

УДК 597.553.2.591.134

ИЗМЕНЕНИЯ ВОЗРАСТА, РАЗМЕРОВ И ТЕМПА РОСТА АНАДЫРСКОЙ КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA* (SALMONIDAE) В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

© 2025 г. А. В. Шестаков¹, *, С. И. Грунин¹

¹Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН – ИБПС ДВО РАН,
Магадан, Россия

*E-mail: a.v.shestakov@mail.ru

Поступила в редакцию 21.03.2024 г.

После доработки 17.04.2024 г.

Принята к публикации 18.04.2024 г.

В результате исследования межгодовой изменчивости возрастного состава, размеров тела и темпа роста анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в 2011–2023 гг. установлено, что длина и масса тела особей всех возрастных групп в 2016–2023 гг. значительно уменьшились по сравнению с предыдущим периодом, особенно у рыб в возрасте 0.4. Доля рыб младших возрастных групп увеличилась. По расчисленным данным в 2012–2022 гг. темп роста кеты на 1–2-м годах жизни снижался, а на 3–4-м годах наблюдались разнонаправленные тренды, причем наиболее низкие приросты длины тела отмечены в 2016 и 2020 гг. Снижение производственных показателей анадырской кеты в современный период происходило одновременно с уменьшением численности этого вида лососей на всем его морском ареале в Северной Пацифике и мало зависело от численности остальных видов лососей. Полученные данные ставят под сомнение ведущую роль так называемого плотностного фактора в определении производственных характеристик рыб, выражавшегося в нехватке пищи в связи с ростом численности тихоокеанских лососей. Аномально высокие температуры поверхности северо-восточной части Тихого океана, наблюдавшиеся в последние семь–восемь лет, оказали заметное негативное влияние на рост анадырской кеты.

Ключевые слова: кета, длина тела, масса тела, возраст, темп роста, глобальная температурная аномалия, р. Анадырь.

DOI: 10.31857/S0042875225020069, EDN: СВЕНОН

На северо-востоке России в крупнейшем бассейне р. Анадырь расположен нерестовый ареал самого большого в регионе стада кеты *Oncorhynchus keta*, имеющего в настоящее время важнейшее значение в экономике Чукотского автономного округа и традиционном укладе жизни коренных народностей Чукотки.

Изменчивость размеров тела и роста рыб, которая определяется сочетанием множества внешних (абиотических и биотических) и внутренних факторов различной природы (Чугунова, 1959; Мина, Клевезаль, 1976; Дгебуадзе, 2001), может служить интегральной характеристикой условий обитания кеты.

Ранние исследования многолетней динамики размеров и возраста анадырской кеты (1962–2010 гг.) показали, что длина и масса тела возвращающихся на нерест производителей значительно меняются: в 1990–2000-х по сравнению с 1960–1970-ми гг. размеры кеты сильно уменьшились, как и темп роста после первого года жизни, а возраст созревания рыб увеличился (Заволокин и др., 2012). Эти изменения совпали с периодом роста численности лососей в северной части Тихого океана, поэтому высказывались предположения о дефиците кормовых ресурсов для нагуливающихся здесь рыб (Ishida et al., 1993; Bigler et al., 1996; Путикин, 1999; Черешнев и др., 2002; Макоедов и др., 2009).

Результаты последующих многолетних исследований российских специалистов (Шунтов, Темных, 2008, 2011; Заволокин, 2015; Шунтов и др., 2017) по определению состояния пищевой обеспеченности тихоокеанских лососей (род *Oncorhynchus*) в западной части Северной Пацифики не подтвердили широко распространённое мнение о ведущей роли плотностного фактора в наблюдаемом снижении производственных характеристик лососей. Было сделано заключение о том, что ключевой причиной изменений морского роста анадырской кеты может быть температурный режим вод океана (Заволокин и др., 2012). Однако ряд исследователей (Debertin et al., 2017; Ruggerone, Irvine, 2018; Ruggerone et al., 2023) представили альтернативную точку зрения. Они предположили, что конкуренция лососей за добычу на обширных территориях северной части Тихого океана, зависящая в основном от возрастающей численности горбуши *O. gorbuscha*, может привести к замедлению их роста и выживаемости, а также к задержке созревания рыб.

За последние два десятилетия Мировой океан существенно потеплел (Kennedy et al., 2019; Annual mean temperature change for hemispheres¹). Одновременно с долгосрочным устойчивым потеплением увеличилась частота периодов чрезвычайно высоких температур поверхности океана в определённых регионах (морские волны тепла), которые в связи с антропогенным изменением климата, вероятно, станут более частыми, более интенсивными и продолжительными на протяжении всего XXI века (Frölicher et al., 2018; Oliver et al., 2018). Так, в северо-восточной части Тихого океана самая последняя морская волна тепла продолжалась в течение почти трёх лет, с 2019 по 2021 г., с интенсивностью 1.6°C (средняя аномалия температуры морской воды во время события) (Barkhordarian et al., 2022).

Эти периоды экстремально высоких температур поверхности моря оказывают серьёзное негативное воздействие на морские организмы и экосистемы (Smale et al., 2019; Laufkotter et al., 2020), следовательно, и на рыболовство в Северной Пацифики. Здесь, судя по сведениям, представленным в документах Комиссии по анадромным рыбам северной части Тихого океана (NPAFC) (http://www.npacf.org/new/pub_documents.html), в конце 2010-х—начале

2020-х гг. наблюдается снижение численности (уловов) кеты, кижуча *O. kisutch* и чавычи *O. tshawytscha*.

Мы заметили, что в 2020–2023 гг. на фоне сокращения численности анадырской кеты произошло также и значительное уменьшение размеров, темпа роста и возраста созревания особей этого вида. В связи с этим полагаем, что необходимо продолжение исследований динамики производственных показателей кеты и обуславливающих её факторов, что очень важно для рационального использования запасов лососей.

Цель настоящей работы — проанализировать изменения размерно-возрастной структуры и межгодового роста анадырской кеты в зависимости от глобальной температурной аномалии в 2011–2023 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использовали материалы, собранные в августе–сентябре 2011–2023 гг. в среднем течении р. Анадырь. Рыб отлавливали ставными сетями и закидным неводом на постоянных участках в районе основных нерестилищ кеты. Ежегодно методами биологического анализа исследовали 167–290 рыб, собранных на протяжении всего массового хода лосося (табл. 1).

Обработку материала проводили в полевых и камеральных условиях, используя стандартные ихтиологические методики (Правдин, 1966). У всех рыб определяли длину тела по Смитту (*FL*), массу тела, пол и возраст по чешуе, взятой выше боковой линии на уровне задней части спинного плавника. Для обозначения возраста рыб использовали систему, включающую число полных пресноводных и морских лет жизни. Обработка чешуй, кроме определения возраста, включала измерения наибольшего радиуса чешуи и годовых зон, за окончание которых принимали область сближенных склеритов (рис. 1). Зоной заключительного прироста называли участок на чешуе от последней годовой зоны до края. Измерения проводили в программе AmScope ToupView 3.1 по изображениям, полученным с применением микроскопа МБС-10 (“ЛЗОС”, Россия) и цифровой камеры MU 900 (“AmScope”, Китай). Для выяснения темпа морского роста кеты рассчитывали средние значения годовых приростов особей в возрасте 0.3 и 0.4, отловленных в 2016–2023 гг. Анализировали рост по данным обратных расчётов по формуле прямой пропорциональности Леа

¹ Annual mean temperature change for hemispheres. GISS Surface Temperature Analysis (v4) (https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs_v4/. Version 03/2024).

Таблица 1. Длина и масса анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в 2011–2023 гг.

Год	Возрастная группа, лет						Число рыб, экз.	
	0.2	0.3	0.4	0.5	Все			
Год	FL, см	Масса, кг	FL, см	Масса, кг	FL, см	Масса, кг	FL, см	Масса, кг
2011	<u>56.0</u>	<u>2.00</u>	<u>58.8 ± 0.6</u>	<u>2.59 ± 0.10</u>	<u>62.1 ± 0.8</u>	<u>3.04 ± 0.14</u>	<u>59.8 ± 0.6</u>	<u>2.73 ± 0.10</u>
			<u>63.6 ± 0.8</u>	<u>3.35 ± 0.14</u>	<u>69.3 ± 1.0</u>	<u>4.36 ± 0.20</u>	<u>65.4 ± 0.8</u>	<u>3.67 ± 0.16</u>
2012	<u>54.0</u>	<u>1.93</u>	<u>59.5 ± 1.0</u>	<u>2.63 ± 0.12</u>	<u>62.5 ± 0.6</u>	<u>3.06 ± 0.10</u>	<u>62.2 ± 0.6</u>	<u>3.04 ± 0.10</u>
			<u>63.9 ± 1.6</u>	<u>3.40 ± 0.24</u>	<u>67.7 ± 0.6</u>	<u>3.97 ± 0.14</u>	<u>67.1 ± 0.6</u>	<u>3.89 ± 0.14</u>
2013	<u>59.0</u>	<u>2.74</u>	<u>59.3 ± 0.6</u>	<u>2.74 ± 0.08</u>	<u>62.1 ± 1.4</u>	<u>3.19 ± 0.25</u>	<u>68.0</u>	<u>4.43</u>
			<u>64.7 ± 0.6</u>	<u>3.60 ± 0.12</u>	<u>68.5 ± 1.6</u>	<u>4.33 ± 0.37</u>	<u>74.3</u>	<u>5.73</u>
2014	<u>55.3 ± 1.2</u>	<u>2.05 ± 0.15</u>	<u>59.0 ± 0.8</u>	<u>2.68 ± 0.12</u>	<u>62.7 ± 0.6</u>	<u>3.11 ± 0.12</u>	<u>60.6 ± 0.6</u>	<u>2.86 ± 0.10</u>
			<u>64.5 ± 1.0</u>	<u>3.45 ± 0.16</u>	<u>68.4 ± 0.8</u>	<u>4.20 ± 0.18</u>	<u>66.4 ± 0.8</u>	<u>3.82 ± 0.14</u>
2015	<u>56.2 ± 3.3</u>	<u>1.96 ± 0.39</u>	<u>59.4 ± 0.6</u>	<u>2.75 ± 0.10</u>	<u>63.8 ± 1.2</u>	<u>3.54 ± 0.18</u>	<u>60.2 ± 0.6</u>	<u>2.85 ± 0.10</u>
			<u>62.7 ± 1.4</u>	<u>3.26 ± 0.22</u>	<u>65.1 ± 0.6</u>	<u>3.71 ± 0.14</u>	<u>70.4 ± 1.2</u>	<u>4.86 ± 0.24</u>
2016	<u>53.4 ± 0.8</u>	<u>1.83 ± 0.10</u>	<u>59.3 ± 0.6</u>	<u>2.61 ± 0.08</u>	<u>62.4 ± 0.8</u>	<u>3.06 ± 0.12</u>	<u>73.2</u>	<u>5.78</u>
			<u>64.6 ± 0.8</u>	<u>3.34 ± 0.12</u>	<u>68.2 ± 0.8</u>	<u>4.13 ± 0.16</u>	<u>72.1 ± 2.0</u>	<u>4.95 ± 0.41</u>
2017	<u>53.4 ± 1.4</u>	<u>1.88 ± 0.22</u>	<u>58.7 ± 0.6</u>	<u>2.60 ± 0.10</u>	<u>61.6 ± 0.8</u>	<u>3.16 ± 0.12</u>	<u>66.0 ± 2.0</u>	<u>3.86 ± 0.45</u>
			<u>62.8 ± 0.8</u>	<u>3.25 ± 0.16</u>	<u>66.0 ± 0.8</u>	<u>3.94 ± 0.16</u>	<u>69.9 ± 1.2</u>	<u>4.85 ± 0.35</u>
2018	<u>53.7</u>	<u>1.79</u>	<u>58.5 ± 0.6</u>	<u>2.54 ± 0.08</u>	<u>61.7 ± 0.6</u>	<u>3.07 ± 0.12</u>	<u>65.1 ± 1.2</u>	<u>3.66 ± 0.20</u>
			<u>61.6 ± 1.0</u>	<u>3.04 ± 0.22</u>	<u>65.2 ± 0.6</u>	<u>3.74 ± 0.14</u>	<u>70.6 ± 1.2</u>	<u>4.87 ± 0.31</u>
2019	<u>52.5</u>	<u>1.62</u>	<u>58.8 ± 0.6</u>	<u>2.61 ± 0.10</u>	<u>63.1 ± 0.8</u>	<u>3.35 ± 0.14</u>	<u>70.6 ± 2.5</u>	<u>5.05 ± 0.45</u>
			<u>63.1 ± 0.8</u>	<u>3.33 ± 0.16</u>	<u>67.5 ± 1.0</u>	<u>4.27 ± 0.22</u>		
2020	<u>53.6 ± 1.2</u>	<u>1.85 ± 0.14</u>	<u>58.5 ± 0.8</u>	<u>2.61 ± 0.14</u>	<u>62.6 ± 1.0</u>	<u>3.26 ± 0.14</u>	<u>69.3</u>	<u>4.10</u>
			<u>63.3 ± 1.0</u>	<u>3.43 ± 0.18</u>	<u>65.4 ± 1.6</u>	<u>3.76 ± 0.33</u>		
2021	<u>55.0 ± 2.1</u>	<u>2.04 ± 0.30</u>	<u>57.4 ± 0.6</u>	<u>2.43 ± 0.08</u>	<u>61.0 ± 1.4</u>	<u>2.96 ± 0.22</u>	<u>69.3</u>	<u>4.10</u>
			<u>60.6 ± 0.6</u>	<u>2.94 ± 0.12</u>	<u>65.0 ± 1.4</u>	<u>3.66 ± 0.28</u>		
2022	<u>55.0</u>	<u>1.82</u>	<u>58.8 ± 0.6</u>	<u>2.58 ± 0.10</u>	<u>59.2 ± 0.8</u>	<u>2.62 ± 0.12</u>	<u>64.1 ± 0.14</u>	<u>3.41 ± 0.14</u>
			<u>62.0 ± 1.0</u>	<u>3.05 ± 0.16</u>				
2023			<u>56.9 ± 0.8</u>	<u>2.38 ± 0.12</u>	<u>61.5 ± 1.2</u>	<u>3.12 ± 0.18</u>	<u>63.5 ± 3.3</u>	<u>3.60 ± 0.39</u>
			<u>61.2 ± 0.6</u>	<u>2.99 ± 0.10</u>	<u>65.3 ± 1.4</u>	<u>3.80 ± 0.25</u>	<u>67.2 ± 2.2</u>	<u>4.08 ± 0.51</u>

Примечание. Над чертой — показатели ($M \pm 95\%$ -ный доверительный интервал) для самок, под чертой — для самцов. Здесь и в табл. 2: M — среднее значение; здесь и в табл. 3, 4: FL — длина тела по Смитту.

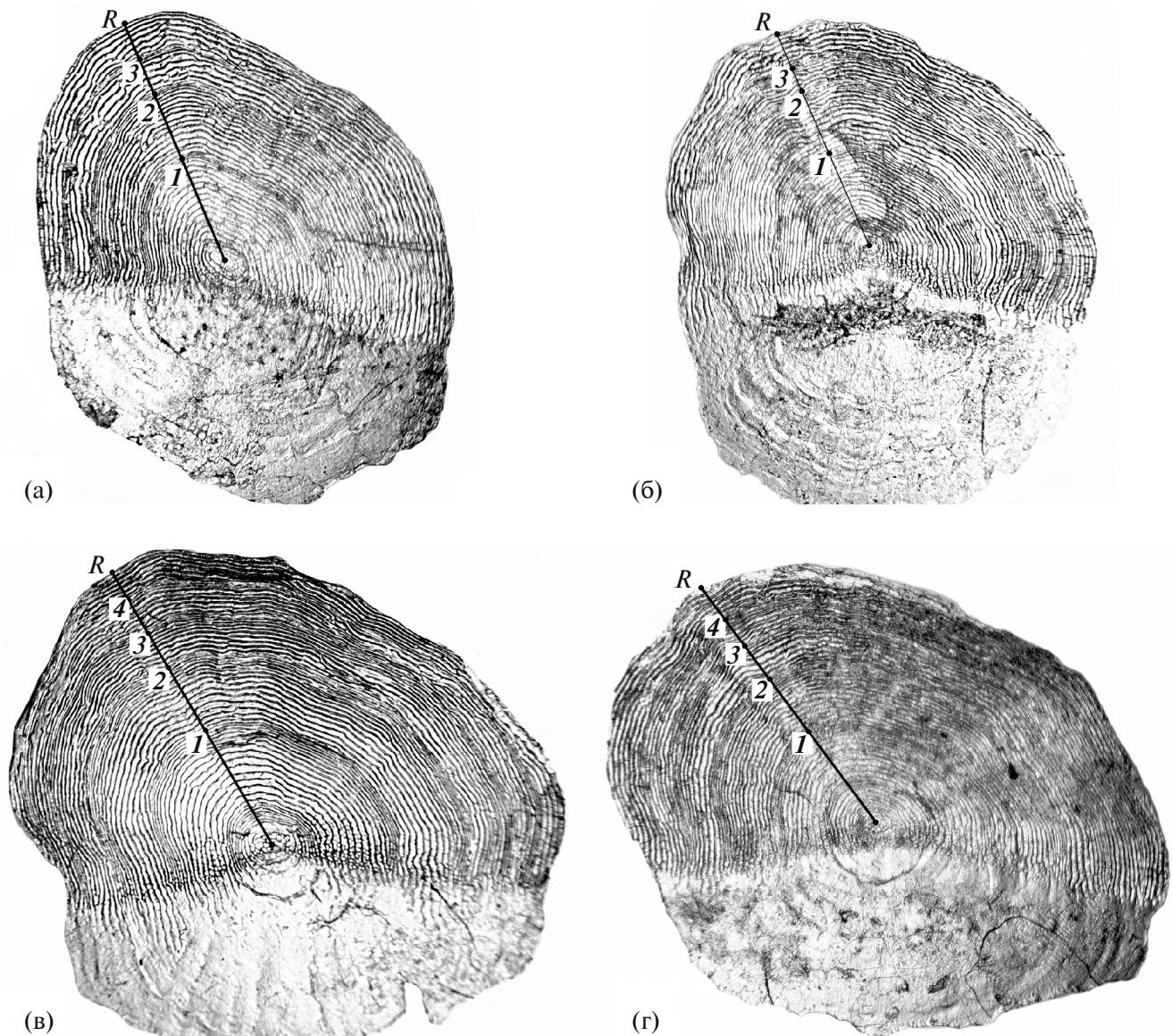


Рис. 1. Чешуи анадырской кеты *Oncorhynchus keta*: а — самка $FL\ 51.0$ см, возраст 0.3; б — самец $FL\ 55.5$ см, возраст 0.3; в — самка $FL\ 55.4$ см, возраст 0.4; г — самец $FL\ 60.0$ см, возраст 0.4. R — наибольший радиус чешуи; 1—4 — радиусы соответствующих годовых зон.

(Lea, 1910 — цит. по: Дгебуадзе, Чернова, 2009). Всего исследовано 418 экз. в возрасте 0.3 и 351 экз. в возрасте 0.4. В выборках каждого года самки и самцы присутствовали примерно в равном соотношении.

В качестве показателя обилия лососей в Северной Пацифике использовали доступные на сайте NPAFC (http://www.npacf.org/new/pub_documents.html) данные общего вылова всеми странами северотихоокеанского бассейна.

Влияние климатических факторов на рост кеты оценивали с помощью индекса глобальной температурной аномалии в Северном полуша-

рии Земли (N.HEMI + dSST), который рассчитывают по данным всех доступных метеорологических станций, с учётом данных реконструкции температуры поверхности моря как отклонение от среднего значения за 1951–1980 гг. (Hansen et al., 2010; Annual mean temperature change for hemispheres¹).

При оценке ежегодной связи размеров рыб с суммарным выловом лососей в Северной Пацифике учитывали временной сдвиг в 2–4 года для кеты соответствующих возрастных групп. Статистическую обработку проводили в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Возрастная структура. Анадырская кета в основном созревает на 3–6-м году жизни (возраст 0.2–0.5). В 2011–2023 гг. особи в возрасте 0.3 и 0.4 традиционно составляли основу численности рыб, вернувшихся на нерест. В большинстве лет доминировали рыбы в возрасте 0.3 (44–90%) и только в 2012, 2014, 2022 гг. преобладала кета в возрасте 0.4 (52–77%). Особи в возрасте 0.2 были довольно многочисленны в 2016 и 2020 гг. (11 и 23%), а в возрасте 0.5 — в 2017 и 2018 гг. (8 и 14%). В 2012 г. отмечен максимальный средний возраст нерестовой части стада — 3.9 лет (в 2018 г. средний возраст тоже был высок — 3.7 лет), что связано с высокой долей рыб в возрасте 0.4 и 0.5, а в 2013, 2020 и 2021 гг. минимальный — 3.1 лет (рис. 2). Значительных различий в динамике возрастной структуры самцов и самок в рассматриваемый период не отмечено.

Длина и масса тела. У анадырской кеты в возрасте 0.3 средняя длина тела с 2011 до 2016 г. незначительно варьировала год от года в пределах 58.8–59.5 (среднегодовая 59.2) см у самок

и в пределах 63.6–65.1 (64.4) см у самцов, а у рыб в возрасте 0.4 — соответственно 62.1–63.8 (62.6) и 67.7–70.4 (68.8) см. Затем началось заметное снижение размеров кеты, и с 2017 по 2023 г. среднегодовая длина тела самок в возрасте 0.3 составила 58.2 см, самцов — 62.1 см, а у рыб в возрасте 0.4 соответственно 61.5 и 65.5 см. В 2021 г. произошло значимое резкое уменьшение средней длины рыб в возрасте 0.3, в 2022 г. — в возрасте 0.4, в 2023 г. — в возрасте 0.5 (табл. 1). Масса тела кеты изменялась сходным образом. В 2011–2016 гг. отмечены наиболее крупные рыбы: средняя масса самок кеты в возрасте 0.3 составила 2.67 кг, самцов — 3.47 кг, а в возрасте 0.4 — соответственно 3.17 и 4.31 кг. В 2021 г. наблюдалась наименьшая масса тела кеты в возрасте 0.3 (у самок 2.43 кг, у самцов 2.94 кг), а в 2022 г. — в возрасте 0.4 (соответственно 2.62 и 3.41 кг). У рыб в возрасте 0.2 наименьшие размеры отмечены в 2016–2017 гг. и в 2020 г. Тренд снижения продукционных показателей кеты в последние годы у самок был выражен менее отчётливо, чем у самцов того же возраста.

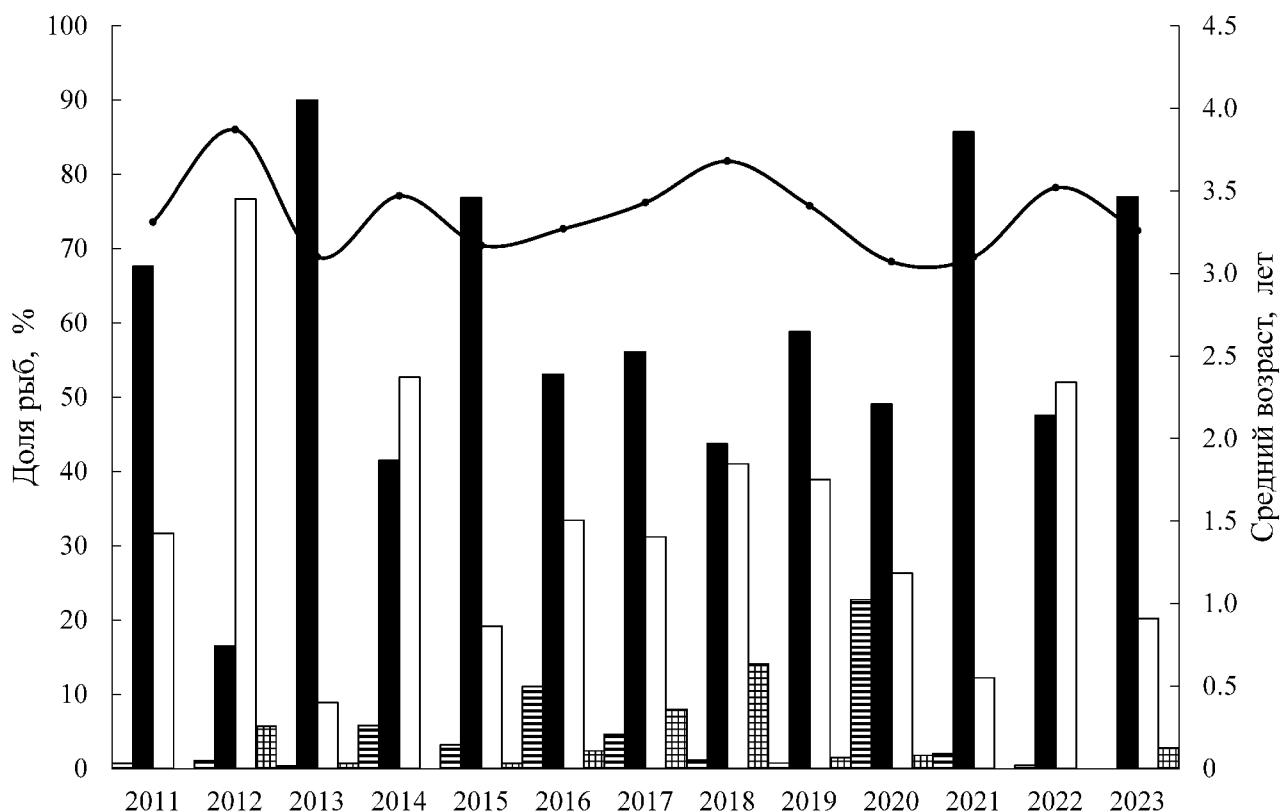


Рис. 2. Возрастной состав анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в уловах 2011–2023 гг.: (■) — 0.2, (■) — 0.3, (□) — 0.4, (▨) — 0.5. (—•—) — средний возраст.

Расчисленные приросты длины тела кеты в исследуемый период в среднем составили 25.8, 15.7, 8.6, 6.9 см у самок и 26.1, 16.7, 9.2, 7.5 см у самцов. В первый год жизни темп роста рыб разного пола существенно не менялся. В дальнейшем самцы имели более высокий прирост длины тела, особенно значительные достоверные различия отмечены на заключительном этапе морского периода жизни кеты во время активных преднерестовых миграций (апрель–июль) (рис. 3). Так, средний прирост длины тела самок в этот период жизни составил 6.3 см, а самцов почти на 25% больше (8.1 см). Следует также отметить, что межгодовые изменения расчисленных приростов у самок и самцов происходили синхронно для всех годовых зон, поэтому для дальнейшего анализа эти данные по рыбам разного пола были объединены.

В первый год жизни длина тела кеты в возрасте 0.3 и 0.4 существенно не менялась до 2016 г. (в среднем 26.6 см), затем отмечено небольшое снижение до 25.5 см (табл. 2). Расчисленные приросты длины тела в последующие годы жизни в среднем составили 16.6, 9.6 см у рыб в возрасте 0.3 и 15.9; 8.2, 7.1 см у рыб в возрасте 0.4. Во второй год жизни минимальный прирост у рыб обеих возрастных групп наблюдался в 2017 г., а максимальный — в 2018 г. На третьем и четвёртом годах жизни наиболее низкие темпы роста отмечены в 2016 и 2020 гг. — годовые приросты длины тела у рыб в возрасте 0.3 значительно снизились соответственно до 8.1 ± 0.4 и 8.7 ± 0.4 см, а у рыб в возрасте 0.4 — до 6.4 ± 0.6 и 6.0 ± 0.8 см. В зоне заключительного прироста тенденций в изменениях темпа роста кеты не отмечено.

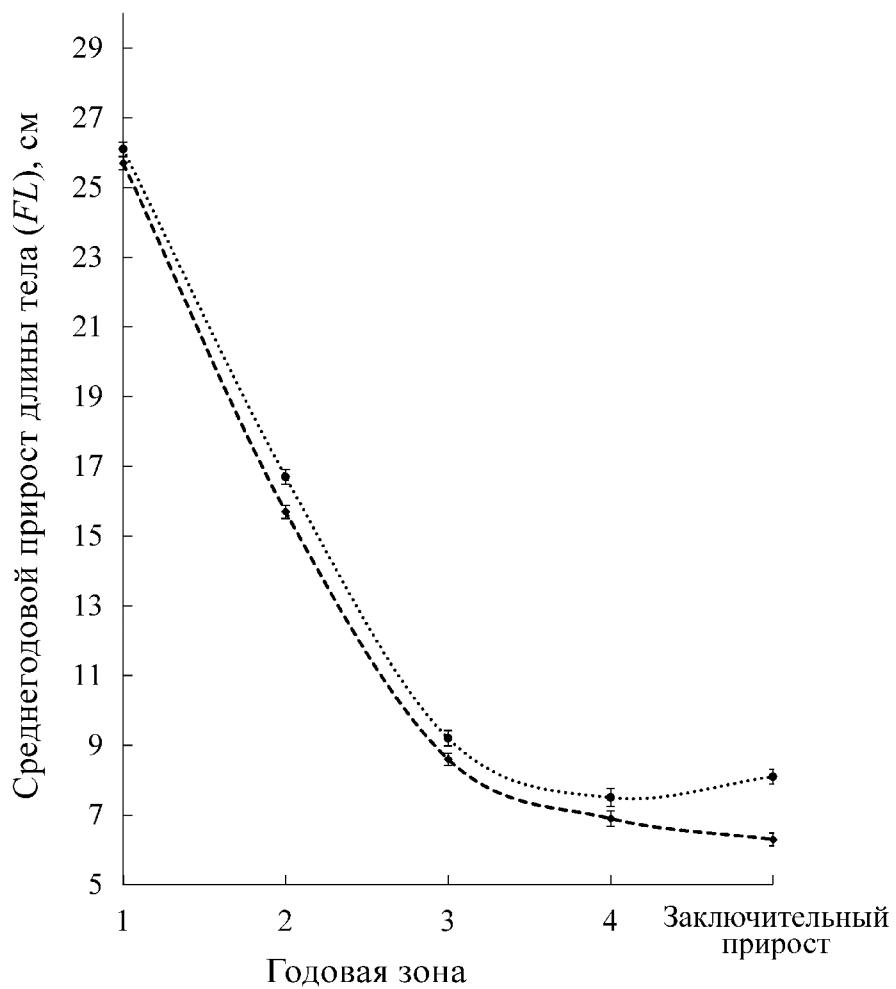


Рис. 3. Темп линейного роста анадырской кеты *Oncorhynchus keta* по расчисленным данным в 2012–2023 гг.: (—◆—) — самки, (····) — самцы. Здесь и на рис. 4: (I) — 95%-ные доверительные интервалы.

Таблица 2. Расчисленные годовые приrostы длины тела ($M \pm 95\%$ -ный доверительный интервал) анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в возрасте 0.3 и 0.4 в разные периоды, см

Период, гг.	Годовая зона					Число рыб, экз
	1-я	2-я	3-я	4-я	Заключительный прирост	
Возраст 0.3						
2013–2016	27.0 \pm 0.6	17.9 \pm 0.6	9.6 \pm 0.6		7.3 \pm 0.6	49
2014–2017	26.6 \pm 0.6	16.7 \pm 0.6	8.1 \pm 0.4		8.9 \pm 0.8	46
2015–2018	26.4 \pm 0.6	16.9 \pm 0.6	8.5 \pm 0.4		7.9 \pm 0.8	38
2016–2019	27.1 \pm 0.4	15.5 \pm 0.4	11.5 \pm 0.4		7.4 \pm 0.6	57
2017–2020	25.6 \pm 0.6	17.4 \pm 0.6	9.8 \pm 0.6		8.1 \pm 0.8	41
2018–2021	25.4 \pm 0.4	17.0 \pm 0.4	8.7 \pm 0.4		7.9 \pm 0.4	80
2019–2022	25.6 \pm 0.6	16.1 \pm 0.6	10.3 \pm 0.4		7.9 \pm 0.6	54
2020–2023	25.3 \pm 0.4	15.4 \pm 0.4	10.2 \pm 0.4		7.3 \pm 0.6	53
Возраст 0.4						
2012–2016	26.7 \pm 0.4	16.3 \pm 0.6	8.7 \pm 0.4	7.4 \pm 0.6	6.2 \pm 0.4	46
2013–2017	26.1 \pm 0.6	16.6 \pm 0.6	7.7 \pm 0.6	6.4 \pm 0.6	7.3 \pm 0.8	42
2014–2018	26.6 \pm 0.6	15.9 \pm 0.8	7.5 \pm 0.6	7.1 \pm 0.6	6.3 \pm 0.6	37
2015–2019	25.4 \pm 0.6	16.6 \pm 0.6	8.8 \pm 0.6	8.2 \pm 0.4	6.3 \pm 0.6	47
2016–2020	27.1 \pm 0.8	14.6 \pm 0.8	8.8 \pm 0.6	6.9 \pm 0.6	6.2 \pm 0.8	30
2017–2021	25.9 \pm 0.6	16.9 \pm 0.8	8.3 \pm 0.8	6.0 \pm 0.8	6.2 \pm 0.6	26
2018–2022	25.4 \pm 0.4	14.7 \pm 0.6	7.5 \pm 0.4	7.6 \pm 0.4	6.4 \pm 0.4	74
2019–2023	25.1 \pm 0.6	15.6 \pm 0.6	8.6 \pm 0.4	7.4 \pm 0.4	6.5 \pm 0.4	49

ОБСУЖДЕНИЕ

Анадырская кета характеризуется кратким пресноводным и длительным морским периодами жизни. Её зимовка, в том числе и молоди, проходит преимущественно в восточном и центральном секторах тихоокеанских вод южнее Алеутских о-вов (Атлас ..., 2002). Летом рыбы мигрируют на нагул в Берингово море, которое также является важнейшим районом нагула многих стад кеты азиатского и американского происхождения (Бирман, 1985; Salo, 1991; Ogura, 1994; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Заволокин, 2015), а осенью они вновь уходят в океан. После достижения половой зрелости (в основном на 4–5-м году жизни) кета возвращается на нерест в р. Анадырь.

По нашим данным, в последние 13 лет продолжился тренд снижения производственных

показателей анадырской кеты, который прослеживается с 1940-х гг. (Черешнев и др., 2002; Макоедов и др., 2009; Заволокин и др., 2012). По сравнению с 1938–1982 гг. средняя длина самок кеты в настоящее время уменьшилась на 3.0 см, масса — на 0.53 кг, а самцов — соответственно на 1.9 см и 0.59 кг. Особенно резкое снижение значений этих показателей произошло в 2020–2023 гг. Средняя длина тела самок снизилась до 58.6 см (на 6.7%), масса — до 2.60 кг (на 21.2%), а самцов — соответственно до 61.9 см (на 7.1%) и до 3.13 кг (на 25.3%) (табл. 3). Также к началу 2020-х гг. наблюдалась тенденция к росту доли особей младших возрастных групп (0.3 и 0.2) кеты.

Результаты исследований межгодовой динамики размеров и массы тела кеты в 2011–2023 гг. показывают, что с 2016 по 2023 г. у обоих полов

Таблица 3. Биологические показатели анадырской кеты *Oncorhynchus keta* за разные периоды наблюдений

Годы	Пол	FL, см	Масса, кг	Число рыб, экз.	Средний возраст, лет
1938–1982	Самки	<u>62.8</u> 50.0–78.2	<u>3.30</u> 1.45–5.85	2346	3.1
	Самцы	<u>66.6</u> 53.5–81.0	<u>4.19</u> 1.82–7.56	1873	
1983–2000	Самки	<u>61.1</u> 47.5–76.0	<u>2.99</u> 1.15–6.15	3492	3.4
	Самцы	<u>66.0</u> 51.5–82.0	<u>3.97</u> 1.38–7.74	2570	
2001–2010	Самки	<u>60.3</u> 48.0–72.5	<u>2.86</u> 1.18–5.85	2249	3.3
	Самцы	<u>66.2</u> 50.0–80.0	<u>3.94</u> 1.52–7.18	1481	
2011–2019	Самки	<u>60.3</u> 50.0–72.0	<u>2.83</u> 1.32–5.09	1372	3.4
	Самцы	<u>65.7</u> 48.5–77.5	<u>3.77</u> 1.48–7.13	1159	
2020–2023	Самки	<u>58.6</u> 49.5–70.0	<u>2.60</u> 1.44–4.22	483	3.2
	Самцы	<u>61.9</u> 51.5–73.5	<u>3.13</u> 1.59–5.01	436	

Примечание. Над чертой — среднее значение, под чертой — пределы варьирования показателя. Данные за 1938–2000 гг. взяты из работы Черешнева с соавторами (2002); данные за 2001–2010 гг. — из архивов лаборатории ихтиологии ИБПС ДВО РАН.

прослеживается тренд снижения средней длины и массы производителей всех возрастных групп, наиболее выраженный в возрасте 0.4. (табл. 1). Кроме того, уменьшение размеров сопровождалось, как правило, снижением возраста достижения половой зрелости кеты. Так, средний возраст рыб понизился с 3.4 в 2011–2019 гг. до 3.2 в 2020–2023 гг. (табл. 3).

Судя по расчисленным приростам длины тела, в 2012–2022 гг. темп роста на первом и втором годах жизни уменьшался, а на третьем и четвёртом годах отмечены разнонаправленные тренды. Все межгодовые изменения приростов кеты на 3–4-м гг. жизни происходили синхронно, а наиболее существенно темпы роста снижались в 2016 и 2020 гг. (рис. 4) — во время последних морских волн тепла 2014–2016 и 2019–2021 гг. (Barkhordarian et al., 2022).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что уменьшение размеров анадырской кеты во второй половине 2010-х

начале 2020-х гг. связано с сильным замедлением морского роста на третьем и четвёртом годах жизни рыб.

Последние исследования межгодовой динамики размеров тела кеты выявили, что для большинства популяций этого вида в различных регионах Северной Пацифики отмечали отрицательные тренды многолетней изменчивости длины и массы тела с конца 1970-х и до 2010-х гг. (Fukuwaka et al., 2007, 2009; Kaeriyama et al., 2007; Seo et al., 2009; Темных и др., 2011; Заволокин и др., 2012; Бугаев, 2017; Заварина, 2020). Падение значений производственных показателей кеты обычно связывают с высокой численностью лососей, которая наблюдается с конца 1990-х гг. Определяющую роль в этом, по мнению многих специалистов, играет так называемый плотностной фактор, выражющийся в нехватке пищи и обострении пищевой конкуренции (Ishida et al., 1993; Kishi et al., 2010; Карпенко и др., 2013; Кловач, Ельников, 2013; Ruggerone, Irvine, 2018; Ruggerone et al., 2023).

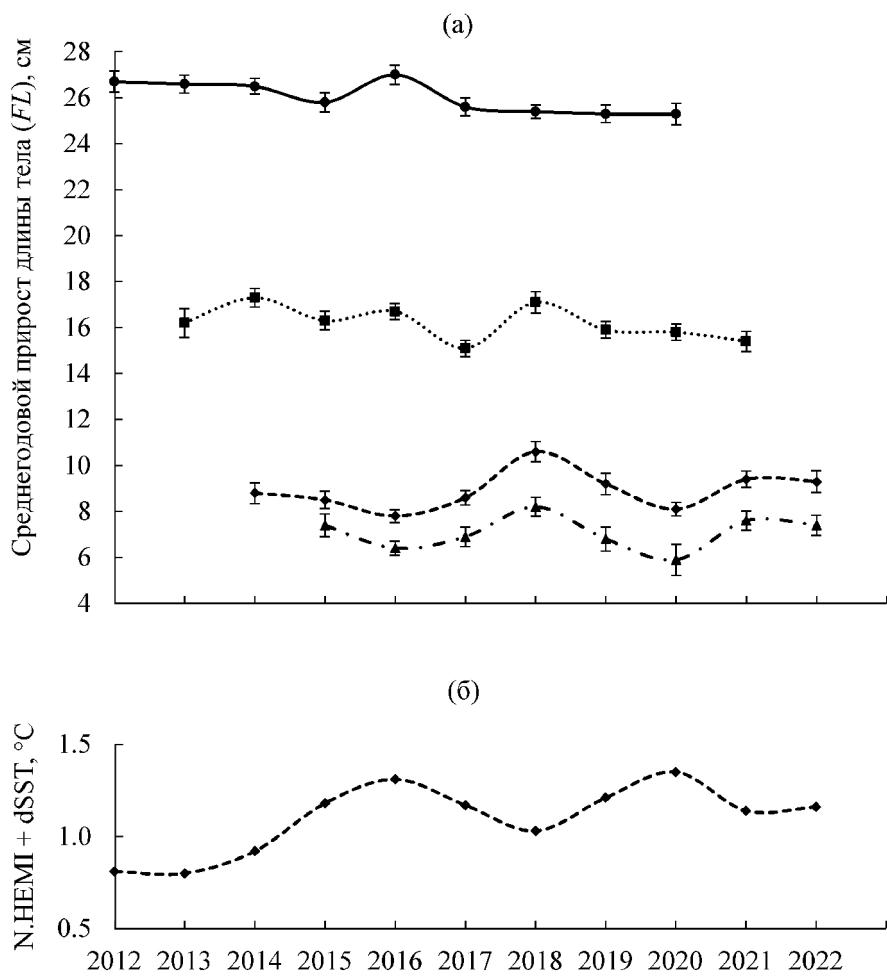


Рис. 4. Межгодовые изменения расчисленных приростов длины тела анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в возрасте 0.3 и 0.4 (а) и индекса глобальной температурной аномалии в Северном полушарии Земли (N.HEMI + dSST) (б) в 2012–2022 гг.

По нашим данным, в 2011–2023 гг., наоборот, отмечена положительная связь размеров рыб с суммарным выловом кеты (табл. 4) и слабая отрицательная связь с выловом горбуши в Северной Пацифике ($r = -0.19$ – -0.21). Кроме того, по данным ЧукотНИО, в начале 2020-х гг. численность этих видов лососей в Анадырском бассейне также значительно уменьшилась. Важно добавить, что азиатская горбуша во всех реках материкового побережья Берингова моря сравнительно малочисленна, а рыбоводное производство лососей в регионе полностью отсутствует. Из этого следует, что плотностной фактор не может быть первопричиной в наблюдаемом снижении продукционных характеристик анадырской кеты.

Влияние на рост лососей климатических факторов, которые во многом определяют гид-

рохимические и температурные характеристики среды обитания рыб, не вызывает сомнений. Современные результаты исследований оценки влияния климатической изменчивости на продуктивность тихоокеанских лососей позволили выделить наиболее значимый температурный параметр — индекс N.HEMI + dSST, который является универсальным показателем общего изменения климата относительно среднемноголетнего тренда (Myers et al., 2007; Заволокин и др., 2012; Бугаев, 2017; Бугаев и др., 2018, 2021). Межгодовая динамика этого индекса показала, что с конца 1980-х гг. наблюдается заметный тренд на его увеличение, а в последние 10 лет произошло два значительных скачка температуры воздуха и поверхностных океанических вод в Северной Пацифике (в 2016 и 2020 гг.), т.е. непосредственно в зоне нагула и зимовки

Таблица 4. Коэффициенты корреляции Пирсона между суммарным выловом кеты *Oncorhynchus keta* в Северной Пацифике и размерами тела анадырской кеты в 2011–2023 гг.

Возраст, лет	FL		Масса	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
0.2	0.39	0.21	0.43	0.17
0.3	0.83	<0.001	0.74	<0.01
0.4	0.76	<0.01	0.65	<0.05

Примечание. Здесь и в табл. 5: *r* — коэффициент корреляции, *p* — значение доверительной вероятности.

тихоокеанских лососей. Для оценки влияния наблюдаемых температурных аномалий на рост рыб мы сравнили расчисленные средние приросты длины анадырской кеты и изменчивость индекса N.HEMI + dSST в 2012–2022 гг. В первый и второй годы жизни рыб происходило небольшое снижение их роста после 2016 г., а на третьем и четвёртом наблюдалась синхронная обратная зависимость годовых приростов от изменений индекса температурной аномалии (рис. 4). Корреляционный анализ показал наличие умеренно-высокой отрицательной связи (табл. 5). Кроме того, установлено, что с данным индексом также отрицательно коррелирует суммарный вылов тихоокеанской кеты ($r = -0.80$, $p < 0.01$).

Таким образом, существенное ускорение темпа глобального потепления за последние семь–восемь лет, идентифицируемое по температурной аномалии в Северном полушарии Земли, оказало заметное негативное влияние на рост анадырской кеты. Отметим, что наибольшие изменения роста совпали с недавними серёзными морскими волнами тепла 2014–2016 и 2019–2021 гг. в северо-восточной части Тихого океана. Известно, что такие периоды экстремально высоких региональных температур поверхности океана могут изменить структуру

и функционирование целых морских экосистем, вызывая массовую смертность, сдвиги ареалов видов и перестройки сообществ (Smale et al., 2019). В будущем это может вызвать дополнительные проблемы в управлении лососёвым рыболовством, поскольку изменение климата подталкивает виды к полюсам и снижает продуктивность запасов некоторых видов (Cheung, Frölicher, 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возрастной состав анадырской кеты в рассматриваемый период включал в себя особей в возрасте 0.2–0.5. Основу возвращающихся на нерест производителей (>80%) составили рыбы в возрасте 0.3 и 0.4. В начале 2020-х гг. отмечена тенденция к росту доли рыб младших возрастных групп (0.3 и 0.2).

Длина и масса тела самок и самцов кеты всех возрастных групп с 2016 по 2023 г. значительно уменьшились по сравнению с предыдущим периодом, особенно у рыб в возрасте 0.4. В разные годы жизни в 2012–2022 гг. рост анадырской кеты менялся неодинаково. Темпы роста на первом и втором годах жизни немного снижались, а на третьем и четвёртом их существенное замедление отмечено в 2016 и 2020 гг.

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Пирсона между расчисленными приростами длины тела анадырской кеты *Oncorhynchus keta* и климатическим индексом глобальной температурной аномалии в Северном полушарии Земли (N.HEMI + dSST) в 2012–2023 гг.

Возраст, лет	Годовая зона									
	1-я		2-я		3-я		4-я		Заключительный прирост	
	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
0.3	-0.38	0.35	-0.50	0.21	-0.84	<0.01			-0.21	0.65
0.4	-0.21	0.61	-0.40	0.33	-0.78	<0.05	-0.98	<0.001	-0.20	0.67

Снижение продукционных показателей кеты в современный период происходило одновременно с уменьшением численности этого вида лососей на всем его морском ареале в Северной Пацифике и мало зависело от численности остальных видов лососей. Это ставит под сомнение ведущую роль так называемого плотностного фактора в определении продукционных характеристик рыб, выражающегося в нехватке пищи в связи с ростом численности тихоокеанских лососей.

Аномально высокие температуры поверхности северо-восточной части Тихого океана, наблюдавшиеся в последние семь–восемь лет, оказали заметное негативное влияние на рост анадырской кеты. Кроме того, в 2016 и 2020 гг. наблюдалось сокращение сроков морского и океанического нагула рыб, вызванное более ранним половым созреванием, что, возможно, является определённой реакцией на увеличение температурной аномалии. Недооценка взаимосвязи температурного режима вод и изменений продукционных характеристик региональных популяций кеты может привести к некорректному прогнозированию динамики запасов и дополнительным проблемам в управлении лососёвым рыболовством.

БЛАГОДАРНОСТИ

Искренне благодарны сотруднику ЧукотНИО Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО) Е.В. Голубь за предоставленные данные по величине подходов анадырской кеты и помочь в сборе материала.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Научные исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН № 122041900012-6. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Сбор материала и его обработка соответствовали международным нормам обращения с животными, соответствующим Директиве 2010/63/EU Европейского Парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 г. по охра-

не животных, используемых в научных целях (https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций. 2002. М.: Изд-во ВНИРО, 190 с.

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

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

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

Бугаев А.В., Фельдман М.Г., Тепнин О.Б., Коваль М.В. 2021. Аномалии температуры поверхности воды в западной части Северной Пацифики — потенциальный климатический предиктор прогнозирования численности тихоокеанских лососей Камчатки // Вопр. рыболовства. Т. 22. № 4. С. 46–62. <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2021-22-4-46-62>

Дгебуадзе Ю.Ю. 2001. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука, 276 с.

Дгебуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф. 2009. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Т-во науч. изд. КМК, 315 с.

Заварина Л.О. 2020. Оценка численности нерестовых подходов, промысла и биологического состояния кеты (*Oncorhynchus keta*) в бассейне реки Большой Воровской (Западная Камчатка) в современный период (2011–2019 гг.) // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 58. С. 42–50. <https://doi.org/10.15853/2072-8212.2020.57.42-50>

Заволокин А.В. 2015. Пищевая обеспеченность тихоокеанских лососей в период морского и океанического нагула: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-центр, 48 с.

Заволокин А.В., Кулик В.В., Глебов И.И. и др. 2012. Динамика размеров, возраста и внутригодовых темпов

- роста анадырской кеты *Oncorhynchus keta* в 1962–2010 гг. // Вопр. ихтиологии. Т. 52. № 2. С. 215–233.
- Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. 2013. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 303 с.
- Кловач Н.В., Ельников А.Н. 2013. Структура нерестового стада кеты *Oncorhynchus keta* Олюторского залива Берингова моря (Северо-восточная Камчатка) // Вопр. ихтиологии. Т. 53. № 6. С. 707–717. <https://doi.org/10.7868/S0042875213060040>
- Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. 2009. Азиатская кета. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 356 с.
- Мина М.В., Клевезаль Г.А. 1976. Рост животных. М.: Наука, 291 с.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 376 с.
- Путинкин С.В. 1999. Биология и динамика численности анадырской кеты: Автoref. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-центр, 24 с.
- Темных О.С., Заволокин А.В., Шевляков Е.А. и др. 2011. Особенности межгодовой изменчивости средних размеров и возрастного состава кеты российских стад // Бюл. № 6 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 228–241.
- Черешнев И.А., Волобуев В.В., Шестаков А.В., Фролов С.В. 2002. Лососевидные рыбы Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука, 496 с.
- Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд-во АН СССР, 164 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1. Владивосток: Изд-во ТИНРО-центр, 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 2. Владивосток: Изд-во ТИНРО-центр, 473 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С., Иванов О.А. 2017. Об устойчивости стереотипов в представлениях о морской экологии тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* spp. // Изв. ТИНРО. Т. 188. С. 3–36.
- Barkhordarian A., Nielsen D.M., Baehr J. 2022. Recent marine heatwaves in the North Pacific warming pool can be attributed to rising atmospheric levels of greenhouse gases // Commun. Earth Environ. V. 3. Article 131. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00461-2>
- Bigler B.S., Welch D.W., Helle J.H. 1996. A review of size trends among North Pacific salmon *Oncorhynchus* spp. // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 53. № 2. P. 455–465. <https://doi.org/10.1139/f95-181>
- Cheung W.W.L., Frölicher T.L. 2020. Marine heatwaves exacerbate climate change impacts for fisheries in the northeast Pacific // Sci. Rep. V. 10. Article 6678. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63650-z>
- Debertin A.J., Irvine J.R., Holt C.A. et al. 2017. Marine growth patterns of southern British Columbia chum salmon explained by interactions between density-dependent competition and changing climate // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 74. № 7. P. 1077–1087. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0265>
- Frölicher T.L., Fischer E.M., Gruber N. 2018. Marine heatwaves under global warming // Nature. V. 560. № 7718. P. 360–364. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0383-9>
- Fukuwaka M., Azumaya T., Nagasawa T. et al. 2007. Trends in abundance and biological characteristics of chum salmon // NPAFC Bull. V. 4. P. 35–43.
- Fukuwaka M., Davis N.D., Azumaya T., Nagasawa T. 2009. Bias-corrected size trends in chum salmon in the central Bering Sea and North Pacific Ocean // Ibid. V. 5. P. 173–176.
- Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global surface temperature change // Rev. Geophys. V 48. № 4. Article RG4004. <https://doi.org/10.1029/2010RG000345>
- Ishida Y., Ito S., Kaeriyama M. et al. 1993. Recent changes in age and size of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and possible causes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 50. № 2. P. 290–295. <https://doi.org/10.1139/f93-033>
- Kaeriyama M., Yatsu A., Noto M., Saitoh S. 2007. Spatial and temporal changes in the growth patterns and survival of Hokkaido chum salmon populations in 1970–2001 // NPAFC Bull. V. 4. P. 251–256.
- Kennedy J.J., Rayner N.A., Atkinson C.P., Killick R.E. 2019. An ensemble data set of sea surface temperature change from 1850: the Met Office Hadley Centre HadSST 4.0.0.0 data set // J. Geophys. Res. Atmos. V. 124. № 14. P. 7719–7763. <https://doi.org/10.1029/2018JD029867>
- Kishi M.J., Kaeriyama M., Ueno H., Kamezawa Y. 2010. The effect of climate change on the growth of Japanese chum salmon (*Oncorhynchus keta*) using a bioenergetics model coupled with a three-dimensional lower trophic ecosystem model (NEMURO) // Deep Sea Res. Pt. II. Top. Stud. Oceanogr. V. 57. № 13–14. P. 1257–1265. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.12.013>
- Laufkötter C., Zscheischler J., Frölicher T.L. 2020. High-impact marine heatwaves attributable to human-induced global warming // Science. V. 369. № 6511. P. 1621–1625. <https://doi.org/10.1126/science.aba0690>
- Myers K.W., Klovach N.V., Gritsenko O.F. et al. 2007. Stock-specific distributions of Asian and North American salmon in the open ocean, interannual changes, and oceanographic conditions // NPAFC Bull. V. 4. P. 159–177.
- Ogura M. 1994. Migratory behavior of Pacific salmon (*Oncorhynchus* sp.) in the open sea // Bull. Natl. Res. Inst. Far Seas Fish. V. 31. P. 1–141.
- Oliver E.C.J., Donat M.G., Burrows M.T. et al. 2018. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century // Nat. Commun. V. 9. Article 1324. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>

- Ruggerone G.T., Irvine J.R. 2018. Numbers and biomass of natural- and hatchery-origin pink salmon, chum salmon, and sockeye salmon in the North Pacific Ocean, 1925–2015 // Mar. Coast. Fish. V. 10. № 2. P. 152–168.
<https://doi.org/10.1002/mcf2.10023>
- Ruggerone G.T., Springer A.M., van Vliet G.B. et al. 2023. From diatoms to killer whales: impacts of pink salmon on North Pacific ecosystems // Mar. Ecol. Prog. Ser. V. 719. P. 1–40.
<https://doi.org/10.3354/meps14402>
- Salo E.O. 1991. Life history of Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*) // Pacific salmon life histories. Vancouver: UBC Press. P. 231–310.
- Seo H., Kudo H., Kaeriyama M. 2009. Spatiotemporal change in growth of two populations of Asian chum salmon in relation to intraspecific interaction // Fish. Sci. V. 75. № 4. P. 957–966.
<https://doi.org/10.1007/s12562-009-0126-9>
- Smale D.A., Wernberg T., Oliver E.C.J. et al. 2019. Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services // Nat. Clim. Chang. V. 9. № 4. P. 306–312.
<https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>

CHANGES IN AGE, SIZE AND GROWTH RATE OF THE ANADYR CHUM SALMON *ONCORHYNCHUS KETA* (SALMONIDAE) UNDER CONDITIONS OF GLOBAL WARMING

A. V. Shestakov¹, * and S. I. Grunin¹

¹Institute of Biological Problems of the North, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

*E-mail: a.v.shestakov@mail.ru

The results of the study of annual variability in age composition, body size and growth rate of the Anadyr chum salmon *Oncorhynchus keta* in 2011–2023 revealed that the length and body weight of individuals of all age groups in 2016–2023 significantly decreased compared to the previous period, especially in fish aged 0.4. The proportion of fish of the younger age groups increased. Based on the calculated data, in 2012–2022, the growth rate of chum salmon decreased in the first to second years of life, and multidirectional trends were observed in the third to fourth years, with the lowest increase in the body length in 2016 and 2020. The decrease in the production characteristics of Anadyr chum salmon in the modern period occurred simultaneously with a decrease in the abundance of this salmon species throughout its entire marine range in the North Pacific and depended little on the abundance of other salmon species. The data obtained cast doubt on the leading role of the so-called density factor in determining the production characteristics of fish, which is expressed in food shortages due to an increase in the abundance of Pacific salmon. The abnormally high surface temperatures in the northeast Pacific Ocean over the past seven to eight years have had a marked negative impact on the growth of Anadyr chum salmon.

Keywords: chum salmon, body length, body weight, age, growth rate, global temperature anomaly, Anadyr River.