

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Обзорная статья

УДК 639.2.053:597.552.511**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-964-1002****EDN: UWVHLB****ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
ОПРАВДЫВАЕМОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ПРОГНОЗОВ ТИХООКЕАНСКИХ
ЛОСОСЕЙ КАМЧАТСКОГО КРАЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД
(АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР 2010–2020-Х ГГ.)****А.В. Бугаев, О.В. Зикунова, О.Б. Тепнин, Н.Б. Артюхина, Н.Ю. Шпигальская***Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),
683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18

Аннотация. Рассмотрены основные принципы формирования и оценки результативности современных прогнозов динамики запасов тихоокеанских лососей Камчатки на примере ряда наблюдений 2018–2024 гг. Проведен критический анализ оправдываемости прогнозов для главных единиц лососевых запасов, даны установки корректной интерпретации полученных данных, а также рассмотрены возможные причины несоответствия прогнозных ожиданий и фактической динамики запасов. Описаны методические аспекты подготовки прогнозов с учетом видовых особенностей тихоокеанских лососей. Обозначены конкретные единицы запасов видов, прогнозирование численности которых доступно с применением математического моделирования. Показано, что в период современной высокой численности лососевых запасов рационально использовать трендовый подход для определения объемов прогнозируемого вылова, так как имеются все возможности для оперативной корректировки их потенциального промыслового изъятия в зависимости от фактических подходов лососей в текущую путину. Дано описание климато-океанологических условий, сложившихся в рассматриваемый период. Определен экосистемный характер несоответствия показателей прогнозируемых и фактических подходов/вылова тихоокеанских лососей в 2020 и 2024 гг. Наиболее вероятной причиной повышенной экосистемной смертности является наличие плотного фактора, вследствие значительного увеличения численности тихоокеанских лососей в современный период (2010–2020-е гг.). Предполагается, что тотальное снижение размерно-массовых показателей тихоокеанских лососей приводит к повышенной смертности рыб при изменениях океанологических условий, влияющих на их кормовую базу. Особое внимание следует уделить образованию обширных зон положительных или отрицательных значений аТПО в зонах нагула камчатских лососей на ранних этапах преднерестовых миграций в юго-западной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана.

* Бугаев Александр Викторович, доктор биологических наук, заместитель руководителя филиала, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131; Зикунова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, o.zikunova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-6173-5667; Тепнин Олег Борисович, заведующий сектором, o.terpin@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9596-4336; Артюхина Нина Борисовна, заведующая сектором, n.artuyuhina@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2713-8172; Шпигальская Нина Юрьевна, кандидат биологических наук, руководитель филиала, n.shpigalskaya@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2151-6220.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, прогнозирование, динамика численности, лососевые запасы, промысел, климато-океанологические условия

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

Review article

Basic principles of developing and interpretation of validity for fishery forecasts of pacific salmon in the Kamchatka Region in the modern period (analytical review for 2010–2020s)

Alexander V. Bugaev*, Olga V. Zikunova**, Oleg B. Tepnin***,
Nina B. Artyukhina****, Nina Yu. Shpigalskaya*****

*–***** Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO),

18, Naberezhnaya Street, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia

* D.Biol., deputy director, a.bugaev@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0782-6131

** Ph.D., head of laboratory, o.zikunova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-6173-5667

*** head of sector, o.tepnin@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9596-4336

**** head of sector, n.artukhina@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0007-2713-8172

***** Ph.D., director, n.shpigalskaya@kamniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2151-6220

Abstract. Basic principles of fishery forecasts developing and their performance evaluation are considered for the modern forecasting of pacific salmon stocks dynamics in Kamchatka in 2018–2024. The forecasts validity is critically analyzed for the main units of the stocks, with attention to correct interpretation of the results and possible reasons of discrepancy between predicted and actual stock dynamics. Methodological aspects of forecasting are described taking into account the species specifics for pacific salmon. Certain stock units whose abundance forecasting is available using mathematical modeling are outlined. In the modern period of high abundance of salmon, a trend approach to forecasting is rational, because of possibility of prompt adjustment of the catch values in dependence on actual volume of the salmon runs. Climate and oceanographic conditions at Kamchatka are described for the modern period. Ecosystem nature of the discrepancy between predicted and actual rates of runs and catches for pacific salmon in 2020 and 2024 is shown. Density factor in the ecosystem due to significant increase of the salmon abundance in 2010–2020s is determined as the most likely reason of unexpectedly weak runs, presumably because of heightened mortality of fish with the length and weight decreasing under environmental changes negative for their food base. Special attention in forecasting should be paid to vast areas of positive or negative SST anomalies on the feeding grounds of Kamchatka herds of pacific salmon in the southwestern Bering Sea and North-West Pacific during their early pre-spawning migrations.

Keywords: pacific salmon, fishery forecasting, stock dynamics, salmon stock, fishery, environmental conditions

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

Введение

В рыбохозяйственном секторе Камчатского края (Камчатка) тихоокеанские лососи *Oncorhynchus* spp. занимают особое место. Основу регионального лососевого промысла (практически 100 %) составляют пять видов — горбуша *O. gorbuscha*, кета *O. keta*, нерка *O. nerka*, кижуч *O. kisutch* и чавыча *O. tshawytscha*. Их суммарный ежегодный вылов в 2010–2020-е гг. в среднем составлял порядка 260 тыс. т [Бугаев и др., 2023а, б]. По объемам промыслового изъятия тихоокеанские лососи находятся на втором месте среди массовых видов биоресурсов, добываемых в водах края. Отметим, что в последние

10 лет в региональном рыболовстве первое место традиционно принадлежало минтаю (порядка 1000 тыс. т), а третье и четвертое занимали соответственно сельдь (около 150 тыс. т) и другие тресковые рыбы (в среднем 100 тыс. т) [Дьяков, Бугаев, 2022, 2023].

Однако значимость тихоокеанских лососей определяется не только объемами добычи (вылова), но и вовлеченностью данного биоресурса в экономику Камчатского края. В настоящее время наличие диких лососевых запасов является привлекающим брендом для развития масштабного регионального туризма. Кроме того, большая часть камчатского рыбоперерабатывающего комплекса базируется именно на выпуске продукции из тихоокеанских лососей. При этом в последние годы происходит повсеместное развитие глубокой переработки лососевого сырья. Таким образом, сложившиеся условия обеспечивают многолетнюю перспективу занятости населения края, учитывая, что тихоокеанские лососи относятся к возобновляемым сырьевым ресурсам.

В свою очередь формирование стабильной системы регионального рыболовства напрямую зависит от мер, применяемых для рационального использования наиболее значимых запасов водных биоресурсов. Базовым этапом подобных мер регулирования является прогнозирование динамики численности объектов промысла, чем и занимается рыбохозяйственная наука. В отношении тихоокеанских лососей в современных условиях данный вид прикладных исследований приобретает особую значимость, что напрямую связано со значительным увеличением лососевых запасов Камчатского края в 2010–2020-е гг.

Анализируя полный исторический ряд имеющихся данных о прибрежном и речном вылове тихоокеанских лососей Камчатки (1910–2024 гг.), можно отметить четкую тенденцию увеличения уловов во 2–3-м десятилетиях XXI века по сравнению с XX веком (рис. 1).

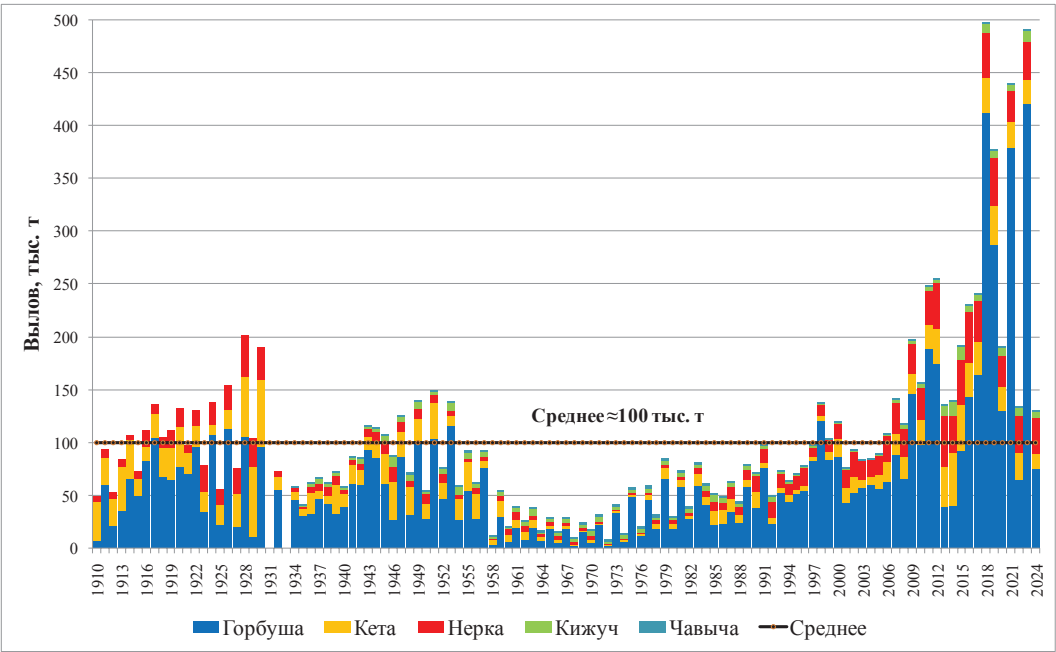


Рис. 1. Динамика уловов тихоокеанских лососей Камчатки в 1910–2024 гг. (по данным архива КамчатНИРО)

Fig. 1. Dynamics of pacific salmon catch in Kamchatka in 1910–2024 (KamchatNIRO archival data)

В период 2011–2024 гг. среднегодовое значение вылова лососей превысило 260 тыс. т. При этом структура уловов выглядела следующим образом: горбуша — ~70 %, кета — ~12, нерка — ~15, кижуч и чавыча — ~3 %. Акцентиру-

ем внимание на том, что в современный период, даже в неурожайные для возвратов горбуши годы, ежегодный вылов превосходил среднееголетние показатели добычи тихоокеанских лососей 1910–2024 гг. (~100 тыс. т), составляя более 130 тыс. т. Причем указанный показатель вылова при сопоставлении с периодом 1960–1980-х гг. отличался на порядковом уровне. Это еще раз указывает на исторически высокое состояние современных запасов тихоокеанских лососей Камчатки.

Сложившаяся в XX–XXI веках динамика численности тихоокеанских лососей как Камчатки, так и Дальнего Востока России (СССР) в основном связана с естественной циклической изменчивостью климато-океанологических условий Северной Пацифики, влияющих на продуктивность этой группы рыб [Кляшторин, Любушин, 2005; Бугаев, Тепнин, 2024]. Однако дополнительное негативное воздействие на запасы дальневосточных лососей оказал и масштабный дрефтерный промысел, проводившийся японскими рыбодобывающими компаниями в открытых водах Северной Пацифики [Справочные материалы..., 2010; Бугаев, 2015].

В 1950–1970-е гг. уровень ежегодной добычи тихоокеанских лососей дрефтерными судами в среднем составлял порядка 100 тыс. т. После принятия Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. об образовании государствами 200-мильных исключительных экономических зон (ИЭЗ) масштабы японского дрефтерного промысла значительно снизились. В 1980–2000-е гг. среднееголетний вылов уже составлял около 20 тыс. т, а в 1990–2000-е сократился до 10–15 тыс. т. Это напрямую связано с введением системы квотирования добычи (вылова) по видам в ИЭЗ РФ, где японские корпорации осуществляли рыболовство по соглашению правительств Российской Федерации и Японии. В 2016 г. дрефтерный лов в ИЭЗ РФ был запрещен приказом Президента РФ. Из приведенных данных понятно, что дрефтерный промысел уже в 1990–2000-е гг. не мог серьезно влиять на динамику численности тихоокеанских лососей Камчатки. Поэтому столь значимый рост численности региональных лососевых запасов в 2010–2020-е гг. может объясняться только природными факторами.

По мере увеличения лососевых запасов в 2000–2010-е гг. в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне формировалась новая система прогнозирования динамики численности лососей. Благодаря компьютерной автоматизации процесса исследований значительно расширились возможности статистической обработки данных, что позволило перейти на математические модельные методы подготовки прогнозов. Учитывая несомненную роль климато-океанологических факторов, воздействующих на продуктивность тихоокеанских лососей, постепенно в стандартные модели «родители–потомство» исследователи начали включать различные климатические предикторы. В некоторых случаях это дало толчок развитию методов многомерного модельного прогнозирования.

В настоящей работе рассмотрены основные принципы формирования и оценки результативности современного прогнозирования динамики численности запасов тихоокеанских лососей Камчатки по наблюдениям 2018–2024 гг. Проведен критический анализ оправдываемости прогнозов для главных единиц лососевых запасов, приведены установки адекватной интерпретации полученных данных. Кроме того, рассмотрены возможные причины несоответствия прогнозных ожиданий и фактической динамики запасов. Ранее камчатскими специалистами публиковался ряд работ, близких по тематике, в которых рассматривались методические аспекты прогнозирования и регулирования промысла тихоокеанских лососей Камчатки [Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман и др., 2018; Зикунва и др., 2021; Фельдман, Бугаев, 2021]. Однако представленная статья не является методической. В ее основу положены теория и аналитика основных принципов прогнозирования численности камчатских лососей. Термин «основные принципы» можно охарактеризовать как определение формата прогнозирования выбранных единиц лососевых запасов, т.е. объяснение обоснованности их выбора для подготовки промысловых прогнозов, с учетом современной численности тихоокеанских лососей и актуальной стратегии регулирования промысла.

Целью работы является аналитический обзор действующих принципов формирования и интерпретация результатов прогнозов динамики численности тихоокеанских лососей Камчатки в 2010–2020-е гг. с объяснением потенциальных причин имеющихся несоответствий.

Материалы и методы

В качестве исходного материала для оценки результативности прогнозов послужили данные промысловой и биологической статистики, а также информация о численности нерестовых запасов тихоокеанских лососей в Камчатском крае в 2018–2024 гг. На их основе были определены величины фактических подходов (возвратов) (вылов + пропуск на нерест) главных единиц региональных запасов 5 видов тихоокеанских лососей. Данные о вылове лососей представлены Северо-Восточным территориальным управлением Росрыболовства (СВТУ). Информация о биологических показателях (соотношение полов, возраст, размерно-массовые критерии, плодовитость) и нерестовых запасах (авиаучетные и гидроакустические съемки, рыбоучетное ограждение) лососей собрана специалистами КамчатНИРО.

В связи с особенностями жизненного цикла тихоокеанских лососей подготовка прогнозов имеет определенную специфичность. Для короткоциклового вида — горбуши — готовится сценарий прогнозирования исходя из общей продолжительности жизни ее поколений, составляющей 2 года (от нереста и до возврата производителей). Для длинноточных видов — кеты, нерки, кижуча и чавычи — массовый возраст поколений варьирует в пределах 3–7 лет. Поэтому в этом случае прогноз строится с учетом возрастной структуры того или иного вида.

Непосредственно для прогнозирования численности тихоокеанских лососей используются различные виды регрессионных моделей типа «запас–пополнение» [Бабаян и др., 2018]. Уточним, что в профильной литературе простая зависимость (линейная или нелинейная) между численностью отнерестившихся и вернувшихся рыб нередко обозначается как связь «родители–потомство» [Ricker, 1954] или кривая пополнения (или воспроизводства) [Ricker, 1975].

У **горбуши**, помимо указанных выше данных промысловой и биологической статистики, основу материалов, обосновывающих прогнозируемый объем добычи (вылова) (ПВ) вида в водных объектах Камчатки, составляет следующая информация:

1) численность поклатной молодежи терминальных поколений горбуши, полученная в результате мальково-учетных работ в контрольных реках Камчатки;

2) климатические индексы — Западно-Тихоокеанский паттерн (*WP*) (<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list>), Тихоокеанская декадная осцилляция (*PDO*) (<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list>) и Арктическая осцилляция (*AO*) (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii), размещенные на доступных интернет-ресурсах;

3) численность терминальных поколений горбуши, предоставляемая специалистами ТИНРО по результатам проведения учетных траловых съемок на стандартных полигонах в Беринговом и Охотском морях;

4) генетическая идентификация регионального состава скоплений молодежи горбуши из траловых уловов в бассейне Охотского моря с целью определения доли/численности западнокамчатских рыб.

Помимо классической зависимости «родители–потомство», при прогнозировании динамики численности горбуши используются многомерные регрессионные модели, учитывающие воздействие климато-океанологических факторов на формирование региональных запасов вида [Neter et al., 1990]. Более подробно методические аспекты прогнозирования численности горбуши Камчатки представлены в работах специалистов КамчатНИРО [Фельдман, Шевляков, 2015; Фельдман и др., 2018; Фельдман, Бугаев, 2021; Бугаев и др., 2024].

Дополнительно отметим, что в период с 2018 по 2022 г. в качестве одной из моделей прогнозирования применяли метод машинного обучения — случайный лес деревьев-решений (Random Forest) [Breiman, 2001]. Этот метод основан на применении множества простых моделей-классификаторов (деревьев-решений). Прогноз уровня численности определяется простым большинством голосов в кластерах «деревьев». Подробная методика подготовки прогноза и сопутствующий программный код на языке R для расчетов изложены в работах М.Г. Фельдмана [Фельдман, 2020; Фельдман и др., 2022a]. К сожалению, метод не оправдал себя при прогнозировании динамики численности горбуши западной Камчатки, несмотря на поиск дополнительных предикторов, поэтому с 2023 г. его не применяют.

В отношении других видов тихоокеанских лососей (**кета, нерка, кижуч, чавыча**) подготовительным этапом формирования прогнозов является определение возрастной структуры подходов, на основе чего рассчитывают численность поколений. Последнюю оценивают как сумму численности особей соответствующих поколений, вернувшихся в разные годы. Численность и долю рыб разных поколений в подходах определяют по средневзвешенному возрастному составу из береговых уловов.

Прогноз численности старших возрастных групп лососей с продолжительным периодом жизни основан на линейной связи с численностью уже вернувшихся в предшествующие годы рыб данного поколения (метод сиблингов) [Peterman, 1982; Haeseker et al., 2008]. При этом чем многочисленнее возрастная когорта младшего возраста (независимая переменная), тем связь сильнее и прогноз численности старших на год рыб (зависимая переменная) более обоснован.

Для возвращающихся на нерест производителей тихоокеанских лососей младших возрастных групп, когда метод сиблингов становится недостоверным, прогноз численности основан на использовании метода экспоненциального сглаживания (ETS) и модели авторегрессии скользящего среднего (ARIMA), реализованных в программной среде R с применением пакета Fable [Box, Jenkins, 1970; Hyndman et al., 2002]. Опираясь на информационные критерии [Akaike, 1974; Schwarz, 1978; Sugiura, 1978], определим приоритет в выборе основной модели для оценки численности рыб анализируемой возрастной когорты.

Кроме того, при расчете численности поколений (R) применены модификации моделей типа «запас–пополнение» [Ricker, 1954; Beverton, Holt, 1957], а также моделирование показателя выживаемости (R/S) от родительского запаса (S) [Дубынин и др., 2007] и зависимости пополнения запаса от численности смолтов (покатная молодь). Прогноз долей возрастных групп в возвратах определяется как среднее за какой-либо период времени [Зикунова и др., 2021].

В качестве индикаторной информации при подготовке прогнозов численности кеты западной Камчатки на 2024 г. впервые были привлечены результаты генетической идентификации регионального происхождения откочевывавших сеголеток. Информация получена по данным учетной траловой съемки ТИНРО в бассейне Охотского моря осенью 2021 г. (для рыб в возрасте 3+, поколение 2020 г.).

Особое значение имеют статистические критерии оценки точности прогнозов. Поэтому этот вопрос рассмотрим более подробно. Подчеркнем, что моделирование прогнозов является процедурой статистического анализа фактических данных. Следовательно, к полученным результатам логично применять стандартные правила, используемые для оценки статистической достоверности результатов. В практике прогнозирования динамики запасов тихоокеанских лососей, учитывая высокий уровень флюктуации их численности, в качестве основного критерия оправдываемости прогнозов предлагается принять межквартильный диапазон (IQR), обуславливающий разницу между первым (25-й процентиль) и третьим квартилями (75-й процентиль) набора данных [Dekking et al., 2005]. Таким образом, стандартной ошибкой прогноза является мера статистической дисперсии, т.е. разброс данных, в диапазоне с размахом $\pm 25\%$ от полного соответствия (100 %). Отметим, что в практике прогнозирования

динамики запасов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России подобный уровень стандартной ошибки уже много лет применяется профильными специалистами.

Для оценки климато-океанологических условий нагула тихоокеанских лососей в зимне-весенний период в бассейне Северной Пацифики в 2018–2024 гг. использовали следующую информацию:

— для характеристики межгодовой изменчивости метеорологической обстановки над северной частью Тихого океана применяли данные NCEP/NCAR реанализа (NOAA PSL, Боулдер, Колорадо, США, <https://psl.noaa.gov>) поля приземного атмосферного давления [Kalnay et al., 1996]. Исходные значения представляются в виде материалов об уровне приземного атмосферного давления в узлах регулярной сетки с шагом 2,5° по широте и долготе с временным осреднением в один месяц. На их основании строили карты распределения приземного атмосферного давления для периода года с ноября по март;

— анализ сезонного распределения аномалии температуры поверхности (аТПО) на акватории северной части Тихого океана проводили на основании смешанных данных высокого разрешения о суточной ТПО и площади морского льда (сетка 0,25 x 0,25° по широте и долготе) NOAA OISSTV2 High Resolution Dataset [Huang et al., 2021]. Ежедневные аномалии температуры рассчитаны на основании климатического среднего для периода 1971–2000 гг.;

— сведения о границах распространения ледового покрова в Охотском и Беринговом морях, полученные с сайта Национального центра данных США по снегу и льду (National Snow and Ice Data Center, <http://nsidc.org>).

Обработку исходных данных в формате NetCDF проводили с использованием пакета программ Climate Data Operator (CDO, <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/wiki>). Построение карт выполняли с помощью программы Ocean Data View 5.7.2 (ODV, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>). Индексы рассчитывали с применением реализованного в программе Surfer (Golden Software) геостатистического метода интерполяции на регулярную сетку Kriging.

Результаты и их обсуждение

Общие принципы прогнозирования лососевых запасов

Прогнозирование динамики численности тихоокеанских лососей имеет определенную специфику, которая значительно отличает их от всех промысловых водных биоресурсов. Как известно, рыбы рода *Oncorhynchus* относятся к моноциклическим видам, т.е. погибают сразу после нереста, что и обуславливает одноразовое формирование запаса, который в той или иной степени может быть освоен промыслом. В этот момент рыбы достигают своей половой зрелости, приобретая необходимые для потребления физические кондиции. Подобный «запас» профильными специалистами обозначается как «подход» или «возврат».

В условиях ведения промысла подход (возврат) складывается из совокупности добытых (выловленных) и пропущенных на нерест (производители) рыб. Обе указанные группы рыб подвергаются количественному учету в рамках государственного рыбохозяйственного мониторинга. Это позволяет достаточно точно определить уровень фактического подхода (возврата) конкретной региональной единицы запаса тихоокеанских лососей для оценки степени релевантности выполненного ранее прогноза. Подчеркнем, что ситуация с лососевым промыслом уникальна для прогнозирования водных биологических ресурсов, так как становится возможным наглядно показать, оправдался прогноз или нет.

Например, при прогнозировании динамики запасов морских рыб определяются объемы добычи (вылова), которые могут осваиваться условно на 100 %, но при этом по факту остается неизвестной реальная численность их запаса в море, который не был освоен промыслом. Разумеется, имеются модельные оценки общего запаса, которые

изначально были применены для прогноза ОДУ. На их основе возможно выделить остающийся текущий запас. Но это все рассматривается только на виртуальном уровне, так как ежегодно меняющиеся условия обитания рыб вносят свои коррективы в реальную обстановку с продуктивностью их запасов.

Следствием вышесказанного является то, что потенциальные ошибки прогнозов численности тихоокеанских лососей становятся явно видимыми. Это нередко приводит к повышенной критике от представителей рыбодобывающих компаний и заинтересованных общественных организаций в адрес рыбохозяйственной науки. Как правило, подобная ситуация возникает, когда возврат лососей оказался ниже ожидаемого. При этом зачастую подобные упреки несправедливы, так как неполное освоение выделенных объемов добычи (вылова) тихоокеанских лососей далеко не всегда является результатом ошибки прогнозирования.

Прогноз динамики численности тихоокеанских лососей готовится только в отношении непосредственно их запаса (подхода, возврата). Потенциальный объем разрешенного вылова определяется на основе правил регулирования промысла (ПРП) или экспертных оценок, позволяющих выделить из величины подхода количество производителей, необходимых для осуществления эффективного нереста. Как правило, последнее выполняется по имеющимся многолетним данным о численности лососей на нерестилищах конкретного водного объекта или их группы. Однако нередко возникает ситуация, когда фактический прогноз подхода близок к 100 % или выше, а освоение выделенных объемов добычи (вылова) значительно ниже ожидаемого прогноза. В этих случаях возможны различные причины, которые прежде всего связаны непосредственно с организацией промысла или сложившимися природными условиями. Это, например, большое количество штормовых дней, недостаток приемных мощностей, неравномерность преднерестового хода рыб, разреженность скоплений рыб или любые другие форс-мажорные обстоятельства. В таких случаях нельзя говорить о том, что прогноз рыбохозяйственной науки не оправдался.

Тем не менее необходимо более четко обозначить понятие «ошибка прогноза». Наиболее очевидный случай ошибки прогнозирования, когда фактический подход и, соответственно, вылов ниже прогнозных величин. Теоретически также ошибкой является и обратная ситуация, когда оба эти показателя выше прогноза. Однако тут требуется пояснение, связанное с историей развития промыслового прогнозирования тихоокеанских лососей.

Начиная с 1976 г. в отношении квотирования объемов добычи (вылова) некоторых видов морских водных биологических ресурсов был принят принцип общего допустимого улова (ОДУ). Приблизительно с середины 1980-х гг. по этой же системе стали готовить и промысловые прогнозы тихоокеанских лососей. Согласно Правилам рыболовства промысел одуемых видов водных биологических ресурсов сразу прекращается по достижении 100 % ОДУ. Соответственно, невозможно было изменить объемы потенциального промыслового изъятия лососей, даже если уровень их фактического подхода значительно превысил ожидаемый. Это привело к тому, что с 1980-х и до конца 2000-х гг. ежегодно давался максимальный прогноз возможного изъятия лососей, так как не было возможности его корректировки. Причем специалистами КамчатНИРО в 2000-е гг. делались попытки скорректировать объемы ОДУ лососей, но все они были безуспешными. Утверждение соответствующего приказа всеми управляющими структурами рыбохозяйственного комплекса России проходило сложную и продолжительную процедуру. В результате потенциальную корректировку ОДУ утверждали лишь в конце лососевой путины, когда надобность в ней уже отпадала. Данная ситуация не устраивала многие рыбодобывающие компании, поскольку уже с середины 2000-х гг. начался заметный рост численности тихоокеанских лососей как непосредственно на Камчатке, так и в других регионах Дальнего Востока России. При этом зачастую прогнозы делались по инерции с использованием имеющихся многолетних рядов численности лососей, без достаточного учета меняющейся реальности. Это привело к тому, что в

2000-е гг. многие рыбодобывающие предприятия стали не в полной мере предоставлять статистику фактического вылова, следствием чего появилось искажение исходных прогностических данных. Разумеется, рыбоохранные и правоохранительные органы боролись с этой ситуацией, но она имела системный характер.

В 2009 г. ситуацию с квотированием добычи (вылова) тихоокеанских лососей коренным образом изменили. Начиная с этого года была законодательно закреплена система регулирования промысла, которая позволяла оперативно производить корректировку потенциального объема добычи (вылова) исходя из фактических подходов лососей. Терминология квотирования промыслового изъятия анадромных видов рыб менялась в следующей последовательности: возможный вылов (ВВ), рекомендованный вылов (РВ), прогнозируемый вылов (ПВ). Отметим, что в настоящее время используется термин ПВ, хотя более адекватно было бы применение терминов «возможный» или «рекомендованный» вылов, так как непосредственно прогноз добычи (вылова) не выполняется. Этот показатель является следствием выполненного прогноза подхода (возврата). Однако, говоря объективно, применяемая терминология обозначения потенциальных объемов вылова по сути ничего не меняет в стратегии лососевого промысла, сформировавшейся после 2009 г.

Столь серьезные изменения мер по регулированию промысла тихоокеанских лососей внесли значительные инновации в прогнозирование численности их запасов. В результате в 2010-е гг. основным трендом прогнозов стало системное занижение стартовой величины ПВ для всех видов. Это вполне объяснимо, так как на законодательном уровне появилась возможность оперативно регулировать промысел путем корректировки изначальной величины ПВ. В условиях исторически высокой численности тихоокеанских лососей подобный подход подготовки прогнозов вполне оправдал себя. Фактически главной задачей прогнозирования динамики запасов тихоокеанских лососей стало правильное определение тренда изменчивости их численности.

Наглядным примером необходимости трендового подхода прогнозирования лососей является такой многочисленный вид, как горбуша. Ее вылов в урожайные и неурожайные 2010–2020-е гг. мог варьировать в пределах от 100 тыс. т и более. В этой ситуации наиболее актуальной задачей стало выявление общего тренда динамики численности запасов — низкий, средний, высокий и сверхвысокий. Знание трендового уровня численности региональных подходов горбуши позволяет рыбодобывающим компаниям принять необходимые меры для организации всего лососевого промысла, так как этот вид формирует основу уловов. Ранее специалистами КамчатНИРО были представлены трендовые оценки градаций численности камчатской горбуши, обуславливающие определение того или иного уровня ПВ [Бугаев и др., 2023a]: низкий запас — вылов 10–30 тыс. т; средний запас — вылов 30–70 тыс. т; высокий запас — вылов 70–130 тыс. т; сверхвысокий запас — вылов от 130 тыс. т и выше.

Разумеется, следует стремиться к получению прогнозных оценок с наименьшим расхождением относительно фактических результатов, но при этом необходимо понимать, что любая прогностическая модель не является абсолютной («полной»). Требуется учитывать объективные неопределенности, прежде всего неполноту знаний о численности тихоокеанских лососей и среде их обитания, особенно в морской/океанический период жизни, а также невозможность повлиять на возникающие экологические явления, способные негативно отражаться на состоянии их запасов в течение жизненного цикла. Поэтому периодически возникающие значимые ошибки прогнозирования тихоокеанских лососей в реальности неизбежны.

Немаловажным аспектом рационального использования лососевых запасов является необходимость обеспечения пропуска производителей на нерестилища в количестве, достаточном для эффективного воспроизводства, обуславливающего стабильное устойчивое рыболовство. При этом законодательно определен приоритет сохранения водных биоресурсов над рыболовством. В настоящее время у специалистов по прогнозированию предпочтительным способом определения доли рыб, требующихся

для воспроизводства и вылова, является ПРП. Однако следует понимать, что данный модельный подход отражает лишь оптимальную (идеализированную) ситуацию с планированием промысла. В реальности спрогнозировать количество пропущенных на нерест производителей невозможно, так как в период ведения промысла отсутствуют даже технические возможности для оперативного учета рыб на нерестилищах во всех водных объектах. Поэтому зачастую разумнее брать среднемноголетние данные фактического заполнения нерестилищ того или иного вида лососей для получения более достоверной оценки потенциального пропуска.

В отношении тихоокеанских лососей Камчатки специалистами КамчатНИРО были разработаны ПРП для всех основных единиц запасов [Фельдман и др., 2022б]. Однако фактический пропуск редко совпадает с оценками, полученными с помощью ПРП. Например, заполнение нерестилищ горбуши северо-восточной Камчатки в 2010–2020-е гг., как правило, заметно выше величины ПРП, а на западной Камчатке, наоборот. По кете наблюдается аналогичная ситуация. По нерке р. Камчатка в большинстве случаев реальный пропуск на нерест ниже показателей ПРП. У нерки р. Озерной обстановка наиболее стабильная, так как есть возможность прямого учета производителей, заходящих на нерест, чтобы обеспечить оптимальный пропуск. По кижучу на восточной Камчатке ситуация также относительно благополучная. Однако на западной Камчатке наблюдается сходный сценарий с горбушей и кетой. У чавычи р. Камчатка положение с пропуском наиболее сложное, так как вид относительно малочисленный и имеет ранний нерест. По этой причине часто нет технических и финансовых возможностей проведения целевого учета ее численности на нерестилищах. Оценки пропуска, полученные модельным способом, достаточно близки к показателям ПРП, но необходимо понимать, что вероятность ошибки в данном случае остается весьма высокой. В связи с вышеизложенными наблюдениями специалистами КамчатНИРО планируется последовательная корректировка ранее разработанных ПРП тихоокеанских лососей Камчатки. Это позволит более взвешенно оценивать потенциальные объемы их ПВ при подготовке промысловых прогнозов.

Согласно Приказу Министерства рыбного хозяйства СССР от 9 сентября 1980 г. № 408 «О разграничении Мирового океана на промысловые районы в новых условиях промысла» акватория Дальневосточных морей и прилегающих вод северо-западной части Тихого океана была разграничена по промысловым подзонам, в границах которых определялись объемы разрешенного вылова водных биологических ресурсов. В отношении тихоокеанских лососей, которые относятся к анадромным видам рыб, данный принцип экстраполирован и на речные водные объекты. Принадлежность лососевого запаса к промысловому району определялась по географическому расположению устьев нерестовых рек, где осуществляется воспроизводство того или иного вида.

Исходя из сложившейся системы районирования прогнозирование динамики численности тихоокеанских лососей стало выполняться строго в границах определенных промысловых зон/подзон. В пределы Камчатского края полностью или частично входят 5 рыболовных районов: Западно-Берингоморская зона — 61.01; Карагинская подзона — 61.02.1; Петропавловско-Командорская подзона — 61.02.2; Камчатско-Курильская подзона — 61.05.4; Западно-Камчатская подзона — 61.05.2. Каждый из указанных районов имеет свой вес в формировании структуры лососевого промысла. В табл. 1 дана информация о вылове тихоокеанских лососей в указанных рыбопромысловых зонах/подзонах Камчатского края в 2001–2024 гг.

Из представленных данных видно, что основными промысловыми районами Камчатского края являются 3 подзоны — Карагинская, Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская. По среднемноголетним данным здесь суммарно добывают около 92,3 % камчатских лососей. Петропавловско-Командорская подзона имеет значительно меньшее промысловое значение, на ее долю приходится приблизительно 7,6 % добычи (вылова) лососей. Наименее значима для лососевого промысла Камчатки Западно-Берингоморская зона, где ежегодно добывают около 0,1 % всех лососей.

Таблица 1
Данные о вылове тихоокеанских лососей в промысловых районах Камчатского края
в 2001–2024 гг., т

Table 1
Data on catch of pacific salmon in Kamchatka Region in 2001–2024, by fishing areas, t

Год	61.01	61.02.1	61.02.2	61.05.2	61.05.4	Всего
2001	422,650	52196,342	9953,390	1433,693	12845,800	76851,875
2002	152,800	7306,830	7373,410	7240,430	71180,580	93254,050
2003	104,990	59260,120	7386,500	2641,500	14654,120	84047,230
2004	78,140	8141,200	5671,700	8932,430	62158,400	84981,870
2005	191,500	54003,277	6397,422	7763,774	20731,658	89087,631
2006	228,120	21237,200	7677,111	23961,000	54963,900	108067,331
2007	114,438	80462,200	12002,600	14917,900	33939,700	141436,838
2008	156,396	17190,238	11447,070	31581,932	57147,045	117522,680
2009	267,718	147493,562	15967,175	10435,559	22639,525	196803,539
2010	25,920	15575,794	15306,352	43091,607	83038,638	157038,310
2011	242,183	186106,541	18079,437	16278,639	28454,364	249161,165
2012	6,049	30237,543	17298,814	62696,799	144672,457	254911,662
2013	95,481	52251,357	25471,481	12538,531	44755,709	135112,558
2014	50,600	49557,826	26719,695	20674,819	42564,790	139567,730
2015	135,494	102086,308	20879,760	21514,637	47761,220	192377,418
2016	74,946	83496,838	26481,063	48068,420	72539,226	230660,493
2017	321,648	162458,804	27396,869	14379,403	37108,896	241665,620
2018	237,498	120898,922	20693,916	136831,501	219218,418	497880,255
2019	639,644	243690,890	16366,286	42176,439	74997,039	377870,298
2020	394,435	22551,422	11340,513	83527,502	73693,616	191507,488
2021	983,345	210514,702	15609,329	111587,625	101814,034	440509,034
2022	303,361	44498,360	18972,897	28454,852	42436,360	134665,830
2023	309,311	192167,761	20031,619	171293,155	107062,717	490864,563
2024	143,713	43415,922	6147,679	28117,866	52932,428	130757,608
Среднее	236,682	83616,665	15444,670	39589,167	63471,277	202358,461
Доля, %	0,1	41,3	7,6	19,6	31,4	100,0

Однако при промысловом прогнозировании тихоокеанских лососей нельзя руководствоваться только границами административного районирования. Общим принципом формирования лососевых прогнозов является выделение базовых единиц запасов, численность которых абсолютно доминирует в подходах/уловах конкретного вида. В данном случае «единица запаса» — биологическое понятие, так как речь идет о конкретном локальном стаде (популяция, группа популяций) тихоокеанских лососей или их региональной группировке, связанной географической и генетической общностью воспроизводства, а также сходством пространственно-временных закономерностей морского/океанического нагула. Указанные условия формирования единиц запасов далеко не всегда совпадают с административными границами промысловых районов. По этой причине при прогнозировании численности лососей зачастую речные бассейны, входящие в границы разных подзон, объединяют. Это позволяет выделить конкретную промысловую единицу запаса того или иного вида, что является важнейшим условием подготовки прогнозов их подходов (возвратов). Дальнейшее разделение определенного объема ПВ по административным промысловым районам выполняется на основе многолетних знаний статистики промысла в подзонах, где расположены нерестовые реки конкретной базовой единицы запаса. По районам промысла, где состояние запасов тихоокеанских лососей находится на низком уровне и наблюдается недостаток биологической информации, модельные прогнозы не готовятся. В этих случаях объемы ПВ определяются инерционным методом, т.е. по среднемноголетнему вылову предыдущих лет. Это же относится и к второстепенным лососевым запасам, в отношении которых

не ведется комплексный мониторинг и отсутствуют продолжительные ряды численности подходов/биостатистики.

Анализ оправдываемости прогнозов

Оценка оправдываемости прогнозов актуальна лишь для основных единиц запасов тихоокеанских лососей, в отношении которых непосредственно ведется ежегодный биологический мониторинг и разработаны модельные принципы прогнозирования. Ниже дана более подробная информация о результатах анализа соответствия прогнозных и фактических данных подходов/вылова исследуемых единиц запасов всех видов тихоокеанских лососей Камчатки в 2018–2024 гг.

Горбуша. Основные региональные запасы вида воспроизводятся в реках северо-восточного (Карагинская подзона) и западного (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) побережий Камчатки. По данным промысловой статистики 2001–2024 гг. в этих районах суммарно добывается около 98 % камчатской горбуши: северо-восточная Камчатка — 52 % (72,83 тыс. т/2,18–225,06 тыс. т) и западная Камчатка — 46 % (64,12 тыс. т/0,21–301,32 тыс. т). Соответственно, модельные расчеты прогнозируемых подходов (ПП) и вылова (ПВ) строятся для двух указанных единиц запаса вида. В материалах прогнозов они обозначены как северо-восточная (Карагинская подзона) и западная (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) Камчатка (табл. 2, рис. 2). Для Западно-Беринговоморской зоны и Петропавловско-Командорской подзоны определение объемов ПВ горбуши выполняется экспертно по инерционному принципу (среднемноголетние показатели фактического вылова).

При этом необходимо уточнить, что на восточной Камчатке урожайными являются поколения горбуши нечетных лет воспроизводства. На западной Камчатке до 2020 г. у вида доминировали по численности поколения четных лет воспроизводства, однако начиная с 2021 г. доминанта сменилась и урожайными, наоборот, стали нечетные годы.

Таблица 2
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса горбуши Камчатки в 2018–2024 гг.

Table 2
Data on runs abundance and catch for the major stock units of pink salmon in Kamchatka in 2018–2024

Региональная единица запаса (комплекс стад)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Северо-восточная Камчатка (Карагинская подзона)	2018	70,0	131,0	187,1	62,7	107,1	170,7
	2019	185,0	301,8	163,1	180,0	225,1	125,0
	2020	85,0	27,3	32,1	78,8	17,4	22,1
	2021	142,0	287,7	202,6	147,6	199,3	135,0
	2022	35,0	52,9	151,1	25,0	35,4	141,8
	2023	190,0	257,9	135,7	140,0	182,5	130,4
	2024	70,0	68,0	97,1	66,0	37,7	57,1
Западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны)	2018	150,0	344,0	229,4	152,5	301,3	197,6
	2019	58,0	61,9	106,6	51,0	60,2	118,1
	2020	73,0	100,8	138,1	78,3	111,2	142,0
	2021	150,0	230,5	153,7	144,3	175,7	121,8
	2022	51,0	22,7	44,5	57,4	27,9	48,7
	2023	155,0	226,6	146,2	170,0	231,2	136,0
	2024	36,0	27,8	77,2	38,0	36,4	95,9

Примечание. Здесь и далее: ПП/ФП — прогнозируемый/фактический подход; ПВ/ФВ — прогнозируемый/фактический вылов; ОПР — оправдываемость ПП; ОСВ — освоение ПВ.

По приведенным данным видно, что в большинстве лет рассматриваемого периода показатели прогнозируемых подходов (ПП) горбуши северо-востока и запада Камчатки

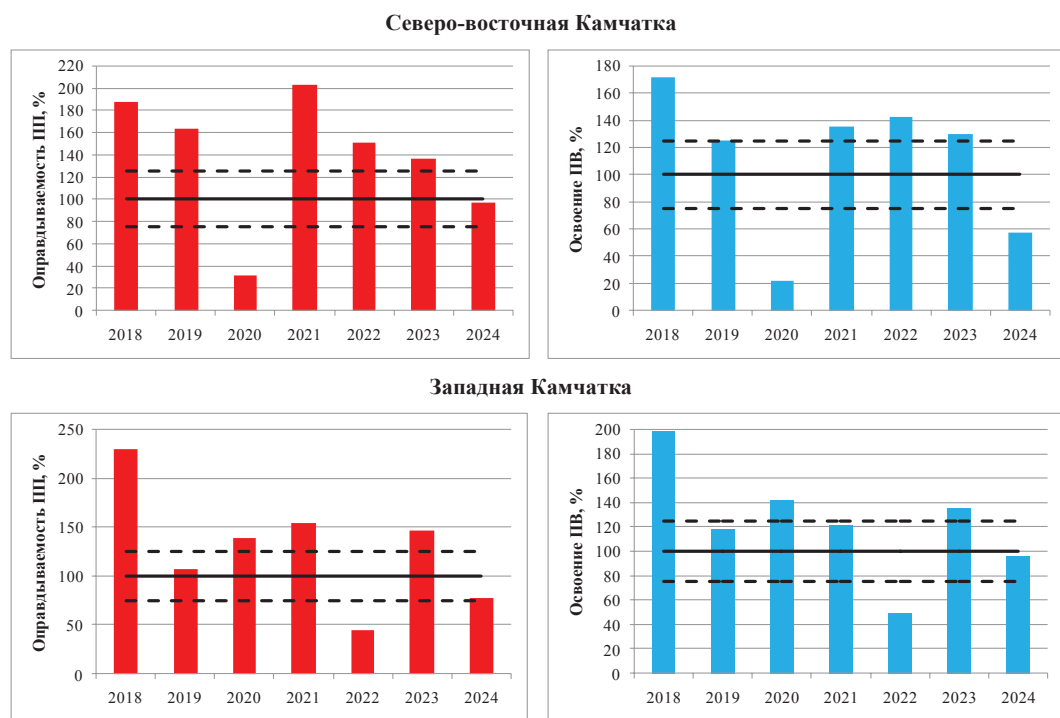


Рис. 2. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса горбуши Камчатки по данным 2018–2024 гг. Здесь и далее: сплошная линия — 100 %-ное соответствие прогноза, пунктирная линия — стандартная ошибка прогноза ± 25 %

Fig. 2. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of pink salmon stock in Kamchatka in 2018–2024. Hereinafter: solid line — 100 % compliance, dashed line — standard error of the forecast ± 25 %

были заметно выше 125 %-ного порога точности (с учетом стандартной ошибки $+25$ %). Принимая во внимание сложившуюся в 2010–2020-е гг. систему прогнозирования с возможностью оперативной корректировки вылова, данные прогнозы не следует считать несостоявшимися. Во все обозначенные годы прогнозы строили на уровне высоких и сверхвысоких трендов численности с учетом урожайных и неурожайных поколений. Реальные ошибки оценок ПП были зафиксированы в 2020 (северо-восточная Камчатка) и 2022 гг. (западная Камчатка). В 2024 г. оправдываемость ПП в первом случае составила около 97 %, а во втором — 77 %. Можно считать, что в этом году, с учетом стандартной ошибки — 25 %, прогнозные ожидания возвратов горбуши оправдались.

Ситуация с оценкой оправдываемости ПВ горбуши Камчатки достаточно сходна с оценкой возвратов. Ошибки прогнозов зафиксированы в 2020 г. на северо-восточном побережье, а в 2022 г. — на западном побережье. Однако и в 2024 г. объемы ПВ горбуши северо-восточной Камчатки также не были освоены в полной мере. Добыто (выловлено) лишь около 57 % от разрешенного изъятия. Тем не менее, учитывая, что численность ПП в регионе была близка к 100 %-ному показателю, то низкий уровень освоения ПВ прежде всего связан непосредственно с ведением промысловой деятельности. Подобная ситуация характерна для неурожайных поколений вида, так как низкочисленные подходы не формируют достаточно плотных скоплений, чтобы их эффективно облавливать с помощью ставных морских неводов. В результате может происходить повышенный пропуск производителей на нерест, так как для облова зашедших в реки рыб в Карагинской подзоне отсутствует развитый речной промысел. На западной Камчатке, наоборот, речной промысел очень развит. В реках региона ежегодно добывают около 40–50 % тихоокеанских лососей в зависимости от чередования урожайных

и неурожайных поколений горбуши. Поэтому в 2024 г., несмотря на относительно низкие показатели оправдываемости ПП (около нижней границы допустимой ошибки — 77 %), объем ПВ был достаточно близок к полному освоению (96 %).

Таким образом, фактические ошибки прогнозов численности горбуши Камчатки были зафиксированы в 2020 и 2022 гг. В первом случае предположительно сыграли свою роль климато-океанологические условия нагула. Во втором случае наиболее вероятна техническая ошибка при подготовке прогноза. Далее мы более подробно остановимся на возможных причинах несоответствия прогнозных и фактических ожиданий оценок численности подходов и вылова отдельных видов тихоокеанских лососей.

Кета. По аналогии с горбушей вид образует два основных центра воспроизводства, расположенных в бассейнах нерестовых рек северо-восточного (Карагинская подзона) и западного (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) побережий Камчатки. Оба региона дают приблизительно 85,9 % добычи (вылова) камчатской кеты: северо-восток — 34,9 % (8,65 тыс. т/2,01–21,11 тыс. т) и запад — 51,0 % (12,66 тыс. т/1,90–26,23 тыс. т). Кроме того, имеется значимый запас в бассейне р. Камчатка, которая впадает в Камчатский залив, расположенный на восточном побережье Камчатки (Петропавловско-Командорская подзона). В этом промысловом районе добывают около 14,1 % кеты в регионе — 3,50 тыс. т/1,26–7,34 тыс. т. Непосредственно доля вылова кеты стада р. Камчатка в Петропавловско-Командорской подзоне составляет приблизительно 60–70 %. Соответственно, в качестве объектов прогнозирования кеты Камчатки выступают следующие промысловые единицы запаса: северо-восточная Камчатка (Карагинская подзона), р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона), западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) (табл. 3, рис. 3). Для получения объема ПВ кеты в Западно-Беринговоморской

Таблица 3

Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса кеты Камчатки в 2018–2024 гг.

Table 3

Data on runs abundance and catch for the major stock units of chum salmon in Kamchatka in 2018–2024

Региональная единица запаса (стадо/комплекс стад)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Северо-восточная Камчатка (Карагинская подзона)	2018	5,3	4,1	77,2	14,8	10,7	72,5
	2019	5,8	5,2	89,7	14,7	14,4	98,1
	2020	5,4	2,1	38,5	14,1	3,6	25,2
	2021	3,3	4,4	132,6	6,0	7,6	126,9
	2022	4,0	4,2	105,2	10,1	6,7	66,5
	2023	4,0	3,7	92,5	10,3	6,4	62,1
	2024	2,8	1,9	68,1	6,4	4,0	62,2
Р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона)	2018	1,3	1,5	113,9	5,2	3,8	71,8
	2019	1,3	1,2	89,9	5,2	3,0	57,0
	2020	1,0	0,8	80,0	4,4	2,1	48,1
	2021	0,9	1,7	177,9	2,5	4,4	176,5
	2022	1,3	1,2	89,0	4,5	1,1	23,8
	2023	1,1	0,7	65,1	2,2	2,0	91,5
	2024	0,8	0,3	35,4	2,2	0,7	32,7
Западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны)	2018	4,3	7,3	170,9	11,1	19,4	175,6
	2019	6,1	6,7	109,4	17,2	20,0	116,7
	2020	5,7	6,1	106,8	16,3	17,7	108,9
	2021	6,5	4,7	72,5	16,4	12,9	78,8
	2022	6,2	5,9	95,8	13,2	16,1	122,6
	2023	6,0	5,7	95,3	15,0	14,3	95,4
	2024	6,3	3,7	57,8	16,5	9,3	56,6

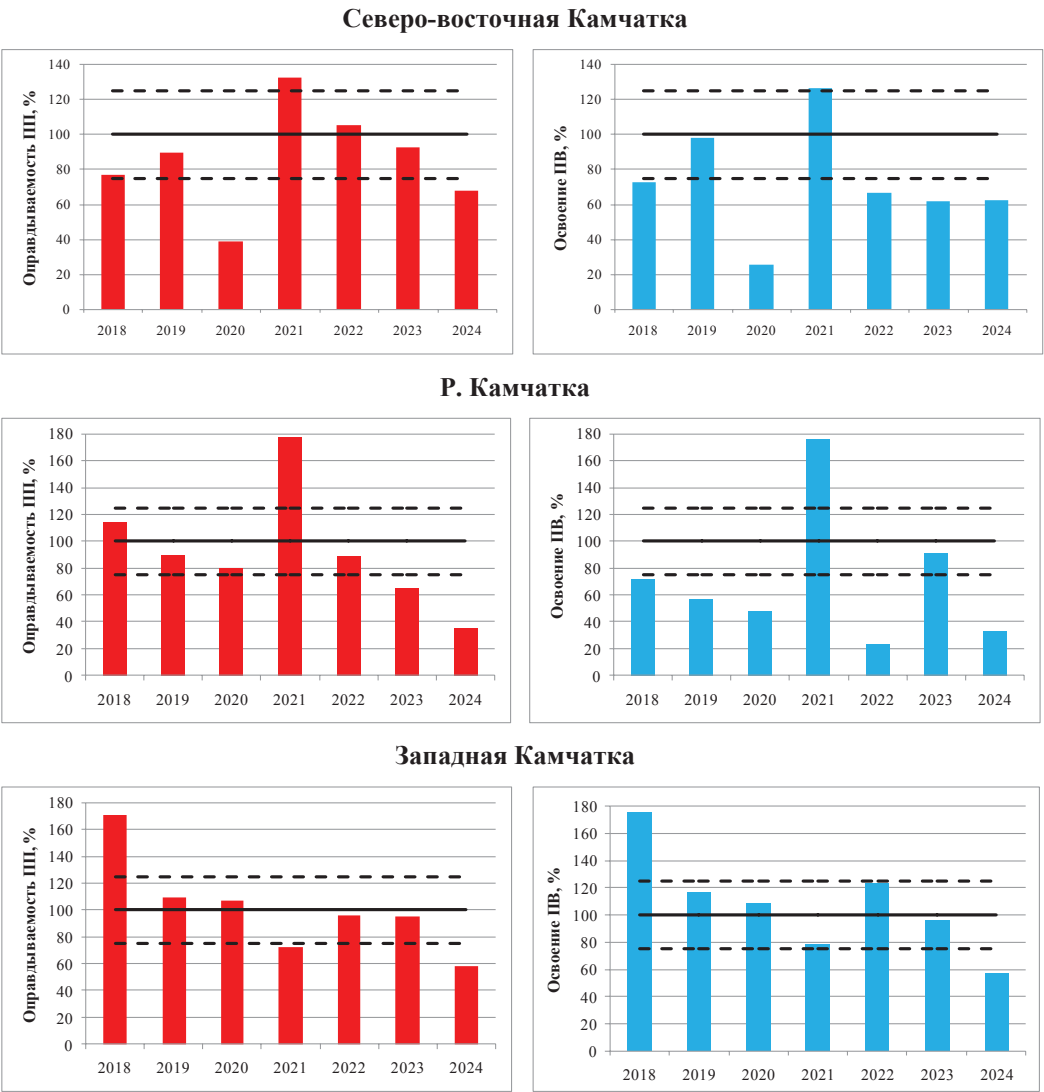


Рис. 3. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса кеты Камчатки по данным 2018–2024 гг.
Fig. 3. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of chum salmon stock in Kamchatka in 2018–2024

зоне используется экспертный инерционный подход (здесь добывается менее 0,01 % вида). Кроме того, аналогично определяется ПВ для второстепенных стад вида в Петропавловско-Командорской подзоне.

Кета не имеет столь высокой межгодовой флюктуации численности, как горбуша, поэтому прогнозы подходов и вылова вида не носят четко выраженный трендовый характер. Тем не менее, поскольку в современном прогнозировании используется предосторожный подход для определения объемов ПП и ПВ, т.е. показатели берутся по нижним границам модельных оценок, всегда имеется возможность скорректировать изначальный объем ПВ в зависимости от фактических подходов.

По прогнозу численности подходов большинство оценок по степени оправданности прогнозов локализованы в зоне стандартной методической ошибки ($100 \pm 25\%$). По величине ПП актуальная ошибка прогноза кеты наблюдается в 2020 и 2024 гг. для запаса северо-восточной Камчатки, в 2023 и 2024 гг. для запаса р. Камчатка и в 2024 г. для запаса западной Камчатки.

По вылову кеты ситуация менее позитивная. Наиболее точно объемы ПВ вида определяли для комплекса стад западной Камчатки. Исключением был лишь 2024 г. Для кеты северо-восточной Камчатки зафиксирована ошибка прогноза в 2020 г. В 2018, 2022–2024 гг. освоение ПВ также было меньше ожидаемого. Однако в 2022 и 2023 гг. показатели ПП вида находились на уровне, близком к изначальному прогнозу. Это указывает на то, что в эти годы наблюдался фактический недолов кеты северо-восточной Камчатки. В 2024 г. оба показателя (ПП и ПВ) были ниже ожидаемых даже с учетом стандартной методической ошибки. Для стада кеты р. Камчатка результаты прогнозирования наименее точные. Объемы ПВ были освоены лишь в 2021 и 2023 гг.

В целом, рассматривая соотношение ПП и ПВ основных промысловых единиц запаса кеты Камчатки, можно констатировать, что общие ошибки прогнозов для всех районов характерны только для 2020 и 2024 гг. По аналогии с горбушей, наиболее вероятно, что это является следствием влияния единых климато-океанологических факторов. Низкий уровень освоения ПВ кеты р. Камчатка напрямую связан с организацией рыболовства в регионе, так как вид не является профильным объектом добычи (вылова) тихоокеанских лососей в данном водном объекте.

Нерка. Вид воспроизводится и промыщляется во всех пяти промысловых районах, входящих в границы Камчатского края. Однако порядка 80 % вылова камчатской нерки приходится на два локальных стада, воспроизводящихся в реках Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона) и Озерная (Камчатско-Курильская подзона). При этом непосредственно по промысловым районам среднемноголетний (по данным 2001–2024 гг.) уровень добычи (вылова) вида распределен следующим образом: Западно-Беринговоморская зона — 0,5 % (0,15 тыс. т/0,01–0,41 тыс. т); Карагинская подзона — 5,9 (1,90 тыс. т/0,30–4,26 тыс. т); Петропавловско-Командорская подзона — 24,5 (7,92 тыс. т/2,22–15,09 тыс. т); Камчатско-Курильская подзона — 65,1 (21,03 тыс. т/11,55–31,34 тыс. т); Западно-Камчатская подзона — 4,0 % (1,28 тыс. т/0,07–3,30 тыс. т). Таким образом, в подзонах, где воспроизводятся крупнейшие стада нерки рек Камчатка и Озерная, обеспечивается среднемноголетний вылов на уровне 86,6 %.

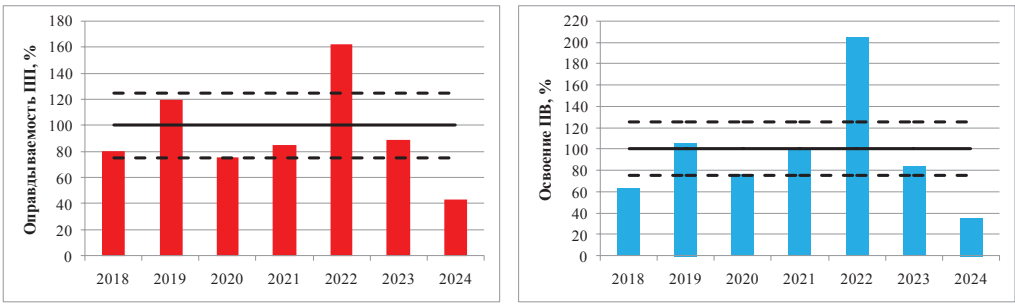
Учитывая подобный баланс распределения численности вида по районам воспроизводства Камчатки, логично определить в качестве основных прогнозируемых единиц запаса нерки два стада — рек Камчатка и Озерная (табл. 4, рис. 4). Отметим,

Таблица 4
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса нерки Камчатки в 2018–2024 гг.

Table 4
Data on runs abundance and catch for the major stock units of sockeye salmon in Kamchatka in 2018–2024

Региональная единица запаса (стадо)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Р. Камчатка	2018	6,8	5,5	80,3	16,0	10,1	63,2
	2019	4,2	5,0	119,4	8,9	9,3	105,3
	2020	4,6	3,5	75,6	8,5	6,5	76,3
	2021	4,5	3,8	85,2	6,6	6,5	98,7
	2022	4,5	7,4	162,1	6,8	13,8	204,8
	2023	5,2	4,7	88,7	10,1	8,4	83,4
	2024	3,4	1,5	43,6	6,2	2,2	35,5
Р. Озерная	2018	8,6	15,0	174,7	19,5	27,5	141,3
	2019	10,4	14,7	141,7	25,1	29,3	116,9
	2020	10,7	10,1	94,8	23,9	18,9	79,0
	2021	9,0	8,7	95,7	19,0	17,3	91,2
	2022	9,1	8,3	91,0	18,0	16,5	91,9
	2023	8,3	7,7	93,4	15,2	13,2	86,7
	2024	7,6	12,2	160,0	12,6	24,0	190,9

Р. Камчатка



Р. Озерная

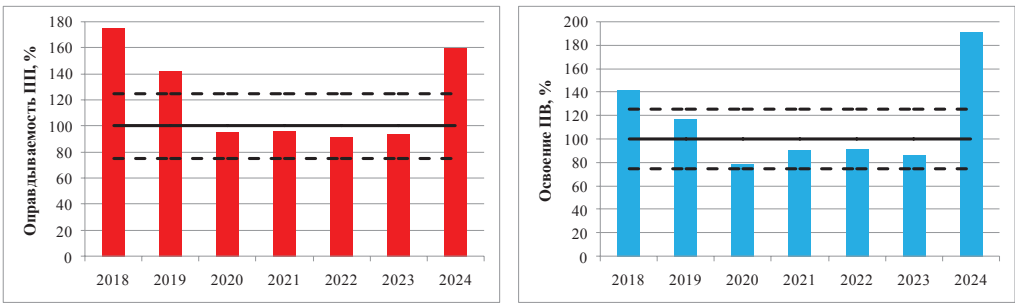


Рис. 4. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса нерки Камчатки по данным 2018–2024 гг.
Fig. 4. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of sockeye salmon stock in Kamchatka in 2018–2024

что модельное прогнозирование также ведется и для комплексов стад вида, воспроизводящихся в Карагинской и Западно-Камчатской подзонах. Однако их суммарный вклад в структуру уловов нерки Камчатки составляет менее 10 %. Поэтому нет необходимости акцентировать внимание на данных единицах запаса с позиции оценки оправдываемости региональных прогнозов динамики численности вида. В отношении нерки Западно-Беринговоморской зоны, по аналогии с другими видами, определение объема ПВ производится по инерционному принципу.

Анализируя межгодовую изменчивость оправдываемости ПП нерки рек Камчатка и Озерная, можно определить, что практически во все годы ряда наблюдений уровень возврата обеих единиц запаса соответствовал прогнозным ожиданиям с учетом стандартной методической ошибки $\pm 25\%$. Исключением является лишь 2024 г., в котором подходы нерки р. Камчатка были значительно ниже прогноза. Причем соответствие прогнозируемых и фактических подходов для данного водного объекта в большинстве случаев определялось по нижней границе интервала стандартной ошибки (-25%). Сверхвысокий подход нерки р. Камчатка в 2022 г. обусловлен возвратом от нереста высокочисленных поколений производителей. У нерки р. Озерной аналогичная ситуация наблюдается в 2018, 2019 и 2024 гг. Во всех случаях превышение уровня ПП нерки рек Камчатка и Озерная связано с методическими аспектами подготовки прогнозов. Как и у других массовых видов, здесь играет роль фактор использования предосторожного подхода, учитывающего возможность корректировки изначальных объемов ПВ.

По освоению ПВ нерки рек Камчатка и Озерная обстановка примерно повторяет ситуацию с оправдываемостью ПП. Однако в последний год ряда наблюдений (2024 г.) обнаружены ошибки прогнозов численности для данных единиц запасов вида.

Четко выраженная негативная ситуация наблюдается с выловом нерки р. Камчатка в 2024 г. В контексте настоящей работы именно этот год можно принять в качестве критической ошибки прогноза для данной единицы запаса вида. Наиболее вероятной

причиной этого является комплексное влияние двух факторов — информационно-методического и экологического. В первом случае использованная прогностическая модель не была достаточно «обучена» на учет критического снижения запаса производителей ключевого по численности поколения (возраст 5+ — нерест 2019 г.), которое вернулось в 2024 г. Во втором случае, по-видимому, было влияние климато-океанологических факторов, которые отразились на численности запасов всех видов тихоокеанских лососей восточной Камчатки.

По стаду нерки р. Озерной, несмотря на более высокий подход, чем ожидалось, также следует признать ошибку прогноза, поскольку не был предсказан высокочисленный тренд подхода. В этом случае, полагаем, во-первых, основную роль сыграл фактор снижения численности в последние предшествующие 3 года, т.е. ситуативный характер ошибки. Во-вторых, крайне низкий уровень запасов горбуши западной Камчатки в 2024 г. мог позитивно отразиться на выживаемости нерки р. Озерной во время весенних преднерестовых миграций, так как виды могут являться пищевыми конкурентами на том или ином этапе морского/океанического нагула [Карпенко и др., 2013].

Кижуч. Вид относительно малочисленный в пределах Камчатского края. При этом распространен практически во всех водных объектах региона. Основным центром воспроизводства камчатского кижуча является комплекс рек западного побережья (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны). По среднемноголетним данным 2001–2024 гг. здесь добывается около 69,9 % (3,92 тыс. т/0,20–9,64 тыс. т) от общего вылова вида на Камчатке. Второй по численности запас кижуча воспроизводится в реках восточного и юго-восточного побережья (Петропавловско-Командорская подзона) — среднемноголетний вылов на уровне 26,7 % (1,50 тыс. т/0,44–3,55 тыс. т). В реках северо-восточного побережья (Карагинская подзона) добыча вида минимальна — 3,4 % (0,19 тыс. т/0,004–0,70 тыс. т).

В практике современного прогнозирования кижуча Камчатки принято выделять две единицы запаса вида — западная (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны) и восточная (Петропавловско-Командорская и Карагинская подзоны) Камчатка. При этом порядка 70 % восточнокамчатского комплекса стад составляет кижуч, который воспроизводится в бассейне р. Камчатка. Однако данная единица запаса рассматривается для всех стад восточной Камчатки, так как промысел вида достаточно специфичен из-за позднего анадромного хода кижуча, что не всегда позволяет равномерно распределять промысловые усилия на конкретные водные объекты, даже такие крупные, как р. Камчатка. В результате интенсивность промысловой нагрузки может значительно варьировать внутри промысловых районов, не позволяя четко определить конкретную основную единицу запаса на продолжительный период.

Кроме того, следует отметить, что из-за позднего нереста данные о численности нерестовых запасов кижуча Камчатки не всегда отличаются репрезентативностью. Это общая проблема для обоих побережий. Такая ситуация объективно снижает возможности для получения точных модельных оценок прогнозов (табл. 5, рис. 5).

По представленным данным видно, что оправдываемость ПП кижуча восточной и западной Камчатки отличается достаточно высокой точностью в пределах стандартной методической ошибки ± 25 %. Более низкий, чем ожидалось, уровень подходов был зафиксирован на западном побережье лишь в 2021 и 2024 гг.

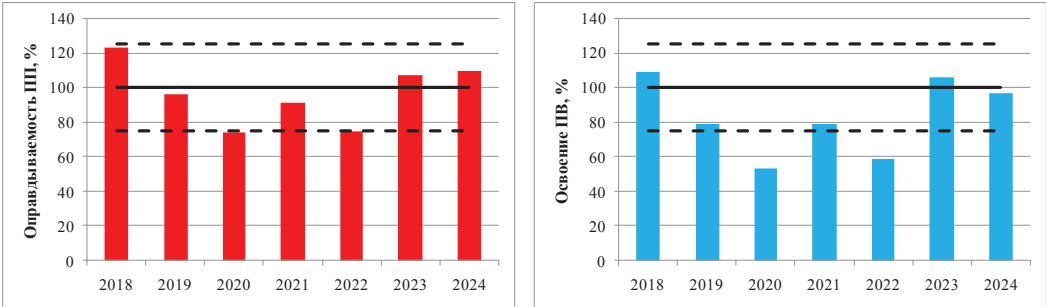
Анализ освоения ПВ показал, что для восточнокамчатской единицы запаса показатель добычи (вылова) не достиг ожидаемого в 2020 и 2022 гг. При этом и уровень региональных подходов в эти годы оправдался только по нижней границе интервала стандартной ошибки (-25 %). Показатели ПВ западнокамчатской единицы запаса кижуча, по аналогии с результатами прогнозирования подходов, также не были достигнуты в 2021 и 2024 гг. Таким образом, именно эти два года отражают реальную ошибку прогнозирования кижуча западной Камчатки. Наиболее вероятен информационный характер данной ошибки. Причиной может быть недостаток данных о численности нерестовых запасов производителей вида, формировавших возвраты 2021 и 2024 гг.

Таблица 5
Данные о численности подходов и вылове основных единиц запаса кижуча Камчатки
в 2018–2024 гг.

Table 5
Data on runs abundance and catch for the major stock units of coho salmon in Kamchatka
in 2018–2024

Региональная единица запаса (комплекс стад)	Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
		ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
Восточная Камчатка (Петропавловско-Командорская и Карагинская подзоны)	2018	1,0	1,3	122,9	2,4	2,6	108,9
	2019	1,2	1,2	95,9	2,8	2,2	79,1
	2020	1,1	0,8	73,8	2,5	1,3	53,3
	2021	1,0	0,9	90,9	2,2	1,7	78,9
	2022	1,0	0,7	74,5	2,0	1,2	58,5
	2023	0,9	1,0	107,2	1,9	2,0	105,9
	2024	0,9	1,0	109,3	1,9	1,8	96,8
Западная Камчатка (Камчатско-Курильская и Западно-Камчатская подзоны)	2018	1,4	2,6	180,6	3,4	6,7	198,2
	2019	2,2	2,2	101,0	5,4	6,0	110,3
	2020	1,9	2,7	144,8	4,4	7,1	160,8
	2021	3,0	2,1	69,2	7,4	5,2	70,7
	2022	2,0	2,4	121,4	4,7	6,9	147,6
	2023	2,3	3,5	153,4	5,5	9,4	171,7
	2024	3,0	2,1	69,1	7,6	5,0	66,3

Восточная Камчатка



Западная Камчатка

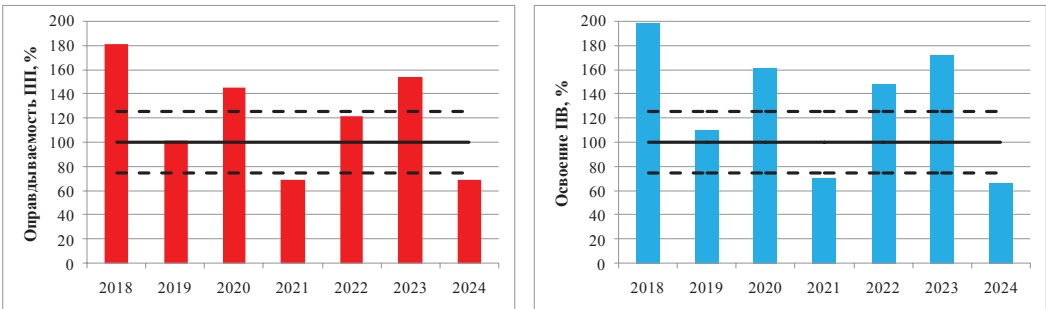


Рис. 5. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основных единиц запаса кижуча Камчатки по данным 2018–2024 гг.

Fig. 5. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major units of coho salmon stock in Kamchatka in 2018–2024

Чавыча — наиболее малочисленный вид тихоокеанских лососей Камчатского края. В настоящее время функциональной единицей промыслового запаса вида в пределах региона остается только стадо чавычи р. Камчатка. Его доля в современном

вылове достигает порядка 80 % от добычи вида на Камчатке. Бассейн р. Камчатка географически относится к восточному побережью (Петропавловско-Командорская подзона). Доля среднесноголетнего вылова чавычи в указанном промысловом районе по данным 2001–2024 гг. составляет 82,7 % (0,45 тыс. т/0,16–0,81 тыс. т). Причем доля стада р. Камчатка в районном вылове превышает 95 % (табл. 6, рис. 6). Доля чавычи северо-восточного побережья (Карагинская подзона) также определяется объемом ПВ, но по инерционному принципу. Ее среднесноголетняя доля в общем промысле составляет 9,8 % (0,05 тыс. т/0,01–0,11 тыс. т). На западной Камчатке в современный период промысел чавычи не ведется. Добыча (вылов) осуществляется только в режиме любительского рыболовства, а также в научно-контрольных и аквакультурных целях. Объем ПВ в регионе определяется экспертным путем на уровне 0,04–0,06 тыс. т, что составляет около 7,5 % от вылова вида в Камчатском крае.

Таблица 6
Данные о численности подходов и вылове основной единицы запаса чавычи Камчатки в 2018–2024 гг. (р. Камчатка, Петропавловско-Командорская подзона)

Table 6
Data on runs abundance and catch for the major stock unit of chinook salmon in Kamchatka River in 2018–2024

Год	Подход, млн рыб			Вылов, тыс. т		
	ПП	ФП	ОПР, %	ПВ	ФВ	ОСВ, %
2018	0,14	0,10	73,9	0,44	0,26	59,5
2019	0,13	0,10	80,3	0,37	0,26	71,1
2020	0,14	0,09	67,6	0,40	0,27	69,4
2021	0,11	0,14	126,4	0,28	0,31	111,1
2022	0,15	0,14	94,0	0,40	0,41	103,3
2023	0,13	0,11	87,4	0,38	0,35	91,6
2024	0,10	0,10	102,0	0,27	0,23	84,4

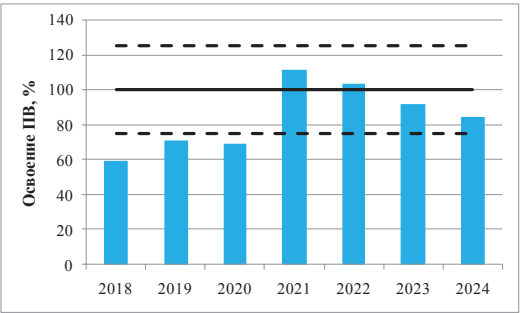
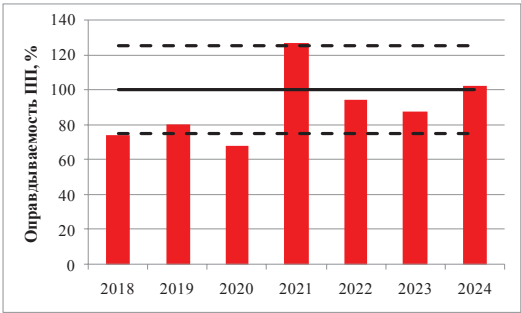


Рис. 6. Динамика показателей соответствия прогнозируемых/фактических подходов (слева) и вылова (справа) основной единицы запаса чавычи р. Камчатка по данным 2018–2024 гг.
Fig. 6. Dynamics of compliance between forecasted and actual rates of runs (left) and catches (right) for the major unit of chinook salmon stock in Kamchatka River in 2018–2024

В рассматриваемый период оправдываемость ПП чавычи р. Камчатка практически всегда соответствовала показателю 100 ± 25 %. Исключением был лишь 2020 г. Кроме того, показатель оправдываемости ПП в 2018 г. находился близко к нижней границе интервала ошибки прогнозирования.

Освоение объемов ПВ чавычи р. Камчатка было ниже ожидаемого в 2018–2019 гг. Теоретически можно говорить об ошибках прогнозов вылова в эти годы. Однако необходимо понимать, что чавыча, как наиболее малочисленный вид, никак не может быть объектом специализированного промысла. Ее вклад в структуру многовидового промысла тихоокеанских лососей р. Камчатка весьма ограничен. Поэтому освоение объемов ПВ чавычи зависит от общего хода промысла, причем не ориентированного

на добычу (вылов) этого вида. Поэтому недолов чавычи относительно ожидаемого показателя не является критическим. В данном случае главное — показатель общего запаса (подход), так как чавыча относится к наиболее ценным видам тихоокеанских лососей и требует особого отношения к воспроизводству. Следовательно, при достижении ожидаемого уровня ПП более низкий вылов обеспечит дополнительный пропуск производителей вида на нерестилища.

Потенциальные причины несоответствия прогнозов

По характеру причинно-следственных связей несоответствия (ошибки) прогнозов динамики численности водных биологических ресурсов можно разделить на два типа — информационно-методические и экологические. Первый тип ошибок образуется в результате недостаточности первичных исходных данных, неверно выбранной прогностической модели или ошибочной интерпретации полученных результатов. Второй тип ошибок формируется под воздействием неуправляемых экологических (экосистемных) факторов, в той или иной мере воздействующих на количественные показатели продуктивности гидробионтов на момент промыслового воздействия.

В отношении тихоокеанских лососей большее значение при прогнозировании численности запасов имеют именно экологические факторы. Разумеется, информационно-методические причины ошибок также достаточно распространены. Однако это решаемые проблемы, которые, как правило, учитываются специалистами уже при подготовке следующего прогноза. Ошибки же, полученные в результате влияния природных факторов, в подавляющем большинстве случаев непредсказуемы и неуправляемы.

Повышенная роль экологии в прогнозировании численности запасов тихоокеанских лососей напрямую связана с их жизненным циклом. Как известно, большая часть жизни тихоокеанских лососей проходит в море/океане в малодоступных для мониторинга условиях. Причем, акватория их нагульных миграций простирается на тысячи километров, включая практически всю площадь бассейна Северной Пацифики. Это делает невозможным отслеживание изменчивости состояния лососевых запасов на протяжении всех этапов морского/океанического периода жизни.

В настоящее время учетные съемки тихоокеанских лососей проводятся только в период осенней откочевки молоди от побережья в водах Берингова и Охотского морей, а также во время преднерестовых миграций в северо-западной части Тихого океана. Подобная схема морских исследований в первую очередь ориентирована на самый массовый вид — горбушу, которая имеет наиболее короткий жизненный цикл (2 года). Все остальные виды, которые в массе нагуливаются в море/океане от 3 до 5 лет, на этот период практически выпадают из поля зрения прогнозистов. Поэтому меняющиеся во время их нагула климато-океанологические условия не могут в полной мере учитываться при прогнозировании возвратов длинноцикловых видов лососей.

В рамках представленной работы заведомо экологический характер ошибок прогнозов имеют случаи, когда наблюдались значимые для массовых видов тихоокеанских лососей несоответствия в показателях как ожидаемых подходов (ПП), так и вылова (ПВ). Подобная ситуация отмечена в 2020 и 2024 гг. (горбуша — 2020 г., кета и нерка — 2020 и 2024 гг.). Обращаем внимание, что в 2020 г. негативное влияние экологических факторов наблюдалось для стад всех массовых видов лососей северо-восточной Камчатки. В 2024 г. прогнозы не оправдались для кеты и нерки уже всей восточной Камчатки, а также для кеты западной Камчатки. Кроме того, в 2022 г. низкие подходы были зафиксированы для горбуши западной Камчатки. Однако принимая во внимание тот факт, что региональные возвраты всех остальных массовых видов лососей достигли прогнозных ожиданий, полагаем, что для данного вида высока вероятность информационно-методической ошибки прогноза в этот год, так как поколение было неурожайным.

Оценка потенциальных экологических причин несоответствия прогнозов невозможна без анализа океанологических условий в зоне морского/океанического нагула ти-

хоокеанских лососей. Отметим, что специалистами по прогнозам в отношении наиболее значимых лососевых запасов в той или иной мере учитывается влияние климатических факторов во время осенней откочевки молоди [Фельдман, Шевляков, 2015; Бугаев и др., 2021, 2024; Фельдман, Бугаев, 2021]. Исходя из критичности влияния температурных условий на рост и выживание тихоокеанских лососей именно в холодное время года логично дать описание океанологических условий в зимне-весенний период. В работе выполнен анализ распределения аномалий температуры поверхности океана (аТПО) в зонах основного нагула стад тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки во время зимне-весеннего нагула в бассейне Северной Пацифики. Применительно к данной ситуации наиболее актуально использование показателя аТПО, так как он характеризует отклонение терморежима вод от среднееголетних показателей, т.е. дает сравнительную информацию. Дополнительно указываются метеорологические факторы, влияющие на формирование температурных условий вод в зонах нагула тихоокеанских лососей.

При определении районов нагула руководствовались известными закономерностями зимне-весенних миграций тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики [Бирман, 1985; Атлас..., 2002; Шунтов, Темных, 2011; The ocean ecology..., 2018]. На представленной карте-схеме (рис. 7) показаны генерализированные зоны зимнего нагула и весенних преднерестовых миграций обеих региональных группировок стад лососей.

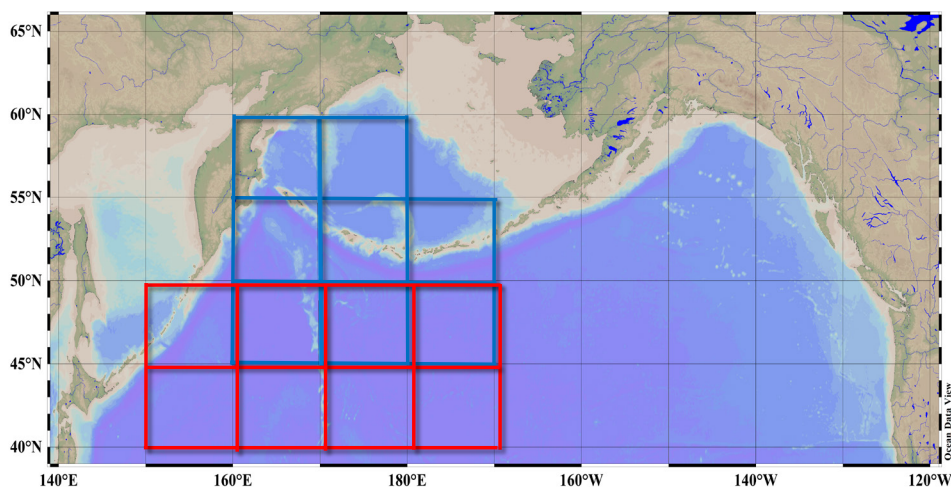


Рис. 7. Карта-схема основных зон зимне-весеннего нагула тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики: *синие линии* — восточнокамчатские стада; *красные линии* — западнокамчатские стада

Fig. 7. Scheme of the main winter-spring feeding areas of pacific salmon at East and West Kamchatka: *blue lines* — East Kamchatka stocks; *red lines* — West Kamchatka stocks

В качестве небольшого отступления отметим, что в зимний период года над северной частью Тихого океана господствуют несколько центров действия атмосферы — Алеутская депрессия, Гавайский и Сибирский антициклоны (рис. 8). Именно их интенсивность и расположение характеризуют направленность метеорологических процессов, а также в немалой степени состояние верхнего, охваченного ветровым и конвективным перемешиванием слоя океана [Дашко, Варламов, 2000]. В то же время термическое состояние вод поверхностного слоя и интенсивность адвекции тепла течениями оказывают влияние на формирование и расположение океанических центров действия атмосферы. Система «океан–атмосфера» тесно взаимосвязана, но в силу большей инерционности океана в ней рождаются непрерывные колебания — планетарные волны [Доронин, 1986; Latif, Barnett, 1996].

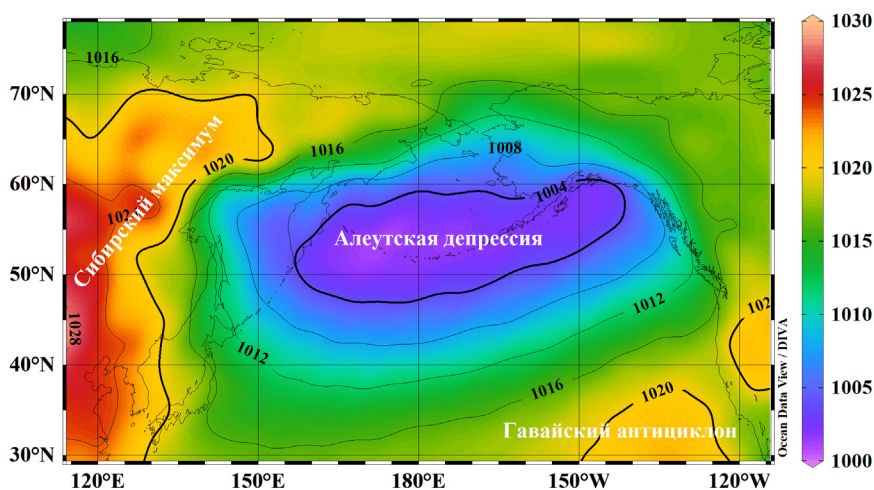


Рис. 8. Карта распределения приземного атмосферного давления в зимний период года, осредненная для периода 1991–2020 гг.

Fig. 8. Surface analysis for atmospheric pressure in winter averaged for 1991–2020

Обращаем внимание, что наиболее существенным показателем, характеризующим метеорологические процессы в районах зимне-весенних нагульных миграций тихоокеанских лососей (акватория севернее (до 50–60° с.ш.) и южнее (до 40° с.ш.) гряды Алеутских островов), является зона формирования поля низкого давления — Алеутская депрессия. Заток воздушных масс в указанный регион в значительной степени формирует температурный режим вод в нагульной акватории. Сравнительный показатель (индекс) измерения относительной интенсивности Алеутской депрессии в северной части Тихого океана ежегодно рассчитывается в стандартные сроки — с ноября-декабря по март [Beamish et al., 1997; Surry, King, 2015]. Расчет ведется на основе данных средней площади района (км²) с давлением на уровне моря $\leq 100,5$ кПа. Аномалия рассчитывается от среднего значения 1950–1997 гг.

Особенности развития атмосферных процессов и распределение аТПО зимой (декабрь-февраль) и весной (март-май) 2017–2024 гг. представлены для каждого календарного периода отдельно.

2017/18 г. Период характеризуется очень слабым развитием большинства зимних центров действия атмосферы на фоне аномально восточного размещения центра Алеутской депрессии (рис. 9). Это привело к интенсификации затоков «холодных» воздушных масс на акваторию Охотского моря, что выразилось в значительном развитии ледового покрова и преобладании отрицательных аТПО в свободной части моря. В свою очередь ледовитость Берингова моря была минимальной, а уровень температуры вод поверхности в его западной части превышал норму до +2 °С. На акватории северо-западной части Тихого океана вплоть до 50° с.ш. также преобладали положительные аТПО. Южнее, у северной границы Северо-Тихоокеанского течения, наблюдалось господство отрицательных отклонений от нормы. При этом в отдельных вихрях потока, подпитываемого течением Куро시오, температура поверхности превышала среднегодовую. Ситуация практически не изменилась и в весенний период 2018 г. Наиболее высокие аТПО в Беринговом море сместились в район материкового склона восточной части акватории. Область с отрицательными значениями аТПО несколько расширилась в северном направлении. Отметим преобладание положительных аТПО в зоне действия Камчатского и Западно-Камчатского течений.

2018/19 г. Алеутская депрессия в зимний период оказалась одной из наиболее развитых за рассматриваемый отрезок времени (рис. 10). При этом гребни Сибирского и Гавайского антициклонов были ослаблены. Уровень приземного атмосферного давления над Охотским и Беринговым морями ниже нормы. Аналогичная ситуация

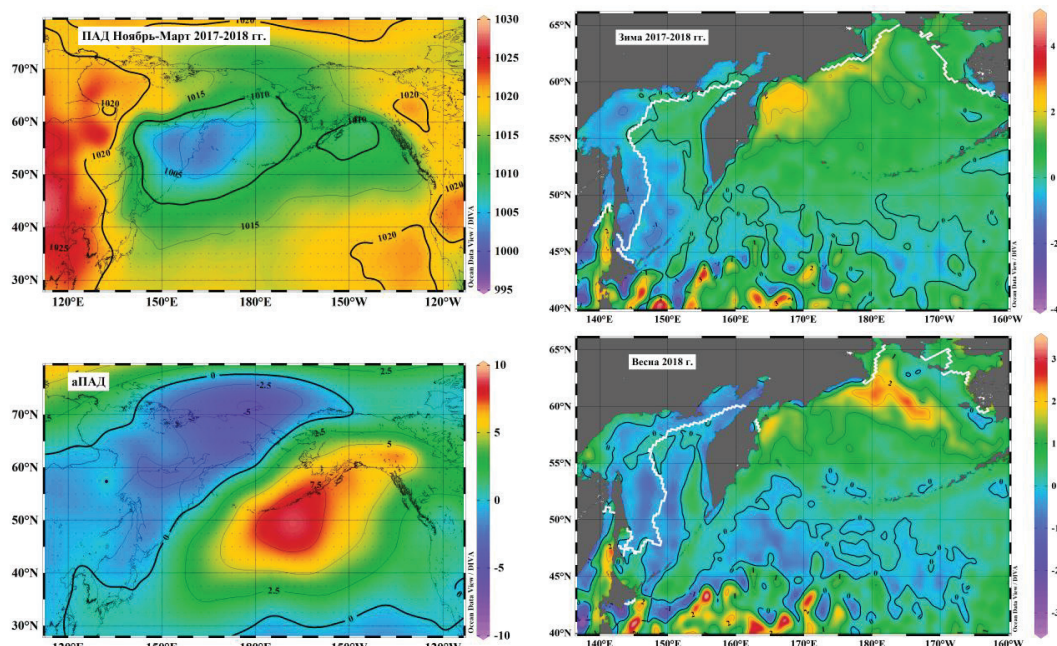


Рис. 9. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2017/18 г. Здесь и далее на аналогичных рисунках белая линия — граница распределения морского льда

Fig. 9. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2017/2018. Here and further at similar figures: white line shows the sea ice boundary

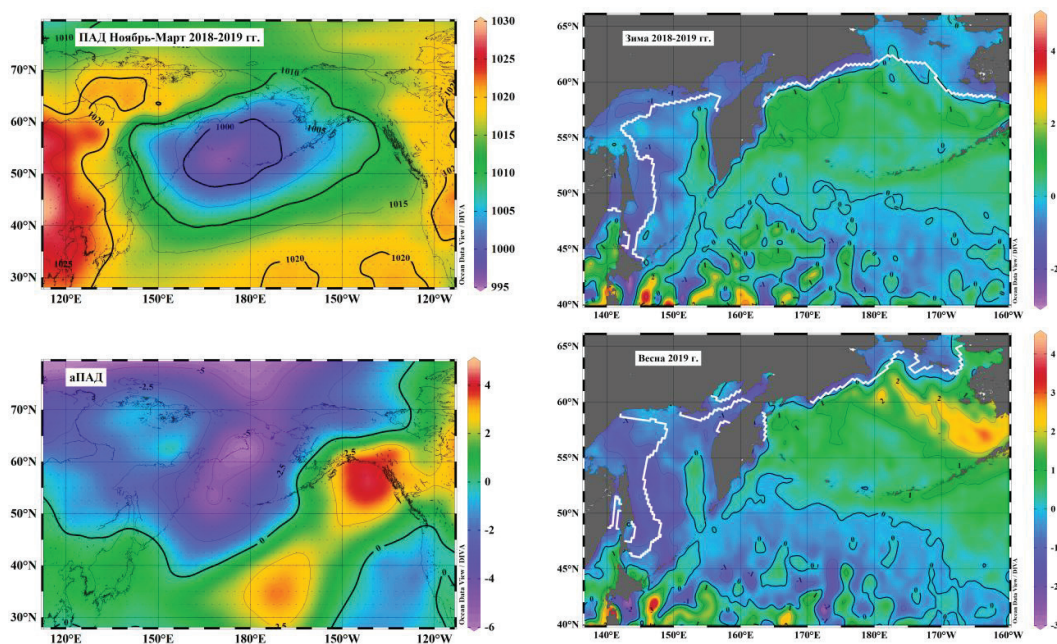


Рис. 10. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2018/19 г.

Fig. 10. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2018/2019

наблюдалась и над северо-западной частью Тихого океана. Это привело к увеличению частоты вторжения арктических воздушных масс на акваторию Охотского и северной части Берингова морей, что послужило толчком к увеличению площади морского льда на их акватории. Температура поверхности, свободной ото льда, на большей части Охотского моря оказалась ниже нормы. В Беринговом море отмечалось преимущественное превышение этого показателя над нормой. К югу от 50° с.ш. площадь вод Тихого океана с отрицательными значениями аТПО доминировала. Положительные показатели аТПО в основном наблюдались в зоне смешения вод течений Северо-Тихоокеанского и Курисио. Описанная ситуация в целом сохранилась и в весенний период года. Однако площадь, занимаемая отрицательными значениями аТПО на акватории Тихого океана, несколько возросла. В восточной части Берингова моря абсолютные значения отклонений температуры от нормы вновь превысили $+2^\circ\text{C}$.

2019/20 г. Зимой площадь Алеутской депрессии оказалась близкой к средне-многолетним показателям (рис. 11). В это же время северный гребень Гавайского антициклона значительно активизировался, а Сибирский антициклон, наоборот, ослаб. Участвовавшее поступление «холодных» воздушных масс из Арктического региона на акваторию обоих морей привело к резкому росту площади морского льда в Беринговом море. По сравнению с предшествующими годами она повысилась более чем на 100 тыс. км². В Охотском море тенденция оказалась обратной. Здесь площадь льда незначительно сократилась. Большая часть Охотского моря и зона Тихого океана между 45° и 50° с.ш. зимой 2019/20 г. были заняты водами, температура поверхности которых оказалась незначительно ниже нормы. Высокие положительные аТПО отмечались только в зоне действия течения Курисио. В то же время воды Берингова моря отличались положительными аномалиями (до $+1^\circ\text{C}$). При этом площадь, занятая льдом весной 2020 г., была более чем в два раза выше, чем в два предшествующих года. Значения аТПО в Беринговом море повысились, как и в водах Тихого океана, практически на всей акватории. В Охотском море показатели аТПО остались практически на

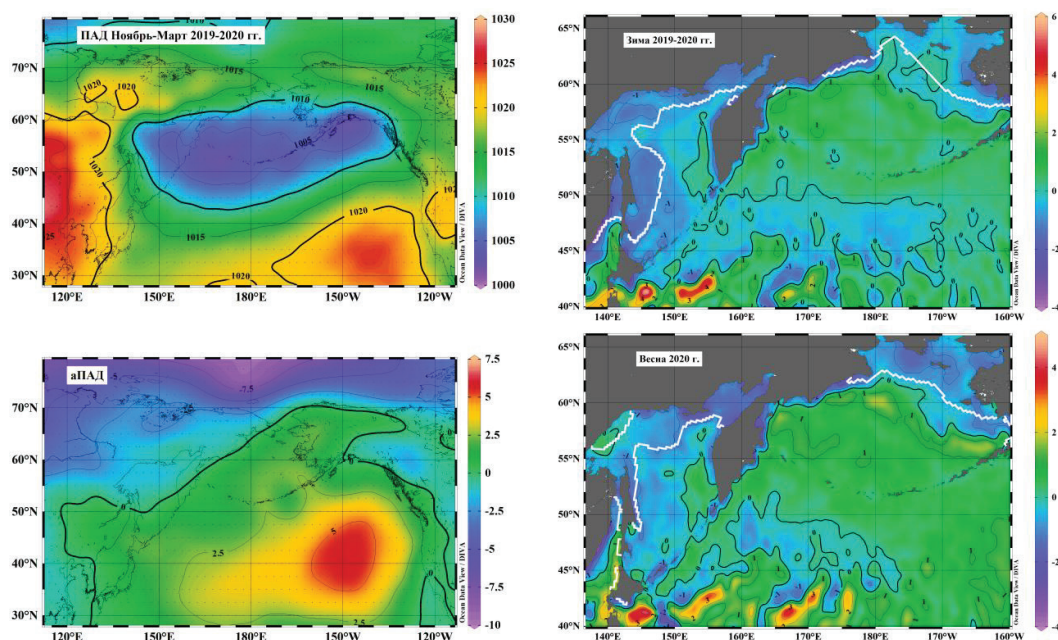


Рис. 11. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2019/20 г.

Fig. 11. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2019/2020

прежнем уровне. Однако, несмотря на это, сокращение площади морских льдов здесь оказалось существенным.

2020/21 г. В этот год зафиксировано наибольшее развитие Алеутской депрессии (рис. 12). Аномалия поля приземного атмосферного давления над юго-западной частью Берингова моря превышала -5 гПа. Одновременно на юго-востоке активизировался Гавайский антициклон ($+5$ гПа), что привело к увеличению пространственного градиента давления в зоне между 35 и 45° с.ш. Сибирский антициклон был менее выражен, но из-за аномально западного распространения Алеутской депрессии и в районе Охотского и Японского морей градиент приземного атмосферного давления оказался повышенным. Все это привело к увеличению площади вод, занятых отрицательными показателями аТПО в зимний период, как в Охотском море, так и на акватории Тихого океана. К весне этот показатель снизился в основном в тихоокеанской акватории. И не последнюю роль в данном процессе сыграло увеличение притока «теплых» вод с потоком Северо-Тихоокеанского течения. Отметим, что зоны действия Камчатского, а также Западно-Камчатского течений, за исключением узкой прибрежной полосы, отличались преобладанием положительных аТПО как зимой, так и весной. Уровень ледовитости Охотского и Берингова морей в зимний период оставался достаточно высоким и даже подрос весной.

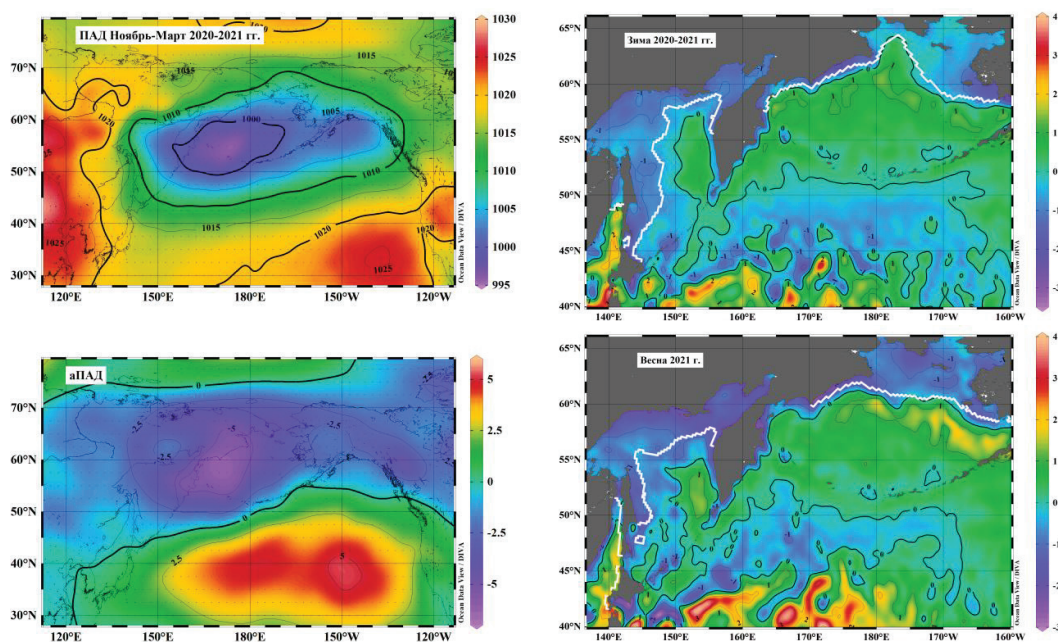


Рис. 12. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2020/21 г.

Fig. 12. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2020/2021

2021/22 г. В этом году наблюдаемое развитие Алеутской депрессии в холодный период года было на одном из самых низких уровней для рассматриваемого периода лет (рис. 13), что особенно касается ее восточной части, где доминирование гребня Гавайского антициклона привело к превышению приземного атмосферного давления над нормой до $+5$ гПа. Причем область аномально высокого давления распространялась далеко на север, вплоть до Чукотки. И именно в этой зоне оказались наиболее низкие среднесезонные аТПО, а также самый высокий уровень площади льда. В то же время на свободной ото льда акватории температура поверхности оставалась выше нормы. Особенно высокие показатели аТПО наблюдались в зоне действия Северо-Тихо-

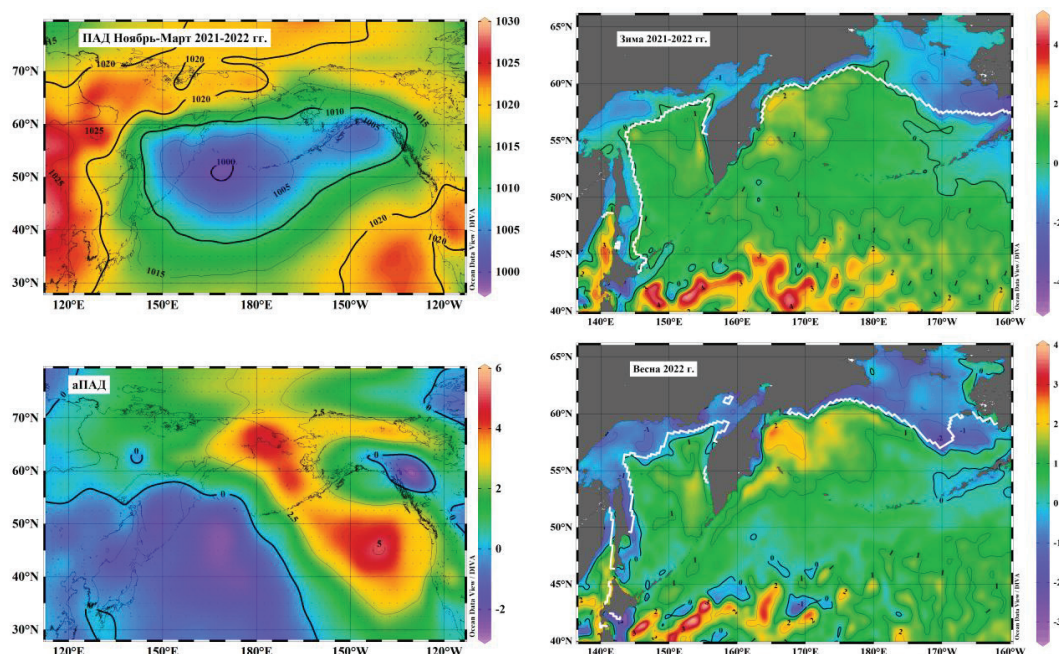


Рис. 13. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2021/22 г.

Fig. 13. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2021/2022

океанского течения (до $+4^{\circ}\text{C}$). Привлекает внимание тот факт, что в северо-западной части Тихого океана зимой и весной 2022 г. температура поверхности воды устойчиво превышала норму (на $+1-2^{\circ}\text{C}$). При этом площадь льда в Охотском море оказалась на экстремально низком уровне. Заметим, что весной произошло некоторое понижение уровня аТПО в южной части акватории моря с возникновением небольших «пятен» с отрицательными значениями, а на акватории Берингова моря этот показатель повысился.

2022/23 г. Наблюдалось ослабление Алеутской депрессии на фоне аналогично низкого развития гребня Сибирского антициклона, что привело к аномально низкому приземному атмосферному давлению над большей частью Охотского моря (рис. 14). В то же время над водами Тихого океана и восточной частью Берингова моря господствовала область аномально высокого приземного атмосферного давления. В результате западная часть акватории по уровню температуры поверхности оказалась преимущественно в «отрицательной» зоне, в то время как центральная и особенно юго-восточная области были в «положительной». Тем не менее площадь ледового покрова Охотского моря оказалась одной из самых низких как зимой, так и весной. Аналогичный показатель для Берингова моря, наоборот, зимой был на уровне 250 тыс. км², а весной — 300 тыс. км². Весной поднялся уровень положительного отклонения аТПО от нормы в южной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана. Одновременно увеличилась зона отрицательных значений аТПО в Охотском море. Зоны действия Камчатского и Западно-Камчатского течений оставались с положительной стороны оси аномалии температуры поверхности на протяжении всего зимне-весеннего периода.

2023/24 г. В этот год Алеутская депрессия оказалась одной из наиболее развитых за рассматриваемый период лет (рис. 15). Особенно сильно она расширилась в северном направлении. Минимум аномалии приземного атмосферного давления располагался над Беринговым проливом, и зона отрицательных значений занимала практически весь север и восток района. Гавайский антициклон оказался ослабленным, и его привычный

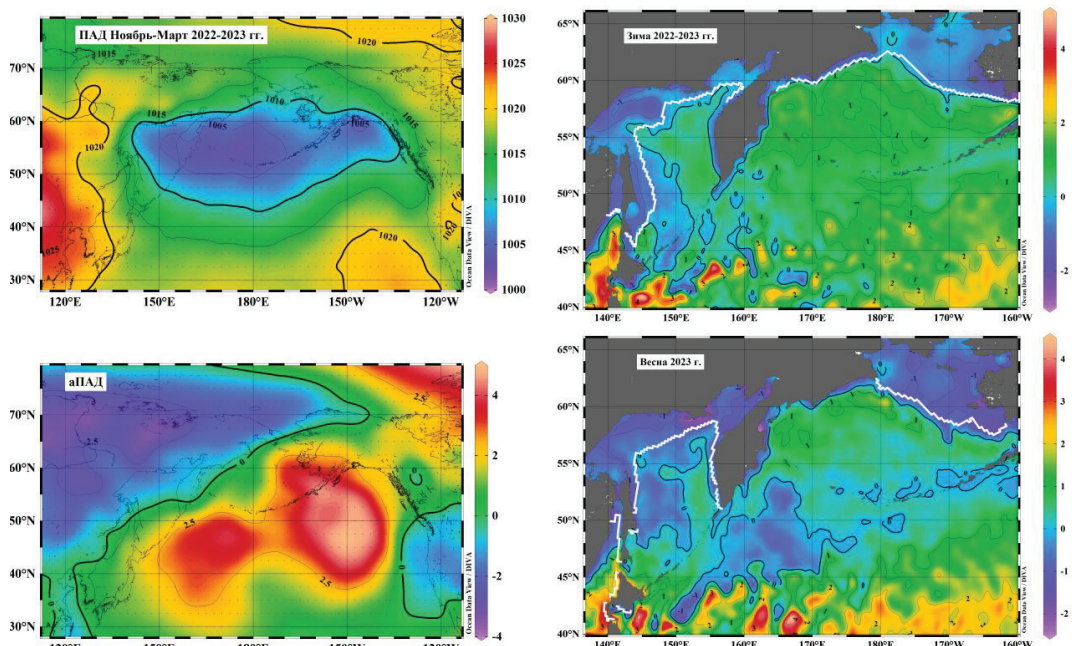


Рис. 14. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2022/23 г.

Fig. 14. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2022/2023

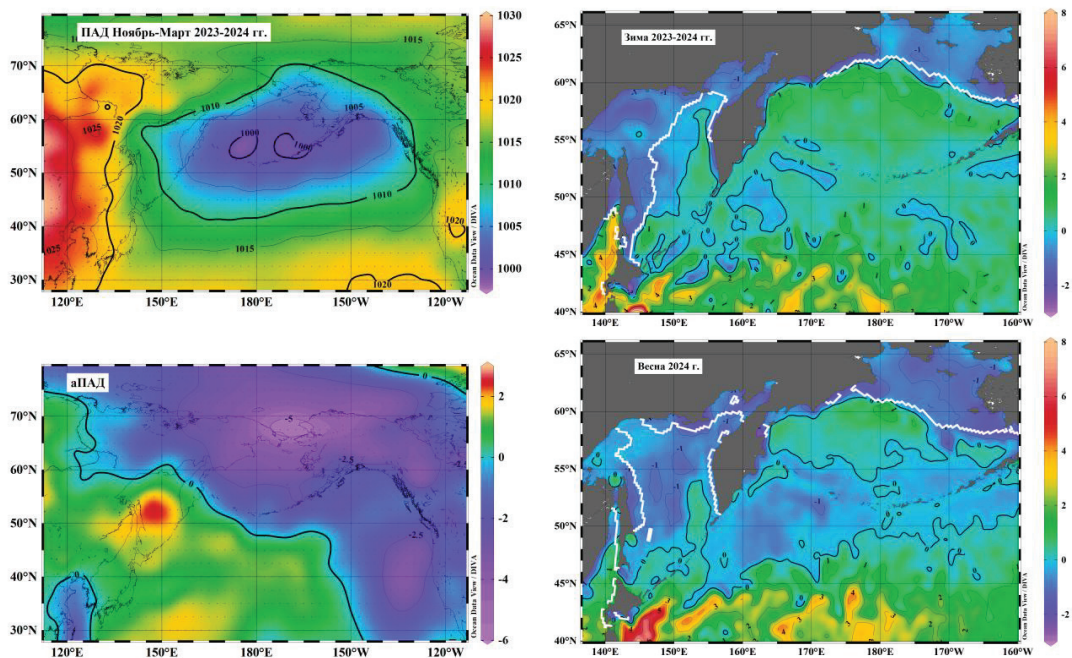


Рис. 15. Карты распределения приземного атмосферного давления (ПАД) и его аномалии (аПАД) в зоне действия Алеутской депрессии, а также аномалии температуры поверхности (справа, аТПО) для зимне-весеннего периода 2023/24 г.

Fig. 15. Surface analysis of atmospheric pressure (ПАД) and its anomaly (аПАД) in the area of Aleutian Low and anomaly of sea surface temperature (right, аТПО) in the winter-spring season of 2023/2024

гребень отсутствовал. Над Охотским морем уровень приземного атмосферного давления оказался выше нормы вследствие значительного развития Сибирского антициклона. В результате уровень ледового покрова Охотского моря в течение зимнего периода был самым высоким. Однако весной на охотоморской акватории лед сходил опережающими темпами и площадь морских льдов значительно сократилась. В Беринговом море картина складывалась противоположно: к весне уровень ледового покрова здесь значительно возрос, достигнув максимума последних семи лет. Прирост происходил в основном в северо-восточной части моря. В юго-западной части Берингова моря в зимне-весенний период показатели аТПО отличались наличием обширной зоны низких значений на свободной ото льда акватории. В северо-западной части Тихого океана наблюдалась достаточно сходная обстановка: положительные показатели аТПО фиксировались лишь в зоне Северо-Тихоокеанского течения на широте 40–45° с.ш. Причем весной ситуация усугубилась. В этот период большая часть поверхности акватории северо-запада Тихого океана оказалась во власти низких значений температуры вод поверхности. Зона отрицательных значений аТПО простиралась практически от Курисио до Алеутских островов и Аляски. «Холодно» было и в Охотском, и в Беринговом морях.

Представленные результаты анализа климато-океанологических условий в бассейне Северной Пацифики по годам возвратов тихоокеанских лососей (2018–2024 гг.) показывают наличие значительной межгодовой изменчивости терморежима вод в зонах их нагула. Следует признать, что объективно сложно оценить влияние данного фактора на численность восточно- и западнокамчатских стад лососей. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что температурные условия нагула не действуют напрямую на тихоокеанских лососей. Известно, что данное воздействие происходит опосредованно, например, в результате межгодовой изменчивости состояния кормовой базы. Таким образом, необходимо говорить о многофакторном механизме влияния океанологических условий на численность лососевых запасов. Однако, принимая во внимание продолжительность миграций и обширность акватории морского/океанического нагула лососей, практически невозможно получить фактические данные, представляющие весь комплекс требуемой информации. Поэтому большинство заключений о механизме влияния климато-океанологических условий на продуктивность или биологические показатели тихоокеанских лососей, как правило, носят гипотетический характер.

В настоящее время уже проведены достаточно обширные исследования, доказывающие, что увеличение численности тихоокеанских лососей напрямую связано с глобальным потеплением Земли [Кляшторин, Любушин, 2005; Бугаев, Тепнин, 2024]. При этом показано, что увеличение их численности негативно повлияло на размерно-массовые показатели производителей всех видов лососей [Карпенко и др., 2013; Бугаев, 2017; Бугаев, Тепнин, 2024]. Наиболее очевидной причиной этого является обострение внутри- и межвидовой пищевой конкуренции лососей под воздействием плотностного фактора, так как численность практически всех видов лососей значительно возросла в 2010–2020-е гг., о чем свидетельствуют их исторически высокие уловы в этот период (рис. 1). Причем очевидно, что это происходит на этапах нагула уже после откочевки молоди в открытые морские/океанские воды, а также во время преднерестовых миграций. В противном случае не было бы увеличения численности лососей, так как недостаток пищи в ранний морской период жизни критично отразился бы на выживаемости молоди.

Современные фактические данные об изменчивости массы тела производителей тихоокеанских лососей Камчатки в 2010–2020-е гг. представлены на рис. 16.

Анализ представленных данных позволяет с уверенностью говорить о наличии отрицательных трендов динамики навески (масса тела) тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки в 2011–2024 гг. При этом отмеченный тренд наблюдался еще с 1960–1970-х гг. [Карпенко и др., 2013; Бугаев, 2017]. Обращаем внимание, что у восточнокамчатских стад лососей тренды выражены сильнее и навески ниже, чем

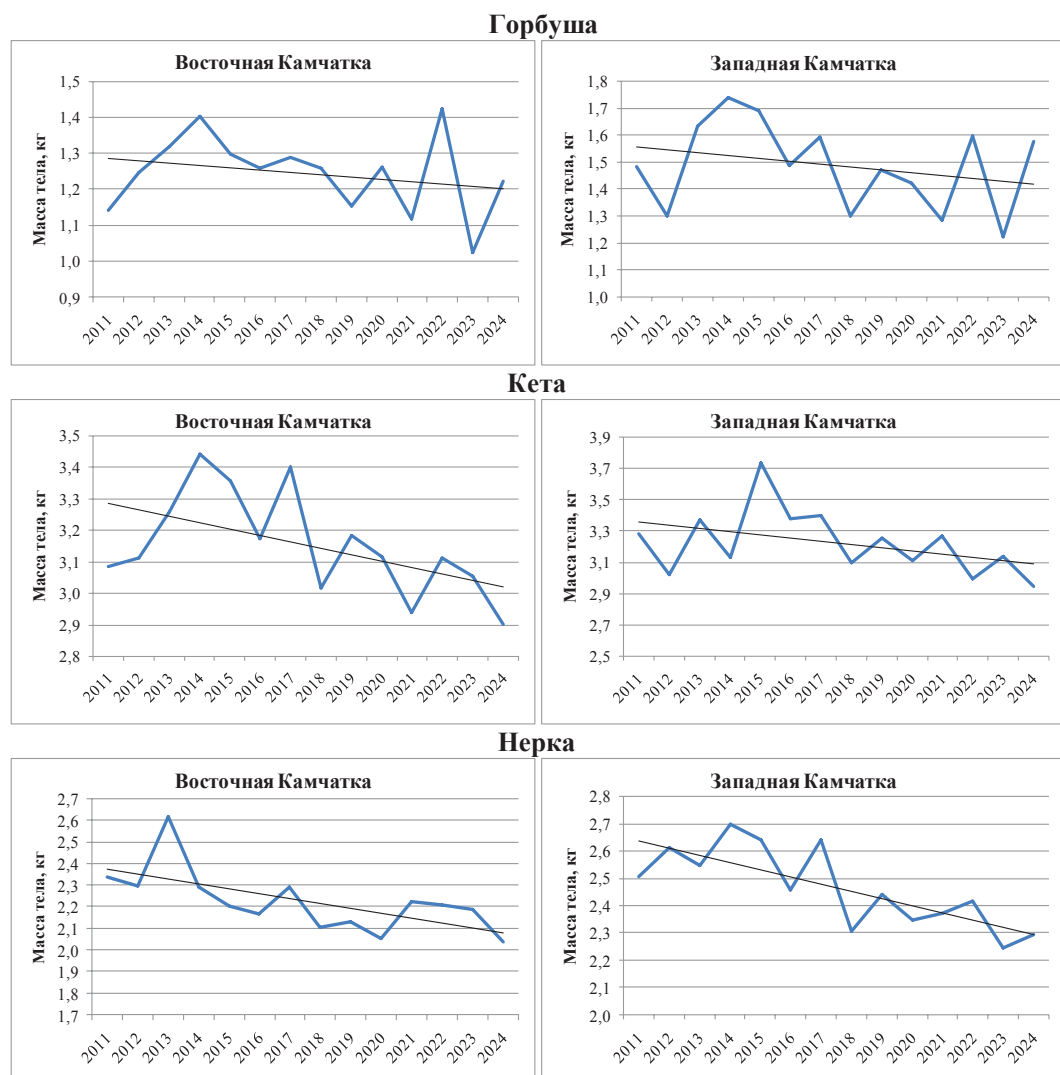


Рис. 16. Динамика массы тела тихоокеанских лососей восточной и западной Камчатки по данным 2010–2020-х гг.

Fig. 16. Dynamics of pacific salmon body weight at East and West Kamchatka

у западнокамчатских. Подобная закономерность не может быть случайной. Понятно, что имеются некие негативные факторы, которые более влияют на рост лососей, воспроизводящихся в реках восточной Камчатки. Однако в обоих случаях основной причиной данной тенденции может быть только недостаток пищи во время морского/океанического нагула. При этом непосредственно развитие лососевой кормовой базы связано именно с океанологическими условиями. Следовательно, наиболее вероятно, что у восточнокамчатских лососей условия нагула во время созревания были хуже, чем у западнокамчатских.

В связи с этим необходимо обратить внимание на результаты многолетних биоценологических и океанологических исследований ТИНРО, показавших влияние изменения океанологических процессов на продуктивность водных биологических ресурсов в дальневосточных морях России [Байталюк, Зуенко, в печати]. По полученным современным данным глубинный прогрев водных масс в Охотском и Беринговом морях, а также в северо-западной части Тихого океана привел к нарушению вертикальной циркуляции вод. Это послужило причиной обеднения эпипелагиали по

составу биогенных элементов и, как следствие, перестройки планктонных сообществ. В результате сократилось количество фитопланктона, а в составе зоопланктона значительно снизилась доля более калорийных организмов (веслоногие рачки *Copepoda*). Доля менее калорийных форм (сагитты *Sagitta*, эвфаузииды *Euphausiidae* и гиперииды *Hyperiidae*), наоборот, увеличилась.

Таким образом, в связи с глобальным потеплением кормовой потенциал эпипелагиали морских и тихоокеанских вод Дальнего Востока России в 2010–2020-е гг. снизился. Учитывая, что этот слой водных масс является местом обитания тихоокеанских лососей, несомненно, эти экосистемные перестройки не могли не отразиться на биологическом состоянии данной группы рыб. Причем явно энергетического потенциала кормовых объектов эпипелагиали дальневосточных морских и океанических вод хватает на формирование высокочисленных поколений тихоокеанских лососей (факт исторического увеличения численности в 2010–2020-е гг.) на начальном этапе морского/океанического периода жизни. Однако в процессе дальнейшего нагула этого потенциала уже недостаточно для соматического роста рыб, о чем свидетельствуют тренды снижения размерно-массовых показателей производителей тихоокеанских лососей в последние десятилетия. При этом понятно, что недостаточно физически развитые особи тихоокеанских лососей могут быть в большей степени подвержены негативному влиянию условий среды, складывающихся в тот или иной период нагула. В принципе указанный механизм влияния океанологических условий на выживание тихоокеанских лососей вполне может объяснить «неожиданные» провалы в динамике подходов того или иного вида этой группы рыб.

В рамках настоящей работы мы определили два года, когда ошибки прогнозов явно носили экологический (экосистемный) характер, — 2020 и 2024 гг. Проанализировав океанологические условия в зимне-весенние периоды этих лет, можно определить следующие закономерности.

1. В 2020 г., как зимой, так и весной, наблюдалась обширная положительная аТПО, которая охватывала практически всю зону зимовальных и преднерестовых миграций тихоокеанских лососей восточной Камчатки. Особенно высок уровень аТПО был весной в западной части Берингова моря, где осуществляют преднерестовые миграции стада лососей, воспроизводящихся в реках северо-восточного побережья полуострова.

2. В 2024 г. наблюдалась обширная отрицательная аТПО в весенний период как в западной части Берингова моря, так и в северо-западной части Тихого океана. В этом случае относительно аномально холодные условия нагула складывались для стад лососей восточной и западной Камчатки. Причем более значимое влияние сложившихся условий приходилось на период начала преднерестовых миграций созревающих рыб.

Резюмируя вышесказанное, предположим, что наличие обширных аномалий температуры воды, как положительных, так и отрицательных, могло негативно отразиться на формировании кормовой базы лососей в районах массовых миграций. Ранее мы высказывали гипотезу, что зона положительной аТПО в Беринговом море в 2020 г. в зимне-весенний период привела к увеличению доли «южных» форм планктона, которые отличаются более меньшей калорийностью по сравнению с «северными» формами [Бугаев и др., 2020]. В этой же работе было указано, что аналогичная ситуация также наблюдалась в восточной части Берингова моря и зал. Аляска. Однако не исключено, что в северо-западной части Тихого океана это было связано еще и с обеднением кормовой базы эпипелагических вод по указанным выше океанологическим причинам. К сожалению, в период 2018–2024 гг. в приалеутском районе Северной Пацифики в зимний и весенний периоды не проводились биоценологические съемки. Поэтому невозможно дать ответ о межгодовой динамике планктонных сообществ в местах зимовальных и ранних преднерестовых миграций тихоокеанских лососей Дальнего Востока России.

Поэтому вполне возможно, что в 2024 г. низкое теплосодержание вод могло привести к еще большему дефициту макро- и микрофракций зоопланктона, т.е. недостатку

корма для тихоокеанских лососей. Причем микропланктон является объектом питания различных видов кишечнорастных Coelenterata, гребневиков Stenophora и крылоногих моллюсков Pteropoda, основным потребителем которых среди тихоокеанских лососей является кета [Шунтов, Темных, 2011; Карпенко и др., 2013]. По имеющимся данным эти организмы могут составлять порядка 80 % в питании кеты.

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что океанологические условия 2024 г. оказали негативное влияние на запасы кеты, воспроизводящейся не только на Камчатке, но и во всех других регионах Дальнего Востока. Ситуация с низкими подходами вида в этот год была сходной для всего Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. При этом два других массовых вида тихоокеанских лососей — горбуша и нерка — имеют сходный спектр питания (макрозоопланктон, молодь кальмаров Gonatidae и светящиеся анчоусы Myctophidae, суммарно составляющие более 90 %), отличающийся от рациона кеты [Шунтов, Темных, 2011; Карпенко и др., 2013]. Поэтому сложившиеся кормовые условия затронули оба этих вида в меньшей степени. Причем у нерки низкие подходы наблюдались только для восточнокамчатских стад, которые концентрируются в северной части нагульного ареала. Южнее, где нагуливаются западнокамчатские стада нерки, температурные условия были ближе к среднесезонным показателям. Кроме того, как мы ранее отмечали, положительное влияние на увеличение уровня возврата нерки р. Озерной в 2024 г. могла оказать и крайне низкая численность горбуши западной Камчатки в этом году. Современные исследования достаточно четко показывают, что имеется отрицательная взаимосвязь между численностью указанных единиц запасов горбуши и нерки [Дубынин, 2023].

Понятен гипотетический характер высказанных выше предположений. Тем не менее фактом остается наличие наименьших навесок у кеты и нерки в 2024 г. за весь период 2010–2020-х гг. Объяснить это можно только определенным дефицитом кормовых ресурсов на определенных этапах морского/океанического нагула. Данный дефицит вполне объясним влиянием сложившихся современных океанологических условий и высокой численностью тихоокеанских лососей (плотностной фактор). Не исключено, что снижение размерно-массовых характеристик лососей на фоне общего обеднения кормовой базы эпипелагиали морских и тихоокеанских вод Дальнего Востока России влечет и повышенную смертность созревающих рыб при изменениях условий нагула. По сути более физиологически ослабленные тихоокеанские лососи становятся чувствительными к перепадам состояния среды. Следовательно, наличие обширных полей положительных или отрицательных показателей аТПО, охватывающих большую часть нагульных ареалов региональных группировок стад лососей Камчатки, может быть причиной для потенциального снижения численности подходов производителей в тот или иной год. Наиболее вероятно, что это проявляется в год формирования зрелой части стад, т.е. на начальных этапах преднерестовых миграций, так как описанные условия в большей степени складываются именно в весенний период.

Заключение

Проведенный в работе теоретический анализ сложившейся системы прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки (по данным 2010–2020-х гг.) позволил определить основные принципы формирования и интерпретации результатов прогнозов. Показано, что в период современной высокой численности лососевых запасов более рационально использование трендовых подходов для определения объемов прогнозируемого вылова, так как имеются все возможности для оперативной корректировки их потенциального промыслового изъятия в зависимости от фактических подходов лососей в текущую путину. Описаны методические аспекты подготовки прогнозов с учетом видовых особенностей тихоокеанских лососей. Обозначены конкретные единицы запасов видов, прогнозирование численности которых доступно с применением математического моделирования.

Отдельно рассмотрены возможные причины несоответствия (ошибок) прогнозов численности камчатских лососей за период 2018–2024 гг. Выявлен информационно-методический или экологический характер подобных ошибок. Дано описание климато-океанологических условий, сложившихся в рассматриваемый период. Определен экосистемный характер несоответствия показателей прогнозируемых и фактических подходов/вылова тихоокеанских лососей в 2020 и 2024 гг. Наиболее вероятной причиной повышенной экосистемной смертности является наличие плотностного фактора, вследствие значительного увеличения численности тихоокеанских лососей в современный период (2010–2020-е гг.). Предполагается, что тотальное снижение размерно-массовых показателей тихоокеанских лососей приводит к повышенной смертности рыб при изменениях океанологических условий, влияющих на их кормовую базу. Особое внимание следует уделить образованию обширных зон положительных или отрицательных значений аТПО в зонах нагула камчатских лососей на ранних этапах преднерестовых миграций в юго-западной части Берингова моря и в северо-западной части Тихого океана.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность сотрудникам КамчатНИРО, занимающимся прогнозированием численности тихоокеанских лососей Камчатского края: С.В. Шубкину, В.А. Дубынину, А.М. Бирюкову, канд. биол. наук В.А. Рябчун, канд. биол. наук Е.А. Кирилловой.

The authors are grateful to the colleagues in KamchatNIRO involved in forecasting of pacific salmon abundance in the Kamchatka Region: S.V. Shubkin, V.A. Dubynin, A.M. Biryukov, V.A. Ryabchun, E.A. Kirillova.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

А.В. Бугаев — обобщение и анализ материалов, подготовка демонстрационных материалов, написание статьи. О.В. Зикунова — анализ материалов, подготовка методического раздела статьи. О.Б. Тепнин — предоставление и анализ климато-океанологических данных, подготовка демонстрационных материалов. Н.Б. Артюхина — предоставление данных промысловой статистики. Н.Ю. Шпигальская — анализ материалов.

A.V. Bugaev — data generalization and analysis, illustrating and writing the text; O.V. Zikunova — data analysis, writing the methodological section; O.B. Tepnin — analysis of climate and oceanographic data, illustrations; N.B. Artyukhina — fishery statistics data processing; N.Yu. Shpigalskaya — data analysis.

Список литературы

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

- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И. и др.** Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. — М. : ВНИРО, 2018. — 312 с.
- Байтальюк А.А., Зуенко Ю.И.** Влияние изменения океанологических процессов на продуктивность водных биологических ресурсов в дальневосточных морях России с позиции рационального природопользования и обеспечения устойчивого развития рыбной промышленности // Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Россия в десятилетии ООН наук об океане» (г. Москва, 6–8 ноября 2024 г.). — М. : РТУ МИРЭА (в печати).
- Бирман И.Б.** Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей : моногр. — М. : Агропромиздат, 1985. — 208 с.
- Бугаев А.В.** Оценка влияния численности стад и глобальной температурной аномалии на среднюю массу тела тихоокеанских лососей в бассейне Северной Пацифики // Изв. ТИНРО. — 2017. — Т. 191. — С. 3–33. DOI: 10.26428/1606-9919-2017-191-3-33.
- Бугаев А.В.** Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2015. — 416 с.
- Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Шпигальская Н.Ю. и др.** Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае на рубеже 2010–2020-х гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщение 1 (горбуша, кета) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023а. — Вып. 68. — С. 5–41. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.5-41.
- Бугаев А.В., ЗикунOVA О.В., Артюхина Н.Б., Шубкин С.В.** Аналитический обзор итогов лососевых путин в Камчатском крае на рубеже 2010–2020-х гг. (прогнозы, промысел, запасы). Сообщение 2 (нерка, кижуч, чавыча) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023б. — Вып. 68. — С. 42–62. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.42-62.
- Бугаев А.В., Лепская Е.В., Коваль М.В. и др.** Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (сообщение 2): анализ оправдываемости прогнозов и возможных причин их несоответствия // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2020. — С. 141–170.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б.** Климат и тихоокеанские лососи : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2024. — 280 с.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Шпигальская Н.Ю., Кулик В.В.** Описание регрессионных моделей для прогнозирования динамики численности горбуши Камчатского края на основе климато-океанологических и популяционно-генетических данных // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 2. — С. 477–508. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-477-508. EDN: KJUSG.
- Бугаев А.В., Фельдман М.Г., Тепнин О.Б., Коваль М.В.** Аномалии температуры поверхности воды в западной части Северной Пацифики — потенциальный климатический предиктор прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки // Вопр. рыб.-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 46–62. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62.
- Дашко Н.А., Варламов С.М.** Оценка изменений характеристик центров действия атмосферы Азиатско-Тихоокеанского региона в течение 20-го столетия и их влияние на циркуляцию над Японским морем // Тематический выпуск ДВНИГМИ № 3. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — С. 10–25.
- Доронин Ю.П.** Региональная океанология : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1986. — 304 с.
- Дубынин В.А.** Изменчивость биологических показателей и динамика численности нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) стада р. Озерной в современный период (1971–2020 гг.) // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2023. — Вып. 71. — С. 60–79. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.60-79.
- Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Ильин О.И.** К методике прогнозирования численности поколений нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной // Изв. ТИНРО. — 2007. — Т. 149. — С. 219–225.
- Дьяков Ю.П., Бугаев А.В.** О промысловой эксплуатации биологических ресурсов в водах Камчатского края // Вестн. КамчатГТУ. — 2023. — № 63. — С. 66–77. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-66-77.
- Дьяков Ю.П., Бугаев А.В.** Современное состояние и динамика биоресурсов Камчатки // Вопр. географии Камчатки. — 2022. — Вып. 17. — С. 26–37.
- ЗикунOVA О.В., Дубынин В.А., Заварина Л.О. и др.** Тенденции изменения численности, прогноз, управление запасами нерки (*Oncorhynchus nerka*) и кеты (*Oncorhynchus keta*) в Камчатском крае // Вопр. рыб.-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 75–85. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-75-85.

- Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В.** Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2013. — 303 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А.** Циклические изменения климата и рыбопродуктивности : моногр. — М. : ВНИРО, 2005. — 235 с.
- Справочные материалы по дрейтерному лову тихоокеанских лососей** / под ред. О.Ф. Гриценко. — М. : ВНИРО, 2010. — 196 с.
- Фельдман М.Г.** Использование метода Random Forest в целях прогнозирования подходов горбуши северо-востока Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2020. — Вып. 59. — С. 76–96. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.59.76-96.
- Фельдман М.Г., Бугаев А.В.** Современные принципы управления запасами горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Камчатского края (динамика численности, прогнозирование, регулирование промысла) // Вопр. рыб-ва. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 86–95. DOI: 10.36038/0234-2774.2021-22-4-86-95.
- Фельдман М.Г., Бугаев А.В., Тепнин О.Б.** Результаты использования климато-океанологических предикторов для модели случайного леса (Random Forest) в целях прогнозирования динамики численности подходов горбуши Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022а. — Вып. 65. — С. 42–51. DOI:10.15853/2072-8212.2022.65.42-51.
- Фельдман М.Г., Бугаев А.В., Зикунуова О.В. и др.** Обоснование правил регулирования лососевого промысла Камчатки с учетом концепции предосторожного подхода и обеспечения максимального устойчивого вылова // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022б. — Вып. 64. — С. 5–34. DOI:10.15853/2072-8212.2022.64.5-34.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А.** Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и внешних факторов среды // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 88–114. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Дубынин В.А.** Оценка величины, прогноз и управление запасами тихоокеанских лососей в Камчатском крае // Современное состояние и перспективы лососевого хозяйства на Дальнем Востоке России : мат-лы науч. конф. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2018. — С. 38–48.
- Шунтов В.П., Темных О.С.** Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — Т. 2. — 473 с.
- Akaike H.A.** New look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control. — 1974. — Vol. 19, № 6. — P. 716–723.
- Beamish R.J., Neville C.E., Cass A.J.** Production of Fraser River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1997. — Vol. 54, № 3. — P. 543–554. DOI: 10.1139/f96-310.
- Beverton R.J.H., Holt S.J.** On the dynamics of exploited fish populations. — L. : Chapman and Hall, 1957. — 533 p.
- Box G.E.P., Jenkins G.M.** Time Series Analysis: Forecasting and Control. — University of Minnesota : Holden-Day, 1970. — 553 p.
- Breiman L.** Random forests // Mach. Learn. — 2001. — Vol. 45, Iss. 1. — P. 5–32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.
- Dekking F.M., Kraaikamp C., Lopenhaa H.P., Meester L.E.** A Modern Introduction to Probability and Statistics. Understanding Why and How. — L. : Springer, 2005. — 483 p.
- Haeseker S.L., Peterman R.M., Su Z.** Retrospective Evaluation of Preseason Forecasting Models for Sockeye and Chum Salmon // North American Journal of Fisheries Management. — 2008. — Vol. 28, Iss. 1. — P. 12–29. DOI: 10.1577/M06-287.1.
- Huang B., Liu C., Banzon V. et al.** Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1 // J. Climate. — 2021. — Vol. 34, Iss. 8. — P. 2923–2939. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0166.1.
- Hyndman R.J., Koehler A.B., Snyder R.D., Grose S.** A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods // Intern. Journ. Forecasting. — 2002. — Vol. 18(3). — P. 439–454. DOI: 10.1016/S0169-2070(01)00110-8.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al.** The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — Vol. 77, № 3. — P. 437–472. DOI: 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TN YRP>2.0.CO;2.

Latif M. and Barnett T.P. Decadal climate variability over the North Pacific and North America: Dynamics and predictability // J. Climate. — 1996. — Vol. 9, Iss. 10. — P. 2407–2423. DOI: 10.1175/1520-0442(1996)009<2407:DCVOTN>2.0.CO;2.

Neter J., Wasserman W., Kutner M.H. Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs. 3rd ed. — Burr Ridge : Irwin, 1990. — 1181 p.

Peterman R.M. Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1982. — Vol. 39, № 11. — P. 1444–1452. DOI: 10.1139/f82-195.

Ricker W.E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations : Bull. Fish. Res. Bd Canada. — 1975. — Vol. 191. — 382 p.

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

Schwarz G. Estimating the dimension of a model // Annals of Statistics. — 1978. — Vol. 6(2). — P. 461–464. DOI: 10.1214/aos/1176344136.

Sugiura N. Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections // Communications in Statistics. Theory and Methods. — 1978. — Vol. 7, Iss. 1. — P. 13–26. DOI: 10.1080/03610927808827599.

Surry A.M. and King J.R. A new method for calculating ALPI: the Aleutian low pressure index : Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. — 2015. — № 3135. — 31 p.

The ocean ecology of Pacific salmon and trout / ed. R.J. Beamish. — Bethesda, Maryland, 2018. — 1147 p.

References

Atlas rasprostraneniya v more razlichnykh stad tikhookeanskikh lososey v period vesenne-letnego nagula i prednerestovykh migratsiy (Atlas of the distribution in the sea of various herds of Pacific salmon during the spring-summer feeding and pre-spawning migrations), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2002.

Babayany, V.K., Bobyrev, A.E., Bulgakova, T.I., Vasiliev, D.A., Ilyin, O.I., Kovalev, Yu.A., Mikhailov, A.I., Mikheev, A.A., Petukhova, N.G., Safaraliev, I.A., Chetyrkin, A.A., and Sheremetyev, A.D., *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke zapasov prioritetykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* (Guidelines for assessing stocks of priority types of aquatic biological resources), Moscow: VNIRO, 2018.

Baitaluk, A.A. and Zuenko, Yu.I., The Impact of Changes in Oceanological Processes on the Productivity of Aquatic Biological Resources in the Far Eastern Seas of Russia from the Position of Rational Nature Management and Ensuring Sustainable Development of the Fishing Industry, in *Tez. dokl. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem «Rossiya v desyatiletii OON nauk ob okeane»* (Abstracts of the Report of the All-Russian Scientific and Practical Conf. with International Participation “Russia in the UN Decade of Ocean Sciences”), Moscow, November 6–8, 2024, Moscow: RTU MIREA (in press).

Birman, I.B., *Morskoi period zhizni i voprosy dinamiki stada tikhookeanskikh lososei* (The Marine Life History and the Issues of Dynamics of the Pacific Salmon Stock), Moscow: Agropromizdat, 1985.

Bugaev, A.V., Evaluation of contributions of stock abundance and global temperature anomaly to mean body weight of pacific salmon in the North Pacific basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2017, vol. 191, pp. 3–33. doi 10.26428/1606-9919-2017-191-3-33

Bugaev, A.V., *Prednerestovye migratsii tikhookeanskikh lososei v ekonomicheskoi zone Rossii* (Pre-Spawn Migrations of Pacific Salmon in the Economic Zone of Russia), Petropavlovsk-Kamchat-sky: KamchatNIRO, 2015.

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

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

Bugayev, A.V., Lepskaya, Ye.V., Koval, M.V., Tepnin, O.B., Zikunova O.V., and Fel'dman, M.G., Review of the results of the salmon route-2020 in the Kamchatka Territory (message 2): analysis

of the reliability of forecasts and possible reasons for their discrepancy, in *Byull. 'N 15 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 15 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2020, pp. 141–170.

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

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

Bugaev, A.V., Fel'dman, M.G., Tepnin, O.B., and Koval, M.V., On the use of the data of the anomaly of the water surface temperature in the western part of the Northern Pacific as a potential climatic predictor for predicting the number of pacific salmon of Kamchatka, *Vopr. Rybolov.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 46–62. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62

Dashko, N.A. and Varlamov, S.M., Assessment of changes in the characteristics of the centers of action of the atmosphere of the Asian-Pacific region during the 20th century and their impact on the circulation over the Sea of Japan, in *Tematicheskii vypusk DVNIGMI N 3* (Thematic Issue of the Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute no. 3), Vladivostok: Dal'nauka, 2000, pp. 10–25.

Doronin, Yu.P., *Regional'naya okeanologiya* (Regional oceanology), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986.

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

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

Dyakov, Yu.P. and Bugaev, A.V., On commercial exploitation of biological resources in waters of Kamchatka Territory, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2023, no. 63, pp. 66–77. doi 10.17217/2079-0333-2023-63-66-77

Dyakov, Yu.P. and Bugaev, A.V., Current state and dynamics of bioresources of Kamchatka, *Vopr. geografii Kamchatki*, 2022, no. 17, pp. 26–37.

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

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

Klyashtorin, L.B. and Lyubushin, A.A., *Tsiklicheskiye izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* (Cyclic Changes in Climate and Fish Capacity), Moscow: VNIRO, 2005.

Spravochnye materialy po drifternomu lovu tikhookeanskikh lososei (Reference Materials on Driftnet Fishing of Pacific salmon), Gritsenko, O.F., ed., Moscow: VNIRO, 2010.

Feldman, M.G., Using the decisions of the Random Forest algorithm for the purposes of forecasting pink salmon runs on north-eastern Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2020, vol. 59, pp. 76–96. doi 10.15853/2072-8212.2020.59.76-96

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

Feldman, M.G., Bugaev, A.V., and Tepnin, O.B., Results of using climate-oceanological predictors in a Random Forest model for the forecast of stock abundance dynamics of pink salmon runs in Western Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 65, pp. 42–51. doi 10.15853/2072-8212.2022.65.42-51

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

- Feldman, M.G. and Shevlyakov, E.A.**, Survival of Kamchatka pink salmon as result of combined influence of density regulation and environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 88–114. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114
- Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Dubynin, V.A.**, Estimation of the size, forecast and management of Pacific salmon stocks in Kamchatka Krai, in *Mater. nauch. konf. "Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy lososevogo khozyaystva na Dal'nem Vostoke Rossii"* (Proc. Sci. Conf. "Current state and prospects of salmon farming in the Russian Far East"), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2018, pp. 38–48.
- Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S.**, *Tikhookeanskies lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, vol. 2.
- Akaike, H.A.**, New look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control.*, 1974, vol. 19, no. 6, pp. 716–723.
- Beamish, R.J., Neville, C.E., and Cass, A.J.**, Production of Fraser River sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in relation to decadal-scale changes in the climate and the ocean, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1997, vol. 54, no. 3, pp. 543–554. doi 10.1139/f96-310
- Beverton, R.J.H. and Holt, S.J.**, *On the dynamics of exploited fish populations*, London: Chapman and Hall, 1957.
- Box, G.E.P. and Jenkins, G.M.**, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, University of Minnesota: Holden-Day, 1970.
- Breiman, L.**, Random forests, *Mach. Learn.*, 2001, vol. 45, no. 1, pp. 5–32. doi 10.1023/A:1010933404324
- Dekking, F.M., Kraaikamp, C., Lopuhaä, H.P., and Meester, L.E.**, *A Modern Introduction to Probability and Statistics. Understanding Why and How*, London: Springer, 2005.
- Haeseker, S.L., Peterman, R.M., and Su, Z.**, Retrospective Evaluation of Preseason Forecasting Models for Sockeye and Chum Salmon, *North American Journal of Fisheries Management*, 2008, vol. 28, no. 1, pp. 12–29. doi 10.1577/M06-287.1
- Huang, B., Liu, C., and Banzon, V.**, Freeman, E., Graham, G., Hankins, B., Smith, T., and Zhang, H.-M., Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1, *J. Climate*, 2021, vol. 34, no. 8, pp. 2923–2939. doi 10.1175/JCLI-D-20-0166.1
- Hyndman, R.J., Koehler, A.B., Snyder, R.D., and Grose, S.**, A state space framework for automatic forecasting using exponential smoothing methods, *Intern. Journ. Forecasting*, 2002, vol. 18, no. 3, pp. 439–454. doi 10.1016/S0169-2070(01)00110-8
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, B., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D.**, The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, vol. 77, no. 3, pp. 437–472. doi 10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2
- Latif, M. and Barnett, T.P.**, Decadal climate variability over the North Pacific and North America: Dynamics and predictability, *J. Climate*, 1996, vol. 9, no. 10, pp. 2407–2423. doi 10.1175/1520-0442(1996)009<2407:DCVOTN>2.0.CO;2
- Neter, J., Wasserman, W., and Kutner, M.H.**, *Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs*, 3rd ed., Burr Ridge: Irwin, 1990.
- Peterman, R.M.**, Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, vol. 39, no. 11, pp. 1444–1452. doi 10.1139/f82-195
- Ricker, W.E.**, Computation and interpretation of biological statistics of fish populations, *Bull. Fish. Res. Bd Canada*, 1975, vol. 191.
- Ricker, W.E.**, Stock and recruitment, *J. Fish. Res. Bd Canada*, 1954, vol. 11, no. 5, pp. 559–623. doi 10.1139/f54-039
- Schwarz, G.**, Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics*, 1978, vol. 6, no. 2, pp. 461–464. doi 10.1214/aos/1176344136
- Sugiura, N.**, Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections, *Communications in Statistics. Theory and Methods*, 1978, vol. 7, no. 1, pp. 13–26. doi 10.1080/03610927808827599
- Surry, A.M. and King, J.R.**, A new method for calculating ALPI: the Aleutian Low pressure index, *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2015, no. 3135.
- The Ocean Ecology of Pacific Salmon and Trout*, Beamish R.J., ed., Bethesda, Md.: Am. Fish. Soc., 2018.
- <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list>. Cited September, 2024.

https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii. Cited September, 2024.

<https://psl.noaa.gov>. Cited September, 2024.

<http://nsidc.org>. Cited September, 2024.

<https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/wiki>. Cited September, 2024.

<https://odv.awi.de>. Cited September, 2024.

Prikaz Ministerstva rybnogo khozyaystva SSSR ot 09 Sentyabrya 1980 g. № 408 «O razgranichenii Mirovogo okeana na promyslovyye rayony v novykh usloviyakh promysla» (Order of the USSR Ministry of Fisheries dated September 9, 1980 No. 408 “On the delimitation of the World Ocean into fishing areas under new fishing conditions”).

Поступила в редакцию 29.10.2024 г.

После доработки 15.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 29.10.2024; approved after reviewing 15.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*