

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 597.552.511:551.465**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763****EDN: XUCDWA****ТЕРМИКА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ
ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧИСЛЕННЫХ ПОКОЛЕНИЙ
ЗАПАДНОКАМЧАТСКОЙ ГОРБУШИ****Н.А. Дедерер, Е.А. Шевляков, С.В. Найденко***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Рассмотрена динамика покатной миграции молоди западнокамчатской горбуши в период 1975–2023 гг. Отмечено увеличение продолжительности покатной миграции молоди в связи с увеличением численности родительского стада. Температура прибрежных западнокамчатских вод за 40-летний период до 2016 г. увеличилась с 3,0 до 6,5 °С, с 2017 по 2023 г. снизилась до 3,0–4,0 °С. Темпы прогрева прибрежных западнокамчатских вод значительно ниже восточнокамчатских. Гипотеза появления экстравысокочисленных поколений западнокамчатской горбуши последних лет в результате прогрева прибрежных вод в период раннего морского нагула молоди не подтверждается. Высказывается предположение о причинах появления экстравысокочисленных поколений западнокамчатской горбуши, связанных с растянутым периодом покатной миграции молоди урожайных поколений и ростом продукции мелкоразмерного планктона, приносимого в прибрежные западнокамчатские воды из глубоководных районов Охотского моря и с трансформированными тихоокеанскими водами через северные Курильские проливы.

Ключевые слова: горбуша западной Камчатки, покатная миграция, молодь горбуши, ранний морской период жизни, кормовая база

Для цитирования: Дедерер Н.А., Шевляков Е.А., Найденко С.В. Термика прибрежных вод и возможные механизмы формирования высокочисленных поколений западнокамчатской горбуши // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 745–763. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763. EDN: XUCDWA.

* Дедерер Никита Александрович, специалист, nikita.dederer@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3618-7706; Шевляков Евгений Александрович, кандидат биологических наук, начальник отдела, evgeniy.shevlyakov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-8556-6737; Найденко Светлана Васильевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991.

© Дедерер Н.А., Шевляков Е.А., Найденко С.В., 2024

Original article

Thermal regime of coastal waters and possible mechanisms of formation for strong year-classes of West Kamchatka pink salmon

Nikita A. Dederer*, Evgeny A. Shevlyakov, Svetlana V. Naydenko*****

*—*** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* specialist, nikita.dederer@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-3618-7706

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

*** D.Biol., principal researcher, svetlana.naidenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-6985-7991

Abstract. Dynamics of downstream migration is considered for juvenile pink salmon at West Kamchatka in 1975–2023. Lengthening of the migration period is noted for recent years with high parental stocks. These changes happened on the background of four-decade increasing of the sea surface temperature in waters at the western coast of Kamchatka (till 2016), on average from 3.0 to 6.5 °C, and its further decreasing back to 3–4 °C from 2017 to 2023. So, the warming trend in coastal waters at western Kamchatka is significantly weaker than that at eastern Kamchatka, that does not confirm a hypothesis on formation of super-strong year-classes of West Kamchatka pink salmon in recent years due to warmer environments for early marine feeding of the juveniles in the coastal zone. Presumably, these extreme year-classes were formed as a result of prolonged downstream migration of fry produced by rather numerous spawners in conditions of increased abundance of small-sized plankton transported to the coast of western Kamchatka from the deep-water areas of the Okhotsk Sea and the North-West Pacific.

Keywords: pink salmon of West Kamchatka, downstream migration, juvenile pink salmon, early marine period of life, food supply

For citation: Dederer N.A., Shevlyakov E.A., Naydenko S.V. Thermal regime of coastal waters and possible mechanisms of formation for strong year-classes of West Kamchatka pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 745–763. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-745-763. EDN: XUCDWA.

Введение

Настоящая работа является продолжением исследования возможного влияния роста температуры морских прибрежных вод на формирование урожайности генераций горбуши, в том числе на появление экстравысокочисленных поколений. Первое исследование было посвящено поиску таких связей с динамикой численности горбуши северо-восточной Камчатки (карагинской) и в достаточной степени было объяснено [Шевляков и др., 2024]. Несмотря на то что популяционные комплексы восточно- и западнокамчатской горбуши имеют близкие параметры по величине используемого нерестового фонда, а также способны продуцировать сходные по численности поколения, тем не менее некоторые периоды в онтогенезе горбуши этих стад имеют существенные различия. В частности, речь идет о начале морского периода жизни молоди. Прибрежные воды Олюторского и Карагинского заливов и прилегающие берингоморские водные массы обладают значительной сезонной инерцией теплосодержания и характеризуются сравнительно невысокой интенсивностью водообменных процессов. Этому же способствует и изрезанность берингоморского побережья в отличие от западнокамчатского. Охотоморские прикамчатские воды, особенно в зоне Западно-Камчатского течения и прибрежных квазистационарных вихрей разной направленности, напротив, отличаются высокой динамикой вод и изменчивостью их характеристик. Ожидается, что относительно более стабильные условия жизни в этот период благотворно сказываются на выживаемости восточнокамчатской горбуши в сравнении с западнокамчатскими стадами. Об этом свидетельствует и большая частота появления экстравысокочисленных (> 150 млн экз.) поколений у восточнокамчатской горбуши — 6 против 3 западнокамчатских поколений.

Как и в случае с первой работой цикла, целью настоящего исследования являлось выявление взаимосвязи между появлением экстравысокочисленных поколений

западнокамчатской горбуши и изменчивостью температурного режима в прибрежных водах в период покатной миграции ее молоди.

Материалы и методы

В работе рассматривался район Охотского моря, прилегающий к побережью западной Камчатки, а также районы основного залива тихоокеанских вод в Охотское море (рис. 1). Выбор полигонов обусловлен системой циркуляции вод в юго-восточной части Охотского моря, формирующих основу Западно-Камчатского течения. Подекадная температура поверхности моря (ТПМ) и океана (ТПО) в выделенных районах с разрешением $0,25 \times 0,25$ привлекалась из открытых баз данных японского метеорологического агентства (JMA), доступ к которым представлен в рамках международного проекта NEAR-GOOS (Japan Meteorological Agency NEAR-GOOS RRTDB, ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/database.html).

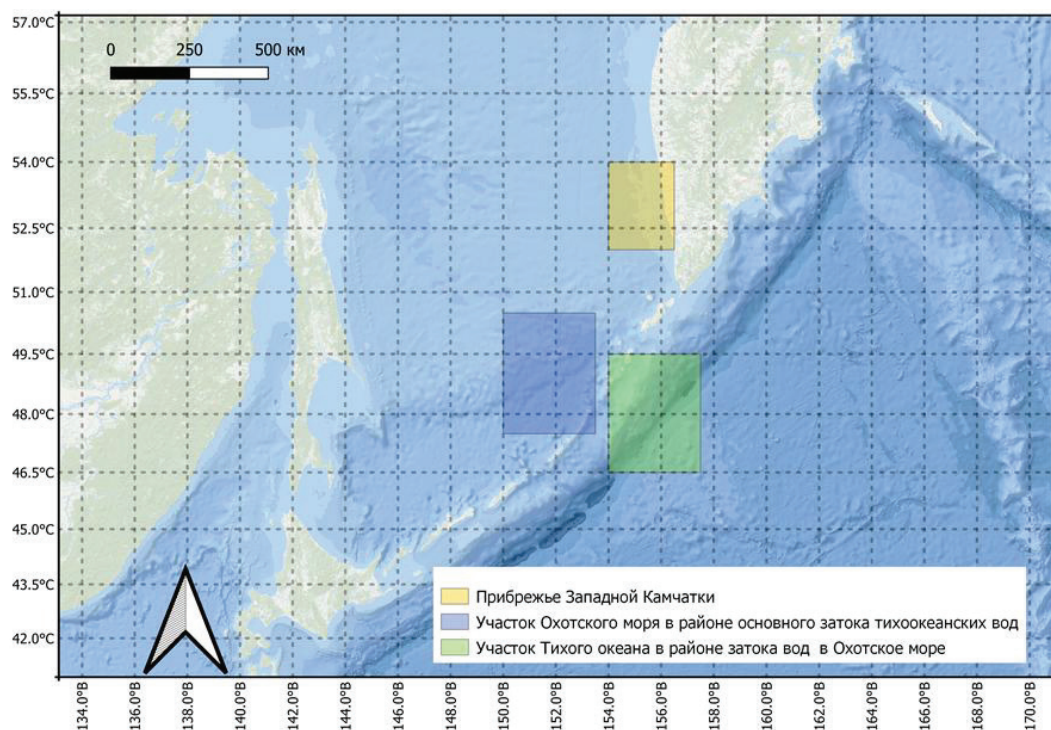


Рис. 1. Карта районов, в которых рассмотрена динамика хода средней ТПМ и ТПО в период покатных миграций западнокамчатской горбуши

Fig. 1. Scheme of the areas for SST monitoring in the period of downstream migration of West Kamchatka pink salmon

Важно отметить, что существует общая проблема сопоставимости материалов спутникового мониторинга за ТПМ, предоставляемого в рамках различных открытых международных баз данных, и натурных наблюдений, особенно в отношении прибрежных районов [Тепнин, Сошин, 2022]. Поэтому при составлении рядов данных ТПМ для побережья в нашем исследовании был взят достаточно обширный район с расчетом, что такие данные в меньшей степени будут подвержены искажению.

Для получения средневзвешенных оценок температуры прибрежных вод ($T_{срв}$) в период массовой покатной миграции молоди горбуши р. Утка средняя температура воды в каждую декаду ската (t_{cp}) приводилась к доле покатников, скатившихся в эту декаду (d), после чего оценки суммировались:

$$T_{срв} = d_1 \cdot t_{cp1} + d_2 \cdot t_{cp2} + d_3 \cdot t_{cp3} + d_4 \cdot t_{cp4} + d_5 \cdot t_{cp5}.$$

Ожидается, что чем выше средневзвешенная оценка, тем в более благоприятных условиях проходил скат основной массы молоди.

Также привлекались результаты натурных наблюдений за температурой воздуха на метеостанции в пос. Соболево (БД № 2014621485, <http://ntp.meteo.ru/meteo/topis.htm>).

Численность рыб, вернувшихся из моря в конкретном году, рассчитывали суммированием числа выловленных промышленностью рыб [Казарновский, 1987; Уловы..., 1989*; <https://www.npafc.org>] и пропущенных на нерестилища. Пропуск производителей определен специалистами КамчатНИРО по итогам обследования нерестилищ с использованием авиации на основе маршрутных съемок [Шевляков и др., 2013]. Численность выловленных рыб находили делением массы улова (по данным промысловой отчетности предприятий Северо-Восточному территориальному управлению Росрыболовства) на среднюю массу тела одной рыбы, оцененной по результатам биологического анализа сотрудниками КамчатНИРО. Оценки численности покатной молоди горбуши в контрольной р. Утка предоставлены КамчатНИРО, исследования проводились по стандартным методикам [Глубоковский и др., 2017].

Результаты и их обсуждение

Ранее было показано, что колебания выживаемости восточно- и западнокамчатской горбуши могут быть связаны с ТПМ во время миграции ее молоди из рек в прибрежные воды, что подробно рассмотрено для горбуши восточного побережья [Дедерер, Шевляков, 2022; Шевляков и др., 2024].

При анализе динамики ската молоди горбуши из рек западнокамчатского побережья, проведенного на контрольной р. Утка в период 1975–2022 гг., условно были выделены 3 периода, характеризующиеся различными сроками и продолжительностью покатной миграции (рис. 2).

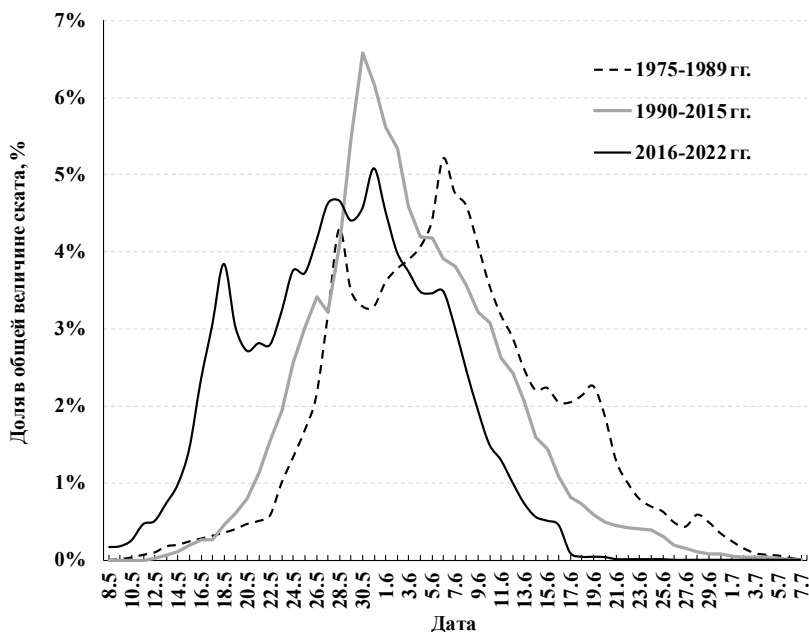


Рис. 2. Динамика покатной миграции молоди горбуши из р. Утка в период 1975–2022 гг.

Fig. 2. Dynamics of downstream migration of juvenile pink salmon from the Utkha River in three multiyear periods

Во время покатной миграции с 1975 по 1989 г. наблюдалось несколько пиков ската молоди горбуши из рек. При этом начало массового ската было обычно приурочено к

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

окончанию мая, а основная масса молоди скатывалась в течение первых двух недель июня. Для следующей четверти века (1990–2015 гг.) характерно относительно более компактное одномодальное распределение интенсивности покатной миграции молоди из реки с ярко выраженным пиком массового ската смолтов. Продолжительность, а также сроки начала и завершения покатной миграции кардинально не отличались от показателей предшествующего периода.

Несколько иначе распределение интенсивности покатной миграции выглядит в 2016–2023 гг. В этот период начало миграции сместилось на начало мая, а массовый скат начинался уже во второй декаде месяца (рис. 2). В течение двух с половиной недель без выраженных изменений в интенсивности миграции скатывается основная часть молоди, к окончанию первой декады июня скат фактически завершается. Очевидно, что данные изменения в сроках начала и протекания покатной миграции не в последнюю очередь связаны с глобальным климатическим трендом на повышение температуры, характерным для нескольких последних десятилетий [Бугаев, Тепнин, 2024].

С середины 1980-х гг. установилась характерная для последующего периода циклика смены урожайных (по четным) и неурожайных (нечетных) поколений западнокамчатской горбуши (рис. 3). Причем вплоть до начала 1990-х гг. урожайная четная линия обеспечивала вылов лишь порядка 15–20 тыс. т, рост запасов обозначился в подходе 1994 г. — 103,2 млн экз., вылов 32 тыс. т, а уже к 1998 г. вылов составлял 114 тыс. т. Следующий период можно охарактеризовать как урожайный для четных поколений горбуши, средний уровень уловов по четным годам до 2014 г. составлял 78 тыс. т. В 2014 г. произошло необъяснимое сокращение запасов в четной линии до уровня вылова 8,3 тыс. т, после чего данная генерация уже в следующем репродуктивном цикле достигла высокого уровня запаса, который обеспечил вылов порядка 50 тыс. т в 2016 г. Тенденция в изменении чередования урожайных и неурожайных поколений обозначилась в конце второго десятилетия текущего века, после рекордных подхода (> 360 млн экз.) и вылова (301 тыс. т), а также чрезмерного пропуска на нерест (> 110 млн экз.) производителей горбуши в 2018 г. [Шевляков и др., 2018]. С тех пор вылов в четной линии воспроизводства уменьшился, в 2022 и 2024 гг. находился на уровне соответственно 28 и 36 тыс. т. В смежной линии тем временем происходило увеличение репродуктивного потенциала по численности производителей, пропускаемых на нерестилища, в 2017 г. их количество уже достигало 5,0 млн, а в 2019 г. — 20,5 и 2021 г. — 92,0 млн экз. В 2019 г. вылов составил 60 тыс. т, в 6 раз превысив уровень предыдущего нечетного года, а в 2021 и 2022 гг. — соответственно 176 и 232 тыс. т.

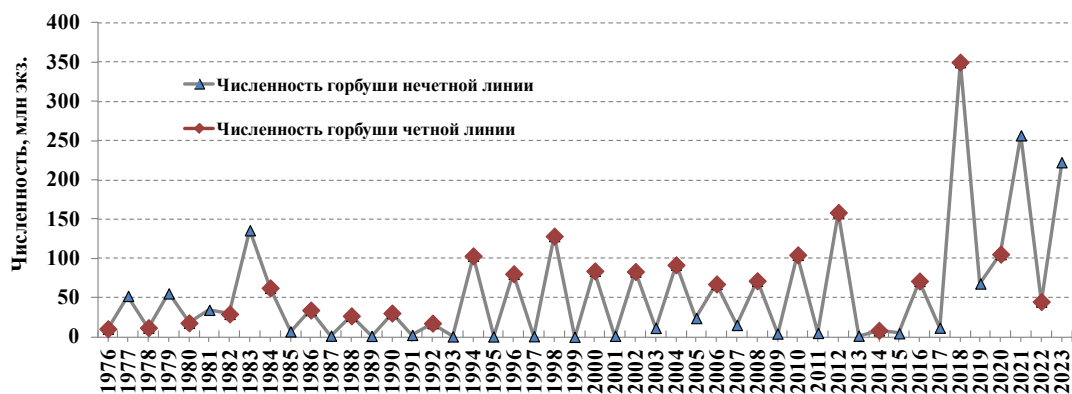


Рис. 3. Динамика численности западнокамчатской горбуши в 1976–2023 гг.
Fig. 3. Dynamics of the West Kamchatka pink salmon abundance in 1976–2023

Таким образом, можно ожидать, что доминирующей по численности линией горбуши на западном побережье Камчатки в ближайший период времени будет нечетная. Перспективы четной генерации хоть и остаются пока неопределенными, но уровень запаса снижается, численность пропуска, обеспечивающего возврат следующего по-

коления, сократилась с близких к оптимальному уровню 23,0 млн в 2020 г. [Фельдман и др., 2019] до 5,0 млн в 2022 г. и 3,3 млн экз. в 2024 г. Необходимо отметить, что в линии нечетных лет воспроизводства, на фоне низкой численности нерестящихся производителей (от нескольких сотен тысяч и менее до 1–2 млн особей), в 2003 и 2005 гг. отнерестилось соответственно 11 и 18 млн рыб. Они вполне бы могли вывести нечетную линию на урожайный уровень уже в середине первого десятилетия 21-го века, однако это случилось только в течение последних 3–4 репродуктивных циклов горбуши нечетных лет воспроизводства.

Ранее высказывалось предположение, что одним из механизмов, поддерживающих или обуславливающих существование разноурожайных линий горбуши в течение определенных периодов времени, может быть квазидвухлетняя динамика солнечной активности, выраженная опосредованно через индексы WP (West Pacific Index) и PDO (Pacific Decadal Oscillation) [Фельдман, Шевляков, 2015]. Первый индекс отражает степень циклонической активности, второй — аномалии поверхностной температуры. Следовательно, эти индексы имеют непосредственное отношение к формированию температурного режима поверхностных вод, омывающих западную Камчатку и оказывающих влияние на формирование температурного фона в нижнем, прилегающем к побережью течении рек, — отрицательная корреляция выживаемости горбуши с абсолютными отклонениями индекса PDO в ноябре (начале зимнего сезона) в период эмбрионального развития и положительная корреляция выживаемости с ними в этот же месяц через год (в период активного нагула, предшествующего откочевке из охотоморских вод) означают, что если для одной линии горбуши эти факторы будут благоприятными, то для другой, смежной, линии они становятся автоматически неблагоприятными [Фельдман, Шевляков, 2015]. В той же публикации высказано предположение, что продолжительность таких циклов может составлять от 4 до 8 поколений смежных линий, после чего знак оказываемых на них эффектов меняется на противоположный. Такой период соответствия условно благоприятной поверхностной температуры для четных поколений отчетливо прослеживается с 2006 г. Ярким примером, как при оптимальных условиях могут восстанавливаться запасы горбуши, является резкое увеличение возвратов западнокамчатской горбуши с 8,3 млн особей в 2014 г. до рекордных 350,0 млн особей в 2018 г. всего за 2 поколения. С 2019 г., с начала нового цикла солнечной активности, существенно увеличился запас горбуши нечетного поколения.

На наш взгляд, существует еще один фактор, который вносит вклад в различие численности смежных поколений. Покатные миграции молоди урожайных поколений в среднем более продолжительны по времени, середина ската молоди приходится на завершающую треть периода ската в низкочисленных поколениях (рис. 4). Низкочисленные поколения скатываются компактно и скоротечно, непосредственно вскоре после подъема уровня воды, вызванного таянием снежного покрова. Фактический эффект в разнице продолжительности покатной миграции молоди разных по численности поколений выражается в больших рисках несоответствия характеристик прибрежной зоны условиям успешного выживания молоди в начальный период покатной миграции для малочисленных поколений, и, наоборот, растянутость периода ската высокочисленного поколения «страхует» его от неблагоприятных условий среды. Соответственно, риск относительно высокой элиминации молоди в период ската выше для неурожайных поколений.

Различия в сроках и продолжительности покатных миграций вызваны биологическими особенностями. Дело в том, что при выборе мест размножения горбуша, как правило, тяготеет к нижним участкам нерестового бассейна, для нее характерны наименьшие по протяженности пресноводные миграции, однако при высокой численности она может использовать всю пригодную для нереста площадь небольших или средних рек [Шевляков и др., 2018] и даже подниматься вверх по течению крупных рек на значительные расстояния — до 700 и даже до 900 км [Енюткина, 1972; Смирнов, 1975; Черешнев и др., 2001, 2002; Шевляков, Шубкин, 2020].

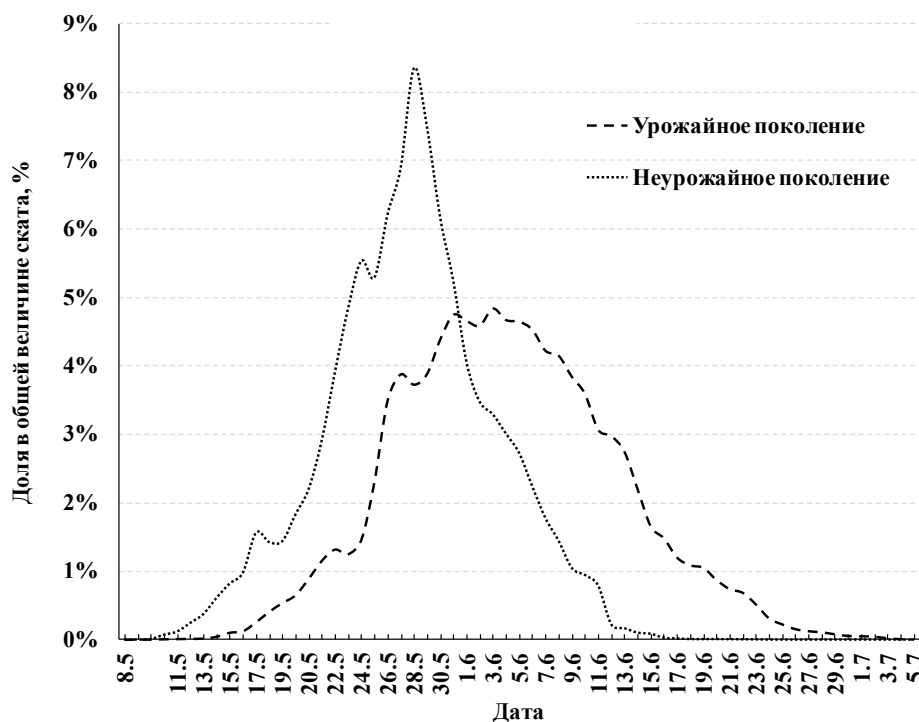


Рис. 4. Средняя динамика покатных миграций в урожайных и неурожайных поколениях (1984–2020 гг.), р. Утка

Fig. 4. Averaged for 1984–2020 dynamics of downstream migration for strong and weak year-classes of pink salmon in the Utkra River

Это означает, что в годы низкочисленных подходов горбуши в качестве нерестилищ используются только наилучшие площади нижней части речных бассейнов, в то время как при подходе высокочисленных поколений производители горбуши перераспределяются по значительной части нерестового фонда, осваивая и придаточную систему рек. Тем самым, учитывая активно-пассивный характер ската молоди горбуши в реках после ее выхода из гнезд, неравномерное таяние снега и сроки начала весенних паводков на разных по удаленности от нижнего течения рек нерестовых стациях, можно объяснить различие в продолжительности покатных миграций между низко- и высокочисленными поколениями горбуши. Покатные миграции неурожайных поколений протекают в относительно более сжатые сроки на фоне развивающегося паводка, в то время как скат молоди из удаленных притоков периферической речной системы с их слабой относительно основного русла проточностью обеспечивает продолжительность покатной миграции. Ожидается, что чем больше уровень заполнения нерестилищ родителями отличается от минимального, тем более длительно по времени молодь будет скатываться из рек, и тем больше шансов у потомков или значительной части из них попасть в благоприятные условия в прибрежье.

Как правило, средневзвешенная температура прибрежных вод в период покатных миграций молоди западнокамчатской горбуши четной, до недавнего времени урожайной, линии воспроизводства составляет не менее 4 °C (рис. 5, светлые маркеры). Исключение — поколения 1982, 1986, 1992 и 1994 гг. Из этого перечня поколения 1982 и 1994 гг. были обеспечены малым количеством родителей на нерестилищах (соответственно 7,0 и 6,7 млн экз.), и скат потомков на следующий год проходил по сценарию малоурожайных генераций, т.е. молодь скатывалась в холодные прибрежные воды скоротечно и в ранние сроки. Для ската этих лет характерны низкие показатели средневзвешенных значений температуры. Во всех остальных случаях численность

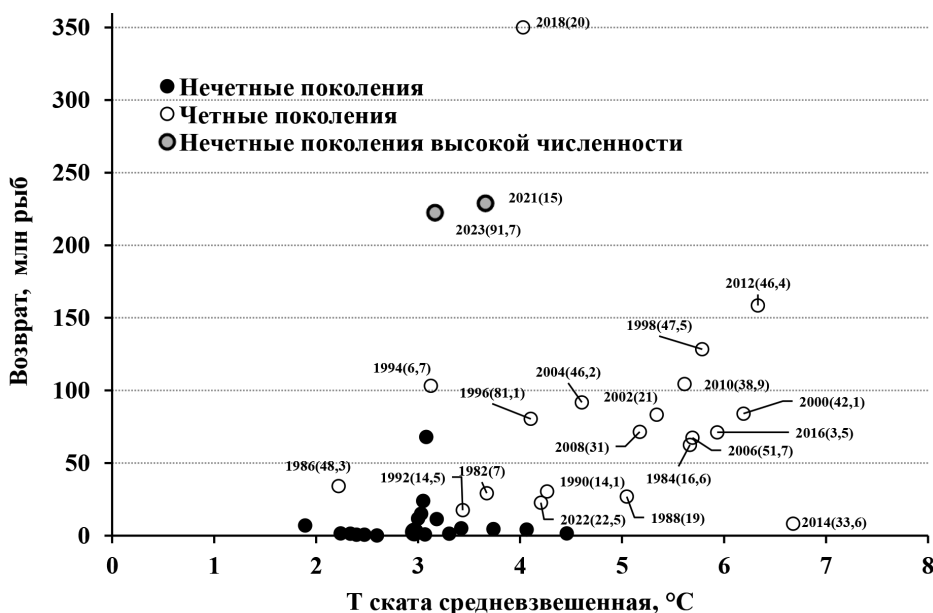


Рис. 5. Зависимость урожайности поколений горбуши от средневзвешенной температуры прибрежных вод в период ската молоди горбуши из рек в 1979–2022 гг. В скобках обозначена численность производителей (родителей) на нерестилищах, млн экз.

Fig. 5. The pink salmon year-classes abundance at West Kamchatka in indicated years (10⁶ ind.) in dependence on the mean weighted SST in the coastal zone during downstream migration of their fry in 1979–2022. The number of spawners (parents) at spawning grounds is indicated in brackets, 10⁶ ind.

поколений формировалась от уровня относительно высокой численности родителей и в условиях средневзвешенной температуры покатной миграции, превышающей порог 4 °C. Таким образом, для четной линии воспроизводства прослеживается тенденция увеличения урожайности поколений с ростом температуры воды в период ската (рис. 5).

В линии нечетных лет средневзвешенная температура ската в большинстве случаев не превышала 4 °C, что косвенно свидетельствует о не совсем благоприятных условиях среды для молоди в период покатной миграции [Карпенко, 1998]. В тех же случаях, когда показатель превышал порог 4 °C, т.е. условия были вполне благоприятными, рост урожайности поколений оказывался невозможным в силу их низкой стартовой численности. Всего три поколения нечетной линии за исследуемый период превысили уровень 50 млн особей (рис. 5), и все они характеризуют рост численности данной линии до урожайного уровня в возвратах последних нечетных поколений (2019 г. — 2021 г. — 2023 г.).

Сравнивая характеристики покатных миграций горбуши восточного и западного побережий Камчатки, стоит отметить, что средневзвешенная температура прибрежных вод на период ската молоди значительно ниже у западного побережья (р. Утка), в среднем на 2 °C, в последние же годы разница достигает 4 °C (рис. 6). Устойчивый рост численности восточнокамчатской горбуши наблюдался с начала 2000-х гг., с установления средневзвешенной температуры в период покатной миграции 5,6 °C. Сверхурожайный уровень поколения при условии обеспечения высокочисленного нереста родителей при моделировании, как необходимое условие, поддерживался при средневзвешенной температуре не менее 9 °C [Шевляков и др., 2024]. Непосредственно покатная миграция молоди западнокамчатской горбуши начинается и проходит на 1–2 нед. раньше, чем на северо-востоке Камчатки.

Средний показатель ТПМ в прибрежном районе западной Камчатки с 2016 г. начал снижаться, в последние годы находится на уровне конца 1990-х — начала 2000-х гг. Наиболее высокие показатели средней ТПМ в прибрежье в период покатных миграций молоди наблюдали с 2005 по 2015 г. Несмотря на снижение средней ТПМ прибрежных

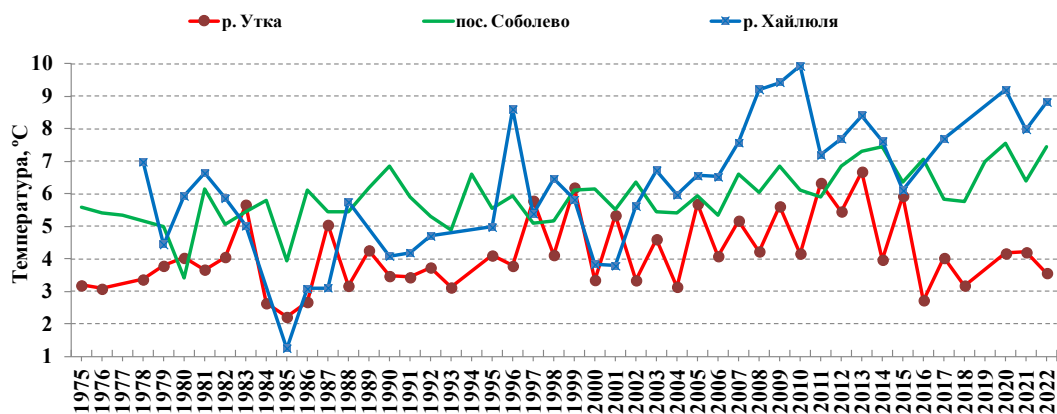


Рис. 6. Динамика средней температуры воздуха в мае-июне по данным метеостанции пос. Соболево, средневзвешенной температуры прибрежных вод в период ската молоди горбуши р. Утка и средневзвешенной температуры прибрежных вод в период ската молоди р. Хайлюля (северо-восточное побережье Камчатки)

Fig. 6. Dynamics of mean air temperature in May-June at Sobolevo weather station and mean weighted SST in the coastal zone during downstream migration of pink salmon fry in the Utk River (western coast of Kamchatka) and Khaylyulya River (northeastern coast of Kamchatka)

вод в последние годы, атмосферная температура воздуха по данным метеостанции в пос. Соболево имеет тренд на увеличение (рис. 6). Раннее наступление фенологической весны за счет изменения интенсивности таяния снежного покрова и сроков начала весеннего половодья может оказывать существенное воздействие на начало сроков покатных миграций молоди горбуши. На фоне снижения температуры прибрежных вод такой фактор, как атмосферное потепление, проявляющийся в виде смещения сроков покатных миграций на более ранние, может влиять на формирование численности горбуши.

В отличие от инерционной сезонной динамики развития процессов теплонакопления в водных массах, омывающих северо-восточное побережье Камчатки, для Охотского моря характерна высокая динамика водных масс, в значительной степени определяющая фоновые характеристики в морском побережье [Лепская и др., 2019], и по тем же причинам существует сложность поиска надежных данных для анализа теплосодержания прибрежных вод.

Динамичность условий среды прибрежных западнокамчатских вод, кроме общих и локальных климатических изменений, обусловлена также особенностями системы течений Охотского моря и его водообмена с океаном. Известно, что для циркуляции вод Охотского моря, как и для других морей Северного полушария, характерна циклоническая направленность течений (против движения часовой стрелки) [Степанов, 1974]. Макроциркуляционная система Охотского моря охватывает все пространство моря и состоит из цепи широких вдольбереговых течений, каждое из которых обладает своим качественным составом вод: Западно-Камчатское, разделяющееся на Срединную и Северную ветви; Пенжинское и Ямское, продолжающие Северную ветвь Западно-Камчатского течения; Северо-Охотское течение, собирающее эти ветви. Северо-Охотское течение впоследствии трансформируется в Восточно-Сахалинское течение, разгружающееся южными Курильскими проливами в Тихий океан (рис. 7).

Некоторая часть охотоморских вод при этом, не покидая акватории моря, вовлекается Северо-Восточным течением в новый круговорот, вливаясь в компенсационный заток тихоокеанских вод, формирующих основу Западно-Камчатского течения, через северные Курильские проливы. По результатам моделирования водообмена между Охотским морем и Тихим океаном, основанным на анализе спутниковых альтиметрических данных, усиление водообмена происходит в холодное время года с ноября по май,

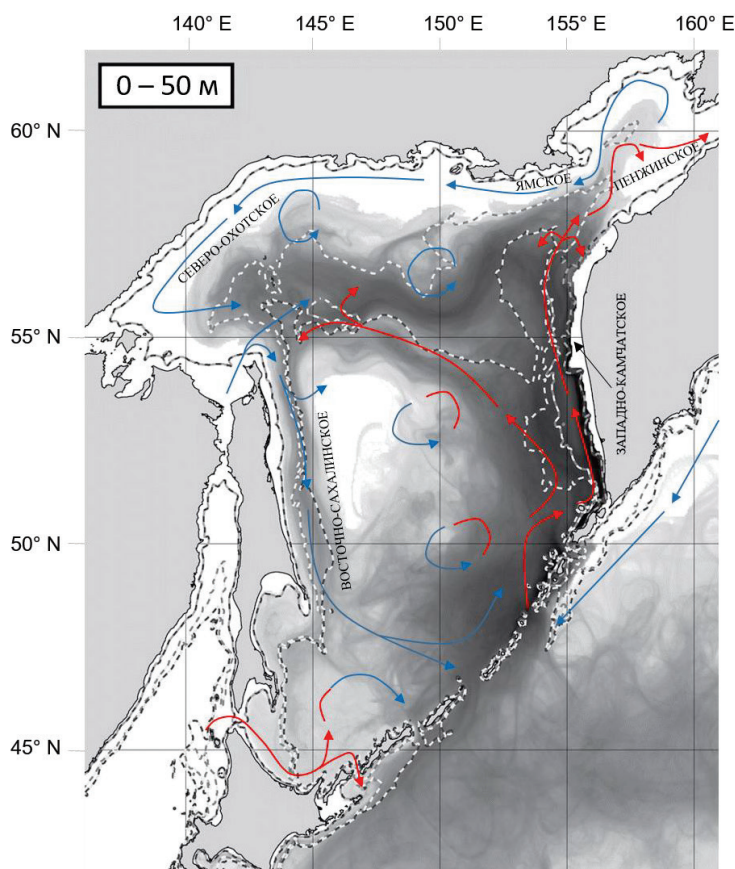


Рис. 7. Пути переноса вод северо-западной части Тихого океана через северные Курильские проливы в слое 0–50 м [Файман и др., 2021] и схема течений на поверхности Охотского моря

Fig. 7. Transport pathways of the northwestern Pacific Ocean waters through the northern Kuril Straits in a layer of 0–50 m [Fayman et al., 2021] and the current chart of the Sea of Okhotsk

а заток тихоокеанских вод осуществляется исключительно через северные Курильские проливы (Четвертый Курильский, Крузенштерна, Надежды, частично Буссоль), причем первые три обеспечивают до 45 % общего водообмена [Файман и др., 2021].

Следствием водообмена и описанной выше береговой конвергенции течений является образование практически по всему периметру Охотского моря относительно теплой полосы вод, в частности зоны теплых вод, которая на западнокамчатском шельфе простирается на 30–50 миль от берега. На траверзе Усть-Хайрюзово теплые воды смещаются от берега на 25–50 миль, заглубляясь на 100–150 м. Таким образом, в пределах акватории, прилегающей к западному побережью Камчатки, формируется экосистема, имеющая прямую связь с тихоокеанскими водами Восточно-Камчатского течения [Чернявский, 1981]. При этом именно часть побережья, которая является основным местом воспроизводства западнокамчатской горбуши (охватывая реки южной и средней его части от р. Опала на юге до р. Ича на севере), находится под действием типично или частично трансформированных тихоокеанских вод, влияющих наряду с другими факторами на условия выживания молоди в ранний морской период.

Кроме этого, на экосистему прибрежных вод большое влияние оказывает речной сток. По многолетним наблюдениям на западнокамчатском побережье большая часть речного стока поступает в прибрежную зону в период половодья в мае-июне. Это обеспечивает формирование обширных зон смешения речных и морских вод в прибрежных районах. В многоводные годы в летние месяцы зоны смешения смежных рек могут образовывать узкие (шириной несколько километров), но протяженные (до нескольких

сотен километров) зоны опреснения [Коваль, 2024]. Такое развитие событий наиболее характерно для закрытых бухт и заливов со слабой динамикой прибрежных вод. Анализ вертикального распределения основных гидрологических характеристик в прибрежной зоне в мае-августе свидетельствует, что во всех районах Камчатки водная толща в пределах морской части зоны смешения всегда сильно стратифицирована [Коваль, 2024]. При этом тонкий слой опресненных и прогретых вод располагается над значительно более мощным слоем морской воды, а «ядра» зон смешения морских и пресных вод в этот период находятся в непосредственной близости от устьев рек. Толщина наиболее опресненного слоя обычно составляет до 2–3 м. Мористее «ядра» располагается значительно бо́льшая по протяженности «периферийная» часть зоны смешения, здесь опресненная вода покрывает морскую водную массу тонким слоем — до ~0,5 м.

Особенности гидрологического режима, стратификации и вертикального перемешивания речных и морских вод определяют кормовую базу молоди лососей в прибрежье. В местах стока крупных рек при распреснении и повышении температуры создаются недостаточно благоприятные условия для развития холодноводного морского зоопланктона [Лепская и др., 2019]. На участках акватории, где доминируют морские водные массы, обилие кормовых организмов изменяется в зависимости от сложившихся океанологических условий и климатических тенденций. Кроме этого, в зависимости от интенсивности и направленности течений, а также наличия микроциркуляций планктон может привноситься из других районов и накапливаться на отдельных участках. Например, известна связь формирования высокопродуктивных зон в Охотском море с системой его течений [Чернявский, 1981; Маркина, Чернявский, 1984]. Поэтому вполне возможно, что часть планктона в прибрежные районы привносится из глубоководных акваторий Охотского моря, а часть (и даже более значительная) с тихоокеанскими водами. Все это обуславливает агрегированно-мозаичный характер пространственного распределения обилия планктона и определяет кормовые условия в прибрежных западнокамчатских водах для скатившейся молоди лососей.

В период нагула в прибрежье питание молоди лососей имеет смешанный характер. Основу рациона составляют личинки и взрослые стадии амфибиотических насекомых, выносимых в морское прибрежье с течением рек, а также мелкоразмерные циклопиды, гарпактициды и каляниды на всех стадиях жизненного цикла, икра и личинки рыб и прочие кормовые объекты. При этом в рационе молоди отмечаются виды как прибрежного (*Eurytemora herdmani*, *Acartia longiremis*, гарпактициды, кумовые раки и др.), так и морского (*Pseudocalanus minutus*, *Oithona similis* и др.) происхождения [Карпенко, 1998; Каев, Чупахин, 2002; Чучукало, Кузнецова, 2006; Максименков и др., 2008; Лепская и др., 2019; Коваль, 2024]. Последние, как уже указывалось выше, могут привноситься в прибрежье морскими течениями. Поскольку планктонные сообщества слагают виды с разными экологическими характеристиками, то в зависимости термического режима года удельная суточная продукция массовых видов может снижаться или увеличиваться, изменяя кормовую базу лососей.

В минувшие 2–3 десятилетия из-за перестройки глобальных и региональных атмосферных процессов в Дальневосточном регионе произошли коренные изменения в характере циклонической циркуляции. Это определило повышение температуры воздуха и воды и привело к «потеплению» климатических условий в дальневосточных морях и смежных тихоокеанских районах [Устинова и др., 2002; Глебова, 2003, 2011; Глебова и др., 2009; Шатилина, Анжина, 2011; Макагонова, 2013; Плотников и др., 2015]. Так, в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки начиная с 2015 г. отмечается тренд на увеличение температуры ядра слоя зимнего охлаждения и поверхности (рис. 8). На фоне этих процессов в тихоокеанских водах в июне наблюдалось увеличение доли мелкого зоопланктона (в основном за счет мелкоразмерных копепод *O. similis* и в некоторые годы видов р. *Pseudocalanus*). Продукция умеренно холодноводного *O. similis* почти не зависит от термического режима года [Шебанова, 2016]. Но

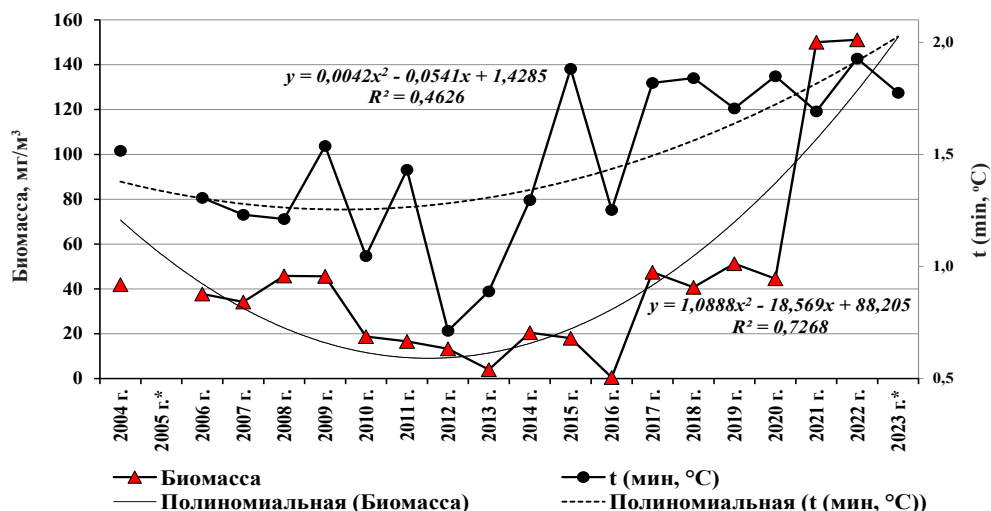


Рис. 8. Динамика биомассы мелкоразмерных копепоид *O. similis* и минимальная температура (t °C) ядра слоя зимнего охлаждения в тихоокеанских водах, омывающих северную часть Курильской гряды (район СЗТО) по результатам траловых съемок ТИНРО, проведенных в июне 2004–2022 гг. (2005 г.* — исследования не проводились, 2023 г.* — гидробиологические данные находятся в процессе обработки)

Fig. 8. Dynamics of the small-sized copepod *O. similis* biomass on the background of the minimum temperature in subsurface layer at the Pacific coast of northern Kuril Islands (°C), on the data of TINRO surveys in June of 2004–2022 (2005* — no survey, 2023* — plankton samples are not processed yet). Polynomial approximations are shown

именно в теплые 2017–2023 гг. отмечено повышение биомассы этого вида (рис. 8). Виды р. *Pseudocalanus* (*P. minutus* и *P. newmani*), являясь представителями умеренно холодноводной группировки, наиболее высокую удельную продукцию имеют в холодные годы, а пониженную — в очень теплые годы. Однако и эти виды демонстрируют небольшое повышение обилия в тихоокеанских районах в некоторые периоды, в частности и в 2019–2021 гг. В составе средне- и крупноразмерного планктона также увеличилась биомасса тепловодных видов (*Eucalanus bungii*) и уменьшилась биомасса холодноводных (*Neocalanus cristatus*) [Найденко и др., наст. вып.].

В прибрежных западнокамчатских районах постоянных наблюдений за состоянием планктонных сообществ в весенне-летний период не проводится. Поэтому можно лишь предположить, что при общей тенденции климатических изменений в этих районах наблюдаются сходные с тихоокеанскими водами процессы изменения обилия массовых видов зоопланктона, в том числе увеличение количества мелкоразмерного планктона, что сказывается на составе кормовой базы для молоди лососей. Кроме этого, часть планктона, как уже указывалось выше, может привноситься в западнокамчатское побережье с общим потоком охотоморских (в том числе из надглубоководных районов) и тихоокеанских вод через Курильские проливы. Средняя ТПМ в районах основного залива тихоокеанских вод в Охотское море и на участке, расположенном у побережья западной Камчатки, имеет сходную межгодовую динамику, что косвенно подтверждает это предположение (рис. 8, 9).

Следует также учитывать, что в теплые годы у многих видов зоопланктона размножение и развитие по срокам происходит раньше [Максименков, 2007]. Все это, вероятно, и создает благоприятные условия для раннеморского (июнь) нагула молоди лососей в прибрежных районах западной Камчатки и, по нашему мнению, может объяснить не только сходный с карагинскими стадами рост численности западнокамчатской горбуши в последние годы, но и появление ее экстравысокочисленных поколений.

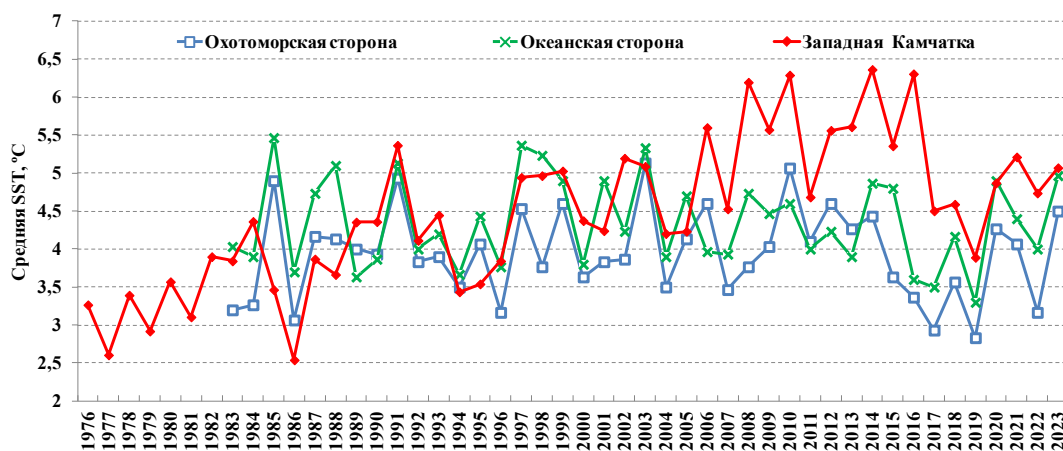


Рис. 9. Динамика хода средних ТПМ и ТПО (3-я декада мая — 2-я декада июня) в районах формирования Западно-Камчатского течения

Fig. 9. Dynamics of SST averaged for May 21 — June 20 in the coastal waters at western Kamchatka and in the areas of water exchange between the Pacific Ocean and Okhotsk Sea

Заключение

Попытка прямой экстраполяции результатов исследования зависимости роста урожайности поколений восточнокамчатской горбуши от повышения температуры воды в прибрежье в период ската ее молоди на динамику численности горбуши западнокамчатского побережья не соответствует предварительным ожиданиям.

Для прилегающих к западнокамчатскому побережью прибрежных вод характерна их высокая динамичность, обусловленная сезонностью, структурой, циркуляцией крупных водных масс, формирующих основу Западно-Камчатского течения, а также вихревыми микроструктурами прибрежного комплекса. Горбуше западнокамчатских стад, в отличие от популяций северо-восточной Камчатки, свойственно относительно более раннее начало покатной миграции молоди из рек в морские прибрежные воды, температура которых значительно ниже ($\sim 2^\circ\text{C}$), чем вод Карагинского и Олюторского заливов Берингова моря, а средневзвешенная температура покатной миграции близка к пороговым значениям толерантности для вида в 4°C . С превышением этого уровня можно связать формирование условий в западнокамчатском прибрежье, благотворно действующих на урожайность поколений горбуши, численность родителей которых способна обеспечивать расширенное воспроизводство. Несмотря на то что степень прогрева прибрежных западнокамчатских вод в период покатной миграции молоди существенно уступает прогреву восточнокамчатских вод, такая термика способна обеспечивать выживание даже экстравысокочисленных поколений. С численностью самого родительского стада связана продолжительность покатной миграции потомков, которая в свою очередь может играть существенную роль в выживании ранней молоди и величине поколений. По мере роста численности родительского стада в качестве нерестового фонда не только используется русловая часть нижнего течения рек, но и вовлекается частично или полностью периферическая речная сеть. Скаты молоди из удаленных притоков периферической речной системы обеспечивает растянутость сроков покатной миграции. Чем более продолжительный период молодь будет скатываться из рек, тем больше шансов у смолтов попасть в благоприятные условия в прибрежье. Быстротечностью покатной миграции низкочисленных поколений при пороговых значениях температурного фактора может поддерживаться «разрыв» между численностью смежных линий воспроизводства.

В целом до середины первого десятилетия 21-го века прослеживался тренд увеличения урожайности поколений и восточнокамчатской, и западнокамчатской

горбуши с ростом температуры воды в морском побережье в период ската. Различие между откликом этих стад выражалось в относительно низком теплосодержании западнокамчатских прибрежных вод, позволявших тем не менее обеспечивать сходный уровень изменений в численности поколений. «Взрывной» рост запасов западнокамчатской горбуши случился в 2018 г., через 9 лет после вспышки численности запасов на северо-востоке полуострова (2009 г.), и сопровождался сменой численно доминировавших линий. К этому времени (после 2014–2016 гг.) положительный тренд изменения температуры западнокамчатских вод завершился. Средневзвешенная температура покатной миграции после 2016 г. снизилась с 4–6 до 3–4 °С. Согласно проведенному исследованию рост численности горбуши в западнокамчатских стадах обеспечивается увеличением этого показателя выше 4 °С. Соответственно, формирование экстравысокочисленных поколений, вернувшихся в 2018, 2021 и 2023 гг., не может быть объяснено температурным фактором. К сожалению, натурные регулярные исследования кормовой базы в районах раннего нагула молоди в морском побережье западной Камчатки, как и в других значимых промысловых районах Дальнего Востока России, позволяющие непосредственно описывать механизмы формирования кормовой базы молоди и трофодинамики планктонных сообществ, не проводятся.

Привлечение результатов исследований, проведенных в сопредельных прикурильских тихоокеанских водах в последние годы, показывает рост численности как преимущественно мелкоразмерных копепод, так и относительно более крупного планктона, даже на фоне незначительного увеличения температуры воды. Наблюдаемый рост численности холодноводного мелкоразмерного планктона может указывать на то, что планктонные сообщества чувствительны к изменениям температуры и способны реагировать на ее увеличение ростом своей продукции. По всей видимости, аналогичные процессы происходят и в охотоморских водах, прилегающих к западнокамчатскому побережью. Кроме того, на фоне структуры и циркуляции водных масс в прикурильском районе Тихого океана и Охотском море следует ожидать и привнос планктона с трансформированными тихоокеанскими водами, проникающими в Охотское море через северокурильские проливы. В совокупности этими факторами можно объяснить кормовую обеспеченность западнокамчатской молоди в побережье, достаточную для реализации потенциала экстравысокочисленных поколений в условиях термического фона, граничащего с пороговым для выживания покатной молоди на ранних стадиях морской жизни.

Безусловно, в отсутствие натурной информации о естественном фоне, окружающем скатившуюся молодь, любые интерпретации на тему механизмов, обеспечивающих в изолированных популяционных комплексах восточно- и западнокамчатской горбуши сходные отклик и масштаб изменений численности, будут носить гипотетический характер. В качестве такой гипотезы может послужить и предположение о причинах появления экстравысокочисленных поколений западнокамчатской горбуши, связанных с растянутым периодом покатной миграции молоди урожайных поколений и ростом продукции мелкоразмерного планктона, приносимого в прибрежные западнокамчатские воды из глубоководных районов Охотского моря и с трансформированными тихоокеанскими водами через северные Курильские проливы.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Выражаем благодарность сотрудникам ТИНРО Е.О. Басюку, Е.Ю. Малыгину и А.И. Галееву за ценные советы по работе с климатическими базами данных и обработку первичных материалов. Особая благодарность работникам КамчатНИРО О.В. Зикунуовой и Т.Ю. Саламон за предоставленные материалы, а также сотрудникам КамчатНИРО, которые в разные годы проводили сбор материалов по учету численности молоди лососей в реках Камчатского края.

The authors are grateful to E.O. Basyuk, E.Yu. Malygin and A.I. Galeev (TINRO) for their valuable advices on climate databases using and primary materials processing. Special thanks to O.V. Zikunova and T.Yu. Salyamon (KamchatNIRO) for courtesy materials on pink salmon, and to other colleagues from KamchatNIRO who collected the data on salmon fry at the rivers of Kamchatka.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.
The study was done initiative, without additional funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

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

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

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Н.А. Дедерер — обработка данных, подготовка иллюстраций, анализ и обсуждение результатов, написание текста статьи; Е.А. Шевляков — постановка задачи, анализ результатов, участие в написании текста статьи; С.В. Найдено — обработка данных, обсуждение результатов, редактирование текста статьи.

N.A. Dederer — data processing and analysis, discussing the results, writing and illustrating the original text; E.A. Shevlyakov — the study concept, the results analyzing, writing and editing the text; S.V. Naidenko — data processing, discussing the results, editing the text.

Список литературы

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

Глебова С.Ю. Типы атмосферных процессов над дальневосточными морями, межгодовая изменчивость их повторяемости и сопряженность // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 134. — С. 209–257.

Глебова С.Ю. Циклоническая деятельность над Азиатско-Тихоокеанским регионом зимой и ее влияние на термические условия дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана // Метеорол. и гидрол. — 2011. — № 10. — С. 35–43.

Глебова С.Ю., Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д. Долгопериодные тенденции в ходе атмосферных процессов и термического режима дальневосточных морей за последний 30-летний период // Изв. ТИНРО. — 2009. — Т. 159. — С. 285–298.

Глубоковский М.К., Марченко С.Л., Темных О.С., Шевляков Е.А. Методические рекомендации по исследованию тихоокеанских лососей. — М. : ВНИРО, 2017. — 79 с.

Дедерер Н.А., Шевляков Е.А. Оценка влияния температурных показателей на формирование численности в разные периоды жизни горбуши западного и восточного побережий Камчатки // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса : мат-лы 10-й междунар. науч.-практ. конф. молод. ученых и специалистов. — М. : ВНИРО, 2022. — С. 92–94.

Енютина Р.И. Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Изв. ТИНРО. — 1972. — Т. 77. — С. 3–126.

Каев А.М., Чупахин В.М. Ранний морской период жизни горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* о. Итуруп // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов Сахалино-Курильского региона и сопредельных акваторий : Тр. СахНИРО. — 2002. — Т. 4. — С. 116–132.

Казарновский М.Я. Японский промысел лососей в северо-западной части Тихого океана. — М. : ВНИРО, 1987. — 50 с.

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

Коваль М.В. Эстуарная ихтиофауна Камчатки: условия формирования, видовое разнообразие и экологическая характеристика // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап.

части Тихого океана. — 2024. — Вып. 72. — 236 с. DOI: 10.15853/2072-8212.2024.72.9-235. EDN: AMHUAQ.

Лепская Е.В., Бонк Т.В., Сушкевич А.С. и др. Условия среды в морском прибрежье основных бассейнов воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2019. — Вып. 53. — С. 22–33. DOI: 10.15853/2072-8212.2019.53.22-33.

Макагонова М.А. Особенности зимней атмосферной циркуляции в Восточной Азии // Географические и природные ресурсы. — 2013. — № 3. — С. 18–26.

Максименков В.В. Питание и пищевые отношения молоди рыб, обитающих в эстуариях рек и прибрежье Камчатки : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2007. — 278 с.

Максименков В.В., Максименкова Т.В., Коваль М.В. Кормовая база молоди тихоокеанских лососей в прибрежных водах западной Камчатки в весенне-летний период 2004–2007 гг. // Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 174–181.

Маркина Н.П., Чернявский В.И. Количественное распределение планктона и бентоса в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 1984. — Т. 109. — С. 109–119.

Найденко С.В., Шебанова М.А., Кузнецова Н.А., Радченко К.В. Многолетняя динамика кормовой базы нектона летом в тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатки // Наст. вып.

Плотников В.В., Мезенцева Л.И., Дубина В.А. Циркуляция атмосферы над Дальним Востоком и ее отражение в ледовых процессах : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2015. — 172 с.

Смирнов А.И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей : моногр. — М. : МГУ, 1975. — 335 с.

Степанов В.И. Мировой океан. Динамика и свойства вод : моногр. — М. : Знание, 1974. — 255 с.

Тепнин О.Б., Сошин А.В. О применимости спутниковых данных высокого разрешения для анализа изменчивости температурных условий на предустьевом участке акватории Камчатского залива // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2022. — Вып. 64. — С. 85–96. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.64.85-96.

Устинова Е.И., Сорокин Ю.Д., Хен Г.В. Межгодовая изменчивость термических условий Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 44–51.

Файман П.А., Пранц С.В., Будянский М.В., Улейский М.Ю. Моделирование распространения тихоокеанских вод в Охотском море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. — 2021. — Т. 57, № 3. — С. 372–384. DOI: 10.31857/S0002351521030044.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и внешних факторов среды // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 182. — С. 88–114. DOI: 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114.

Фельдман М.Г., Шевляков Е.А., Артюхина Н.Б. Оценка ориентиров пропуска производителей тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* в бассейнах рек Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2019. — Вып. 52. — С. 50–78. DOI: 10.15853/2072-8212.2019.52.50-78.

Черешнев И.А., Волобуев В.В., Шестаков А.В., Фролов С.В. Лососевидные рыбы Северо-Востока России : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2002. — 496 с.

Черешнев И.А., Шестаков А.В., Скопец М.Б. и др. Пресноводные рыбы Анадырского бассейна : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2001. — 336 с.

Чернявский В.И. Циркуляционные системы Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 1981. — Т. 105. — С. 13–19.

Чучукало В.И., Кузнецова Н.А. Пищевые отношения рыб в эпипелагиале западной части Берингова моря в осенние периоды 2003 и 2004 гг. // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 144. — С. 180–197.

Шатилина Т.А., Анжина Г.И. Изменчивость интенсивности дальневосточного муссона в 1948–2010 гг. // Изв. ТИНРО. — 2011. — Т. 167. — С. 146–159.

Шебанова М.А. Продукция копепода в западной части Берингова моря в летне-осенний период // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. мат.-лов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроч. к 145-летию Севастопольской биологической станции. — Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. — Т. 2. — С. 477–480.

Шевляков Е.А., Дедерер Н.А., Островский В.И., Хен Г.В. Термические условия морских прибрежных вод как фактор, благоприятствующий появлению экстравысокочисленных

поколений карагинской горбуши // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 1. — С. 30–47. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-30-47. EDN: RVYEMU.

Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Ерохин В.Г., Шубкин С.В. Итоги промысла западнокамчатской горбуши в 2018 г., перспективы дальнейшего состояния ее запаса и промысла // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — С. 41–51.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В. Современный опыт обследования нерестилищ тихоокеанских лососей в водоемах Чукотки // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 270–291. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Дубынин В.А. и др. Методики учета производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях миграции к ним // Бюл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2013. — С. 36–57.

References

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

Glebova, S.Yu., Types of the atmospheric processes over Far-Eastern Seas, interannual variability of their repeatability and mutual coordination, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 134, pp. 209–257.

Glebova, S.Yu., Cyclonic activity over the Pacific Rim in the winter and its influence on thermal conditions of the Far Eastern Seas and northwestern Pacific, *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2011, vol. 36, no. 10, pp. 663–668.

Glebova, S.Yu., Ustinova, E.I., and Sorokin, Yu.D., Long-term tendencies of atmospheric processes and thermal regime in the Far-Eastern Seas of Russia in the last three decades, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2009, vol. 159, pp. 285–298.

Glubokovsky, M.K., Marchenko, S.L., Temnykh, O.S., and Shevlyakov, E.A., *Metodicheskiye rekomendatsii po issledovaniyu tikhookeanskikh lososey* (Guidelines for the study of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 2017.

Dederer, N.A. and Shevlyakov, E.A., Assessment of the influence of temperature indicators on the formation of numbers in different periods of life of pink salmon on the western and eastern coasts of Kamchatka, in *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa* (Modern problems and prospects for the development of the fishery complex: materials of the 10th international scientific-practical conf. young learned and specialists), Moscow: VNIRO, 2022, pp. 92–94.

Yeniutina, R.I., The Amur humpback salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1972, vol. 77, pp. 3–126.

Kaev, A.M. and Chupahin, V.M., Early sea period of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* in Iturup Island, in *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopredel'nykh akvatoriyakh* (Biology, Status of Stocks, and Condition of Habitat of Aquatic Organisms in the Sakhalin-Kuril Region and Adjacent Waters), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 4, pp. 116–132.

Kazarnovsky, M.Ya., *Yaponskiy promysel lososey v severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana* (Japanese salmon fisheries in the Pacific Northwest), Moscow: VNIRO, 1987.

Karpenko, V.I., *Ranniy morskoy period zhizni tikhookeanskikh lososey* (Early marine life of Pacific salmon), Moscow: VNIRO, 1998.

Koval, M.V., Estuarine ichthyofauna of Kamchatka: formation conditions, species diversity and ecological characterisation, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2024, vol. 72. doi 10.15853/2072-8212.2024.72.9-235. EDN: AMHUAK

Lepskaya, E.V., Bonk, T.V., Sushkevich, A.S., Kurbanova, L.V., Koval, M.V., Lozovoy, A.P., Kozhevnikov, A.V., Kolomeytsev, V.V., and Kirillova, E.A., Environmental conditions in the coastal area of basic spawning basins of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* at Western Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2019, vol. 53, pp. 22–33. doi 10.15853/2072-8212.2019.53.22-33

Makagonova, M.A., Characteristics of the winter atmospheric circulation in East Asia, *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2013, vol. 34, no. 3, pp. 208–215. doi 10.1134/S1875372813030037

Maksimenkov, V.V., *Pitaniye i pishchevyye otnosheniya molodi ryb, obitayushchikh v estuariyakh rek i pribrezh'ye Kamchatki* (Nutrition and nutritional relationships of juvenile fish living in estuaries of rivers and the coast of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2007.

Maksimenkov, V.V., Maksimenkova, T.V., and Koval, M.V., Food base of young Pacific salmon in coastal waters of western Kamchatka in spring-summer period 2004–2007, *Byull. no. 3 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoï programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 3 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 174–181.

Markina, N.P. and Chernyavsky, V.I., The quantitative distribution of plankton and benthos in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1984, vol. 109, pp. 109–119.

Naidenko, S.V., Shebanova, M.A., Kuznetsova, N.A., and Radchenko, K.V., Long-term dynamics of the food base for nekton in Pacific waters at the Kuril Islands and Kamchatka in summer, *present issue*.

Plotnikov, V.V., Mezentseva, L.I., and Dubina, V.A., *Tsirkulyatsiya atmosfery nad Dal'nim Vostokom i yeye otrazheniye v ledovykh protsessakh* (Atmospheric circulation over the Far East and its reflection in ice processes), Vladivostok: Dalnauka, 2015.

Smirnov, A.I., *Biologiya, razmnozhenie i razvitie tikhookeanskikh lososei* (Biology, Reproduction, and Development of Pacific Salmon), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1975.

Stepanov, V.I., *Mirovoy okean. Dinamika i svoystva vod* (World Ocean. Dynamics and Properties of Waters), Moscow: Znaniye, 1974.

Tepnin, O.B. and Soshin, A.V., On the application of high resolution satellite data in the analysis of the temperature condition dynamics in the pre-estuarine part of Kamchatsky Gulf area, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2022, vol. 64, pp. 85–96. doi 10.15853/2072-8212.2022.64.85-96

Ustinova, E.I., Sorokin, Yu.D., and Khen, G.V., Interannual variability of thermal conditions in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 44–51.

Fayman, P.A., Prants, S.V., Budyansky, M.V., and Uleysky, M.Y., Simulated pathways of the northwestern pacific water in the Okhotsk Sea, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2021, vol. 57, no. 3, pp. 329–340. doi 10.1134/S000143382103004X

Feldman, M.G. and Shevlyakov, E.A., Survival of Kamchatka pink salmon as result of combined influence of density regulation and environmental factors, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 182, pp. 88–114. doi 10.26428/1606-9919-2015-182-88-114

Feldman, M.G., Shevlyakov, E.A., and Artukhina, N.B., Evaluation of Pacific salmon *Oncorhynchus* spawning escapement landmarks for the river basins of West Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2019, vol. 52, pp. 50–78. doi 10.15853/2072-8212.2019.52.50-78

Chereshnev, I.A., Volobuev, V.V., Shestakov, A.V., and Frolov, S.V., *Lososevidnye ryby Severo-Vostoka Rossii* (Salmonids in the North-East of Russia), Vladivostok: Dal'nauka, 2002.

Chereshnev, I.A., Shestakov, A.V., Skopets, M.V., Korotaev, Yu.A., and Makoedov, A.N., *Presnovodnyye ryby Anadyrskogo basseyna* (Freshwater fish of the Anadyr basin), Vladivostok: Dal'nauka, 2001.

Chernyavsky, V.I., Circulation systems of the Sea of Okhotsk, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1981, vol. 105, pp. 13–19.

Chuchukalo, V.I. and Kuznetsova, N.A., Feeding relations of fishes in epipelagial of the western Bering Sea in autumn 2003–2004, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 144, pp. 180–197.

Shatilina, T.A. and Anzhina, G.I., Variability of the Far Eastern monsoon intensity in 1948–2010, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 167, pp. 146–159.

Shebanova, M.A., Somatic production of Copepoda in the western part of Bering Sea in summer — autumn period, in *Sb. mater. Vseross. nauchno-prakt. konf. mezhdunar. uchastiem, priuroch. k 145-letiyu Sevastopol. biol. stn. "Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy"* (Collect. Mater. All-Russ. Sci. Pract. Conf. Int. Participation, Commem. 145th Anniv. Sevastopol Biol. Stn. "Marine Biological Research: Achievements and Prospects"), Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika, 2016, vol. 2, pp. 477–480.

Shevlyakov, E.A., Dederer N.A., Ostrovsky, V.I., and Khen, G.V., Thermal conditions in the marine coastal waters as a factor favorable for formation of extra-strong year-classes of Karaginsky pink salmon, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 1, pp. 30–47. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-30-47. EDN: RYVEMU.

Shevlyakov, E.A., Feldman, M.G., Erokhin, V.G., and Shubkin, S.V., The results of the fishing of Western Kamchatka pink salmon in 2018, the prospects for the further state of its stock and fishing, in *Byull. N 13 izucheniya Tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 13 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018, pp. 41–51.

Shevlyakov, E.A. and Shubkin, S.V., The Recent Experience of Surveying Pacific Salmon Spawning Grounds in Watercourses of Chukotka, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 7, pp. 562–579. doi 10.1134/S106307402007007X

Shevlyakov, E.A., Shubkin, S.V., Dubynin, V.A., Malykh, K.M., Golub, E.V., Golub, A.P., Kaev, A.M., and Koval, M.V., Methods for accounting for spawners of Pacific salmon in spawning grounds and migration routes to them, in *Byull. no. 8 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2013, pp. 36–57.

Japan Meteorological Agency NEAR-GOOS RRTDB, ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/database.html.

Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., and Trofimenko, L.T., Description of the data array average monthly air temperature at the stations of the Russian Federation supervisory system. <http://ntp.meteo.ru/meteo/topis.htm>. Cited June 21, 2024.

Ulovy tikhookeanskikh lososey (1900–1986 gg.) (Pacific salmon catches (1900–1986)), Moscow: VNIRO, 1989. Cited June 21, 2024.

Pacific salmonid catch statistics (updated July 2023), North Pacific Anadromous Fish Commission, Vancouver. <https://www.npafc.org>. Cited June 21, 2024.

Поступила в редакцию 30.10.2024 г.

После доработки 4.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 30.10.2024; approved after reviewing 4.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024*