

ТИХООКЕАНСКИЕ ЛОСОСИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

© 2021 г. С.Л. Марченко

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии (ВНИРО), 107140
E-mail: slm@vniro.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

В настоящей работе обсуждено влияние глобального потепления климата на тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. Рассмотрены вероятные причины изменения объёмов вылова, сроков нерестовой миграции и биологических показателей рыб.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи (*Oncorhynchus*), глобальное потепление климата, вылов, нерестовая миграция, биологические показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальный рост температуры воздуха во второй половине XX в. начался в 1970-е гг., а устойчивый характер он приобрёл в 1980-е гг. Наибольшего развития потепление климата достигло в начале XXI в. (Шкаберда, Василевская, 2013; Kennedy et al., 2019).

В Мировом океане в рассматриваемый период наиболее быстро прогрелся Северный Ледовитый океан, что прослеживалось по сокращению площади его ледового щита (<http://haa.su/3ua/>, дата обращения: 12.02.2021). Рост температуры воды Северной Пацифики был менее интенсивным, но и здесь увеличение теплозапаса морских вод сопровождалось сокращением площади льдов в зимний период (Jones et al., 2020).

С потеплением океанических вод изменились характеристики течений и усилилась стратификация водных масс. Усиление стока вод с суши, а также интенсификация апвеллингов обеспечили повышение притока биогенов в фотический слой морей и океанов. Следствием этих процессов стали пере-

стройки планктонных и нектонных сообществ, а также изменение смертности рыб, морских птиц и млекопитающих (Соколовский и др., 2004; Глебов и др., 2010; Cheung et al., 2009; Li et al., 2012; Sydeman et al., 2015; Yang et al., 2016; Weatherdon et al., 2016; Jones et al., 2019; Boveng et al., 2020; Hastings et al., 2020; Farley et al., 2020; Fergusson et al., 2020; Lewis et al., 2020; Ueno et al., 2020; Smith et al., 2021).

Потепление климата оказало влияние и на холодноводных по происхождению тихоокеанских лососей (Шмидт, 1950; Waples et al., 2008). Так, в 1990-е гг. их запасы снизились в Канаде, а в 2000-е и в 2010-е гг., соответственно, в США и в Японии (nrafc.org, дата обращения: 12.02.2021). На фоне развития климатического сдвига к концу 2010-х гг. до исторического минимума сократилась численность чавычи и кижуча в реках штата Вашингтон (США), а также нерки в реках Фрейзер и Скина (Британская Колумбия, Канада) (Crozier et al., 2019; Price et al., 2021; <http://haa.su/3u6/>, дата обращения 12.02.2021). Кроме того, несмотря на значительные объёмы вы-

пуска молоди кеты с лососевых рыбодных заводов, в Японии существенно уменьшилась численность подходов данного вида (Kaeriyama et al., 2014).

Цель настоящего исследования — оценка влияния глобального потепления климата на тихоокеанских лососей Дальнего Востока России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При подготовке данной работы использованы многолетние ряды данных, отражающие вылов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России, полученные с сайта Комиссии по анадромным рыбам Северной части Тихого океана — НПАФК (англ. North Pacific Anadromous Fish Commission — NPAFC, npafc.org), и биологические показатели тихоокеанских лососей за период с 2001 до 2020 гг., предоставленные дальневосточными филиалами ФГБНУ «ВНИРО». Накопление данных и их визуализация проведена автором.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На Дальнем Востоке России с 1960-х по 2010-е гг. средний за десятилетие вылов тихоокеанских лососей вырос в 6,8 раза — с 64,0 до 433,1 тыс. т, а кратность различий между минимальным и максимальным уровнем добычи превысила 20 раз (рис. 1). Рост объёмов их вылова совпал с периодом потепления климата, и, без сомнения, является следствием глобальных изменений, происходивших в океанических и пресноводных экосистемах на различных уровнях.

Рост среднегодовой температуры привёл к перестройке структуры уловов (видового состава) тихоокеанских лососей. Основу лососевого промысла в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне формирует горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*). В 1960-е — 2010-е гг. её минимальный вклад в вылов был в наиболее холодные 1960-е гг. — 48,8%. В 1970-е-2000-е гг. горбуша обеспечивала от $\frac{2}{3}$ до $\frac{3}{4}$ дальневосточ-

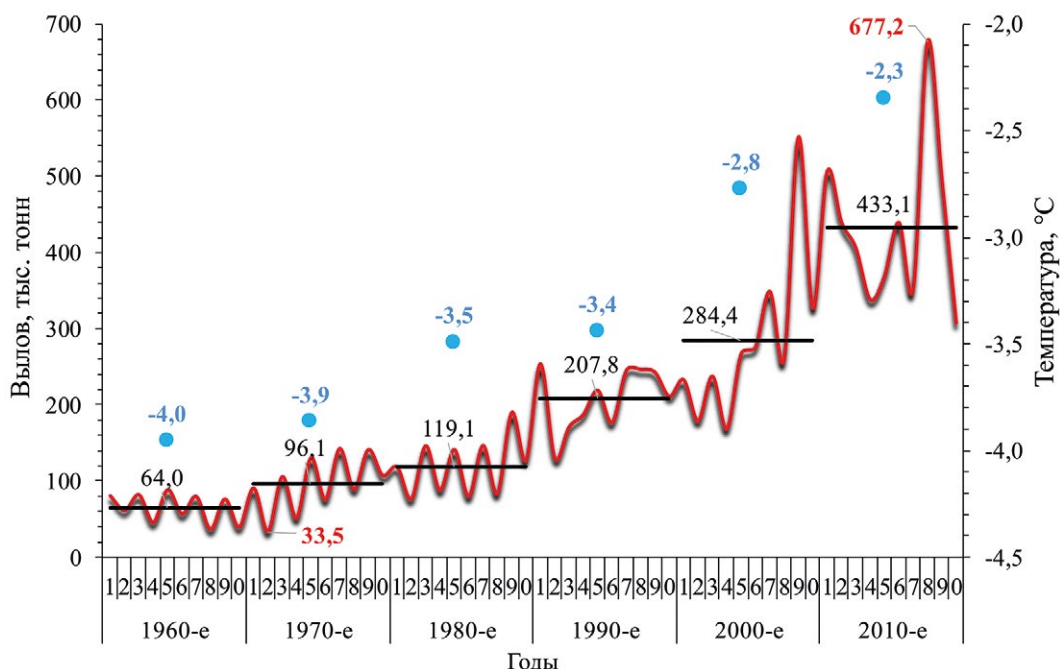


Рис. 1. Динамика вылова тихоокеанских лососей и среднегодовой температуры воздуха на Дальнем Востоке России в 1960–2020 гг. (горизонтальные линии и цифры — средний вылов за десятилетие, точки и цифры — средняя температура воздуха за десятилетие).

ного вылова лососей, но на фоне потепления климата в 1990-х-2010-х гг. её доля в уловах снизилась с 73,1 до 62,9% (рис. 2).

Кета (*O. keta*) — второй по объёму добычи объект лососевого промысла на Дальнем Востоке России. Её вылов в рассматриваемый период находился в противофазе к уловам горбуши. Максимальный вклад кеты в вылов тихоокеанских лососей в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне был в 1960-е гг., когда она формировала более $\frac{1}{3}$ уловов. В 1970-е-2000-е гг. кета обеспечивала от $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{3}$ вылова тихоокеанских лососей, а в 2010-е гг. при снижении объёма добычи горбуши вклад кеты вырос до 25% (рис. 2 и 3). Рост объёма добычи кеты в 2010-е гг. проходил на фоне роста среднегодовой температуры воздуха.

Уловы нерки (*O. nerka*) и чавычи (*O. tshawytscha*) в 1960-е-2010-е гг. находились в противофазе. Так, доля нерки в уловах тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России в 1970-е гг. в сравнении с предыдущим десятилетием резко снизилась, а чавычи — вырос-

ла. В последующие десятилетия вклад нерки в вылов постепенно увеличивался, а вклад чавычи — снижался (рис. 2 и 3).

Доля кижуча (*O. kisutch*) в уловах тихоокеанских лососей с 1960-х по 1990-е гг. постепенно снизилась с 6,0 до 0,9%, но в 2010-е гг. она резко выросла до 2,2% (рис. 2).

Общим трендом в изменении структуры уловов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России в начале XXI в. является смещение основного района лососевого промысла на север и северо-восток, а также смена основного объекта добычи. При этом, перестройка структуры уловов была неоднородна — её локальные особенности определялись географическим положением района промысла. Так, например, на Чукотке горбуша стала играть ведущую роль по объёму добычи, тогда как кета и нерка заняли второстепенные позиции. При этом, общие уловы тихоокеанских лососей в данном регионе существенно выросли. На о. Сахалин до первой половины 2010-х гг., включительно,

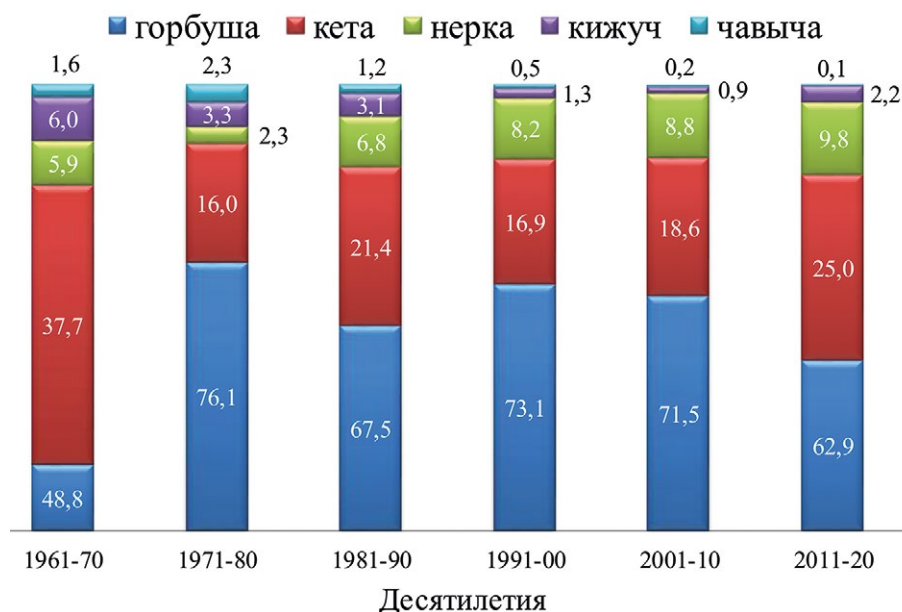


Рис. 2. Структура (видовой состав) уловов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России в 1960-е-2010-е гг., %.

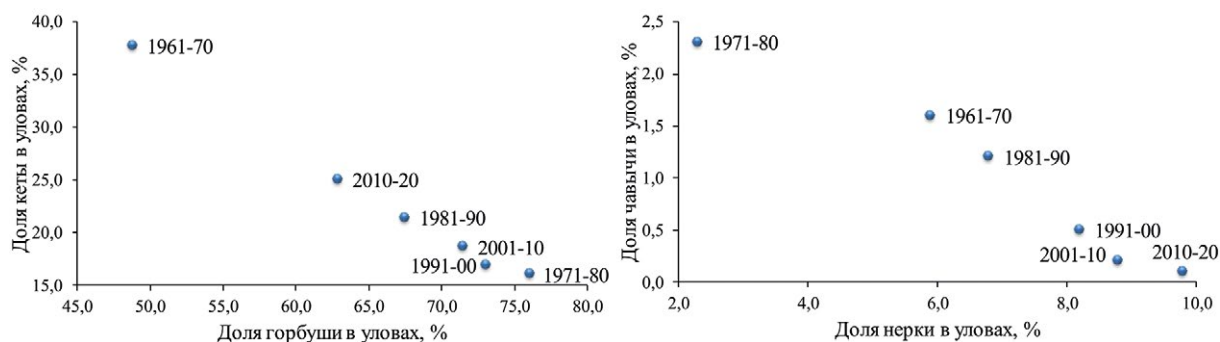


Рис. 3. Сопряжённость относительных уловов горбуши и кеты (слева) и нерки и чавычи (справа).

доминировала горбуша, вылов которой варьировал от 49 до 227 тыс. т. Во второй половине 2010-х гг. на первое место по объёмам добычи вышла кета. Изменение видового состава уловов в регионе сопровождалось снижением общего объёма вылова тихоокеанских лососей (рис. 4).

Потепление климата привело к изменению сроков и динамики нерестовой миграции тихоокеанских лососей. Например, у горбуши р. Ола (Тауйская губа, Магаданская область) в ряду нечётных лет начало устойчивой нерестовой миграции сместилось с I пятидневки июля в 1960-е гг. на IV пятидневку июня в 2010-е гг., а срок 50%-го прохода производителей на нерест — с I пятидневки августа в 1960-е гг. на III пятидневку июля в 2010-е гг. Изменились сроки начала нерестовой миграции и у горбуши заливов Ульбанский и Сахалинский (южная часть материкового побе-

режья Охотского моря) (Канзепарова, Золотухин, 2015), а также материкового побережья Японского моря (Лысенко и др., 2021).

На фоне роста температуры изменились характеристики нерестовой миграции и у сахалинской горбуши. Но, в отличие от других районов Дальнего Востока России она стала подходить на нерест позже и на более поздние сроки сдвинулась дата середины её массового хода в реки (Каев, 2018; Кириллова, 2020).

В отличие от горбуши, у кеты в подавляющем большинстве промысловых районов Дальнего Востока России сроки начала устойчивого нерестового хода не претерпели существенных изменений. Одним из немногих исключений была кета о. Итуруп. У неё в рассматриваемый период начало устойчивой нерестовой миграции сместилось с первых чисел августа на середину июля, при этом

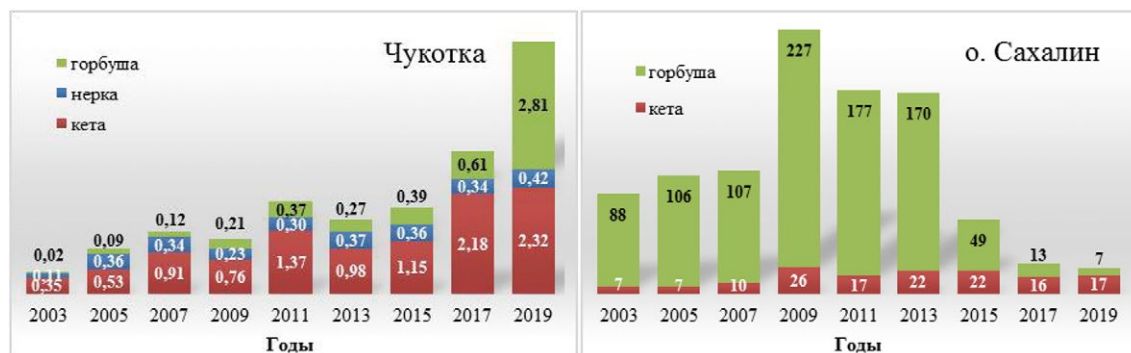


Рис. 4. Динамика вылова тихоокеанских лососей на Чукотке и на о. Сахалин, тыс. т.

сроки начала интенсивного промысла остались прежними — конец сентября (Рыбы..., 2012; наши данные).

Наиболее показательными изменения интенсивности нерестовой миграции были у амурской кеты. Как известно, на нерест она проходит с конца июня по сентябрь, включительно (Берг, 1932; Рослый, 2002; Вершинина, 2020). После депрессии 1970-х гг., численность подходов кеты в р. Амур в первой половине нерестовой миграции постепенно возрастала и достигла максимума в середине 2010-х гг. Синхронно с этим начало интенсивного промысла амурской кеты сдвинулось с конца августа на середину июля.

Подобные изменения в динамике нерестового хода отмечены и у других видов тихоокеанских лососей, например, у нерки и кижуча.

С потеплением климата изменился качественный состав тихоокеанских лососей. Например, у кеты, нерки и кижуча в разных районах воспроизводства синхронно снизилась средняя масса тела (рис. 5). На фоне роста численности это можно рассматривать как результат плотностной регуляции (Шунтов, Темных, 2008). Вместе с тем, у этого эффекта есть иное объяснение.

Выше было показано, что потепление климата, как правило, сопровождалось смещением начала и/или середины нерестового хода производителей на более ранние сроки. Исходя из того, что сроки нерестовой миграции тихоокеанских лососей генетически закреплены (Rich, Holmes, 1929; Ricker, 1972), их расширение (смещение) и усиление интенсивности миграции на фоне потепления климата может свидетельствовать о росте выживаемости рыб, воспроизводство которых зависит от тепла, поступающего извне. Таким источником в безледовый период является атмосфера (Важнов, 1976).

У кеты к теплу, поступающему от атмосферы, наиболее чувствительны рыбы, которые для воспроизводства занимают русловые нерестилища, не имеющие выхода грунтовых вод. Классический пример — летняя раса кеты р. Амур (Берг, 1932). В 1960-е гг. её доля в общем вылове амурской кеты составляла лишь 2,6%. В 1970-е гг. с началом потепления климата она выросла до 15,8%, а в 1980-е-1990-е гг. — до 22,6–25,4%. В 2000-е гг. — первой половине 2010-х гг. летняя раса в среднем обеспечивала до 58–62% вылова амурской кеты.

С потеплением климата в Магаданской области и Камчатском крае в подходах кеты увеличилась доля ранней формы, которая по экологии воспроизводства является аналогом летней амурской расы кеты (Волобуев, 1983; Кузичин и др., 2010). В частности, средняя доля ранней формы в подходах магаданской кеты в начале XXI в. выросла в 1,6–3,3 раза — с 8,0–14,9 до 23,3–26,6%.

Для кеты Приморского края описана только осенняя форма (Горяинов, 2000). Вместе с тем, наблюдения автора за её нерестом в р. Пойма (юг Приморского края) показали, что в сентябре — начале октября часть рыб занимает русловые нерестилища без выхода ключей, а в октябре — ноябре — с выходами грунтовых вод. Иными словами, приморская кета представлена двумя экологическими формами.

Русловые нерестилища кеты, как правило, мелководные, что предопределяет репродуктивный успех производителей с небольшими размерами тела и отбор по этому признаку (Кирпичников, 1979; Коновалов, Шевляков, 1980). Этот тип нерестилищ широко распространён в лососевых реках и зачастую значительно превосходит по площади ключевые нерестилища, что создаёт по-

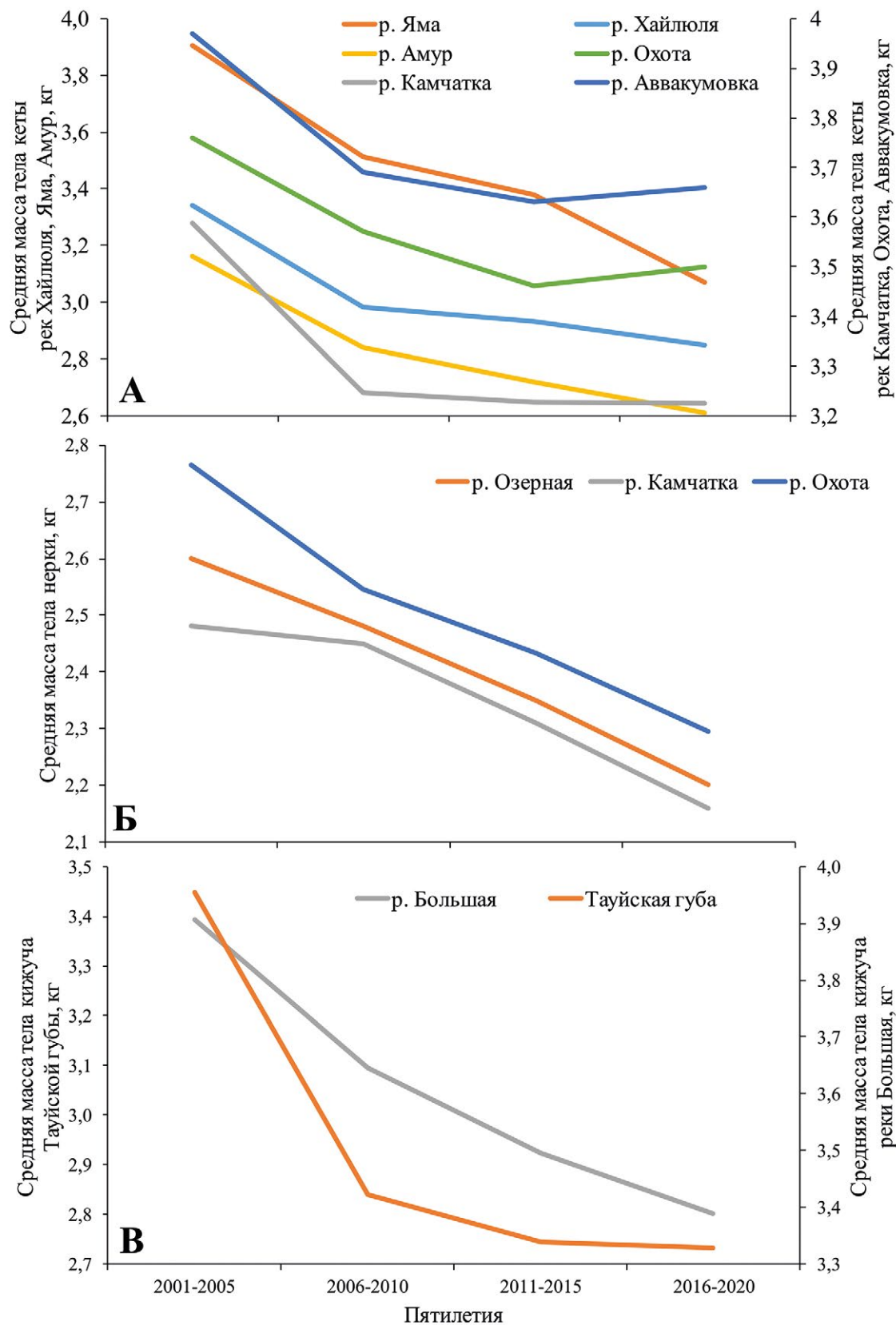


Рис. 5. Динамика массы тела кеты (А), нерки (Б) и кижуча (В) в начале XXI в. по пятилетиям.

тенциальные условия для высокой численности рыб, воспроизводящихся на их акваториях.

Таким образом, потепление климата сформировало благоприятный термический режим для развития икры и личинок кеты на русловых нерестилищах, не имеющих выходов грунтовых вод, а расширенное воспроизводство обеспечило рост в подходах численности небольших по размеру рыб, что было причиной снижения массы тела кеты в целом.

Кижуч нерестится на акваториях с выходами ключей, которые обеспечивают его икру и личинок теплом, необходимым для успешного развития, и рост его численности меньше связан с увеличением выживаемости в период эмбрионально-личиночного развития за счёт поступления тепла от атмосферы. Однако, в отличие от молоди кеты, молодь кижуча проводит в пресных водах от 1 до 4-х лет (Марченко и др., 2013). Её длительный пресноводный нагул связан с необходимостью физиологического созревания к переходу в морские воды, одним из критериев которого является достижение длины тела по Смитту не менее 70 мм (Conte et al., 1966; Weisbart, 1968; Irvine, Ward, 1989).

Несомненно, что потепление климата сопровождалось усилением прогрева пресных вод и, в том числе, нагульных акваторий молоди кижуча. В случае, если температурный режим вод не выходил за верхнюю границу термопреферендума молоди, темп роста пестряток кижуча увеличивался (Little et al., 2020), и они быстрее достигали длины тела, при которой потенциально могут смолтифицироваться. Об улучшении термических условий пресноводного нагула молоди магаданского кижуча можно судить, например, по увеличению в его подходах доли рыб с одним годом пресноводного нагула с 15–16% в 2000-е гг. до 26–32% в 2010-е

гг. Эти рыбы по массе тела значительно уступают особям с двумя и тремя речными годами жизни — 2,52–2,61 кг против 3,60–4,70 кг, и, соответственно, рост их численности в подходах был причиной снижения средней массы магаданского кижуча в целом (рис. 5).

Снижение средней массы тела нерки, представленное на рисунке 5, было связано как с изменением эффективности её воспроизводства, так и с изменением условий нагула её молоди. Известно, что обязательной характеристикой нерестовых акваторий нерки является разгрузка ключей (Крохин, 1960; Егорова, 1970; Симонова, 1972, 1974; Никулин, 1975). По наличию горизонтальных течений места её воспроизводства можно разделить на две группы: водоёмы, в которых практически нет горизонтальных течений, и водотоки, в которых течения присутствуют. К первым относятся озёра и лимнокрены, ко вторым — реки и протоки. В соответствии с этим, у нерки выделяют два экотипа: генеративно лимнофильный и генеративно реофильный.

Наличие выходов грунтовых вод позволяет говорить о том, что одним из факторов, определяющих эффективность воспроизводства нерки, является тепло ключевых вод. Вместе с тем, на температурный режим нерестилищ реофильной нерки оказывает влияние речное течение, которое приносит или, наоборот, вымывает тепло с нерестовых акваторий (Важнов, 1976). В условиях потепления климата приток дополнительного тепла из атмосферы, вероятно, способствовал как расширению периода, пригодного для эффективного нереста реофильной нерки, так и повышал выживаемость её икры и личинок в гнёздах. Нерестилища реофильной нерки мелководные (Бугаев и др., 2007), т. е. как и в случае с летней расой (ранней формой) кеты, приоритет размножения

на этих акваториях имеют производители с небольшими размерами тела. Соответственно, улучшение условий воспроизводства на русловых нерестилищах было причиной увеличения в подходах доли рыб с небольшой массой тела, что, в свою очередь, привело к снижению средней массы тела нерки в целом (рис. 5).

Дополнительной причиной снижения массы тела нерки было уменьшение возраста её полового созревания. У ряда стад нерки омоложение проходило по схеме, описанной выше для кижуча, т. е. за счёт увеличения в подходах количества рыб с одним годом нагула в пресных водах и снижения количества рыб с двумя годам пресноводного нагула, что является отражением роста численности генеративно реофильной нерки. Например, в Мейныпильгынской озерно-речной системе (Чукотка) доля рыб с одним годом нагула в пресных водах с 1980-х по 2010-е гг. выросла в 2,1 раза (с 34,0 до 69,8%), а у нерки р. Охота в начале XXI в. — в 1,7 раза (с 49,4 до 81,4%). У некоторых стад генеративно лимнофильной нерки снижение

возраста полового созревания в целом в подходах было связано с уменьшением периода морского нагула. Например, у нерки озерновского стада доля рыб с 1 и 2 морскими годами выросла с 29,8% в 2001–2005 гг. до 33,7% в 2016–2020 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глобальное потепление климата оказало многостороннее влияние на тихоокеанских лососей Дальнего Востока России: выросла их численность и, соответственно, объёмы вылова. Основные районы их промысла сместились в северном и северо-восточном направлении. Существенные изменения претерпели сроки нерестовой миграции и видовой состав уловов тихоокеанских лососей, а также изменились качественные показатели производителей — снизился возраст полового созревания и линейно-весовые показатели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Часть 1. Л.: ВНИОРХ, 1932. 543 с.
- Бугаев В.Ф., Бугаев А.В., Дубынин В.А. Биологические показатели стад нерки *Oncorhynchus nerka* Восточной Камчатки, Корякского нагорья и некоторых других территорий // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Доклады VII международной научной конференции, посвященной 25-летию организации Камчатского отдела Института биологии моря. Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2007. С. 15–40.
- Важнов А.Н. Гидрология рек. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 339 с.
- Вершинина О.В. Динамика улова на усилие (CPUE) летней кеты реки Амур в 2006–2020 гг. // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2020. С. 99–102.
- Волобуев В.В. О внутривидовой дифференциации кеты р. Тауй (Североохотоморское побережье) // Тез. докл. 10 Всес. симп. Биологические проблемы Севера, 1983. Ч. 2. С. 155–156.
- Глебов И.И., Савиных В.Ф., Байтальюк А.А. Субтропические мигранты в юго-западной части Берингова моря // Вопр. ихтиологии. 2010. Т. 50(4). С. 480–494.
- Горяинов А.А. Некоторые характеристики естественного воспроизводства Приморской осенней кеты в реках бассейна Японского моря // Известия ТИНРО. 2000. Т. 127. С. 218–233.
- Егорова Т.В. Размножение и развитие красной в бассейне р. Озерная // Известия ТИНРО. 1970. Т. 73. С. 39–53.
- Каев А.М. Снижение численности горбуши в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды // Известия ТИНРО. 2018. Т. 192. С. 3–14.
- Канзепарова А.Н., Золотухин С.Ф. Горбушова путина в северо-западной части Охотского моря в 2015 г. // Бюл. № 10 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2015. С. 47–50.
- Кириллова Е.А. Нерестовый ход, особенности воспроизводства и биометрические характеристики горбуши на юге северо-восточного побережья острова Сахалин в 2020 г. // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2020. С. 90–98.
- Кирпичников В.С. Генетические основы селекции рыб. Л.: Наука, 1979. 390 с.
- Коновалов С.М., Шевляков А.Г. Исследование размеров, формы и массы тела у тихоокеанских лососей // Популяционная биология и систематика лососевых. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 30–50.
- Крохин Е.М. Нерестилища красной *Oncorhynchus nerka* Walb. (Очерк геоморфологии, температурного режима и гидрохимии) // Вопр. ихтиологии. 1960. Т. 16. С. 89–110.
- Кузищин К.В., Груздева М.А., Савваитова К.А. и др. Сезонные расы кеты *Oncorhynchus keta* и их взаимоотношения в реках Камчатки // Вопр. ихтиологии. 2010. Т. 50. № 2. С. 202–215.
- Лысенко А.В., Шатилина Т.А., Гайко Л.А. Влияние гидрометеорологических условий на динамику вылова (численности) приморской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) на основе ретроспективных данных (Японское море, Татарский пролив) // Вопр. ихтиологии. 2021. Т. 61. № 2. С. 206–218.
- <https://doi.org/10.31857/S0042875221020156>.
- Марченко С.Л., Волобуев В.В., Макаров Д.В. Биологическая структура кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2013. № 29. С. 70–83.
- Никулин О.А. Воспроизводство красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) в бассейне р. Охоты // Труды ВНИРО. 1975. Т. 106. С. 97–105.
- Рослый Ю.С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бас-

сейне Амура. Хабаровск: Хабаровск. кн. изд-во., 2002. 210 с.

Рыбы Курильских островов. М.: Изд-во ВНИРО, 2012. 384 с.

Симонова Н.А. Об эффективности нереста красной (*Oncorhynchus nerka* Walb.) на ключевых нерестилищах озера Азабачьего // Известия ТИНРО. 1972. Т. 82. С. 143–151.

Симонова Н.А. К биологии размножения красной (*Oncorhynchus nerka* Walb.) на нерестилищах горного типа // Известия ТИНРО. 1974. Т. 90. С. 71–80.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г., Енур И.В., Азарова И.А. Вековые изменения в составе и числе рыб — южных мигрантов в ихтиофауне северо-западной части Японского моря // Известия ТИНРО. 2004. Т. 136. С. 41–57.

Шкаберда О.А., Василевская Л.Н. Оценка изменений температуры воздуха на Камчатке за последние 60 лет // Вестник ДВО РАН. 2013. № 3. С. 69–77.

Шмидт П.Ю. Рыбы Охотского моря. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 370 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: Изд-во ТИНРО-центр, 2008. 481 с.

Boveng P.L., Ziel H.L., McClintock B.T., Cameron M.F. Body condition of phocid seals during a period of rapid environmental change in the Bering Sea and Aleutian Islands, Alaska // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2020. V. 181. P. 104904. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104904>.

Cheung W.W., Lam V.W., Sarmiento J.L. et al. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios // Fish and fisheries. 2009. V. 10(3). P. 235–251. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x>.

Conte F.P., Wagner H.H., Fessler J., Gnose C. Development of osmotic and ionic regulation in juvenile coho salmon *Oncorhynchus kisutch* // Comparative Biochemistry and Physiology. 1966. V. 18. № 1. С. 1–15.

Crozier L.G., McClure M.M., Beechie T. et al. Climate vulnerability assessment for Pacific salmon and steelhead in the California Current Large Marine Ecosystem // PloS one. 2019. V. 14(7). e0217711. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217711>.

Farley E.V. Jr., Murphy J.M., Cieciel K. et al. Response of Pink salmon to climate warming in the northern Bering Sea // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2020. V. 177. P. 1–13.

Fergusson E., Miller T., McPhee M.V. et al. Trophic responses of juvenile Pacific salmon to warm and cool periods within inside marine waters of Southeast Alaska // Progress in Oceanography. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pocan.2020.102378>.

Hastings R.A., Rutterford L.A., Freer J.J. et al. Climate change drives poleward increases and equatorward declines in marine species // Current Biology. 2020. V. 30(8). P. 1572–1577. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.02.043>.

Irvine I.R., Ward B.W. Patterns of timing and size of wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts migrating from the Keogh River Watershed on northern Vancouver Island // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1989. V. 46. P. 1086–1094. <https://doi.org/10.1139/f89-140>.

Jones T., Divine L.M., Renner H. et al. Unusual mortality of Tufted puffins (*Fratercula cirrhata*) in the eastern Bering Sea // PloS one. 2019. V. 14(5). e0216532. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216532>.

Jones M.C., Berkelhammer M., Keller K.J. et al. High sensitivity of Bering Sea winter sea ice to winter insolation and carbon dioxide over the last 5500 years // Science advances. 2020. V. 6(36). eaaz9588. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz9588>.

Kaeriyama M., Seo H., Qin Y. Effect of global warming on the life history and population dynamics of Japanese chum salmon // Fisheries Science. 2014. V. 80. № 2. С. 251–260. <https://doi.org/10.1007/s12562-013-0693-7>.

Kennedy J.J., Rayner N.A., Atkinson C.P., Killick R.E. An ensemble data set of sea surface temperature change from 1850: the Met Office Had-

- ley Centre HadSST.4.0.0.0 data set // J. of Geophysical Research: Atmospheres. 2019. V. 124. <https://doi.org/10.1029/2018JD029867>.
- Lewis K.M., Van Dijken G.L., Arrigo K.R.* Changes in phytoplankton concentration now drive increased Arctic Ocean primary production // Science. 2020. V. 369(6500). P. 198–202. <https://doi.org/10.1126/science.aay8380>.
- Li W., Li L., Ting M., Liu Y.* Intensification of Northern Hemisphere subtropical highs in a warming climate // Nature Geoscience. 2012. V. 5(11). P. 830–834. <https://doi.org/10.1038/ngeo1590>.
- Little A.G., Loughland I., Seebacher F.* What do warming waters mean for fish physiology and fisheries? // J. Fish Biol. 2020. V. 97. P. 328–340. DOI: 10.1111/jfb.14402 <https://doi.org/10.1111/jfb.14402>.
- Price M.H., Moore J.W., Connors B.M. et al.* Portfolio simplification arising from a century of change in salmon population diversity and artificial production // J. of Applied Ecology. 2021. V. 00. P. 1–10.
- Rich W.H., Holmes H.B.* Experiments in marking young chinook salmon on the Columbia River, 1916 to 1927 // US Government Printing Office. 1929. V. 1047. P. 215–287.
- Ricker W.E.* Hereditary and environmental factors affecting certain salmonid populations / In: R.C Simon (ed.) The stock concept in Pacific salmon. H.R. McMillan lectures in Fisheries. Institute of Fisheries. University of British Columbia. Vancouver. B.C, 1972. P. 19–160.
- Smith J.A., Muhling B., Sweeney J. et al.* The potential impact of a shifting Pacific sardine distribution on US West Coast landings // Fisheries Oceanography. 2021. V. 00. P. 1–18.
- Sydemann W.J., Poloczanska E., Reed T.E., Thompson S.A.* Climate change and marine vertebrates // Science. 2015. V. 350(6262). P. 772–777. <https://doi.org/10.1126/science.aac9874>.
- Ueno H., Komatsu M., Ji Z. et al.* Stratification in the northern Bering Sea in early summer of 2017 and 2018 // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2020. V. 181. 104820. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2020.104820>.
- Waples R.S., Pess G.R., Beechie T.* Evolutionary history of Pacific salmon in dynamic environments // Evolutionary Applications 1. 2008. P. 189–206.
- Weatherdon L.V., Magnan A.K., Rogers A.D. et al.* Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism, and human health: an update // Frontiers in Marine Science. 2016. V. 3(48). P. 1–21. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00048>.
- Weisbart M.* Osmotic and ionic regulation in embryo, alevins and fry of the five species of Pacific salmon // Can. J. Zool. 1968. V. 46. P. 385–397.
- Yang H., Lohmann G., Wei W. et al.* Intensification and poleward shift of subtropical western boundary currents in a warming climate // J. of Geophysical Research: Oceans. 2016. V. 121(7). P. 4928–4945. <https://doi.org/10.1002/2015JC011513>.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**PACIFIC SALMON (ONCORHYNCHUS) IN THE
CONTEXT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE**

© 2021 г. S.I. Marchenko

Russian Federal Research Institute of the Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

This paper discussed the impact of global warming on the Pacific salmon of the Russian Far East. The probable reasons for changes in catch volumes, timing of spawning migration and biological indicators of fish are considered.

Key words: Pacific salmon (*Oncorhynchus*), global warming, catch, spawning migration, biological indicators