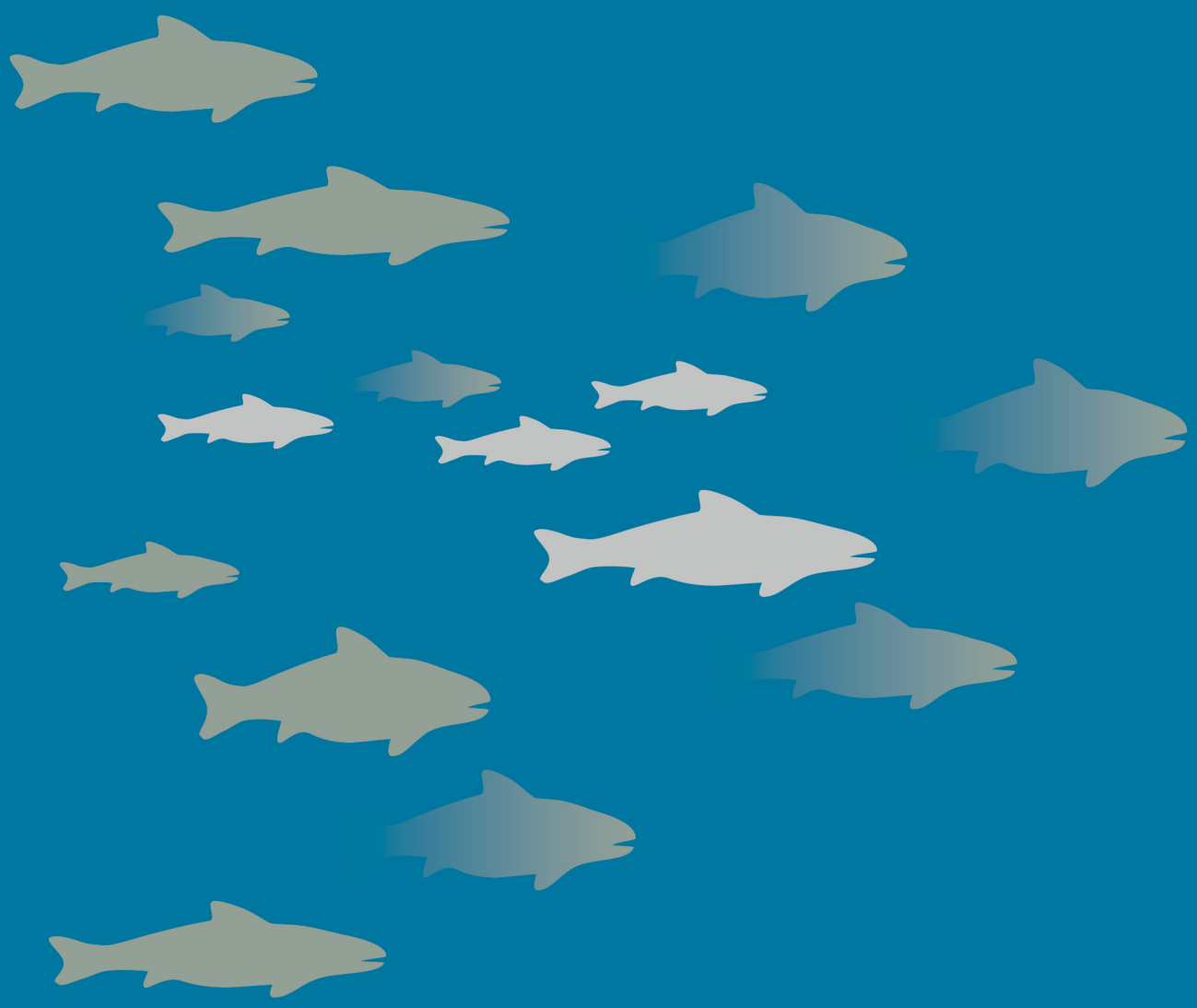
ISSN 2072-8212
ВЫПУСК 76
2025

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КАМЧАТКИ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА



Всероссийский
научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии

ISSN 2072-8212

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КАМЧАТКИ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Научный рецензируемый журнал

Выпуск 76
2025

THE RESEARCHES OF THE AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES OF KAMCHATKA AND THE NORTH-WEST PART OF THE PACIFIC OCEAN

Scientific peer-reviewed journal

Volume 76
2025

Главный редактор: д.б.н. А.В. Бугаев, зам. руководителя Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия)
Ответственный секретарь: М.В. Варкентин, зав. издательством Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия)

Редакционная коллегия:

д.б.н. А.М. Орлов, главный научный сотрудник Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва, Россия),
д.б.н. Т.И. Булгакова, главный научный сотрудник, ФГБНУ «ВНИРО» (Москва, Россия),
д.б.н. А.М. Токранов, главный научный сотрудник КФ ТИГ ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский, Россия),
д.б.н. В.И. Карпенко, профессор кафедры КамчатГТУ (Петропавловск-Камчатский, Россия),
д.б.н. А.М. Бурдин, старший научный сотрудник КФ ТИГ ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский, Россия),
д.б.н. А.М. Каев, главный научный сотрудник Сахалинского филиала ВНИРО («СахНИРО») (Южно-Сахалинск, Россия),
д.б.н. Т.А. Клочкова, профессор кафедры КамчатГТУ (Петропавловск-Камчатский, Россия),
д.т.н. О.М. Лапшин, ООО «АКВАРОС» (Москва, Россия),
д.б.н. О.А. Юнев, ведущий научный сотрудник ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (Севастополь, Россия),
к.б.н. Е.А. Шевляков, зав. отделом Тихоокеанского филиала ВНИРО («ТИНРО») (Владивосток, Россия),
к.б.н. С.Л. Рудакова, зам. начальника отдела ФГБНУ «ВНИРО» (Москва, Россия),
к.т.н. М.Н. Коваленко, советник Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия),
к.б.н. Н.Ю. Шпигальская, руководитель Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия),
к.б.н. М.В. Коваль, вед. научный сотрудник Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия),
к.б.н. Е.В. Лепская, зав. лабораторией Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия),
к.б.н. А.И. Варкентин, зам. руководителя Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия),
к.б.н. С.И. Корнев, зав. лабораторией Камчатского филиала ВНИРО («КамчатНИРО») (Петропавловск-Камчатский, Россия),
к.физ.-мат.н. И.М. Белкин, Университет Род-Айленда (США).

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам.
Их конструктивные замечания в значительной мере способствовали повышению качества публикаций.
The authors are deeply grateful to anonymous reviewers
for their constructive comments that have improved greatly the article quality.

УДК 639.2.053.7(268.4)

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Научный рецензируемый журнал. Вып. 76. 2025. 108 с.

Объектами исследований являются морские анадромные и пресноводные рыбы, промысловые беспозвоночные, морские млекопитающие, а также условия обитания видов. Рассматриваются проблемы структуры сообществ, дифференциации популяций, ихтиологии, экологии, трофологии, физиологии, гидробиологии, паразитологии, гидрологии и гидрохимии, рыбного хозяйства и экономики. Включенные в журнал работы будут интересны ихтиологам, гидробиологам, экологам, паразитологам, студентам биологических факультетов вузов, работникам рыбохозяйственных организаций, а также всем, кто связан с освоением, охраной и воспроизводством биологических ресурсов северо-западной части Тихого океана.

The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. Scientific peer-reviewed journal. Vol. 76. 2025. 108 p.

The objects of the researches made include marine, anadromous and freshwater fish species, commercial invertebrates, marine mammals and the habitats. The issues analyzed concern the structure of the communities, the differentiation of the populations, fish biology, ecology, trophology, physiology, hydrobiology, parasitology, hydrology and hydrochemistry fisheries and economics have analyzed. The articles selected in this collection are expected to be interesting for a wide circle of fish biologists, hydrobiologists, ecologists, students of high school and many other people working in the fishery institutions, i.e. to everyone whose activity might be connected to the exploration, protection and sustainable management of the aquatic biological resources in the north-west part of the Pacific Ocean.

© КамчатНИРО, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Выпуск 76, 2025

Оригинальные научные статьи

Бугаев Александр Викторович, Герлиц Александра Игоревна. Внутривидовая структура, численность и выживаемость заводской маркированной горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Дальнего Востока по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря и северо-западной части Тихого океана в 2022–2024 гг. 5

Бугаев Александр Викторович, Тепнин Олег Борисович, Кровнин Андрей Сергеевич. Оценка влияния климато-океанологических условий в зимне-весенний период на численность возвратов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Северо-Восточной Камчатки с целью оперативного прогнозирования динамики ее запасов 21

Пильганчук Оксана Александровна, Крыженовская Валентина Васильевна, Денисенко Анастасия Дмитриевна, Савенков Владимир Владимирович, Муравская Ульяна Олеговна. К вопросу о популяционно-генетической структуре нерки (*Oncorhynchus nerka*) оз. Курильского 41

Ильин Олег Игоревич, Бугаев Александр Викторович, Дубынин Владимир Александрович, Зикунова Ольга Владимировна. О прогнозировании подходов нерки *Oncorhynchus nerka* р. Озерной (Западная Камчатка) на основе методологии когортного анализа 57

Базаркина Лидия Анатольевна, Тепнин Олег Борисович, Блохин Иван Алексеевич. Состав и распределение зоопланктона в Кроноцком заливе в весенние месяцы 2018, 2019, 2021 и 2023 гг. 70

Архипова Елена Анатольевна, Буяновский Алексей Ильич, Коростелев Сергей Георгиевич, Лепская Екатерина Викторовна. Макрозообентос шельфа Камчатского залива по данным 2002 г. 81

Краткие сообщения

Шагинян Эдуард Рудольфович. К вопросу освоения запасов краба-стригуна опилио в заливе Шелихова Охотского моря в связи с открытием промысла камчатского краба 91

CONTENTS

Volume 76, 2025

Full Articles

Alexandr V. Bugaev, Alexandra I. Gerlitz. Intraspecific structure, abundance, and survival rate of marked hatchery pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of the Far East based on data of trawl surveys in the Sea of Okhotsk basin and Northwestern Pacific Ocean in 2022–2024 5

Alexandr V. Bugaev, Oleg B. Tepnin, Andrey S. Krovnin. Assessment of the influence of winter and spring climate-oceanological conditions on the abundance of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* returns in North-East Kamchatka for the use in operational forecasting the stock dynamics 21

Oksana A. Pilganchuk, Valentina V. Kryzhenovskaya, Anastasiya D. Denisenko, Vladimir V. Savenkov, Ulyana O. Muravskaya. On the population genetic structure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the Kurile Lake..... 41

Oleg I. Ilyin, Alexandr V. Bugaev, Vladimir A. Dubynin, Olga V. Zikunova. On predicting sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* runs in the Ozernaya River (Western Kamchatka) based on cohort analysis methodology 57

Lidiya A. Bazarkina, Oleg B. Tepnin, Ivan A. Blokhin. Zooplankton composition and distribution in Kronotsky Gulf during the spring months of 2018, 2019, 2021, and 2023 70

Elena A. Arkhipova, Alexey I. Buyanovsky, Sergey G. Korostelev, Ekaterina V. Lepskaya. Macrozoobenthos of the shelf of Kamchatsky Gulf according to the data of 2002 81

Short communication articles

Eduard R. Shaginyan. To the issue of the development of opilio snow crab stocks in Shelikhov Gulf of the Sea of Okhotsk in connection with the opening of the king crab fishery 91

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 5–20.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 5–20.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.552.511:639.3(265.53:265.5)
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.5-20
EDN: RBXQAK

ВНУТРИВИДОВАЯ СТРУКТУРА, ЧИСЛЕННОСТЬ И ВЫЖИВАЕМОСТЬ ЗАВОДСКОЙ МАРКИРОВАННОЙ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПО ДАННЫМ УЧЕТНЫХ ТРАЛОВЫХ СЪЕМОК В БАССЕЙНЕ ОХОТСКОГО МОРЯ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В 2022–2024 ГГ.

Бугаев Александр Викторович, Герлиц Александра Игоревна

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, a.gerlic@kamniro.vniro.ru

Аннотация. Установлены внутривидовая структура (региональное происхождение), пространственное распределение, относительная численность и выживаемость заводской горбуши (лососевые рыбоводные заводы (ЛРЗ) Дальнего Востока России) в бассейне Охотского моря (осень 2022 и 2023 гг.) и прикурильских водах северо-западной части Тихого океана (лето 2023 и 2024 гг.). Идентификация рыб заводского происхождения выполнена на основе результатов отолитного мечения (маркирования). Материалом послужили отолитные пробы, собранные при выполнении учетных траловых съемок в указанных акваториях. На основе комплексной информации о региональном составе и относительной численности охотоморской заводской горбуши в траловых уловах был оценен потенциальный уровень ее выживаемости во время морского/океанического нагула. Полученные данные показали, что выживаемость на этапе от выпуска с ЛРЗ до выхода в открытые воды Охотского моря варьирует в пределах 30–70%, а в период от выхода из Охотского моря до возврата в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана — 20–25%. Общая выживаемость заводской горбуши в течение жизненного цикла от выпуска с ЛРЗ до возврата в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана находится на уровне 5–15%.

Ключевые слова: горбуша, Охотское море, северо-западная часть Тихого океана, траловые съемки, отолитное маркирование, лососевые рыбоводные заводы, миграции, оценки выживаемости

Благодарности: авторы выражают большую благодарность сотрудникам Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО): заведующему сектором А.П. Лозовому, ведущему инженеру А.В. Кожевникову, ведущему научному сотруднику к. б. н. Е.А. Кирилловой и старшему специалисту Е.А. Бугаевой за сбор отолитных проб горбуши в бассейне Охотского моря (2022 и 2023 гг.) и прикурильских водах северо-западной части Тихого океана (2023 и 2024 гг.).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Бугаев А.В., Герлиц А.И. Внутривидовая структура, численность и выживаемость заводской маркированной горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Дальнего Востока по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря и северо-западной части Тихого Океана в 2022–2024 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 5–20. EDN: RBXQAK. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.5-20

INTRASPECIFIC STRUCTURE, ABUNDANCE, AND SURVIVAL RATE OF MARKED HATCHERY PINK SALMON *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* OF THE FAR EAST BASED ON DATA OF TRAWL SURVEYS IN THE SEA OF OKHOTSK BASIN AND NORTHWESTERN PACIFIC OCEAN IN 2022–2024

Alexandr V. Bugaev, Alexandra I. Gerlitz

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, a.gerlic@kamniro.vniro.ru

Abstract. The intraspecific structure (regional origin), spatial distribution, relative abundance, and survival rate of hatchery pink salmon (from salmon hatcheries of the Russian Far East) in the Sea of Okhotsk basin (fall 2022 and 2023) and in the waters near Kuril Islands of the Northwestern Pacific Ocean (summer 2023 and 2024) were estimated. The hatchery origin was identified based on results of otolith marking. Material for the research included otolith samples collected during trawl surveys in the waters mentioned. Potential survival rate of hatchery pink salmon of the Sea of Okhotsk basin during marine/oceanic feeding was estimated based on comprehensive information on the regional composition and relative abundance of pink salmon from different hatcheries in the trawl catches. Results indicate that survival rates during the period from release to migration into the open waters of the Sea of Okhotsk ranged from 30–70%, and it is 20–25% for the period from leaving the Sea of Okhotsk until coming back to the coastal waters of the Northwestern Pacific Ocean. The overall survival rate of hatchery pink salmon for the life cycle from release to return into the coastal waters of the Northwestern Pacific Ocean is 5–15%.

© Бугаев А.В., Герлиц А.И.

Keywords: pink salmon, Sea of Okhotsk, Northwestern Pacific Ocean, trawl surveys, otolith marking, salmon hatcheries, migrations, survival rates

Acknowledgements: Authors express their great gratitude to the staff of the Kamchatka Branch of the State Research Center of the Russian Federation FSBSI VNIRO (KamchatNIRO), including the Head of Section Alexey P. Lozovoy, Leading Engineer Alexey V. Kozhevnikov, Leading Researcher, Ph. D. Elizaveta A. Kirillova and Senior Specialist Ekaterina A. Bugaeva for collecting otolith samples of pink salmon in the Okhotsk Sea basin (2022 and 2023) and in the waters near the Kuril Islands of the Northwestern Pacific Ocean (2023 and 2024).

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Bugaev A.V., Gerlitz A.I. Intraspecific structure, abundance, and survival rate of marked hatchery pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of the Far East based on data of trawl surveys in the Sea of Okhotsk basin and Northwestern Pacific Ocean in 2022–2024 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 5–20. (In Russ.) EDN: RBXQAK. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.5-20

Результаты представленных исследований являются продолжением начатого в 2011 г. многолетнего мониторинга по изучению тихоокеанских лососей заводского происхождения в бассейне Охотского моря и прилегающих водах северо-западной части Тихого океана. В настоящее время опубликован ряд обобщающих статей, посвященных региональной идентификации молоди горбуши и кеты с помощью отолитного маркирования, оценкам ее численности, естественной смертности и характеристикам нагульных миграций в районах исследований (Чистякова, Бугаев, 2013, 2016; Бугаев и др., 2020; Бугаев, Герлиц, 2023; и др.). Представленная работа впервые включает оценки выживаемости охотоморских заводских стад тихоокеанских лососей Дальнего Востока России после откочевки в открытые воды Охотского моря и дальнейшей зимовки в водах северо-западной части Тихого океана.

Полученные сведения имеют практическую значимость для прогнозирования динамики численности запасов охотоморских стад горбуши на основе учетных траловых съемок молоди в бассейне Охотского моря и производителей в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана. Полученные оценки выживаемости дают представление о потенциальном уровне численности подходов горбуши в отдельные центры воспроизводства Охотоморского бассейна — Сахалин и Курильские о-ва (Сахалинская область) — и североохотоморское побережье (Магаданская область). Именно на лососевых рыбоводных заводах (ЛРЗ) этих регионов сосредоточено практически 100% искусственного воспроизводства горбуши Дальнего Востока России.

По данным промысловой статистики 2011–2024 гг., в Сахалинской и Магаданской областях в среднем ежегодно добывают около 48% охотоморской горбуши. В весовом эквиваленте это составляет приблизительно 79,1 (33,8–192,5) тыс. т. Лидером по добыче горбуши в бассейне Охотского моря в указанный период является Камчатский край — 52%, или 86,1 (2,2–301,3) тыс. т. Однако искусственное воспроизводство горбуши, как отмечено выше, осуществляется только в пределах Сахалинской и Магаданской областей. Непосредственно в этих регионах распределение среднемноголетних уловов выглядит следующим образом: о. Сахалин — 58,7 (7,1–176,7) тыс. т; Курильские о-ва — 15,6 (2,5–35,8) тыс. т; североохотоморское побережье — 4,8 (0,3–12,9) тыс. т. В настоящее время по указанным регионам отсутствует точная статистика добычи (вылова) именно заводской горбуши, так как значительная часть рыб, являющихся объектами пастбищной аквакультуры, облавливается ставными неводами во время преднерестовых миграций в прибрежных зонах указанных субъектов Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. Это напрямую связано с ограниченностью научного сопровождения путин в части проведения идентификации заводских и диких рыб, так как обработка отолитных проб — достаточно трудоемкий процесс, который в масштабах Сахалинской области требует привлечения значительного по численности персонала. Кроме того, на многих частных ЛРЗ не осуществляется отолитное маркирование тихоокеанских лососей. Поэтому невозможно в смешанных прибрежных уловах идентифицировать заводскую молодь, воспроизводящуюся на этих предприятиях.

По имеющимся оценкам, доля заводской горбуши в тех или иных региональных уловах Сахалинской области может достигать порядка 20–50% (Стекольщикова, 2021; Стекольщикова и др., 2023; Е.Г. Акиничева (СахНИРО), устное сообщение). Это потенциальный вылов на уровне нескольких десятков тысяч тонн. Следовательно, накопление новых данных о выживае-

мости горбуши, выпускаемой с ЛРЗ в Охотоморский бассейн, представляет большое рыбохозяйственное значение для регулирования промысла заводских стад.

Цель работы — определить внутривидовую структуру, численность и выживаемость дальневосточной заводской маркированной горбуши по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря и водах северо-западной части Тихого океана.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для проведения работы послужили образцы отолитов горбуши, собранные во время проведения учетных траловых съемок 2022–2024 гг. (табл. 1). Сбор проб отолитов у молоди осуществляли в бассейне Охотского моря в октябре 2022 и 2023 гг., а у половозрелых (созревающих) рыб — в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана в июне–июле 2023 и 2024 гг. Съемки проводили специалисты ТИНРО (г. Владивосток) с участием представителей КамчатНИРО. Сроки и полигоны исследований были стандартными для данных работ (рис. 1 и 2). Общие параметры схем станций траловых съемок ТИНРО в бассейне Охотского моря и сопредельных водах северо-западной части Тихого океана были разработаны в 1990-е гг. (Шунтов, Темных, 2008, 2011). В работе все карты-схемы распределения траловых уловов и оценки общей численности горбуши взяты из рейсовых отчетов ТИНРО, информация по которым ежегодно официально предоставляется в дальневосточные филиалы ВНИРО.

Камеральную обработку отолитов выполняли с использованием общепринятых методик (Акиничева и др., 2004; Чистякова и др., 2012; Secor et al., 1991; Stevenson, Campana, 1992). При обнаружении маркированных особей производили идентификацию меток с помощью ежегодно формируемой международной Комиссией по анадромным рыбам северной части Тихого океана (НПАФК) базой данных эталонных меток для всех ЛРЗ бассейна Северной Пацифики (http://wgosm.npafc.org/MarkSummary.asp).

Таблица 1. Общая характеристика учетных траловых съемок и количество отолитного материала горбуши, собранного в бассейне Охотского моря (ОМ) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) в 2022–2024 гг.
Table 1. General characteristics of the trawls surveys and pink salmon otolith sample size collected in the Sea of Okhotsk basin (SO) and Northwestern Pacific Ocean (NWPO) in 2022–2024

Район работ Research area	Объект исследований Object of research	Сроки работ Working period	Кол-во тралений Number of trawlings	Полигон исследований, тыс. км^2 Research site, thous. km^2	Кол-во обследованных рыб (пробы отолитов), экз. Number of fish examined (otolith samples), pcs
ОМ (SO)	Молодь Juvenile fish	11.10–25.10.2022	74	672	1821
		07.10–24.10.2023	90	803	1054
СЗТО (NWPO)	Половозрелые Mature fish	02.06–07.07.2023	95	1157	610
		03.06–07.07.2024	91	1137	705

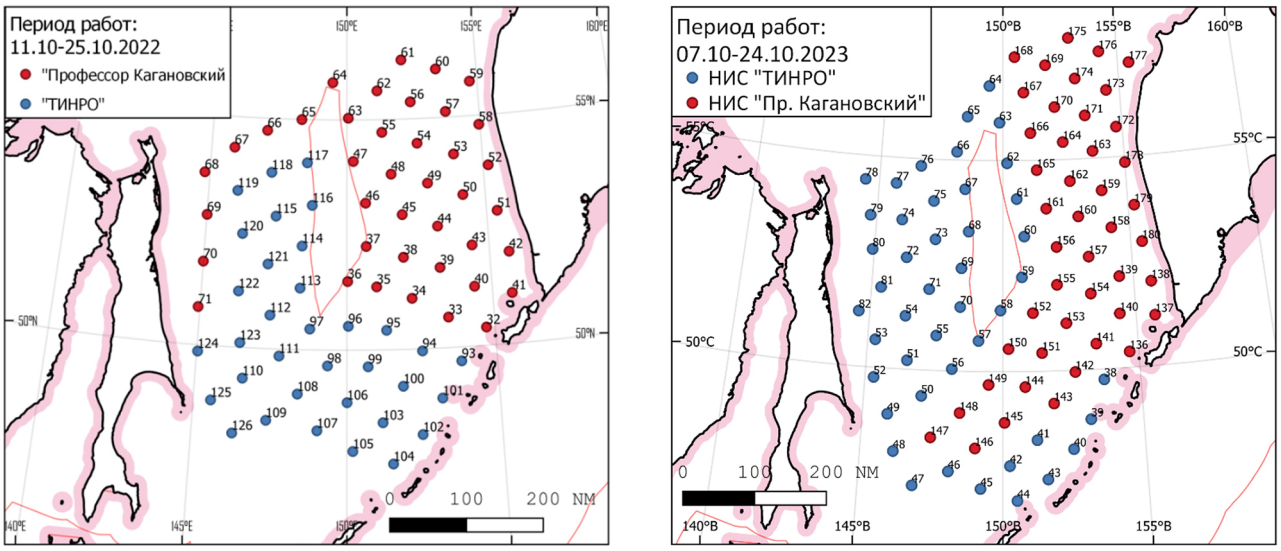


Рис. 1. Карты-схемы локализации траловых станций учетных съемок тихоокеанских лососей, выполненных на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» в октябре 2022 и 2023 гг. Цифрами показаны номера тралений. Схемы подготовлены специалистами ТИНРО
Fig. 1. Schematic localization of trawl stations for Pacific salmon surЯФЧЫВАМИТ veys conducted on the R/V "TINRO" and the R/V "Professor Kaganovsky" in October 2022 and 2023. The numerals – the numbers of trawlings. The schemes prepared by TINRO specialists

Расчет относительной численности маркированных заводских рыб в акваториях полигонов исследований выполняли на основе общих оценок численности горбуши, полученных специалистами ТИНРО по данным учетных траловых съемок (табл. 2). Для этого на начальном этапе определяли доли и численность всех маркированных рыб в общих выборках. Далее идентифицированных особей заводской горбуши распределяли по регионам их воспроизводства в зависимости от географической локализации ЛРЗ.

Выживаемость заводской горбуши от момента выпуска с ЛРЗ в воды бассейна Охотского моря до периода преднерестовых миграций в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана рассчитана по следующей формуле:

$$S = (N_{t+1} \times 100\%) / N_t,$$

где S — выживаемость маркированных рыб; N_t — начальная численность маркированных рыб; N_{t+1} — численность маркированных рыб, полученная через определенный период времени.

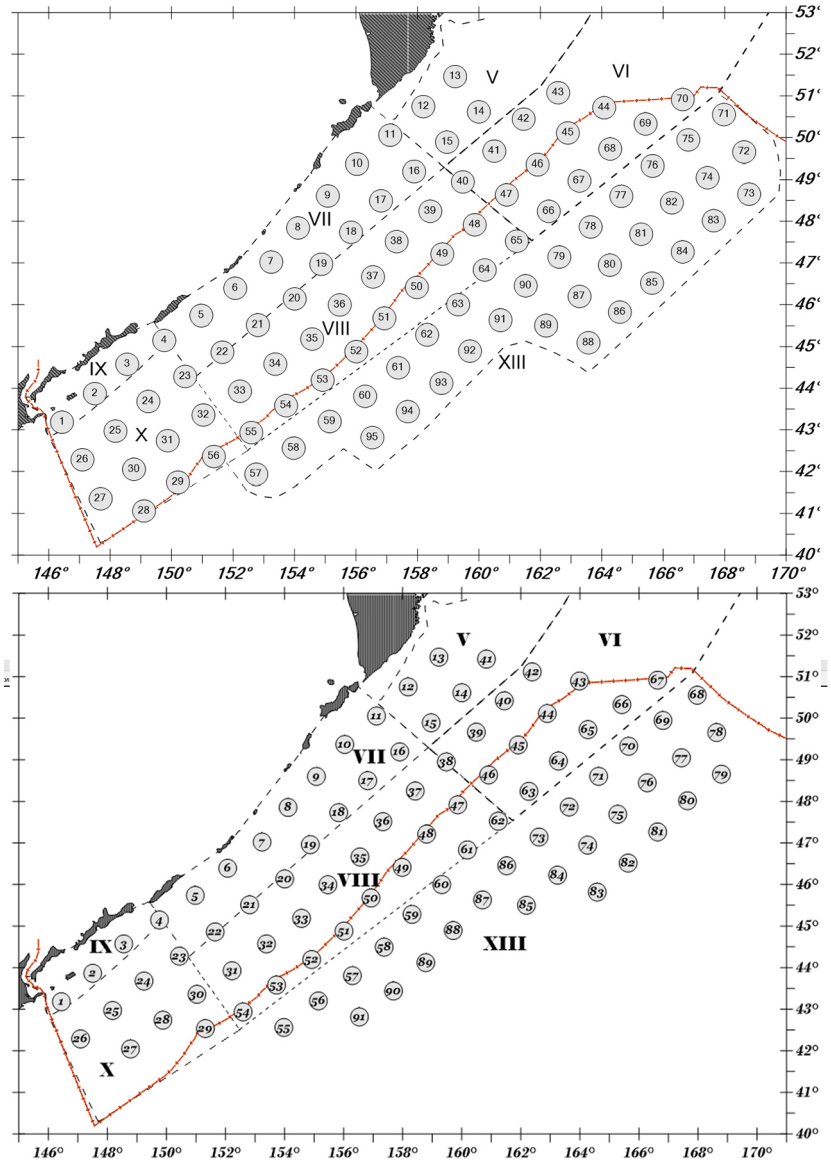


Рис. 2. Карты-схемы локализации траловых станций НИС «ТИНРО» во время проведения учетных съемок тихоокеанских лососей в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана в 2023 и 2024 гг.: сверху — съемка 2023 г. (02.06–07.07); внизу — съемка 2024 г. (03.06–07.07); римские цифры — номера биостатистических районов; линии — границы биостатистических районов. Схемы подготовлены специалистами ТИНРО
Fig. 2. Schematic localization of trawl stations for Pacific salmon surveys conducted on the R/V "TINRO" in the Kurile waters in the Northwestern Pacific Ocean in 2023 and 2024: upper – the survey 2023 (02.06–07.07); lower – the survey 2024 (03.06–07.07); Roman numerals – numbers of biostatistical areas; lines – boundaries of the biostatistical areas. The schemes prepared by TINRO specialists

Таблица 2. Оценки общей численности горбуши по данным учетных траловых съемок ТИНРО в бассейне Охотского моря (ОМ) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) в 2022–2024 гг.
Table 2. Estimates of the total pink salmon abundance based on the trawl surveys by TINRO in the Sea of Okhotsk basin (SO) and Northwestern Pacific Ocean (NWPO) in 2022–2024

Район работ Research area	Объект исследований Object of research	Год Year	Численность, млн экз. Abundance, mln pcs
ОМ (SO)	Молодь Juvenile fish	2022	2564
		2023	1392
СЗТО (NWPO)	Половозрелые Mature fish	2023	679
		2024	244

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным официальной статистики НПАФК, в 1971–2023 гг. ежегодный выпуск горбуши с ЛРЗ Дальнего Востока России в среднем составил порядка 350 млн экз. (http://npafc.org). В 2022 и 2023 гг. всего было выпущено около 250 и 325 млн экз. соответственно (табл. 3). Общая численность рыб, в отношении которых осуществлено отолитное маркирование, составило в 2022 г. приблизительно 168 млн экз. (67,1%), а в 2023 г. — 132 млн экз. (40,5%). Снижение выпуска маркированных рыб в 2023 г. произошло из-за сокращения уровня отолитного мечения на ЛРЗ о. Итуруп. В целом, можно говорить о том, что на ЛРЗ Охотоморского бассейна Дальнего Востока России маркируется приблизительно порядка 50% выпускаемой горбуши.

Общая оцененная численность молоди горбуши в период осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря составила 2564 и 1392 млн экз. (рис. 3, табл. 2). Следует отметить, что охотоморские запасы российской горбуши в основном составляют четыре региональных комплекса стад, которые воспроизводятся в следующих регионах: Западная Камчатка; Сахалин; Курильские о-ва; материковое побережье Охотского моря. Поэтому флуктуация численности подходов/уловов вида в бассейне Охотского моря зависит от чередования урожайных и неурожайных поколений в указанных регионах. В современный период наблюдений (2020-е гг.) для трех центров воспроизводства характерны высокочисленные возвраты горбуши в нечетные годы. Исключение составляют лишь Курильские о-ва, что связано с наличием развитого искусственного воспроизводства вида, а также с промыслом транзитных рыб, мигрирующих через проливы в Охотское море. Поэтому у комплекса стад, условно обозначенного как «курильские», менее выражено четкое чередование урожайных и неурожайных поколений. Таким образом, исходя из отмеченных закономерностей, молодь горбуши, нагуливающаяся в Охотоморском бассейне осенью 2022 г., в массе представляла высокочисленное поколение, а осенью 2023 г. — наоборот, малочисленное.

Следующим этапом морского/океанического периода жизни охотоморской горбуши, в отношении которого системно ведутся учетные траловые съемки, являются преднерестовые миграции в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана (рис. 4). Соответственно, исходя из особенностей динамики численности региональных запасов вида, в 2023 г. в этом районе наблюдался возврат половозрелых рыб высокочисленного поколения, а в 2024 г. — наоборот, малочисленного. В целом оцененная численность половозрелой горбуши на полигоне северо-западной части Тихого океана в 2023 г. составила 679 млн экз., а в 2024 г. — 244 млн экз. (табл. 2).

На основе данных отолитного маркирования были идентифицированы рыбы заводского происхождения в бассейне Охотского моря и прилегающих водах северо-западной части Тихого океана. Согласно базе эталонных меток ЛРЗ Дальнего Востока России, в районах исследований выделено три региональные группировки охотоморских стад горбуши: о. Сахалин — ЛРЗ «Анивский», «Пугачевский» и «Таранайский»; Курильские о-ва (о. Итуруп) — ЛРЗ «Куйбышевский», «Курильский», «Рейдовый» и «Саратовский»; североохотоморское побережье — ЛРЗ «Арманский», «Ольский» и «Янский». Результаты идентификации заводских рыб в районах исследований в 2022–2024 гг. представлены в таблицах 4 и 5. Карты-схемы про-

Таблица 3. Данные о выпуске молоди горбуши с лососевых рыбоводных заводов основных региональных центров воспроизводства Охотоморского бассейна Дальнего Востока России в 2022 и 2023 гг.
Table 3. Data on the juvenile pink salmon releases from salmon hatcheries of main regional centers of reproduction in the Sea of Okhotsk basin of Russian Far East in 2022 and 2023

Регион Region	Общий выпуск, млн экз. Total release, mln pcs	Выпуск маркированных рыб, млн экз. Marked release, mln pcs	Доля маркированных рыб, % Percentage of marked fish, %
2022			
О. Итуруп / Iturup Island	144,84	109,90	75,9
О. Сахалин / Sakhalin Island	86,91	39,70	45,7
Североохотоморское побережье Northern coast of the Sea of Okhotsk	18,04	18,04	100,0
Всего / In total	249,79	167,64	67,1
2023			
О. Итуруп / Iturup Island	152,54	37,40	24,5
О. Сахалин / Sakhalin Island	162,71	84,50	51,9
Североохотоморское побережье Northern coast of the Sea of Okhotsk	10,15	10,00	98,5
Всего / In total	325,4	131,90	40,5

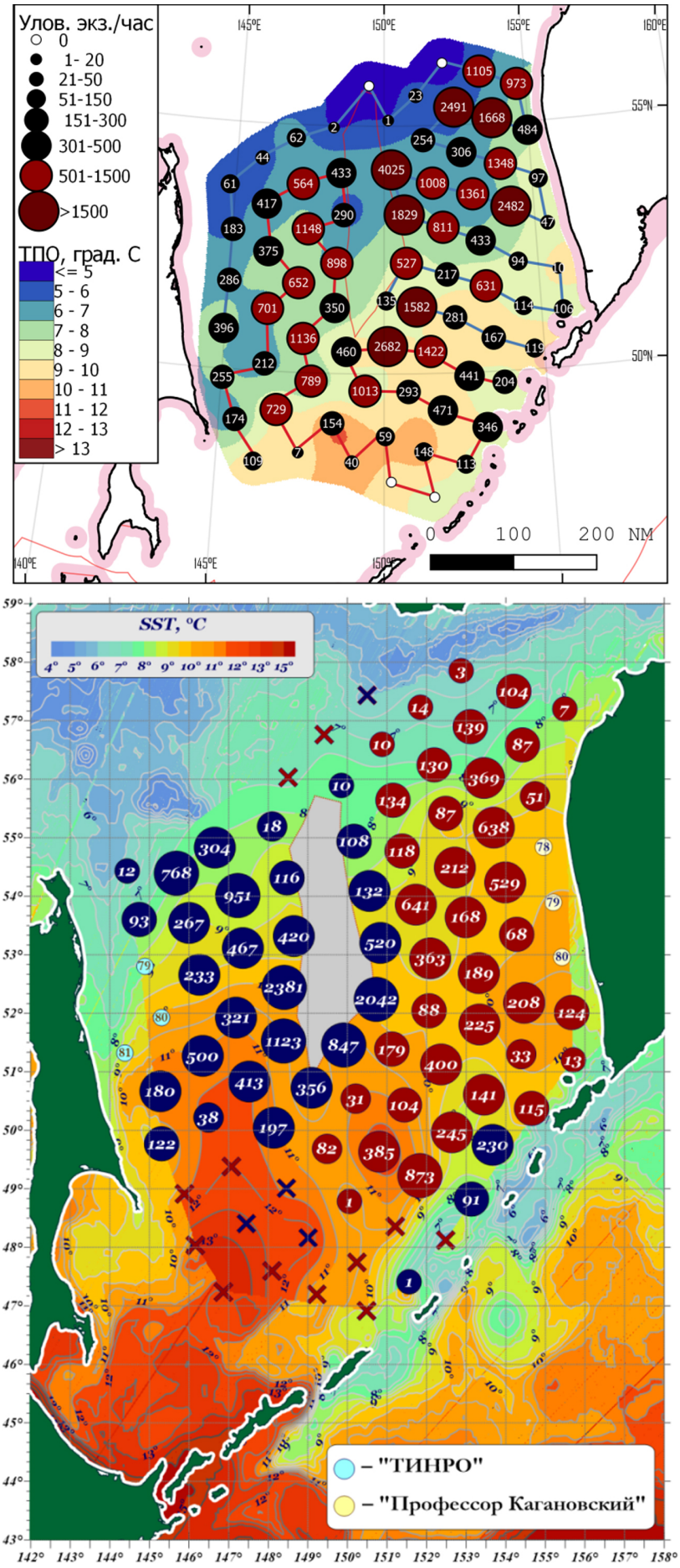


Рис. 3. Карты-схемы распределения траловых уловов молоди горбуши по данным учетных съемок, выполненных на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» в октябре 2022 г. (верхний) и 2023 г. (нижний): цифры — улов в экз./час траления; цветовые поля — температура поверхности воды. Схемы подготовлены специалистами ТИНРО

Fig. 3. Schematic distribution of trawl catches of juvenile pink salmon based on data of trawl surveys conducted on the R/V "TINRO" and the R/V "Professor Kagaovsky" in October 2022 (upper) and 2023 (lower): the numerals – the catch (pcs / hour of trawling); color fields – water surface temperature. The schemes prepared by TINRO specialists

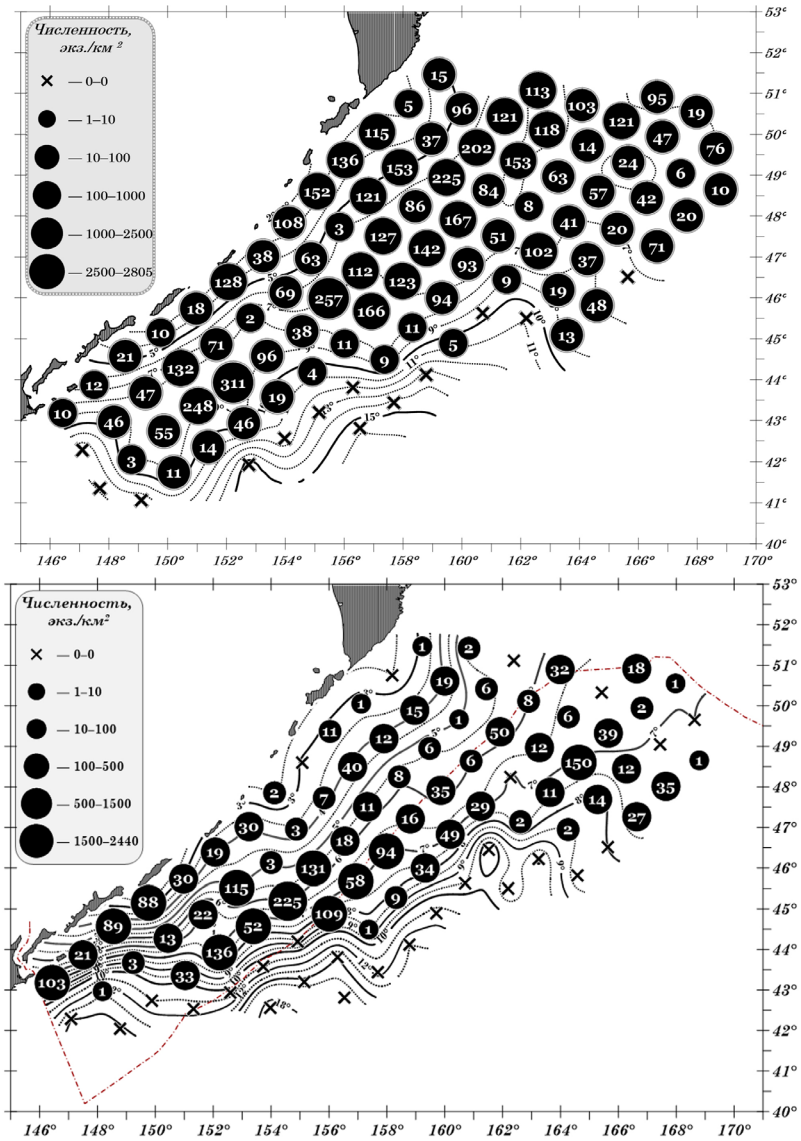


Рис. 4. Пространственное распределение уловов половозрелой горбуши (экз./км^2) в верхней эпипелагиали северо-западной части Тихого океана в июне–июле 2022 г. (верхний) и 2023 г. (нижний): цифры — улов в экз./час траления; изолинии — температура поверхности воды. Схемы подготовлены специалистами ТИНРО
Fig. 4. Spatial distribution of the catches of mature punk salmon (pcs/km^2) in the upper pelagic zone of Northwestern Pacific Ocean in June–July 2022 (upper) and 2023 (lower): the numerals – the catches (pcs / hour of trawling); the isolines – water surface temperatures. The schemes prepared by TINRO specialists

Таблица 4. Количественные оценки идентифицированной заводской горбуши различного регионального происхождения по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря (ОМ) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) в 2022–2024 гг.
Table 4. Quantitative estimates of identified hatchery pink salmon of different regional identity based on data of trawl surveys in the Sea of Okhotsk basin (SO) and in Northwestern Pacific Ocean (NWPO) in 2022–2024

Район работ Research area	Объект исследований Object of research	Год Year	Количество меченых рыб, представляющих различные региональные группировки стад, экз. Number of marked fish representing different regional groups of stocks, pcs			Общее кол-во рыб, экз. Total sample size, pcs
			О. Сахалин Sakhalin Isl.	О. Итуруп Iturup Isl.	Североохотоморское побережье Northern coast of the Sea of Okhotsk	
ОМ (SO)	Молодь Juvenile fish	2022	40	73	16	129
		2023	11	15	3	29
СЗТО (NWPO)	Половозрелые Mature fish	2023	8	30	5	43
		2024	8	15	5	28

Таблица 5. Соотношение идентифицированной заводской горбуши различного регионального происхождения по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря (ОМ) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) в 2022–2024 гг., %
Table 5. Ratio between identified hatchery pink salmon of different regional identity based on data of trawl surveys in the Sea of Okhotsk basin (SO) and Northwestern Pacific Ocean (NWPO) in 2022–2024, %

Район работ Research area	Объект исследований Object of research	Год Year	Кол-во маркированных рыб, экз. Number of marked fish, pcs	Соотношение рыб региональных группировок стад, % Ratio between regional groups of stosks, %		
				О. Сахалин Sakhalin Isl.	О. Итуруп Iturup Isl.	Североохотоморское побережье Northern coast of the Sea of Okhotsk
ОМ (SO)	Молодь Juvenile fish	2022	129	31,0	56,6	12,4
		2023	29	37,9	51,7	10,4
СЗТО (NWPO)	Половозрелые Mature fish	2023	43	18,6	69,8	11,6
		2024	28	28,6	53,6	17,8

странственного распределения встречаемости маркированной горбуши в траловых уловах в бассейне Охотского моря и северо-западной части Тихого океана показаны на рисунках 5–8.

Исходя из полученных данных, в траловых уловах наиболее высока встречаемость маркированных рыб, воспроизводящихся на ЛРЗ Курильских о-вов (о. Итуруп). В бассейне Охотско-

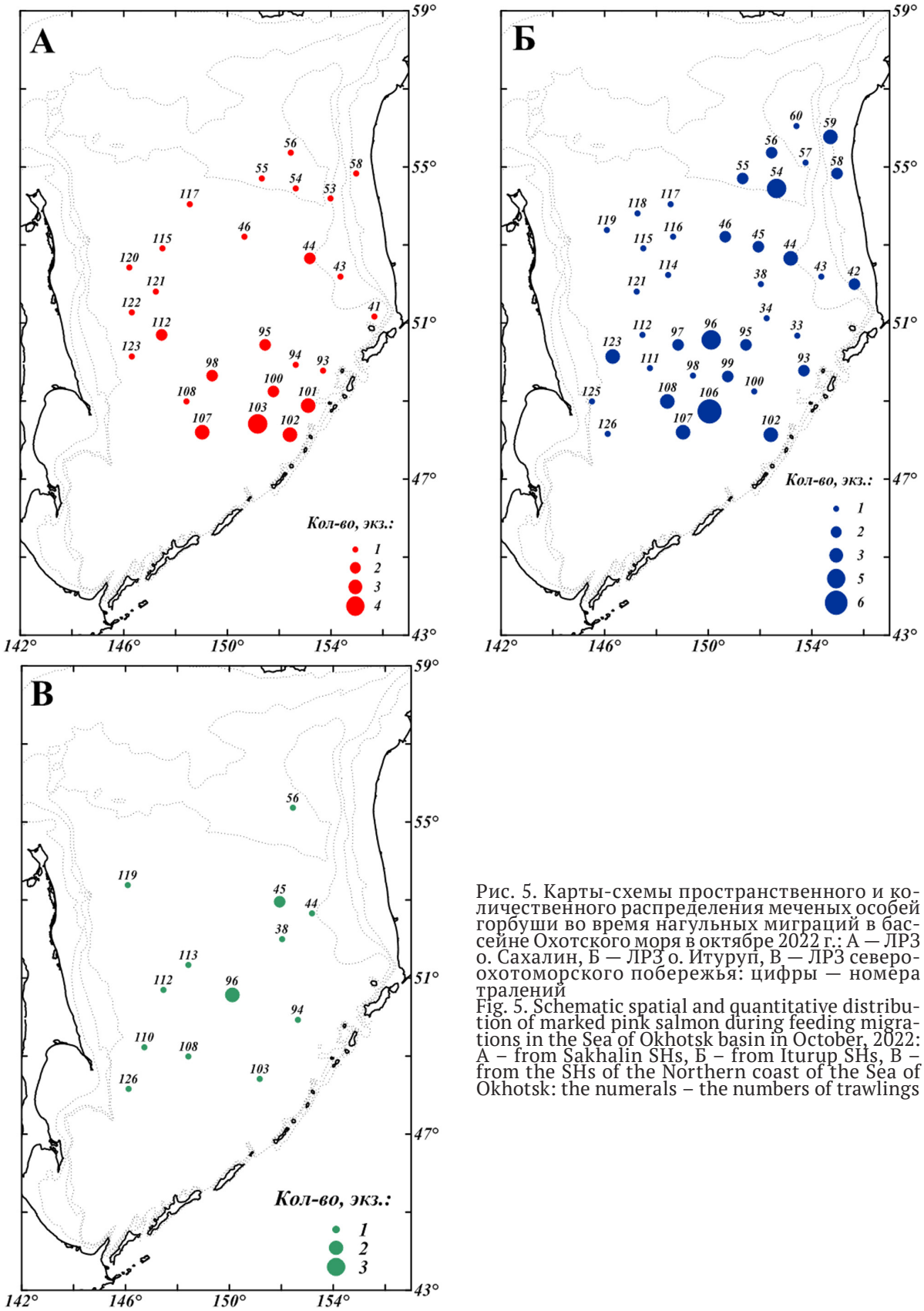
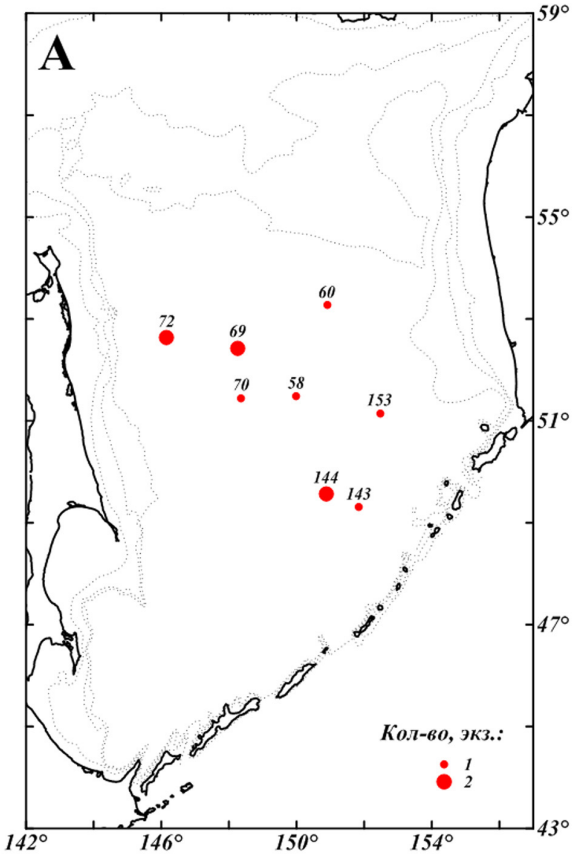
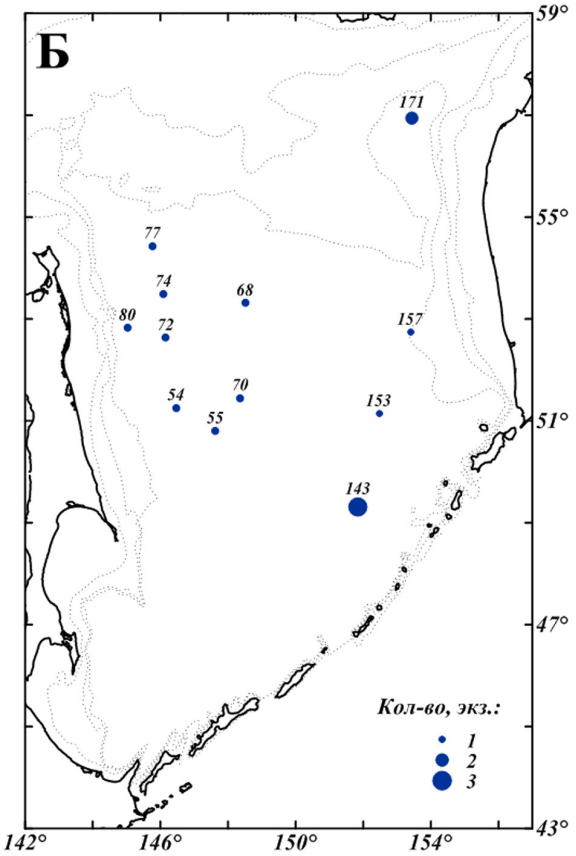


Рис. 5. Карты-схемы пространственного и количественного распределения меченых особей горбуши во время нагульных миграций в бассейне Охотского моря в октябре 2022 г.: А — ЛРЗ о. Сахалин, Б — ЛРЗ о. Итуруп, В — ЛРЗ северо-охотоморского побережья: цифры — номера тралений

Fig. 5. Schematic spatial and quantitative distribution of marked pink salmon during feeding migrations in the Sea of Okhotsk basin in October, 2022: A – from Sakhalin SHs, Б – from Iturup SHs, B – from the SHs of the Northern coast of the Sea of Okhotsk: the numerals – the numbers of trawlings

го моря доля молоди курильских стад в 2022 и 2023 гг. составляла 56,0% и 51,8% соответственно. У половозрелых рыб в северо-западной части Тихого океана этот показатель в 2023 г. достигал 69,8%, а в 2024 г. — 55,6%. Доля горбуши сахалинского происхождения также была относительно высокой. В 2022 г. встречаемость молоди этой группировки стад в уловах состав-





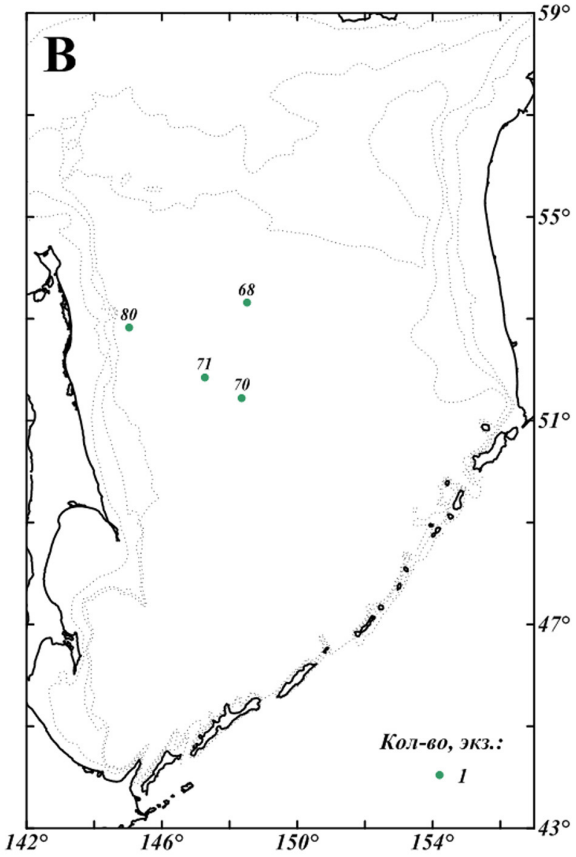


Рис. 6. Карты-схемы пространственного и количественного распределения меченых особей горбуши во время нагульных миграций в бассейне Охотского моря в октябре 2023 г.: А — ЛРЗ о. Сахалин, Б — ЛРЗ о. Итуруп, В — ЛРЗ северо-охотоморского побережья: цифры — номера тралений

Fig. 6. Schematic spatial and quantitative distribution of marked pink salmon individuals during feeding migrations in the Sea of Okhotsk basin in October, 2023: A – from Sakhalin SHs, Б – from Iturup SHs, B – from the SHs of the Northern coast of the Sea of Okhotsk: the numerals – the numbers of trawlings

ляла 31,3%, а в 2023 г. — 37,9%. Для производителей в 2023 г. этот показатель соответствовал 18,6%, а в 2024 г. — 25,9%. Встречаемость рыб североохотоморского побережья в траловых уловах в течение всего периода наблюдений и во всех районах исследований была минимальной. В бассейне Охотского моря доля ее молоди в 2022 г. составляла 12,7%, а в 2023 г. — 10,3%. В северо-западной части Тихого океана встречаемость производителей горбуши североохотоморского побережья была несколько выше: в 2023 г. — 18,6%, в 2024 г. — 25,9%. Следует уточнить, что соотношение заводских рыб в траловых уловах напрямую зависит от объемов выпуска с ЛРЗ, а также от доли выпускаемых маркированных рыб. Принято считать, что горбуша, воспроизводящаяся на о-вах Сахалин и Итуруп, относится к «южной» региональной группировке стад, а на североохотоморском побережье — к «северной» группировке стад.

Пространственное распределение молоди горбуши во время осенних нагульных миграций в бассейне Охотского моря имеет характерные черты. Многолетние исследования показали, что рыбы «южной» группировки стад горбуши (о. Сахалин, о. Итуруп), согласно циркуляции внутренней системы течений Охотоморского бассейна, изначально совершают миграцию к прикамчатским водам в северо-восточную часть моря с последующим смещением в юго-западном и южном направлениях, спускаясь к южным Курильским проливам для последующего выхода в Тихий океан (Чистякова, Бугаев, 2013; Бугаев и др., 2020; Бугаев, Герлиц, 2023). Из представленных карт-схем видно, что в бассейне Охотского моря в 2022 и 2023 гг. многие маркированные особи горбуши о-вов Сахалин и Итуруп были пойманы значительно севернее районов воспроизводства (рис. 3 и 4). Это подтверждает зафиксированную ранее закономерность миграционного процесса заводских стад охотоморской горбуши.

Данные о пространственном распределении уловов заводской половозрелой горбуши во время преднерестовой миграции в северо-западной части Тихого океана приводятся впервые. Съемки выполнялись в июне – начале июля, то есть отражали начальный этап массо-

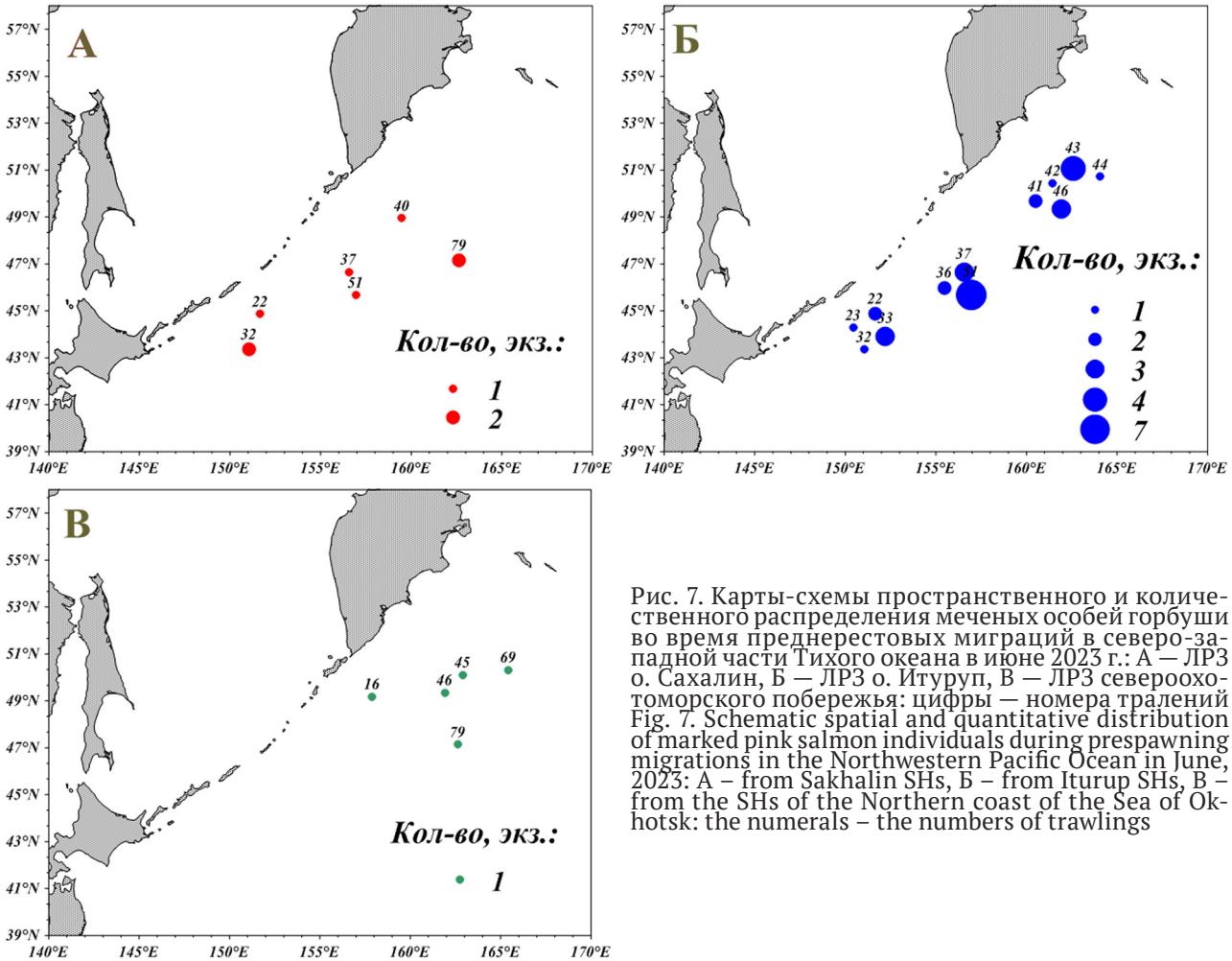


Рис. 7. Карты-схемы пространственного и количественного распределения меченых особей горбуши во время преднерестовых миграций в северо-западной части Тихого океана в июне 2023 г.: А — ЛРЗ о. Сахалин, Б — ЛРЗ о. Итуруп, В — ЛРЗ североохотоморского побережья: цифры — номера тралений
Fig. 7. Schematic spatial and quantitative distribution of marked pink salmon individuals during prespawning migrations in the Northwestern Pacific Ocean in June, 2023: A – from Sakhalin SHs, Б – from Iturup SHs, B – from the SHs of the Northern coast of the Sea of Okhotsk: the numerals – the numbers of trawlings

вого подхода рыб к Курильским о-вам для захода в Охотское море. Имеющаяся информация о преднерестовых миграциях горбуши в северо-западной части Тихого океана говорит о том, что процесс подхода половозрелых особей в данный район происходит волнообразно в зависимости от региональной принадлежности рыб (Бугаев, 2015). Общий период массовых преднерестовых миграций охотоморской горбуши в северо-западной части Тихого океана продолжается с середины июня до середины августа. Как правило, на начальных этапах в июне подходят производители ранней формы «южного» комплекса стад (о. Сахалин, Курильские о-ва, бассейн р. Амур). С середины июня до середины июля в северной части полигона исследований значительную долю (порядка 50–70%) составляют рыбы Западной Камчатки и североохотоморского побережья. В конце июня в район начинает в массе подходить поздняя форма южноохотоморской горбуши, ход которой в прикурильских водах продолжается до середины августа. Это напрямую связано с периодикой нереста отдельных единиц запасов вида, воспроизводящихся в бассейне Охотского моря. У большинства популяций охотоморской горбуши массовый нерест «южной» группировки стад проходит позднее, чем у «северной».

По полученным данным, основная часть маркированных особей половозрелой горбуши, выпущенной с сахалинских и курильских ЛРЗ в 2022 и 2023 гг., была поймана во второй половине июня 2023 и 2024 гг. в северной части полигона исследований. Это подтверждает, что в данный период только начинается активизация подходов рыб «южного» комплекса стад в северо-западной части Тихого океана. Горбуша североохотоморского побережья в основном первой заходит в Охотское море. Поэтому ее заводские особи в траловых уловах были зафиксированы в первой половине июня. Как правило, североохотоморская горбуша встречалась ближе к прибрежной зоне Курильских о-вов, то есть часть ее уже была готова к заходу в Охотоморский бассейн.

На основе данных об идентификации заводской горбуши дальневосточного происхож-

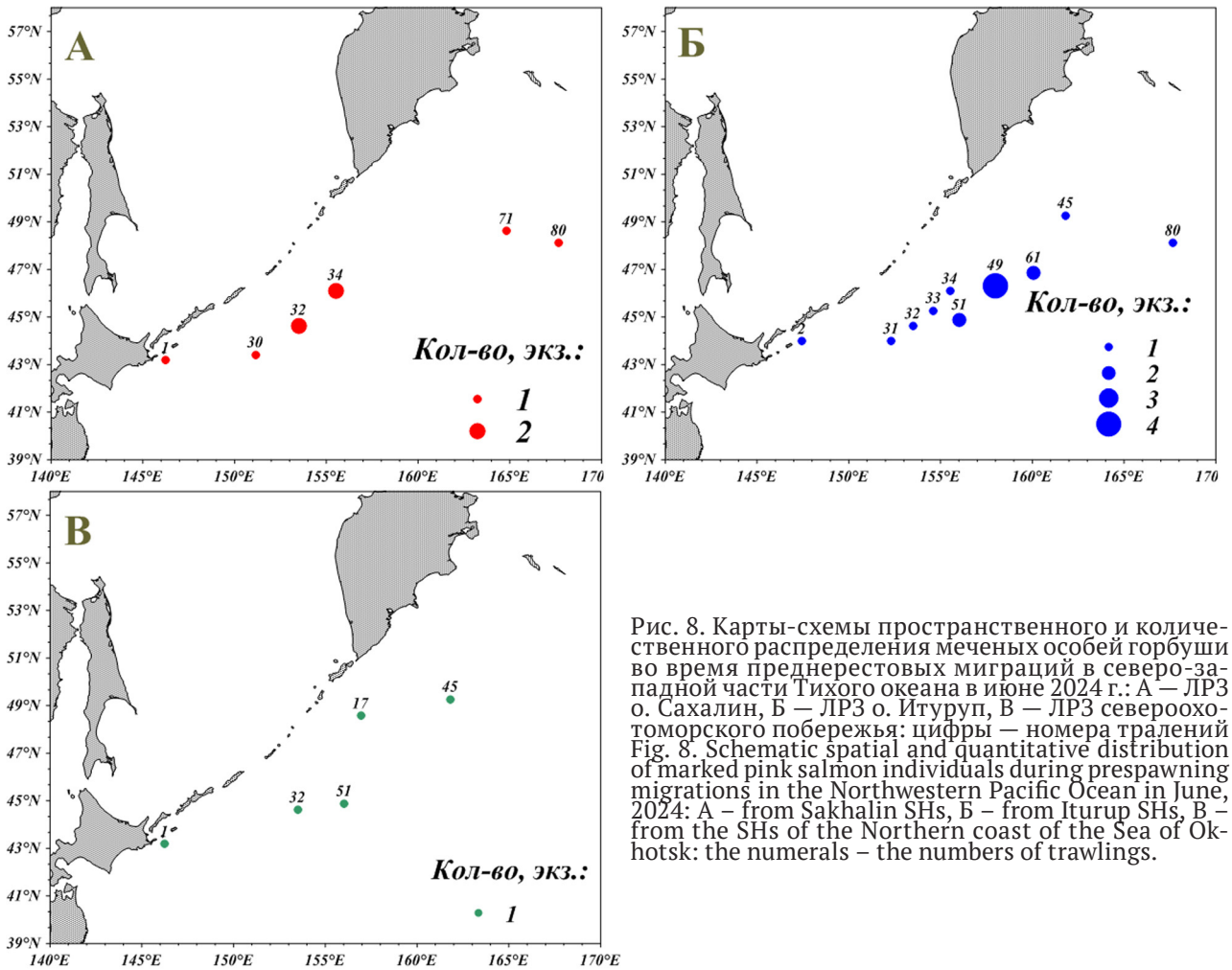


Рис. 8. Карты-схемы пространственного и количественного распределения меченых особей горбуши во время преднерестовых миграций в северо-западной части Тихого океана в июне 2024 г.: А — ЛРЗ о. Сахалин, Б — ЛРЗ о. Итуруп, В — ЛРЗ североохотоморского побережья: цифры — номера тралений
Fig. 8. Schematic spatial and quantitative distribution of marked pink salmon individuals during prespawning migrations in the Northwestern Pacific Ocean in June, 2024: A – from Sakhalin SHs, Б – from Iturup SHs, B – from the SHs of the Northern coast of the Sea of Okhotsk: the numerals – the numbers of trawlings.

дения была оценена численность маркированных рыб в бассейне Охотского моря в осенний период и в прикурильских водах Тихого океана в летний период (табл. 6 и 7).

Общая численность маркированной заводской молоди горбуши в бассейне Охотского моря в 2022 г. составила 115,4 млн экз., а в 2023 г. — 39,0 млн экз. Расхождение показателей напрямую связано со снижением уровня маркирования горбуши на ЛРЗ о. Итуруп в 2023 г. При этом среди заводских рыб в траловых уловах в оба года наблюдений явно доминировала молодь, выпущенная с ЛРЗ о-вов Итуруп и Сахалин.

Соответственно, общая численность половозрелой маркированной горбуши в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана в 2023 г. составила 24,4 млн экз., а в 2024 г. — 8,5 млн экз. В обоих случаях в траловых уловах значительно преобладали особи с ЛРЗ о. Итуруп. Численность рыб с ЛРЗ о. Сахалин была существенно ниже.

Данные об оценках численности горбуши различного регионального происхождения, полученные на разных стадиях морского/океанического нагула, позволили определить уровни выживаемости охотоморских заводских рыб, выпущенных с российских ЛРЗ в 2022 и 2023 гг. (табл. 8).

Представленные результаты показывают, что выживаемость горбуши на разных этапах морского/океанического периода жизни заметно отличается. После выпуска с ЛРЗ в период осенней откочевки молоди в открытые воды Охотского моря в 2022 г. оцененная доля выживших маркированных особей составила 68,8%, а в 2023 г. — 29,6%. На следующем этапе, включа-

Таблица 6. Общая оценка численности маркированной горбуши по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря (ОМ) (октябрь) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) (июнь–июль) в 2022–2024 гг.
Table 6. Total estimate of the number of marked pink salmon based on data of trawl surveys in the Sea of Okhotsk basin (SO) (October) and Northwestern Pacific Ocean (NWPO) (June–July) in 2022–2024

Район работ Research area	Объект исследований Object of research	Год Year	Общее кол-во рыб в уловах, экз. Total number of fish in catches, pcs	Средневзвешенная доля маркированных рыб, % Weighted average proportion of marked fish, %	Общая оцененная численность рыб, млн экз. Total estimated abundance of fish, mln pcs	Численность маркированных рыб, млн экз. Number of marked fish, mln pcs
ОМ (SO)	Молодь Juvenile fish	2022	39 086	4,5	2564	115,4
		2023	17 616	2,8	1392	39,0
СЗТО (NWPO)	Половозрелые Mature fish	2023	2792	3,6	679	24,4
		2024	1299	3,5	244	8,5

Таблица 7. Оценка численности маркированной горбуши различной региональной принадлежности по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря (ОМ) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) в 2022–2024 гг.
Table 7. Evaluation of the number of marked pink salmon of different regional identity based on data of trawl surveys in the basin of the Sea of Okhotsk (SO) and Northwestern Pacific Ocean (NWPO) in 2022–2024

Район работ Research area	Объект исследований Object of research	Год Year	Численность маркированных рыб, млн экз. Number of marked fish, mln pcs	Численность рыб региональных группировок стад, млн экз. Number of fish from regional groups of stocks, mln pcs		
				О. Сахалин Sakhalin Isl.	О. Итуруп Iturup Isl.	Североохотоморское побережье Northern coast of the Sea of Okhotsk
ОМ (SO)	Молодь Juvenile fish	2022	115,4	35,8	65,3	14,3
		2023	39,0	14,8	20,2	4,0
СЗТО (NWPO)	Половозрелые Mature fish	2023	24,4	4,6	17,0	2,8
		2024	8,5	2,4	4,6	1,5

Таблица 8. Оценки выживаемости охотоморской заводской горбуши по данным учетных траловых съемок в бассейне Охотского моря (ОМ) (октябрь) и северо-западной части Тихого океана (СЗТО) (июнь–июль) в 2022–2024 гг.
Table 8. Survival estimates for the Sea of Okhotsk hatchery pink salmon based on data of trawl surveys in the basin of the Sea of Okhotsk (SO) (October) and Northwestern Pacific Ocean (NWPO) (June–July) in 2022–2024

Период жизни Life cycle period	Год Year	По отдельным регионам, % By regions, %			По всем регионам, % In all regions, %
		О. Сахалин Sakhalin Isl.	О. Итуруп Iturup Isl.	Североохотоморское побережье Northern coast of the Sea of Okhotsk	
Выпуск с ЛРЗ – нагульная миграция в ОМ Release from SHs – feeding migration in the SO	2022	90,2	59,4	79,3	68,8
	2023	17,5	54,0	40,0	29,6
Нагульная миграция в ОМ – преднерестовая миграция в СЗТО Feeding migration in the SO – prespawning migration in the NWPO	2023	12,8	26,0	19,6	21,1
	2024	16,2	22,8	37,5	21,8
Выпуск с ЛРЗ – преднерестовая миграция в СЗТО Release from SHs – prespawning migration in the NWPO	2023	11,6	15,5	15,5	14,6
	2024	2,8	12,3	15,0	6,4

ющем период жизни горбуши от осеннего нагула до возврата половозрелых рыб в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана, показатели выживаемости для 2023 и 2024 гг. соответствовали 21,1% и 21,8%. Это указывает на сходство показателей межгодовой выживаемости охотоморской горбуши в период зимовальных миграций и общность условий формирования численности вида в северо-западной части Тихого океана. Однако общая выживаемость горбуши в период от выпуска с ЛРЗ до начала преднерестовых миграций в прикурильских водах Тихого океана сохраняет свои отличия. Так, в 2023 г. оцененный уровень выживаемости составил 14,6%, а в 2024 г. — 6,4%.

Исходя из полученных данных, оценки уровней выживаемости охотоморской горбуши во время морского/океанического нагула можно представить следующей ориентировочной схемой:

1) выживаемость в период от выпуска с ЛРЗ до выхода в открытые воды Охотского моря — 30–70%;

2) выживаемость в период от осеннего нагула в Охотском море до возврата в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана — 20–25%;

3) общая выживаемость в период от выпуска с ЛРЗ до возврата в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана — 5–15%.

Обращаем внимание на высокую вариабельность полученных оценок выживаемости горбуши на ранних этапах морского периода жизни. Причем это прослеживается как в целом для Охотоморского бассейна, так и для отдельных регионов. Ранее аналогичные наблюдения были получены для периода 2011–2021 гг. (Бугаев, Герлиц, 2023), что подтверждает данную тенденцию. Наиболее вероятно, подобный сценарий определяется базовыми условиями нагула (термический режим вод, доступность кормовых объектов) в прибрежной зоне. По мере роста рыбы достигают необходимых размерно-массовых показателей, что значительно повышает их шансы на выживание (Карпенко, 1998; Шунтов, Темных, 2008). Именно поэтому на данном этапе формируется основной запас горбуши, который обеспечивает возврат производителей в нерестовые реки.

Выживаемость горбуши в период зимнего и весеннего нагула в северо-западной части Тихого океана в 2023 и 2024 гг. оставалась на относительно сходном уровне — 20–25%. Обращаем внимание, что при анализе регрессионных взаимосвязей «учет в море (осенняя откочевка) – возврат» по данным 2010–2020-х гг. фактические подходы производителей нативных стад горбуши к побережьям Восточной и Западной Камчатки составляли около 20–30% от учтенной численности молоди в Беринговом и Охотском морях (Бугаев и др., 2024). Таким образом, представленные в работе оценки выживаемости на этапе «откочевка молоди – возврат производителей» не противоречат уже имеющимся данным.

Разумеется, представленный ряд наблюдений недостаточен, чтобы дать однозначный ответ об уровнях межгодовой выживаемости охотоморской заводской горбуши на этапе зимнего и весеннего морского/океанического нагула. Кроме того, следует учитывать, что смертность тихоокеанских лососей от пелагических хищных рыб и морских млекопитающих в период преднерестовых миграций, по имеющимся оценкам, может достигать порядка 50–70% (Мельников, 1997; Капланова, Золотухин, 2002; Бугаев, Шевляков, 2005). Следовательно, фактический возврат горбуши к нерестовым рекам потенциально будет ниже уровня 5–15%, который был определен для этапа жизни от выпуска молоди с ЛРЗ до возврата половозрелых рыб в прикурильские воды Тихого океана.

К сожалению, достоверный ответ о точной доле вернувшихся заводских маркированных производителей не дают нам и оценки подходов заводской горбуши к родным ЛРЗ. Дело в том, что во всех регионах Охотоморского бассейна осуществляется облов транзитных рыб во время преднерестовых миграций в прибрежных водах. Определить точную долю всех маркированных рыб в коммерческих уловах практически невозможно, так как нет возможности отбора необходимых отолитных проб во всех ставных неводах. Поэтому имеющиеся оценки потенциальных возвратов заводской горбуши к ЛРЗ воспроизводства всегда будут ориентировочными. Особенно это характерно для Сахалинской области, где сосредоточено основное искусственное воспроизводство дальневосточных лососей, а их неводной прибрежный промысел приобрел масштабный характер. Отметим, что на восточном побережье о. Сахалин и Южных Курильских о-вах орудиями лова перекрываются практически все пути тихоокеанских лососей к нерестовым рекам. По сути, пропуск производителей на нерест фактически возможен только в периоды проходных дней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по данным учетных траловых съемок 2022 и 2023 гг. получены оценки встречаемости (индивидуальной и региональной) и представлен характер распределения заводской молоди горбуши российского происхождения в бассейне Охотского моря в осенний период (октябрь). По материалам 2023 и 2024 гг. аналогичные данные впервые были получены и для заводской половозрелой горбуши из траловых уловов (июнь–июль) в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана. В обоих случаях идентификация заводского происхождения горбуши выполнена на основе результатов отолитного маркирования.

Полученные данные подтвердили циркулярный характер миграций заводской молоди горбуши в бассейне Охотского моря в период осеннего нагула. В прикурильских водах северо-западной части Тихого океана определена внутривидовая структура охотоморской заводской горбуши в период преднерестовых миграций. Показана последовательность поэтапного процесса подходов рыб различного регионального происхождения.

На основе комплексной информации о региональном составе и относительной численности охотоморской заводской горбуши в траловых уловах был оценен потенциальный уровень ее выживаемости во время морского/океанического нагула. По имеющимся данным, ориентировочные уровни выживаемости горбуши на различных этапах морского/океанического периода жизни выглядят следующим образом: выживаемость в период от выпуска с ЛРЗ до выхода в открытые воды Охотского моря — 30–70%; в период от осеннего нагула в Охотском море до возврата в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана — 20–25%; общая выживаемость в период от выпуска с ЛРЗ до возврата в прикурильские воды северо-западной части Тихого океана — 5–15%.

В настоящее время представленные результаты носят предварительный характер, так как необходимо продолжить ряд наблюдений для повышения репрезентативности оценок выживаемости. Однако полученные данные вполне согласуются с уже имеющейся информацией о смертности горбуши на различных этапах морского/океанического периода жизни (Карпенко, 1998; Шунтов, Темных, 2008, 2009; Бугаев, Герлиц, 2023).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Акиничева Е.Г., Изергин И.Л., Фомин Е.А. 2004. Об организации исследований по идентификации тихоокеанских лососей на основе термического маркирования их отолитов // Состояние рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря. Сб. науч. тр. Вып. 2. Магадан: МагаданНИРО. С. 364–374.

Бугаев А.В. 2015. Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 416 с.

Бугаев А.В., Герлиц А.И. 2023. Характеристика нагульных миграций заводской молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период (региональная идентификация, численность и распределение уловов, биологические показатели, оценки смертности) // Изв. ТИНРО. Т. 203, вып. 1. С. 16–45. EDN: QCEING. doi:10.26428/1606-9919-2023-203-16-45

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

Бугаев А.В., Чистякова А.И., Урава С. 2020. Многолетние тенденции распределения и регионального состава заводской молоди горбуши и кеты в период осенних миграций в бассейне Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 57. С. 67–98. EDN: YAYOOO. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.67-98

Бугаев А.В., Шевляков Е.А. 2005. Травмированность тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* spp. некоторыми видами хищников по данным дрифтерных уловов в экономической зоне России в 2004 г. // Изв. ТИНРО. Т. 142. С. 46–63.

Капланова Н.Ф., Золотухин С.Ф. 2002. Исследование травм тихоокеанских лососей в бассейне реки Амур // Изв. ТИНРО. Т. 130, ч. 3. С. 1199–1206.

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

Мельников И.В. 1997. Пелагические хищные рыбы — потребители тихоокеанских лососей: распределение в экономической зоне России и прилегающих водах, численность и неко-

торые черты биологии // Изв. ТИНРО. Т. 122. С. 213–228.
Стекольщикова М.Ю. 2021. Пространственное распределение и межгодовая изменчивость уловов горбуши искусственного происхождения в водах восточного побережья о. Сахалин в современный период // Изв. ТИНРО. Т. 201. С. 484–504. EDN: DWJROH. doi:10.26428/1606-9919-2021-201-484-504
Стекольщикова М.Ю., Палькина О.Н., Батюк Ю.А. 2023. Вклад искусственного воспроизводства в промысел и поддержание естественных популяций горбуши *Oncorhynhus gorbuscha* Восточного Сахалина в 2018 г. // Вопр. рыболовства. Т. 24, № 4. С. 119–135. EDN: ROWAJP. doi:10.36038/0234-2774-2023-24-4-119-135
Чистякова А.И., Бугаев А.В. 2013. Применение результатов отолитного маркирования для определения происхождения и путей миграций заводской молоди горбуши и кеты в Охотском море в осенний период // Изв. ТИНРО. Т. 173. С. 77–102.
Чистякова А.И., Бугаев А.В. 2016. Оценка происхождения и пути миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период 2011–2014 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 40. С. 5–23. EDN: VZDPHN. doi:10.15853/2072-8212.2016.40.5-23
Чистякова А.И., Шапорев Р.А., Бугаев А.В. 2012. Опыт использования комплексного отолитного метода для идентификации молоди горбуши и кеты в период посткатадромных миграций в Охотском море // Бюл. № 7 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 207–216.
Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 1. 481 с.
Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 2. 473 с.
Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. 1991. Manual for otolith removal and preparation for microstructural examination. Columbia: Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute. 85 p.
Stevenson D.K., Campana S.E. 1992. Otolith microstructure examination and analysis // Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. № 117. 130 p.

REFERENCES

Akinicheva E.G., Izergin I.L., Fomin E.A. On the organization of research on the identification of Pacific salmon based on thermal marking of their otoliths, in *Sostoyanie rybokhizyaistvennykh issledovanii v basseine severnoi chaste Okhotskogo morya* [The Status of Fisheries Research in the Northern Sea of Okhotsk]. Magadan: MagadanNIRO, 2004, no. 2, pp. 364–374.
Bugaev A.V. Pre-spawning migrations of Pacific salmon in the Exclusive Economic Zone of Russia. KamchatNIRO Publ., Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015, 416 p. (In Russ.)
Bugaev A.V., Gerlits A.I. Characteristics of feeding migrations of hatchery juveniles of pacific salmon in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific waters in the autumn-winter period (regional identification, abundance and distribution of catches, biological indices, estimates of mortality). *Izvestiya TINRO*, 2023, vol. 203, issue 1, pp. 16–45. (In Russ.) EDN: QCEING. doi:10.26428/1606-9919-2023-203-16-45
Bugaev A.V., Tepnin O.B., Shpigalskaya N.Yu., 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. *Izvestiya TINRO*, 2024, vol. 204, issue 2, pp. 477–508. (In Russ.) EDN: KKJUSG. doi:10.26428/1606-9919-2024-204-477-508
Bugaev A.V., Chistyakova A.I., Urava S. Long-term trends in distribution and regional composition of the catches of hatchery pink and chum salmon during autumn migrations in the basin of the Sea of Okhotsk. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 57, pp. 67–98. (In Russ.) EDN: YAYOOO. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.67-98
Bugaev A.V., Shevlyakov E.A. Traumatism of the Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) caused by some species of predators on the data of driftnet catches in Russian economic zone in 2004. *Izvestiya TINRO*, 2005, vol. 142, pp. 46–63. (In Russ.)
Kaplanova N.F., Zolotukhin S.F. Study of Pacific salmon injuries in the Amur River basin. *Izvestiya TINRO*, 2002, vol. 130, part 3, pp. 1199–1206. (In Russ.)
Karpenko V.I. *Rannij morskoj* period *zhizni tihookeanskih lososej* [The early marine period of life of Pacific salmon]. Moscow: VNIRO, 1998, 165 p.
Melnikov I.V. Pelagic predatory fishes – consumers of Pacific salmon: distribution in the economic zone of Russia and adjacent waters, abundance and some biological features. *Izvestiya TINRO*, 1997, vol. 122, pp. 213–228. (In Russ.)
Stekolshchikova M.Yu. Spatial distribution and interannual variability of catches for pink salmon of artificial origin in the waters of eastern coast

of Sakhalin Island in modern times. *Izvestiya TINRO*, 2021, vol. 201, pp. 484–504. (In Russ.) EDN: DWJROH. doi: 10.26428/1606-9919-2021-201-484-504
Stekolshchikova M.Yu., Palkina O.N., Batyuk Yu.A. The contribution of artificial reproduction to the fishery and maintenance of natural populations of pink salmon *Oncorhynhus gorbuscha* in Eastern Sakhalin in 2018. *Problems of Fisheries*, 2023, vol. 24, № 4, pp. 119–135. (In Russ.) EDN: ROWAJP. doi:10.36038/0234-2774-2023-24-4-119-135
Chistyakova A.I., Bugaev A.V. Using the results of otolith marking for determination of origin and migration routes for hatchery juvenile pink and chum salmon in the Sea of Okhotsk in autumn period. *Izvestiya TINRO*, 2013, vol. 173, pp. 77–102. (In Russ.)
Chistyakova A.I., Bugaev A.V. An assessment of the origin and migration routes of juvenile hatchery pink and chum salmon in the basin of the Okhotsk Sea in autumn in 2011–2014. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2016, vol. 40, pp. 5–23. EDN: VZDPHN. doi:10.15853/2072-8212.2016.40.5-23
Chistyakova A.I., Shaporev R.A., Bugaev A.V. Use of the otolith complex method for stock identification of juvenile pink and chum salmon in the offshore waters of the Okhotsk Sea during post-catadromous migrations. *Bulletin of the Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon*, 2012, vol. 7, pp. 207–216. (In Russ.)
Shuntov V.P., Temnykh O.S. *Tikhookeanskie lososi v morskih i okeanicheskih ekosistemah* [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems]. Vladivostok: TINRO-Center, 2008, vol. 1, 481 p.
Shuntov V.P., Temnykh O.S. *Tikhookeanskie lososi v morskih i okeanicheskih ekosistemah* [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems]. Vladivostok: TINRO-Center, 2011, vol. 2, 473 p.
Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. *Manual for otolith removal and preparation for microstructural examination*. Columbia: Belle W. Baruch and Electric Power Research Institute, 1991, 85 p.
Stevenson D.K., Campana S.E. Otolith microstructure examination and analysis. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, № 117, 130 p.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHOR CONTRIBUTION

А.В. Бугаев — аналитическая обработка материалов, написание статьи.
А.И. Герлиц — обработка отолитных проб, идентификация происхождения рыб и подготовка демонстрационных материалов.
A.V. Bugaev — analytical processing of materials, writing an article.
A.I. Gerlitz — processing of otolith samples, identification of fish origin and preparation of demonstration materials.

Информация об авторах
А.В. Бугаев — докт. биол. наук, зам. руководителя Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО). ORCID: 0000-0001-6646-3241
А.И. Герлиц — канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник лаборатории лососевых рыб Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО), ORCID: 0000-0001-9670-6224

Information about the authors
Alexandr V. Bugaev – D. Sc. (Biology), Deputy Head of KamchatNIRO.
ORCID: 0000-0001-6646-3241
Alexandra I. Gerlitz – Ph. D. (Biology), Leading Researcher of Salmon fish lab. (KamchatNIRO).
ORCID: 0000-0001-9670-6224

Статья поступила в редакцию / Received: 12.05.2025
Одобрена после рецензирования / Revised: 16.05.2025
Статья принята к публикации / Accepted: 19.05.2025

Оригинал-макет создан в полном соответствии с качеством предоставленных автором оригиналов рисунков, графиков и таблиц

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 21–40.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 21–40.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.552.511:591.54
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.21-40
EDN: BPWUIY

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД НА ЧИСЛЕННОСТЬ ВОЗВРАТОВ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ С ЦЕЛЬЮ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЕЕ ЗАПАСОВ

Бугаев Александр Викторович[1]✉, Тепнин Олег Борисович[1], Кровнин Андрей Сергеевич[2]

[1]Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, a.bugaev@kamniro.vniro.ru✉
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия

Аннотация. В работе рассмотрен комплекс климато-океанологических факторов, влияющих на формирование численности возвратов (подходов) горбуши Северо-Восточной Камчатки во время зимне-весеннего нагула в Беринговом море и сопредельных водах северной части Тихого океана. В анализ включены показатели аномалии температуры поверхности моря/океана (*SSTa*) в акватории зимовальных и ранних преднерестовых миграций исследуемой группировки стад вида, а также ряд региональных климатических индексов — *WP* (Западно-Тихоокеанский циклонический), *PDO* (Тихоокеанской декадной осцилляции), *AO* (Арктической осцилляции) и *NPGO* (Северо-Тихоокеанского колебания). В качестве наиболее значимых предикторов определены *SSTa*, *WP* и *PDO*. Результатом исследований стало построение многомерных прогностических моделей типа «запас – пополнение» и «учет в море – возврат» с учетом климато-океанологических факторов. На их основе возможна оперативная корректировка долгосрочных прогнозов динамики численности возвратов горбуши Северо-Восточной Камчатки непосредственно перед началом лососевых путин.

Ключевые слова: горбуша, Северо-Восточная Камчатка, динамика численности возвратов (подходов), климато-океанологические условия, климатические индексы, аномалии температуры воды, прогностические модели.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Кровнин А.С. Оценка влияния климато-океанологических условий в зимне-весенний период на численность возвратов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Северо-Восточной Камчатки с целью оперативного прогнозирования динамики ее запасов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 21–40. EDN: BPWUIY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.21-40

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF WINTER AND SPRING CLIMATE-OCEANOLOGICAL CONDITIONS ON THE ABUNDANCE OF PINK SALMON *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* RETURNS IN NORTH-EAST KAMCHATKA FOR THE USE IN OPERATIONAL FORECASTING THE STOCK DYNAMICS

Alexandr V. Bugaev[1]✉, Oleg B. Tepnin[1], Andrey S. Krovnin[2]

[1]Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, a.bugaev@kamniro.vniro.ru✉
[2]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

Abstract. The article represent analysis of the influence of a complex of climate and oceanological factors during winter and spring feeding of pink salmon in the Bering Sea and adjacent waters of Northern Pacific Ocean on formation of the abundance of pink salmon returns (runs) in North-East Kamchatka. The factors analyzed included sea/ocean surface temperature anomalies (*SSTa*) in the areas of wintering and early prespawning migrations of examined group of stocks of the species and several regional climate indices: *WP* (the West-Pacific oscillation), *PDO* (the Pacific decade oscillation), *AO* (the Arctic oscillation) and *NPGO* (North-Pacific gyre oscillation). The *SSTa*, *WP* and *PDO* were estimated as the most significant predictors. As a result of the research there were multivariate prognostic models of the type “stock-recruitment” or “ocean accounts – return” made taking into account the climate and oceanological factors. Operational improvement based on these models get applicable to correct long-term forecasts of the abundance of pink salmon returns in North-East Kamchatka right before salmon fishing campaign.

Keywords: pink salmon, North-East Kamchatka, abundance of returns (runs), climate-oceanological conditions, climate indices, water temperature anomalies, predictive models.

© Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Кровнин А.С.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Bugaev A.V., Tepnin O.B., Krovnin A.S. Assessment of the influence of winter and spring climate-oceanological conditions on the abundance of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* returns in North-East Kamchatka for the use in operational forecasting the stock dynamics // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 21–40. (In Russ.) EDN: BPWUIY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.21-40

Глобальные климатические изменения, наблюдаемые на рубеже XX и XXI веков, оказывают прямое влияние на формирование численности и биологическое состояние тихоокеанских лососей Северной Пацифики (Кляшторин, Любушин, 2005; Кровнин, 2020; Бугаев, Тепнин, 2024). Подобное воздействие имеет многофакторный характер. Однако результаты многолетних исследований представленных авторов показывают, что на лососевые запасы наиболее заметно воздействует повышение температуры воздуха и воды на планетарном уровне. Например, по индексу глобальной температурной аномалии (ГТа) Северного полушария Земли прослеживается положительная взаимосвязь роста ГТа с численностью подходов массовых видов тихоокеанских лососей. По сути, данный индекс отождествляет понятие «глобальное потепление», которое характеризует длительное повышение средней температуры климатической системы Земли.

Тем не менее очень высока вероятность, что лишь на определенном временном этапе глобальное потепление будет иметь позитивное влияние на лососевые запасы. Дело в том, что с начала XXI века наблюдается критическое снижение размерно-массовых показателей тихоокеанских лососей во всех регионах бассейна Северной Пацифики (Карпенко и др., 2013; Бугаев, 2017; Бугаев, Тепнин, 2024). В 2010–2020-х гг., по сравнению с 1960–1990 гг., снижение длины и массы тела у большинства долгоцикловых видов (кета, нерка, кижуч) достигло порядка 30%, а в отдельных случаях (чавыча) — до 50–60%. Это критично для выживания и успешного воспроизводства тихоокеанских лососей. Механизм этого явления досконально неизвестен. Однако процесс соматического роста рыб всегда напрямую связан с доступностью и качеством кормовой базы. Последнее зависит от усиления роли плотностного фактора (повышение численности рыб), приводящего к росту пищевой конкуренции. Это особенно проявляется при снижении численности и видового разнообразия потребляемого рыбами зоопланктона и нектона.

Таким образом, положительное влияние глобального потепления на увеличение численности тихоокеанских лососей постепенно сменилось негативным воздействием на их биологическое состояние. Наиболее очевидно, что наблюдается обострение пищевой конкуренции из-за роста численности. Особенно сильно это начало проявляться в 2010-е гг. Причем в последние годы (2023–2025) ГТа продолжает увеличиваться. Поэтому высока вероятность, что в ближайшие годы будет достигнут некий «потолок», когда дальнейший рост ГТа станет негативно влиять на формирование численности лососевых запасов.

Помимо глобального потепления, определяющего общий тренд динамики численности тихоокеанских лососей, большое значение для морского/океанического нагула конкретных поколений рыб имеют ежегодно складывающиеся климато-океанологические условия. В данном случае значимыми факторами, влияющими на динамику численности рыб, являются климатические параметры, которые оказывают воздействие на формирование температурного режима вод в местах массового нагула тихоокеанских лососей в конкретный период наблюдений. Как известно, температурный фактор может иметь значение для создания кормовой обеспеченности и индивидуального роста рыб (Никольский, 1974; Смирнов, 1975).

В представленной статье рассматриваются некоторые климато-океанологические факторы, которые определяют температурный режим вод в районах зимне-весеннего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки. Оценивается степень их влияния на ее запасы. По результатам оценки производится отбор климатических параметров, которые наиболее пригодны для прогнозирования величины возвратов восточнокамчатской горбуши. На основе имеющихся рядов наблюдений численности (нерестовые запасы, подходы (возвраты), учет в море) и отобранных климатических предикторов строятся многомерные прогностические модели, позволяющие с учетом климато-океанологических условий в период зимне-весеннего нагула выполнять оперативную корректировку долгосрочных прогнозов численности возвратов горбуши Северо-Восточной Камчатки непосредственно перед началом путин.

Целью работы является отбор климатических предикторов наиболее значимых для выживания горбуши Северо-Восточной Камчатки во время зимне-весеннего нагула и разработка методов оперативного прогнозирования численности ее возвратов (подходов) к побережью.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы ряды наблюдений, характеризующие численность запасов (возврат, подход) горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Северо-Восточной Камчатки, а также климатические индексы, потенциально влияющие на условия нагула вида в зимне-весенний период в Беринговом море и прилегающих водах северной части Тихого океана. Ряды наблюдений численности включают ежегодные данные о количестве рыб на нерестилищах (нерестовый запас) (S) (1990–2022 гг.) и возвратах (подходах) производителей к побережью (R) (1992–2024 гг.). Определение «возврат (подход)» соответствует сумме количества выловленной (прибрежный и речной промысел) и пропущенной на нерест рыбы. Уточним, что двухгодичное расхождение (лаг) рядов численности нерестовых запасов и подходов связано с 2-летним жизненным циклом вида. Например, горбуша, которая отнерестилась в 1990 г., возвратится к нерестовому водоему в 1992 г.

Базовой прогностической моделью для горбуши является зависимость «родители – потомство» (Ricker, 1954, 1975), где «родители» — S, а «потомство» — R. Однако при наличии дополнительных предикторов подобное определение взаимосвязи будет некорректным. Многомерные прогностические модели правильнее обозначить общеупотребительным термином «зависимость типа “запас – пополнение”» (Бабаян и др., 2018). В данном случае понятие «запас» соответствует S, а «пополнение» — R.

Помимо оценок численности производителей горбуши, в работе использованы данные учетных траловых съемок ТИНРО (Тихоокеанский филиал Государственного научного центра ФГБНУ «ВНИРО») во время осенней откочевки молоди от побережья в открытые воды Берингова моря в 2012–2023 гг. Все оценки численности сеголетков горбуши выполнены специалистами ТИНРО. Информация официально представлена в КамчатНИРО в рамках подготовки материалов, обосновывающих ежегодные прогнозы вылова горбуши Северо-Восточной Камчатки (Карагинская подзона). В данном случае временной лаг от проведения учетной съемки молоди до возврата производителей составляет 1 год. Например, данные оценок численности съемки 2012 г. сопоставляются с величиной возврата производителей в 2013 г. Это позволяет анализировать зависимость «учет в море – возврат». Как правило, съемки ежегодно выполняются в сентябре–октябре в пределах одного полигона со стандартной сеткой станций (рис. 1). Уточним, что рассматриваемый ряд наблюдений не полный, так как в 2015 и 2016 гг. учетные съемки не проводили.

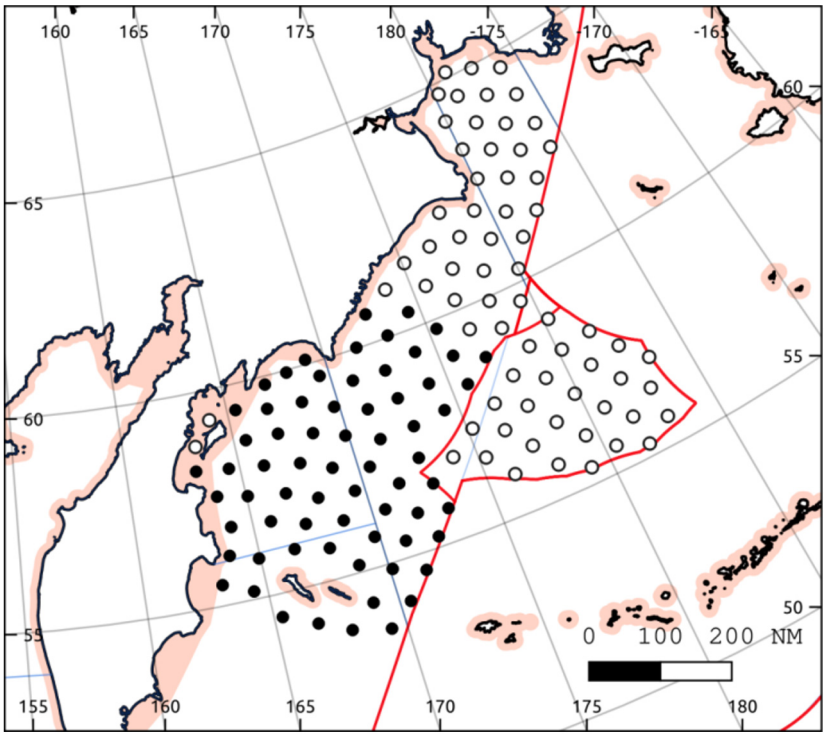


Рис. 1. Карта-схема траловых станций комплексных лососевых съемок, проводимых в эпипелагиали Берингова моря: красная линия — граница ИЭЗ РФ, розовая заливка — 12-мильная зона внутренних вод, черные точки — приоритетные станции, белые точки — дополнительные станции. Рис. выполнен А.А. Сомовым (ТИНРО)
Fig. 1. Schematic map of the trawl stations of complex salmon epipelagic surveys in the Bering Sea: red line marks the boundary of the EEZ of RF, pink fill – the 12-mile zone of inland waters, black dots – priority stations, white dots – additional stations. The figure by A.A. Somov (TINRO)

В качестве климато-океанологических параметров использованы следующие климатические индексы (данные 1992–2024 гг.):

1) *WP* (West Pacific Pattern) — Западно-Тихоокеанский циклонический индекс (Barnston, Livezey, 1987) — характеризует атмосферную циркуляцию в западной части Тихого океана (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml);

2) *PDO* (Pacific Decadal Oscillation) — индекс Тихоокеанской декадной осцилляции (Mantua et al., 1997) — характеризует среднемесячную аномалию температуры поверхности воды северной части Тихого океана (до 20° с. ш.), отражая долгосрочные колебания температуры с периодичностью примерно каждые 20–30 лет (https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/pdo);

3) *AO* (Arctic Oscillation) — индекс Арктической осцилляции (Thompson, Wallace, 1998) — характеризует степень проникновения арктических воздушных масс в субарктический регион (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii);

4) *NPGO* (North Pacific Gyre Oscillation) — индекс Северо-Тихоокеанского колебания (Di Lorenzo et al., 2008) — характеризует изменения температуры поверхности воды в северной части Тихого океана, а также оказывает комплексное влияние на атмосферу и региональные крупномасштабные океанические течения (https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DS/NPGO).

Для оценки состояния термических условий вод в районах зимне-весеннего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки в работе использованы данные аномалий температуры поверхности воды (*SSTa* — Sea Surface Temperature Anomalies). Ряды наблюдений *SSTa* включают средние зональные значения показателя для периода 1992–2024 гг. согласно представленной схеме районирования (рис. 2). Указанные районы входят в нагульный ареал горбуши Северо-Восточной Камчатки во время зимовальных (зима) и ранних преднерестовых (весна) миграций.

Использованные в работе данные *SSTa* получены из системы ассимиляции климатических данных JMA (Японское метеорологическое агентство) и японских реанализов (JRA-25 и JRA-55) (https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/cobesst/cobe-sst.html). Подробная характеристика этого материала ранее была опубликована различными авторами (Folland, Parker, 1995; Ishii et al., 2005; Japan Meteorological Agency, 2006). Исходные данные представляются в независимом формате обмена первичной научной информацией NetCDF (Network Common Data Form) на регулярной географической сетке с шагом 1 × 1° по широте и долготе. В дальнейшем исходные материалы, с использованием пакета программ CDO (Climate Data Operators, https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/), осреднялись для 9 представленных картографических трапеций (5 × 10°). Полученные ряды среднемесячных отклонений от нормы температуры поверхности океана (*SSTa*) для всего района исследований использовали для расчета средних сезонных показателей зимы и весны. Визуализацию результатов выполняли в специализированной программе ODV (Ocean Data View) (https://odv.awi.de). Для характери-

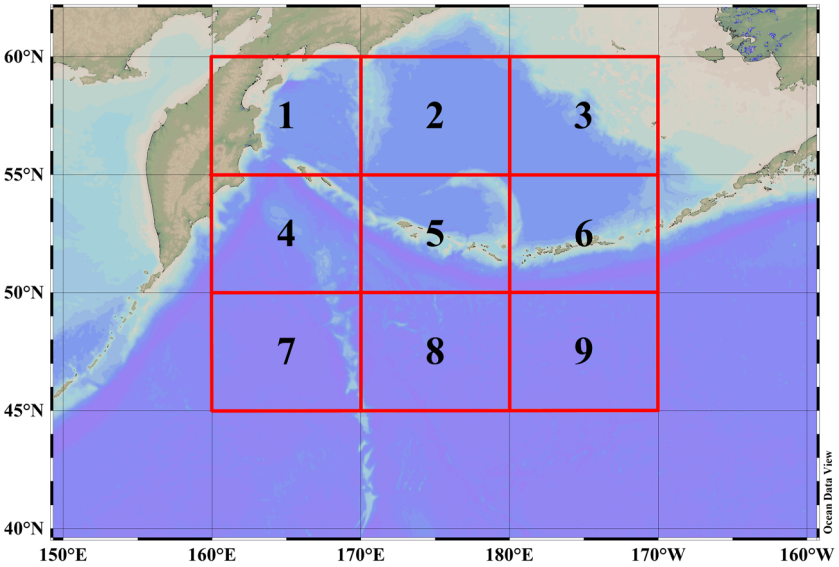


Рис. 2. Карта-схема основной зоны нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки в зимне-весенний период в Беринговом море и прилегающих водах северной части Тихого океана: красные квадраты — картографические трапеции (5 × 10°), для которых рассчитывались среднемесячные значения аномалий температуры поверхностного слоя вод; цифры — их порядковые номера; координаты в таблице — средние координаты картографических трапеций

Fig. 2. Schematic map of the main zone of feeding of pink salmon of North-East Kamchatka in winter and spring in the Bering Sea and adjacent waters of Northern Pacific Ocean: red squares are cartographic trapezoids (5 × 10°) for which the average monthly values of the sea surface temperature anomalies were calculated; the numbers are the trapezoid ordinal numbers; the coordinates in the table are average coordinates of the cartographic trapezoids

Район	с. ш.	в. д.	Район	с. ш.	в. д.	Район	с. ш.	в. д.
1	57°30′	165°00′	4	52°30′	165°00′	7	47°30′	165°00′
2	57°30′	175°00′	5	52°30′	175°00′	8	47°30′	175°00′
3	57°30′	185°00′	6	52°30′	185°00′	9	47°30′	185°00′

стики межгодовой изменчивости площади ледового покрова Берингова моря нами рассмотрены материалы National Snow and Ice Data Center (США, National Snow and Ice Data Center, http://nsidc.org).

Обращаем внимание, что использованные в работе климатические индексы и *SSTa*, которые характеризуют зимний период, включают данные за январь–февраль текущего года и декабрь предыдущего года. Следовательно, для зимнего периода 1992 г. применяются данные за декабрь 1991 г. и т. д.

Построение графиков, расчеты корреляционных и регрессионных зависимостей, а также анализ главных компонент выполнены по стандартным методикам, принятым для компьютерной обработки статистических данных (Халафян, 2008; Курзаева, 2016; Кеткина, 2020). В качестве базовых программ использовали MS Excel и Statistica.

В работе применяются следующие сокращения для обозначения статистических параметров:

r — коэффициент корреляции;

R — коэффициент множественной корреляции;

R^2 — коэффициент детерминации;

SE — стандартная ошибка;

F — критерий Фишера;

p — уровень статистической значимости;

B — стандартизированные коэффициенты регрессии;

b — нестандартизированные коэффициенты регрессии (коэффициенты уравнения);

t — критерий Стьюдента;

df — число степеней свободы;

SS — сумма квадратов отклонений значений признака Y;

MS — дисперсия на одну степень свободы;

CI ± 95% — доверительный интервал параметра.

Общий вид использованной для создания прогностических моделей формулы множественной линейной регрессии:

$$R = b_1 S(SRV) + b_2F_1 + \ldots + b_nF_n + b_0,$$

где R — численность пополнения запаса (возврат, подход);

S — численность нерестового запаса;

SRV — численность рыб, учтенных в море;

b_0 — свободный член уравнения регрессии;

$b_1, b_2, \ldots b_n$ — коэффициенты уравнения регрессии;

$F_1, F_2, \ldots F_n$ — используемые климатические предикторы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика численности горбуши

Из представленных графиков видно, что численность горбуши Северо-Восточной Камчатки претерпела значительные изменения в 1990–2020-е гг. (рис. 3). Начиная с середины 2000-х гг. заметны тренды ее роста как для нерестовых запасов, так и для подходов. Отметим, что доминирующими по численности в регионе являются поколения возвратов производителей нечетных лет воспроизводства. Среднемноголетняя (1990–2022 гг.) численность нерестового регионального запаса горбуши составляла 32,3 (1,3–104,9) млн рыб (перед скобками — среднее, в скобках — минимум–максимум), а уровень подходов соответствующих поколений (1992–2024 гг.) — 83,7 (2,0–301,0) млн рыб. Длина полных рядов наблюдений численности производителей составляет 33 года.

Динамика численности молоди горбуши, учтенной на осенних траловых съемках в юго-западной части Берингова моря (2012–2023 гг.), представлена на рисунке 4. Среднемноголетняя численность сеголетков горбуши составляла 433 (95–996) млн рыб. Общая продолжительность ряда наблюдений — 10 лет. В работу включены только последние современные данные, так как в этот период климато-океанологические параметры отражают условия нагула вида на историческом пике численности. Аналогичный ряд используется и в практике долгосрочного прогнозирования динамики численности горбуши Северо-Восточной Камчатки с помощью зависимости «учет в море – возврат» (Бугаев и др., 2024).

Краткая характеристика океанологических условий в Беринговом море и сопредельных водах северной части Тихого океана в зимне-весенний период

Океанологические условия в северной части Тихого океана (включая Берингово море) в зимний и весенний периоды года определяются многими факторами. Основными из них являются обменные процессы с атмосферой (отдача/приход тепла и массы), а также адвекция и динамические процессы водных масс (вертикальные и горизонтальные течения, конвекция, апвеллинги и т. п.). Отсутствие прямых наблюдений за этими процессами заставляет нас обращаться к материалам дистанционного (спутникового) мониторинга. В частности, межгодовую изменчивость термических условий на большей части рассматриваемой акватории хорошо отражают

данные о степени развития ледового покрова в Беринговом море в 1992–2024 гг. (рис. 5).

Из представленного графика видно, что многолетняя динамика формирования площади льдов в Беринговом море в зимне-весенний период подвержена значительной изменчивости. Например, в 1990–2000-е гг. площадь льда в среднем составляла зимой около 370 тыс. км², а весной — 380 км². В 2010-е гг. наблюдалось значительное сокращение площади льдов: зима — 270 км², весна — 295 км². В 2020-е гг. снова наметилось увеличение площади льдов: зима — 290 км², весна — 320 км². Следует отметить, что снижение площади ледяного покрова в Беринговом море в 2010–2020-е гг. согласуется с увеличением численности горбуши Северо-Восточной Камчатки.

Наиболее вероятной причиной сокращения площади льдов может быть увеличение температуры поверхности в бассейне Берингова моря и прилегающих водах северной части Тихого океана. Это видно на примере роста *SSTa* с начала 2010-х гг. (рис. 6).

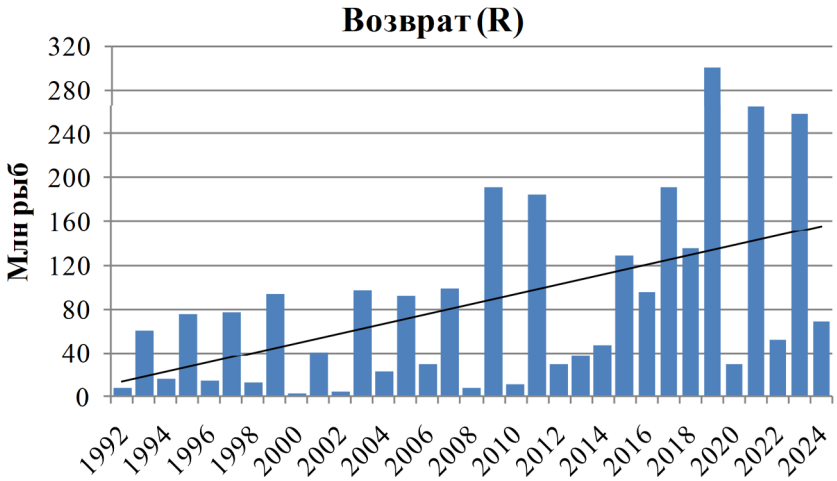


Рис. 3. Динамика численности нерестовых запасов (S) и возвратов (подходов) (R) горбуши Северо-Восточной Камчатки в 1990–2024 гг.
Fig. 3. Dynamics of the abundance of pink salmon spawning stock (S) and returns (runs) (R) in North-East Kamchatka in 1990–2024

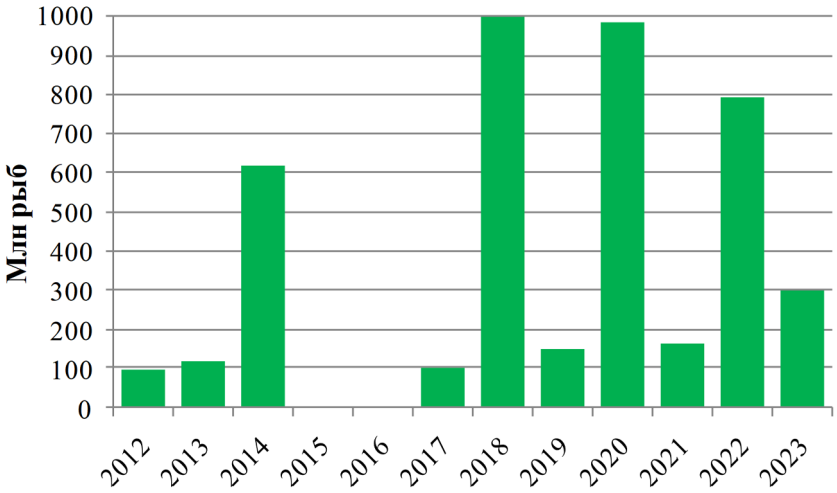


Рис. 4. Динамика численности учтенной молоди горбуши в период осенней откочевки по данным траловых съемок в юго-западной части Берингова моря в 2012–2023 гг. (по данным специалистов ТИНРО)
Fig. 4. Abundance dynamics of recorded juvenile pink salmon during autumn migration based on data of trawl surveys in the southwestern part of the Bering Sea in 2012–2023 (according to TINRO specialists)

Таким образом, очевидно, что рост температурных показателей поверхностных вод в Беринговом море и прилегающих водах северной части Тихого океана в зимне-весенний период привел к смене условий нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки в 2010–2020-е гг. В настоящее время невозможно однозначно определить характер произошедших экосистемных изменений. Главной причиной этого является отсутствие в регионе мониторинговых ихтиологических, гидробиологических и гидрологических исследований в зимне-весенний период. Поэтому в работе необходимо определить доступные климатические показатели, которые могут отражать влияние среды на биологическое состояние и формирование численности запасов горбуши Северо-Восточной Камчатки.

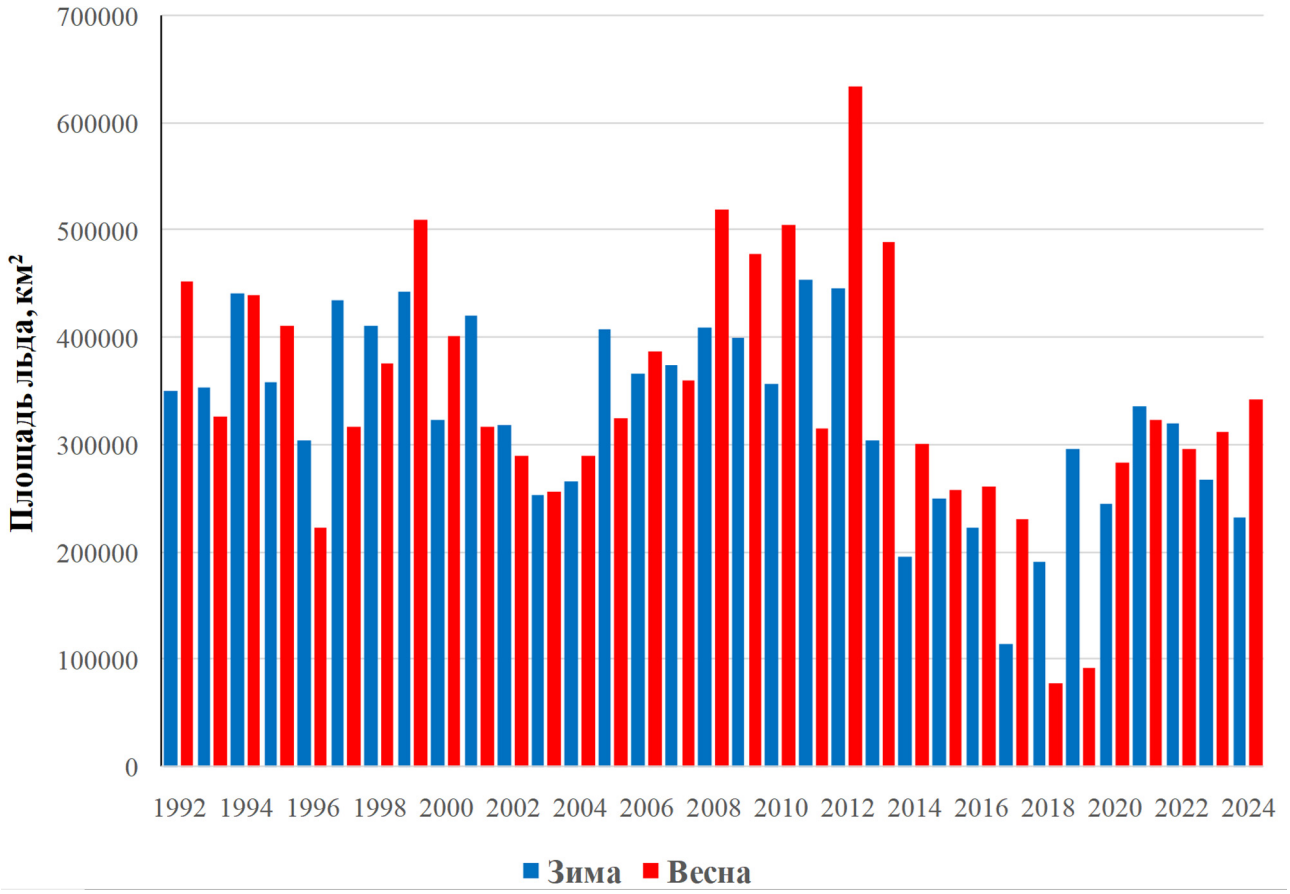


Рис. 5. Межгодовое изменение площади льдов (км²) в зимний и весенний периоды 1992–2024 гг. на акватории Берингова моря
Fig. 5. Interannual change in the ice area (km²) in winter and spring for the period 1992–2024 in the Bering Sea

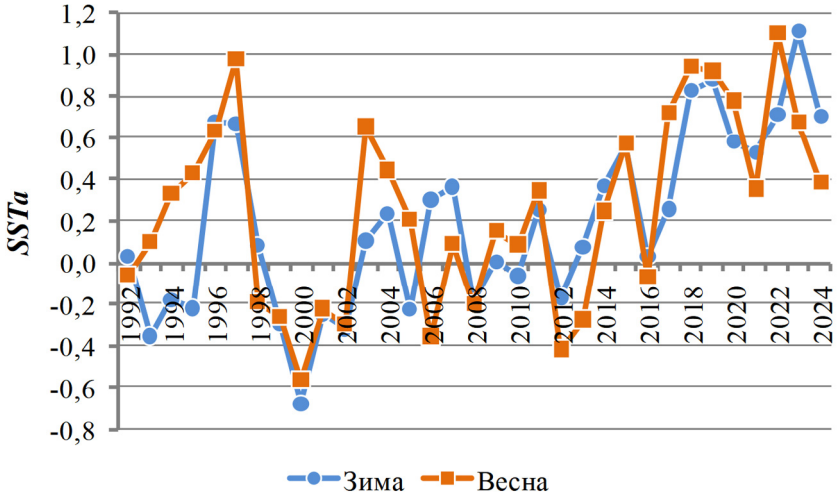


Рис. 6. Межгодовое изменение аномалий температуры поверхности моря/океана (*SSTa*) в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки в западной части Берингова моря и сопредельных водах северной части Тихого океана в 1992–2024 гг.
Fig. 6. Interannual change in the sea/ocean surface temperature anomalies (*SSTa*) in the winter-spring feeding area of pink salmon of North-East Kamchatka in the western part of the Bering Sea and adjacent waters of the North Pacific Ocean in 1992–2024

Климато-океанологические предикторы

Выживаемость горбуши во время морского/океанического нагула значительно отличается на различных этапах ее жизненного цикла. Первый этап включает скат мальков в мае–июне из нерестовых рек в эстуарно-прибрежные воды. В этот период смертность горбуши может достигать 90% (Грачев и др., 1982). Второй этап жизненного цикла вида можно обозначить как время осенней откочевки из прибрежья в открытые морские/океанские воды. Это происходит в период с августа до ноября, но, как правило, в сентябре–октябре практически вся молодь уже находится в открытых водах. На данном этапе смертность откочевывающей молоди в среднем может варьировать в пределах 30–70% (Карпенко, 1998; Бугаев, Герлиц, 2023). Следующий период нагула горбуши включает зимовальные и преднерестовые миграции. На данном этапе ее смертность составляет около 20–30% (Шунтов, Темных, 2011).

В представленной работе рассматривается именно третий этап жизненного цикла горбуши Северо-Восточной Камчатки. Несмотря на относительно низкую потенциальную смертность, по сравнению с ранним морским периодом жизни, в период зимовальных и ранних преднерестовых миграций формируется зрелая часть стад, то есть тех рыб, которые вернутся к нерестовым рекам и, соответственно, будут составлять основу прибрежно-речного промысла. Причем даже незначительные изменения условий нагула на данном этапе жизненного цикла могут серьезно отразиться на фактических подходах горбуши. К примеру, разница при уровне смертности на заключительном этапе морского нагула в 20% или 30% (от учтенного количества молоди во время осенней откочевки) может привести к увеличению или сокращению численности подхода горбуши в урожайные годы до 100 млн рыб.

Обращаем внимание, что горбуша относится к короткоцикловым видам тихоокеанских лососей. Продолжительность ее жизненного цикла составляет всего два года. Из них приблизительно один год она проводит в море/океане. Поэтому использование климато-океанологических данных во время зимне-весеннего нагула горбуши для прогнозирования ее численности возможно только на заключительном этапе ее жизни. Следовательно, корректировка оценок численности возвратов горбуши в зависимости от условий ее нагула зимой и весной будет иметь характер краткосрочного или оперативного прогнозирования. Аналогичные работы ранее проводились на дрифтерных судах, которые осуществляли контрольные обловы в районах массовых преднерестовых миграций горбуши Северо-Восточной Камчатки (Бугаев, 2015). Отметим, что для получения долгосрочных прогнозов необходимо привлекать климато-океанологические данные, полученные в осенний период, когда в открытых морских водах формируется основная численность запасов вида (Бугаев и др., 2024).

Оценка степени воздействия климатических факторов на условия зимне-весеннего нагула горбуши возможна путем нахождения зависимости их влияния на численность возвратов. Подобную закономерность можно обозначить как взаимосвязь «климатические индексы – возврат». Эта зависимость не рассматривается в качестве прогностической модели, так как в числе предикторов отсутствует показатель, характеризующий численность исходного запаса (нерестовый, учет в море). Правильнее эту зависимость рассматривать как реакцию влияния изменчивости климато-океанологических условий на численность подходов горбуши. Наличие подобной зависимости вполне подтверждается умеренным коэффициентом корреляции/регрессии (r/R = 0,4–0,7). Это обусловлено тем, что климато-океанологические условия могут влиять на численность нагуливающихся рыб только опосредованно, через изменение состояния кормовой базы и темпов роста. Поэтому показатели подобных взаимосвязей в большинстве случаев априори не могут иметь высокую статистическую значимость.

Принимая во внимание, что температурный режим вод в местах нагула рыб потенциально является важнейшим фактором, характеризующим условия нагула, нами был проведен корреляционный анализ зависимости «*SSTa* – возврат» в зоне массовых зимне-весенних миграций горбуши Северо-Восточной Камчатки в Беринговом море и прилегающих водах северной части Тихого океана (рис. 7). Полученные данные позволили четко обозначить зоны влияния температуры на выживаемость рыб. В зимний период во время нагульных миграций наибольшее значение для формирования численности производителей горбуши имеет терморежим вод западной и центральной частей Берингова моря: r = 0,4–0,5. В весенний период на начальном этапе преднерестовых миграций наблюдается смещение поля схожих значений корреляции ближе к побережью Северо-Восточной Камчатки. Кроме того, возрас-

тает влияние температурного фактора ближе к центральной части севера Тихого океана в районе Алеутских островов. Все это согласуется известными закономерностями зимовальных и преднерестовых миграций горбуши в морской/океанический период жизни (Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2011; Бугаев, 2015).

Таким образом, в качестве потенциальных предикторов можно выделить показатели *SSTa* из следующих обозначенных районов: зимний период — районы 2, 5 и 6; весенний период — районы 1, 2 и 5. Средние значения *SSTa* по указанным районам дадут нам два четких предиктора с учетом сезонной принадлежности. В работе мы их обозначаем как *SSTa_W (2, 5, 6)* и *SSTa_S (1, 2, 5)*.

Помимо температурного фактора, на численность подходов горбуши оказывают опосредованное воздействие и другие климатические факторы, которые описываются индексами *WP*, *PDO* и *AO*. Ранее в практике прогнозирования динамики численности горбуши Северо-Восточной Камчатки данные индексы применялись при использовании в различных многомерных прогностических моделях (Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман, 2020; Фельдман, Бугаев, 2021; Бугаев и др., 2024). Поэтому представленные климатические индексы предлагаются в настоящей работе в качестве предикторов. Кроме того, нами в работу был дополнительно включен новый индекс — *NPGO*, который успешно использовался для характеристики влияния температурного режима вод Северной Пацифики на региональную продуктивность рыбных ресурсов (Кровнин, 2020). На рисунке 8 показана динамика межгодовой изменчивости всех вышеперечисленных предикторов в зимний и весенний периоды.

Оценку классификации взаимосвязи (воспроизведение в системе факторных координат)

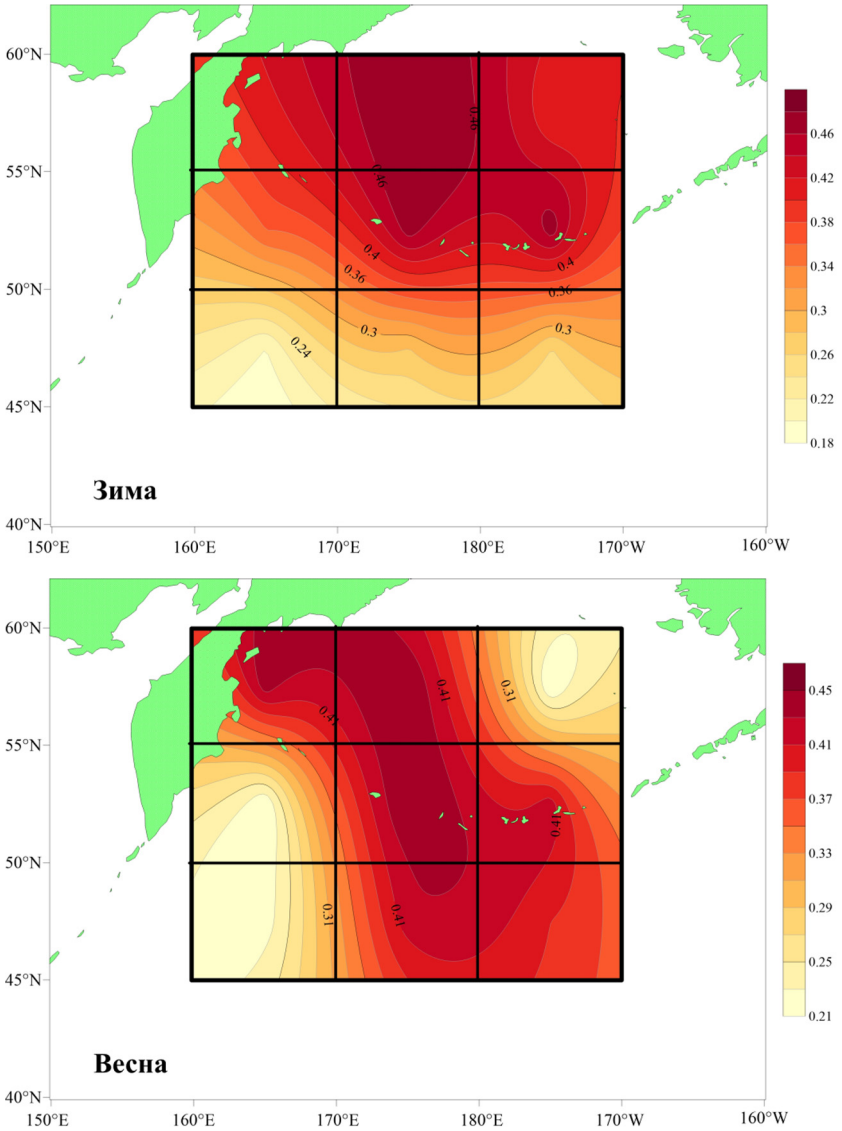


Рис. 7. Распределение значений коэффициентов корреляций взаимосвязи «*SSTa* – возврат» в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки в Беринговом море и сопредельных водах северной части Тихого океана по данным 1992–2024 гг.
Fig. 7. Distribution of the values of the correlation coefficients of the "*SSTa* – return" relationship in the winter-spring feeding area of pink salmon in North-East Kamchatka in the Bering Sea and adjacent waters of the northern part of the Pacific Ocean according to data for the period 1992–2024

между значениями *SSTa* и различных климатических индексов производили с помощью анализа главных компонент. На графике факторных координат показано распределение переменных на единичном круге, так как коэффициенты корреляции (координаты точек) наблюдений с факторными осями принимают значения в интервале от 0 до 1 (рис. 9). В данном случае из пяти факторов задействованы только первый и второй (табл. 1). Их суммарный

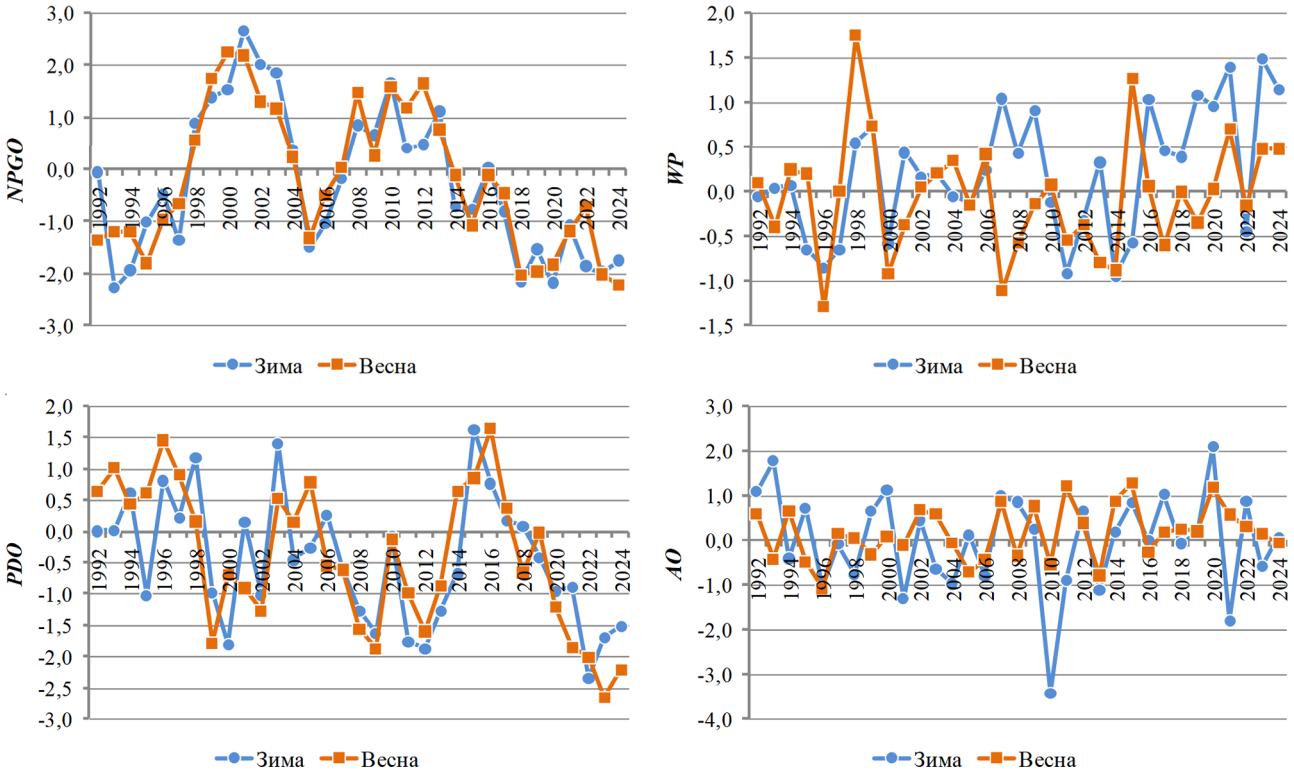


Рис. 8. Многолетняя динамика изменчивости климатических индексов (факторов), характеризующих климато-океанологические условия в западной части Северной Пацифики в 1992–2024 гг.
Fig. 8. Long-term dynamics of variability of climate indices (factors) characterizing climate and oceanographic conditions in the western part of the North Pacific in 1992–2024

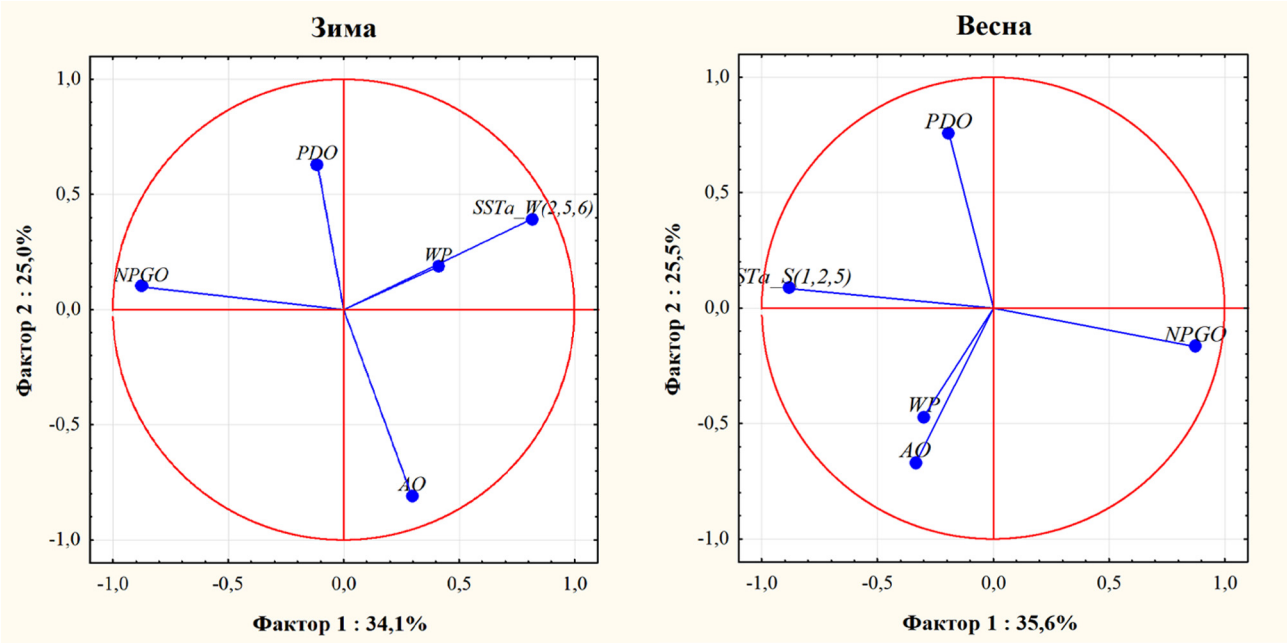


Рис. 9. Распределение *SSTa* и климатических индексов в координатах первого и второго факторов для зимнего и весеннего периодов по данным 1992–2024 гг.
Fig. 9. Distribution of the *SSTa* and climate indices in the coordinates of the first and second factors for winter and spring according to data for the period 1992–2024

вклад в объяснение признака составляет около 60% (рис. 9). Обращаем внимание, что чем ближе переменные (*SSTa* и климатические индексы) к единичной окружности, тем лучше они воспроизводятся в найденной системе координат.

Из результатов проведенного анализа главных компонент следует, что в зимний период наиболее заметное воздействие на полученную систему факторных координат оказывают такие индексы, как *NPGO*, *AO* и *SSTa_W (2, 5, 6)*. Соответственно, в весенний период наиболее активными являются индексы *NPGO*, *PDO* и *SSTa_S (1, 2, 5)*. Однако виден разный уровень воздействия факторных координат. Это указывает на то, что необходим отбор переменных при подготовке прогностической модели. При этом нельзя не учитывать, что первый и второй факторы объясняют лишь 60% признака.

Далее был проведен корреляционный анализ для оценки взаимосвязи предикторов (рис. 10). Исходя из полученных данных, относительно высокий умеренный коэффициент корреляции наблюдается лишь у двух пар индексов. В зимний период связь наблюдалась между *NPGO* и *SSTa_W (2, 5, 6)*: $r = -0{,}59$, а в весенний период — между *NPGO* и *SSTa_S (1, 2, 5)*: $r = -0{,}65$. Обращает внимание однородный характер корреляционной зависимости обоих пар наблюдений. В остальных случаях связь практически отсутствует. Это соответствует требованиям для построения прогностических многомерных регрессионных моделей, так как желательно, чтобы предикторы не имели значимой корреляции друг с другом.

Следующим шагом отбора наиболее активных предикторов было построение многомерных регрессионных моделей. Они характеризуют зависимость «климатические индексы + *SSTa* – возврат» для зимнего и весеннего периодов 1992–2024 гг. (табл. 2). Полученные результаты показали, что в обоих случаях существует умеренная связь. В зимний период коэффициент множественной корреляции $R = 0{,}62$, а в весенний период $R = 0{,}57$. Безусловно, данный уровень зависимости нельзя назвать высоким, так как в первом случае объясняется лишь 39% дисперсии зависимой переменной ($R^2 = 0{,}39$), а во втором — 32% ($R^2 = 0{,}32$). Однако в реальной ситуации опосредованно влияющие на состояние запасов горбуши климато-океанологические факторы не должны иметь определяющей роли в объяснении динамики ее численности. В данном случае они лишь будут дополнять ключевой для прогностической модели фактор исходной численности.

Принимая во внимание наличие достаточно большого количества включенных в модель климатических параметров, нами был выполнен пошаговый регрессионный анализ, который позволил выявить наиболее активные предикторы без потери общего уровня зависимости (табл. 3).

Результаты показали, что в зимний период наиболее значимыми являются такие предикторы, как *SSTa_W (2, 5, 6)* и *WP*, а в весенний период — *SSTa_S (1, 2, 5)* и *PDO*. В первом случае коэффициент множественной корреляции составил $R = 0{,}61$, во втором случае — $R = 0{,}54$. Полученные связи оказались статистически достоверными. Таким образом, включение данных предикторов в прогностическую модель для оперативного уточнения численности прогнозов подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки вполне обоснованно.

Прогностические регрессионные модели

Как ранее было обозначено, прогноз подходов горбуши с учетом климато-океанологических факторов в зимне-весенний период может быть лишь краткосрочным, то есть его

Таблица 1. Факторные координаты значений *SSTa* и климатических индексов в зимний и весенний периоды по данным 1992–2024 гг.
Table 1. Factor coordinates of the *SSTa* values and climate indices in winter and spring on the data for the period 1992–2024

Сезон Season	Индексы Indices	Фактор 1 Factor 1	Фактор 2 Factor 2	Фактор 3 Factor 3	Фактор 4 Factor 4	Фактор 5 Factor 5
Зима Winter	*NPGO*	–0,88	0,10	0,32	–0,05	0,34
	WP	0,41	0,19	0,74	–0,50	–0,05
	PDO	–0,11	0,63	–0,56	–0,53	0,03
	AO	0,30	–0,81	–0,23	–0,40	0,21
	SSTa_W (2, 5, 6)	0,82	0,39	–0,02	0,27	0,32
Весна Spring	*NPGO*	0,88	–0,17	0,09	–0,25	–0,37
	WP	–0,30	–0,47	–0,81	–0,12	–0,10
	PDO	–0,19	0,76	–0,16	–0,60	0,00
	AO	–0,34	–0,67	0,40	–0,52	0,12
	SSTa_S (1, 2, 5)	–0,88	0,08	0,25	0,12	–0,37

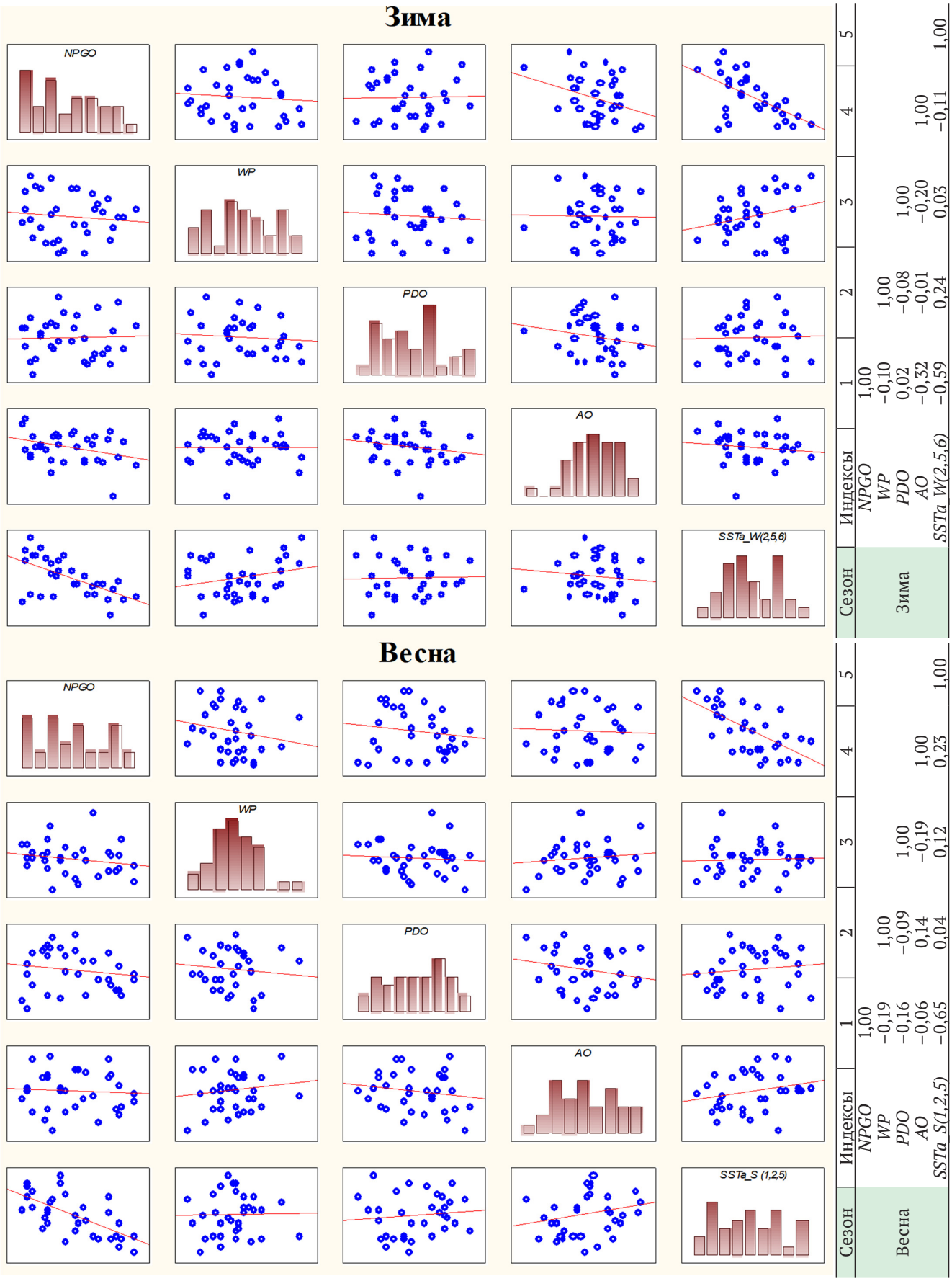


Рис. 10. Диаграммы рассеяния и корреляционная матрица значений *SSTa* и климатических индексов в зимний и весенний периоды по данным 1992–2024 гг.
Fig. 10. Scatter plots and correlation matrix of the values of the *SSTa* and climate indices in winter and spring based on the data for 1992–2024

можно подготовить только непосредственно перед началом лососевой путины. Это обусловлено особенностями жизненного цикла вида, который проводит в море/океане лишь 10–12 месяцев. Продолжительность морского/океанического периода жизни зависит от региональных закономерностей сроков ската молоди и захода производителей в нерестовые реки. Поэтому для горбуши долгосрочный прогноз всегда делается с заблаговременностью приблизительно в один год. Непосредственно для горбуши Северо-Восточной Камчатки при его подготовке используются следующие количественные данные:

– численность производителей на нерестилищах (июль–август, с лагом два года);

– численность молоди во время ската из рек в эстуарно-прибрежные воды (май–июнь, с лагом один год);

– численность молоди во время осенней откочевки от побережья в открытые морские/океанские воды (сентябрь–ноябрь, с лагом один год).

Краткосрочный прогноз с учетом условий зимнего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки может быть использован для оперативной корректировки долгосрочного прогноза с заблаговременностью приблизительно 4 месяца, так как лососевая путина в Карагинской подзоне начинается с середины июня. Соответственно, краткосрочный прогноз, учитывающий условия весеннего нагула, сокращает заблаговременность корректировки долгосрочного прогноза до 1 месяца.

В качестве базовых предикторов в работе использованы данные рядов наблюдений о нерестовом запасе (S) производителей в реках Северо-Восточной Камчатки и количестве сеголетков (SRV), учтенных на осенних траловых съемках в Беринговом море. Соответственно, в качестве климатических предикторов для зимы были включены *SSTa_W (2, 5, 6)* и *WP*, а для весны — *SSTa_S (1, 2, 5)* и *PDO*.

Статистические и графические данные моделирования прогнозов типа «запас – пополнение» с учетом климато-океанологических факторов в зимне-весенний период для определения численности возвратов (R) горбуши Северо-Восточной Камчатки представлены в таблицах 4 и 5, а также на рисунке 11.

Таблица 2. Описательная статистика многомерных регрессионных моделей зависимости «климатические индексы + *SSTa* – возврат» для горбуши Северо-Восточной Камчатки по данным 1992–2024 гг. (включение всех предикторов)
Table 2. Descriptive statistics of the multivariate regression models of the correlation “climate indices + the *SSTa* – return” for pink salmon in North-East Kamchatka based on the data for the period 1992–2024 (including all predictors)

Сезон Season	N	*R*	R^2	*SE*	*F*	*p*	Предикторы Predictors	*B*	*SE (B)*	*b*	*SE (b)*	*t*	*p*
Зима Winter	33	0,62	0,39	69,50	3,44	<0,05	Свободный член Free variable			56,39	14,66	3,85	<0,001
							NPGO	–0,09	0,21	–5,45	12,33	–0,44	0,662
							WP	0,35	0,16	40,85	18,40	2,22	<0,05
							PDO	–0,11	0,15	–8,72	12,31	–0,71	0,485
							AO	–0,07	0,18	–5,17	13,09	–0,40	0,696
							SSTa_W (2, 5, 6)	0,36	0,21	69,42	39,61	1,75	0,091
Весна Spring	33	0,57	0,32	73,36	2,54	0,052	Свободный член Free variable			55,90	15,92	3,51	<0,01
							NPGO	–0,17	0,22	–10,41	13,16	–0,79	0,436
							WP	0,01	0,17	0,99	21,04	0,05	0,963
							PDO	–0,26	0,17	–18,70	11,71	–1,60	0,122
							AO	0,12	0,17	16,51	23,10	0,71	0,481
							SSTa_S (1, 2, 5)	0,35	0,22	63,51	39,57	1,60	0,120

Таблица 3. Описательная статистика многомерных регрессионных моделей взаимосвязи «климатические индексы + *SSTa* – возврат» для горбуши Северо-Восточной Камчатки по данным 1992–2024 гг. (пошаговый отбор предикторов)
Table 3. Descriptive statistics of the multivariate regression models of the correlation “climate indices + the *SSTa* – return” for pink salmon in North-East Kamchatka based on the data for the period 1992–2024 (step-by-step selection of predictors)

Сезон Season	N	*R*	R^2	*SE*	*F*	*p*	Предикторы Predictors	*B*	*SE (B)*	*b*	*SE (b)*	*t*	*p*
Зима Winter	33	0,61	0,37	66,75	8,97	<0,001	Свободный член Free variable			59,57	12,99	4,59	<0,001
							SSTa_W (2, 5, 6)	0,42	0,15	80,62	28,37	2,84	<0,01
							WP	0,35	0,15	41,40	17,55	2,36	<0,05
Весна Spring	33	0,54	0,29	71,01	6,18	<0,01	Свободный член Free variable			53,74	15,05	3,57	<0,01
							SSTa_S (1, 2, 5)	0,50	0,15	89,32	27,80	3,21	<0,01
							PDO	–0,28	0,15	–19,70	10,95	–1,80	0,082

Коэффициенты детерминации обоих моделей очень близки: R^2 = 0,75–0,76, что дает объяснение приблизительно 75% изменчивости искомого признака. Это позволяет определить тенденцию динамики численности возвратов горбуши Северо-Восточной Камчатки. Однако коэффициенты детерминации практически совпадают с результатами схожего многомерного моделирования, выполненного в рамках долгосрочного прогнозирования рассматриваемой единицы запаса (Бугаев и др., 2024).

В статистике принято, что, если R^2 > 0,9, то говорят о высокой точности аппроксимации (модель хорошо описывает явление) (Курзаева, 2016). В случаях, когда R^2 лежит в диапазоне от 0,7 до 0,9, говорят об удовлетворительной аппроксимации (модель в целом адекватна описываемому явлению). Если R^2 < 0,6, принято считать, что точность аппроксимации недостаточна и модель требует улучшения (введения новых независимых переменных, учета нелинейности и т. д.).

Представленные выше модели соответствуют удовлетворительному уровню аппроксимации. Теоретически они могут служить для корректировки оценок потенциальных подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки. Однако их точность недостаточна для вынесения однозначных решений о необходимости подобных корректировок, поскольку долгосрочные модели имеют сходный уровень аппроксимации.

Более перспективным нам представляется использование в качестве базового предиктора данных об оценках численности молоди горбуши на осенних траловых съемках в Беринго-

Таблица 4. Описательная статистика регрессионной модели зависимости типа «запас – пополнение» с учетом климато-океанологических условий в зимний период для оперативного прогнозирования численности подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки по данным 1992–2024 гг.
Table 4. Descriptive statistics of the regression model of the correlation “stock – recruitment” taking into account climate and oceanological conditions in winter for the operational forecasting of the abundance of pink salmon runs in North-East Kamchatka based on the data for the period 1992–2024

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,867					
R^2	0,752					
Нормированный / adjusted) R^2	0,726					
SE	42,709					
Наблюдения / Observations	33					
Дисперсионный анализ / Analysis of variance						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p (F)*	
Регрессия / Regression	3	160 643,7	53 547,89	29,355	<0,001	
Остаток / Residual	29	52 899,32	1824,115			
Итого / Total	32	213 543				
Параметры / Parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	*CI –95%*	*CI +95%*
Свободный член / Free variable	9,007	11,263	0,799	0,430	–14,029	32,044
S	2,100	0,315	6,655	<0,001	1,455	2,746
SSTa_W (2, 5, 6)	31,812	19,585	1,624	0,115	–8,245	71,869
WP (зима / winter)	3,733	12,578	0,296	0,768	–21,993	29,459

Таблица 5. Описательная статистика регрессионной модели зависимости типа «запас – пополнение» с учетом климато-океанологических условий в весенний период для оперативного прогнозирования численности подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки по данным 1992–2024 гг.
Table 5. Descriptive statistics of the regression model of the correlation “stock – recruitment” taking into account climate and oceanological conditions in spring for the operational forecasting of the abundance of pink salmon runs in North-East Kamchatka based on the data for the period 1992–2024

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,872					
R^2	0,760					
Нормированный / (adjusted) R^2	0,735					
SE	42,063					
Наблюдения / Observations	33					
Дисперсионный анализ / Analysis of variance						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p (F)*	
Регрессия / Regression	3	162 233,2	54077,72	30,564	<0,001	
Остаток / Residual	29	51 309,84	1769,305			
Итого / Total	32	213 543				
Параметры / Parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	*CI –95%*	*CI +95%*
Свободный член / Free variable	5,519	10,985	0,502	0,619	–16,948	27,987
S	2,144	0,285	7,508	<0,001	1,560	2,728
SSTa_S (1, 2, 5)	34,483	18,040	1,911	0,065	–2,413	71,381
PDO (весна/spring)	–1,251	6,938	–0,180	0,858	–15,443	12,940

вом море. На этом этапе формируется основа численности потенциального возврата (Бирман, 1985; Карпенко, 1998; Шунтов, Темных, 2008), так как уже пройдены такие критические этапы жизненного цикла горбуши, как скат мальков из рек в прибрежье, а также откочевка молоди из прибрежья в открытые морские воды. По сути, именно эта часть запаса и будет осуществлять нагул в зимне-весенний период в Беринговом море и сопредельных водах северной части Тихого океана.

Результаты регрессионного анализа зависимости «учет в море + *SSTa* – возврат» для оперативного прогнозирования подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки представлены в таблицах 6 и 7, а также на рисунке 12.

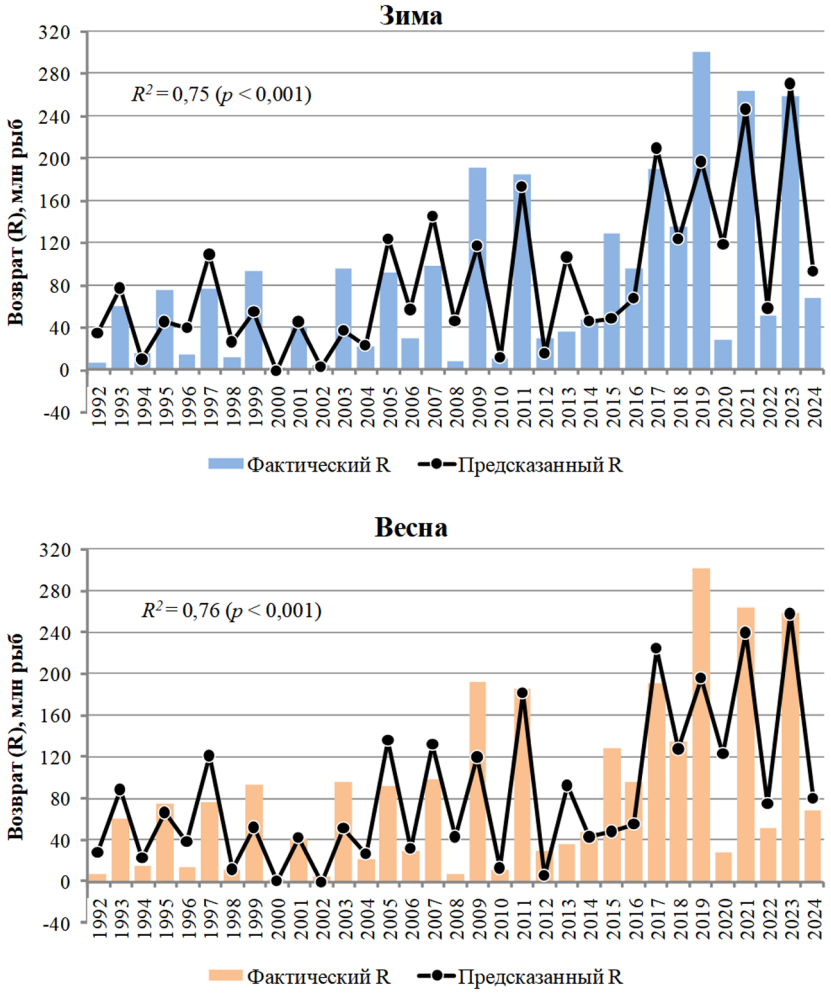


Рис. 11. Графики подбора предсказанных и наблюдаемых значений возвратов (R) горбуши Северо-Восточной Камчатки, полученных на основе регрессионных моделей зависимости типа «запас – пополнение» с учетом климато-океанологических факторов по данным 1992–2024 гг.
Fig. 11. Graphs of the pairs of predicted and observed values of returns (R) of North-East Kamchatka pink salmon, obtained on the basis of regression models of the stock-recruitment type correlation, taking into account climate and oceanographic factors according to data of the period 1992–2024

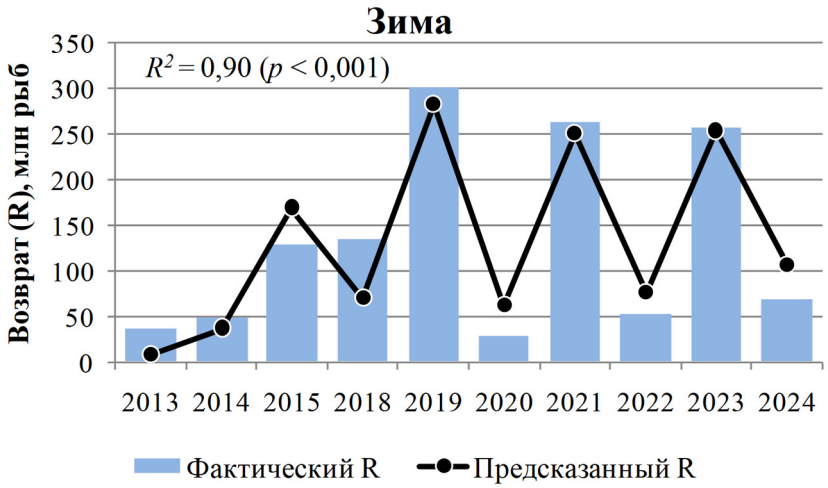
Таблица 6. Описательная статистика регрессионной модели зависимости «учет в море + *SSTa_W (2, 5, 6)* – возврат» для оперативного прогнозирования численности подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки по данным 2013–2024 гг.
Table 6. Descriptive statistics of the regression model of the correlation "account at sea + *SSTa_W (2, 5, 6)* – return" for the operational forecasting of pink salmon runs in North-East Kamchatka based on the data for the period 2013–2024

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,946					
R^2	0,895					
Нормированный / (adjusted) R^2	0,865					
SE	38,576					
Наблюдения Observations	10					
Дисперсионный анализ / Analysis of variance						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p (F)*	
Регрессия / Regression	2	89 046,529	44 523,265	29,919	< 0,001	
Остаток / Residual	7	10 416,794	1488,113			
Итого / Total	9	99 463,323				
Параметры / Parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	*CI –95%*	*CI +95%*
Свободный член / Free variable	–19,376	31,102	–0,623	0,553	–92,920	54,169
SRV	0,231	0,038	6,054	<0,01	0,141	0,322
SSTa_W (2, 5, 6)	80,523	50,315	1,600	0,154	–38,453	199,499

Из полученных результатов следует, что прогностический потенциал предлагаемых моделей заметно превосходит таковой по зависимости «запас – пополнение» с учетом климатических факторов (табл. 4 и 5). Для зимнего периода коэффициент детерминации (R^2) составляет 0,90, а для весеннего — 0,87. Полагаем, что модель, включающая оценки численности молоди в Беринговом море и данные о температурном режиме в зоне ее зимнего нагула, позволяет достаточно точно прогнозировать численность возвратов горбуши Северо-Восточной Камчатки. В данном случае максимальная заблаговременность корректиров-

Таблица 7. Описательная статистика регрессионной модели зависимости «учет в море + *SSTa_S (1, 2, 5)* – возврат» для оперативного прогнозирования численности подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки по данным 2013–2024 гг.
Table 7. Descriptive statistics of the regression model of the correlation “account at sea + *SSTa_S (1, 2, 5)* – return” for the operational forecasting of pink salmon runs in North-East Kamchatka based on the data for the period 2013–2024

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,934					
R^2	0,873					
Нормированный / (adjusted) R^2	0,836					
SE	42,541					
Наблюдения / Observations	10					
Дисперсионный анализ / Analysis of variance						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	2	86 795,175	43 397,588	23,980	< 0,01	
Остаток / Residual	7	12 668,148	1809,735			
Итого / Total	9	99 463,323				
Параметры / Parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	*CI –95%*	*CI +95%*
Свободный член / Free variable	3,631	27,403	0,133	0,898	–61,168	68,430
SRV	0,253	0,038	6,646	<0,001	0,163	0,344
SSTa_S (1, 2, 5)	32,596	35,108	0,928	0,384	–50,420	115,612



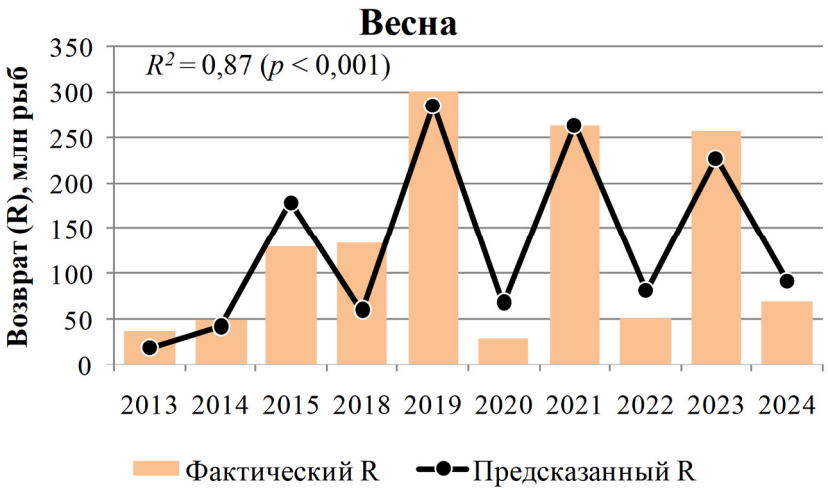


Рис. 12. Графики подбора предсказанных и наблюдаемых значений возвратов (R) горбуши Северо-Восточной Камчатки, полученных на основе регрессионных моделей зависимости «учет в море + *SSTa* – возврат» по данным 2013–2024 гг.
Fig. 12. Graphs of the pairs of predicted and observed values of returns (R) of North-East Kamchatka pink salmon, obtained on the basis of regression models of the counts at sea + *SSTa* – return according to data of the period 2013–2024

ки долгосрочных прогнозов составляет 4 месяца. Этого времени достаточно, чтобы принять административные решения по регулированию лососевого промысла в Карагинской подзоне. Однако следует признать, что настоящий ряд наблюдений (10 лет) пока недостаточен для разработки полноценных рекомендаций по данному вопросу. Необходимо продолжить ряд наблюдений для повышения репрезентативности полученных прогностических моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведенных исследований по оценке влияния климато-океанологических условий зимне-весеннего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки на ее численность были получены следующие результаты.

Оценены океанологические условия в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Северо-Восточной Камчатки в Беринговом море и сопредельных водах северной части Тихого океана в современный период. Отмечено, что температурный режим вод в местах нагула оказывает воздействие на динамику численности ее запасов. Полученные коэффициенты корреляций (*r*) по зависимости «*SSTa* – возврат» соответствовали 0,4–0,5.

С помощью регрессионных моделей зависимости «климатические индексы + *SSTa* – возврат» определены наиболее значимые климатические параметры, которые могут быть использованы в качестве предикторов для построения прогностических моделей с целью оперативного прогнозирования численности подходов горбуши Северо-Восточной Камчатки. В зимний период таковыми являются *SSTa_W (2, 5, 6)* и *WP*, в весенний период — *SSTa_S (1, 2, 5)* и *PDO*. В первом случае коэффициент множественной корреляции (*R*) составил 0,61, а во втором — 0,54.

Построены прогностические модели типа «запас – пополнение» и «учет в море – возврат» с учетом климато-океанологических факторов, влияющих на динамику численности возвратов горбуши Северо-Восточной Камчатки во время зимне-весеннего нагула. Первый тип связей характеризовался коэффициентами детерминации (R^2) на уровне 0,75–0,76, второй тип — 0,87–0,90. Наиболее перспективной для краткосрочного прогнозирования динамики численности горбуши Северо-Восточной Камчатки представляется зависимость «учет в море + *SSTa* – возврат».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: ВНИРО. 312 с.

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

Бугаев А.В. 2015. Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 416 с.

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

Бугаев А.В., Герлиц А.И. 2023. Характеристика нагульных миграций заводской молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период (региональная идентификация, численность и распределение уловов, биологические показатели, оценки смертности) // Изв. ТИНРО. Т. 203, вып. 1. С. 16–45. EDN: QCEING. doi:10.26428/1606-9919-2023-203-16-45

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2024. Климат и тихоокеанские лососи. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 280 с. EDN: YVAMSM. doi:10.15853/9785902210467

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

Грачев Л.Е., Горшков С.А., Добрынина М.В., Бедных А.М. 1982. Динамика численности и биология горбуши. Годовой отчет. № 4455. Архив КамчатНИРО. Петропавловск-Камчатский. 125 с.

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

Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. 2013. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 304 с.

К*еткина О.С.* 2020. Возможности MS Excel для регрессионного анализа (Электрон. текст. ресурс). Екатеринбург: Уральский федер. ун-т. 43 с.

(https://study.urfu.ru/Aid/Publication/14132/1/ЭОР-Кеткина%20О.С._%202020.pdf)
Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО. 235 с.
Кровнин А.С. 2020. Роль крупномасштабных климатических факторов Северного полушария в многолетних колебаниях запасов основных объектов российского промысла : Дис. … канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 149 с.
Курзаева Л.В. 2016. Регрессионный анализ в электронных таблицах // Междунар. журнал прикладных и фундамент. исследований. № 12 (7). С. 1234–1238.
Никольский В.Г. 1974. Экология рыб. М.: Высшая школа. 367 с.
Смирнов А.И. 1975. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей. М.: МГУ. 336 с.
Фельдман М.Г. 2020. Использование метода RandomForest в целях прогнозирования подходов горбуши северо-востока Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 59. С. 76–96. EDN: AITTJF. doi:10.15853/2072-8212.2020.59.76-96
Фельдман М.Г., Бугаев А.В. 2021. Современные принципы управления запасами горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Камчатского края (динамика численности, прогнозирование, регулирование промысла) // Вопр. рыболовства. Т. 22, № 4. С. 86–95. EDN: ZGVWVD. doi:10.36038/0234-2774-2021-22-4-86-95
Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. 2015. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и факторов внешней среды // Изв. ТИНРО. Т. 185. С. 88–114.
Халафян А.А. 2008. Statistica 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс». 512 с.
Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 1. 481 с.
Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 2. 473 с.
Barnston A.G., Livezey R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. Vol. 115. P. 1083–1126.
Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Chhak K., Franks P.J.S., Miller A.J., McWilliams J.C., Bograd S.J., Arango H., Curchister E., Powell T.M., Rivere P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change / Geophys. Res. Lett., 35, L08607, doi:10.1029/2007GL032838
Folland C.K., Parker D.E. 1995. Correction of instrumental biases in historical sea surface temperature data // Q. J. R. Meteorol. Soc. № 121. P. 319–367.
Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. 2005. Objective analyses of sea-surface temperature and marine meteorological variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe collection // Int. J. Climatol. № 25. P. 865–879.
Japan Meteorological Agency. 2006. Characteristics of Global Sea Surface Temperature Analysis Data (COBE-SST) for Climate Use. Monthly Report on Climate System Separated. Vol. 12. 116 p.
Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // Bull. of the American Meteorological Society. Vol. 78. P. 1069–1079.
Ricker W.E. 1954. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Bd. of Canada. Vol. 11 (5). P. 559–623.
Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bull. of the Fish. Res. Bd. of Canada. № 191. 382 p.
Thompson D.W.J., Wallace J.M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // Geophysical Research Letters. № 25. P. 1297–1300.

REFERENCE

Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasiliev D.A., Ilyin O.I., Kovalev Yu.A., Mikhailov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremetyev A.D. Methodological recommendations on assessment of reserves of priority types of aquatic biological resources. Moscow: VNIRO, 2018, 312 p. (In Russ.)
Birman I.B. *Morskoj period zhizni i voprosi dinamiki chislennosti stada tihookeanskih lososey* [Marine period of life and issues of population dynamics of Pacific salmon]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 208 p.
Bugaev A.V. *Predneresovye migratsii tihookeanskih lososey v economicheskoy zone Rossii* [Prespawning migrations of Pacific salmon in the Economic zone of Russia]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2015, 416 p.
Bugaev A.V. Evaluation of contributions of stock abundance and global temperature anomaly to mean body weight of pacific salmons in the North Pacific basin. *Izvestiya TINRO*, 2017, vol. 191 (4), pp. 3–33. (In Russ.) EDN: ZUFHEN. doi:10.26428/1606-9919-2017-191-3-33
Bugaev A.V., Gerlits A.I. Characteristics of feeding migrations of hatchery juveniles of Pacific salmon in the basin of Okhotsk Sea and adjacent Pacific waters in the autumn-winter period (re-

gional identification, abundance and distribution of catches, biological indices, estimates of mortality). *Izvestiya TINRO*, 2023, vol. 203 (1), pp. 16–45. (In Russ.) EDN: QCEING. doi:10.26428/1606-9919-2023-203-16-45

Bugaev A.V., Tepnin O.B. *Klimat i tihookeanskie lososi* [Climate and Pacific salmon]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2024, 280 p. EDN: YVAMSM. doi:10.15853/9785902210467

Bugaev A.V., Tepnin O.B., Shpigalskaya N.Yu., 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. *Izvestiya TINRO*, 2024, vol. 204 (2), pp. 477–508. (In Russ.) EDN: KKJUSG. doi:10.26428/1606-9919-2024-204-477-508

Grachev L.E., Gorshkov S.A., Dobrynina M.V., Bednykh A.M. *Dinamika chislennosti I biologiya gorbushi* [Stock abundance and biology of pink salmon]. *Annual report* № 4455, Petropavlovsk-Kamchatsky: archive KamchatNIRO, 1982, 125 p. (In Russ.)

Karpenko V.I. *Rannij morskoj period zhizni tihookeanskih lososey* [Early marine period of life of Pacific salmon]. Moscow: VNIRO, 1998, 165 p.

Karpenko V.I., Andrievskaya L.D., Koval M.V. *Pitanie i osobennosti rosta tikhookeanskix lososej v morskih vodah* [Nutrition and growth characteristics of Pacific salmon in marine waters]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2013, 304 p.

Ketkina O.S. *Vozmozhnosti MS Excel dlya regressionnogo analiza (Elektron. text. resurs)* [MS Excel Capabilities for Regression Analysis (Electronic text resource)]. Yekaterinburg: Ural Federal University, 2020, 43 p. URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/14132/1/ЭОР-Кеткина%20О.С._%202020.pdf (дата обращения 06.06.2025).

Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. *Tsyklicheskie izmenenija klimata i ryboproduktivnosti* [Cyclical changes in climate and fish productivity]. Moscow: VNIRO, 2005, 235 p.

Krovnin A.S. *Rol' krupnomaschtabnyh klimaticheskih faktorov Severnogo polusharija v mnogoletnih kolebanijah zapasov osnovnyh objektov rossijskogo promysla* [The role of large-scale climatic factors of the Northern Hemisphere in long-term fluctuations in the stocks of the main objects of Russian fishing]. *Dissertation for the Candidate of Biological Sciences,* Moscow: VNIRO, 2020,149 p.

Kurzaeva L.V. Regression analysis in spreadsheets. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, № 12 (7), pp. 1234–1238.

Nikolskiy V.G. *Ekologija ryb* [Fish ecology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1974, 367 p.

Smirnov A.I. *Biologija, razmnozhenie i razvitie tikhookeanskikh lososej* [Biology, reproduction and development of Pacific salmon]. Moscow: MGU, 1975, 336 p. (In Russ.). URL: http://hdl.handle.net/123456789/3731 (дата обращения 06.06.2025).

Feldman M.G. Using the decisions of the *Random Forest* algorithm for the purposes of forecasting pink salmon runs on North-Eastern Kamchatka. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 59, pp. 76–96. (In Russ.) EDN: AITTJF. doi:10.15853/2072-8212.2020.59.76-96

Feldman M.G., Bugaev A.V. Modern principles of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) stocks mabagement in the Kamchatka Region (population dynamics, forecasting, fishing regulation). Problems of Fisheries, 2021, vol. 22, № 4, pp. 86–95. (In Russ.) EDN: ZGVWVD. doi:10.36038/0234-2774-2021-22-4-86-95

Feldman M.G., Shevlyakov E.A. Survival of Kamchatka pink salmon as result of combined influence of density regulation and environmental factors. *Izvestiya TINRO*, 2015, vol. 185, pp. 88–114. (In Russ.) URL: http://dx.doi.org/10.26428/1606-9919-2015-182-88-114 (дата обращения 06.06.2025).

Khalafyan A.A. *Statistika 6. Statisticheskiy* analiz *dannykh* [Statistica 6. Statistical. Data Analysis]. 3-rd edition. Moscow: OOO "Binom-Press", 2008, 512 p.

Shuntov V.P., Temnykh O.S. Pacific salmon in marine and ocean ecosystems. Vladivostok: TINRO-Center, 2008, vol. 1, 481 p. (In Russ.)

Shuntov V.P., Temnykh O.S. Pacific salmon in marine and ocean ecosystems. Vladivostok: TINRO-Center, 2008, vol. 2, 473 p. (In Russ.)

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, vol. 115, pp. 1083–1126.

Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Chhak K., Franks P.J.S., Miller A.J., McWilliams J.C., Bograd S.J., Arango H., Curchister E., Powell T.M., Rivere P. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, 35, L08607, doi:10.1029/2007GL032838

Folland C.K., Parker D.E. Correction of instrumental biases in historical sea surface temperature data. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 1995, № 121, pp. 319–367.

Ishii M., Shouji A., Sugimoto S., Matsumoto T. Objective Analyses of Sea-Surface Temperature and Marine Meteorological Variables for the 20th Century using ICOADS and the Kobe Collection. *Int. J. Climatol.*, 2005, № 25, pp. 865–879.

Japan Meteorological Agency. Characteristics of Global Sea Surface Temperature Analysis Data (COBE-SST) for Climate Use. *Monthly Report on Climate System Separated*, 2006, vol. 12, 116 p.
Mantua N.J., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. of the American Meteorological Society*, 1997, vol. 78, pp. 1069–1079.
Ricker W.E. Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Bd. of Canada*, 1954, vol. 11 (5), pp. 559–623.
Ricker W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. of the Fish. Res. Bd. of Canada*, 1975, № 191, 382 p.
Thompson D.W.J., Wallace J.M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 1998, № 25, pp. 1297–1300.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHOR CONTRIBUTION

А.В. Бугаев — написание статьи, аналитика и расчеты; О.Б. Тепнин — анализ океанологических условий и подготовка первичного материала; А.С. Кровнин — анализ океанологических условий.
A.V. Bugaev – writing the article, analytics and calculations; O.B. Tepnin – analysis of oceanographic conditions and preparation of primary material; A.S. Krovnin – analysis of oceanographic conditions.

Информация об авторах
А.В. Бугаев — докт. биол. наук, зам. руководителя Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО), *a.bugaev@kamniro.vniro*.ru.
ORCID: 0000-0001-6646-3241
О.Б. Тепнин — зав. сектором океанографии, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), *o.tepnin@kamniro.vniro.ru*.
ORCID: 0000-0001-9596-4336
А.С. Кровнин — докт. геогр. наук, начальник отдела динамики климата и водных экосистем, ВНИРО, *akrovnin@vniro.ru*.
ORCID: 0009-0001-8397-8535

Information about the authors
Alexandr V. Bugaev – D. Sc. (Biology), Deputy Head of KamchatNIRO, *a.bugaev@kamniro.vniro.ru*.
ORCID: 0000-0001-6646-3241
Oleg B. Tepnin – Head of Oceanography Division, Kamchatka Branch of VNIRO (KamchatNIRO), *o.tepnin@kamniro.vniro*.ru.
ORCID: 0000-0001-9596-4336
Andrey S. Krovnin – D. Sc. (Geography), Head of the Department of climate dynamics and aquatic ecosystems, VNIRO, *akrovnin@vniro.ru*.
ORCID: 0009-0001-8397-8535

Статья поступила в редакцию / Received: 10.06.2025
Одобрена после рецензирования / Revised: 01.07.2025
Статья принята к публикации / Accepted: 02.07.2025

Оригинал-макет создан в полном соответствии с качеством предоставленных автором оригиналов рисунков, графиков и таблиц

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 41–56.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 41–56.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.552.511:575.174(282.257.166)
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.41-56
EDN: CSEBYO

К ВОПРОСУ О ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) ОЗ. КУРИЛЬСКОГО

Пильганчук Оксана Александровна[1]✉, Крыженовская Валентина Васильевна[2], Денисенко Анастасия Дмитриевна[1], Савенков Владимир Владимирович[1], Муравская Ульяна Олеговна[1]

[1]Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru✉
[2]Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. Исследована популяционно-генетическая структура нерки оз. Курильского по 9 микросателлитным локусам. Средние оценки наблюдаемой гетерозиготности по разным локусам варьировали от 0,260 до 0,906. Анализ попарной дифференциации (F_{st}) показал, что различия наблюдаются только между выборками разных сезонных форм. Результаты исследования на основе байесовской кластеризации выборок в программном пакете Structure позволили выявить два кластера, образованных образцами разного времени нереста. Анализ полученных материалов позволил выявить прохождение всеми выборками раннего хода «горлышка бутылки». Обнаруженное сокращение численности произошло вероятнее всего в относительно недавний период времени.

Ключевые слова: генетическая структура, популяционная генетика, нерка, микросателлитные локусы, дифференциация, популяционно-генетическая структура.

Благодарности: за помощь в сборе материала — сотрудникам Камчатского филиала ВНИРО В.А. Дубынину и С.А. Травину.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Пильганчук О.А., Крыженовская В.В., Денисенко А.Д., Савенков В.В., Муравская У.О. К вопросу о популяционно-генетической структуре нерки (*Oncorhynchus nerka*) оз. Курильского // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2024. Вып. 76. С. 41–56. EDN: CSEBYO. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.41-56

ON THE POPULATION GENETIC STRUCTURE OF SOCKEYE SALMON (*ONCORHYNCHUS NERKA*) IN THE KURILE LAKE

Oksana A. Pilganchuk[1]✉, Valentina V. Kryzhenovskaya[2], Anastasiya D. Denisenko[1], Vladimir V. Savenkov[1], Ulyana O. Muravskaya[1]

[1]Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru✉
[2]Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. Genetic structure of sockeye salmon population in the Kurile Lake was examined for 9 microsatellite loci. Average estimates of heterozygosity for different loci ranged from 0.260 to 0.906. Pairwise differentiation (F_{st}) analysis showed differences between samples of different seasonal forms only. The results of the study based on Bayesian clustering of samples in the software package “Structure” allowed us to identify two clearly separating clusters coinciding with the separation of samples by spawning time. The results revealed that all samples of the early run had passed the bottle-neck stage. The observed decline in stock abundance is most likely relatively recent.

Keywords: genetic structure, population genetics, sockeye salmon, microsatellite loci, differentiation, population genetic structure.

Acknowledgements: Special thanks to Vladimir A. Dubynin and Sergey A. Travin (Kamchatka Branch of the VNIRO) for their help in sampling the data.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Pilganchuk O.A., Kryzhenovskaya V.V., Denisenko A.D., Savenkov V.V., Muravskaya U.O. On the population genetic structure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in the Kurile Lake // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 41–56. (In Russ.) EDN: CSEBYO. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.41-56

© Пильганчук О.А., Крыженовская В.В., Денисенко А.Д., Савенков В.В., Муравская У.О.

Нерка (*Oncorhynchus nerka*) — один из наиболее важных промысловых объектов северной части Тихого океана. Вид характеризуется сложной популяционно-генетической структурой, моноцикличностью (рыбы погибают после нереста) и хомингом (способностью возвращаться после миграций в родной водоем). На азиатской части ареала самая большая популяция нерки нерестится в оз. Курильском. Озеро расположено на юге Камчатского полуострова и относится к бассейну р. Озерной. В озере встречаются три типа нерестилищ: озерные, расположенные на литорали озера; речные, расположенные в реках, впадающих в озеро; нерестилища в ключах (Крохин, Крогиус, 1937; Остроумов, 1970). На одних и тех же нерестилищах нерка может нереститься несколько раз за сезон. Нерестовый ход нерки в р. Озерной сильно растянут и обычно начинается в конце мая и завершается в начале ноября (Егорова, 1968). Четкого деления на сезонные периоды в нерестовом ходе нет, и в связи с этим у исследователей сложились различные взгляды на популяционную структуру озерновской нерки. Долгое время считалось, что стадо однородно и имеет лишь одну сезонную расу — позднюю (Егорова, 1970; Крогиус, 1983). По мнению С.М. Коновалова (Коновалов, 1980), стадо озерновской нерки сформировано большим числом субизолятов (субпопуляций) летней расы.

Стадо нерки оз. Курильского хорошо изучено. Первые экспедиционные данные о его биологии и экологии были получены еще в 1932–1933 гг. (Крохин, Крогиус, 1937). Для учета проходящей на нерест нерки в 1940 г. примерно в 9–12 км от истока р. Озерной было построено временное рыбоучетное заграждение (РУЗ), а чуть позже, в 1941 г., выше по течению реки, в районе Кутхиных Батов, был организован стационарный наблюдательный пункт Камчатской станции ВНИРО (в настоящее время — Камчатского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») (Лепская, 2021). В 1967 г. РУЗ перенесли в район истока р. Озерной, где оно находится и сейчас.

Ежегодно сотрудники института выполняют комплекс различных научных исследований для оценки состояния стада нерки р. Озерной и разработки рекомендаций, направленных на поддержание высокой численности. Ключевое направление в изучении озерновской нерки занимают работы по исследованию популяционной структуры. Особое внимание уделяется исследованиям подразделенности нерки на разобщенные в пространстве и по времени размножения субпопуляции, поскольку известно, что сложная структура популяций значительно повышает устойчивость к воздействию внешних условий, в частности промысла (Алтухов, 1974).

В последние десятилетия исследования по изучению популяционной структуры нерки в бассейне оз. Курильского проводятся с использованием генетических методов. Так, в 1980-е годы сотрудниками КамчатНИРО и ТИНРО выполнялись работы на основе анализа аллозимных генов. Они позволили выделить генетические различия между рыбами раннего и позднего времени нереста и с нерестилищ различных типов (Мацак, 1983; Варнавская, 1988). В начале 2000-х годов в КамчатНИРО был проведен микросателлитный анализ выборок, собранных в бассейне озера на нерестилищах нескольких типов, в результате чего также были показаны различия между выборками нерки, принадлежащей к разным сезонно-экологическим формам (Варнавская, 2006; Пильганчук и др., 2010). Идентификация смешанных выборок нерки из уловов промышленных неводов в нижнем течении р. Озерной, выполненная с использованием частот микросателлитных локусов, позволила определить соотношение особей ранней и поздней сезонных форм в различные периоды нерестового хода (Пильганчук и др., 2012, 2014). Было показано, что особи, анадромная миграция которых проходит до середины июля, вероятнее всего, относятся к ранней форме.

Сведения о структуре стада оз. Курильского используются при подготовке ежегодной стратегии промысла тихоокеанских лососей в Камчатском крае. В соответствии с полученной информацией, промысловую нагрузку на нерку ранней и поздней формы распределяют равномерно, с учетом естественной популяционно-генетической структуры: регулируются даты открытия и закрытия промысла, устанавливаются проходные дни, при необходимости вводятся дополнительные ограничительные меры. Эффективность используемой модели управления промыслом подтверждается высокой численностью озерновской нерки в современный период. В 2001–2020 гг. береговые уловы лососей в среднем за год составляли 19,6 тыс. т (Дубынин, 2023).

Следует отметить, что численность популяции оз. Курильского не всегда была на таком высоком уровне. Так, в конце 1960-х – начале 1970-х годов количество возвращавшейся к устью р. Озерной нерки не превышало 1,5 млн

особей. Причиной низкой численности стада нерки р. Озерной в данный период, по оценкам специалистов (Егорова и др., 1961; Крогиус, 1961; Селифонов, 1975; Вронский, 1978), был японский нерегулируемый дрифтерный промысел лососей в море. К снижению численности стада могут привести различные причины: например, изменения структуры нерестовых популяций, нерациональное ведение и селективность промысла, влияние климатических факторов, обеспеченность пищей, ухудшение условий нагула молоди и многие другие. Недостаточная информация о популяционной организации и эколого-темпоральной дифференциации популяций лососей, приходящих в реки на нерест, также может способствовать снижению численности стада (Иванков, Иванкова, 2015). В представленной работе мы рассматриваем популяционно-генетическую структуру нерки оз. Курильского на основе аллельной изменчивости микросателлитных локусов ядерной ДНК с учетом новых данных, собранных в 2015 г.

Цель настоящего исследования — расширить представление о популяционно-генетической структуре нерки оз. Курильского.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В 2015 г. сбор материала осуществлялся в бассейне оз. Курильского на нерестилищах рек Выченкия, Хакыцин, Оладочная и Этамынк (рис. 1, табл. 1). Генетические пробы производителей нерки на каждом нерестилище отбирались в июле (24.07.2015) и сентябре (15.09.2015). В 2015 г. по техническим причинам взять пробы на речных нерестилищах не удалось, и пробы были отобраны в устьевой зоне нерестовых рек (рис. 1). Для проведения

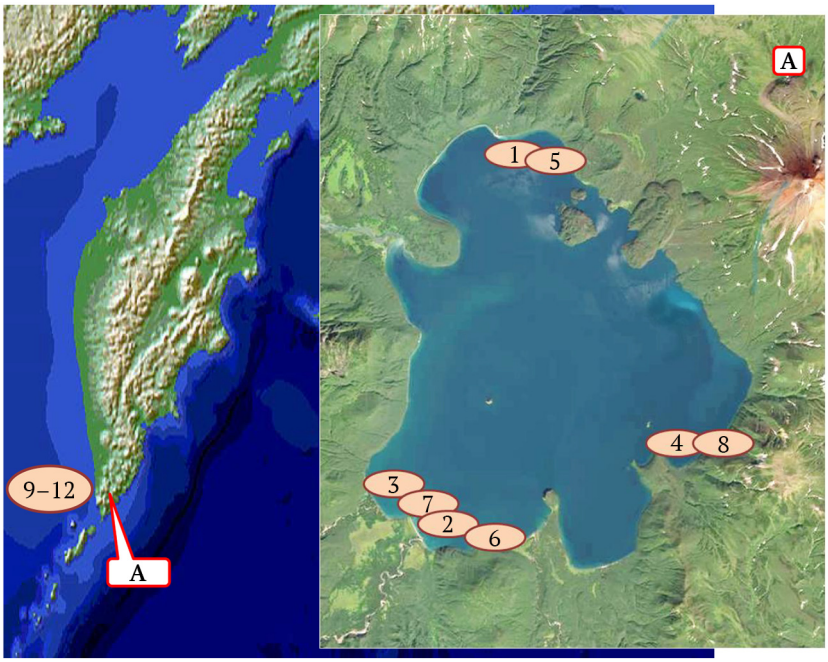


Рис. 1. Карта-схема сбора материала. 1 — VYCH1; 2 — KHAK1; 3 — ETAM1; 4 — OLAD1; 5 — VYCH2; 6 — KHAK2; 7 — ETAM2; 8 — OLAD2; 9 — OZER1; 10 — OZER2; 11 — OZER3; 12 — OZER4. Обозначения выборок приведены в табл. 1
Fig. 1. Schematic map of material collection. 1 – VYCH1; 2 – KHAK1; 3 – ETAM1; 4 – OLAD1; 5 – VYCH2; 6 – KHAK2; 7 – ETAM2; 8 – OLAD2; 9 – OZER1; 10 – OZER2; 11 – OZER3; 12 – OZER4. The sample designations are given in Table 1

Таблица 1. Характеристика материала, использованного для исследования изменчивости нерки бассейна оз. Курильского
Table 1. Characteristics of the data used for to study sockeye salmon variability of the Kurile Lake basin

№	Место сбора Sampling site	Дата сбора Sampling date	Условное обозначение Legend	Объем выборки, экз. Sample size, pcs
1	Устье р. Выченкия / Vychenkiya R. mouth	24.07.2015	VYCH1	48
2	Устье р. Хакыцин / Khakytsyn R. mouth	24.07.2015	KHAK1	48
3	Устье р. Этамынк / Etamynk R. mouth	24.07.2015	ETAM1	48
4	Устье р. Оладочная / Oladochnaya R. mouth	24.07.2015	OLAD1	48
5	Устье р. Выченкия / Vychenkiya R. mouth	15.09.2015	VYCH2	48
6	Устье р. Хакыцин / Khakytsyn R. mouth	15.09.2015	KHAK2	48
7	Устье р. Этамынк / Etamynk R. mouth	15.09.2015	ETAM2	48
8	Устье р. Оладочной / Oladochnaya R. mouth	15.09.2015	OLAD2	48
9	Р. Озерная, нижнее течение Ozernaya R., low part	13.07.2011	OZER1	50
10	Устье р. Озерной / Ozernaya R. mouth	22.07.2011	OZER2	50
11	Р. Озерная, нижнее течение Ozernaya R., low part	02.08.2011	OZER3	50
12	Р. Озерная, нижнее течение Ozernaya R., low part	16.08.2011	OZER4	50

сравнительного анализа были использованы данные 2011 г., опубликованные ранее (Пильганчук и др., 2012). Пробы брали из уловов промышленных неводов ОАО «Озерновский РКЗ № 55» в нижнем течении р. Озерной и морского ставного невода (рис. 1, табл. 1). Выборки были отобраны с приблизительно равными временными интервалами (13.07.2011, 22.07.2011, 02.08.2011 и 16.08.2011). Особи, пойманные 13.07, условно отнесены в настоящем исследовании к «ранним», а выборка от 16.08, отобранная более чем с месячным интервалом, считалась «поздней».

Всего проанализировано 12 выборок нерки, в количестве 584 экз. Для выполнения популяционно-генетических исследований были отобраны девять микросателлитных локусов — *Oki*1a, *Oki*1b, *Oki*6 (Smith et al., 1998), *Ots*107 (Nelson, Beacham, 1999), *Ots*G68 (Williamson et al., 2002), *One*104, *One*109 (Olsen et al., 2000), *Omm*1037G (Rexroad et al., 2002), *Omy*301 (Jackson et al., 1998). Для локуса *Omm*1037 использован модифицированный праймер (Рубцова и др., 2016); соответственно, локус обозначен как *Omm*1037G.

Тотальную ДНК выделяли стандартным методом с рядом модификаций (Маниатис и др., 1984). Условия проведения ПЦР (полимеразная цепная реакция) описаны ранее (Пильганчук, 2015). В качестве маркера длин фрагментов использовали ДНК плазмиды pBR322, обработанную рестриктазой *HpaII*. Продукты амплификации разделяли в 6%-м неденатурирующем полиакриламидном геле в 0,5×TBE-буфере, pH 8,0 (Маниатис и др., 1984) при 300В, окрашивали бромистым этидием и фотографировали в УФ-свете.

Частоты аллелей, ожидаемую H_e и наблюдаемую H_o гетерозиготности, параметры *F*-статистики (F_{is}, F_{it} и F_{st}), генетическое разнообразие локусов в популяциях, соответствие распределению Харди–Вайнберга рассчитывали в программном пакете GenAlEx6 (Peakall, Smouse, 2006). Анализ главных координат (PCoA), аллельного разнообразия, расчет количества аллелей (N_a), количества эффективных аллелей (N_e) также проводили в программе GenAlEx6 (Peakall, Smouse, 2006). Оценки аллельного разнообразия, скорректированные для единого минимального объема выборки, выполняли в Fstat 2.9.3 (Goudet, 1995).

В качестве меры количественной оценки различий между популяциями использовали генетические дистанции, рассчитанные по методу М. Нея (Nei, 1987). Для оценки информативности микросателлитных локусов вычисляли показатель уровня информационного полиморфизма (polymorphism information content, *PIC*) в программном приложении Cervus 3.0.7 (Botstein et al., 1980).

Для изучения генетической дифференциации F_{st} выполняли вычисления с помощью программы Arlequin ver. 3.5 (Excoffier, Lischer, 2010). Иерархический анализ молекулярной дисперсии AMOVA также проводили в программе Arlequin ver. 3.5. Определение количества генетических кластеров выполняли в программе Structure 2.3.4. с использованием метода численного моделирования Монте-Карло по схеме Марковских цепей при заданном числе K (вероятное число самостоятельных групп) от 1 до 12, модель “admixture” (Pritchard et al., 2000). Для каждого предполагаемого числа кластеров K анализ повторяли 10 раз. Количество генераций Марковских цепей составило 500 000 итераций при предварительном выборе стартовой точки (burn in) в течение 100 000 итераций. Наиболее вероятному числу кластеров соответствовало наибольшее среднее значение логарифма правдоподобия LnPr (X/K). Количество генетических кластеров определяли в программе StructureSelector (Li, Liu, 2018) на основе метода Пюхмайля (Puechmaille, 2016) и по методу Эванно (Evanno et al., 2005).

Анализ прохождения стадии «бутылочное горлышко» выполняли с использованием программного обеспечения Bottleneck V. 1.2.02 (Cornuet, Luikart, 1996; Piry et al., 1999) для трех различных моделей эволюционных изменений микросателлитных локусов: модели бесконечных аллелей (IAM), двухступенчатой модели (TPM) и пошаговой модели мутации (SMM). Как принято считать (Di Rienzo et al., 1994), модель TPM лучше других характеризует эволюцию микросателлитов. Для TPM предполагался 90%-й вклад SMM-мутаций. Также был проведен анализ смещения распределения частот аллелей микросателлитных локусов методом shift-mode (Luikart, Cornuet, 1998).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения генетической изменчивости нерки в бассейне оз. Курильского по 9 микросателлитным локусам суммарно было обнаружено 72 аллеля (табл. 2). Самым высокополиморфным был локус *One*104 (21 аллель), минимальное число аллелей (3) отмечено в локусе *Omy*301. Среднее число аллелей на локус

составило 8. Аллельное разнообразие изменялось от 2,94 до 16,55. Средняя наблюдаемая гетерозиготность принимала наибольшее значение в локусе *One*104 (0,906), наименьшее — в *Omy*301 (0,138) (табл. 2). Небольшой дефицит гетерозигот наблюдался в локусах *Oki*6 и *Omy*301 (индивидуальный индекс фиксации F_{is} — 0,085 и 0,094 соответственно). Популяционный индекс фиксации F_{it} принимал значения от минус 0,076 (локус *Omm1037*G) до 0,101 и 0,102 в локусах *Oki*6 и *Omy*301. Субпопуляционный индекс фиксации F_{st} во всех локусах принимал низкие значения (<0,05), что свидетельствует о слабой дивергенции выборок в бассейне озера. Значение индекса информационного полиморфизма (*PIC*) было наименьшим для локуса *Omy*301 (0,147) и наибольшим — для *One*104 (0,898). В среднем по всем локусам показатель *PIC* составил 0,475, что указывает на достаточную информативность отобранных микросателлитных маркеров.

Генетические характеристики микросателлитных локусов нерки из уловов промышленных неводов в нижнем течении р. Озерной представлены в таблице 3. Суммарно в смешанных выборках было обнаружено меньше аллелей (63), чем на нерестилищах озера (таблица 3). Наиболее полиморфным (как и в оз. Курильском) был локус *One*104 (18 аллелей), минимальное число аллелей (3) отмечено в локусе *Omy*301. Среднее число аллелей на локус (6,9) и среднее число эффективных аллелей (3,134) было меньше в выборках из нижнего течения р. Озерной.

Анализируемые выборки озерновской нерки характеризуются небольшим количеством среднего числа аллелей на выборку (от 5,3 до 6,5), число эффективных аллелей варьировало от 2,946 до 3,473 (табл. 4). Средние значения наблюдаемой гетерозиготности в выборках нерки были невысокими и варьировали от 0,469 до 0,566. Небольшой дефицит гетерозигот отмечен в выборке р. Озерной (22.07.2011).

Таблица 2. Генетические характеристики микросателлитных локусов нерки с нерестилищ оз. Курильского
Table 2. Genetic characteristics of microsatellite loci of sockeye salmon from the Kurile Lake spawning grounds

Локус Locus	Размер фрагмента, п. н. Fragment size, NP	A/A_r	N_e	H_e	H_o	F_{is}	F_{it}	F_{st}	*PIC*
*Ots*107	88–132	8/4,98	1,361	0,263	0,260	0,011	0,019	0,008	0,255
*Oki*1a	144–160	5/3,55	1,990	0,494	0,517	–0,047	–0,022	0,024	0,405
*Oki*1b	104–120	5/3,96	1,757	0,428	0,435	–0,015	–0,008	0,007	0,367
*One*109	124–184	15/12,51	7,315	0,860	0,861	–0,001	0,008	0,009	0,856
*OtsG*68	140–152	4/3,12	2,173	0,539	0,548	–0,017	–0,004	0,012	0,442
*Oki*6	76–92	6/4,43	1,773	0,430	0,393	0,085	0,102	0,018	0,389
*One*104	116–204	21/16,55	9,498	0,893	0,906	–0,015	–0,003	0,012	0,898
*Omm*1037G	197–217	5/4,09	2,437	0,589	0,641	–0,088	–0,076	0,011	0,519
*Omy*301	66–70	3/2,94	1,181	0,152	0,138	0,094	0,101	0,008	0,147
Среднее / Mean		8/6,24	3,276	0,524	0,523	0,001	0,013	0,012	0,475

Примечание. *A* — число аллелей в локусе; A_r — число аллелей в локусе, скорректированное на минимальный размер выборки; N_e — среднее число эффективных аллелей по всем выборкам; H_e — средняя ожидаемая гетерозиготность; H_o — средняя наблюдаемая гетерозиготность; F_{is}, F_{it} и F_{st} — индексы фиксации; *PIC* — величина информационного полиморфизма.
Note. *A* – number of alleles at the locus; A_r – number of alleles at the locus corrected for minimum sample size; N_e – average number of effective alleles across all samples; H_e – average expected heterozygosity; H_o – average observed heterozygosity; F_{is}, F_{it} and F_{st} – fixation indices; *PIC* – polymorphic information content.

Таблица 3. Генетические характеристики микросателлитных локусов нерки из промышленных уловов в устьевой зоне и нижнем течении р. Озерной
Table 3. Genetic characteristics of microsatellite loci of sockeye salmon from commercial catches in the low part and mouth of Ozernaya River

Локус Locus	Размер фрагмента, п. н. Fragment size, NP	A/A_r	N_e	H_e	H_o	F_{is}	F_{it}	F_{st}	*PIC*
*Ots*107	88–128	5/4,16	1,373	0,271	0,267	0,002	0,013	0,011	0,261
*Oki*1a	144–160	5/3,09	1,895	0,457	0,469	–0,024	0,000	0,024	0,378
*Oki*1b	108–120	4/3,67	1,940	0,508	0,482	–0,029	–0,015	0,014	0,399
*One*109	124–180	14/12,89	7,424	0,845	0,864	0,006	0,019	0,013	0,867
*OtsG*68	136–152	5/3,46	2,230	0,558	0,551	–0,015	–0,002	0,012	0,460
*Oki*6	76–92	4/3,97	1,861	0,457	0,445	0,047	0,067	0,020	0,406
*One*104	120–200	18/14,81	8,141	0,886	0,877	–0,013	–0,001	0,012	0,874
*Omm*1037G	197–217	5/3,93	2,185	0,505	0,537	–0,042	–0,027	0,014	0,470
*Omy*301	66–70	3/2,94	1,156	0,135	0,131	0,056	0,067	0,011	0,128
Среднее / Mean		6,9/5,88	3,134	0,513	0,514	–0,001	0,013	0,015	0,471

Примечание. *A* — число аллелей в локусе; A_r — число аллелей в локусе, скорректированное на минимальный размер выборки; N_e — среднее число эффективных аллелей по всем выборкам; H_e — средняя ожидаемая гетерозиготность; H_o — средняя наблюдаемая гетерозиготность; F_{is}, F_{it} и F_{st} — индексы фиксации; *PIC* — величина информационного полиморфизма.
Note. *A* – number of alleles at the locus; A_r – number of alleles at the locus corrected for minimum sample size; N_e – average number of effective alleles across all samples; H_e – average expected heterozygosity; H_o – average observed heterozygosity; F_{is}, F_{it} and F_{st} – fixation indices; *PIC* – polymorphic information content.

В целом генетическое разнообразие нерки стада оз. Курильского оказалось несколько меньше, чем в Азабачьем — другом крупном нерестовом озере, расположенном на восточном побережье Камчатки (Пильганчук и др., 2024). По восьми локусам, которые были общими в проведенных исследованиях, число аллелей в локусах в оз. Азабачье в среднем составило 9,11, а средней ожидаемой гетерозиготности — 0,635.

Характеристики генетической изменчивости отдельно для каждой выборки по каждому локусу представлены в таблице 5. Наибольшее количество аллелей (59) встречалось в выборке р. Выченкия (24.07.15), наименьшее (48) — в вы-

Таблица 4. Оценка аллельного разнообразия в выборках нерки стада р. Озерной
Table 4. Results of allelic diversity estimation in samples of the Ozernaya River sockeye salmon stock

Выборка Sample	N	N_a	N_e	H_o	H_e	f
VYCH1	48,000	6,556	3,473	0,556	0,513	–0,027
KHAK1	47,889	5,889	3,042	0,469	0,482	0,053
ETAM1	48,000	6,000	3,390	0,532	0,528	–0,004
OLAD1	48,000	5,778	2,946	0,528	0,518	0,026
VYCH2	48,000	5,889	3,419	0,519	0,530	0,016
KHAK2	47,889	5,889	3,529	0,552	0,529	–0,041
ETAM2	48,000	6,444	3,323	0,495	0,517	0,024
OLAD2	47,889	5,667	3,086	0,527	0,516	–0,034
OZER1	48,333	6,111	2,985	0,491	0,472	–0,042
OZER2	49,222	6,333	3,103	0,477	0,510	0,076
OZER3	49,222	5,889	3,062	0,520	0,520	–0,002
OZER4	48,667	5,333	3,386	0,566	0,553	–0,027

Примечание. N — среднее количество исследованных особей; N_a — среднее количество аллелей по всем выборкам; N_e — среднее количество эффективных аллелей по всем выборкам; H_o — средняя наблюдаемая гетерозиготность; H_e — средняя ожидаемая гетерозиготность; f — коэффициент инбридинга.
Note. N – average number of individuals studied; N_a – average number of alleles across all samples; N_e – average number of effective alleles across all samples; H_o – average observed heterozygosity; H_e – average expected heterozygosity; f – inbreeding coefficient.

Таблица 5 (начало). Генетическая изменчивость нерки стада р. Озерной; выборки обозначены как в табл. 1
Table 5. Genetic variability of the Ozernaya River sockeye salmon stock; legend for the samples as in Table 1

Выборка Sample	Показатель Index	Микросателлитные локусы / Microsatellite loci								
		*Ots*107	*Oki*1a	*Oki*1b	*One*109	*Ots*G68	*Oki*6	*One*104	*Omm*1037G	*Omy*301
VYCH1	N_a	6	3	5	13	4	4	17	4	3
	N_e	1,300	1,947	1,843	7,089	2,204	1,639	11,695	2,357	1,182
	H_o	0,229	0,646	0,438	0,896	0,667	0,417	0,979	0,667	0,063
	H_e	0,231	0,486	0,457	0,859	0,546	0,390	0,914	0,576	0,154
	F	0,007	–0,328	0,044	–0,043	–0,221	–0,068	–0,071	–0,158	0,595
	HWE	0,073	0,063	0,957	0,738	0,480	0,377	0,477	0,754	0,000***
KHAK1	N_a	5	3	4	12	3	4	15	4	3
	N_e	1,415	1,613	1,625	6,321	2,172	1,444	9,366	2,245	1,159
	H_o	0,333	0,354	0,375	0,833	0,511	0,167	0,938	0,604	0,125
	H_e	0,293	0,380	0,385	0,842	0,540	0,308	0,893	0,554	0,137
	F	–0,137	0,068	0,025	0,010	0,054	0,458	–0,050	–0,090	0,090
	HWE	0,997	0,345	0,474	0,707	0,960	0,000***	0,775	0,388	0,039*
ETAM1	N_a	4	4	3	11	3	5	16	5	3
	N_e	1,447	2,063	1,613	9,328	2,249	1,767	8,348	2,491	1,235
	H_o	0,333	0,583	0,375	0,875	0,500	0,417	0,833	0,688	0,167
	H_e	0,309	0,515	0,380	0,893	0,555	0,434	0,880	0,599	0,190
	F	–0,079	–0,132	0,013	0,020	0,100	0,040	0,053	–0,149	0,123
	HWE	0,954	0,725	0,950	0,046*	0,558	0,845	0,771	0,866	0,628
OLAD1	N_a	5	3	5	12	3	3	14	4	3
	N_e	1,417	2,024	1,963	5,848	2,299	1,737	7,784	2,326	1,134
	H_o	0,229	0,542	0,542	0,896	0,500	0,417	0,896	0,667	0,083
	H_e	0,294	0,506	0,490	0,829	0,565	0,424	0,872	0,570	0,118
	F	0,222	–0,071	–0,104	–0,081	0,115	0,018	–0,028	–0,169	0,295
	HWE	0,266	0,951	0,000***	0,984	0,008**	0,917	0,947	0,697	0,090
VYCH2	N_a	4	4	4	13	3	3	16	4	2
	N_e	1,325	2,168	1,838	7,986	2,126	1,900	9,640	2,489	1,180
	H_o	0,229	0,500	0,375	0,854	0,500	0,563	0,917	0,583	0,167
	H_e	0,245	0,539	0,456	0,875	0,530	0,474	0,896	0,598	0,153
	F	0,066	0,072	0,178	0,024	0,056	–0,187	–0,023	0,025	–0,091
	HWE	0,592	0,934	0,835	0,797	0,287	0,442	0,073	0,601	0,529
KHAK2	N_a	4	4	3	13	3	3	16	4	3
	N_e	1,386	1,910	1,738	8,486	2,200	1,854	10,240	2,599	1,211
	H_o	0,271	0,511	0,458	0,875	0,521	0,417	0,958	0,771	0,188
	H_e	0,278	0,476	0,424	0,882	0,545	0,461	0,902	0,615	0,174
	F	0,027	–0,072	–0,080	0,008	0,045	0,096	–0,062	–0,253	–0,076
	HWE	0,873	0,628	0,786	0,995	0,938	0,011*	0,051	0,094	0,916

борке р. Озерной (16.08.2011). Только 18 аллелей были общими для всех выборок. Всего выявлено 7 уникальных аллелей. В большинстве случаев наблюдаемые распределения генотипов в изученных локусах не отличались от теоретических распределений Харди–Вайнберга. Неравновесие по сцеплению микросателлитных локусов не было обнаружено ни в одной из исследованных локальностей.

Анализ попарной дифференциации (F_{st}), выполненный для восьми выборок с нерестилищ озера, показал, что различия наблюдаются только между выборками разного времени нереста (табл. 6). Генетические расстояния Нея

Таблица 5. Окончание. Начало на с. 46
Table 5. Ending. Start on page 46

Выборка Sample	Показатель Index	Микросателлитные локусы / Microsatellite loci								
		*Ots*107	*Oki*1a	*Oki*1b	*One*109	*Ots*G68	*Oki*6	*One*104	*Omm*1037G	*Omy*301
ETAM2	N_a	5	3	4	14	3	5	17	4	3
	N_e	1,241	2,061	1,751	6,717	2,031	2,234	10,286	2,564	1,135
	H_o	0,208	0,458	0,458	0,896	0,646	0,333	0,813	0,542	0,125
	H_e	0,194	0,515	0,429	0,851	0,508	0,552	0,903	0,610	0,119
	F	–0,073	0,110	–0,068	–0,053	–0,272	0,396	0,100	0,112	–0,049
	HWE	1,000	0,360	0,994	0,602	0,201	0,000***	0,450	0,800	0,975
OLAD2	N_a	5	3	3	11	3	5	15	4	3
	N_e	1,355	2,133	1,682	6,745	2,106	1,745	8,393	2,406	1,209
	H_o	0,250	0,542	0,458	0,766	0,542	0,438	0,917	0,625	0,188
	H_e	0,262	0,531	0,405	0,852	0,525	0,427	0,881	0,584	0,173
	F	0,046	–0,020	–0,131	0,101	–0,031	–0,025	–0,041	–0,069	–0,084
	HWE	0,974	0,980	0,682	0,971	0,964	0,864	0,261	0,717	0,916
OZER1	N_a	4	4	4	13	4	3	16	4	3
	N_e	1,199	1,639	1,872	6,841	2,280	1,405	8,136	2,428	1,062
	H_o	0,178	0,469	0,510	0,844	0,580	0,260	0,915	0,600	0,060
	H_e	0,166	0,390	0,466	0,854	0,561	0,288	0,877	0,588	0,059
	F	–0,070	–0,204	–0,095	0,011	–0,033	0,098	–0,043	–0,020	–0,024
	HWE	0,999	0,836	0,448	0,273	0,973	0,742	0,694	0,628	0,997
OZER2	N_a	5	3	4	14	4	4	16	4	3
	N_e	1,396	1,982	1,925	7,719	2,239	2,007	7,745	1,829	1,084
	H_o	0,300	0,400	0,440	0,833	0,571	0,520	0,792	0,375	0,060
	H_e	0,284	0,495	0,480	0,870	0,553	0,502	0,871	0,453	0,078
	F	–0,058	0,193	0,084	0,043	–0,033	–0,036	0,091	0,172	0,227
	HWE	0,999	0,430	0,833	0,564	0,393	0,654	0,165	0,245	0,000***
OZER3	N_a	4,000	4,000	4,000	12,000	3,000	4,000	15,000	4,000	3,000
	N_e	1,409	1,964	1,775	6,518	2,243	1,756	8,363	2,305	1,226
	H_o	0,286	0,440	0,380	0,813	0,580	0,460	0,917	0,604	0,200
	H_e	0,291	0,491	0,437	0,847	0,554	0,431	0,880	0,566	0,184
	F	0,016	0,104	0,130	0,040	–0,047	–0,068	–0,041	–0,067	–0,086
	HWE	0,251	0,820	0,602	0,851	0,794	0,512	0,038*	0,001***	0,892
OZER4	N_a	4,000	3,000	4,000	10,000	3,000	4,000	13,000	4,000	3,000
	N_e	1,486	1,994	2,190	8,619	2,159	2,274	8,319	2,179	1,253
	H_o	0,320	0,520	0,700	0,891	0,500	0,587	0,920	0,440	0,220
	H_e	0,327	0,499	0,543	0,884	0,537	0,560	0,880	0,541	0,202
	F	0,021	–0,043	–0,288	–0,008	0,069	–0,048	–0,046	0,187	–0,090
	HWE	0,961	0,682	0,124	0,503	0,757	0,660	0,545	0,379	0,858

Примечание. N_a — количество аллелей; N_e — количество эффективных аллелей; H_o — наблюдаемая гетерозиготность; H_e — ожидаемая гетерозиготность; f — коэффициент инбридинга; HWE — соответствие равновесию Харди–Вайнберга (*P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001).
Note. N_a – number of alleles; N_e – number of effective alleles; H_o – observed heterozygosity; H_e – expected heterozygosity; f – inbreeding coefficient; HWE – compliance with Hardy-Weinberg equilibrium (*P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001).

Таблица 6. Значения попарных межвыборочных F_{st} (над диагональю) и дистанции Нея (под диагональю) при сравнении выборок нерки в бассейне оз. Курильского
Table 6. Values of pairwise inter-sample F_{st} (above the diagonal) and Nei's distance values (below the diagonal) when comparing samples of sockeye salmon in the Kurilsky Lake basin

Выборка Sample	VYCH1	KHAK1	ETAM1	OLAD1	VYCH2	KHAK2	ETAM2	OLAD2
VYCH1	0,000	0,001	0,002	–0,002	0,003	–0,001	0,004	0,000
KHAK1	0,011	0,000	0,006	0,005	**0,021**	0,006	**0,017**	**0,007**
ETAM1	0,014	0,016	0,000	0,004	**0,007**	–0,004	**0,012**	**0,008**
OLAD1	0,009	0,014	0,016	0,000	0,003	0,002	**0,006**	–0,001
VYCH2	0,014	**0,031**	**0,018**	0,014	0,000	0,004	0,001	0,001
KHAK2	0,010	0,015	0,008	0,014	0,016	0,000	0,003	0,004
ETAM2	0,014	**0,026**	**0,024**	**0,018**	0,012	0,014	0,000	0,001
OLAD2	0,011	**0,018**	**0,020**	0,011	0,013	0,016	0,010	0,000

Примечание. Выборки обозначены в соответствии с табл. 1. Жирным шрифтом выделены значения F_{st} и дистанции Нея, при которых различия между выборками статистически значимы.
Note. Samples are marked as in Table 1. F_{st} and Nei's distance values at which differences between samples are statistically significant are shown in bold.

между всеми парами выборок были небольшими и находились в пределах от 0,009 (между выборками раннего хода рек Выченкия и Оладочная) до 0,031 (между выборками рек Хакыцин (ранняя) и Выченкия (поздняя)).

При выполнении анализа генетической дифференциации нерки на нерестилищах оз. Курильского с помощью байесовского анализа в программном пакете Structure мы рассмотрели варианты моделей кластеризации при K (вероятное число самостоятельных групп) от 1 до 8. Простейшая модель кластеризации (K = 2) позволяет выделить в популяции озера две крупные группы производителей, первая из которых образована выборками, отобранными в июле, а вторая состоит из выборок, отобранных в сентябре (рис. 2). При дальнейшем увеличении K рост числа популяционных кластеров не наблюдался.

Для определения наиболее вероятного количества кластеров был использован метод Пюхмайля (Puechmaille, 2016). На основе данного метода наиболее вероятное значение K было определено равным 2 (рис. 3). На основе данных кластеризации с помощью метода Эванно (Evanno et al., 2005) оптимальное число кластеров на основе ΔK также наблюдалось при K = 2 (рис. 4). Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют предположить разделение всех проанализированных выборок на две группы, отличающиеся временем нерестовой миграции и нереста.

Время захода в озеро производителей и динамика хода в разные годы варьируют. Совместный анализ выборок из уловов промышленных неводов в р. Озерной (2011 г.) и с нерестилищ оз. Курильского (2015 г.), выполненный на основе байесовской кластеризации, при K = 2 показал общую тенденцию и определил два кластера, соответствующих группам разного времени хода и нереста (рис. 5). Выборки ранней формы (VYCH1, ETAM1, OLAD1, KHAK1, OZER1) заметно отличаются от поздних (VYCH2, ETAM2, OLAD2, KHAK2, OZER2, OZER3, OZER4). Для четырех выборок из уловов промышленных неводов в р. Озерной прослеживается клинальная изменчивость. В трех выборках (22.07.2011, 02.08.2011, 16.08.2011) преобладает генетический состав поздней формы. В выборке от 16.08.2011 он превышает 95%.

По результатам анализа главных координат на основании генетических дистанций Нея между выборками (рис. 6) можно отметить, что по первой главной координате (34,15% от общей изменчивости) все выборки раннего времени хода группируются в правой части рисунка, а позднего времени хода — в левой. Однако при данном типе анализа двух четко выраженных кластеров не наблюдается.

Полученные данные вполне согласуются с результатами исследований выборок с нерестилищ озера (1989 г. и 2000 г.), проведенных в нашей лаборатории под руководством Н.В. Варнавской (Варнавская, 2006; Пильганчук, 2015). Ранее был выполнен разносторонний анализ частот микросателлитных локусов и показана четкая дифференциация нерки раннего времени нереста от нерки позднего. Также была выявлена значительная гетерогенность между выборками рыб из различных экологических группировок (речной и литоральной). К сожалению, расширить информацию об отличиях нерки из различных экотипов новыми данными не удалось. Пробы ранней нерки из-за отсутствия технических возможностей в 2015 г. удалось взять только в приустьевой зоне и русле рек, впадающих в оз. Курильское. Подняться выше по течению к речным нерестилищам мешали большое ко-

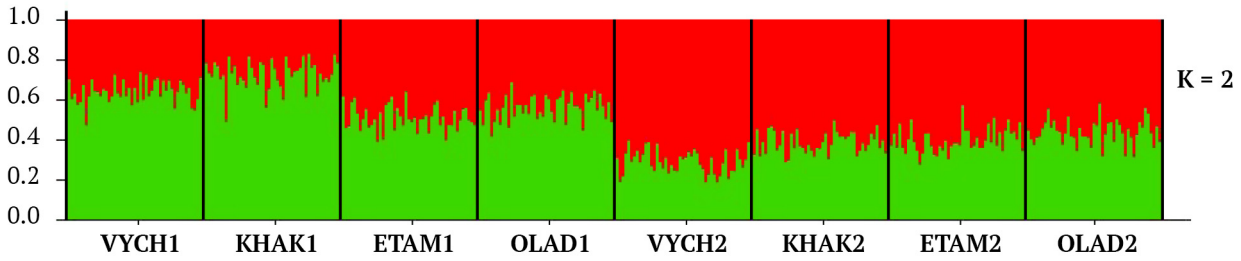


Рис. 2. Графическое представление результатов байесовского анализа выборок нерки с нерестилищ оз. Курильского, выполненного в программе Structure. K — предполагаемое количество генетических кластеров. Вероятности принадлежности образцов к каждому из кластеров отмечены на оси ординат. Обозначения выборок приведены в табл. 1

Fig. 2. Graphical representation of the results of Bayesian analysis of sockeye salmon samples from the spawning grounds of the Kurile Lake, performed in the *Structure* program. K is the estimated number of genetic clusters. Probabilities of samples belonging to each cluster are marked on the ordinate axis. The sample designations are given in Table 1

личество медведей и особенности конструкции лодки. Таким образом, в собранных пробах могли быть особи как речной, так и литоральной формы.

В результате тестирования на прохождение выборок через «горлышко бутылки» в программе Bottleneck было показано его наличие во всех исследованных локальностях ранней фор-

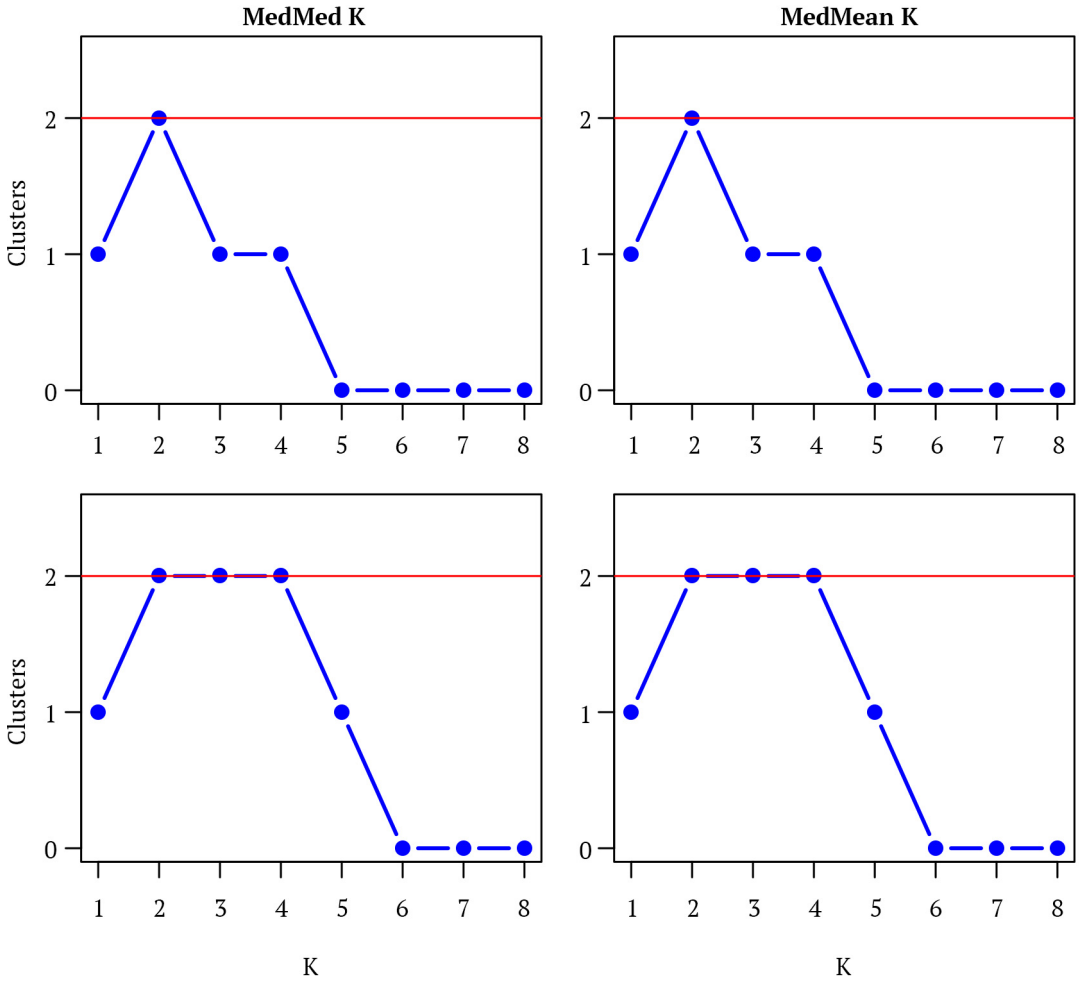


Рис. 3. Оценки количества генетически различающихся групп нерки в оз. Курильском на основании ΔK по методу Пюхмайля (Puechmaille, 2016)
Fig. 3. Estimates of the number of genetically distinct groups of sockeye salmon in the Kurile Lake based on ΔK according to the Puechmaille method (Puechmaille, 2016)

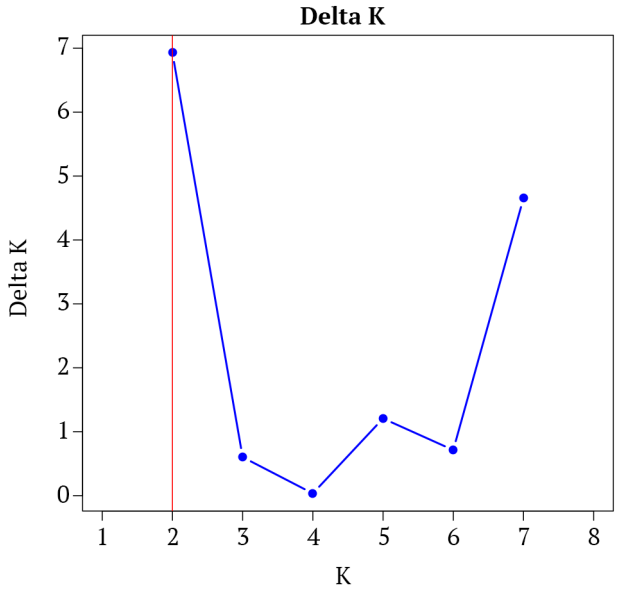


Рис. 4. Оценки количества генетически различающихся групп нерки в оз. Курильском на основании ΔK по методу Эванно (Evanno et al., 2005)
Fig. 4. Estimates of the number of genetically distinct groups of sockeye salmon in the Kurile Lake based on ΔK according to the Evanno method (Evanno et al., 2005)

мы нереста (табл. 7). По тесту «знаков» прохождение популяциями «горлышка бутылки» было отмечено для выборок VYCH1, ETAM1, OLAD1, KHAK1 (исходя из модели SMM), и для ETAM1 (на основе модели TPM). Значения теста Уилкоксона были значимы для KHAK1 (по моделям SMM и TPM); для VYCH1, OLAD1 тесты показали «горлышко бутылки», исходя из модели SMM. Значимые результаты были получены только для одной выборки поздней формы нереста VYCH2 с использованием модели IAM (тест Уилкоксона). Полученные результаты можно пояснить тем, что количество нерки ранней формы нереста в бассейне оз. Курильского значительно ниже, чем поздней (Бугаев, 1995), и, таким образом, она более подвержена резким снижениям численности при возникновении неблагоприятных условий. Также од-

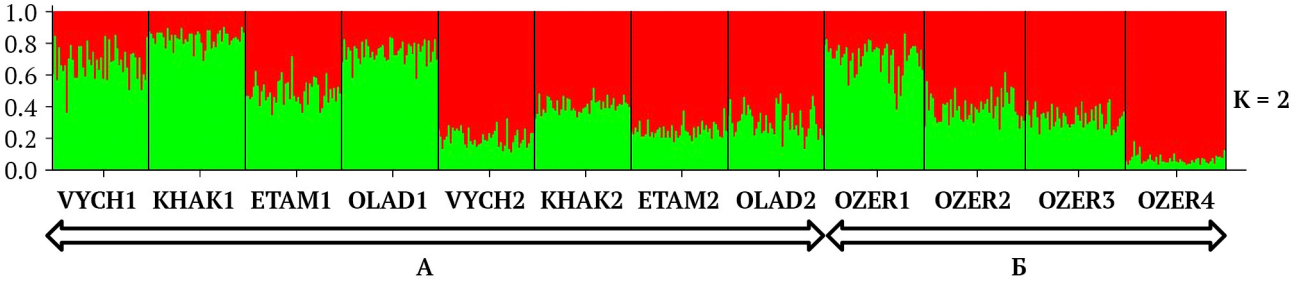


Рис. 5. Графическое представление результатов байесовского анализа выборок нерки с нерестилищ оз. Курильского (А) и из уловов промышленных неводов в р. Озерной (Б), выполненного в программе Structure. K — предполагаемое количество генетических кластеров. Вероятности принадлежности образцов к каждому из кластеров отмечены на оси ординат. Обозначения выборок приведены в табл. 1
Fig. 5. Graphical representation of the results of Bayesian analysis of sockeye salmon samples from spawning grounds of the Kurile Lake (A) and from commercial fixed net catches in the Ozernaya River (Б), performed in the *Structure* program. K is the estimated number of genetic clusters. Probabilities of samples belonging to each cluster are marked on the ordinate axis. The sample designations are given in Table 1

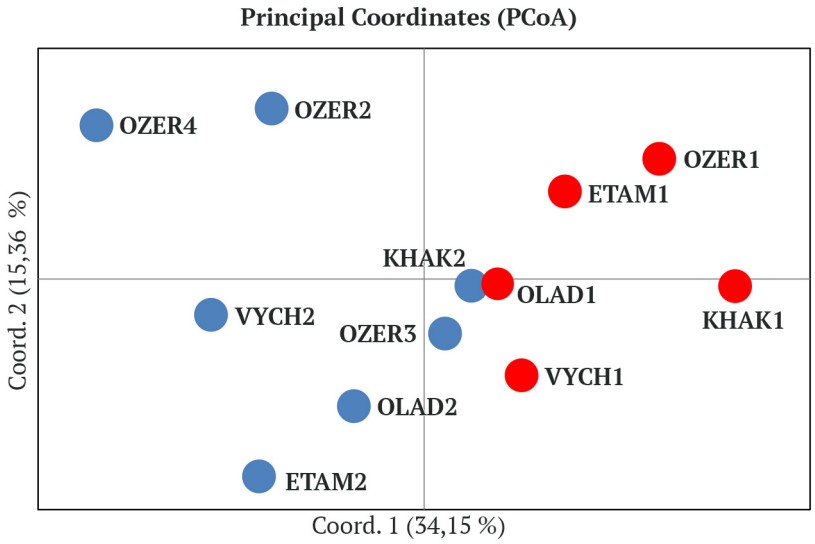


Рис. 6. Расположение выборок нерки бассейна р. Озерной в пространстве главных координат на основании генетических дистанций Нея. Обозначения выборок приведены в табл. 1
Fig. 6. Location of the Ozernaya River basin sockeye salmon samples in the space of main coordinates based on Nei's genetic distances. The sample designations are given in Table 1

Таблица 7. Результаты тестирования прохождения выборками «горлышка бутылки» с помощью тестов программы Bottleneck
Table 7. Bottle-neck passage test results for samples using the Bottleneck program tests

Выборка Sample	Тест, мутационная модель, вероятность / Test, mutation model, probability					
	Знаков / Score			Уилкоксона (двусторонний) Wilcoxon test (two-sided)		
	IAM	TPM	SMM	IAM	TPM	SMM
VYCH1	0,608	0,288	**0,029***	0,734	0,301	0,027*
KHAK1	0,603	0,120	**0,004***	0,820	**0,049***	**0,004***
ETAM1	0,379	**0,029***	**0,027***	0,359	0,250	0,129
OLAD1	0,371	0,285	**0,027***	0,496	0,359	**0,049***
VYCH2	0,129	0,578	0,129	**0,049***	0,910	0,359
KHAK2	0,342	0,545	0,534	0,164	0,820	0,652
ETAM2	0,362	0,291	0,116	0,496	0,164	0,129
OLAD2	0,370	0,295	0,104	0,301	0,652	0,164

Примечание (Note). *P < 0,05.

ним из возможных объяснений прохождения ранней формой нерки оз. Курильского «бутылочного горлышка» может быть японский нерегулируемый дрифтерный промысел лососей в море с конца 1960-х до начала 1970-х годов. В этот период сократилась численность всего озерновского стада, и в большей степени его ранней формы, поскольку японские рыбаки старались выловить как можно больше рыбы в начале промысла, когда стоимость нерки была наиболее высокой.

Рассчитано смещение распределения частот аллелей микросателлитных локусов (рис. 7), все графики имели нормальное L-образное распределение, характерное для относительно стабильных популяций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статистический анализ данных показал, что использованные в работе микросателлитные локусы (*Oki*1a, *Oki*1b, *Oki*6, *Ots*107, *Ots*G68, *One*104, *One*109, *Omm*1037G, *Omy*301) достаточно информативны для проведения популяционно-генетических исследований нерки в бассейне р. Озерной. Среднее значение показателя уровня полиморфизма (*PIC*) составило 0,475. Субпопуляционный индекс фиксации F_{st} во всех локусах принимал низкие значения, подтверждая слабую дивергенцию выборок в бассейне озера. Генетическое разнообразие нерки стада р. Озерной было невысоко. В большинстве случаев наблюдаемые распределения генотипов в изученных локусах не отличались от теоретических распределений Харди–Вайнберга.

Анализ попарной дифференциации (F_{st}) показал, что различия наблюдаются только между выборками разного времени нереста.

Анализ главных координат на основании генетических дистанций Нея показал, что выборки формировали на диаграммах две группы, соответствующие времени нереста рыб. При этом 95%-е доверительные интервалы групп незначительно перекрывались.

Результаты исследования на основе байесовской кластеризации выборок в программном пакете Structure позволили выявить два четко разделяющихся кластера, отражающих разделение нерки в озере на две группы. Использование методов Пюхмайля и Эванно установило оптимальное число кластеров K = 2 и подтвердило дифференциацию популяции нерки Курильского озера по времени нереста.

Результаты, полученные в программе Bottleneck, позволили выявить прохождение всеми выборками раннего хода «горлышка бутылки».

В настоящее время возникает необходимость в проведении новых работ по изучению популяционно-генетической структуры стада нерки р. Озерной. Они позволят расширить ряд исследований, выполненных в Камчатском филиале ВНИРО с конца 80-х годов XX века. Продолжающийся популяционно-генетический мониторинг позволит вовремя выявить возможные изменения не только численности и биологических показателей, но и структуры популяции. Полученная информация даст возможность оперативно отреагировать и максимально рационально подойти к промыслу.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Алтухов Ю.П. 1974. Популяционная генетика рыб. М.: Пищ. пром-сть. 245 с.

Бугаев В.Ф. 1995. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М.: Колос. 464 с. EDN: XZHUWD.

Варнавская Н.В. 1988. Пространственная и темпоральная генетическая структура в популяционной системе нерки оз. Курильского (Камчат-

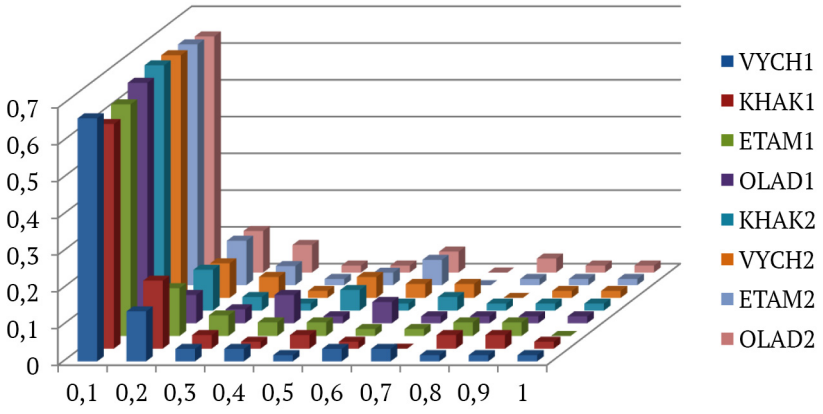


Рис. 7. Распределение частот аллелей микросателлитных локусов в исследованных выборках нерки оз. Курильского, рассчитанное в программе Bottleneck. По оси ординат — пропорции аллелей, по оси абсцисс — частота аллелей. Обозначения выборок приведены в табл. 1

Fig. 7. Distribution of the allele frequencies of the microsatellite loci in the studied samples of the Kurile Lake sockeye salmon calculated in the *Bottleneck* program. Allele proportions are on the ordinate axis, allele frequencies – on the abscissa axis. The sample designations are given in Table 1

ка) / Тез. III Всесоюз. совещ. по лососевидным рыбам. Тольятти: ИЭВБ. С. 49–51.
Варнавская Н.В. 2006. Генетическая дифференциация популяций тихоокеанских лососей. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 488 с. EDN: QKOYTL.
Вронский Б.Б. 1978. Состояние запасов дальневосточных лососей / Биология лососевых: Тез. докл. Междунар. четырехстор. совещ. (СССР, США, Канада, Япония) (Южно-Сахалинск, октябрь 1978 г.). Владивосток: ТИНРО. С. 3–5.
Дубынин В.А. 2023. Изменчивость биологических показателей и динамика численности нерки *Oncorhynchus ne*rka (Walbaum) стада р. Озерной в современный период (1971–2020 гг.) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 71. С. 60–79. EDN: TXGEJJ. doi:10.15853/2072-8212.2023.71.60-79
Егорова Т.В. 1968. Основные закономерности, определяющие динамику численности красной *Oncorhynchus nerk*a (Walbaum) в бассейне р. Озерной : Автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 22 с.
Егорова Т.В. 1970. Об отсутствии сезонных группировок красной бассейна реки Озерной // Изв. ТИНРО. Т. 78. С. 43–47.
Егорова Т.В., Крогиус Ф.В., Куренков И.И., Семко Р.С. 1961. Причины колебаний численности красной р. Озерной // Вопр. ихтиологии. Т. 1, вып. 3 (20). С. 439–447
Иванков В.Н., Иванкова Е.В. 2015. Антропогенное воздействие на внутривидовую эколого-темпоральную дифференциацию и структуру популяций тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. Т. 181. С. 23–34. EDN: TVWUNT. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2015-181-23-34
Коновалов С.М. 1980. Популяционная биология тихоокеанских лососей. М.: Наука. 238 с.
Крогиус Ф.В. 1961. Японский лососевый промысел в открытом море и его влияние на запасы красной // Рыбное хозяйство. № 2. С. 33–36.
Крогиус Ф.В. 1983. Сезонные расы красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) и ее нерестилища в водоемах Камчатки / Биологические основы развития лососевого хозяйства в водоемах СССР. М.: Наука. С. 18–31.
Крохин Е.М., Крогиус Ф.В. 1937. Очерк Курильского озера и биологии красной в его бассейне // Тр. Тихоокеанского Комитета. М.: АН СССР. 187 с.
Лепская Е.В. 2021. 80-летию Озерновского наблюдательного пункта КамчатНИРО на Курильском озере // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 63. С. 5–8. EDN: YKTDNH.
Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. 1984. Молекулярное клонирование. М.: Мир. 479 с.
Мацак Е.А. 1983. Генетическая неоднородность нерки (*Oncorhynchus nerka*) оз. Курильского во время нерестового хода : Тез. X Всесоюз. симп. Ч. 2. «Биологические проблемы Севера». Магадан. С. 194–195.
Остроумов А.Г. 1970. Результаты аэровизуального учета и аэрофотосъемки красной и ее нерестилищ в бассейне оз. Курильского // Изв. ТИНРО. Т. 78. С. 17–32.
Пильганчук О.А, Муравская У.О., Савенков В.В, Денисенко А.Д., Зикунова О.В., Фадеев Е.С. 2024. Генетическая дифференциация нерки (*Oncorhynchus nerka*) в оз. Азабачье по результатам исследования микросателлитной ДНК / Рыбохозяйственная наука. История, современность, перспективы : Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 110-летию создания ГосНИОРХ им. Л.С. Берга (Санкт-Петербург, 23–24 октября 2024 г.). М.: ВНИРО. С. 460–464. EDN: EBKEJZ.
Пильганчук О.А. 2015. Генетическая структура нерки, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), полуострова Камчатка : Дис. … канд. биол. наук. Владивосток. 135 с. EDN: CTGRFK.
Пильганчук О.А., Варнавская Н.В., Бичем Т.Д. 2010. Характеристика внутрипопуляционной структуры нерки оз. Курильское и р. Камчатка по изменчивости микросателлитной ядерной ДНК // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 18. С. 28–37. EDN: MWGAUJ.
Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Дубынин В.А., Сараванский О.Н., Муравская У.О., Варнавская Н.В. 2014. Идентификация ранней речной формы нерки в бассейне р. Озерной по микросателлитным локусам // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 34. С. 62–71. EDN: YPVDYO.
Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Нигматулина Е.А., Косицына А.И., Сараванский О.Н. 2012. Предварительные результаты оценки генетической гетерогенности нерестового хода нерки р. Озерная / Водные биол. ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг, управление : Матер. Всерос. науч. конф. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 431–438.
Рубцова Г.А., Пономарева Е.В., Афанасьев К.И., Шайхаев Е.Г., Холодова М.В., Павлов С.Д., Животовский Л.А. 2016. Выявление аллельных вариантов микросателлитных маркеров методами капиллярного и традиционного электрофореза // Генетика. Т. 52. № 4. С. 482. EDN: VVGOPH. doi:10.7868/S0016675816040081

Селифонов М.М. 1975. Промысел и воспроизводство красной бассейна р. Озерной : Автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 23 с.
Botstein D., White R.L., Skolnick M.H., Davis R.W. 1980. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms // Am. J. Hum. Genet. Vol. 32. P. 314–331.
Cornuet J.M., Luikart G. 1996. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data // Genetics. Vol. 144. P. 2001–2014. doi:10.1093/genetics/144.4.2001
Di Rienzo A., Peterson A.C., Garza J.C., Valdes A.M., Slatkin M., Freimer N.B. 1994. Mutational processes of simple-sequence repeat loci in human populations // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 91. P. 3166–3170.
Evanno G., Regnaut S., Goudet J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study // Mol. Ecol. Vol. 14. P. 2611–2620. EDN: MEKJRR. doi:10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x
Excoffier L., Lischer H.E.L. 2010. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // Mol. Ecol. Res. Vol. 10. P. 564–567. https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x
Goudet J. 1995. FSTAT (version 1.2): a computer program to calculate F-statistics // J. Heredity. Vol. 86. P. 485–486. EDN: IRTQRR. doi:10.1093/oxfordjournals.jhered.a111627
Jackson T.R., Ferguson M.M., Danzmann R.G., Fishback A.G., Ihssen P.E., O'Connell M., Crease T.J. 1998. Identification of two QTL-influencing upper temperature tolerance in three rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) half-sib families // J. Heredity. Vol. 80. P. 143–151. doi:10.1046/j.1365-2540.1998.00289.x
Li Y.L., Liu J.X. 2018. StructureSelector: a web based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods // Mol. Ecol. Res. Vol. 18. P. 176–177. doi:10.1111/1755-0998.12719
Luikart G., Cornuet J.M. 1998. Empirical evaluation of a test for identifying recently bottlenecked populations from allele frequency data // Conservat. Biol. Vol. 12. P. 1523–1739. doi:10.1111/j.1523-1739.1998.96388.x
Nei M. 1987. Molecular evolutionary genetics. N.Y.: Columbia Univ. Press. 512 p. doi:10.7312/nei-92038
Nelson R.J., Beacham T.D. 1999. Isolation cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. Vol. 30. P. 228–229. doi:10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E. 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Mol. Ecol. Vol. 9. P. 2185–2187. EDN: BFAZRV. doi:10.1046/j.1365-294X.2000.105317.x
Peakall R., Smouse P.E. 2006. GenAlEx 6: Genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research // Mol. Ecol. Vol. 6. P. 288–295. doi:10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x
Piry S., Luikart G., Cornuet J.M. 1999. Bottleneck: a computer program for detecting recent reductions in the effective population size using allele frequency data // J. Heredity. Vol. 90. P. 502–503. EDN: IROWET. doi:10.1093/jhered/90.4.502
Pritchard J.K., Stefens M., Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data // Genetics. Vol. 155. P. 945–959. doi:10.1093/genetics/155.2.945
Puechmaille S.J. 2016. The program structure does not reliably recover the correct population structure when sampling is uneven: subsampling and new estimators alleviate the problem. Mol. Ecol. Res., 16 (3), 608–627. doi:10.1111/1755-0998.12512
Rexroad C.E., Coleman R.L., Gustafson A.L., Hershberger W.K., Killefer J. 2002. Development of rainbow trout microsatellite markers from repeat enriched libraries // Mar. Biotechnol. Vol. 4 (1). P. 12–16. doi:10.1007/s10126-001-0058-6
Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J. 1998. Isolation and characterization of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Mol. Ecol. Vol. 7. P. 1613–1621.
Williamson K.S., Cordes J.F., May B. 2002. Characterization of microsatellite loci in Chinook salmon (*Oncorhyncus tschawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids // Mol. Ecol. Notes. Vol. 2. P. 17–19. EDN: BAPUOT. doi:10.1046/j.1471-8278.2001.00129.x

REFERENCES

Altukhov Yu.P. *Populyatsionnaya genetika ryb* [Population genetics of fish] Moscow: Food industry, 1974, 245 p.
Bugaev V.F. *Aziatskaya nerka (presnovodnyi period zhizni, structura localnykh stad, dinamika chislennosti)* [Asian sockeye salmon (freshwater period of life, structure of local stocks, abundance dynamics)]. Moscow: Kolos, 1995, 464 p.
Varnavskaya N.V. Spatial and temporal genetic structure in the population system of sockeye salmon of Lake Kurilskoye (Kamchatka). *Abstract of the III All-Union Conference on Salmon-like Fishes*, 1988, Tolyatti: IEVB, pp. 49–51. (In Russ.)

Varnavskaya N.V. *Geneticheskaya differentsiatsiya populatsiy tokhookeanskikh lososey* [Genetic differentiation of Pacific salmon populations]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2006, 488 p. EDN: QKOYTL.

Vronskiy B.B. Status of Far Eastern salmon stocks. *Biology of salmonids: Abstract of the report of the Int. quadripartite conference* (USSR, USA, Canada, Japan) (Yuzhno-Sakhalinsk, October 1978). Vladivostok: TINRO, 1978, pp. 3–5. (In Russ.)

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). *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2023, vol. 71, pp. 60–79. (In Russ.) EDN: TXGEJJ. doi:10.15853/2072-8212.2023.71.60-79

Yegorova T.V. The main patterns determining the dynamics of the red *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) population in the Ozernaya River basin: *Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*. Vladivostok: TINRO, 1968, 22 p. (In Russ.)

Yegorova T.V. On the absence of seasonal groups of the red fish in the Ozernaya River basin. *Izvestiya TINRO*, 1970, vol. 78, pp. 43–47. (In Russ.)

Yegorova T.V., Krogius F.V., Kurenkov I.I., Semko R.S. Causes of fluctuations in the number of the red river Ozernoy. *Journal of Ichthyology*, 1961, vol. 1, no. 3 (20), pp. 439–447. (In Russ.)

Ivankov V.N., Ivankova E.V. Anthropogenic impact on intraspecific ecological-temporal differentiation and structure of populations of pacific salmons. *Izvestiya* TINRO, 2015, vol. 181, pp. 23–34. (In Russ.) EDN: TVWUNT. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2015-181-23-34

Konovalov S.M. *Populyatsionnaya biologiya tikhookeanskikh* lososey [Population biology of Pacific salmon]. Moscow: Nauka, 1980, 238 p.

Krogius F.V. Japanese open-sea salmon fishery and its impact on red salmon stocks. Rybnoye khozyaistvo, 1961, no. 2, pp. 33–36. (In Russ.)

Krogius F.V. Seasonal races of the red *Oncorhynchus nerka* (Walb.) and its spawning grounds in the water bodies of Kamchatka. *Biological foundations of the development of salmon farming in the water bodies of the USSR*. Moscow: Nauka, 1983, pp. 18–31. (In Russ.)

Krokhin Ye.M., Krogius F.V. Outline of the Kurile Lake and the biology of the red *Oncorhynchus nerka* (Walb.) in its basin. *Tr. Tikhookeanskogo Komiteta*, vol. IV, Kurilskoye ozero. M.-L.: AN SSSR, 1937, 187 p. (In Russ.)

Lepskaya E.V. To the 80th anniversary of the Ozernovsky observation station of KamchatNIRO on the Kurile Lake. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2021, vol. 63, pp. 5–8.

Maniatis T., Fritsch E.F., Sambrook J. *Molekulyarnoe klonirovanie* [Molecular Cloning.] Moscow: Mir, 1984, 479 p.

Matsak E.A. Genetic heterogeneity of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) from Kurilskoye Lake during the spawning run. *Abstract of the 10th All-Union Symposium. Part 2: Biological Problems of the North*. Magadan, 1983, pp. 194–195. (In Russ.)

Ostroumov A.G. Results of aerial visualization and aerial photography of red and its spawning grounds in the basin of Lake Kurilsky. *Izvestiya TINRO*, 1970, vol. 78, pp. 17–31. (In Russ.)

Pilganchuk O.A., Muravskaya U.O., Savenkov V.V., Denisenko A.D., Zikunova O.V., Fadeev E.S. Genetic differentiation of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in Lake Azabachye based on the results of microsatellite DNA study. *Fishery Science. History, Modernity, Prospects*: Proc. of the Int. scientific-practical. conf. (St. Petersburg, October 23–24, 2024). Moscow: VNIRO, 2024, pp. 460–464. EDN: EBKEJZ. (In Russ.)

Pilganchuk O.A. Genetic structure of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), of the Kamchatka Peninsula: *Diss. ... Cand. Biol. Sci*. Vladivostok, 2015, 135 p. EDN: CTGRFK. (In Russ.)

Pilganchuk O.A., Varnavskaya N.V., Bichem T.D. Characterization of population structure on the nuclear microsatellite DNA variations for sockeye salmon from Kurilskoye Lake and Kamchatka River. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2010, vol. 18, pp. 28–37. (In Russ.) EDN: MWGAUJ.

Pilganchuk O.A., Shpigalskaya N.Yu., Dubynin V.A., Saravanskiy O.N., Muravskaya U.O., Varnavskaya N.V. Identification of early river form of sockeye salmon in the Ozernaya River basin with microsatellite loci. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 34, pp. 62–71. (In Russ.) EDN: YPVDYO.

Pilganchuk O.A., Shpigalskaya N.Yu., Dubynin V.A., Shevlyakov E.A., Nigmatulina E.A., Kositsyna A.I., Saravanskiy O.N. Preliminary results of the assessment of genetic heterogeneity of the spawning run of sockeye salmon of the Ozernaya River. *Aquatic biol. resources of the northern part of the Pacific Ocean: status, monitoring, management*: Proc. All-Russian scientific conf. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2012, pp. 431–438. (In Russ.)

Rubtsova G.A., Ponomarevac E.V., Afanasieva K.I., Shaikhaev E.G., Kholodova M.V., Pavlov S.D., Zhivotovsky L.A. A Detection of allelic variants at microsatellite markers by using capillary and traditional electrophoresis. *Genetika*, 2016, vol. 52, no. 4, pp. 482. (In Russ.) EDN: VVGOPH. doi:10.7868/S0016675816040081

Selifonov M.M. Fishing and reproduction of the red salmon in the Ozernaya River basin: *Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*. Vladivostok: TINRO, 1975, 23 p.

Botstein D., White R.L., Skolnick M.H., Davis R.W. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *Am. J. Hum. Genet.*, 1980, vol. 32, pp. 314–331.

Cornuet J.M., Luikart G. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics*, 1996, vol. 144, pp. 2001–2014. doi:10.1093/genetics/144.4.2001

Di Rienzo A., Peterson A.C., Garza J.C., Valdes A.M., Slatkin M., Freimer N.B. 1994. Mutational processes of simple-sequence repeat loci in human populations. *Proc. Natl. Acad. Sci*. USA, 1994, vol. 91, pp. 3166–3170.

Evanno G., Regnaut S., Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Mol. Ecol.*, 2005, vol. 14, pp. 2611–2620. EDN: MEKJRR. doi:10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x

Excoffier L., Lischer H.E.L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Mol. Ecol. Res.*, 2010, vol. 10, pp. 564–567. https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x

Goudet J. FSTAT (version 1.2): a computer program to calculate F-statistics *J. Heredity*, 1995. vol. 86, pp. 485–486. EDN: IRTQRR. doi:10.1093/oxfordjournals.jhered.a111627

Jackson T.R., Ferguson M.M., Danzmann R.G., Fishback A.G., Ihssen P.E., O'Connell M., Crease T.J. Identification of two QTL-influencing upper temperature tolerance in three rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) half-sib families. *J. Heredity*, 1998, vol. 80, pp. 143–151. doi:10.1046/j.1365-2540.1998.00289.x

Li Y.L., Liu J.X. StructureSelector: a web based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods. *Mol. Ecol. Res.*, 2018, vol. 18, pp. 176–177. doi:10.1111/1755-0998.12719

Luikart G., Cornuet J.M. Empirical evaluation of a test for identifying recently bottlenecked populations from allele frequency data. *Conservat. Biol.*, 1998, vol. 12, pp. 1523–1739. doi:10.1111/j.1523-1739.1998.96388.x

Nei M. Molecular evolutionary genetics. N.Y.: Columbia Univ. Press., 1987, 512 p. doi:10.7312/nei-92038

Nelson R.J., Beacham T.D. Isolation cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon. *Animal Genetics*, 1999, vol. 30, pp. 228–229. doi:10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x

Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon. *Mol. Ecol.*, 2000, vol. 9, pp. 2185–2187. EDN: BFAZRV. doi:10.1046/j.1365-294X.2000.105317.x

Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6: Genetic analysis in excel. Population genetic software for teaching and research. *Mol. Ecol.*, 2006. Vol. 6, pp. 288–295. doi:10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x

Piry S., Luikart G., Cornuet J.M. Bottleneck: a computer program for detecting recent reductions in the effective population size using allele frequency data. *J. Heredity*, 1999, vol. 90, pp. 502–503. EDN: IROWET. doi:10.1093/jhered/90.4.502

Pritchard J.K., Stefens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 2000, vol. 155, pp. 945–959. doi:10.1093/genetics/155.2.945

Puechmaille S.J. The program structure does not reliably recover the correct population structure when sampling is uneven: subsampling and new estimators alleviate the problem. *Molecular Ecology Resources*, 2016, 16 (3), pp. 608–627. doi:10.1111/1755-0998.12512

Rexroad C.E., Coleman R.L., Gustafson A.L., Hershberger W.K., Killefer J. Development of rainbow trout microsatellite markers from repeat enriched libraries. *Mar. Biotechnol*, 2002, vol. 4 (1), pp. 12–16. doi:10.1007/s10126-001-0058-6

Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J. Isolation and characterization of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids. *Mol. Ecol.*, 1998, vol. 7, pp. 1613–1621.

Williamson K.S., Cordes J.F., May B. Characterization of microsatellite loci in Chinook salmon (*Oncorhynchus tschawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids. *Mol. Ecol. Notes*, 2002, vol. 2, pp. 17–19. EDN: BAPUOT. doi:10.1046/j.1471-8278.2001.00129.x

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных,

полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ
AUTHOR CONTRIBUTION

Авторы в равной мере участвовали в сборе и обработке данных, обсуждении полученных результатов и написании статьи.
The authors jointly collected, processed and analyzed the data, discussed the results and wrote the text of article, with equal contribution.

Информация об авторах
О.А. Пильганчук — канд. биол. наук,
зав. лабораторией молекулярной генетики,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru
В.В. Крыженовская — студент магистратуры,
Камчатский государственный университет
имени Витуса Беринга
А.Д. Денисенко — вед. специалист,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
a.denisenko@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0006-9822-6674
В.В. Савенков — вед. специалист,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
v.savenkov@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0002-1555-1713
У.О. Муравская – вед. специалист
Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО),
u.muravskaya@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0002-7269-4091

Information about the authors
Oksana A. Pilganchuk – Ph. D. (Biology),
Head of Lab. (KamchatNIRO)
Valentina V. Kryzhenovskaya – Master's degree
student, Vitus Bering Kamchatka State University
Anastasiya D. Denisenko – Leading Specialist
(KamchatNIRO). ORCID: 0009-0006-9822-6674
Vladimir V. Savenkov – Leading Specialist
(KamchatNIRO). ORCID: 0009-0002-1555-1713
Ulyana O. Muravskaya – Leading Specialist
(KamchatNIRO). ORCID: 0009-0002-7269-4091

Статья поступила в редакцию / Received:
03.03.2025
Одобрена после рецензирования / Revised:
27.04.2025
Статья принята к публикации / Accepted:
29.04.2025

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 57–69.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 57–69.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.552.511:639.2.053.8(282.257.166)
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.57-69
EDN: QZCFNY

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОДХОДОВ НЕРКИ *ONCORHYNCHUS NERKA* Р. ОЗЕРНОЙ (ЗАПАДНАЯ КАМЧАТКА) НА ОСНОВЕ МЕТОДОЛОГИИ КОГОРТНОГО АНАЛИЗА

Ильин Олег Игоревич✉, Бугаев Александр Викторович, Дубынин Владимир Александрович, Зикунова Ольга Владимировна

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, o.ilin@kamniro.vniro.ru✉

Аннотация. В работе рассматривается один из возможных подходов к моделированию динамики возрастной структуры нерки р. Озерной (Западная Камчатка). Представленная модель является своего рода статистической когортной моделью для указанной единицы запаса. По данным о возрастной структуре производителей в уловах и на нерестилищах, а также численности ската, она позволяет, при заданных условиях, восстановить численность каждой возрастной группы нерки в ретроспективе, оценить долю зрелых рыб и дать вероятностный прогноз подхода производителей нерки р. Озерной на краткосрочную перспективу (1–2 года).

Ключевые слова: нерка, р. Озерная, динамика численности, возрастная структура, прогноз, когортная модель

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Ильин О.И., Бугаев А.В., Дубынин В.А., Зикунова О.В. О прогнозировании подходов нерки *Oncorhynchus nerka* р. Озерной (Западная Камчатка) на основе методологии когортного анализа // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 57–69. EDN: QZCFNY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.57–69

ON PREDICTING SOCKEYE SALMON *ONCORHYNCHUS NERKA* RUNS IN THE OZERNAYA RIVER (WESTERN KAMCHATKA) BASED ON COHORT ANALYSIS METHODOLOGY

Oleg I. Ilyin✉, Alexandr V. Bugaev, Vladimir A. Dubynin, Olga V. Zikunova

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, o.ilin@kamniro.vniro.ru✉

Abstract. One of possible approaches to modeling sockeye salmon age structure dynamics in the Ozernaya River (Western Kamchatka) is analyzed. The model discussed is a kind of statistical cohort model for mentioned stock unit. Using the abundance of juvenile escapement and the data on the age structure of spawners in the catches and in spawning grounds it allows under given conditions to obtain retrospective abundances for all age groups of sockeye salmon, to evaluate mature stock and to make probabilistic forecast for sockeye salmon run in the Ozernaya River for a short-term feature period (1–2 years).

Keywords: sockeye salmon, Ozernaya River, stock abundance dynamics, age structure, forecast, cohort model

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Ilyin O.I., Bugaev A.V., Dubynin V.A., Zikunova O.V. On predicting sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* runs in the Ozernaya River (Western Kamchatka) based on cohort analysis methodology // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 57–69. (In Russ.) EDN: QZCFNY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.57–69

Стадо нерки *Oncorhynchus nerka* р. Озерной является крупнейшим в азиатской части ареала вида (Бугаев и др., 2009; Бугаев, 2011; Дубынин, 2023). В 2000–2020-е гг. его доля в общем вылове нерки в пределах Камчатского края на среднемноголетнем уровне составляла около 60% (32–79%). Непосредственно на западном побережье полуострова, к которому по географическому принципу относится бассейн р. Озерной, вклад данного стада в региональный промысел вида для обозначенного периода соответствовал приблизительно 85% (57–96%). В фактическом выражении это составляло 19 (11–30) тыс. т вылова.

Учитывая экономическую ценность указанного водного биологического ресурса, специали-

© Ильин О.И., Бугаев А.В., Дубынин В.А., Зикунова О.В.

стами Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО) ежегодно ведется биологический мониторинг данной единицы запаса. Начало выполнения комплексных исследований биологии и динамики численности стада нерки р. Озерной датируется еще периодом 1930–1940-х гг. Практическим результатом многолетнего мониторинга являются разработанные меры по регулированию промысла, позволяющие сочетать эффективное воспроизводство и развитие стабильного рыболовства в отношении указанной единицы запаса вида. При этом краеугольным камнем управления запасами любого ценного водного биологического ресурса остается прогнозирование динамики его численности.

В истории прогнозирования динамики запасов нерки р. Озерной значимый вклад сделали Ф.В. Крогиус (1940–1950-е гг.), Т.В. Егорова (1960–1970-е гг.) и М.М. Селифонов (1970–1980-е гг.). Этими специалистами были заложены основы прогнозирования данного стада с учетом возрастной структуры и оценки численности поколений. Начиная с середины 1990-х гг. и до настоящего времени подготовкой прогнозов численности нерки р. Озерной занимается В.А. Дубынин. Им вместе с соавторами были разработаны и внедрены в практику методы прогнозирования запаса на основе оценок кратности возвратов производителей и учета численности молоди во время покатной (катадромной) миграции (Дубынин и др., 2007; Дубынин, Травин, 2020). В настоящее время все указанные методы применяются при подготовке ежегодных материалов прогнозов. Однако по мере накопления новых данных появляются возможности для расширения методологии прогнозирования нерки р. Озерной. Представляет интерес (в т. ч. и самостоятельный) разработка методологии моделирования динамики возрастной структуры и прогнозирования на ее основе состояния запаса нерки р. Озерной. Это и является целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы данные о возрастной структуре и статистике по динамике численности нерки р. Озерной в 2004–2023 гг. Кроме того, включены оценки численности смолтов, полученные в период их ската из оз. Курильского. Информация о величине нерестового запаса и интенсивности покатной миграции нерки базировалась на данных с рыбоучетного заграждения (РУЗ), расположенного в истоке р. Озерной. Использованная промысловая статистика предоставлена Северо-Восточным территориальным управлением Росрыболовства. Данные о вылове нерки р. Озерной дрифтерными судами в исключительной экономической зоне Российской Федерации в 2004–2016 гг. получены в результате многолетних популяционно-биологических исследований вида в период преднерестовых миграций (Бугаев, 2015).

Отметим, что численность пропущенной на нерест нерки р. Озерной в многолетнем режиме оценивается одним методом — прямой учет на РУЗ при заходе производителей в оз. Курильское. Это позволяет стандартизировать оценки нерестового запаса по годам наблюдений. Фактический среднемноголетний пропуск нерки р. Озерной на нерест в 2004–2024 гг. составил 1,8 (1,1–5,0) млн рыб. Это составляет приблизительно 15% от средней величины подхода — 10,0 (6,3–13,4) млн рыб.

В настоящем исследовании выполнено моделирование динамики численности возрастных групп нерки $N_{i.k}$, i = 1,2,3; k = 0,1,2,3,4, т. е. тех возрастных групп (всего — 15), что представлены в наблюдениях 2004–2023 гг. Где i — пресноводный возраст, k — длительность жизни в море в годах. Включение в модель численности возрастных групп смолтов $N_{i.0}$, i = 1,2,3 продиктовано не только желанием использовать данные ежегодного мониторинга по скату, но и перспективной возможностью включения в модель зависимости «запас – пополнение» с учетом или без каких-либо биотических и абиотических факторов.

Предполагается, что все источники данных, кроме данных по вылову нерки дрифтерными судами, содержат шум.

Динамика возрастной структуры нерки может быть описана следующими уравнениями:

$$N_{2.0}^{t} = (1-p_1)N_{1.0}^{t-1}e^{-M_r}, N_{3.0}^{t} = (1-p_2)N_{2.0}^{t-1}e^{-M_r};$$

$$N_{1.1}^{t} = p_1 N_{1.0}^{t-1}e^{-M_1}, N_{2.1}^{t} = p_2 N_{2.0}^{t-1}e^{-M_1}, N_{3.1}^{t} = p_3 N_{3.0}^{t-1}e^{-M_1};$$

$$N_{1.k}^{t} = (1-\mu_{1.k-1})N_{1.k-1}^{t-1}e^{-M}, N_{2.k}^{t} = (1-\mu_{2.k-1})N_{2.k-1}^{t-1}e^{-M},$$

$$N_{3.k}^{t} = (1-\mu_{3.k-1})N_{3.k-1}^{t-1}e^{-M},\ k = 2,3,4;$$

где t — год; M_r — среднемноголетний мгновенный коэффициент естественной смертности в реке/озере; M_1, M — среднемноголетние мгновенные коэффициенты естественной смертности в первый и последующие годы жизни в море соответственно; p_i — вероятность «скатиться» в возрасте i.0; $\mu_{i.k}$ — среднемноголетняя доля половозрелых рыб в возрасте $i.k$. Каждый год t соответствует периоду преднерестовых миграций нерки в прибрежных водах Камчатки.

В соответствии с изложенным выше, численность возвратившихся производителей в возрасте $i.k$ записывается как $\mu_{i.k}N^t_{i.k}(1-\varphi^t_d)$, где

$$\varphi^t_d = \frac{\widehat{C^t_d}}{\sum_{i,k}\mu_{i.k}N^t_{i.k}}$$

— промысловая убыль от дрифтерных сетей, $\widehat{C^t_d}$ — фактический годовой улов нерки р. Озерной дрифтерными сетями в год t.

Далее в модели годовой вылов $C^t_{Fi.k}$ возвратившихся производителей в возрасте $i.k$ морскими неводами и на речных рыбопромысловых участках в год t определяется как:

$$C^t_{Fi.k} = \mu_{i.k}N^t_{i.k}(1-\varphi^t_d)\varphi^t_F,$$

где φ^t_F — убыль от промысла морскими неводами и на речных рыбопромысловых участках. Если же предполагать, что данные наблюдений об общем годовом вылове нерки морскими неводами и на речных рыбопромысловых участках $\widehat{C^t_F}$ точны, тогда

$$\varphi^t_F = \frac{\widehat{C^t_F}}{\sum_{i,k}\mu_{i.k}N^t_{i.k}(1-\varphi^t_d)}.$$

И, наконец, численность производителей $SSN^t_{i.k}$, прошедших на нерест в год t, выражается следующим образом:

$$SSN^t_{i.k} = \mu_{i.k}N^t_{i.k}(1-\varphi^t_d)(1-\varphi^t_F).$$

Здесь мы предполагаем, что естественная смертность при миграции производителей нерки вверх по течению реки незначительна, и ей можно пренебречь в расчетах.

Модельная учтенная численность скатившихся в год t рыб в возрасте i + ,0 определяется следующим образом:

$$S^t_i = q_i p_i N^t_{i.0},$$

где q_i — коэффициент пропорциональности.

Представленная модель является своего рода статистической когортной моделью для нерки. Оценки неизвестных параметров θ находятся из условия наилучшего приближения модели к данным наблюдений, в соответствии с допущениями относительно распределений ошибок. Целевая функция может представлять собой логарифм функции правдоподобия:

$$LL(\theta|Data) = LL_{CF} + LL_{SSN} + LL_S + LL_{SS} + LL_C \xrightarrow[\theta]{} \max,$$

$$LL_S = \sum_{i,t}\left(-\ln(\sigma_S) - 0,5\ln(2\pi) - \frac{(S^t_i - \widehat{S^t_i})^2}{2\sigma_S{}^2}\right),$$

$$LL_{SS} = \sum_{t}\left(-\ln(\sigma_{SS}) - 0,5\ln(2\pi) - \frac{(SS^t - \widehat{SS^t})^2}{2\sigma_{SS}{}^2}\right),$$

$$LL_C = \sum_{t}\left(-\ln(\sigma_C) - 0,5\ln(2\pi) - \frac{(SS^t_F - \widehat{C^t_F})^2}{2\sigma_C{}^2}\right).$$

Здесь $SS^t = \sum_{i,k}SSN^t_{i.k}, C^t_F = \sum_{i,k}C^t_{Fi.k}$, а $\widehat{SS^t}$ и $\widehat{S^t_i}$ — наблюденные суммарная численность пропущенных на нерест производителей и численность смолтов в возрасте i.0 в год t соответственно.

Для подгонки данных уловов и численности пропущенных производителей по возрастам можно использовать, к примеру, робастное мультиномиальное распределение (Fournier et al., 1990):

$$LL_{CF} = -0,5\sum_t\sum_{i,k}\ln\left(\frac{2\pi(P^t_{F_{i.k}}(1-P^t_{F_{i.k}}) + \frac{0,1}{12})}{n_F}\right) +$$

$$+\sum_t\sum_{i,k}\ln\left(\exp\left(-\frac{(P^t_{F_{i.k}} - \widehat{P^t_{F_{i.k}}})^2}{\frac{2(P^t_{F_{i.k}}(1-P^t_{F_{i.k}}) + \frac{0,1}{12})}{n_F}}\right) + 0,01\right),$$

$$LL_{SSN} = -0,5\sum_t\sum_{i,k}\ln\left(\frac{2\pi\left(P^t_{SSN_{i.k}}(1-P^t_{SSN_{i.k}}) + \frac{0,1}{12}\right)}{n_{SSN}}\right) +$$

$$+\sum_t\sum_{i,k}\ln\left(\exp\left(-\frac{\left(P^t_{SSN_{i.k}} - \widehat{P^t_{SSN_{i.k}}}\right)^2}{\frac{2\left(P^t_{SSN_{i.k}}(1-P^t_{SSN_{i.k}}) + \frac{0,1}{12}\right)}{n_{SSN}}}\right) + 0,01\right),$$

возможны и другие варианты (Francis, 2014). В последних двух формулах введены обозначения для долей возрастного состава

$$P^t_{F_{i.k}} = \frac{C^t_{F_{i.k}}}{C^t_F},\ \widehat{P^t_{F_{i.k}}} = \frac{\widehat{C^t_{F_{i.k}}}}{\widehat{C^t_F}},$$

$$P^t_{SSN_{i.k}} = \frac{SSN^t_{i.k}}{SS^t},\ \widehat{P^t_{SSN_{i.k}}} = \frac{\widehat{SSN^t_{i.k}}}{\widehat{SS^t}},$$

где $\widehat{C^t_{F_{i.k}}}, \widehat{SSN^t_{i.k}}$ — наблюденные данные уловов и численности пропущенных производителей по возрастам; n_F и n_{SSN}— «эффективные размеры выборок» для данных о возрастном составе уловов и численности пропущенных на нерестилища производителей.

По имеющимся в настоящее время наблюдениям в модели невозможно оценить одновременно численность $N^t_{i.k}$, параметры M и μ, а также p, M_1 и M_r. По этой причине расчеты проводились при значениях M = 0,2 год$^{-1}$ (Pope,

1975), $M_1 = M_r = 0{,}9$ год$^{-1}$ (это значение соответствует ≈60% убыли и близко к оценкам, полученным ранее (Крогиус и др., 1987)).

Предполагается, что, $p_3 = 1$, т. е. что вероятность «скатиться» в возрасте 3.0 мало отличается от 100%. Считается, что коэффициенты $\mu_{i,k}$ почти не зависят от пресноводного возраста, а именно: $\mu_{i,k} = \mu_k$, $k = 1,2,3,4$ для i = 2,3 и $\mu_{1.1} = 0$, $\mu_{1.k} = \mu_k$, $k = 2,3,4$. Также предполагается, что $\mu_{i,4} = 1$, т. е. доля незрелых рыб после 4 лет жизни в море ничтожна. Таким образом, неизвестными параметрами здесь являются μ_k, $k = 1,2,3$.

Касательно параметров распределений в настоящей работе принимается $\sigma_{SS} = \sigma_C = 0{,}1$, так как данные по вылову и пропуску заслуживают наибольшего доверия. Остальные параметры используемых распределений оцениваются в модели. Доверительные интервалы оценок построены по результатам статистического моделирования методом Монте-Карло.

Прогноз подходов нерки р. Озерной на 2024 и 2025 гг. строился исходя из полученных в расчетах терминальных оценок численности возрастных групп нерки по представленным выше формулам модели.

Всю статистическую обработку и анализ первичных данных осуществляли в программных средах MS Excel и R.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нерка р. Озерной возвращается для нереста в возрасте 3+…7+ лет с различными комбинациями речного и морского возраста. Подходы 2012–2024 гг. формировали рыбы преимущественно в возрасте 5+ (57,8%). Второй по численности являлась группа производителей, вернувшихся на нерест в возрасте 4+ (23,6%). Кроме того, многочисленна в подходах была нерка старшего возраста, 6+. В среднем доля семилетних рыб в родительских стадах последних лет (2012–2024 гг.) составляла 16,1%. Производители в возрасте четырех (3+) и восьми (7+) лет в сумме не превышали 5,1%, а в среднем их доля в подходах равна 2,5%.

За всю историю изучения нерки данного стада количество встреченных возрастных групп достигло 15 (Селифонов, 1975; Бугаев, Дубынин, 2002; Бугаев и др., 2009; Дубынин, 2023). По среднемноголетним данным, порядка 90% занимают всего четыре возрастные группы — 2.2, 2.3, 3.2 и 3.3. Это характерно для «озерных» популяций нерки, молодь которых нагуливается 2–3 года в относительно крупных озерах со стабильной трофической системой. Применительно к бассейну р. Озерной подобным нагульно-нерестовым водоемом является оз. Курильское.

Ниже представлены результаты, полученные с использованием робастного мультиномиального распределения для данных по возрастному составу уловов и пропущенных производителей нерки р. Озерной. Здесь вектором оцениваемых параметров является:

$$\vec{\theta} = \left(\left\{N_{i.k}^{2004}, i = 1,2,3; k = 0...4\right\}, \left\{N_{1.0}^{t}, t = 2005...2023\right\}, p_1, p_2, \left\{\varphi_F^t, t = 2004...2023\right\}, \mu_1, \mu_2, \mu_3, q_1, q_2, q_3, \sigma_S\right),$$

а «эффективные размеры выборок» $n_F = 68$ и $n_{SSN} = 198$ оценивались итеративно (McAllister, Ianelli, 1997).

Полученные оценки параметров и их коэффициенты вариации представлены в таблице 1. Оценка $N_{1.0}^{2023}$ получена по одному наблюдению (скат) и не должна вводить в заблуждение.

Полученные оценки вероятности ската p_1 и p_2 и доли половозрелых рыб μ_1, μ_2 и μ_3 вполне адекватно описывают биологическую ситуацию с неркой р. Озерной в пресноводный и морской/океанический периоды жизни. Вероятность ската молоди в возрасте 1.0 (p_1) или поимки неполовозрелых особей в море в возрасте $n.1$ (p_1), крайне мала. Соответственно, молодь в возрасте 2.0 составляет основу покатников нерки р. Озерной. Следовательно, вероятность ската этой возрастной группы молоди значительно возрастает. Оставшаяся незначительная часть молоди скатится в возрасте 3.0. У половозрелых рыб наблюдается аналогичная зависимость, так как по мере созревания возрастает фактор ее убыли за счет промысловой смертности.

Оценки коэффициентов q_1, q_2 и q_3 в какой-то степени можно интерпретировать как коэффициенты улавливаемости для покатной молоди. Расчетные оценки коэффициентов q_1, q_2 и q_3 подтверждают наши представления о том, что улавливаемость учетного орудия лова будет наибольшей для рыб в возрасте 1.0, а рыбы старшего возраста могут активнее избегать его.

Модельные оценки численности всех оставшихся возрастных групп (рис. 1), а также численности возвратившихся производителей (рис. 2 и 4) и численности скатившихся рыб вычисляются по уравнениям модели при значениях параметров из таблицы 1.

Обращает на себя внимание полученный большой разброс оценок численности возрастных групп 1.1, 1.2, 1.3 и 1.4, а также численности

возврата нерки р. Озерной от возрастных групп 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 и 2.1, 3.1. Причиной этого является довольно большой коэффициент вариации оценок параметров p_1, μ_1 и q_1, прежде всего из-за невысокой численности данных возрастных групп (табл. 1).

Модельную возрастную структуру уловов и пропуска за последние 3 года (2021–2023 гг.) в сравнении с фактическими данными иллюстрирует рисунок 3. Здесь на примере 2023 г. можно видеть, что большие отклонения в возрастном составе между модельными оценками и наблюдениями могут быть объяснены несоответствием самих наблюдений возрастного состава в уловах и на пропуске в озеро (возрастные группы 2.2 и 2.3).

На рисунке 4A представлена модельная динамика численности возвратившихся производителей в сравнении с данными наблюдений. Качественно модель повторяет динамику наблюдений, а различия в оценках в 2016–2018 гг. обусловлены большими отклонениями в оценках возрастного состава уловов. Значение коэффициента корреляции Спирмена между модельными оценками и наблюдениями составляет для данных по годовому вылову 0,83, для пропуска производителей — 0,98.

Сравнение модельной учтенной численности скатившихся рыб по возрастам с данными наблюдений иллюстрирует рисунок 5. Наибольшие отклонения между моделью и наблюдениями — в возрастной группе 1.0, наименьшие — в возрастной группе 2.0.

Поскольку в выражении целевой функции модели предполагается нормальное распределение отклонений логарифмов наблюдений от их прогнозов по модели, необходимо было проверить эти предположения. Проверка гипотез о нормальности распределения и равенстве нулю математических ожиданий отклонений осуществлялась с помощью тестов Шапиро–Уилка и Стьюдента. На уровне значимости $p < 0{,}05$ не было оснований отвергнуть эти гипотезы, как для данных по вылову и пропуску, так и для данных по скату.

Как видно из рисунка 6, говорить о какой-либо ярко выраженной модельной зависимости «запас – пополнение» рикеровского типа (Ricker, 1954) без привлечения факторов среды не приходится. В интервале пропуска 1,2–2,0 млн рыб вполне адекватным прогнозом для численности пополнения (возраст 1.0) может быть ее среднемноголетнее значение. В представленной модели прогноз численности пополнения может оказать сколько-нибудь существенное влияние на прогноз подхода нерки через три года.

Исходя из полученных в расчетах оценок численности возрастных групп нерки в терминальном 2023 г., по формулам модели был сделан прогноз численности производителей, которые возвратятся в 2024 и 2025 гг. На рисунках 4B, C, D представлены модельные прогнозные оценки численности возврата в 2024 г. по возрастным группам. На рисунке 7 — модельная оценка общей численности подхода в

Таблица 1. Оценки параметров модели и их коэффициенты вариации
Table 1. Estimates of model parameters and coefficients of variation

Параметр Parameter	Оценка Estimate	CV	Параметр Parameter	Оценка Estimate	CV	Параметр Parameter	Оценка Estimate	CV
$N^{2004}_{1.1}$	16.1	6.334	$N^{2011}_{1.0}$	152748.6	0.081	φF_{2010}	0.866	0.017
$N^{2004}_{1.2}$	7.1	9.031	$N^{2012}_{1.0}$	161071.7	0.077	φF_{2011}	0.828	0.022
$N^{2004}_{1.3}$	36.4	1.251	$N^{2013}_{1.0}$	142302.7	0.082	φF_{2012}	0.842	0.020
$N^{2004}_{1.4}$	1.0	19.684	$N^{2014}_{1.0}$	158485.7	0.073	φF_{2013}	0.860	0.018
$N^{2004}_{2.0}$	73255.9	0.054	$N^{2015}_{1.0}$	125219.4	0.074	φF_{2014}	0.818	0.023
$N^{2004}_{2.1}$	12336.7	0.070	$N^{2016}_{1.0}$	84481.6	0.074	φF_{2015}	0.846	0.020
$N^{2004}_{2.2}$	6237.6	0.073	$N^{2017}_{1.0}$	61603.8	0.075	φF_{2016}	0.862	0.018
$N^{2004}_{2.3}$	3199.7	0.085	$N^{2018}_{1.0}$	85376.3	0.068	φF_{2017}	0.811	0.026
$N^{2004}_{2.4}$	150.0	0.473	$N^{2019}_{1.0}$	92807.9	0.088	φF_{2018}	0.867	0.017
$N^{2004}_{3.0}$	4438.6	0.198	$N^{2020}_{1.0}$	142388.9	0.174	φF_{2019}	0.840	0.020
$N^{2004}_{3.1}$	2149.9	0.169	$N^{2021}_{1.0}$	71849.5	0.682	φF_{2020}	0.815	0.024
$N^{2004}_{3.2}$	2861.5	0.110	$N^{2022}_{1.0}$	8546.2	0.861	φF_{2021}	0.770	0.029
$N^{2004}_{3.3}$	1054.0	0.155	$N^{2023}_{1.0}$	945777.6	1.220	φF_{2022}	0.796	0.027
$N^{2004}_{3.4}$	22.2	1.802	p_1	0.002	0.388	φF_{2023}	0.834	0.022
$N^{2005}_{1.0}$	111052.7	0.068	p_2	0.639	0.016	μ_1	0.004	0.285
$N^{2006}_{1.0}$	59172.5	0.081	φF_{2004}	0.772	0.031	μ_2	0.220	0.026
$N^{2007}_{1.0}$	131831.2	0.060	φF_{2005}	0.786	0.028	μ_3	0.956	0.005
$N^{2008}_{1.0}$	130538.6	0.062	φF_{2006}	0.875	0.016	q_1	0.594	0.490
$N^{2009}_{1.0}$	140763.7	0.066	φF_{2007}	0.616	0.052	q_2	0.160	0.271
$N^{2010}_{1.0}$	176333.3	0.060	φF_{2008}	0.867	0.017	q_3	0.082	0.270
	94197.8	0.077	φF_{2009}	0.833	0.021	σ_S	1.181	0.094

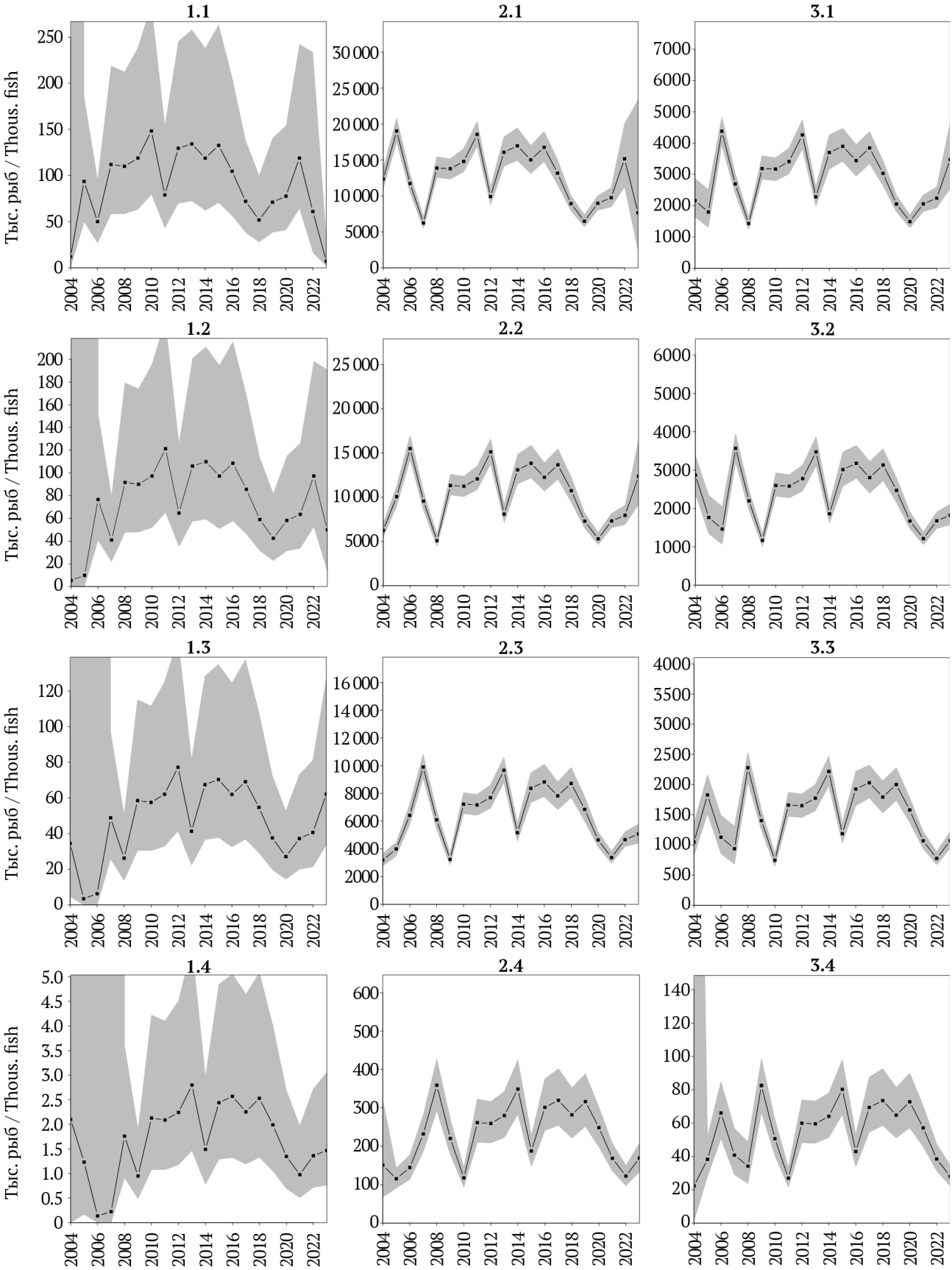


Рис. 1. Модельная динамика численности возрастных групп нерки р. Озерной
Fig. 1. Model dynamics of the abundance of sockeye salmon age groups in the Ozernaya River population

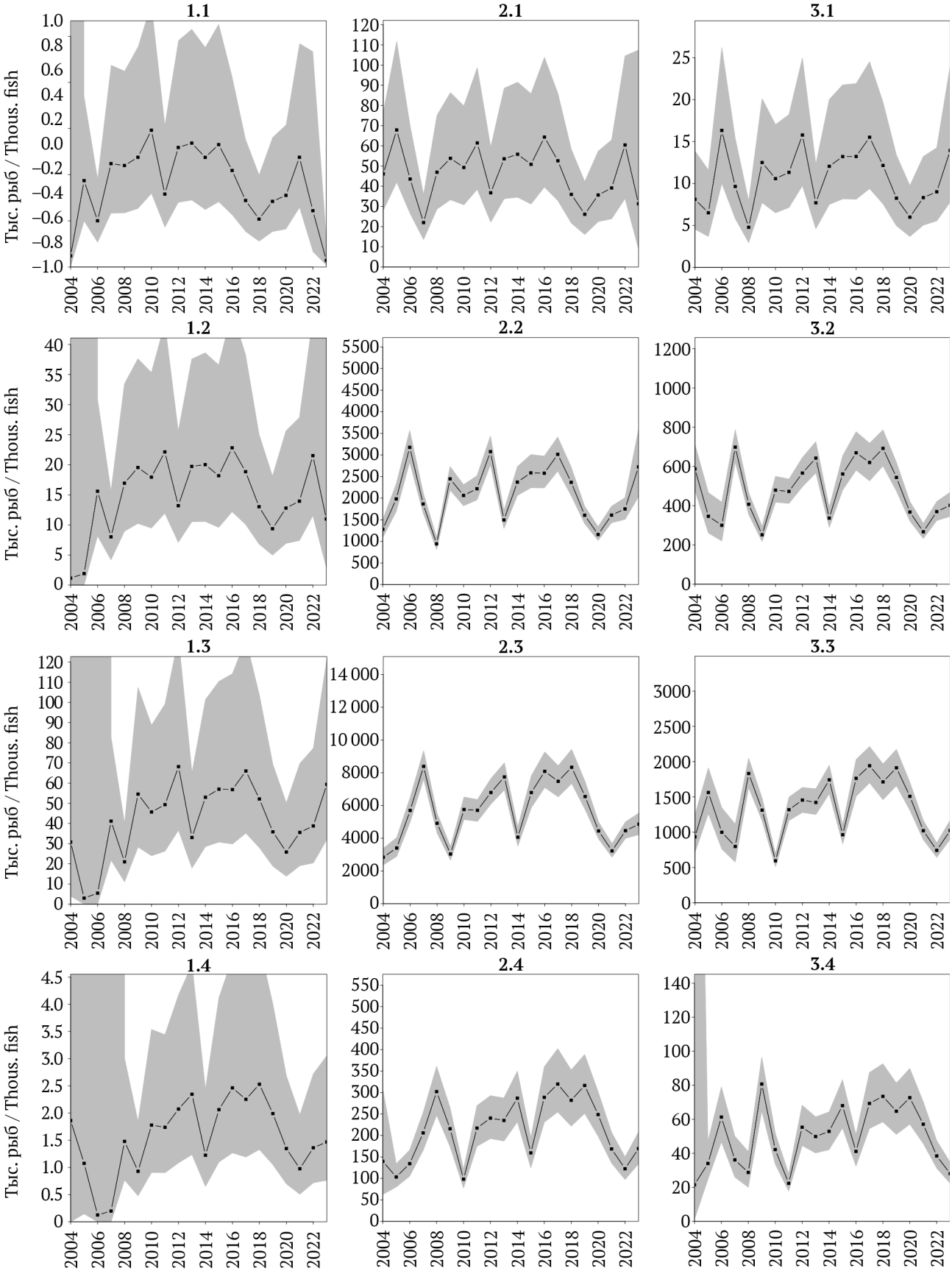


Рис. 2. Модельная динамика численности возврата нерки р. Озерной по возрастным группам
Fig. 2. Model dynamics of the abundance of sockeye salmon returns by age groups in the Ozernaya River population

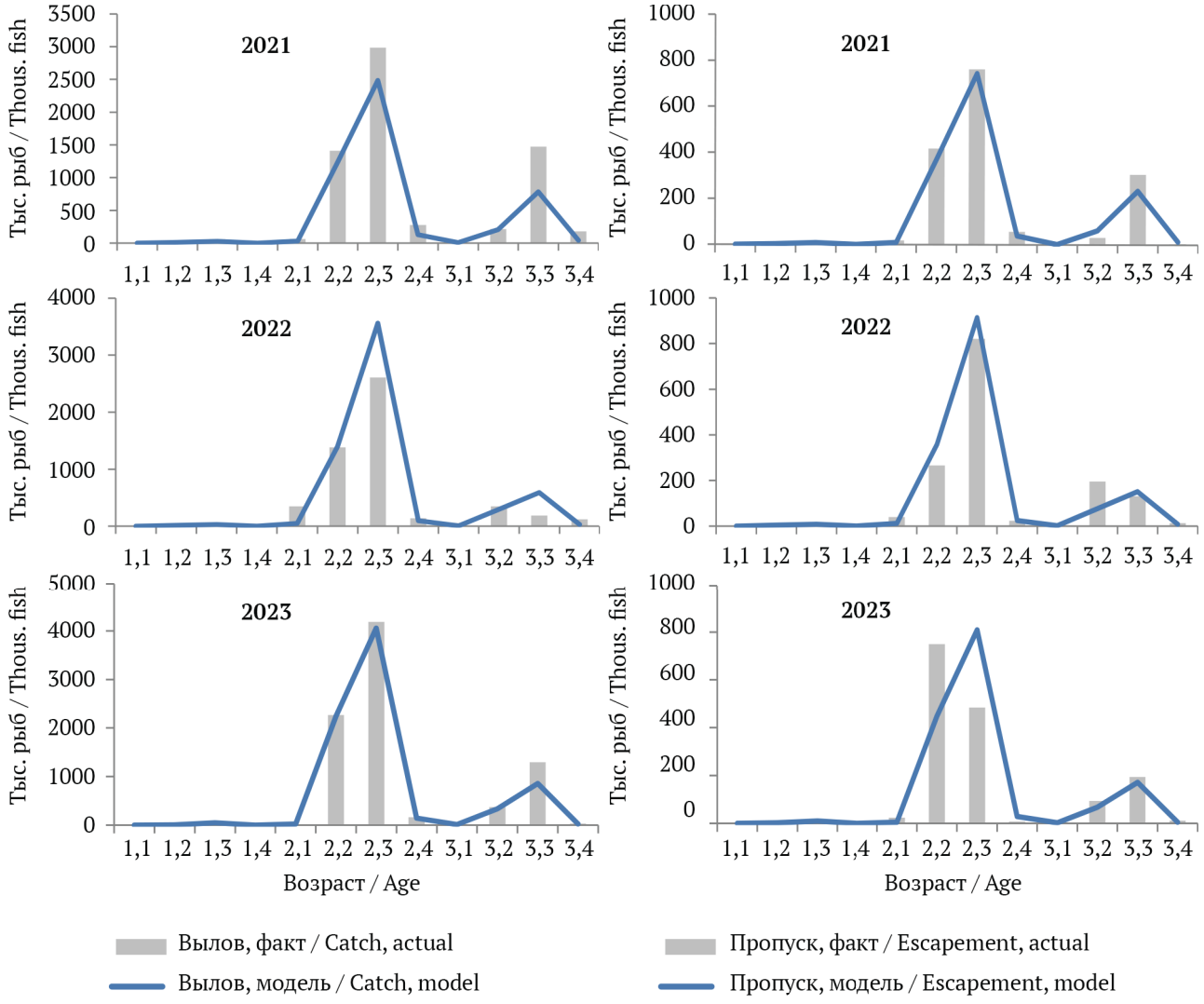


Рис. 3. Возрастная структура уловов (слева) и пропуска (справа) в 2021–2023 гг.
Fig. 3. Age structure of the catches (left) and escapement (right) in 2021–2023

2023 г. и ее вероятностный прогноз в 2024 и 2025 гг. Медиана оценок численности подхода производителей в 2024 г. составляет 11,2 млн рыб, а в 2025 г. — 7,5 млн рыб. Как видно из рисунка 4В, согласно модельным оценкам, основу подхода в 2024 г. должна была составить возрастная группа 2.3, относящаяся к нересту 2018 г., что соответствует фактическим результатам — 71,7% от подхода, или 9,04 млн рыб. Численность возврата поколения 2018 г. достигла на 2024 г. 12,50 млн рыб. Возврат этого высокочисленного поколения завершится в 2026 г. и, скорее всего, превысит 14,50 млн рыб. Модельная оценка численности следующего за ним поколения от нереста 2019 г. — почти в полтора раза ниже. Этим и объясняется столь существенное снижение прогнозной оценки численности подхода нерки р. Озерной в 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе методологии когортного анализа построена модель динамики возрастной структуры запаса нерки р. Озерной. Модель позволила спрогнозировать численность подхода в 2024 г. на уровне 11,2 млн рыб, причем верхняя граница межквартильного интервала (10,0–12,6 млн рыб) соответствует фактическому подходу — 12,6 млн рыб. В качестве экспериментального варианта представлен прогноз подхода на два года вперед — на 2025 г., без фактических данных, полученных в 2024 г. Так, медианное значение численности подхода нерки р. Озерной в 2025 г. спрогнозировано на уровне 7,5 млн рыб (межквартильный интервал 5,8–10,4 млн рыб). Однако следует подчеркнуть, что расчет подхода на 2025 г. представлен не с целью прогнозирования, а для проработки алгоритмов и возможностей метода.

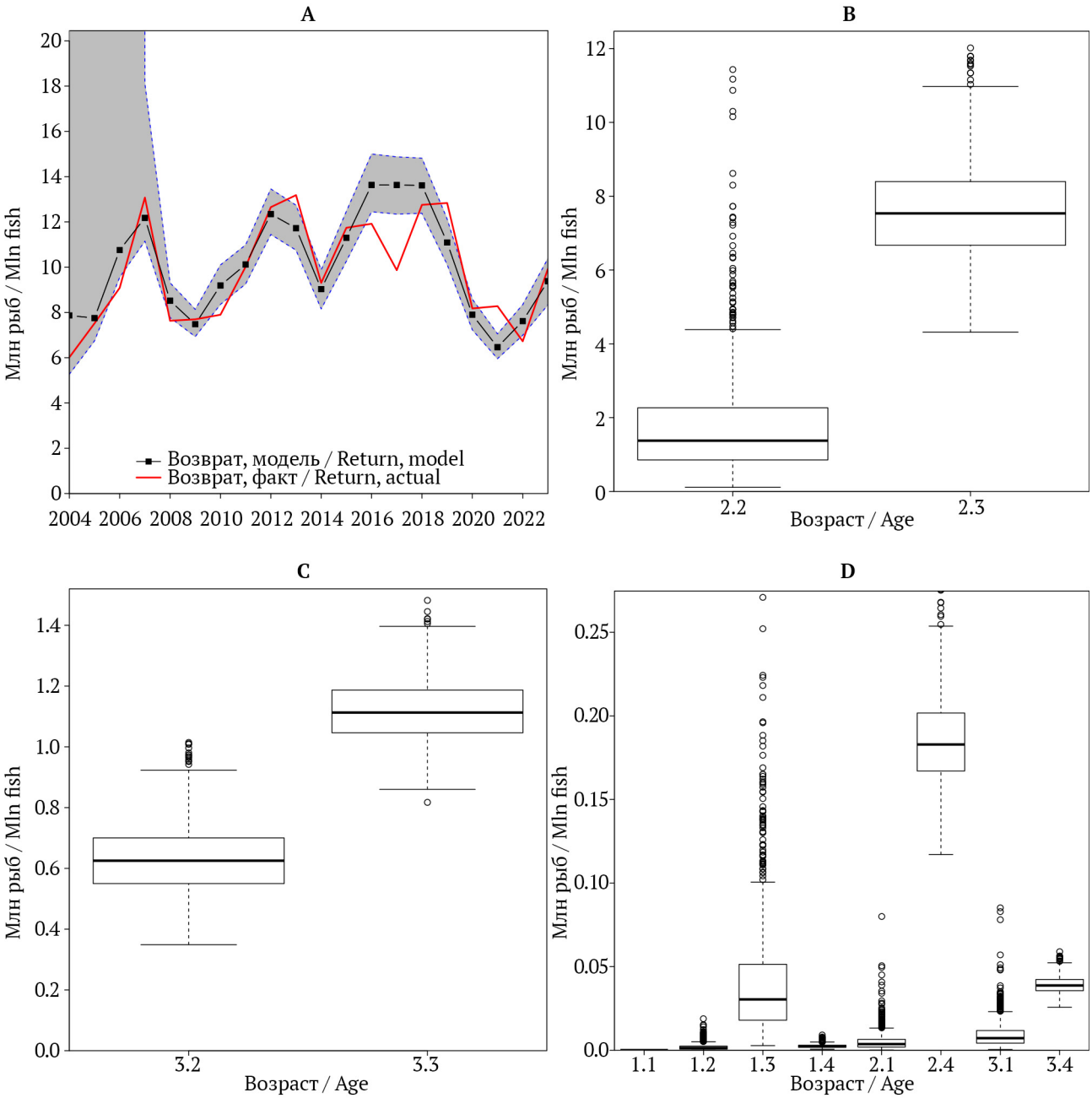


Рис. 4. Динамика возврата в 2004–2023 гг. (A), модельная численность возврата нерки р. Озерной в 2024 г. по возрастным группам (B, C, D)
Fig. 4. Return dynamics in 2004–2023 (A), model abundance of sockeye salmon return in the Ozernaya River in 2024 by age groups (B, C, D)

Представленный модельный подход к прогнозированию динамики численности нерки р. Озерной демонстрирует высокую степень соответствия прогнозных величин с фактическими данными. Так, результаты, полученные моделированием для рыб основной возрастной группы 2.3, вернувшихся в 2024 г., полностью соответствуют реальным данным, что также характерно для величины подхода в целом. Таким образом, полагаем возможным использование описанного метода прогнозирования динамики возрастной структуры нерки р. Озерной в качестве дополнительного инструмента к уже применяемым методам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бугаев А.В. 2015. Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 416 с.

Бугаев В.Ф. 2011. Азиатская нерка – 2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX – начале XXI вв.).

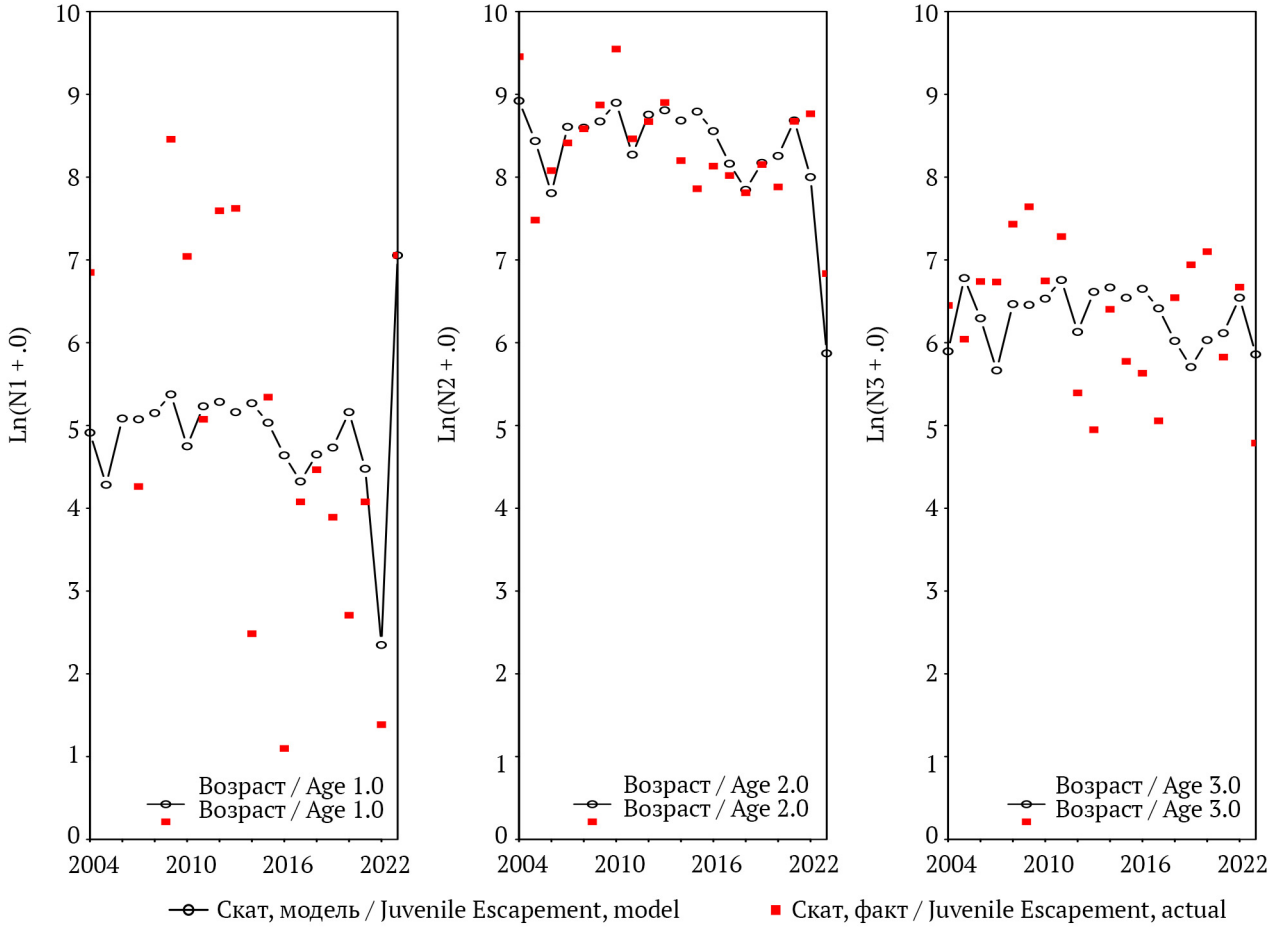


Рис. 5. Модельный и фактический скат молоди нерки р. Озерной (в логарифмической шкале)
Fig. 5. Model and actual juvenile escapement of sockeye salmon in the Ozernaya River (on a logarithmic scale)

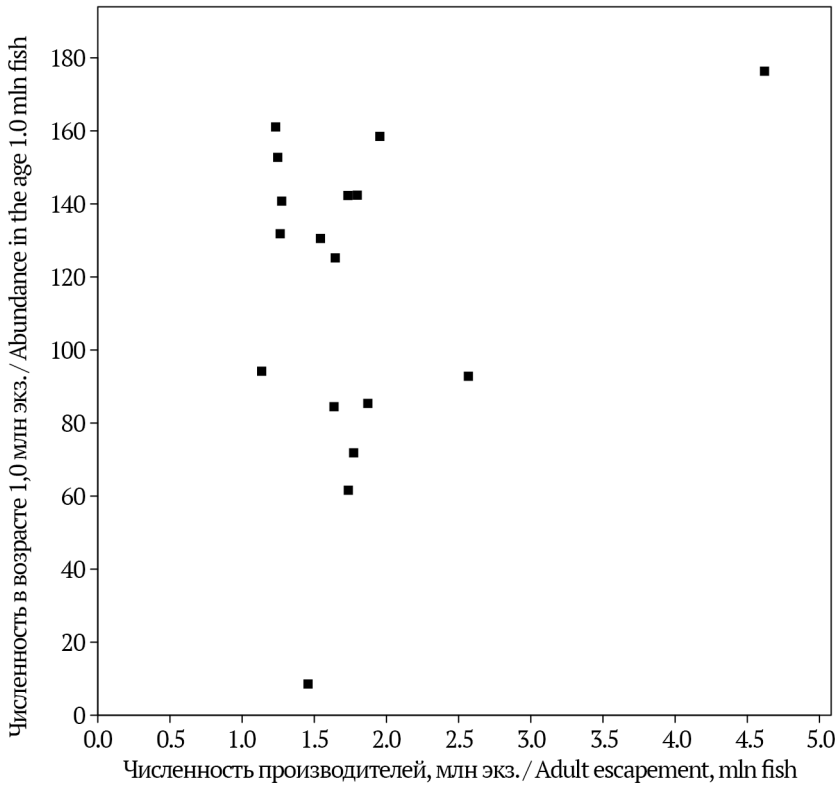


Рис. 6. Модельная зависимость численности пополнения от численности зашедших на нерест производителей нерки р. Озерной
Fig. 6. Model dependence of sockeye salmon recruitment abundance on adult escapement in the Ozernaya River

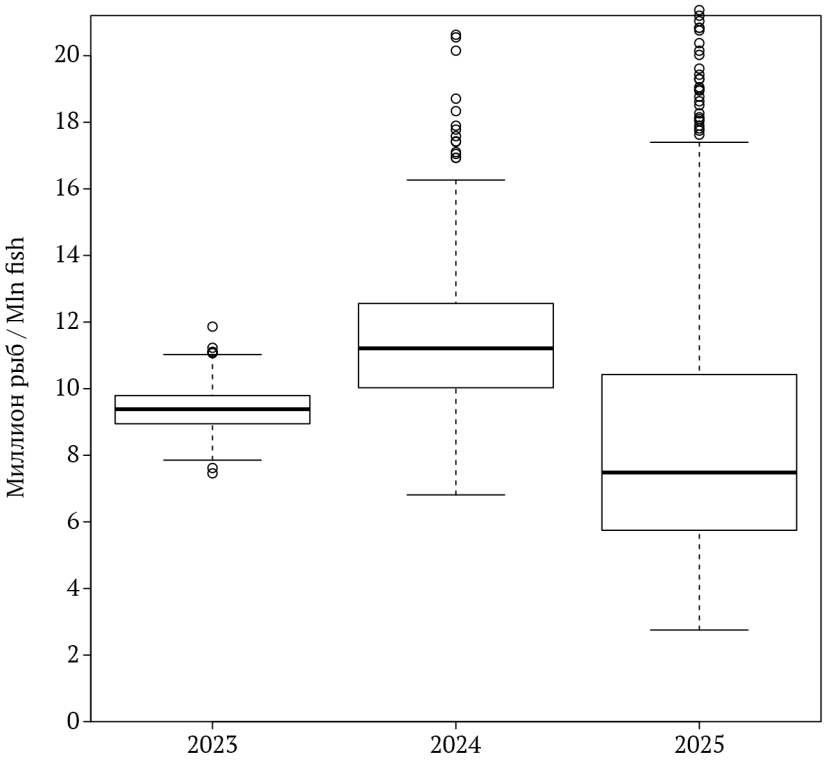


Рис. 7. Модельная оценка численности подхода нерки р. Озерной в 2023 г. и прогноз численности подхода в 2024–2025 гг.
Fig. 7. Model abundance of sockeye salmon run in the Ozernaya River in 2023 and forecast abundance of the run for 2024–2025

Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 380 с.

Бугаев В.Ф., Дубынин В.А. 2002. Факторы, влияющие на биологические показатели и динамику численности нерки *Oncorhynchus nerka* рек Озерная и Камчатка // Изв. ТИНРО. Т. 130, ч. 2. С. 679–757.

Бугаев В.Ф., Маслов А.В., Дубынин В.А. 2009. Озерновская нерка (биология, численность, промысел). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 156 с.

Дубынин В.А. 2023. 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. Вып. 71. С. 60–79. EDN: TXGEJJ. doi: 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79

Дубынин В.А., Травин С.А. 2020. Количественный учет смолтов и использование данных учета при перспективном прогнозировании подходов половозрелой нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной (Западная Камчатка) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 58. С. 22–41. EDN: VKQQXV. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.22-41

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

Крогиус Ф.В., Крохин Е.М., Меншуткин В.В. 1987. Тихоокеанский лосось – нерка (красная) в экологической системе оз. Дальнего (Камчатка). Л.: Наука. 198 с.

Селифонов М.М. 1975. Промысел и воспроизводство красной бассейна р. Озерной : Автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 23 с.

Fournier D.A., Sibert J.R., Majkowski J., Hampton J. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple lengthfrequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 47 (2). P. 301–317.

Francis R.I.C.C. 2014. Replacing the multinomial in stock assessment models: a first step // Fish. Res. № 151. P. 70–84.

McAllister M.K., Ianelli J.N. 1997. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling: importance resampling algorithm // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 54. P. 284–300.

Pope J.G. 1975. Estimation of unknown natural mortality. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Dumm. Doc. 75/2.

Ricker W.E. 1954. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Bd. of Canada. Vol. 11 (5). P. 559–623.

REFERENCES

Bugaev A.V. *Pre-spawning migrations of Pacific salmon in the Exclisive Economic Zone of Russia.* Petropavlovsk-Kamchatsky, 2015, 416 p. (In Russ.)

Bugaev V.F. Asian sockeye salmon – 2 (biological structure and abundance *dynamics* of *local stocks* at the *end* of the 20th – *beginning* of the 21st *centuries*). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2011, 380 p.
Bugaev V.F., Dubynin V.A. Factors influencing on biological parameters and population dynamics of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* from the Ozernaya and Kamchatka Rivers. *Izvestiya TINRO*, 2002, vol. 130, pp. 679–757. (In Russ.)
Bugaev V.F., Maslov A.V., Dubynin V.A. *Ozernovskaya nerka (biologiya, chuslennost, promysel)* [The Sockeye salmon of the Ozernaya River: biology, numbers, and fishery]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2009, 156 p.
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). *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2023, vol. 71, pp. 60–79. (In Russ.). EDN: TXGEJJ. doi:10.15853/2072-8212.2023.71.60-79
Dubynin V.A., Travin S.A. Counting smolts and using the results in prospective forecasting of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) spawning runs into the Ozernaya River (Western Kamchatka) in 2004–2018. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 58, pp. 22–41. (In Russ.) EDN: VKQQXV. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.22-41
Dubynin V.A., Shevlyakov E.A., Ilyin O.E. On the forecast method of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* generation abundance for the Ozernaya River stock. *Izvestiya TINRO*, 2007, vol. 149, pp. 219–225. (In Russ.)
Krogius F.V., Krokhin E.M., Menshutkin V.V. *Tikhookeanskii losos nerka v ekologicheskoi sisteme ozera Dalnee (Kamchatka)* [Pacific salmon sockeye salmon in the ecosystem of Dalneye Lake (Kamchatka)]. Leningrad: Nayka, 1987, 198 p.
Selifonov M.M. *Promysel i vosproizvodstvo krasnoi basseina r. Ozernoi* : *Avtoref. dis. … kand. biol. nauk* [Catches and reproduction of sockeye salmon in the basin of the Ozernaya River: Author's abstract. Dis. … cand. biol. sci.]. Vladivostok: TINRO, 1975, 23 p.
Fournier D.A., Sibert J.R., Majkowski J., Hampton J. 1990. MULTIFAN a likelihood-based method for estimating growth parameters and age composition from multiple lengthfrequency data sets illustrated using data for southern bluefin tuna *Thunnus. Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1990, no. 47 (2), pp. 301–317.
Francis R.I.C.C. Replacing the multinomial in stock assessment models: a first step. *Fish. Res.*, 2014, no. 151, pp. 70–84.
McAllister M.K., Ianelli J.N. Bayesian stock assessment using catch-age dataand the sampling: importance resampling algorithm. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1997, no. 54, pp. 284–300.
Pope J.G. Estimation of unknown natural mortality. *International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Dumm.*, 1975, doc. 75/2.
Ricker W.E. Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Bd. of Canada*, 1954, vol. 11 (5), pp. 559–623.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHOR CONTRIBUTION

Авторы в равной мере участвовали в сборе и обработке данных, обсуждении полученных результатов и написании статьи.
The authors jointly collected, processed and analyzed the data, discussed the results and wrote the text of article, with equal contribution.

Информация об авторах
О.И. Ильин — канд. физ.-мат. наук,
вед. науч. сотрудник, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО)
А.В. Бугаев — докт. биол. наук,
зам. руководителя, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).
ORCID: 0000-0001-6646-3241
В.А. Дубынин — гл. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО)
О.В. Зикунова — канд. биол. наук,
зав. лабораторией лососевых рыб,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).
ORCID: 0009-0007-6173-5667

Information about the authors
Oleg I. Ilyin – Ph. D. (Physics and Mathematics),
Leading Researcher (KamchatNIRO)
Alexandr V. Bugaev – D. Sc. (Biology),
Deputy Head (KamchatNIRO).
ORCID: 0000-0001-6646-3241
Vladimir A. Dubynin – Principal Specialist
(KamchatNIRO)
Olga V. Zikunova – Ph. D. (Biology),
Head of the Lab. of Salmonid Fishes
(KamchatNIRO).
ORCID: 0009-0007-6173-5667

Статья поступила в редакцию / Received:
27.12.2024
Одобрена после рецензирования / Revised:
20.01.2025
Статья принята к публикации / Accepted:
05.03.2025

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 70–80.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 70–80.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 591.524.12(265.52)
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.70-80
EDN: MIJWQI

СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В КРОНОЦКОМ ЗАЛИВЕ В ВЕСЕННИЕ МЕСЯЦЫ 2018, 2019, 2021 И 2023 ГГ.

Базаркина Лидия Анатольевна✉, Тепнин Олег Борисович, Блохин Иван Алексеевич

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, l.bazarkina@kamniro.vniro.ru✉

Аннотация. Приведены данные о видовом составе и пространственном распределении зоопланктона в Кроноцком заливе в весенние месяцы 2018, 2019, 2021 и 2023 гг. Установлено, что ведущими по численности и биомассе в зоопланктонном сообществе являются веслоногие ракообразные. Неритические и океанические виды зоопланктонных организмов обитают в заливе не изолированно, что обусловлено их миграциями и приспособлением к условиям окружающей среды. Распределение зоопланктона по акватории Кроноцкого залива регулируют прибрежная циркуляция водных масс и Камчатское течение.

Ключевые слова: Кроноцкий залив, зоопланктон, видовой состав, численность и биомасса, пространственное распределение, прибрежные и океанические течения

Благодарности: сотрудникам лаборатории рыбохозяйственной экологии КамчатНИРО К.В. Богдановой, Т.В. Бонк, Т.Б. Морозову — за консультации в определении некоторых видов зоопланктона; А.С. Сушкевич, участвовавшей в обработке проб.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Базаркина Л.А., Тепнин О.Б., Блохин И.А. Состав и распределение зоопланктона в Кроноцком заливе в весенние месяцы 2018, 2019, 2021 и 2023 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 70–80. EDN: MIJWQI. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.70-80

ZOOPLANKTON COMPOSITION AND DISTRIBUTION IN KRONOTSKY GULF DURING THE SPRING MONTHS OF 2018, 2019, 2021, AND 2023

Lidiya A. Bazarkina✉, Oleg B. Tepnin, Ivan A. Blokhin

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, l.bazarkina@kamniro.vniro.ru✉

Abstract. Data on species composition and spatial distribution of zooplankton in spring months in Kronotsky Gulf in 2018, 2019, 2021 and 2023 are provided. It is found, that Copepods make up the main group in the abundance and biomass of zooplankton community. Neritic and oceanic zooplankton species persist in the gulf not isolated, what is due to their migrations and adaptations to environmental conditions. Zooplankton distribution in the waters of Kronotsky Gulf is regulated by coastal aquatic circulation and Kamchatka Current.

Keywords: Kronotsky Gulf, zooplankton, species composition, abundance and biomass, species distribution, coastal and oceanic currents

Acknowledgements: The authors express their gratitude to Kseniya V. Bogdanova, Tatyana V. Bonk and Taras B. Morozov of the KamchatNIRO Fisheries ecology laboratory for their consultations in the course of identification of some zooplankton species and to Anastasiya S. Sushkevich, who participated in processing zooplankton samples.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Bazarkina L.A., Tepnin O.B., Blokhin I.A. Zooplankton composition and distribution in Kronotsky Gulf during the spring months of 2018, 2019, 2021, and 2023 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 70–80. (In Russ.) EDN: MIJWQI. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.70-80

В Кроноцком заливе Тихого океана нагуливается молодь лососевых, тресковых, камбаловых, сельдевых и других промысловых рыб, основной пищей которых являются планктонные организмы (Максименков, 2007; Карпенко и др., 2013).

© Базаркина Л.А., Тепнин О.Б., Блохин И.А.

Исследования зоопланктонного сообщества Кроноцкого залива были начаты в 1938–1939 гг. сотрудниками Камчатского отделения ТИНРО З.В. Черных и А.К. Гейнрих, работы которых, к сожалению, не были опубликованы (Лубны-Герцык, 1959). О видовом составе мезо- и макропланктона в Кроноцком заливе в 40-е годы XX в. можно получить представление по спектрам питания лососевых рыб в морской период жизни, приведенным в статье А.И. Сынковой (1951).

В 1950–1955 гг. сбор планктона в заливе проводили на экспедиционном судне «Витязь» Института океанологии АН СССР (Пономарева, 1954, 1956, 1959; Лубны-Герцык, 1959). В 1975 г. была организована экспедиция Зоологического института АН СССР и ТИНРО под руководством А.Н. Голикова на судне «Радуга» в целях исследования флоры и фауны тихоокеанских вод Восточной Камчатки (Кусакин, Чавтур, 2000). Однако в списке экспедиций ЗИН РАН 1962–1989 гг. количество обследованных станций и собранных планктонных проб в 1975 г. не указано. С 2006 г. изучение зоопланктонного сообщества Кроноцкого залива было возобновлено сотрудниками КамчатНИРО (Лобанова, 2010; Максименков и др., 2012; Максименков, 2018).

Цель настоящей работы — дать характеристику видового состава, численности и биомассы зоопланктона и его распределения в Кроноцком заливе в весенние месяцы 2018, 2019, 2021 и 2023 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили данные гидробиологических съемок, выполненных весной 2018, 2019, 2021 и 2023 гг. на шельфе и материковом склоне Кроноцкого залива сотрудниками лаборатории морских промысловых рыб КамчатНИРО.

Кроноцкий залив Тихого океана расположен на восточном берегу полуострова Камчатка между Шипунским и Кроноцким полуостровами, является вторым крупным заливом к северу от Петропавловска-Камчатского. Протяженность шельфа Кроноцкого залива в северо-восточном направлении составляет около 120 км. Границей шельфа со стороны суши служит береговая линия, внешняя грань проходит по бровке — перегибу с океанской стороны, ниже которой глубины дна резко возрастают. Шельф и континентальный склон Кроноцкого залива глубоко расчленены каньонами Жупановский, Кроноцкий, Ольга и Кубовой. Берега низменные, местами обрывистые. Приливы смешанные, их величина до 2 м. Зимой залив замерзает (Селиверстов, 2009; Большая российская энциклопедия, 2010).

Весной 2018 г. отбор проб зоопланктона в Кроноцком заливе проводили на 28 станциях (81–108), расположенных на шельфе и материковом склоне залива над глубинами 50–600 м (рис. 1); в апреле 2019 г. — на трех станциях (97, 98 и 101) в северной части Кроноцкого залива и на трех южных станциях (86–88). В мае 2021 г. зоопланктон собирали на трех станциях (101, 105 и 88) в северном, центральном и южном районах залива, в мае 2023 г. — на двух станциях (105 и 88) в центральной и южной частях Кроноцкого залива.

Пробы планктона отбирали сетью Джеди большой модели (диаметр входного отверстия 37 см, размер ячеи 0,168 мм) в слое 0–50 м. Планктонные организмы консервировали в 4%-м растворе формалина. Видовой состав зоопланктона и численность его представителей определяли под микроскопами NIKON-SMZ1000 и МБС-10 в камере Богорова и чашках Петри, согласно «Инструкции по сбору и обработке планктона» (1971), используя определители фауны северных и дальневосточных морей (Определитель фауны.., 1948; Бродский, 1950; Краткое руководство.., 1990). Биомассу планктонных организмов определяли, как произведение их численности на средний вес одного экземпляра. Средние значения массы тела гидробионтов были заимствованы из работы Е.А. Лубны-Герцык (1953). Крупные организмы (медузы, полихеты, эвфаузииды, гипериды, сагитты и старшие стадии некоторых копепод) взвешивали на электронных весах с точностью до 1 мг.

Исходными данными для представления скорости и направления течений послужили материалы, полученные с сайта Программы Европейского союза (EU) Морская служба Copernicus (или Copernicus Marine Environment Monitoring Service, https://www.copernicus.eu / en/copernicus-services/marine).

Анализ материалов проводили с применением программ Microsoft Excel, Golden Software Surfer и Ocean Data View (Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, https://odv.awi.de, 2024).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зоопланктонное сообщество Кроноцкого залива, как и в предшествующие годы наблюдений (Лобанова, 2010; Максименков, 2018), состояло из 15 таксономических групп, включающих 33 формы холодноводной и умеренно-холодноводной тихоокеанской фауны (табл. 1), характерной для шельфовых и океанических вод.

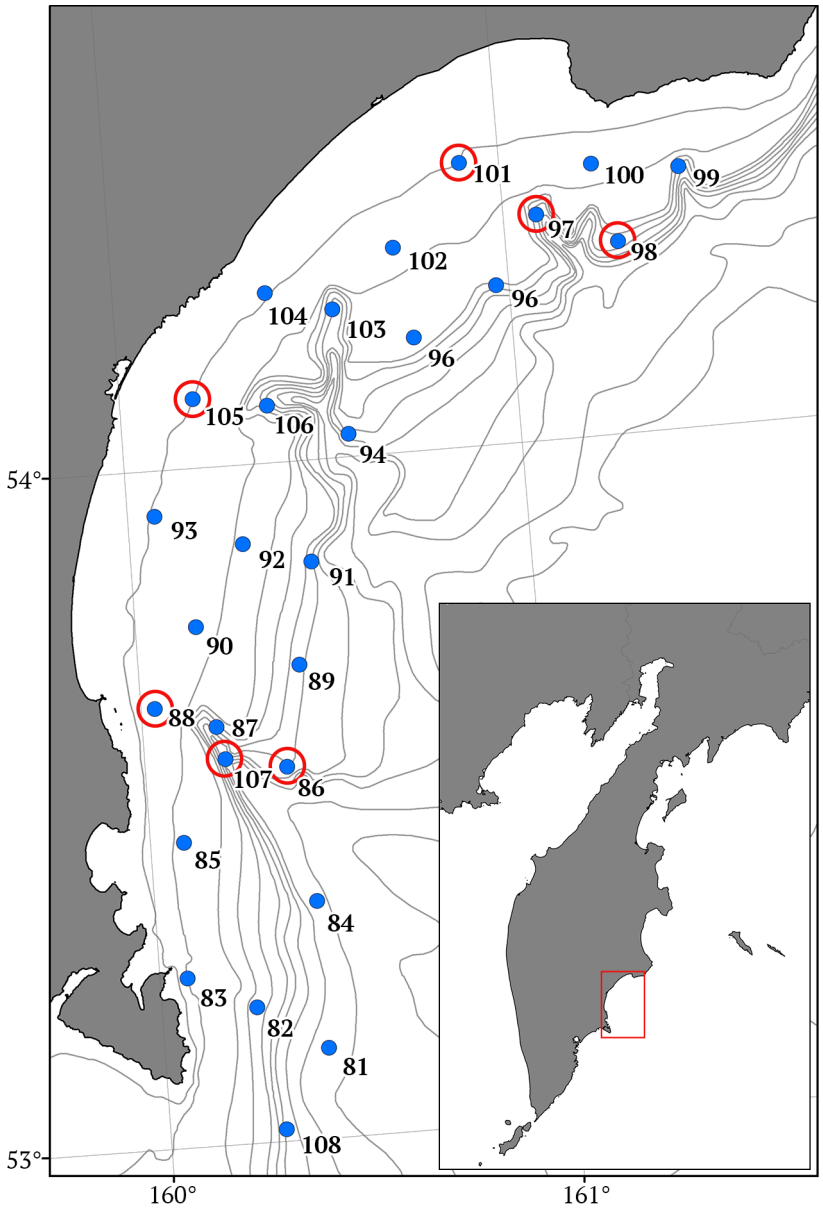


Рис. 1. Карта-схема сбора проб зоопланктона в Кроноцком заливе 24 апреля – 2 мая 2018 г.: ○ — 22–30 апреля 2019 г., 7 мая 2021 г., 3–5 мая 2023 г.
Fig. 1. Schematic map of zooplankton sampling in Kronotsky Gulf, April 24 – May 2, 2018: ○ – April 22–30, 2019; May 7, 2021; May 3–5, 2023

Таблица 1. Видовой состав зоопланктонных организмов в Кроноцком заливе в 2018, 2019, 2021 и 2023 гг.
Table 1. Species composition of zooplankton organisms in Kronotsky Gulf in 2018, 2019, 2021 and 2023

Таксон / Taxon	Таксон / Taxon	Таксон / Taxon
Protozoa	*Pseudocalanus minutus*	**Decapoda**
Parundella pellucida	*Metridia pacifica*	Macrura natantia indet. (larv.)
Globigerina bulloides	*Microcalanus pygmaeus*	*Pandalus borealis*
Heliodiscus sp.	*Calanus glacialis*	Brachyura indet. (larv.)
Cnidaria	Cyclopoida	Anomura indet. (larv.)
Hydrozoa indet.	*Oithona similis*	**Gastropoda**
Aglantha digitale	*Triconia borealis*	*Limacina helicina*
Rotifera	**Cirripedia**	*Clione limacina*
Synchaeta bacillifera.	*Balanus* sp. (larv.)	**Chaetognatha**
Polychaeta	**Mysida**	*Parasagitta elegans*
Polychaeta indet. (larv.)	*Neomysis* sp.	**Echinodermata**
Tomopteris pacifica	*Xenacanthomysis pseudomacropsis*	Asteroidea indet. (larv.)
Copepoda	**Amphipoda**	Echinoidea indet. (larv.)
Calanoida	*Themisto japonica*	**Tunicata**
Eucalanus bungii	*Gammarus* sp.	*Oikopleura labradoriensis*
Neocalanus cristatus	**Euphausiacea**	
Neocalanus plumchrus	*Thysanoessa inermis*	

Четкого разграничения неритического и океанического сообществ в зоне надшельфовых вод Кроноцкого залива не установлено, что, вероятно, обусловлено водообменом с прилегающими частями залива и экологической пластичностью популяций зоопланктонных организмов. Черепицеобразное наложение областей распространения неритической и океанической фауны послужило основанием к выделению самостоятельной группировки, приуроченной к водам срединной части шельфа (Шунтов, 2001).

В водах внутреннего шельфа была высока встречаемость науплиусов усоногих (Cirripedia), личинок брюхоногих моллюсков (Gastropoda), креветок (Macrura natantia) и мизид (Mysida), младших копеподитов каляноид *Pseudocalanus minutus* и *Neocalanus plumchrus*; в водах внешнего шельфа — личинок иглокожих (Echinodermata), щетинкочелюстных (Chaetognatha). В срединной части шельфа (в зоне смешения) наиболее часто встречались науплиусы веслоногих (Copepoda) и эвфаузиид (Euphausiacea), гидроидные медузы (Hydrozoa), оболочники (Tunicata), личинки полихет (Polychaeta), взрослые особи планктонных ракообразных *Oithona similis*, *P. minutus*, *N. plumchrus* и *Calanus glacialis*. Присутствие океанических видов каляноид *Eucalanus bungii*, *Neocalanus cristatus* и *Metridia pacifica* в заливе, вероятно, обусловлено их проникновением из открытых вод по каньонам.

Средняя численность мезопланктона на акватории Кроноцкого залива, обследуемой весной 2018 г., составляла 2380 экз./м^3, биомасса — 430 мг/м^3. Основу зоопланктонного сообщества залива формировали Copepoda: *C. glacialis*, *E. bungii*, *N. plumchrus*, *N. cristatus*, *P. minutus*, *M. pacifica*, *Microcalanus pygmaeus*, *O. similis* и *Triconia borealis* (1560 экз./м^3, 302 мг/м^3) (рис. 2). Среди веслоногих ракообразных по численности доминировала *O. similis* (Cyclopoida) (810 экз./м^3), по биомассе — *N. plumchrus* (Calanoida) (190 мг/м^3) (рис. 3). *C. glacialis*, *M. pacifica*, *M. pygmaeus* и *T. borealis* встречались единично, общая численность рачков не превышала 10 экз./м^3, биомасса — 1 мг/м^3. При плотности науплиусов Copepoda 220 экз./м^3 их биомасса составляла 0,2 мг/м^3.

Большая часть эвфаузиид (233 экз./м^3) была на стадии яиц (62%), что характерно для раз-

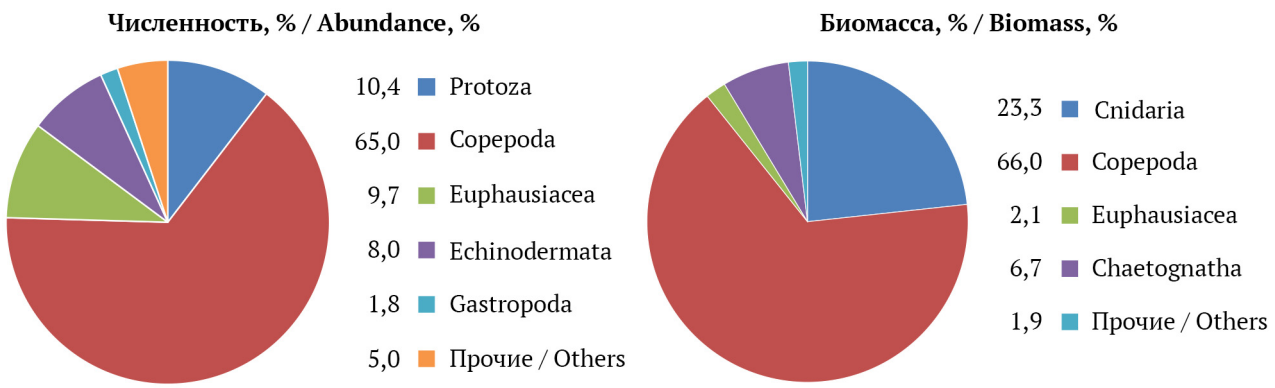


Рис. 2. Состав зоопланктонного сообщества в Кроноцком заливе весной 2018 г.
Fig. 2. Composition of zooplankton community in Kronotsky Gulf in spring 2018

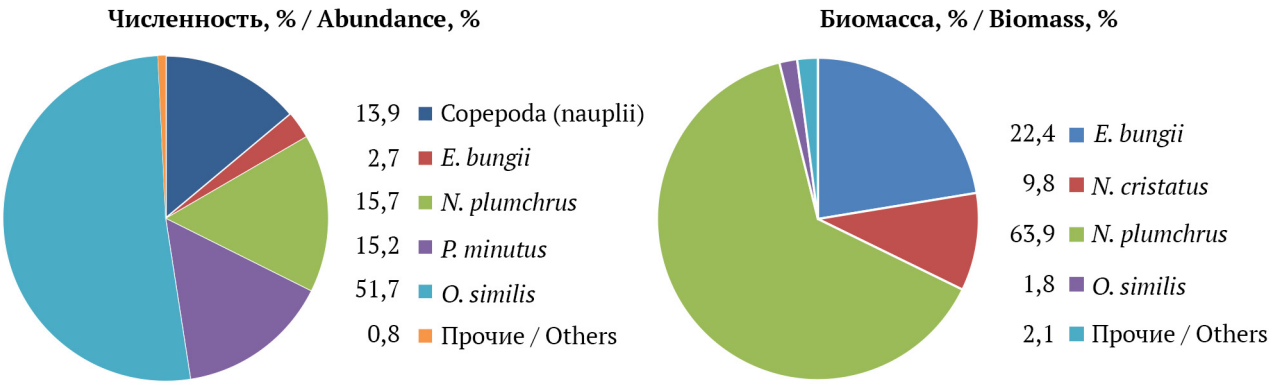


Рис. 3. Состав Copepoda в Кроноцком заливе в весенние месяцы 2018 г.
Fig. 3. Compositions of Copepoda in Kronotsky Gulf in spring months in 2018

вития *Thysanoessa inermis* в Кроноцком заливе в весенние месяцы (Пономарева, 1959). Массовые мелкие зоопланктеры простейшие (250 экз./м³), личинки иглокожих (190 экз./м³), личинки брюхоногих, включая крылоногих (42 экз./м³), по величине биомассы (2,2, 1,8 и 0,7 мг/м³ соответственно) были отнесены в группу «прочие». Доля малочисленных крупных гидроидных медуз и щетинкочелюстных составляла 30% биомассы всего мезопланктона. В планктонных пробах также в небольшом количестве встречались оболочники (Tunicata) (32 экз./м³), личинки полихет (Polychaeta) (28 экз./м³), науплиусы и циприсы усоногих (Cirripedia) (23 экз./м³); единично — *Synchaeta bacillifera* (Rotifera), личинки креветок и рыб.

Весной 2018 г. средняя численность зоопланктонных организмов в Кроноцком заливе была близка этому показателю за 2017 г. (2210 экз./м³), а средняя биомасса значительно превышала ее величину в 2017 г. (125 мг/м³) (Максименков, 2018).

Пространственное распределение зоопланктона в Кроноцком заливе весной 2018 г. было неравномерным. Максимальное количество зоопланктонных организмов 4,0–5,7 тыс. экз./м³ в центральной части залива в районе ст. 106, 103 и 102 (рис. 4) было сформировано под воздействием прибрежной циркуляции водных масс (рис. 5). Здесь наиболее многочисленными были веслоногие раки: *O. similis* (970 экз./м³), *P. minutus* (610 экз./м³), *E. bungii* (200 экз./м³) и *N. plumchrus* (190 экз./м³); науплиусы и яйца эвфаузиид (860 экз./м³), личинки иглокожих Asteroidea и Echinoidea (270 экз./м³) и фораминиферы (240 экз./м³) (рис. 6). Популяция *O. similis* состояла из взрослых рачков, включая яйценосных самок. Популяции *P. minutus*, *E. bungii* и *N. plumchrus* были представлены науплиусами и копеподитами I–III стадий. Самки *E. bungii* и *N. cristatus* встречались единично. Доля прочих организмов (Cnidaria, Cirripedia, Gastropoda и Chaetognatha) не превышала 3% общей численности зоопланктона.

Наименьшую численность зоопланктонных организмов (менее 1,0 тыс. экз./м³) наблюдали на материковом склоне южной части Кроноцкого залива (ст. 84–86) при вовлечении зоопланктона в прибрежный круговорот водных масс (рис. 4, 5).

Максимум биомассы гидробионтов 1,3 г/м³ на юге Кроноцкого залива (ст. 81, 82, 108) (рис. 7), образованный влиянием Камчатского течения (рис. 5), формировали взрослые особи крупных веслоногих *E. bungii* и *N. cristatus* (рис. 8). Небольшой вклад в общую биомассу

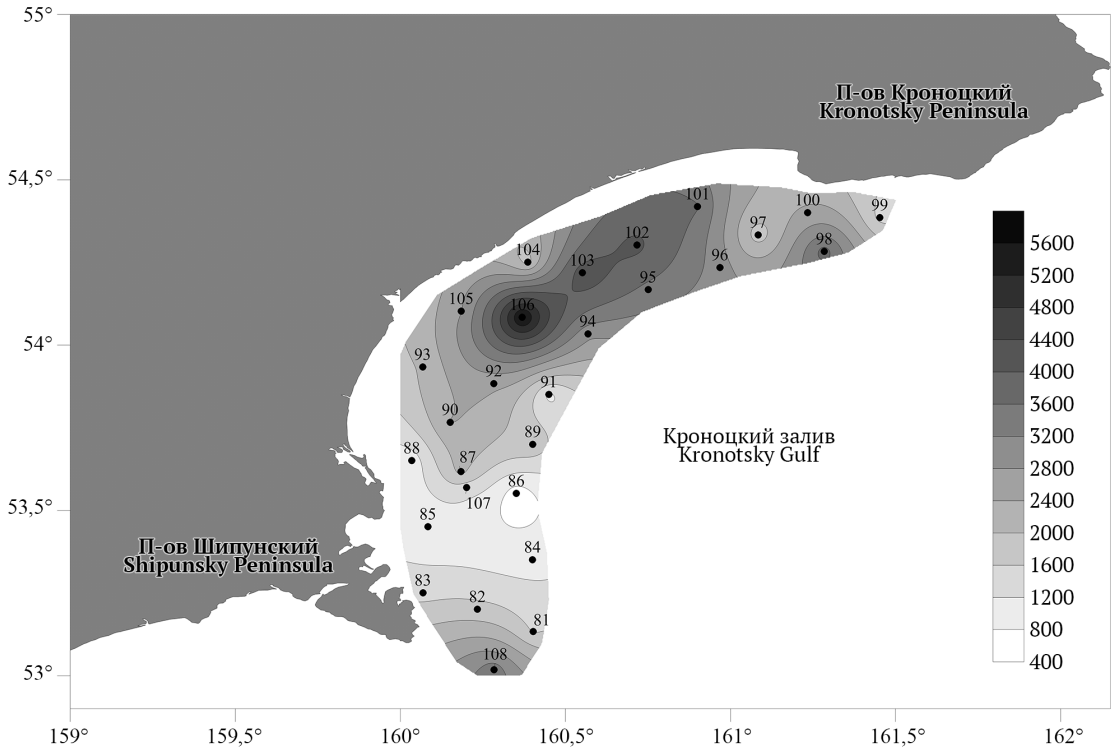


Рис. 4. Распределение численности зоопланктона (экз./м³) в Кроноцком заливе в слое 0–50 м 24 апреля–2 мая 2018 г.
Fig. 4. Distribution of zooplankton abundance (pcs/m³) in Kronotsky Gulf in the depth layer 0–50 m for the period from April 24 to May 2, 2018

вносили науплиусы и копеподиты I–VI стадий *N. plumchrus*, полихеты *Tomopteris pacifica*, гидроидные медузы *Aglantha digitale*, гипериды *Themisto* и щетинкочелюстные *Parasagitta*. Биомасса мелкой циклопоиды *O. similis*, несмотря на ее высокую численность 980 экз./м^3, составляла менее 1% от общей биомассы зоопланктона. В группу прочих (2,3%) вошли малочисленные простейшие *Globigerina*, науплиусы веслоногих рачков, копеподиты каляноид *C. glacialis* и *P. minutus*, науплиусы и циприсы балянусов (Cirripedia), яйца и науплиусы эвфаузиид (Euphausiacea), оболочники *Oikopleura* и личинки иглокожих Asteroidea и Echinoidea.

Ядро биомассы зоопланктона 0,7 г/м^3 в центральной части Кроноцкого залива (ст. 103) (рис. 7) составляли веслоногие ракообразные (67%), в основном малочисленный *E. bungii* (380 мг/м^3).

Наибольшие скопления зоопланктонных организмов биомассой более 1,0 г/м^3 были отмечены у мыса Шипунского и при исследовании распределения планктона в Кроноцком заливе в слое 0–100 м в мае 1952 и 1955 гг. э/с «Витязь». Основу биомассы здесь формировали каляноиды *E. bungii* и *N. plumchrus* (Лубны-Герцык, 1959).

Сбор проб в Кроноцком заливе весной 2019, 2021 и 2023 гг. был ограничен несколькими станциями, расположенными в северном (ст. 97, 98, 101), центральном (ст. 105) и южном (ст. 86–88) районах залива (рис. 1, 9). Изменений в видовом составе зоопланктонного сообщества не отмечено. В планктоне преобладали веслоногие ракообразные, среди которых наиболее многочисленной была циклопоида *O. similis*, основу биомассы составляли взрослые особи каляноид *E. bungii* и *N. plumchrus*.

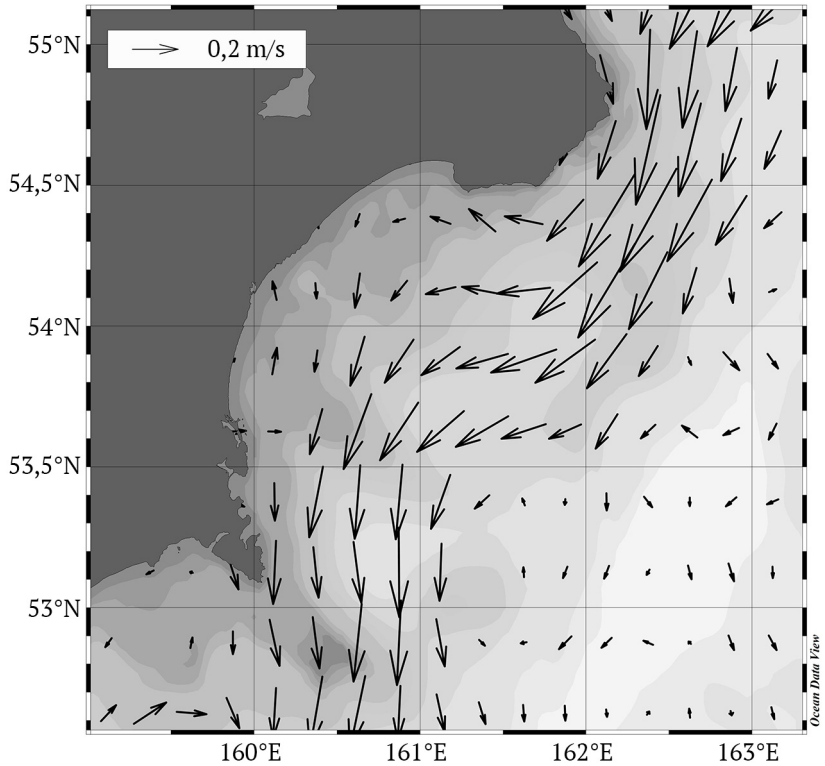


Рис. 5. Карта направления течений в Кроноцком заливе в апреле 2018 г.
Fig. 5. Map of current direction in Kronotsky Gulf in April 2018

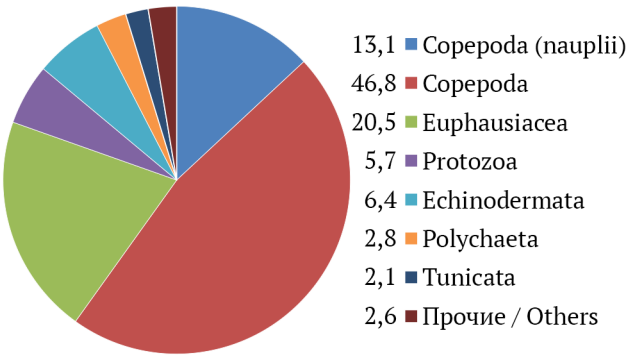


Рис. 6. Соотношение количества зоопланктонных организмов различных таксономических групп (%) в слое 0–50 м центральной части Кроноцкого залива 24 апреля – 2 мая 2018 г.
Fig. 6. Ratio of the number of zooplankton organisms of different taxonomic groups (%) in the 0–50 m layer of the central part of Kronotsky Gulf on April 24 – May 2 in 2018

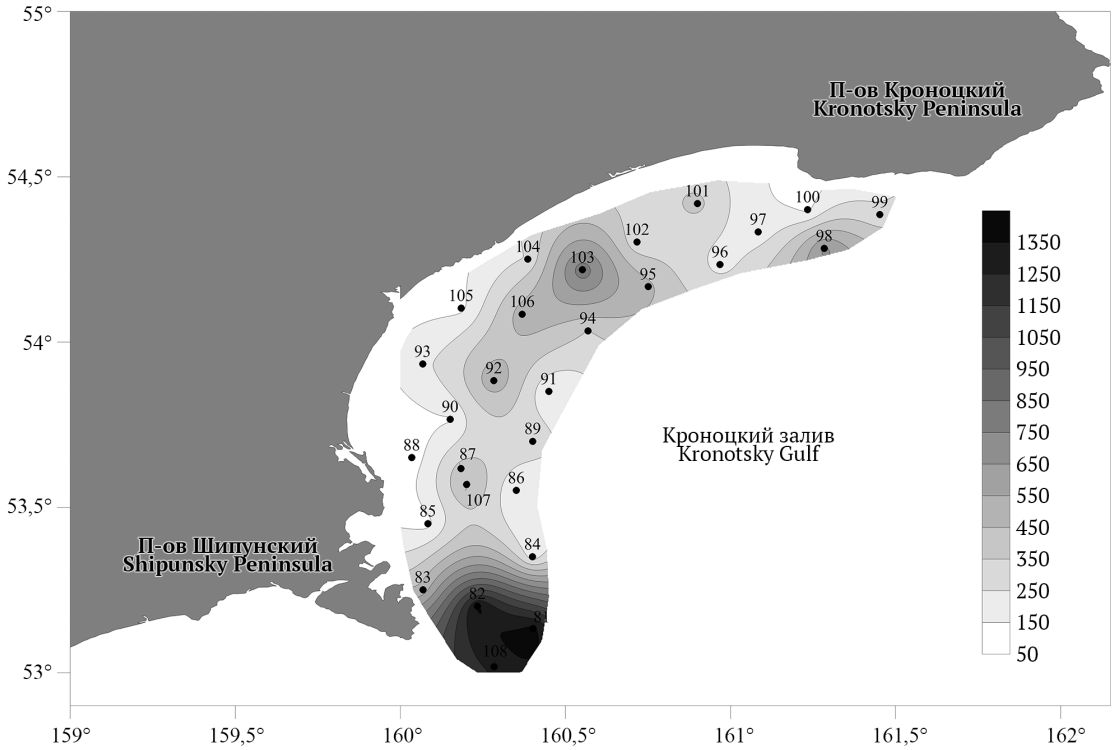


Рис. 7. Распределение биомассы зоопланктона (мг/м³) в Кроноцком заливе в слое 0–50 м 24 апреля – 2 мая 2018 г.
Fig. 7. Distribution of the zooplankton biomass (mg/m³) in Kronotsky Gulf in the layer 0–50 m from April 24 to May 2 in 2018

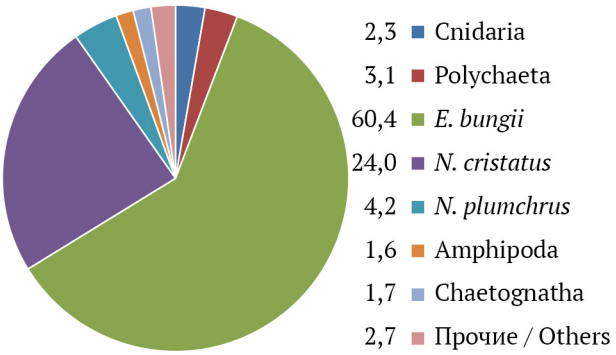


Рис. 8. Соотношение биомассы зоопланктонных организмов различных таксономических групп (%) в слое 0–50 м южной части Кроноцкого залива 24 апреля – 2 мая 2018 г.
Fig. 8. Ratio of biomass of zooplankton organisms of different taxonomic groups (%) in the layer 0–50 m in the southern part of Kronotsky Gulf from April 24 to May 2 in 2018

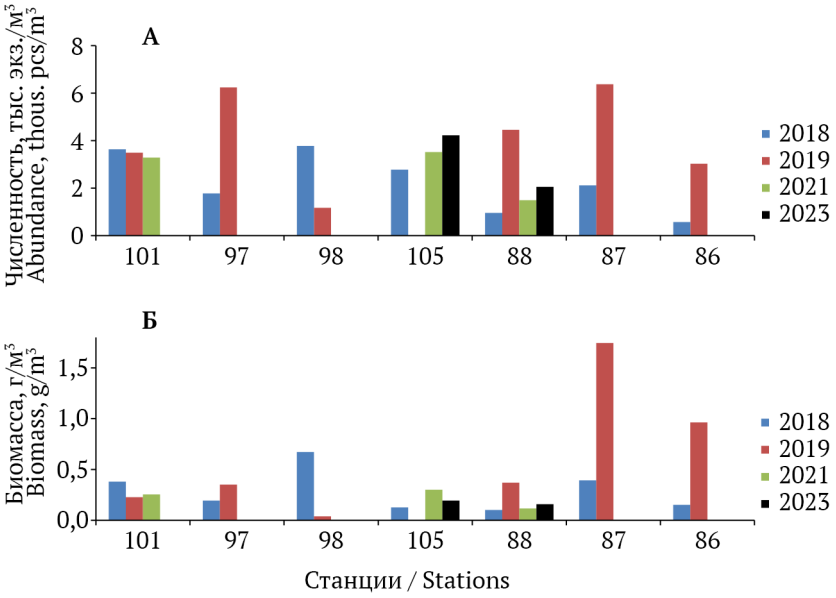


Рис. 9. Численность (А) и биомасса (Б) зоопланктона в Кроноцком заливе в слое 0–50 м весной 2018, 2019, 2021 и 2023 гг.
Fig. 9. Spring abundance (A) and biomass (Б) of zooplankton in Kronotsky Gulf in the layer 0–50 m in 2018, 2019, 2021 and 2023

Тем не менее, располагая литературными (Пономарева, 1956; Лубны-Герцык, 1959), архивными и собственными данными о распределении зоопланктона и картами направления течений у восточного побережья Камчатки (рис. 7, 9Б, 10) (Тепнин, 2022), можно с уверенностью ожидать в каждый год исследований максимальную биомассу зоопланктона у мыса Шипунского при перемещении гидробионтов Камчатским течением.

В 2018 и 2023 гг. направление течений в прибрежной зоне залива было сходным (рис. 10). В центральной части залива в результате циркуляции водных масс количество зоопланктонных организмов в 2023 г., как и в 2018 г., могло быть высоким (рис. 4, 9А). В 2019 и 2021 гг. при отсутствии вихревых потоков в прибрежье (рис. 10) распределение зоопланктона в центре Кроноцкого залива, вероятно, было близким к равномерному.

Повышенные значения плотности и биомассы зоопланктона у Кроноцкого полуострова (ст. 98) в 2018 г. (рис. 4, 7), вероятно, были обусловлены притоком зоопланктонных организмов ответвлениями Камчатского течения в сторону побережья (рис. 10). Подобное отклонение Камчатского течения у Кроноцкого полуострова было отмечено в 2021 г. (рис. 10), что полагает образование скоплений зоопланктона в северной части Кроноцкого залива и в этот год наблюдений.

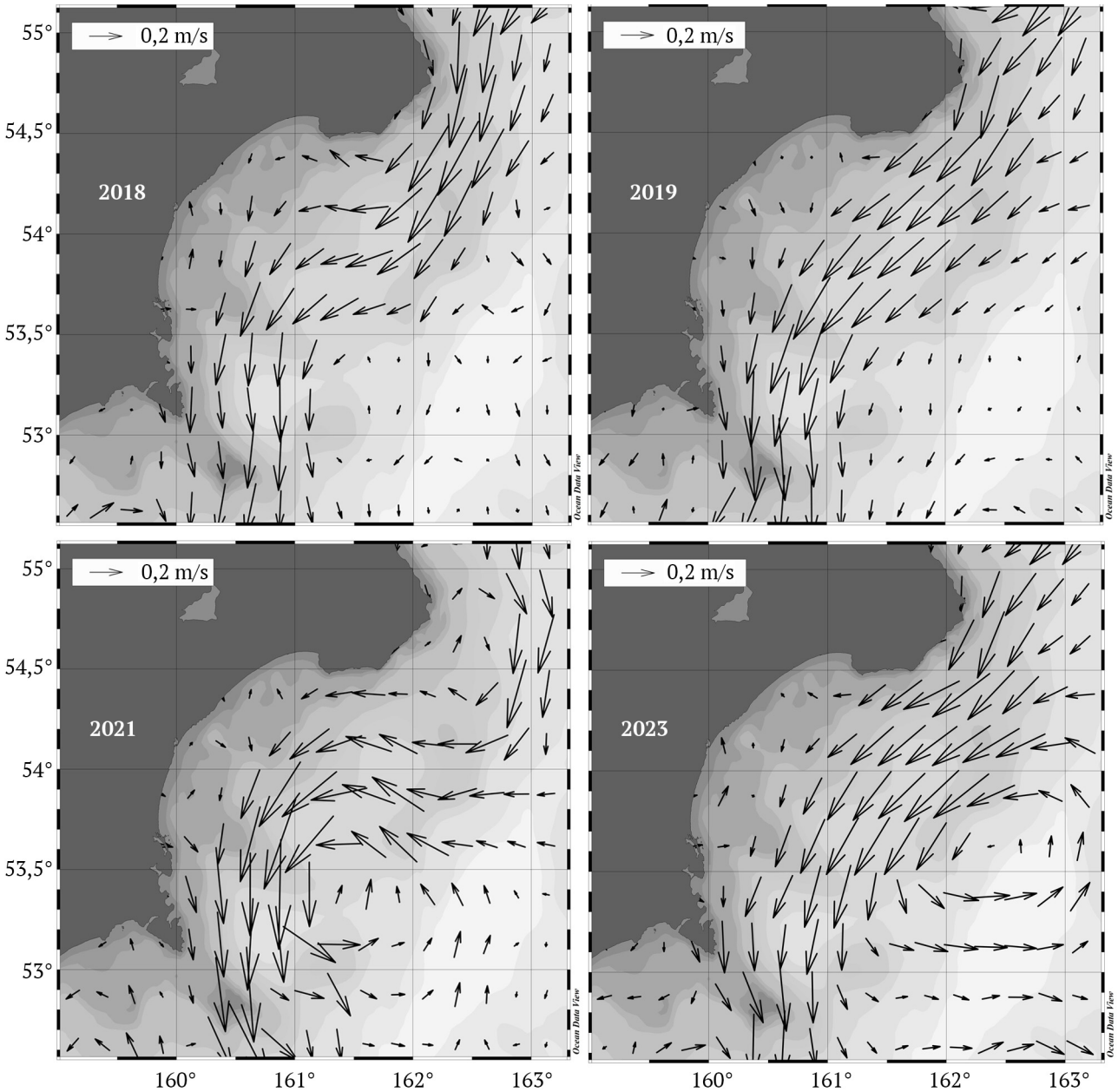


Рис. 10. Карты скорости и направления течения в Кроноцком заливе в апреле 2018, 2019, 2021 и 2023 гг.
Fig. 10. Map of current direction and velocity in Kronotsky Gulf in April in 2018, 2019, 2021 and 2023

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зоопланктонное сообщество Кроноцкого залива состоит из представителей холодноводной и умеренно-холодноводной тихоокеанской фауны, характерной для неритических и открытых вод. Во все годы наблюдений в весеннем зоопланктоне Кроноцкого залива по численности и биомассе доминируют веслоногие ракообразные.

Несмотря на локальные особенности видового состава и соотношения отдельных видов, формирующих основу зоопланктона надшельфовых вод Кроноцкого залива, между неритической и океанической фауной изолированность отсутствует, что может свидетельствовать об экологической пластичности популяций зоопланктонных организмов.

Пространственное распределение планктона в Кроноцком заливе происходит под воздействием Камчатского течения и прибрежной циркуляции водных масс. На численность зоопланктона в центральной части Кроноцкого залива существенное влияние оказывает направление течений в прибрежье. Максимум биомассы в весенние месяцы у мыса Шипунского обусловлен перемещением планктеров Камчатским течением.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Большая российская энциклопедия. 2010. В 30 т. Т. 16 : Крещение Господне – Ласточковые. М.: Большая Российская энциклопедия. С. 97.

Бродский К.А. 1950. Веслоногие рачки Calanoida дальневосточных морей СССР и Полярного бассейна. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 442 с.

Инструкция по сбору и обработке планктона. 1971. М.: ВНИИ мор. рыб. хоз-ва и океанографии. 82 с.

Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. 2013. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 304 с.

Краткое руководство по определению планктона северо-западной части Тихого океана. 1990. Сост. В.И. Чучукало, М.С. Кун. Владивосток: ТИНРО. 77 с.

Кусакин О.Г., Чавтур В.Г. 2000. Гидробиологические исследования Российской академии наук в дальневосточных морях в послевоенный период. 1. Исследования центральных институтов // Биология моря. Т. 26, № 1. С. 58–68.

Лобанова У.Ю. 2010. Мезопланктон Авачинского и Кроноцкого заливов Камчатского полуострова весной 2008 г. / Актуальные проблемы экологии, морской биологии и биотехнологии : Матер. IX регион. конф. студентов, аспирантов вузов и науч. орг-й Дальнего Востока России. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та. С. 272–277.

Лубны-Герцык Е.А. 1959. Распределение зоопланктона в Кроноцком заливе // Тр. ИО АН СССР. Т. 36. С. 92–100.

Лубны-Герцык Е.А. 1953. Весовая характеристика основных представителей зоопланктона Охотского и Берингова морей // Докл. АН СССР. Т. 91. № 4. С. 949–952.

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

Максименков В.В. 2018. Весенний зоопланктон Кроноцкого залива в 2017 г. / Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : Матер. IX Всерос. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 20–22 марта 2018 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 68–70.

Максименков В.В., Лепская Е.В., Архипова Е.Ф., Базаркина Л.А., Вецлер Н.М., Бонк Т.В., Данилин Д.Д., Лобанова У.Ю., Морозов Т.Б. 2012. Некоторые результаты биологических исследований в лаборатории гидробиологии // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 25. С. 166–189.

Определитель фауны и флоры северных морей СССР. 1948. Под ред. Н.С. Гаевской. М.: Советская наука. 740 с.

Пономарева Л.А. 1954. Зоопланктон западной части Берингова моря // Науч. рез-ты экспедиций на э/с «Витязь». М.: ИО АН СССР. Т. 3. С. 189–191.

Пономарева Л.А. 1956. Отчет планктонного отряда / Отчеты комплексной океанографической экспедиции на э/с «Витязь». М.: АН СССР. С. 33–39.

Пономарева Л.А. 1959. Евфаузииды в Кроноцком заливе // Тр. ИО АН СССР. Т. 36. С. 101–104.

Селиверстов Н.И. 2009. Геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга. 194 с.

Сынкова А.И. 1951. О питании тихоокеанских лососей в камчатских водах // Изв. ТИНРО. Т. 34. С. 105–121.

Тепнин О.Б. 2022. Изменчивость гидрологических условий в местах нереста восточно-камчатского минтая (*Gadus chalcogrammus*) в 2012–2022 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. № 66. С. 79–93. EDN: WPQKWL. doi:10.15853/2072-8212.2022.66.79-93

Шунтов В.П. 2001. Биология дальневосточных морей России. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-Центр. 580 с.

REFERENCES

Bolshaya rossiyskaya entsyklopedia v 30 t. T. 16: Kreshenije Gospodne – Lastochkovyje [The Great Russian Encyclopedia, in 30 volumes. Vol. 16: Epiphany – Swallows]. Moscow: The Great Russian Encyclopedia, 2010, p. 97.

Brodskij K.A. *Veslonogie rachki Calanoida dalnevostochnyh morej SSSR I Polyarnogo bassejna* [Calanoida copepods of the Far Eastern seas of the USSR and of the Polar Basin]. M.-L.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1950, 442 p.

Instruktsija po sboru i obrabotke planktona [Instructions for plankton collecting and processing]. Moscow: VNIRO Publ., 1971, 82 p.

Karpenko V.I., Andrievskaya L.D., Koval M.V. *Pitanije i osobennosti rosta tihookeanskih lososej v morskih vodah* [Feeding and growth of Pacific salmon in marine waters]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Publ., 2013, 304 p.

Kratkoe rukovodstvo po opredeleniju plankton severozapadnoj chasti Tihogo okeana [Brief Manual for Plankton Identification in the Northwest Pacific Ocean]. Composed by V.I. Chuchukalo, M.S. Kun. Vladivostok: TINRO, 1990, 77 p.

Kusakin O.G., Chavtur V.G. Hydrobiological research of the Russian Academy of Sciences in the Far Eastern seas in the post-war period. 1. Research of central institutes. *Russian journal of Marine Biology*, 2000, vol. 26, № 1, pp. 58–68. (In Russ.)

Lobanova U.Yu. Mesoplankton of Avachinsky and Kronotsky Gulfs off Kamchatka Peninsula in spring of 2008. *Actual problems of ecology, marine biology and biotechnology: rep. abstr. of the IX regional conference of students, postgraduates and scientific institutions of Russian Far East*. Vladivostok: FIFU Publ., 2010, pp. 272–277. (In Russ.)

Lubny-Gertsykh E.A. Distribution of zooplankton in Kronotsky Bay. *Transactions of the Institute of Oceanology of the Academy of Sciences of the USSR*, 1959, vol. 36, pp. 92–100. (In Russ.)

Lubny-Gertsykh E.A. Weight characteristics of the main representatives of zooplankton of the Okhotsk and Bering Seas. *Transactions of the USSR Academy of Sciences*, 1953, vol. 91, № 4, pp. 949–95. (In Russ.)

Maximenkov V.V. *Pitanie i pischevye otnoshenija molodi ryb obitauscuih v estuarijah rek i pribrezje Kamchatki* [Feeding and nutritional relationships of juvenile fish living in river estuaries and coastal areas of Kamchatka]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Publ., 2007, 278 p.

Maximenkov V.V. Spring zooplankton of Kronosky Gulf in 2017. *Natural resources, modern state, protection, commercial and technical use : Pros. of the IX All-Russian scientific and practical conference (Petropavlovsk-Kamchatsky, March 20–22, 2018)*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka State Technical University, 2018, pp. 68–70. (In Russ.)

Maximenkov V.V., Lepskaya E.V., Arkhipova E.F., Bazarkina L.A., Vetsler N.M., Bonk T.V., Danilin D.D., Lobanova U.Yu., Morozov T.B. Particular results of biological researches by laboratory of hydrobiological studies. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2012, vol. 25, pp. 166–189. (In Russ.)

Opredelitel fauny i flory severnyh morej SSSR [Key to identification of fauna and flora of northern seas of USSR]. Editor N.S. Gaevskaya. Moscow: Sovetskaya Nauka, 1948, 740 p.

Ponomareva L.A. *Zooplankton zapadnoj chasti Beringova morya* [Zooplankton of the western part of the Bering Sea]. Scientific results of the “R/V Vityaz” expeditions. Moscow: Shirshov Institute of Oceanology of the RAS of the USSR, 1954, vol. 3, pp. 189–191.

Ponomareva L.A. *Otchet planktonnogo otryada* [Report of plankton group]. Reports of complex oceanographic expedition at the “R/V Vityaz”. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1956, pp. 33–39.

Ponomareva L.A. Euphausiids in Kronotsky Gulf. *Transactions of the Institute of Oceanography Academy of Sciences of the USSR*, 1959, vol. 36, pp. 101–104. (In Russ.)

Seliverstov N.I. Geodynamics of the junction zone of the Kuril-Kamchatka and Aleutian island arcs. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009, 194 p. (In Russ.)

Synkova A.I. On the feeding of Pacific salmon in Kamchatka waters. *Izvestiya TINRO*, 1951, vol. 34, pp. 105–121. (In Russ.)

Tepnin O.B. Variability of hydrological conditions at spawning sites of East Kamchatka walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*) in 2012–2022. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2022, vol. 66, pp. 79–93. (In Russ.) EDN: WPQKWL. doi:10.15853/2072-8212.2022.66.79-93

Shuntov V.P. Biology of the Far Eastern seas of Russia. Vladivostok: TINRO-Center, 2001, vol. 1, 580 p. (In Russ.)

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ
AUTHOR CONTRIBUTION

Авторы в равной мере участвовали в сборе и обработке данных, обсуждении полученных результатов и написании статьи.
The authors jointly collected, processed and analyzed the data, discussed the results and wrote the text of article, with equal contribution.

Информация об авторах
Л.А. Базаркина — канд. биол. наук,
вед. науч. сотрудник, Камчатский филиал
ВНИРО (КамчатНИРО).
ORCID: 0000-0003-4475-8430
О.Б. Тепнин — зав. сектором океанографии,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).
ORCID: 0000-0001-9596-4336
И.А. Блохин — ст. специалист,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).
ORCID: 0009-0003-8477-183X

Information about the authors
Lidiya A. Bazarkina – Ph. D. (Biology),
Leading Researcher (KamchatNIRO).
ORCID: 0000-0003-4475-8430
Oleg B. Tepnin – Head of Oceanography
Division (KamchatNIRO).
ORCID: 0000-0001-9596-4336
Ivan A. Blokhin – Senior Specialist
(KamchatNIRO). ORCID: 0009-0003-8477-183X

Статья поступила в редакцию / Received:
24.12.2024
Одобрена после рецензирования / Revised:
28.01.2025
Статья принята к публикации / Accepted:
03.02.2025

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 81–90.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 81–90.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 591.524.11.(265.52)
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.81-90
EDN: HZDCFD

МАКРОЗООБЕНТОС ШЕЛЬФА КАМЧАТСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ 2002 Г.

Архипова Елена Анатольевна[1]✉, Буяновский Алексей Ильич[2], Коростелев Сергей Георгиевич[3], Лепская Екатерина Викторовна[1]

[1]Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, kamarhipova@mail.ru✉
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия
[3]Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН (КФ ТИГ ДВО РАН), Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. По данным дночерпательной съемки, выполненной в 2002 г. на 11 станциях в Камчатском заливе на глубинах 24–200 м, выявлен таксономический состав донной фауны. Распределение биомассы макрозообентоса и его таксономическая структура приведены в сравнении с данными 1950-х и 1986 годов. Показано, что на обследованных в 2002 г. участках дна, совпадающих с площадями дна, изученными ранее, фаунистические комплексы, выделенные по биомассе, имеют сходный облик и сравнимую биомассу. Так, наибольшая биомасса макрозообентоса отмечена в юго-западной части залива, наименьшая — в опресненном районе у устья р. Камчатки. Распределение донных сообществ характеризовалось высокой степенью мозаичности.

Ключевые слова: Камчатский залив, дночерпательная съемка, макрозообентос, плотность поселения, биомасса, таксономическая структура, распределение

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Архипова Е.А., Буяновский А.И., Коростелев С.Г, Лепская Е.В. Макрозообентос шельфа Камчатского залива по данным 2002 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 81–90. EDN: HZDCFD. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.81-90

MACROZOOBENTHOS OF THE SHELF OF KAMCHATSKY GULF ACCORDING TO THE DATA OF 2002

Elena A. Arkhipova[1]✉, Alexey I. Buyanovsky[2], Sergey G. Korostelev[3], Ekaterina V. Lepskaya[1]

[1]Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, kamarhipova@mail.ru✉
[2]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia
[3]Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. The taxonomic composition of the bottom fauna was identified on the data of dredge survey carried out at 11 stations in 2002 in Kamchatka Gulf at depths of 24–200 m. The distribution of macrozoobenthos biomass and its taxonomic structure are compared with the data of 1950s and 1986. The distribution of biomass and taxonomic structure of macrozoobenthos are given in comparison with the data of 1950s and 1986. It is shown that on the bottom areas surveyed in 2002, coinciding with the bottom areas studied earlier, faunal complexes identified by biomass have a similar appearance and comparable biomass. Thus, the highest biomass of macrozoobenthos was observed in the southwestern part of the gulf, the lowest – in the desalinated area near the mouth of the Kamchatka River. The distribution of bottom communities was highly mosaic.

Keywords: Kamchatsky Gulf, dredge survey, macrozoobenthos, community density, biomass, taxonomic structure, distribution

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Arkhipova E.A., Buyanovsky A.I., Korostelev S.G., Lepskaya E.V. Macrozoobenthos of the shelf of Kamchatka Gulf according to the data of 2002 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2024. Vol. 76. P. 81–90. (In Russ.) EDN: HZDCFD. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.81-90

© Архипова Е.А., Буяновский А.И., Коростелев С.Г., Лепская Е.В.

Камчатский залив является местом нагула многих донных видов рыб (Борец, 1997). Тихоокеанские лососи (Коваль, Морозова, 2013), камбалы (Дулепова, 1990; Токранов, 2009; Коростелев, 2000) активно потребляют таких представителей морского бентоса, как многощетинковые черви (полихеты), мелкие двустворчатые моллюски, амфиподы, плоские морские ежи, офиуры (Четвергов, Таганова, 2000; Дьяков, 2011).

Исследования бентоса Камчатского залива были начаты в 1950-е гг. В результате исследований, выполненных в 1950–1956 гг., было показано, что в бентосных сообществах преобладают двустворчатые моллюски, иглокожие и полихеты (Кузнецов, 1961). Последующие исследования, проведенные в 1984 г., несмотря на длительный перерыв в наблюдениях, показали, что состав фауны бентоса в целом остался неизменным (Кобликов, Надточий, 1992).

В 2002 г. сотрудниками Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО) были выполнены работы по изучению бентофауны шельфа северной части Камчатского залива. Цель настоящего исследования — анализ данных о таксономическом составе, количественных характеристиках и распределении макрозообентоса шельфа Камчатского залива в 2002 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В Камчатском заливе в сентябре–октябре 2002 г. количественный сбор проб макрозообентоса выполнили с борта РК–МРТ «Фортуна» параллельно с ихтиологической съемкой (Коростелев, Василец, 2004). Отбор проб бентоса осуществляли на мягких грунтах дночерпателем «Океан-50» с площадью раскрытия 0,25 м^2. В интервале глубин 24–200 м выполнено 11 станций (рис. 1, табл. 1).

На каждой станции отбор проб макрозообентоса проводили в трехкратной повторности. Характер грунта определяли визуально при извлечении пробы из дночерпателя. Каждую пробу промывали через систему сит с размером ячеи конечного сита 1 мм. Оставшиеся на ситах беспозвоночные вместе с непромытыми частицами грунта фиксировали 4%-м формалином. Собрано и обработано 33 пробы бентоса. Камеральную обработку материала осуществляли в лабораторных условиях, где животных идентифицировали, подсчитывали, взвешивали, предварительно подсушив на фильтровальной бумаге. Для каждой станции плотность поселения и биомассу донных животных пересчитывали на 1 м^2.

Количество станций бентосной съемки, выполненных в 2002 г., было втрое меньше, чем при проведении исследований в 1950-е гг. (Кузнецов, 1961) и в 1986 г. (Кобликов, Надточий, 1992), что не позволяет дать характеристику бентосных сообществ для залива в целом, а только для отдельных его участков.

Определение таксономической принадлежности обнаруженных в пробах организмов провели сотрудники КамчатНИРО. Ракообразные идентифицированы П.А. Федотовым; многощетинковые черви — О.А. Владимировой; двустворчатые и брюхоногие моллюски — Л.В. Ромейко; иглокожие — Е.А. Архиповой. В случае невозможности определения вида выполняли идентификацию таксонов более высокого ранга. Названия таксонов бентофауны шельфа Камчатского залива привели в соответствии с Международной базой данных World Register of Marine Species (WoRMS).

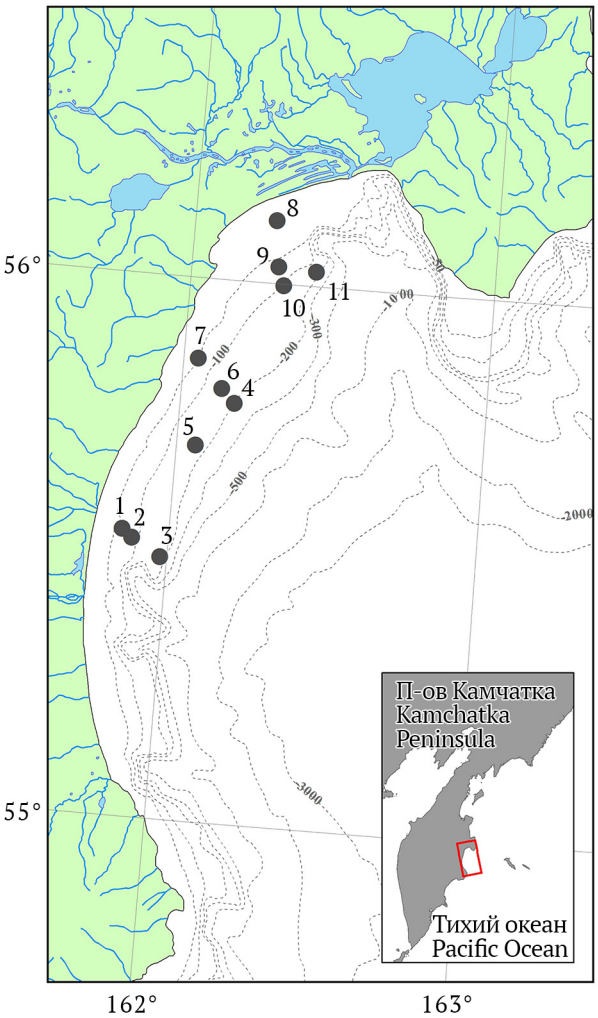


Рис. 1. Карта-схема станций бентосной съемки, выполненной в Камчатском заливе в сентябре и октябре 2002 г.
Fig. 1. Schematic map of the benthic survey stations carried out in Kamchatka Gulf in September and October 2002

Таблица 1. Координаты и описание станций бентосной съемки в Камчатском заливе в сентябре, октябре 2002 г.
Table 1. Coordinates and description of benthic survey stations in Kamchatka Gulf in September and October 2002

Номер станции Station number	Глубина, м Depth, m	Широта, N Latitude, N	Долгота, E Longitude, E	Описание грунта Soil description
1	65	55°31,67′	161°51,09′	Песок, обломки панцирей морских ежей, ракуша Sand, sea urchin shell fragments, shells
2	99	55°30,77′	161°53,1′	Песок, ил / Sand, mud
3	181	55°28,92′	161°58,89′	Песок, ил / Sand, mud
4	200	55°46,46′	162°10,79′	Песок, ил, мелкая галька / Sand, mud, small pebbles
5	140	55°41,54′	162°3,92′	Песок, ил / Sand, mud
6	90	55°48,00′	162°8,138′	Песок, ил, ракуша / Sand, mud, shells
7	54	55°51,1′	162°3,03′	Песок, ракуша / Sand, shells
8	24	56°6,95′	162°16,24′	Песок, ил / Sand, mud
9	65	56°1,89′	162°17,32′	Песок, ил / Sand, mud
10	104	55°59,87′	162°18,61′	Песок, ил, ракуша / Sand, mud, shells
11	180	56°1,65′	162°24,83′	Песок, ил, ракуша / Sand, mud, shells

В предыдущих исследованиях видовой состав Ophiuroidea был представлен либо одним видом, *Ophiopholis aculeata* (Кузнецов, 1961), либо двумя — *Ophiopholis aculeate*, *Ophiura leptotenia* (Кобликов, Надточий, 1992). В наших исследованиях мы обозначали офиур как комплекс видов *Ophiuroidea* gen. sp.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В пробах бентоса из Камчатского залива в 2002 г. было найдено 118 таксонов животных, включая комплекс видов офиур (табл. 2). В составе бентосного сообщества присутствовали многощетинковые черви, полихеты (класс Polychaeta), двустворчатые (класс Bivalvia) и брюхоногие (класс Gastropoda) моллюски, разноногие ракообразные, амфиподы (Malacostraca, отряд Amphipoda), морские ежи (класс Echinoidea), офиуры (класс Ophiuroidea). Наибольшее число таксонов (68) отмечено среди полихет.

Количество таксонов варьировало в зависимости от станции и зависело от биотопических характеристик — солености, состава донного грунта и изобаты расположения точки отбора (рис. 2).

Таблица 2. Таксономический состав макрозообентоса шельфа Камчатского залива в сентябре–октябре 2002 г.
Table 2. Taxonomic composition of macrozoobenthos of the shelf of Kamchatka Gulf in September and October 2002

№	Класс Class	Семейство Family	Вид Species	Номер станции / Station number										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	**Polychaeta**	Aphroditidae	Aphroditidae gen. sp.	–	+	+	–	–	+	–	–	+	+	–
2		Ampharetidae	*Ampharete acutifrons* (Grube, 1860)	+	–	+	–	–	–	–	–	+	–	+
3			*Ampharete sibirica* (Wirén, 1883)	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
4			*Ampharete* sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
5			Ampharetidae gen. sp.	+	+	–	+	–	+	+	–	–	+	–
6			*Anobothrus gracilis* (Malmgren, 1866)	+	–	+	–	–	+	–	–	–	+	+
7			*Amphicteis* sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	+
8			*Lysippe labiata* Malmgren, 1866	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+
9		Capitellidae	*Capitella capitata* (Fabricius, 1780)	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
10			Capitellidae gen. sp.	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	+
11		Chaetopteridae	Chaetopteridae gen. sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
12		Cirratulidae	*Chaetozone setosa* Malmgren, 1867	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–
13			Cirratulidae gen. sp.	–	–	+	–	–	+	–	–	–	+	–
14		Eunicidae	Eunicidae gen. sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
15		Flabelligeridae	*Brada* sp.	–	–	–	–	+	–	–	–	–	+	–
16			*Pherusa plumosa* (Müller, 1776)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
17			*Stylarioides* sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
18			Flabelligeridae gen. sp.	–	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–
19		Glyceridae	*Glycera nana* Johnson, 1901	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
20		Goniadidae	*Glycinde armigera* Moore, 1911	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+
21		Lumbrineridae	*Lumbriconereis* sp.	–	+	+	–	–	–	+	–	+	–	+
22			*Scoletoma fragilis* (Müller, 1776)	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
23		Maldanidae	*Nicomache lumbricalis* (Fabricius, 1780)	–	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–
24			*Nicomache* sp.	–	+	+	–	–	+	–	–	–	–	–
25			*Praxillella gracilis* (M. Sars, 1861)	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
26			*Praxillella praetermissa* (Malmgren, 1865)	–	–	–	+	+	+	–	–	+	+	–
27			*Praxillella* sp.	–	+	–	–	+	+	–	–	–	–	+
28			*Axiothella catenata* (Malmgren, 1865)	–	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+
29			*Maldane sarsi* Malmgren, 1865	–	+	–	+	+	+	–	–	–	–	–
30			Maldanidae gen. sp.	–	+	+	+	–	+	+	–	+	+	+
31		Nephtyidae	*Nephtys caeca* (Fabricius, 1780)	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–

Таблица 2. Продолжение. Начало на с. 83
Table 2. Continued. Start on page 83

№	Класс Class	Семейство Family	Вид Species	Номер станции / Station number										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
32			*Nephtys ciliata* (Müller, 1788)	–	+	–	–	+	+	–	–	–	+	–
33			*Nephtys longosetosa* Örsted, 1842	–	+	–	–	+	+	+	–	–	+	–
34			*Nephtys* sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
35		Onuphidae	*Onuphis* sp.	–	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–
36		Opheliidae	*Ophelina acuminata* Örsted, 1843	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–
37		Orbiniidae	*Scoloplos armiger* (Müller, 1776)	+	+	+	+	–	+	–	–	–	+	+
38		Oweniidae	*Owenia fusiformis* Delle Chiaje, 1844	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	+
39		Pectinariidae	*Cistenides granulata* (Linnaeus, 1767)	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
40			*Cistenides hyperborea* Malmgren, 1866	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–
41			Pectinariidae gen. sp.	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–
42		Phyllodocidae	*Eteone* sp.	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
43			Phyllodocidae gen. sp.	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–
44		Polynoidae	*Enipo canadensis* (McIntosh, 1874)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
45			*Polynoe* sp.	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
46			*Gattyana* sp.	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
47			*Arcteobia anticostiensis* (Mcintosh, 1874)	+	+	+	–	–	–	–	+	–	+	–
48			*Arcteobia* sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
49			*Harmothoe* sp.	–	+	–	–	+	–	–	–	–	+	–
50		Sabellidae	*Chone* sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
51			Sabellidae gen. sp.	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–	+
52		Scalibregmatidae	*Scalibregma inflatum* Rathke, 1843	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
53			*Scalibregma* sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
54		Serpulidae	*Spirorbis* sp.	+	–	–	–	–	–	+	+	+	–	–
55		Sigalionidae	*Pholoe minuta* (Fabricius, 1780)	+	+	–	+	–	–	–	–	–	+	–
56		Spionidae	*Laonice cirrata* (M. Sars, 1851)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
57			Spionidae gen. sp.	–	+	+	–	+	–	–	–	–	+	–
58		Sternaspidae	*Sternaspis scutata* (Ranzani, 1817)	–	–	–	–	–	+	–	–	+	+	–
59		Syllidae	*Syllis* sp.	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
60			Syllidae gen. sp.	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
61		Terebellidae	*Pista* sp.	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–
62			*Thelepus cincinnatus* (Fabricius, 1780)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
63			*Nicolea zostericola* Örsted, 1844	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
64			Terebellidae gen. sp.	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+	+
65		Travisiidae	*Travisia forbesii* Johnston, 1840	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	+
66		Trichobranchidae	*Terebellides stroemii* Sars, 1835	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	+
67		Trochochaetidae	Trochochaetidae gen. sp.	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
68	**Gastropoda**	Buccinidae	*Buccinum angulosum* Gray, 1839	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–
69			*Buccinum polare* Gray, 1839	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
70			*Buccinum tsubai* Kuroda, 1933	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
71			*Plicifusus kroyeri* (Møller, 1842)	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
72			*Volutopsius middendorffi* (Dall, 1891)	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
73		Naticidae	Naticidae gen. sp.	–	+	–	–	+	+	+	–	–	–	+
74		Trochidae	Trochidae gen. sp.	+	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–
75		Trochoidea	Trochoidea gen. sp.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
76	**Bivalvia**	Astartidae	*Tridonta elliptica* (T. Brown, 1827)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
77			*Tridonta arctica* (J.E. Gray, 1824)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
78		Cardiidae	*Ciliatocardium ciliatum* (O. Fabricius, 1780)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
79		Carditidae	*Coanicardita ventricosa* (A. Gould, 1850)	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
80			*Cyclocardia crassidens* (Broderip & G.B. Sowerby I, 1829)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
81		Lyonsiidae	*Lyonsia arenosa* (Møller, 1842)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
82		Mactridae	*Mactromeris polynyma* (W. Stimpson, 1860)	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
83		Mytilidae	*Musculus niger* (J.E. Gray, 1824)	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
84		Nuculidae	*Ennucula tenuis* (Montagu, 1808)	+	–	+	+	+	+	–	–	+	+	–
85		Nuculanidae	*Nuculana minuta* (O.F. Müller, 1776)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	+
86			*Nuculana pernula* (O.F. Müller, 1779)	–	+	+	–	+	–	–	–	–	+	+
87			*Nuculana radiata* (A. Krause, 1855)	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
88		Tellinidae	*Megangulus luteus* (W. Wood, 1828)	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
89			*Macoma calcarea* (Gmelin, 1791)	–	+	+	+	–	+	+	–	–	–	+
90			*Macoma moesta* (Deshayes, 1855)	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
91			*Macoma* sp.	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
92		Thyasiridae	*Thyasira gouldii* (R.A. Philippi, 1845)	–	–	+	–	–	–	–	+	+	–	+
93			*Axinopsida orbiculata* (G.O. Sars, 1878)	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	+
94		Veneridae	*Liocyma fluctuosa* (A. Gould, 1841)	–	–	–	+	–	–	–	–	+	+	+
95		Yoldiidae	*Megayoldia thraciaeformis* (Storer, 1838)	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	–
96			*Megayoldia lischkei* (E.A. Smith, 1885)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+

Таблица 2. Окончание. Начало на с. 83
Table 2. Ending. Start on page 83

№	Класс Class	Семейство Family	Вид Species	Номер станции / Station number										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
97			*Yoldia myalis* (Couthouy, 1838)	–	–	+	–	–	–	–	–	–	+	–
98			*Yoldia aeolica* (Valenciennes, 1846)	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–	+
99	**Malacostraca**	Ampeliscidae	*Ampelisca macrocephala* Liljeborg, 1853	+	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–
10			*Ampelisca* sp.	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–	+
101		Ampithoidae	*Ampithoe* sp.	–	–	+	–	–	+	–	–	+	+	–
102		Calliopiidae	*Calliopiidae* gen. sp.	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
103		Haustoriidae	*Haustoriidae* gen. sp.	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
104			*Eohaustorius eous* (Gurjanova, 1951)	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
105		Melitidae	*Eohaustorius eous* (Gurjanova, 1951)	–	–	+	–	–	–	+	–	–	–	+
106		Oedicerotidae	*Monoculodes mertensis* Gurjanova, 1951	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–
107			*Monoculodes* sp.	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
108		Pleustidae	*Pleustes (Pleustes) panoplus* (Krøyer, 1838)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
109			*Pleustes* sp.	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
110		Pontoporeiidae	*Pontoporeia femorata* Krøyer, 1842	–	+	–	–	–	–	+	–	+	+	–
111			*Pontoporeia* sp.	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
112		Tryphosidae	*Wecomedon wirketis* (Gurjanova, 1962)	–	–	–	–	+	+	–	+	–	–	+
113			*Wecomedon* sp.	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
114		Uristidae	*Anonyx makarovi* Gurjanova, 1962	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
115			*Anonyx pacificus*	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
116			*Anonyx* sp.	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
117	**Echinoidea**	Echinarachniidae	*Echinarachnius parma* (Lamarck, 1816)	+	+	–	–	–	+	+	–	–	–	–
118	**Ophiuroidea**	–	*Ophiuroidea* fam. sp.	–	+	+	–	–	–	–	–	–	+	+

Обозначения: + присутствие организма в пробе; – отсутствие организма в пробе
Notes: + presence of the organism in the sample; – absence of the organism in the sample

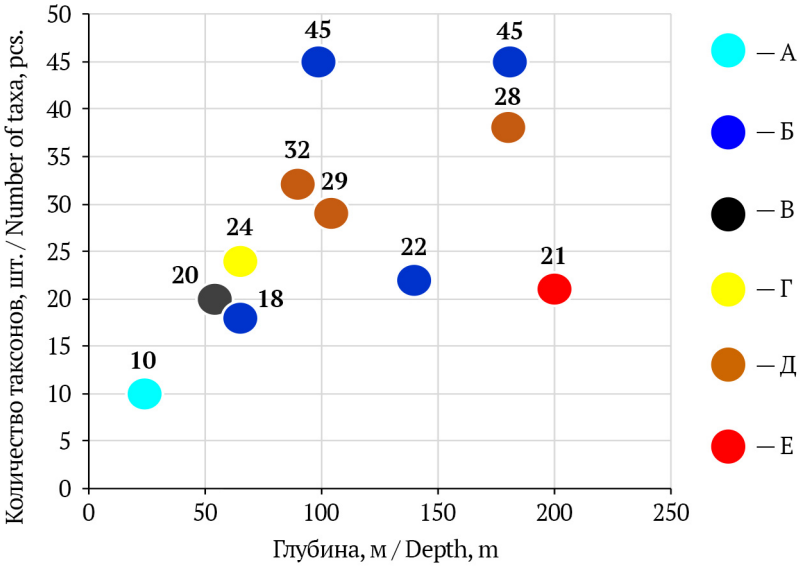


Рис. 2. Распределение количества таксонов по изобатам в зависимости от состава донного грунта: А — песок, ил, зона опреснения; Б — песок, ил за пределами зоны опреснения; В — песок, ракуша; Г — песок, обломки панцирей морских ежей, ракуша; Д — песок, ил, ракуша; Е — песок, ил, мелкая галька
Fig. 2. Distribution of the number of taxa along isobaths depending on the composition of bottom soil: А – sand, mud; desalination zone; Б – sand, mud outside the desalination zone; В – sand, shells; Г – sand, sea urchin shell fragments, shells; Д – sand, mud, shells; Е – sand, mud, small pebbles

Общим для всех станций таксоном были полихеты *Nephtys* sp., вероятно представленные комплексом видов. К наиболее часто встреченным таксонам в пределах обследованных участков дна Камчатского залива можно отнести также полихет семейства *Maldanidae* (73% станций); *S. armiger* и *O. fusiformis* (64% станций); представителей семейства *Ampharetidae* и *A. catenata* (55% станций). Такие виды как *A. gracilis, Lumbriconereis* sp., *P. praetermissa, N. longosetosa* и животные семейства Aphroditidae были найдены на 45% станций. Встречаемость остальных таксонов полихет оказалась ниже 40%. Отметим, что в 2002 г., как и ранее (Кузнецов, 1961; Кобликов, Надточий, 1992), на илисто-песчаных грунтах из всего разнообразия полихет неизменно встречающимися видами оставались *N. ciliata*, *N. lumbricalis*, *P. praeterinissa*, *M. sarsi*, *S. armiger*, *T. stroemi*.

Среди двустворчатых моллюсков чаще других регистрировали *E. tenuis* (64%) и *M. calcarea* (55%). Остальные таксоны этого класса животных были найдены на менее 50% станций.

Суммарная плотность поселения бентосных животных на отдельных станциях обследованных участков Камчатского залива варьировала от 60 до 2050 экз./м^2, суммарная биомасса — от 3 до 328 г/м^2 (табл. 3).

Максимальная плотность поселения за счет обилия полихет выявлена на ст. 2, здесь же отмечена и максимальная биомасса донных животных. Минимум плотности поселения бентоса отмечен на ст. 5, тогда как минимальные значения биомассы указаны для станций 8 и 9, расположенных в зоне опреснения р. Камчатки (Коваль и др., 2020).

Распределение биомассы на обследованных нами участках дна Камчатского залива можно сравнить с данными 1950-х годов (Кузнецов, 1961) и 1986 г. (Кобликов, Надточий, 1992) (рис. 3). Так, станции 1, 2, 3, 7, 11, где биомасса бентоса укладывается в интервал 200–300 г/м^2, соответствуют распределению биомассы, показанному и в предыдущих исследованиях (рис. 3). Незначительные значения биомассы бентоса на станциях 8, 9, 10 соответствуют области низких величин биомассы бентоса, выявленных как без малого 50 (рис. 3А), так и около 20 (рис. 3Б) лет назад. Участки дна с биомассой бентоса в интервале 41–78 г/м^2 (ст. 4, 5, 6) также, как и по данным предыдущих исследований, расположены в зоне пониженных ее значений в средней части залива (рис. 3).

В предыдущих работах (Кузнецов, 1961; Кобликов, Надточий, 1992) руководящие виды донных сообществ выделены по вкладу в общую биомассу. Соответственно, для сравнения с нашими данными рассмотрим структуру биомассы бентоса, показанную в этих работах (рис. 4).

По нашим данным, сообщество *E. parma* выделяется только на ст. 1, расположенной в южной части Камчатского залива, где, по данным предыдущих исследований, также располага-

Таблица 3. Плотность поселения (N, экз./м^2) и биомасса (B, г/м^2) крупных таксонов бентоса на обследованном участке дна Камчатского залива в 2002 г.
Table 3. Density (N, specimens/m^2) and biomass (B, g/m^2) of large taxa of benthos in the surveyed bottom area of the Kamchatka Gulf in 2002

№ станции Station number	Сумма Sum		Polychaeta		Bivalvia		Gastropoda		Amphipoda		Echinoidea		Ophiuroidea	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
1	249	234	99	3	31	104	5	1	103	1	11	125	0	0
2	2050	328	1961	138	47	163	5	2	25	1	4	24	8	0
3	358	306	261	94	34	211	1	0	61	1	0	0	1	0
4	145	78	123	16	13	62	0	0	9	0	0	0	0	0
5	60	64	49	37	3	1	4	26	4	0	0	0	0	0
6	215	41	156	20	16	7	1	1	40	1	2	12	0	0
7	163	298	87	2	59	243	3	3	11	0	3	50	0	0
8	263	3	245	2	15	1	0	0	3	0	0	0	0	0
9	495	8	267	4	11	1	9	2	208	1	0	0	0	0
10	208	26	184	23	15	2	1	0	7	1	0	0	1	0
11	548	248	292	86	86	153	3	0	47	1	0	0	120	8

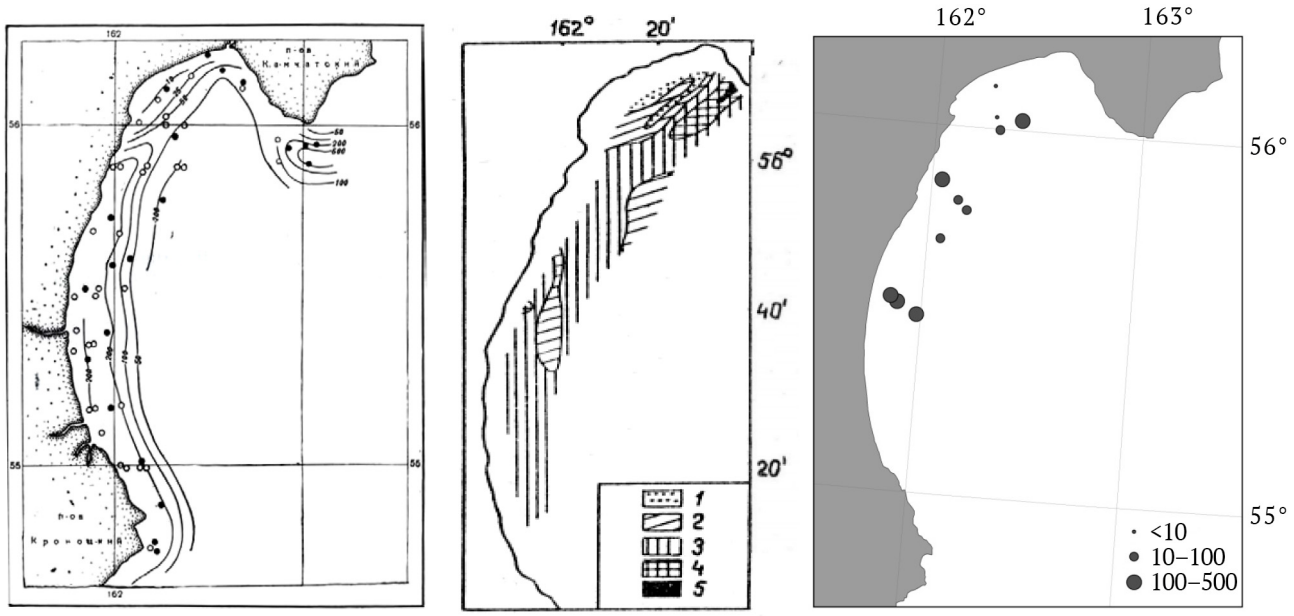


Рис. 3. Схема распределения биомассы бентоса: А — в 1950-е гг. (Кузнецов, 1961), Б — в 1986 г. (Кобликов, Надточий, 1992)
Fig. 3. Schematic distribution of benthos biomass: A – in the 1950s (Кузнецов, 1961), and Б – in 1986 (Кобликов, Надточий, 1992)

ется зона доминирования этого вида морских ежей (рис. 5).

Доминирование (более 50% биомассы бентоса) комплекса двустворчатых моллюсков отмечено на станциях 3, 4, 7, 11; комплекса полихет — на станциях 5, 6, 8, 9, 10.

На ст. 2 с максимальной биомассой руководящее положение по биомассе занимали полихеты семейства Maldanidae, в том числе *M. sarsi*, а также двустворчатые моллюски *C. crassidens*, *M. calcarea*.

В зоне опреснения р. Камчатки, по нашим данным, в биомассе доминировали полихеты (42%). На порядок меньше была биомасса молоди двустворчатых моллюсков (7%) и амфипод (4%). Отметим, что в 1950-е гг. в этом районе был оконтурен биоценоз с доминированием кумовых раков, а в 1986 г. — амфипод (рис. 5).

В связи с редкой сеткой станций по данным съемки 2002 г. не выделены другие донные сообщества, описанные в предыдущих работах (Кузнецов, 1961; Кобликов, Надточий, 1992).

По нашим данным, таксономическая структура характеризовалась высокой степенью мозаичности. Даже при выделении руководящих таксонов на уровне семейств не удалось найти сходных станций (табл. 4). Нередко в рамках одного семейства руководящие виды были различны на разных станциях, что типично при редкой сетке станций.

Также не удалось выделить донные сообщества, которые, по данным предыдущих исследований, занимали обширные площади дна. Например, в 2002 г. на участках с доминированием комплекса двустворчатых моллюсков, не найдены сообщества с доминированием *Tridonta (Astarte)* spp.

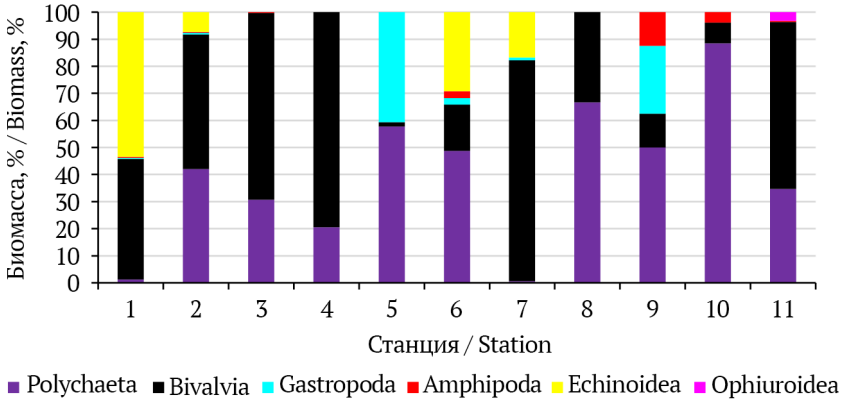


Рис. 4. Структура биомассы бентоса на обследованных участках Камчатского залива в 2002 г.
Fig. 4. Structure of benthos biomass in surveyed areas of Kamchatka Gulf in 2002

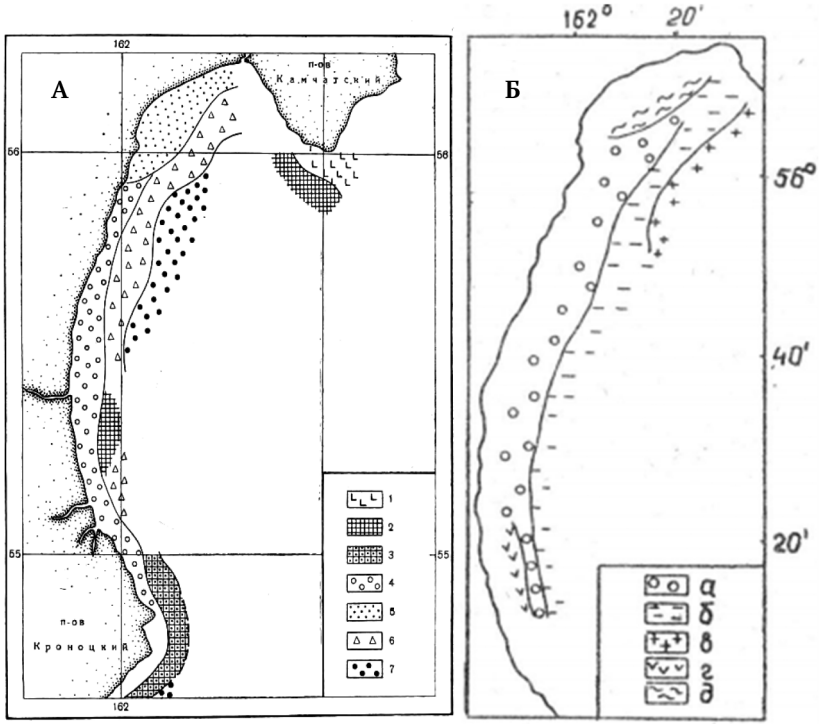


Рис. 5. Донные сообщества Камчатского залива: А — в 1950-е гг. (Кузнецов, 1961), Б — в 1986 г. (Кобликов, Надточий, 1992)
На рис. 5А: 1 — Bryozoa + Hydroidea + + Ascidiae; 2 — *Astarte rollandi*; 3 — *Astarte alaskensis*; 4 — *Echinarachnius parma*; 5 — Cumacea; 6 — *Macoma calcarea*; 7 — *Briaster townsendi*
На рис. 5Б: *а* — *E. parma*; *б* — *M. calcarea*; *в* — *Ophiopholis leptoctenia*; *г* — *Tridonta rollandi*; *д* — Amphipoda
Fig. 5. Bottom communities of Kamchatka Gulf: A – in the 1950s (Кузнецов, 1961), and Б – in 1986 (Кобликов, Надточий, 1992)
In Fig. 5A: 1 – Bryozoa + Hydroidea + + Ascidiae; 2 – *Astarte rollandi*; 3 – *Astarte alaskensis*; 4 – *Echinarachnius parma*; 5 – Cumacea; 6 – *Macoma calcarea*; 7 – *Briaster townsendi*
In Fig. 5Б: *а* – *E. parma*; *б* – *M. calcarea*; *в* – *Ophiopholis leptoctenia*; *г* – *Tridonta rollandi*; *д* – Amphipoda

Таблица 4. Биомасса (B, г/м^2) руководящих таксонов на разных станциях. Суммарное значение превышает 50% от общей биомассы на станции
Table 4. Biomass (B, g/m^2) of leading taxa at different sites. The total value exceeds 50% of the total biomass at site

Станция Station	Руководящее семейство Leading family	B	Руководящие виды в семействе Leading species in the family	B
1	Echinoidea	125	*E. parma*	125
	Cardiidae	104	*C. ventricosa*	104
2	Maldanidae	123	*M. sarsi*	36
	Cardiidae	64	*C. crassidens*	64
3	Nuculanidae	155	*N. pernula*	77
	Maldanidae	65	*N. minuta*	77
			Nicomache sp.	24
4	Tellinidae	57	*Macoma calcarea*	57
5	Naticildae	26	*C. aleutica*	26
	Flabelligeridae	13	*Brada* sp.	13
	Maldanidae	12	*P. praetermissa*	9
6	Nephtyidae	10	*Nephtys* sp.	9
	Maldanidae	7	*M. sarsi*	1
	Yoldiidae	3	*M. thraciaeformis*	3
7	Carditidae	234	*C. ventricosa*	234
	Echinoidea	50	*E. parma*	50
8	Nephtyidae	1	*Nephtys* sp.	1
9	Trochidae	2	–*	–
	Pontoporeiidae	1	*P. femorata*	1
	Nephtyidae	1	*Nephtys* sp.	1
10	Nephtyidae	8	*N. caeca*	4
	Maldanidae	6	*N. ciliata*	3
			A. catenata	1
11	Yoldiidae	67	*Megayoldia lischkei*	65
	Tellinidae	65	*Macoma calcarea*	65

Примечание. *— идентифицированные в пределах семейства. / *Note.* *– identified within family.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На обследованных участках шельфа Камчатского залива в 2002 г. зарегистрировано 118 таксонов бентосных животных классов Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Echinoidea; отр. Amphipoda и комплекс видов семейства Ophiuroidea. На обследованных нами участках дна Камчатского залива распределение биомассы бентоса и ее структура на уровне крупных таксонов соответствовали параметрам на локальностях, схожих с таковыми в 1950-е годы и в 1986 г.

Максимальная биомасса донной биоты была отмечена на станции в юго-западной части залива, минимальная — в районе устья р. Камчатки, где формируется значительное опреснение водных масс этой части залива. Таксономическая структура бентоса характеризовалась высокой степенью мозаичности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-Центр. 217 с.

Дулепова Е.П. 1990. Кормовые ресурсы и степень их использования бентофагами в шельфовых зонах Камчатки / Биологические ресурсы шельфовых и окраинных морей. М.: Наука. С. 163–176.

Дьяков Ю.П. 2011. Питание дальневосточных камбал (Pleuronectiformes) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 21. С. 5–72.

Кобликов В.Н., Надточий В.А. 1992. Количественная оценка бентоса прибрежных вод некоторых районов Восточной Камчатки // Биол. ресурсы Тихого океана. М.: ВНИРО. С. 100–116.

Коваль М.В., Морозова А.В. 2013. Состав ихтиофауны, распределение и пищевые отношения массовых видов рыб эпипелагиали Камчатского залива в период нагула тихоокеанских лососей // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 31. С. 106–121.

Коваль М.В., Тепнин О.Б., Горин С.Л., Фадеев Е.С., Зикунова О.В., Лепская Е.В., Шубкин С.В., Рудакова С.Л., Пильганчук О.А., Городовская С.Б. 2020. Факторы, определяющие динамику нерестового хода и современное состояние ресурсов нерки *Oncorhynchus nerka* р. Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 57. С. 5–66. EDN: GKRPVK. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.5-66

Коростелев С.Г. 2000. Состав и современное состояние рыбных ресурсов Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов / Проблемы охраны и рационального использования биоресурсов Камчатки : Докл. 2-й Камч. обл. конф. Петропавловск-Камчатский. С. 81–91.

Коростелев С.Г., Василец П.М. 2004. Изменения в составе донных ихтиоценов на шельфе Авачинского, Кроноцкого и Камчатского заливов под влиянием промыслового пресса // Изв. ТИНРО. Т. 137. С. 253–261.
Кузнецов А.П. 1961. Материалы по количественному учету донной фауны Камчатского залива // Тр. ин-та океанологии АН СССР. Т. XLVI. С. 103–123.
Токранов А.М. 2009. Особенности биологии донных и придонных рыб различных семейств в прикамчатских водах : Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Петропавловск-Камчатский. 67 с.
Четвергов А.В., Таганова Р.Я. 2000. Питание и особенности пищевых взаимоотношений камбал (Pleuronectidae) в Уткинском районе западнокамчатского шельфа в августе 1997 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 5. С. 19–26.

REFERENCES

Borets L.A. *Donnyye ikhtiotseny rossiyskogo shelfa dalnevostochnykh morey: sostav, struktura, elementy funktsionirovaniya i promyslovoye znacheniye* [Bottom ichthyocenes of the Russian shelf of the Far Eastern seas: composition, structure, functioning elements and commercial significance]. Vladivostok: TINRO-Center, 1997, 217 p.
Dulepova Ye.P. Forage resources and the degree of their use by benthophages in the shelf zones of Kamchatka. *Biological resources of shelf and marginal seas*. Moskow: Nauka, 1990, pp. 163–176. (In Russ.)
Diakov Yu.P. Feeding by Far East Flounders (Pleuronectiformes). *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2011, vol. 21, pp. 5–72. (In Russ.)
Koblikov V.N., Nadtochiy V.A. Quantification of the benthos of coastal waters in some areas of Eastern Kamchatka. *Biological resources of the Pacific Ocean*. Moscow: VNIRO, 1992, pp. 100–116. (In Russ.)
Koval M.V., Morozova A.V. Fish fauna, spatial distribution and interspecific food relations of abundant fish stocks in the epipelagial of the Kamchatka Gulf during growth period of juvenile pacific salmons. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2013, vol. 31, pp. 106–121. (In Russ.)
Koval M.V., Tepnin O.B., Gorin S.L., Fadeev E.S., Zikunova O.V., Lepskaya E.V., Shubkin S.V., Rudakova S.L., Pilganchuk O.A., Gorodovskaya S.B. Factors determining spawning run dynamics and current state of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* resources in the Kamchatka River. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 57, pp. 5–66. (In Russ.). EDN: GKRPVK. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.5-66
Korostelev S.G. Composition and current state of fish resources in Avachinsky, Kronotsky and Kamchatka Bays. *Problems of protection and rational use of biological resources of Kamchatka*: Dokl. Second Kamch. region scientific-practical conf. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2000, pp. 81–91. (In Russ.)
Korostelev S.G., Vasilets P.M. Changes in the composition of bottom ichthyocenes on the shelf of Avacha, Kronotsky and Kamchatka bays under the influence of fishing pressure. Izvestia TINRO, 2004, vol. 137, pp. 253–261. (In Russ.)
Kuznetsov A.P. Materials on the quantitative accounting of the bottom fauna of Kamchatka Bay. *Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences*, 1961, vol. XLVI, pp. 103–123. (In Russ.)
Tokranov A.M. Features of biology of bottom and demersal fish of different families in Kamchatka waters: Abstract of Doctor of Biological sciences diss. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009, 67 p.
Chetvergov A.V., Taganova R.Ya. Feeding and features of feeding relationships of flounders (Pleuronectidae) in the Utkinsky region of the West Kamchatka shelf in August 1997. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2000, vol. 5, pp. 19–26. (In Russ.)

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHOR CONTRIBUTION

Е.А. Архипова — первичная обработка проб бентоса; анализ материалов группы «иглокожие»; количественная систематизация полученных данных, таблица 1.

А.И. Буяновский — общее редактирование на раннем этапе; совместная работа над введением и формулировкой цели исследования; создание рисунка 1; сведение результатов в таблицы 3 и 4.
С.Г. Коростелев — организация первичного сбора материалов.
Е.В. Лепская — рисунки 3, 4, 5, таблица 2, концепция статьи, основной текст, научная редакция.
Elena A. Arkhipova provided primary processing of benthos samples, analyzed materials of the Echinoderms group, made quantitative systematization of the obtained data (Table 1).
Alexey I. Buyanovsky provided general editing at the early stage of writing, participated in joint work on the introduction and formulation of the research goal, made Figure 1, summarized the results in Tables 3 and 4.
Sergey G. Korostelev organized sampling of materials.
Ekaterina V. Lepskaya provided Figures 3, 4, 5, Table 2, article concept, main text and scientific editing.

Информация об авторах

Е.А. Архипова — канд. биол. наук, специалист лаборатории морских рыб, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), *kamarhipova@mail.ru*.
ORCID: 0000-0002-8028-428X
А.И. Буяновский — докт. биол. наук, гл. науч. сотрудник отдела гидробионтов прибрежных экосистем Департамента промысловых гидробионтов, ВНИРО, *buyanovskiy@vniro.ru*.
ORCID: 0009-0000-0559-1741
С.Г. Коростелев — докт. биол. наук, руководитель Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН, *korostelevs@mail.ru*.
ORCID: 0000-0003-2304-7760
Е.В. Лепская — канд. биол. наук, зав. лабораторией рыбохозяйственной экологии, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), *e.lepskaya@kamniro.vniro.ru*.
ORCID: 0000-0001-7990-0252

Information about the authors

Elena A. Arkhipova – Ph. D. (Biology), specialist of the Lab. of marine fishes (KamchatNIRO), *kamarhipova@mail.ru*.
ORCID: 0000-0002-8028-428X
Alexey I. Buyanovsky – D. Sc. (Biology), Principal Researcher of the Division of Hydrobionts of coastal ecosystems of the Department of commercial hydrobionts, VNIRO, *buyanovskiy@vniro.ru*.
ORCID: 0009-0000-0559-1741
Sergey G. Korostelev – D. Sc. (Biology), Head of the Kamchatka Branch of PGI FEB RAS, *korostelevs@mail.ru*.
ORCID: 0000-0003-2304-7760
Ekaterina V. Lepskaya – Ph. D. (Biology), Head of the Lab. of fisheries ecology (KamchatNIRO), *e.lepskaya@kamniro.vniro.ru*.
ORCID: 0000-0001-7990-0252

Статья поступила в редакцию / Received:
01.10.2024
Одобрена после рецензирования / Revised:
24.02.2025
Статья принята к публикации / Accepted:
07.03.2025

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 91–98.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 91–98.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Краткое сообщение / Short communication article
УДК 595.384.2(265.53)
doi:10.15853/2072-8212.2025.76.91-98
EDN: ARTJSK

К ВОПРОСУ ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ КРАБА-СТРИГУНА ОПИЛИО В ЗАЛИВЕ ШЕЛИХОВА ОХОТСКОГО МОРЯ В СВЯЗИ С ОТКРЫТИЕМ ПРОМЫСЛА КАМЧАТСКОГО КРАБА

Шагинян Эдуард Рудольфович

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, e.shaginyan@kamniro.vniro.ru

Аннотация. На основе материалов учетных съемок 2014 г., а также 2021–2023 гг., оконтурены границы повышенных концентраций промысловых самцов краба-стригуна опилио в зал. Шелихова Охотского моря. По данным ССД определена северная граница промысла краба камчатского в путину 2023 г. Установлено, что расстояние между скоплениями краба-стригуна опилио и северной границей промысла краба камчатского в Западно-Камчатской подзоне составляет 48–51 милю, что вдвое меньше, чем от мест традиционного лова стригуна опилио, находящихся у линии разграничения Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской подзон, проходящей по меридиану 153°30′ в. д. Полученные данные позволят существенно сократить непроизводственные потери промыслового времени, более рационально использовать сырьевую базу отечественного крабового промысла.

Ключевые слова: залив Шелихова, краб-стригун опилио, распределение, промысловые самцы, скопления, период промысла

Благодарности: искренняя признательность и благодарность С.И. Моисееву (ВНИРО), а также П.Ю. Иванову, Т.Б. Морозову, Р.В. Дунаеву (КамчатНИРО), за помощь в сборе данных.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Шагинян Э.Р. К вопросу освоения запасов краба-стригуна опилио в заливе Шелихова Охотского моря в связи с открытием промысла камчатского краба // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2025. Вып. 76. С. 91–98. EDN: ARTJSK. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.91-98

TO THE ISSUE OF THE DEVELOPMENT OF OPILIO SNOW CRAB STOCKS IN SHELIKHOV GULF OF THE SEA OF OKHOTSK IN CONNECTION WITH THE OPENING OF THE KING CRAB FISHERY

Eduard R. Shaginyan

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e.shaginyan@kamniro.vniro.ru

Abstract. Based on survey data from 2014 and 2021–2023, the boundaries of increased concentrations of commercial male opilio snow crab in the Shelikhov Gulf of the Sea of Okhotsk were outlined. The northern boundary of the king crab fishery in the 2023 fishing season was figured out based on the SDR (ship's daily report) data. It was found that the distance between the opilio snow crab aggregations and the northern boundary of the king crab fishery in the West Kamchatka subzone is 48–51 miles, which is half the distance from the traditional opilio snow crab fishing grounds located near the boundary line between the Northern Sea of Okhotsk and West Kamchatka subzones along 153°30´ E. The data obtained will make it possible to significantly reduce non-productive losses of fishing time and more rationally utilize the resource base of the domestic crab fishery.

Keywords: Shelikhov Gulf, opilio snow crab, distribution, commercial males, aggregations, fishing period

Acknowledgements: Author expresses his sincere gratitude and appreciation to his colleagues – Sergey I. Moiseev from VNIRO, Pavel Y. Ivanov, Taras B. Morozov and Roman V. Dunayev from KamchatNIRO for participation in data collection.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Shaginyan E.R. To the issue of the development of opilio snow crab stocks in the Shelikhov Gulf of the Sea of Okhotsk in connection with the opening of the king crab fishery // The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2025. Vol. 76. P. 91–98. (In Russ.) EDN: ARTJSK. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.91-98

© Шагинян Э.Р.

В северной части Западно-Камчатской подзоны, прилегающей к зал. Шелихова, обитают как минимум три вида промысловых ракообразных: крабы синий, камчатский и краб-стригун опилио.

До 2023 г. здесь осуществлялась добыча только краба синего; промысел стригуна опилио велся преимущественно у линии разграничения Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской подзон, проходящей по меридиану 153°30′ в. д., а краба камчатского добывали к югу от 56°20′ с. ш.

Периоды промысла указанных видов крабов регламентированы Правилами рыболовства: краба синего – с 1 января по 31 декабря, за исключением временного запрета промысла, вызванного линькой с 15 июля по 15 сентября, краба камчатского – с 1 сентября по 31 декабря и краба-стригуна опилио – с 10 апреля по 31 декабря.

Согласно Приказу Минсельхоза России № 154 от 10 марта 2023 г., в Западно-Камчатской подзоне, на участке шельфа к северу от параллели 57°40′ с. ш. разрешено добывать краба камчатского, до этого времени запрещенного для лова.

Северная граница промысла краба камчатского в путину 2023 г. была ограничена параллелью 59°10′ с. ш., т. е. находилась на небольшом удалении от мест с повышенными концентрациями краба-стригуна опилио. В связи с этим назрела насущная актуальность пересмотра подходов к освоению запасов краба-стригуна опилио, поскольку это может иметь важное значение с точки зрения сведения к минимуму непроизводственных потерь промыслового времени при смене объекта лова в Западно-Камчатской подзоне.

Учитывая состояние запаса стригуна опилио и плотность скоплений промысловых самцов в районе работ, с высокой долей вероятности можно предположить, что ко времени открытия промысла краба камчатского квоты вылова краба-стригуна опилио будут освоены, и промысловики все усилия направят на освоение выделенных объемов вылова краба камчатского.

При организации промысла стригуна опилио к северу от 59°15′ с. ш., как предлагалось по результатам проведенных исследований (Шагинян, 2023), запасы этого вида будут вовлечены в промысел, а получаемая информация, в т. ч. и промысловая, окажется очень полезной для оценки состояния запаса в зал. Шелихова на перспективу. Кроме того, будет исключен излишний промысловый пресс на популяцию краба-стригуна опилио североохотоморской популяции, обитающей в границах Западно-Камчатской подзоны.

В связи с вышеизложенным, целью настоящих исследований является выработка рекомендаций для рационального использования запасов краба-стригуна опилио в связи с открытием промысла краба камчатского в северной части Западно-Камчатской подзоны.

Задачи: на основе имеющихся материалов рассмотреть вопросы, касающиеся пространственного распределений скоплений промысловых самцов и распределений уловов на усилие для сведения к минимуму непроизводственных потерь промыслового времени при промысле краба в северной части Западно-Камчатской подзоны.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

При подготовке настоящей работы использованы материалы, полученные в 2014 и 2021–2023 гг. при выполнении учетных ловушечных съемок в зал. Шелихова и прилегающих к нему акваториях Охотского моря (табл. 1).

Лов краба осуществлялся конусными ловушками японского образца, объединенными в порядок, состоящий из 30 шт. Эффективная площадь облова при расчетах запасов краба-стригуна опилио принята равной 3300 м^2 (Островский и др., 2014). В качестве параметра

Таблица 1. Период работ и объем собранного материала по крабу-стригуну опилио в северо-восточной части Охотского моря
Table 1. Working period and the opilio snow crab sample size collected in the north-eastern part of the Sea of Okhotsk

Год Year	Судно Ship	Период работ Working period	Кол-во измерений, экз. Number of measurements, ex.	Кол-во обработанных ловушек, шт. Number of traps examined, pcs
2014	СРТМ «Дукат» SRTM “Dukat”	11.10–02.11	1891	654
2021	СТР «Зодиак» STR “Zodiak”	12.09–03.10	655	587
2022	СТР «Шантар-1» STR “Shantar-1”	23.09–14.10	3765	539
2023	СТР «Зодиак» STR “Zodiak”	01.09–27.09	432	1077

размера крабов использовалась наибольшая ширина их карапакса, которую измеряли штангенциркулем, без учета боковых шипов, с точностью до 1 мм.

Сбор и обработка данных проводились по общепринятым гидробиологическим методам (Родин и др., 1979; Низяев и др., 2006), а построение карт распределения уловов — с применением программы ГИС «КартМастер» 4.1 (Бизиков и др., 2006).

Кроме того, использованы данные с промысла камчатского краба, полученные при анализе судовых суточных донесений (ССД) из Отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов (ОСМ) Росрыболовства из северной части Западно-Камчатской подзоны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В зал. Шелихова и прилегающих к нему акваториях Охотского моря до недавнего времени наибольшее промысловое значение имел краб синий. Начало его промысла было положено в 1993 г., и с тех пор этот объект с полным правом считается одним из базовых в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Первые данные по крабу-стригуну опилио Западно-Камчатской промысловой подзоны были получены в 1996 г. при проведении исследовательских работ на акватории моря, прилегающей к горловине зал. Шелихова (Науменко, 1996; Шагинян, 1996). В последующем исследованиями был охвачен и зал. Шелихова (Бажин, 1999). Было установлено, что в значительных количествах этот вида краба отмечался на участках моря с мягкими грунтами, преимущественно к северу от 59°15′ с. ш. Плотные скопления промысловых самцов наблюдались и между параллелями 57°30′–58°30′ с. ш. и к востоку до 120 миль от меридиана 153°30′ в. д. (Шагинян, 2022).

Разведанные скопления стригуна опилио в зал. Шелихова на протяжении многих лет оставались невостребованными, главным образом из-за относительно низких размерно-весовых показателей самцов. Однако этот фактор нельзя считать единственным, лимитирующим освоение запаса этого вида краба. Например, в Олюторском заливе (Карагинская подзона) запасы краба-стригуна опилио востребованы пользователями биоресурсов, при том, что средний размер промысловых самцов здесь составляет 110,4 мм против 117,6 мм в зал. Шелихова, а степень освоения запаса стригуна опилио в последние годы составляла 99%.

Для ведения специализированного лова важную роль имеют такие факторы, как плотность скоплений краба и районы повышенных концентраций самцов промыслового размера, т. к. от этого зависят различные производственно-технологические показатели, в т. ч. улов на промысловое усилие, напрямую влияющие на рентабельность промысла.

Результаты исследований стригуна опилио в северной части Западно-Камчатской подзоны показали наличие участков с повышенными концентрациями промысловых самцов. В зависимости от схемы станций учетных работ (рис. 1), характер пространственного распределения скоплений промысловых самцов стригуна опилио существенно различался. На основании предыдущих исследований (Шагинян, 2023), можно считать, что при соблюдении единой сетки учетных станций результаты работ, как с точки зрения распределения скоплений, так и по показателям уловов на усилие, были бы сходными или достаточно близкими.

В 2014 г. было выделено два компактных участка с повышенными концентрациями краба: первый из них был ограничен координатами 59°24′–59°53′ с. ш., 156°03′–156°46′ в. д. Здесь, на площади 1320 км^2, плотность скоплений изменялась от 2,0 до 4,5 тыс. экз./км^2.

Второе скопление находилось севернее, на участке с координатами 60°00′–60°15′ с. ш., 156°30′–157°52′ в. д. (S = 1156 км^2), где концентрация промысловых самцов повышалась до 3,0–5,0 тыс. экз./км^2.

Учетные работы в 2021 г. не распространялись севернее 59°40′ с. ш., и в результате этого выявленные ранее скопления краба не были охвачены исследованиями. Было оконтурено одно скопление промысловых самцов на участке с координатами 59°22′–59°51′ с. ш., 155°53′–156°49′ в. д. На площади немногим более 600 км^2 концентрация краба составляла 2,0–2,8 тыс./км^2. Примечательно, что данное скопление, с незначительными отклонениями, пространственно совпадало с первым скоплением 2014 г. А по сравнению с данными 2022 г. было практически идентичным, с той лишь разницей, что и площадь с повышенными скоплениями краба, и их плотность существенно превышали соответствующие показатели 2021 г. Так, в 2022 г. на площади 1517 км^2 плотность скоплений варьировала от 8,0 до 18,0 тыс. экз./м^2. В менее значимых количе-

ствах — от 2,0 до 4,0 тыс. экз./км^2, самцы промыслового размера стригуна опилио были зафиксированы в районе с координатами 59°31′–59°45′ с. ш., на площади, равной всего 594 км^2.

В минимальных количествах самцы стригуна опилио были отмечены по результатам учетных работ 2023 г. На небольшой по площади акватории (S = 270 км^2), ограниченной координатами 58°56′–59°05′ с. ш., 155°20′–155°48′ в. д., плотность скопления составляла всего 1,2–2,0 тыс. экз./км^2. Более низкие показатели рассматриваемых параметров не являются следствием какого-либо антропогенного или биотического воздействия на популяцию краба-стригуна опилио. Обусловлены они исключительно тем, что эти учетные работы были ориентированы на крабов камчатского и синего, а участки с повышенными концентрациями промысловых самцов стригуна опилио исследованиями практически не были охвачены, что хорошо видно из рисунка 1, особенно в сравнительном аспекте со схемой контрольных станций.

Проведенный анализ пространственного распределения скоплений промысловых самцов краба-стригуна опилио в зал. Шелихова и прилегающих к нему водах Охотского моря, в границах Западно-Камчатской подзоны, выя-

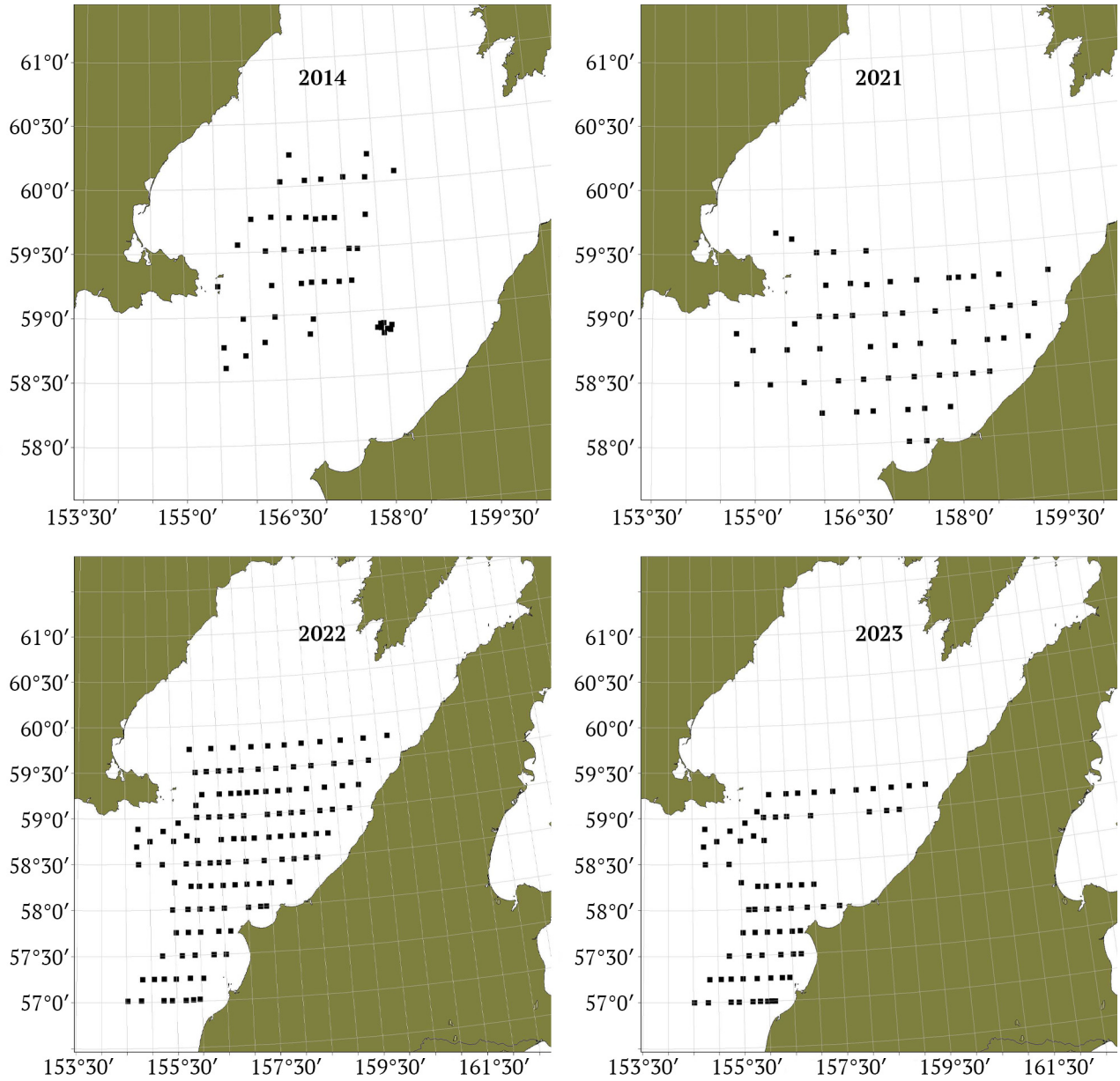


Рис. 1. Карты-схемы контрольных станций учетных ловушечных съемок в осенний период 2014, 2021–2023 гг. в северной части Западно-Камчатской подзоны
Fig. 1. Schematic maps of the trap survey control stations in the northern part of the West Kamchatka subzone in autumn period in 2014, 2021–2023

вил участки с повышенными концентрациями стригуна опилио.

Полученные результаты основаны на данных учетных работ, проведенных в осенний период (см. табл. 1). Если принять во внимание тот факт, что для стригуна опилио характерна невысокая миграционная активность (Слизкин, 1982; Мельник и др., 2014), можно с полным основанием считать, что характер пространственного распределения скоплений промысловых самцов в течение года малоизменчив. Следовательно, использование материалов осенних учетных работ для поставленной цели в полной мере допустимо.

Как уже говорилось, приказом Минсельхоза России № 154 от 10 марта с 2023 г. на участке западнокамчатского шельфа к северу от параллели 57°40′ с. ш. разрешили добывать краба камчатского. В путину 2023 г. около половины всего объема, разрешенного к вылову в Западно-Камчатской подзоне, было добыто на участке шельфа севернее 57°40′ с. ш.

В осенне-зимний период в северной части Западно-Камчатской подзоны промысел краба заметно усложняется, главным образом по метеорологическим причинам. Поэтому чем компактнее расположены скопления краба, тем меньше непроизводственные затраты времени на переходы при смене объекта лова.

Текущее состояние запасов краба камчатского в последние годы существенно изменилось. Интенсивный промысел, отсутствие в последние годы урожайных поколений привели к тому, что южные участки западнокамчатского шельфа потеряли промысловую значимость. Основной пресс промысла перенесен на сообщества центральной, а с 2023 г. и северной частей шельфа, как это имело место в путину 2023 г. Вероятно, что стратегия его промысла на Западной Камчатке в ближайшие годы сохранится, и к северу от 57°40′ с. ш. будет изыматься не менее половины годового ОДУ. Следовательно, перед промысловиками встает проблема оптимизации временных затрат на освоение собственных квот вылова, особенно принимая во внимание все возрастающее количество судов, деятельность которых заключается в добыче краба и его транспортировке в живом виде. Затраты времени на переходы судов в порты назначений для выгрузки улова и обратно существенно выше времени, затраченного на вылов краба. С учетом того, что пользователи биоресурсов имеют квоты на несколько объектов лова в разных промысловых районах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, сокращение непроизводственных потерь времени приобретает важное значение.

С этой целью было определено расстояние от наиболее плотных скоплений промысловых самцов стригуна опилио, обнаруженных в зал. Шелихова, и мест традиционного лова стригуна опилио, находящихся у линии разграничения Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской подзон, проходящей по меридиану 153°30′ в. д., до районов промысла краба камчатского в северной части Западно-Камчатской подзоны в ноябре 2023 г.

Расчеты показали, что в первом случае оно составляло в пределах 57–66 миль, во втором — почти в 2 раза больше, от 110 до 147 миль. Примерно такие же показатели были отмечены и на промысле краба камчатского в декабре 2023 г. Исходя из этого, возможно, следует с максимальной отдачей использовать промысловое время, руководствуясь целью сведения к минимуму его непроизводственных потерь, особенно если у пользователя имеются квоты на вылов двух и более объектов. Стратегия освоения запаса краба-стригуна опилио может быть различной и определяется исключительно собственником квот.

Необходимо помнить, что в Западно-Камчатской подзоне добывать краба-стригуна опилио по действующим Правилам рыболовства разрешается с 10 апреля. Причем ограничение лова не связано с состоянием запаса и биологическими процессами, происходящими в популяции, а обусловлено, вероятнее всего, гидрометеорологическими условиями. И если с момента открытия промысла стригуна опилио в Западно-Камчатской подзоне его добыча в зал. Шелихова может быть затруднена из-за ледовой обстановки, главным образом по причине выноса льда из кутовых участков залива в открытое море, то в летний и осенний сезоны, когда вводится временный запрет промысла краба синего, а период промысла краба камчатского еще не наступил, лов стригуна опилио представляется наиболее рациональным. Ко времени начала промысла краба камчатского основные объемы вылова стригуна опилио, вероятнее всего, будут освоены, и пользователи могут начать перенос порядков в районы промысла краба камчатского.

Возможен и другой вариант организации добычи краба, а именно: параллельный промысел краба-стригуна опилио и краба камчатского, как это зачастую имеет место при освоении запасов стригуна опилио Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской подзон. Расстояние между участками плотных скоплений этих объектов лова, как показано выше, невелико. Тем самым достигается эффективное использование промыслового времени, что особенно важно в осенне-зимний сезон в северной части Западно-Камчатской подзоны.

И, наконец, заслуживает внимания и такой «тип стратегии» промысла стригуна опилио, когда пользователи на завершающем этапе освоения квот вылова краба камчатского начинают перевозить порядки в районы повышенных скоплений стригуна опилио и до конца промыслового сезона завершают освоение его запасов. Добыча стригуна опилио в конце промыслового сезона не влияет на краб-сырец, с технологической точки зрения. В отличие от крабоидов северной части Западно-Камчатской подзоны, ограничения, вызванные процессами линьки и воспроизводства, для стригуна опилио не вводятся, как и для близкого вида — краба-стригуна бэрди Камчатско-Курильской подзоны и крабов-стригунов Восточной Камчатки и Берингова моря.

Такой «тип стратегии» интересен тем, что к началу года, когда начинается промысел краба синего в Западно-Камчатской подзоне, непроизводственные потери времени при смене объекта лова сводятся к минимуму по причине близости традиционных районов лова краба синего от районов плотных концентраций краба-стригуна опилио. Расстояние между ними колеблется в пределах 15–20 миль (примерно 1,5–2,0 часа хода), что значительно меньше, чем от линии разграничения Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской подзон.

Предложенная схема организации промысла краба в северной части Западно-Камчатской подзоны может представлять практическую значимость в том случае, если будет введено ограничение лова стригуна опилио к югу от 59°15′ с. ш. Обоснованность предлагаемой меры подробно обсуждалась в предыдущих исследованиях (Шагинян, 2023), и она была рекомендована для внесения изменений в Правила рыболовства. От того, будет ли внесена предлагаемая мера, зависит сведение к минимуму непроизводственных потерь промыслового времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований краба-стригуна опилио в зал. Шелихова Охотского моря выявлены скопления промысловых самцов, достаточные для ведения специализированного лова.

По материалам учетных работ оконтурены границы скоплений стригуна опилио и дана количественная оценка величины уловов на усилие и их динамика в межгодовом аспекте.

Определено расстояние от границ выявленных скоплений до северной границы промысла краба камчатского в путину 2023 г., а также традиционных районов промысла краба синего в Западно-Камчатской подзоне.

Установлено, что расстояние от мест скоплений краба-стригуна опилио зал. Шелихова до северной границы промысла краба камчатского составляло около 50 миль, что вдвое меньше, чем от мест традиционного лова стригуна опилио, находящихся у линии разграничения Северо-Охотоморской и Западно-Камчатской подзон, проходящей по меридиану 153°30´ в. д. Соответствующий показатель по крабу синему составил всего 15–20 миль.

При условии введения ограничений лова краба-стригуна опилио в Западно-Камчатской подзоне к югу от 59°15′ с. ш. возможно с минимальными непроизводственными потерями промыслового времени вести эффективное освоение запасов краба-стригуна опилио, а также крабов камчатского и синего в северной части Западно-Камчатской подзоны.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Автор заявляет, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки оформлены в соответствии с ГОСТом.

The author declares that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бажин А.Г. 1999. Рейсовый отчет по исследованию шельфовых крабов в Западно-Камчатской и Камчатско-Курильской подзонах в марте–июне на КРПС «Инвниг Стар». Архив Кф «ВНИРО» (КамчатНИРО). № 6324. 27 с.

Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. 2006. Новая географическая информационная система «КартМастер» для обработки данных биоресурсных съемок / VII Всерос. конф. по промысл. беспозвоночным (памяти Б.Г. Иванова) : Тез. докл. М.: ВНИРО. С. 18–24.

Мельник А.М., Абаев М.Д., Васильев А.Г., Клинушкин С.В., Метелев Е.А. 2014. Крабы и крабоиды северной части Охотского моря. Магадан: МагаданНИРО. 198 с.

Науменко Н.В. 1996. Рейсовый отчет по научно-промысловому лову камчатского краба, равношипого краба и краба-стригуна на западнокамчатском шельфе в мае–декабре 1996 г. на НПС «Юнико». Архив КамчатНИРО. № 5924. 10 с.

Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К., Первеева Е.Р., Абрамова Е.В., Крутченко А.А. 2006. Пособие по изучению ракообразных Дальневосточных морей России. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 114 с.

Островский В.И., Ткачева О.Б., Харитонов А.В., Шаленко В.Н. 2014. Эффективная площадь облова крабов ловушками в северо-западной части Татарского пролива // Изв. ТИНРО. Т. 178. С. 261–270.

Правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна от 6 мая 2022 г., № 285.

Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 10.03.2023 № 154 «О внесении изменений в правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, утвержденные приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 6 мая 2022 г. № 285».

Родин В.Е., Слизкин, А.Г., Мясоедов В.И., Барсуков В.Н., Мирошников В.В., Згуровский К.А., Канарский О.А., Федосеев В.Я. 1979. Руководство по изучению десятиногих ракообразных *Decapoda* дальневосточных морей. Владивосток. 57 с.

Слизкин А.Г. 1982. Распределение крабов-стригунов рода *Chionoecetes* и условия их обитания в северной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. Т. 106. С. 26–30.

Шагинян Э.Р. 1996. Рейсовый отчет «Результаты научно-промысловых работ на СРТМ «Верхолаз» по исследованию крабов Охотского моря в период с 13 апреля по 10 августа 1996 г.». Архив КамчатНИРО. № 5934. 63 с.

Шагинян Э.Р. 2022. Краб-стригун опилио залива Шелихова и прилегающих к нему акваторий Охотского моря в 1996–2014 гг. и перспективы использования запаса // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 64. С. 64–80.

Шагинян Э.Р. 2023. К вопросу оптимизации промысла краба-стригуна опилио в заливе Шелихова Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 70. С. 27–36.

REFERENCES

Bazhin A.G. Report on the study of shelf crabs in the Western Kamchatka and Kamchatka-Kuril subzones in March–June at the Invnig Star CRPS. *Archive KamchatNIRO*, 1999, no. 6324, 27 p. (In Russ.)

Bizikov V.A., Goncharov S.M., Polyakov A.V. New geographic information system “KartMaster” for processing data from bioresource surveys. *VII Vseros. konf. po promysl. bespozvonochnym (pamyati B.G. Ivanova)*: Tez. dokl. Moscow, VNIRO, 2006, pp. 18–24. (In Russ.)

Melnik A.M., Abayev M.D., Vasilyev A.G., Klinushkin S.V., Metelev Ye.A. *Kraby i kraboidy severnoy chasti Okhotskogo morya* [Crabs and craboids of the northern part of the Sea of Okhotsk]. Magadan: MagadanNIRO, 2014, 198 p.

Naumenko N.V. Report on the scientific and commercial fishing of king crab, iso-spined crab and snow crab on the Western Kamchatka shelf in May–December 1996 at the Yuniko oil pumping station. *Archive KamchatNIRO*, 1999, no. 5924, 10 p. (In Russ.)

Nizyayev S.A., Bukin S.D., Klitin A.K., Perveyeva E.R., Krutchenko A.A., Abramova E.V. *Posobiye po izucheniyu promyslovykh rakoobraznykh dal’nevostochnykh morey Rossii* [Manual on the study of the fishing crustaceans of the Far Eastern seas of Russia]. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2006, 114 p.

Ostrovsky V.I., Tkacheva O.B., Kharitonov A.V., Shalenko V.N. Area of effective catch of crab traps in the northwestern part of the Tartar Strait. *Izvestia TINRO*, 2014, vol. 178, pp. 261–270. (In Russ.)

Fishing rules for the Far Eastern fishery basin dated May 6, 2022, No. 285. (In Russ.)

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated 10.03.2023 No. 154 “On Amendments to the Fishing Rules for the Far Eastern Fishery Basin, Approved by Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated May 6, 2022 No. 285”. (In Russ.)

Rodin V.Ye., Slizkin A.G., Myasoyedov V.I., Barsukov V.N., Miroshnikov V.V., Zgurovskiy K.A., Kanarskiy O.A., Fedoseyev V.Ya. *Rukovodstvo po izucheniyu desyatinogikh rakoobraznykh Decapoda dalnevostochnykh morey* [Guide to the study of the decapod crustaceans Decapoda of the Far Eastern seas]. Vladivostok: TINRO, 1979, 57 p.

Slizkin A.G. Distribution of snow crabs of the genus *Chionoecetes* and their habitat conditions in the northern part of the Pacific Ocean. *Izvestia TINRO*, 1982, vol. 106, pp. 26–30. (In Russ.)
Shaginyan E.R. Report “Results of scientific and commercial work on the SRTM ‘Verkholaz’ for the study of crabs in the Sea of Okhotsk in the period from April 13 to August 10, 1996”. *Archive Kamchat-NIRO*, 1996, no. 5934, 63 p. (in Russ.)
Shaginyan E.R. Opilio snow crab in the Shelikhov Bay and adjacent waters of the Sea of Okhotsk: state in 1996–2014 and prospects for the use of the stock. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2022, vol. 64, pp. 64–79. (In Russ.) EDN: TOPIQT. doi:10.15853/2072-8212.2022.64.64-79
Shaginyan Ed.R. On the issue of optimizing snow crab fishing in the Gulf of Shelikhov, the Sea of Okhotsk. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2023, vol. 70, pp. 27–37. (In Russ.). EDN: DXLACU. doi:10.15853/2072-8212.2023.70.27-37

Информация об авторе
Э.Р. Шагинян — главный специалист,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).
ORCID: 0000-0002-3705-9853

Information about the author
Eduard R. Shaginyan – Principal Specialist,
Kamchatka Branch of VNIRO (KamchatNIRO).
ORCID: 0000-0002-3705-9853

Статья поступила в редакцию / Received:
17.01.2025
Одобрена после рецензирования / Revised:
22.01.2025
Статья принята к публикации / Accepted:
05.02.2025

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Публикация статей для аспирантов бесплатна.

Решение о публикации принимается редакционной коллегией журнала после рецензирования, с учетом научной значимости и актуальности предоставленного материала. Статьи, отклоненные редколлегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Редколлегия журнала оставляет за собой право изменять название статей по согласованию с авторами, а также вносить сокращения и иные редакционные правки в рукопись.

Положение об ответственности авторов

Авторы гарантируют, что направленный для публикации материал не был ранее опубликован на русском языке, а также не находится на рассмотрении в другом журнале.

Авторы гарантируют, что в предоставляемом материале соблюдены все авторские права: среди авторов указаны только те, кто сделал значительный вклад в исследование, все заимствованные фрагменты (текстовые цитаты, таблицы, рисунки и формулы) процитированы корректно, с указанием источников, позволяющих идентифицировать их авторов.

Авторы осознают, что факты научной недобросовестности, выявленные как в процессе рецензирования, так и после публикации статьи (плагиат, повторная публикация, раскрытие защищенных данных), могут повлечь не только снятие статьи с публикации, но и уголовное преследование со стороны тех, чьи права будут нарушены в результате обнародования текста.

Статьи авторов, которые не могут или не считают нужным нести ответственность за предоставляемые материалы, редакцией не рассматриваются.

Предоставление статей

В редакцию журнала направляются статьи обязательно и в электронном, и в печатном виде. На каждом листе печатного варианта — личная подпись автора и дата.

Электронные материалы должны содержать в отдельном виде следующие файлы:

— текстовый файл;

— файлы, содержащие иллюстрации (один рисунок — один файл. Графики и диаграммы — в Excel, таблицы — в формате Word, рисунки — TIF, JPEG, AI, EPS);

— файл с подрисуночными подписями.

Авторы обязаны сопровождать статью, направляемую в редакцию, двумя экземплярами подписанного соглашения о передаче авторского права (форма соглашения доступна для скачивания по ссылкам: http://www.kamniro.vniro.ru/soglasiye_avtor/ (статья с одним автором), http://www.kamniro.vniro.ru/soglasiye_soavtor/ (соавторство).

Исправленные после замечаний рецензентов материалы принимаются по электронной почте (pressa@kamniro.vniro.ru).

Общие требования к оформлению рукописей

Текст

При наборе текста статьи использовать редактор MS Word, шрифт Times New Roman.

В начале текстового файла должны быть указаны следующие данные:

– рубрикация статьи по УДК;

– заголовок статьи (латинское обозначение объекта приводится полностью);

– фамилия, имя и отчество автора/авторов;

– название научного учреждения, город, страна, электронный адрес. Если авторов несколько, и они работают в разных учреждениях, то эти данные приводятся в том порядке, в каком расположены фамилии авторов;

– краткая аннотация (согласно ГОСТ Р 7.0.7–2021, не более 250 слов);

– ключевые слова (от 3 до 15), не используя обобщенные и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты;

– благодарности (при необходимости);

– информация о финансировании исследования;

– библиографическая запись для цитирования.

Далее в таком же порядке указываются сведения на английском языке.

Структура статьи должна быть выдержана в обязательном порядке и содержать разделы: введение, материал и методика, результаты и обсуждение, заключение, список источников, дополнительные сведения об авторе (авторах): должность, научная степень, ORCID.

В тексте и таблицах в числах десятичные знаки отделяются запятой.

Таксоны: род и вид набираются курсивом.

Знаки: градус, минута (3 °C; 46°74′ с. ш.), плюс-минус (±), процент (%), промилле (‰), продецимилле (‱) и умножение (×) набираются символами.

Иллюстративный материал

Все рисунки должны быть пронумерованы в последовательности, соответствующей упоминанию в статье, и номерами привязаны к подрисуночным подписям. Нумерация рисунков сквозная.

Для обозначения осей графиков, легенды, начертания формул на графиках применять размер шрифта 11, начиная с большой буквы (Длина, Вес, и т. д.), с указанием через запятую размерности (кг, м, тыс. т, млн экз.). Оси должны быть четко видны (не пунктиром). На рисунок наносятся только цифровые и буквенные обозначения, все остальные пояснения — в подрисуночной подписи.

В таблицах допускаются только горизонтальные линии. Вертикальные линии можно использовать в заголовках граф.

Графический материал в электронной версии принимается как сканированный, так и рисованный на компьютере в черно-белом или цветном исполнении (оригиналы сканируются в режиме «градации серого» для черно-белых и в цветовой модели RGB для цветных с разрешением не менее 300 dpi, но не более 450 dpi на дюйм, сохраняются в файл JPG, качество «наилучшее», базовое(!). При невозможности самостоятельного качественного сканирования оговорить с редакцией вариант предоставления оригинала.

Для растровых рисунков использовать формат TIF, JPEG (базовый) с разрешением 300 dpi, в режиме gray scale или RGB; векторные рисунки предоставляются в формате программы CorelDraw или в форматах EPS, AI.

Список источников

В список источников включаются только рецензируемые источники (статьи из научных журналов и монографии), используемые в тексте статьи. Если необходимо сослаться на статью в общественно-политической газете, текст на сайте или в блоге, следует поместить ссылку с информацией об источнике.

Ссылки на принятые к публикации, но еще не опубликованные статьи, должны быть помечены словами «в печати»; авторы должны получить от редакции, куда сдана статья, письменное разрешение для ссылки на такие документы и подтверждение того, что они будут опубликованы.

Информация из неопубликованных источников должна быть помечена ссылкой «неопубликованные данные/документы», авторы также должны получить письменное подтверждение от источника данных на использование таких материалов.

Список источников составляется в алфавитном порядке; сначала источники на русском языке, затем — на иностранном. Указываются только опубликованные работы, отмеченные ссылками в тексте.

В списке источников указываются фамилии всех авторов. В тексте, при ссылке на источник, в круглых скобках приводятся фамилия автора или двух авторов и год издания (Иванов, 1980; Иванов, Петров, 1980); если же авторов три и более, то приводится фамилия первого с пометкой «и др.» — для русских, «et al.» — для иностранных публикаций (Иванов и др., 1990; Ivanov et al., 1990).

Выходные данные источников литературы приводят в следующем порядке.

Для книг: фамилия и инициалы автора(ов) (курсив), год издания, название книги, место издания, издательство, количество страниц. Например:

Богатов В.В. 1994. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука. 218 с.

Другие издательства: (М.-Л.: Изд-во АН СССР. Ч. 1. 466 с.), (Новосибирск: Наука. 221 с.), (Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 1. 580 с.), (М.: Мир. 740 с.), и т. д.

Для тезисов, докладов, материалов: фамилия и инициалы автора(ов) (курсив), год издания, название тезисов, две косые линии, (если конференция тематическая, то тема конференции), где и когда докладывались, место издания, издательство, количество страниц. Например:

Трифонова И.С. 1998. Водоросли фитопланктона как индикаторы эвтрофирования // Проблемы ботаники на рубеже XX–XXI веков : Тез. докл. II съезда Русского ботанического об-ва (Санкт-Петербург, 26–29 мая 1998 г.). СПб.: Ботанический ин-т РАН. Т. 2. С. 118–119.

... // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : Матер. IV науч. конф. (Петропавловск-Камчатский, 18–19 ноября 2003 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 71–76.

Для статей из сборников и журналов: фамилия и инициалы автора(ов) (курсив), год издания, название статьи, две косые линии, название сборника трудов (раскрытое), том, выпуск (номер), страницы, DOI.

Новиков Н.П. 1974. Рыбы материкового склона северной части Тихого океана. М.: Пищ. пром-сть. 308 с.

Трувеллер К.А. 1979. Дифференциация популяции сельди *Clupea harengus* в Северном море по антигенам эритроцитов и электрофоретическим спектрам белков : Дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ. 153 с.

ФИО автора. Год. Название статьи // Тр. ВНИРО. Т. 141. С. 229–239.

... // Гидробиол. журнал. Т. 28, № 4. С. 31–39.

... // Вопр. ихтиологии. Т. 36, № 3. С. 416–419.

... // Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР. 21 (24). С. 285–294.

... // Сб. науч. тр. Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. Вып. 308. С. 85–100.

... // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 7. С. 261–269.

... // Журнал общей биологии. Т. XL, № 5. С. 689–697.

... // Альгология. Т. 12, № 2. С. 259–272.

... // Зоологич. журнал. Т. 47, № 12. С. 1851–1856.

... // Изв. ТИНРО. Т. 128, № 2. С. 768–772.

... // Вестник МГУ. Биология, почвоведение. № 3. С. 37–42.

По всем возникающим вопросам обращаться в редакцию журнала:

683000 Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18. Тел.: 8 (4152) 41-27-01.
E-mail: pressa@kamniro.vniro.ru.

ИЗДАТЕЛЬСТВО КАМЧАТСКОГО ФИЛИАЛА ФГБНУ «ВНИРО» (КАМЧАТНИРО) ПРЕДЛАГАЕТ:

Дьяков Ю.П. **Воспроизводство камбалообразных рыб (Pleuronectiformes) северной части Тихого океана.** Петропавловск-Камчатский: Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО». 2025. 496 с.

В монографии представлены результаты анализа обширной информации, содержащейся в многочисленных отечественных и зарубежных источниках, а также архивных материалах, о важных характеристиках воспроизводства камбалообразных рыб. Приводятся сведения о репродуктивной части популяций: размерно-половой и половозрастной структуре, созревании особей, их плодовитости. Выполнена оценка их географической изменчивости. Сделан анализ влияния уровня смертности рыб в поколениях различной численности на формирование половой структуры популяции. Произведен сравнительный анализ плодовитости разных видов камбал, включая оценку степени их сходства по динамике плодовитости в связи с изменением размеров и возраста самок. Установлено определенное влияние плодовитости на численность и распространение разных видов. Охарактеризованы сроки и продолжительность нерестового периода у разных камбал северной части Тихого океана. Обобщены данные о распределении камбал на стадии икры и личинок по акватории северной части Тихого океана. Описана межвидовая изменчивость количественных показателей раннего онтогенеза камбал: от оплодотворения до завершения пелагической стадии и перехода к донному образу жизни. Такая изменчивость рассмотрена как в связи с внутривидовыми факторами, так и с воздействием среды, а также в зависимости от исторически сложившихся зоогеографических ареалов и биотопов видов. Сделан обзор математических моделей воспроизводства камбал. На основании литературных источников и результатов собственных исследований проанализированы абиотические и биотические факторы, в разной степени определяющие формирование численности поколений камбал, динамику численности и биомассы в течение длительных отрезков времени.

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

В монографии представлены материалы, характеризующие анализ комплексного влияния глобальных климатических факторов на динамику численности тихоокеанских лососей Северной Пацифики в XX в. и начале XXI в. В процессе работы рассмотрены нагульные ареалы всех видов лососей, воспроизводящихся в четырех странах — России, Японии, США и Канады. Обобщена и классифицирована информация о климатических факторах, которые максимально влияют на океанологические условия нагула лососей в бассейне Северной Пацифики. Описаны физические принципы и динамика межгодовой изменчивости климатических индексов. На основе этих данных были выделены три группы индексов: метеорологические, океанологические и планетарно-космические. Проведен анализ временных рядов уловов лососей в основных центрах воспроизводства стран Северо-Тихоокеанского региона по данным 1925–2015 гг. Выполнено моделирование взаимосвязей, отражающих многофакторное влияние климатической изменчивости на продуктивность запасов и биологические показатели (навеска) лососей Азии и Северной Америки. Оценено влияние зональных аномалий температуры поверхности морских/океанских вод Северной Пацифики в период осенней откочевки и первого зимнего нагула молоди на формирование численности запасов лососей.

Издание предназначено для широкого круга читателей: специалистов в области рыбохозяйственных исследований, студентов биологических профильных специальностей, экологов, работников рыбоохранного и рыбохозяйственного комплексов.

КамчатНИРО — 85 (1932–2017). Воспоминания. Стихи. Рассказы / Составители: В.Ф. Бугаев, М.В. Варкентин, Ю.А. Кудлаева. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. 280 с.

Издание посвящено 85-летнему юбилею Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО, КО ТИНРО, КоТИРХ — аббревиатуры организации в разные годы). В альбом включены воспоминания и записки бывших и настоящих сотрудников института, их друзей и близких, рассказывающие об истории КамчатНИРО и направлениях исследований, знакомящие с коллективом и повседневной работой, отражающие романтику и трудности работы ихтиологов, гидробиологов, генетиков, паразитологов, вирусологов, зоологов, экологов и представителей других редких профессий.

Все научные сотрудники — талантливые люди, поэтому в издание включены также их стихи и рассказы. В одних случаях эти произведения связаны непосредственно с работой и окружающей природой, в других — посвящены романтике жизни на Севере, а известный генетик с мировым именем д. б. н. Н.В. Варнавская даже писала и публиковала научно-фантастические романы (его отрывок также представлен читателям).

Издание иллюстрировано исключительно черно-белыми архивными фотографиями, что усиливает эффект проникновения Прошлого в наши дни и повышает его достоверность. Использованы фотографии из лабораторных архивов, а также из частных собраний сотрудников КамчатНИРО: В.Ф. Бугаева, Т.Л. Введенской, М.А. Жилина, С.И. Корнева, И.И. Лагунова, А.В. Маслова, В.Ф. Севостьянова, О.В. Тимофеевой, С.А. Травина и других.

Открывает юбилейный альбом уникальная рукопись доктора биологических наук Фаины Владимировны Крогиус «Воспоминания о Камчатке и о создании научной работы» (1932–1985), найденная в 2016 г. в архиве Камчатского края и опубликованная впервые.

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора 4

ВОСПОМИНАНИЯ

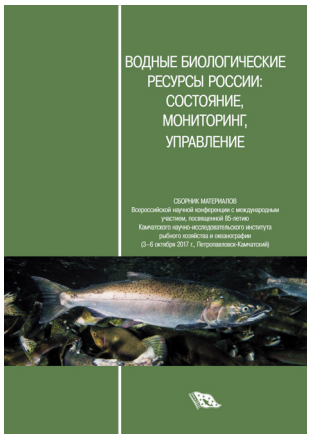
Крогиус Ф.В. Воспоминания о Камчатке и о создании научной работы (1932–1985) 8
Полутов И.А. Избранные главы из книги воспоминаний «Давным-давно» (1995) 33
Акулин В.Н. Моя Камчатка. Шестидесятые годы 47
Яцковский А.И. О камчатских ихтиологах: из книги «По горам и долинам Камчатки» (1959) 56
Корягина (Бирман) Н.И. Воспоминания детства и юности о папе и сотрудниках КО ТИНРО 59
Нестеров Г.А. Воспоминания о лаборатории… (2001) 64
Горчаков М.И. О камчатских ихтиологах: из книги «Цена каждого шага» (1974) 78
Введенская Т.Л. Воспоминания о десятилетнем счастье на оз. Кроноцком (1970–1979) 84
Жилин М.Я. Озёрные отшельники 100
Науменко Е.А. Полевые сезоны 108
Бугаев В.Ф. Один взгляд и три вылазки на оз. Этамынк 115
Дубынин В.А. На волне памяти… 127
Карпенко В.И. Первый рейс в КамчатНИРО по теме 145
Шагинян Э.Р. Лаборатории промысловых беспозвоночных — от создания до наших дней . 158
Кляшторин Л.Б. Озерновский наблюдательный пункт: 1985–1986 165
Виленская-Маркевич Н.И. Из книги «Воспоминания о камчатской жизни» (2007) 169

СТИХИ

Дьяков Ю.П. Избранная поэзия 192
Бугаев В.Ф. Избранные стихи из сборника «На окраине России» 200

РАССКАЗЫ

Басов Ю.С. Из книги «Дальневосточные рассказы» (2015) 210
Варнавская Н.В. Отрывок из научно-фантастического романа «Скоморох, бегущий по звёздам» (2011) 222
Егорова Т.В. Рыбное богатство Камчатки (1973) 228
Николаев А.С. Из сборника рассказов «Чудо каждого дня…» (1995) 234
Николаев А.С. Запоздалый репортаж с Большерецкого тракта (2017) 243
Остроумов А.Г. Из сборника рассказов «По Камчатке — от мыса Лопатка до реки Хатырки» (1997) 246
Севостьянов В.Ф. Из сборника рассказов «Я в вечность торопился» (2006) 256
Челноков Ф.Г. «Покорение вулкана Камень» (1958) из книги «К вершинам Камчатки, России, планеты» 263
Чугунков Д.И. Рассказ «Камчатка – Канада» из сборника «Норд-ост» (1980) 273

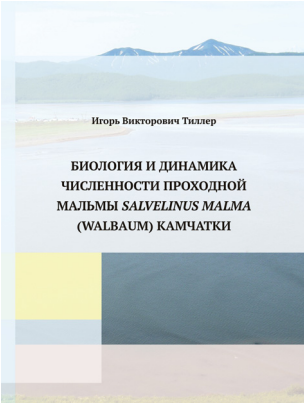


Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. 398 с. — Научное электронное издание сетевого распространения: Размер файла 80Мб. Систем. требования: Intel; Microsoft Windows (XP, Vista, Windows 7,8, Mac OS); разрешение экрана не ниже 1024×768; PDF Reader.

DOI: 10.15853/978-5-902210-51-1. ISBN 978-5-902210-51-1

Сборник содержит материалы по следующим основным направлениям: воспроизводство и динамика запасов водных биологических ресурсов; методические аспекты мониторинга, оценки и прогнозирования состояния запасов водных биологических ресурсов, стратегии управления промыслом; популяционные и генетические исследования гидробионтов; условия среды обитания и экология гидробионтов; состояние и динамика водных сообществ в условиях возрастающего антропогенного воздействия; болезни гидробионтов и их профилактика; искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов. Главный редактор — Ю.П. Дьяков, д. б. н., гл. н. с. КамчатНИРО.

Электронная версия доступна по ссылке: http://www.kamniro.ru/files/2017.pdf



Тиллер И.В. **Биология и динамика численности проходной *Salvelinus malma* (Walbaum) Камчатки.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. 96 с.

В монографии обобщены сведения, характеризующие биологию и динамику численности проходной мальмы Камчатки. Рассмотрены основные этапы жизненного цикла мальмы (сроки нереста, миграции, морской нагул). По материалам собственных исследований автором рассматриваются структура популяций и динамика ее элементов за многолетний период. Исследовано питание молоди мальмы в речной период жизни и взрослых рыб во время ската на морской нагул. Отмечено значительное потребление мальмой покатной молоди горбуши на северо-востоке Камчатки. Приведены данные о динамике вылова проходной мальмы на Камчатке. Проведена оценка смертности и состояния запасов этого вида на Камчатке.

Бугаев А.В. **Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2015. 416 с.

В представленной монографии рассмотрен заключительный этап морского периода жизни азиатских тихоокеанских лососей во время преднерестовых миграций в беринговоморских и тихоокеанских водах исключительной экономической зоны Российской Федерации (ИЭЗ РФ). Наблюдениями охвачен ряд 1995–2008 гг. В работе задействован массив многолетних данных, полученных в результате исследований, проводимых на дрифтерных судах в юго-западной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана. В сборе материала принимали участие сотрудники многих рыбохозяйственных НИИ Дальнего Востока и Москвы. Всего в работе использованы данные показателей контрольных уловов и биологических анализов, полученные в результате 177 рейсов российских и японских дрифтерных судов (7208 сетепостановок). Объектами исследований были пять видов тихоокеанских лососей — нерка, кета, горбуша, чавыча и кижуч. В процессе работы биоанализу подвергнуто около 140 тыс. рыб. Накопленная информация позволила рассмотреть важнейшие жизненные критерии созревающих тихоокеанских лососей — пространственно-темпоральное распределение и динамику уловов, основные биологические показатели, питание, внутривидовую структуру преднерестовых скоплений, а также выявить основные факторы, определяющие характер их преднерестовых миграций. Систематизирован массив биологических данных на уровне рассматриваемого 14-летнего периода дрифтерных наблюдений. Проведен сравнительный анализ полученной информации в связи с заметным ростом численности лососей, который был отмечен во всех регионах Северной Пацифики в начале 2000-х годов. В книгу включено много первичных данных, позволяющих их использовать в дальнейших исследованиях. Она адресована научным сотрудникам, занимающимся вопросами биологии морского периода жизни тихоокеанских лососей, экологам, студентам высших учебных заведений, работникам рыбохозяйственных предприятий и силовых структур, контролирующих воспроизводство и добычу лососей.

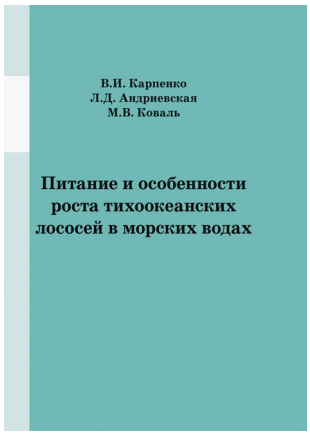
Современное состояние и методы изучения экосистем внутренних водоемов. Сборник материалов Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Ивановича Куренкова (7–9 октября 2015 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2015. 235 с.

Один из основоположников пресноводной гидробиологии на Дальнем Востоке, Игорь Иванович был признанным ведущим специалистом в области изучения фаунистики лососевых нерестово-выростных водоемов. Он исследовал множество озер полуострова, и результатом стала уникальная работа — «Зоопланктон озер Камчатки». Изучение влияния вулканического пепла на биологическую продуктивность водных объектов воплотилось в идею фертилизации камчатских водоемов, которая затем была с успехом реализована, он также был «первооткрывателем» использования геотермальных вод при искусственном воспроизводстве лососей.

В честь И.И. Куренкова назван один из видов веслоногих ракообразных (Eurytemora kurenkovi), встречающийся в устьях камчатских рек и прибрежных озерах, и малощетинковый червь (Spirosperma kurenkovi), обитающий в озерах полуострова Камчатка. В окрестностях оз. Кроноцкого высокогорное бессточное озеро Крокур увековечило имена двух известных ученых — Е.М. Крохина и И.И. Куренкова.

Сборник содержит материалы по следующим основным направлениям: методы изучения внутренних водоемов; результаты применения методов прямого учета численности и математического моделирования в исследованиях пресноводных биоресурсов; условия обитания гидробионтов в экосистемах внутренних водоемов: гидрология, гидрохимия и геоморфология; сезонная и многолетняя динамика функционирования сообществ внутренних водоемов; биоразнообразие и продуктивность экосистем внутренних водоемов; антропогенное воздействие и проблемы сохранения экосистем внутренних водоемов; рыбохозяйственное использование внутренних водоемов для целей промышленного и любительского (спортивного) рыболовства, акклиматизации и аквакультуры.

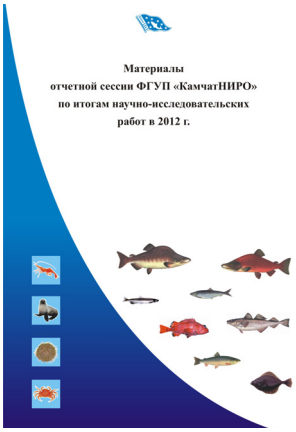
Электронная версия доступна по ссылке: www.kamniro.ru/publishing/kamniro/sovremennoe_sostoyanie_i_metody_izucheniya_ekosistem_vnutrennih_vodoemov



Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. **Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2013. 304 с.

Монография представляет собой обобщение накопленной в лаборатории морских исследований лососей ФГУП «КамчатНИРО» многолетней архивной информации, а также результатов собственных исследований питания и роста тихоокеанских лососей в морской период жизни. В течение 50-летнего периода изучения использована единая методика сбора, обработки и анализа трофологических материалов.

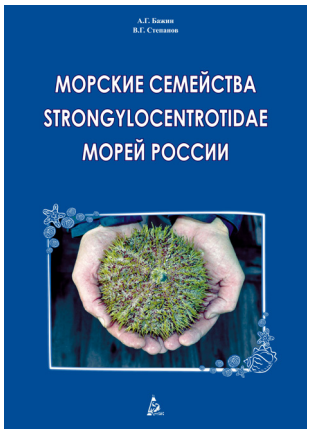
Описаны районы обитания лососей камчатских популяций и исследованы основные факторы среды, влияющие на их питание и рост в море. Для этого изучен состав пищи и оценены пищевые потребности пяти видов (горбуши, кеты, нерки, кижуча и чавычи) на отдельных этапах морского периода жизни. Изучена многолетняя динамика весового роста лососей, возвращающихся на нерест к побережью Камчатки. Исследованы межвидовые пищевые отношения лососей в море.



Материалы отчетной сессии ФГУП «КамчатНИРО» по итогам научно-иследовательских работ в 2012 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2013. 367 стр.

В сборник включены материалы, отражающие результаты исследований ученых разных поколений. Отдельно представлены итоги работы всех лабораторий института в 2012 г.: обобщены данные, полученные в результате исследования морских промысловых рыб, тихоокеанских лососей, промысловых беспозвоночных, а также проведения биохимических, генетических, морфологических и учетных работ.

Сборник предназначен для специалистов рыбохозяйственных НИИ, рыбопромышленников, студентов профильных вузов, органов рыбоохраны.



Бажин А.Г., Степанов В.Г. **Морские семейства Strongylocentrotidae морей России.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2012. 196 с.

Монография посвящена описанию основных биологических особенностей морских ежей семейства Strongylocentrotidae морей России, их видового состава, распространения, морфологии и изменчивости, процессов размножения и развития, экологии. Кроме того, содержит материалы о практическом использовании, технологиях переработки и особенностях промысла морских ежей и о некоторых аспектах их использования в научных целях.

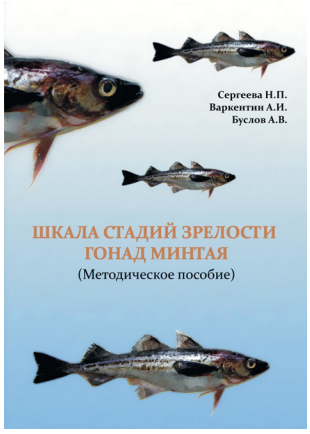
Книга адресована биологам, специалистам по добыче и обработке морского биологического сырья, а также студентам рыбохозяйственных, биологических и рыбопромысловых факультетов и всем, интересующимся природой моря.

Снюрреводный лов. Под общ. ред. к.т.н., доцента М.Н. Коваленко / Коваленко М.Н., Широков Е.П., Малых К.М., Сошин А.В., Адамов А.А. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2012. 168 с.

В монографии рассмотрены вопросы становления и современного состояния технологии снюрреводного лова с судов среднего, малого и малого маломерного классов на Камчатке. Работа представляет собой обобщение накопленной в лаборатории промышленного рыболовства ФГУП «КамчатНИРО» информации о снюрреводном лове, а также результатов собственных исследований. Предназначена для специалистов добычи, судоводителей, конструкторов и научных сотрудников, занятых на промысле и проведении научно-исследовательских работ при лове донных видов рыб снюрреводами с судов среднего, малого и малого маломерного флота, а также студентов, обучающихся по специальностям «Промышленное рыболовство» и «Промысловое судовождение».

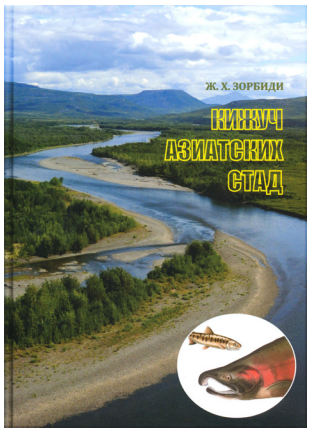
Дьяков Ю.П. **Камбалообразные (PLEURONECTIFORMES) дальневосточных морей России** (пространственная организация фауны, сезоны и продолжительность нереста, популяционная структура вида, динамика популяций). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2011. 428 с.

В монографии обобщены сведения о географической изменчивости фауны камбал в водоемах, омывающих дальневосточные берега России, изложены результаты исследования ее пространственной структуры. Рассмотрены особенности сезонного батиметрического и термического распределения представителей камбалообразных рыб в различных районах. Проведена классификация различных типов их распределения по глубинам. Установлено образование камбалами комплексов видов, местообитания которых характеризуются близкими глубинными и температурными условиями. Исследована географическая изменчивость сроков нереста у 56 видов камбалообразных рыб. Высказана гипотеза о наличии у камбал северной части Тихого океана двух адаптивных стратегий нереста. Построена общая концепция популяционной структуры тихоокеанского черного палтуса. Дана характеристика динамики численности популяций пяти массовых видов камбал восточной части Охотского моря. На основе ряда наблюдений построены математические модели популяционного роста численности и биомассы этих рыб, а также формирования численности их поколений в зависимости от некоторых популяционных и внепопуляционных факторов.



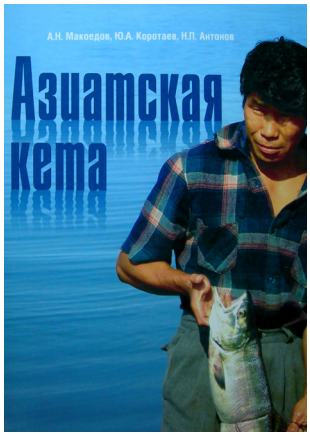
Сергеева Н.П., Варкентин А.И., Буслов А.В. **Шкала стадий зрелости гонад минтая.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2011. 92 с.

Минтай — наиболее значимый объект современного рыболовства в Дальневосточном регионе. На основании полученных авторами ранее результатов по исследованию особенностей полового созревания, оогенеза и сперматогенеза североохотоморского минтая приводится шкала стадий зрелости гонад минтая, включающая определение семи стадий, характеризующих развитие половых желез самок, и шести стадий — самцов. Дается описание величины и внешнего вида гонад, степени упругости, зернистости (самки), текучести семенной жидкости, ГСИ, состава и размеров ооцитов текущего фонда. Каждая выделенная стадия иллюстрируется характерным фотоизображением гонады в полости тела, извлеченной гонады, показаны вид ооцитов при просмотре с помощью бинокуляра и соответствующий стадии гистологический срез яичника и семенника. Также показаны изменения цвета и величины гонад в процессе созревания и нереста, характерные образы гонад разных стадий зрелости часто встречаемых оттенков цветов. Приводится словарь с пояснениями используемых терминов.



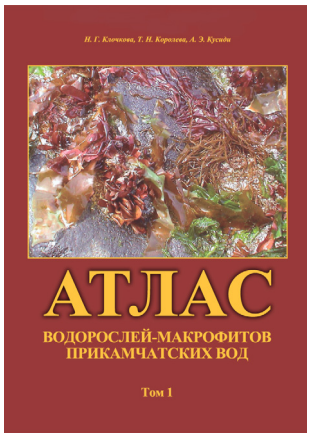
Зорбиди Ж.Х. **Кижуч азиатских стад.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2010. 306 с.

В монографии обобщены сведения о характере промысла азиатского кижуча Oncorhynchus kisutch в многолетнем аспекте и представлен ретроспективный анализ его особенностей за более чем 50-летний период. Приводятся данные официальной статистики берегового и японского морского промысла азиатского кижуча, сведения о вылове американских стад, результаты идентификации стад азиатского кижуча. Анализируются динамика численности, пропуск на нерестилища, состояние запасов в современный период и миграции кижуча в северо-западной части Тихого океана. Уточнены некоторые взгляды на характер его посткатадромных и преднерестовых миграций. По материалам собственных исследований и литературным источникам рассматриваются структура популяций и внутривидовая дифференциация кижуча, сроки нерестового хода, особенности нереста и экология развития в раннем онтогенезе, размерно-возрастной, половой состав нерестовых стад, качественные характеристики производителей и молоди. Выявлены изменения в структуре популяций кижуча, которые носят колебательный характер и, вероятно, вызваны не только изменениями условий среды, но и численностью самого вида. Особое внимание уделено результатам исследования биологии вида в естественных условиях. Представлены данные, характеризующие особенности экологии молоди кижуча в разных типах водоемов.



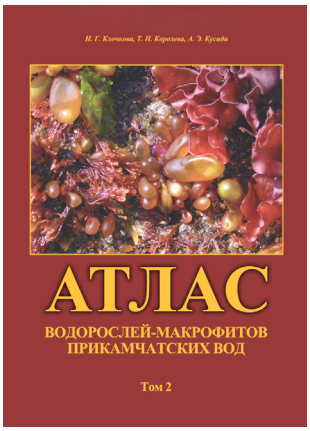
Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. **Азиатская кета.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 356 с.

Монографический обзор одного из наиболее ценных объектов рыболовства, кеты, в азиатской части ареала вида. Основное внимание сосредоточено на российских районах воспроизводства, поскольку более южные природные популяции кеты были почти полностью истреблены еще в начале XX века, отчего современный японский промысел ориентирован на лососей заводского происхождения. Приведены общая характеристика вида и основные этапы его изучения. Опираясь на собственные результаты исследований и литературные данные, подробно описана биология кеты из различных районов размножения. Рассмотрены особенности различных отрезков пресноводного и морского периодов жизни. Дана информация об истории развития и современном состоянии искусственного воспроизводства обсуждаемого вида тихоокеанских лососей. Рассмотрены абиотические, биотические, популяционные и антропогенные факторы, регулирующие численность и биомассу кеты. Приведены расчеты общей оценки выживаемости природных группировок данного вида. Большое внимание уделено вопросам, связанным с хозяйственным освоением азиатской кеты, и факторам, препятствующим рациональному ведению лососевого хозяйства в целом. Предложены рекомендации, направленные на устранение существующих недостатков.



Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. **Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. Том 1.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 218 с.

Даны описание и цветные иллюстрации внешнего вида и мест произрастания 32 зеленых (отдел Chlorophyta) и 58 бурых (отдел Phaeophyta) водорослей, встречающихся в прикамчатских водах. Специальную часть книги предваряют описание основных особенностей организации представителей отделов и характеристика местообитаний. В описаниях к видам указаны вариации формы, размеров и цвета слоевищ, их самые характерные морфологические и анатомические особенности. В эколого-биологическую характеристику включена информация об условиях произрастания, в том числе и антропогенном влиянии, сезонном развитии, распространении и ценотической роли вида в пределах камчатского района. Иногда описание распространения водорослей дается более широко: в пределах всех морей российского Дальнего Востока или Мирового океана. Для промысловых и массовых видов указаны возможные направления практического использования. Завершают книгу краткие сведения по состоянию промысла ламинарии в прикамчатских водах и очерк о благотворном влиянии на здоровье человека морских водорослей и продуктов их переработки.



Клочкова Н.Г., Королева Т.Н., Кусиди А.Э. **Атлас водорослей-макрофитов прикамчатских вод. Том 2.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 304 с.

Даны описание и цветные иллюстрации внешнего вида и мест произрастания 132 видов красных водорослей (отдел Rhodophyta), встречающихся в прикамчатских водах. Специальную часть книги предваряет описание основных особенностей организации представителей отделов. В описаниях к видам указаны вариации формы, размеров и цвета слоевищ, их самые характерные морфологические и анатомические особенности. В эколого-биологическую характеристику включена информация об условиях произрастания, сезонном развитии, распространении и ценотической роли вида в пределах камчатского района. Иногда описание распространения водорослей дается более широко. Для промысловых и массовых видов указаны возможные направления практического использования. В книгу включены краткие рекомендации, касающиеся сбора водорослей на морском берегу и изготовления из них гербария и препаратов для изучения внутреннего строения растений.

Шагинян Э.Р. **Методические рекомендации по определению видового состава крабов и возможности их возвращения в среду обитания в прикамчатских водах.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 32 с.

Краткое пособие для определения видового состава, степени жизнедеятельности крабов, а также возможности их возвращения в естественную среду обитания при производстве промысловых, исследовательских работ, а также для оперативной оценки работниками природоохранных учреждений возможного ущерба при незаконном промысле. Кратко освещены вопросы размножения, питания, миграций и промысла основных промысловых крабов прикамчатских вод. Основное внимание уделено морфологическим особенностям рассматриваемых видов с целью их видовой идентификации в полевых условиях. Даются рекомендации по определению жизнеспособности крабов и целесообразности их выпуска в среду обитания. Пособие подкреплено хорошо выполненными иллюстрациями.

Для приобретения изданий необходимо выслать (факсом или электронной почтой) заявку, с указанием реквизитов, согласно которой будет выставлен счет на предоплату. После оплаты счета заказанная литература отправляется почтой по указанному адресу. Пересылка — за счет заказчика.

Адрес издательства Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО)
683000 Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18
Тел.: (4152) 412-701
E-mail: kamniro@vniro.ru

Научный рецензируемый журнал

«Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана»

Выпуск 76. 2025

ISSN 2072-8212
Журнал с 2010 года входит в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий ВАК РФ.
С 29.12.2015 включен в новую редакцию Перечня

Главный редактор: А.В. Бугаев
Выпускающий редактор: Т.В. Борисова
Ответственный секретарь: М.В. Варкентин
Корректор: Т.В. Борисова
Перевод на английский: А.А. Шурыгина

Регистрационный номер ПИ № ФС 77-77203, дата регистрации 08.11.2019,
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Адрес редакции:
683000 Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18
Тел./факс: 8 (4152) 41-27-01. E-mail: kamniro@vniro.ru, pressa@kamniro.vniro.ru

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
Адрес учредителя: 105187, Москва, Окружной проезд, д. 19.
Тел.: 8 (499) 264-93-87. Факс: 8 (499) 264-91-87. E-mail: vniro@vniro.ru

Издатель:
Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
(КамчатНИРО)
Адрес издателя: 683000 Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, д. 18.

Подписано в печать 19.09.2025. Дата выхода 26.09.2025, № 1 (76), 2025.
Формат 60×84/8. Печать офсетная.
Заказ № КХ25-000088. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано в Типографии ООО «Камчатпресс».
Адрес: 683024 Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, д. 12а.