

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 597.552.511:551.463.6**DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-199-222****EDN: BZQPIL****ВЕКОВАЯ ДИНАМИКА ЗАПАСОВ И СРЕДНЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ
МАССЫ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ
ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ И ТРЕНДОВ****Е.А. Шевляков¹, В.И. Островский^{2*}**¹ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4;² Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. Выявлена сложная природа изменения термических характеристик окружающей тихоокеанских лососей среды, включающая прямолинейный положительный тренд и периодические изменения, охватывающие 80-летний цикл. Отмечена положительная связь динамики вылова горбуши, кеты и нерки и общего вектора изменений температурного фона. Ожидается, что период полного цикла в динамике численности горбуши, кеты, нерки, кижуча и чавычи также может составлять около 80 лет, при этом цикл горбуши, кеты и нерки синхронизирован с экстремумами температурных показателей. Динамика уловов чавычи осуществляется в противофазе таковой у горбуши, кеты и нерки. Экстремумы по численности кижуча смещены с лагом 20–25 лет вперед от экстремумов для горбуши, кеты и нерки и на ~15 лет опережают экстремумы для чавычи. Ожидается, что максимум средних уловов массовых видов тихоокеанских лососей (горбуши, кеты и нерки) в настоящем цикле к началу 2020-х гг. уже пройден, а сокращение средних уловов российских тихоокеанских лососей может продлиться вплоть до 2050-х гг., будет выше предыдущего минимума и достигнет уровня среднепоголетних уловов ~250 тыс. т. За подтвержденный ихтиологическими исследованиями 70–100-летний период потепления чавыча «потеряла» до 60 % индивидуальной средней массы особей, кета, нерка, кижуч — до 25–30 %. Средняя масса горбуши зависит не от изменения температуры среды, а только от обилия совместно нагуливающих особей, особенно в годы формирования экстравысокочисленных поколений.

Ключевые слова: горбуша, кета, нерка, кижуч, чавыча, вылов, глобальная температурная аномалия, запасы тихоокеанских лососей

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

* Шевляков Евгений Александрович, кандидат биологических наук, начальник отдела, evgenii.shevliakov@vniro.tinro.ru, ORCID 0000-0002-8556-6737; Островский Владимир Иванович, кандидат биологических наук, заведующий отделом, ostrovskiy@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2576-4413.

Centennial dynamics of stocks and average individual weight for pacific salmon in the Russian Far East through the prism of climate cycles and trends

Evgeny A. Shevlyakov*, Vladimir I. Ostrovsky**

* Pacific branch of VNIRO (TINRO),

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

** Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),

13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

* Ph.D., head of department, evgeniy.shevlyakov@vniro.tinro.ru, ORCID 0000-0002-8556-6737

** Ph.D., head of department, ostrovskiy@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2576-4413

Abstract. Complex nature of long-term dynamics is revealed for thermal parameters of the pacific salmon habitat that includes a trend to warming and cyclic changes. Changes in annual landing of pink, chum and sockeye salmon have generally positive relationship to variations of the temperature background. Period of a full cycle in the dynamics of pink, chum, sockeye, coho, and chinook salmon abundance is about 80 years, with the cycles for pink, chum and sockeye salmon synchronous to those of temperature, the cycles for chinook salmon counter-phase them, and the variations in coho salmon abundance ahead those for pink, chum and sockeye salmon in 20–25 years and ahead those for chinook salmon in ~15 years. In the current cycle, the highest catches of mass species, as pink, chum and sockeye salmon, have been supposedly passed in the early 2020s, so the total annual catch of pacific salmon in Russia is expected to decline to the minimum in 2050s that would be higher than the previous minimum and provide a level of $\sim 250 \cdot 10^3$ t. The individual weight of pacific salmon has a tendency to decrease in the modern times of warming climate. The loss of weight in the last 70–100 years is estimated in 60 % for chinook salmon and 30–35 % for chum, sockeye and coho salmon. Dynamics of the average individual weight for pink salmon is not determined by changes in environments, but depends on abundance of feeding individuals, especially for super-strong year-classes.

Keywords: pink salmon, chum salmon, sockeye salmon, coho salmon, chinook salmon, annual catch, global temperature anomaly, pacific salmon stock

For citation: Shevlyakov E.A., Ostrovsky V.I. Centennial dynamics of stocks and average individual weight for pacific salmon in the Russian Far East through the prism of climate cycles and trends, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 2, pp. 199–222. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-199-222. EDN: BZQPIL.

Введение

Начало последнего глобального периода потепления климата историки-климатологи ведут с окончания третьего и завершающего четвертичного оледенения, вюрмского (по классификации западноевропейских ученых), или валдайского, т.е. истории вопроса потепления климата, продолжающегося от последнего минимума до нашего времени, примерно 9 тыс. лет. В европейской литературе 1960–1970-х гг. [Flint et Brandtner, 1961, по: Ле Руа Ладюри, 1971] разницу средних температур между окончанием вюрма и на тот период современностью оценивали ориентировочно в 5 °C. С этих пор средняя температура по планете прибавила в значениях еще порядка 1,5 °C. В промежутке между этими историческими событиями глобального характера, сменяя друг друга, следовали промежуточные периоды потепления и охлаждения земного шара. На исторически описанном отрезке времени двух последних тысячелетий можно отметить похолодание I века до н.э. — I века н.э. (пессимум Овидия), так называемый Римский, или Античный, оптимум (потепление II–III вв. н.э.), холодную эпоху Великого переселения народов (V–VI вв.), средневековый климатический оптимум (X–XII вв.), Малые ледниковые периоды XII–XIII и XVII–XIX вв. и, наконец, современное потепление XX в. [Клименко и др., 2013; Литвиненко, Литвиненко, 2020; Сидоренков, Сидоренков, 2021]. Наиболее хронологически точно описан ближайший малый ледниковый период 1590–1850 гг., просуществовавший практически в течение 3 веков и в деталях воспроизведенный по сохранившимся в летописях датировкам движения ледников, сроков сбора урожая

сельскохозяйственных культур, состава моренных отложений ледника Фернау в подледниковом торфяном болоте Бунте Моор Э. Ле Руа Ладюри [1971]. Этот документально подтвержденный период последнего оледенения (1590–1850 гг.) называется «цикл или колебание Фернау» в честь географического названия и в дальнейшем был использован многими историками климата как отправная точка в развитии их теорий. Так, по мнению некоторых авторов, колебания Фернау имеют аналогичную цикличность с тетрадными лунными затмениями [Литвиненко, Литвиненко, 2020]. Наблюдения за лунными затмениями в XIX в. показали, что существуют периоды, когда в течение приблизительно 300 лет последовательно друг за другом происходят 4 полных затмения (тетрады), после чего в следующие 300 лет затмения отсутствуют полностью [Espenak, Meeus, 2009]. Эти события, как имеющие на протяжении периода, близкого к 300 годам, положительный или отрицательный вектор температуры, могут быть достаточно хорошо вписаны в 580-летний цикл годовой частоты затмений Луны и Солнца, выступающих как геофизические индикаторы изменения в системе взаимной конфигурации Солнца, Земли и Луны. Они, в свою очередь, определяют положение суммарного вектора сил тяготения Солнца и Луны, от которых зависят величина и направление гравитационных приливных сил, воздействующих на климатическую систему Земли. Изменение гравитации сопровождается при этом побочными эффектами в виде усиления и ослабления вулканической активности, интенсивности течений, теплообмена атмосферы с океанами и др. [Литвиненко, Литвиненко, 2020; Сидоренков, Сидоренков, 2021]. Эти циклы подтверждаются на протяжении последних 5 тыс. лет по геологическим отложениям, изотопным, дендрологическим и летописным материалам и хорошо соотносятся с периодом документальной истории [Клименко и др., 2013; Литвиненко, Литвиненко, 2020; Сидоренков, Сидоренков, 2021; <https://iz.ru/1845926/andrei-korshunov/hvojnaya-traktovka-sosna-raskryla-tainy-zolotoi-epokhi-kitaia>]. По мнению Н.С. и П.Н. Сидоренковых [2021], потепление, подобное современному, многократно повторялось в истории Земли и обусловлено отнюдь не антропогенными, а орбитально-космическими факторами. При этом в настоящее время планета находится в самой теплой фазе 580-летнего цикла, начавшегося в 1860 г., и к 2160 г. климат должен возвратиться к своей «норме», после чего в течение следующих 140 лет начнется холодная эпоха.

Накопленные в процессе рыболовства временные ряды уловов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России не позволяют проводить какие-то исторические аналогии таким масштабным событиям, как смена периодов оледенений и потеплений, даже в пределах одной повторности.

Тем не менее понимание механизмов смены климатических эпох и нашего положения на кривой климатических циклов дают возможность расширить горизонты восприятия сути событий в попытке вписать практический результат исследований на дискретном историческом отрезке в общий круговорот явлений.

В контексте данной работы практической ее целью является описание динамики численности тихоокеанских лососей посредством использования статистики их вылова как периодического и циклического явления, имеющего свои закономерности и непосредственную связь с изменением термических характеристик среды, являющихся, в свою очередь, следствием климатических событий, вызванных явлениями планетарного масштаба.

Материалы и методы

В качестве исходных статистических рядов по промыслу тихоокеанских лососей российского происхождения послужили материалы базы данных международной комиссии по анадромным рыбам Северной Пацифики (NPAFC — North Pacific Anadromous Fish Commission, <http://www.npafc.org>), материалы официальной отчетности предприятий, обобщенных территориальными управлениями Росрыболовства, а также опубликованные данные* с небольшими модификациями.

* Уловы тихоокеанских лососей 1900–1986 гг. М.: ВНИРО, 1989. 213 с.

Из всего перечня метеорологических, океанологических и планетарно-космических и иных индексов, используемых для анализа состояния запасов гидробионтов, в том числе и тихоокеанских лососей, в работе использовали индекс глобальной температурной аномалии (Global Temperature Anomalies), рассчитанный по методикам Института космических исследований имени Годдарда (Goddard Institute for Space Studies (GISS), <https://data.giss.nasa.gov/gistemp>) и осредненный по периоду 1981–2010 гг. Данный индекс выбран визуально на основе сходной с выловом тихоокеанских лососей топологии и исключительной важности колебаний и долгопериодного хода температуры для функционирования и динамики развития природных популяций. Он не является прямым расчетным значением от фактических наблюдений и характеризует изменчивость глобальной температуры Земли в системе «атмосфера–океан–суша». Данный показатель свидетельствует об устойчивом росте температуры поверхности земного шара в последнее столетие [Бугаев, Тепнин, 2024; рис. 1]. При этом доступны показатели для Северного (N.HEMI + dSST) и Южного (S.HEMI + dSST) полушарий Земли, а также для отдельных широтных поясов планеты (ZonAnn.Ts + dSST). Для наших исследований наиболее приемлем показатель температурной аномалии в широтном поясе от 44 до 64° с.ш., охватывающем в Тихом океане все нерестовые площади и нагульные акватории. Важно подчеркнуть, что наличие связи данного индекса с динамикой численности тихоокеанских лососей отмечалось и ранее рядом авторов [Кляшторин, Любушин, 2005; Котенев и др., 2015; Бугаев и др., 2018, 2021; и др.], применявших его в статистическом анализе как самостоятельный предиктор, так и в комплексе с другими, однако всегда в режиме поиска дискретного отклика. Между тем индекс глобальной температурной аномалии далеко не всегда соответствует точкам на кривой уловов, тогда как намного лучше — скользящим средним.

При проведении анализа зависимости изменения средней массы тела пяти видов тихоокеанских лососей (горбуши, кеты, нерки, кижуча, чавычи) от температурного фактора были привлечены данные по производителям следующих рек: по чавыче — Камчатка (с 1940 г.), Большая (с 1966 г.); кижучу — Камчатка (с 1947 г.), Большая (с 1949 г.); нерке — Камчатка (с 1956 г.), Хайлюля (с 1979 г.), Большая (с 1963 г.), Озерная (с 1945 г.); кете — Анадырь (с 1969 г.), Камчатка (с 1927 г.), Большая (с 1940 г.); горбуше — Большая (с 1935 г.) и Хайлюля (с 1967 г.). Показатели средних индивидуальных навесок в год возврата сопоставлялись с данными температурной аномалии в широтном поясе 44–64° с.ш. с лагом в один год назад, подразумевая, что физиологическая готовность производителей к нересту обусловлена соматическим и генеративным ростом особей в год, предшествующий году начала преднерестовой миграции. Используемые в работе массивы по биологическим характеристикам рыб имели временные пробелы, иногда значительные, поэтому приводим параметры объединенных выборок по рекам: по чавыче N = 121 пара сравнений; кижучу N = 131; нерке N = 201; кете N = 215; горбуше N = 107 пар сравнений. При этом, учитывая уникальные популяционно-эпигенетические характеристики разных стад, кроме абсолютных значений, рассчитывались также относительные отклонения индивидуальной массы рыб с учетом средних навесок, характерных для каждой группировки.

Кроме этого, при анализе причин изменения средней массы тела горбуши в конкретном году (в относительных величинах) ее вылов в абсолютных величинах в этом году, исходя из соображений связи средней массы особей и плотностного эффекта, общего для охотоморских стад, приводился к максимально наблюдаемому улову для моря происхождения группировки. Таким образом, относительное обилие горбуши охотоморских стад рассчитывалось в долях от ее максимального улова в 2018 г. — 507 тыс. т, беринговоморских стад в 2019 г. — 230 тыс. т.

Для всех случаев температурные показатели к показателям массы тела лососей приводились с лагом один год вперед, т.е. к году, предшествующему году возврата производителей к районам происхождения.

Результаты и их обсуждение

Климатические факторы (цикл и тренд) и запасы тихоокеанских лососей

В данном исследовании мы сознательно не хотели обсуждать большой блок публикаций, посвященных поиску связей и предложений различных сценариев динамики запасов российских лососей на кратко- и долгосрочную перспективу посредством широкого использования метеорологических, океанологических, комплексных и иного рода индексов [Кляшторин, 2000; Котенев и др., 2010, 2015; Бугаев и др., 2018, 2021; Кровнин, 2019; и мн. др.]. В разные периоды авторами предлагались различные, часто взаимоисключающие, сценарии развития ситуации, а сам подход показывал неплохие результаты на ретроспективных массивах данных и редко — на перспективу событий. Прогностическая ценность таких прогнозов вызывает большие сомнения даже на кратковременный горизонт планирования. Отчасти оттого, что многофакторность атмосферных взаимодействий порождает неопределенность причинно-следственного характера, между тем воздействие окружающего мира на живой организм всегда конкретно. Хотя некоторые значимые в динамике запаса события, происходившие в прошлом, не были объяснены причинами биотического характера, ретроспективно достаточно убедительно могут быть объяснены климатологами. Речь, в частности, идет о кратном снижении численности возвратов и уловов горбуши в 2013 г. восточнокамчатской группировки, а в смежный 2014 г. уже на другом побережье — западнокамчатской горбуши, в обоих случаях в доминирующих линиях воспроизводства на пике уловов [Котенев и др., 2015]. В других случаях выявленные, казалось бы, объективные закономерности [Кляшторин, Любушин, 2005] не соответствуют фактически наблюдаемым в природе колебаниям численности рыб.

Исторический период наблюдений за промыслом тихоокеанских лососей в западной части Северной Пацифики охватывает начало прошлого века и базируется преимущественно на стадах Берингова и Охотского морей российского происхождения (рис. 1). Разные вехи в формировании морских границ государств определяли возможность и степень морского перехвата лососей на транзитных путях миграций до установления существующего в настоящее время порядка, однако имеющаяся промысловая статистика позволяет скомпилировать ряды данных вылова тихоокеанских лососей по принципу страны происхождения, в данном случае — российского происхождения. Промысел транзитных лососей в северных Курильских проливах и японскими дрейфтерными судами в Тихом океане, Охотском и Беринговом морях в отдельные годы достигал значительных величин (рис. 1), однако с уверенностью можно отметить, что в силу экономических [Бугаев, 2017; Бугаев, Тепнин, 2024], а отчасти и политических причин японский морской вылов базировался практически исключительно на российских стадах, что с небольшими дополнениями позволяет использовать имеющиеся временные ряды для исследований динамики вылова и обилия лососей на историческую ретроспективу. Дополнения касаются периода 1945–1952 гг., когда японский дрейфтерный лов в силу поражения Японии во Второй мировой войне прекращался либо существенно сокращалась его интенсивность. Поскольку основное допущение использования промысловых данных в анализе содержит тезис о тождественности уловов и состояния запасов лососей, с целью исторической реконструкции состояния запасов уловы лососей «восстановили» на основе среднего соотношения пропорций японских и российских уловов до 1945 и после 1952 гг. Данное «вмешательство» в исторические ряды уловов не противоречит логике развития исторических событий и вехам индустриального развития. Во-первых, рыбу, которую японские рыбаки по объективным причинам не могли ловить в военный и послевоенный периоды, не смогла бы освоить в полной мере и советская промышленность в силу своей неразвитости и неготовности, когда само отечественное рыболовство осуществлялось по остаточному (после японского морского лова)

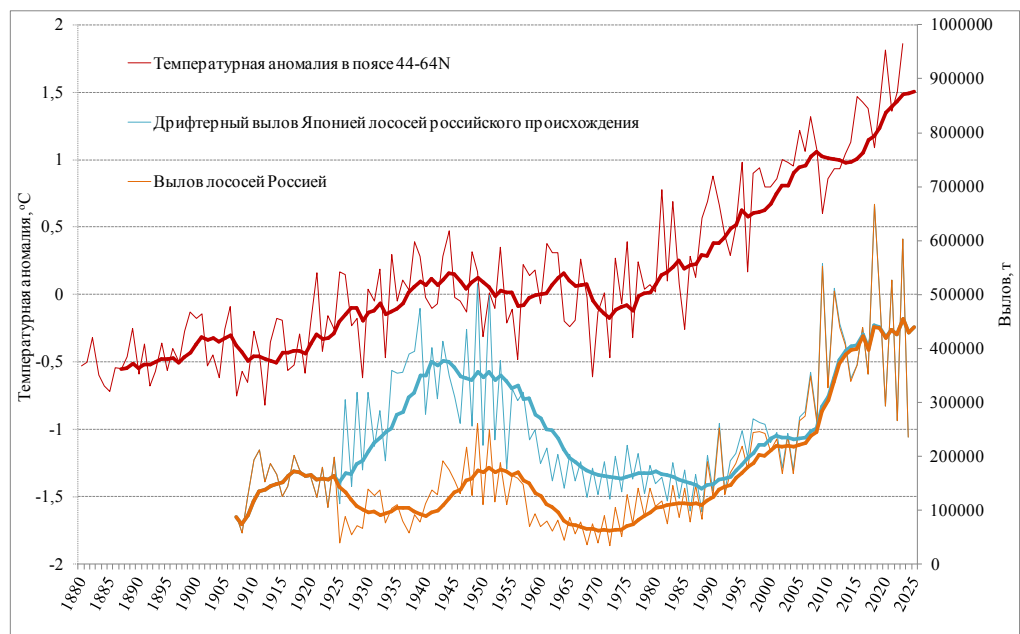


Рис. 1. Динамика берегового и общего вылова тихоокеанских лососей российского происхождения в XX–XXI вв. на фоне развития температурной аномалии

Fig. 1. Dynamics of coastal and total annual catch of pacific salmon of Russian origin in the 20–21st centuries on the background of air temperature anomaly

принципу. И, во-вторых, о том, что несостоявшиеся в этот период уловы лососей реализовались в пропуск производителей на нерест, косвенно свидетельствует рост уловов в последующий период времени.

Структуру запасов российских тихоокеанских лососей характеризует абсолютное преобладание горбуши в уловах: в среднем более чем за столетие (118 лет) ее доля составила 57,9 %, доля кеты — 29,6, нерки — 9,1, кижуча — 2,7, чавычи — 0,6 % (рис. 2).

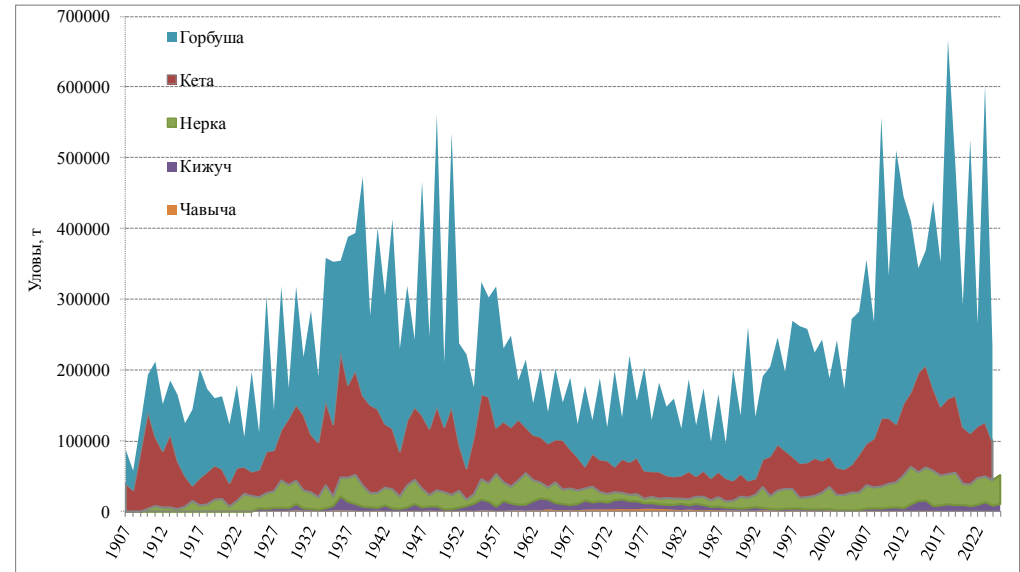


Рис. 2. Вклад отдельных видов тихоокеанских лососей российского происхождения в общий вылов лососей азиатских стад в период 1907–2024 гг.

Fig. 2. Contribution of pacific salmon species of the Russian origin, by species, to the total landing of salmon of Asian stocks in in 1907–2024

Очевидно, что два из представленных на рис. 1 временных рядов — температурной аномалии и общего вылова российских лососей — имеют общее сходство, в определенной степени синхронизированы и имеют общий тренд на увеличение показателей от начала ряда к современному периоду. Вычленение более чем 100-летних трендов позволяет получить «масштабированные» периодические колебания одного и другого показателей (рис. 3 и 4), а также предположить, что параметры ряда климатических изменений неоднородны во времени и представляют собой комплексное следствие двух климатических процессов — близкий к вековому стационарный либо квазистационарный цикл (точнее определить на имеющихся рядах невозможно) и восходящий тренд увеличения температуры, вероятно, вызванный парниковыми эффектами и разогревом атмосферы (рис. 3).

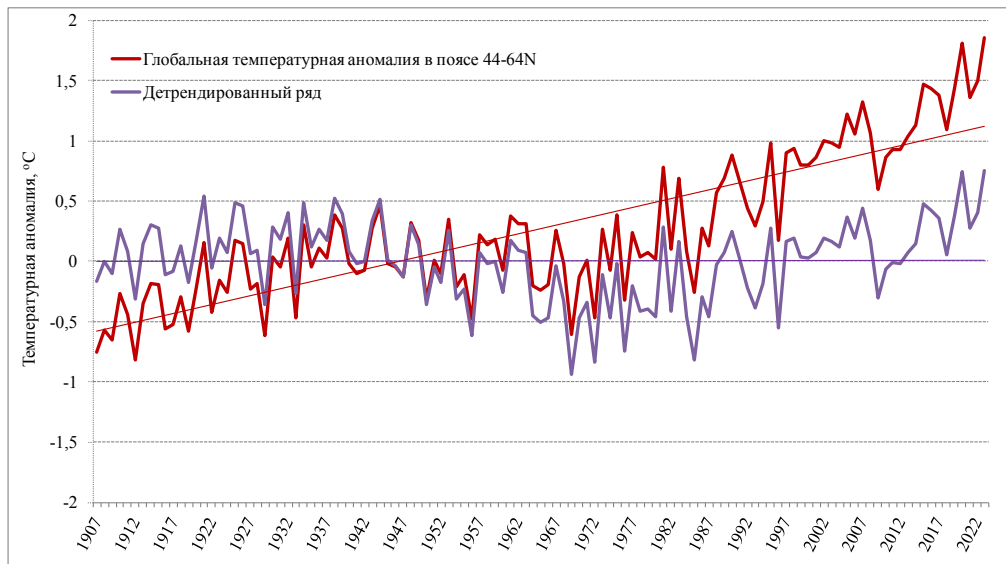


Рис. 3. Вычленение тренда и получение детрендрованного ряда развития глобальной температурной аномалии в поясе 44–64° с.ш.

Fig. 3. Trend and detrended series of the global air temperature anomaly for the zone of 44–64°N

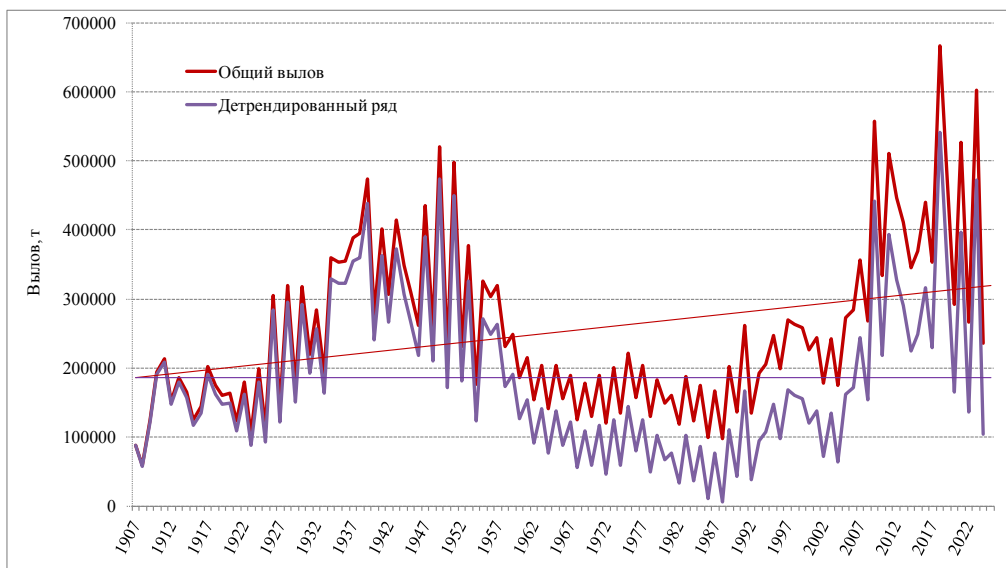


Рис. 4. Вычленение тренда и получение детрендрованного ряда кривой уловов российских лососей

Fig. 4. Trend and detrended series of the annual catch of pacific salmon in Russia

Естественно полагать, что механизмы, определяющие ход глобальной температуры, через ее изменение оказывают воздействие и на окружающую биоту (рис. 4).

Детрендрованные ряды могут быть описаны математически (рис. 5), динамика зависимых переменных в исследуемом временном интервале имеет вид периодической функции:

$$Y = a + b \cdot \sin(c \cdot YY + d),$$

где Y — зависимая переменная; YY — порядковый номер года. Строчными буквами обозначены коэффициенты, значения которых, как и результаты дисперсионного анализа уравнения, приведены в таблице ниже.

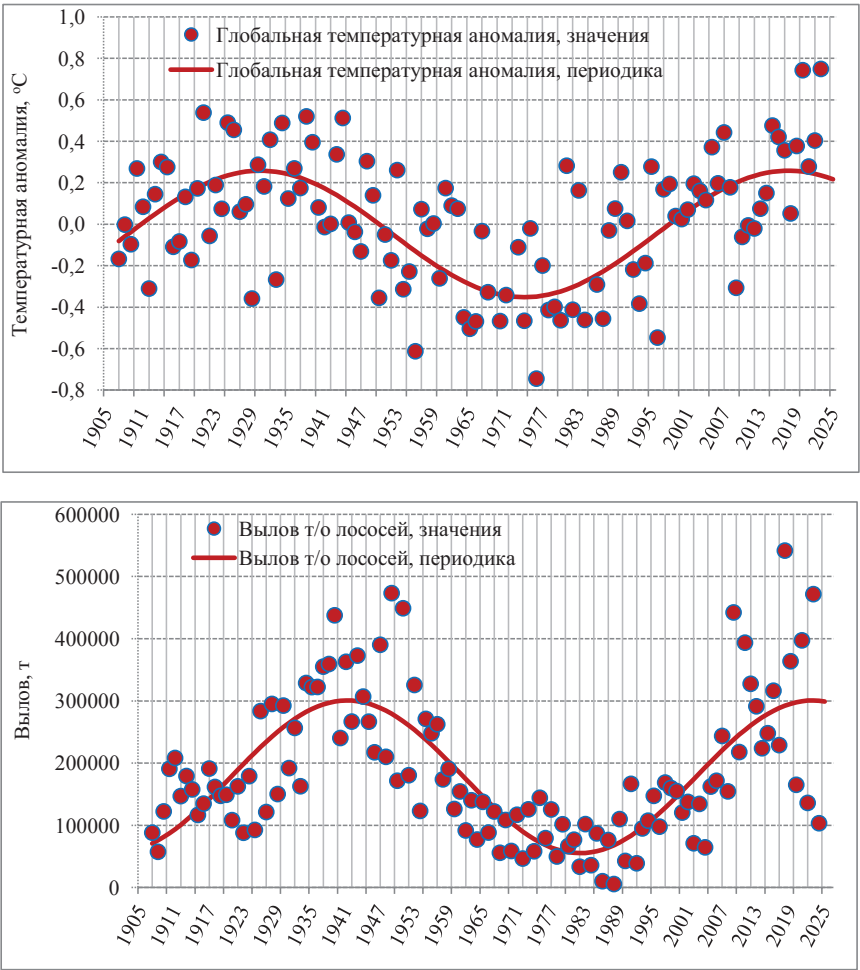


Рис. 5. Кривые периодических функций в пространстве фактических переменных температурных аномалий (вверху) и вылова тихоокеанских лососей российского происхождения (внизу)

Fig. 5. Approximations by periodic functions for year-to-year changes of the air temperature anomaly (upper panel) and catch of pacific salmon of Russian origin (lower panel)

Сопоставление расчетных кривых детрендрованных рядов позволяет визуально оценить периоды циклов и их сопряженность (рис. 6). Согласно полученным зависимостям период цикла температурных аномалий составляет около 88 лет, колебания запасов лососей — 82 года, с небольшим запаздыванием вторых по отношению к первым. Вряд ли имеет смысл считать эти цифры окончательными, увеличение ряда хотя бы на один цикл позволило бы существенно уточнить периодику событий. При этом есть ожидания, что процессы, скорее всего, имеют единый или близкий к нему стационарный или квазистационарный периодический цикл длиной около 80 лет.

Значения коэффициентов и результаты анализа моделей
Empiric coefficients and parameters for the models

Коэффициент	Среднее	Ст. ошибка	Т-критерий
Динамика глобальной температурной аномалии			
<i>a</i>	–0,047	0,025	–1,852
<i>b</i>	–0,305	0,034	–8,877
<i>c</i>	0,072	0,003	20,718
<i>d</i>	15,524	0,218	71,095
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	12,846 : 116		
D _r : k _r	7,548 : 113		
R ² _c	0,412		
F	26,392		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	0,260		
Динамика вылова тихоокеанских лососей			
<i>a</i>	178007,211	7435,799	23,939
<i>b</i>	–122733,029	10328,420	–11,883
<i>c</i>	0,077	0,002	31,998
<i>d</i>	14,567	0,159	91,819
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	1,53E + 12 : 117		
D _r : k _r	6,76E + 11 : 114		
R ² _c	0,559		
F	48,168		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	77347,4		
Динамика вылова горбуши			
<i>a</i>	119330,313	7065,582	16,889
<i>b</i>	–76794,178	9809,834	–7,828
<i>c</i>	0,076	0,004	20,964
<i>d</i>	14,794	0,234	63,120
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	9,42E + 11 : 117		
D _r : k _r	6,11E + 11 : 114		
R ² _c	0,352		
F	20,642		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	73504,9		
Динамика вылова кеты			
<i>a</i>	62362,535	2319,804	26,883
<i>b</i>	–33145,438	3181,694	–10,418
<i>c</i>	0,080	0,003	27,338
<i>d</i>	14,246	0,196	72,798
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	1,31E + 11 : 117		
D _r : k _r	6,59E + 10 : 114		
R ² _c	0,496		
F	37,397		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	24145,5		

Коэффициент	Среднее	Ст. ошибка	Т-критерий
Динамика вылова нерки			
<i>a</i>	16645,323	691,296	24,078
<i>b</i>	−11541,844	964,753	−11,964
<i>c</i>	0,078	0,002	32,310
<i>d</i>	14,531	0,158	91,736
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	1,28E + 10 : 114		
D _t : k _t	5,55E + 9 : 111		
R ² _c	0,567		
F	48,450		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	7102,8		
Динамика вылова чавычи			
<i>a</i>	1709,886	54,672	31,276
<i>b</i>	1179,135	75,357	15,647
<i>c</i>	0,087	0,002	36,255
<i>d</i>	14,324	0,174	82,553
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	9,40E + 07 : 99		
D _t : k _t	2,57E + 07 : 96		
R ² _c	0,727		
F	85,216		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	520,1		
Динамика вылова кижуча			
<i>a</i>	7465,037	323,509	23,075
<i>b</i>	−3702,38	443,951	−8,34
<i>c</i>	0,096	0,004	22,695
<i>d</i>	11,649	0,331	35,213
Дисперсионный анализ уравнения			
D _c : k _c	1,58E + 09 : 99		
D _t : k _t	9,13E + 08 : 96		
R ² _c	0,422		
F	23,363		
<i>p</i>	< 0,001		
s.e.	3099,7		

Примечание. Статистические критерии: D_p , D_c — соответствующие индексам остаточная и общая скорректированная сумма квадратов остатков; k_p , k_c — соответствующие индексам числа степеней свободы; R^2_c — скорректированный коэффициент детерминации; F — критерий Фишера; *p* — уровень значимости; s.e. — стандартная ошибка.

Возвращение модельным рядам положительного тренда температурной аномалии позволяет оценить перспективы среднего вылова российских лососей в ближайшем 40-летнем периоде как довольно пессимистические с точки зрения их последующего снижения на фоне экстремально высоких уловов последнего периода (рис. 7). Однако наличие положительного тренда температурной аномалии позволяет рассчитывать на более высокий уровень средних уловов по сравнению с аналогичным в цикле периодом депрессии запасов в 1945–1985 гг. При сохранении положительного эффекта увеличения величины уловов (удельно к состоянию запаса) от повышения температуры разница между периодами может достигать 100–150 тыс. т в пользу предстоящего.

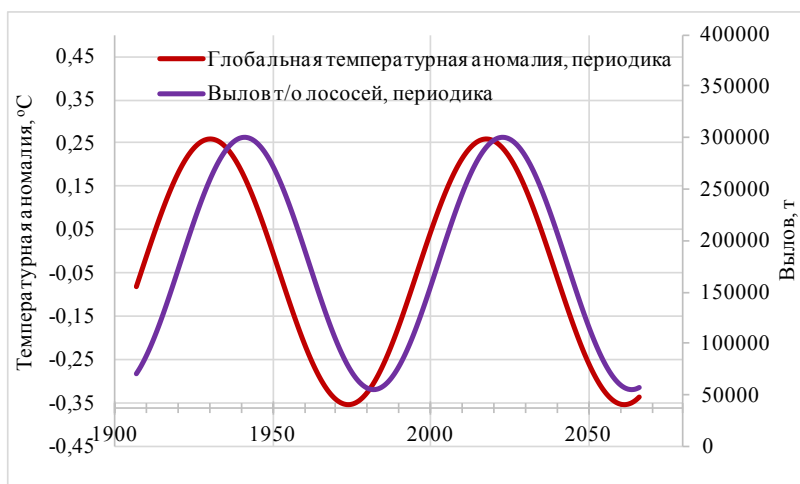


Рис. 6. Модельные кривые развития температурной аномалии и динамики вылова тихоокеанских лососей российского происхождения

Fig. 6. Modeled dynamics of the air temperature anomaly and annual catch of pacific salmon of Russian origin

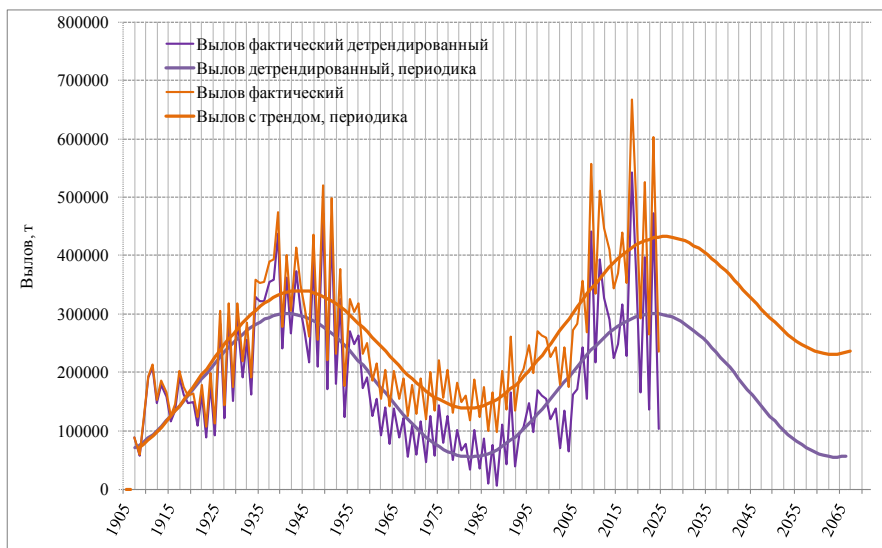


Рис. 7. Моделирование снижения вылова тихоокеанских лососей российского происхождения в ближайшем цикле с учетом положительного тренда температурной аномалии

Fig. 7. Modeled decline for annual catch of pacific salmon of Russian origin in the current long-term cycle (a positive trend of air temperature is included)

Анализ детрендрованной динамики уловов пяти видов тихоокеанских лососей российского происхождения — горбуши, кеты, нерки, кижуча и чавычи, формирующих в настоящее время российский вылов, — показал сходную динамику для горбуши, кеты и нерки (рис. 8–10). Отметим при этом, что только у кеты прямолинейный тренд имел отрицательную направленность от начала наблюдений к настоящему периоду, из чего можно предположить, что рост температурных показателей в современный период не является для этого вида благоприятным. В свою очередь тенденция может быть связана с относительно южной локализацией основных мест воспроизводства кеты и более адресным приложением давления климата на ее запасы по сравнению с другими массовыми видами. Динамика уловов чавычи и кижуча осуществлялась в противофазе к первой группе видов (рис. 11, 12). Значения коэффициентов и результаты анализа моделей приведены в таблице.



Рис. 8. Кривая периодической функции в пространстве фактических переменных вылова горбуши российского происхождения

Fig. 8. Approximation by periodic function for year-to-year changes of annual catch of pink salmon of Russian origin



Рис. 9. Кривая периодической функции в пространстве фактических переменных вылова кеты российского происхождения

Fig. 9. Approximation by periodic function for year-to-year changes of annual catch of chum salmon of Russian origin

Расчетный период цикла средних уловов для горбуши, кеты и нерки составлял соответственно 80, 78 и 81 год. Первый пик уловов в этой же последовательности видов приходился на 1939, 1944 и 1941 гг., минимум — на 1980, 1984 и 1982 гг., второй пик уловов — 2019, 2022 и 2022 гг. (см. рис. 8–10). Наличие двух максимумов и одного минимума функции, подтвержденных фактическими данными, и отсутствие зафиксированного второго минимума, безусловно, вносят некоторую неопределенность в точность определения длины цикла. Однако незначительное смещение по времени относительно друг друга для горбуши, кеты и нерки и практически полное совпадение их экстремумов указывают на общую для этих видов длину периода порядка 80 лет.

Уже отмечалось, что динамика уловов (и запаса) чавычи и кижуча осуществляется в противофазе к первой группе тихоокеанских лососей, причем диаметрально ей противоположно, наиболее ярко противофазность проявляется в отношении чавычи. Такая особенность в динамике численности нерки и чавычи р. Камчатка наблюдалась



Рис. 10. Кривая периодической функции в пространстве фактических переменных вылова нерки российского происхождения

Fig. 10. Approximation by periodic function for year-to-year changes of annual catch of sockeye salmon of Russian origin



Рис. 11. Кривая периодической функции в пространстве фактических переменных вылова чавычи российского происхождения

Fig. 11. Approximation by periodic function for year-to-year changes of annual catch of chinook salmon of Russian origin

ранее и другими исследователями [Бугаев и др., 2007], в качестве возможных причин обсуждалось наличие конкурентных отношений за пищевые ресурсы между молодью двух видов в ранний пресноводный период (В.Ф. Бугаев, личное сообщение). Если учесть, что в р. Камчатка воспроизводится крупнейшее в Азии стадо чавычи и второе по численности стадо нерки, численность которых обеспечивает их суммарные уловы в северо-западной части Тихого океана на 70 % для чавычи и до 30–40 % для нерки, то следует согласиться со значимостью совместного периода пресноводного нагула для динамики численности этих видов. Тем более что в морской период их пищевые ниши существенно расходятся. Динамика уловов чавычи имеет сходство с динамикой уловов кижуча, однако отсутствие выраженных пар экстремумов не позволяет выявить фактическую протяженность периодов. «Шум» также вносят и исторические этапы в развитии промысла, характеризующиеся разным качеством промысловой статистики. Очевидно, что качество промысловой статистики со второй половины 1950-х гг. значительно улучшилось. Из фактического положения точек и соответствия



Рис. 12. Кривая периодической функции в пространстве фактических переменных вылова кижуча российского происхождения

Fig. 12. Approximation by periodic function for year-to-year changes of annual catch of coho salmon of Russian origin

им расчетных кривых можно сделать вывод, что максимумы уловов нерки в обоих случаях соответствовали минимумам уловов чавычи, а максимум уловов чавычи соответствовал единственному минимуму уловов нерки. Это позволяет сделать вывод о соответствии продолжительности полного периода чавычи таковому для нерки, составляющему около 80 лет.

Распределение уловов кижуча в левой части графика также вносит неопределенность в оценку длины периода в его цикличности, но положение первого экстремума по максимуму, приходящееся на середину 1960-х гг., очевидно, следует признать объективным. Второй экстремум по минимуму уловов согласно расчетной кривой приходился на 1997 г., фактический ряд свидетельствует о том, что период снижения уловов продолжался вплоть до 2012 г. (рис. 12). Средняя арифметическая продолжительности этих двух периодов дает около 40 (39,5) лет, что также указывает на продолжительность полного цикла урожайности поколений кижуча в 80 лет.

Сравнение экстремумов по максимумам и вторым минимумам уловов чавычи и кижуча показывает, что если динамика уловов чавычи осуществляется в полной противофазе динамике горбуши, кеты и нерки, то у кижуча экстремумы по численности смещены на 20–25 лет вперед от экстремумов того же знака для горбуши, кеты и нерки и на ~15 лет опережают таковые для чавычи. Вряд ли имеет смысл задаваться вопросом промежуточного положения динамики запаса кижуча между динамикой запасов массовых видов и чавычи, но, на наш взгляд, представляет определенный интерес закономерность роста запасов кижуча на фоне увеличения возвратов массовых видов, прежде всего горбуши. Таким образом, запас кижуча обнаруживает тенденцию к росту примерно на половине восходящего цикла горбуши и кеты, воспроизводящихся в реках и обеспечивающих к этому периоду значительное увеличение поступления морского органического вещества в нерестовые реки в своих телах.

В целом ожидается, что максимум средних уловов массовых видов тихоокеанских лососей (горбуши, кеты и нерки) в настоящем цикле к началу 2020-х гг. уже пройден (рис. 13). Исключение составляют кижуч, пик уловов которого можно ожидать к 2030 г., и чавыча, максимум уловов — к 2050 г. (рис. 14). Ниспадающая ветвь средних уловов российских тихоокеанских лососей продлится вплоть до 2050-х гг. и уровня среднесноголетних уловов около 250 тыс. т.

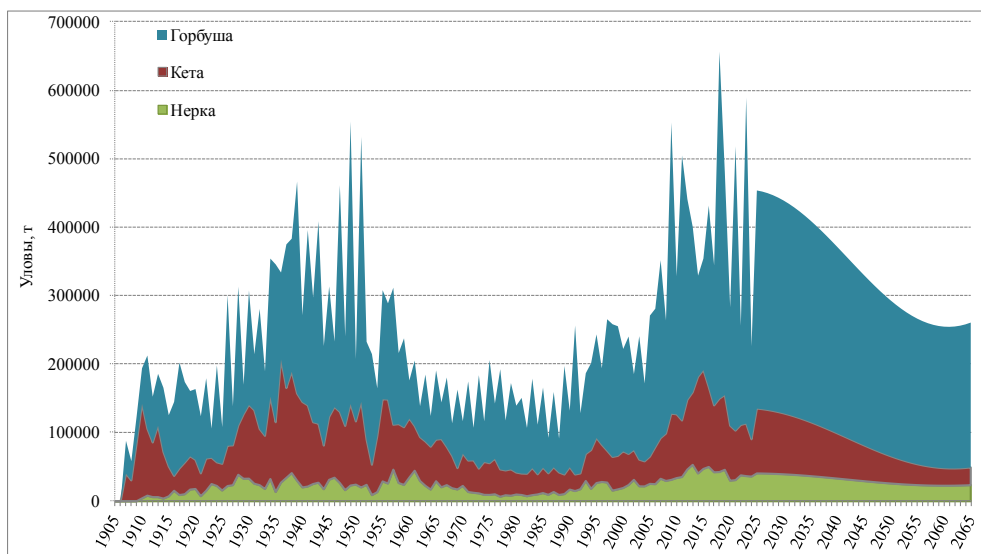


Рис. 13. Фактические (1907–2024 гг.) и ожидаемые среднееголетние уловы (2025–2065 гг.) горбуши, кеты и нерки российского происхождения

Fig. 13. Actual annual catches of pink, chum and sockeye salmon of Russian origin in 1907–2024 and their levels expected in 2025–2065

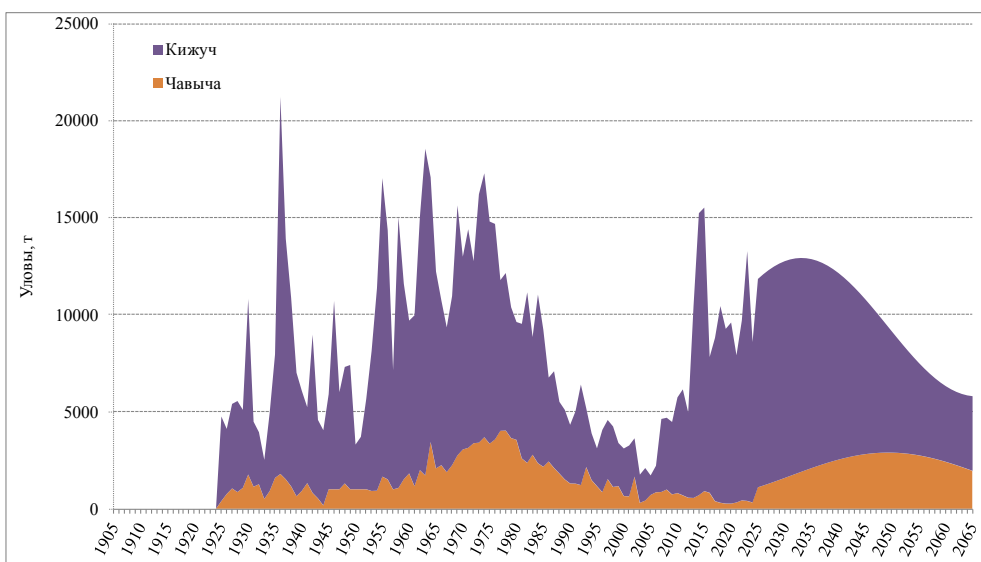


Рис. 14. Фактические (1907–2024 гг.) и ожидаемые среднееголетние уловы (2025–2065 гг.) кижуча и чавычи российского происхождения

Fig. 14. Actual catches of coho and chinook salmon of Russian origin in 1907–2024 and their levels expected in 2025–2065

Климатический фактор и средняя индивидуальная масса тела тихоокеанских лососей

Следующей задачей было оценить влияние климатических изменений (температурного фактора), выраженных в единицах измерения индекса глобальной температурной аномалии в широтном поясе 44–64° с.ш., охватывающем в Тихом океане все нагульные акватории, на формирование средних индивидуальных навесок пяти видов российских тихоокеанских лососей — горбуши, кеты, нерки, кижуча и чавычи — вне зависимости от региона их происхождения.

Наиболее сильно средние индивидуальные навески тела в зависимости от значений температурных аномалий варьировали у чавычи, за весь период исследований с 1940 г. в диапазоне колебаний температурной аномалии (от $-0,50$ до $1,86$ °C) расчетная относительно тренда (рис. 15, слева) средняя индивидуальная масса снижалась от 11,4 до 4,8 кг. Максимальные значения средней индивидуальной массы чавычи соответствовали наиболее низким значениям температурного индекса, а, учитывая длину рядов биологических параметров, использованных в исследовании, относительно стабильный уровень индивидуальной массы в стадах чавычи сохранялся с 1940-х и вплоть до середины 1990-х гг. По мере достижения уровня температурной аномалии $+0,5$ °C чавыча начала стремительно терять массу (рис. 15, справа).

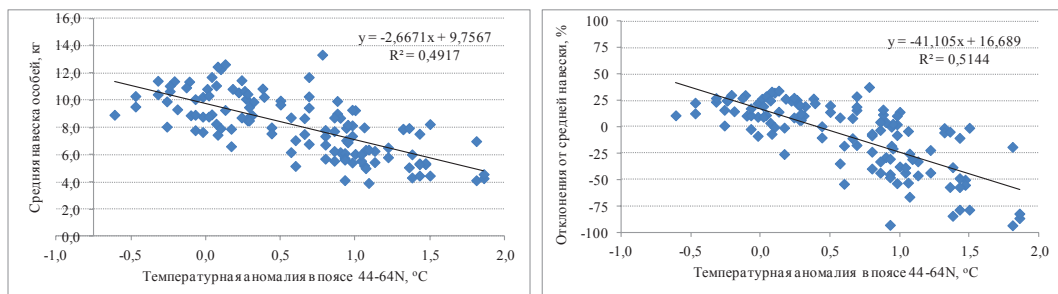


Рис. 15. Динамика абсолютного (слева) и относительного (справа) снижения средней индивидуальной массы тела чавычи в зависимости от температурной аномалии

Fig. 15. Dynamics of absolute (left panel) and relative (right panel) losses of average individual weight for chinook salmon in dependence on temperature anomaly

Для нерки, кеты и кижуча дисперсия средней массы была меньше, большинство наблюдений укладываются в 25 %-ный интервал отклонений, тренд на снижение средних навесок в зависимости от повышения температуры проявляется отчетливо и однозначно (рис. 16, 17). При этом тренд на снижение размеров с повышением температуры выражен наиболее явно для чавычи, кижуча и нерки (см. рис. 15, 16, 18). Существенно ниже отклик изменения размеров тела на повышение температуры для производителей кеты (см. рис. 17). И полное отсутствие зависимости между исследуемыми параметрами демонстрируют графики соотношения средней массы и ее относительного отклонения с температурной аномалией для горбуши (рис. 19).

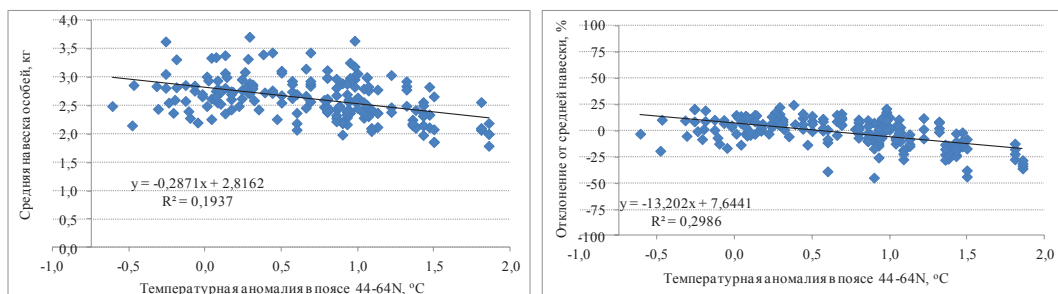


Рис. 16. Динамика абсолютного (слева) и относительного (справа) снижения средней индивидуальной массы тела нерки в зависимости от температурной аномалии

Fig. 16. Dynamics of absolute (left panel) and relative (right panel) losses of average individual weight for sockeye salmon in dependence on temperature anomaly

Прежде чем остановиться на причинах отсутствия зависимости индивидуальной массы горбуши от изменения климатического фона, следует обратить внимание на общие и различные реакции разных видов на этот фактор. Из всех рассмотренных видов средние навески чавычи, нерки и, по всей видимости, кеты варьировали в пределах естественной изменчивости вплоть до середины 1990-х гг. по мере достижения уров-

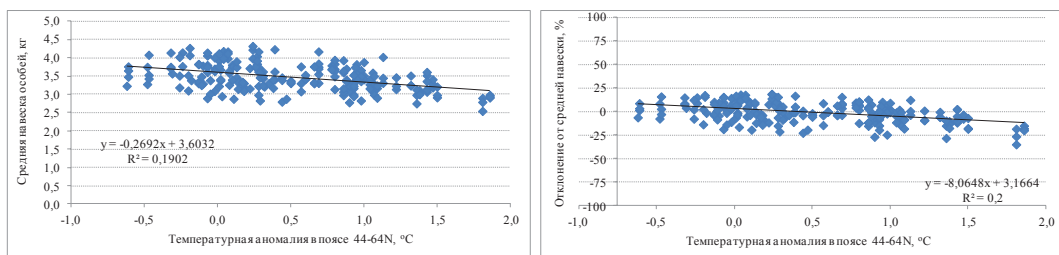


Рис. 17. Динамика абсолютного (слева) и относительного (справа) снижения средней индивидуальной массы тела кеты в зависимости от температурной аномалии

Fig. 17. Dynamics of absolute (left panel) and relative (right panel) losses of average individual weight for chum salmon in dependence on temperature anomaly

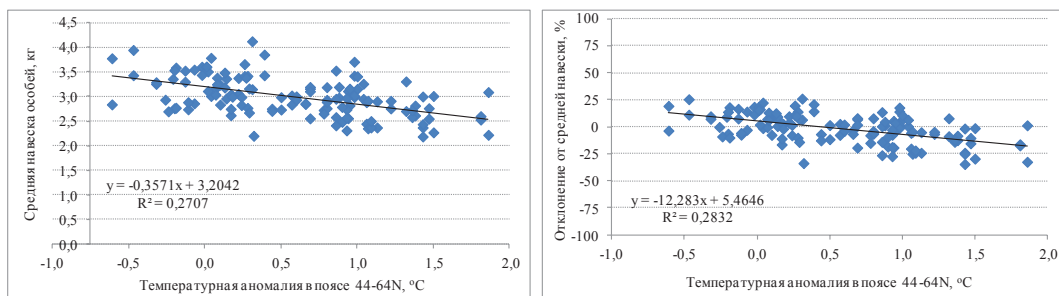


Рис. 18. Динамика абсолютного (слева) и относительного (справа) снижения средней индивидуальной массы тела кижуча в зависимости от температурной аномалии

Fig. 18. Dynamics of absolute (left panel) and relative (right panel) losses of average individual weight for coho salmon in dependence on temperature anomaly

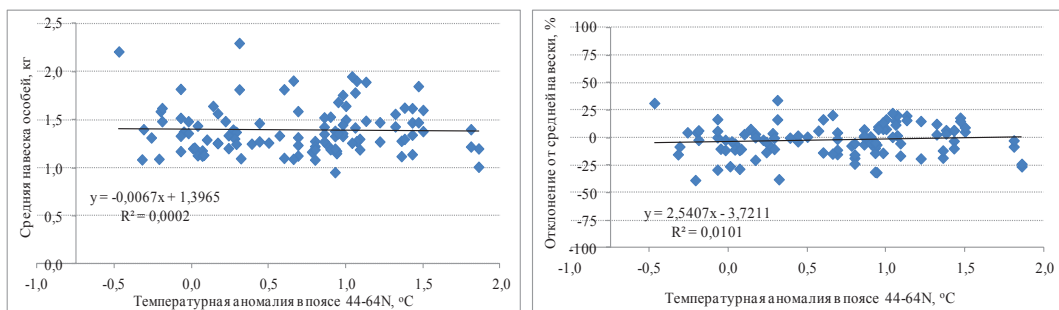


Рис. 19. Динамика абсолютного (слева) и относительного (справа) снижения средней индивидуальной массы тела горбуши в зависимости от температурной аномалии

Fig. 19. Dynamics of absolute (left panel) and relative (right panel) losses of average individual weight for pink salmon in dependence on temperature anomaly

ня температурной аномалии в 0,5 °C. Несколько ранее, чем нерка и кета, снижением средней массы тела отреагировали производители чавычи, для которых температурный порог начала качественных изменений был несколько выше — ~0,7 °C — и сместился уже на начало 2000-х гг. Темпы изменений средней массы тела и в абсолютных и в относительных величинах были наибольшими для чавычи, нерки и кижуча. При этом снижение средней массы у кижуча было последовательным и поступательным уже с середины 1940-х гг., т.е. с периода самого низкотемпературного фона. Возможно, что причина кроется в безальтернативности стратегии морского периода жизни у этого вида длиной в один год. Однако при той же жизненной стратегии в морской период жизни горбуша как вид демонстрирует полное отсутствие зависимости своих размеров от температурного фона (рис. 19).

Между тем средние навески горбуши в последние годы снижаются (рис. 20), и это также происходит на фоне роста температурного фона, но, как оказалось, не имеет к нему отношения, или это отношение не очевидно. Горбуша, как вид, демонстрирующий высокий уровень флуктуации численности, редко функционирует на среднем ее уровне, тем более в течение продолжительных периодов времени, достаточных для выявления влияния на ее размеры действия внешней среды. Как правило, изменение ее размеров связывают именно с фактором численности [Бугаев, 2017; Бугаев, Тепнин, 2024; неопубликованные данные С.В. Найденко, А.Н. Старовойтова, А.А. Сомова]. Тем не менее явных доказательств этого до сих пор не представлено, и во многом это связано с разнокачественностью производителей разных региональных комплексов, средние размеры которых могут различаться в 1,5 раза и более.

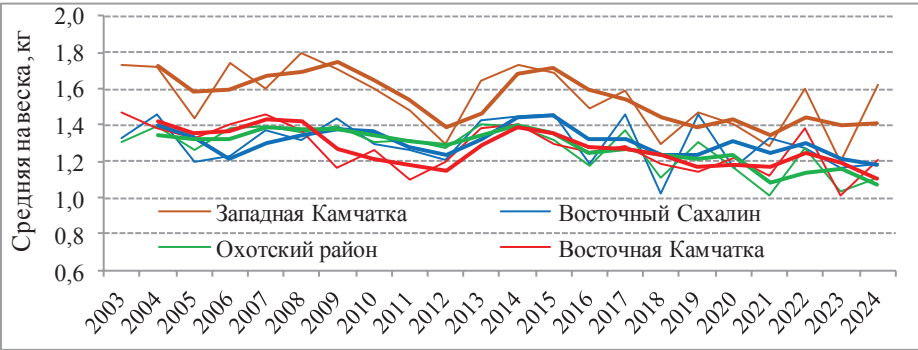


Рис. 20. Динамика средней индивидуальной массы горбуши основных районов воспроизводства Берингова и Охотского морей в 2003–2024 гг.

Fig. 20. Dynamics of average individual weight of pink salmon for the main spawning grounds in Bering and Okhotsk Seas in 2003–2024

Для снижения межпопуляционной изменчивости привели среднюю навеску производителей горбуши северо-восточного и западного побережий Камчатки, восточного Сахалина, Охотского района материкового побережья Охотского моря и вылов горбуши по морям происхождения к относительным показателям. Навески конкретных стад в разные годы показали в виде отклонений от средних значений параметра для этих запасов, выраженных в процентах. Поскольку диапазон вылова горбуши в абсолютных величинах в разных морях также разнится, данные по вылову конкретных лет представлены как отношение к максимальному вылову для водоемов происхождения (рис. 21, 22). Значения экстравысоких возвратов горбуши разных стад выделены оранжевым маркером.

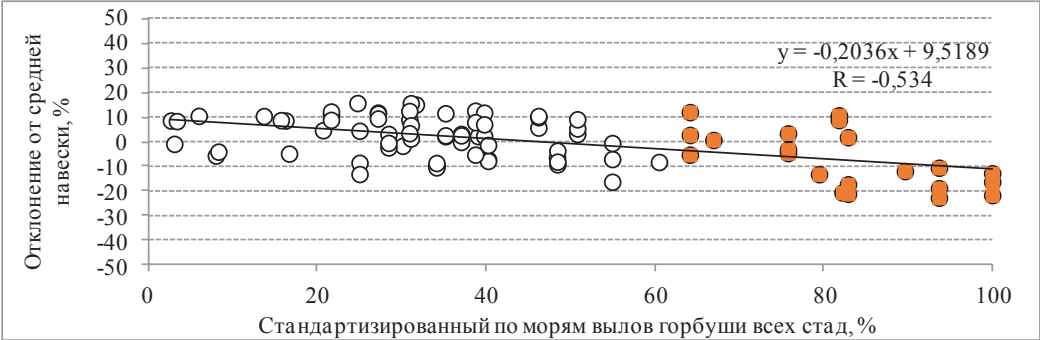


Рис. 21. Динамика отклонений средней индивидуальной массы горбуши основных районов воспроизводства Берингова и Охотского морей в зависимости от общего удельного улова в 2003–2024 гг. (описание маркеров в тексте)

Fig. 21. Deviations of the mean individual weight of pink salmon for the main spawning grounds in Bering and Okhotsk Seas in dependence on dynamics of the total annual catch in these regions in 2003–2024 relative to its highest values (507.103 t in the Okhotsk Sea in 2018 and 230.103 t in the Bering Sea in 2019)

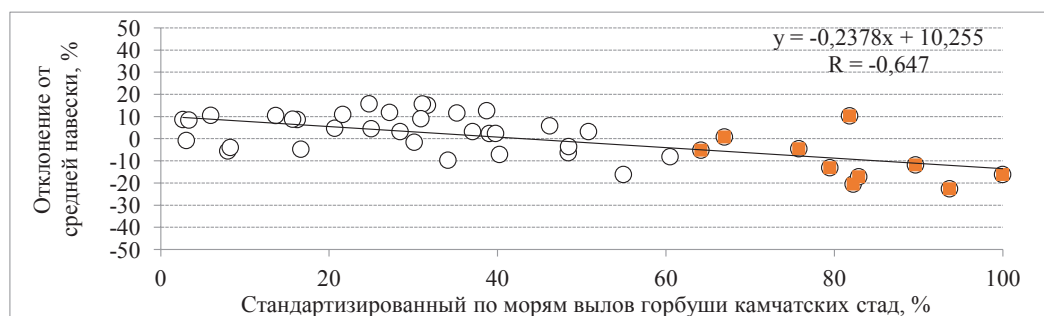


Рис. 22. Динамика отклонений средней индивидуальной массы горбуши восточно- и западнокамчатских стад в зависимости от общего удельного улова в 2003–2024 гг.

Fig. 22. Deviations of the mean individual weight of pink salmon for the stocks of East Kamchatka and West Kamchatka in dependence on dynamics of the total annual catch in these areas in 2003–2024 relative to its highest values

В представленном виде зависимость изменения средней индивидуальной массы горбуши от фактора ее численности достаточно надежно описывается отрицательной линейной зависимостью с показателем корреляции $R = -0,534$ ($n = 88$) для основных берингоморских и охотоморских стад горбуши (восточно- и западнокамчатская, североохотоморская Охотского района Хабаровского края, восточносахалинская) и $R = -0,647$ ($n = 44$) для восточно- и западнокамчатских стад.

Заключение

В ходе выполнения исследования выявлена сложная структура процесса увеличения температурных показателей в течение последнего 115-летнего периода. Помимо общего тренда увеличения температуры за этот период, составляющего 1°C за 70 лет, обнаружена естественная цикличность с длиной полного цикла около 80 лет. Отмечена высокая степень зависимости средних характеристик динамики вылова (как производная численности) горбуши, кеты и нерки от общего вектора изменений температурного фона. Причем во всех случаях (общий тренд и долгопериодная цикличность) связь была положительной. Динамика численности горбуши, кеты и нерки синхронизирована как с цикличностью температурных показателей, так и с линейным трендом на увеличение температуры. Динамика численности чавычи и кижуча при равной длине периода полного цикла (~80 лет) имеет отличия от общего тренда трех упомянутых ранее видов. Динамика уловов чавычи осуществляется в полной противофазе динамике горбуши, кеты и нерки. Предполагается, что причиной противофазности изменений численности нерки и чавычи является наличие конкурентных отношений за пищевые ресурсы между молодью двух видов в пресноводный период. Максимумы уловов нерки в обоих подтвержденных промысловой статистикой случаях соответствовали минимумам уловов чавычи, а максимум уловов чавычи соответствовал единственному минимуму уловов нерки. Экстремумы по численности кижуча смещены на 20–25 лет после экстремумов для горбуши, кеты и нерки и на ~15 лет опережают таковые для чавычи. Представляет интерес закономерность роста запасов кижуча на фоне увеличения возвратов массовых видов, прежде всего горбуши. Запас кижуча обнаруживает тенденцию к росту примерно на половине восходящего цикла горбуши и кеты, воспроизводящихся в реках и обеспечивающих к этому периоду значительный рост поступления морского органического вещества в нерестовые реки в своих телах.

В целом ожидается, что максимум средних уловов массовых видов тихоокеанских лососей (горбуши, кеты и нерки) в настоящем цикле к началу 2020-х гг. уже пройден. Исключение составляют кижуч, пик уловов которого можно ожидать к 2030 г., и чавыча, максимум уловов — к 2050 г. Также предполагаем, что ниспадающая ветвь средних уловов российских тихоокеанских лососей продлится вплоть до 2050-х гг. и

до уровня среднесноголетних уловов ~250 тыс. т и будет выше предыдущего уровня минимума уловов на ~100–120 тыс. т при условии сохранения линейного тренда увеличения температурного фона. Однако, учитывая прогноз сокращения темпов прогрева атмосферы и перспективы к 2160 г. возврата температуры к некоей климатической «норме» [Сидоренков, Сидоренков, 2021], следует ожидать постепенное «вырождение» линейного тренда и его выход на плато к этому времени. Грядущий минимум воспроизводства и уловов российских тихоокеанских лососей должен быть реализован уже в перспективе ближайших 3–4 десятилетий, маловероятно, что в этот период можно будет наблюдать какие-либо значимые изменения глобальных процессов, хотя и есть указания, что на текущем отрезке времени планета проходит самую «горячую» фазу [Сидоренков, Сидоренков, 2021].

Чередование периодов разной продуктивности в динамике запасов тихоокеанских лососей, обусловленных колебаниями уровня термозапаса вод северной части Тихого океана и окраинных морей, заставляет концептуально переосмыслить тезис об отсутствии ограничений по кормовой базе открытых вод для нагуливающих тихоокеанских лососей [Заволокин, 2014; Шунтов, 2016; Найдено, 2022]. Наше исследование показывает, что долгопериодные колебания уровня обилия трех массовых видов лососей осуществляются в прямом соответствии с термикой, предполагается, что прежде всего они зависят от изменения теплосодержания океанических, морских и прибрежных вод. Лососи экологически связаны с этим процессом посредством обратной связи в цепочке продукции фито- и зоопланктона. Если принять эту точку зрения, то логично ожидать, что именно первичной продукцией ограничивается численность лососей в периоды относительно низкого теплосодержания океанических вод. Считаем, что эти выводы достаточны для поддержания дискуссионного статуса вопроса о лимитировании обилия тихоокеанских лососей кормовой базой в разных фазах протяженных климатических циклов. По крайней мере на основных критических этапах жизненного цикла (ранний морской, первая зимовка в океане), в периоды относительного охлаждения земной поверхности. Не исключаем также, что и промерзание нерестовых гнезд в периоды суровых зим с низким уровнем осадков может быть фактором, лимитирующим численность лососей уже на ранних этапах онтогенеза. При наступлении экстремальных зим это актуально даже для 80-летнего цикла, для ледниковых периодов больших климатических циклов значимость этого фактора в формировании численности лососей не вызывает сомнений.

Примечательно, что к сходным выводам относительно продолжительности циклов высокой и низкой численности и окончания периода высоких уловов тихоокеанских лососей фактически на уровне интуитивных рассуждений ранее пришли А.Н. и А.А. Макоедовы [2023а, б]. При этом в их работах основной акцент делается на прикладной аспект результатов исследования — ожидаемое вскоре несоответствие задействованных на этапе высокой численности лососей мощностей добывающего и перерабатывающего комплексов сырьевой базе рыболовства.

В своих исследованиях закономерностей функционирования популяционных систем многие авторы часто сталкиваются с их естественной циклической динамикой продолжительностью 11, 18 и кратной 18 годам, вызванной, соответственно, циклами солнечной активности и лунно-солнечным циклом в системе движения Луны, Земли и Солнца [Литвиненко, Литвиненко, 2020]. Циклы, кратные 18 годам лунного календаря, — 18, 36, 72, 90 и 108 лет (прежде всего первые три) — с незначительными отклонениями на примере реконструкций флюктуаций земной температуры по гренландским ледовым кернам, кольцам роста арктической и калифорнийской сосен, вспышкам численности калифорнийской сардины и анчоуса, определенных по донным отложениям, глобальной температурной аномалии и индексу атмосферной циркуляции систематически отмечали Л.Б. Кляшторин и А.А. Любушин в своей известной монографии [2005]. Значимость воздействия планетарной конфигурации Земли, Луны и Солнца на циркуляцию атмосферы и гидросферы Земли несомненна. Наше исследование позволило выявить временной

цикл естественной динамики тихоокеанских российских лососей длиной около 80 лет и прямолинейный на исследуемом отрезке времени восходящий тренд, поступательно связанный с ростом температуры Земли. Не исключено, что накопление статистических рядов позволит со временем откорректировать длину лососевого цикла относительно лунного календаря в ту или иную сторону. Восходящий вековой температурный тренд можно считать частью большого планетарного 580-летнего цикла в наиболее «разогретой» его стадии, в ожидании охлаждения температуры и его «выхолаживания» до уровня климатической средней менее чем через полторы сотни лет — к середине XXII века.

Увеличение термических характеристик окружающего тихоокеанских лососей в период морского нагула фона за последний век привело еще к одному эффекту: тихоокеанские лососи теряют массу, некоторые виды, например чавыча, — стремительно. Наибольшие средние размеры чавычи, превышающие 10 кг, характерны для наиболее «холодного» периода вплоть до середины 1990-х гг. По мере достижения уровня температурной аномалии (+0,5 °C) чавыча начала быстро терять массу — с 10 до 8 кг. За следующие почти 1,5 °C от конца 1990-х гг. до настоящего времени чавыча теряла в среднем 1 кг на каждые 0,5 °C, достигнув к наиболее «теплому» современному периоду средней массы немногим более 4 кг, потеряв за весь период около 60 % первоначальной массы.

Остальные виды менее восприимчивы к росту температуры, чем чавыча, однако и они потеряли за наблюдаемый период потепления до 25–30 % своей массы. Исключение составляет горбуша, для которой не отмечена связь изменения ее массы в пределах группировок одного района происхождения в соответствии с колебаниями термической компоненты. Средняя масса горбуши может заметно различаться между разными районами воспроизводства, но закономерности ее изменения внутри группировок связаны в основном с плотностным эффектом на местах совместного морского нагула в период как осенней откочевки, так и зимовки. Известно, что даже во время зимнего океанического нагула молодь горбуши охотоморских и беринговоморских стад не нагуливается вместе, предпочитая занимать смежные акватории Тихого океана [Шунтов, Темных, 2011]. Причем на формирование конечных характеристик массы тела горбуши основное влияние оказывает время зимовки и в большей степени последующий период активного нагула перед началом преднерестовой миграции. Очевидно, рост температуры в это время ускоряет процессы метаболизма, увеличивает энергетические траты на физические перемещения и добывание пищи и в конечном итоге снижает количество энергии, обеспечивающей соматический рост нагуливаемых рыб.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны всем сотрудникам дальневосточных филиалов ВНИРО, в разные годы осуществлявшим сборы ихтиологических материалов в полевых условиях, за их труд, позволивший сформировать массивы данных для проведенного исследования. Отдельная благодарность О.Б. Тепнину (Камчатский филиал ВНИРО) за консультативную помощь в работе.

The authors are grateful to all colleagues from the Far Eastern branches of VNIRO who many years collected the ichthyological data used in this study, and give particular thanks to O.B. Tepnin (Kamchatka branch of VNIRO) for his consultative assistance.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsorship.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

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

Authors declare no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Е.А. Шевляков — постановка задачи, анализ материалов, интерпретация результатов, написание текста статьи; В.И. Островский — статистическая обработка, обсуждение результатов.

E.A. Shevlyakov — concept formulation, data analysis, interpretation of the results, and the text writing and illustrating; V.I. Ostrovsky — statistical processing, discussion of the results.

Список литературы

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

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

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.

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

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

Клименко В.В., Мацковский В.В., Дальманн Д. Комплексная реконструкция температуры российской Арктики за последние два тысячелетия // Арктика: Экология и экономика. — 2013. — № 4(12). — С. 84–95.

Кляшторин Л.Б. Тихоокеанские лососи: климат и динамика запасов // Рыб. хоз-во. — 2000. — № 4. — С. 32–34.

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

Котенев Б.Н., Богданов М.А., Кровнин А.С., Мурый Г.П. Изменение климата и динамика вылова дальневосточных лососей // Вопр. промысл. океанологии. — 2010. — Вып. 7, № 1. — С. 60–92.

Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В. и др. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 158. — С. 143–161.

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

Ле Руа Ладюри Э. История климата с 1000 года : моногр. — Л. : Гидрометеиздат, 1971. — 280 с.

Литвиненко Л.Н., Литвиненко В.В. Колебание Фернау и ритмы лет с четырьмя полярными затмениями за последние два тысячелетия // Географическая среда и живые системы. — 2020. — № 1. — С. 7–30. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-7-30.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Нерка российского происхождения: на что рассчитывать рыбакам? // Изв. ТИНРО. — 2023а. — Т. 203, вып. 2. — С. 249–263. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-249-263. EDN: WFCBUX.

Макоедов А.Н., Макоедов А.А. Тихоокеанские лососи российского происхождения: на какие уловы рассчитывать? // Изв. ТИНРО. — 2023б. — Т. 203, вып. 1. — С. 46–57. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-46-57. EDN: QHAYVT.

Найденко С.В. Трофодинамика нектонных сообществ верхней эпипелагиали северо-западной части Тихого океана и западной части Берингова моря : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2022. — 506 с.

Сидоренков Н.С., Сидоренков П.Н. 580-летний цикл лунных и солнечных затмений как индикатор колебаний климата того же периода // Геофизические процессы и биосфера. — 2021. — Т. 20, № 2. — С. 5–15. DOI: 10.21455/GPB2021.2-1.

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

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

Espenak F., Meeus J. Five millennium catalog of Lunar eclipses: –1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE). — Maryland : NASA Goddard Space Flight Center, 2009. [https:// eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCLE/5MKLE-214173.pdf](https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCLE/5MKLE-214173.pdf).

References

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

Bugaev, A.V., Tepnin, O.B., and Radchenko, V.I., Climate variability and pacific salmon productivity in Russian Far East, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 49, pp. 5–50. doi 10.15853/2072-8212.2018.49.5-50

Bugaev, A.V., Pheldman, 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

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

Zavolokin, A.V., Food availability for Pacific salmon during the period of feeding in sea and ocean, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsent, 2014.

Klimenko, V.V., Matskovsky, V.V., and Dalmann, D., Omprehensive reconstruction of the temperature of the Russian Arctic over the last two millennia, *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2013, no. 4(12), pp. 84–95.

Klyashtorin, L.B., Pacific salmon: climate and stock dynamics, *Rybn. Khoz.*, 2000, no. 4, pp. 32–34.

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

Kotenev, B.N., Bogdanov, M.A., Krovnin, A.S., and Muryi, G.P., The climate change and the dynamics of catch of Far Eastern salmon, *Vopr. Promysl. Okeanol.*, 2010, vol. 7, no. 1, pp. 60–92.

Kotenev, B.N., Krovnin, A.S., Klovach, N.V., Mordasova, N.V., and Muriy, G.P., Impact of climatic and oceanographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 158, pp. 143–161.

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

Le Roy Ladurie, Emmanuel, *Histoire du climat depuis l'an mil*, Paris: Flammarion, 1967.

Litvinenko, L.N. and Litvinenko, V.V., Fernau oscillation and rhythms of years with four polar eclipses in the past two millennia, *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy*, 2020, no. 1, pp. 7–30. doi 10.18384/2712-7621-2020-1-7-30

Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A., Sockeye salmon of Russian origin: what can fishermen count on?, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 2, pp. 249–263. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-249-263. EDN: WFCBUX.

Makoedov, A.N. and Makoedov, A.A., Pacific salmon of Russian origin: what catches can we count on?, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 1, pp. 46–57. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-46-57. EDN: QHAYVT.

Naidenko, S.V., Trophodynamics of nekton communities of the upper epipelagic zone of the northwestern Pacific Ocean and the western Bering Sea, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2022.

Sidorenkov, N.S. and Sidorenkov, P.N., 580-year cycle of lunar and solar eclipses as an indicator of climatic oscillations of the same period, *Geofizicheskiye protsessy i biosfera*, 2021, vol. 20, no. 2, pp. 5–15. doi 10.21455/GPB2021.2-1

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, vol. 2.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Pacific salmon in marine and ocean ecosystems, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, vol. 2.

Espenak, F. and Meeus, J., *Five millennium catalog of Lunar eclipses: –1999 to +3000 (2000 BCE to 3000 CE)*, Maryland: NASA Goddard Space Flight Center, 2009. [https:// eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCLE/5MKLE-214173.pdf](https://eclipse.gsfc.nasa.gov/5MCLE/5MKLE-214173.pdf). Cited February 14, 2025.

<https://iz.ru/1845926/andrei-korshunov/hvojnaya-traktovka-sosna-raskryla-tainy-zolotoi-epokhi-kitaia>. Cited March 13, 2025.

Ulovy tikhookeanskikh lososey (1900–1986 gg.) (Pacific salmon catches (1900–1986)), Moscow: VNIRO, 1989.

Поступила в редакцию 17.03.2025 г.

После доработки 25.04.2025 г.

Принята к публикации 16.06.2025 г.

*The article was submitted 17.03.2025; approved after reviewing 25.04.2025;
accepted for publication 16.06.2025*