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 80
2026

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

Scientific peer-reviewed journal

Volume 80
2026

Главный редактор: д.б.н. А.В. Бугаев, зам. руководителя Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО) (Петропавловск-Камчатский, Россия)
Заместитель главного редактора: д.б.н. М.В. Коваль, вед. научный сотрудник 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. 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.б.н. Н.В. Колпаков, руководитель Сахалинского филиала ВНИРО (СахНИРО) (Южно-Сахалинск, Россия),
д.б.н. С.В. Найденко, главный научный сотрудник Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) (Владивосток, 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. 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. 80. 2026. 99 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. 80. 2026. 99 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, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Выпуск 80, 2026

Оригинальные научные статьи

Бугаев Александр Викторович,
Тепнин Олег Борисович, Кровнин Андрей Сергеевич.
Оценка влияния климато-океанологических условий зимне-весеннего нагула горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Западной Камчатки на ее численность в целях оперативного прогнозирования подходов 5

Зикунова Ольга Владимировна, Рябчун Вероника Андреевна,
Кириллова Елизавета Алексеевна, Фадеев Евгений Сергеевич.
От данных к прогнозу: методы оценки численности подходов кеты в Камчатском крае 34

Гофман Радмила Владимировна.
Изменчивость температурных и ледовых условий Берингова моря в зимний период (ноябрь–март) 1949–2024 гг. 59

Курбанов Юрий Каримович, Михалютин Евгений Анатольевич.
Новые данные о *Centroscyllium excelsum* (Etmopteridae) — эндемике подводных гор Императорского хребта 67

Устименко Елена Александровна, Рязанова Татьяна Вячеславовна,
Бочкова Елена Владимировна, Сергеенко Наталья Валентиновна.
Причины сезонной гибели молоди кеты (*Oncorhynchus keta* Walbaum) на одном из рыбоводных заводов Сахалинской области 79

CONTENTS

Volume 80, 2026

Full Articles

Alexander V. Bugaev, Oleg B. Tepnin, Andrey S. Krovnin. Assessment of the influence of climate-oceanological conditions of winter-spring feeding of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in Western Kamchatka on the returning numbers for the purposes of operational forecasting of spawning runs 5

Olga V. Zikunova, Veronika A. Ryabchun, Elizaveta A. Kirillova, Evgeny S. Fadeev. From data to forecast: methods for estimation of the abundance of chum salmon runs in Kamchatka Territory 34

Radmila V. Gofman. Variability of temperature and ice concentration in the Bering Sea in winter (November–March) for the period 1949–2024 59

Yuri K. Kurbanov, Eugeny A. Michalutin. New data about *Centroscyllium excelsum* (Etmopteridae), an endemic of the Emperor Seamounts 67

Elena A. Ustimenko, Tatiana V. Ryazanova, Elena V. Bochkova, Natalya V. Sergeenko. Causes of seasonal mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) at a hatchery in the Sakhalin Region 79

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 5–33.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 5–33.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.552.511:591.54
doi:10.15853/2072-8212.2026.80.5-33
EDN: RYQGLI

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗИМНЕ-ВЕСЕННЕГО НАГУЛА ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ НА ЕЕ ЧИСЛЕННОСТЬ В ЦЕЛЯХ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОДХОДОВ

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, o.tepnin@kamniro.vniro.ru
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Москва, Россия, akrovnin@vniro.ru

Аннотация. На основе данных 2001–2025 гг. о численности горбуши Западной Камчатки и климато-океанологических показателях, характеризующих условия ее нагула в зимне-весенний период в бассейне Северной Пацифики, были разработаны модели для краткосрочного (оперативного) прогнозирования возвратов (подходов) производителей указанной единицы запаса вида. В качестве потенциальных климато-океанологических предикторов рассматривали показатели аномалий температуры поверхностных вод (*SSTa*) и климатических индексов (Западно-Тихоокеанский циклонический индекс (*WP*), индекс Тихоокеанской декадной осцилляции (*PDO*), индекс Арктической осцилляции (*AO*), индекс Северо-Тихоокеанского колебания (*NPGO*)). Предложены два варианта прогностических моделей для краткосрочного прогнозирования подходов горбуши Западной Камчатки.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности. Авторы выражают большую благодарность сотрудникам Камчатского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО) — заведующему сектором Н.Б. Артюхиной, ведущим специалистам И.Н. Кирееву и А.М. Бирюкову — за предоставленные статистические материалы по промыслу и оценкам нерестовых запасов горбуши Западной Камчатки.

Для цитирования: Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Кровнин А.С. Оценка влияния климато-океанологических условий зимне-весеннего нагула горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Западной Камчатки на ее численность в целях оперативного прогнозирования подходов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 5–33. EDN: RYQGLI. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.5-33

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF CLIMATE-OCEANOLOGICAL CONDITIONS OF WINTER-SPRING FEEDING OF PINK SALMON *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* IN WESTERN KAMCHATKA ON THE RETURNING NUMBERS FOR THE PURPOSES OF OPERATIONAL FORECASTING OF SPAWNING RUNS

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

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

Abstract. Models for operational forecasting of pink salmon return abundance (runs) have been worked out based on the data about pink salmon stock abundance in Western Kamchatka in 2001–2025 and climate and ocean indices, characterizing conditions of pink salmon winter-spring feeding in the North Pacific basin. Potential climate and oceanic predictors selected included values of the sea surface water temperature anomalies (*SSTa*) and some of climate indices (West Pacific Pattern (*WP*), Pacific Decadal Oscillation (*PDO*), Arctic Oscillation (*AO*), North Pacific Gyre Oscillation (*NPGO*)). Two variants of predictive model for short-term forecasting of pink salmon runs in Western Kamchatka have been proposed.

Keywords: pink salmon, Western Kamchatka, dynamics of return (run) stock abundance, climate-oceanological conditions, climate indices, water temperature anomalies, predictive models.

© Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Кровнин А.С., 2026

Funding. The study was not sponsored.

Acknowledgments. The authors express their sincere gratitude to the staff of the Kamchatka Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), including sector head Nina B. Artyukhina and leading specialists Igor N. Kireev and Anton M. Biryukov, for providing statistical data on the fishery and assessment of spawning stocks of pink salmon in Western Kamchatka.

For citation: Bugaev A.V., Tepnin O.B., Krovnin A.S. Assessment of the influence of climate-oceanological conditions of winter-spring feeding of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in Western Kamchatka on the returning numbers for the purposes of operational forecasting of spawning runs // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 5–33. (In Russ.) EDN: RYQGLI. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.5-33

Запасы горбуши, воспроизводящейся в реках Западной Камчатки, являются одним из ключевых лососевых ресурсов бассейна Охотского моря. По среднемноголетним данным 2001–2025 гг. ее доля в региональных уловах вида составляла около 38% (Бугаев и др., 2025а). Всего в Охотоморском бассейне за указанный период ежегодно в среднем добывали порядка 170 тыс. т горбуши. Приблизительно 65 тыс. т приходилось на вылов рыб Западной Камчатки. В пределах Камчатского края (Камчатка) среднемноголетняя доля западнокамчатской горбуши в уловах 2001–2025 гг. составляла около 47%. При этом ежегодный вылов горбуши Камчатки в среднем находился на уровне порядка 140 тыс. т. Понятно, что столь значимый запас вида требует наличия комплексных мер для регулирования его промысла.

Основным элементом рационального использования водных биологических ресурсов является прогнозирование динамики численности их запасов. Уточним, что заблаговременность долгосрочного промыслового прогноза для тихоокеанских лососей составляет приблизительно календарный один год, поскольку все рыбы рода *Oncorhynchus* относятся к видам с высокой межгодовой флуктуацией численности запасов. При этом горбуша является видом, наиболее подверженным данной закономерности, так как у нее существует естественная двухгодовая цикличность динамики численности — чередование урожайных и неурожайных поколений. На Камчатке это четко выражено для главных региональных единиц запасов горбуши, представляющих группировки популяций (локальных стад), воспроизводящихся в реках восточного и западного побережий полуострова (Бугаев, Шевляков, 2008; Бугаев и др., 2024а).

В последние десятилетия все большее значение приобретают исследования по оценке влияния климато-океанологических условий на численность тихоокеанских лососей. Особенно это актуально для морского/океанического периода их жизни, когда закладываются продукционные показатели лососевых запасов (Бугаев, Тепнин, 2011, 2015, 2024; Бугаев и др., 2018, 2021). Периодически влияние условий нагула проявляется столь заметно, что существенно отражается на численности подходов тихоокеанских лососей к побережью. Причем воздействие климатических факторов на продуктивность рыб может иметь как негативный, так и позитивный эффект. Поэтому в практике современной методологии прогнозирования численности тихоокеанских лососей по мере возможности используются различные климато-океанологические предикторы. Непосредственно в отношении камчатской горбуши подобные исследования системно ведутся специалистами КамчатНИРО. В настоящее время опубликован ряд работ, посвященных методологическим аспектам долгосрочного прогнозирования этого вида с учетом климато-океанологических факторов (Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман, 2020; Фельдман, Бугаев, 2021; Фельдман и др., 2022; Бугаев и др., 2024б).

Известно, что горбуша, которая относится к короткоцикловым видам рыб, наиболее сильно подвержена изменчивости условий среды во время морского/океанического нагула по сравнению с другими видами тихоокеанских лососей (Бирман, 1985; Карпенко, 1998; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Карпенко и др., 2013; Radchenko et al., 2018). Поэтому существует высокая вероятность их влияния на численность подходов вида. Отметим, что при долгосрочном прогнозировании учитываются численность (нерестовый запас, учет в море) и факторы среды на раннем этапе морского нагула горбуши. При этом в данном случае невозможно учесть влияние климато-океанологических факторов в период зимне-весеннего нагула. В связи с этим возможна корректировка прогноза перед стартом промысла горбуши на этапе ее преднерестовых миграций после завершения зимнего нагула. Теоретически это дает

возможность актуализировать потенциальное влияние среды на численность зрелой части стад вида перед подходом к побережью с заблаговременностью от 2 до 4 месяцев до начала путины.

По данной тематике ранее уже были опубликованы результаты исследований методов краткосрочного (оперативного) прогнозирования для горбуши Северо-Восточной Камчатки (Бугаев и др., 2025б). Настоящая работа является тематическим продолжением этого направления исследований. В статье рассматриваются методические аспекты краткосрочного прогнозирования для горбуши Западной Камчатки.

Цель работы — разработка методов оперативного прогнозирования численности возвратов (подходов) горбуши Западной Камчатки с учетом влияния климато-океанологических факторов во время зимне-весенних нагульных миграций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы ряды наблюдений, характеризующие численность запасов (возврат, подход) горбуши Западной Камчатки, а также климатических индексов, потенциально влияющих на условия нагула вида в зимне-весенний период в северной части Тихого океана (Северная Пацифика). Ряды наблюдений численности включают ежегодные данные о количестве рыб на нерестилищах (нерестовый запас) (S) (1999–2023 гг.) и возвратах (подходах) производителей к побережью (R) (2001–2025 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 1999 г., возвратилась к нерестовому водоему в 2001 г.

Базовой прогностической моделью для горбуши является зависимость «родители – потомки» (Ricker, 1954, 1975), где «родители» — S, а «потомки» — 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 нерестового запаса горбуши, в работе использованы данные учетных траловых съемок ТИНРО (Тихоокеанский филиал Государственного научного центра ФГБНУ «ВНИРО»), выполненных во время осенней откочевки молоди от побережья в открытые воды Охотского моря в 2012–2024 гг. Все оценки численности сеголетков горбуши выполнены специалистами ТИНРО. Информация официально представлена в КамчатНИРО в рамках подготовки материалов, обосновывающих ежегодные прогнозы вылова горбуши Западной Камчатки (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны). В данном случае временной лаг от проведения учетной съемки молоди до возврата производителей составляет 1 год. Например, оценки 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). Рассматриваемый ряд наблюдений не полный, так как в 2014 г. учетные съемки не проводили.

В качестве климато-океанологических параметров использованы следующие климатические индексы (данные 2001–2025 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 интенсив-

ность крупномасштабной циркуляции вод в северной части Тихого океана, а также оказывает влияние на атмосферные процессы и формирование терморежима поверхностных вод (https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DS/NPGO).

Для оценки состояния термических условий вод в районах зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки в работе использованы данные аномалий температуры поверхности воды (*SSTa* – Sea Surface Temperature Anomalies). Ряды наблюдений *SSTa* включают средние зональные значения показателя для периода 2001–2025 гг. согласно представленной схеме районирования (рис. 2). Указанные районы (квадраты) входят в основной нагульный ареал горбуши Западной Камчатки во время зимовальных (зима) и ранних преднерестовых (весна) миграций. Всю зону выделенных квадратов можно условно обозначить как полигон исследований.

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

Использованные в работе климатические индексы и *SSTa* включают данные для зимнего периода за январь–февраль, а для весеннего периода — за март–апрель. Временные ряды наблюдений климатических предикторов соответствуют таковым для рядов численности подходов. Таким образом, анализ влияния среды во время зимне-весеннего нагула на продуктивность горбуши осуществляется непосредственно перед началом промысла.

Построение графиков и статистические расчеты (корреляции, многомерная (множественная) регрессия) выполнены по стандартным методикам, принятым для компьютерной об-

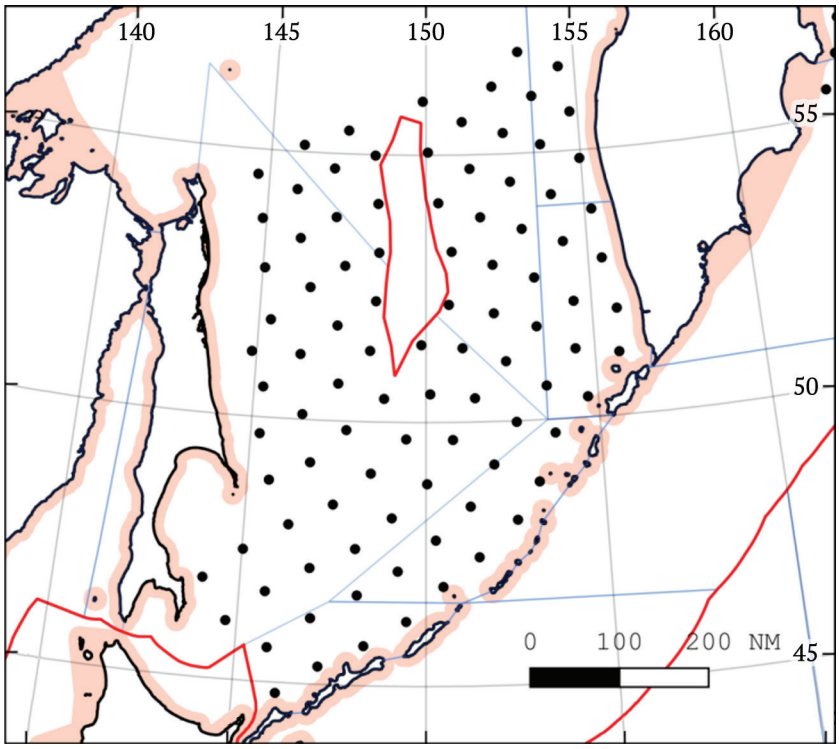


Рис. 1. Карта-схема траловых станций комплексных лососевых съемок, проводимых в сентябре–октябре в эпипелагиали Охотского моря: красная линия — граница ИЭЗ РФ, розовая заливка — 12-мильная зона внутренних вод, точки — стандартные траловые станции. Рис. выполнен А.А. Сомовым (ТИНРО)
Fig. 1. Schematic map of the salmon complex survey trawl stations examined in the epipelagic zone of the Sea of Okhotsk in September and October: red line marks the boundary of the EEZ of RF (Russian Exclusive Economic Zone), pink fill – 12-mile zone of inland waters, dots – standard stations for trawling. The figure by A.A. Somov (TINRO)

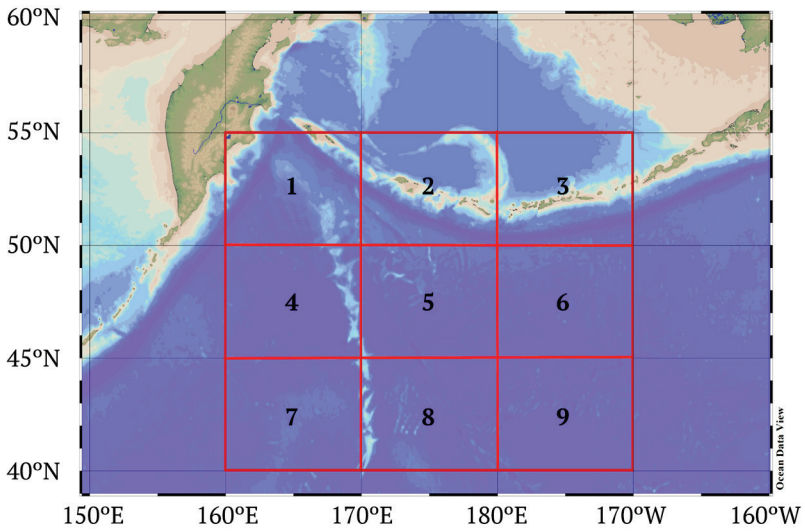


Рис. 2. Карта-схема основной зоны нагула горбуши Западной Камчатки в зимне-весенний период в северной части Тихого океана и прилегающих водах Берингова моря: красные квадраты — картографические трапеции (5 × 10°), для которых рассчитывались среднемесячные значения аномалий температуры поверхностного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

Fig. 2. Schematic map of the general zone of pink salmon feeding in Western Kamchatka in winter and spring in the North Pacific Ocean and adjacent waters of the Bering Sea: red squares are cartographic trapezoids (5 × 10°) for which the average monthly values of the *SSTa* were calculated; the numbers are their ordinal numbers; the coordinates in the table are the average coordinates of the cartographic trapezoids

Район / District	Широта / Latitude	Долгота / Longitude
1	52°30′ с. ш.	165°00′ в. д.
2	52°30′ с. ш.	175°00′ в. д.
3	52°30′ с. ш.	175°00′ з. д.
4	47°30′ с. ш.	165°00′ в. д.
5	47°30′ с. ш.	175°00′ в. д.
6	47°30′ с. ш.	175°00′ з. д.
7	42°30′ с. ш.	165°00′ в. д.
8	42°30′ с. ш.	175°00′ в. д.
9	42°30′ с. ш.	175°00′ з. д.

работки 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 (в случае необходимости);
$b_1, b_2, \ldots b_n$ — коэффициенты уравнения регрессии;
$F_1, F_2, \ldots F_n$ — используемые климатические предикторы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика численности нерестовых запасов и подходов горбуши

Комплекс стад (популяций) горбуши, воспроизводящейся в реках западного побережья Камчатки, формирует единый запас, который в отраслевой рыбохозяйственной науке рассматривается в качестве самостоятельной единицы промыслового прогнозирования (Бугаев и др., 2025а). При этом запас включает множество популяций, представляющих отдельные нерестовые водоемы. Однако общность условий раннего морского нагула всех западнокамчатских популяций горбуши обуславливает сходный характер их динамики численности, что предполагает применение единой стратегии промысла по отношению к указанной региональной группировке стад вида. Поэтому прогноз подходов и вылова горбуши Западной Камчатки всегда строится, исходя из этих предпосылок.

В представленной работе рассматриваются 25-летние ряды наблюдений изменчивости численности (нерестовые запасы (S) и подходы (R)) западнокамчатской горбуши (рис. 3). Данный период характеризует «современный» этап динамики запасов рассматриваемой промысловой единицы вида. Следует добавить, что при дальнейшем моделировании прогнозов в качестве зависимой переменной выступает R, а независимой — S.

Как отмечено выше, главной особенностью динамики численности горбуши является двухгодичное чередование урожайных и неурожайных поколений. На западном побережье Камчатки в 2001–2025 гг. по численности в основном доминировали поколения четных лет воспроизводства. Подобная ситуация наблюдалась с 2001 по 2020 гг. Однако после 2020 г. доминанта поколений сменилась. Начиная с 2021 г. урожайными, наоборот, стали поколения нечетных лет воспроизводства (Бугаев и др., 2025а). Наиболее вероятной причиной этого является сверхвысокочисленный подход горбуши Западной Камчатки в 2018 г. По сути, аналогичная смена доминант ранее была зафиксирована в 1983 г., также после высокочисленного регионального подхода производителей вида. В оба эти года заполнение нерестилищ горбуши превысило 100 млн рыб. Это привело к снижению эффективности нереста и потере жизнеспособности молоди на раннем этапе морского периода жизни.

По среднемноголетним данным 1999–2023 гг. нерестовый запас горбуши Западной Камчатки составлял 25,9 (0,04–112,6) млн рыб. Соответствующие показатели численности подходов для периода 2001–2025 гг. в среднем ежегодно достигали 72,6 (1,4–350,0) млн рыб. Однако различия в распределении количества вернувшихся рыб урожайных и неурожайных поколений весьма заметны. При этом наблюдается общий тренд увеличения численности горбуши в 2001–2025 гг.

Как было отмечено выше, представленный ряд наблюдений условно включает два временных этапа, которые отличаются по динамике чередования урожайных и неурожайных поколений западнокамчатской горбуши. На «первом» этапе (2000–2010-е гг.) среднемноголетняя численность нерестового запаса/подхода вида в неурожайные годы составляла 4,2/14,0 млн рыб, а в урожайные — 42,7/108,5 млн рыб. На «втором» этапе (2020-е гг.) аналогичные показатели численности соответствовали: неурожайные годы — 13,9/24,7 млн рыб; урожайные — 50,3/180,1 млн рыб.

Одним из проблемных вопросов прогнозирования численности подходов (возвратов) горбуши Западной Камчатки является недостаток информации о состоянии нерестовых запасов

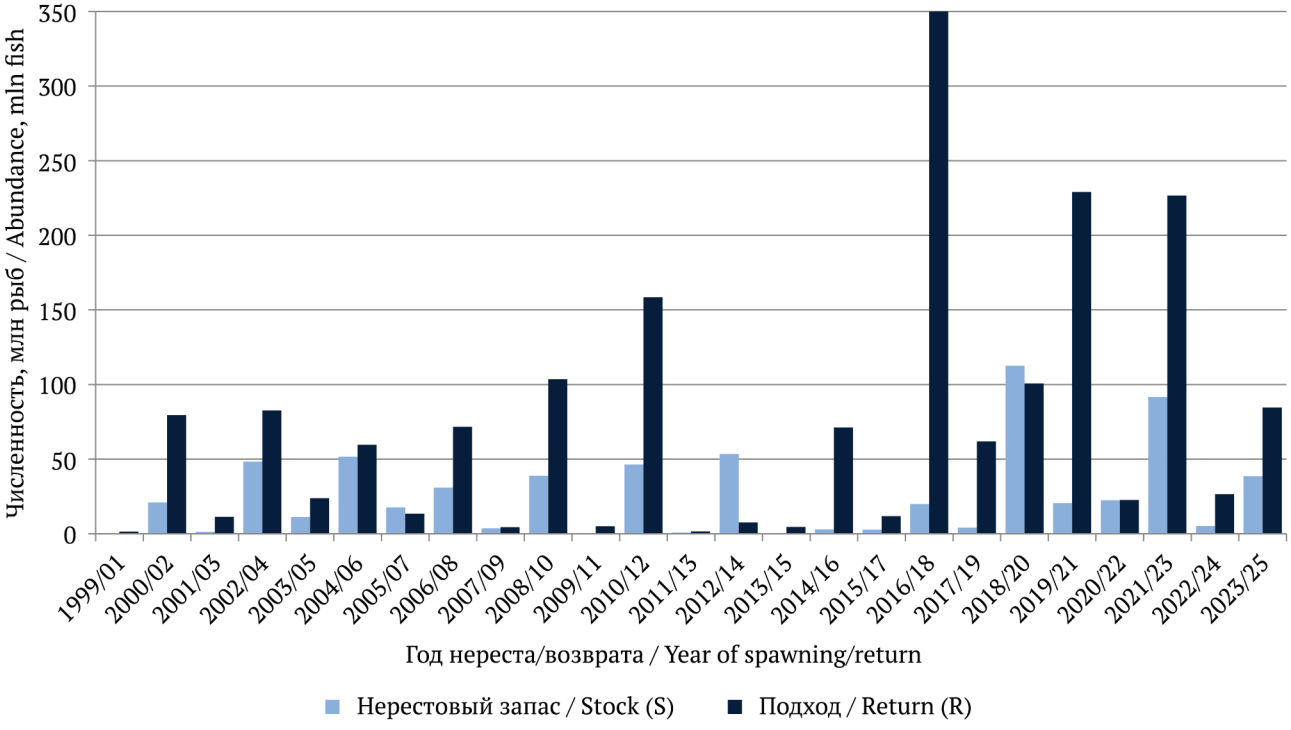


Рис. 3. Динамика численности нерестового запаса (1999–2023 гг.) и подходов (2001–2025 гг.) горбуши Западной Камчатки
Fig. 3. Dynamics of pink salmon spawning stock abundance (1999–2023) and returns (2001–2025) in Western Kamchatka

для неурожайных поколений 1990–2000-х гг. Это обуславливалось нецелесообразностью проведения дорогостоящих авиаучетных работ. В эти годы горбушу нередко учитывали на нерестилищах по остаточному принципу при аэровизуальных обследованиях нерестилищ кеты и нерки. Поэтому ряд наблюдений для горбуши Западной Камчатки был сокращен, по сравнению с предыдущей тематической работой, выполненной для комплекса стад Северо-Восточной Камчатки (Бугаев и др., 2025б). Это позволило в значительной степени нивелировать проблему репрезентативности исходных данных по численности запаса.

Климато-океанологические условия зимне-весеннего нагула горбуши

Основная зона зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки в северной части Тихого океана и прилегающих водах Берингова моря показана на рисунке 2. По данным многочисленных исследователей, именно в данном районе сосредоточены наиболее плотные зимовальные скопления охотоморской горбуши, включая и рыб западнокамчатских стад (Бирман, 1985; Старцев, Рассадников, 1997; Темных, 2004; Старовойтов и др., 2010а, б; Шунтов, Темных, 2011; Radchenko et al., 2018). Принимая во внимание, что нишей морского/океанического обитания всех видов тихоокеанских лососей является эпипелагиаль, обратим внимание на основные климато-океанологические факторы, влияющие на условия их нагула в данном слое вод.

Изменчивость гидрологических условий в эпипелагиали северо-западной части Тихого океана в зимне-весенний период в основном определяет интенсивность обменных процессов с атмосферой, а также адвекцией тепла (холода) с течениями. Особенности метеорологических условий района в этот период заключаются в наличии нескольких центров действия: Алеутская депрессия, гребни Сибирского максимума и Гавайского антициклона (рис. 4). Именно их расположение и взаимодействие формируют распределение тепла (холода) и осадков, а также уровня ветрового воздействия на подстилающую поверхность, обуславливая перемешивание приповерхностных вод.

Существующая в северной части Тихого океана система циркуляции вод представлена следующими течениями: Куросио, Северо-Тихоокеанское течение, Алеутский поток, Восточно-Камчатское течение, Оясио, а также циклонические системы течений Охотского и Берингова морей (рис. 5). Указанный комплекс течений транспортирует огромные объемы вод, формируя терморежим эпипелагиали в зоне зимне-весеннего нагула горбуши.

Отбор климато-океанологических предикторов

Известно, что обменные процессы, а следовательно, рост и миграционная активность рыб в значительной степени зависят от температуры воды (Никольский, 1974). Особенно это актуально для тихоокеанских лососей, нагульный ареал которых охватывает огромную акваторию Северной Пацифики в пределах трех климатических зон — субтропической, умеренной и субарктической (The ocean ecology.., 2018). На различных этапах морских/океанических миграций данная группа рыб нагуливается в водах, входящих в указанные географические пояса. Поэтому в настоящей работе при отборе климато-океанологических предикторов особое внимание уделяется как непосредственно температуре водной среды, так и факторам,

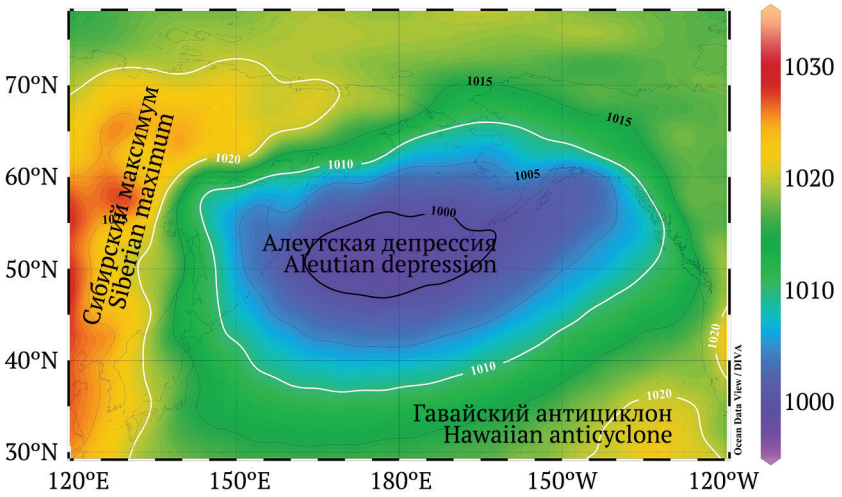


Рис. 4. Карта-схема расположения среднемноголетнего (1993–2020 гг.) поля приземного атмосферного давления в зимний период в бассейне Северной Пацифики
Fig. 4. Schematic map of the location of the average long-term (1993–2020) surface atmospheric pressure field in the North Pacific basin in winter

влияющим на формирование терморежима вод в зоне зимне-весеннего нагула западнокамчатской горбуши. Последние описываются в формате определенных климатических индексов, что позволяет их использовать при математическом моделировании прогнозов численности рыб.

В качестве температурного предиктора для оценки влияния терморежима вод на численность как непосредственно горбуши, так и других видов тихоокеанских лососей наиболее хорошо зарекомендовал себя показатель аномалии температуры поверхностных вод *SSTa* (Бугаев и др., 2018, 2021; Бугаев, Тепнин, 2024). Для оценки потенциальной взаимосвязи «*SSTa* – возврат» был выполнен корреляционный анализ на основе среднемесячных данных в период зимне-весенних нагульных миграций вида в пределах выделенных квадратов (районах) полигона исследований и количественных оценок возвратов горбуши Западной Камчатки в 2001–2025 гг. (рис. 6, табл. 1).

Полученные результаты показали наличие зависимости между показателями *SSTa* и численностью возвратов западнокамчатской горбуши. Из представленных данных видно, что в зимний период (январь–февраль) наиболее высокие коэффициенты корреляций (r = 0,3–0,4) просматриваются в квадратах 1–3, а в весенний период — в квадратах 7–9. Это полностью соответствует логике нагульных миграций охотоморской горбуши, так как зимой рыбы держатся в «северной» части полигона исследований (в акватории Алеутской гряды), а весной постепенно смещаются в «южную» часть полигона для дальнейшей миграции в сторону Курильских островов.

Разумеется, уровень сопряженности взаимосвязи «*SSTa* – возврат» априори не может иметь высокие показатели. Известно, что температурный фактор напрямую не определяет выживаемость тихоокеанских лососей на стадии зимовальных и преднерестовых миграций (Шунтов, Темных, 2011; Бугаев, 2015). Однако температура воды опосредованно влияет на формирование кормовой базы и соматический рост рыб, что может позитивно или негативно отражаться на их выживаемости. Таким образом, в рассматриваемом случае наиболее активными потенциальными температурными предикторами зимой выступают показатели *SSTa* из «северной» (районы 1–3) части полигона исследований, а весной — из «южной» (районы 7–9). На рисунке 7 и в таблице 2 более наглядно показано сезонное распределение значений коэффициентов корреляций (r-Пирсона), полученное на основе взаимосвязи «*SSTa* – возврат» в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики.

Графическое изображение динамики показателей *SSTa* («северный» район (зима) – *SSTa*_W (d 1–3), «южный» район (весна) – *SSTa*_S (d 7–9)) в 2001–2025 гг. представлено на рисунке 8. Именно эти предикторы были использованы в дальнейшей работе для моделирования прогнозов численности горбуши Западной Камчатки.

Следует отметить относительно высокую сопряженность (r = 0,72) рассматриваемых рядов наблюдений зимних и весенних показателей *SSTa*. При этом в обоих случаях заметен четкий тренд на увеличение значений переменных. В принципе, это логично, учитывая, что именно фактор глобального потепления Земли стал основной причиной значительного роста численности тихоокеанских лососей в 1990–2020-е гг. (Кляшторин, Любушин, 2005; Кровнин, 2020; Бугаев, Тепнин, 2024). Поэтому

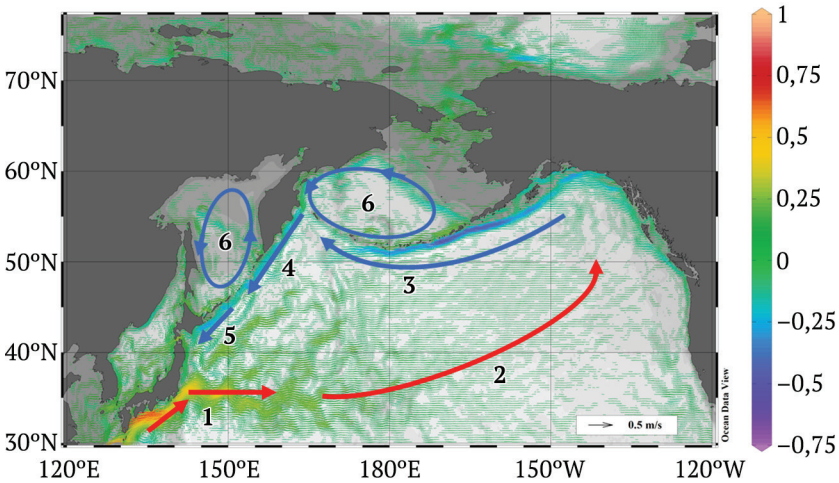


Рис. 5. Карта-схема среднемноголетнего (1993–2020 гг.) поля скорости и направления поверхностных течений в бассейне Северной Пацифики в январе–марте: 1 — Куросио, 2 — Северо-Тихоокеанское течение, 3 — Алеутское, 4 — Восточно-Камчатское течение, 5 — Оясио, 6 — циклонические системы циркуляции вод Охотского и Берингова морей
Fig. 5. Schematic map of the average long-term (1993–2020) field of the surface currents speed and direction in the North Pacific basin in January–March: 1 – Kuroshio, 2 – North Pacific Current, 3 – Aleutian Current, 4 – East Kamchatka Current, 5 – Oyashio, 6 – cyclonic water circulation systems of the Okhotsk and Bering Seas

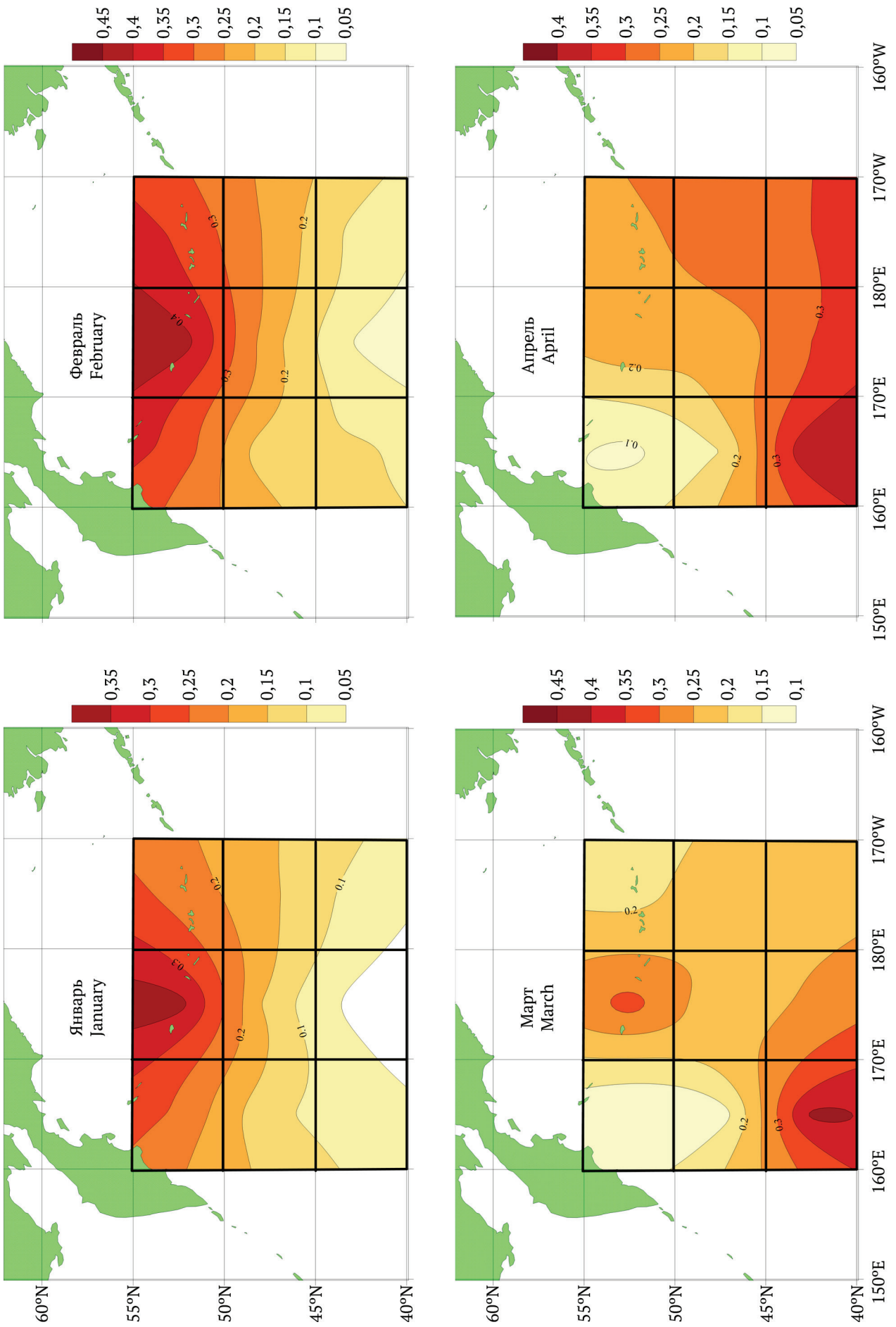


Рис. 6. Ежемесячное распределение значений коэффициентов корреляций (*r*-Пирсона) взаимосвязи «*SSTa* – возврат» в районе основного зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.
Fig. 6. Monthly distribution of the values of Pearson's correlation coefficients (*r*) of the "*SSTa* – return" relationship in the area of the main winter-spring feeding grounds of pink salmon of Western Kamchatka in the North Pacific basin based on data for the period 2001–2025

в бассейне Северной Пацифики в течение последних 15 лет преимущественно наблюдались положительные возрастающие аномалии температуры поверхностного слоя воды.

Из других природных факторов, потенциально влияющих на терморежим эпипелагиали в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки, можно выделить метеорологические и гидрологические процессы, которые эмпирически описываются некоторыми климатическими индексами, характеризующими состояние климато-океанологических условий в Северной Пацифике. К таковым относятся следующие стандартизированные показатели: Западно-Тихоокеанский циклонический индекс (*WP*), индекс Тихоокеанской декадной ос-

Таблица 1. Корреляционная матрица (*r*-Пирсона) взаимосвязи среднемесячных значений аномалий температуры поверхности воды (*SSTa*) в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки с численностью ее региональных подходов (R) по данным 2001–2025 гг.
Table 1. Correlation matrix (Pearson's *r*) of the relationship between the average monthly average values of the water surface temperature anomalies (*SSTa*) in the area of West Kamchatkan pink salmon winter-spring feeding grounds and the abundance of regional runs (R) based on data for 2001–2025

Район (квадрат) District (square)	Январь January	Февраль February	Март March	Апрель April
1	0,24	0,33	0,10	0,09
2	0,37	0,43	0,32	0,24
3	0,23	0,34	0,18	0,24
4	0,11	0,16	0,12	0,15
5	0,13	0,22	0,22	0,21
6	0,16	0,24	0,23	0,27
7	0,08	0,16	0,41	0,40
8	0,03	0,09	0,26	0,30
9	0,08	0,13	0,22	0,30

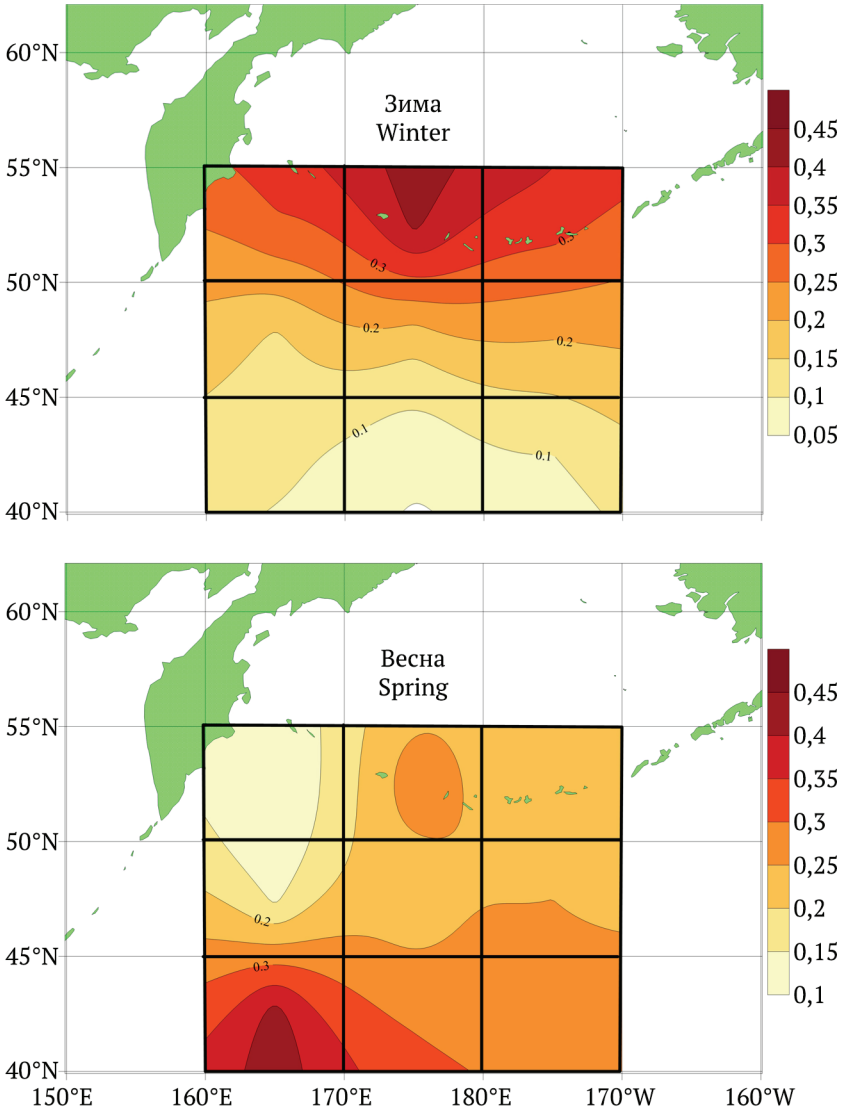


Рис. 7. Сезонное распределение значений коэффициентов корреляций (*r*-Пирсона) взаимосвязи «*SSTa* – возврат» в районе основного зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.
Fig. 7. Seasonal distribution of the values of Pearson's correlation coefficients (*r*) of the "*SSTa* – return" relationship in the area of the main winter-spring feeding grounds of pink salmon of Western Kamchatka in the North Pacific basin based on data for the period 2001–2025

цилляции (*PDO*), индекс Арктической осцилляции (*AO*), индекс Северо-Тихоокеанского колебания круговоротов (*NPGO*). Проведенные ранее многочисленные исследования подтверждают сопряженность изменчивости указанных индексов с продуктивностью как непосредственно горбуши, так и других видов тихоокеанских лососей (Фельдман, Шевляков, 2015; Бугаев и др., 2018, 2024б, 2025б; Кровнин, 2020; Фельдман, 2020; Фельдман и др., 2022; Бугаев, Тепнин, 2024). На рисунке 9 представлена динамика среднемесячных значений всех перечисленных климатических индексов в зимне-весенние периоды 2001–2025 гг.

Обращаем внимание, что все рассматриваемые климатические индексы предполагается использовать в качестве климато-океанологических предикторов при моделировании оперативных прогнозов подходов горбуши Западной Камчатки. Поэтому для оценки сопряженности ежемесячной динамики переменных в рядах наблюдений для каждого индекса был выполнен корреляционный анализ (табл. 3).

Полученные результаты показали, что высокие значения корреляций при сравнении ежемесячной изменчивости переменных характерны для двух климатических индексов — *PDO* (r = 0,71–0,93) и *NPGO* (r = 0,86–0,95). Причем показатели коэффициентов выше при сопоставлении отдельно зимних (январь–февраль) и весенних (март–апрель) рядов наблюдений. Это указывает на возможность осреднения значений индексов по сезонам. Отметим, что в обоих случаях *PDO* и *NPGO* имеют отрицательные тренды динамики значений. Особенно четко это наблюдается приблизительно с середины 2010-х гг.

Динамика ежемесячных значений индексов *WP* и *AO* характеризуется практически нейтральными трендами. При этом, как и следовало ожидать, уровень корреляций между среднемесячными показателями каждого индекса крайне низок. По сути, данная взаимосвязь отсутствует, что обусловлено слабой инерцией процессов, характеризуемых индексами *WP* и *AO*. Таким образом, среднемесячные значения данных показателей имеют собственную динамику рядов наблюдений. Это указывает на необходимость их дифференцированного применения для моделирования прогнозов, то есть предиктор должен отбираться для конкретного месяца.

Таблица 2. Корреляционная матрица (r-Пирсона) взаимосвязи сезонных значений аномалий температуры поверхности воды (*SSTa*) в зоне зимне-весеннего нагула горбуши Западной Камчатки с численностью ее региональных подходов (R) по данным 2001–2025 гг.
Table 2. Correlation matrix (Pearson's r) of the relationship between the seasonal values of the water surface temperature anomalies (*SSTa*) in the area of West Kamchatkan pink salmon winter-spring feeding grounds and the abundance of regional runs (R) based on data for 2001–2025

Район (квадрат) District (square)	Зима (январь–февраль) Winter (January–February)	Весна (март–апрель) Spring (March–April)
1	0,29	0,10
2	0,41	0,28
3	0,32	0,21
4	0,14	0,14
5	0,17	0,22
6	0,20	0,25
7	0,12	0,42
8	0,06	0,29
9	0,10	0,27

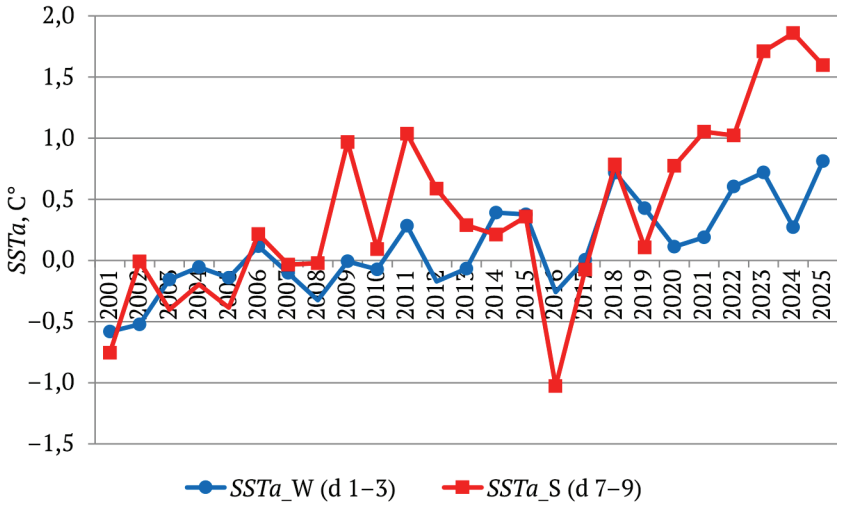


Рис. 8. Динамика показателей аномалии температуры воды (*SSTa*) в зоне зимне-весеннего нагула западнокамчатской горбуши в бассейне Северной Пацифики в 2001–2025 гг.: *SSTa*_W (d 1–3) — районы 1–3 (январь–февраль), *SSTa*_S (d 7–9) — районы 7–9 (март–апрель)
Fig. 8. Dynamics of the values of the water temperature anomalies (*SSTa*) in the area of winter-spring feeding grounds of West Kamchatkan pink salmon in the North Pacific basin in 2001–2025: *SSTa*_W (d 1–3) — the districts 1–3 (January–February), *SSTa*_S (d 7–9) — the districts 7–9 (March–April)

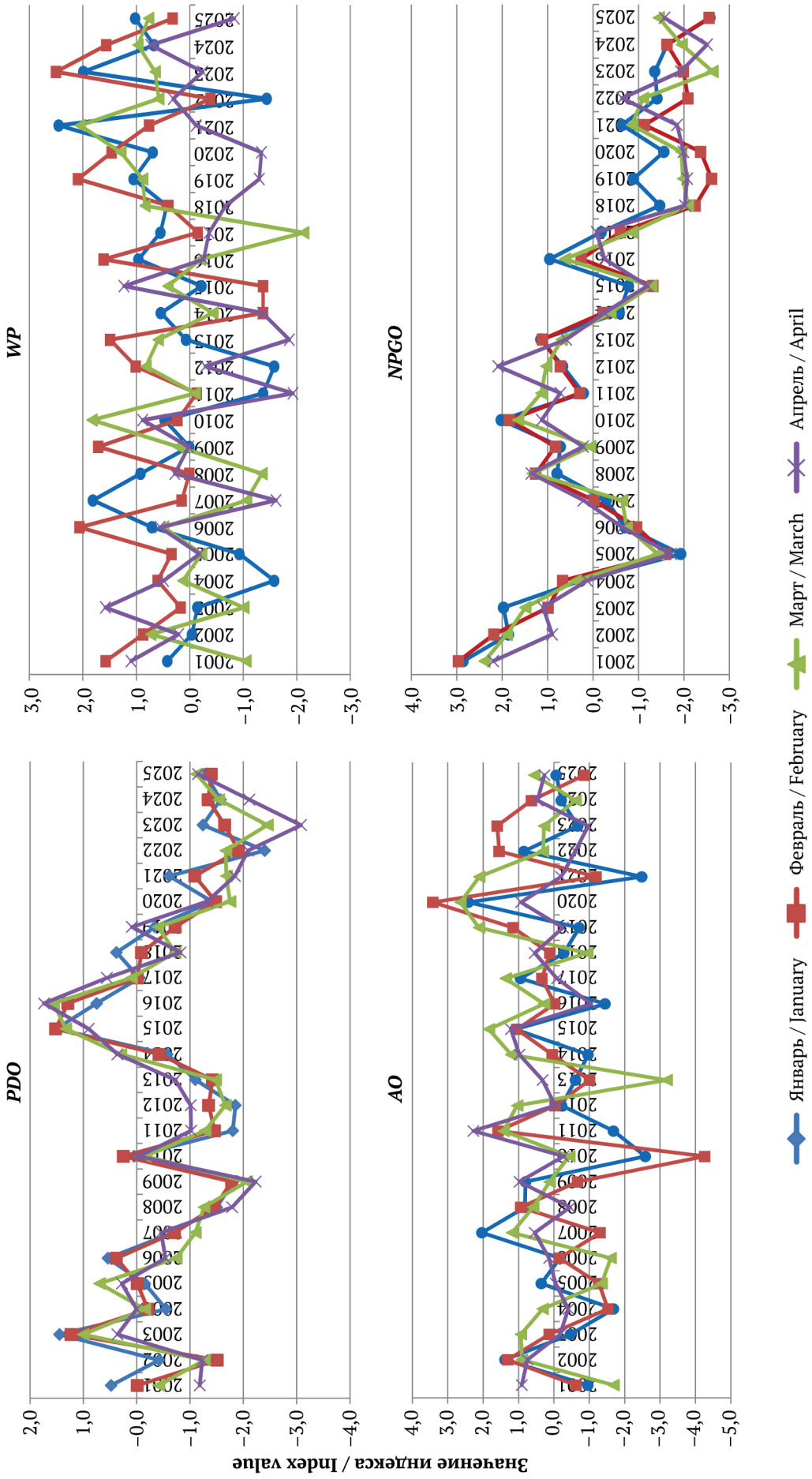


Рис. 9. Динамика значений климатических индексов в зимне-весенний период в 2001–2025 гг.: *PDO* — индекс Тихоокеанской декадной осцилляции, *WP* — Западно-Тихоокеанский циклонический индекс, *AO* — индекс Арктической осцилляции, *NPGO* — индекс Северо-Тихоокеанского колебания
Fig. 9. Dynamics of the values of climate indices in winter-spring period in 2001–2025: *PDO* – Pacific Decadal Oscillation index, *WP* – West Pacific Pattern, *AO* – Arctic Oscillation index, *NPGO* – North Pacific Gyre Oscillation

С целью оценки потенциального уровня сопряженности представленных климатических индексов с численностью подходов горбуши Западной Камчатки в 2001–2025 гг. был выполнен многомерный регрессионный анализ (табл. 4).

Как видно из полученных данных, во всех случаях множественные коэффициенты корреляций соответствуют умеренным показателям статистической значимости на уровне R = 0,4–0,6. Это говорит о потенциально слабой сопряженности зависимости «климатические индексы – подходы». В связи с чем производим отбор предикторов наиболее значимых в предсказание отклика по вкладу («весу») коэффициентов регрессии (b). К таковым были отнесены следующие ряды переменных: *зимний период* — *WP* (январь) – *WP*_W (Jan), *AO* (январь) – *AO*_W (Jan), *NPGO* (февраль) – *NPGO*_W (Feb); *весенний период* — *PDO* (апрель) – *PDO*_S (Apr), *WP* (март) – *WP*_S (Mar), *AO* (апрель) – *AO*_S (Apr), *NPGO* (апрель) – *NPGO*_S (Apr). Все указанные индексы в дальнейшем были использованы для многомерного моделирования прогнозов численности горбуши Западной Камчатки в качестве климато-океанологических предикторов.

Таблица 3. Корреляционная матрица (r–Пирсона) взаимосвязи среднемесячных значений переменных рядов наблюдений для отдельных климатических индексов в зимне-весенний период по данным 2001–2025 гг.
Table 3. Correlation matrix (Pearson's r) of the relationship between the average monthly values of the variable observation series for individual climate indices in winter-spring period based on data for 2001–2025

Индекс Index	Месяц Month	Январь January	Февраль February	Март March	Апрель April
PDO	Январь/January	1,00			
	Февраль/February	0,93	**1,00**		
	Март/March	0,81	0,91	**1,00**	
	Апрель/April	0,71	0,82	0,92	**1,00**
WP	Январь/January	**1,00**			
	Февраль/February	0,30	**1,00**		
	Март/March	0,09	0,29	**1,00**	
	Апрель/April	–0,13	–0,04	–0,04	**1,00**
AO	Январь/January	1,00			
	Февраль/February	0,51	**1,00**		
	Март/March	0,20	0,43	**1,00**	
	Апрель/April	0,21	0,21	0,11	**1,00**
NPGO	Январь/January	1,00			
	Февраль/February	0,95	**1,00**		
	Март/March	0,92	0,95	**1,00**	
	Апрель/April	0,86	0,90	0,93	**1,00**

Таблица 4. Статистика многомерного регрессионного анализа зависимости «климатические индексы – подходы» по данным 2001–2025 гг.
Table 4. Statistics of multivariative regression analysis of the relationship "climate indices – runs" based on data for 2001–2025

Месяц Month	*R*	*SE*	*F*	*p*	Параметр Pattern	*b*	*SE (b)*	*t*	*p*
Январь January	0,46	83,697	1,457	0,252	b_0	59,734	20,654	2,892	<0,01
					PDO	–1,837	17,514	–0,105	0,918
					WP	**20,646**	16,589	1,245	0,228
					AO	**–21,037**	13,840	–1,520	0,144
					NPGO	–17,951	13,293	–1,350	0,192
Февраль February	0,42	86,302	1,073	0,396	b_0	49,142	23,073	2,130	< 0,05
					PDO	–6,381	18,704	–0,341	0,737
					WP	18,970	17,974	1,055	0,304
					AO	–10,555	13,406	–0,787	0,440
					NPGO	**–20,037**	11,924	–1,680	0,108
Март March	0,55	79,609	2,137	0,114	b_0	54,312	19,783	2,745	< 0,05
					PDO	–9,616	16,295	–0,590	0,562
					WP	**35,148**	18,224	1,929	0,068
					AO	0,983	12,090	0,081	0,936
					NPGO	–11,310	12,005	–0,942	0,357
Апрель April	0,52	81,516	1,807	0,167	b_0	58,426	20,376	2,867	< 0,05
					PDO	**–21,351**	14,859	–1,437	0,166
					WP	–7,187	18,232	–0,394	0,698
					AO	**–35,452**	23,488	–1,509	0,147
					NPGO	**–16,059**	12,488	–1,286	0,213

Примечание. Жирным шрифтом выделены наиболее значимые по «весу» коэффициенты регрессий.
Note. The most significant regression coefficients by their "weight" are highlighted in bold.

Моделирование краткосрочных прогнозов численности горбуши

Зависимости на основе данных о численности нерестового запаса (S) и климато-океанологических условиях в период зимне-весеннего нагула в бассейне Северной Пацифики

Базисом для подготовки долгосрочных промысловых прогнозов тихоокеанских лососей является их изначальная (нерестовая) численность, на основе которой строится классическая зависимость «родители – потомки» с учетом возрастной структуры того или иного вида. У горбуши продолжительность жизненного цикла составляет всего два года, поэтому данная зависимость имеет наиболее упрощенный вид (рис. 10). Однако в силу различных причин (как антропогенного, так и природного характера) далеко не всегда даже подобные прямые связи имеют достаточно высокий уровень детерминации.

Как видно из представленных графиков, при рассмотрении зависимости «родители – потомки» для полного ряда наблюдений (подходы 2001–2025 гг.) связь практически нулевая (R^2 = 0,029) (рис. 9А). Визуально фиксируются 4 «точки выброса», которые значительно выпадают из общего ряда переменных. При удалении «точек выброса» уровень зависимости становится статистически значимым (R^2 = 0,742) (рис. 9Б). По сути, данная связь по расчетному коэффициенту детерминации должна объяснять около 74% изменчивости искомого признака. Этого вполне достаточно, чтобы спрогнозировать тренд численности. Поэтому в дальнейшей работе в качестве зависимой переменной (R) и предиктора численности (S) применяются именно редуцированные ряды наблюдений. Дополнительные климато-океанологические предикторы также будут использоваться с учетом соответствующего сокращения переменных.

В контексте настоящей работы мы не рассматриваем возможные причины образования «точек выброса». Как правило, подобные явления связаны либо с недостаточной репрезентативностью данных, получаемых при организации учетных работ в местах нереста, либо с изменчивостью климато-океанологических условий нагула рыб, что не всегда предсказуемо влияет на численность возвратов. Отметим лишь, что в практике промыслового прогнозирования тихоокеанских лососей подобные ситуации — достаточно стандартное явление (Бугаев и др., 2024а).

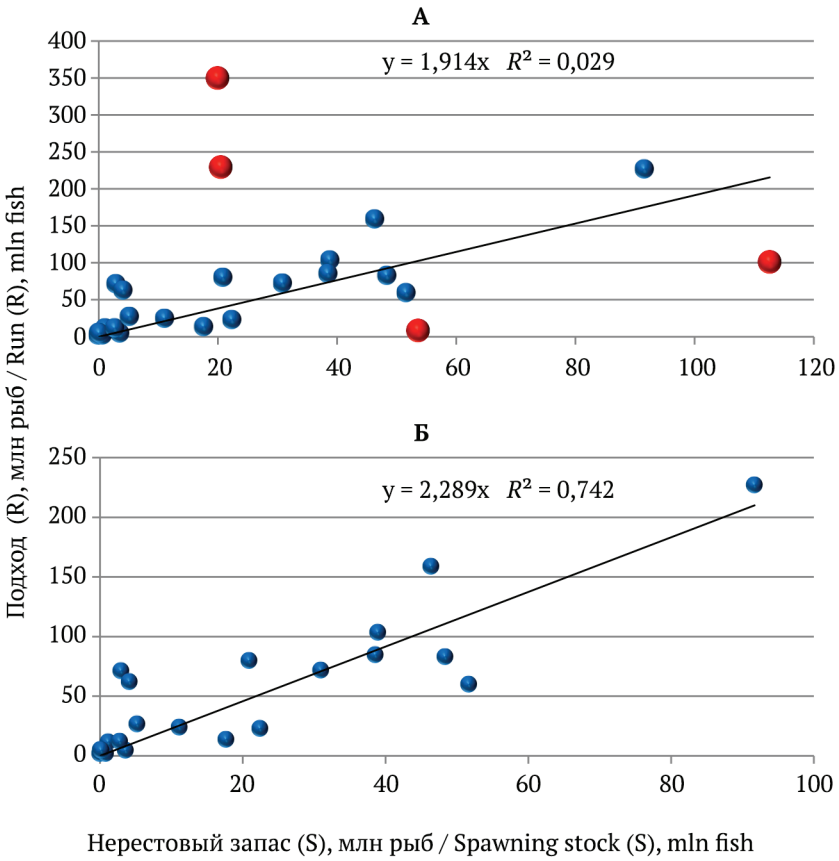


Рис. 10. Графики линейной регрессионной зависимости «родители – потомки» для горбуши Западной Камчатки по данным 2001–2025 гг.: А — полный ряд наблюдений (красным цветом показаны «точки выброса»), Б — ряд наблюдений без «точек выброса»
Fig. 10. Linear regression graphs of the “parents–progeny” relationship for West Kamchatkan pink salmon based on data for the period 2001–2025: A – complete series of observations (outlier points are shown in red), Б – series of observations without outlier points

На основе имеющихся рядов наблюдений были построены многомерные регрессионные модели типа «запас – пополнение» для оперативного прогнозирования численности горбуши Западной Камчатки с учетом климато-океанологических условий зимне-весеннего нагула в бассейне Северной Пацифики (рис. 11 и 12, табл. 5 и 6). Заблаговременность подобных прогнозов в основном ограничена сроками получения информации о климато-океанологических данных. Поэтому для зимнего периода глубина прогноза составит приблизительно 3–4 месяца, а для весеннего периода — 2–3 месяца. В первом случае климато-океанологические данные могут быть получены в феврале–марте, а во втором — в апреле–мае. При этом старт промысла западнокамчатской горбуши приходится на первую половину июля.

Представленные на графиках подбора прогностические модели (рис. 11А и 12А) имеют достаточно высокие коэффициенты детерминации (R^2) на уровне 0,87–0,88. При этом статистически значимым предиктором в обоих случаях выступает лишь численность нерестового запаса (S) (табл. 5 и 6). Климато-океанологические предикторы играют лишь второстепенную роль, так как ни один из них не демонстрирует статистической значимости *p*-уровня. Это вполне ожидаемо, так как потенциальное влияние естественных условий среды обитания на выживаемость горбуши носит опосредованный характер.

Анализ нормальности распределения остатков регрессий показал наличие отклонений («точек выброса») (рис. 11Б и 12Б). Аналогичные наблюдения дают и вероятностные оценки зависимости между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями (рис. 11В и 12В). В зимний период можно четко обозначить 8 «точек выброса», которые расположены вне зоны доверительных интервалов. В весенний период наблюдается 9 «точек выброса». Учитывая, что используемые ряды наблюдений представлены 21 точкой (переменными), то уточненная потенциальная ошибка прогнозов может соответствовать приблизительно ±38% (зима) и ±43% (весна). В среднем это составит ошибку ±40%. Таким образом, наиболее вероятные показатели оправдываемости ожидаемых подходов западнокамчатской горбуши для данного формата оперативного прогнозирования будут варьировать в пределах порядка 60–140%.

Следует учитывать, что в настоящее время для подготовки долгосрочных прогнозов для основных единиц запасов горбуши Камчатки применяется комплексный подход, который включает несколько модельных методов, отражающих зависимости «скат – возврат», «родители – потомки», «запас – пополнение» с учетом климато-океанологических предикторов и «учет в море – возврат» (Фельдман, Бугаев, 2021; Бугаев и др., 2024б). Окончательная цифра прогноза базируется на средней трендовой оценке используемых методов. Поэтому подобный уровень точности оперативного прогнозирования (≈60–140%) будет недостаточен для принятия решения о потенциальной корректировке изначального прогноза.

Зависимости на основе данных учетных съемок о численности молоди (SRV) в Охотском море и термических условиях нагула в зимне-весенний период в бассейне Северной Пацифики

Помимо нерестового запаса, при оценке «стартовой» численности горбуши в целях долгосрочного прогнозирования большую роль играют учетные траловые съемки, проводимые в районах массовой откочевки молоди из прибрежных вод в открытое море. В отношении западнокамчатских стад вида подобные съемки ежегодно выполняются в бассейне Охотского моря в сентябре–октябре. Во время съемки учитывается относительная численность горбуши всего Охотоморского бассейна. Практическая ценность данной информации заключается в том, что специалисты получают оценки численности на этапе закладки основного промыслового запаса после критического для тихоокеанских лососей прибрежно-эстуарного периода жизни. Это дает возможность построить для основных региональных группировок стад горбуши линейные регрессионные модели «учет в море – возврат (подход)» (Бугаев и др., 2024б). Подобные связи достаточно информативны, так как естественная смертность горбуши в течение морского/океанического нагула является относительно стабильным показателем. По среднемноголетним данным, выживаемость горбуши после осеннего учета до возврата в центр воспроизводства составляет порядка 20–30% (Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2011; Бугаев, Герлиц, 2023).

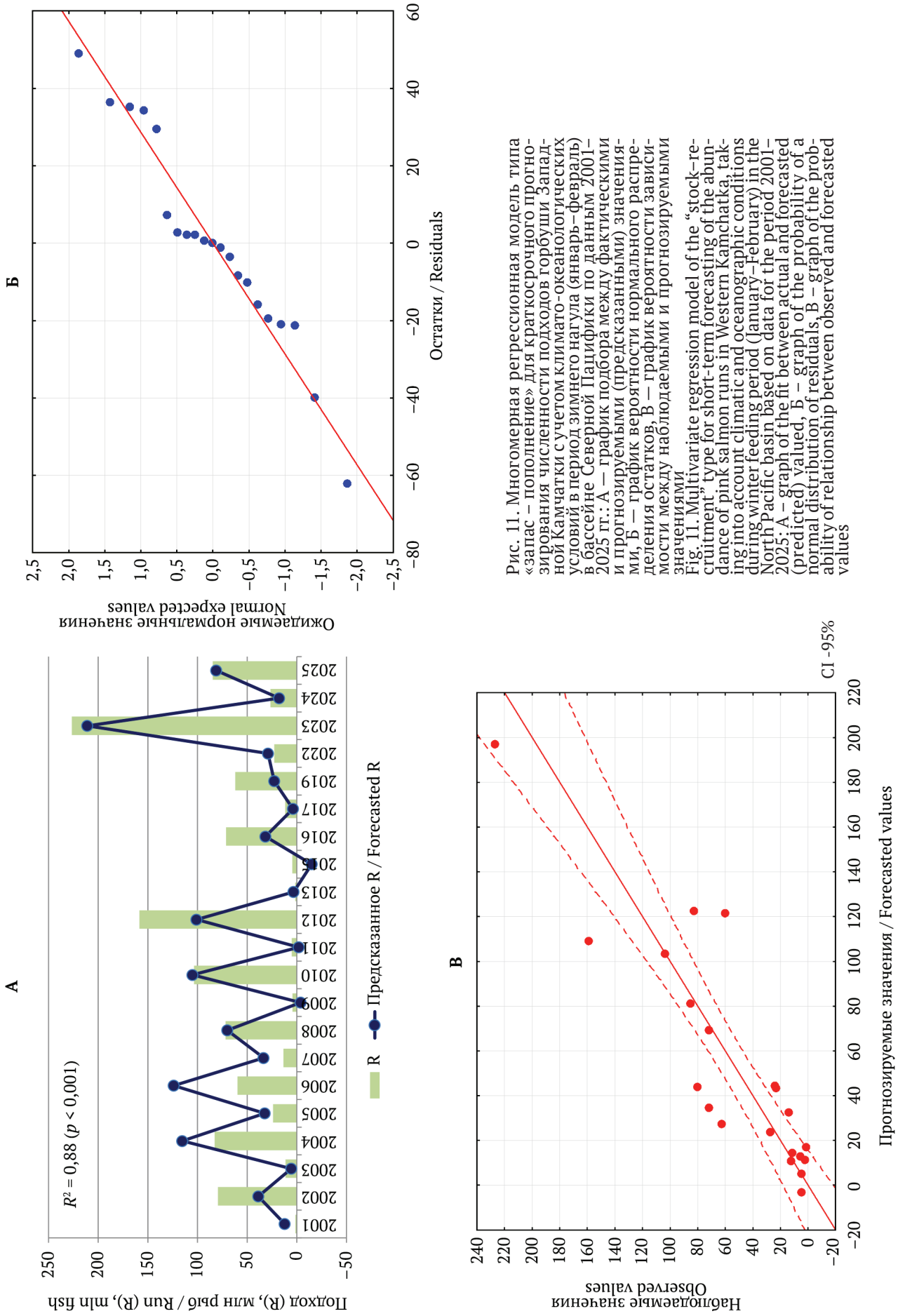


Рис. 11. Многомерная регрессионная модель типа «запас – пополнение» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом климато-океанологических условий в период зимнего нагула (январь–февраль) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.: А — график подбора между фактическими и прогнозируемыми (предсказанными) значениями, Б — график вероятности нормального распределения остатков, В — график вероятности зависимости между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями

Fig. 11. Multivariate regression model of the “stock–recruitment” type for short-term forecasting of the abundance of pink salmon runs in Western Kamchatka, taking into account climatic and oceanographic conditions during winter feeding period (January–February) in the North Pacific basin based on data for the period 2001–2025: A – graph of the fit between actual and forecasted (predicted) valued, Б – graph of the probability of a normal distribution of residuals, B – graph of the probability of relationship between observed and forecasted values

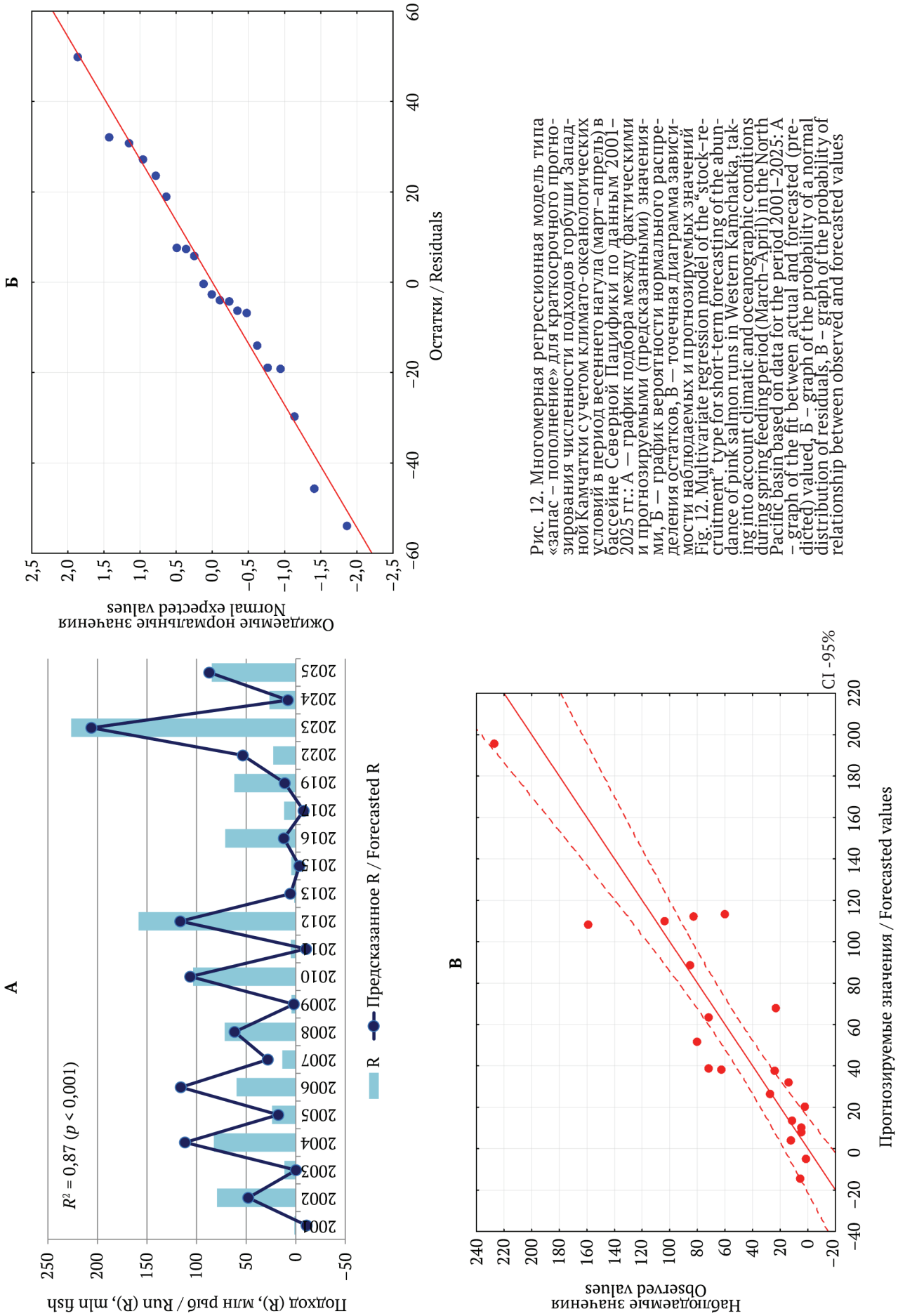


Рис. 12. Многомерная регрессионная модель типа «запас – пополнение» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом климато-океанологических условий в период весеннего нагула (март–апрель) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.: А — график подбора между фактическими и прогнозируемыми (предсказанными) значениями, Б — график вероятности нормального распределения остатков, В — точечная диаграмма зависимости наблюдаемых и прогнозируемых значений

Fig. 12. Multivariate regression model of the “stock–recruitment” type for short-term forecasting of the abundance of pink salmon runs in Western Kamchatka, taking into account climatic and oceanographic conditions during spring feeding period (March–April) in the North Pacific basin based on data for the period 2001–2025: A – graph of the fit between actual and forecasted (predicted) valued, Б – graph of the probability of a normal distribution of residuals, B – graph of the probability of relationship between observed and forecasted values

Таблица 5. Статистика многомерной регрессионной модели типа «запас – пополнение» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом климато-океанологических условий в период зимнего нагула (январь–февраль) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.
Table 5. Statistics of multivariative regression model of the type “stock–recruitment” for the short-term forecasting of the West Kamchatkan pink salmon run abundance taking into account climate and oceanographic conditions during pink salmon winter feeding (January–February) in the North Pacific basin based on data for 2001–2025

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,940					
R^2	0,884					
Нормированный R^2 / Normalized R^2	0,792					
SE	30,460					
Наблюдения / Observations	21					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	5	112 631,77	22 526,35	24,27	<0,001	
Остаток / Residual	16	14 845,058	927,81			
Итого / In total	21	127 476,83				
Параметры модели / Model parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	CI –95%	CI +95%
b_0	0	–	–	–	–	–
S	2,262	0,236	9,592	0,000	1,762	2,761
*SSTa*_W (d 1–3)	–33,455	37,777	–0,886	0,389	–113,538	46,629
*WP*_W (Jan)	4,652	6,708	0,694	0,498	–9,568	18,873
*AO*_W (Jan)	–9,146	6,480	–1,411	0,177	–22,884	4,591
*NPGO*_W (Feb)	–6,137	8,794	–0,698	0,495	–24,778	12,505

Таблица 6. Статистика многомерной регрессионной модели типа «запас – пополнение» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом климато-океанологических условий в период весеннего нагула (март–апрель) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.
Table 6. Statistics of multivariative regression model of the type “stock–recruitment” for the short-term forecasting of the West Kamchatkan pink salmon run abundance taking into account climate and oceanographic conditions during pink salmon spring feeding (March–April) in the North Pacific basin based on data for 2001–2025

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,935					
R^2	0,875					
Нормированный R^2 / Normalized R^2	0,766					
SE	32,632					
Наблюдения / Observations	21					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	6	111 504,54	18 584,09	17,45	<0,001	
Остаток / Residual	15	15 972,29	1064,82			
Итого / In total	21	127 476,83				
Параметры модели / Model parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	CI –95%	CI +95%
b_0	0	–	–	–	–	–
S	2,241	0,321	6,975	<0,001	1,556	2,926
*SSTa*_S (d 7–9)	3,011	20,039	0,150	0,883	–39,701	45,723
*PDO*_S (Apr)	2,738	10,587	0,259	0,799	–19,826	25,303
*WP*_S (Mar)	7,447	9,141	0,815	0,428	–12,037	26,930
*AO*_S (Apr)	–5,630	11,309	–0,498	0,626	–29,734	18,474
*NPGO*_S (Apr)	3,339	7,422	0,450	0,659	–12,481	19,160

Тем не менее следует отметить, что в случае с горбушей огромную роль играет ее высокая (периодически сверхвысокая) численность по сравнению с другими видами тихоокеанских лососей. В связи с этим изменения уровня выживаемости, к примеру, на 5–10%, могут иметь весьма существенные последствия для промысла вида. В подобных случаях ошибка долгосрочного прогноза может составить ±50–100% и более. Поэтому определение потенциального воздействия условий среды на выживаемость горбуши в зимне-весенний период остается актуальной рыбохозяйственной задачей.

Говоря о прогнозировании запасов непосредственно горбуши Западной Камчатки с использованием данных учетных траловых съемок, следует учитывать важнейший нюанс, который заключается в неоднородности внутривидовой структуры молоди, численность которой определяется в бассейне Охотского моря в осенний период. В данном случае нельзя построить прямую зависимость «учет в море – возврат (подход)» без существенной потенциальной ошибки, так как здесь в это время нагуливается горбуша из всех охотоморских центров воспроизводства вида. Многочислен-

ные исследования на основе фенотипической (биологические маркеры, структура чешуи, отолитное маркирование) и генетической идентификации указывают на высокий уровень смешения горбуши различных региональных комплексов стад в бассейне Охотского моря (Сахалин, Южные Курильские острова, бассейн р. Амур, материковое побережье Охотского моря и Западная Камчатка) (Ерохин, 2002; Темных, 2004; Шпигальская и др., 2011; Бугаев и др., 2020; Косицына и др., 2022; Бугаев, Герлиц, 2023). Это указывает на необходимость первичной идентификации регионального состава молоди горбуши в траловых уловах для дальнейшего определения относительной численности рыб, представляющих тот или иной охотоморский центр воспроизводства вида.

В настоящее время данная задача системно решается с использованием генетических методов идентификации. Методические основы генетической идентификации были разработаны специалистами КамчатНИРО и ВНИРО (Шпигальская и др., 2011; Зеленина и др., 2022; Косицина и др., 2022). В качестве основного метода до 2021 г. использовали анализ длин рестриктных фрагментов (ПДРФ-анализ) митохондриальной ДНК (участок Cytb/D-loop). С 2022 г. в работу принята новая методика региональной идентификации горбуши на основании анализа ядерных генетических маркеров SNP-локусов (KASP-генотипирование).

В рамках настоящей работы мы не останавливаемся на методике определения численности западнокамчатской горбуши на основе результатов внутривидовой идентификации в бассейне Охотского моря. Методические основы данного процесса ранее были описаны в тематической статье, посвященной долгосрочному прогнозированию численности запасов горбуши Камчатки (Бугаев и др., 2024б). Динамика общей и идентифицированной (западнокамчатские стада) численности учтенной молоди горбуши в бассейне Охотского моря в 2012–2024 гг. представлена на рисунке 13. В качестве предиктора для дальнейшего построения моделей оперативного прогнозирования динамики подходов (возвратов) был использован ряд наблюдений численности только для западнокамчатской горбуши. Следует уточнить, что указанный ряд неполный, так как в 2014 г. работы по генетической идентификации не проводили.

По среднемноголетним данным 2012–2024 гг., доля комплекса стад горбуши Западной Камчатки составляла 47 (15–81)% от общей учтенной численности молоди в бассейне Охотского моря. При этом доля молоди, обеспечивающей возврат производителей в четные годы, равнялась 46 (22–81)%, а в нечетные — 48 (15–69)%. Равновесный характер распределения долевых среднемноголетних показателей в четные и нечетные годы связан со сменой доминанты урожайных и неурожайных поколений западнокамчатской горбуши в рассматриваемый период.

Подчеркнем, что влияющее воздействие всего комплекса климато-океанологических факторов оказывается прежде всего на среду обитания горбуши. Причем основной эффект этого влияния, наиболее вероятно, будет просматриваться при формировании температурного режима эпипелагиали. Следовательно, данные аномалий температуры поверхностных вод (*SSTa*) в районе зимне-весеннего нагула горбуши являются наиболее значимым пока-

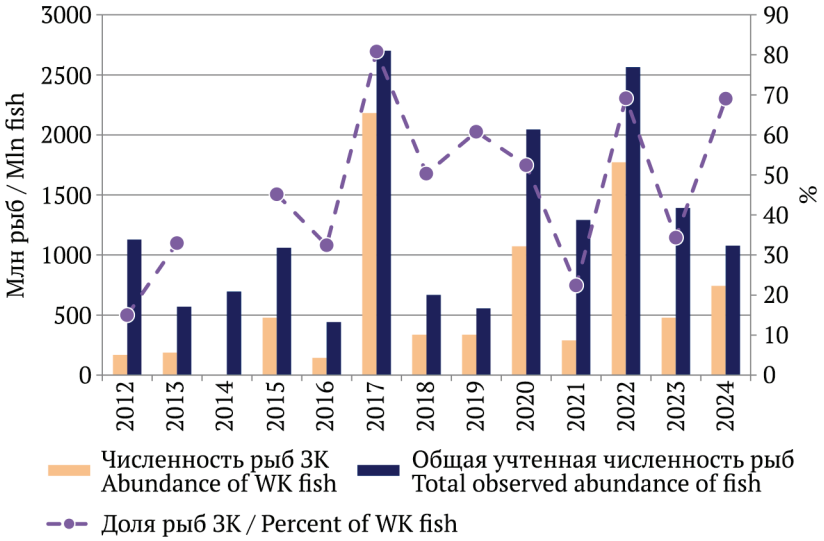


Рис. 13. Динамика численности молоди горбуши в бассейне Охотского моря по данным учетных траловых съемок в осенний период 2012–2024 гг. (ЗК — рыбы комплекса стад Западной Камчатки)
Fig. 13. Dynamics of juvenile pink salmon abundance in the basin of the Sea of Okhotsk based on data of the fall trawl surveys for the period 2012–2024 (WK – West Kamchatkan stock complex)

зателем, потенциально определяющим опосредованное воздействие среды на уровень смертности вида. Поэтому для прогностических моделей «учет в море – возврат» в качестве дополнительного предиктора логично использовать именно данные *SSTa*. В этом случае климатические индексы в состав предикторов не включены, так как в предыдущем формате моделирования прогнозов их вклад в предсказание отклика был относительно невелик.

На рисунках 14 и 15 представлены многомерные прогностические модели «учет в море + *SSTa* – возврат», учитывающие термические условия зимне-весеннего нагула горбуши в бассейне Северной Пацифики. В таблицах 7 и 8 дана соответствующая регрессионная статистика, характеризующая данные модели.

Полученные результаты регрессионного моделирования показали (рис. 14А и 15А), что зависимость «учет в море + SSTa – возврат» в обоих случаях имеет практически идентичные и очень высокие значения детерминации — R^2 = 0,95–0,96. Понятно, что базовым параметром здесь выступают оценки численности молоди западнокамчатской горбуши по данным траловых исследований в бассейне Охотского моря (SRV), которые формируют высокодостоверные связи.

Анализ нормальности распределения остатков регрессий по зимним и весенним температурным данным показал наличие нескольких «точек выброса» (рис. 14Б и 15Б). Вероятностные оценки зависимости между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями в пределах доверительных интервалов показывают 3 «точки выброса» в зимний период (рис. 14В) и 2 «точки выброса» — в весенний (рис. 15В). Общие ряды наблюдений представлены 12 точками (переменными). Следовательно, потенциальная ошибка оперативных прогнозов может составить приблизительно ±25% (зима) и ±17% (весна). В среднем это будет порядка ±20%. Таким образом, оправдываемость ожидаемых подходов западнокамчатской горбуши для данного формата оперативного прогнозирования может варьировать в пределах 80–120%.

Подобный уровень точности оперативного прогнозирования будет достаточен для принятия решения о потенциальной корректировке изначального прогноза, так как обозначенное отклонение (±20%) входит в интервал стандартной статистической ошибки прогнозирования тихоокеанских лососей — ±25% (Бугаев и др., 2024а). Отметим, что в данном случае применение *SSTa* для весеннего периода более предпочтительно. По-видимому, складывающийся температурный режим вод эпипелагиали в бассейне Северной Пацифики на ранних этапах преднерестовых миграций горбуши играет более заметную роль для выживаемости вида, чем непосредственно во время зимнего нагула. Однако в практике применение данного метода краткосрочного прогнозирования будет актуальнее при наличии достаточно значимых отклонений среднемноголетних показателей *SSTa*, например, на уровне ±2–3 °C и более.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы проведены исследования влияния климато-океанологических условий на выживаемость горбуши Западной Камчатки во время зимне-весенних нагульных миграций в бассейне Северной Пацифики. Определено, что температурный режим поверхностных вод (эпипелагиали) оказывает воздействие на формирование численности подходов западнокамчатских стад вида на определенных этапах нагула. В зимний период коэффициенты корреляций связи «SSTa – возврат» были выше в «северной» части полигона нагула, а весной — в «южной» части. Это обусловлено миграционной активностью рыб, которые весной покидают зону зимнего нагула (район южнее Алеутских островов), начиная преднерестовую миграцию и смещаясь юго-западнее в сторону Курильских островов.

В качестве потенциальных предикторов рассматривали климатические индексы, которые неоднократно применялись в практике прогнозирования динамики численности горбуши и описаны в различных литературных источниках: Западно-Тихоокеанский циклонический индекс (*WP*), индекс Тихоокеанской декадной осцилляции (*PDO*), индекс Арктической осцилляции (*AO*), индекс Северо-Тихоокеанского колебания (*NPGO*). Оценка зависимости «климатические индексы – возврат» показала, что наиболее значимыми по «весам» коэффициентов регрессии в качестве предикторов могут быть использованы следующие значения индексов: *зимний период* — *WP* (январь) – *WP*_W (Jan), *AO* (январь) – *AO*_W (Jan), *NPGO* (февраль) – *NPGO*_W (Feb); *весенний период* — *PDO* (апрель) – *PDO*_S (Apr), *WP* (март) – *WP*_S (Mar), *AO* (апрель) – *AO*_S (Apr), *NPGO* (апрель) – *NPGO*_S (Apr).

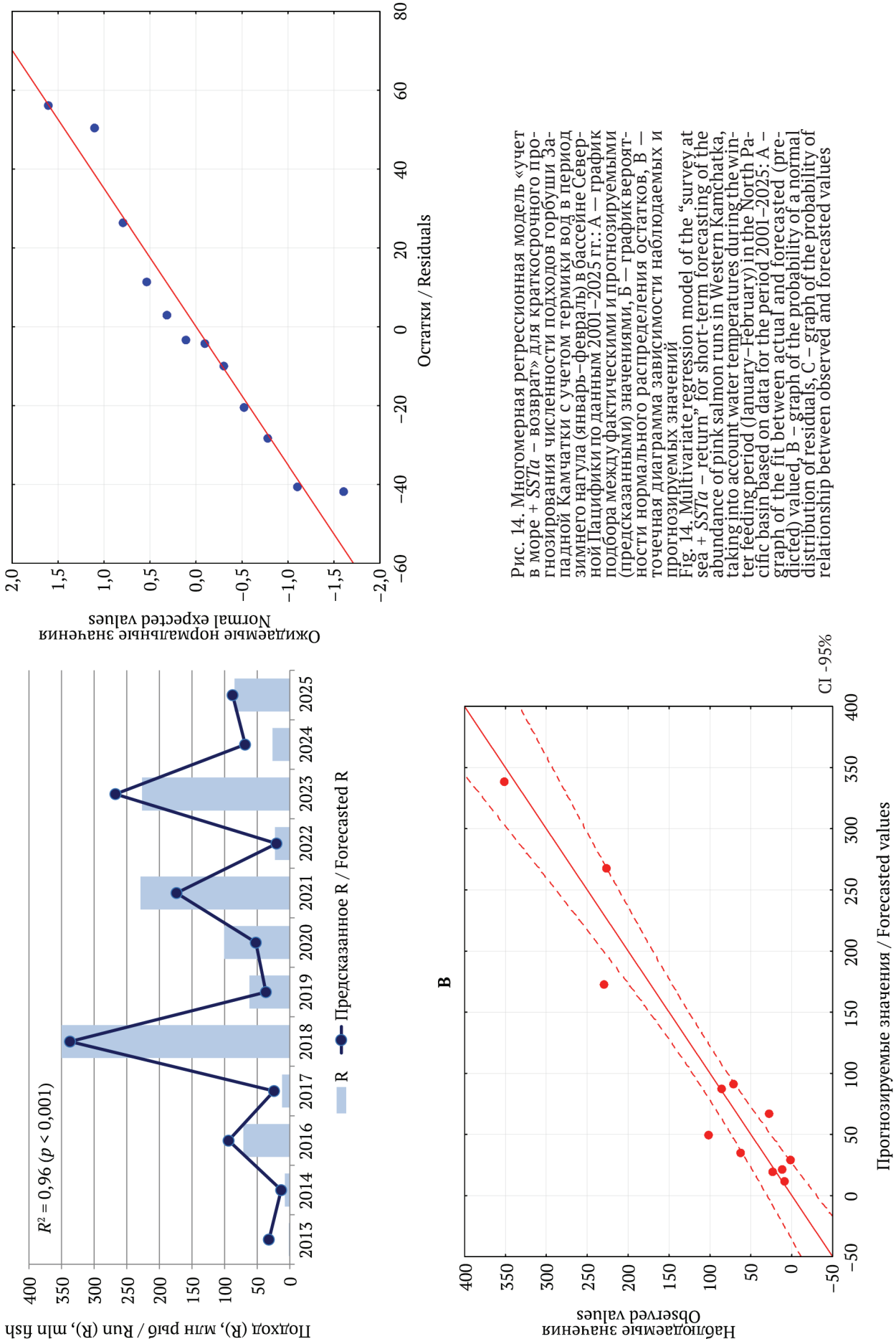
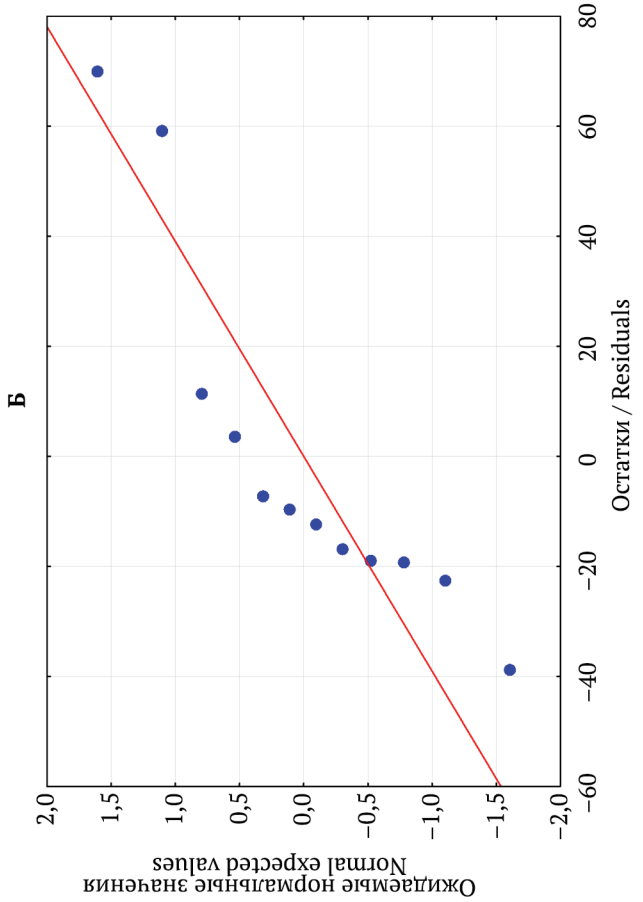
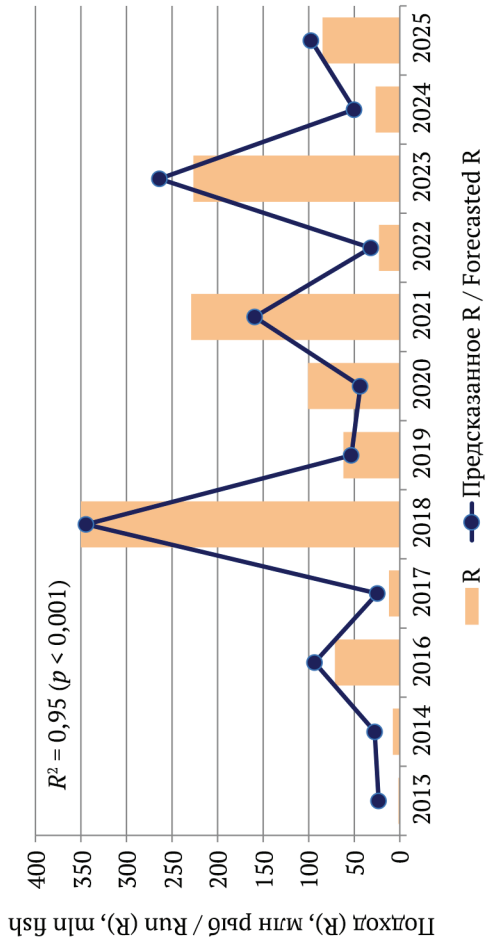


Рис. 14. Многомерная регрессионная модель «учет в море + *SSTa* – возврат» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом термики вод в период зимнего нагула (январь–февраль) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.: А — график подбора между фактическими и прогнозируемыми (предсказанными) значениями, Б — график вероятности нормального распределения остатков, В — точечная диаграмма зависимости наблюдаемых и прогнозируемых значений

Fig. 14. Multivariate regression model of the "survey at sea + *SSTa* – return" for short-term forecasting of the abundance of pink salmon runs in Western Kamchatka, taking into account water temperatures during the winter feeding period (January–February) in the North Pacific basin based on data for the period 2001–2025: A – graph of the fit between actual and forecasted (predicted) valued, B – graph of the probability of a normal distribution of residuals, C – graph of the probability of relationship between observed and forecasted values





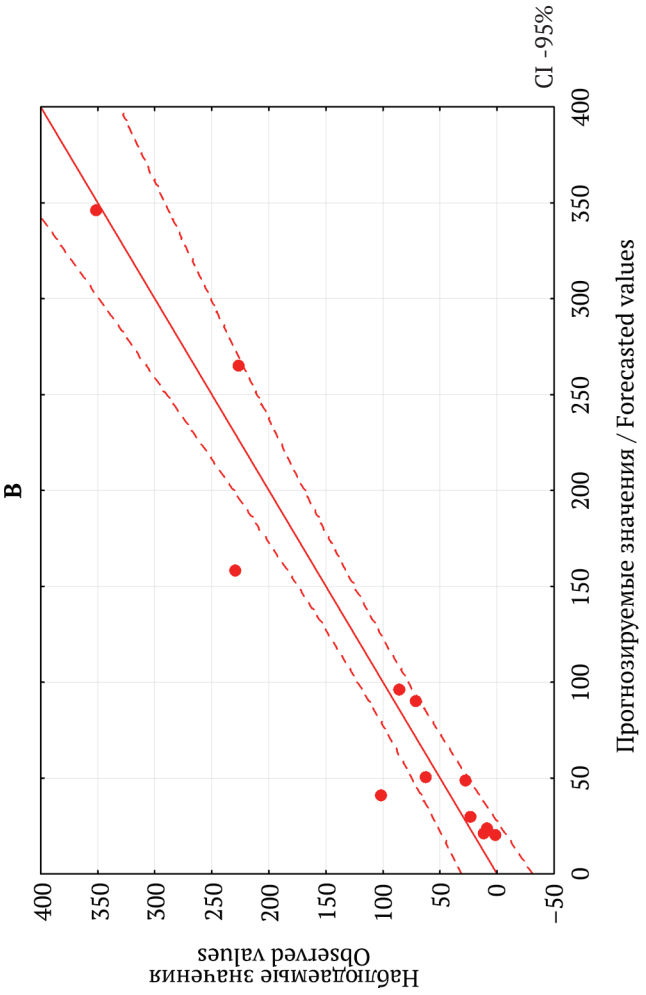


Рис. 15. Многомерная регрессионная модель «учет в море + *SSTa* – возврат» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом термики вод в период весеннего нагула (март–апрель) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.: А — график подбора между фактическими и прогнозируемыми (предсказанными) значениями, Б — график вероятности нормального распределения остатков, В — точечная диаграмма зависимости наблюдаемых и прогнозируемых значений

Fig. 15. Multivariate regression model of the “survey at sea + *SSTa* – return” for short-term forecasting of the abundance of pink salmon runs in Western Kamchatka, taking into account water temperatures during the spring feeding period (March–April) in the North Pacific basin based on data for the period 2001–2025: A – graph of the fit between actual and forecasted (predicted) valued, B – graph of the probability of a normal distribution of residuals, C – graph of the probability of relationship between observed and forecasted values

Таблица 7. Статистика многомерной регрессионной модели «учет в море + *SSTa* – возврат» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом термики вод в период зимнего нагула (январь–февраль) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.
Table 7. Statistics of multivariative regression model "survey at sea + *SSTa* – return" for the short-term forecasting of the West Kamchatkan pink salmon runs taking into account water temperatures during pink salmon winter feeding (January–February) in the North Pacific basin based on data for 2001–2025

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,978					
R^2	0,956					
Нормированный R^2 / Normalized R^2	0,851					
SE	33,610					
Наблюдения / Observations	12					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	2	242 638,51	121 319,26	107,39	<0,001	
Остаток / Residual	10	11 296,58	1129,66			
Итого / In total	12	253 935,09				
Параметры модели / Model parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	CI –95%	CI +95%
b_0	0	–	–	–	–	–
SRV	0,170	0,017	10,187	<0,001	0,133	0,208
SSTa_W (d 1–3)	–47,963	33,619	–1,427	0,184	–122,871	26,944

Таблица 8. Статистика многомерной регрессионной модели «учет в море + *SSTa* – возврат» для краткосрочного прогнозирования численности подходов горбуши Западной Камчатки с учетом термики вод в период весеннего нагула (март–апрель) в бассейне Северной Пацифики по данным 2001–2025 гг.
Table 8. Statistics of multidimensional regression model "survey at sea + *SSTa* – return" for the short-term forecasting of the West Kamchatkan pink salmon runs taking into account water temperatures during pink salmon spring feeding (March–April) in the North Pacific basin based on data for 2001–2025

Регрессионная статистика / Regression statistics						
R	0,976					
R^2	0,953					
Нормированный R^2 / Normalized R^2	0,848					
SE	34,594					
Наблюдения / Observations	12					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	2	241 967,51	120 983,75	101,09	<0,001	
Остаток / Residual	10	11 967,59	1196,76			
Итого / In total	12	253 935,09				
Параметры модели / Model parameters						
	b	*SE*	*t*	*p*	CI –95%	CI +95%
b_0	0	–	–	–	–	–
SRV	0,163	0,015	11,138	< 0,001	0,131	0,196
SSTa_S (d 7–9)	–15,055	12,906	–1,166	0,270	–43,812	13,703

На первом этапе работы по разработке прогностических моделей для краткосрочного (оперативного) прогнозирования подходов горбуши Западной Камчатки на основе отобранных климато-океанологических предикторов были построены многомерные регрессионные модели типа «запас – пополнение». В качестве фактора численности использовали данные о нерестовых запасах (S). В целом, полученные зависимости отражали высокий уровень детерминации ($R^2 \approx 0{,}85$). Однако проверочный анализ вероятностного распределения наблюдаемых и прогнозируемых значений в пределах доверительных интервалов показал, что точность прогноза данного метода варьирует в пределах 60–140%, что недостаточно для потенциальной корректировки долгосрочных прогнозов.

На втором этапе работы в качестве предиктора численности принимали данные учетных траловых съемок в Охотском море в период осенней откочевки молоди горбуши Западной Камчатки от побережья в открытые морские воды (SRV). Условия среды в период зимне-весеннего нагула рыб характеризовали данные аномалий температуры поверхностных вод (*SSTa*) в районе миграций. Полученные регрессионные зависимости «учет в море + *SSTa* – возврат» показали очень высокий уровень связи — $R^2 \approx 0{,}95$. Проверочный анализ позволил определить, что точность данных прогнозов варьирует в пределах 80–120%, то есть вписывается в принятую стандартную ошибку методов прогнозирования тихоокеанских лососей (±25%). При этом наиболее высокий уровень статистической значимости зависимости «учет в море + *SSTa* – возврат» демонстрировали связи с использованием значений *SSTa* в весенний период.

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. EDN: YOCXPN.

Бирман И.Б. 1985. Морской период жизни и вопросы динамики численности стада тихоокеанских лососей. М.: Агропромиздат. 208 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., Зикунова О.В., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В., Баева В.Н. 2025а. Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае в 2024–2025 гг. // Изв. ТИНРО. Т. 205, вып. 4. С. 551–595. EDN: MHHURC. doi:10.26428/1606-9919-2025-205-551-595

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

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2011. Оценка влияния некоторых климатических факторов на численность азиатских стад горбуши и кеты // Изв. ТИНРО. Т. 166. С. 67–87. EDN: OJSFRL.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2015. Продуктивность тихоокеанских лососей: влияние термических условий вод в период первой зимы в бассейне Северной Пацифики // Тр. ВНИРО. Т. 158. С. 89–111. EDN: VVYELX.

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., Кровнин А.С. 2025б. 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 // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 76. С. 21–40. EDN: BPWUIY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.21-40

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. 2018. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 49. С. 5–50. EDN: XVIPDV. doi:10.15853/2072-8212.2018.49.5-50

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Шпигальская Н.Ю., Кулик В.В. 2024б. 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., Фельдман М.Г., Тепнин О.Б., Коваль М.В. 2021. Аномалии температуры поверхности воды в западной части Северной Пацифики — потенциальный климатический предиктор прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки // Вопр. рыболовства. Т. 22, № 4. С. 46–62. EDN: ZMWFPJ. doi:10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62

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. 5–36. EDN: YAYOOO. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.67-98

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

Ерохин В.Г. 2002. Биология молоди тихоокеанских лососей в прикамчатских водах Охотского моря : Автореф. дис. … канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 24 с. EDN: QDTJFR.

Зеленина Д.А., Животовский Л.А., Сошина В.А., Вилкова О.Ю., Глубоковский М.К. 2022. Внутривидовая дифференциация азиатской горбуши по данным о последовательности митохондриального гена *Cytb* // Генетика. Т. 58, № 11. С. 1280–1291. EDN: OECIZQ. doi:10.31857/S0016675822110145

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

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

Кеткина О.С. 2020. Возможности MS Excel для регрессионного анализа: электронный текстовый курс. Екатеринбург : УрФУ. 43 с.

Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО. 235 с. EDN: UCYQUH.

Косицына А.И., Шпигальская Н.Ю., Сергеев А.А., Сошнина В.А., Савенков В.В., Денисенко А.М., Муравская У.О., Зеленина Д.А. 2022. Генетическая идентификация молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) Охотоморского бассейна по результатам рестрикционного анализа митохондриальной ДНК и анализа однонуклеотидных полиморфизмов // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 66. С. 52–67. EDN: RSWMXT. doi:10.15853/2072-8212.2022.66.52-67

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. EDN: TJHPJD.

Курзаева Л.В. 2016. Регрессионный анализ в электронных таблицах // Междунар. журнал прикладных и фундамент. исследований. № 12 (7). С. 1234–1238. EDN: XHJJVZ.

Никольский В.Г. 1974. Экология рыб. М.: Высшая школа. 367 с.

Старовойтов А.Н., Найденко С.В., Куренкова Е.В., Очеретянный М.А., Ванин Н.С., Овсянников Р.Г. 2010а. Новые данные о количественном распределении тихоокеанских лососей в центральной части Северной Пацифики в зимне-весенний период // Изв. ТИНРО. Т. 160. С. 89–104. EDN: MNHWKZ.

Старовойтов А.Н., Найденко С.В., Куренкова Е.В., Очеретянный М.А., Ванин Н.С., Овсянников Р.Г. 2010б. Новые данные о количественном распределении тихоокеанских лососей в северо-западной части Северной Пацифики в ранневесенний период // Изв. ТИНРО. Т. 160. С. 105–117. EDN: MNHWLJ.

Старцев А.В., Рассадников О.А. 1997. Особенности зимнего распределения охотоморской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в водах Северной Пацифики // Вопр. ихтиологии. Т. 37, № 3. С. 323–328.

Темных О.С. 2004. Азиатская горбуша в морской период жизни: биология, пространственная дифференциация, место и роль в пелагических сообществах : Автореф. дис. … докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-Центр. 47 с. EDN: NNENID.

Фельдман М.Г. 2020. Использование метода Random Forest 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., Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2022. Результаты использования климато-океанологических предикторов для модели случайного леса Random Forest в целях прогнозирования динамики численности подходов горбуши Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 65. С. 42–51. EDN: SVMJNV. doi:10.15853/2072-8212.2022.65.42-51

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. EDN: UYADMZ.

Халафян А.А. 2008. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. 3-е изд. М.: Бином-Пресс. 512 с.

Шпигальская Н.Ю., Брыков В.А., Кухлевский А.Д., Сараванский О.Н., Климов А.В., Четвертак А.А., Шевляков Е.А. 2011. Региональная идентификация смешанных морских скоплений молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) на основе изменчивости фрагмента *Cytb*/D-loop митохондриальной ДНК // Изв. ТИНРО. Т. 165. С. 89–103. EDN: OEUVMD.

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

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

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 Meteorol. Society. Vol. 78. P. 1069–1079. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2

Radchenko V.I., Beamish R.J., Heard W.R., Temnykh O.S. 2018. Ocean ecology of pink salmon / Ed. R.J. Beamish. The ocean ecology of pacific salmon and trout. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. P. 15–160.

Ricker W.E. 1954. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Bd. of Canada. Vol. 11 (5). P. 559–623. doi:10.1139/f54-039

Ricker W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations // Bull. of the Fish. Res. Bd. of Canada. № 191. 382 p.

The ocean ecology of pacific salmon and trout. 2018. Ed. R.J. Beamish. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 1147 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. doi:10.1029/98GL00950

REFERENCES

Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasiliev D.A., Ilyin O.I., Kovalev Yu.A., Mikhailov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremetyev A.D. Methodological recommendations on assessment of reserves of priority types of aquatic biological resources. Moscow: VNIRO, 2018, 312 p. (In Russ.) EDN: YOCXPN.

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., 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 (1), pp. 16–45. (In Russ.) EDN: QCEING. doi:10.26428/1606-9919-2023-203-16-45

Bugaev A.V., Zikunova O.V., Artyukhina N.B., Shubkin S.V., Baeva V.N. Analitic review of salmon fishing campaigns in Kamchatka Territory in 2024–2025. *Izvestiya TINRO*, 2025, vol. 205 (4), pp. 551–595. (In Russ.) EDN: MHHURC. doi:10.26428/1606-9919-2025-205-551-595

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

Bugaev A.V., Tepnin O.B. Estimation of some climatic factors influence on abundance of asian pink and chum salmons. *Izvestiya TINRO*, 2011, vol. 166, pp. 67–87. (In Russ.) EDN: OJSFRL. doi:10.26428/1606

Bugaev A.V., Tepnin O.B. Productivity of pacific salmon: influence of water thermal conditions during the period of first winter in the basin of North Pacific. *Trudy VNIRO*, 2015, vol. 158, pp. 89–111. (In Russ.) EDN: VVYELX.

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

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

Bugaev A.V., Tepnin O.B., Radchenko V.I. Climate variability and pacific salmon productivity in Russian Far East. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*. 2018. Vol. 49. C. 5–50. (In Russ.) EDN: XVIPD. doi:10.15853/2072-8212.2018.49.5-50

Bugaev A.V., Tepnin O.B., Shpigalskaya N.Yu., Kulik V.V. Description of regression models for pre-

dicting 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

Bugaev A.V., Feldman M.G., Tepnin O.B., Koval M.V. On the use of the data of the anomaly of the water surface temperature in the western part of the Northern Pacific as a potential climatic predictor for predicting the number of pacific salmon of Kamchatka. *Problems of Fisheries*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 46–62. (In Russ.) EDN: ZMWFPJ. doi:10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62

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. 5–36. (In Russ.) EDN: YAYOOO. doi:10.15853/2072-8212.2020.57.67-98

Bugaev A.V., Shevlyakov E.A. Fluctuations in the abundance of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in Western and Eastern Kamchatka at the turn of the 20th and 21st centuries. *Bulletin of the Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon*, 2008, vol. 3, pp. 207–216. (In Russ.)

Erokhin V.G. Biology of juvenile Pacific salmon in the Kamchatka waters of the Sea of Okhotsk. Abstract of the dissertation … kand. biol. sciences. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2002, 24 p.

Zelenina D.A., Zhivotovsky L.A., Soshnina V.A., Vilkova O.Yu., Glubokovsky M.K. Intraspecific differentiation of Asian pink salmon inferred from the mitochondrial *Cytb* gene sequences. *Russian Journal of Genetics*, 2022, vol. 58, no. 11, pp. 1323–1333. EDN: HPMFQR. doi:10.1134/s1022795422110138

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

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. EDN: WEXBZT.

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.

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

Kositsyna A.I., Shpigalskaya N.Yu., Sergeev A.A., Soshnina V.A., Savenkov V.V., Denisenko A.D., Muravskaya U.O., Zelenina D.A. Genetic identification of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the Okhotsk Sea basin based on the results of restriction analysis of mitochondrial DNA and analysis of single-nucleotide polymorphism. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2022, vol. 66, pp. 52–67. (In Russ.) EDN: RSWMXT. doi:10.15853/2072-8212.2022.66.52-67

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. EDN: TJHPJD.

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

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

Starovoitov A.N., Naydenko S.V., Kurenkova E.V., Ocheretyanny M.A., Vanin N.S., Ovsyannikov R.G. New data on quantative distribution of pacific salmons in the central part of the North Pacific in winter and spring. *Izvestiya TINRO*, 2010a, vol. 160, pp. 89–104. (In Russ.) EDN: MNHWKZ.

Starovoitov A.N., Naydenko S.V., Kurenkova E.V., Ocheretyanny M.A., Vanin N.S., Ovsyannikov R.G. New data on quantative distribution of pacific salmons in the central part of the North Pacific in early spring. *Izvestiya TINRO*, 2010b, vol. 166, pp. 105–117. (In Russ.) EDN: MNHWLJ.

Startsev A.V., Rassadnikov O.A. Features of winter distribution of the Okhotsk Sea pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the waters of the North Pacific. *Voprosy ichthyologii*, 1997, vol. 37, no. 3, pp. 323–328. (In Russ.)

Temnykh O.S. Asian pink salmon in the marine period of life: biology, spatial differentiation, place and role in pelagic communities: Abstract of a PhD thesis. Vladivostok: TINRO-Centre, 2004, 47 p. EDN: NNENID.

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 management 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., Bugaev A.V., Tepnin O.B. Results of using climate-oceanological predictors in a Random Forest model for the forecast of stock abundance dynamics of pink salmon runs in Western Kamchatka. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2022, vol. 65, pp. 42–51. (In Russ.) EDN: SVMJNV. doi:10.15853/2072-8212.2022.65.42-51
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.) EDN: UYADMZ.
Khalafyan A.A. *Statistika 6. Statisticheskiy analiz dannykh* [Statistica 6. Statistical. DataAnalysis]. 3-rd ed. Moscow: Binom-Press, 2008, 512 p.
Shpigalskaya N.Y., Brykov V.A., Kukhlevsky A.D., Saravansky O.N., Klimov A.V., Chetvertak A.A., Shestakov E.A. Regional identification of mixed aggregations of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the sea on the base of mitochondrial DNA *Cytb*/D-loop fragment veariety. *Izvestiya TINRO*, 2011, vol. 165, pp. 89–103. (In Russ.) EDN: OEUVMD.
Shuntov V.P., Temnykh O.S. Pacific salmon in marine and ocean ecosystems. Vladivostok: TINRO-Center, 2008, vol. 1, 481 p. (In Russ.) EDN: QLAPST.
Shuntov V.P., Temnykh O.S. Pacific salmon in marine and ocean ecosystems. Vladivostok: TINRO-Center, 2008, vol. 2, 473 p. (In Russ.) EDN: QKSSGB.
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. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2
Radchenko V.I., Beamish R.J., Heard W.R., Temnykh O.S. Ocean ecology of pink salmon / Ed. R.J. Beamish. *The ocean ecology of pacific salmon and trout.* American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 2018, pp.15–160.
Ricker W.E. Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Bd. of Canada*, 1954, vol. 11 (5), pp. 559–623. doi:10.1139/f54-039
Ricker W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. of the Fish. Res. Bd. of Canada*, 1975, № 191, 382 p.
The ocean ecology of pacific salmon and trout. Ed. R.J. Beamish. *American Fisheries Society*, Bethesda, Maryland, 2018, 1147 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
AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

А.В. Бугаев — аналитическая обработка материалов, написание статьи. О.Б. Тепнин — подготовка первичных материалов, описание климато-океанологических условий. А.С. Кровнин — описание климато-океанологических условий.
A.V. Bugaev – analytical processing of materials, writing the article. O.B. Tepnin – preparation of primary materials, description of climatic and oceanographic conditions. A.S. Krovnin – description of climatic and 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
Alexander 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:
15.05.2026
Одобрена после рецензирования / Revised:
03.06.2026
Статья принята к публикации / Accepted:
11.06.2026

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

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 34–58.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 34–58.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.552.511
doi:10.15853/2072-8212.2026.80.34-58
EDN: SMVHDG

ОТ ДАННЫХ К ПРОГНОЗУ: МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ ПОДХОДОВ КЕТЫ В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

Зикунова Ольга Владимировна[1]✉, Рябчун Вероника Андреевна[1], Кириллова Елизавета Алексеевна[1,2], Фадеев Евгений Сергеевич[1]

[1]Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, o.zikunova@kamniro.vniro.ru✉
[2]Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской Академии наук (ИПЭЭ РАН), Москва, Россия

Аннотация. В работе представлены математические модели, используемые для прогнозирования численности подходов кеты в Камчатском крае. Модели классифицированы на две категории, каждая из которых характеризуется определенными подходами к анализу данных: экстраполяции временного ряда и модели, основанные на регрессионной зависимости. В первую группу вошли две модели: экспоненциального сглаживания (ETS) и модель авторегрессии скользящего среднего (ARIMA). Ко второй группе отнесены модели, основанные на анализе зависимости пополнения кеты от численности покатной молоди и нагульных сеголетков кеты, поколений горбуши и климатических индексов в период ската молоди из нерестовых рек в прибрежную часть моря и осенней откочевки в открытые морские воды, а также численности старших возрастных когорт от численности младших. Алгоритм реализации применяемых моделей представлен в виде скриптов на языке R.

Ключевые слова: Камчатский край, кета, методы прогнозирования, численность, подход, поколение, факторы, сеголетки, возрастные группы, сиблинги.

Благодарности: авторы выражают искреннюю признательность и благодарность сотрудникам КамчатНИРО, принимавшим участие в сборе и обработке биостатистического материала по кете Камчатского края, а также: О.Б. Тепнину — за предоставленные данные по климатическим индексам, А.Д. Денисенко — за результаты генетической идентификации вида, В.И. Островскому — за смысловое обогащение статьи и экспертные рекомендации, связанные с прогнозированием численности тихоокеанских лососей, О.А. Мазниковой — за редакторскую правку и конструктивные предложения.

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Зикунова О.В., Рябчун В.А., Кириллова Е.А., Фадеев Е.С. От данных к прогнозу: методы оценки численности подходов кеты в Камчатском крае // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 34–58. EDN: SMVHDG. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.34-58

FROM DATA TO FORECAST: METHODS FOR ESTIMATION OF THE ABUNDANCE OF CHUM SALMON RUNS IN KAMCHATKA TERRITORY

Olga V. Zikunova[1]✉, Veronika A. Ryabchun[1], Elizaveta A. Kirillova[1,2], Evgeny S. Fadeev[1]

[1]Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e.kirillova@kamniro.vniro.ru✉
[2]Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Russia

Abstract. This paper presents mathematical models used to forecast the abundance of chum salmon runs in Kamchatka Territory. The models are classified into two groups, each characterized by specific approaches to data analysis: time-series extrapolation and regression-based models. The first group includes two models: an exponential smoothing model (ETS) and an autoregressive moving average (ARIMA) model. The second group includes models based on an analysis of the relationship between chum salmon recruitment and the abundance of juvenile escapement and feeding underyearlings, pink salmon year-classes, and climate indices during the juvenile downstream migration from spawning rivers to the coastal part of the sea and the autumn migration to open sea waters, as well as the abundance of older age cohorts versus younger cohorts. The implementation algorithm for the applied models is presented as R scripts.

Keywords: Kamchatka Territory, chum salmon, forecasting methods, abundance, run, generation, factors, yearlings, age groups, siblings

Acknowledgments: Authors express their sincere appreciation and gratitude to the staff of KamchatNIRO, who participated in collecting and processing biostatistical data on chum salmon in Kamchatka Territory, as well as to Oleg B. Tepnin for providing data on climate indices. Authors are also grateful to Anastasiya D.

© Зикунова О.В., Рябчун В.А., Кириллова Е.А., Фадеев Е.С., 2026

Denisenko for the results of the genetic identification of the species, Vladimir I. Ostrovsky for enriching the article with new information and providing expert recommendations related to forecasting the abundance of Pacific salmon, and Olga A. Maznikova for editorial revisions and constructive suggestions.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Zikunova O.V., Ryabchun V.A., Kirillova E.A., Fadeev E.S. From data to forecast: methods for estimation of the abundance of chum salmon runs in Kamchatka Territory // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 34–58. (In Russ.) EDN: SMVHDG. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.34-58

В Камчатском крае второе место после горбуши по объему вылова и значимости для рыбной промышленности занимает кета. С 2000 по 2025 г. доля ее вылова от суммарного всех видов тихоокеанских лососей в среднем составляет 32%. Наибольший вклад в формирование уловов и запаса в регионе принадлежит восточному побережью полуострова. С 2002 г. наблюдается тренд на снижение объемов добычи вида на востоке и рост на западном побережье. В отличие от Западной Камчатки, где запас кеты рассматривается как единый для всего побережья, без дифференциации на Западно-Камчатскую и Камчатско-Курильскую промысловые подзоны, что связано с трудностью определения происхождения рыб в смешанных уловах морских ставных неводов, на восточном побережье структура ее уловов четко соотносится с группировками, приуроченными к рекам Карагинской и Петропавловско-Командорской подзон и Западно-Беринговоморской зоны. В соответствии с этим разделением разрабатываются материалы, обосновывающие прогнозируемую численность подходов кеты на Камчатке — по четырем единицам запаса (Бугаев и др., 2020, 2023, 2024б, 2025а).

Лососевая путина, в силу ее экономической и социальной значимости не только для региона, но и за его пределами, ежегодно вызывает пристальный интерес со стороны общественности, рыбаков и органов власти. От точности прогнозных оценок численности подходов тихоокеанских лососей зависят эффективность промысла и, соответственно, издержки и доходы рыбодобывающих предприятий. Зачастую на основе того, насколько оправдываются прогнозы, делаются выводы об эффективности работы отраслевого научного сообщества.

Совершенствование методов прогнозирования промысловых подходов тихоокеанских лососей происходит на регулярной основе. Во-первых, расширяется и ежегодно пополняется информационная база прогнозов. Во-вторых, совершенствуются математические модели и программы анализа данных научного мониторинга. В данной работе представлены прогностические модели, применяемые специалистами КамчатНИРО для обоснования величины подхода кеты к побережьям Камчатки в 2025 и 2026 г.

В серии ранее опубликованных работ рассмотрены основополагающие аспекты разработки и результативности современных методов прогнозирования динамики сырьевой базы тихоокеанских лососей (Фельдман и др., 2014, 2018; Фельдман, Шевляков, 2015; Зикунова и др., 2021; Островский, 2021; Фельдман, Бугаев, 2021; Бугаев и др., 2024а). Авторами выполнен разбор аргументированности и обоснованности прогностических моделей и предложены рекомендации для корректной интерпретации итоговых данных. Помимо этого, описаны потенциальные факторы, обуславливающие расхождения между ожидаемыми и фактическими значениями численности.

Цель работы — аналитический обзор применяемых методов прогнозирования численности подходов кеты в Камчатском крае.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основой для разработки представленных прогностических моделей и, соответственно, написания статьи послужил следующий набор данных, представленных в виде временных рядов:

– численность поколений кеты Западной и Восточной Камчатки и возрастных когорт в пополнении, рассчитанная на основании совокупности данных об объемах вылова (https://kamchatka.fish.gov.ru/activities/organizatsiya-rybolovstva/commercial-fishing/osvoenie-tikhookeanskikh-lososey-/, дата обращения: 21.01.2025), пропуска в реки и биостатистических данных. Ряд наблюдений составил: Карагинская подзона — 1976–2024 гг., Петропавловско-Командорская подзона — 1995–2024 гг., западное побережье Камчатки — 1976–2024 гг.;

– данные о численности покатной молоди кеты в Карагинской подзоне, полученные в результате выполнения мальково-учетных работ

в бассейнах контрольных рек Хайлюля и Кичига (Карагинская подзона);

– данные об оценках численности сеголетков кеты, полученные сотрудниками Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО) в результате проведения учетных траловых съемок в юго-западной части Берингова моря (далее — Берингово море) и прилегающих водах северо-западной части Тихого океана в осенний период 2002–2021 гг. и в Охотском море в осенний период 2013–2021 гг.;

– результаты генетической идентификации молоди кеты поколений 2018–2021 гг.;

– численность поколений горбуши Западной Камчатки с 1970 по 2019 г., как фактор, способный оказывать влияние на выживаемость кеты;

– численность производителей горбуши на нерестилищах по результатам ежегодного авиамониторинга, проводимого с 1970 по 2019 г.;

– климатический индекс GLB.Ts+dSST — Глобальная температурная аномалия (*ГТа*), которая рассчитана по данным всех доступных метеорологических станций Земли, с учетом реконструкции показателей температуры поверхности моря в 1971–2020 гг. (http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/GLB.Ts+dSST.txt (дата обращения: 15.10.2024); Бугаев, Тепнин, 2024);

– климатический индекс *SSTa* — аномалия температуры поверхности моря (ТПМ), средняя величина по квадратам (трапециям) № 22 и 32 (Бугаев, Тепнин, 2024), расположенным в акватории Охотского моря, рассчитанная за период с 1971 по 2021 г.

Численность поколений кеты оценивали как сумму особей соответствующих поколений, вернувшихся в разные годы. Численность и долю рыб разных генераций в подходах определяли по средневзвешенному возрастному составу рыб из береговых уловов. Относительная численность производителей кеты в возрасте 2+ (трехлетки) и 5+ (шестилетки) в поколениях и подходах невысокая (не более 5%). Рыбы в возрасте 6+ (семилетки) встречаются единично и не регулярно, последний раз фиксировались в поколениях начала 2000-х гг. В связи с этим данные возрастные группы исключены из анализа, и прогнозирование строится на определении величины возврата рыб в возрасте 3+ (четырехлетки) и 4+ (пятилетки). Реперными точками сбора биостатистической информации по производителям на полуострове являются р. Хайлюля (Карагинская подзона), р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона), рр. Хайрюзова и Большая (западное побережье).

Для единиц запаса, которые в соответствии с приказом ФГБНУ «ВНИРО» от 26.08.2024 № 181 «Об утверждении Регламента разработки и представления материалов, обосновывающих прогнозируемые объемы добычи (вылова) анадромных видов рыб и изменение прогнозируемых объемов добычи (вылова) анадромных видов рыб» относятся к III уровню информационного обеспечения (с недостаточной полнотой и/или качеством доступной информации) — кета Западно-Беринговоморской зоны и рек Петропавловско-Командорской подзоны, за исключением р. Камчатки, — оценка численности подходов не выполняется, а величина прогнозируемого вылова оценивается инерционно на основании объемов вылова в предыдущие годы.

Методы прогнозирования численности подходов. В работе рассматриваются регрессионные модели прогнозирования, которые можно представить в виде двух типичных групп (Фельдман и др., 2014):

1) модели, основанные на экстраполяции временного ряда;

2) модели, основанные на регрессионной зависимости пополнения кеты от численности покатников и нагульных сеголетков, зависимости численности старших возрастных когорт от младших; поколений горбуши, а также климатических индексов.

<u>В первой группе</u> использовались модели: экспоненциального сглаживания (ETS) и модель авторегрессии скользящего среднего (ARIMA) (Box, Jenkins, 1970; Hyndman et al., 2008), реализованные в программной среде R с использованием пакета Fable 0.3.3 (пакет прогнозирования для «чистых» временных рядов) (https://fable.tidyverts.org/, дата обращения: 27.11.2025). Пакет Fable предоставляет набор широко используемых одномерных и многомерных моделей прогнозирования временных рядов, включая ETS и ARIMA. Эти модели работают в рамках выбранного пакета, как инструменты для оценки, визуализации и комбинирования моделей в рабочем процессе, совместимом с коллекцией пакетов Tidyverse.

Методы и параметры для компонентов модели ETS определяются автоматически. Если указано более одного метода, ETS рассмотрит все комбинации указанных моделей и выберет модель, которая наилучшим образом соответствует данным (минимизируя эмпирические

риски). Аргумент метода для каждого варианта имеет разумные значения по умолчанию, поэтому если компонент не указан, подходящий метод будет выбран автоматически. Следует отметить, модель ETS не поддерживает пропущенные значения в рядах данных. Коэффициенты модели ETS (часто обозначаемые как α,β,γ) показывают, как быстро модель реагирует на изменения в данных и насколько она учитывает прошлые значения при определении текущего тренда и сезонных эффектов. Коэффициенты определяют тип модели ETS. Например, модель (A,A,N) является аддитивной, где α, β и γ имеют значения, близкие к 1. А модель (M,M,N) — это мультипликативная, где α, β и γ имеют значения, близкие к 0, т. е. A — аддитивная, M — мультипликативная и N — ничего не выбрано (не учитывается).

Специальные параметры пакета Fable определяют пространство, в котором ARIMA будет искать модель, наилучшим образом соответствующую данным. Эта модель обычно обозначается как ARIMA(*p,d,q*), где *p, d* и *q* — ее параметры: *p* — порядок авторегрессии, который описывает количество предыдущих наблюдений, включенных в модель; *d* — порядок интегрирования, который указывает, сколько раз нужно взять разность временного ряда для достижения стационарности; *q* — порядок скользящего среднего, который связан с количеством предыдущих ошибок, используемых в модели. Например: модель (0,1,2) содержит 0 параметров авторегрессии (*p*) и 2 параметра скользящего среднего (*q*), которые вычисляются для ряда после смещения данных на 1 лаг (*d*) (Фельдман и др., 2014). Для проведения анализа в настоящей работе отобраны временные интервалы, охватывающие как периоды наименьшей, так и наибольшей численности запасов.

В КамчатНИРО с 2024 г. для экстраполяции временных рядов привлекаются данные, характеризующие численность кеты, возвращающейся для нереста в возрасте 3+, формирующей значимую роль в подходах (50% и более).

Во второй группе моделей для прогнозирования численности возрастных когорт кеты привлекаются данные о численности покатной молоди и сеголетков в море в период откочевки на океанические нагульные акватории. Одним из определяющих формирование конечной численности у видов тихоокеанских лососей с коротким пресноводным периодом жизни, в том числе кеты, является миграция из рек в море и ранний морской период жизни (Карпенко, 1998; Бирман, 2004; Шунтов, Темных, 2008; Волобуев, Марченко, 2011), — на этих этапах жизненного цикла происходит значительная элиминация поколений. Поэтому в качестве предикторов прогнозных оценок численности формирующихся поколений кеты целесообразно использование данных о количественных показателях покатников и нагульных сеголетков.

Поскольку учтенная в Охотском море молодь тихоокеанских лососей образует смешанные скопления различных региональных стад (западно-камчатского, континентального побережья, восточно-сахалинского, южных Курильских островов, японского происхождения), важной задачей является дифференциация учтенного запаса на региональные составляющие. В 2018 г. в КамчатНИРО впервые апробирован метод генетической идентификации молоди кеты в Охотском море. В проведенном исследовании для выполнения идентификации смешанных скоплений использовалась референтная база данных частот восьми микросателлитных локусов: (*Ssa20.19, One101, Oke3, Oki1b, Oki23, Ogo2G, Oke11, Ots102*) (Денисенко и др., 2023). В базу данных входят 26 выборок кеты, отобранных на основных нерестилищах Охотоморского бассейна (за исключением Японского архипелага). Отметим, что оценка точности идентификации для северных стад (Западная Камчатка, материковое побережье Охотского моря и р. Пенжина) была невысокой, поэтому эти группы были объединены в один региональный комплекс. Вследствие объединения точность идентификации возросла с 51 до 75% для группы северного комплекса (Денисенко и др., 2025).

Для полноценного внедрения результатов региональной идентификации молоди кеты в состав материалов, обосновывающих прогнозы, предстоит накопить и проанализировать данные не менее 10 полностью вернувшихся поколений, что позволит сформировать регрессионную модель «учет в море – возврат», по аналогии с охотоморской горбушей (Бугаев и др., 2024а). Однако имеющаяся информация по идентификации уже привлекается в качестве индикаторной при определении уровня численности поколений западнокамчатской кеты. Так, для оценки численности поколения 2020 г. использованы результаты региональной идентификации сеголетков вида из наиболее массовых скоплений в Охотском море в 2021 г.

В качестве еще одной модели прогнозирования подходов кеты, основанной на теории зависимости, привлечена линейная связь между численностью возвратов производителей возраста n в год t и возвратов возраста $n + 1$ из того же поколения в год $t + 1$, т. е. связь численности старшей возрастной группы с численностью вернувшихся в предшествующий год рыб младших возрастных когорт — метод сиблингов (Peterman, 1982, Haeseker et al., 2008). Метод используется для определения численности рыб в возрасте 4+, основанный на зависимости численности рыб этого поколения, вернувшихся в возрасте 3+ (Фельдман и др., 2018).

В 2025 г. при определении величины поколений западнокамчатской кеты применен метод множественной линейной регрессии в R (далее — МЛР) (с переменными-предикторами), где используются данные по численности поколений горбуши и климатических индексов (Мастицкий, Шитиков, 2015; Бугаев и др., 2024а, 2025б). Модель позволяет оценить, как изменение каждого фактора влияет на результат при фиксированных значениях остальных переменных.

Классическое уравнение множественной линейной регрессии представлено в формуле:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_nX_n + \varepsilon_t,$$

где Y — зависимая переменная;

b_0 — свободный член уравнения (интерсепт);

$b_1, b_2 \cdots, b_n$ — коэффициенты независимых переменных;

$X_1, X_2 \cdots, X_n$ — независимые переменные;

ε_t — случайная ошибка.

Коэффициент b_i оценивался методом наименьших квадратов (МНК), который минимизирует сумму квадратов отклонений фактических значений Y от предсказанных моделью:

$$\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \widehat{Y}_i)^2 \to \min,$$

где $\widehat{Y}_i$ — предсказанное значение для i-го наблюдения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство представленных в работе моделей прогнозирования, в отличие от привлекавшихся ранее (Заварина, Шевляков, 2004; Шевляков, Заварина, 2004), основаны на моделировании динамики численности возрастных когорт, формирующих подход (когортный анализ), а не всего поколения с дальнейшим его расщеплением по возрастным классам исходя из их среднемноголетнего вклада в пополнение (Фельдман и др., 2018).

Для возможности сопоставления прогнозных и фактических величин представлены расчеты численности возрастных когорт кеты Карагинской, Петропавловско-Командорской (р. Камчатка) подзон и западного побережья Камчатки, формирующих подход в 2025 г.

Модель экстраполяции временных рядов

Отметим, что модели, базирующиеся на экстраполяции временных рядов, предпочтительны для применения, когда при разведочном анализе определено, что связь между численностью (абсолютной и преобразованной) родителей и пополнением прогнозируемой единицы запаса не обнаружена или она невысока, а факторы, оказывающие наибольшее влияние на формирование численности поколений, не найдены или с ними отмечается слабая связь. При этом данный тип моделей позволяет уловить трендовые изменения в динамике численности как возрастных когорт в поколениях, формирующих основу поколений, так и поколений в целом.

В результате экстраполяции численности четырехлетних (3+) рыб в подходах методами ETS и ARIMA, на основе фактических данных (рис. 1 и 2), вероятная величина возврата данной возрастной когорты в 2025 г. оценена на уровне: Карагинская подзона — 1,799–1,867 млн рыб, Петропавловско-Командорская подзона (р. Камчатка) — 0,487–0,488 млн рыб, Западная Камчатка — 3,580–3,691 млн рыб.

Для выбора наиболее подходящей модели для описания имеющегося набора данных использовали стандартные информационные критерии: AIC — информационный критерий Акаике, AICc — откорректированный информационный критерий Акаике, BIC — Байесов (Шварц) информационный критерий (Akaike, 1974; Schwarz, 1978; Sugiura, 1978), действуя по правилу «модель имеет наименьшее значение критерия». Таким образом, в качестве основной модели для определения величины поколения 2021 г., которое в 2025 г. вернулось на нерест в возрасте 3+, для всех районов промысла выбраны результаты расчетов, полученные с привлечением модели ARIMA (табл. 1). В дальнейшем определении величины подхода данное значение суммировалось с расчетной численностью рыб в возрасте 4+.

Однако на этапе получения информации о параметрах, выбранных для анализа двух моделей, было видно, что модель ETS(A,A,N и A,N,N) является во всех случаях аддитивной, где компоненты α, β и γ (тренда, сезонности,

остатка) имеют значения, близкие к 1, т. е. модель не сильно сглаживает исходные данные, оставляя их практически неизменными. При этом автоматически подобранная модель ARIMA(1,1,1 и 0,1,1) содержит 0 или 1 параметр авторегрессии (*p*), 1 параметр скользящего среднего (*q*), который вычисляется для ряда после смещения данных на 1 лаг, качественнее описывает имеющиеся ряды.

Таким образом, исходя из результатов, полученных по модели ARIMA, определена численность подхода кеты в возрасте 3+ в 2025 г.: Карагинская подзона — 1,867 млн рыб, Петропавловско-Командорская (р. Камчатка) подзона — 0,488 млн рыб, западное побережье Камчатки — 3,580 млн рыб (табл. 1).

Скрипт 1

```
# используемые пакеты в R
tidyverse
fable
fabletools
dplyr
# создание объекта временного ряда (timeseries)
ts_data_keta <- ts(data, start = c(year, period), frequency = 1)
# создание модели прогнозирования, определение прогнозной величины на следующий год на основе выбранных методов и графическое представление модели (0.7 — величина сглаживания)
model_ts_data_keta <- ts_data_keta %>% as_tsibble(ts_data_keta) %>% model(ets = ETS(box_cox(ts_data_keta,0.7)), arima = ARIMA(ts_data_keta)) %>% forecast(h = 1) %>% autoplot(ts_data_keta)
# вывод коэффициентов и критериев модели ETS
ts_data_keta %>% as_tsibble(ts_data_keta) %>% model(ets = ETS (box_cox (ts_data_keta,0.7)), arima = ARIMA(ts_data_keta)) %>% select(ets) %>% report()
# вывод коэффициентов и критериев модели ARIMA
ts_data_keta %>% as_tsibble (ts_data_keta) %>% model (ets = ETS (box_cox (ts_data_keta,0.7)), arima = ARIMA (ts_data_keta)) %>% select (arima) %>% report()
# диагностические графики для модели
AgeCB_3_1976_2024 %>% as_tsibble(AgeCB_3_1976_2024) %>% model(ets = ETS(box_cox(AgeCB_3_1976_2024,0.7)), arima = ARIMA(AgeCB_3_1976_2024)) %>% select(arima) %>% gg_tsresiduals()
```

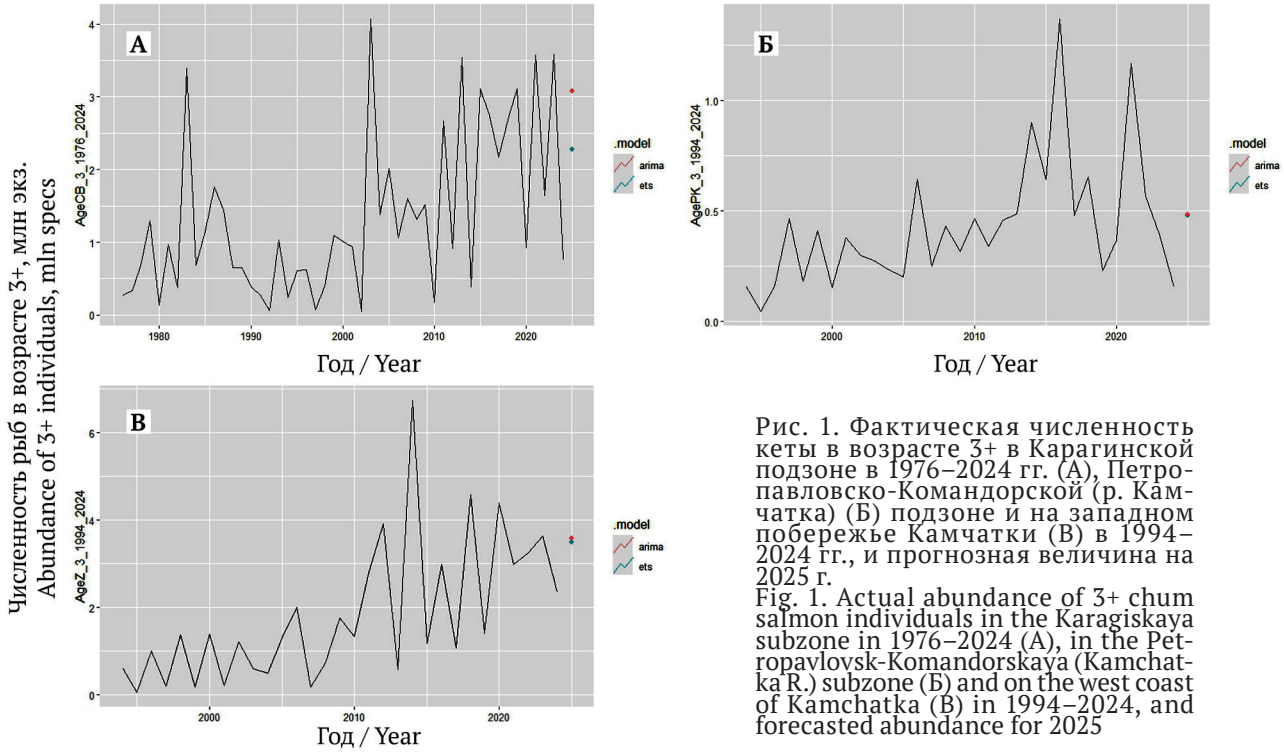


Рис. 1. Фактическая численность кеты в возрасте 3+ в Карагинской подзоне в 1976–2024 гг. (А), Петропавловско-Командорской (р. Камчатка) (Б) подзоне и на западном побережье Камчатки (В) в 1994–2024 гг., и прогнозная величина на 2025 г.
Fig. 1. Actual abundance of 3+ chum salmon individuals in the Karagiskaya subzone in 1976–2024 (A), in the Petropavlovsk-Komandorskaya (Kamchatka R.) subzone (Б) and on the west coast of Kamchatka (B) in 1994–2024, and forecasted abundance for 2025

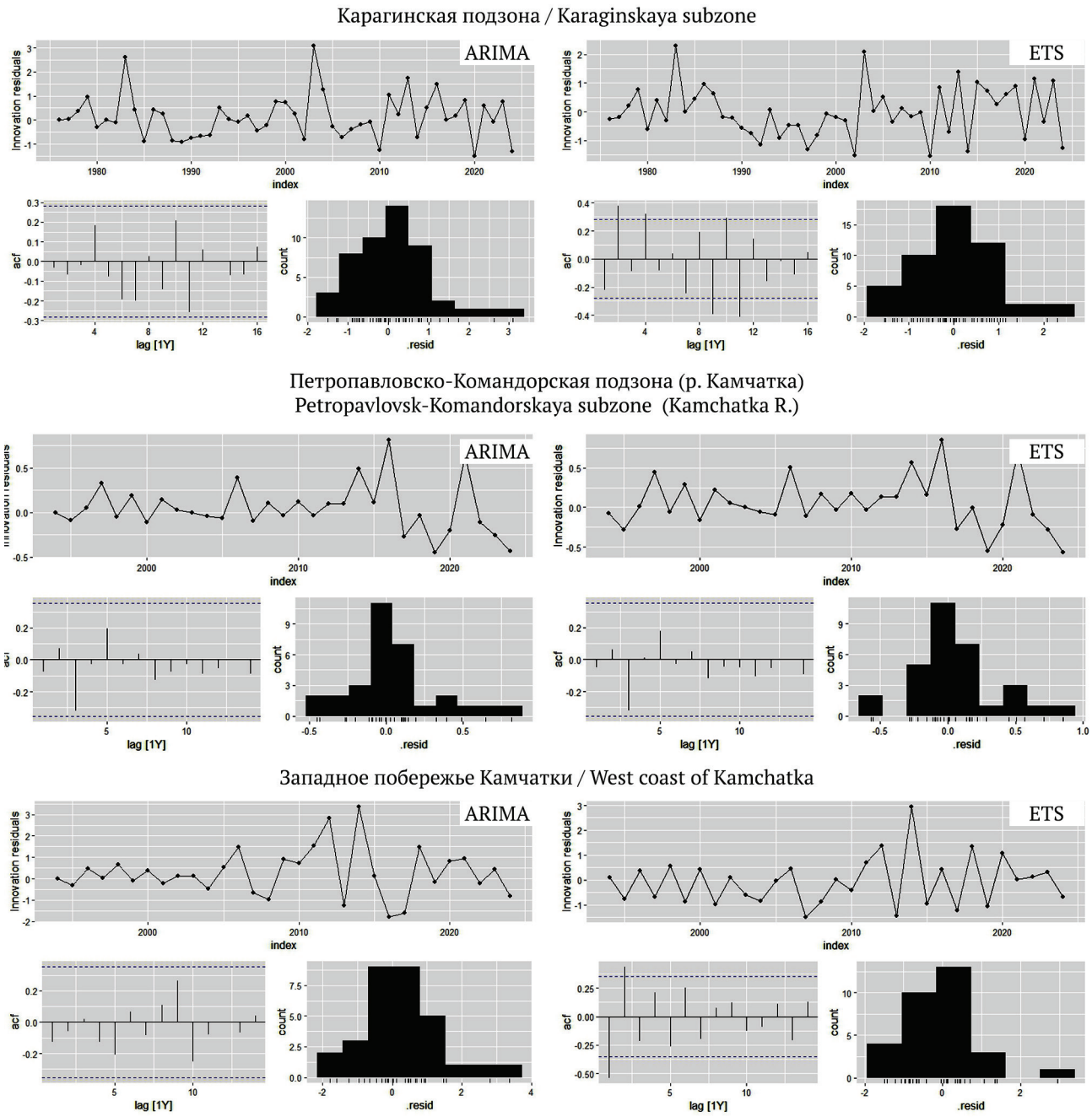


Рис. 2. Диагностические графики для моделей прогнозирования численности кеты в возрасте 3+ в Карагинской подзоне, Петропавловско-Командорской (р. Камчатка) подзоне и на западном побережье Камчатки
Fig. 2. Diagnostic graphs for the forecasting methods for 3+ chum salmon abundance in the Karaginskaya subzone, Petropavlovsk-Komandorskaya (Kamchatka R.) subzone and on the west coast of Kamchatka

Таблица 1. Информационные критерии применяемых моделей для оценки численности возврата кеты в возрасте 3+ в Карагинской, Петропавловско-Командорской (р. Камчатка) подзонах и на западном побережье Камчатки в 2025 г.
Table 1. Informatics criteria of applied models for assessment of 3+ chum salmon return in the Karaginskaya and Petropavlovsk-Komandorskaya (Kamchatka R.) subzones and on the west coast of Kamchatka in 2025

Модель Model	σ^2	Критерий / Criterion			Прогноз, млн рыб Forecast, mln fish
		AIC	AICc	BIC	
Карагинская подзона / Karaginskaya subzone					
ETS(A,A,N)	0,11	191,83	192,37	197,51	1,799
ARIMA(1,1,1)	0,08	143,75	144,3	149,36	1,867
Петропавловско-Командорская подзона (р. Камчатка) / Petropavlovsk-Komandorskaya (Kamchatka R.) subzone					
ETS(A,N,N)	0,82	41,22	42,14	45,42	0,487
ARIMA(0,1,1)	0,89	13,77	14,23	16,51	0,488
Западная Камчатка / West Kamchatka					
ETS(A,A,N)	1,04	113,50	115,90	120,90	3,691
ARIMA(1,1,1)	1,43	101,22	102,15	105,53	3,580

Учитывая, что на момент написания данной работы в распоряжении авторов имеется информация о фактической численности вернувшихся поколений кеты в 2025 г., было проведено сопоставление прогнозных оценок, полученных данными методами, с фактическими (табл. 2). Можно отметить, что прогнозные величины, полученные методом экстраполяции временных рядов, достаточно хорошо описали численность подхода кеты в возрасте 3+ в Петропавловско-Командорской подзоне (р. Камчатка) и на западном побережье Камчатки. При этом оказались значительно ниже в прогнозе по Карагинской подзоне. Однако тренд на увеличение численности рыб данной возрастной когорты в подходе 2025 г. был определен верно. В целом считаем, что результаты, полученные с помощью предложенного метода, зарекомендовали себя положительно, тем не менее представляется нежелательным их применение в отрыве от статистических моделей.

Оценка численности покатной молоди кеты

Кета вся без исключения мигрирует в море в первый год жизни, но может задерживаться в реке на несколько месяцев (Леванидов, 1981). В реках Камчатки покатная миграция вида проходит, как правило, в апреле–июле (Костарев, 1970; Гриценко и др., 1987; Карпенко, 1987, 1998; Сметанин, 1991; Заварина, 2007; Павлов и др., 2010). Продолжительность миграции может сильно варьировать в зависимости от протяженности нерестовой реки, удаленности нерестилищ от устья реки и климатических особенностей района, а также длительности нереста производителей и сложности структуры локальной популяции — разнообразия сезонных (темпоральных) форм (Шунтов, Темных, 2008).

В реках Карагинской подзоны мальковоучетные работы проводятся непродолжительный период (с 2017 г.). В связи с этим данный блок информации приводится в качестве справочного, а не аналитического. На рисунке 3 представлена динамика численности покатной молоди вида в реперных водоемах (суммарная численность для рек Хайлюля и Кичига). Сравнительный анализ численности скатившейся молоди из реперных рек и общего возврата производителей в Карагинской подзоне показал, что в 2025 г. следовало ожидать невысокий подход кеты, поскольку предшествующий скат оценивался как низкий.

Таблица 2. Прогнозируемая и фактическая численность кеты в возрасте 3+ в Камчатском крае в 2025 г.
Table 2. Forecasted and actual abundance of 3+ chum salmon in Kamchatka Territory in 2025

Подзона/побережье Subzone/coast	Прогноз, млн экз. Forecast, mln fish	Факт, млн экз. Actual, mln fish
Восточное побережье / East coast:		
Карагинская подзона / Karaginskaya subzone	1,867	3,014
Петропавловско-Командорская подзона (р. Камчатка) Petropavlovsk-Komandorskaya subzone (Kamchatka R.)	0,488	0,392
Западное побережье / West coast	3,580	3,484

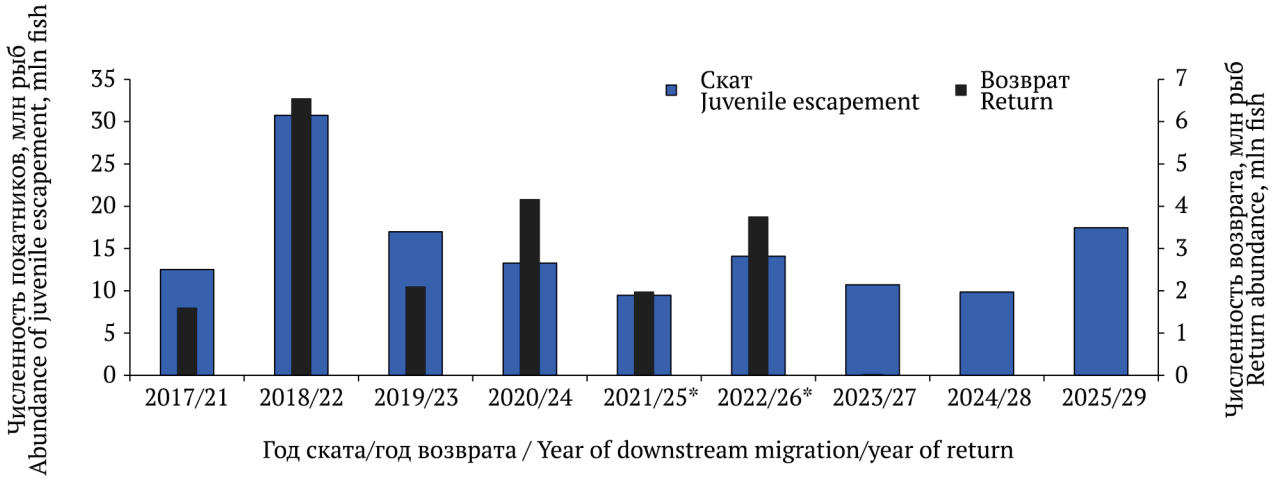


Рис. 3. Динамика численности молоди кеты, скатившейся из рек Хайлюля и Кичига в 2017–2025 гг., и численность возвратов кеты от нереста 2016–2021 гг. к рекам Карагинской подзоны. *— в поколении 2020 г. (скат 2021 г.) еще не вернулись рыбы в возрасте 5+ лет, в поколении 2021 г. (скат 2022 г.) — 4+, 5+ лет
Fig. 3. The abundance dynamics of juvenile chum salmon escapement from the rivers Khailyulya and Kichiga in 2017–2025 and the abundance of chum salmon progeny from spawning for the period 2016–2021 returned into the rivers of the Karagiskaya subzone. *– 5+ fishes have not been returned yet in the generation 2020 (juvenile escapement 2021), so as 4+ and 5+ fishes in generation 2021 (juv. escapement 2022)

Модель «учет в море – возврат»

В связи с тем, что ряды данных по численности покатников кеты из реперных рек и полностью вернувшихся поколений ограничены четырьмя годами наблюдений (2017–2020 гг.), а данные о количестве сеголетков в Беринговом море охватывают более чем 10-летний период, целесообразно при анализе использовать результаты учетных траловых съемок. Добавим, что численности учтенных сеголетков кеты в море и покатной молоди согласуются (рис. 4). Считаем, что использование информации о количестве сеголетков в море более предпочтительно, поскольку в открытое море выходит молодь, пережившая период повышенной смертности, приходящийся на ранний морской период жизни.

Первичный анализ показал, что с количеством сеголетков коррелирует численность рыб, вернувшихся в возрасте 2+ и 3+, а с производителями в возрасте 4+ и 5+ — значительно слабее. В 2025 г. к северо-восточному побережью вернулись рыбы в возрасте 3+, скатившиеся в море в 2022 г. (потомство от нереста 2021 г.). В этот год в Беринговом море было учтено 87,9 млн сеголетков. Согласно полученной зависимости (рис. 5, табл. 3), исходя из данных о количестве молоди, учтенной в море за период с 2002 по 2021 г., численность возрастной группы 3+ в подходе 2025 г. могла составить 3,344 млн рыб:

N_{3+} = 1,322 + 0,023 × 87,9 млн рыб ≈ 3,344 млн рыб.

Учитывая невысокий уровень корреляционной связи (R^2 = 0,42, $p < 0{,}01$), посчитали целесообразным принять во внимание величину стандартной ошибки — ±0,809 млн (табл. 3) — и в дальнейших расчетах ориентироваться на нижнюю границу величины, полученной с учетом ошибки среднего (рис. 4):

N_{3+} = 3,344 млн рыб – 0,809 = 2,535 млн рыб.

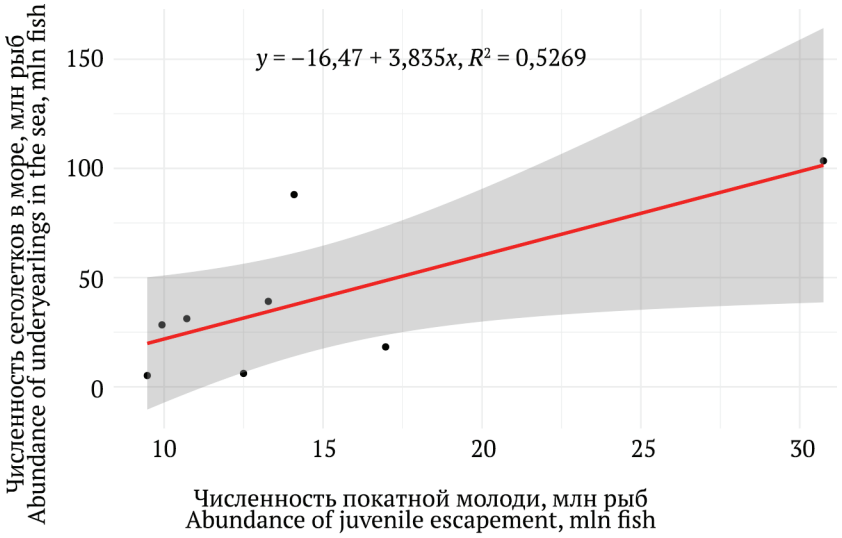


Рис. 4. Связь численности сеголетков кеты в Беринговом море с численностью покатной молоди кеты в реперных реках Карагинской подзоны в 2017–2024 гг.
Fig. 4. The correlation between chum salmon underyearlings in the Bering Sea and the abundance of juvenile chum salmon escapement in the control rivers within the Karagiskaya subzone in 2017–2024

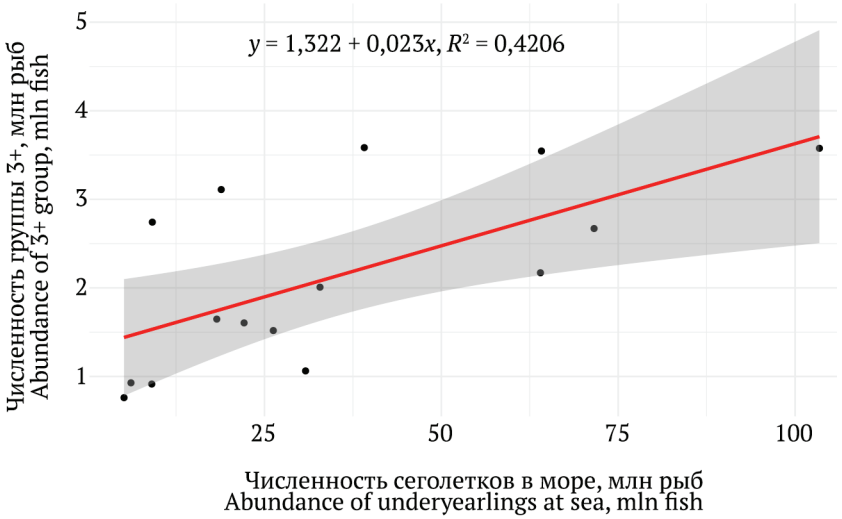


Рис. 5. Связь численности кеты Карагинской подзоны в возрасте 3+ в подходах с численностью сеголетков в Беринговом море в период откочевки к местам океанического нагула в 2002–2021 гг. (за исключением лет, когда съемки не проводились)
Fig. 5. The correlation between the abundance of 3+ chum salmon in the runs into the Karagiskaya subzone and the abundance of underyearlings in the Bering Sea during migration toward feeding area in the ocean in the period 2002–2021 (excepting survey-off years)

Отметим, что в 2022 г. учтенная численность сеголетков кеты в Беринговом море была рекордной как за последнее десятилетие (в 10,9 раз больше среднего значения), так и за весь период наблюдений (с 2002 г.) — в 12,3 раза больше относительно среднего. Исходя из этого, допустимо было ожидать, что основу возврата в 2025 г. составит возрастная группа 3+.

Потенциальный возврат группы 3+ на основе средней оценки двух методов (экстраполяции временных рядов (1,867 млн рыб) и по модели «учет в море – возврат» (2,535 млн рыб)) составил порядка 2,200 млн рыб (среднеарифметическая оценка — 2,201 млн рыб). Ранее упоминалось, что фактическая численность рыб данной когорты равна 3,014 млн рыб и самой близкой прогнозной величиной оказалась средняя величина, полученная при использовании модели «учет в море – возврат» — 3,344 млн рыб.

Генетическая идентификация сеголетков кеты в Охотском море

Для оценки численности кеты, возвращающейся в возрасте 4+ в 2025 г. к западному побережью Камчатки, были привлечены результаты осенней траловой съемки, учитывающей откочевывавших сеголетков кеты Охотского моря в 2021 г. Согласно им, общая численность молоди была оценена на уровне 1000,0 млн экз. (данные ТИНРО: устное сообщение А. Сомова).

По результатам генетической идентификации установлено, что порядка 19% сеголетков (189 млн) поколения 2020 г., нагуливавшихся в смешанных скоплениях в Охотском море, скатились из рек Западной Камчатки и материкового побережья Охотского моря. Сравнение данных о численности подходов кеты в обоих регионах показало их равнозначность. Соответственно около половины учтенной и идентифицированной молоди, или 94,5 млн, можно отнести к западнокамчатской группе.

Скрипт 2

```
# используемые пакеты в R
ggplot2
# создание модели линейной регрессии
model <- lm(data $0+ ~ data $3+, data= покат_сег)
# отображение уравнения регрессии на графике
eq_label <- sprintf(«italic(y) == %.3f + %.3f * italic(x) *\»,\» ~~ italic(R)^2 == %.4f», coef(model)[1],
coef(model)[2], summary(model)$r.squared)
# графическое представление модели
ggplot(data, aes(x=0+, y=3+)) + geom_point() + geom_smooth(method=»lm», se=TRUE, color=»red») +
theme_minimal() + labs (x = «Численность сеголетков в море, млн рыб», y = «Численность группы 3+,
млн рыб») + annotate(«text», x = 2, y = min(5), label = eq_label, parse = TRUE)
```

Таблица 3. Описательная статистика зависимости численности кеты Карагинской подзоны в возрасте 3+ от численности сеголетков, учтенных в Беринговом море в период откочевки в 2002–2021 гг.
Table 3. Descriptive statistics of the correlation between 3+ chum salmon abundance in the Karaginskaya subzone and abundance of underyearlings counted in the Bering Sea during their outmigration in 2002–2021

Регрессионная статистика / Regression statistics						
Множественный R Multiple R	0,649					
R^2	0,421					
Нормированный R^2 Normalized R^2	0,376					
Стандартная ошибка Standard error	0,809					
Наблюдения Observations	15					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	1	6,170744	6,170744	9,437517	<0,01	
Остаток / Residual	13	8,500082	0,653852			
Итого / In total	14	14,67083				
	Коэффициенты Coefficients	Стандартная ошибка Standard error	*t*	*P*	Нижние 95% Lower 95%	Верхние 95% Upper 95%
Y-пересечение Y-crossing	1,321986	0,334049	3,957457	0,001638	0,60032	2,043656
Переменная X1 Variable X1	0,023065	0,007508	3,072054	0,008914	0,00685	0,039285

С учетом имеющегося ряда данных, включающего информацию о генетической идентификации сеголетков охотоморской кеты и численности полностью вернувшихся поколений (2017–2019 гг.), коэффициент возврата западнокамчатской группы от сеголетков составляет в среднем 0,067 (6,7%). Таким образом, применив имеющийся коэффициент, численность поколения 2020 г. (съемка 2021 г.) оценена в 6,332 млн рыб. С учетом вернувшихся 4,395 млн рыб в возрасте 2+ и 3+ количество рыб возрастной группы 4+ в 2025 г. могло составить 1,937 млн рыб:

$$N_{4+} = 6{,}332 - 4{,}395 = 1{,}937 \text{ млн рыб.}$$

Фактическая численность рыб возрастной группы 4+ — 2,043 млн рыб — соответствовала расчетной оценке.

Модель сиблингов

Для всех промыслово-значимых единиц запаса построены модели, объясняющие количество рыб старшей когорты (4+) в поколениях от младших (2+ и 3+, или только 3+), поскольку в год подготовки прогнозных материалов известна численность особей, вернувшихся в возрасте 2+ и 3+ (Фельдман и др., 2018). Для регрессионного анализа привлечены данные о количестве рыб в возрасте 2+, 3+ и 4+ в полностью вернувшихся поколениях (рис. 6, таблицы 4–6). Периоды рассмотрения варьируются для каждой прогностической единицы, поскольку все они характеризуются разными уровнями численности и набором объективных данных. Ранее показано (Заварина, Шевляков, 2004; Заварина, 2008), что у кеты северо-восточного побережья поколения низкой и высокой численности формируются с 2–4-летней периодичностью, которая нарушается лишь в отдельные годы. Как правило, многочисленные поколения приходятся на нечетные годы (рис. 7). За поколениями высокой численности нечетных лет следуют поколения более низкой численности четных лет, и в следующие нечетные годы урожайность оказывается ниже, чем в предыдущие. Приняв во внимание выявленную тенденцию, оцениваемую единицу запаса рассчитывали с использованием раздельных рядов данных для четных и нечетных поколений.

В нечетные годы возвращаются рекруты в возрасте 4+ предшествующих четных лет нереста. Так, в 2025 г. вернулось потомство от нереста родителей в 2020 г. в возрасте 4+, соответственно ранее от этого года нереста — рыбы в возрасте 2+ и 3+ (в 2023 и 2024 г.).

Используя зависимость возрастной группы 4+ от уже вернувшихся рыб данного поколения в возрасте 2+ и 3+ у кеты Карагинской подзоны (см. рис. 6А, табл. 4), возврат рыб поколения 2020 г. в 2025 г. оценен в 1,038 млн рыб:

$$N_{2019} = 0{,}6499 \times 0{,}392 \text{ млн рыб} - 0{,}0515 \approx 0{,}203 \text{ млн рыб},$$

$$N_{4+} = 0{,}931 \times 0{,}966 + 0{,}139 \text{ млн рыб} \approx 1{,}038 \text{ млн рыб.}$$

У кеты р. Камчатки (Петропавловско-Командорская подзона) (рис. 6Б, табл. 5), численность оценена в 0,016 млн рыб:

$$N_{2019} = 0{,}6499 \times 0{,}392 \text{ млн рыб} - 0{,}0515 \approx 0{,}203 \text{ млн рыб},$$

$$N_{4+} = 0{,}094 + 0{,}680 \times 0{,}162 \text{ млн рыб} \approx 0{,}016 \text{ млн рыб};$$

на западном побережье Камчатки (см. рис. 5В, табл. 6) — в 2,204 млн рыб:

$$N_{4+} = 0{,}363 + 0{,}686 \times 2{,}684 \text{ млн рыб} \approx 2{,}204 \text{ млн рыб.}$$

Выбор уровня оценки (минимальный, средний или максимальный), полученной по модели сиблингов, может быть сделан на основе общих знаний о динамике запаса (снижается, стабилен, растет) и текущих целей управления промыслом. В частности, принимая во внимание общий тренд на снижение численности карагинской кеты, посчитали целесообразным при подготовке материалов, обосновывающих прогнозируемые объемы добычи (вылова) (ПВ), на 2025 г. принять во внимание величину стандартной ошибки — ±0,416 (табл. 4) и в дальнейших расчетах ориентироваться на нижнюю границу величины, полученной с учетом ошибки среднего — 0,622 млн рыб (см. табл. 4):

$$N_{4+} = 1{,}038 \text{ млн рыб} - 0{,}416 = 0{,}622 \text{ млн рыб.}$$

В ходе сравнительного анализа установлено, что значения, полученные с использованием метода сиблингов, подтвердили свою эффективность при оценке численности подхода кеты в возрасте 4+ в Карагинской подзоне и на западном побережье Камчатки. В то же время прогноз для Петропавловско-Командорской подзоны (р. Камчатка) оказался значительно выше ожидаемого, что, вероятно, является следствием отсутствия полноценных учетов численности производителей кеты на нерестилищах в бассейне р. Камчатки в последнее десятилетие. С одной стороны, это не позволяет получать адекватные оценки численности ее подходов и впоследствии — численности поколений, а с другой стороны — формировать представление об эффективности ее нереста в конкретные годы (табл. 7).

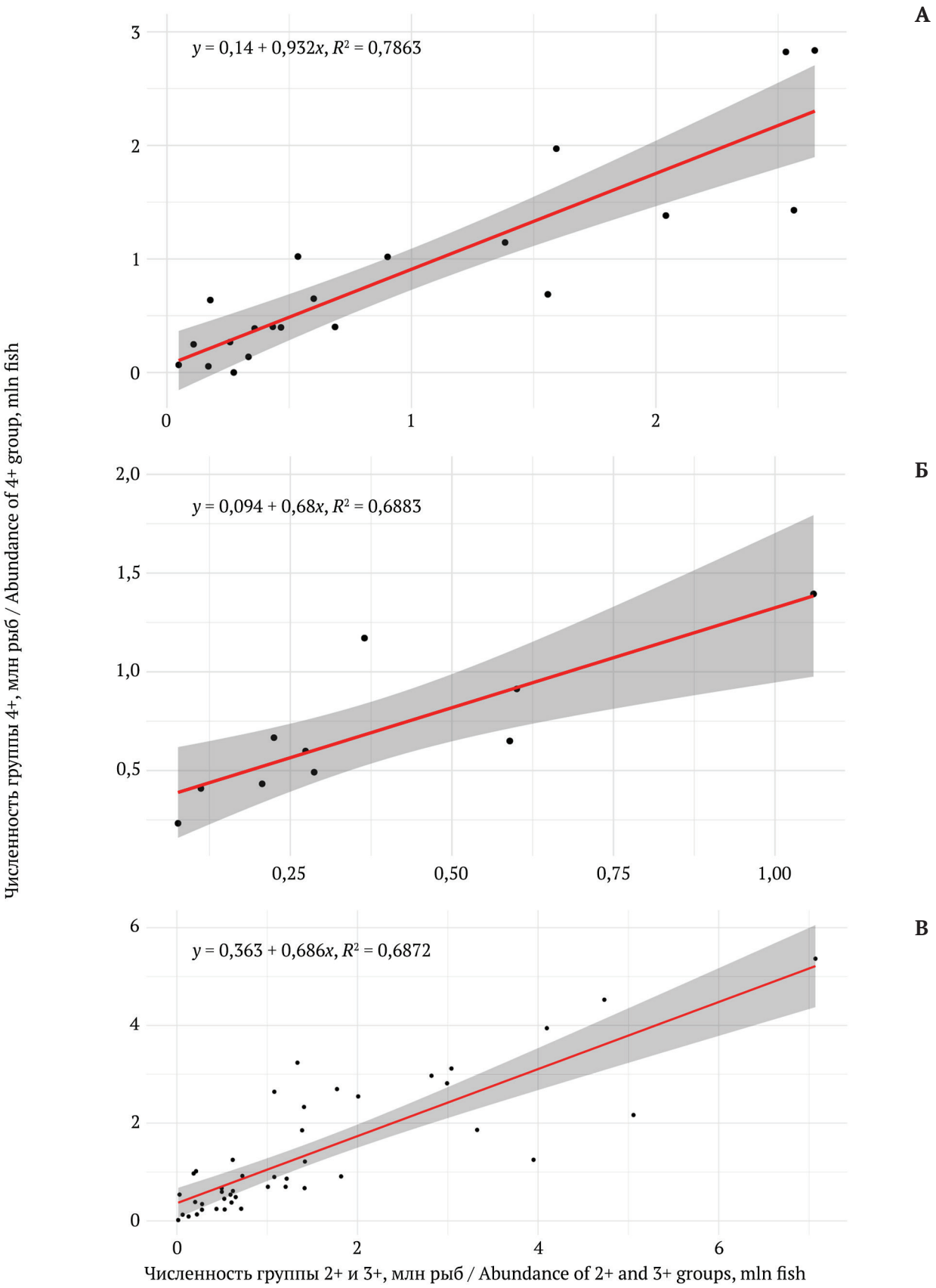


Рис. 6. Связь суммарной численности кеты в возрасте 2+ и 3+ с численностью рыб в возрасте 4+ в Карагинской подзоне (А) в поколениях 1976–2019 гг. (четной линии воспроизводства), Петропавловско-Командорской подзоне (р. Камчатка) (Б) в поколениях 2010–2019 гг. и на западном побережье Камчатки (В) в поколениях 1976–2019 гг.
Fig. 6. The correlation between summary 2+ and 3+ chum salmon abundance and the abundance 4+ individuals in the Karagiskaya subzone (A) in generations 1976–2019 (spawning in even years), Petropavlovsk-Komandorskaya (Kamchatka R.) subzone (Б) in generations of 2010–2019 and on the west coast of Kamchatka (B) in generations 1976–2019

Таблица 4. Описательная статистика зависимости численности кеты Карагинской подзоны в возрасте 4+ от вернувшихся рыб в возрасте 2+ и 3+ поколения 1976–2019 гг. (четной линии воспроизводства)
Table 4. Descriptive statistics of the correlation between 4+ chum salmon abundance in the Karaginskaya subzone and returned 2+ and 3+ individuals, generations of 1976–2019 (even years of spawning)

Регрессионная статистика / Regression statistics						
Множественный R Multiple R	0,887					
R2	0,786					
Нормированный R2 Normalized R2	0,775					
Стандартная ошибка Standard error	0,416					
Наблюдения Observations	22					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	1	12,122	12,122	69,889	<0,001	
Остаток / Residual	19	3,296	0,173			
Итого / In total	20	15,418				
	Коэффициенты Coefficients	Стандартная ошибка Standard error	*t*	P-значение P-value	Нижние 95% Lower 95%	Верхние 95% Upper 95%
Y-пересечение Y-crossing	0,140	0,132	1,061	0,302	–0,136	0,415
Численность 2+ и 3+ Abundance of 2+ and 3+	0,932	0,111	8,360	8,66E-08	0,699	1,165

Таблица 5. Описательная статистика зависимости численности кеты р. Камчатки в возрасте 4+ от вернувшихся рыб в возрасте 2+ и 3+ поколения 2010–2019 гг.
Table 5. Descriptive statistics of the correlation between the abundance of 4+ chum salmon individuals of Kamchatka River and the number of returned 2+ and 3+ individuals, generations of 2010–2019

Регрессионная статистика / Regression statistics						
Множественный R Multiple R	0,830					
R^2	0,688					
Нормированный R^2 Normalized R^2	0,649					
Стандартная ошибка Standard error	0,176					
Наблюдения Observations	10					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	1	0,545768	0,545768	17,6654	<0,01	
Остаток / Residual	8	0,247158	0,030895			
Итого / In total	9	0,792927				
	Коэффициенты Coefficients	Стандартная ошибка Standard error	*t*	*P*	Нижние 95% Lower 95%	Верхние 95% Upper 95%
Y-пересечение Y-crossing	–0,0939	0,125578	–0,74778	0,475996	–0,38349	0,195678
Переменная X1 Variable X1	0,6799	0,161767	4,20302	0,002984	0,30688	1,052948

Таблица 6. Описательная статистика зависимости численности кеты Западной Камчатки в возрасте 4+ от вернувшихся рыб в возрасте 2+ и 3+ поколения 1976–2019 гг.
Table 6. Descriptive statistics of the correlation between the abundance of 4+ chum salmon of West Kamchatka and the abundance of returned 2+ and 3+ individuals generations of 1976–2019

Регрессионная статистика / Regression statistics						
Множественный R Multiple R	0,829					
R^2	0,687					
Нормированный R^2 Normalized R^2	0,680					
Стандартная ошибка Standard error	0,734					
Наблюдения Observation	44					
Дисперсионный анализ / Dispersion analysis						
	df	*SS*	*MS*	*F*	*p*	
Регрессия / Regression	1	49,805	49,805	92,259	<0,001	
Остаток / Residual	42	22,673	0,539			
Итого / In total	43	72,478				
	Коэффициент Coefficient	Стандартная ошибка Standard error	*t*	*P*	Нижние 95% Lower 95%	Верхние 95% Upper 95%
Y-пересечение Y-crossing	0,363	0,151	2,393	0,021	0,056	0,669
Численность 2+ и 3+ Abundance of 2+ and 3+	0,685	0,071	9,605	3,68E-12	0,541	0,8304

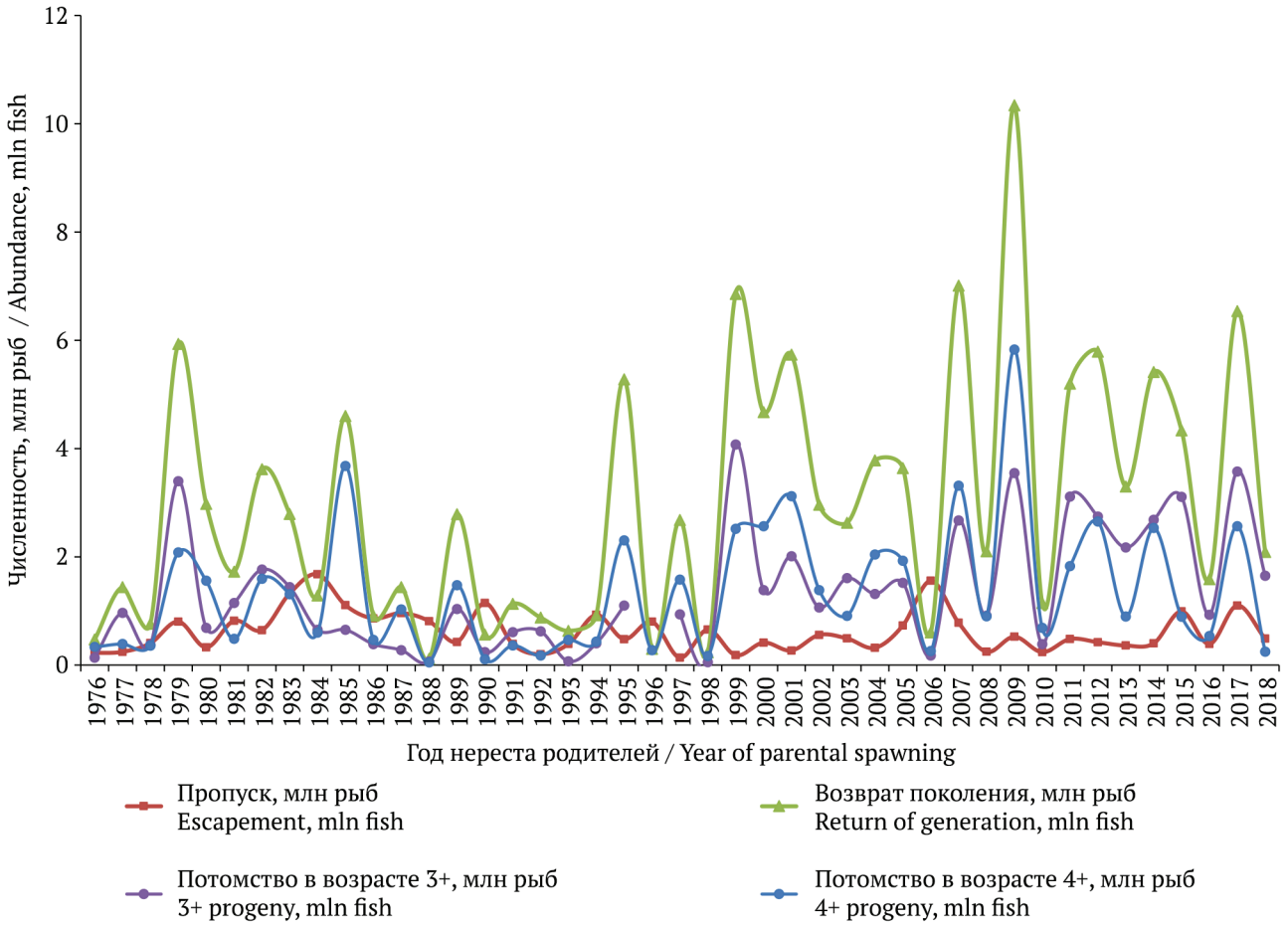


Рис. 7. Численность родителей (пропуск), общая численность потомства (поколения), численность потомства в возрасте 3+ и 4+ на северо-восточном побережье Камчатки. Представлены только полностью вернувшиеся поколения (когорты 2+...6+)
Fig. 7. Abundance of parents (adult escapement), total abundance of progeny (generation), abundance of 3+ and 4+ progenies on the northeast coast of Kamchatka. Completely returned generations are represented only (the cohorts 2+...6+)

Таблица 7. Прогнозируемая и фактическая численность кеты в возрасте 4+ в Камчатском крае в 2025 г.
Table 7. Forecasted and actual abundance of 4+ chum salmon in Kamchatka Territory in 2025

Подзона/побережье Subzone/coast	Прогноз, млн экз. Forecast, mln fish	Факт, млн экз. Actual, mln fish
Восточное побережье / East coast:		
Карагинская подзона / Karaginskaya subzone	0,622	0,520
Петропавловско-Командорская подзона (р. Камчатка) Petropavlovsk-Komandorskaya subzone (Kamchatka R.)	0,016	0,143
Западное побережье / West coast	2,204	2,043

Скрипт 3

```
# используемые пакеты в R
ggplot2
# создание модели линейной регрессии
model <- lm(data$4+ ~ data$2+,3+, data = Age_4)
# отображение уравнения регрессии на графике
eq_label <- sprintf(«italic(y) == %.3f + %.3f * italic(x) *\»,\» ~~ italic(R)^2 == %.4f», coef(model)[1],
coef(model)[2], summary(model)$r.squared)
# графическое представление модели
ggplot(data, aes(x=2+,3+, y=4+)) + geom_point() + geom_smooth (method=»lm», se=TRUE, color=»red») +
theme_minimal() + labs (x = «Численность групп 2+ и 3+, млн рыб», y = «Численность группы 4+, млн
рыб») + annotate(«text», x = 2, y = min(5), label = eq_label, parse = TRUE)
```

Модель множественной линейной регрессии

Для прогнозирования численности возврата кеты в возрасте 4+ (пятилетних рыб) на западном побережье Камчатки с 2025 г. использована модель МЛР. Поиск независимых переменных модели строится на предположениях об имеющихся связях с зависимой переменной, в том числе и тех, которые могут влиять не напрямую, а опосредованно, как, например, климатические индексы.

Логично было ожидать наличие связи численности поколений кеты с численностью производителей этого вида — так называемой связи «родители – потомки» (Хилборн, Уолтерс, 2001; Максименко, Антонов, 2003; Островский, Пономарев, 2020), поэтому в предварительный анализ были включены оценки нерестового запаса за 50-летний период наблюдений. Также привлечены данные о количестве производителей горбуши на нерестилищах за аналогичный период. Кроме того, в анализ включены данные по численности поколений горбуши, соответствующих годам поколений кеты. Ранее было отмечено, что динамика численности поколений кеты находится в соответствии с периодическими колебаниями численности горбуши, воздействие которой может быть косвенно обусловлено действием плотностно-зависимых факторов в пресноводный и морской периоды жизни (Заварина, 2008).

Кроме того, в качестве предикторов выбраны ключевые климатические индексы, способные оказывать значимое влияние на выживаемость молоди на ключевых (критических) этапах жизненного цикла: период покатной миграции молоди из нерестовых рек в прибрежную часть моря и осенняя откочевка в открытые морские воды. Использовались среднемесячные значения индексов за год с временным сдвигом (лагом) на 1 год вперед (Островский, 2022, 2024).

Для выбора необходимых переменных и проверки отсутствия мультиколлинеарности между ними, на предварительном этапе анализа была построена корреляционная матрица, в том числе парные графики. В дальнейшем проведена оценка попарной связи между переменными в наборе данных (рис. 8), которые включали:

– численность производителей кеты на нерестилищах (родители),

– численность поколений горбуши,

– численность производителей горбуши на нерестилищах (родители),

– показатель климатического индекса *ГТа*,

– показатель климатического индекса ТПМ.

Для всех предложенных предикторов использовался 50-летний ряд наблюдений.

Переменная «численности производителей кеты на нерестилищах» показала слабую связь (r = 0,21) с величиной пополнения вида. Вероятно, заметное влияние этого предиктора может проявляться в случае пороговых значений количества производителей, при отсутствии предельных значений эта величина не является первостепенной. Средняя положительная связь численности поколений кеты отмечена с аналогичными по году выхода из нерестовых гнезд и миграции в море поколениями горбуши (r = 0,53). Стоит отметить, что кета и горбуша скатываются в море в первый год жизни (сеголетками), в отличие от других тихоокеанских лососей, поэтому благоприятные или негативные условия окружающей среды, пищевая конкуренция, выедание хищниками и другие факторы влияют на них отчасти сходно. Наиболее высокая корреляция выявлена между численностью поколений кеты и климатическим индексом *ГТа* (r = 0,66). Также присутствует связь с показателем ТПМ (r = 0,54). Однако из-за того, что переменные климатических индексов сильно коррелируют между собой и, как следствие, это приводит к возникновению мультиколлинеарности, переменная ТПМ была исключена из дальнейшего анализа, чтобы не искажать оценки, полученные с помощью МЛР.

Таким образом, из пяти рассмотренных факторов для построения модели МЛР отобраны те, которые способны объяснить более половины имеющихся наблюдений в рассматриваемом ряду — численность поколений горбуши и климатический индекс *ГТа*.

Для улучшения качества модели применено логарифмирование исходных значений переменных — численности поколений кеты и горбуши, чтобы распределение показателей соответствовало нормальному. С целью исключения появления нулей в логарифмированных данных, к получившимся величинам была добавлена единица. В результате этапа нормализации рядов распределение переменных стало приближенным к нормальному (p-*value* = 0,04). Проверку нормальности проводили с помощью статистического теста Шапиро–Уилка.

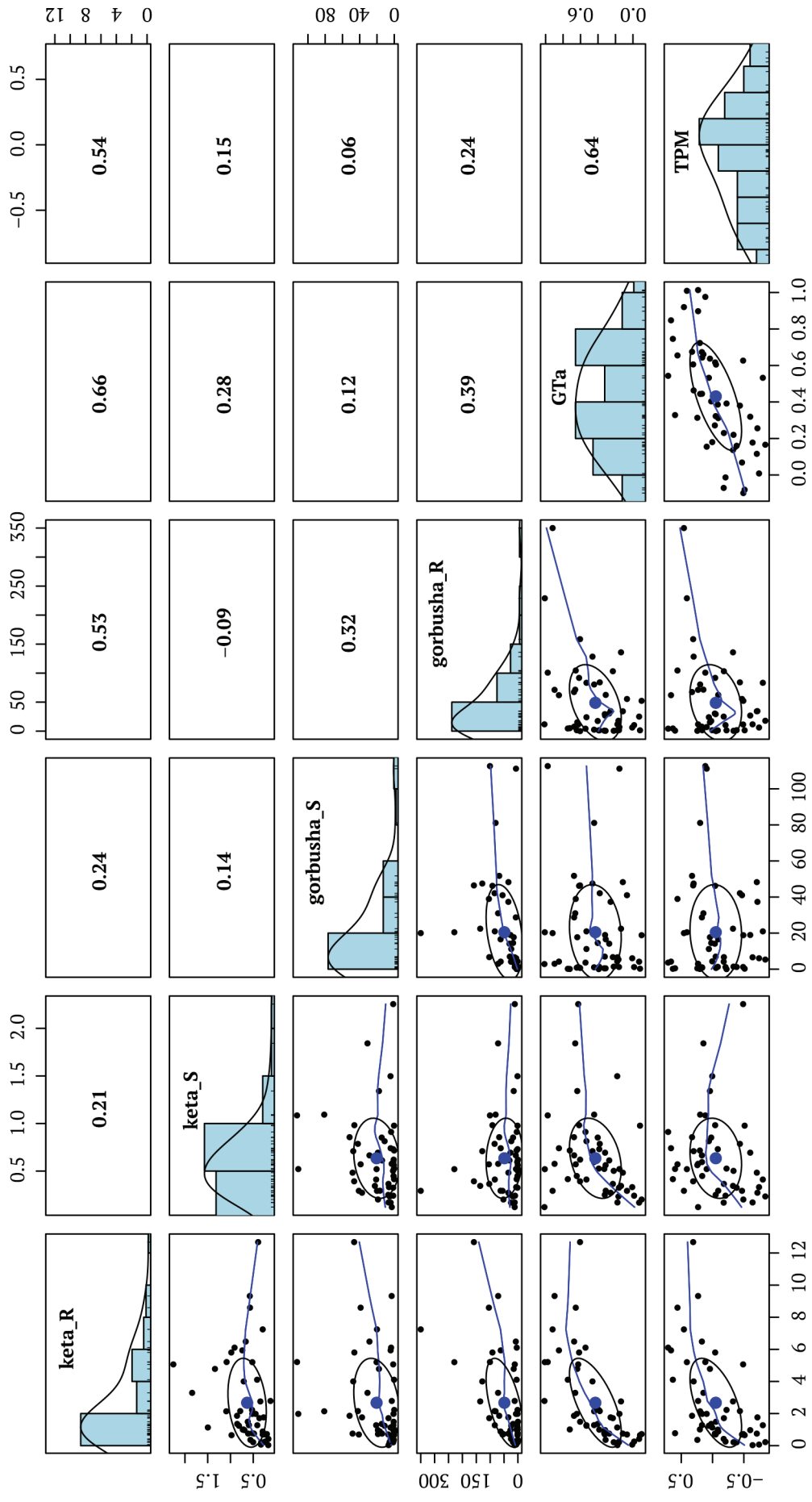


Рис. 8. Корреляционная матрица и парные графики зависимостей между переменными с эллипсами доверия
Fig. 8. The correlation matrix and the pair graphs of correlations between variables with confidence ellipses

Общий вид полученной нами модели выражен в формуле (рис. 9):

$$\ln(Y_t) = b_0 + b_1 \ln(X_{1,t}) + b_2 X_{2,t} + \varepsilon_t,$$

где $\ln(Y_t)$ — логарифм численности поколения кеты;
b_0 — свободный член уравнения (интерсепт);
b_1, b_2 — коэффициенты при независимых переменных;
$\ln(X_{1,t})$ — логарифм численности поколения горбуши;
$X_{2,t}$ — значение климатического индекса;
ε_t — случайная ошибка.

Адекватность подобранной модели оценивали на основе коэффициента детерминации $R^2 = 0{,}64$ и скорректированного коэффициента детерминации $R^2 = 0{,}62$ (табл. 8). Стандартная ошибка сформулированной регрессии равна 0,41, а значение F-статистики — 41,5. Коэффициенты МЛР b_i статистически значимы ($p < 0{,}05$). Остатки модели распределены нормально (подтверждено тестом Шапиро–Уилка). Оценка параметров модели приведена в таблице 8.

Для корректности полученных расчетных оценок важно соблюдение основных требований к качеству МЛР, среди которых наличие линейной связи между зависимой переменной (Y) и независимыми переменными (X_i), нормальность распределения остатков, отсутствие автокорреляции ошибок, отсутствие мультиколлинеарности между регрессорами, гомоскедастичность (дисперсия остатков должна быть постоянна для всех наблюдений).

Проверка автокорреляции в модели проводилась с помощью теста Дарбина–Уотсона, который не выявил ее наличия ($p > 0{,}05$). Анализ мультиколлинеарности с использованием VIF-теста продемонстрировал независимость объясняющих переменных. Однако тест Бройша–Пагана выявил гетероскедатичность. Данная проблема была устранена с помощью робастных стандартных ошибок типа HC3 (методом Мак Киннона – Уайта).

Коэффициенты при независимых переменных b_i в модели МЛР показывают, на сколько единиц изменится логарифм численности поколения кеты Y_t при увеличении соответствующего предиктора $X_{i,t}$ на одну единицу при неизменных остальных переменных. Для применения параметров модели прогнозирования численности поколений кеты следует использовать уравнение вида:

$$\ln(Y_t) = 0{,}049 + 0{,}123 \times \ln(X_{1,t}) + 1{,}516 \times X_{2,t}.$$

Данная модель МЛР может быть применена для прогнозирования численности поколений кеты при условии использования биологических и климатических предикторов. В частности, численность поколения кеты Западной Камчатки 2020 г. могла составить 4,653 млн рыб. Фактическая (без рыб 5+, но их количество в последние годы редко превышает 100 тыс. рыб) составила 4,726 млн рыб, т. е. оправдываемость составила 102%. Кроме того, ожидаемый показатель по возрастной когорте 4+ соответствовал величине 1,970 млн, оцененный возврат кеты в данном возрасте составил 2,043 млн рыб.

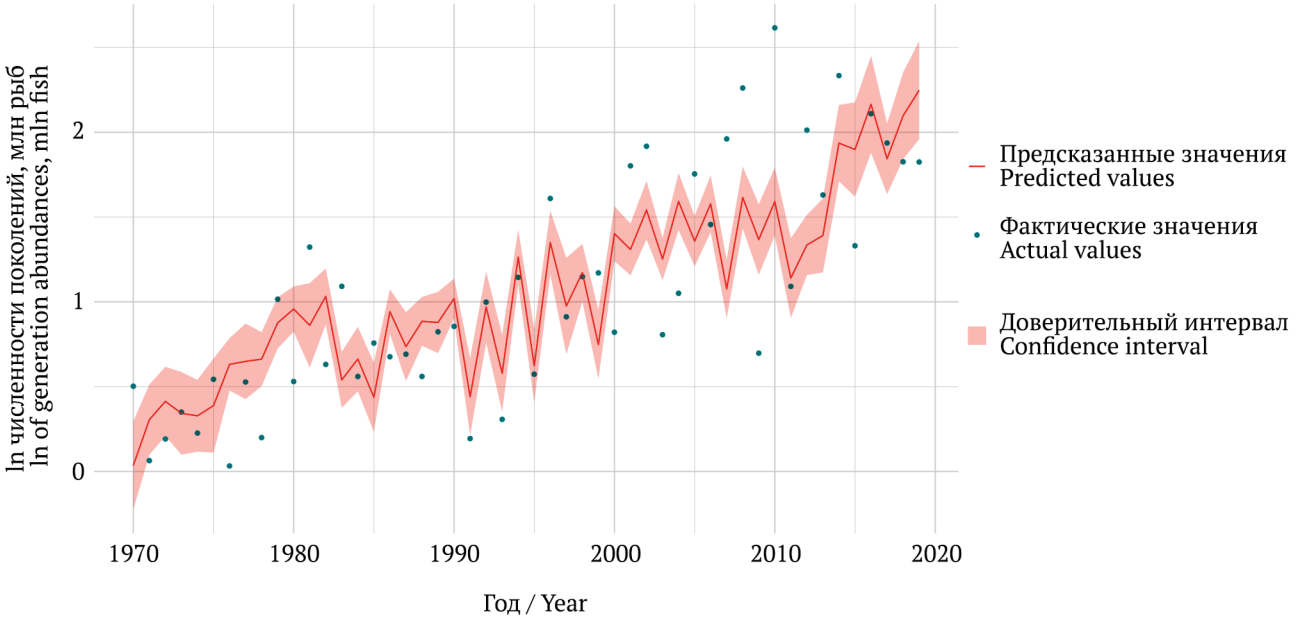


Рис. 9. Модель множественной линейной регрессии (МЛР) численности поколений кеты (1970–2019 гг.) с учетом влияния численности поколений горбуши (1970–2019 гг.) и климатического индекса *ГТа* (1971–2020 гг.)
Fig. 9. The model of multiple linear regression (MLR) of chum salmon generation abundance (1970–2019) including effects of pink salmon generation abundance (1970–2019) and the climate index *GTa* (1971–2020)

Скрипт 4

```
# используемые пакеты в R
readxl
carData
car
lmtest
sandwich
ggplot2
psych
Var <- read_excel("Data_keta.xlsx")
#логарифмирование переменных
Var$log_keta <- log(Var$keta + 1)
Var$log_gorbusha <- log(Var$gorbusha + 1)
# проверка на нормальность распределения переменных, тест Шапиро–Уилка
shapiro.test(Var$log_keta)
shapiro.test(Var$log_gorbusha)
# построение модели
model_log <- lm(log_keta ~ log_gorbusha + GLB, data = Var)
summary(model_log)
shapiro.test(resid(model_log))
# проверка на автокорреляцию, тест Дарбина–Уотсона
dwtest(model_log)
# проверка на гетероскедатичность, тест Бройша–Пагана
bptest(model_log)
# робастные ошибки
coeftest(model_log, vcov = vcovHC(model_log, type = "HC3"))
# построение границ доверительного интервала
pred <- predict(model_log, interval = "confidence")
pred
Var$fit <- pred[, "fit"]
Var$lwr <- pred[, "lwr"]
Var$upr <- pred[, «upr»]
# графическое представление модели
ggplot(Var, aes(x = year)) +
geom_point(aes(y = `log_keta`, color = "Фактические значения")) +
geom_line(aes(y = fit, color = «Предсказанные значения»)) +
geom_ribbon(aes(ymin = lwr, ymax = upr, fill = «Доверительный интервал»), alpha = 0.2) + labs( x = «Год»,
y = «ln численности поколений, млн рыб», color = «Легенда», fill = «Легенда») + theme_minimal()
# пример включения значений независимых переменных для того, чтобы найти прогнозируемое
значение зависимой переменной. Величина поколения горбуши предварительно приведена к
логарифму, с добавлением единицы (log(24.231+1) = 3.228)
data_2020 <- data.frame(log_gorbusha_recr = 3.228, GLB = 0.8483)
#прогноз
pred_2020 <- predict(model_log, newdata = data_2020 , interval = "confidence")
print(pred_2020)
# пример преобразования значений в соответствующий масштаб
pred_original_scale <- exp(pred_2020) –1
print(pred_original_scale)
```

При подготовке материалов прогноза подходов кеты в Камчатском крае итоговая оценка определяется на основании всего комплекса перечисленных методов, а также с учетом экспертных оценок, базирующихся на особенностях биологии, условий воспроизводства и про-

Таблица 8. Оценка модели множественной линейной регрессии
Table 8. Evaluation of the multiple linear regression model

Параметр Parameter	Оценка коэффициентов модели (b) Model coefficients evaluation (b)	Численность поколений кеты (логарифм) (1) Abundance of chum salmon generations (log) (1)		Численность поколений кеты (логарифм) с учетом робастных ошибок типа HC3 (2) Abundance of chum salmon generations (log) including robust errors of the HC3 type (2)	
		Стандартная ошибка Standard error	*p*-значение *p*-value	Стандартная ошибка Standard error	*p*-значение *p*-value
Интерсепт Intercept	0,049	0,139	0,727	0,126	0,699
Численность поколений горбуши (логарифм) Abundance of pink salmon generations (log)	0,123	0,039	0,003**	0,038	0,002**
Климатический индекс *ГТа* Climate index *GTa*	1,516	0,205	0,000***	0,198	0,000***
Количество наблюдений / Number of observations — 50 Скорректированный R^2 / Corrected R^2 — 0,62 F-статистика / F-statistics — 41,5 DF — 47 *p*-значение / (*p*-value) <0,05					

Уровень значимости: ***— $p<0{,}01$ (высокий); **— $p<0{,}05$ (средний); *— $p<0{,}1$ (низкий).
Significance level: ***– $p<0.01$ (high); **— $p<0.05$ (middle); *— $p<0.1$ (low).

мысла локальных стад этого вида. Сопоставление результатов расчетов с фактическими показателями подходов в 2025 г. подтверждает достоверность и эффективность выполненных расчетов (табл. 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены актуальные методы прогнозирования численности подходов кеты в Камчатском крае. Описаны разные типы применяемых моделей, которые классифицированы на две основные категории, каждая из которых характеризуется определенными подходами к анализу данных: экстраполяция временного ряда и анализ зависимостей.

Определено, что алгоритмы расчета, работающие по принципу экстраполяции временных рядов, становятся предпочтительным выбором в ситуациях, когда разведочный анализ выявляет отсутствие или незначительное влияние текущей численности родительского поколения на последующие, а ключевые факторы, определяющие численность будущих поколений, в условиях множества неопределенностей остаются не найденными. Такое моделирование способно фиксировать тенденции в изменении численности как отдельных поколений в целом, так и возрастных групп внутри поколений, поскольку именно анализируемые когорты (применительно к кете это группа 3+) служат основой пополнения (около 50%). На основании проведенного анализа авторы пришли к заключению, что результаты, полученные с помощью предложенного подхода, демонстрируют свою эффективность при составлении прогнозов, так как они динамически учитывают изменения возрастного состава и численности поколений. Однако представляется нежелательным их применение в отрыве от методов, основанных на статистической зависимости.

Установлено, что численность кеты Карагинской подзоны, возвращающейся на нерест в возрасте 3+, зависима от количества покатной молоди и сеголетков в море в период откочевки на океанические нагульные акватории. Данная зависимость используется только для оценки величины возврата возрастной группы 3+. При этом учитывая, что данные по покатной молоди имеются за непродолжительный период, в то время как сведения о сеголетках, откочевывающих в открытое море, накоплены за период свыше десяти лет, прогнозирование опирается на результаты трало-

Таблица 9. Прогнозируемая и фактическая численность подходов кеты в Камчатском крае в 2025 г.
Table 9. Forecasted and actual abundance of chum salmon runs in Kamchatka Territory in 2025

Подзона/побережье Subzone/coast	Прогноз, млн экз. Forecast, mln fish	Факт, млн экз. Actual, mln fish
Восточное побережье / East coast:		
Карагинская подзона / Karaginskaya subzone	2,822	3,588
Петропавловско-Командорская подзона (р. Камчатка) Petropavlovsk-Komandorskaya subzone (Kamchatka R.)	0,504	0,925
Западное побережье / West coast	4,940	5,739
Итого / In total	8,266	10,252

вых съемок. Отметим, что самой близкой прогнозной величиной к фактической численности вернувшейся в реки Карагинской подзоны кеты в возрасте 3+ в 2025 г. оказалась средняя оценка, полученная при использовании модели «учет в море – возврат».

В качестве индикаторной оценки при определении уровня численности западнокамчатской кеты, возвращающейся в возрасте 4+, применяются результаты генетической идентификации сеголетков, учтенных в Охотском море. Подчеркнем, что фактическая оценка количества рыб, достигших пятилетнего возраста и вернувшихся в 2025 г. для нереста в реки западного побережья Камчатки, соотносится с предварительными расчетами (прогнозными ожиданиями).

Основной моделью предсезонного прогнозирования, основанной на анализе зависимостей, является линейная связь между численностью рыб группы 4+ и суммарной численностью вернувшихся в предшествующий год особей младших возрастных когорт (2+ и 3+). Результаты расчетов по методу сиблингов продемонстрировали свою эффективность в оценке подходов кеты в Карагинской подзоне и на западном побережье Камчатки, но для Петропавловско-Командорской подзоны (р. Камчатка) оказались не столь успешными, прежде всего из-за отсутствия в последние годы объективных данных о численности нерестового запаса вида.

Впервые примененный при прогнозировании численности поколений западнокамчатской кеты метод множественной линейной регрессии учитывает комплексное влияние факторов на формирование величины пополнения вида, в частности численность поколений горбуши и индекс глобальной температурной аномалии. Этот подход также подтвердил свою надежность, поскольку полученные результаты прогнозирования близки к фактическим показателям.

На наш взгляд, применяемые методы прогнозирования подходов кеты в Камчатском крае могут быть признаны допустимыми при разработке материалов, обосновывающих численность подходов вида на предстоящий год. В настоящее время продолжается поиск и подбор предикторов для МЛР и других моделей, которые позволят повысить точность прогнозов.

В процессе формирования прогнозов подходов кеты на 2026 г. применялся тот же набор методов. Данные о фактических оценках и, соответственно, точность сделанного прогноза позволят провести более объективный анализ результативности применяемых методов и наметить пути их совершенствования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бирман И.Б. 2004. Морской период жизни и вопросы динамики стад тихоокеанских лососей. М.: Нац. рыбные ресурсы. 172 с. EDN: QKMRHH.

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

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

Бугаев А.В., Зикунова О.В., Шпигальская Н.Ю., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В., Коваленко М.Н., Лозовой А.П. 2023. Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае в 2018–2022 гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщ. 1 (горбуша, кета) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 68. С. 5–41. EDN: CUCSXD. doi:10.15853/2072-8212.2023.68.5-41

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., Кровнин А.С. 2025б. 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 // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 76. С. 21–40. EDN: BPWUIY. doi:10.15853/2072-8212.2025.76.21-40

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Шпигальская Н.Ю., Кулик В.В. 2024а. 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., Шпигальская Н.Ю., Зикунова О.В., Артюхина Н.Б., Фельдман М.Г., Шубкин С.В., Коваленко М.Н. 2020. Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (Сообщ. 1): Динамика и статистика промысла, оценка нерестового фонда / Бюллетень № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. С. 17–43.

Волобуев В.В., Марченко С.Л. 2011. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел). Магадан: МагаданНИРО, СВНЦ ДВО РАН. 303 с. EDN: QKUMFB.

Гриценко О.Ф., Ковтун А.А., Косткин В.К. 1987. Экология и воспроизводство кеты и горбуши. М.: Агропромиздат. 166 с.

Денисенко А.Д., Бугаева Е.А., Савенков В.В., Зикунова О.В., Пильганчук О.А., Муравская У.О., Бабушкин Д.В., Крупенева М.В., Шпигальская Н.Ю. 2025. Генетическая идентификация смешанных выборок молоди кеты в Охотском море по материалам осенней траловой съемки 2021 г. // Тр. ВНИРО. Т. 202. С. 15–25. EDN: MRFURI. doi:10.36038/2307-3497-2025-202-15-25

Денисенко А.Д., Зикунова О.В., Пильганчук О.А., Савенков В.В. 2023. Применение результатов генетической идентификации при определении смертности молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) Западной Камчатки по материалам осенней траловой съемки 2018 г. // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : Матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. М.: ВНИРО. С. 75–77.

Заварина Л.О. 2007. Кета (*Oncorhynchus keta*) северо-восточного побережья Камчатки (на примере р. Хайлюля) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 9. С. 96–121. EDN: KNNXZF.

Заварина Л.О. 2008. Биология и динамика численности кеты (*Oncorhynchus keta*) северо-восточного побережья Камчатки : Автореф. дис. … канд. биол. наук. М. 25 с. EDN: NJEXXH.

Заварина Л.О., Шевляков Е.А. 2004. Возможный механизм формирования цикличности урожайных поколений кеты на северо-восточном побережье Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : Матер. V науч. конф. (Петропавловск-Камчатский, 22–24 ноября 2004 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 52–55. EDN: XMDKDZ.

Зикунова О.В., Дубынин В.А., Заварина Л.О., Шубкин С.В., Бугаев А.В. 2021. Тенденции изменения численности, прогноз, управление запасами нерки (*Oncorhynchus nerka*) и кеты (*Oncorhynchus keta*) в Камчатском крае // Вопр. рыболовства. Т. 22, № 4. С. 75–85. EDN: WZKPVQ. doi:10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85

Карпенко В.И. 1987. Изменчивость роста молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) и кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) в прибрежный период жизни // Вопр. ихтиологии. Т. 27, вып. 2. С. 230–238.

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

Костарев В.Л. 1970. Влияние некоторых климатических факторов на эффективность естественного воспроизводства охотской кеты // Изв. ТИНРО. Т. 71. С. 109–121. EDN: YUNLXK.

Леванидов В.Я. 1981. Экосистемы лососевых рек Дальнего Востока. Беспозвоночные животные в экосистемах лососевых рек Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 3–21.

Максименко В.П., Антонов Н.П. 2003. Количественные методы оценки рыбных запасов. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 256 с.

Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. 2015. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. М. 496 с.

Островский В.И. 2021. Методические аспекты анализа кривых пополнения // Изв. ТИНРО. Т. 201. С. 219–259. EDN: NABMGY. doi:10.26428/1606-9919-2021-201-219-259

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

Островский В.И. 2024. Проблемы выбора объясняющих переменных динамики численности поколений тихоокеанских лососей // Вопр. рыболовства. Т. 25, № 4. С. 63–76. EDN: UZRBSJ. doi:10.36038/0234-2774-2024-25-4-63-76

Островский В.И., Пономарев А.С. 2020. Зависимость численности потомков кеты (*Oncorhynchus keta*) Охотского района от численности родителей и условий воспроизводства // Изв. ТИНРО. Т. 200, вып. 3. С. 605–617. EDN: NCTMU. doi:10.26428/1606-9919-2020-200-605-617

Павлов Д.С., Кириллова Е.А., Кириллов П.И. 2010. Покатная миграция молоди лососевых рыб в р. Утхолок и ее притоках (Северо-Западная Камчатка). Сообщ. 1. Покатная миграция молоди первого года жизни // Изв. ТИНРО. Т. 163. С. 3–44. EDN: NTEWVZ.

Сметанин А.И. 1991. О связи динамики ската мальков лососевых рыб р. Кичига (Северо-Восточная Камчатка) с особенностями циклониче-

ской деятельности // Исслед. биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа. Вып. 1, ч. 1. С. 127–132.
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 внешних факторов среды // Изв. ТИНРО. Т. 182. С. 88–114. EDN: UYADMZ. doi:10.26428/1606-9919-2015-182-88-114
Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Дубынин В.А. 2018. Оценка величины, прогноз и управление запасами тихоокеанских лососей в Камчатском регионе // Современное состояние и перспективы развития лососевого хозяйства на Дальнем Востоке России : Матер. науч. конф. (Южно-Сахалинск, 7–8 ноября 2017 г.). Южно-Сахалинск: СахНИРО. С. 38–48. http://www.sakhniro.vniro.ru/userfiles/conference%207-8.11.2017/materials2017.pdf. EDN: APOIFP.
Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Зорбиди Ж.Х. 2014. Прогнозирование подходов лососевых (на примере кижуча Западной Камчатки) с использованием моделей экстраполяции временных рядов и моделей «запас–пополнение» // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 34. С. 87–106. EDN: STAHDR.
Хилборн Р., Уолтерс К. 2001. Количественные методы оценки рыбных запасов. Выбор, динамика и неопределенности. Избранные главы / Пер. с англ. В.П. Максименко. Под ред. В.С. Левина. СПб.: Политехника, 228 с.
Шевляков Е.А., Заварина Л.О. 2004. Об особенностях динамики численности и методиках прогнозирования запасов кеты Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 7. С. 181–186. EDN: YBCQDB.
Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1. Моногр. Владивосток: ТИНРО-Центр, 482 с.
Akaike H.A. 1974. New look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control. T. 19. P. 716–723.
Box G.E.P., Jenkins G.M. 1970. Time Series Analysis: Forecasting and Control // Holden-Day. P. 553.
Haeseker S.L., Peterman R.M., Su Z. 2008. Retrospective Evaluation of Preseason Forecasting Models for Sockeye and Chum Salmon // North American J. of Fisheries Management. 28. P. 12–29. doi:10.1577/M06-287.1
Hyndman R.J., Koehler A.B., Ord J.K., Snyder R.D. 2008. Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach. Springer-Verlag. URL http://www. exponentialsmoothing.net/. doi:10.1007/978-3-540-71918-2
Peterman R.M. 1982. Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival // Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences. 39. P. 1444–1452. doi:10.1139/f82-195
Schwarz G. 1978. Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics. T. 6. P. 461–464.
Sugiura N. 1978. Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections: Communications in Statistics, Theory and Methods.Vol. A7. P. 13–26.

REFERENCES

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. EDN: QKMRHH.
Bugaev A.V., Zikunova O.V., Artyukhina N.B., Shubkin S.V., Baeva V.N. Analytical review of results of the salmon fishery in Kamchatka Region in 2024–2025. *Izvestiya TINRO*, 2025, vol. 205 (4), pp. 551–595. (In Russ.) EDN: MHHURC. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2025-205-551-595
Bugaev A.V., Zikunova O.V., Tepnin O.B., Artyukhina N.B., Shpigalskaya N.Yu. Basic principles of developing and interpretation of validity for fishery forecasts of pacific salmon in the Kamchatka Region in the modern period (analytical review for 2010–2020s). *Izvestiya TINRO*, 2024, vol. 204 (4), pp. 964–1002. (In Russ.) EDN: UWVHLB. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002
Bugaev A.V., Zikunova O.V., Shpigalskaya N.Yu., Artyukhina N.B., Shubkin S.V., Kovalenko M.N., Lozovoy A.P. Analytical review of the results of salmon fisheries in Kamchatka Territory in 2018–2022 (forecasts, fisheries, stocks). Communication 1 (Pink salmon, Chum salmon). *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2023, vol. 68, pp. 5–41. (In Russ.) EDN: CUCSXD. https://doi.org/10.15853/2072-8212.2023.68.5-41
Bugaev A.V., Tepnin O.B. *Klimat i tihookeanskie lososi* [Climate and Pacific salmon]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2024, 280 p. EDN: YVAMSM. https://doi.org/10.15853/9785902210467

Bugaev A.V., Tepnin A.S., 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 dyna. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2025, vol. 76, pp. 21–40. (In Russ.) EDN: BPWUIY. https://doi.org/10.15853/2072-8212.2025.76.21-40

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. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2024-204-477-508

Bugaev A.V., Shpigalskaya N.Yu., Zikunova O.V., Artyukhina N.B., Feldman M.G., Shubkin S.V., Kovalenko M.N. Review of the results of the salmon fishing season 2020 in the Kamchatka Region (communication 1): dynamics and statistics of fishing, estimates of escapements. *Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East*, 2020, no. 15, pp. 17–43. (In Russ.)

Volobuev V.V., Marchenko S.L. *Tikhookeanskiye lososi kontinentalnogo poberezhiya Okhotskogo morya (biologiya, populyatsionnaya struktura, dinamika chislennosti, promysel)* [Pacific Salmon of the Continental Coast of the Okhotsk Sea (Biology, Population Structure, Abundance Dynamics, Fishery)], Magadan: 2011, 303 p. EDN: QKUMFB.

Gritsenko O.F., Kovtun A.A., Kostkin V.K. *Ekologiya i vosproizvodstvo kety i gorbushi* [Ecology and Reproduction of Chum and Pink Salmon]. Moscow: Agropromizdat, 1987, 166 p.

Denisenko A.D., Bugaeva E.A., Savenkov V.V., Zikunova O.V., Pilganchuk O.A., Muravskaia U.O., Babushkin D.V., Krupeneva M.V., Shpigalskaia N.I. Genetic identification of juvenile chum salmon of the Okhotsk Sea basin in mixed trawl catches. *Trudy VNIRO*, 2025, vol. 202 (4), pp.15–25. (In Russ.) EDN: MRFURI. https://doi.org/10.36038/2307-3497-2025-202-15-25

Denisenko A.D., Zikunova O.V., Pilganchuk O.A., Savenkov V.V. Application of genetic identification results in assessing mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from Western Kamchatka based on materials from the 2018 autumn trawl survey. *Modern Problems and Prospects for the Development of the Fisheries Complex*. Proc. of the XI Intern. Scient. and Pract.Conf. of Young Scientists and Specialists. Moscow: VNIRO Publish, 2023, pp. 75–77. (In Russ.). EDN: KNNXZF.

Zavarina L.O. *Biologiya i dinamika chislennosti kety (Oncorhynchus keta) severo-vostochnogo poberezh'ya Kamchatki. Avtoreferat discertacii kandidata biologicheskih nauk* [Biology and population dynamics of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) on the northeastern coast of Kamchatka. Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Moscow, 2008, 25 p.

Zavarina L.O., Shevlyakov E.A. A possible mechanism for the formation of cyclical abundance patterns in chum salmon year-classes off the northeastern coast of Kamchatka. *Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjusting Waters*: Proceedings of the 5th Scientific Conference (Petropavlovsk-Kamchatsky, November 22–24, 2004). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2004, pp. 52–55. (In Russ.)

Zikunova O.V., Dubynin V.A., Zavarina L.A., Shubkin S.V., Bugaev A.V. Trends in abundance, prediction, fishery management sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) and chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Kamchatka Territory. *Problems of Fisheries*, 2021, no. 4, pp. 75–85. (In Russ.) EDN: WZKPVQ. doi:10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85

Karpenko V.I. Growth variability of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) and chum salmon *Oncorhynchus keta* (Walbaum) during the coastal life stage. *Journal of Ikhtiology*, 1987, vol. 27, no. 2, pp. 230–238. (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.

Kostarev V.L. Influence of certain climatic factors on the efficiency of natural reproduction of Okhotsk chum salmon. *Izvestiya TINRO*, 1970, vol. 71, pp. 109–121. EDN: YUNLXK.

Levanidov V.Ya. *Ekosistemy lososevykh rek Dalnego Vostoka. Bespozvonochnyye zhivotnyye v ekosistemakh lososevykh rek Dalnego Vostoka* [Ecosystems of salmon rivers of the Far East. Invertebrates in ecosystems of salmon rivers of the Far East]. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1981, pp. 3–21.

Maksimenko V.P., Antonov N.P. Kolichestvennyye metody otsenki rybnykh zapasov [Quantitative methods of fish reserves evaluation]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2003, 256 p.

Mastitskiy S.E., Shitikov V.K. *Statisticheskiy analiz i vizualizatsiya dannykh s pomoshchyu R.* [Statistical Analysis and Data Visualization Using R.]. Moscow, 2015, 496 p.

Ostrovsky V.I. Methodological aspects of the stock-recruitment curve analysis. *Izvestiya TINRO.* 2021, vol. 201(1):219-259. (In Russ.) EDN: NABMGY. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-219-259

Ostrovsky V.I. Factors controlling the year-classes strength for chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Okhotsk district. *Izvestiya TINRO*, 2022, vol. 202 (4), pp. 810–827. (In Russ.) EDN: HXVMLB. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-810-827
Ostrovsky V.I. Problems of selection of explanatory variables for the dynamics of generation numbers of Pacific Salmon. *Problems of fisheries*, 2024, vol. 25, no. 4, pp. 63–76. (In Russ.) EDN: UZRBSJ. doi:10.36038/0234-2774-2024-25-4-63-76
Ostrovsky V.I., Ponomarev A.S. Ependence of number of chum salmon *Oncorhynchus keta* progeny in Okhotsky district on number of their parents and environments of reproduction. *Izvestiya TINRO*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 605–617. (In Russ.) EDN: NCTMU. doi:10.26428/1606-9919-2020-200-605-617
Pavlov D.S., Kirillova E.A., Kirillov P.I. Downstream migration in the juveniles of salmonids in the Utkholok River and in its tributaries (North-West Kamchatka). Part 2. Downstream migration in juveniles of the second and subsequent years of life. *Izvestiya TINRO*, 2010, vol. 163, pp. 3–44 (In Russ.) EDN: NTEWVZ.
Smetanin A.I. On the relationship between the downstream migration dynamics of salmonid juveniles in the Kichiga River (Northeastern Kamchatka) and cyclonic activity patterns. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 1991, vol. 1, pp. 127–132. (In Russ.)
Feldman M.G., Bugaev A.V. Modern principles of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) stocks management in the Kamchatka Region (population dynamics, forecasting, fishing regulation*). Problems of fisheries*, 2021, vol. 22, no. 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. *Izvestia TINRO*, 2015, vol. 182, pp. 88–114. (In Russ.) EDN: UYADMZ. doi:10.26428/1606-9919-2015-182-88-114
Feldman M.G., Shevlyakov E.A., Dubynin V.A. Estimation of the value, forecast and inventory management of Pacific salmon in the Kamchatka Region. *The current state and prospects for the development of salmon farming in the Far East of Russia:* Mater. scientific conf. (Yuzhno-Sakhalinsk, November 7–8, 2017)]. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2018, pp. 38–48. EDN: APOIFP.
Feldman M.G., Shevlyakov E.A., Zorbidi Zh.Kh. Forecasting the runs of Pacific Salmon (for example - a Coho salmon of the Western Kamchatka) on the base of “stock-recruitment” models and time series extrapolation simulations. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 34, pp. 87–106. (In Russ.) EDN: STAHDR.
Hilborn R., Walters C. Quantitative Methods for Fish Stock Assessment: Choice, Dynamics, and Uncertainties. Selected Chapters. Translated from English by V.P. Maksimenko; edited by V.S. Levin. St. Petersburg: Politekhnika, 2001, 228 p.
Shevlyakov E.A., Zavarina L.O. On the dynamics of abundance and stock forecasting methods for West Kamchatka chum salmon. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2004, vol. 7, pp. 181–186. EDN: YBCQDB.
Shuntov V.P., Temnykh O.S. Tikhookeanskie lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh [Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems]. Vladivostok: TINRO-Centre, 2008, vol. 1, 482 p.
Akaike H.A. New look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control., 1974, vol. 19, pp. 716–723.
Box G.E.P., Jenkins G.M. Time Series Analysis: Forecasting and Control. *Holden-Day*, 1970, pp. 553.
Haeseker S.L., Peterman R.M., Su Z. Retrospective Evaluation of Preseason Forecasting Models for Sockeye and Chum Salmon. *North American J. of Fisheries Management*, 2008, vol. 28, pp. 12–29. doi:10.1577/M06-287.1
Hyndman R.J., Koehler A.B., Ord J.K., Snyder R.D. Forecasting with Exponential Smoothing: The State Space Approach. Springer-Verlag, 2008. http://www.exponentialsmoothing.net/. doi:10.1007/978-3-540-71918-2
Peterman R.M. Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival. *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1982, vol. 39, pp. 1444–1452. doi:10.1139/f82-195
Schwarz G. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 1978, vol. 6, pp. 461–464.
Sugiura N. Further analysis of the data by Akaike’s information criterion and the finite corrections: Communications in Statistics. *Theory and Methods*, 1978, vol. A7, pp. 13–26.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данное исследование не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием живот-

ных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
The authors declare that this work 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
AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

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.В. Зикунова — канд. биол. наук,
зав. лабораторией лососевых рыб
Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО),
o.zikunova@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0007-6173-5667
В.А. Рябчун — канд. биол. наук, вед. науч.
сотрудник лаборатории лососевых рыб
Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО),
v.ryabchun@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0008-9075-8750
Е.А. Кириллова — канд. биол. наук,
вед. науч. сотрудник лаборатории лососевых
рыб Камчатского филиала ВНИРО
(КамчатНИРО); инженер лаборатории поведения низших позвоночных Института проблем
экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
(ИПЭЭ РАН),
e.kirillova@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0000-0002-0482-8353
Е.С. Фадеев — канд. биол. наук,
вед. науч. сотрудник лаборатории лососевых
рыб Камчатского филиала ВНИРО
(КамчатНИРО),
e.fadeev@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0000-0001-5469-7382

Information about the authors
Olga V. Zikunova – Ph. D. (Biology),
Head of the Lab. of Salmonid Fishes
(KamchatNIRO),
o.zikunova@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0007-6173-5667
Veronika A. Ryabchun – Ph. D. (Biology),
Leading Researcher of the Lab.
of Salmonid Fishes (KamchatNIRO),
v.ryabchun@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0008-9075-8750
Elizaveta A. Kirillova – Ph. D. (Biology),
Leading Researcher of Pacific Salmon sector
(KamchatNIRO); Research Engineer in the Lab.
of Lower Vertebrates Behaviour, Severtsov
Institute of Ecology and Evolution of the Russian
Academy of Sciences (IEE RAS),
e.kirillova@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0000-0002-0482-8353
Evgeny S. Fadeev – Ph. D. (Biology),
Leading Researcher of the Lab.
of Salmonid Fishes (KamchatNIRO),
e.fadeev@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0000-0001-5469-7382

Статья поступила в редакцию / Received:
20.05.2026
Одобрена после рецензирования / Revised:
04.06.2026
Статья принята к публикации / Accepted:
14.08.2026

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 59–66.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 59–66.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 551.46.09(265.51)
doi:10.15853/2072-8212.2026.80.59-66
EDN: UXQNJW

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ БЕРИНГОВА МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД (НОЯБРЬ–МАРТ) 1949–2024 ГГ.

Гофман Радмила Владимировна

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

Аннотация. В статье исследована изменчивость температурных и ледовых условий Берингова моря в зимний период (ноябрь–март) с 1949 по 2024 гг. Проанализированы линейные тренды и аномалии температуры поверхности моря, приземной температуры воздуха и ледовитости, а также их связь с климатическими индексами. Полученные результаты свидетельствуют о долгосрочном тренде к повышению температуры и постепенному сокращению ледяного покрова, сопровождаемому значительной межгодовой вариабельностью. Проведенное исследование подчеркивает важность продолжения мониторинга и анализа выбранного региона для оценки последствий климатических изменений в будущем.

Ключевые слова: Берингово море, температура поверхности моря, ледовитость, приземная температура воздуха, линейные тренды, многолетняя изменчивость, климатические индексы

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Гофман Р.В. Изменчивость температурных и ледовых условий Берингова моря в зимний период (ноябрь–март) 1949–2024 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 59–66. EDN: UXQNJW. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.59-66

VARIABILITY OF TEMPERATURE AND ICE CONCENTRATION IN THE BERING SEA IN WINTER (NOVEMBER–MARCH) FOR THE PERIOD 1949–2024

Radmila V. Gofman

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

Abstract. The article examined a variability of temperature and sea ice concentration in the Bering Sea in winter (November–March) for the period from 1949 to 2024. Analysis of linear trends and anomalies of sea surface temperature, surface air temperature and sea ice concentration and relationship of the parameters with climatic indices ismade. The results obtained demonstrate a long-term trend to temperature increase and a gradual reduction of ice cover, accompanied by significant inter-annual variability. The study showsan importance to continue monitoring and analysis in mentioned region forassessment of potential effects from climate changes in future.

Keywords: Bering Sea, sea surface temperature, sea ice concentration, surface air temperature, linear trends, long-term variability, climatic indices

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Gofman R.V. Variability of temperature and ice concentration in the Bering Sea in winter (November–March) for the period 1949–2024 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 59–66. (In Russ.) EDN: UXQNJW. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.59-66

Берингово море — самое северное окраинное море Дальневосточного бассейна, являющееся важным районом морского промысла. Термическое состояние и ледовый режим выступают основными факторами, определяющими условия обитания гидробионтов, продуктивность экосистем и интенсивность промысла.

Температурный режим моря зимой отличается пространственной изменчивостью, что определяется контрастностью влияния холодной Евразии и относительно теплого Тихого океана. Продолжительность ледового периода в Беринговом море, как и в других дальневосточных морях, обусловлена неравномерным развитием и разрушением ледяного покрова. В зависимости от суровости зимы и от района моря, ледовитость может сохраняться круглогодично (Плотников, Якунин, 1999).

© Гофман Р.В., 2026

Благодаря своему расположению на севере Тихого океана и сообщению с Чукотским морем через Берингов пролив, этот регион аккумулирует климатические особенности как Тихого, так и Северного Ледовитого океана. В настоящее время в Арктике происходит трансформация температурных и ледовых условий из-за глобального изменения климата. В 1990-е гг. начался рост приповерхностной температуры воздуха, достигший максимума в 2012 г. Одновременно происходило ускоренное сокращение арктического морского ледяного покрова в конце летнего периода, завершившееся самым глубоким минимумом в сентябре 2012 г. (Алексеев и др., 2015).

Исследованием (Вакульская и др., 2014) выявлена сопряженность ледовых условий в Беринговом и Чукотском морях. Прямые доказательства изменений в Беринговом море подтверждают выводы многочисленных публикаций об изменчивости его гидрометеорологических характеристик. Например, выявлен отрицательный линейный тренд в многолетней изменчивости ледовитости, что свидетельствует о смягчении ледовых условий в море (Плотников, Вакульская, 2012). В своей работе Г.В. Хен с соавторами (2008) показали, что реакция Берингова моря на глобальные процессы носит сложный сезонный характер: если в зимний и весенний периоды до 1980-х гг. наблюдался рост температуры, сменившийся затем похолоданием, то в летний сезон, напротив, произошла смена тренда с отрицательного на положительный. При этом лишь осенний сезон демонстрировал устойчивый рост температуры на протяжении всей второй половины XX века. Позднее в исследовании (Хен и др., 2022), охватывающем 1950–2019 гг., эти выводы получили дальнейшее развитие: во все сезоны года температура поверхности воды в Беринговом море повышалась, при этом наиболее ярко тренды выражены зимой и осенью. Авторами установлено, что значительный вклад в изменчивость температуры Берингова моря вносит Тихоокеанская декадная осцилляция (PDO), а зимой и весной значимую роль играют индекс Алеутского минимума (ALPI) и Тихоокеанско-Североамериканский паттерн (PNA). Однако комплексного анализа многолетней изменчивости температуры поверхности моря, приземной температуры воздуха и ледовитости полной акватории Берингова моря с учетом новых данных до сих пор не проводилось.

Цель работы — оценить многолетнюю изменчивость аномалий и тенденций температурных и ледовых характеристик Берингова моря и выявить их взаимосвязь с климатическими индексами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для работы послужили данные реанализа NOAA NCEP-NCAR CDAS-1: Climate Data Assimilation System I; NCEP-NCAR Reanalysis Project (Kalnay et al., 1996) — среднемесячные значения температуры воздуха (ТВ) на высоте 2 м, температуры поверхности моря (ТПМ) и ледовитости. Данные были получены из библиотеки климатических данных The IRI Data Library (https://iridl.ldeo.columbia.edu/) для 97 точек акватории Берингова моря, покрывающих сетку с шагом ≈2,0° широты и 1,875° долготы (рис. 1).

Для каждого узла сетки были рассчитаны аномалии ТПМ, ТВ и ледовитости, полученные ряды аномалий были усреднены для всей акватории Берингова моря. Из анализа аномалий исключен 1949 г. из-за отсутствия данных за ноябрь–декабрь 1948 г.

Оценка величины линейного тренда рассчитана для каждой точки моря по принятым формулам (Малинин, 2020). Статистическую значимость трендов проверяли с помощью t-статистики и критерия Фишера. Для проверки коэффициентов корреляции на значимость был выбран критерий Стьюдента при уровне значимости 0,05.

Климатические индексы служат количественными характеристиками дальних связей в атмосфере и океане, имеющих два или более центра. Каждый индекс отражает интенсивность и фазу крупномасштабных климатических структур. Важную роль в прогнозировании и анализе гидрометеорологических параметров играют именно физические процессы, стоящие за этими структурами, тогда как индексы служат удобным инструментом для их мониторинга и сравнения. В работе были использованы следующие индексы:

1. **NPGO** (North Pacific Gyre Oscillation) — индекс Северо-Тихоокеанского колебания, которое впервые было описано в работе Emanuele Di Lorenzo et al. (2008). Климатическая мода, которая проявляется как вторая доминирующая составляющая изменчивости высоты поверхности моря в северо-восточной части Тихого океана. Описывает изменения температуры поверхности воды в северной части Тихого океана, а также оказывает комплексное влияние на атмосферу и региональные крупномасштабные океанические течения.

Источник: https://www.o3d.org/npgo/.

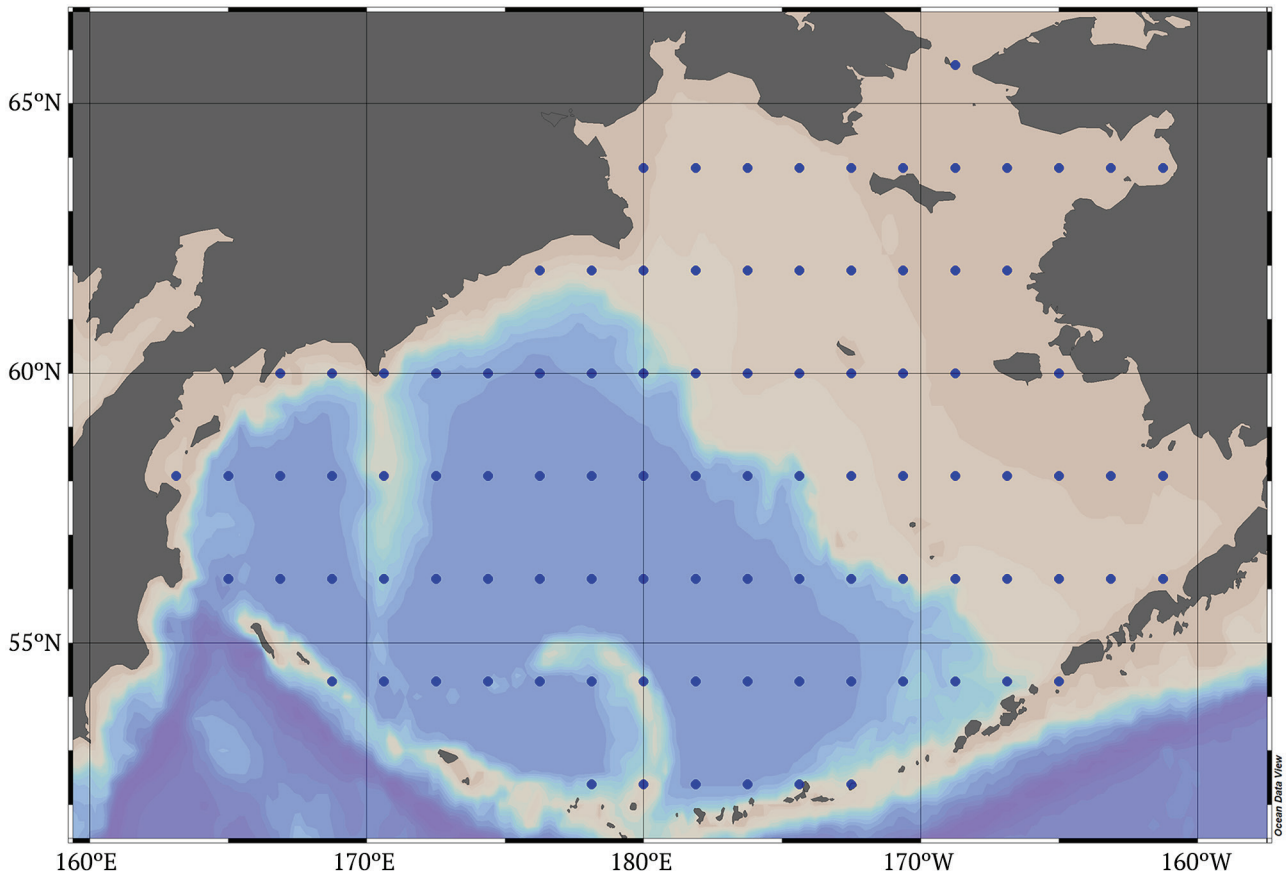


Рис. 1. Точки в Беринговом море
Fig. 1. Points in the Bering Sea

2. **PNA** (The Pacific/North American pattern) — Тихоокеанско-Североамериканская дальняя связь в атмосфере. PNA представляет собой одну из главных мод низкочастотной атмосферной изменчивости во внетропических широтах Северного полушария и отражает структуру атмосферной циркуляции над северо-восточной частью Тихого океана и Северной Америкой.

Источник: https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/pna/.

3. **Nino 3.4** (El Nino – Southern Oscillation, ENSO) — Эль-Ниньо, Южное колебание. Его индекс представляет собой аномалию температуры поверхности экваториальной части Тихого океана для района с 5° с. ш. до 5° ю. ш. и со 170 до 120° з. д. Южное колебание Эль-Ниньо — природное явление, которое возникает в результате взаимодействия атмосферы и океана в экваториальной части Тихого океана. Изменение температуры поверхности моря влияет на количество осадков и поверхностные ветры, что, в свою очередь, оказывает воздействие на течения и температуру поверхности моря. Эти взаимодействия создают положительную обратную связь, в которой каждое изменение, как правило, способствует дальнейшим изменениям.

Источник: https://psl.noaa.gov/data/timeseries/month/DS/Nino34_CPC/.

4. **PDO** (Pacific Decadal Oscillation) — Тихоокеанская декадная осцилляция, впервые описанная во второй половине 1990-х годов (Mantua et al., 1997). PDO часто описывается как долгоживущая, подобная Эль-Ниньо, мода изменчивости климата в Тихом океане (Zhang et al., 1997). PDO классифицируется на теплые или холодные фазы, что определяется аномалиями температуры океана. Когда температура поверхности моря аномально низкая в открытых водах северной части Тихого океана и высокая вдоль тихоокеанского побережья, а атмосферное давление ниже среднего уровня над северной частью Тихого океана, индекс PDO имеет положительное значение. Когда аномальные климатические условия меняются местами, т. е. наблюдаются теплые аномалии температуры поверхности моря в открытой части океана и холодные аномалии вдоль североамериканского побережья, а давление на уровне моря в северной части Тихого океана превышает средний уровень, значение индекса PDO становится отрицательным (Mantua, 1999).

Источник: https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/pdo/.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов, полученных в ходе исследования, свидетельствует о наличии трендов температурных и ледовых условий в Беринговом море с 1949 по 2024 год. За рассматриваемый период значимые линейные тренды наблюдаются для 18 из 97 точек ледовитости, а также для 30 точек температуры поверхности моря и 30 точек приземной температуры воздуха. На рисунке 2 представлены значимые линейные тренды, которые позволяют оценить изменение параметра в определенной точке каждые 10 лет в границах всего исследуемого периода.

Тренд к повышению ТВ и ТПМ наблюдается на юге возле Алеутских островов и в северной части моря, которые подвержены влиянию арктических и тихоокеанских вод. Положительные температурные тренды указывают на увеличение среднегодовых температурных значений, что будет способствовать сокращению ледового сезона по продолжительности и площади. В прикамчатской части Берингова моря, в южной части Карагинского залива и вдоль береговой зоны между м. Наварин и м. Олюторским наблюдается тенденция к понижению температуры поверхности моря и росту ледовитости.

Регион Берингова моря, в котором наблюдаются самые заметные изменения (отрицательные тренды ледовитости и положительные тренды температуры) — Анадырский залив. Например, в точке с координатами 178°7′ з. д. 63° 5′ с. ш. следующие тренды: ледовитости — минус 4,5% / 10 лет, ТВ — 0,5 °С / 10 лет, ТПМ — 0,7 °С / 10 лет (рис. 2).

Что касается аномалий (рис. 3), то здесь наблюдается высокая межгодовая вариабельность на протяжении 75 лет, что доказывает невысокая величина достоверности аппроксимации.

Экстремальный минимум ледовитости со значением аномалии минус 12,6% был зафиксирован в 2018 г. В работе наших коллег (Басюк, Зуенко, 2019) был сделан вывод о том, что основной причиной формирования экстремальных условий в Беринговом море в 2018 г. стало преобладание зимой южных ветров над всей акваторией моря, что привело к усиленной адвекции океанических вод, еще сохранявших тепло после аномального потепления северо-востока Тихого океана в 2014–2016 гг.

Максимум ледовитости был отмечен в 2012 г. со значением аномалии 9,9%. Сравнивая максимальную и минимальную ледовитость (рис. 4), можно сделать вывод о том, что рассматриваемый тренд к сокращению ледовитости проявляется не только в уменьшении пло-

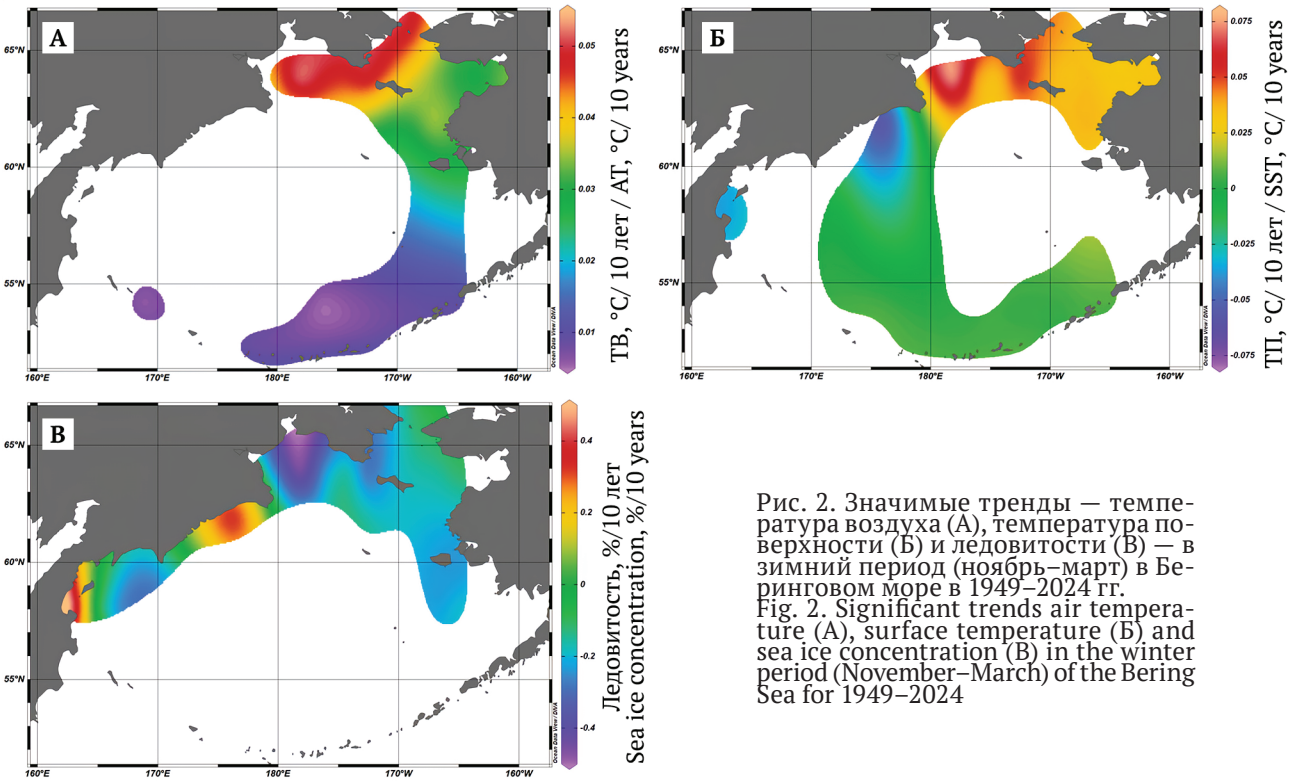


Рис. 2. Значимые тренды — температура воздуха (А), температура поверхности (Б) и ледовитости (В) — в зимний период (ноябрь–март) в Беринговом море в 1949–2024 гг.
Fig. 2. Significant trends air temperature (A), surface temperature (Б) and sea ice concentration (B) in the winter period (November–March) of the Bering Sea for 1949–2024

щади льда, но и в сокращении продолжительности ледового сезона. Такие изменения могут привести к трансформации морской экологической системы региона. В частности, сокращение ледового сезона и повышение температуры воды могут оказать влияние на развитие фитопланктона и зоопланктона, миграционные маршруты рыбы, а также на популяции

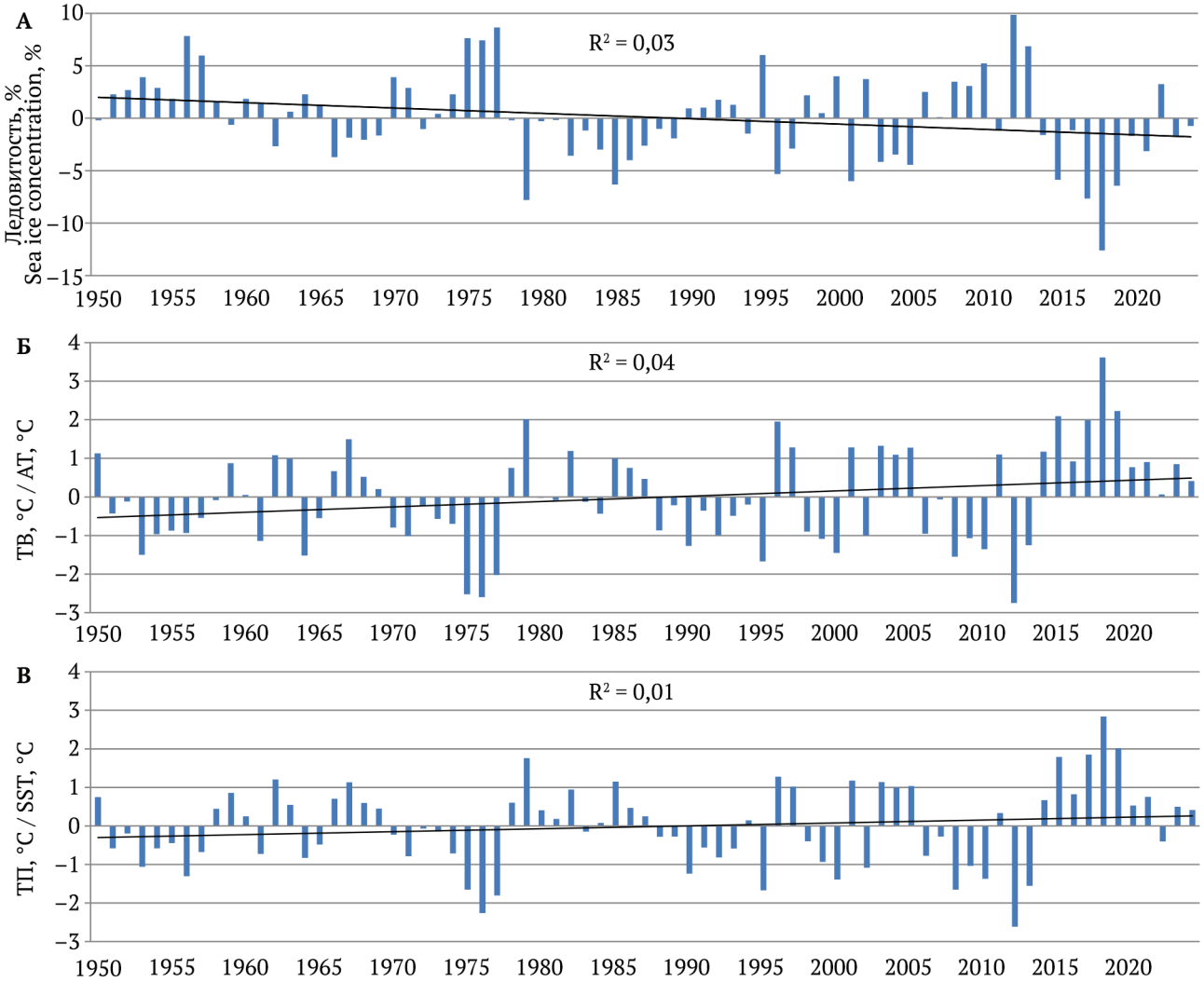


Рис. 3. Многолетний ход средних за ноябрь–март аномалий, их линейные тренды и величина достоверности аппроксимации (R^2) в Беринговом море в период с 1950 по 2024 г.: А — средняя за ноябрь–март аномалия ледовитости; Б — средняя за ноябрь–март аномалия ТВ; В — средняя за ноябрь–март аномалия ТП
Fig. 3. The long-term average anomalies in November–March, their linear trends and R-squared value (R^2) in the Bering Sea from 1949 to 2024: A is the average for November–March of the sea ice concentration anomaly; Б is the average for November–March of the air temperature anomaly; B is the average for November–March of the surface temperature anomaly

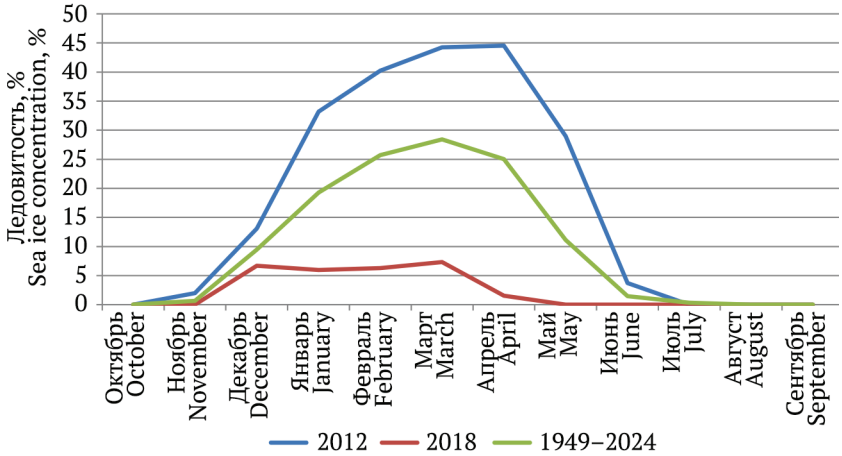


Рис. 4. Распределение ледовитости в 2012 г., 2018 г. и средней за период 1949–2024 гг., % от общей площади моря
Fig. 4. Distribution of sea ice concentration in 2012, 2018 and average for 1949–2024, % of total sea area

морских млекопитающих (Siddon et al., 2020). В результате велика вероятность трансформации пищевых цепочек и экосистемных взаимодействий, что потенциально может иметь долгосрочные последствия для рыболовной промышленности, являющейся важной составляющей экономики России и США. Например, причиной неполного освоения наваги в 2020–2024 гг. в юго-западной части Берингова моря стали сложившиеся на фоне аномально «теплых» лет неблагоприятные ледовые условия для постановки вентерей, которые отразились на значительном сокращении возможного периода для промысла данного вида (Новикова, Тепнин, 2025).

Статистически значимые линейные связи между средними за ноябрь–март аномалиями рассмотренных гидрометеорологических характеристик и индексами PNA и Nino 3.4 не обнаружены (табл. 1). Это свидетельствует о слабом влиянии Тихоокеанско-Североамериканской дальней связи на локальную температурную и ледовую изменчивость в данном временном интервале. Влияние Эль-Ниньо (Nino 3.4) не проявилось, что может быть связано с задержкой воздействия в несколько месяцев, делающей прямую корреляцию неточной.

Для индекса PDO выявлены значимая положительная корреляция с аномалиями ТПМ и значимая отрицательная связь с аномалией ледовитости, что указывает на роль Тихоокеанской декадной осцилляции в формировании региональных условий.

Индекс NPGO, напротив, демонстрирует отрицательную корреляционную связь с ТВ и ТПМ, что означает, что при положительной фазе NPGO наблюдается понижение температуры. Напротив, отрицательные значения индекса связаны с потеплением. Между NPGO и ледовитостью наблюдается прямая связь. Таким образом, рост индекса NPGO сопровождается увеличением площади ледяного покрова, в то время как снижение индекса указывает на уменьшение ледовитости. Среди всех представленных в табл. 1 климатических индексов, именно NPGO, который отражает динамику крупномасштабных океанических круговоротов северной части Тихого океана, имеет наиболее сильную корреляцию с исследуемыми параметрами морской среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Берингово море, расположенное на севере Тихого океана и сообщающееся с Арктическим бассейном, за последние 7,5 десятилетий продемонстрировало заметный отклик гидрометеорологических характеристик на Глобальное потепление. Проведенный анализ подтверждает, что в период с 1949 по 2024 г. в южной и северной частях Берингова моря наблюдается выраженный тренд к повышению температуры поверхности моря и воздуха. Исключениями являются южная часть Карагинского залива и прибрежные воды между м. Наварин и м. Олюторским, где зафиксированы значимые тренды к понижению ТПМ и повышению ледовитости. При осреднении аномалий по всей акватории Берингова моря установлено отсутствие значимых линейных трендов на фоне высокой межгодовой вариабельности.

При сопоставлении средних за ноябрь–март аномалий гидрометеорологических условий и климатических индексов были выявлены как слабые, так и значимые связи. Значимые корреляции наблюдаются с индексами PDO и NPGO. Знак корреляционной связи с NPGO подтверждает внутреннюю физическую связность процессов «повышение температуры – уменьшение ледовитости» в анализируемом массиве данных. Индекс PDO, напротив, показывает положительную корреляцию с температурой поверхности и отрицательную — с ледовитостью, выступая фактором, рост которого способствует потеплению и сокращению ледяного покрова.

Потепление и уменьшение ледового покрова могут оказывать влияние как на саму морскую экосистему, так и на хозяйственную деятельность человека, связанную с ней.

Полученные результаты подчеркивают необходимость продолжения мониторинга климатических изменений и совершенствования

Таблица 1. Коэффициенты корреляции (R^2) между средними за ноябрь–март аномалиями и зимними климатическими индексами за исследуемый период 1949–2024 гг. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции (при $p < 0,05$)
Table 1. Correlation between average annual anomalies and winter climatic indices for the period 1949–2024. Significant correlation ($p < 0,05$) are shown in bold font

Аномалии/индексы Annomalies/indices	PNA	Nino 3.4	NPGO	PDO
ТВ / AT	–0,14	0,10	**–0,44**	0,16
ТП / SST	–0,06	0,15	**–0,42**	**0,26**
Ледовитость / Sea ice concentration	0,02	–0,09	**0,33**	**–0,23**

моделей прогноза для более точного прогнозирования будущих изменений в условиях Берингова моря и соседних регионов.

Оценки изменчивости температурных и ледовых условий могут быть использованы для повышения эффективности промыслового прогнозирования и мониторинга климатических изменений в Дальневосточном бассейне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. 2015. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (103). С. 32–41. EDN: TXNZVD.

Басюк Е.О., Зуенко Ю.И. 2019. Берингово море: 2018 — экстремально малоледовитый и теплый год // Изв. ТИНРО. Т. 198. С. 119–142. EDN: DRRRKW. doi:10.26428/1606-9919-2019-198-119-142

Вакульская Н.М., Плотников В.В., Пустошнова В.И. 2014. Сопряженность ледовых условий Берингова моря с ледовыми условиями в морях восточного сектора Арктики и Тихоокеанского бассейна // Вестник ДВО РАН. № 5 (177). С. 18–24. EDN: TNDOBT.

Малинин В.Н. 2020. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации : Учеб. пособие. СПб.: РГГМУ. С. 233–270. EDN: IQRLBY.

Новикова О.В., Тепнин О.Б. 2025. Промысел и биологическая характеристика тихоокеанской наваги *Eleginus gracilis* из вентерных уловов в юго-западной части Берингова моря в 2005–2024 гг. // Вопр. рыболовства. Т. 26, № 3. С. 139–154. EDN: IGXWZS. doi:10.36038/0234-2774-2025-26-3-139-154

Плотников В.В., Вакульская Н.М. 2012. Изменчивость ледовых условий Берингова моря во второй половине XX – начале XXI века // Изв. ТИНРО. Т. 170. С. 220–228.

Плотников В.В., Якунин Л.П. 1999. Ледовые условия Берингова моря и их прогнозирование // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 10: Берингово море, вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 248 с.

Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л. 2008. Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувековой изменчивости // Изв. ТИНРО. Т. 153. С. 254–263. EDN: JVUIRJ.

Хен Г.В., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. 2022. Многолетние изменения термических условий на поверхности дальневосточных морей и СЗТО и их связь с крупномасштабными климатическими процессами // Изв. ТИНРО. Т. 202 (1). С. 187–207. EDN: YIQZHK. doi:10.26428/1606-9919-2022-202-187-207

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.* Vol. 35, L08607. doi:10.1029/2007GL032838

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. Vol. 77. P. 437–447. EDN: SNBWXR. doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

Mantua N.J. 1999. The Pacific Decadal Oscillation. A brief overview for non-specialists, Encyclopedia of Environmental Change.

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. Amer. Meteor. Soc. Vol. 78, No. 6. P. 1069–1079. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2

Siddon E.C., Zador S.G., Hunt G.L. 2020. Ecological responses to climate perturbations and minimal sea ice in the Northern Bering Sea // Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography. Vol. 181–182. 104914. EDN: KKJNDP. doi:10.1016/j.dsr2.2020.104914

Zhang Yu., Wallace J.M., Battisti D.S. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93 // J. of Climate. Vol. 10. P. 1004–1020. doi:10.1175/1520-0442(1997)010

REFERENCES

Alekseev G.V., Radionov V.F., Alexandrov E.I., Ivanov N.E., Kharlanenkova N.E. Climate changein the Arctic under global warming. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2015, 1 (103), pp. 32–42. (In Russ.) EDN: TXNZVD.

Basyuk E.O., ZuenkoYu.I. Bering Sea: 2018 as the extreme low-ice and warm year. *Izvestiya TINRO*, 2019, vol. 198, pp. 119–142. (In Russ.) EDN: DRRRKW. doi:10.26428/1606-9919-2019-198-119-142

Vakulskaya N.M., Plotnikov V.V., Pustoshnova V.I. The conjugacy of ice conditions of the Bering Sea with ice conditions in the seas of East Arctic sector and the Pacific Basin. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2014, 5, pp. 18–24. (In Russ.) EDN: TNDOBT.

Malinin V.N. *Statisticheskie metodi analiza gidrometeorologicheskoi informacii: Ucheb. posobie* [Statistical methods for analyzing hydrometeorological information: A Study Guide]. Saint Petersburg: RSHU, 2020, pp. 233–270. (In Russ.) EDN: IQRLBY.
Novikova O.V., Tepnin O.B. Fishery and biological characteristics of Pacific navaga *Eleginus gracilis* from trap net catches in the south-western part of the Bering Sea in 2005–2024. *Problems of Fisheries*, 2025, vol. 26, № 3, pp. 139–154. (In Russ.) EDN: IGXWZS. doi:10.36038/0234-2774-2025-26-3-139-154
Plotnikov V.V., Vakulskaya N.M. Variability of ice conditions in the Bering Sea in the second half of 20 century and the beginning of 21 century. *Izvestiya TINRO*, 2012, vol. 170, pp. 220–228. (In Russ.) EDN: PDQWOT.
Plotnikov V.V., Yakunin L.P. The ice conditions of the Bering Sea and their prediction, in *Gidrometeorologiya i gidrohimiya morei. T. 10: Beringovo more, Gidrometeorologicheskie usloviya* [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas, vol. 10: The Bering Sea, Hydrometeorological Conditions]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1999, 248 p. (In Russ.)
Khen G.V., Basyuk E.O., Sorokin Yu.D., Ustinova E.I., Figurkin A.L. Surface thermal conditions in the Bering and Okhotsk Seas in the early 21 century against previous semi-centennial changes. *Izvestiya TINRO*, 2008, vol. 153, pp. 254–263. (In Russ.) EDN: JVUIRJ.
Khen G.V., Ustinova E.I., Sorokin Yu.D. Long-term changes in thermal conditions on the surface of the Far-Eastern Seas and North-West Pacific and their relationship with large-scale climate processes. *Izvestiya TINRO*, 2022, vol. 202 (1), pp. 187–207. (In Russ.) EDN: YIQZHK. doi: 10.26428/1606-9919-2022-202-187-207
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, vol. 35, L08607. doi:10.1029/2007GL032838
Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds B., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, March, 1996, vol. 77, pp. 437–447. EDN: SNBWXR. doi:10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2
Mantua N.J. The Pacific Decadal Oscillation. A brief overview for non-specialists. *Encyclopedia of Environmental Change*, 1999.
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. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, vol. 78, no. 6, pp. 1069–1079. doi:10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2
Siddon E.C., Zador S.G., Hunt G.L. Ecological responses to climate perturbations and minimal sea ice in the Northern Bering Sea. *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2020, vol. 181–182, 104914. doi:https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104914
Zhang Yu., Wallace J.M., Battisti D.S. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*, 1997, vol. 10, pp. 1004–1020. doi:10.1175/1520-0442(1997)010<1004:ELIV>2.0.CO;2

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Автор заявляет, что данная статья 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 article 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).

Информация об авторе
Р.В. Гофман — ведущий инженер, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
r.gofman@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0007-7248-2853

Information about the author
Radmila V. Gofman – Leading Engineer, Kamchatka Branch of VNIRO (KamchatNIRO),
r.gofman@kamniro.vniro.ru.
ORCID: 0009-0007-7248-2853

Статья поступила в редакцию / Received:
23.03.2026
Одобрена после рецензирования / Revised:
18.05.2026
Статья принята к публикации / Accepted:
09.06.2026

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 67–78.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 67–78.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 597.315.51(265.5)
doi:10.15853/2072-8212.2026.80.67-78
EDN: ZIYNDR

НОВЫЕ ДАННЫЕ О *CENTROSCYLLIUM EXCELSUM* (ETMOPTERIDAE) — ЭНДЕМИКЕ ПОДВОДНЫХ ГОР ИМПЕРАТОРСКОГО ХРЕБТА

Курбанов Юрий Каримович[1], Михалютин Евгений Анатольевич[2]

[1]*Петропавловск-Камчатский, Россия, gremlin__91@mail.ru*
[2]*Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, e.mihalyutin@kamniro.vniro.ru*

Аннотация. По материалам, собранным в ходе ярусного промысла на подводных поднятиях в центральной и южной частях Императорского хребта, приведены новые сведения о встречаемости, распределении и некоторых чертах биологии малоизученной акулы *Centroscyllium excelsum*. Показано, что этот вид является обычным представителем хрящевых рыб в талассобатиали исследованного района. Его особи отмечены на вершинах и свальной области гор Джингу, Оджин, Лира и Коко на глубинах 451–1068 м, наибольшие уловы характерны для диапазона 801–1000 м. В уловах *C. excelsum* был представлен особями длиной 40–68 см, массой 260–1960 г. Предположительно в пределах Императорского хребта для него характерна пространственная дифференциация молоди и взрослых рыб.

***Ключевые слова*:** *Centroscyllium excelsum*, Etmopteridae, встречаемость, распределение, уловы, талассобатиаль, гайоты, Императорский хребет

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Курбанов Ю.К., Михалютин Е.А. Новые данные о *Centroscyllium excelsum* (Etmopteridae) — эндемике подводных гор Императорского хребта // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 67–78. EDN: ZIYNDR. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.67-78

NEW DATA ABOUT *CENTROSCYLLIUM EXCELSUM* (ETMOPTERIDAE), AN ENDEMIC OF THE EMPEROR SEAMOUNTS

Yuri K. Kurbanov[1], Eugeny A. Michalutin[2]

[1]*Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, gremlin__91@mail.ru*
[2]*Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky, e.mihalyutin@kamniro.vniro.ru*

Abstract. Based on data collected during longline fishing in the guyots of the central and southern parts of the Emperor Seamounts, new information is presented on the frequency of occurrence, distribution, and some biological characteristics of the poorly studied highfin dogfish *Centroscyllium excelsum*. This species has been shown to be a permanent resident of cartilaginous fishes in the thalassobathial zone within the research area. Individuals of *C. excelsum* were found on the summits and slopes of Mounts Jingu, Ojin, Lira, and Koko at depths of 451–1068 m, with the largest catches recorded in the 801–1000 m range. Their body length in the catches ranged from 40–68 cm, and their body weight from 260–1960 g. Within the Emperor Seamounts, this species presumably exhibits spatial differentiation between juveniles and adults.

Keywords: *Centroscyllium excelsum*, Etmopteridae, occurrence, distribution, catches, thalassobathial, guyots, Emperor Seamounts

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Kurbanov Yu.K., Michalutin E.A. New data about *Centroscyllium excelsum* (Etmopteridae), an endemic of the Emperor Seamounts // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 67–78. (In Russ.) EDN: ZIYNDR. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.67-78

Ихтиофауна хрящевых рыб Императорского подводного хребта насчитывает около 40 видов. Из них наибо́льшим таксономическим разнообразием обладают представители семейства собачьих акул (Etmopteridae), в число которых входят: *Etmopterus pusillus* (Lowe, 1839), *E. lucifer* Jordan et Snyder, 1902, *E. villosus* Gilbert, 1905, *E. bigelowi* Shirai et Tachikawa, 1993, *E. parini* Dolganov et Balanov, 2018, *E. lailae* Ebert, Papastamatiou, Kajiura, Wetherbee, 2017 и *Cen-*

© Курбанов Ю.К., Михалютин Е.А., 2026

troscyllium excelsum Shirai et Nakaya, 1990 (Долганов и др., 2006; Долганов, 2023; Shirai, Tachikawa, 1993; Ebert et al., 2017). Последний из перечисленных видов является эндемиком талассобатиальной зоны Императорского хребта (Shirai, Nakaya, 1990; Hatooka, 2002). О биологии и экологии *C. excelsum* практически ничего не известно, а имеющиеся в литературе сведения крайне скудны и отрывочны (Сомов и др., 2019; Shirai, Nakaya, 1990; Rigby et al., 2021a).

Как показали результаты мониторинговых исследований на ярусном промысле морского монаха *Erilepis zonifer* (Lockington, 1880), летом 2009 г. в районе Императорского хребта среди регулярных и часто встречающихся видов прилова оказался *C. excelsum* (рис. 1). В результате был собран материал, который позволяет представить новые сведения об этом малоизученном виде акул. Цель предлагаемой работы — охарактеризовать встречаемость, распределение и некоторые черты биологии *C. excelsum* на подводных горах Императорского хребта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собран в ходе мониторинга специализированного ярусного промысла *E. zonifer* в июне–июле 2009 г. на центральных и южных подводных горах (гайотах) Императорского хребта (Нинтоку, Джингу, Оджин, Лира и Коко) (рис. 2) на судах типа СЯМ (средний ярусник морозильный): «Аланетт» и «Антиас». Промысловые работы выполняли круглосуточно. Скорость судов во время постановок порядков варьировала в пределах 5,0–6,0 узлов. В качестве наживки использовали мороженую сельдь. Всего было выполнено 412 ярусо-постановок на глубинах от 371 до 1197 м (табл. 1).

Продолжительность застоя порядков за весь период работ варьировала от 1 ч 40 мин до 23 ч 10 мин и в среднем на горах составила: Нинтоку — 8 ч 50 мин, Джингу — 6 ч 50 мин, Оджин — 5 ч 15 мин, Лира — 4 ч 50 мин, Коко — 4 ч 10 мин.

Видовую идентификацию пойманных акул проводили с помощью определителя, составленного Т. Накабо (Nakabo, 2002). От близких видов (например, *E. pusillus* и *E. lucifer*) *C. excelsum* отличается более вытянутым рылом, дугообразной ротовой щелью, высоким первым спинным плавником, отсутствием темных брюшных и хвостовых отметин, а также наличием кожных шипиков «зернистой» формы, которые расположены редко и беспорядочно, и только на верхней части головы и дорсальной стороне тела. Все перечисленные признаки позволили надежно его отличить от других представителей семейства Etmopteridae.

Частоту встречаемости *C. excelsum* оценивали числом результативных ярусных постановок (% от общего числа), в уловах которых он наблюдался. В качестве основного показателя обилия вида использовали стандартное промысловое усилие — экз. (кг) на 1000 крючков. Дополнительно все уловы были пересчитаны как величина, полученная за 1 ч застоя ярусного порядка. Затем полученные величины усредняли по диапазонам глубин с учетом и тех ярусных порядков, в уловах которых вид отсутствовал. Среднюю массу по глубинам рассчитывали как отношение суммарной массы особей к их общему числу в уловах.

Биологическая характеристика *C. excelsum* дана по результатам измерений абсолютной длины (*TL*) и индивидуальных взвешиваний 79 особей, пойманных на гайотах Лира и Коко. Из них у 48 экз. визуально определен пол (по наличию или отсутствию птеригоподий, что позволило отличить самцов от самок). Соотношение между длиной и массой тела *C. excelsum* рассчитывали, используя степенную зависимость: $W = aTL^b$, где W — масса (г), TL — длина (см), a — константа, b — степенной коэффициент (Винберг, 1971).

Рис. 1. Особь *Centroscyllium excelsum TL* 63,7 см, пойманная в районе подводных гор Императорского хребта летом 2009 г.
Fig. 1. *Centroscyllium excelsum* individual with the body length 63.7 cm, caught over the guyots of the Emperor Seamounts in summer of 2009

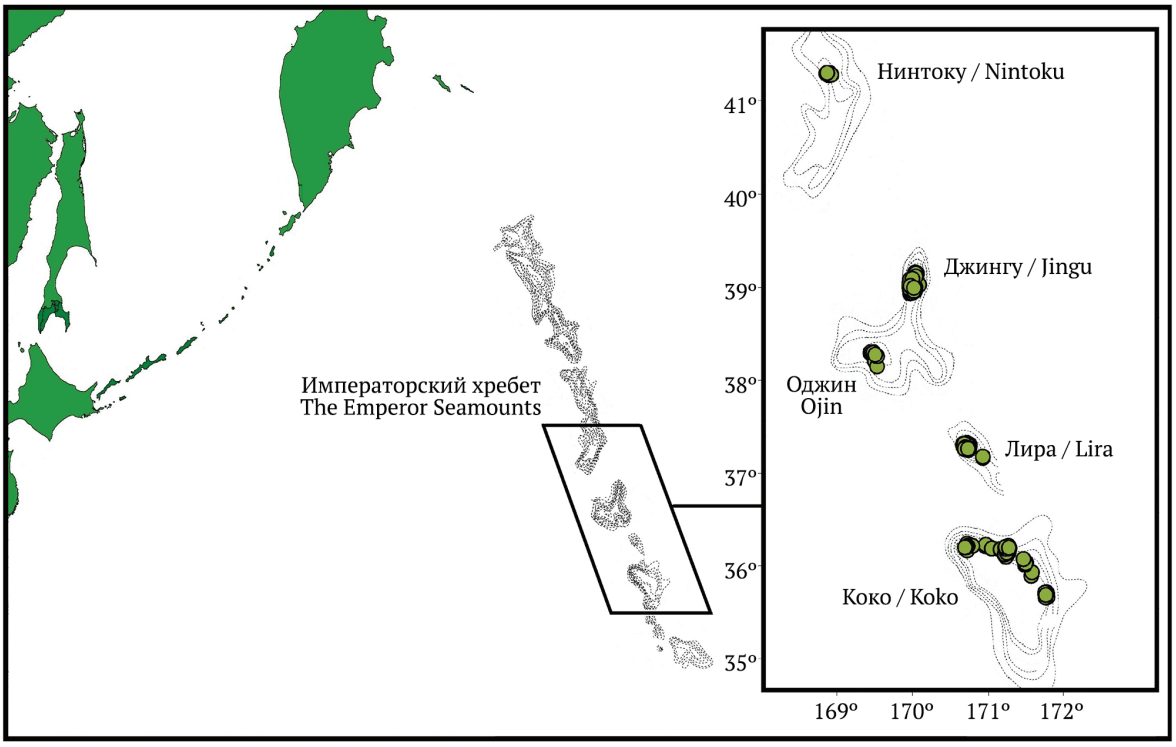


Рис. 2. Места проведения ярусных работ (•) на подводных горах Императорского хребта летом 2009 г.
Fig. 2. Sites of longlining (•) over the guyots of the Emperor Seamounts in summer of 2009

Таблица 1. Число ярусных порядков, выставленных в различных диапазонах глубин на подводных горах Императорского хребта летом 2009 г.
Table 1. Number of the longline orders set in different depth ranges over the guyots of the Emperor Seamounts in summer of 2009

Глубины, м Depths, m	Гора / Guyot				
	Нинтоку / Nintoku	Джингу / Jingu	Оджин / Ojin	Лира / Lira	Коко / Koko
<400					1
400–500					19
501–600				43	57
601–700				77	19
701–800				21	14
801–900		76		2	2
901–1000	7	57	3	1	
>1000	2	1	10		
Всего / In total	9	134	13	144	112

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе ярусного промысла летом 2009 г. в районе Императорского хребта на подводных горах Джингу, Оджин, Лира и Коко было отмечено семь видов (включая сборную группу) акул из пяти семейств (табл. 2). При этом на гайоте Нинтоку, самом северном участке работ, каких-либо представителей хрящевых рыб не зафиксировано. В большинстве случаев наиболее встречаемым как на отдельно взятом поднятии, так и по всему району в целом оказался *C. excelsum* (17,2%). Однако частота его поимок сокращалась с севера на юг: с 25,4% на горе Джингу до 11,6% на горе Коко. Характерно, что на последней возвышенности встречаемость *C. excelsum* была аналогична таковой других видов собачьих акул рода *Etmopterus*.

Динамика количественных показателей уловов *C. exclesum* в целом имела тот же описанный выше характер (табл. 3). Его максимальная доля по массе среди всех пойманных видов рыб отмечена на гайотах Джингу и Оджин, в среднем составив за весь период наблюдений 6,7 и 6,8% соответственно. При этом на склонах первого из перечисленных поднятий получены предельные величины уловов на 1000 крючков — 600 экз. (725,0 кг). Однако подобные крупные единоразовые поимки на гайоте Джингу были очень редки, и здесь в большинстве случаев (83% от всех ярусопостановок) улов на усилие оказался <400 экз./1000 крючков (<500 кг/1000 крючков). На горе Лира доля акулы в общем вылове по массе стала постепенно сокращаться. За некоторым исключением, она не превышала 10–15%, соста-

вив в среднем 1,3%. На самой южной из обследованных возвышенностей (Коко) предельные величины доли по массе и уловов на 1000 крючков оказались близки с таковыми, полученными в районе гайота Оджин. Тем не менее средние значения рассматриваемых параметров в целом были существенно меньше (табл. 3).

Несколько иную картину можно наблюдать по величинам уловов за 1 ч застоя ярусного порядка. Так, несмотря на относительно схожие предельные значения на склонах гайотов Джингу и Оджин, на втором поднятии средние показатели оказались выше: 17,6 экз. (17,7 кг) против 8,6 экз. (10,2 кг) (табл. 3). Однако данное обстоятельство обусловлено разным количеством ярусных постановок на указанных горах (табл. 1) и, соответственно, частотой поимок вида.

В талассобатиали Императорского подводного хребта летом 2009 г. *C. excelsum* отмечен на глубинах 451–1068 м. Максимальные уловы на 1000 крючков получены на гайоте Джингу в батиметрическом диапазоне 801–1000 м. На остальных возвышенностях улов на единицу промыслового усилия оказался значительно ниже. Самые низкие показатели зафиксированы на горе Коко на глубинах <600 м (табл. 4). Примечательно, что именно здесь в диапазонах 451–600 и 801–900 м отловлено наибо́льшее число мелких акул: средняя масса тела *C. excelsum* составила <800 г. На других подводных поднятиях этот параметр варьировал в пределах 918–1315 г (рис. 3).

Длина проанализированных особей *C. excelsum* в районе гайотов Лира и Коко в ярусных уловах летом 2009 г. изменялась от 40 до 68 (в среднем 55,4) см, а масса — от 260 до 1960 (в среднем 1055,6) г. Среди них преобладали акулы *TL* 50–54 (31,6%) и 58–61 см (30,4%). Масса доминирующих рыб варьировала от 601 до 1000 г (48,1%) (рис. 4). При этом средние значения рассматриваемых параметров на гайотах Лира и Коко были различны. Так, на первой из перечисленных гор были отловлены более крупные акулы. Здесь средние значения длины и массы составили 58,8 см и 1289,4 г, тогда как на Коко — соответственно 51,7 см и 809,1 г (табл. 5).

Среди 48 особей *C. excelsum*, у которых визуально определен пол, преобладали самки (38 экз.). Их длина варьировала от 45 до 65 см, масса — от 605 до 1870 г. Самцы имели меньшие

Таблица 2. Видовой состав и встречаемость (%) акул, отловленных в ходе ярусного промысла на подводных горах Императорского хребта летом 2009 г.
Table 2. Species composition and occurrence (%) of sharks caught in the course of longlining over the guyots of the Emperor Seamounts in summer of 2009

Семейство, вид Family, species	Гора / Guyot				В целом по всему району Throughout the district
	Джингу / Jingu	Оджин / Ojin	Лира / Lira	Коко / Koko	
I. Carcharhinidae					
1. *Prionace glauca*	4,5	–	0,7	–	1,7
II. Scyliorhinidae					
2. *Apristurus fedorovi*	1,5	–	–	–	0,5
III. Etmopteridae					
3. *Centroscyllium excelsum*	25,4	23,1	14,6	11,6	17,2
4. *Etmopterus* spp.*	–	–	11,1	11,6	7,0
IV. Somniosidae					
5. *Centroscymnus owstonii*	–	–	–	2,7	0,7
V. Squalidae					
6. *Squalus boretzi*	–	–	–	1,8	0,5
7. *Squalus* sp.	–	–	1,4	–	0,5

Примечание. *Из-за определенных сложностей в определении акул рода *Etmopterus* в настоящем исследовании они представлены комплексом видов; «–» — вид не отмечен.
Note. *Due to some difficulties in identification of the genus *Etmopterus* representatives to species, they are represented in this study as a complex of species; "–" means the species has not been observed.

Таблица 3. Количественные показатели уловов *Centroscyllium excelsum* на подводных горах Императорского хребта летом 2009 г.
Table 3. Quantitative catch data for *Centroscyllium excelsum* over the gyuots of the Emperor Seamounts in summer 2009

Гора Guyot	Доля по массе, % Proportion by weight, %	Улов на 1000 крючков Catch per 1000 hooks		Улов за 1 ч застоя / Catch per 1 hour of longline soak time		Глубина поимок вида, м Catch depth, m
		Экз. / Ind.	Кг / Kg	Экз. / Ind.	Кг / Kg	
Джингу Jingu	4,8–62,8 6,7	22–600 51	18,4–725,0 60,3	2,6–123,0 8,6	2,2–152,5 10,2	846–992 900,8
Оджин Ojin	9,5–60,0 6,8	131–356 52	125,9–370,5 51,3	25,1–136,8 17,6	22,3–142,3 17,7	974–1068 1015,3
Лира Lira	< 0,1–54,9 1,3	3–241 7	3,8–295,9 8,0	0,4–53,3 1,4	0,3–65,6 1,5	534–831 642,7
Коко Koko	0,2–64,0 1,8	3–329 10	1,8–254,6 8,6	0,6–94,4 2,2	0,4–77,1 1,9	451–848 627,2

Примечание. Над чертой — пределы варьирования показателя, под чертой — среднее значение.
Note. Above the line — limits of indicator variation, below the line — average value.

размерно-весовые показатели — соответственно 40–57 см и 295–920 г (табл. 6).

Зависимость массы тела (*W*, г) *C. excelsum* от его длины (*TL*, см) без разделения по полу аппроксимируется степенной функцией, имеющей вид: $W = 0{,}001TL^{3{,}4519}$, $R^2 = 0{,}8078$. Линия регрессии в целом совпадает с эмпирическими данными (рис. 5).

Согласно представленным материалам, *C. excelsum* можно считать довольно обычным видом акул, ведущим придонный образ жизни на склонах и вершинах подводных гор центральной и, возможно, южной частей Императорского хребта, составляя основу уловов среди других представителей хрящевых рыб (табл. 2, 3). Исключением является гора Коко, где, вероятно, численность (следовательно, и встречаемость) близкородственных представителей рода *Etmopterus* сопоставима или превышает таковую *C. excelsum*. В пользу последнего предположения могут служить результаты траловых работ, свидетельствующие о высоком обилии этих акул именно в южной части исследуемой горной цепи (Сомов и др., 2019; Долганов, 2023).

Таблица 4. Распределение уловов (экз.) *Centroscyllium excelsum* по глубинам на подводных горах Императорского хребта летом 2009 г.
Table 4. Distribution of the catches of *Centroscyllium excelsum* (ind.) by depths over the guyots of the Emperor Seamounts in summer of 2009

Глубины, м Depths, m	Улов на 1000 крючков Catch per 1000 hooks		Улов за 1 ч застоя Catch per 1 hour of longline soak time		N/N_R
	lim	*M*	lim	*M*	
Джингу / Jingu					
801–900	32–600	43	3,0–123,0	7,5	71/18
901–1000	22–452	62	2,6–108,5	9,6	63/16
Оджин / Ojin					
901–1000	356	119	136,8	68,4	2/1
>1000	131–192	32	25,1–68,7	8,5	11/2
Лира / Lira					
501–600	4–152	12	0,5–33,8	1,9	49/10
601–700	3–96	2	0,4–16,1	0,6	45/6
701–800	3–102	5	0,6–22,6	0,5	44/3
801–900	33–241	137	5,6–53,3	11,8	5/2
901–1000					1/–
Коко / Koko					
<500	33	2	4,3	0,2	21/1
501–600	3–16	1	0,6–1,7	0,1	53/5
601–700	7–256	25	1,6–94,4	8,5	17/3
701–800	7–199	16	1,0–35,7	2,7	15/3
801–900	329	164	50,3	8,4	6/1

Примечание. lim — пределы варьирования показателя; *M* — среднее значение, рассчитанное по результатам всех ярусных постановок; *N* — общее число ярусных порядков; N_R — число ярусных постановок, в уловах которых был обнаружен *C. excelsum*.
Note. "lim" is limits of the parameter variation; *M* – the average value based on the results of all longline settings; *N* – the total number of longlines; N_R – number of longlines with the catches of *C. excelsum*.

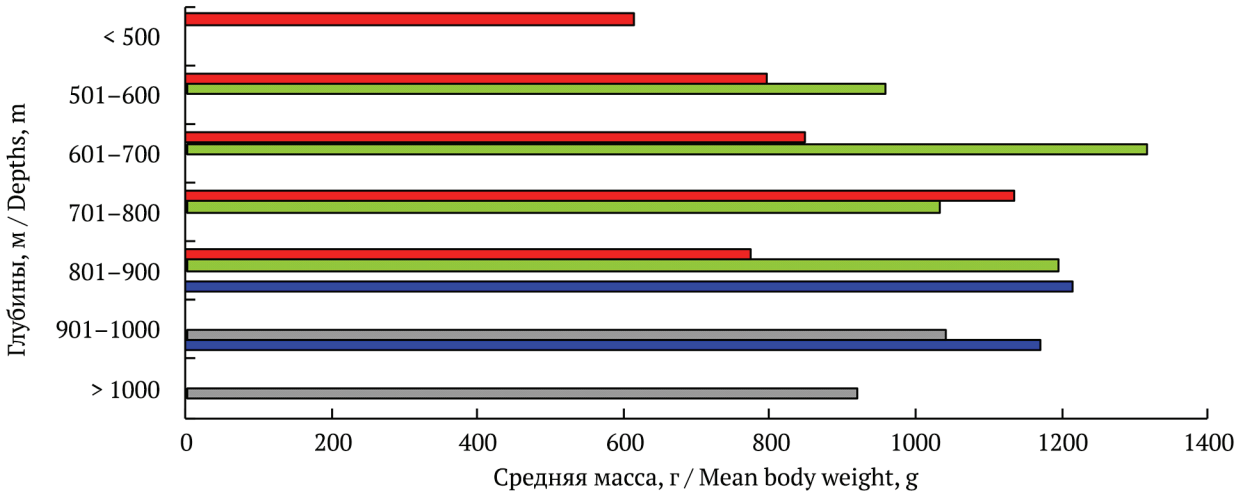


Рис. 3. Средняя масса особей *Centroscyllium excelsum* по глубинам на подводных горах Императорского хребта летом 2009 г.: (●) — Джингу, (●) — Оджин, (●) — Лира, (●) — Коко
Fig. 3. Mean body weight of *Centroscyllium excelsum* individuals by depth over the guyots of the Emperor Seamounts in summer of 2009. (●) – Jingu, (●) – Ojin, (●) – Lira, (●) – Koko

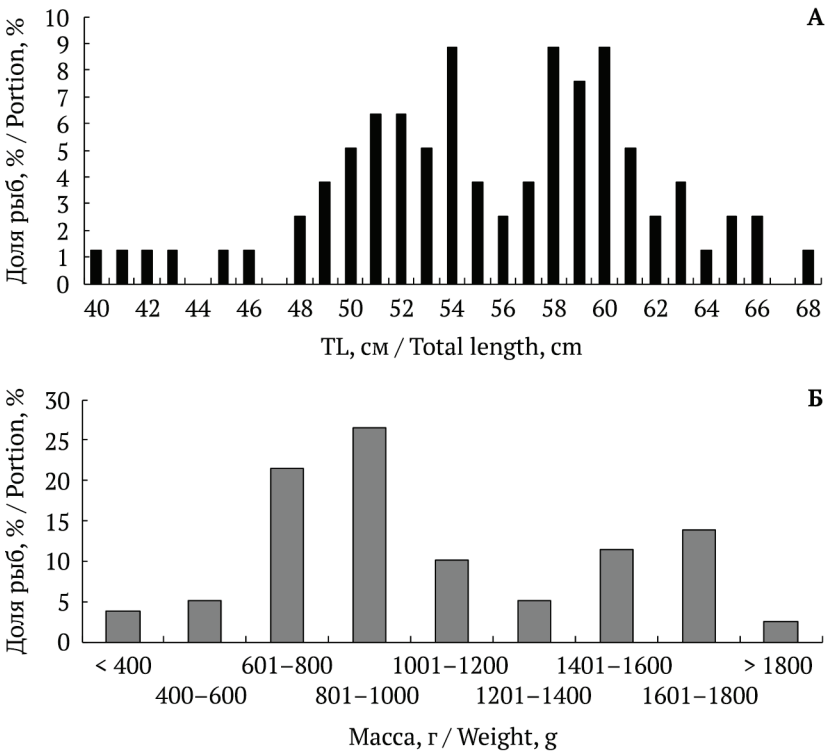


Рис. 4. Распределение по абсолютной длине (А) и массе (Б) *Centroscyllium excelsum* в ярусных уловах в районе подводных гор Лира и Коко летом 2009 г. (M = 55,4 см и 1064,4 г, n = 79 экз.)
Fig. 4. Percent distribution of *Centroscyllium excelsum* individuals by their total body length (A) and weight (Б) in the longline catches over the Lira and Koko Guyots in summer of 2009 (M = 55.4 cm and 1064.4 g, n = 79 ind.)

Таблица 5. Показатели длины и массы особей *Centroscyllium excelsum* на подводных горах Лира и Коко летом 2009 г.
Table 5. Length and weight parameters of *Centroscyllium excelsum* individuals over the Lira and Koko Guyots in summer 2009

Показатель Parameter	Лира / Lira (n = 42 экз./ind.)		Коко / Koko (n = 37 экз./ind.)	
	min–max	M	min–max	M
TL, см / Total body length, cm	41–68	58,8	40–60	51,7
Масса, г / Weight, g	260–1960	1289,4	295–1130	809,1

Примечание. min–max — пределы варьирования показателя, M — среднее значение, n — число проанализированных особей.
Note. min-max – limits of the parameter variation, M – mean value, n – number of individuals analyzed.

Таблица 6. Показатели длины и массы самок и самцов *Centroscyllium excelsum* на подводных горах Лира и Коко летом 2009 г.
Table 6. Length and weight of females and males of *Centroscyllium excelsum* over the Lira and Koko Guyots in summer 2009

Показатель Parameter	Самки / Females (n = 38 экз./ind.)		Самцы / Males (n = 10 экз./ind.)	
	min–max	M	min–max	M
TL, см / Total body length, cm	45–65	54,5	40–57	49,7
Масса, г / Weight, g	605–1870	976,7	295–920	653,0

Примечание. min–max — пределы варьирования показателя, M — среднее значение, n — число проанализированных особей.
Note. min-max – limits of the parameter variation, M – mean value, n – number of individuals analyzed.

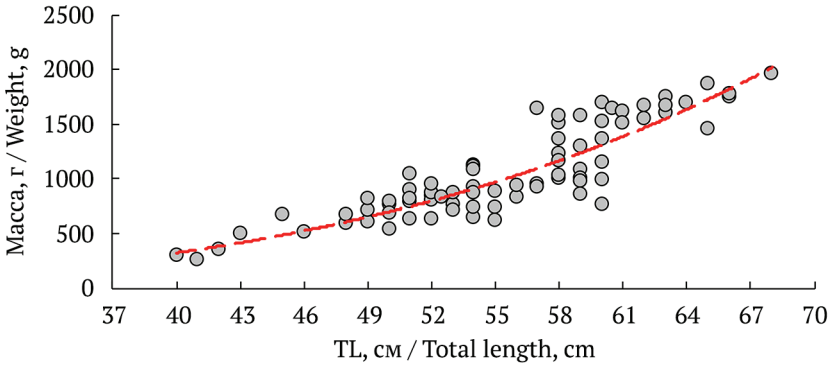


Рис. 5. Зависимость длина–масса у *Centroscyllium excelsum* в районе подводных гор Императорского хребта: $W = 0{,}001TL^{3{,}4519}$, $R^2 = 0{,}8078$, $n = 79$ экз.
Fig. 5. Length-weight relationship in *Centroscyllium excelsum* individuals over the guyots of the Emperor Seamounts: $W = 0{,}001TL^{3{,}4519}$, $R^2 = 0{,}8078$, $n = 79$ ind.

Считается, что за более чем 20 лет с момента своего первого описания *C. excelsum* известен лишь по поимкам 44 особей (Rigby et al., 2021a). Однако в период ведения интенсивного промысла в районе подводных поднятий Императорского хребта (конец 1960-х – начало 1980-х гг.) он регулярно фигурировал в качестве довольно типичного представителя местной ихтиофауны и одного из наиболее встречаемых видов прилова (Новиков и др., 1981; Борец, 1986; Борец, Куликов, 1986; Описание.., 1989; Кодолов и др., 1991; Байталюк и др., 2010), а некоторые даже утверждали о его промысловом потенциале в пределах гор Нинтоку, Джингу и Оджин (Куликов, Кодолов, 1991). Все это явно противоречит современному мнению. Наши данные также свидетельствуют об обратном.

Интересно, что в упомянутых работах исследуемый вид указан как *C. ritteri* Jordan & Fowler, 1903, который по своим внешним морфологическим признакам довольно близок к *C. excelsum*. Но последний вид отличается наличием кожистых зубчиков (шипиков) только на верхней части головы и дорсальной стороне тела, высоким полукруглым первым спинным плавником, а также иным расположением второго шипа на спине позади заднего конца основания брюшного плавника (Shirai, Nakaya, 1990). Тем не менее имеющиеся различия в отношении видовой принадлежности прилова в более ранних наблюдениях, по нашему мнению, произошли не из-за неверной идентификации акул, а по причине отсутствия в тот период морфологического описания обитающих на Императорском хребте особей рода *Centroscyllium*. Результат подобного исследования был опубликован лишь в 1990 г. (см.: Shirai, Nakaya, 1990). Однако данное обстоятельство нашло свое отражение и в современной литературе, где до сих пор дается неверная оценка действительных границ ареалов *C. excelsum* и *C. ritteri* некоторыми авторами, указывая об обитании обоих видов не только на Императорском хребте, но и у Японского архипелага, включая прилегающую акваторию у Южных Курильских островов (McCormack et al., 2009; Rigby et al., 2021a, 2021b). Исследования последних лет, напротив, свидетельствуют об ошибочности этого тезиса. Так, В.Н. Долганов (2023) и К. Хосино с соавторами (Hoshino et al., 2024) сообщают об обитании на Императорском хребте лишь *C. excelsum*, как единственного представителя своего рода и эндемика данного района, что, на наш взгляд, вполне обоснованно. В свою очередь, *C. ritteri* не покидает пределы вод, омывающих в основном восточное побережье Японских островов (Долганов, 2015; Nakaya, Shirai, 1992; Hatooka, 2002).

Известная область вертикального распространения *C. excelsum* охватывает глубины 410–1000 м (Shirai, Nakaya, 1990; Rigby et al., 2021a; Hoshino et al., 2024). В ходе мониторинговых работ летом 2009 г. данный вид фиксировали почти на всем протяжении указанного диапазона — 451–1068 м. Максимальные показатели уловов отмечены на горе Джингу в интервале 801–1000 м (табл. 3, 4). Однако причина образования столь плотных скоплений пока остается неизвестной. В большинстве же случаев уловы вида были невысоки. При этом вдоль обследованного участка Императорского хребта как число результативных уловов, так и их величины с севера на юг стали сокращаться, что также может указывать на невысокую численность обитающих здесь особей.

Примечательно, что в литературе нет единого мнения об экологической принадлежности *C. excelsum* к конкретному ихтиоцену, выделяемому в соответствии с системой вертикальной зональности дна. Так, Л.А. Борец (1986) отнес этот вид к талассобатипелагической группе рыб, которые населяют воды, окружающие вершины и склоны подводных гор на глубинах от 700–1000 до 2000–2500 м. В свою очередь, по мнению Долганова (2023), *C. excelsum* входит в состав обитателей нижней мезобентопелагиали. Имеющиеся в нашем распоряжении материалы не позволяют в полной мере охарактеризовать экологическую принадлежность этой акулы, так как летом 2009 г. она была обнаружена на глубинах >1000 м, следовательно, точная нижняя граница обитания особей пока остается неизвестной. Однако учитывая высокую долю по массе и показатели уловов на усилие в диапазоне 801–1068 м (табл. 4), предварительно следует согласиться с точкой зрения Борца (1986) о принадлежности этого вида к талассобатипелагическому ихтиоцену.

Стоит отметить, что центральные и южные горы Императорского подводного хребта, расположенные между 42° и 31° с. ш., омываются водами Северо-Тихоокеанского течения, которое является продолжением течения Куросио. При этом в западной части этой структуры располагается субарктическая фронтальная зона, простирающаяся до 34–35 параллели. В ней выделяют несколько водных масс: поверхностную, холодную поверхностную и теплую промежуточную. Последняя из них за-

легает на глубинах от 175–350 до 1000–1500 м с ядром в диапазоне 200–700 м и температурой 3,1–4,9 °C (Описание.., 1989). Достаточно близкие температурные показатели (3,15–4,74 °C) зафиксированы и в более поздних исследованиях на горах Джингу, Оджин и Лира в интервале 640–1000 м (Курносова, Наревич, 2019). Температура воды в районе гайота Коко выше, достигая на глубинах 400–600 м около 5,0–7,0 °C (Сомов и др., 2019). Таким образом, можно заключить, что в центральной и южной частях Императорского подводного хребта *C. excelsum* является обитателем теплой промежуточной водной массы, населяя воды с температурой около 3,0–7,0 °C.

Согласно данным Международного союза охраны природы (IUCN), *C. excelsum* присвоен статус A2d, то есть «близкий к уязвимому положению» (Rigby et al., 2021a). Подчеркивается, что этому поспособствовал очень интенсивный и порой неконтролируемый промысел, преимущественно кабан-рыбы *Pentaceros wheeleri* (Hardy, 1983) и низкотелого берикса *Beryx splendens* Lowe, 1834, в пределах подводных гор во второй половине XX в. Предполагается, что из-за этого за последние 45 лет популяция *C. excelsum* могла сократиться на 20–29%. Интересно, что в качестве одного из основных «виновников» существенного падения численности того же *P. wheeleri* к концу 1970-х гг. в южной части Императорского и прилегающих банках Гавайского хребтов, помимо крупномасштабных флуктуаций вследствие естественных причин, считают и непосредственно чрезмерно высокую промысловую эксплуатацию (Куликов, Дарницкий, 1992). К аналогичному выводу о существенном влиянии промысла на обилие *E. zonifer* на гайотах исследуемой горной цепи пришли О.Г. Золотов с соавторами (Золотов, Спирин, 2012; Золотов и др., 2014). Так, в 2009 г. в течение 1,5 месяцев добычи (июнь–июль) суточные уловы вида снизились до уровня, когда его лов стал экономически неэффективен и был прекращен. Столь резкое падение упомянутые авторы объясняют тем, что на подводных горах Императорского хребта обитают изолированные группировки *E. zonifer*, так как взрослые особи ведут исключительно донный образ жизни, а каждый из гайотов разделен океанической абиссалью, что подразумевает отсутствие каких-либо миграций половозрелых рыб между ними. По оценкам тех же авторов, к концу активной деятельности двух ярусоловов промысловая убыль *E. zonifer* составила значительные 70–80%. Напротив, утверждать аналогичное для *C. excelsum* мы не можем, так как не располагаем даже хотя бы приблизительными сведениями о его абсолютном обилии на Императорском хребте ни до момента начала мониторинговых исследований, ни после. Тем не менее нами был проведен анализ динамики среднесуточных уловов за 1 ч застоя ярусного порядка на горах Джингу и Лира, где вид отмечался чаще всего. Исходя из представленных материалов (рис. 6), проследить тренд на уменьшение относительной численности *C. excelsum* за столь короткий период наблюдений невозможно. Вероятно, влияние промысла и имеет место быть. Однако следует учесть, что ярусные порядки выставляли на участках, приуроченных к местам основных скоплений *E. zonifer*, которые могли и вовсе не совпадать с таковыми *C. excelsum*.

Предельная длина, которую достигает исследуемый вид, составляет 68,2 см (Rigby et al., 2021a). В наших уловах он был представлен средне- и крупноразмерными особями (рис. 4). Интересен факт отсутствия *C. excelsum TL* < 40 см, что может быть вызвано селективностью яруса по отношению к размерам облавливаемых рыб в целом. Кроме того, не исключается и иной характер пространственного распределения мелких особей, так как значительное их число летом 2009 г. было отловлено на самой южной из обследованных гор — Коко (рис. 3).

Несмотря на малый объем имеющегося в нашем распоряжении материала, вероятно, можно заключить, что для самцов *C. excelsum* присущи более низкие значения линейно-массовых показателей по сравнению с самками (табл. 6). Заметим, что подобная черта биологии характерна и для других видов семейства Etmopteridae, таких как *E. granulosus* (Günther, 1880) (= *E. baxteri* Garrick, 1957), *E. spinax* (Linnaeus, 1758) и *E. pusillus* (Irvine et al., 2006; Coelho, Erzini, 2007, 2008).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

C. excelsum является обычным компонентом талассобатиальной ихтиофауны и, вероятно, относительно многочисленным видом среди акул, ведущих придонный образ жизни на склонах и вершинах подводных гор в центральной и южной частях Императорского хребта.

Основные скопления *C. excelsum* приурочены к глубинам 801–1000 м. Предполагается, что данному виду свойственно обитание в теплом промежуточном слое при температуре воды над поднятиями 3,0–7,0 °C.

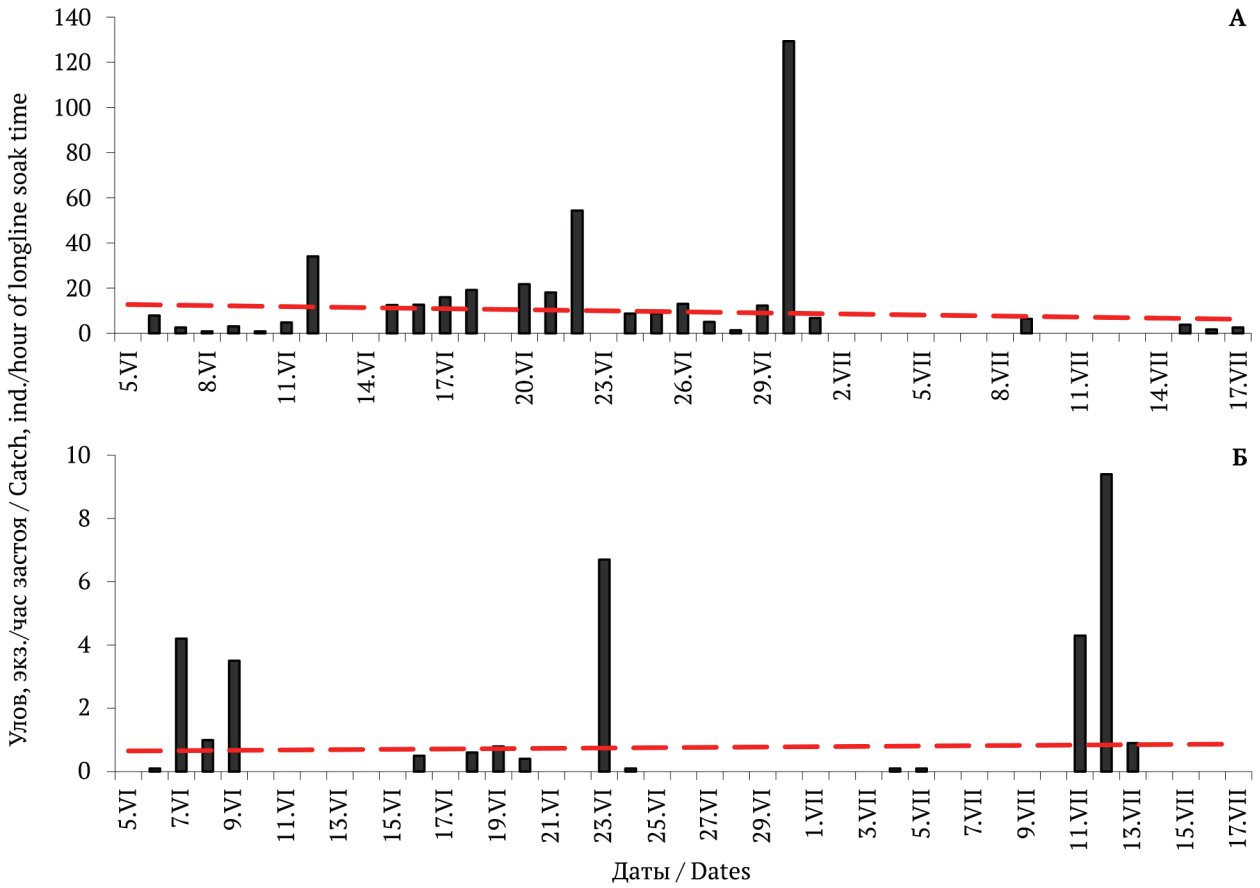


Рис. 6. Динамика среднесуточных уловов *Centroscyllium excelsum* (экз./ч застоя ярусного порядка) на подводных горах Джингу (А) и Лира (Б) в июне–июле 2009 г.: (---) — линия тренда
Fig. 6. Dynamics of the average daily catches of *Centroscyllium excelsum* (ind./hour of longline soak time) on the Jingu (A) and Lira (Б) Guyots in June–July of 2009: (---) is the trend line

В ярусных уловах *C. excelsum* представлен особями *TL* 40–68 см. Не исключено, что в пределах Императорского хребта для него характерна пространственная дифференциация молоди и взрослых рыб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Байталюк А.А., Карякин К.А., Орлов А.М. 2010. Ресурсы талассобатиали Императорского подводного хребта: освоение, состояние запасов и возможность экспедиционного промысла // Вопр. рыболовства. Т. 11, № 4. С. 801–816. EDN: NCENBV.

Борец Л.А. 1986. Ихтиофауна северо-западного и Гавайского подводных хребтов // Вопр. ихтиологии. Т. 26, вып. 2. С. 208–220.

Борец Л.А., Куликов М.Ю. 1986. Талассобатиаль / Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука. С. 505–520.

Винберг Г.Г. 1971. Линейные размеры и масса тела животных // Журнал общей биологии. Т. 32, № 6. С. 714–723.

Долганов В.Н. 2015. О малоизученной глубоководной акуле *Centroscyllium ritteri* (Etmopteridae, Squaliformes) // Изв. ТИНРО. Т. 183. С. 120–122. EDN: UXZXMB.

Долганов В.Н. 2023. Формирование фауны хрящевых рыб Императорского подводного хребта // Биология моря. Т. 49, № 6. С. 361–366. EDN: HDAYLI. doi:10.31857/S0134347523060025

Долганов В.Н., Королев М.Р., Гинанова Т.Т. 2006. Морфологическая характеристика акулы *Etmopterus bigelowi* Shirai et Tachikawa, 1993 (Squalidae) из северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. Т. 147. С. 174–178. EDN: JJYWEV.

Золотов О.Г., Спирин И.Ю. 2012. О промысле и численности эрилеписа (*Erilepis zonifer*) в районе подводного Императорского хребта (северо-западная часть Тихого океана) // Изв. ТИНРО. Т. 168. С. 79–88. EDN: OZKNUH.

Золотов О.Г., Спирин И.Ю., Зудина С.М. 2014. Новые данные об ареале, биологии и численности эрилеписа *Erilepis zonifer* (Anoplopomatidae) // Вопр. ихтиологии. Т. 54, № 3. С. 288–302. EDN: SCECOT. doi:10.7868/S0042875214020179

Кодолов Л.С., Куликов М.Ю., Сюсина Т.И. 1991. Особенности распространения и распределения рыб материкового склона и подводных под-

нятий Северной Пацифики / Биология рыб и беспозвоночных северной части Тихого океана. Владивосток: ДВГУ. С. 21–38.
Куликов М.Ю., Дарницкий В.Б. 1992. Динамика численности талассобатиальных рыб СЗТО и ее возможные причины / Океанологические основы биологической продуктивности северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО. С. 4–19.
Куликов М.Ю., Кодолов Л.С. 1991. Об ихтиофауне подводных поднятий Тихого океана / Биологические ресурсы талассобатиальной зоны Мирового океана. М.: ВНИРО. С. 168–177.
Курносова А.С., Наревич И.С. 2019. Океанологические и гидрохимические исследования на поднятиях Императорского хребта в весенне-летний сезон 2019 г. // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : Матер. VII науч.-практ. конф. М.: ВНИРО. С. 225–227. EDN: GOPBQQ.
Новиков Н.П., Кодолов Л.С., Гаврилов Г.М. 1981. Предварительный список рыб Императорского подводного хребта // Рыбы открытого океана. М.: ИО АН СССР. С. 32–35.
Описание подводных гор и поднятий промысловых районов Мирового океана (открытая часть). 1989. Т. II. Тихий океан. Л.: ГУНИО. 388 с.
Сомов А.А., Канзепарова А.Н., Важова А.С., Хлебородов А.С., Зуев М.А., Слабинский А.М., Орлова С.Ю., Курносов Д.С., Беляев В.А., Орлов А.М. 2019. Некоторые предварительные результаты исследований на Императорском хребте в апреле 2019 г. // Тр. ВНИРО. Т. 175. С. 208–219. EDN: LMDBVD.
Coelho R., Erzini K. 2007. Population parameters of the smooth lantern shark, *Etmopterus pusillus*, in Southern Portugal (NE Atlantic) // Fisheries Research. Vol. 86. P. 42–57. doi:10.1016/j.fishres.2007.04.006
Coelho R., Erzini K. 2008. Life history of a wide-ranging deepwater lantern shark in the North-east Atlantic, *Etmopterus spinax* (Chondrichthyes: Etmopteridae), with implications for conservation // J. Fish Biol. Vol. 73. P. 1419–1443. doi:10.1111/j.1095-8649.2008.02021.x
Ebert D.A., Papastamatiou Y.P., Kajiura S.M., Wetherbee B.M. 2017. *Etmopterus lailae* sp. nov., a new lanternshark (Squaliformes: Etmopteridae) from the Northwestern Hawaiian Islands // Zootaxa 4237. P. 371–382. doi:10.11646/zootaxa.4237.2.10
Hatooka K. 2002. Etmopteridae // Fishes of Japan with pictorial keys to the species / Ed. Nakabo T. Vol. 2. Tokyo: Tokai Univ. Press. P. 144–146, 1443–1444. EDN: PNYJHK. doi:10.1007/s10641-006-9130-4
Hoshino K., Okamoto M., Sawada K. 2024. The Field Guide for Identifications of Fishes of the Emperor Seamount Chain Captured by Bottom Fisheries. NPFC-2023-SSC BFME04-WP14 (Rev. 1). 94 p.
Irvine S.B., Stevens J.D., Laurenson L.J.B. 2006. Comparing external and internal dorsal-spine bands to interpret the age and growth of the giant lantern shark, *Etmopterus baxteri* (Squaliformes: Etmopteridae) // Environ. Biol. Fish. Vol. 77. P. 253–264. EDN: PNYJHK. doi:10.1007/s10641-006-9130-4
McCormack C., Nakaya K., Samiengo B. 2009. *Centroscyllium excelsum*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2009, Article e.T161740A5492923. doi:10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161740A5492923.en
Nakabo T. 2002. Fishes of Japan with pictorial keys to the species: English edition. Tokyo: Tokai Univ. Press. Vol. 1–2. 1748 p.
Nakaya K., Shirai S. 1992. Fauna and Zoogeography of Deep-Benthic Chondrichthyan Fishes around the Japanese Archipelago // Jap. J. Ichtyol. Vol. 39, № 1. P. 37–48.
Rigby C.L., Walls R.H.L., Derrick D., Dyldin Y.V., Herman K., Ishihara H., Jeong C.-H., Semba Y., Tanaka S., Volvenko I.V., Yamaguchi A. 2021a. *Centroscyllium excelsum*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2021, Article e.T161740A124536451. doi:10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T161740A124536451.en
Rigby C.L., Walls R.H.L., Derrick D., Dyldin Y.V., Herman K., Ishihara H., Jeong C.-H., Semba Y., Tanaka S., Volvenko I.V., Yamaguchi A. 2021b. *Centroscyllium ritteri*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2021, Article e.T161508A124497279. doi:10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T161508A124497279.en
Shirai S., Nakaya K. 1990. A new squalid species of the genus *Centroscyllium* from the Emperor Seamount Chain // Jap. J. Ichthyol. Vol. 36, № 4. P. 391–398.
Shirai S., Tachikawa H. 1993. Taxonomic resolution of the *Etmopterus pusillus* species group (Elasmobranchii, Etmopteridae), with description of *E. bigelowi*, n. sp. // Copeia. № 2. P. 483–495. doi:10.2307/1447149

REFERENCES

Baitaluk A.A., Karyakin K.A., Orlov A.M. Thalassobathyal resources of the Emperor Seamounts: fishery, stock status and possibility for distant fishery. *Problems of fishery*, 2010, vol. 11, no. 4, pp. 801–816. (In Russ.) EDN: NCENBV.
Borets L.A. Ichthyofauna of the northwestern and Hawaiian submarine ridges. *Journal of ikhtiology*, 1986, vol. 26, issue 2, pp. 208–220. (In Russ.)

Borets L.A., Kulikov M.Yu. Thalassobatial. *Biological Resources of the Pacific Ocean*. Moscow: Science, 1986, pp. 505–520. (In Russ.)
Vinberg G.G. Linear dimensions and body weight of animals. *Journal of General Biology*, 1971, vol. 32, no. 6, pp. 714–723. (In Russ.)
Dolganov V.N. On little known deep-sea shark *Centroscyllium ritteri* (Etmopteridae, Squliformes). *Izvestiya TINRO*, 2015, vol. 183, pp. 120–122. (In Russ.) EDN: UXZXMB.
Dolganov V.N. Formation of the fauna of cartilaginous fishes of the Emperor Seamount Chain. *Russian Journal of Marine Biology*, 2023, vol. 49, no. 6, pp. 429–434. EDN: ZBRQDU. doi:10.1134/s1063074023060020
Dolganov V.N., Korolev M.R., Ginanova T.T. Morphological description of the shark *Etmopterus bigelowi* Shirai at Tachikawa, 1993 (Squalidae) from the northwestern Pacific Ocean. *Izvestiya TINRO*, 2006, vol. 147, pp. 174–178. (In Russ.) EDN: JJYWEV.
Zolotov O.G., Spirin I.Yu. On the fishery and abundance of skillfish (*Erilepis zonifer*) at the Emperor Seamounts (North-West Pacific). Izvestiya TINRO, 201, vol. 168, pp. 79–88. (In Russ.) EDN: OZKNUH.
Zolotov O.G., Spirin I.Yu., Zudina S.M. New data on the range, biology and abundance of skilfish *Erilepis zonifer* (Anoplopomatidae). *Journal of ikhtiology*, 2014, vol. 54, no. 3, pp. 288–302. (In Russ.) EDN: SCECOT. doi:10.7868/S0042875214020179
Kodolov L.S., Kulikov M.Yu., Syusina T.I. Features of the spread and distribution of fishes of the continental slope and underwater rises of the North Pacific. *Biology of fishes and invertebrates of the northern part of the Pacific Ocean*. Vladivostok: FESU, 1991, pp. 21–38. (In Russ.)
Kulikov M.Yu., Darnitsky V.B. Dynamics of the number of thalassobatial fishes in the NWPO and its possible causes. *Oceanological foundations of biological productivity in the northwestern part of the Pacific Ocean*. Vladivostok: TINRO, 1992, pp. 4–19. (In Russ.)
Kulikov M.Yu., Kodolov L.S. On the ichthyofauna of the underwater elevations of the Pacific Ocean. *Biological resources of the thalassobathial zone of the World Ocean*. Moscow: VNIRO, 1991, pp. 168–177. (In Russ.)
Kurnosova A.S., Narevich I.S. Oceanological and hydrochemical studies on the uplifts of the Emperor Seamounts in the spring-summer season of 2019. *Modern problems and prospects for the development of the fisheries complex*: Proc. VII scientific-practical. conf. Moscow: VNIRO, 2019, pp. 225–227. (In Russ.)
Novikov N.P., Kodolov L.S., Gavrilov G.M. Preliminary list of fishes of the Imperial underwater ridge. *Fishes of the open ocean.* Moscow: Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences, 1981, pp. 32–35. (In Russ.)
Description of seamounts and rises of fishing areas of the World Ocean (open part). Vol. II. Pacific Ocean. Leningrad: GUNIO, 1989. 388 p.
Somov A.A., Kanzeparova A.N., Vazhova A.S., Khleborodov A.S., Zuev M.A., Slabinsk A.M., Orlova S.Yu., Kurnosov D.S., Balyaev V.A., Orlov A.M. Some preliminary results of research on Emperor Seamounts in April, 2019. Trudy VNIRO, 2019, vol. 175, pp. 208–219. (In Russ.) EDN: LMDBVD.
Coelho R., Erzini K. Population parameters of the smooth lantern shark, *Etmopterus pusillus*, in Southern Portugal (NE Atlantic). *Fisheries Research*, 2007, vol. 86, pp. 42–57. doi:10.1016/j.fishres.2007.04.006
Coelho R., Erzini K. Life history of a wide-ranging deepwater lantern shark in the North-East Atlantic, *Etmopterus spinax* (Chondrichthyes: Etmopteridae), with implications for conservation. *J. Fish Biol.*, 2008, vol. 73, pp. 1419–1443. doi: 10.1111/j.1095-8649.2008.02021.x
Ebert D.A., Papastamatiou Y.P., Kajiura S.M., Wetherbee B.M. *Etmopterus lailae* sp. nov., a new lanternshark (Squaliformes: Etmopteridae) from the Northwestern Hawaiian Islands. *Zootaxa*, 2017, 4237, pp. 371–382. doi:10.11646/zootaxa.4237.2.10
Hatooka K. Etmopteridae. *Fishes of Japan with pictorial keys to the species.* Ed. Nakabo T. Vol. 2. Tokyo: Tokai Univ. Press. 2002, pp. 144–146, 1443–1444. EDN: PNYJHK. doi:10.1007/s10641-006-9130-4
Hoshino K., Okamoto M., Sawada K. The Field Guide for Identifications of Fishes of the Emperor Seamount Chain Captured by Bottom Fisheries. *NPFC-2023-SSC BFME04-WP14* (Rev. 1), 2024, 94 p.
Irvine S.B., Stevens J.D., Laurenson L.J.B. Comparing external and internal dorsal-spine bands to interpret the age and growth of the giant lantern shark, *Etmopterus baxteri* (Squaliformes: Etmopteridae). *Environ. Biol. Fish.*, 2006, vol. 77, pp. 253–264. EDN: PNYJHK. doi:10.1007/s10641-006-9130-4
McCormack C., Nakaya K., Samiengo B. *Centroscyllium excelsum*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2009. Article e.T161740A5492923. doi:10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161740A5492923.en
Nakabo T. Fishes of Japan with pictorial keys to the species: English edition. Tokyo: *Tokai Univ. Press.* 2002, vol. 1–2, 1748 p.
Nakaya K., Shirai S. Fauna and Zoogeography of Deep-Benthic Chondrichthyan Fishes around the Japanese Archipelago. *Jap. J. Ichtyol.*, 1992, vol. 39, no. 1, pp. 37–48.
Rigby C.L., Walls R.H.L., Derrick D., Dyldin Y.V., Herman K., Ishihara H., Jeong C.-H., Semba Y., Tana-

ka S., Volvenko I.V., Yamaguchi A. *Centroscyllium excelsum*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2021. Article e.T161740A124536451. doi:10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T161740A124536451.en
Rigby C.L., Walls R.H.L., Derrick D., Dyldin Y.V., Herman K., Ishihara H., Jeong C.-H., Semba Y., Tanaka S., Volvenko I.V., Yamaguchi A. *Centroscyllium ritteri*. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2021. Article e.T161508A124497279. doi:10.2305/IUCN.UK.2021-1.RLTS.T161508A124497279.en
Shirai S., Nakaya K. A new squalid species of the genus *Centroscyllium* from the Emperor Seamount Chain. *Jap. J. Ichthyol.*, 1990, vol. 36, no. 4, pp. 391–398.
Shirai S., Tachikawa H. Taxonomic resolution of the *Etmopterus pusillus* species group (Elasmobranchii, Etmopteridae), with description of *E. bigelowi*, n. sp. *Copeia*, 1993, no. 2, pp. 483–495. doi:10.2307/1447149

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Библиографические ссылки оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.
All applicable international, national and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed. 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 AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

Концепция статьи, обработка данных, подготовка иллюстраций — Ю.К. Курбанов; сбор материалов в ходе мониторинговых исследований — Е.А. Михалютин; обсуждение результатов, написание текста статьи, а также формулировка выводов выполнены авторами совместно.
The article concept, data processing, and illustration preparation were carried out by Yuri K. Kurbanov; data collection during monitoring studies was carried out by E.A. Michalutin; the discussion of the results, writing of the article, and formulation of the conclusions were carried out by the authors jointly.

Информация об авторах
Ю.К. Курбанов — независимый исследователь, *gremlin__91@mail.ru*.
Е.А. Михалютин — вед. специалист лаборатории морских рыб, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО), *e.mihalyutin@kamniro.vniro.ru*.

Information about the authors
Yuri K. Kurbanov – Freelance Researcher, *gremlin__91@mail.ru*.
Eugeny A. Michalutin – Leading Specialist in the Marine fish laboratory (KamchatNIRO), *e.mihalyutin@kamniro.vniro.ru*.

Статья поступила в редакцию / Received: 29.09.2025
Одобрена после рецензирования / Revised: 21.02.2026
Статья принята к публикации / Accepted: 18.05.2026

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 79–89.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 79–89.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

Научная статья / Original article
УДК 639.3.09:597.552.511
doi:10.15853/2072-8212.2026.80.79-89
EDN: DGYDFY

ПРИЧИНЫ СЕЗОННОЙ ГИБЕЛИ МОЛОДИ КЕТЫ (*ONCORHYNCHUS KETA* WALBAUM) НА ОДНОМ ИЗ РЫБОВОДНЫХ ЗАВОДОВ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Устименко Елена Александровна✉, Рязанова Татьяна Вячеславовна, Бочкова Елена Валентиновна, Сергеенко Наталия Валентиновна

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

Аннотация. В результате ихтиопатологических исследований молоди кеты на одном из лососевых рыбоводных заводов Сахалинской области в мае–июне 2023 г. установлено наличие двух взаимосвязанных проблем: хронической бактериально-микозной инфекции, вызывающей постоянную низкоуровневую смертность, и сезонных острых гипоксических явлений, приводящих к массовому замору молоди рыб. Выявлены характерные гистопатологические изменения, оценена чувствительность выделенных микроорганизмов к антибиотикам.

Ключевые слова: молодь кеты, флавобактериоз, сапролегниоз, гипоксия, гистопатология, антибиотикочувствительность, лососевый рыбоводный завод.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Устименко Е.А., Рязанова Т.В., Бочкова Е.В., Сергеенко Н.В. Причины сезонной гибели молоди кеты (*Oncorhynchus keta* Walbaum) на одном из рыбоводных заводов Сахалинской области // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80. С. 79–89. EDN: DGYDFY. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.79-89

CAUSES OF SEASONAL MORTALITY OF JUVENILE CHUM SALMON (*ONCORHYNCHUS KETA* WALBAUM) AT A HATCHERY IN THE SAKHALIN REGION

Elena A. Ustimenko✉, Tatiana V. Ryazanova, Elena V. Bochkova, Natalya V. Sergeenko

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

Abstract. Ichthyopathological studies of juvenile chum salmon at a salmon hatchery in the Sakhalin Region, conducted in May–June 2023, revealed two interrelated problems: a chronic mixed bacterial and saprolegniosis infection causing continuous low-level mortality, and seasonal acute hypoxic events leading to mass fish kills. Characteristic histopathological changes were identified, and the antibiotic susceptibility of the isolated microorganisms was assessed.

Keywords: juvenile chum salmon, flavobacteriosis, saprolegniosis, hypoxia, histopathology, antibiotic susceptibility, salmon hatchery.

Funding. The study was not sponsored.

For citation: *Ustimenko E.A., Ryazanova T.V., Bochkova E.V., Sergeenko N.V.* Causes of seasonal mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta* Walbaum) at a hatchery in the Sakhalin Region // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80. P. 79–89. (In Russ.) EDN: DGYDFY. doi:10.15853/2072-8212.2026.80.79-89

В условиях растущего антропогенного давления восстановлению сокращающихся запасов лососей способствует аквакультура. На Дальнем Востоке находится более 50 лососевых рыбоводных заводов (ЛРЗ), большинство из которых сосредоточено на Сахалине (Смирнов и др., 2006). Наиболее распространенным объектом аквакультуры является кета. При искусственном воспроизводстве на ранних периодах жизненного цикла рыб (личиночном и мальковом) лососевые особенно чувствительным к изменениям абиотических и биотических условий. Повышение температуры воды, снижение растворенного кислорода, накопление органических веществ создают условия для развития условно-патогенной микрофлоры и паразитарных инвазий. Хотя большинство возбудителей относятся к условным патогенам и входят в обычный состав ми-

© Устименко Е.А., Рязанова Т.В., Бочкова Е.В., Сергеенко Н.В., 2026

кробиоценоза водоемов, в стрессовых условиях они способны вызывать заболевания у рыб. В течение нескольких лет на одном из рыбоводных заводов Сахалинской области, культивирующем молодь кеты, регистрировали случаи внезапной массовой смертности рыб в весенне-летний период. В связи с этим целью работы стало определение причин сезонной гибели рыб.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в 2023 г. на одном из лососевых рыбоводных заводов (ЛРЗ) южной части Сахалинской области. Материалом служили сеголетки кеты с клиническими признаками заболевания и визуально здоровые, а также образцы воды и корма, отобранные 28 мая. Кроме того, 01.06.2023 повторно отобрали пробы молоди для паразитологических и гистологических исследований (табл. 1). Всего комплексными ихтиопатологическими методами было обследовано 111 экз. рыб из открытых выростных прудов.

Отпечатки жабр и кожи, бактериологические посевы на питательные среды образцов рыб и воды, паразитологические исследования, мазки крови с их последующей фиксацией, отбор и/или фиксацию образцов для гистологических и вирусологических исследований осуществляли непосредственно на заводе. Для вирусологических исследований рыб транспортировали в замороженном виде. Дальнейшую обработку проб проводили в лаборатории Камчатского филиала ВНИРО.

Бактериологические исследования

Фиксированные в метаноле препараты с отпечатками жабр и/или поражений кожи окрашивали по Граму. Из заднего отдела почек рыб делали посевы на питательный агар, с жабр и кожных поражений — на селективные среды TYES для флавобактерий (миксобактерий), Pseudomonas F — для псевдомонад *Pseudomonas fluorescens*, Сабуро — для грибов. Идентификацию псевдомонад, аэромонад проводили с помощью тест-системы API 20E (Biomerieux, Франция), флавобактерий — по признакам, характерным для этого рода бактерий (AFS-FHS FHS blue book.., 2010).

Определяли чувствительность выделенных штаммов к антибиотикам (мкг/диск): канамицину (30), тетрациклину (30), фурадонину (300), ципрофлоксацину (5), гентамицину (10), энрофлоксацину (5), эритромицину (15) и левомицетину (3), используя диско-диффузный метод (МУК 4.2.1890).

Определяли общую обсемененность (ОМЧ, КОЕ/см^3) образцов воды, поступавшей в пруды и на вытоке из них (МУ № 13-4-2/1742). Оценку качества и безопасности кормов проводили по 4 показателям: ОМЧ, сальмонеллы, энтеропатогенные типы кишечной палочки, анаэробы (Правила бактериологического.., 1975; Ветеринарно-санитарные нормы.., 1997).

Таблица 1. Виды и количество проб, отобранных на ЛРЗ Сахалинской области в 2023 г.
Table 1. Types and number of samples collected at the salmon hatchery in Sakhalin region in 2023

№	Дата Date	Вид проб Sample type	Количество проб от рыб с признаками патологии / без патологии Number of samples from fish with and without pathological signs
1	28.05.23	Мазки и отпечатки жабр и кожи для бактериологических исследований Smears and imprints of gills and skin for bacteriological examination	7/4
2		Посевы образцов внутренних органов и жабр рыб на питательные среды Samples of internal organs and fish gills onto nutrient media	7/4
3		Посев образцов воды на питательную среду Samples of water onto nutrient media	2
4		Соскобы с кожных покровов, жабр, отпечатки внутренних органов для паразитологических исследований Scrapings from skin and gills, imprints of internal organs for parasitological examination	20/5
5		Зафиксированные образцы для гистологических исследований Fixed samples for histopathological examination	12/5
6		Замороженные образцы для вирусологических исследований Frozen samples for virological examination	20/10
7		Мазки крови для гематологических исследований Blood smears for haematological examination	6/6
8		Пробы корма для бактериологических исследований Feed samples for bacteriological examination	1
1	01.06.23	Зафиксированные образцы для гистологических исследований Fixed samples for histopathological examination	10/0
2		Соскобы с кожных покровов, жабр для паразитологических исследований Scrapings from skin and gills for parasitological examination	6/0

Вирусологические исследования

Молодь обрабатывали целиком, объединяя по 5 экз. рыб в один пул. Образцы асептически измельчали, гомогенизировали, взвешивали и разбавляли гомогенат в соотношении 1:10 раствором Хенкса (Биолот), после чего центрифугировали при 2000 g в течение 10 мин. В полученный супернатант добавляли антибиотики (пенициллин-стрептомицин; гентамицин, Биолот) до конечной концентрации не более 300 мкг/мл и деконтаминировали в течение 8 ч при температуре +4 °С. Инокуляцию патматериалом перевиваемой клеточной линии рыб EPC проводили на 96-луночных планшетах одновременно с посевом клеток (Сборник инструкций.., 1998). Планшеты инкубировали при 15 °С, ежедневно просматривая под инвертированным микроскопом для выявления на клетках цитопатического эффекта (ЦПЭ). Через две недели проводили слепой перепассаж патматериала.

Паразитологические исследования

Молодь вскрывали, осматривали на наличие паразитов, видимых невооруженным глазом. Изготавливали препараты соскобов кожных покровов, жабр, внутренних органов. Для идентификации паразитов использовали отечественные и зарубежные источники (Определитель паразитов.., 1984; Fish health protection.., 1984; AFS-FHS FHS blue book.., 2010).

Гистологические исследования

Отобранную молодь аккуратно вскрывали и фиксировали целиком в растворе Дэвидсона. Через 36 ч образцы переносили в 70%-й спирт. При дальнейшей обработке материала использовали общепринятые методики (Bancroft et al., 1990). Гистологические препараты окрашивали гематоксилином-эозином по Мейеру, по Романовскому–Гимзе (для выявления паразитов), ШИК-световым зеленым (для выявления микозной инфекции) и по Граму (для выявления бактерий). Материал анализировали с использованием светового микроскопа Olympus BX43, снабженного цифровой фотографической камерой.

Гематологические исследования

Кровь брали из хвостовой артерии. Мазки высушивали на воздухе, фиксировали в метаноле, окрашивали по методу Романовского стандартным раствором Гимза (Житенева и др., 2004). Количество незрелых эритроцитов, лейкоцитарную формулу крови определяли при помощи общепринятых методик (Лабораторный практикум.., 1983; Сборник инструкций.., 1998). Обращали внимание на дегенеративные изменения клеток красной и белой крови (анизоцитоз, пойкилоцитоз, амитоз, фестончатый край и вакуолизацию цитоплазмы эритроцитов и лейкоцитов и т. д.) (Житенева и др., 1989).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Клиническая картина и эпизоотическая обстановка

В выростных бассейнах 28 мая 2023 г. у 5–10% рыб отмечали поражения кожных покровов разной степени выраженности (далее I группа): от изменения цвета, появления серых пятен за спинным плавником и на хвостовом стебле, потери чешуи (рис. 1А) до глубоких эрозий с разрушением хвостового стебля и плавника (рис. 1Б). Также встречались особи без кожных повреждений, которые плавали на

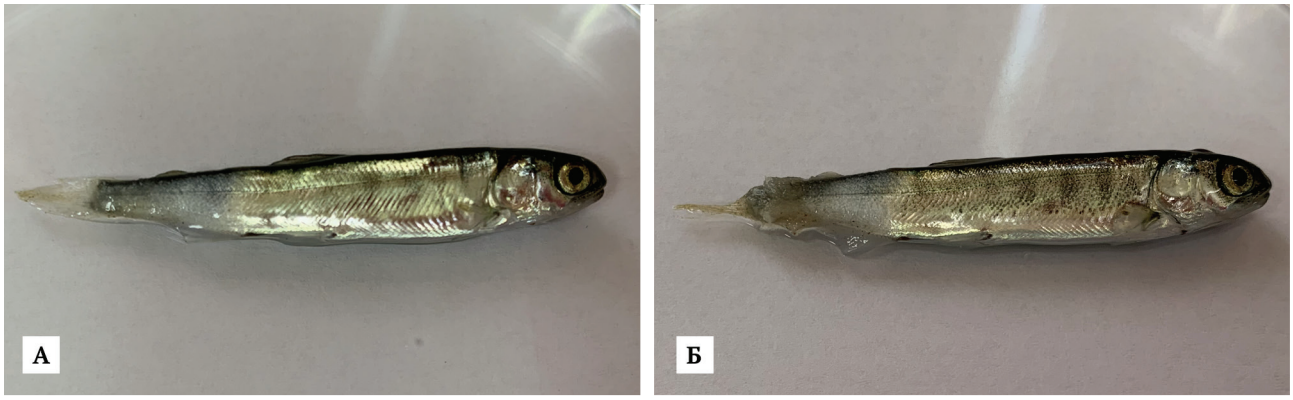


Рис. 1. Клинические признаки заболевания у молоди кеты на ЛРЗ 28.05.2023. А — изменение цвета кожи в области хвостового стебля с потерей чешуи, Б — эрозия хвостового стебля и разрушение хвостового плавника

Fig. 1. Clinical signs of disease in juvenile chum salmon at the hatchery on May 28, 2023. A – skin discoloration in the caudal peduncle area with scale loss, Б – erosion of the caudal peduncle and destruction of the caudal fin

боку. При вскрытии рыб отмечали темно-бордовый цвет и ослизнение жабр, бледность почек, переполнение желчного пузыря, неравномерную окраску печени.

Большая часть рыб в прудах была визуально здоровой (далее II группа). Отход молоди в этот период был незначительным (около 1% на пруд). Средняя температура воды на момент отбора проб составляла 10,1 °С.

Во второй половине дня 1 июня на заводе резко повысился отход. Среди погибших рыб преобладали более крупные особи. Погибающая рыба плавала на боку или кверху брюхом с приоткрытыми жаберными крышками. Других патологических признаков не наблюдали (рис. 2).

По информации, полученной от персонала ЛРЗ, в этот день из-за резкого потепления воздуха температура воды в выростных прудах поднялась с 10 до 12 °С. Стремительно начал падать уровень растворенного в воде кислорода, достигнув во второй половине дня 3 мг/л.

Бактериологические исследования

В соскобах с кожи и жабр исследованной молоди кеты доминировали нитевидные грамотрицательные бактерии (предположительно, *Flavobacterium* sp.) (рис. 3).

У рыб I группы (с признаками патологии) из почек были выделены бактерии видов *Pseudomonas fluorescens* и *Flavobacterium* sp., с жабр и кожи — комплекс (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Aeromonas hydrophila*, грибы *Saprolegnia* sp.). Причем сапролегниевые грибы были выделены у всех рыб с поражениями кожи и жабр. У рыб II группы (визуально здоровых) внутренние органы не были контаминированы микроорганизмами, а на жабрах присутствовали только флавобактерии и псевдомонады (табл. 2).

При определении чувствительности к антибиотикам изоляты флавобактерий оказались наиболее чувствительны к энрофлоксацину (зона 2,8–3,2 см), псевдомонад и аэромонад — к ципрофлоксацину (табл. 3).

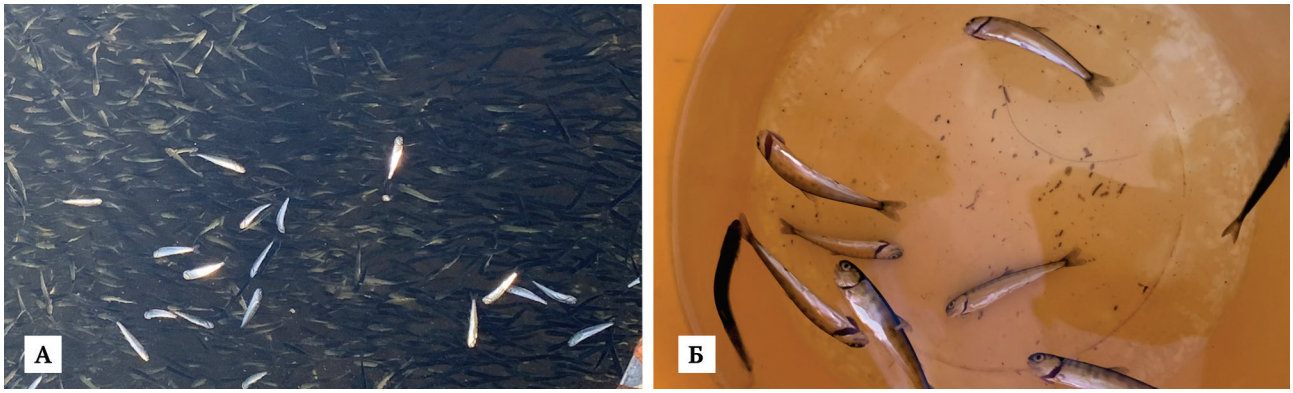


Рис. 2. Молодь кеты 01.06.2023. А — общий вид пруда с погибающей рыбой, Б — рыба с приоткрытыми жаберными крышками
Fig. 2. Juvenile chum salmon on June 1, 2023: A – general view of the pond with moribund fish; Б – fish with partially open opercula

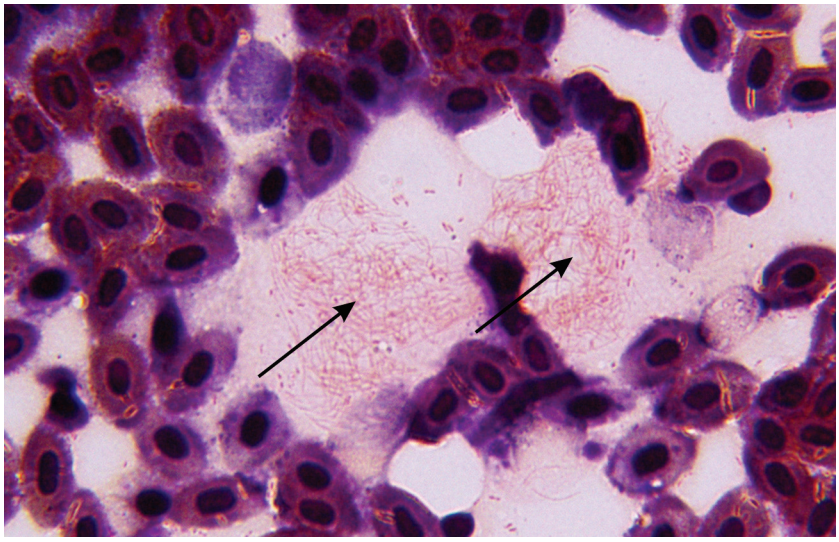


Рис. 3. Скопление нитевидных грамотрицательных бактерий (↑) в соскобе слизи с жабр кеты. Окраска по Граму, ×1000
Fig. 3. Accumulation of filamentous Gram-negative bacteria (↑) in a mucus smear from the gills of chum salmon. Gram stain, ×1000

Таблица 2. Встречаемость (%) условно-патогенных микроорганизмов у молоди кеты разных групп, 28.05.2023
Table 2. Prevalence (%) of opportunistic pathogenic microorganisms in juvenile chum salmon of different groups on May 28, 2023

Микроорганизмы Microorganisms	I группа			II группа	
	Жабры Gills	Почки Kidney	Поражения кожи Skin lesions	Жабры Gills	Почки Kidney
Сапролегниевые грибы / Saprolegnia	100	–	100	100	–
Flavobacterium sp.	100	33,3	100	100	–
Pseudomonas fluorescens	100	20	100	100	–
Aeromonas hydrophila	20	–	–	–	–

Таблица 3. Чувствительность к антибиотикам микроорганизмов, выделенных от молоди кеты, — зона подавления роста (диаметр, см)
Table 3. Antibiotic susceptibility of microorganisms isolated from juvenile chum salmon – growth inhibition zone diameter (cm)

Изоляты / Isolates	Энр / ENR	Ципр / CIP	Тетр / TET	Кан / KAN	Лев / CHL	Ген / GEN	Фур / NIT	Эри / ERY
A. hydrophila (1)	3,0	3,5	2,2	1,3	0,8	–	0,0	–
A. hydrophila (2)	3,5	3,8	2,5	1,8	3,3	–	2,1	–
P. fluorescens	2,5	3,3	1,1	2,2	1,9	2,2	–	–
Flavobacterium sp. (1)	3,2	2,6	0,7	–	0,0	–	–	3,6
Flavobacterium sp. (2)	2,8	1,7	1,8	–	0,8	–	–	1,2

Примечание. Энр — энрофлоксацин, Ципр — ципрофлоксацин, Тетр — тетрациклин, Кан — канамицин, Лев — левомицетин (хлорамфеникол), Ген — гентамицин, Фур — фурадонин (нитрофурантоин), Эри — эритромицин.
Note. ENR – Enrofloxacin, CIP – Ciprofloxacin, TET – Tetracycline, KAN – Kanamycin, CHL – Chloramphenicol, GEN – Gentamicin, NIT – Nitrofurantoin, ERY – Erythromycin.

Общая обсемененность (ОМЧ) воды на выток из пруда составила 2296 КОЕ/мл (загрязненная, II категория, МУ 13-4-2/1742), на втоке — чистая (менее 1000 КОЕ/мл). Микробиологические показатели корма соответствовали нормативным ($1{,}3\times10^2$ КОЕ/г), патогенных бактерий не выявили (Правила бактериологического исследования кормов, 1975).

Вирусологические и паразитологические исследования

На клеточной линии EPC вирусных патогенов не выделили. Макро- и простейших паразитов не обнаружили. У рыб с повреждениями кожи выявили гифы *Saprolegnia* sp., у рыб без повреждений, но плавающих на боку — гифы на жабрах.

Гистопатологические и гематологические исследования

У всех рыб I группы, отобранных 28 мая, на участках кожи, где при визуальном осмотре отмечали изменения окраски, регистрировали некроз и расплавление всех структурных элементов эпидермиса, дермы, подкожной клетчатки (рис. 4А) и прорастание гиф патогенного гриба.

В подлежащей мускулатуре 75% рыб отмечали межклеточный отек, гиперемию и некроз мышечных клеток. Также у всех рыб этой группы выявили тяжелые структурные нарушения в жабрах: расширение кровеносных сосудов жаберных лепестков и утолщение их апикальных частей; утолщение, укорачивание, слипание и гиперемию жаберных ламелл. На поверх-

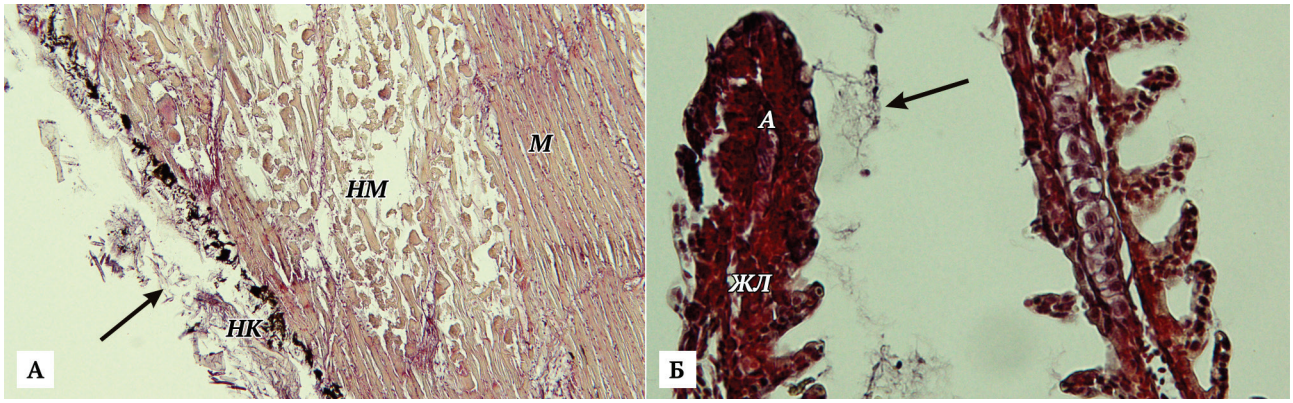


Рис. 4. Гистопатологические изменения в коже, мышечной ткани и жабрах молоди кеты I группы: А — гифы сапролегнии на коже (↑), некроз и расплавление всех слоев кожи (*нк*), некроз (*нм*) и участок незатронутой инфекцией мышечной ткани (*м*); Б — нитевидные бактерии (↑) и утолщенная апикальная часть (*а*) жаберного лепестка (*жл*). Окраска гематоксилин-эозин. А — ×100; Б — ×400
Fig. 4. Histopathological changes in skin, muscle and gills of juvenile chum salmon from Group I: A – Saprolegnia hyphae on the skin (↑), necrosis and disintegration of all skin layers (*нк*), necrosis (*нм*) and an area of muscle tissue unaffected by infection (*м*); Б – filamentous bacteria (↑) and thickened apical part (*а*) of the gill lamella (*жл*). Hematoxylin-eosin staining. A – ×100; Б – ×400

ности жабр повсеместно регистрировали скопления нитевидных грамотрицательных бактерий, а также наличие микроводорослей (рис. 4Б). У 50% рыб наблюдали прорастание гиф сапролегнии в ткани жабр. В почках 50% рыб I группы нитевидные бактерии присутствовали также в полостях почечных канальцев и клубочков. Кроме того, у этих рыб регистрировали ярко выраженный отек и гиперемию почечной паренхимы (рис. 5).

Воспалительную реакцию отмечали и в других внутренних органах рыб этой группы: гиперемию и расширение кровеносных сосудов в селезенке (8,3% рыб), поджелудочной железе (25%), печени (25%), межуточной соединительной ткани желудочно-кишечного тракта (16,6%). Также у 33,3% рыб выявили признаки гемосидероза в паренхиме селезенки и фокальный некроз клеток поджелудочной железы.

Клетки красной крови были представлены как зрелыми, так и незрелыми формами, количество юных эритроцитов варьировало от 19 до 26%. У всех рыб с внешними признаками патологии наблюдали зубчатость оболочки и анизоцитоз (разноразмерность) эритроцитов разной степени выраженности, указывающие на нарушение их осморезистентности — у 50% особей это нарушение приводило к гемолизу (рис. 6А); амитоз (патологическое прямое деление) с образованием безъядерной клетки и/или микроцитов, неправильное расположение и пикноз ядер регистрировали у 50 и 33,3% рыб соответственно. У всех рыб отмечали изменения в лейкоцитарной формуле — лимфопению разной степени (уменьшение количества до практически полного отсутствия лимфоцитов) и преобладание нейтрофилов, скопления вакуолизированных, полуразрушенных и разрушенных макрофагов, внутри которых встречались бактерии (рис. 6Б).

На жабрах рыб II группы, не имевших визуальных патологических изменений, также отмечали наличие нитевидных бактерий. При этом структурных нарушений как в жабрах, так

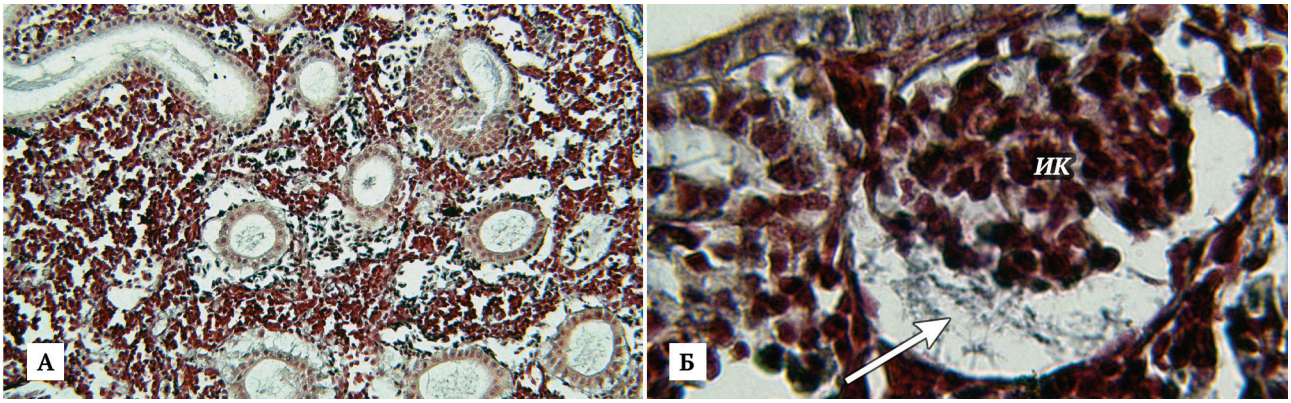


Рис. 5. Гистопатологические изменения, выявленные в почках у молоди кеты I группы: А — межклеточный отек паренхимы заднего отдела почки; Б — нитевидные бактерии (↑) в почечном клубочке (*пк*) заднего отдела почки. Окраска гематоксилин-эозин. А — ×200; Б — ×1000
Fig. 5. Kidney of juvenile chum salmon from Group I: A – intercellular edema of the parenchyma in the posterior kidney; Б – filamentous bacteria (↑) within a renal glomerulus (*пк*) of the posterior kidney. Hematoxylin-eosin staining. A – ×200; Б – ×1000

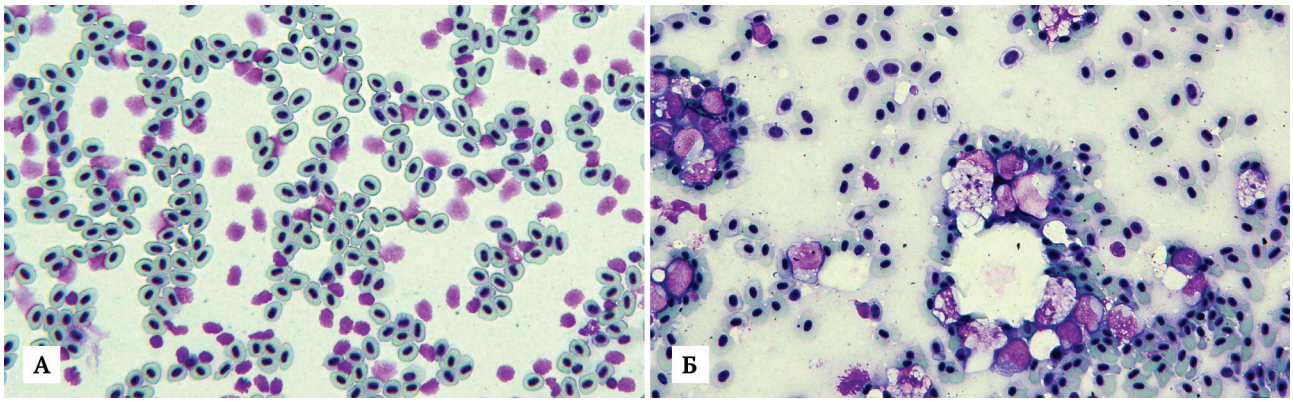


Рис. 6. Картина крови молоди кеты I группы. А — гемолиз эритроцитов, Б — скопления макрофагов. Окраска по Романовскому–Гимзе, ×400
Fig. 6. Blood picture of juvenile chum salmon from Group I. A – erythrocyte hemolysis; Б – macrophage aggregates. Romanowsky-Giemsa stain, ×400

и в других органах и тканях не выявили. У рыб этой группы в лейкоцитарной формуле обнаружили небольшой сдвиг в сторону увеличения количества нейтрофилов, единичные моноциты, а также наблюдали слабовыраженный анизоцитоз (разноразмерность) и зубчатость оболочек эритроцитов.

У погибающих рыб, отобранных 01.06.2023, серьезные патологические изменения обнаружили только в жабрах. Они характеризовались выраженным отеком клеток респираторного эпителия. На некоторых участках жабр регистрировали кровенаполнение ламелл, булавовидные утолщения их апикальных частей, выход клеток крови наружу вследствие разрыва покровов и отслоение эпителиального слоя. В окружающем жаберные лепестки пространстве присутствовало большое количество детрита и микроводорослей. Структурных изменений внутренних органов не обнаружили. В желудке и кишечнике рыб находились пищевые фрагменты, — рыба активно питалась перед гибелью.

Полученные в результате комплексных исследований данные указывают на сочетанное действие на молодь рыб хронического бактериального процесса и острого гипоксического стресса. Отсутствие вирусных патогенов и паразитов исключает опасные заболевания указанной этиологии. Выявленный комплекс микроорганизмов (*Flavobacterium* sp., *P. fluorescens*, *A. hydrophila*), как правило, ассоциирован с бактериальными заболеваниями лососевых при искусственном выращивании (Austin, Austin, 2016). Доминирование флавобактерий на жабрах и в поражениях кожи, а также характерная клиническая и гистопатологическая картина с высокой вероятностью указывают на бактериальную холодноводную болезнь (bacterial cold-water disease – BCWD), вызываемую *Flavobacterium psychrophilum* (Starliper, 2011). Морфологические признаки (нитевидные грамотрицательные палочки) и избирательное культивирование на среде TYES характерны для этого патогена, но для окончательного подтверждения видовой принадлежности нужна молекулярная верификация методом ПЦР.

Ассоциация флавобактерий *с P. fluorescens* и *A. hydrophila*, особенно у рыб с выраженными поражениями, свидетельствует о полимикробном характере инфекции, что нередко наблюдается при ослаблении иммунного статуса рыб (Мирзоева, 2000). Эти бактерии являются обычными обитателями воды и становятся патогенными при стрессе, травмах или нарушении целостности покровов. Сапролегниевые грибы, выделенные от всех рыб с поражениями кожи, играли роль вторичных патогенов (Plumb, Hanson, 2011) и усиливали тяжесть болезни за счет инвазивного роста в некротизированных тканях.

Нитевидные бактерии, обнаруженные на жабрах клинически здоровых рыб (II группа) без системных поражений, указывали на латентное носительство. Это согласуется с данными о том, что *F. psychrophilum* могут колонизировать жабры и кожу, не вызывая заболевания при благоприятных для рыб условиях среды (Madetoja et al., 2002). Однако при воздействии стресс-факторов (повышение температуры, гипоксия, высокая плотность посадки) латентная инфекция может перейти в манифестную форму, что и произошло в условиях резкого изменения гидрологических показателей.

Важным фактором, способствующим развитию бактериальной инфекции, стало загрязнение воды органическими веществами, о чем свидетельствовало повышенное ОМЧ на выстоке из пруда (2296 КОЕ/мл). Высокое содержание органики создало благоприятную среду для размножения условно-патогенной микрофлоры и ухудшило оксигенацию воды, усугубляя гипоксию. Такие условия ослабляют иммунитет рыб, делая их более восприимчивыми к условно-патогенным микроорганизмам, присутствующим в воде. Это подтверждает, что инфекция на ЛРЗ развивалась по механизму экологически обусловленного заболевания, где решающую роль играли условия содержания, а не прямое заражение из внешней среды.

Эпизод острой гибели рыб 1 июня характеризовался классическими признаками гипоксии, вызванной температурным скачком в сочетании с резким снижением растворенного кислорода. Повышение температуры с 10 до 12 °C привело к снижению растворимости кислорода в воде с одновременным ростом метаболических потребностей рыб. Падение уровня растворенного кислорода до 3 мг/л является критическим для лососевых, особенно крупных особей с более высоким уровнем обмена (Jobling, 1994; Jonsson, Jonsson, 2023). Гистологическая картина жабр в этот день (отек и отслоение респираторного эпителия, булавовидные утолщения ламелл) типична для острого гипоксического повреждения (Ferguson, 2006). Наличие пищи в желудочно-кишечном тракте

подтверждает, что гибель наступила внезапно, без предшествующего отказа от корма, что характерно для острой гипоксии, а не для хронического токсикоза. Среди погибших преобладали крупные особи, что согласуется с их более высокой чувствительностью к дефициту кислорода из-за большего его абсолютного потребления.

Отсутствие структурных нарушений жабр у рыб II группы (без признаков патологии) при их обсемененности бактериями подтверждает, что наличие бактерий само по себе снижает эффективность газообмена. На фоне такой уже существующей проблемы резкое падение содержания кислорода 01.06.2023 стало фатальным. Таким образом, гипоксия в данном случае выступает как триггерный фактор, приводящий к массовой гибели ослабленных рыб, но не является единственной причиной. Это объясняет, почему в течение мая наблюдалась постоянная низкая смертность, а 1 июня произошел замор.

Выявленные у рыб отклонения в картине белой крови (лимфопения, макрофагальная реакция, наличие бактерий в макрофагах и т. д.) свидетельствуют о выраженном токсико-инфекционном процессе. Например, лимфопения может указывать на иммунодепрессию, часто наблюдаемую при бактериальных инфекциях у рыб (Zulhisyam, 2025). Обнаруженные дегенеративные процессы в клетках красной крови (лизис эритроцитов, амитотическое деление) часто наблюдаются при токсикозе, гипоксии и анемии. Амитоз, патологическое прямое деление клетки с образованием двух микроцитов или микроцита и безъядерной клетки, имеет компенсаторное значение, способствуя увеличению общего количества эритроцитов и росту кислородной емкости крови (Житенева и др., 1989). Описанные изменения были более выражены у рыб с клиническими проявлениями (I группа) и могут служить дополнительным критерием для оценки тяжести инфекционного процесса и степени гипоксии.

Полученные данные о чувствительности выделенных штаммов к антибиотикам имеют важное практическое значение. Все выделенные от молоди кеты штаммы бактерий оказались чувствительны к фторхинолонам: флавобактерии — к энрофлоксацину, псевдомонады и аэромонады — к ципрофлоксацину. Эта группа антибиотических препаратов широко применяется в аквакультуре РФ (Головин и др., 2005). Важно подчеркнуть, что при хроническом течении инфекции применение антибиотиков не рекомендуется, поскольку оно может способствовать селекции устойчивых штаммов и не решает проблему основных стресс-факторов. Лечение антибиотиками следует рассматривать как крайнюю меру при угрозе острой вспышки, а приоритетными должны быть профилактические меры по корректировке условий содержания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований на рыбоводном заводе Сахалинской области в 2023 году у молоди кеты была диагностирована хроническая бактериальная инфекция, в которой ведущую роль играли флавобактерии — вероятные возбудители холодноводной болезни (*Flavobacterium psychrophilum*), тогда как ассоциированными патогенами выступали псевдомонады, подвижные аэромонады и сапролегниевые грибы. Инфекция проявлялась двумя формами — клинически выраженной системной бактериемией с типичными поражениями кожи и хвостового стебля и выраженными гистопатологическими изменениями во внутренних органах, а также латентной, при которой у визуально здоровых рыб наблюдалась колонизация жабр бактериями без системного распространения, что создавало резервуар инфекции и риск вспышки при стрессе. Острая массовая гибель рыб 01.06.2023 была обусловлена резкой гипоксией, вызванной температурным скачком и падением уровня растворенного кислорода на фоне уже существующей бактериальной контаминации жабр, снижающей их газообменную функцию, при этом гистологическая картина жабр являлась типичной для острого гипоксического повреждения. Выявленные у рыб гематологические отклонения, включая лимфопению, макрофагальную реакцию с наличием бактерий внутри макрофагов, а также дегенеративные изменения эритроцитов указывали на токсико-инфекционный процесс, протекающий на фоне бактериальной инфекции и гипоксии, причем выраженность морфофункциональных изменений эритроцитов отражала степень интоксикации и компенсаторных реакций организма.

Все выделенные штаммы бактерий проявили чувствительность к фторхинолонам (флавобактерии — к энрофлоксацину, псевдомонады и аэромонады — к ципрофлоксацину), что может служить основой для выбора антибиотиков при необходимости терапии. Однако при хро-

ническом течении инфекции применение антибиотиков не рекомендуется во избежание селекции устойчивых штаммов, а приоритетными должны быть профилактические меры по корректировке условий содержания, включая контроль гидрохимического режима и снижение органического загрязнения воды.

Таким образом, причиной гибели молоди кеты на ЛРЗ Сахалинской области в 2023 году стал результат сочетанного действия хронического бактериального процесса, создававшего постоянную низкоуровневую смертность, и острого гипоксического стресса, выступившего триггерным фактором массового замора ослабленных рыб, что подчеркивает необходимость комплексного подхода к оценке эпизоотической ситуации на рыбоводных заводах с учетом как инфекционной составляющей, так и абиотических факторов среды.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Ветеринарно-санитарные нормы и требования к качеству кормов № 13-7-2/1010. 1997. Департамент ветеринарии Минсельхозпрода России. 10 с.

Головин П.П., Головина Н.А., Романова Н.Н. 2005. Кадастр лечебных препаратов, используемых и апробированных в аквакультуре России и за рубежом. М.: Росинформагротех. 54 с. EDN: QKXLDL.

Житенева Л.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А. 2004. Основы ихтиогематологии. Ростов-на-Дону: Эверест. 312 с. EDN: QKNUYB.

Житенева Л.Д., Полтавцева Т.Г., Рудницкая О.А. 1989. Атлас нормальных и патологически измененных клеток крови рыб. Ростов-на-Дону. 112 с.

Лабораторный практикум по болезням рыб. 1983. Под ред. В.А. Мусселиус. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 294 с.

Мирзоева Л.М. 2000. Болезни рыб при индустриальном выращивании // Рыбн. хоз-во. Обз. инф., сер. «Болезни гидробионтов в аквакультуре». М.: ВНИЭРХ. Вып. 1. С. 1–60.

МУ 13-4-2/1742. 1999. Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. Минсельхозпрод РФ. 20 с.

МУК 4.2.1890. 2004. Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. М.: Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 91 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Паразитические простейшие. 1984. Под ред. О.Н. Бауера. Л.: Наука. Т. I. 431 с.

Правила бактериологического исследования кормов. 1975. М.: Колос. 20 с.

Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. 1998. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро. Ч. 1. 310 с.

Смирнов Б.П., Леман В.Н., Шульгина Е.В. 2006. Заводское воспроизводство тихоокеанских лососей в России: современное состояние, проблемы и перспективы // Современные проблемы лососевых рыбоводных заводов Дальнего Востока : Матер. Междунар. науч.-практ. семинара (Петропавловск-Камчатский, 30 ноября – 1 декабря 2006 г.). Петропавловск-Камчатский: Камч. печатный двор. С. 16–26.

AFS-FHS FHS blue book: suggested procedures for the detection and identification of certain finfish and shellfish pathogens. 2010. AFS-FHS (American Fisheries Society-Fish Health Section), Bethesda, Maryland, 352 p.

Austin B., Austin D.A. 2016. Bacterial fish pathogens: disease in farmed and wild fish. Sixth Ed. New York: Ellis Horwood Limited. 732 p.

Bancroft D., Stevens A., Turner D.R. 1990. Theory and practice of histological techniques. Edinburgh, London, Melbourne, New York: Churchill Livingstone Inc. 725 p.

Ferguson H.W. 2006. Systemic pathology of fish: A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. 2nd ed. London: Scotian Press. 368 p.

Fish health protection regulations manual of compliance. 1984. Fish. Mar. Serv. Misc. Spec. Publ. 31 (Revised). 32 p.

Jobling M. 1994. Fish Bioenergetics. 1st ed. London, New York: Chapman & Hall fish and fisheries series. 310 p.

Jonsson B., Jonsson N. 2023. Thermal effects on ecological traits of salmonids // *Fishes*. Vol. 8 (7). EDN: TALPOY. doi:10.3390/fishes8070337

Madetoja J., Dalsgaard I., Wiklund T. 2002. Occurrence of *Flavobacterium psychrophilum* in fish-farming environments // J. Diseases of Aquatic Organisms. Vol. 52. P. 109–118. doi:10.3354/dao052109

Plumb J.A., Hanson L.A. 2011. Health maintenance and principal microbial diseases of cultured fishes. 3rd ed. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd. P. 345–417. EDN: SRIYWZ. doi:10.1002/9780470958353

Starliper C.E. 2011. Bacterial coldwater disease of fishes caused by *Flavobacterium psychrophilum* // J. of Advanced Research. Vol. 2. P. 97–108. doi:10.1016/j.jare.2010.04.001

Zulhisyam A.K. 2025. Abiotic and biotic factors affecting the immune system of aquatic species: a review // Comparative Immunology Reports. Vol. 9. doi.org/10.1016/j.cirep.2025.200230

REFERENCES

Veterinarno-sanitarnyye normy i trebovaniya k kachestvu kormov № 13-7-2/1010 [Veterinary-Sanitary Norms and Feed Quality Requirements. No. 13-7-2/10101997]. Department of Veterinary Medicine, Ministry of Agriculture and Food of Russia, 1997, 10 p.

Golovin P.P., Golovina N.A., Romanova N.N. *Kadastr lechebnykh preparatov, ispolzuyemykh i aprobirovannykh v akvakulture Rossii i za rubezhom* [Inventory of therapeutic agents used and tested in aquaculture in Russia and abroad]. Moscow: Rosinformagrotech, 2005, 54 p. EDN: QKXLDL.

Zhiteneva L.D., Makarov E.V., Rudnitskaya O.A. *Osnovy ikhtiogematologii* [Fundamentals of Ichthyohaematology]. Rostov-on-Don: Everest, 2004, 312 p. EDN: QKNUYB.

Zhiteneva L.D., Poltavtseva T.G., Rudnitskaya O.A. *Atlas normalnykh i patologicheski izmenennykh kletok krovi ryb* [Atlas of normal and pathologically altered blood cells in fish]. Rostov-on-Don, Rostov Book Publishing House, 1989, 112 p.

Laboratornyy praktikum po boleznyam ryb [Laboratory Manual on Fish Diseases]. Ed. by V.A. Musselius. Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost, 1983, 294 p.

Mirzoyeva L.M. Fish diseases in industrial-scale farming. *Fisheries: Review Information, Series "Diseases of Aquatic Organisms in Aquaculture"*. Moscow: VNIERKh, 2000, issue 1, pp. 1–60. (In Russ.)

Metodicheskie ukazanija po sanitarno-bakteriologichaskoj otsenke rybohozyaistvennykh vodoemov [Guidelines for the sanitary and bacteriological assessment of fishery reservoirs]. Minselkhozprod RF, 1999, 20 p.

Metodicheskie ukazanija 4.2.1890. *Opredeleniye chuvstvitel'nosti mikroorganizmov k antibakterial'nym preparatam* [Guidelines for Determination of the susceptibility of microorganisms to antibacterial agents]. Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia, 2004, 91 p.

The Key to Parasites of Freshwater Fish of Fish of the USSR Fauna, edited by Bauer. Vol. 1: Parasitic Protozoa. Leningrad: Nauka, 1984, 431 p. (In Russ.)

Pravila bakteriologicheskogo issledovanija kormov [Rules of bacteriological examination of feedstuffs]. Main Veterinary Directorate of the USSR Ministry of Agriculture, 1975, 9 p.

Sbornik instruktsij po borbe s boleznjami ryb [A collection of instructions to cope fish diseases]. Moscow: Marketing Department of AMBagro, 1998, part 1, 310 p.

Smirnov B.P., Leman V.N., Shulgina E.V. Hatchery-based propagation of Pacific salmon in Russia: current status, problems, and prospects. *Modern problems of salmon hatcheries in the Russian Far East:* Proceedings of the International Scientific and Practical Seminar (Petropavlovsk-Kamchatsky, November 30 – December 1, 2006). Petropavlovsk-Kamchatsky, 2006, pp. 16–26. (In Russ.)

AFS-FHS FHS blue book: suggested procedures for the detection and identification of certain finfish and shellfish pathogens. AFS-FHS (American Fisheries Society-Fish Health Section), Bethesda, Maryland, 2010, 352 p.

Austin B., Austin D.A. Bacterial fish pathogens: disease in farmed and wild fish. Sixth Ed. New York: Ellis Horwood Limited, 2016, 732 p.

Bancroft D., Stevens A., Turner D.R. Theory and practice of histological techniques. Edinburgh, London, Melbourne, New York: Churchill Livingstone Inc., 1990, 725 p.

Ferguson H.W. Systemic pathology of fish: A text and atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. 2nd ed. London: Scotian Press, 2006, 368 p.

Fish health protection regulations manual of compliance. Fish. Mar. Serv. Misc. Spec. Publ. 31 (Revised), 1984, 32 p.

Jobling M. Fish Bioenergetics. 1st ed. London, New York: Chapman & Hall fish and fisheries series, 1994, 310 p.

Jonsson B., Jonsson N. Thermal effects on ecological traits of salmonids. *Fishes*, 2023, vol. 8 (7). EDN: TALPOY. doi:10.3390/fishes8070337

Madetoja J., Dalsgaard I., Wiklund T. Occurrence of *Flavobacterium psychrophilum* in fish-farming environments. *J. Diseases of Aquatic Organisms*, 2002, vol. 52, pp. 109–118. doi:10.3354/dao052109

Plumb J.A., Hanson L.A. Health maintenance and principal microbial diseases of cultured fishes. 3rd ed. Iowa, USA: Blackwell Publishing Ltd., 2011, pp. 345–417. EDN: SRIYWZ. doi:10.1002/9780470958353

Starliper C.E. Bacterial coldwater disease of fishes caused by *Flavobacterium psychrophilum*. *J. of Advanced Research*, 2011, vol. 2, pp. 97–108. doi:10.1016/j.jare.2010.04.001

Zulhisyam A.K. Abiotic and biotic factors affecting the immune system of aquatic species: a review. *Comparative Immunology Reports,* 2025, vol. 9. EDN: DYEFBI. doi:10.1016/j.cirep.2025.200230

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Сбор материала и его обработка не противоречили международным нормам обращения с животными, соответствующим Директиве 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 по охране животных, используемых в научных целях (https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf). Библиографические ссылки на все использованные данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The collection of material and its processing did not contradict international standards for the treatment of animals, corresponding to Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of the European Union of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes. 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 interests.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHORS CONTRIBUTION INFORMATION

Е.А. Устименко проводила отбор проб и микробиологические исследования; Т.В. Рязанова — отбор проб, гистологические и паразитологические исследования; Е.В. Бочкова — вирусологические и гематологические исследования; Н.В. Сергеенко формировала структуру статьи, раздел «Введение». В обсуждении полученных результатов авторы участвовали в равной мере.

Elena A. Ustimenko conducted sampling and microbiological studies; Tatiana V. Ryazanova – sampling, histological and parasitological studies; Elena V. Bochkova – virological and haematological studies; Natalya V. Sergeenko formed the structure of the article, the section Introduction. All authors contributed equally to the discussion of the obtained results.

Информация об авторах
Е.А. Устименко — канд. биол. наук,
вед. науч. сотрудник,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
e.ustimenko@kamniro.vniro.ru,
ORCID 0000-0003-2248-6788
Т.В. Рязанова — канд. биол. наук,
вед. науч. сотрудник,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
t.ryazanova@kamniro.vniro.ru,
ORCID 0000-0001-7695-1927
Е.В. Бочкова — гл. специалист,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
e.bochkova@kamniro.vniro.ru,
ORCID 0000-0001-7462-3591
Н.В. Сергеенко — канд. биол. наук,
зав. лабораторией здоровья гидробионтов,
Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
n.sergeenko@kamniro.vniro.ru,
ORCID 0000-0002-6520-2039

Information about the authors
Elena A. Ustimenko – Ph. D. (Biology),
Leading Researcher (KamchatNIRO),
e.ustimenko@kamniro.vniro.ru,
ORCID: 0000-0003-2248-6788
Tatiana V. Ryazanova – Ph. D. (Biology),
Leading Researcher (KamchatNIRO),
t.ryazanova@kamniro.vniro.ru,
ORCID: 0000-0001-7695-1927
Elena V. Bochkova – Principal Specialist
(KamchatNIRO),
e.bochkova@kamniro.vniro.ru,
ORCID: 0000-0001-7462-3591
Natalya V. Sergeenko – Ph. D. (Biology),
Head of Lab. of Health of hydrobionts
(KamchatNIRO),
n.sergeenko@kamniro.vniro.ru,
ORCID: 0000-0002-6520-2039

Статья поступила в редакцию / Received:
09.07.2026
Одобрена после рецензирования / Revised:
20.07.2026
Статья принята к публикации / Accepted:
14.08.2026

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. Произведён сравнительный анализ плодовитости разных видов камбал, включая оценку степени их сходства по динамике плодовитости в связи с изменением размеров и возраста самок. Установлено определённое 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.

Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2026. Вып. 80.
The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2026. Vol. 80.
ISSN 2072-8212 (print), ISSN 2782-6236 (online)

ИЗДАТЕЛЬСТВО КАМЧАТСКОГО ФИЛИАЛА ФГБНУ «ВНИРО» (КАМЧАТНИРО) ПРЕДЛАГАЕТ:

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

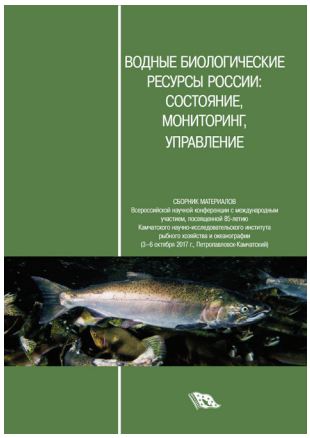
Крогиус Ф.В. Воспоминания о Камчатке и о создании научной работы (1932–1985) 8
Полутов И.А. Избранные главы из книги воспоминаний «Давным-давно» (1995) 33
Акулин В.Н. Моя Камчатка. Шестидесятые годы 47
Яцковский А.И. О камчатских ихтиологах: из книги «По горам и долинам Камчатки» (1959) 56
Корягина (Бирман) 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

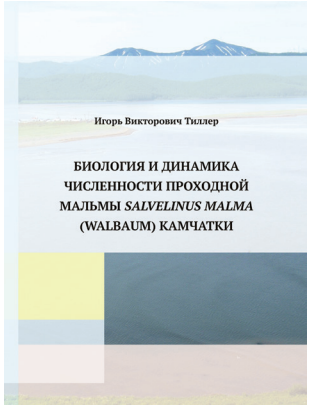


Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). 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.

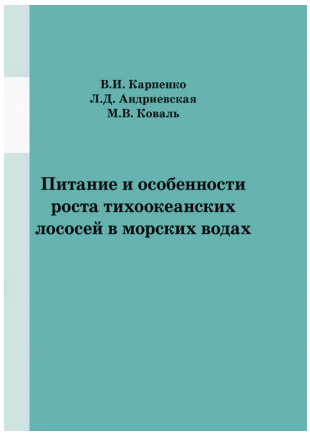
Современное состояние и методы изучения экосистем внутренних водоемов. Сборник материалов Всероссийской научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Ивановича Куренкова (7–9 октября 2015 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2015. 235 с.

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.

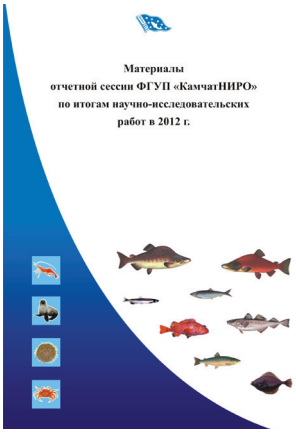
Электронная версия доступна по ссылке: www.kamniro.ru/publishing/kamniro/sovremennoe_sostoyanie_i_metody_izucheniya_ekosistem_vnutrennih_vodoemov



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.

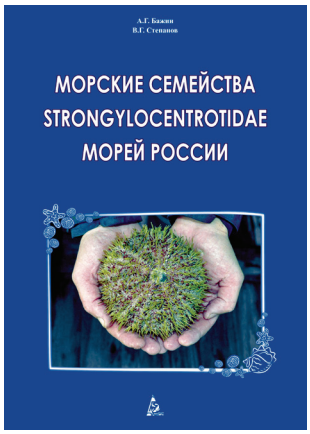
Описаны районы обитания лососей камчатских популяций и исследованы основные факторы среды, влияющие на их питание и рост в море. Для этого изучен состав пищи и оценены пищевые потребности пяти видов (горбуши, кеты, нерки, кижуча и чавычи) на отдельных этапах морского периода жизни. Изучена многолетняя 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.

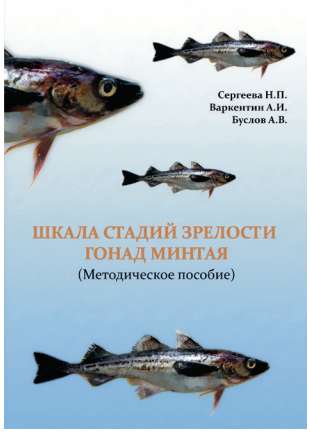
Книга адресована биологам, специалистам по добыче и обработке морского биологического сырья, а также студентам рыбохозяйственных, биологических и рыбопромысловых факультетов и всем, интересующимся природой моря.

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».

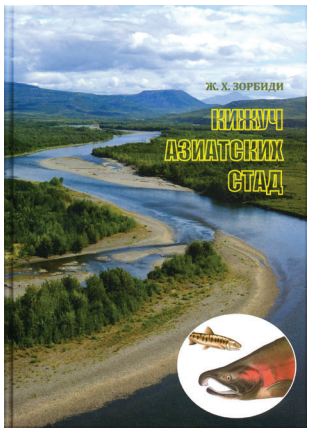
Дьяков Ю.П. **Камбалообразные (PLEURONECTIFORMES) дальневосточных морей России** (пространственная организация фауны, сезоны и продолжительность нереста, популяционная структура вида, динамика популяций). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2011. 428 с.

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.



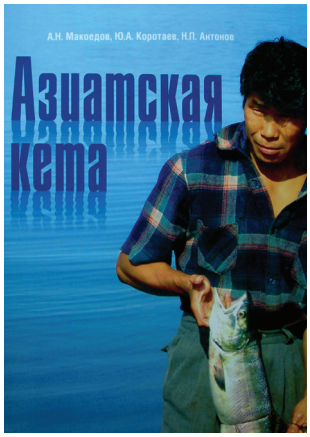
Сергеева Н.П., Варкентин А.И., Буслов А.В. **Шкала стадий зрелости гонад минтая.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2011. 92 с.

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.



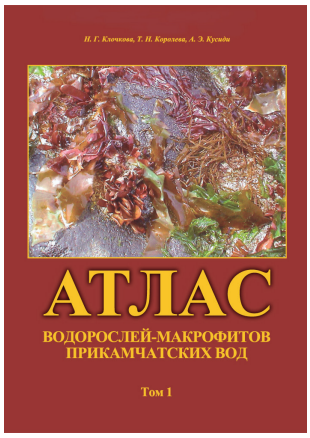
Зорбиди Ж.Х. **Кижуч азиатских стад.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2010. 306 с.

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.



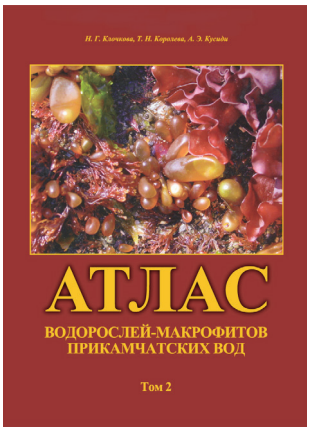
Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. **Азиатская кета.** Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 2009. 356 с.

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 80. 2026

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 23.09.2026. Дата выхода 30.09.2026, № 1 (80), 2026.
Формат 60×84/8. Печать офсетная.
Заказ № КХ26-000208. Тираж 300 экз. Цена свободная.

Отпечатано в Типографии ООО «Камчатпресс».
Адрес: 683024 Петропавловск-Камчатский, ул. Кроноцкая, д. 12а.