23524588-bja10257
- Lee, C. and Lee, K.J., Dietary protein requirement of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* in three different growth stages, *Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, vol. 21, no. 1, pp. 1–6. doi 10.1186/s41240-018-0105-0
- Leeper, A., Benhaïm, D., Smáráson, B.O., Knobloch, S., Ómarsson, K.L., Bonnafoux, T., Pipan, M., Koppe, W., Björnsdóttir, R., and Øverland, M., Feeding black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic rest streams alters gut characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Journal of Insects as Food and Feed*, 2022, vol. 8, no. 11, pp. 1355–1372. doi 10.3920/JIFF2021.0105
- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J.K., and Yu, Z., Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production, *Waste Management*, 2011, vol. 31, no. 6, pp. 1316–1320. doi 10.1016/j.wasman.2011.01.005
- Li, X., Chen, Y., Zheng, C., Chi, S., Zhang, S., Tan, B., and Xie, S., Evaluation of six novel protein sources on apparent digestibility in Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture Nutrition*, 2022, vol. 2022, art. ID 8225273, pp. 1–11. doi 10.1155/2022/8225273
- Li, X., Yang, L., Jiang, S., Zhou, F., Jiang, S., Li, Y., Chen, X., Yang, Q., Duan, Y., and Huang, J., Effect of fly maggot protein as dietary on growth and intestinal microbial community of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*, *Biology*, 2023, vol. 12, no. 11, art. ID 1433, pp. 1–17. doi 10.3390/biology12111433
- Ling, S.L.Y., Shafiee, M., Longworth, Z., Vatanparast, H., Tabatabaei, M., and Liew, H.J., Black soldier fly larvae meal (BSFLM) as an alternative protein source in sustainable aquaculture production: A scoping review of its comprehensive impact on shrimp and prawn farming, *Animal Feed Science and Technology*, 2025, vol. 319, no 6, art. ID 116174. doi 10.1016/j.anifeedsci.2024.116174
- Liu, T., Klammersteiner, T., Dregulo, A.M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z., and Awasthi, M.K., Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review, *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 833, art. ID 155122. doi 10.1016/j.scitotenv.2022.155122
- Liu, Y., Andin, V.C., Chor, W.K., Gunasekaran, B., Chong, Ch.M., Lee, Po.Ts., and Loh, J.Ya., A preliminary study on the effects of substituting fishmeal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval meal on Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles: Growth performance, feed efficiency, nutrient composition, disease resistance, and economic returns, *Journal of Fish Biology*, 2024, vol. 105, no. 6, pp. 1681–1693. doi 10.1111/jfb.15908
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archana, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R.A.P., and Paengkoum, P., Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review, *Insects*, 2022, vol. 13, no. 9, art. ID 831, pp. 1–17. doi 10.3390/insects13090831
- Mohamad, A., Tan, C.K., Shah, N.N.A.K., Nayan, N., Ibrahim, A., Abdi, G., and Aadil, R.M., Insect protein: A pathway to sustainable protein supply chains, challenges, and prospects, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2025, vol. 19, art. ID 101678, pp. 1–10. doi 10.1016/j.jafr.2025.101678
- Mohan, K., Rajan, D.K., Muralisankar, T., Abirami, R.G., Palanivel, S., and Revathi, N., Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs, *Aquaculture*, 2022, vol. 553, art. ID 738095. doi 10.1016/j.aquaculture.2022.738095

Nairuti, R.N., Musyoka, S.N., Yegon, M.J., and Opiyo, M.A., Utilization of black soldier fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) larvae as a protein source for fish feed — a review, *Aquaculture Studies*, 2021, vol. 22, no. 2, pp. 1–12. doi 10.4194/AQUAST697

Novriadi, R., Davies, S., Triatmaja, K.I.K., Hermawan, M., Kontara, E.K.M., Tanaka, B., Rinaldy, A., and Nugroho, J.E., Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as an alternative to marine ingredients elicits superior growth performance and resistance to *Vibrio harveyi* infection for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2024, vol. 24, no. 1, TRJFAS24343. doi 10.4194/TRJFAS24343

N'Souvi, K., Sun, C., Che, B., and Vodounon, A., Shrimp industry in China: overview of the trends in the production, imports and exports during the last two decades, challenges, and outlook, *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024, vol. 7, art. ID 1287034. doi 10.3389/fsufs.2023.1287034

Nugroho, R.A. and Nur, F.M., Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured, *IOP Conferencies Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 144, art. ID 012002. doi 10.1088/1755-1315/144/1/012002

Nunes, A.J.P., Yamamoto, H., Simões, J.P., Pisa, J.L., Miyamoto, N., and Leite, J.S., The Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal can fully replace fish meal in practical nursery diets for post-larval *Penaeus vannamei* under high-density culture, *Fishes*, 2023, vol. 8, art. ID 605, pp. 1–15. doi 10.3390/fishes8120605

Odeon, M.M., Fernández-Arhex, V., García-Falabella, B., Villar, L., Caballero, V., Hara, S., Cancino, A.K., and Villagra, E.S., Innovative protein sources for sustainable sheep farming: as-sesing Black soldier fly larvae meal in merino lamb diet, *Small Ruminant Research*, 2025, vol. 250, art. ID 107556. doi 10.1016/j.smallrumres.2025.107556

Oliveira, J.S., Ribeiro, C.D.F., de Souza, C.O., and Ribeiro, C.V.D.M., Mapping the use of insects in animal feed: scientific and technological data of *Tenebrio molitor*, *Hermetia illucens*, and *Zophobas morio*, *Animal Production Science*, 2025, vol. 65, no. 9, AN24415. doi 10.1071/AN24415

Ooninx, D.G.A.B., van Huis, A., and van Loon, J.J.A., Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, vol. 1, no. 2, pp. 131–139. doi 10.3920/JIFF2014.0023

Parra Paz, A.S., Carrejo, N.S., and Gómes Rodríguez, C.H., Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae), *Waste Biomass Valorisation*, 2015, vol. 6, pp. 1059–1065. doi 10.1007/s12649-015-9418-8

Pastor, B., Velásquez, Y., Gobbi, P., and Rojo, S., Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2015, vol. 1, no. 3, pp. 179–193. doi 10.3920/JIFF2014.0024

Pauly, D. and Zeller, D., Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture (SOFIA 2016), *Marine Policy*, 2017, vol. 77, pp. 176–181. doi 10.1016/j.marpol.2017.01.006

Porto-Fragozo, P.L. and Rodríguez-Forero, A., Fuentes proteicas alternas como sustituto parcial a la harina de pescado en las formulaciones nutricionales del cultivo de camarón (*Penaeus vannamei*), *Orinoquia*, 2023, vol. 27, no. 2, e-767. doi 10.22579/20112629.767 (in Spain)

Raghuvaran, N., Varghese, T., Jana, P., Brighty, R.J.A., Sethupathy, A.M., S., S., Alrashdi, Y.B.A., Ibrahim, A.E., and Deeb, S.E., Current status and global research trend patterns of insect meal in aquaculture from scientometric perspective: (2013–2022), *Aquaculture Nutrition*, 2024, art. ID 5466604. doi 10.1155/2024/5466604

Rahman, R., Laconi, E.B., Jayanegara, A., and Astuti, D.A., Effect of dietary black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and bioconversion product of cocoa pod husk on performance and hematological profile of sheep, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, vol. 1098, no. 6, art. ID 062058. doi 10.1088/1757-899X/1098/6/062058

Rajalakshmi, K., Felix, N., Ranjan, A., Ishfaq, M., and Sathishkumar, G., Exploring sustainable animal protein sources for shrimp aquaculture in India, in *Sustainable Feed Ingredients and Additives for Aquaculture Farming. Sustainability Sciences in Asia and Africa*, Springer, Singapore, 2024, pp. 187–214. doi 10.1007/978-981-97-4279-0_9

Rajalakshmi, K., Nathan, F., Ranjan, A., Arumugam, U., and Sathishkumar, G., Physiological, immunological and nutritional assessment of *Penaeus vannamei* fed with different combinations of novel feed ingredients, *Annals of Animal Science*, 2025, vol. 25, no. 3, pp. 1087–1100. doi 10.2478/aoas-2025-0006

Ritika, P. and Rajendra, S.S.P., Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste, *International Journal of Research in Biosciences*, 2015, vol. 4, no. 4, pp. 38–45.

- Rizal, M., Astuti, D.A., and Fahmi, M.R.,** Evaluation of BSF larva meal and oil as white shrimp feed on growth performance, body composition, and health response, *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 2024, vol. 26, no. 2, pp. 193–201. doi 10.22146/jfs.97636
- Röthig, T., Barth, A., Tschirner, M., Schubert, P., Wenning, M., Billion, A., Wilke, T., and Vilcinskas, A.,** Insect feed in sustainable crustacean aquaculture, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2023, vol. 9, no. 9, pp. 1115–1138. doi 10.3920/JIFF2022.0117
- Saputra, I. and Lee, Y.N.,** Nutrition composition of commercial full-fat and defatted black soldier fly larvae meal (*Hermetia illucens*) as a potential protein resource for aquafeeds, *Biodiversitas*, 2023, vol. 24, no. 9, pp. 4877–4884. doi 10.13057/biodiv/d240930
- Shah, S.R.A. and Çetingül, İ.S.,** Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an ecological, immune booster and economical feedstuff for aquaculture, *Marine Science and Technology Bulletin*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 52–62. doi 10.33714/masteb.1041493
- Shin, J. and Lee, K.J.,** Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses, *PloS One*, 2021, vol. 16, no. 11, art. ID e0260305, pp. 1–16. doi 10.1371/journal.pone.0260305
- Siddiqui, S.A., Gadge, A.S., Hasan, M., Rahayu, T., Povetkin, S.N., Fernando, I., and Castro-Muñoz, R.,** Future opportunities for products derived from black soldier fly (BSF) treatment as animal feed and fertilizer — A systematic review, *Environment, Development and Sustainability*, 2024, vol. 26, no. 12, pp. 30273–30354. doi 10.1007/s10668-024-04673-8
- Singh, A. and Kumari, K.,** An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black soldier fly larvae: A review, *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 251, art. ID 109569. doi 10.1016/j.jenvman.2019.109569
- Sookying, D. and Davis, D.A.,** Pond production of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed high levels of soybean meal in various combinations, *Aquaculture*, 2011, vol. 319, no. 1–2, pp. 141–149. doi 10.1016/j.aquaculture.2011.06.049
- Stadtlander, T., Deininger, K., Sandroch, C., Schindler, F., Wecker, B., Wohlfahrt, J., Lemme, A., and Lambertz, C.,** Larven-Mehl der schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) eignet sich für die Fütterung der Weißbeingarnele (*Penaeus vannamei*) unter Praxisbedingungen in einer modernen Kreislaufanlage, *Ernährungs Umschau*, 2025, vol. 72, no. 8, AP. 44–52. doi 10.4455/eu.2025.034 (in Deutsch)
- Sverguzova, S.V., Shaikhiev, I.H., Sapronova, Z.A., Fomina, E.V., and Makridina, Yu.L.,** Use of fly larvae *Hermetia illucens* in poultry feeding: a review paper, *Journal of Water and Land Development*, 2021, vol. 49, pp. 95–103. doi 10.24425/jwld.2021.137101
- Tacon, A.G.J., Cody, J.J., Conquest, L.D., Divakaran, S., Forster, I.P., and Decamp, O.E.,** Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets, *Aquaculture Nutrition*, 2002, vol. 8, no. 2, pp. 121–137. doi 10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x
- Tran, G., Heuzé, V., and Makkar, H.,** Insects in fish diets, *Animal Frontiers*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 37–44. doi 10.2527/af.2015-0018
- Usman, Fahrur, M., Kamaruddin, Asaad, A.I.J., and Fahmi, M.R.,** The utilization of black soldier fly larvae meal as a substitution of fish meal in diet for white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, grow-out, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 860, no. 1, art. ID 012023, pp. 1–10. doi 10.1088/1755-1315/860/1/012023
- Veldkamp, T., van Rozen, K., Elissen, H., van Wikselaar, P., and van der Weide, R.,** Bio-conversion of digestate, pig manure and vegetal residue-based waste operated by black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae), *Animals*, 2021, vol. 11, no. 11, art. ID 3082, pp. 1–10. doi 10.3390/ani11113082
- Wang, G., Peng, K., Hu, J., Mo, W., Wei, Z., and Huang, Y.,** Evaluation of defatted *Hermetia illucens* larvae meal for *Litopenaeus vannamei*: effects on growth performance, nutrition retention, antioxidant and immune response, digestive enzyme activity and hepatic morphology, *Aquaculture Nutrition*, 2021, vol. 27, no. 4, pp. 986–997. doi 10.1111/anu.13240
- Wang, Y.S. and Shelomi, M.,** Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food, *Foods*, 2017, vol. 6, no. 10, art. ID 91, pp. 1–23. doi 10.3390/foods6100091
- Xiao, X., Jin, P., Zheng, L., Cai, M., Yu, Z., Yu, J., and Zhang, J.,** Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*), *Aquaculture Research*, 2018, vol. 49, no. 4, pp. 1569–1577. doi 10.1111/are.13611
- Xiao, X., Mazza, L., Yu, Y., Cai, M., Zheng, L., Tomberlin, J.K., Yu, J., van Huis, A., Yu, Z., Fasulo, S., and Zhang, J.,** Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and

organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria, *Journal of Environmental Management*, 2018, vol. 217, pp. 668–676. doi 10.1016/j.jenvman.2018.03.122

Yildirim-Aksoy, M., Eljack, R., Beck, B.H., and Peatman, E., Nutritional evaluation of frass from black soldier fly larvae as potential feed ingredient for Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, *Aquaculture Reports*, 2022, vol. 27, art. ID 101353, pp. 1–8. doi 10.1016/j.aqrep.2022.101353

Zheng, J.Y., Gan, Z.R., Huang, T.Y., Xiao, Y., Xu, W.Y., Li, X.Q., and Leng, X.J., Replacement of fish meal with defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) in diet of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*): growth, flesh quality and transcriptome, *Journal of Insects as Food and Feed*, 2024, vol. 11, no. 5, pp. 873–893. doi 10.1163/23524588-00001235

Zou, X., Liu, M., Li, X., Pan, F., Wu, X., Fang, X., Zhou, F., Peng, W., and Tian, W., Applications of insect nutrition resources in animal production, *Journal of Agriculture and Food Research*, 2024, vol. 15, art. ID 100966. doi 10.1016/j.jafr.2024.100966

Zheng, L., Li, Q., Zhang, J., and Ziniu, Y., Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production, *Renewable Energy*, 2012, vol. 41, pp. 75–79. doi 10.1016/j.renene.2011.10.004

Поступила в редакцию 13.10.2025 г.

После доработки 26.11.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 13.10.2025; approved after reviewing 26.11.2025;

accepted for publication 3.12.2025

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 597.552.511:57.087.3**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-807-820****EDN: NMCGCL****АЭРОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
НЕРЕСТОВОЙ МИГРАЦИИ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КЛАССА
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТОПОГРАФИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ
РЕК САХАЛИНА****А.А. Макоедов, А.В. Скорик, Н.В. Колпаков***Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Представлены результаты разработки и апробации методических подходов к аэрофотограмметрическому учету производителей тихоокеанских лососей (на примере горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*) в реках юго-восточного побережья и зал. Анива о. Сахалин с использованием серийных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) потребительского класса. Исследования проводились в период нерестовых миграций в июле-августе 2022–2024 гг. на 22 водотоках общей протяженностью около 230 км. Показана возможность оперативного мониторинга с применением БПЛА потребительского класса (DJI Phantom 4 Pro V2.0, DJI Mini 2, DJI Matrice 300 RTK). Установлены оптимальные параметры аэросъемки. Проведен сравнительный анализ эффективности различных моделей БПЛА. Выявлены основные ограничения метода, связанные с погодными условиями и степенью залесенности русел. Разработанная методика является эффективным и экономически целесообразным инструментом для оперативного контроля нерестового хода и может быть использована для регулирования промысла и оценки эффективности воспроизводства тихоокеанских лососей в Сахалинской области.

Ключевые слова: Сахалинская область, тихоокеанские лососи, горбуша, аэрофотограмметрия, БПЛА, беспилотный мониторинг, нерестилища, ортофотоплан, фотограмметрическая обработка

Для цитирования: Макоедов А.А., Скорик А.В., Колпаков Н.В. Аэрофотограмметрический мониторинг нерестовой миграции горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* с использованием БПЛА потребительского класса применительно к топографическим условиям рек Сахалина // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 4. — С. 807–820. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-807-820. EDN: NMCGCL.

* Макоедов Антон Анатольевич, заведующий лабораторией, makoe dovaa@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-4474-6245; Скорик Андрей Васильевич, руководитель группы, andrey.prosto.skorik@mail.ru, ORCID 0000-0002-0922-0697; Колпаков Николай Викторович, доктор биологических наук, руководитель филиала, kolpakovnv@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0006-0598-4805.

© Макоедов А.А., Скорик А.В., Колпаков Н.В., 2025

Original article

Aerial photogrammetric monitoring on spawning migration of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* using consumer-class UAVs applied to topographic conditions of the rivers in Sakhalin

Anton A. Makoedov*, Andrey V. Skorik, Nikolay V. Kolpakov*****

*—*** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),

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

* head of sector, makoedovaa@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-4474-6245

** head of group, andrey.prosto.skorik@mail.ru, ORCID 0000-0002-0922-0697

*** D.Biol., head, kolpakovnv@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0009-0006-0598-4805

Abstract. Methodology for the aerial photogrammetric counting of pacific salmon spawners with serial unmanned aerial vehicles (UAVs) is developed and tested for the rivers of southeastern Sakhalin on example of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*. In total, 22 water streams with the total length of about 230 km were surveyed during the spawning migrations in July-August of 2022–2024. Traditional methods of the counting are labor-intensive and ineffective in this area because of hard relief and high afforestation of the river shores, but operational monitoring with consumer-class UAVs (DJI Phantom 4 Pro V2.0, DJI Mini 2, DJI Matrice 300 RTK) is available. The optimal parameters for aerial survey have been established: the flight altitude 20–100 m, UAV speed up to 6 m/s, longitudinal overlap of the images $\geq 80\%$ and the transverse overlap $\geq 40\%$. The materials of 88 flight missions are processed in Agisoft Metashape Professional software package and orthophotoplans with resolution of 1.0–1.5 cm/pixel are obtained, suitable for visual identification and counting of fish using the geoinformation system NextGIS QGIS. Effectiveness of different UAV models is compared. The main limitations of the method concerned to weather conditions and the riverbed cover are defined. The developed methodology is an effective and economically feasible tool for operational control of spawning that can be used for the fishery regulation and evaluation of reproduction efficiency for pacific salmon in the Sakhalin Region.

Keywords: Sakhalin Region, pacific salmon, pink salmon, aerial photogrammetry, UAV, unmanned monitoring, spawning ground, orthophotoplan, photogrammetric processing

For citation: Makoedov A.A., Skorik A.V., Kolpakov N.V. Aerial photogrammetric monitoring on spawning migration of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* using consumer-class UAVs applied to topographic conditions of the rivers in Sakhalin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 4, pp. 807–820. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-807-820. EDN: NMCGCL.

Введение

Тихоокеанские лососи рода *Oncorhynchus* — важнейшие объекты промысла и искусственного разведения молоди на Дальнем Востоке России. От состояния их запасов в значительной мере зависят экономика региона и жизнь местного населения. Надежная и оперативная оценка численности производителей, заходящих на нерест, служит основой для прогнозирования подходов, определения объемов возможного вылова и принятия управленческих решений по регулированию промысла [Макоедов, Макоедов, 2018, 2022а, б; Макоедов, 2019, 2023; Макоедов и др., 2019, 2023, 2024; Колпаков и др., 2025].

Традиционные методы мониторинга на нерестилищах, такие как пешие учеты, визуальные наблюдения с берега или с лодок, в условиях Сахалинской области сопряжены с существенными трудностями. Регион характеризуется экстремально сложными природно-географическими условиями: густая лесная растительность, горный рельеф, высокая извилистость и малая ширина речных русел, а также их труднодоступность для наземного транспорта. Это приводит к низкой репрезентативности выборки, высокой доле неучтенных нерестовых площадей и значительным трудозатратам, что ограничивает частоту повторения наблюдений и пространственный охват мониторинга.

В последние годы на Дальнем Востоке России активно развиваются методы беспилотного мониторинга численности и распределения тихоокеанских лососей, показав-

шие свою эффективность в различных условиях [Свиридов и др., 2022а; Никифоров и др., 2023]. Однако их успешное применение напрямую зависит от специфики региона (степень залесенности речных бассейнов, орографии и метеоусловий) [Никифоров и др., 2023]. В частности, в результате ранее проведенных исследований, выполненных с участием одного из авторов данной статьи на реках Сахалина и Хабаровского края, была установлена низкая эффективность маршрутного учета с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для водотоков с высокой степенью залесенности, турбулентностью и мутностью воды, что потребовало поиска альтернативных подходов, таких как учет на фиксированном створе с контрастным фоном [Свиридов и др., 2022б].

Развитие технологий дистанционного зондирования, в частности БПЛА, открывает новые возможности для обследования нерестилищ [Kudo et al., 2012; Groves et al., 2016; Запорожец, Запорожец, 2017; Фадеев и др., 2019; Harris et al., 2019; Roncoroni, Lane, 2019; Запорожец и др., 2020; Harrison et al., 2020; Дуленин и др., 2021; Ponsioen et al., 2021]. Преимущества БПЛА включают высокое пространственное разрешение получаемых данных, оперативность, мобильность и относительно низкую стоимость работ по сравнению с авиаучетами с борта пилотируемых аппаратов (самолет, вертолет).

Однако применение специализированных БПЛА, оснащенных высокоточным геодезическим оборудованием (например, модулями RTK/PPK), предполагает существенные финансовые затраты и требует высокой квалификации операторов, что ограничивает их широкое применение в рыбохозяйственных исследованиях.

Цель настоящей работы — разработка и апробация экономичных, эффективных и легко воспроизводимых методических подходов к аэрофотограмметрическому учету лососей (на примере горбуши) с использованием доступных БПЛА потребительского класса в сложных природных условиях Сахалинской области. В отличие от ранее предложенного для Сахалинской области альтернативного метода учета на створе, данное исследование направлено на адаптацию и развитие именно маршрутного фотограмметрического метода, позволяющего получать данные о пространственном распределении производителей на нерестилищах.

Материалы и методы

Районы и сроки работ. Исследования проводили в период нерестовых миграций горбуши в июле-августе 2022–2024 гг. на 22 контрольных водотоках юго-восточного побережья о. Сахалин (с севера на юг реки: Макаровка, Лесная, Лазовая, Пугачевка, Баклановка, Айдар, Фирсовка, Жуковка, Вознесенка, Долинка, Очепуха, Курейка, Пинда, Горная, Гремучка, Кедровка) и зал. Анива (с запада на восток реки: Урюм, Бачинская, Таранай, Игривая, Островка, Новикова). Общая протяженность обследованных участков рек составила порядка 230 км (рис. 1).

Условия съемки. Исследуемая территория характеризуется горно-лесистым рельефом с выраженной расчлененностью и наличием труднопроходимых участков. Гидрографическая сеть представлена множеством мелких и средних водотоков со средней шириной русел около 10 м и значительной извилистостью. Глубина рек на большей части их протяженности не превышает 1 м. Плотный сомкнутый полог леса частично или полностью закрывает русла водотоков, что создает основные трудности для аэросъемки и является ключевым лимитирующим фактором (рис. 2). Ввиду сложного рельефа и необходимости поддержания надежного радиоконтакта с БПЛА полевые работы сочетались с пешими маршрутными обследованиями вдоль береговой линии. Следует отметить, что необходимость надежного радиоконтакта при ручном управлении беспилотными летательными аппаратами потребительского класса обусловлена ограниченной надежностью автономных навигационных алгоритмов в условиях сложного рельефа и возможного затенения сигналов связи и позиционирования. На пересеченной местности возрастает вероятность потери глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) и ухудшения работы датчиков, что снижает точность

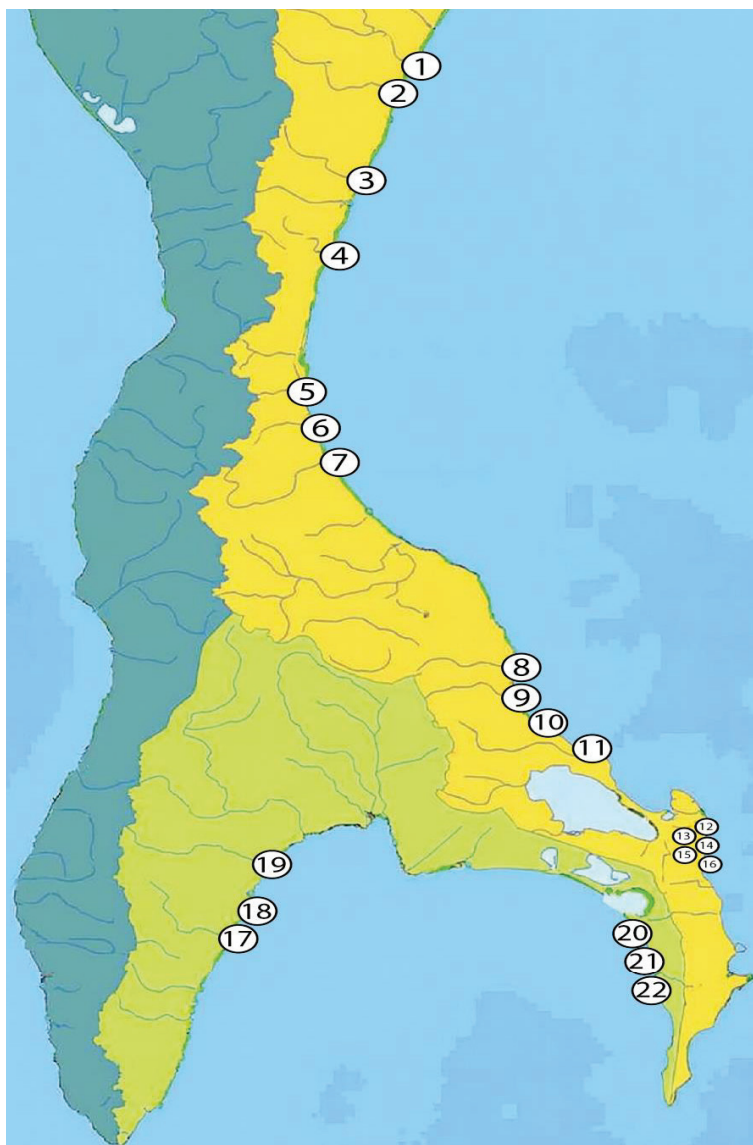


Рис. 1. Расположение рек о. Сахалин, обследованных с применением БПЛА в 2022–2024 гг.: юго-восточное побережье: 1 — Макаровка, 2 — Лесная, 3 — Лазовая, 4 — Пугачевка, 5 — Баклановка, 6 — Айдар, 7 — Фирсовка, 8 — Жуковка, 9 — Вознесенка, 10 — Долинка, 11 — Очепуха, 12 — Курейка, 13 — Пинда, 14 — Горная, 15 — Гремучка, 16 — Кедровка; зал. Анива: 17 — Урюм, 18 — Бачинская, 19 — Таранай, 20 — Игривая, 21 — Островка, 22 — Новикова

Fig. 1. Scheme of the rivers on southeastern Sakhalin Island surveyed with UAVs in 2022–2024: 1 — Makarovka, 2 — Lesnaya, 3 — Lazovaya, 4 — Pugachevka, 5 — Baklanovka, 6 — Aidar, 7 — Firsovka, 8 — Zhukovka, 9 — Voznesenka, 10 — Dolinka, 11 — Ochepukha, 12 — Kureika, 13 — Pinda, 14 — Gornaya, 15 — Gremuchka, 16 — Kedrovka, 17 — Uryum, 18 — Bachinskaya, 19 — Taranai, 20 — Igrivaya, 21 — Ostrovka, 22 — Novikova

автономного полета и увеличивает риск столкновений из-за неполной ситуационной осведомленности бортовых систем. В этих условиях ручной режим, основанный на стабильном двустороннем радиоканале и визуально-телеметрической обратной связи, обеспечивает более оперативную адаптацию траектории, позволяя оператору компенсировать недостатки автоматизации и оперативно реагировать на динамично меняющуюся окружающую обстановку, что делает его более надежным и безопасным по сравнению с автономными сценариями.

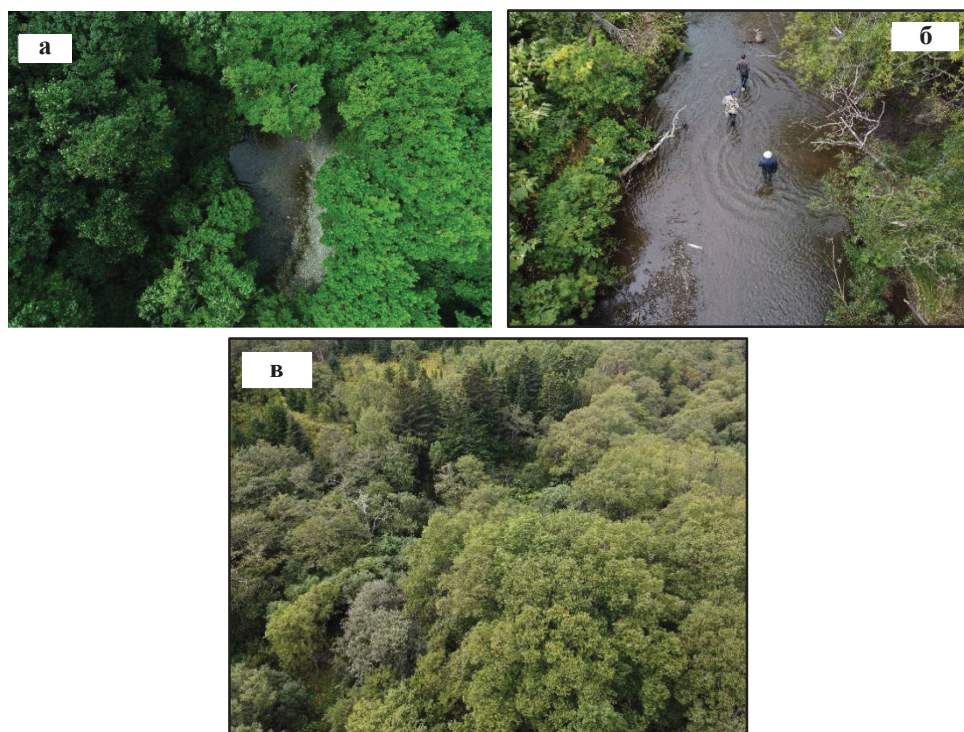


Рис. 2. Условия съемки на реках Сахалина: **а** — частично закрытое кронами деревьев русло водотока; **б** — открытые участки водотоков (пешие маршрутные обследования нерестилищ); **в** — полностью закрытые кронами деревьев русла водотоков

Fig. 2. Shooting conditions on the Sakhalin rivers: **a** — riverbed partially covered by tree crowns; **б** — open waters (hiking route surveys of spawning grounds); **в** — riverbeds completely covered by tree crowns

Оборудование и планирование полетов. Для проведения аэросъемочных работ использовался парк мультироторных БПЛА потребительского класса: DJI Phantom 4 Pro V2.0 (2 ед.), DJI Mini 2 (1 ед.) и DJI Matrice 300 RTK (1 ед.) с камерой Zenmuse P1. Выбор моделей БПЛА был сопоставим с подходом, успешно апробированным другими исследователями [Свиридов и др., 2022a], и позволил провести сравнительный анализ их эффективности в условиях о. Сахалин.

Подготовительный этап включал полную проверку и калибровку оборудования. Решение о проведении полетов принималось на основе анализа текущих и прогнозируемых метеорологических условий с использованием специализированного веб-сервиса Windy.com, что позволяло минимизировать риски, связанные с неблагоприятными погодными факторами. В отличие от методик, предполагающих выполнение заранее запрограммированных автономных миссий [Свиридов и др., 2022a], в условиях сложной топографии Сахалина полетные миссии выполнялись преимущественно в ручном режиме управления с использованием штатного программного обеспечения (DJI GO 4, DJI Fly). Такой подход обеспечивал возможность гибкой коррекции траектории полета в соответствии с изгибами речного русла, оперативного маневрирования для обхода препятствий и мгновенной настройки параметров съемки в зависимости от изменений освещенности.

Протокол полевых работ включал:

1. Прибытие на запланированный участок реки, визуальную оценку условий съемки (степень открытости русла, освещенность, наличие препятствий).
2. Выбор безопасной площадки для взлета и посадки БПЛА.
3. Калибровку оборудования и проверку связи.

4. Выполнение полетных миссий в соответствии с выбранной схемой (однопролетная или двухпролетная).

5. Оперативный просмотр полученных снимков для контроля качества.

6. Перемещение к следующему участку.

Место дислокации полевой группы, как правило, располагалось в средней части исследуемого участка реки, что обеспечивало возможность выполнения полетов на значительную протяженность (до 4 км) как вниз, так и вверх по течению в зависимости от пересеченной местности.

Параметры аэросъемки. В ходе полевых работ проводились оценки различных параметров аэросъемки для определения оптимальных значений, обеспечивающих баланс между качеством данных, безопасностью использования (пилотирования) БПЛА и производительностью. Аэрофотосъемка осуществлялась в период с 15 июля по 31 августа. Высота полета варьировала в диапазоне от 20 до 100 м для тестирования возможности идентификации рыб при разном пространственном разрешении. Скорость полета составляла от 2 до 8 м/с для оценки степени смаза изображения. Интервал между снимками составлял 2 с. Камера была ориентирована в надир (с отклонением до 10° в отдельных случаях для минимизации бликов на воде). Обеспечивалось продольное пересечение снимков не менее 80 % и поперечное — не менее 40 %. Для этого применялись и сравнивались две схемы полетов — однопролетная вдоль срединной линии для узких русел (шириной до 15 м) и двухпролетная (по левому и правому берегу) для более широких участков (рис. 3).

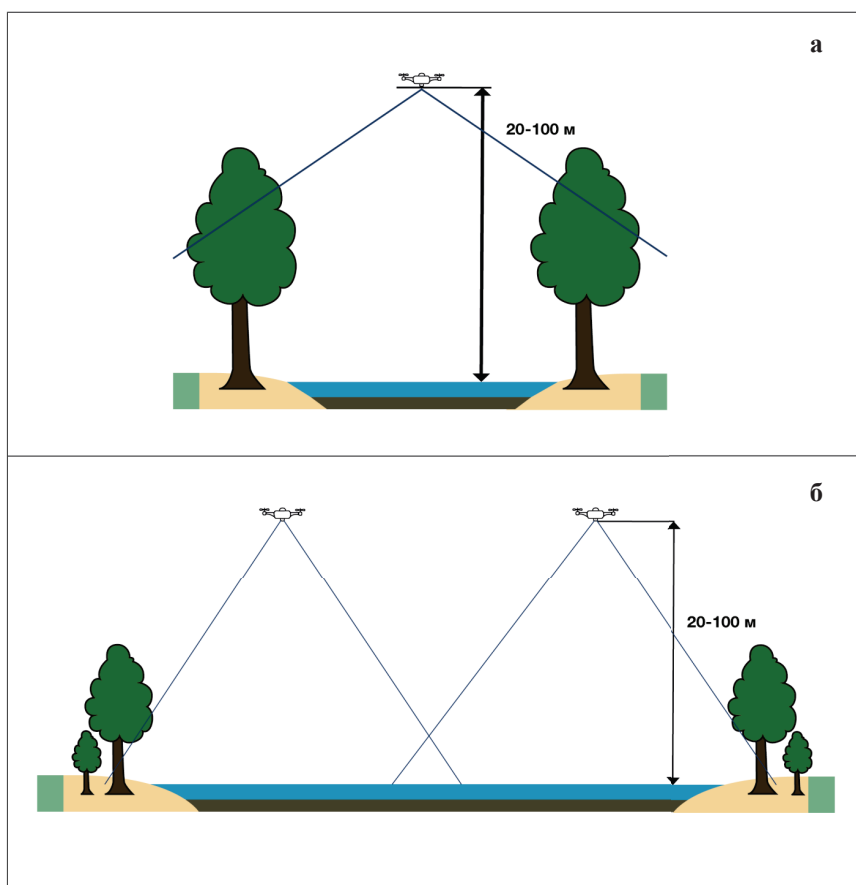


Рис. 3. Варианты схемы выполнения аэрофотосъемки: **а** — однопролетная схема вдоль срединной линии для узких русел рек; **б** — двухпролетная схема для более широких участков

Fig. 3. Variants of tracks for aerial survey: **a** — single-span scheme along the median line for narrow riverbeds; **b** — two-span scheme for wide riverbeds

Настройки параметров съемки задавались вручную для каждого вылета в зависимости от условий освещенности. Используемые значения экспозиционных параметров варьировали в пределах: ISO — 100–200, диафрагма — F/4.0–5.6, выдержка — 1/400–1/600 с.

Использование ручного режима пилотирования, несмотря на его меньшую автоматизацию по сравнению с заранее запрограммированными миссиями [Свиридов и др., 2022a], было признано нами ключевым для работы на узких извилистых и сильно залесенных сахалинских водотоках, так как обеспечивало значительную гибкость и безопасность. Данный подход является основной адаптацией стандартной методики к специфическим условиям Сахалина.

Обработка данных. Фотограмметрическая обработка полученных материалов (общий объем 73 235 снимков) выполнялась в программном комплексе Agisoft Metashape Professional (ГК «Геоскан», Россия). Процесс включал следующие этапы.

1. Построение разреженного облака точек на основе автоматического сопоставления ключевых точек на перекрывающихся снимках.
2. Построение плотного облака точек.
3. Создание цифровой модели поверхности (ЦМП) или цифровой модели рельефа (ЦМР).
4. Генерация ортофотоплана с высоким пространственным разрешением (1,0–1,5 см/пиксель).

Визуальное дешифрирование и подсчет особей лососей проводились в настольной геоинформационной системе NextGIS QGIS. Процедура подсчета включала следующие этапы.

1. Импорт ортофотоплана в формате GeoTIFF в систему координат WGS 84/UTM 54N.
2. Создание нового векторного слоя с типом геометрии «Точки».
3. Последовательное нанесение точечных объектов на каждую идентифицируемую особь рыбы (производителя горбуши или нерестовый бугор) с использованием инструмента «Добавить объект».
4. Подсчет общего количества точек в слое для получения суммарной численности на участке.

Для обработки данных использовалась рабочая станция на базе высокопроизводительного ноутбука с дискретной видеокартой.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных полевых работ за три сезона было выполнено 88 успешных полетных миссий и собран обширный массив аэрофотоснимков нерестовых участков.

Фотограмметрическая обработка позволила получить высокодетальные ортофотопланы, которые обеспечили уверенную визуальную идентификацию отдельных особей тихоокеанских лососей на мелководных участках рек (рис. 4). Разрешение 1,0–1,5 см/пиксель оказалось достаточным для распознавания не только силуэтов живых рыб, но и деталей, таких как форма тела, а также сненьки.

Сравнительный анализ показал, что выбор беспилотного летательного аппарата зависит от конкретных задач аэрофотосъемки. Комплекс DJI Matrice 300 RTK с камерой Zenmuse P1 продемонстрировал наилучшие технические характеристики. Благодаря полнокадровой матрице и высокому количеству эффективных пикселей он позволил проводить съемку с большой высоты (около 100 м) без потери пространственного разрешения (1,3 см/пикс на высоте 100 м), что повышало безопасность полетов и производительность работ. Его повышенная устойчивость к ветровым нагрузкам способствовала экономии заряда аккумуляторов и увеличению продолжительности полета.

БПЛА DJI Phantom 4 Pro V2.0 оказался оптимален для оперативной съемки небольших сложных участков, где наиболее важны мобильность и простота эксплуатации. Разрешение в 1,3 см/пикс для данной модели достигалось при высоте полета 50 м.

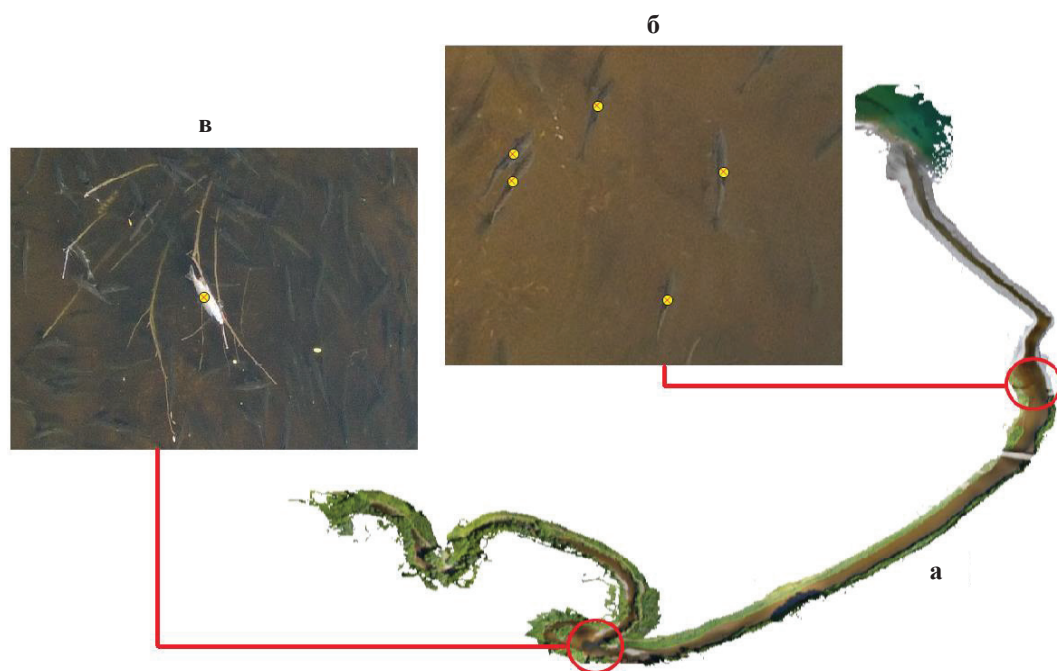


Рис. 4. Учет производителей горбуши (р. Долинка, июль 2022 г.): **а** — сегмент ортофотоплана; **б** — увеличенный сегмент ортофотоплана (внешний вид производителей горбуши); **в** — внешний вид сненки горбуши

Fig. 4. Pink salmon spawners counting in the Dolinka River in July 2022: **a** — orthophotoplane segment; **b** — enlarged segment of the orthophotoplane (appearance of pink salmon spawners); **v** — appearance of pink salmon cuttings

DJI Mini 2, в силу своих малых габаритов и массы, был полезен для быстрой разведки и работы в условиях особо стесненного пространства, но более чувствителен к ветру.

На основе анализа материалов 88 полетных миссий и последующей фотограмметрической обработки были установлены оптимальные параметры аэросъемки для условий горно-лесистых рек Сахалина. В результате сравнения результатов съемки с разными настройками выявлено, что для уверенной визуальной идентификации производителей горбуши необходима высота полета, обеспечивающая пространственное разрешение итоговых ортофотопланов в диапазоне 1,0–1,5 см/пиксель, что достигалось при высоте 20–100 м в зависимости от модели БПЛА. Превышение скорости полета свыше 6 м/с приводило к повышенному риску смаза изображения, поэтому данное значение было принято в качестве максимального. Однако на меньшей высоте съемки и при сниженной освещенности водотока допустимый порог скорости становится еще ниже, поскольку даже небольшое увеличение движения БПЛА в таких условиях приводит к заметному росту смаза и ухудшению качества изображения.

Анализ качества построения ортофотопланов показал, что заявленное продольное перекрытие не менее 80 % и поперечное не менее 40 % являются минимально достаточными для построения бесшовных моделей ортофотопланов без пропусков данных.

Сравнительный анализ эффективности предварительно запрограммированных автономных миссий и ручного пилотирования однозначно показал преимущество последнего в условиях сложной топографии Сахалина. Ключевым преимуществом ручного режима пилотирования явилась возможность оперативного маневрирования в узких извилистых руслах, постоянный визуальный контроль для избегания столкновений с препятствиями (ЛЭП, деревья) и возможность мгновенной коррекции параметров съемки в ответ на изменение освещенности. Эксплуатация аппаратов в полевых условиях

позволила установить, что максимальная дальность устойчивой связи между пультом управления и БПЛА в условиях плотной растительности и наличия орографических преград составила до 2 км, на открытой местности — до 3 км.

Проведенные исследования показали, что, в отличие от рек Амурского лимана, Охотского района Хабаровского края и притоков Амура, где успешно применяются высокоавтоматизированные методы с заранее запрограммированными миссиями [Свиридов и др., 2022б], большинство обследованных водотоков Сахалинской области обладают ограниченной пригодностью для такого подхода. Установленные ограничения обусловлены совокупностью гидрологических, морфологических и гидродинамических особенностей данных объектов, главными из которых являются исключительно высокая извилистость и залесенность русел. В связи с этим ключевым достижением настоящей работы по сравнению с более ранними исследованиями стала адаптация метода БПЛА-мониторинга к сложнейшим топографическим условиям Сахалина за счет отказа от полностью автономных полетов в пользу гибкого ручного пилотирования. Это позволило проводить съемку на ранее недоступных для автоматизированных методов участках рек.

Практика выполнения учетных работ, проводимых с 2022 г., способствовала совершенствованию навыков применения беспилотных летательных аппаратов и обработки получаемых материалов, что позволило расширить перечень обследуемых водотоков. В процессе исследований были организованы систематизация и хранение собранных данных на внешних носителях в форме реестра, оформленного в табличном редакторе (MS Excel). Формирование такой базы данных обеспечивает возможность ведения статистического учета подходов тихоокеанских лососей и служит доказательной основой для последующего анализа динамики их распределения.

Проведение не менее чем двукратного обследования одних и тех же участков в течение нерестового сезона позволило не только отследить динамику заполнения рек производителями горбуши, но и оценить воспроизводимость результатов. Визуальный подсчет по ортофотопланам обеспечивал высокую детализацию и возможность последующей верификации. Однако субъективность оператора остается фактором, влияющим на точность. Для повышения прецизионности в будущем целесообразно разработать и внедрить алгоритмы автоматического и полуавтоматического дешифрирования на основе методов глубокого обучения. Следует отметить, что первые успешные шаги в этом направлении уже сделаны другими исследователями применительно к учету снетки кеты *Oncorhynchus keta*, производителей кеты и кижуча *Oncorhynchus kisutch* в Хабаровском крае [Коцюк и др., 2024; Свиридов, Поваров, 2024; Свиридов и др., 2025].

Указанное направление развития метода является общим для большинства исследований в области беспилотного мониторинга [Свиридов и др., 2022а] и позволит в перспективе значительно повысить оперативность и стандартизацию обработки данных. Таким образом, основное преимущество метода учета лососей на основе аэрофото-съемки с БПЛА заключается в сочетании очень высокого разрешения, оперативности и возможности точечного обследования труднодоступных участков при относительно низких затратах.

Основными ограничениями метода являются: погодная зависимость; влияние растительности (затененность русел); ограниченный радиус действия БПЛА потребительского класса в условиях сложного рельефа и растительности; влияние прозрачности воды.

Выявленные нами ограничения, в частности критическая зависимость от погодных условий и степени сомкнутости крон деревьев, полностью согласуются с выводами других авторов, работавших в сходных ландшафтных условиях [Никифоров и др., 2023]. В частности, в некоторых водотоках Сахалина залесенность достигает 80 % и более, что делает традиционные методы учета и частично БПЛА-съемку потребительского класса малоэффективными и требует комбинирования с пешими маршрутами.

Полученные нами результаты подтверждают выводы, сделанные ранее [Свиридов и др., 2022б], о значительном влиянии залесенности на эффективность маршрутного учета на Сахалине. Однако, в отличие от предложенной в упомянутой работе альтернативы в виде учета на створе, наша адаптированная методика позволяет сохранить ключевое преимущество маршрутного метода — получение данных о пространственном распределении производителей по нерестилищам, что критически важно для оценки эффективности воспроизводства.

В качестве возможного решения выявленных ограничений при использовании беспилотных летательных аппаратов потребительского класса может рассматриваться применение БПЛА промышленного назначения. Использование аппаратов данного типа позволяет значительно расширить диапазон выполняемых работ и повысить устойчивость их функционирования в сложных метеорологических условиях. Вместе с тем следует учитывать, что эксплуатация и техническое обслуживание БПЛА промышленного класса требуют более высокой квалификации персонала и сопряжены с существенно большими финансовыми затратами, которые, однако, компенсируются многократно увеличенной суточной производительностью аэрофотосъемки.

Важно отметить, что получаемые ортофотопланы являются не только инструментом для подсчета численности производителей тихоокеанских лососей в морском побережье и нерестовых водотоках, но и ценным картографическим материалом. Они могут быть использованы для оценки морфометрических характеристик нерестилищ, состояния нерестовых бугров, картирования субстрата и топографии речных русел (плес, яма, перекат, завал).

Выводы

Разработанная и апробированная в течение трех полевых сезонов (2022–2024 гг.) методика аэрофотограмметрического мониторинга нерестовых скоплений тихоокеанских лососей с применением БПЛА потребительского класса доказала свою высокую эффективность и практическую значимость в условиях сложной топографии и плотной растительности в бассейнах рек Сахалинской области.

Установлены и проверены на практике оптимальные параметры аэросъемки (высота полета 20–100 м, скорость до 6 м/с, разрешение 1,0–1,5 см/пикс), обеспечивающие получение данных, пригодных для достоверной визуальной идентификации и подсчета производителей горбуши на нерестилищах.

Определены преимущества и области применения различных моделей БПЛА потребительского класса (DJI Matrice 300 RTK, DJI Phantom 4 Pro V2.0, DJI Mini 2) в зависимости от задач мониторинга и условий местности.

Подтверждено, что применение ручного режима пилотирования, несмотря на меньшую автоматизацию, позволяет повысить точность и надежность съемок в труднодоступных и залесенных руслах рек за счет гибкого маневрирования и оперативной адаптации к изменяющимся условиям.

Методика обеспечивает оперативное получение объективных данных о пространственном распределении и динамике нерестового хода, существенно снижает трудоемкость и материальные затраты на мониторинг по сравнению с традиционными наземными и авиационными методами.

Она является не просто репликацией существующих подходов, а их адаптацией и развитием применительно к сложной топографии Сахалина. Он занимает свою нишу между высокоавтоматизированными методами, применимыми на открытых участках [Свиридов и др., 2022а], и традиционными пешими обследованиями, необходимыми в условиях полной залесенности [Никифоров и др., 2023].

В целом предложенный способ является мощным, экономически целесообразным и перспективным инструментом для систематических исследований, мониторинга и обоснованного регулирования промысловой нагрузки на популяции тихоокеанских лососей.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность коллегам из Сахалинского филиала ВНИРО (СахНИРО) за помощь в проведении полевых работ. Отдельная благодарность В.Д. Никитину за организацию полевых исследований и А.А. Антонову за участие в параллельных пеших учетах. Особую признательность авторы выражают В.В. Свиридову за новаторские работы в области беспилотного мониторинга тихоокеанских лососей Дальнего Востока России, которые заложили методическую основу для настоящего исследования, а также за ценные практические рекомендации.

The authors thank their colleagues in the Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO) for their assistance in field works, with special thanks to V.D. Nikitin for the surveys organizing and to A.A. Antonov for joining the parallel hiking surveys. The authors are particularly grateful to V.V. Sviridov for his pioneer achievements in unmanned monitoring of pacific salmon in the Russian Far East that became the methodological basement of this study, as well as for his valuable practical recommendations.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.
The study had budget funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All acceptable national, institutional and international ethical principles have been observed. The authors declare that they have no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.А. Макоедов — концепция и дизайн исследования, разработка методики, планирование работ, анализ и интерпретация данных, написание и редактирование статьи. А.В. Скорик — сбор и обработка полевых материалов, проведение аэрофотосъемочных работ, подготовка графических материалов, написание разделов статьи. Н.В. Колпаков — общее руководство и координация научных исследований, обсуждение результатов, формулировка выводов, доработка первоначального варианта рукописи.

A.A. Makoedov — concept of the study, its conducting, methods development, work planning, data analysis and interpretation, the text writing. A.V. Skorik — collection and processing the materials, aerial photography, the text illustrating and writing certain sections. N.V. Kolpakov — general management and coordination of scientific researches, the study results discussing, the conclusions formulation, and revision the manuscript in editorial process.

Список литературы

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 185. — С. 134–151. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В. Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2017. — Вып. 47. — С. 77–90.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В., Фельдман М.Г. Оценка численности производителей нерки и их распределение по нерестовым станциям в бассейне Начикинского озера (Камчатка) в 2019 г. // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 618–634. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634.

Колпаков Н.В., Макоедов А.А., Никитин В.Д. и др. Результаты промысла тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе в 2024 году // Бюл. изучения тихоокеанских лососей

на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2025. — № 19. — С. 19–36. DOI: 10.26428/losos_bull19-2025-19-36. EDN: CFTFTI.

Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Опыт реализации и способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Охотском районе Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 705–721. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

Макоедов А.А. Динамика численности тихоокеанских лососей российского происхождения в дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // Современные аспекты рыбохозяйственной науки и геномные технологии в аквакультуре и рыболовстве : мат-лы 4-й науч. школы-конф. мол. ученых и специалистов / под ред. М.В. Сытовой, Н.С. Мюге, И.И. Гордеева. — М. : ВНИРО, 2023. — С. 54.

Макоедов А.А. Доступность водных биологических ресурсов в Сахалино-Курильском регионе // Тихоокеанский лосось в мире человеческих взаимоотношений: экономические, социальных, экологических, исторических, этнических и культурных : тез. докл. Междунар. науч.-практ. семинара. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2019. — С. 74–76.

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.

Макоедов А.А., Никитин В.Д., Живоглядов А.А. и др. Итоги промысла тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе в 2022 г. // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2023. — С. 57–68. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-57-68. EDN: SHCHSW.

Макоедов А.А., Никитин В.Д., Игнатьев Ю.И. и др. Итоги промысла горбуши и кеты в Сахалино-Курильском регионе в 2019 г. // Бюл. № 14 изучения лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2019. — С. 65–75.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Динамика численности тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus*, *Salmonidae*) российского происхождения и перспективы их добычи // Вестн. КамчатГТУ. — 2022а. — № 60. — С. 84–97. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-60-84-97.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Искусственное воспроизводство и состояние запасов тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 3. — С. 661–678. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-661-678.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Использование запасов тихоокеанских лососей в Сахалинской области // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : мат-лы 6-й науч.-практ. конф. мол. ученых с междунар. участием. — М. : ВНИРО, 2018. — С. 163–167.

Никифоров А.И., Гордеев И.И., Ридигер А.В. Мониторинговые исследования производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* с помощью БПЛА в нерестовых реках острова Сахалин в 2022 году // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2023. — С. 115–121. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-115-121. EDN: TEKRFK.

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022а. — Т. 202, вып. 2. — С. 429–449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449.

Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 4. — С. 1015–1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Применение методов искусственного интеллекта для автоматизации беспилотного учета отнерестившихся особей кеты в Хабаровском крае // Вопр. рыб-ва. — 2024. — Т. 25, № 4. — С. 113–124. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-4-113-124.

Свиридов В.В., Поваров А.Ю., Коцюк Д.В. Автоматизация беспилотного учета производителей кеты и кижуча методами искусственного интеллекта // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 3. — С. 518–534. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-518-534. EDN: JCTWNA.

Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Фельдман М.Г. Комплексный мониторинг пропуски производителей тихоокеанских лососей р. Камчатка в режиме реального времени // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 197. — С. 3–20. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20.

Groves P.A., Alcorn B., Wiest M.M. et al. Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys // Facets. — 2016. — Vol. 1. — P. 187–204. DOI: 10.1139/facets-2016-0019.

Harris J.M., Nelson J.A., Rieucan G., Broussard W.P. Use of unmanned aircraft systems in fishery science // *Trans. Am. Fish. Soc.* — 2019. — Vol. 148, Iss. 4. — P. 687–697. DOI: 10.1002/tafs.10168.

Harrison L.R., Legleiter C.J., Overstreet B.T. et al. Assessing the potential for spectrally based remote sensing of salmon spawning locations // *River Res. Applic.* — 2020. — Vol. 36, Iss. 8. — P. 1618–1632. DOI: 10.1002/rra.3690.

Kudo H., Koshino Y., Eto A. et al. Cost-effective accurate estimates of adult chum salmon, *Oncorhynchus keta*, abundance in a Japanese river using a radio-controlled helicopter // *Fish. Res.* — 2012. — Vol. 119–120. — P. 94–98. DOI: 10.1016/j.fishres.2011.12.010.

Ponsioen L., Kapralova K., Holm F. et al. Monitoring fish spawning sites in freshwater ecosystems using low-cost UAV data: A case study of salmonids in lakes in Iceland // *bioRxiv.* — 2021. — P. 1–22. DOI: 10.1101/2021.06.12.448199.

Roncoroni M., Lane S.N. A framework for using small Unmanned Aircraft Systems (sUASs) and SfM photogrammetry to detect salmonid redds // *Ecological Informatics.* — 2019. — Vol. 53. 100976. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2019.100976.

References

Dulenin, A.A., Dulenina, P.A., Kotsyuk, D.V., and Sviridov, V.V., Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 185, pp. 134–151. doi 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151

Zaporozhets, O.M. and Zaporozhets, G.V., Using the photo- and video records for assessment of pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some of methodical approaches, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2017, no. 47, pp. 77–90.

Zaporozhets, O.M., Zaporozhets, G.V., and Feldman, M.G., Estimation of the number of sockeye salmon adults and their distribution by spawning stations in the basin of Lake Nachikinskoye (Kamchatka) in 2019, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 618–634. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634

Kolpakov, N.V., Makoedov, A.A., Nikitin, V.D., Maznikova, O.A., Ignatiev, Y.I., and Antonov, A.A., Results of pacific salmon fishery in the Sakhalin-Kuril Region in 2024, in *Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East*, Vladivostok: TINRO, 2025, no. 19, pp. 19–36. doi 10.26428/losos_bull19-2025-19-36. EDN: CFTFTL.

Kotsyuk, D.V., Sviridov, V.V., and Povarov, A.Yu., Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 705–721. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

Makoedov, A.A., Dynamics of the formation of Pacific salmon of Russian origin in the Far Eastern fishery basin, in *Mater. 4-y nauchn. shkoly-konf. mol. uchenykh i spetsialistov "Sovremennyye aspekty rybokhozyaystvennoy nauki i genomnyye tekhnologii v akvakul'ture i rybolovstve"* (Proc. 4th Sci. Entific. Schools Pier. Scientists and Specialists "Modern aspects of fisheries science and genomic technologies in aquaculture and fisheries"), Sytova, M.V., Muge, N.S., Gordeev, I.I., eds, Moscow: VNIRO, 2023, pp. 54.

Makoedov, A.A. Access to aquatic biological resources in the Sakhalin-Kuril region, *Theses of reports from the International Scientific and Practical Seminar "Pacific Salmon in the World of Human Relations: Economic, Social, Environmental, Historical, Ethnic, and Cultural Aspects"*, Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2019, pp. 74–76.

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.

Makoedov, A.A., Nikitin, V.D., Zhivoglyadov, A.A., Ignatiev, Y.I., and Antonov, A.A., Results of the pacific salmon fishery in the Sakhalin-Kuril region in 2022, in *Byulleten' no. 17 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bulletin No. 17 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2023, pp. 57–68. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-57-68. EDN: SHCHSW.

Makoedov, A.A., Nikitin, V.D., Ignatiev, Y.I., Antonov, A.A., and Kovtun, M.V., Results of the pink salmon and chum salmon fishery in the Sakhalin-Kuril region in 2019, in *Byull. N 14 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 14 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsent, 2019, pp. 65–75.

Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A., Population dynamics and catch prospects of russian pacific salmon (*Oncorhynchus*, Salmonidae), *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2022, no. 60, pp. 84–97. doi 10.17217/2079-0333-2022-60-84-97

Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A., Pacific salmon: the status of stocks and prospects for the fishery, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2022, vol. 48, no. 7, pp. 547–554. doi 10.1134/s1063074022070112

Makoyedov, A.N. and Makoyedov, A.A., Use of Pacific salmon stocks in the Sakhalin region, in *Mater. 6 nauchno-prakt. konf. molodykh uchenykh s mezhdunar. uchastiyem "Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa"* (Proc. 6th Sci.-Pract. Conf. Young Sci. Int. Participation "Modern problems and prospects for the development of the fishery complex"), Moscow: VNIRO, 2018, pp. 163–167.

Nikiforov, A.I., Gordeev, I.I., and Ridiger, A.V., Monitoring survey on run of spawners of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* by means of UAV in the spawning rivers of Sakhalin Island in 2022, in *Bull. N 17 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 17 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2023, pp. 115–121. doi 10.26428/losos_bull17-2023-115-121. EDN: TEKRFK.

Sviridov, V.V., Kotsyuk, D.V., and Podorozhnyuk, E.V., Photogrammetric counts of pacific salmon using consumer-grade unmanned aerial vehicles, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2022, vol. 48, no. 7, pp. 587–600. doi 10.1134/s1063074022070136

Sviridov, V.V., Podorozhnyuk, E.V., Nikitin, V.D., and Skorik, A.V., Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmon in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1015–1031. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Sviridov, V.V. and Povarov, A.Yu., Application of artificial intelligence methods to automate post-spawn chum salmon individuals enumeration by means of unmanned aerial vehicles in Khabarovsk Territory, *Vopr. Rybolov.*, 2024, vol. 25, no. 4, pp. 113–124. doi 10.36038/0234-2774-2024-25-4-113-124

Sviridov, V.V., Povarov, A.Yu., and Kotsyuk, D.V., Automation of unmanned counting for spawners of chum and coho salmon with methods of artificial intelligence, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 3, pp. 518–534. doi 10.26428/1606-9919-2025-205-518-534. EDN: JCTWNA.

Fadeev, E.S., Shevlyakov, E.A., and Feldman, M.G., Integrated Monitoring of Escapement of Pacific Salmon Spawners to the Kamchatka River in Real-Time Mode, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2019, vol. 45, no. 7, pp. 546–559. doi 10.1134/S1063074019070022

Groves, P.A., Alcorn, B., Wiest, M.M., Maselkobe, J.M., and Connor, W.P., Testing unmanned aircraft systems for salmon spawning surveys, *Facets*, 2016, vol. 1, pp. 187–204. doi 10.1139/facets-2016-0019

Harris, J.M., Nelson, J.A., Rieucan, G., and Broussard, W.P., Use of unmanned aircraft systems in fishery science, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 2019, vol. 148, no. 4, pp. 687–697. doi 10.1002/tafs.10168

Harrison, L.R., Legleiter, C.J., Overstreet, B.T., Bell, T.W., and Hannon, J., Assessing the potential for spectrally based remote sensing of salmon spawning locations, *River Res. Applic.*, 2020, vol. 36, no. 8, pp. 1618–1632. doi 10.1002/rra.3690

Kudo, H., Koshino, Y., Eto, A., Ichimura, M., and Kaeriyama, M., Cost-effective accurate estimates of adult chum salmon, *Oncorhynchus keta*, abundance in a Japanese river using a radio-controlled helicopter, *Fish. Res.*, 2012, vol. 119–120, pp. 94–98. doi 10.1016/j.fishres.2011.12.010

Ponsioen, L., Kapralova, K., Holm, F., Martínez, S.G., and Hennig, B.D., Monitoring fish spawning sites in freshwater ecosystems using low-cost UAV data: A case study of salmonids in lakes in Iceland, *bioRxiv*, 2021, pp. 1–22. doi 10.1101/2021.06.12.448199

Roncoroni, M. and Lane, S.N., A framework for using small Unmanned Aircraft Systems (sUASs) and SfM photogrammetry to detect salmonid redds, *Ecological Informatics*, 2019, vol. 53, 100976. doi 10.1016/j.ecoinf.2019.100976

Поступила в редакцию 17.11.2025 г.

После доработки 1.12.2025 г.

Принята к публикации 3.12.2025 г.

The article was submitted 17.11.2025; approved after reviewing 1.12.2025;
accepted for publication 3.12.2025

**СТРАНИЦЫ ПАМЯТИ
SCROLLS OF MEMORY****ЗАСЛУЖЕННОМУ ЭКОЛОГУ
НАДЕЖДЕ КОНСТАНТИНОВНЕ ХРИСТОФОРОВОЙ 85 ЛЕТ**

Год назад ушла из жизни профессор Надежда Константиновна Христофорова (30.10.1940–7.03.2024). Она оставила заметный след в общественной, культурной, научной и педагогической деятельности не только Владивостока, но и всего Дальнего Востока России. Её уход не оставил равнодушными ее коллег и учеников*.

Надежда Константиновна, коренная дальневосточница, родилась в Приморском крае. После окончания химического факультета обучалась в аспирантуре на кафедре физической и коллоидной химии Дальневосточного государственного университета (ДВГУ), где защитила кандидатскую диссертацию по электрохимии. Из двух направлений электрохимии — теоретической и прикладной — упор в работе был сделан на втором направлении. Освоенные в аспирантуре методы позволили ей в дальнейшем решать практические задачи, связанные с экологическими проблемами. В 1985 г. свои работы Надежда Константиновна обобщила в диссертации на степень доктора биологических наук по специальности экология «Биоиндикация загрязнения морских вод тяжелыми металлами».

Надежда Константиновна всегда занимала активную жизненную позицию. Будучи студенткой, а затем аспиранткой, была избрана секретарем комитета комсомола ДВГУ. С 1971 г. в течение трех лет была членом комитета комсомола ДВНЦ АН СССР по работе с научной молодёжью. В 1974 г. перешла в лабораторию геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, где проработала почти 50 лет и руководила группой морской биогеохимии.

Через год после защиты докторской диссертации начался новый плодотворный этап в творческой жизни Надежды Константиновны. На факультете общей биологии, экологии и почвоведения ДВГУ она организовала кафедру экологии, которой руководила в течение 15 лет. Кафедра существовала на правах отделения с самостоятельным набором студентов и пользовалась большим вниманием со стороны абитуриентов. Это придало новый импульс развитию биологического факультета университета, который реорганизовали в Академию экологии, морской биологии и биотехнологии (АЭМББТ) ДВГУ. Кафедра состоялась, и даже после ряда реорганизаций в ДВФУ сохраняется образовательная программа бакалавриата по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование». Также регулярно по этой программе работает магистратура.



* Богатов В.В., Чернова Е.Н., Прозорова Л.А., Шулькин В.М. Научно-педагогическое наследие профессора Надежды Константиновны Христофоровой (30.10.1940–7.03.2024) // Биота и среда природных территорий. 2024. Т. 12, № 2. С. 87–101.



Проведение гидрохимических работ в Амурском заливе, 3 июля 2022 г. (студенты Беланов Максим, Боровкова Александра, к.т.н., ст.н.с. ТОИ ДВО РАН Лазарюк Александр Юрьевич, д.б.н., профессор ДВФУ Христофорова Надежда Константиновна, к.б.н., доцент ДВФУ Бойченко Татьяна Валерьевна, студент Оскерко Семён)

Надежда Константиновна, обладая талантом педагога, внимательно относилась к своим студентам и аспирантам, многим активно помогала. Под ее руководством защищено более 65 кандидатских и 14 докторских диссертаций. В подготовке каждой из них она была не сторонним наблюдателем, а добрым, активным советчиком. Убедившись на собственном опыте в необходимости совета по защите диссертаций, она организовала в ДВФУ Специализированный совет по защите докторских диссертаций по биологической специальности «Экология», который успешно работал с 1997 по 2015 г. Он оказался самым результативным советом по защите диссертаций на Дальнем Востоке: в нем были защищены 142 кандидатские и 25 докторских диссертаций. Соискатели приезжали со всей России. Она также являлась членом диссертационного совета ДВФУ по специальностям «Экология» (химические науки) и «Элементоорганические соединения».

Летом 1989 г. Надежда Константиновна вместе с Алексеем Викторовичем Жирмунским участвовали в работе международного симпозиума «Геология и экология реки Амур» (г. Благовещенск). Это мероприятие имело серьёзное продолжение. Руководство Биробиджанского государственного педагогического института пригласило Надежду Константиновну организовать экологическое направление в нём. В 2002 г. в этом вузе была создана кафедра экологии и природопользования, которой она заведовала. Ныне это Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема. С 2002 по 2015 г. Н.К. Христофорова — заведующая кафедрой экологии и природопользования. С 2015 г. до последнего дня Надежда Константиновна профессор кафедры географии, экологии и природоохранного дела ПГУ. В настоящее время обучение по специальности «Экология и природопользование» (бакалавриат) в ПГУ продолжается. Руководство кафедрой в Биробиджане требовало немало сил и времени, учитывая, что по медицинским рекомендациям врачей ей нельзя было летать самолетом. Тем удивительнее было то, что она много лет курировала экологическое образование на Сахалине, активно участвуя в организации и работе кафедры экологии и природопользования и в консультировании аспирантов по специальности «Экология» в Сахалинском государственном университете.

А.В. Жирмунский и Н.К. Христофорова на международном симпозиуме «Геология и экология бассейна р. Амур», Благовещенск, 28.08.1989 г. С трибуны симпозиума прозвучало немало интересных предложений, перспективных проектов, связанных с геологией, экономикой и биологией



Помимо преподавания экологических дисциплин и работы в разных ученых и специализированных советах, Надежда Константиновна много занималась редакторской работой, входила в состав редколлегии научных журналов «Биология моря», «Известия ТИНРО», «Успехи наук о жизни», «Здоровье. Медицинская экология. Наука», «International Scientific Publications: Ecology & Safety».

Несмотря на активную научно-организационную деятельность, для любимых научных изысканий находились и силы, и время. Творческое наследие профессора Христофоровой удивляет. Ею подготовлено более 300 научных работ, включая 7 монографий, 5 учебных и методических пособий. Широко известен её учебник для университетов «Основы экологии» объёмом более 500 страниц, который трижды переиздавался многотысячными тиражами. Экология стала очень дифференцированной наукой, включающей много разных дисциплин, в том числе и гуманитарных — пе-



Научная конференция, посвященная 70-летию С.М. Коновалова. ТИНРО, 25–27 марта 2008 г. Секция «Условия обитания водных организмов», сопредседатели секции Н.К. Христофорова, Г.В. Хен



На 10-м Международном форуме неправительственных партнёров ЮНЕСКО «Наука на благо человечества», Москва, 26–27 ноября 2018 г.

дагогическая экология, психология в экологии, юридические аспекты экологии и др. Внимание профессора распространялось на разные области экологии: биогеохимия, морская экология, оценка загрязнения окружающей среды, экотоксикология, методы восстановления экосистем, экологическая педагогика, история экологии. Особый интерес у Н.К. Христофоровой был к наблюдениям и контролю состояния природных биотопов. Большинство её учеников специализировались в разработке методов биоиндикации и по мониторингу качества среды.

Н.К. Христофорова не была кабинетным учёным, она участвовала, причем часто в роли руководителя, во многих морских прибрежных и нескольких международных морских экспедициях, организованных институтами ДВО РАН. Помимо Японского моря, работала в тропических и северных морях Мирового океана.

Последней книгой Надежды Константиновны стала книга о её супруге Алексее Викторовиче Жирмунском и об Институте биологии моря, который она хорошо знала не только со стороны, поскольку со многими сотрудниками работала в экспедициях и на биостанциях*. Почти все они бывали гостями в их доме. Более 20 лет заняла работа над книгой. Надежда Константиновна собирала иллюстрации, беседовала с сотрудниками Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Отдельные разделы книги она давала для экспертной оценки людям, о которых шла речь в соответствующем очерке. В первой главе рассказывается о предках Алексея Викторовича, история которых документально прослеживается с XVIII века. Для России с её суровым XX веком это уникальный случай. Теперь с трудом можно найти пару-тройку молодых людей, правнуков образованных прадедушек. Тогда как переход из одного сословия в другое — процесс на три поколения. Такая социальная инертность имеет под собой глубокий гносеологический базис. Алексей Викторович имел знатное происхождение, был хорошо воспитан, ко всем людям относился с интересом и уважением. Он уделял много времени и сил образованию и воспитанию молодых ученых, работая со школьниками и студентами. Этой стороне деятельности в книге посвящен большой раздел.

Книга Надежды Константиновны как бы подвела итог жизни Алексея Викторовича и её тоже...

*Анатолий Леонидович Дроздов, д-р биол. наук, гл. науч. сотр.
Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН
(фотографии автора и Ю.А. Галышевой)*

* Христофорова Н.К. Академик Жирмунский и его институт (к 100-летию со дня рождения академика А.В. Жирмунского). Владивосток: Дальнаука, 2023. 272 с.

Редакционная коллегия и редакция журнала «Известия ТИНРО» выражают признательность и благодарность рецензентам, которые в 2025 г. помогли отобрать лучшие рукописи для публикации. Мы ценим эту поддержку и надеемся на дальнейшее сотрудничество.

С нами работали:

Архипов Александр Геральдович, д-р биол. наук, АтлантНИРО
Афанасьев Павел Константинович, канд. биол. наук, Главрыбвод
Барабанщиков Евгений Иванович, канд. биол. наук, ТИНРО
Беликов Станислав Егорович, канд. биол. наук, ФГБУ «ВНИИ Экология»
Борисов Ростислав Русланович, д-р биол. наук, ВНИРО
Бубунец Эдуард Владимирович, д-р с.-х наук, РГАУ им. Тимирязева, ЦУРЭН
Бугаев Александр Викторович, д-р биол. наук, КамчатНИРО
Буслов Александр Вячеславович, канд. биол. наук, ТИНРО
Буяновский Алексей Ильич, д-р биол. наук, ВНИРО
Вдовин Александр Николаевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Гайко Лариса Афанасьевна, канд. геогр. наук, ТОИ ДВО РАН
Галышева Юлия Александровна, канд. биол. наук, ДВФУ
Глубоков Александр Иванович, д-р биол. наук, ВНИРО
Грозеску Юлия Николаевна, д-р с.-х наук, Астраханский ГТУ
Датский Андрей Валерьевич, канд. биол. наук, ВНИРО
Дементьева Наталья Валерьевна, канд. техн. наук, Дальрыбвтуз
Евсеева Наталья Викторовна, канд. биол. наук, ВНИРО
Есин Евгений Владиславович, канд. биол. наук, ВНИРО
Жарников Вячеслав Сергеевич, канд. биол. наук, Ин-т биол. проблем Севера ДВО РАН
Живоглядов Андрей Александрович, СахНИРО
Жигин Алексей Васильевич, д-р с.-х. наук, ВНИРО
Захаров Денис Васильевич, канд. биол. наук, ЗИН РАН
Зеленников Олег Владимирович, д-р биол. наук, СПбГУ
Зуенко Юрий Иванович, д-р геогр. наук, ТИНРО
Иванов Олег Альбертович, д-р биол. наук, ТИНРО
Иванов Павел Юрьевич, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Канзепарова Альбина Назиповна, канд. биол. наук, ВНИРО
Ким Сен Ток, канд. биол. наук, СахНИРО
Кириллов Павел Иванович, канд. биол. наук, ИПЭЭ РАН
Кириллова Елизавета Алексеевна, канд. биол. наук, КамчатНИРО
Ковалев Николай Николаевич, д-р биол. наук, ДВФУ
Колбеева Светлана Владимировна, канд. биол. наук, ММБИ
Колотова Дарья Сергеевна, канд. хим. наук, Мурманский арктический ун-т
Колпаков Николай Викторович, д-р биол. наук, СахНИРО
Корн Ольга Михайловна, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Костоусов Владимир Геннадьевич, канд. биол. наук, Ин-т рыбного хозяйства НАН
Беларуси по животноводству
Коцюк Денис Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Кузищин Кирилл Васильевич, д-р биол. наук, МГУ
Курмазов Александр Анатольевич, канд. эконом. наук, ТИНРО
Лабай Вячеслав Степанович, д-р биол. наук, СахНИРО
Лапко Виктор Владимирович, канд. биол. наук, СахНИРО
Левашов Дмитрий Евгеньевич, д-р техн. наук, ВНИРО
Литвиненко Анна Владимировна, канд. биол. наук, СахГУ
Литовка Денис Игоревич, канд. биол. наук, Чукотское правительство
Лобанов Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, Российский гос. гидрометеорол. ун-т
Макоедов Анатолий Николаевич, д-р биол. наук, Донской гос. техн. ун-т
Максимович Николай Владимирович, д-р биол. наук, СПбГУ

Марченко Сергей Леонидович, канд. биол. наук, ВНИРО
Матвеев Владимир Иванович, канд. геогр. наук, ТИНРО
Матюха Сергей Владимирович, д-р эконом. наук, МАУП, РУДН
Мошарова Ирина Викторовна, канд. биол. наук, ИО РАН
Мякишева Наталья Вячеславовна, д-р геогр. наук, Российский гос. гидрометеорол. ун-т
Низяев Сергей Александрович, канд. биол. наук, СахГУ
Никитин Виталий Дмитриевич, канд. биол. наук, СахНИРО
Остроумова Ирина Николаевна, д-р биол. наук, ГосНИОРХ
Паренский Валерий Александрович, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Пичугин Михаил Юрьевич, д-р биол. наук, МГУ им. Ломоносова
Подкорытова Антонина Владимировна, д-р техн. наук, ВНИРО
Полтев Юрий Николаевич, канд. биол. наук, СахНИРО
Пятикопова Ольга Викторовна, канд. биол. наук, КаспНИРХ
Пятинский Михаил Михайлович, канд. биол. наук, АзНИРХ
Радченко Владимир Иванович, канд. биол. наук, ТИНРО
Ризевский Виктор Казимирович, канд. биол. наук, ГНПО НПЦ НАН Беларуси
по биоресурсам
Рябушко Лариса Ивановна, д-р биол. наук, ИНБЮМ РАН
Савельев Павел Александрович, канд. биол. наук, ИБМ ДВО РАН
Савин Андрей Борисович, канд. биол. наук, ТИНРО
Саприн Сергей Викторович, канд. геогр. наук, Ухтинский ГТУ
Свиридов Владимир Владимирович, канд. биол. наук, ХабаровскНИРО
Семенченко Анатолий Юрьевич, канд. биол. наук, Приморский океанариум
Смирнов Андрей Анатольевич, д-р биол. наук, ВНИРО
Сологуб Денис Олегович, канд. биол. наук, ВНИРО
Соломатов Сергей Федорович, канд. биол. наук, ННЦМБ ДВО РАН
Степаненко Михаил Антонович, канд. биол. наук, ТИНРО
Степаньян Олег Владимирович, д-р биол. наук, ЮНЦ РАН
Сухин Игорь Юрьевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Таровик Владимир Иванович, канд. техн. наук, Крыловский гос. науч. центр
Токранов Алексей Михайлович, д-р биол. наук, Кф ТИГ ДВО РАН
Тюев Антон Викторович, канд. ф.-м. наук, ВВГУ
Устинова Елена Ивановна, канд. геогр. наук, ТИНРО
Чернецкий Антон Дмитриевич, канд. биол. наук, ИО РАН
Черниенко Игорь Сергеевич, канд. биол. наук, ТИНРО
Шевляков Евгений Александрович, канд. биол. наук, ТИНРО
Шевченко Георгий Владимирович, д-р ф.-м. наук, СахНИРО
Ширина Юлия Михайловна, канд. с.-х. наук, ЮНЦ РАН
Шунтов Вячеслав Петрович, д-р биол. наук, ТИНРО
Юсупов Равиль Рашитович, канд. биол. наук, МагаданНИРО