

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

ВОПРОСЫ РЫБОЛОВСТВА

Том 22 №4 2021
Октябрь – декабрь

Основан в 2000 г.
Выходит 4 раза в год
ISSN 0234-2774

Главный редактор:
О.А. Булатов

Редакционный совет:
К.В. Колончин (председатель),
А.А. Байталюк, В.А. Беляев, О.И. Бетин, Р. Дж. Бимиш,
Э.В. Бубунец, И.В. Бурлаченко, Г.А. Волошин,
А.В. Долгов, А.В. Жигин, А.М. Каев, А.Н. Котляр
(научный редактор), А.А. Лукин, Д.С. Павлов,
Е.В. Романов, Г.И. Рубан, А.Н. Сёмин, Г.Е. Серветник,
С.Н. Серёгин, А.А. Смирнов, А.С. Труба, Е.Н. Шадрин,
У. Шигехико, В.П. Шунтов

Заведующая редакцией Е. В. Трегубова
Адрес редакции: 107140, Москва,
ул. Верхняя Красносельская, д. 17,
тел.: 8 (499) 264-65-33, e-mail: vr@vniro.ru



FEDERAL AGENCY FOR FISHERIES

PROBLEMS OF FISHERIES

Vol. 22 issue 4 2021
October – december

Founded in 2000
Four issues every year
ISSN 0234-2774

Editor-in-chief:
O.A. Bulatov

Editorial Board:
K.V. Kolonchin (Charmain),
A.A. Baitalyuk, V.A. Belyaev, O.I. Betin, R. Beamish,
E.V. Bubunets, I.V. Burlachenko, G.A. Voloshin, A.V. Dolgov,
A.V. Zhigin, A.V. Kaev, A.N. Kotlyar (Scientific Editor)
A.A. Lukin, D.S. Pavlov, E.V. Romanov, G.I. Ruban,
A.N. Semin, G.E. Servetnik, S.N. Seregin, A.A. Smirnov,
A.S. Truba, E.N. Shadrin, U. Shigehiko, V.P. Shuntov



Staff Editor E.V. Tregubova
Address of the Editorial Office: Nr. 17,
Verkhnaya Krasnosel'skaya, 107140, Moscow
Phone: 8 (499) 264-65-33, e-mail: vr@vniro.ru

Материалы Международной научной конференции
«ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ, СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ИСКУССТВЕННОЕ
ВОСПРОИЗВОДСТВО ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКЕ»
19 февраля 2021 г., г. Южно-Сахалинск, Россия

СОДЕРЖАНИЕ
ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

Доказательства зависимости численности тихоокеанских лососей от роста молоди в первые месяцы жизни в океане

Ричард Джеймс Бимиш, Крис-Элен Мари Невилл 5

Современные тенденции снижения запасов кеты и их потенциальные механизмы на Хоккайдо, Япония

Хирокадзу Урабе 16

Современные океанические условия и тенденции изменений тихоокеанских лососей от Аляски до Калифорнии

Лори Вейткамп 27

Влияние климатических факторов на межгодовые колебания запасов камчатской горбуши в 2014-2020 гг.

А.С. Кровнин, К.К. Кивва, Г.П. Мурый, А.А. Сумкина 35

Аномалии температуры поверхности воды в западной части северной Пацифики — потенциальный климатический предиктор прогнозирования численности тихоокеанских лососей Камчатки

А.В. Бугаев, М.Г. Фельдман, О.Б. Тепнин, М.В. Коваль 46

Тихоокеанские лососи в условиях глобального изменения климата

С.Л. Марченко 63

Тенденции изменения численности, прогноз, управление запасами нерки *Oncorhynchus nerka* и кеты *Oncorhynchus keta* в Камчатском крае

О.В. Зикунцова, В.А. Дубынин, Л.О. Заварина, С.В. Шубкин, А.В. Бугаев 75

Современные принципы управления запасами горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Камчатского края (динамика численности, прогнозирование, регулирование промысла).

М.Г. Фельдман, А.В. Бугаев 86

Условия нагула молоди горбуши в осенне-зимний период на примере сезона 2019-2020 гг.

С.В. Найдено, Г.В. Хен, А.Л. Фигуркин, Н.А. Кузнецова, А.Н. Старовойтов, А.А. Сомов, М.А.

Шебанова 96

Регулирование промысла тихоокеанских лососей р. Амура в условиях снижения их численности в 2017-2020 гг.

Д.В. Коцюк, Е.В. Подорожнюк, В.И. Островский 116

Оценка приёмной ёмкости прибрежной части акватории зал. Анива и юго-восточного Сахалина (Охотское море) для молоди кеты и горбуши

В.С. Лабай, Г.В. Шевченко, И.А. Атаманова, Д.С. Заварзин, О.Н. Мухаметова, Н.К. Заварзина,

А.А. Живоглядов, Т.С. Шпилько, Е. С. Корнеев 123

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

Состояние запасов и промысла горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *O. keta* (Salmonidae, Salmoniformes) в районах их массового искусственного воспроизводства

В.И. Радченко 140

Возможности повышения эффективности искусственного воспроизводства кеты *Oncorhynchus keta* в бассейне р.Найба (о. Сахалин)

М.Ю. Стекольников, О.А. Барковская, Ю.А. Батюк 182

Proceedings of the International Scientific Conference
«POPULATION DYNAMICS, STOCK STATUS AND ARTIFICIAL REPRODUCTION
OF PACIFIC SALMONS IN THE NORTHERN PACIFIC»
February 19, 2021, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

CONTENTS

DYNAMICS OF ABUNDANCE

Evidence that Pacific salmon production is related to growth in the first months in the ocean <i>Beamish Richard James, Nevill Chrys-Ellen Marie</i>	5
Recent trend in Chum Salmon stock decline and its potential mechanisms in Hokkaido, Japan <i>Hirokazu Urabe</i>	16
Recent ocean conditions and trends of Pacific salmon from Alaska to California <i>Laurie Weitkamp</i>	27
Influence of climatic factors on interannual variations of Kamchatka pink salmon stocks in 2014–2020 <i>A.S. Krovnin, K.K. Kivva, G.P. Moury, A.A. Sumkina</i>	35
On the use of the data of the anomaly of the water surface temperature in the western part of the northern Pacific as a potential climatic predictor for predicting the number of Pacific salmon of Kamchatka <i>A.V. Bugaev, M.G. Pheldman, O.B. Tepnin, M.V. Koval</i>	46
Pacific salmon (<i>Oncorhynchus</i>) in the context of global climate change <i>S.L. Marchenko</i>	63
Trends in abundance, prediction, fishery management sockeye salmon (<i>Oncorhynchus nerka</i>) and Chum salmon (<i>Oncorhynchus keta</i>) in Kamchatka territory <i>O.V. Zikunova, V.A. Dubynin, L.A. Zavarina, S.V. Shubkin, A.V. Bugaev</i>	75
Modern principles of pink salmon (<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>) stocks management in the Kamchatka region (population dynamics, forecasting, fishing regulation) <i>M.G. Feldman, A.V. Bugaev</i>	86
Environmental surrounding of pink salmon juveniles during fall and winter 2019/2020 <i>S.V. Naydenko, G.V. Khen, A.L. Figurkin, N.A. Kuznetsova, A.N. Starovoytov, A.A. Somov, M.A. Shebanova</i>	96
Regulation of fishing for Pacific Amur salmon in conditions of their declining numbers in 2017-2020 <i>D.V. Kotsyuk, E.V. Podorozhnyuk, V.I. Ostrovsky</i>	116
Estimation of reception capacity of the coastal water of Aniva Bay and South-Eastern Sakhalin (Sea of Okhotsk) for juvenile of chum and pink salmon <i>V.S. Labay, G.V. Shevchenko, I.A. Atamanova, D.S. Zavarzin, O.N. Moukhametova, N.K. Zavarzina, A.A. Zhivoglyadov, T.S. Shpilko, E.S. Korneev</i>	123

AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION

Pink <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> and chum <i>O. keta</i> (Salmonidae, Salmoniformes) Salmon stock and fishery conditions in places of their intensive hatchery propagation <i>V.I. Radchenko</i>	140
Possibilities of increasing the of artificial reproduction of chum salmon <i>Oncorhynchus keta</i> in the Naiba river basin (Sakhalin island) <i>M.Y. Stekolshchikova, O.A. Barkovskaya, Y.A. Batyuk</i>	182

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЗАВИСИМОСТИ ЧИСЛЕННОСТИ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ ОТ РОСТА МОЛОДИ В ПЕРВЫЕ МЕСЯЦЫ ЖИЗНИ В ОКЕАНЕ

© 2021 г. Ричард Джеймс Бимиш¹, Крис-Элен Мари Невилл²

¹⁻² Рыболовство и океаны, Тихоокеанская биологическая станция,
Нанаймо, Британская Колумбия, Канада
E.mail: Richard.Beamish@dfo-mpo.gc.ca

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

Одним из принципов экологии является то, что изобилие растений и животных, производящих большое количество семян и детенышей, регулируется доступной средой обитания, а не числом потомства. Тихоокеанские лососи производят большое количество потомства, что означает, что при попадании в океан достаточного количества молоди именно приёмная ёмкость океана регулирует формирование численности запаса этих рыб. Недавние исследования подтверждают, что рост в раннем морском периоде связан с общим воспроизводством тихоокеанских лососей, с особями, которые быстрее растут и лучше выживают. Мы предполагаем, что недавние тенденции к увеличению или уменьшению численности тихоокеанских лососей были вызваны высокой или низкой численностью доступного корма в прибрежных районах в течение первых нескольких месяцев после выхода молоди в океан. Рыбы, пережившие первую океанскую зиму, будут в первую очередь, особями, которые превысили энергетический порог роста в критическое время в раннем морском периоде.

Ключевые слова: воспроизводство тихоокеанских лососей, уменьшение приёмной ёмкости прибрежных вод океана, механизм регулирования численности.

ВВЕДЕНИЕ

Мы начали наши исследования в 1998 г. в прол. Джорджия, на западном побережье Канады, чтобы определить влияние климата и океанических условий нагула на продуктивность тихоокеанских лососей. В начале нашего исследования общий вылов тихоокеанских лососей сократился (рис. 1) с особенно заметным снижением запасов нерки (*Oncorhynchus nerka*), воспроизводящейся в р. Фрейзер (рис. 2). Нерка р. Фрейзер традиционно поддерживала наиболее значимый промысел на западном побережье, и оценка состояния её запасов была мерой государственного контроля состояния запасов лососей и окружающей среды в целом. Мы подготовили ряд докладов, касающихся факторов, влия-

ющих в последние 20 лет на динамику численности популяций тихоокеанских лососей, молодь которых нагуливается в зал. Джорджия. Настоящее сообщение является интерпретацией результатов наших исследований и работ других учёных, связанных с комплексом условий, формирующих тенденцию снижения численности лососей.

Кижуч (*O. kisutch*) проводит, по крайней мере, одну зиму в пресной воде после того, как мальки вылупляются и выходят из «гнезд» ранней весной (Sandercock, 1991; Pearcy, 1992). Количество зим в пресной воде зависит от состояния отдельных рыб, которое связано с ростом. Процесс смолтификации молоди связан с физиологическими изменениями рыб, готовящихся к смене осморе-

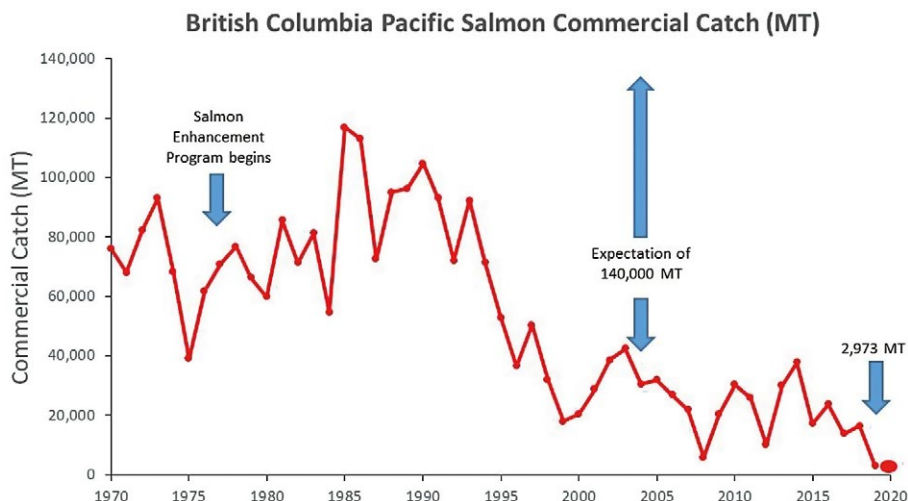


Рис. 1. Промышленный вылов (млн т) тихоокеанского лосося в Британской Колумбии с 1970 по 2020 гг.

Примечание: Первая синяя стрелка указывает на начало реализации Программы повышения качества лосося. Прогноз заключался в том, что вылов тихоокеанских лососей достигнет 140 000 т к 2005 г. (вторая голубая стрелка). Третья голубая стрелка указывает на то, что в 2019 г. вылов составил 2 973 т. Красный кружок — предполагаемый вылов в 2020 г.

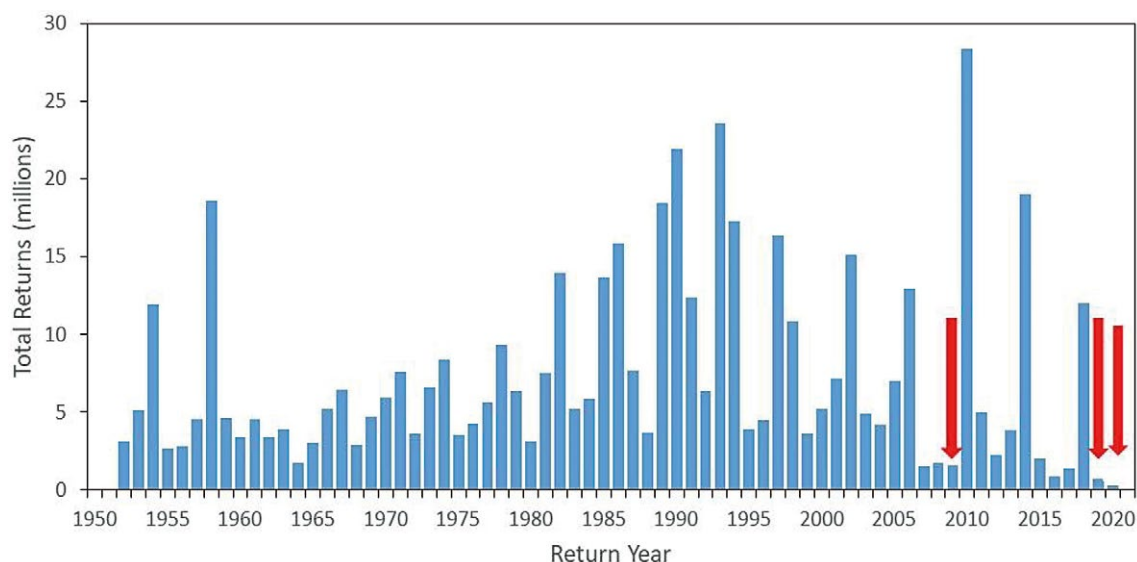


Рис. 2. Общий возврат нерки из р. Фрейзер.

Примечание: Первая красная стрелка показывает первый исторически низкий возврат в 2009 г. Вторая красная стрелка идентифицирует следующий исторически низкий возврат в 2019 г. и третья — показывает новый самый низкий предполагаемый возврат в 2020 г.

гуляции в океане, и зависит от ряда факторов, включающих фотопериод и скорость роста (Mahnken et al., 1982).

Фотопериод связан с продолжительностью дня относительно самого продолжительно дня летнего солнцестояния, с которым, как известно,

тесно связано начало смолтификации, если скорость роста мальков была быстрой и превышала необходимый порог (Brauer, 1982). Размер мальков важен (Mahnken et al., 1982; Dickhoff et al., 1997), однако определяющим фактором является именно скорость роста.

Таким образом, представляется, что скорость роста, которая превышает необходимый порог на пике продолжительности дня, указывает на начало серьезного изменения физиологии особи при подготовке к миграции из пресной воды в солёную. Важно отметить, что в критический момент развития существует внешний сигнал, стимулирующий метаболическое решение подготовки особи к будущему выживанию в океане.

Бимиш и Манкен (2001) предположили, что кижуч в ранний морской период следовал аналогичному процессу, связанному с механизмом его выживания в океане. Концепция получила название гипотезы критического размера и периода, и была отражена в работах Невилл и Бимиша (Neville, Beamish, 2018) и Бимиша (Beamish, 2018). Согласно этой гипотезе, регулирование численности в океане происходит в два этапа. Первый этап — хищничество, которое влияет на численность сразу после попадания рыбы в океан и связано оно как с размером рыбы, плотностью скопленных молоди, так и с многочисленностью и видом хищников. Второй — смертность, которая является следствием начальных темпов роста в раннем морском периоде и способности рыбы пережить первую океанскую зиму. Хищничество все еще может быть причиной смерти, но здесь уже затрагивается именно внутренняя физиология, поскольку пищевые ресурсы становятся ограниченными осенью и зимой в первый океанический год. Рыбы, испытывающие пониженную способность быстрого роста, вряд ли переживут первую океанскую зиму и подобны «плавающей мертвой рыбе». Максимальная плотность популяции может быть определена как объём биомассы данной популяции, которая может поддерживаться экосистемой (US Globec, 1996) и может увеличивать-

ся, изменяться случайным образом или уменьшаться. Рикер (Ricker 1954, 1958) основал свою модель воспроизводства лосося на максимальной плотности популяции, которая менялась случайным образом. В этой статье мы обращаем особое внимание на последствия снижения максимальной плотности популяции и, соответственно, сокращение биомассы лосося.

Доказательство того, что численность тихоокеанских лососей тесно связана с темпами роста молоди в раннем морском периоде. Кижуч в прол. Джорджия. Бимиш и Манкен (Beamish, Mahnken, 1999, 2001) сообщили, что ранний рост в морской период, который превысил порог в критический период жизни, привёл к более высокому выживанию кижуча. Эксперименты по контролю роста годовиков кижуча, помещенных в морские садки после летнего солнцестояния показали, что после осеннего равноденствия уровень смертности особей, получивших более скудный рацион, был на 50% выше по сравнению с особями, получающими средний и богатый рацион (Beamish, Mahnken, 1999). Выживание в морской среде было четко связано с размером рациона в исследованиях с контролируемым кормлением. Изучение механизмов, определяющих гибель, связанную с физиологическими изменениями, показало, что у кижуча существует отложенная смертность, связанная с плохим ростом.

Исследование колец на чешуе у молоди и взрослых особей кижуча из прол. Джорджия (Beamish et al., 2004) показало, что кижуч, переживший зиму, имел значительно более широкое расстояние между кольцами на чешуе, которые образовались в раннем морском периоде, по сравнению с чешуёй молоди, ото-

бранной в раннем морском периоде в прол. Джорджия (рис. 3). Средняя ширина первых 10 океанских колец чешуи была больше у 82 % рыб, переживших океанскую зиму, по сравнению с молодью осенней выборки первого океанского года в прол. Джорджия. Стало ясно, что доминирование обеспечила быстрорастущая молодь, которая успешно пережила зиму в океане в свой первый океанический год.

В недавнем исследовании (Beamish, Neville, 2021), отмечена тесная связь между увеличением роста молоди кижуча в прол. Джорджия и выживанием его в ранний морской период (рис. 4). Годы сокращения численности молоди в сентябре также были связаны с года-

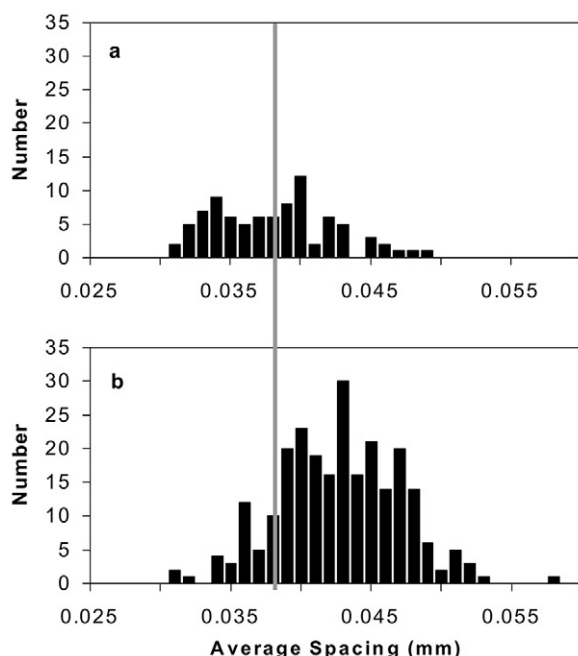


Рис. 3. Среднее межсклеритное расстояние для первых 10 склеритов на чешуе сеголеток кижуча в первый года жизни в океане (а), выловленных в прол. Джорджия, Британская Колумбия, Канада в сентябре, ноябре 2000 г. и (б) годовалых кижучей, выловленных в марте — сентябре 2001 г. в проливе Джорджия и на ЛРЗ на реках Чилливак и Большой Кваликум. **Примечание:** Вся рыба 1998 г. нереста. Вертикальная линия показывает среднее межсклеритное расстояние для сеголеток кижуча (рис. из Beamish et al., 2004).

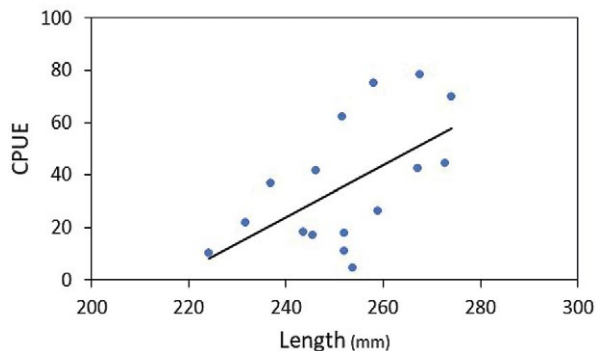


Рис. 4. Размер молоди кижуча в прол. Джорджия с 2002 по 2018 гг.

Примечание: численность, как показал улов на единицу усилия (CPUE), увеличивалась с возрастанием средней длины, демонстрируя, что рыбы, которые больше выросли в первые недели в океане, выживали лучше ($R^2=0,34$).

ми уменьшения объема зоопланктона (Perry et al., 2021). Увеличение численности зоопланктона обеспечивало увеличение среднего размера и численности молоди в осенний период.

Горбуша, кета и нерка от штата Вашингтон до Аляски в Беринговом море. Исследование Ф. Мьютера с соавторами (Mueter et al., 2002) показало взаимосвязь между условиями океана (температурный режим) и воспроизводством горбуши (*O. gorbuscha*), кеты (*O. keta*) и нерки. Особи этих видов были отобраны у побережья штата Вашингтон, Британской Колумбии, Юго-Восточной и Западной Аляски. Исследование подтвердило, что положительные аномалии привели к увеличению выживаемости у берегов Аляски и к её снижению у берегов Британской Колумбии и штата Вашингтон.

Менее выраженный, но весьма важный вывод заключается в том, что выживание 120 региональных групп природной горбуши, кеты и нерки из обширной популяции за 31 год тесно связано с прибрежными условиями в ранний морской период. Авторы предположили, что противоположные реакции на повышение

температуры между популяциями на юге и севере указывают на то, что разные механизмы регулируют их выживание в этих районах моря. Мы интерпретируем результаты, чтобы показать, что механизм тот же, с более тёплой водой на Аляске, приводящей к более высокому или низкому уровню кормовой базы в первые месяцы в океане у берегов штата Вашингтон и Британской Колумбии. В обоих случаях важным элементом процесса является темп раннего морского роста.

Воспроизводство чавычи на Аляске. Грэхем и соавторы (Graham et al., 2019) опубликовали важные результаты анализа факторов, влияющих на воспроизводство чавычи (*O. tshawytscha*) в двух больших реках Юго-Восточной Аляски. Популяция чавычи западного побережья Северной Америки значительно сократилась вследствие её истребления за последние 40 лет (Riddell et al., 2018; Welch et al., 2021). Сокращение последних популяций на Аляске привело к тенденции снижения уровня воспроизводства вида, которое наблюдается с начала 2000-х гг. Грэхем с соавторами (Graham et al., 2019) изучали рост по чешуе половозрелых самок чавычи, которые возвращались на нерест в две реки с 1979 по 2006 гг. Популяции одной реки изучались в течение 20 лет, другой — 18 лет. Основной вывод заключался в том, что успешность воспроизводства связана с ростом рыб в ранний морской период. Было установлено, что наблюдаемая в последнее время тенденция к снижению численности чавычи, является следствием слабого роста в ранний морской период жизни чавычи.

Воспроизводство чавычи в Пьюджет-Саунд. Другое исследование причин снижения воспроизводства чавычи было проведено в Пьюджет-Саунд Даф-

фи и Бошампом (Duffy, Beauchamp, 2011). Эти авторы сравнили общее выживание рыболовной чавычи с их ростом в первые месяцы в Пьюджет-Саунд с 1997 по 2002 гг. Они отобрали молодь лососей при помощи трала, и выводы об общей выживаемости рыб были сделаны на основе оценки выпуска с рыболовных заводов и общего возврата. Авторы пришли к заключению, что воспроизводство чавычи рек Пьюджет-Саунд было тесно связано с темпом их роста в мае, июне и до июля. Именно региональная экологическая ёмкость морской среды больше всего связана с продуктивностью. Они предположили, что снижение численности чавычи с начала 1980 гг. является результатом тенденции снижения темпов роста в ранний морской период. Они посчитали, что ранний морской период может быть рассмотрен как критический период, когда чавыча должна максимально подрасти, для того чтобы минимизировать уровень смертности в оставшийся период морской жизни.

Тенденции численности горбуши у берегов Аляски. Фарли и др. (Farley et al., 2020) установили, что численность молоди горбуши в ранний морской период в северной части Берингова моря была главным показателем возврата взрослых особей. Траловые съёмки 2003–2018 гг. дали оценки численности молоди горбуши, которая в значительной степени была связана с возвратом взрослых особей в Нортон-Саунд и р. Юкон. Возврат производителей горбуши также достоверно прогнозировался с использованием оценок численности молоди горбуши в июне или июле в прол. Айси, Юго-Восточная Аляска, за 9 из 11 лет с 2004 по 2014 гг. (Orsi et al., 2016). Быстрый рост для достижения порогового размера был связан с быстрой откочёвкой от берега и более вы-

сокой и высокой морской выживаемостью. Авторы сделали вывод, что результаты их исследований подтверждают гипотезу о существовании раннего критического периода, связанного с общей выживаемостью взрослых особей. Если достаточное количество мальков попадает в океан и хищничество не является чрезмерным, именно быстрый рост, до лета, регулирует воспроизводство.

Механизм регулирования численности. Мы предполагаем, что представленные нами в обобщённом виде работы, а также многочисленные другие исследования свидетельствуют о том, что численность тихоокеанских лососей за последние несколько десятилетий оказалась тесно связанной с быстрым ростом в ранний морской период. Исследования показывают, что именно в ранний морской период в основном формируется общая их численность, благодаря быстрому росту и улучшению выживания. Есть старая поговорка: «вы не можете управлять тем, что не можете измерить». Мы предполагаем, что для того чтобы по-настоящему управлять тихоокеанскими лососями, надо понять механизмы, регулирующие их выживание в океанической среде обитания.

Основной механизм, предположительно, следующий: рыба, которая растет быстрее в первые недели в океане, лучше выживает, так как превышает порог роста в критический период и начинает накапливать липиды (рис. 5). В целом, лишь небольшой процент особей может удовлетворять этим требованиям, т. е. небольшие изменения в процентах, которые превышают порог роста, вызывают большие различия в общей выживаемости рыб. Например, общая океаническая выживаемость рыб в 5% дает большое количество взрослых особей чавычи и кеты. А уменьшение выживаемости от

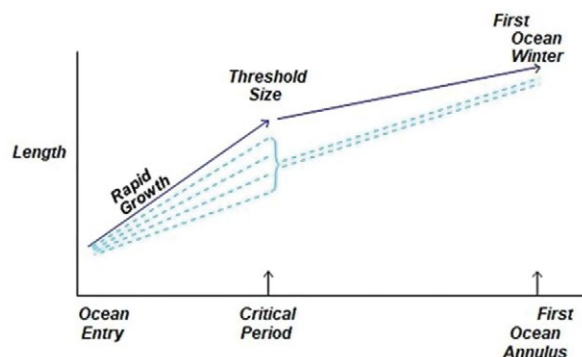


Рис. 5. Иллюстрация гипотезы о том, что быстрый рост, превышающий порог роста в критический период, приводит к сокращению роста после превышения порога, т. к. особь накапливает энергию, чтобы легче выжить в первую океанскую зиму.

Примечание: Большинство рыб, не достигших порогового размера к критическому периоду, не выживет. Немногие из этих рыб дорастут до размеров рыб, превысивших порог и ранее сокративших рост, ко времени закладки первого океанического кольца на чешуе.

4 до 1%, из-за снижения темпов раннего морского роста, приведет к 80% сокращению производителей. Нет смысла с экологической точки зрения увеличивать количество смолтов и молоди, поскольку это уменьшит приёмную мощность прибрежной лососевой экосистемы. Тем не менее, при более глубоком понимании механизма, регулирующего выживание в раннем морском периоде, возможно, удастся управлять воспроизводством особей природного и искусственного происхождения, чтобы найти способы максимально увеличить продуктивность, даже в условиях снижения экологической ёмкости океана.

Пример нерки р. Фрейзер. Хендерсон и Касс (Henderson, Cass, 1991) провели исследование, чтобы выяснить, действительно ли более крупные смолты нерки лучше выживают до наступления половой зрелости по сравнению с мелкими смолтами. Они изучили молодь в системе оз. Чилко в верховьях р. Фрейзер. Популяция нерки оз. Чилко —

вторая крупнейшая популяция р. Фрейзер (Cass, 1989). Воспроизводство нерки в этой популяции следует четырехлетнему циклу с максимальным возвратом каждые четыре года. Причина циклов была изучена некоторыми известными исследователями, но до сих пор еще нет единой точки зрения на такое циклическое поведение.

Цель исследования Хендерсона и Касса (Henderson, Cass, 1991) — определить существует ли возможность увеличения общего возврата за счёт укрупнения молоди, покидающей озеро. До этого им необходимо было узнать, лучше ли выживает в океане молодь, достигшая больших размеров в пресной воде. В своей работе они изучили период пресноводного роста по чешуе взрослых особей. Они также рассмотрели пресноводный рост молоди, покидающей озеро, и сравнили со средним темпом роста в этом же районе, рассчитанным по чешуе взрослых рыб этого же года нереста. То, что они обнаружили, было неожиданным и важным. То, чего они не нашли, было еще более неожиданным и, по крайней мере, не менее важным.

Они не обнаружили взаимосвязи между выживаемостью молоди до половой зрелости и средним размером молоди, покидающей озеро за 37 лет изучения, с 1952 по 1985 гг. Однако, более высокий процент возврата был у более крупной молоди. За три года, в которые они сравнивали, межсклеритные расстояния на чешуе молоди, покидающей озеро, и в зоне пресноводного роста на чешуе взрослых рыб того же года нереста, они обнаружили, что быстрорастущая молодь выживает лучше, чем рыба с пониженными темпами роста. Это доказало тезис, что способность быстрее расти в пресной воде передается на способности лучше выживать в океане. Видимо небольшой процент агрессивной в поиске пищи молоди в пресной воде также

агрессивен в поиске пищи в океане. Мы называем таких особей «лучшими атлетами».

Насколько мы понимаем, это недостаточно обоснованная концепция, но она даёт возможность лучше понять механизмы, регулирующие процесс выживания в раннем морском периоде. Концепция «лучшего атлета» может указывать на то, что эти рыбы на самом деле больше рискуют при поиске пищи, но также лучше избегают возможной смерти от хищников. Если эта концепция реальна, то она может дать возможность улучшить воспроизводство даже тогда, когда снижается приёмная ёмкость прибрежных вод океана.

Хендерсон и Касс (Henderson, Cass, 1991) также обнаружили, что изменчивость среднего размера молоди ко времени закладки первого морского кольца оставалась минимальной и не проявляла трендов в течение 37 лет (рис. 6). Они не включили это в свою статью, а предоставили данные Бимишу и Манкену (Beamish, Mahnken, 1999). Мы показываем их на рисунке 6. Ожидалось, что, когда средний размер малька был больше, средний размер на первом морском кольце мог быть больше или, когда общий возврат был больше, средний размер на первом морском кольце тоже мог увеличиваться. Отсутствие тренда-отклонения, несмотря на различия в общем возврате 1952–1985 гг., было неожиданным и необъяснимым, поэтому не было включено в работу Хендерсона и Касса (Henderson, Cass, 1991).

Наша интерпретация следующая: размеры ко времени закладки первого морского кольца схожи, так как рыба, которая превышала порог роста в критическое время в ранний морской период сокращала свой рост и накапливала липиды. Метаболически определяемый порог роста уменьшал размерную

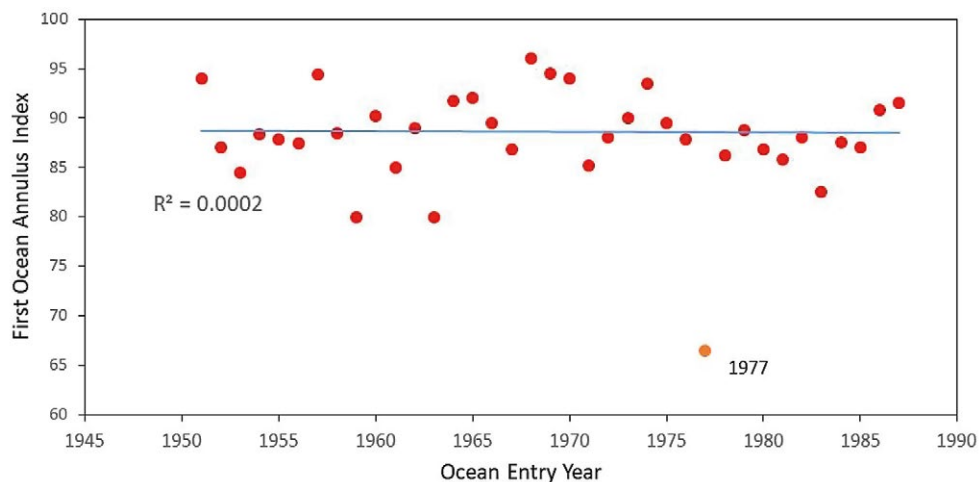


Рис. 6. Размер молоди нерки популяций р. Фрейзер к началу закладки первого зимнего кольца на чешуе». **Примечание:** На оси ординат откладывается параметр длины рыб, полученный при анализе выборки чешуи от 100 взрослых рыб, за период от 1950 до 1987 гг. Линия тренда строилась без учета данных 1977 г., что объясняется в обсуждении.

изменчивость в первый океанический год, так же, как и улучшал способность выжить в первую зиму в океане. Отклонение в 1977 г. могло возникнуть из условий, существовавших в океане в этот год, когда произошел значительный сдвиг в режиме, повлиявший на воспроизводство ряда видов, особенно в Беринговом море (Ebbesmeyer et al., 1991; Beamish, Bouillon, 1993; Minobe, 1997).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы предполагаем, что существует достаточное количество опубликованной информации, чтобы заключить, что темпы роста в ранний морской период — основной фактор, регулирующий воспроизводство тихоокеанского лосося в периоды снижения экологической ёмкости океана. Темпы роста, также могут быть главным фактором, регулирующим воспроизводство в периоды увеличения экологической ёмкости океана или случайного её изменения, но размер запасов мог бы оказать влияние в этих двух сценариях. Влияние экологической ёмкости океанического побережья может определять время и район выхода молоди в океан. Поскольку это относи-

тельно короткий период времени, за который рыба должна вырасти, чтобы превысить метаболически определяемый порог, океаническая система может измениться таким образом, что в период ската рыбы в океан улучшатся условия роста. Известно, например, что чавыча и нерка из определенных районов р. Фрейзер попадают в прол. Джорджия на 6–8 недель позже, чем другие популяции и характеризуются более высокой выживаемостью, чем ранее мигрирующие в океан популяции (Beamish et al., 2013). Эта концепция особенно актуальна для управления искусственным воспроизводством, поскольку изменения в сроках выхода в океан могут обеспечить широкие возможности для повышения выживаемости. Измерение длины первого океанического годового кольца на чешуе — один из способов проверки нашей гипотезы о том, что превышение порога роста в раннем океаническом периоде приводит к улучшению выживаемости, и может также служить причиной сходных размеров ко времени закладки первого морского кольца в разные годы. Наша концепция «лучших атлетов» может быть протестирована на видах, мо-

лодь которых задерживается в пресной воде, путем изучения межсклеритных расстояний на чешуе вернувшихся производителей. Если такая концепция верна, она может применяться к горбуше и кете, если есть доказательства того, что выжившие быстрорастущие рыбы, как ранее было показано в исследованиях, генетически и поведенчески лучше адаптированы. Наш вывод заключается в том, что управление тихоокеанским лососем в условиях снижения приёмной ёмкости прибрежных вод океана требует гораздо лучшего понимания механизмов, регулирующих выживание в океане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Beamish R.J., Bouillon D.R.* 1993. Pacific salmon production trends in relation to climate // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1999. V. 50. P. 1002–1016.
- Beamish R.J., Mahnken C.* Taking the next step in fisheries management // Pages 1–21, in *Ecosystem approaches for fisheries management*. Alaska Sea Grant Program. AK-SG-99-01, Fairbanks, Alaska. 1999. P. 1–21.
- Beamish R.J., Mahnken C.* A critical size and period hypothesis to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change // *Progress in Oceanography*. 2001. V. 49. P. 423–437.
- Beamish R.J., Mahnken C., Neville C.M.* Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon // *Transactions of the American Fisheries Society*. 2004. V. 133. P. 26–33.
- Beamish R.J., Sweeting R., Neville C.* Late ocean entry provides resilience to populations of Chinook and Sockeye Salmon in the Fraser River // *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report*. 2013. V. 9. P. 38–44.
- Beamish R.J.* The ocean ecology of Pacific salmon and trout // *American Fisheries Society*. Bethesda, Maryland. 2018. 1197 p.
- Beamish R.J., Neville C.* (Submitted). The natural regulation of wild and hatchery Coho Salmon production in the Strait of Georgia // *Fisheries*. 2021.
- Brauer E.P.* The photoperiod control of coho salmon smoltification // *Aquaculture*. 1982. V. 28. P. 105–111.
- Cass A.* Stock status of Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1989. V. 1674. 106 p.
- Dickhoff W.W., Beckman B.R., Larsen D.A., Duan C., Moriyama S.* The role of growth in endocrine regulation of salmon smoltification // *Fish Physiology and Biochemistry*. 1997. V. 17. P. 231–236.
- Duffy E.J., Beauchamp D.A.* Rapid growth in the early marine period improves the marine survival of Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in Puget Sound, Washington // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2011. V. 68. P. 232–240.
- Ebbesmeyer C.C., Cayan D.R., McLean D.R.* 1976 step in the Pacific climate: forty environmental changes between 1968–1975 and 1977–1984 // In J.L. Betancourt, and V.L. Tharp. *Proceedings of the Seventh Annual Pacific Climate (PACCLIM) Workshop*, April 1990. California Department of Water Resources, Asilomar, California. 1991. P. 115–126.
- Farley E.V. Jr., Murphy J.M., Cieciel K.* Response of Pink salmon to climate warming in the northern Bering Sea // *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2020. V. 177: article 104830.
- Graham C.J., Sutton T.M., Adkinson M.D.* Evaluation of growth, survival, and recruitment of Chinook Salmon in southeast Alaska rivers // *Transactions of the American Fisheries Society*. 2019. V. 148. P. 243–259.
- Henderson M.A., Cass A.J.* Effect of smolt size on smolt-to-adult survival of Chilko Lake sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1991. V. 48. P. 988–994.
- Mahnken C., Prentice E., Waknitz W.* The application of recent smoltification research to public hatchery releases: an assessment of size/time

requirements for Columbia River hatchery coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // *Aquaculture*. 1982. V. 28. P. 251–268.

Mueter F.J., Peterman R.M., Pyper B.J. Opposite effects of ocean temperature on survival rates of 120 stocks of Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*) in northern and southern areas // *Canadian J. Fisheries and Aquatic Sciences*. 2002. V. 59. P. 456–463.

Minobe S. A 50–70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America // *Geo-physical Research Letters*. 1997. V. 24. P. 683–686.

Neville C.-E. M., Beamish R.J. Understanding the mechanisms that regulate Coho Salmon abundance in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada // *North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report*. 2018. V. 11. P. 67–71. Available at https://npafc.org/wp-content/uploads/technical-reports/17_Neville-and-Beamish.pdf.

Pearcy W.G. Ocean ecology of North Pacific salmonids // *University of Washington Press*, Seattle, 1992.

Ricker W.E. Stock and recruitment // *J. Fisheries Research Board of Canada*. 1954. V. 11. P. 559–623.

Ricker W.E. Maximum sustained yields from fluctuating environments and mixed stocks // *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1958. V. 15. P. 991–1006.

Riddell B.E., Brodeur R.D., Bugaev A.V. Ocean ecology of Chinook Salmon // In R.J. Beamish (ed.). *The ocean ecology of Pacific salmon and*

trout. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 2018. P. 555–596.

Sanderson F.K. Life history of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) // In C. Groot and L. Margolis (ed.). *Pacific salmon life histories*. University of British Columbia Press, Vancouver, 1991. P. 395–445.

Orsi J.A., Fergusson E.A., Wertheimer A.C., Farley Jr. E.V. Forecasting Pink salmon production in southeast Alaska using ecosystem indicators in times of climate change // *North Pacific Anadromous Fisheries Commission Bulletin*. 2016. V. 6. P. 483–499.

Perry, R.I., Young K., Galbraith M. Zooplankton variability in the Strait of Georgia, Canada, and relationships with the marine survivals of Chinook and Coho salmon // *PLOS ONE*. 2021. V. 16(1). P. e0245941. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245941>.

US GLOBEC. Report on climate change and carrying capacity of the North Pacific ecosystem // *US Global Ocean Ecosystem Dynamics Rep.* 1996. N. 15 Univ. California, Berkeley.

Welch D.W., Porter A.D., Rechisky E.L. A synthesis of the coast-wide decline in survival of West Coast Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*, Salmonidae) // *Fish and Fisheries*. 2021. V. 22. N. 1. P. 194–211.

**EVIDENCE THAT PACIFIC SALMON PRODUCTION IS RELATED
TO GROWTH IN THE FIRST MONTHS IN THE OCEAN**

© 2021 y. Beamish Richard James¹, Nevill Chrys-Ellen Marie²

*1 — Emeritus Scientist, Fisheries and Oceans Canada, Pacific
Biological Station, Nanaimo, British Columbia, Canada;*

*2 — Fisheries and Oceans Canada, Pacific Biological
Station, Nanaimo, British Columbia, Canada*

It is a principle in ecology that the abundance of plants and animals that produce large numbers of seeds or babies is regulated by the available habitat and not by the number of seeds or babies. Pacific salmon produce a large number of babies which means that when an adequate number of smolts or fry enter the ocean, it is the carrying capacity of the ocean that regulates the production of Pacific salmon. Recent studies confirm that growth in the early marine period is related to total production of Pacific salmon with individuals that grow faster, surviving better. We propose that the recent increasing or decreasing trends in Pacific salmon abundances are caused by increasing or decreasing abundances of preferred prey in the coastal areas within the first few months after ocean entry. Fish that survive the first ocean winter will primarily be individuals that exceeded a growth – energy threshold at a critical time in the early marine period.

Key words: Pacific salmon production, declining coastal ocean carrying capacity, mechanisms.

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ

УДК: 551.465.16(265):597–152.6:597.553.2.

DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-4-16-26

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СНИЖЕНИЯ
ЗАПАСОВ КЕТЫ И ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ
МЕХАНИЗМЫ НА ХОКАЙДО, ЯПОНИЯ**

© 2021 г. Хирокадзу Урабе

*Исследовательский институт лососевого и пресноводного рыболовства,
исследовательская организация о. Хоккайдо,
3–373 Китакашиваги, Энива, Япония*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

Результаты исследований показали, что коэффициент возврата кеты положительно коррелирует с температурами поверхности прибрежных вод (ТПМ) во время ската в океан. Это подразумевает, что ТПМ в данный момент нагула молоди кеты может быть основным фактором в формировании численности вида. Снижение уровня запасов может быть вызвано фазой «холодной весны» в прибрежной зоне о. Хоккайдо. Численность возврата поколения от воспроизводства 2015 г. была исключением. Выполнен анализ соотношения между возрастом созревания производителей и соотношением в возвратах кеты в возрасте 4–5 и 3–4 лет нагула. Это необходимо, чтобы определить факторы, влияющие на точность прогноза. Анализ выявил, что возраст наступления созревания кеты снизился, и это привело к недавнему снижению точности путинного прогноза. Вдобавок к этому, недавнее снижение возраста созревания предполагает сокращение выживаемости рыб с более медленным темпом роста. Эти результаты свидетельствуют о том, что снижение уровня запасов кеты на о. Хоккайдо было вызвано, в основном, холодными океаническими условиями весной на тихоокеанском побережье. Но низкий уровень выживаемости рыб 2015 года рождения, скат которых совпал с благоприятными океаническими условиями прибрежной зоны, невозможно объяснить общим механизмом выживания, приведенным выше. Предполагается, что выживаемость кеты в Охотском море и/или более отдаленных районах нагула может снизиться в будущем.

Ключевые слова: кета, океанические условия, температура поверхности моря, возраст зрелости, скорость роста.

ВВЕДЕНИЕ

Запасы кеты (*Oncorhynchus keta*) о. Хоккайдо сокращаются после пика 2004 г. В 2017 г. уровень её запасов достиг наименьшей отметки за последние 30 лет и сохранился на том же уровне до 2020 г. (рис. 1). Факторы, влияющие на запасы кеты на о. Хоккайдо, следующие: условия нагула в прибрежной зоне (Saito, Nagasawa, 2009, Nagata et al. 2016), обилие пищи (Saito et al., 2009), объём выпуска молоди (Saito et al., 2011), условия зимовки в зал. Аляска (Sato et al., 2018, Urawa, 2020), темпы роста

в прибрежных зонах (Honda et al., 2017) и Охотском море (Saito et al., 2011).

Среди них наиболее важным фактором считается температура прибрежных вод во время ската в море/океан и изменения условий раннего морского нагула, оказывающие значительное влияние на недавнее сокращение запасов лосося. Последние исследования также показали, что генетические изменения были вызваны объёмами выпуска молоди искусственного воспроизводства, что могло привести к снижению уровня промысловых возвратов (Kitada, Kishino, 2020).

В этих условиях, совершенствование программ по искусственному воспроизводству имеет большое значение для восстановления запасов кеты на о. Хоккайдо. Для этого, в первую очередь, необходимо понимание механизма формирования численности лососей. Поэтому в данном исследовании представлены факторы окружающей среды, влияющие на колебания запасов кеты о. Хоккайдо.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Численность кеты о. Хоккайдо оценена, как сумма количества рыбы выловленной прибрежным промыслом и количества рыбы, выловленной в реках за период с 1986 по 2020 гг. Число лососей, выловленных прибрежным промыслом, основано на данных, опубликованных правительством префектуры о. Хоккайдо, а количество лососей, выловленных в реках, основывалось на данных, опубликованных Ассоциацией по улучшению качества лососей о. Хоккайдо (Общественная организация).

Показатели возвратов кеты были рассчитаны для поколений 1983–2015 гг. нереста. Данные производители были выловлены в течение 1986–2020 гг. как 3–5-летки. Оценки возвратов основывались на разнице количества выпущенной и выловленной рыбы. Нормы возврата рассчитывали только для района тихоокеанского побережья, что связано со значительным влиянием данного региона на колебание запасов вида на о. Хоккайдо (рис. 2). Для объяснения взаимосвязи между численностью возвратов кеты и показателями температуры поверхности прибрежных морских вод (ТПМ), выполнен регрессионный анализ с использованием данных среднемесячной температуры поверхности моря с апреля по июнь, когда молодь кеты скатывается в океан и растёт в прибреж-

ных районах (Irie, 1990, Seki, 2005). Для подсчета среднемесячных температур поверхности воды, автор использовал ТПМ десяти зон вдоль тихоокеанского побережья (рис. 2), опубликованные Японским метеорологическим агентством (https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/SP/dbindex_SP.html).

Средний возраст созревания кеты поколений воспроизводства 1983–2015 гг. нереста г. в районе тихоокеанского побережья рассчитывали, основываясь на возрасте рыб, полученном на основе мониторинговых наблюдений в 28 реках на о. Хоккайдо. На основе этих данных оценили взаимосвязи между возрастом созревания и соотношением численности 4–5-годовиков к 3–4-леткам, что позволило определить основные факторы, влияющие на точность путинного прогноза численности лососей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что на сокращение запасов кеты о. Хоккайдо в значительной степени повлияло сокращение запасов на тихоокеанском побережье (рис. 1). Регрессионный

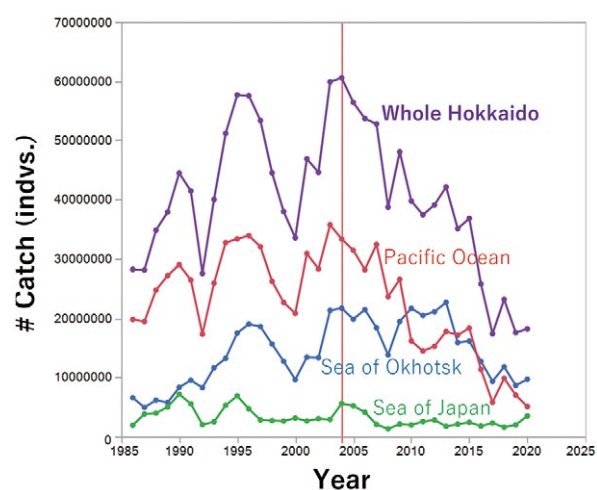


Рис. 1. Динамика уловов кеты в Тихом океане, Охотском море, Японском море и в целом на Хоккайдо. Нумерация промысловых районов приведена на рисунке 2.

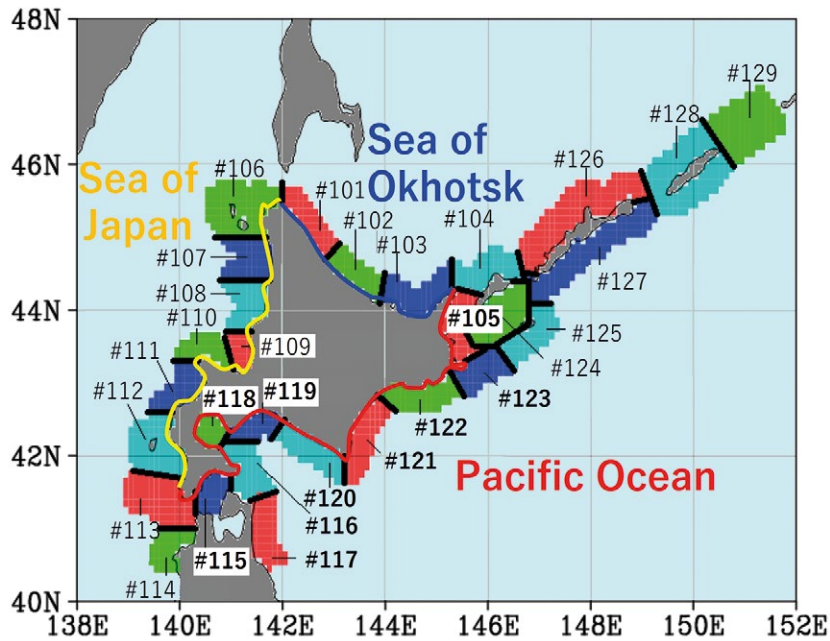


Рис. 2. Нумерация районов промысла и наблюдения за температурой поверхности моря. Модифицирована в соответствии со схемой, принятой Японским метеорологическим агентством, включает акватории за пределами японских территориальных вод.

анализ выявил, что показатель возврата кеты в районе Тихого океана имеет сильную положительную корреляцию с прибрежной ТПМ в 120-м и 121-м районах наблюдения во время выхода молоди в океан, особенно в мае (рис. 3–5, табл. 1 и 2). Это подразумевает, что ТПМ на ранней стадии жизни молоди кеты в океане будет играть важную роль в регулировании численности нерестовых поколений, и фаза «холодной весны» в Тихом океане вблизи о. Хоккайдо обусловила недавнее снижение уровня запасов.

Более низкие ТПМ могут помешать молоди лососей мигрировать в открытое море, и это приводит к снижению роста рыб из-за нехватки корма (Nagata et al., 2016). Ряд специалистов обратили внимание на то, что смертность молоди кеты в прибрежной японской зоне зависит от роста (Honda et al., 2017). Поскольку плавательная способность рыб пропорциональна длине тела (Winstone et al., 1985), в годы низких ТПМ и плохого роста способности избегать хищников и перемещаться в подходящие райо-

ны нагула могут быть снижены, что приведет к более низкой выживаемости.

В 2016 г. океанологические условия в зоне тихоокеанского побережья о. Хоккайдо изменились на среднескользящие (рис. 6). Однако уровень численности поколения от нереста в 2015 г. нерестовом году не восстановился (рис. 7), а отклонение между прогнозируемой и фактической численностью запасов увеличилось в 2019 г., когда производители поколения нереста 2015 г. вернулись в возрасте 4 лет (рис. 8). В настоящей работе не удалось определить, почему значение соотношения «ТПМ — показатель возврата» оказалось отклонившимся для поколения от нереста 2015 г. Тем не менее, имеются данные о том, что ТПМ в Охотском море имеет взаимосвязь с показателем возвратов кеты, выпущенной с лососевых рыбоводных заводов о. Хоккайдо (Saito et al., 2011). Другие исследователи указали, что недавнее изменение океанических условий Берингова моря и/или Аляскинского залива, также может повлиять на смертность японской

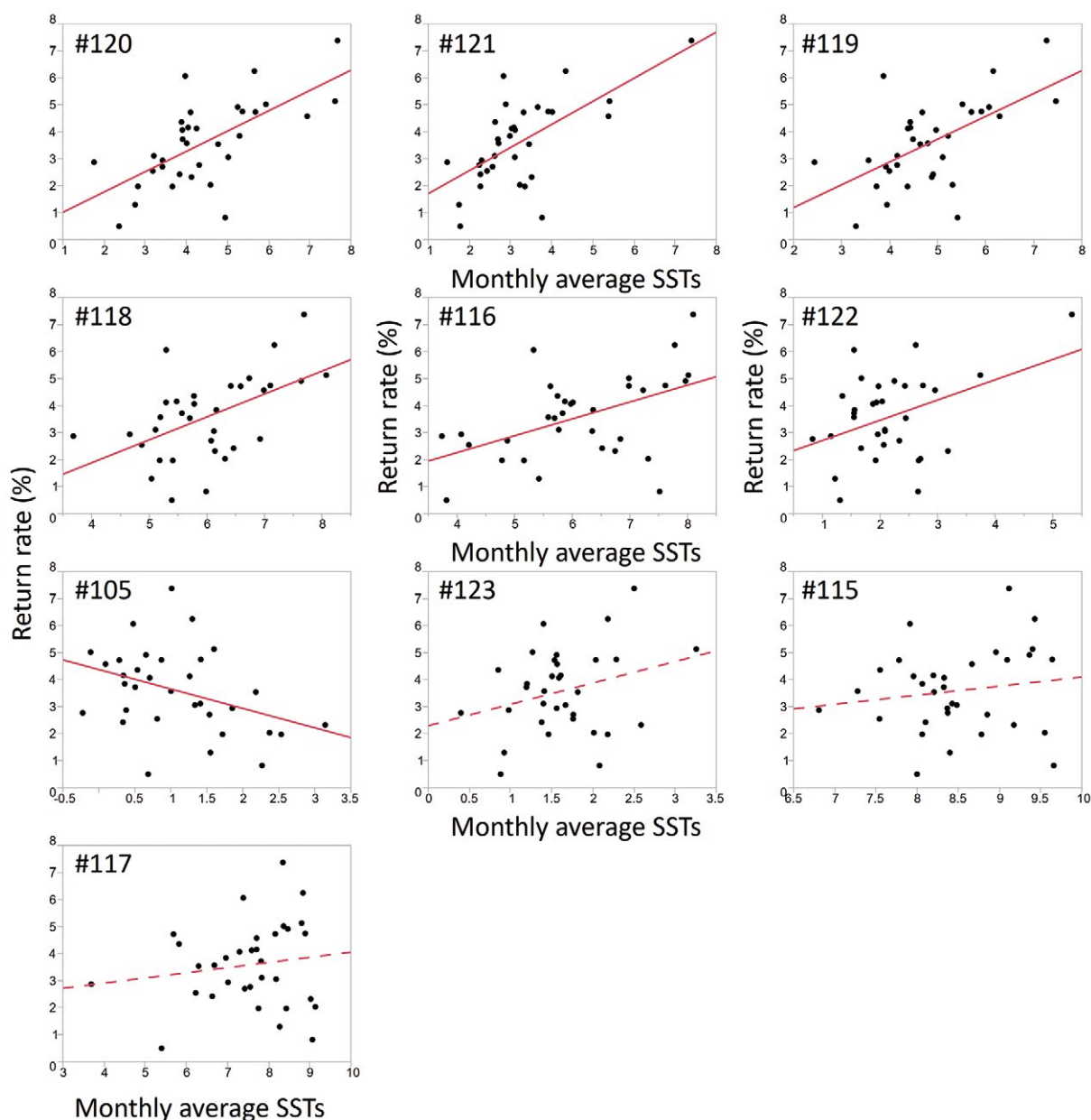


Рис. 3. Соотношение между среднемесячной температурой поверхности моря в апреле и показателем возврата кеты к тихоокеанскому побережью о. Хоккайдо. Графики расположены по значениям коэффициентов слева направо. Сплошные и пунктирные линии показывают статистически значимые и незначимые регрессионные связи. Результаты регрессивного анализа приведены в таблице 1.

кеты (Sato et al., 2018; Urawa, 2020). Это говорит о том, что несоответствие величины возвратов производителей 2015 г. рождения с общим механизмом регулирования запасов может быть вызвано изменением экологических условий на акватории Охотского моря и/или открытого океана.

Анализ показал, что возраст созревания постоянно снижался после 2008 нерестового года (рис. 9). Возраст созревания тесно связан с изменчивостью соотношения рыб в возрасте 4 (5) и 3 (4) лет (рис. 10). Ряд специалистов продемонстрировали связь более высоких темпов роста лососей со снижени-

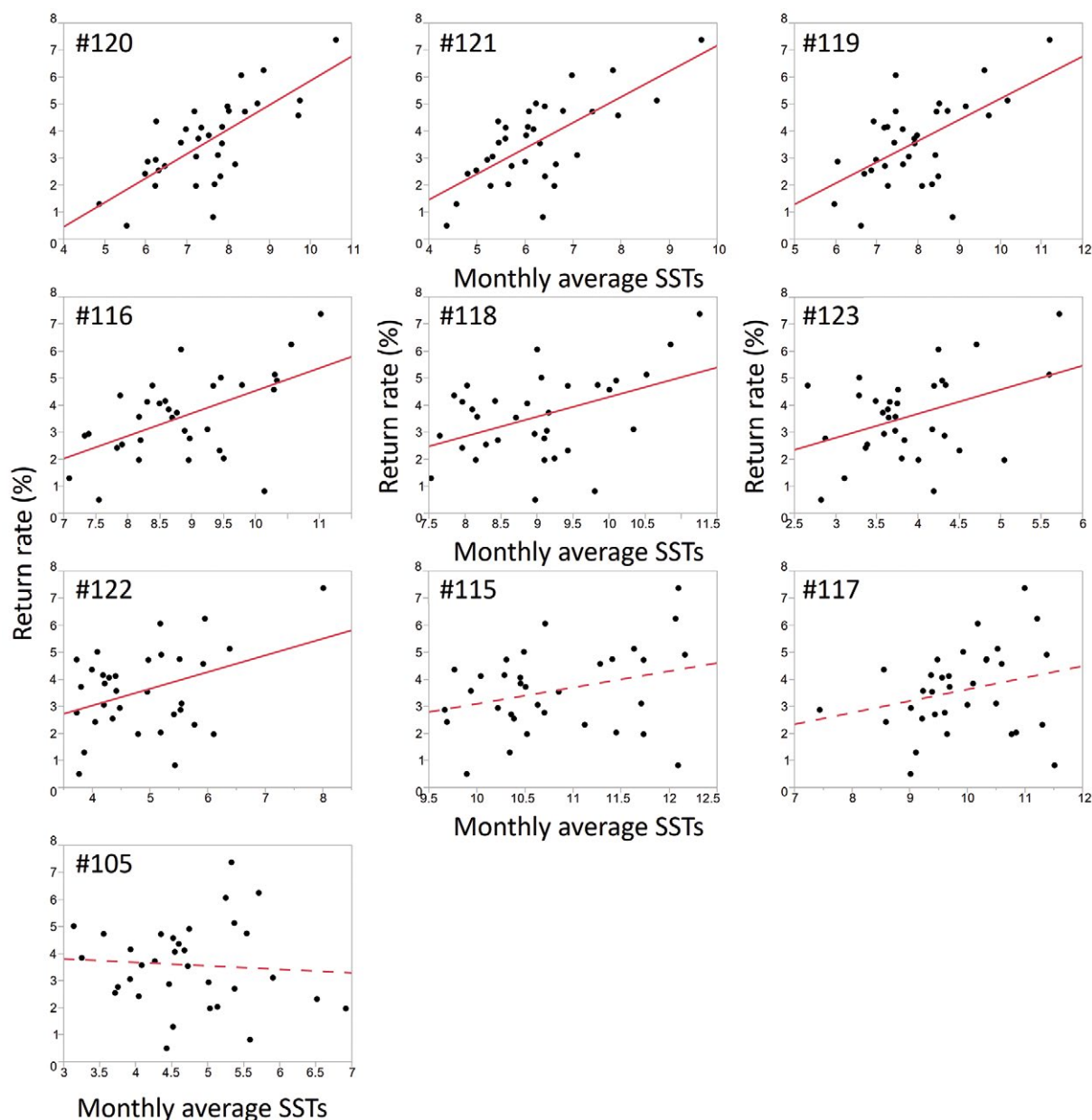


Рис. 4. Соотношение между среднемесячной температурой поверхности моря в мае и показателем возвратов кеты к тихоокеанскому побережью о. Хоккайдо. Графики расположены по значениям коэффициентов слева направо. Сплошные и пунктирные линии показывают статистически значимые и незначимые регрессионные связи. Результаты регрессивного анализа приведены в таблице 1.

ем возраста их созревания, в то время как более низкие темпы роста приводят к увеличению возраста созревания (Morita et al., 2005). В данной работе была обнаружена положительная и относительно низкая корреляция между ТПМ в мае и возрастом зрелости (рис. 11). Это позволяет предположить,

что в тихоокеанском прибрежном районе о. Хоккайдо высокая температура прибрежных вод весной позволяет выжить даже медленно растущим особям; другими словами, только быстрорастущие особи могут выжить в годы низкой температуры прибрежных вод.

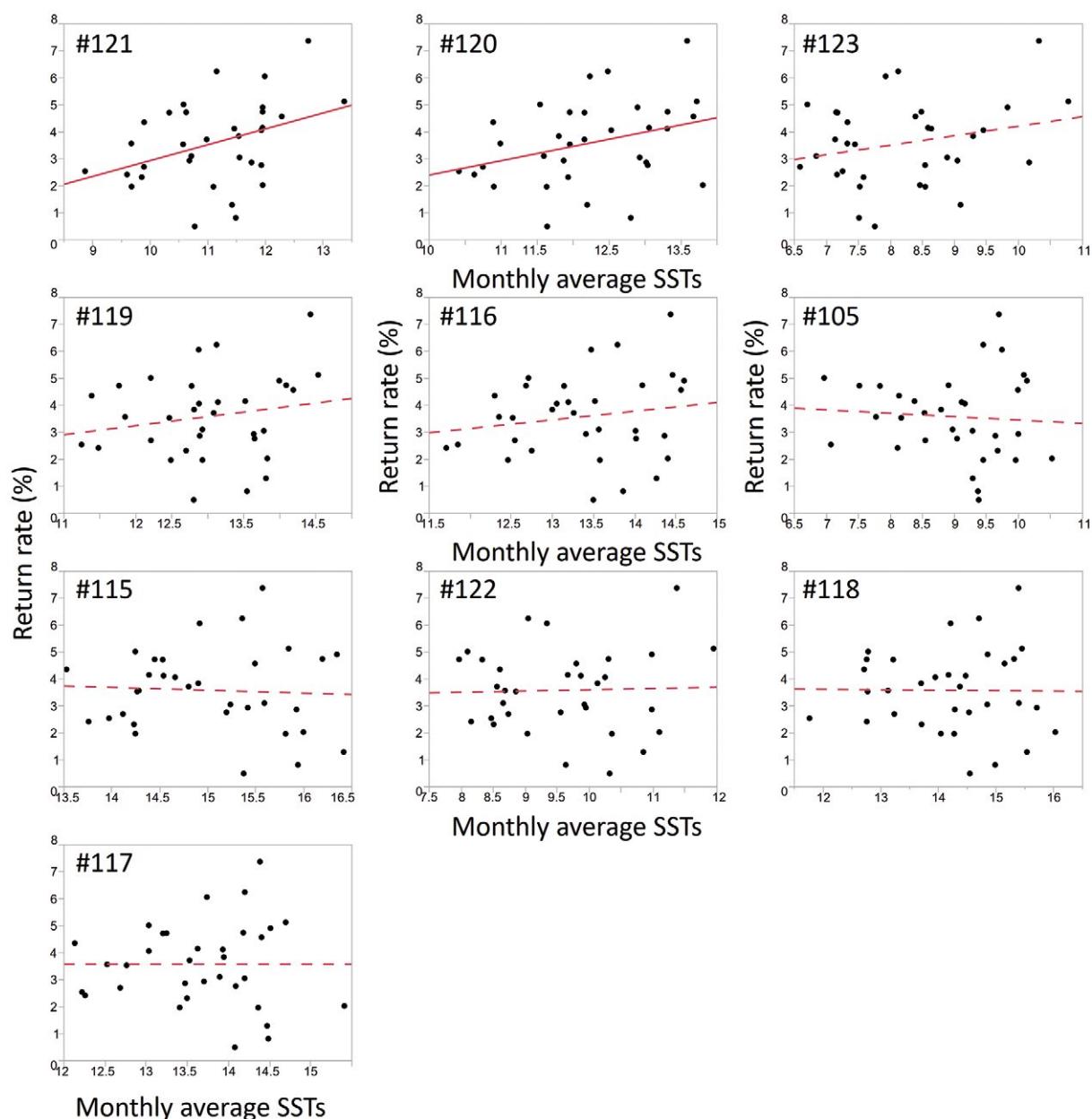


Рис. 5. Соотношение между среднемесячной температурой поверхности моря в июне и показателем возврата кеты к тихоокеанскому побережью о. Хоккайдо. Графики расположены по значениям коэффициентов слева направо. Сплошные и пунктирные линии показывают статистически значимые и незначимые регрессионные связи. Результаты регрессивного анализа приведены в таблице 1.

Этот вывод подтверждается положительной корреляцией между возрастом созревания и коэффициентом возврата (рис. 12).

Результаты, полученные в настоящем исследовании, свидетельствуют о существовании потенциального механизма флуктуации запасов, при котором

низкая температура прибрежных вод ускоряет процесс снижения темпа роста, что приводит к омоложению возрастного состава и формированию более низкой численности производителей. Однако, поколение от нереста в 2015 г. показало исключительно низкие значения возраста созревания, несмотря на то, что

Таблица 1. Результаты регрессионного анализа, отражающего зависимость численности возвратов кеты тихоокеанского побережья о. Хоккайдо от среднемесячных показателей температуры поверхности прибрежных вод с апреля по июнь.

Area code	Area name	Month	R^2	P	Month	R^2	P	Month	R^2	P
115	Tsugaru Strait	April	0.0237	0.3925	May	0.0896	0.0907	June	0.0030	0.7638
116	Eastern Tsugaru Strait	April	0.2454	0.0034	May	0.2932	0.0011	June	0.0280	0.3516
117	Pacific coast of Aomori	April	0.0227	0.4025	May	0.0650	0.1523	June	<0.0001	0.9987
118	Uchiura Bay	April	0.2754	0.0017	May	0.1969	0.0097	June	0.0001	0.9503
119	Iburi	April	0.3464	0.0003	May	0.3384	0.0004	June	0.0354	0.2941
120	Hidaka	April	0.4372	<0.0001	May	0.5190	<0.0001	June	0.1082	0.0616
121	Tokachi	April	0.4121	<0.0001	May	0.4954	<0.0001	June	0.1480	0.0271
122	Kushiro	April	0.1683	0.0177	May	0.1464	0.0279	June	0.0010	0.8621
123	Pacific coast of Nemuro	April	0.0840	0.1018	May	0.1619	0.0202	June	0.0624	0.1609
105	Nemuro Strait	April	0.1418	0.0308	May	0.0053	0.6877	June	0.0054	0.6844

Таблица 2. Ранжирование коэффициентов регрессии (R^2), отражающих зависимость численности возвратов кеты тихоокеанского побережья о. Хоккайдо от среднемесячных показателей температуры поверхности прибрежных вод с апреля по июнь. Серые окрашенные клетки не являются статистически значимыми ($p > 0,05$).

R^2 rank	April	May	June
1	#120	#120	#121
2	#121	#121	#120
3	#119	#119	#123
4	#118	#116	#119
5	#116	#118	#116
6	#122	#123	#105
7	#105	#122	#115
8	#123	#115	#122
9	#115	#117	#118
10	#117	#105	#117

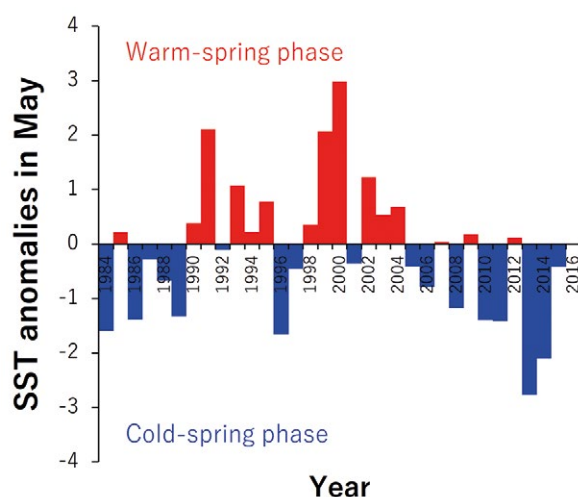


Рис. 6. Временные ряды показателей аномалий температуры морской поверхности в мае в зоне наблюдения (N = 120).

ТПМ весной 2016 г. близка средней для рассматриваемых лет (рис. 6–7). Это несоответствие с общим механизмом выживания, приведённым выше, предполагает, что специфический уровень смертности в зависимости от темпа роста мо-

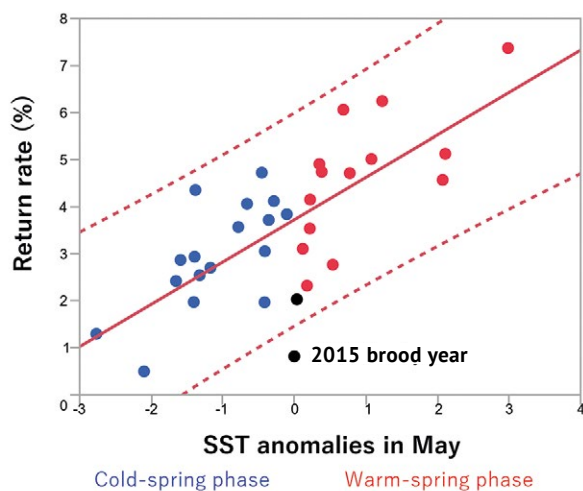


Рис. 7. Связь между показателями аномалий температуры морской поверхности в мае в зоне наблюдения ($N = 120$) и кратностью возвратов кеты тихоокеанского побережья о. Хоккайдо. Чёрные точки указывают на то, что аномалия ТПМ меньше $\pm 0,1$. Пунктирные линии обозначают 95% доверительный интервал регрессионной зависимости.

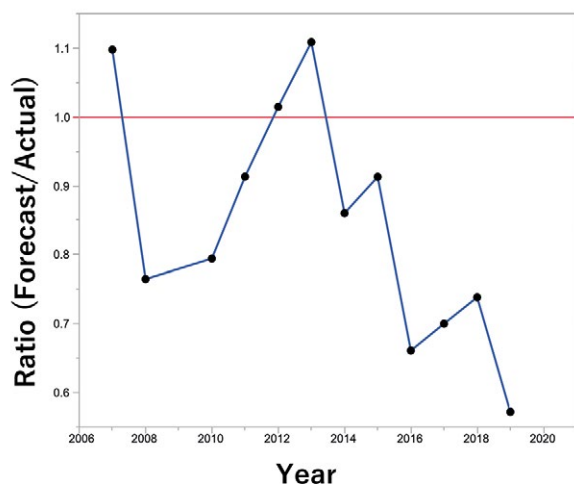


Рис. 8. Динамика соотношения численности прогнозируемого и фактического вылова кеты.

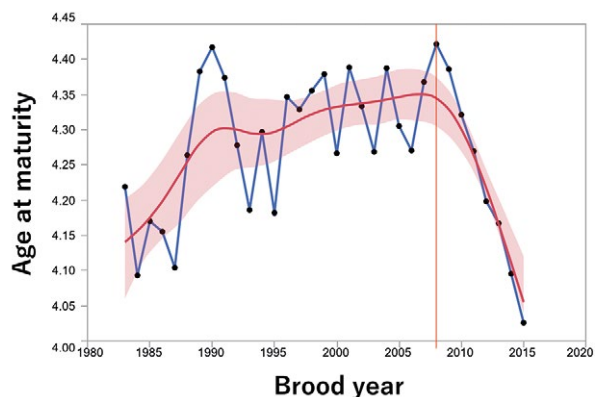


Рис. 9. Изменчивость среднего возраста созревания кеты о. Хоккайдо. Красная цветная область указывает 95% доверительный интервал нелинейной регрессионной зависимости.

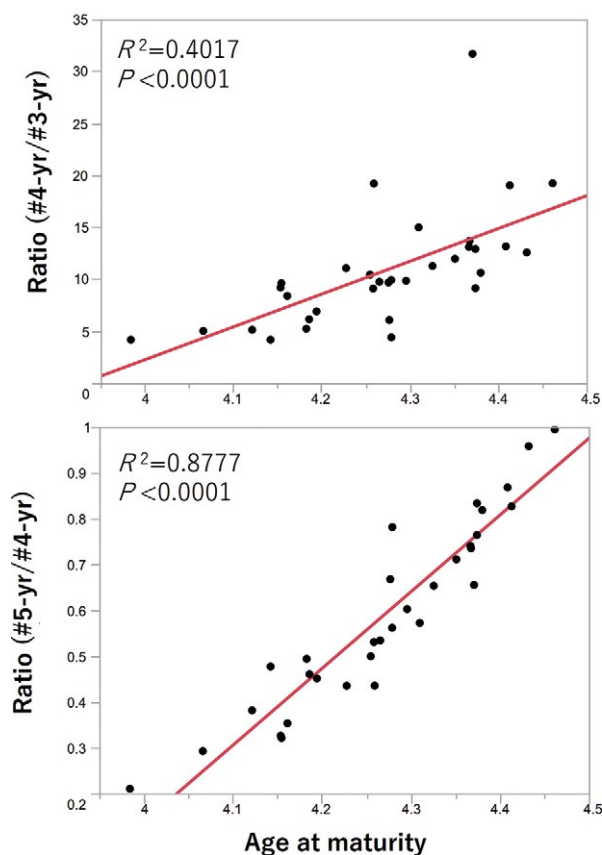


Рис. 10. Связь между средним возрастом созревания кеты и соотношением количества 4-летних особей к количеству 3-летних рыб (верхняя панель) и соотношением количества 5-летних особей к количеству 4-летних рыб (нижняя панель) в возвратах производителей о. Хоккайдо.

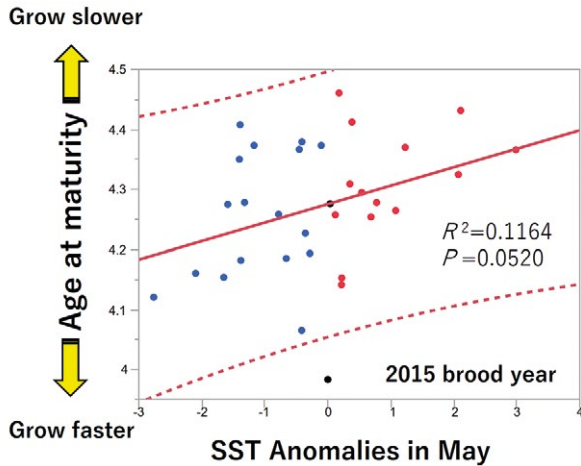


Рис. 11. Связь между аномалиями температуры морской поверхности в мае в зоне наблюдения ($N = 120$) и средним возрастом созревания кеты на тихоокеанском побережье Хоккайдо. Пунктирные линии обозначают 95% доверительный интервал регрессионной связи.

жет возрастать в других зонах морского нагула, включая Охотское море и/или более отдаленные районы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На о. Хоккайдо снижение уровня запасов кеты могло быть вызвано, главным образом, холодными условиями весной в прибрежной зоне Тихого океана. Продолжающееся снижение возраста созревания свидетельствует о том, что выживаемость рыб с более медленными темпами роста может снижаться из-за недавнего снижения ТПМ в прибрежных районах. Однако, уровень численности поколения от нереста в 2015 г., который соответствовал благоприятным океаническим условиям в прибрежной зоне, не соответствовал соотношению «прибрежная ТПМ — коэффициент возврата», что позволяет предположить, что уровень выживаемости в морских районах в последнее время был более низким.

Недавние генетические исследования показали, что программа по вос-

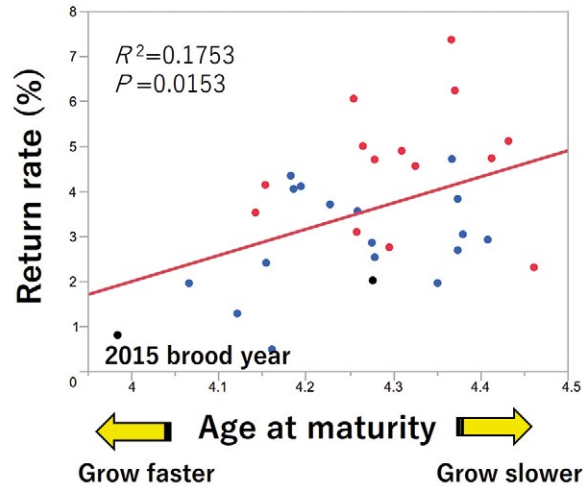


Рис. 12. Связь между средним возрастом созревания и кратностью возвратов кеты тихоокеанского побережья о. Хоккайдо.

производству может вызывать генетические модификации лососей (LeLuyer et al., 2017, Leitwein et al., 2021). Кроме того, имеются данные о негативном влиянии искусственного воспроизводства на биологическое состояние японской кеты (Lescak et al., 2019). При этом результаты генетической дифференциации показали снижение нагульной способности японской кеты (Kitada, Kishino, 2020). Помимо оценки воздействия океанологических условий нагула на выживаемость кеты, необходимо форсировать изучение генетических модификаций внутривидовой структуры, вызванных интенсивной программой её искусственного воспроизводства.

Благодарность

Большую помощь в подготовке данной статьи оказали М. Хатаяма (Makoto Hatayama), А. Содзи (Akiko Shoji) (Японское метеорологическое агентство) и д-р А. Синада (Akisyoshi Shinada) (любезно предоставил полезную информацию о температурных данных прибрежных вод).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

- Honda K., Suzuki K., Watanabe K., Saito T. Growth rate characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Pacific coast of Japan and reaching Konbumori, eastern Hokkaido. Fisheries Science. 2017. V. 83 P. 987–996.
- Irie T. Ecological studies on the migration of juvenile chum salmon, *Oncorhynchus keta*, during early ocean life. Bull. Seikai National Fisheries Research Institute. 1990. V. 68. P. 1–142 (in Japanese with English summary).
- Kitada S., Kishino H. Enhanced genetic differentiation of Japanese chum salmon identified from a meta-analysis of allele frequencies. bioRxiv. 2020 <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/828780v4>.
- Leitwein M., Laporte M., Le Luyer J., et al. Epigenomic modifications induced by hatchery rearing persist in germ line cells of adult salmon after their oceanic migration. Evolutionary Applications. 2021. DOI:10.1111/EVA.13235.
- Lescak E., Shedd K., Dann T. Relative productivity of hatchery pink salmon in a natural stream. North Pacific Research Board Final Report. 2019 https://www.fishgame.state.ak.us/static/fishing/PDFs/hatcheries/research/2016_nprb_final_report.pdf
- Le Luyer J., Laporte M., Beacham T.D., et al. Parallel epigenetic modifications induced by hatchery rearing in a Pacific salmon. Proc. Nat. Acad. Scien. USA. 2017. V. 114 N 49. P. 12964–12969.
- Morita K., Morita S.H., Fukuwaka M., Matsuda H., et al. Rule of age and size at maturity of chum salmon (*Oncorhynchus keta*): implications of recent trends among *Oncorhynchus* spp. Canadian J. Fisheries Aquatic Science. 2005. 62 P. 2752–2759.
- Nagata M., Miyakoshi Y., Fujiwara M., et al. Adapting Hokkaido hatchery strategies to regional ocean conditions can improve chum salmon survival and reduce variability // North Pacific Anadromous Fish Commission Bull. 2016. 6. P. 73–85.
- Saito T., Nagasawa K. Regional synchrony in return rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Japan in relation to coastal temperature and size at release. Fisheries Research. 2009. V. 95. P. 14–27.
- Saito T., Shimizu I., Seki J., Nagasawa K. Relationship between zooplankton abundance and the early marine life history of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* in eastern Hokkaido, Japan // Fisheries Science. 2009. V. 75. P. 303–316.
- Saito T., Kaga T., Hasegawa E. Effects of juvenile size at release and early marine growth on adult return rates for Hokkaido chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to sea surface temperature // Fisheries Oceanography. 2011. V. 20. P. 278–293.
- Sato S., Sato T., Honda K., Suzuki K., Urava S. Status of Japanese chum salmon and their habitat in the high-seas ocean. Aquabiology. 2018. V. 40. N. 4. P. 351–357 (In Japanese with English abstract).
- Seki J. Study of characteristic of feeding habitat of juvenile chum salmon and their food environment in the Pacific coastal waters, central part of Hokkaido. Bulletin of National Salmon Resources Center. 2005. V. 7. P. 1–104 (in Japanese with English abstract).
- Urawa S. International collaborative research in the Gulf of Alaska during winter: Do salmon die in winter? Salmon Information. 2020. V. 14. P. 40–44 (in Japanese).
- Winstone A.J., Gee A.S., Varallo P.V. The assessment of flow characteristics at certain weirs in relation to the upstream movement of migratory salmonids. J. Fish Biology. 1985. V. 27. P. 75–83.

**RECENT TREND IN CHUM SALMON STOCK DECLINE AND
ITS POTENTIAL MECHANISMS IN HOKKAIDO, JAPAN**

© 2021 y. Hirokazu Urabe

*Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research
Organization, 3–373 Kitakashiwagi, Eniwa, Hokkaido, Japan*

The analyses revealed that the return rate of chum salmon is positively correlated with coastal sea surface temperatures (SSTs) at ocean entry timing. This suggests that the SST during the ocean entry timing of chum salmon juveniles would be a major driver in controlling the brood-year abundance, and that the decline of the stock level would be caused by the «cold-spring» phase around the Pacific coastal area in Hokkaido, but 2015 brood year was exceptional. I analyzed the relationships between age at maturity of brood years and the ratio of 4 (5)-year-old fish to 3 (4)-year-old fish abundance, i. e., sibling relationships, to identify the factors affecting precision of the forecast. The analyses revealed that the age at maturity had decreased, and it resulted in the recent decline in precision of pre-season forecast. Additionally, recent decline of the age at maturity suggests that survival rate of fish with slower growth rate might be decreasing. These results suggest that the decline of chum salmon stock levels in Hokkaido would have been mainly caused by cold ocean conditions at the Pacific coast during spring. But, the low survival rate of the 2015 brood year, which matched favorable ocean conditions in the coastal area, was not explained by the general survival mechanism above, suggesting that survival rate in the Okhotsk Sea and/or farther area might be decreasing, recently.

Keywords: chum salmon, ocean condition, sea surface temperature, age at maturity, growth rate.

СОВРЕМЕННЫЕ ОКЕАНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ ОТ АЛЯСКИ ДО КАЛИФОРНИИ

© 2021 г. Лори Вейткамп

*Национальное управление океанических и атмосферных исследований США,
Национальная служба морского рыболовства, Северо-западный научный центр
рыболовства, 2032 SE Marine Science Drive, Ньюпорт, Орегон, 97365, США
E.mail: Laurie.weitkamp@noaa.gov*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

На основании данных об изменчивости климата, установлено, что, начиная с 2014 г., в период потепления у тихоокеанского побережья США отмечалось появление, как урожайных поколений, так и неурожайных поколений лососей. Установлено, что в основных районах промысла в период после 2014 г. наблюдалась тенденция сокращения численности несмотря на то, что в отдельные годы промысловые уловы были на высоком уровне.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, промысловые уловы, численность.

С 2014 г. северо-восточная часть Тихого океана подвергается воздействию потепления, которое характеризуется ростом температуры поверхности воды на больших участках в течение продолжительного периода времени (Hobday et al., 2016).

В течение 2014–2016 гг. образовавшаяся теплая зона («Blob») и мощное влияние явления Эль-Ниньо на экваторе привели к появлению сильного и продолжительного влияния теплых вод, воздействующих на северо-восточную часть Тихого океана (Bond et al., 2015). Две последующие волны тепла в 2019 и 2020 гг. были почти такими же заметными, как первоначальная волна 2014–2016 гг. (www.integratedecosystemassessment.noaa.gov/regions/california-current/cc-projects-blobtracker).

Эти явления необычного повышения температуры океанской воды привели к резким изменениям распределения и численности гидробионтов северо-

восточной части Тихого океана, с последствиями на трофических уровнях — от диатомовых водорослей до морских птиц. Данное воздействие заключалось в расширении видовых ареалов (Miller et al., 2019; Morgan et al., 2019), проблемах охраны здоровья населения в условиях вредного цветения водорослей (Bates et al., 2018; Boldt et al., 2020), экономических последствиях (как положительных, так и отрицательных) от изменения численности промысловых видов (Harvey et al., 2021), популяционных и экосистемных перестройках от масштабного роста до снижения продуктивности массовых видов (Morgan et al., 2019; Thomson et al., 2019; Zador et al., 2019; Boldt et al., 2020), а также высоких показателях смертности, как морских птиц (Piatt et al., 2020), так и китов (Savage, 2017).

Для изучения влияния этих аномальных условий на запасы североамериканских тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus spp.*) были собраны данные о состоянии их популяций от Аля-

ски до Калифорнии в 2000–2020 гг. Эти данные анализировались для понимания тенденций возвратов производителей различных видов лососей на региональном уровне и включали корректировку имеющейся статистической базы данных (Irvine et al., 2019).

Цель работы заключается в качественном изучении вопроса о том, реагируют ли и каким образом виды или популяции североамериканских тихоокеанских лососей на недавнее потепление морских вод, как показывают последние тенденции возврата производителей. Работа не предполагала проведение тщательного статистического анализа.

Собранные данные о лососях включали следующие сведения о локальных популяциях: численность производителей на нерестилищах, численность подходов (промысел + заполнение нерестилищ), подсчет у рыбоучетных заграждений, выживаемость в море. В большин-

стве случаев эти данные можно было получить на веб-сайтах государственных агентств по рыболовству и охране дикой природы США, федеральных рыбохозяйственных агентств США (www.fisheries.noaa.gov) и Канады (www.dfo-mpo.gc.ca), а также других федеральных организаций (Центр рыбопропуска (www.fpc.org), Комиссии по тихоокеанскому лососю (psc.org), Тихоокеанскому совету по управлению рыболовством (pscouncil.org)).

Тенденции изменчивости численности популяций лососей с 2014 г. (когда начались волны/периоды потепления) были разнонаправленными, что выражалось в увеличении или снижении уровней промысловых возвратов (рис. 1–6). В целом популяции лососей, населяющих реки, граничащие с Беринговым морем (р. Юкон, Бристольский залив), имели тенденции к росту численности после 2014 г. Это было особенно характерно для численности подходов

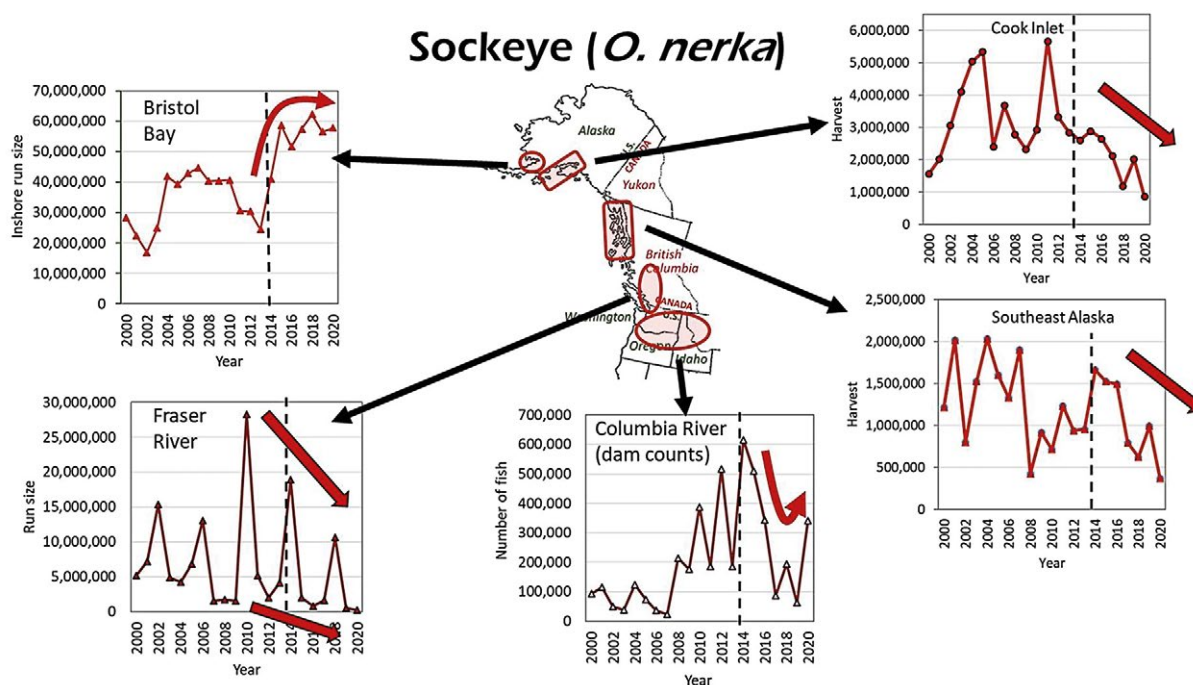


Рис. 1. Тенденции возвратов половозрелой нерки (*O. nerka*) популяций от Аляски до Орегона за 2000–2020 гг. В реке Колумбия обитает самая южная популяция нерки в Северной Америке. Общие тенденции с 2014 г. (пунктирная вертикальная линия) обозначены стрелками, нарисованными от руки.

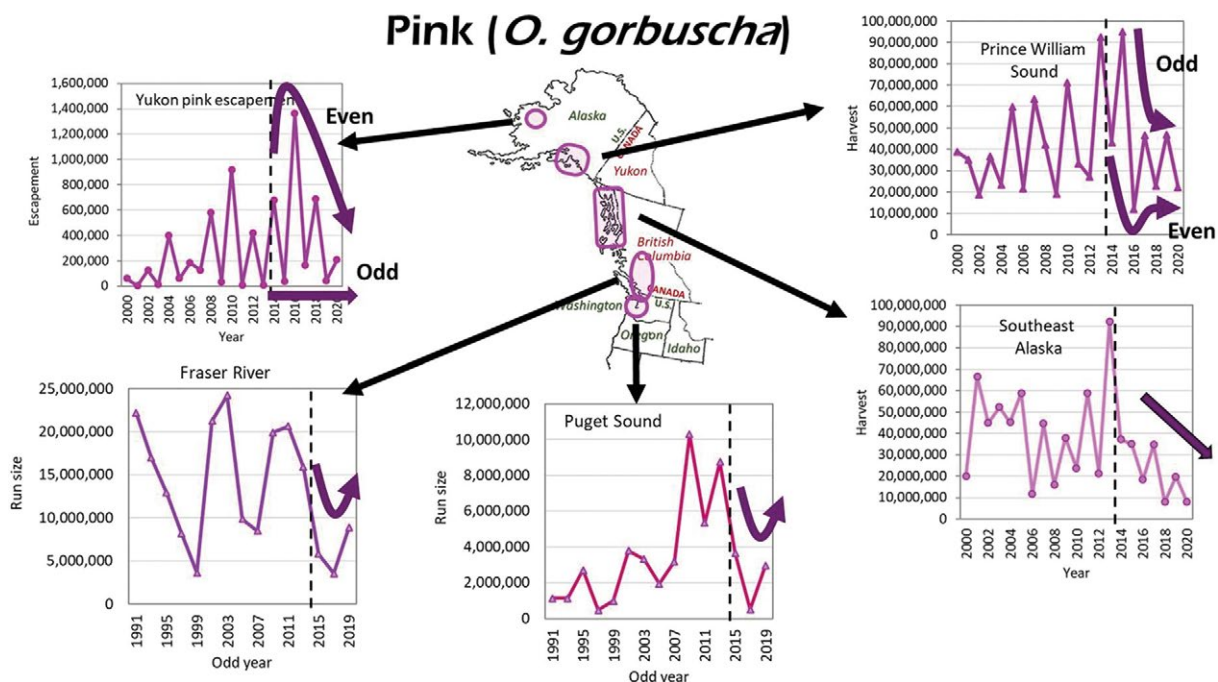


Рис. 2. Тенденции возвратов половозрелой горбуши (*O. gorbuscha*) популяций от Аляски до Орегона за 2000–2020 гг. Пьюджет-Саунд имеет самую южную популяцию горбуши в Северной Америке. Общие тенденции с 2014 г. (пунктирная вертикальная линия) обозначены стрелками, нарисованными от руки.

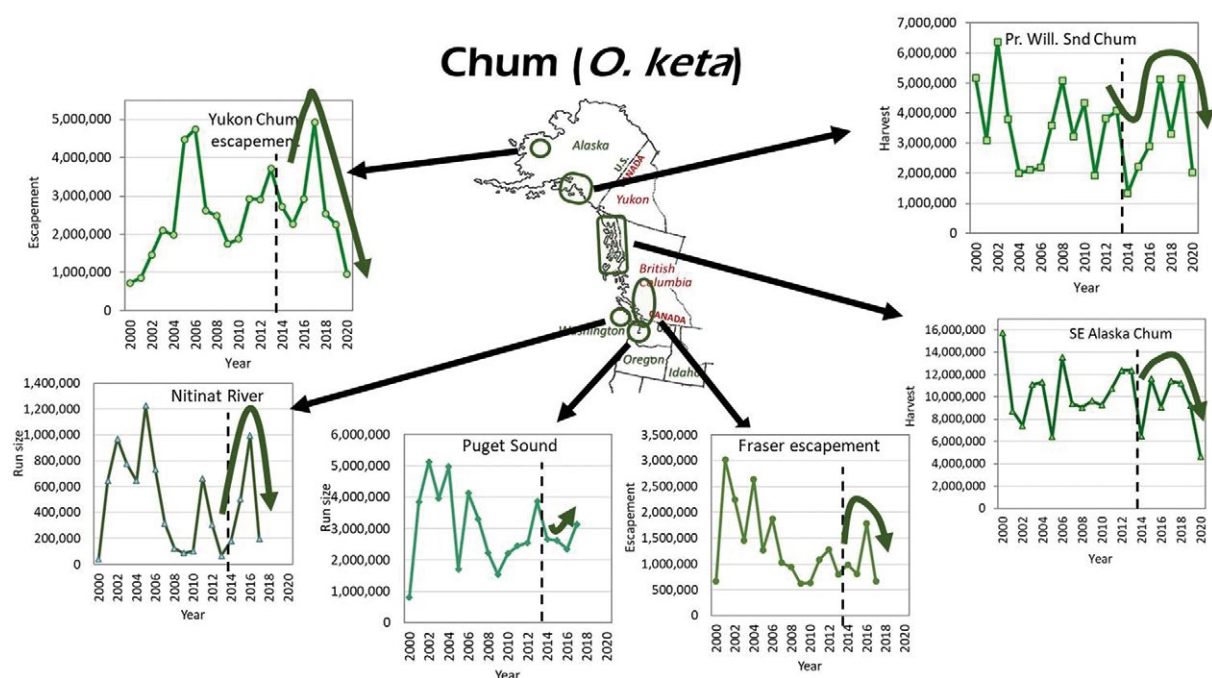


Рис. 3. Тенденции возвратов половозрелой кеты (*O. keta*) популяций от Аляски до Орегона за 2000–2020 гг. Побережье Орегона имеет самую южную популяцию кеты в Северной Америке. Общие тенденции с 2014 г. (пунктирная вертикальная линия) обозначены стрелками, нарисованными от руки.

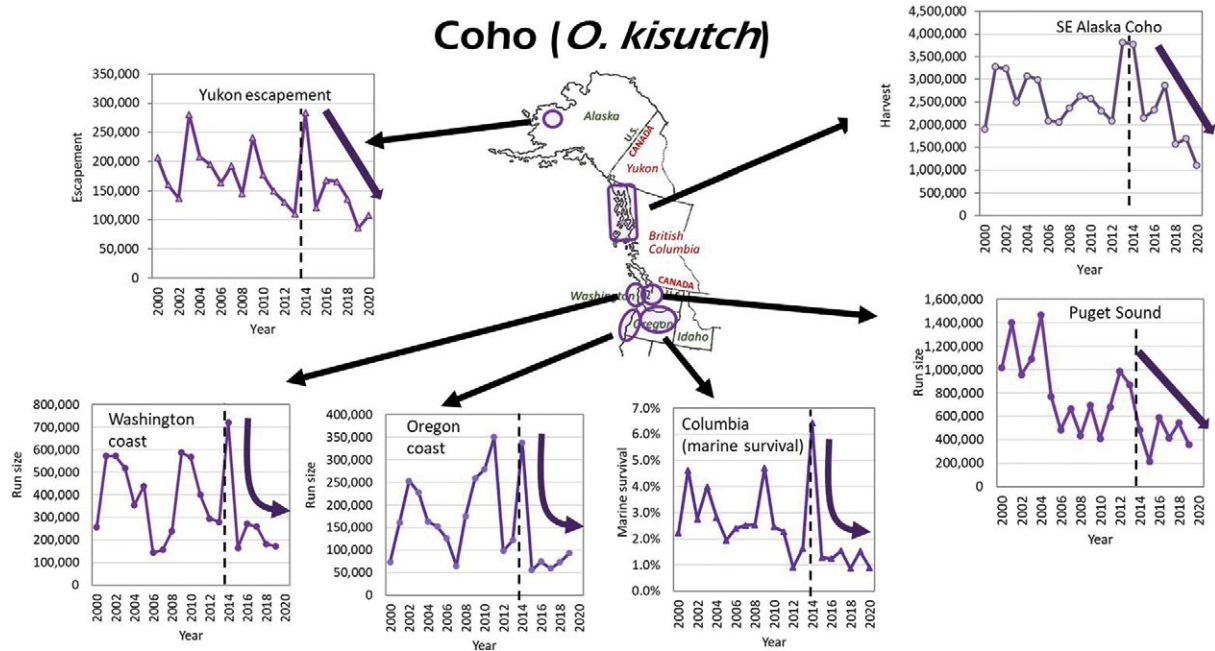


Рис. 4. Тенденции возвратов половозрелого кижуча (*O. kisutch*) популяций от Аляски до Орегона за 2000–2020 гг. Центральная Калифорния имеет самую южную популяцию кижуча в Северной Америке. Общие тенденции с 2014 г. (пунктирная вертикальная линия) обозначены стрелками, нарисованными от руки

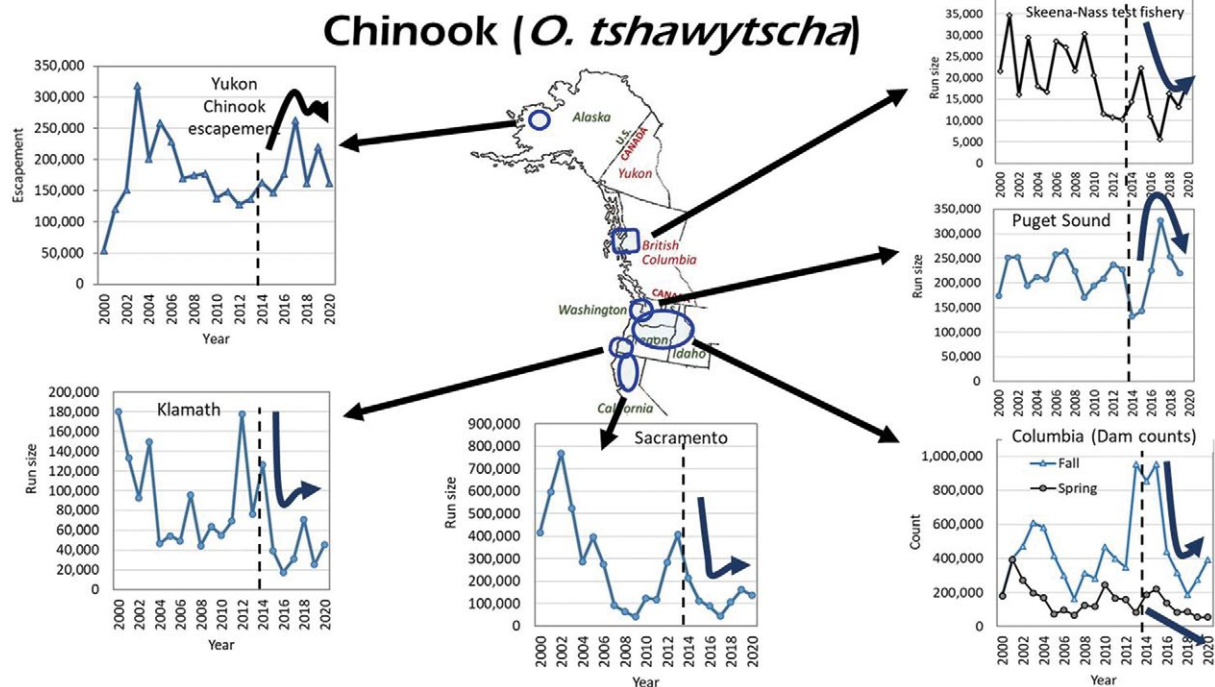


Рис. 5. Тенденции возвратов половозрелой чавычи (*O. tshawytscha*) популяций от Аляски до Орегона за 2000–2020 гг. В Центральной Калифорнии обитает самая южная популяция чавычи в Северной Америке. Общие тенденции с 2014 г. (пунктирная вертикальная линия) обозначены стрелками, нарисованными от руки

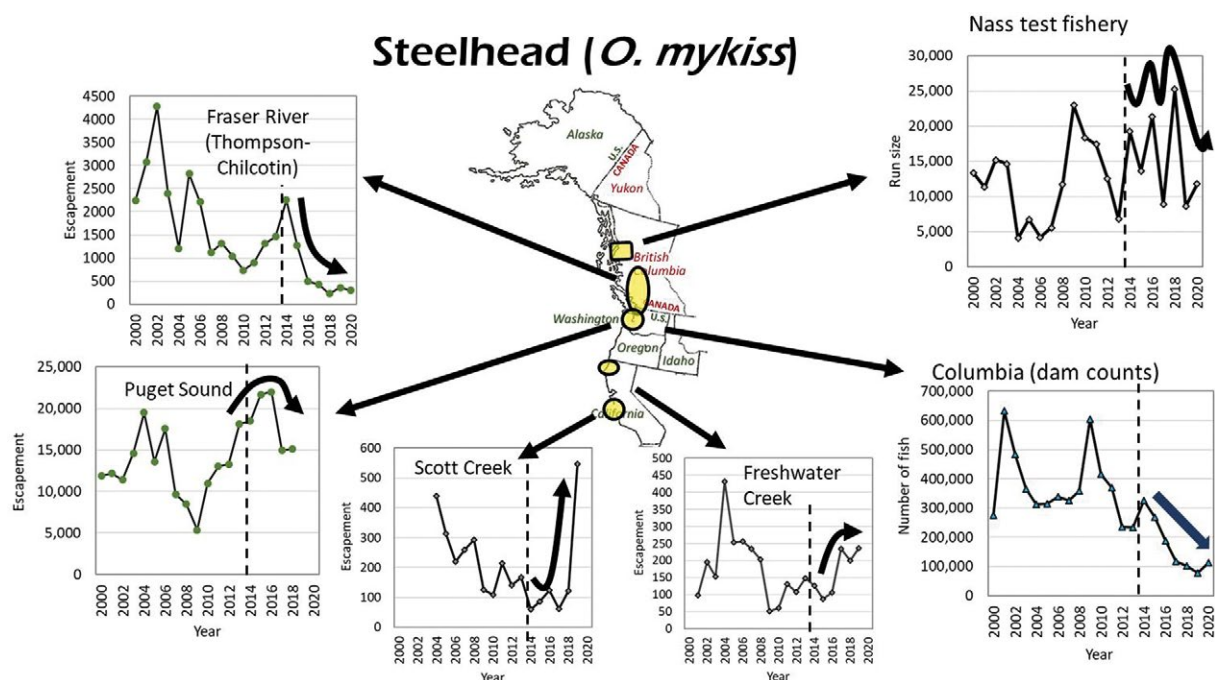


Рис. 6. Тенденции возвратов половозрелого стального лосося (*O. mykiss*) популяций от Аляски до Орегона за 2000–2020 гг. Южная Калифорния имеет самую южную популяцию микижи в Северной Америке. Общие тенденции с 2014 г. (пунктирная вертикальная линия) обозначены стрелками, нарисованными от руки

нерки Бристольского залива (рис. 1), популяции которой в среднем составляли 57,4 млн производителей в 2015–2020 гг., включая некоторые годы самых высоких возвратов. Число производителей чавычи р. Юкон также возросло (но было изменчивым) по сравнению с предыдущими годами. Напротив, за несколько последних лет, численность лососевых популяций в других районах либо сократилась, либо начала снижаться. Особую озабоченность вызывает сокращение численности популяции нерки р. Фрейзер, подходы которой в 2016 г. впервые составили ниже миллиона особей, а в 2019 и 2020 гг. её возвраты еще снизились (рис. 1).

Многие популяции кеты демонстрировали уникальную «скачкообразную» тенденцию, с высоким возвратом взрослых особей, по крайней мере, в период 2016–2018 гг. (рис. 3). Возможно, это связано с потреблением кетой желтелого

планктона (Urawa et al., 2018), который несколько лет был в изобилии (Morgan et al., 2019; Boldt et al., 2020).

В отличие от кеты, популяции кижуча имели исключительно высокую численность в 2014 г., которая быстро сократилась в 2015–2020 гг.

Возврат производителей горбуши в нечётные и чётные годы на Аляске показал различные тенденции в зависимости от района. Возврат горбуши чётного нерестового года в р. Юкон сократился после чрезвычайно высокого возврата в 2016 г., в то время как число производителей нечётного года в р. Юкон было неизменно низким. Уловы горбуши в зал. Принца Уильяма показали обратную закономерность: возврат нечётного года (2015 г.) был исключительно высоким и, впоследствии, снижался, в то время как уловы в чётные годы оставались стабильно низкими. Напротив, вылов горбуши Юго-Восточной Аляски за

тот же период сократился как в нечётные, так и в чётные годы.

С 2014 г. большинство популяций чавычи имели, по крайней мере, один год с крайне низким возвратом, хотя данный показатель изменялся в зависимости от района. Двумя исключениями были: высокий возврат чавычи в р. Юкон (отмеченный выше) и заметная тенденция снижения запасов весенней чавычи р. Колумбия. Возвраты стальноголового лосося, также были разнонаправленными, при этом некоторые популяции оставались на высоком уровне, но с заметной изменчивостью (р. Насс, Канада), другие демонстрировали быстрое снижение (р. Фрейзер-Томпсон/Чилкотин, р. Колумбия). Две небольшие популяции в Калифорнии значительно увеличили численность запасов с 2016–2017 гг., что можно связать с потеплением в сочетании с улучшением условий выживаемости в океане.

Собранные данные свидетельствуют о том, что многие популяции лосося от Аляски до Калифорнии имели как исключительно высокий, так и низкий коэффициент возврата в период потепления морских вод в северо-восточной части Тихого океана, начиная с 2014 г. Закономерности изменялись в зависимости от вида рыбы и района, хотя наблюдались общие для вида тенденции, как для кеты («волнообразная» тенденция), так и для кижуча (снижение после высокой численности в 2014 г.).

Эти экстремальные колебания динамики запасов североамериканских тихоокеанских лососей, в сочетании с соответствующей реакцией других морских видов, указывают на вероятную роль, которую беспрецедентные океанические условия, по всей видимости, сыграли в формировании возвратов лососей. Кроме того, поскольку океанические условия, как правило, оказывают наиболь-

шее влияние на лососей в течение первого года жизни в морских водах, мы ожидаем, что потепление 2019 и 2020 гг. будет также влиять на возвраты производителей лососей в течение нескольких последующих лет. В целом вызывают обеспокоенность тенденции сокращения популяций лососей, но они согласуются с прогнозами их выживаемости в будущем (Crozier et al., 2019, 2021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Bates S.S., Hubbard K.A., Lundholm N., Montresor M., Leaw C.P. Pseudo-nitzschia, Nitzschia, and domoic acid: new research since 2011 // *Harmful Algae*. 2018. 79. P. 3–43. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.06.001>.

Boldt J.L., Javorski A., Chandler P.C. (Eds.). State of the physical, biological and selected fishery resources of Pacific Canadian marine ecosystems in 2019 // *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2020. N 3377: x + 288 p. Available online at <https://www.dfo-mpo.gc.ca/oceans/publications/soto-rceo/2019/index-eng.html>.

Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific // *Geophys. Res. Lett.* 2015. V. 42. P. 3414–3420. <https://doi.org/10.1002/2015GL063306>.

Crozier L.G., McClure M.M., Beechie T.J., et al. Climate vulnerability assessment for Pacific salmon and steelhead in the California Current Large Marine Ecosystem // *PLoS ONE*. 2019. V. 14 (7). e0217711. P. 1–49. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217711>.

Crozier L.G., Burke B.J., Chasco B., Widener D.L., Zabel R.W. Climate change threatens Chinook salmon throughout their life cycle // *Communications Biology*. 2021. V. 4:222. P. 1–14. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01734-w>.

Harvey C., Garfield N.T., Williams G., Tolimieri N. California Current Integrated Ecosystem Assessment, California Current Ecosystem Status Report, 2021. A report of the NOAA CCIEA Team to the Pacific Fishery Management Council, March 10, 2021. Available online at <https://>

www.pcouncil.org/annual-california-current-ecosystem-status-report/.

Hobday A.J., Alexander L.V., Perkins S.E., et. al. A hierarchical approach to defining marine heat waves // *Progress in Oceanography*. 2016. V. 141. P. 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.poccean.2015.12.014>.

Irvine J.R., Chapman K., Park J. Report of the proceedings for the IYS Workshop: International Year of the Salmon Workshop on Salmon Status and Trends. North Pacific Anadromous Fish Commission Technical Report. 2019. V. 13. 91 p.

Miller R.R., Santora J.A., Auth T.D., et. al. Distribution of pelagic Thaliaceans, *Thetys vagina* and *Pyrosoma atlanticum*, during a period of mass occurrence within the California Current // *CalCOFI Report*. 2019. V. 60. P. 94–108.

Morgan C.A., Beckman B.R., Weitkamp L.A., Fresh K.L. Recent Ecosystem Disturbance in the Northern California Current // *Fisheries*. 2019. V. 44(10). P. 465–474. DOI: 10.1002/fsh.10273.

Piatt J.F., Parrish J.K., Renner H.M., et. al. Extreme mortality and reproductive failure of common murrelets resulting from the northeast Pacific marine heatwave of 2014–2016 // *PLoS*

ON. 2020. V. 15(1). e0226087. P. 1–32. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226087>.

Savage K. Alaska and British Columbia large whale unusual mortality event summary report. Produced by Protected Resources Division, NOAA Fisheries, Juneau, AK office, 2017. V. 42 p. Available online at <https://repository.library.noaa.gov>.

Thomson A.R., Schroeder K.D., Bograd S.J., et. al. State of the California Current 2018–19: A novel anchovy regime and a new marine heat wave? // *CalCOFI Report*. 2019. V. 60. P. 1–65.

Urawa H., Beacham T.D., Fukuwaka M., Kaeriyama M. Ocean ecology of chum salmon // In *The ocean ecology of Pacific salmon and trout*. R.J. Beamish (editor). American Fisheries Society, Bethesda, MD, 2018. P. 161–317. <https://doi.org/10.47886/9781934874455.ch3>.

Zador S., Yasumiishi E., Whitehouse G.A. Ecosystem Status Report 2019: Gulf of Alaska. Report to North Pacific Fishery Management Council, 605 W 4th Ave, Suite 306, Anchorage, AK 99501, 2019. 233 p.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**RECENT OCEAN CONDITIONS AND TRENDS OF
PACIFIC SALMON FROM ALASKA TO CALIFORNIA**

© 2021 y. Laurie Weitkamp

*U.S. National Oceanographic and Atmospheric Administration, National Marine
Fisheries Service, Northwest Fisheries Science Center,
2032 SE Marine Science Drive, Newport, Oregon, 97365, U.S.A.*

Based on data on climate variability, it was found that, starting in 2014, during the warming period off the Pacific coast of the United States, the emergence of both productive generations and lean generations of salmon was noted. It was found that in the main fishing areas in the period after 2014 there was a downward trend in abundance, despite the fact that in some years the commercial catches were at a high level.

Key words: Pacific salmon, commercial catches, abundance.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МЕЖГОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЗАПАСОВ КАМЧАТСКОЙ ГОРБУШИ В 2014–2020 ГГ.

© 2021 г. А.С. Кровнин, К.К. Кивва, Г.П. Мурый, А.А. Сумкина

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

Поступила в редакцию 02.09.2021 г.

Высокий теплозапас поверхностных вод в северной части Северной Пацифики и дальневосточных морях в 2014–2019 гг. способствовал формированию чрезвычайно благоприятных условий среды для камчатской горбуши на всех стадиях морского периода их жизненного цикла. Рост уловов дальневосточной горбуши в 2014–2018 гг. был в значительной мере обусловлен резким увеличением вылова поколений чётных лет восточнокамчатской горбуши, которые не являются доминирующими для этого запаса. В 2018 г. её доля в общем улове российской горбуши достигла почти 22%, в то время как в 2006–2010 гг. она составляла лишь 3–6%. Рост уловов чётных поколений восточнокамчатской горбуши в 2014–2018 гг. совпал с аномальным уменьшением площади ледового покрова в Беринговом море и смещением его границы далеко на север. Возврат термических и ледовых условий в Беринговом море и приазиатском районе к среднемноголетнему уровню зимой 2019/2020 гг. способствовал худшей выживаемости поколения восточнокамчатской горбуши 2018 г. рождения и восстановлению характерного для неё в последние десятилетия «пилообразного» изменения биомассы и, как следствие, уловов, с их высокими значениями в нечётные годы и низкими значениями в чётные годы.

Ключевые слова: *Oncorhynchus gorbuscha*, горбуша, Западная Камчатка, Восточная Камчатка, поколения, чётные годы, нечётные годы, теплозапас вод, ледовый покров.

ВВЕДЕНИЕ

Период 2014–2019 гг. в в Беринговом море и в северной части Северной Пацифики (севернее 35° с. ш.), в целом, характеризовался аномально высоким теплозапасом вод в верхнем 500-м слое. Его причиной стало неожиданное резкое потепление поверхностных вод во вне-тропических широтах восточной части Северной Пацифики, начавшееся осенью 2013 г. и получившее английское название «The Blob» («пятно») (Bond et al., 2015). В зимне-весенний период 2014–2015 гг. положительные аномалии температуры поверхности океана (АТПО) здесь достигали 3,0 °С. Зимой 2016 г. интенсивность «пятна» снизилась, однако

в сентябре средняя АТПО вновь возросла, достигнув 2,0 °С. Основные причины формирования тёплого пятна вод на северо-востоке Тихого океана были связаны с аномально низкой отдачей тепла с его поверхности и ослаблением адвекции холодных вод в верхнем слое вследствие формирования необычайно сильного и устойчивого атмосферного антициклона у западного побережья США и Канады, а также над заливом Аляска. Большой вклад в потепление поверхностных вод на северо-востоке Тихого океана внесло также мощное явление Эль-Ниньо 2015–2016 гг.

Аномально тёплые поверхностные воды, сформировавшиеся на северо-

востоке Тихого океана, постепенно распространялись на запад, и уже в мае 2015 г. потепление охватило воды Восточной Камчатки и восточной части Охотского моря.

Описанная выше ситуация в большей или меньшей степени стала характерной для всех последующих лет, вплоть до начала 2020 г. В частности, в сентябре 2019 г. на северо-востоке Тихого океана вновь сформировалась обширная область высоких положительных АТПО величиной до 2,8 °С. Кроме того, общее ослабление океанической циркуляции в Северной Пацифике (отрицательные значения индекса осцилляции северотихоокеанских океанических круговоротов) способствовало интенсивному проникновению аномально тёплых вод в юго-восточную и южную часть Берингова моря через проливы Алеутских островов. Это стало основной причиной минимального развития ледового покрова в море в зимние сезоны 2017/2018 и 2018/2019 гг.

Высокое теплосодержание поверхностных вод в северной части Северной Пацифики и дальневосточных морях России в 2014–2019 гг. способствовало формированию чрезвычайно благоприятных условий среды для тихоокеанских лососей, нерестящихся в реках Камчатки, и, прежде всего, горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, на всех стадиях морского периода жизни (Кровнин и др., 2016; Krovnin et al., 2018). В 2018 г. был получен рекордный для России улов тихоокеанских лососей — 677 тыс. т, из которых вылов горбуши составил более 511 тыс. т, главным образом, за счет камчатских стад.

Рост уловов дальневосточной горбуши в 2014–2018 гг. был в значительной мере обусловлен необычным, довольно резким увеличением вылова поколений ряда чётных лет восточнокамчатской горбуши, которые обычно не яв-

ляются доминирующими для этого запаса. От 2012 к 2018 гг. их вылов вырос более чем в 6 раз — с 16370 до 111250 т. В 2018 г. доля восточнокамчатской горбуши в общем улове российской горбуши достигла почти 22%, в то время как в 2006–2010 гг. она не превышала 3–6%.

В 2020 г. ситуация изменилась. При прогнозе в 222,8 тыс. т общий улов горбуши на Дальнем Востоке России составил 179,4 тыс. т, т. е. был в 1,25 раза ниже ожидаемого. Наиболее значительный недолов относительно прогнозных оценок отмечен на Восточной Камчатке, где при ожидании 82,7 тыс. т было добыто 20,7 тыс. т, т. е. объём вылова составил всего лишь четверть от прогноза.

Можно предположить, что снижение общего улова горбуши в 2020 г. связано с изменениями абиотических условий среды ее обитания в зимнем сезоне 2019/2020 гг. Основная цель данной работы — попытка выявить те факторы среды обитания лососей, которые обусловили снижение вылова горбуши и, прежде всего, ее восточнокамчатского стада в 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные по вертикальному распределению температуры и солёности взяты из массива EN4 (Good et al., 2013). Разрешение массива 1°×1°, дискретность 1 месяц. Теплосодержание слоя 0–100 м рассчитали как интеграл по глубине произведения коэффициента удельной теплоёмкости морской воды, её плотности и абсолютной температуры для рассматриваемого слоя. В анализе использовали значения аномалии данного параметра относительно интервала 1981–2010 гг. Связь вылова горбуши каждого стада и поколения с теплосодержанием искали с помощью корреляционного анализа, использовали коэффициент корреляции Пирсона.

Данные о концентрации (сплочённости) льда взяты из массива Climate Data Record (CDR) NOAA/NSIDC (Meier et al., 2017). Массив содержит данные за 1979–2019 гг., распределённые в узлы регулярной сетки с пространственным разрешением 25 км. Дискретность данных составляет 2 дня до 9 июля 1987 г. и 1 день после этой даты. В работе использованы средние месячные значения. Положение центроида льда рассчитывали для района, ограниченного меридианами 160° в. д. и 155° з. д. Расчёт производили осреднением координат всех узлов сетки массива, имеющих значение концентрации льда больше нуля, с взвешиванием на значение концентрации.

Информация о вылове горбуши камчатских стад предоставлена отделом лососевых рыб ФГБНУ «ВНИРО» и основана на официальной статистике вылова, представленной дальневосточными территориальными управлениями Росрыболовства.

Для установления связи состояния запасов камчатской горбуши с термическими условиями в океане в период её зимовки рассчитаны коэффициенты корреляции между значениями уловов западно- и восточнокамчатского стад горбуши отдельно для поколений чётных и нечётных лет и среднемесячными аномалиями теплозапаса вод в слое 0–100 м в северотихоокеанском регионе севернее 40° с. ш. в период с декабря года, предшествующего вылову, по апрель года вылова. Можно предположить, что районы максимальных по абсолютным значениям коэффициентов корреляции совпадают с районами зимовки горбуши или расположены близко к ним. Коэффициенты корреляции рассчитаны для 1978–2020 гг. Таким образом, длина временных рядов для поколений рядов чётных и нечётных лет горбуши составляет $N = 21$ год.

При этом, для числа степеней свободы $N_{св} = N - 2 = 19$ все коэффициенты корреляции с абсолютными значениями, равными или выше 0,43, являются статистически значимыми при 95% уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 приведено распределение коэффициентов корреляции между теплозапасом вод и значениями уловов восточнокамчатской горбуши в ряду чётных лет. В декабре года, предшествующего вылову, т. е. на начальном этапе зимовки, область максимальных (положительных) коэффициентов корреляции, превышающих 0,50–0,60, охватывает район севернее и южнее Алеутских островов с центром на 170° з.д. (рис. 1а). К февралю года вылова эта область смещается на север и расширяется, охватывая практически всю южную часть Берингова моря (рис. 1б). В апреле район с коэффициентами корреляции выше 0,60 сужается (рис. 1в). Следует отметить, что вторичные, небольшие по площади, центры сравнительно высоких значений коэффициента корреляции на рисунке 1 обусловлены когерентным характером колебаний температуры воды, а, следовательно, и теплосодержания вод, в верхнем 100-м слое океана на расстояниях порядка нескольких тысяч километров (Mantua et al., 1997; Кровнин и др., 2018). Поэтому они отражают лишь существование статистически значимых связей между колебаниями теплосодержания вод в слое 0–100 м в разных частях океана: в данном случае, между южной частью Берингова моря и районами океана к юго-востоку и востоку от Курильских островов. Аналогичное объяснение имеет и наличие вторичных центров значимых коэффициентов корреляции между уловами горбуши и теплосодержанием вод на рисунках 4–6.

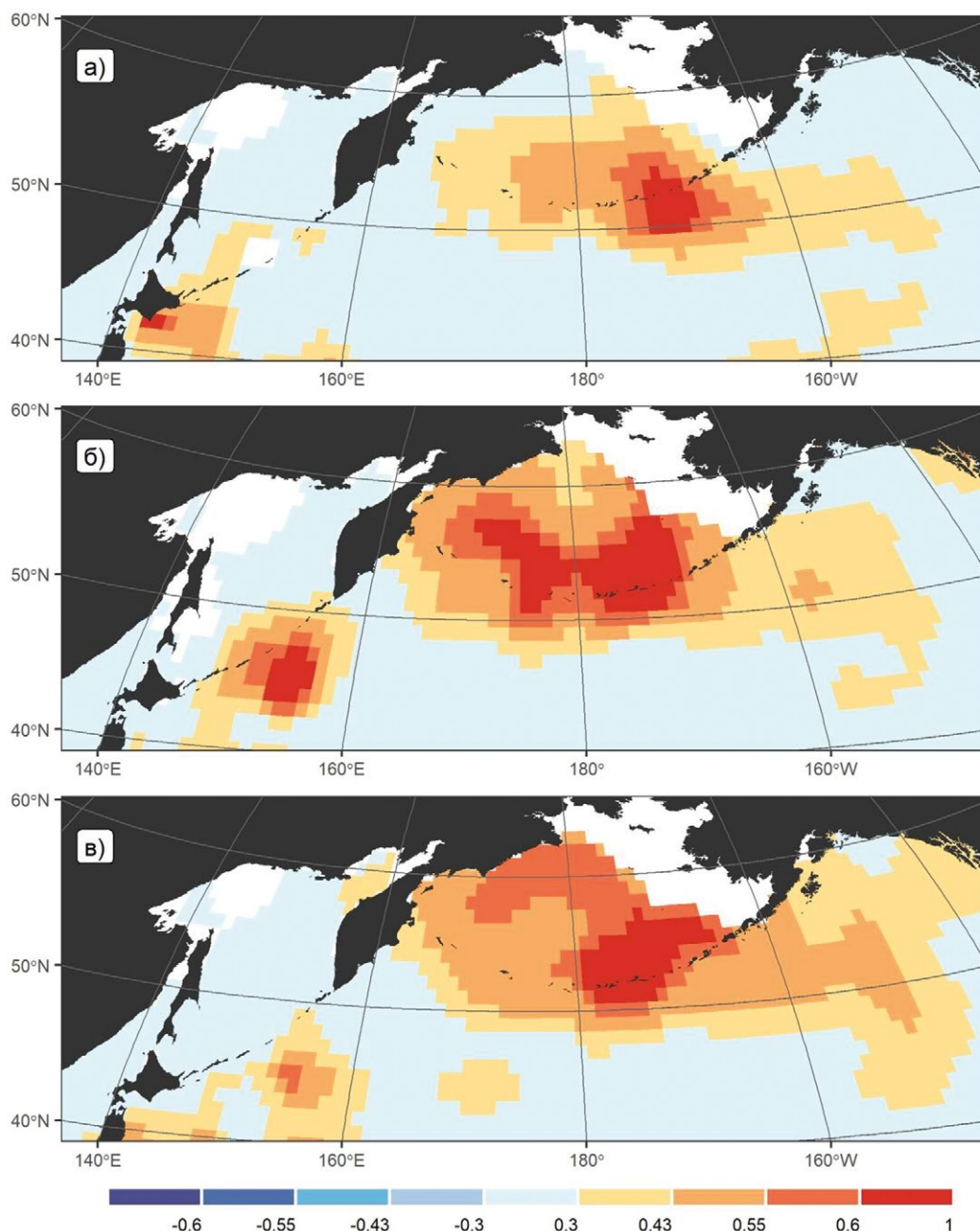


Рис. 1. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда чётных лет на восточной Камчатке и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для декабря (год, предшествующий вылову) (а), февраля (б) и апреля (год вылова) (в). Анализ для интервала 1978–2020 гг. Коэффициент корреляции рассчитан для каждого узла сетки, соответствующей массиву EN4.

Характер распределения коэффициентов корреляции между значениями уловов восточнокамчатской горбуши генераций чётной линии лет и теплозапасом вод в верхнем 100-м слое океана свидетельствует о том, что, по крайней мере, значительная часть этой рыбы

могла зимовать в южной части Берингова моря, особенно во второй половине 2010-х гг., когда наблюдалось аномальное потепление вод на северо-востоке Северной Пацифики и в юго-восточной части Берингова моря.

Это предположение подтверждено высокой статистической связью между уловами в ряду чётных лет и характеристиками ледового покрова Берингова моря в зимне-весенний период. В качестве примера рисунок 2а демонстрирует изменения аномалий широты географического центра (центроида) ледового покрова Берингова моря в феврале и аномалий улова восточнокамчатской горбуши в ряду чётных лет. Для более наглядного представления и удобства сравнения оба временных ряда стандартизированы (значения рядов смещены на среднее и масштабированы на среднеквадратическое отклонение соответствующего ряда). В 1978–2010 гг. наблюдали относительно небольшие колебания обеих характеристик, не превышавшие стандартного отклонения ($\pm\sigma$). Начиная с 2012 г., отмечено смещение географического центра ледового покрова на север, достигшее максимума в 2018 г. В эти же годы наблюдали рост уловов поколений восточнокамчатской горбуши в ряду чётных лет также с максимальным значением в 2018 г. В 2020 г. распространение ледового покрова в Бе-

ринговом море вернулось к среднемуголетнему положению. При этом уловы значительно снизились. Коэффициент корреляции между рассматриваемыми временными рядами за весь период с 1978 по 2020 гг. равен 0,60 ($p < 0,05$). Коэффициент корреляции оказывается еще выше, если в качестве характеристики ледового покрова использовать положение кромки льда на широте 175° з. д. (рис. 2б). В этом случае его величина достигает 0,84 ($p < 0,01$). Минимальная площадь льда и крайнее северное положение его кромки в море отмечены в 2018 г. (рис. 3а). В этом же году был получен рекордный улов восточнокамчатской горбуши для поколений ряда чётных лет — 111,25 тыс. т.

Таким образом, рост уловов восточнокамчатской горбуши поколений ряда чётных лет в 2014–2018 гг. совпал с аномальным уменьшением площади ледового покрова в Беринговом море и смещением его границы далеко на север (Baker et al., 2020). Следует отметить, что положительную связь уловов и характеристик ледового покрова можно трактовать двояко. Во-первых, распростране-

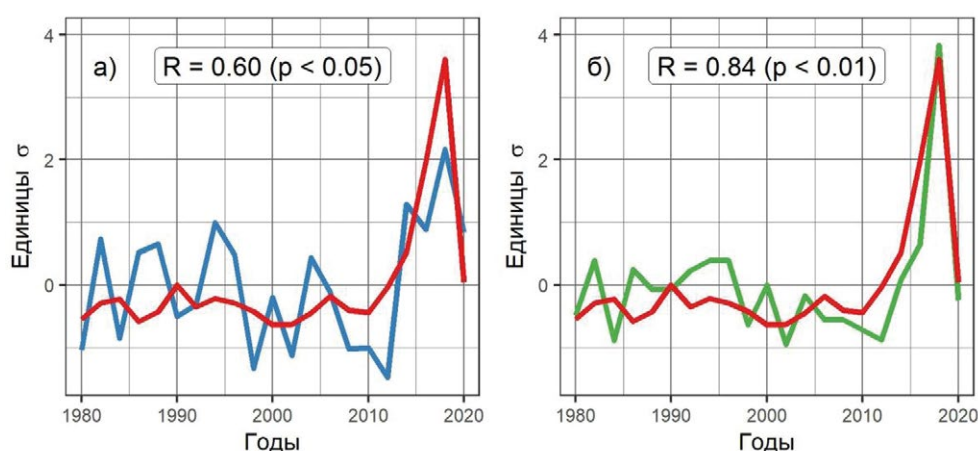


Рис. 2. Сравнение динамики вылова восточнокамчатской горбуши в ряду чётных лет (красная линия) с многолетним ходом значений широты центроида льда в Беринговом море (а – синяя линия) и положения кромки льда вдоль меридиана 175° з. д. (б – зелёная линия). Все временные ряды стандартизированы (значения представлены в долях стандартного отклонения каждого ряда).

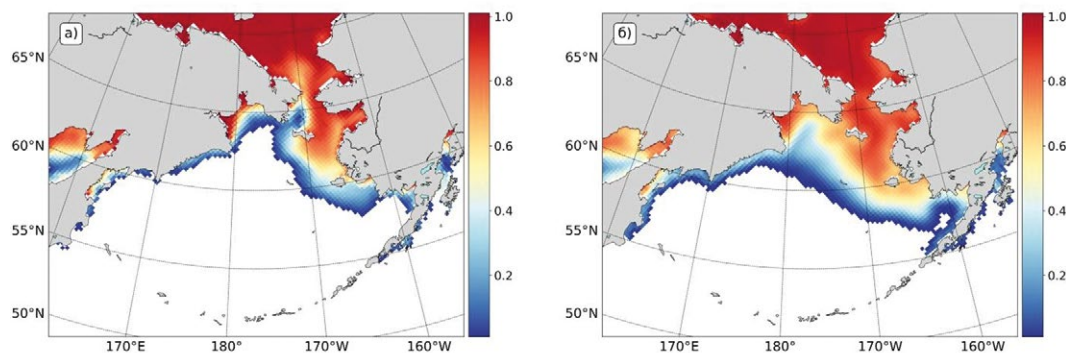


Рис. 3. Распространение и сплочённость льда в Беринговом море в феврале 2018 г. (а) и 2020 г. (б).

ние ледового покрова отражает общее тепловое состояние вод моря: более высокий теплозапас вод в верхнем слое обуславливает меньшую интенсивность льдообразования, и наоборот (Bitz et al., 2005). При этом, ледовый покров является лишь индикатором термического режима вод. Во-вторых, если поколения чётной линии лет восточнокамчатской горбуши действительно зимуют в южной части Берингова моря, то сокращение площади льда со смещением его южной границы на север способствует расширению района зимнего нагула и, следовательно, лучшей выживаемости соответствующего поколения. Обратный процесс приводит к снижению выживаемости и, в конечном итоге, к снижению уловов. Так, возврат зимой 2019/2020 гг. термических и ледовых условий в Беринговом море и приалеутском районе Тихого океана к среднемноголетнему уровню (рис. 3б), вероятно, и стал причиной снижения выживаемости у восточнокамчатской горбуши поколения 2018 года рождения и восстановления характерного в последние десятилетия для горбуши данного стада «пилообразного» изменения численности и, как следствие, уловов, с их высокими значениями в ряду нечётных лет и низкими — в ряду чётных лет. Следует отметить, что о возврате термических и ледовых условий к среднемноголетнему уровню в Бе-

ринговом море свидетельствуют и результаты анализа, приведенные в работе Л. Эйснер (Eisner, 2020).

Для восточнокамчатской горбуши обеих генераций наблюдается положительная связь уловов с зимним теплозапасом вод в слое 0–100 м (рис. 4). Однако, судя по положению района максимальных корреляций, поколения восточнокамчатской горбуши ряда нечётных лет зимуют западнее, в области западного субарктического круговорота между 160 и 170° в. д. (рис. 4а), а в феврале–марте они, вероятно, мигрируют к востоку в район 180–170° з. д. (рис. 4б, в).

Корреляционная связь между значениями уловов западнокамчатской горбуши в ряду чётных лет (доминирующие поколения) и теплозапасом вод в верхнем 100-м слое выражена менее отчетливо (рис. 5). Можно предположить, что район ее зимовки находится в области западного субарктического круговорота между 150° и 165° в. д. Следует отметить отсутствие корреляционной связи уловов западнокамчатской горбуши линии чётных лет и восточнокамчатской горбуши линии нечётных лет с отмеченными выше характеристиками ледового покрова Берингова моря.

Коэффициенты корреляции между теплозапасом вод в слое 0–100 м в Северной Пацифике в зимние месяцы и значениями уловов западнокамчат-

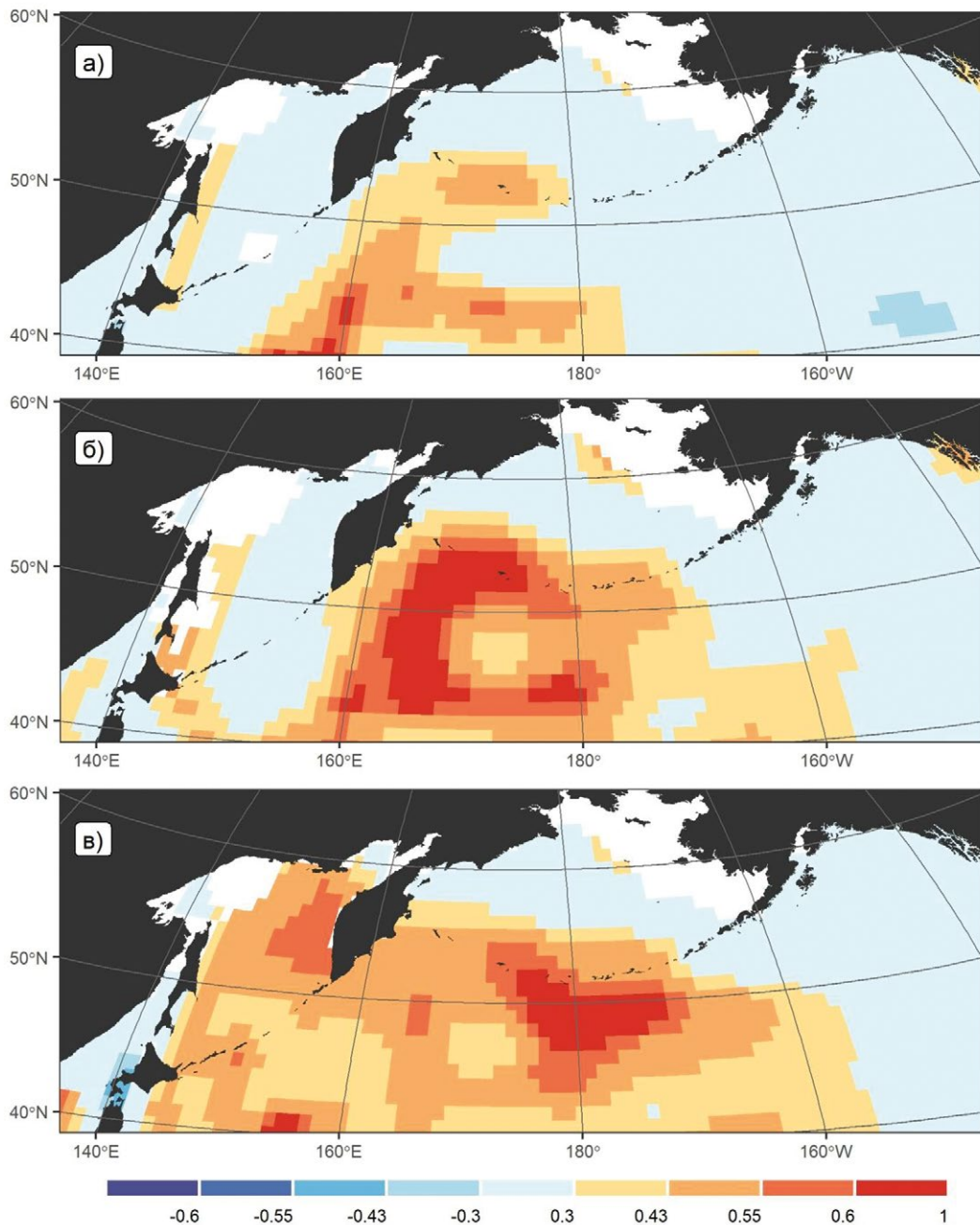


Рис. 4. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда нечётных лет на восточной Камчатке и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для декабря (год, предшествующий вылову) (а), февраля (б) и апреля (год вылова) (в). Анализ для интервала 1979–2019 гг. Коэффициент корреляции рассчитан для каждого узла сетки, соответствующей массиву EN4.

ской горбуши ряда нечётных лет оказались ниже, чем для всех рассмотренных выше запасов (рис. 6). Возможно, это связано с незначительными изменениями величин уловов в 1979–2017 гг. Исключением стал лишь 2019 г., когда вы-

лов составил 60,2 тыс. т. На основе анализа рис. 6 можно лишь сделать предположение, что горбуша этого запаса зимует в восточной части субарктического круговорота. В пользу этого предположения свидетельствуют относительно

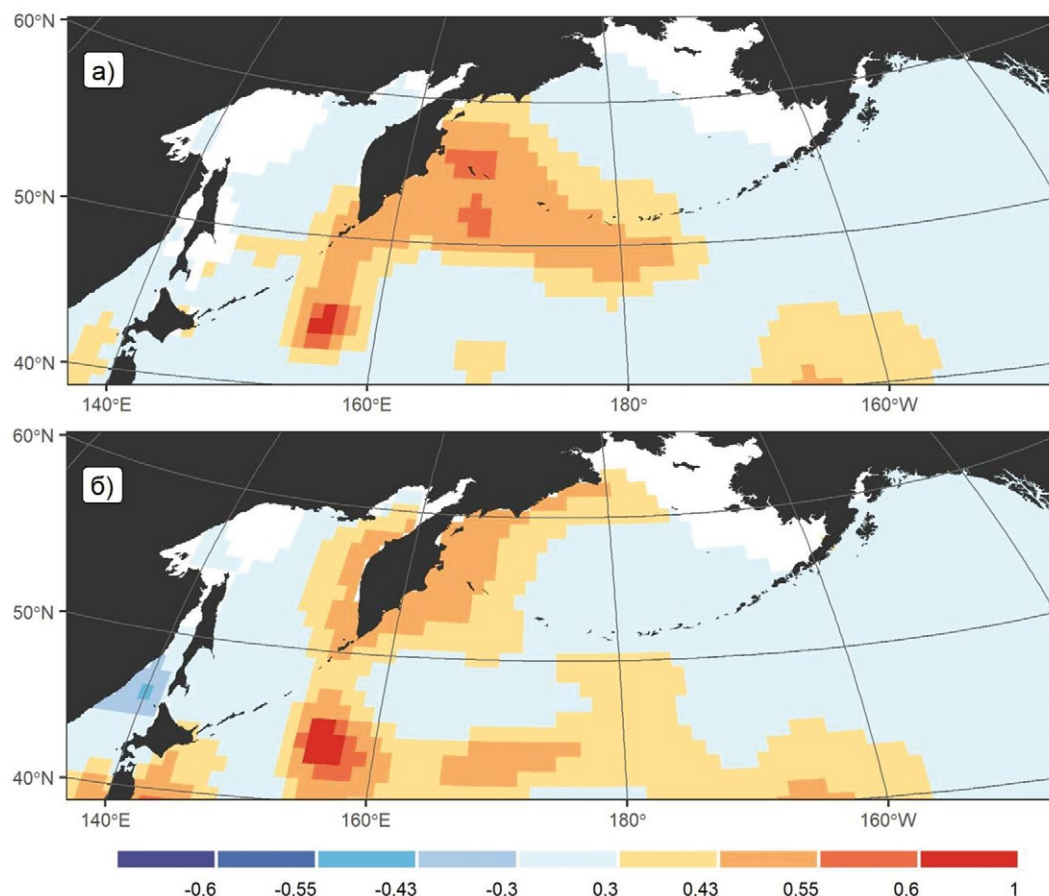


Рис. 5. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда чётных лет на западной Камчатке (доминирующие поколения) и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для февраля (а) и апреля (б). Анализ для интервала 1978–2020 гг. Коэффициент корреляции рассчитан для каждого узла сетки, соответствующей массиву EN4.

невысокие, но статистически значимые, коэффициенты корреляции, отражающие связь между значениями уловов западнокамчатской горбуши и значениями широты географического центра ледового покрова в феврале и марте, которые, соответственно, равны 0,49 и 0,52 ($p < 0,05$). В данном случае состояние ледового покрова можно рассматривать как косвенный показатель теплового состояния вод в северо-восточной части Тихого океана и южной части Берингова моря. Наибольший улов западнокамчатской горбуши в ряду нечётных лет получен в 2019 г., в котором, как и в 2018 г., площадь льда в Беринговом море была минимальной.

Таким образом, результаты проведенного анализа выявили положительную связь между термическими условиями вод в период зимовки всех рассмотренных выше запасов камчатской горбуши и их уловами. Однако районы зимовки у них различаются. Вероятно, для доминирующих в 1978–2020 гг. поколений восточнокамчатской горбуши ряда нечётных лет и поколений западнокамчатской горбуши ряда чётных лет они расположены в пределах западного субарктического круговорота, для генераций линии нечётных лет западнокамчатской горбуши — в восточной части субарктического круговорота, а для чётных поколений восточнокамчатской

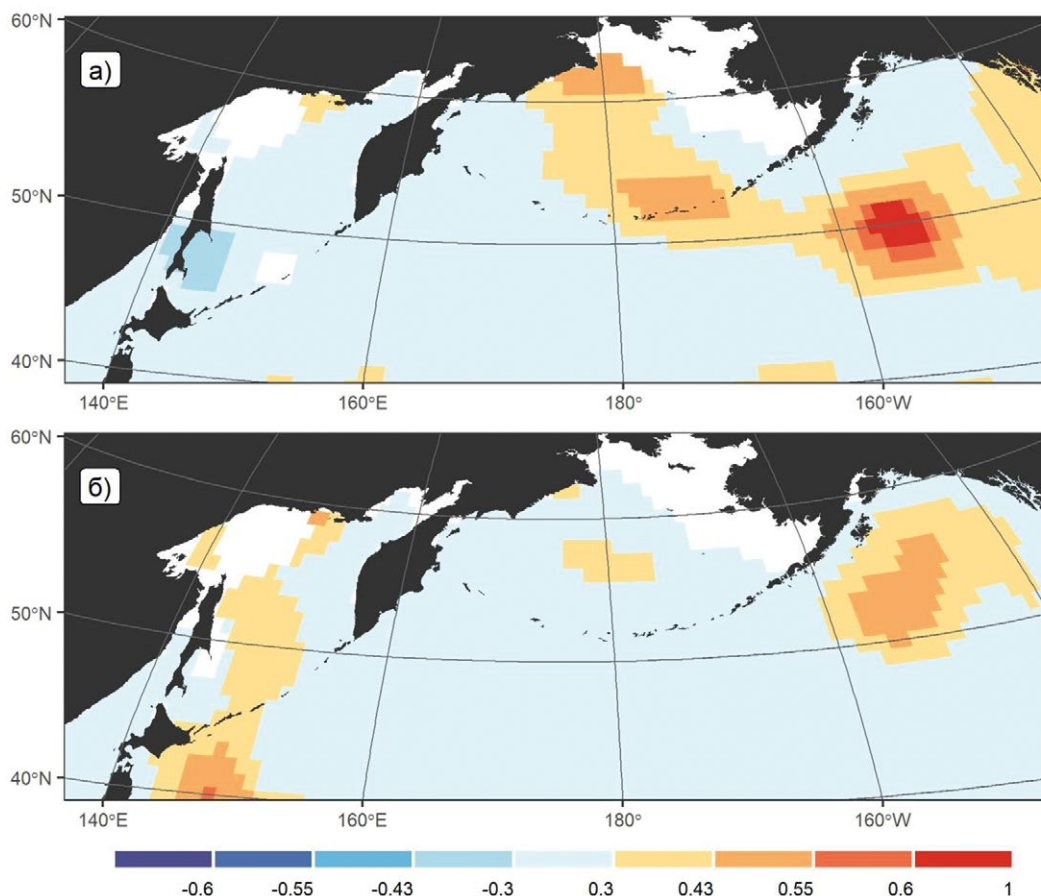


Рис. 6. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда нечётных лет на западной Камчатке и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для февраля (а) и апреля (б). Анализ для интервала 1979–2019 гг. Коэффициент корреляции рассчитан для каждого узла сетки, соответствующей массиву EN4.

горбуши — в основном, в южной части Берингова моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокий теплозапас поверхностных вод в северной части Северной Пацифики и дальневосточных морях в 2014–2019 гг. способствовало формированию чрезвычайно благоприятных условий среды для лососей, и, прежде всего, камчатской горбуши в морской период их жизненного цикла.

Рост уловов дальневосточной горбуши в 2014–2018 гг. был в значительной мере обусловлен необычным, довольно резким увеличением вылова поколений чётного ряда лет восточнокамчатской горбуши, которые обычно не являют-

ся доминирующими для этого запаса. В 2018 гг. ее доля в общем улове российской горбуши достигла почти 22%, в то время как в 2006–2010 гг. она не превышала 3–6%.

Опираясь на результаты анализа корреляционных связей между значениями уловов и теплозапаса вод в верхнем 100-м слое северной части северо-тихоокеанского региона в зимние месяцы, можно высказать следующие предположения относительно районов зимовки рассматриваемых стад горбуши. Районы зимовки доминирующих в 1978–2020 гг. у восточнокамчатской горбуши поколений нечётной линии лет и у западнокамчатской горбуши поколений чётных лет расположены в пределах западного су-

барктического круговорота. Генерации западнокамчатской горбуши нечётного ряда лет зимуют в восточной части субарктического круговорота, а поколения чётной линии лет восточнокамчатской горбуши — в основном, в южной части Берингова моря.

Основными факторами роста уловов поколений ряда чётных лет восточнокамчатской горбуши в 2014–2018 гг. стали высокий теплозапас поверхностных вод северной части Северной Пацифики, аномальное уменьшение площади ледового покрова в Беринговом море и смещение его границы далеко на север. Эти факторы обусловили расширение района с благоприятными условиями для зимнего нагула в южной части Берингова моря. Возврат термических и ледовых условий в Беринговом море и прилеутском районе к среднепогодному уровню зимой 2019/2020 гг. способствовал худшей выживаемости восточнокамчатской горбуши поколения 2018 года рождения и восстановлению характерного для данного стада горбуши в последние десятилетия «пилообразного» изменения численности и, как следствие, уловов, с их высокими значениями в ряду нечётных лет и низкими — в ряду чётных лет.

Наибольший улов западнокамчатской горбуши для поколений ряда нечётных лет получен в 2019 г., в котором, как и в 2018 г., площадь льда в Беринговом море была минимальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Кловач Н.В. Связь «лососевых эпох» в дальневосточном регионе с крупномасштабными изменениями климата в Северной Пацифике // Труды ВНИРО. 2016. Т. 164. С. 22–40.

Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Мордасова Н.В., Мурий Г.П. Дальние связи в атмосфере и океане как основа долгосрочного про-

гнозирования водных биоресурсов // Труды ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 33–65.

Baker M.R., Kivva K.K., Pisareva M.N. et al. Shifts in the physical environment in the Pacific Arctic and implications for ecological timing and conditions // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. V. 177. 104802.

Bitz C.M., Holland M.M., Hunke E.C., Moritz R.E. Maintenance of the sea-ice edge // J. of climate. 2005. V. 18. No 15. P. 2903–2921.

Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific // Geophysical Research Letters. 2015. V. 42. No.9. P. 3414–3420.

Eisner L. Bering Sea: current status and trends // PICES Press. 2020. V. 28. No.2. P. 29–32.

Good S.A., Martin M.J., Rayner N.A. EN4: Quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // J. of Geophysical Research: Oceans. 2013. V. 118. No.12. P. 6704–6716.

Krovnin A.S., Kotenev B.N. and Klovach N.V. Present State and Future of Far East Salmon Stocks under Changing Climate. NPAFC Technical Report. 2018. No. 11. P. 51–55.

Mantua N.J.; Hare S.R.; Zhang Y.; Wallace J.M.; et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // Bull. Amer. Met. Soc. 1997. V. 78. No. 6. P. 1069–1079.

Meier W.N., Fetterer F., Savoie M., Malloy S., et al. NOAA/NSIDC Climate Data Record of Passive Microwave Sea Ice Concentration, Version 3. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. 2017. doi: <https://doi.org/10.7265/N59P2ZTG>.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON
INTERANNUAL VARIATIONS OF KAMCHATKA
PINK SALMON STOCKS IN 2014–2020**

© 2021 y. A.S. Krovnin, K.K. Kivva, G.P. Moury, A.A. Sumkina

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

The high heat content of surface waters in northern North Pacific and Far Eastern Seas in 2014–2019 has resulted in the formation of extremely favorable environmental conditions for pink salmon spawning in the Kamchatka rivers, at all stages of marine period of their life cycle. The growth of Far East pink salmon catches in 2014–2018 was associated to a great extent with an unusual increase in the catch of even-year generations of East Kamchatka pink salmon, which were not dominant for this stock. In 2018, their share in the total catch of Russian pink salmon reached almost 22%, while in 2006–2010 it did not exceed 3–6%. The growth of catches of even-year generations of East Kamchatka pink salmon in 2014–2018 coincided with an anomalous decrease in the ice cover in the Bering Sea and shift of its border far to the north. The return of thermal and ice conditions in the Bering Sea and the near-Aleutian region to the mean long-term level in the winter of 2019/2020 obviously contributed to the less favorable survival conditions for the 2018 East Kamchatka pink salmon generation and recovering of the «saw-shaped» variations of biomass observed during the recent decades and, as a result, the similar variations of catches, with their high volumes in odd years and low volumes in even years.

Keywords: *Oncorhynchus gorbuscha*, pink salmon, West Kamchatka, East Kamchatka, even-years, odd-years, generations, water heat content, ice cover.

**АНОМАЛИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ —
ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ
ПРЕДИКТОР ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ
ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ КАМЧАТКИ**

© 2021 г. А.В. Бугаев, М.Г. Фельдман, О.Б. Тепнин, М.В. Коваль

*Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), г. Петропавловск-
Камчатский, 683600
E-mail: Bugaev.a.v@kamniro.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021

В работе представлен анализ взаимосвязи изменчивости аномалии температуры поверхности воды (аТПМ/аТПО) в районах осенне-зимних миграций молоди тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки с динамикой численности уловов их производителей. Ряды наблюдений включают период 1971–2020 гг. Полигон сбора данных аТПМ/аТПО охватывает акватории западной части Берингова моря, южной части Охотского моря и северо-западной части Тихого океана. Результаты исследований показали, что в зонах массового нагула молоди горбуши, кеты и нерки показатели аТПМ/аТПО имеют устойчивую взаимосвязь с численностью уловов этих видов. Большинство достоверных связей обозначено умеренными коэффициентами корреляций на уровне $r = 0,30–0,60$. Закономерность прослеживается для всех видов лососей на значительной части рассматриваемой акватории в осенний период (сентябрь–октябрь). В зимний период взаимосвязь наблюдается значительно реже. Предлагается использовать накопленные ряды аТПМ/аТПО для многомерного моделирования прогнозов возвратов тихоокеанских лососей Камчатки. В качестве основных моделей планируется включение этих данных в базы общей регрессионной модели (ОРМ) и *Random Forest*. Основным объектом прогнозирования будет горбуша Восточной и Западной Камчатки. Кроме того, оперативно получаемые данные аТПМ/аТПО в осенний период года предшествующего году промысла, позволят использовать этот показатель в качестве индикаторной информации, характеризующей условия нагула молоди лососей.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, прогнозирование численности возвратов, температурная аномалия воды, нагульные миграции.

ВВЕДЕНИЕ

На Дальнем Востоке России в течение почти 100-летнего периода (1925–2020 гг.) ежегодно в среднем добывали около 170 тыс. т лососей, из которых приблизительно 110 тыс. т (данные 1971–2020 гг.) составляли камчатские стада (рис. 1). Порядка 60–70% уловов представлено одним видом — горбушей. На долю кеты и нерки приходится

25% и 10%, соответственно. Остальные виды в уловах занимают менее 5%. На Камчатке среднемноголетняя доля кеты в уловах, относительно Дальнего Востока России, несколько ниже — до 15%, а нерки, наоборот, выше — более 15%.

Причем, в последнее десятилетие (2011–2020 гг.) годовые уловы камчатских лососей в среднем превышали 252 тыс. т. Минимальный улов в этот период был зафиксирован в 2013 г. (око-

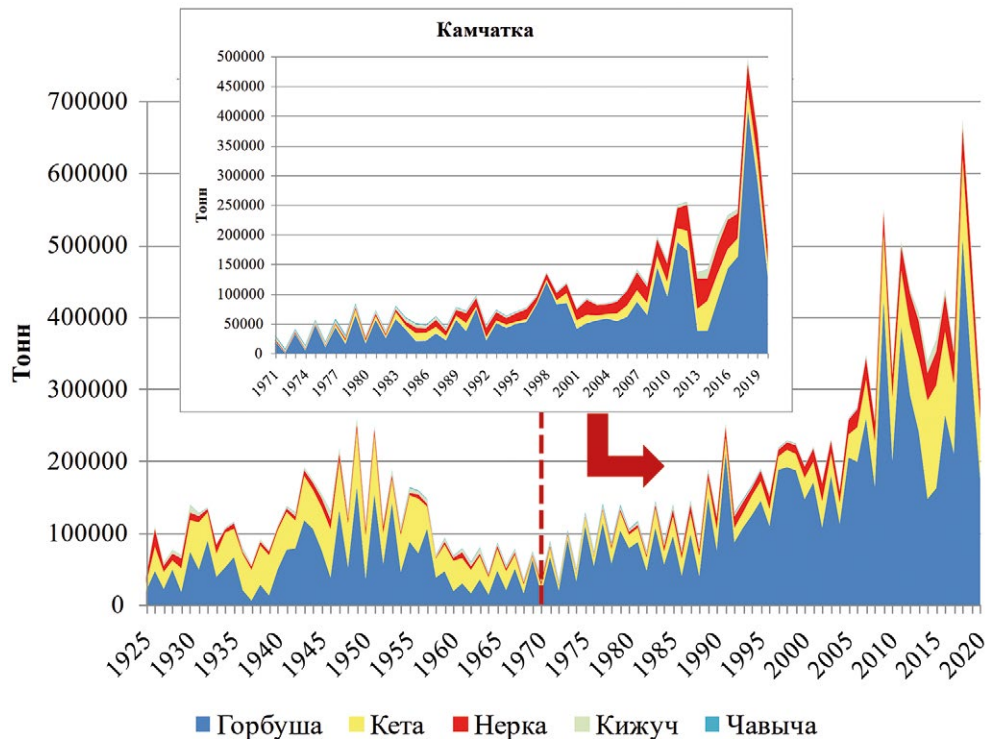


Рис. 1. Динамика уловов тихоокеанских лососей Дальнего Востока России (1925–2020 гг.) и Камчатки (1971–2020 гг.).

ло 138 тыс. т), а максимальный в 2018 г. (почти 498 тыс. т). Это указывает на исторический пик численности тихоокеанских лососей Камчатки, зафиксированный в XX и начале XXI вв.

Столь значимые запасы камчатских лососей являются стратегическим возобновляемым ресурсом государства, управление которым относится к приоритетным задачам рыбохозяйственной науки. Соответственно, одним из основных этапов рационального использования данного ресурса считается прогнозирование динамики численности стад лососей, представляющих основные региональные единицы промысловых запасов отдельных видов.

В качестве инструментов прогнозирования динамики численности камчатских стад тихоокеанских лососей в большинстве случаев используют моделирование на основе известных закономерностей взаимосвязи «родители — потомство» (Ricker, 1954;

Shepherd, 1982), а также имеющиеся зависимости изменчивости численности поколений по возрастным группам (метод сиблингов) (Peterman, 1982). Последний метод применяется исключительно для лососей с продолжительным периодом жизни (кета, нерка, кижуч, чавыча). В качестве эмпирических оценок, для отдельных видов (горбуша, кета), применяются данные учётных траловых съёмок в юго-западной части Берингова моря и Охотском море в период осенней откочёвки молоди от побережья — модель взаимосвязи «учёт молоди в море — возврат поколения». Кроме того, в прогнозах учитывают оценки численности покатной молоди лососей, рассчитанные в результате учётно-мальковых работ в реперных (контрольных) реках Восточной и Западной Камчатки. В отдельных случаях оценку потенциальных фоновых условий нагула в пресноводный/ранний морской этапы жизненного цикла

лососей выполняют на основе доступной индикаторной гидрологической и гидробиологической информации (экологические индикаторы). Это позволяет корректировать решения при принятии прогнозных оценок, получаемых методами математического моделирования.

Следует уточнить, что в реальных условиях роль экологических индикаторов для принятия решения о величине прогнозируемого объёма добычи (вылова) водных биоресурсов, может быть, весьма высока. Дело в том, что математическое моделирование прогнозов численности любых видов биоресурсов всегда ограничено определенным количеством используемых предикторов, а также методической погрешностью. Причем, в качестве основного предиктора, а зачастую и единственного, вступает численность объекта прогнозирования. Однако, в этом случае, не учитывается многофакторность среды, в которой непосредственно происходит формирование продукционных показателей конкретной единицы промыслового запаса. Это значительно снижает информативность прогнозов. В случае с тихоокеанскими лососями данное обстоятельство было подмечено специалистами различных стран, где занимаются вопросами прогнозирования численности их запасов (Urawa et al., 2016).

Целью исследований является оценка возможности использования аномалии температуры поверхности воды (аТПМ — море / аТПО — океан) в западной части Северной Пацифики (Охотское и Берингова моря, северо-западная часть Тихого океана) в качестве климатического предиктора для потенциального моделирования прогнозов численности тихоокеанских лососей Камчатки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве промыслового статистического материала были использованы официальные данные о численности уловов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России, принятые международной Комиссией по анадромным рыбам северной части Тихого океана (NPAFC — North Pacific Anadromous Fish Commission, <http://www.npafc.org>). Полный ряд имеющейся промысловой статистики включает период 1925–2020 гг. Непосредственно в работе использованы данные о вылове лососей Камчатки в 1971–2020 гг. Более короткий ряд наблюдений связан с тем, что в базах NPAFC до 1971 г. отсутствует корректная промысловая статистика для отдельных дальневосточных географических центров воспроизводства тихоокеанских лососей.

Зонирование районов исследований было выполнено, исходя из известных закономерностей осенних и зимних нагульных миграций тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки на раннем этапе (1-й год) морского/океанического периода жизни (Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2008, 2011). На рисунке 2 представлена схема квадратов (картографических трапеций), по которым были рассчитаны средние показатели аТПМ/аТПО за период 1971–2020 гг. Схема была ранее разработана камчатскими специалистами для оценки влияния гидрологических условий в бассейне Северной Пацифики на продуктивность тихоокеанских лососей Азии и Северной Америки (Бугаев, Тепнин, 2015; Бугаев и др., 2018; Bugaev et al., 2016, 2018).

Использованные в работе ряды наблюдений аТПМ/аТПО на регулярной сетке с шагом $5 \times 5^\circ$ по широте и долготе, получены с сайта https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.kaplan_sst.html. Набор

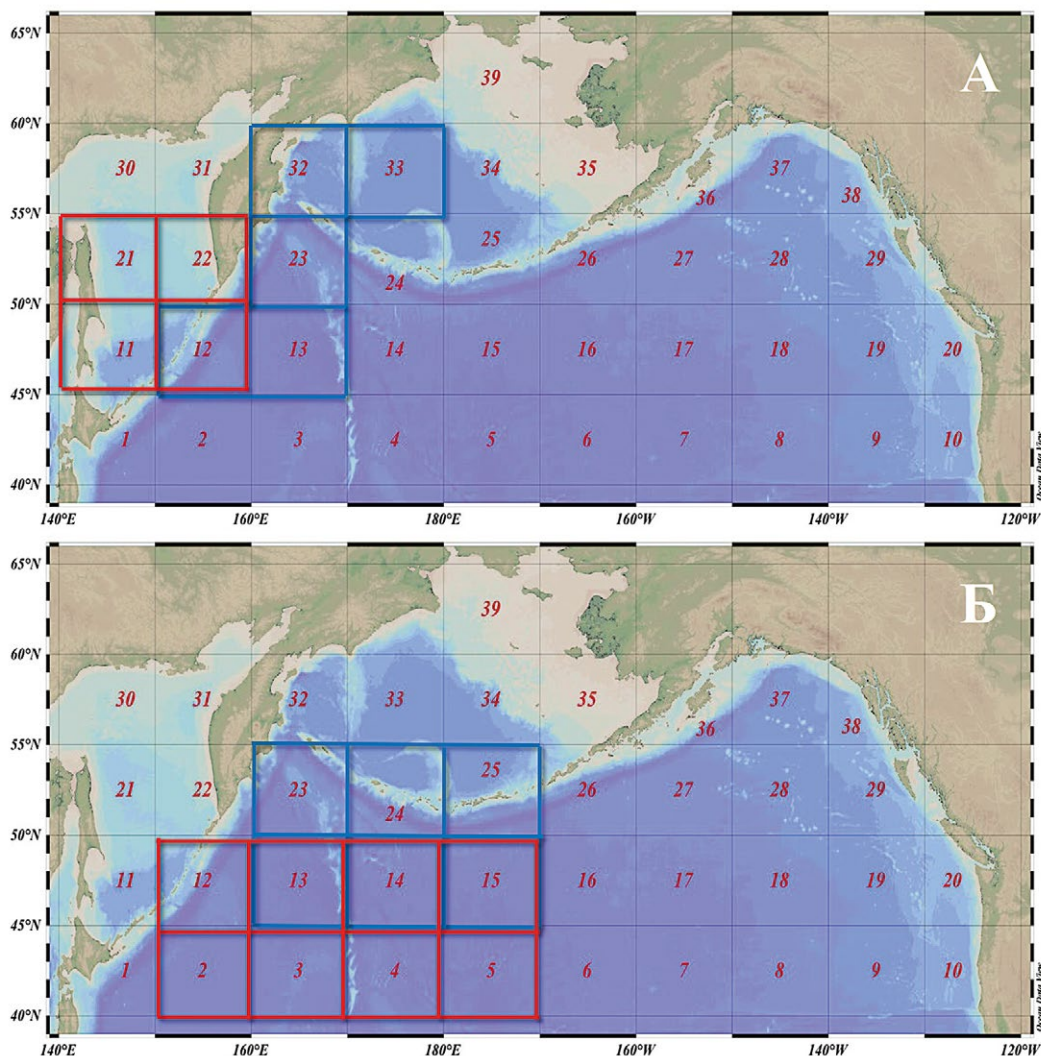


Рис. 2. Карта-схема основных зон осеннего (А) и зимнего (Б) нагула тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки в бассейне Северной Пацифики: цифры — порядковая нумерация картографических трапеций ($5 \times 10^\circ$), являющихся зонами расчёта средних значений аТПМ/аТПО; синие линии — восточнокамчатские стада; красные линии — западнокамчатские стада

данных о среднемесячных показателях аномалии представляет собой комбинированный ряд значений с 1856 г. и по настоящее время. Данные для временного отрезка с 1856 по 1981 гг. были первоначально рассчитаны на основе судовых наблюдений из базы Британского метеорологического бюро (UK MetOffice, <https://www.metoffice.gov.uk>) (Parker et al., 1994; Kaplan et al., 1998). Данные, после 1981 г., взяты из анализа Национальных центров экологического прогнозирования США (NCER, <https://www.ncer.noaa.gov>).

с использованием алгоритма оптимальной интерполяции, который объединяет судовые наблюдения с дистанционным зондированием поверхности океана на сетке $1 \times 1^\circ$ (Reynolds, Smith, 1994). Базовым периодом для расчета аномалий является ряд наблюдений 1951–1980 гг. В работе проводили осреднение значений среднемесячной аТПМ/аТПО из двух соседних 5-градусных трапеций.

Обращаем внимание, что коэффициенты корреляций Пирсона (r) были

рассчитаны, исходя из хронологического соответствия показателей рядов наблюдений обоих массивов данных (аТПМ/аТПО — улов). Например, сентябрьские данные аТПМ/аТПО 2019 г. сопоставляли с уловами горбуши 2020 г. Аналогичный подход был применен к кете и нерке. Однако в данном случае учитывали массовый возраст созревания производителей после морского/океанического нагула. У кеты основу возвратов составляют рыбы в возрасте 0.3 и 0.4 (около 90%) (Заварина, 2008; Макоедов и др., 2009). Поэтому временной лаг составил 4–5 лет, начиная от возраста сеголетка (0.0). Параметр численности (улов) рассчитывали, как скользящее среднее, учитывая значимость обоих возрастных групп кеты (0.3 и 0.4) в подходах.

Таким образом, сентябрьский показатель аТПМ/аТПО 2016 г. сопоставляли со значениями скользящего среднего численности уловов вида в 2019–2020 гг. Аналогичный подход был применен и к нерке. Но, в этом случае, лаг составил 3–4 года, так как массовый морской/океанический нагул этого вида продолжается 2–3 года (более 95%) — от возраста $n.0$ до $n.2$ и $n.3$ (n – количество лет пресноводного нагула, обычно 0–3 года) (Бугаев, 1995, 2011).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя современные методы прогнозирования тихоокеанских лососей Камчатки, отметим, что, начиная с 2016 г., специалисты «КамчатНИРО» для подготовки прогнозов стали применять многомерную модель, учитывающую уровни выживаемости тихоокеанских лососей в зависимости от условий воспроизводства и раннего морского нагула, по методологии общей регрессии (Neter et al., 1990). В данном случае в качестве предикторов использовали, как непосредственно количественные оцен-

ки нерестовых запасов лососей (данные авиаучетов «КамчатНИРО»), так и экологические индикаторы (климатические индексы), отражающие потенциальное влияние среды на смертность рыб на различных этапах онтогенеза. С 2018 г. математический аппарат прогнозирования численности камчатских лососей был расширен с помощью метода машинного обучения *Random Forest* (случайный «лес») (Breiman, 2001; Фельдман, 2020).

В настоящее время для обоих методов в качестве основных климатических индикаторов выступают ежемесячные показания следующих климатических индексов:

1) PDO — Тихоокеанская декадная осцилляция (<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>);

2) WP — индекс циклонической активности западной Пацифики (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/wp.shtml>);

3) АО — индекс Арктической осцилляции (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml).

Методически, при использовании общей регрессионной модели (ОРМ), использовали 4–5 климатических предикторов, имеющих наибольшие корреляции с натуральным логарифмом индекса выживаемости рыб (отношения родителей и потомков — $\ln R/S$). Как правило, это помесечные климатические индексы в критические стадии онтогенеза лососей, включающие нерест, инкубацию икры, скат и ранний морской период жизни (Фельдман, Шевляков, 2015). Полученные модели достаточно хорошо улавливают тенденции выживаемости поколений, однако за счет потенцирования интервального прогноза логарифма индекса выживаемости, имеют широкие доверительные интервалы рассчитыва-

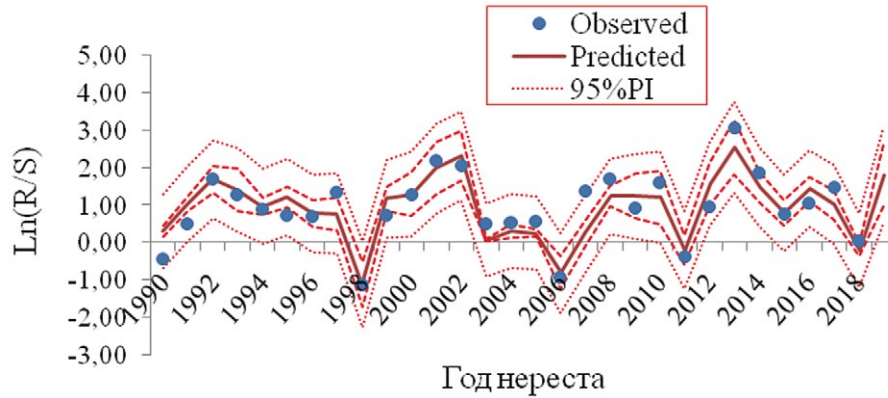


Рис. 3. Наблюдаемый и модельный ряды ($R^2 = 0,89$; $p < 0,001$) логарифма индекса выживаемости $\ln(R/S)$ (на примере регионального комплекса стад горбуши северо-востока Камчатки).

емых оценок численности, что снижает их прогностическую ценность (рис. 3).

Более точным методом прогнозирования уровня численности лососей является решение задачи на классификацию по стратифицированной модели *Random Forest* (Фельдман, 2020). Как и в случае с оценкой выживаемости регрессионными методами в данном подходе в качестве предикторов выступают данные климатических индексов. Однако в качестве зависимой переменной выступает страта (отдельная модель для

каждого уровня воспроизводства), к которой относится то или иное наблюдение, имеющее не числовое, а категориальное значение (рис. 4).

В отличие от регрессионного анализа, где корреляции можно отобрать на предварительном этапе разведки, в задаче на классификацию важны, не столько корреляции, сколько само расположение классов, в зависимости от предикторов. Поэтому для отбора предикторов используется программный циклический алгоритм. Это позволяет выявить наи-

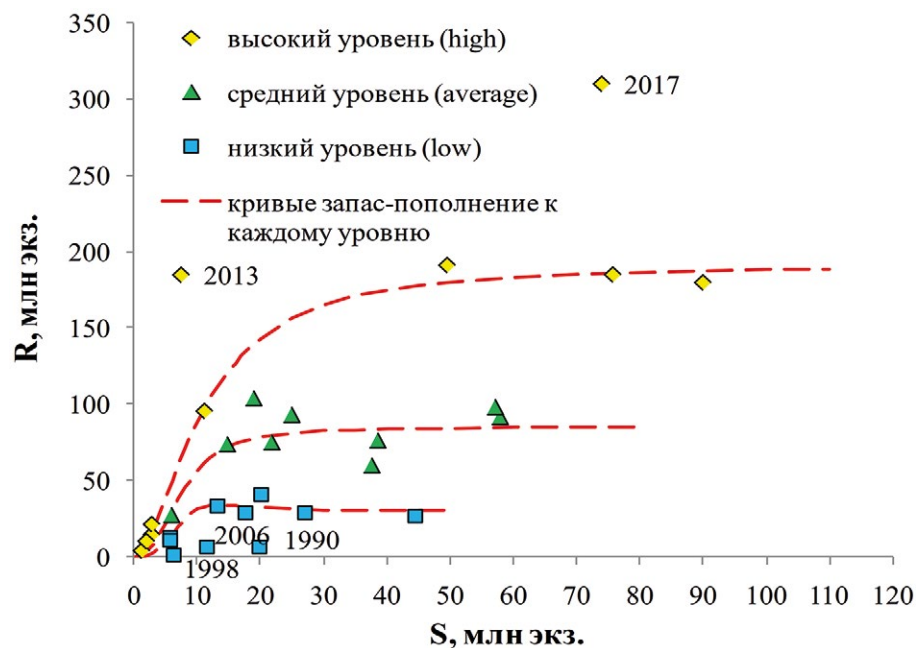


Рис. 4. Стратифицированная модель «запас — пополнение» (на примере регионального комплекса стад горбуши северо-востока Камчатки) по данным 1990–2017 гг.

более значимые из них для принятия консенсуса по окончательному прогнозу (рис. 5).

Обращаем внимание, что в настоящее время модельные методы прогнозирования ОРМ и *Random Forest* применяются камчатскими специалистами только для одного вида тихоокеанских лососей — горбуши. Это вполне объяснимо тем, что у короткоциклового вида рыб формирование запаса в большей степени зависит от изменчивости экологических параметров среды, что требует более углубленных методов их прогнозирования.

Одной из практических задач прогнозирования численности тихоокеанских лососей является подбор доступных предикторов, которые отражали бы влияние среды на условия их нагула и, в конечном итоге, на выживаемость. Особенно это актуально для раннего морского периода жизни, когда формируется их основной промысловый запас (Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2008, 2011; The ocean ecology of pacific salmon and trout, 2018).

Ранее камчатскими специалистами был представлен ряд научных публикаций, в которых рассматривается проблема комплексного влияния различных климатических факторов на численность возвратов азиатских стад лососей (Бугаев, Тепнин, 2011; Бугаев и др., 2018; Bugaev, Tepnin, 2012; Bugaev et al., 2018). Работы были выполнены в рамках программы по изучению влияния климатических изменений на продуктивность тихоокеанских лососей и стальноголовой форели, инициируемой в последнее десятилетие XXI в. Комиссией по анадромным рыбам северной части Тихого океана (NPAFC, www.npafc.org) и рабочей группой Международный год лосося (Story of IYS, 2017).

В ходе исследований было выявлено, что во многих случаях наблюдается комплексная взаимосвязь изменчивости климатических факторов и динамики численности лососей. При этом отмечено, что в подавляющем большинстве случаев, одним из ключевых факторов связи, выступает планетар-

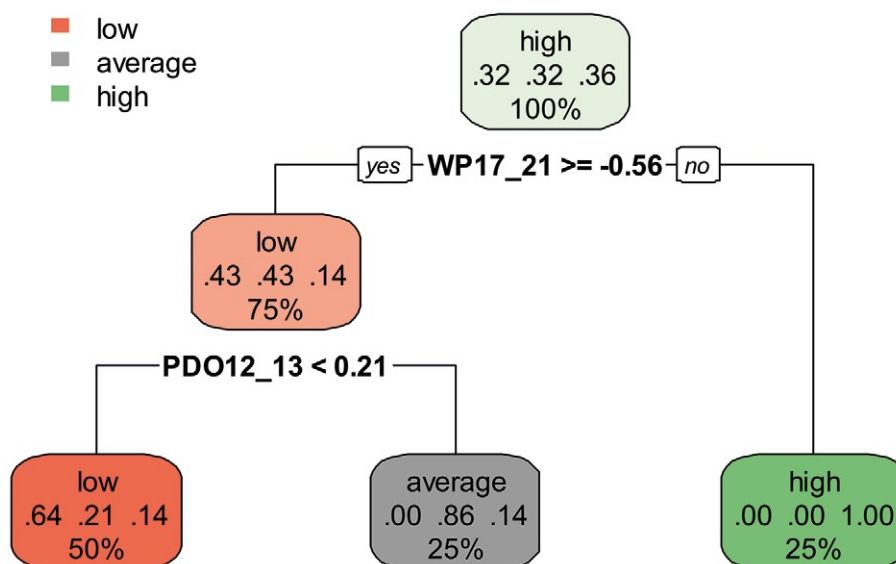


Рис. 5. Дерево решений в модели *Random Forest* с признаками WP17_21 (май-сентябрь — скат и ранний морской период) и PDO12_13 (декабрь-январь — период инкубации икры) (на примере регионального комплекса стад горбуши северо-востока Камчатки) по данным 1990–2017 гг.

ная глобальная температурная аномалия (ГТа). Этот индекс рассчитывается по данным всех доступных метеорологических станций Земли (включая Антарктические), с учетом реконструкции показателей температуры поверхности моря (ERSST v4), принимаемых как отклонение от среднего за период с 1951 по 1980 гг. В представленных выше работах камчатских специалистов были задействованы два индекса ГТа — N. HEMI+dSST (для Северного полушария Земли) и GLB.Ts+dSST (для всей планеты Земля) (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/>).

По данным 1925–2020 гг. изменчивость ГТа и численности лососей имеет достаточно схожую многолетнюю динамику, как в целом для планеты Земля, так и для северного полушария Земли (рис. 5). Аналогичные наблюдения были

представлены и в известной монографии Л.Б. Кляшторина и А.А. Любушина (2005). При этом авторы определили, что цикличность Глобальной dT (осредненная по всем пунктам измерений средняя температурная аномалия приземного слоя воздуха Земли — Global dT) составляет порядка 50–60 лет и достаточно близка глобальной многолетней динамике тихоокеанских лососей Дальнего Востока России. Однако, необходимо признать, что имеющийся ряд промысловой статистики по добыче лососей, как непосредственно в России, так и других странах Северной Пацифики, недостаточен для подтверждения этой теории, так как системный период наблюдений составляет всего около 100 лет.

Наличие четкой взаимосвязи ГТа с динамикой численности лососей по-

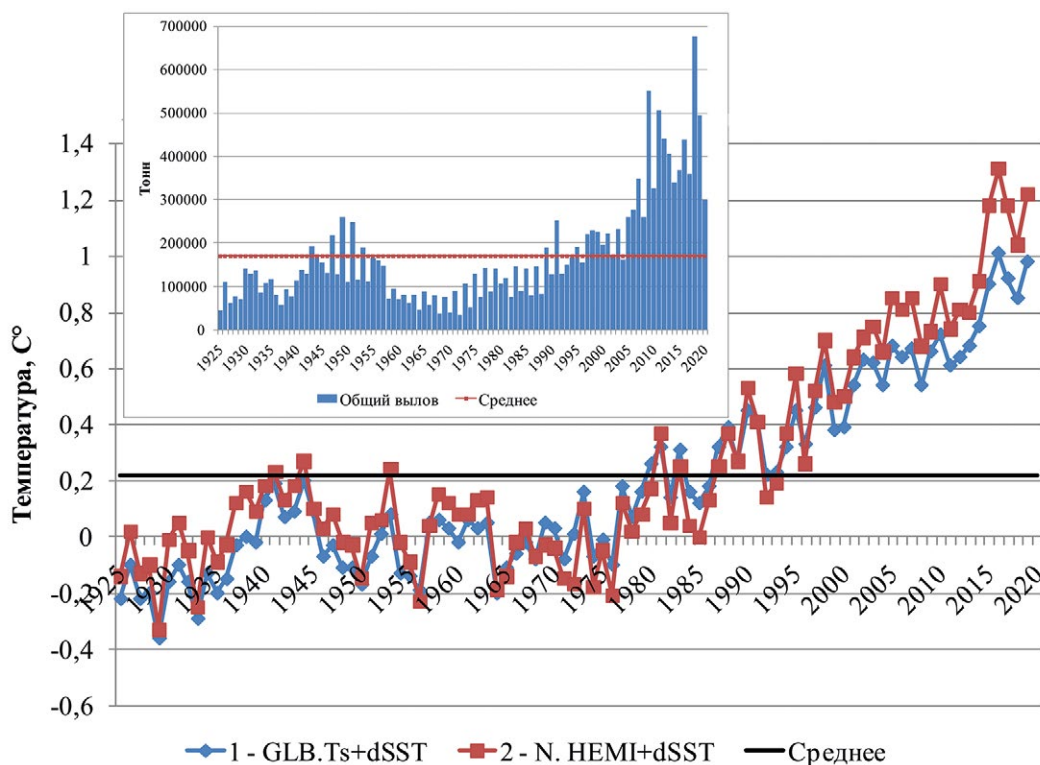


Рис. 5. Динамика индекса глобальной температурной аномалии в сравнении с условиями тихоокеанских лососей Дальнего Востока России (вставка) по данным 1925–2020 гг.: GLB.Ts+dSST — планета Земля; N. HEMI+dSST — Северное полушарие Земли (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/>).

служило отправной точкой по изучению зонального влияния аномалии температуры поверхности воды в бассейне Северной Пацифики на региональные запасы этой группы рыб. Отечественными специалистами был представлен ряд публикаций по данной тематике (Котенев и др., 2010, 2015; Бугаев, Тепнин, 2015; Бугаев и др., 2018; Bugaev et al., 2016, 2018), в которых выявлены закономерности взаимосвязи изменчивости аТПМ/аТПО с продуктивностью лососей (численность промысловых уловов) Дальнего Востока России.

В результате выполненных исследований по данным 1971–2020 гг. были определены коэффициенты корреляций Пирсона (r), отражающие взаимосвязь аТПМ/аТПО с численностью уловов массовых видов лососей (горбуша, кета, нерка) Восточной и Западной Камчатки (рис. 6).

Из полученных результатов видно, что большинство достоверных взаимосвязей обозначено умеренными коэффициентами корреляций на уровне $r = 0,30–0,60$. Можно четко определить, что связь прослеживается для большинства видов лососей на значительной части рассматриваемой акватории в осенний период (сентябрь–октябрь). В зимний период взаимосвязь наблюдается реже. Тем не менее, в отдельных районах (квadrатах), она также фиксируется. Исключением является только горбуша Западной Камчатки (ниже пояснение по этой единице запаса).

Анализируя полученные результаты, следует подчеркнуть, что определенная зависимость «аТПМ/аТПО — численность уловов» с учётом пространственной структуры и закономерностей нагульных миграций камчатских лососей на 1-м году морского/океанического нагула, не может быть случайной. Системная закономерность распределения

полученных достоверных коэффициентов корреляций для всех видов говорит о том, что температурный режим вод реально влияет на формирование запасов стад лососей Камчатки.

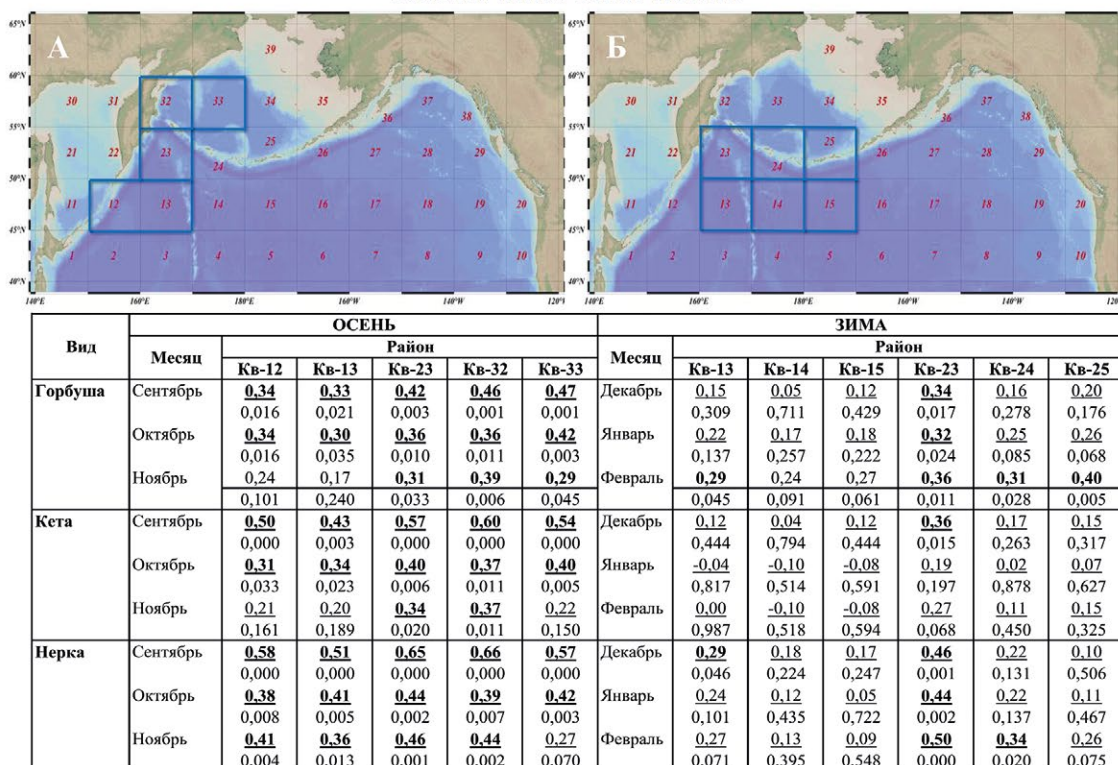
При этом, необходимо учитывать, что в рассматриваемом случае уровень взаимосвязи предиктора и искомого параметра не должен быть сильно высоким, поскольку гидрологический фактор может оказывать лишь опосредованное воздействие на формирование продукционных показателей рыб. Известно, что в данном процессе основными лимитирующими условиями выступают обеспеченность кормовыми ресурсами и воздействие хищников.

В качестве примера предлагаем рассмотреть график динамики аТПМ/аТПО (рис. 7) и взаимосвязи «аТПМ/аТПО — численность уловов» в районах (квadrатах), в которых коэффициенты корреляций имели максимальные значения (рис. 8).

Из графиков, отражающих межгодовую изменчивость сентябрьских значений аТПМ/аТПО, видно, что в период 1971–2020 гг. для всех районов наблюдений имеется четкий тренд на увеличение данного показателя. Это согласуется с общей динамикой уловов тихоокеанских лососей Камчатки для этого же временного ряда (рис. 1). При этом аномалия температуры в среднем варьирует в пределах от $-1,5$ до $2,0$ °C.

Представленные графики зависимости «аТПМ/аТПО — численность уловов» отражают структуру связей, в которой максимальные уловы тихоокеанских лососей наблюдаются при аТПМ/аТПО на уровне от $0,5$ до $2,0$ °C. Следует признать, что, в целом, полученные достоверные корреляции, недостаточно высоки — $r \sim 0,5–0,7$. В этом случае объяснение признака составляет около 25–45%, исходя из расчетного коэффи-

Восточная Камчатка



Западная Камчатка

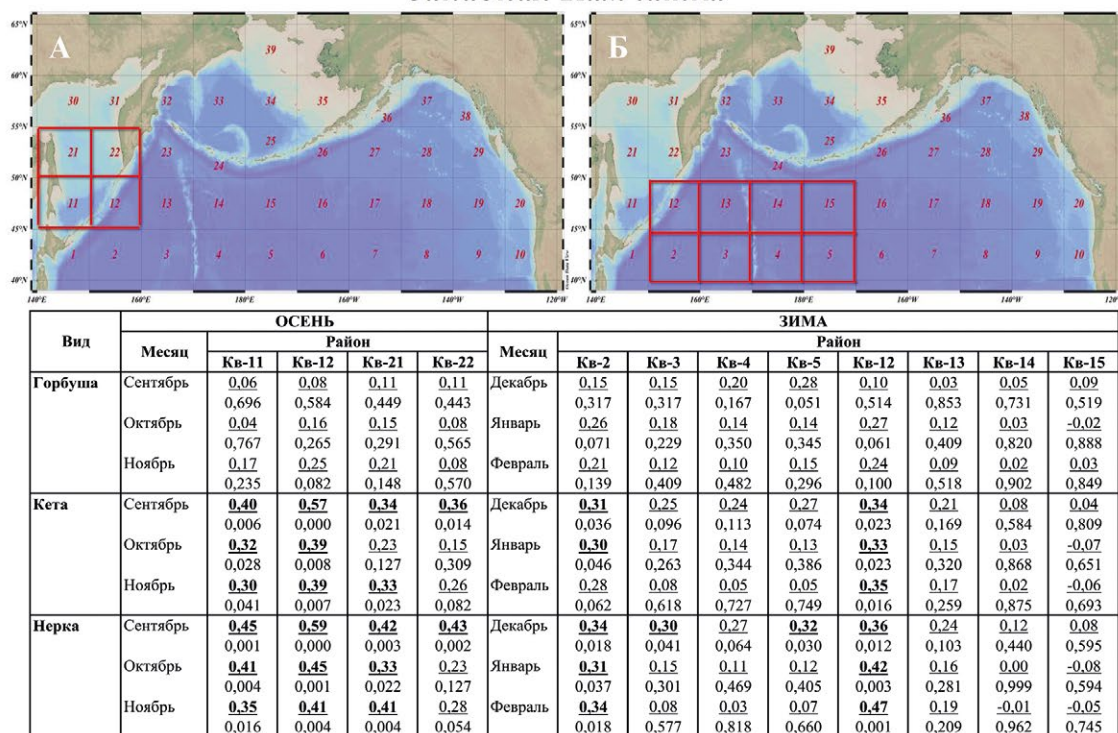


Рис. 6. Значения коэффициентов корреляций Пирсона и доверительной вероятности (r/p), отражающие зависимость изменчивости численности уловов тихоокеанских лососей Восточной и Западной Камчатки от показателей аТПМ/аТПО в зонах их массовых нагульных миграций (осенне-зимний период 1-го года морского/океанического этапа жизни) по данным 1971–2020 гг.: А — район осеннего нагула; Б — район зимнего нагула, жирным выделены достоверные коэффициенты корреляций.

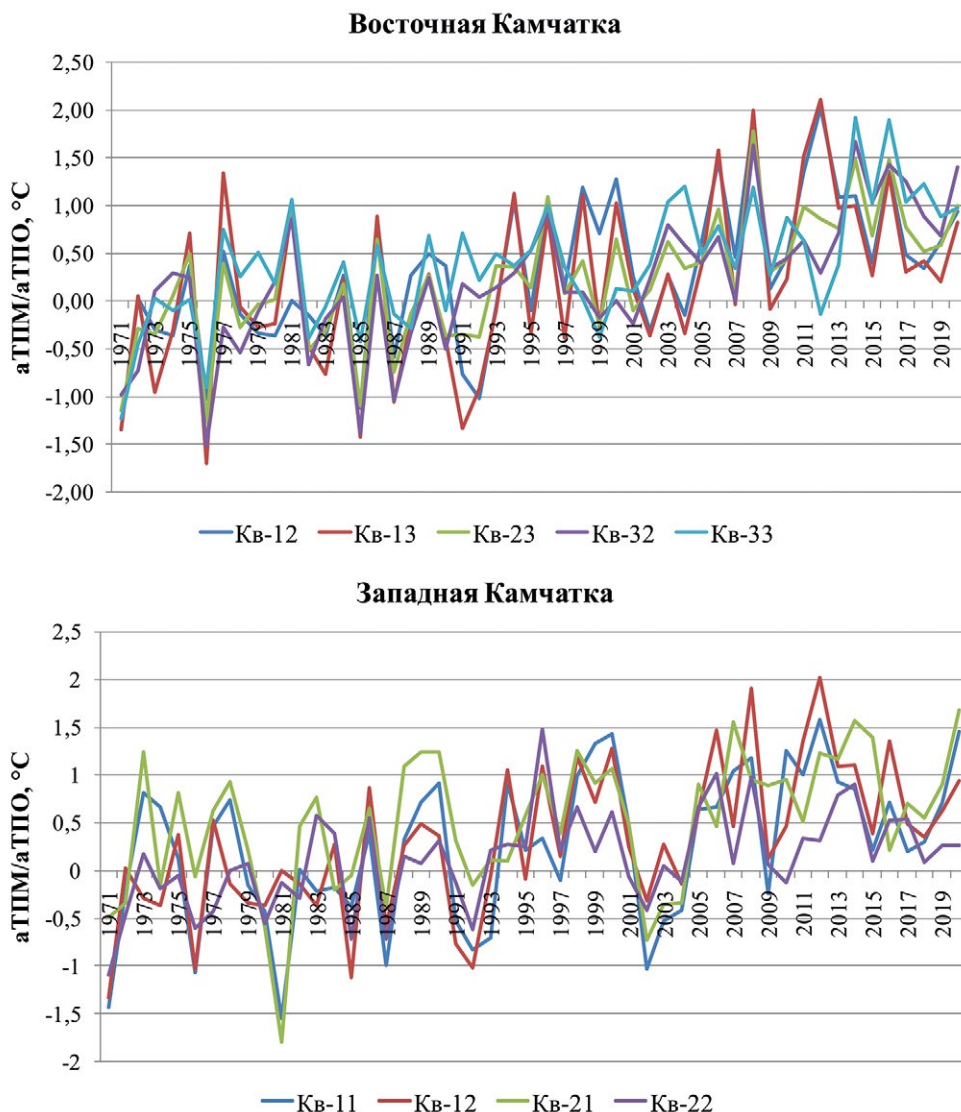


Рис. 7. Динамика аТПМ/аТПО в зонах (квадратах) массовых нагульных миграций тихоокеанских лососей Камчатки в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

циента детерминации для данного уровня корреляций ($R^2 \sim 0,25-0,45$). Поэтому исходные данные аТПМ/аТПО при оценке их прямого воздействия на численность запасов лососей, могут рассматриваться только в качестве индикаторной информации.

Однако, наличие устойчивой умеренной связи «аТПМ/аТПО — численность уловов» для значительной части нагульной акватории в осенний период, открывает перспективы для многомерного моделирования прогнозов дина-

мики численности тихоокеанских лососей Камчатки. Дальнейшая статистическая разведка рядов наблюдений аТПМ/аТПО по районам (квадратам), позволит определить наиболее активные периоды и зоны, температурные показатели которых демонстрируют заметную реакцию на изменчивость переменных рядов уловов в многомерном пространстве. Это позволит включить данные ряды аТПМ/аТПО в анализ с помощью ОРМ и *Random Forest* наряду с другими климатическими индексами. Обращаем

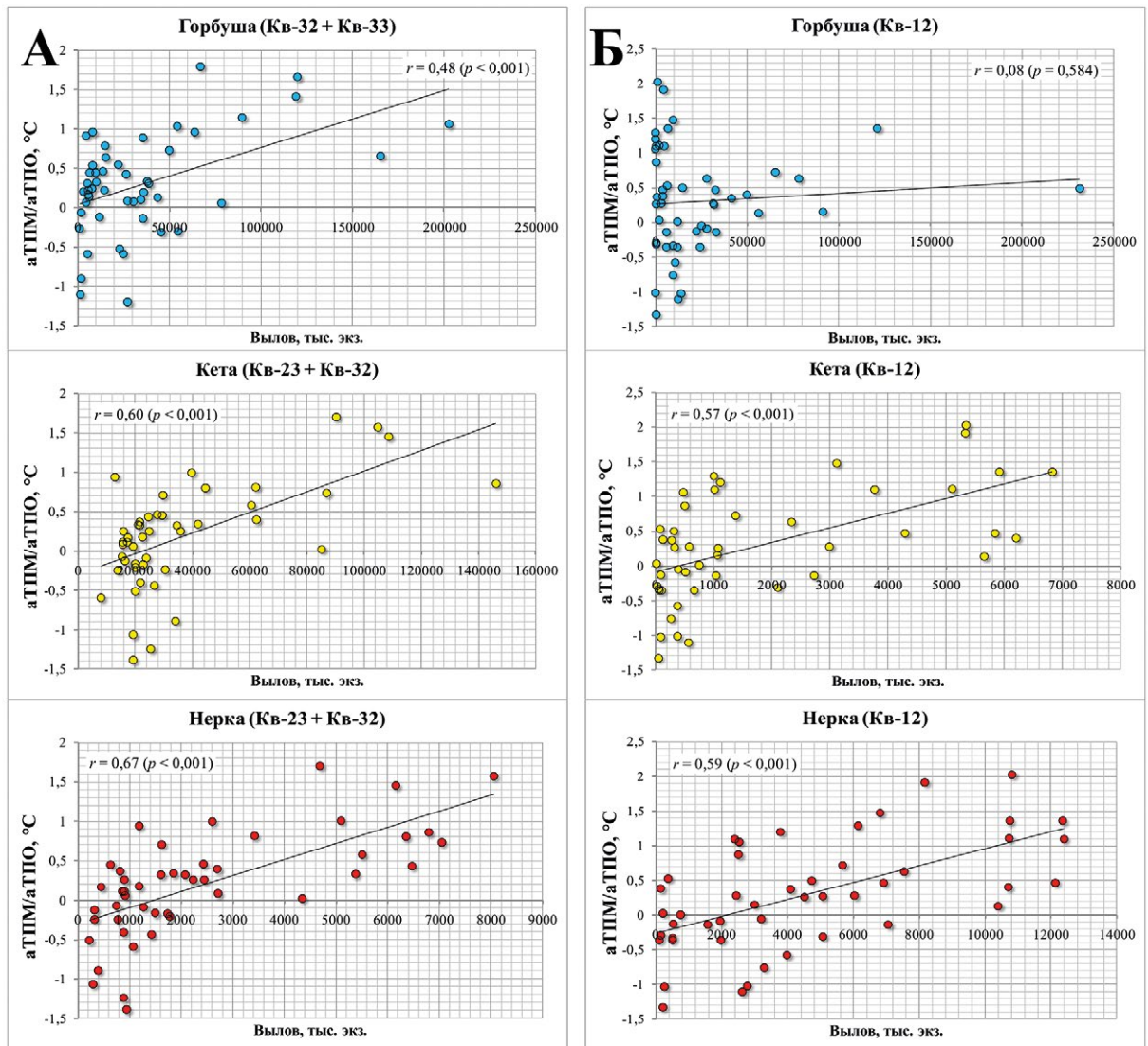


Рис. 8. Взаимосвязь изменчивости численности уловов тихоокеанских лососей Восточной (А) и Западной (Б) Камчатки от показателей аТПМ/аТПО в зонах (квадратах) их массовых нагульных миграций в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

внимание на то, что имеющиеся ряды аТПМ/аТПО для зимнего периода, несмотря на слабовыраженную прямую взаимосвязь с численностью уловов лососей, также могут демонстрировать неплохую реакцию в многомерном поле.

Отдельно необходимо рассмотреть перспективы включения рядов наблюдений аТПМ/аТПО для прогнозирования численности горбуши Восточной и Западной Камчатки. Понятно, что формирование численности этого вида в значительной степени зависит от эндоген-

ных причин. Речь идет о флуктуациях численности нечётных и чётных поколений горбуши. Теоретически условия водной среды должны одинаково воздействовать на рыб обоих поколений. Однако наличие высокой или низкой численности того или иного поколения может создавать дополнительные условия по обеспечению выживания горбуши. Естественная смертность рыб может меняться в зависимости от плотностного фактора и, соответственно, доступности корма и активности хищников.

Поэтому при практическом прогнозировании динамики запасов горбуши зачастую производят оценку отдельно для каждой линии поколений воспроизводства.

На рисунках 9 и 10 показаны графики взаимосвязи «аТПМ/аТПО — численность уловов» для горбуши нечётных и чётных лет воспроизводства с использованием фактических и прологарифмированных данных уловов.

Необходимо отметить, что ранее для горбуши Западной Камчатки было зафиксировано отсутствие рассматриваемой зависимости для полного ряда наблюдений. В данном варианте для рыб чётной (урожайной) линии лет просматривается искомая связь — $r = 0,41$ (фактические данные уловов) и $r = 0,54$ (прологарифмированные данные уловов). Это указывает на то, что возмож-

но использование имеющихся рядов наблюдений аТПМ/аТПО в моделировании прогнозов отдельно для этого поколения западнокамчатской горбуши. В отношении рыб нечётной линии лет подобной взаимосвязи не прослеживается. Наиболее вероятно, что для данной линии поколений горбуши определяющими факторами при формировании численности являются не температурные условия в открытых водах Охотского моря. Не исключено, что здесь максимальное воздействие происходит в экосистеме прибрежной зоны Западной Камчатки.

У восточнокамчатского комплекса стад этого вида равноценная зависимость наблюдается для обоих поколений (нечётные годы — $r = 0,56$; чётные годы — $r = 0,55$). Причем, логарифмическое преобразование рядов уловов заметно усиливает связи, составившие

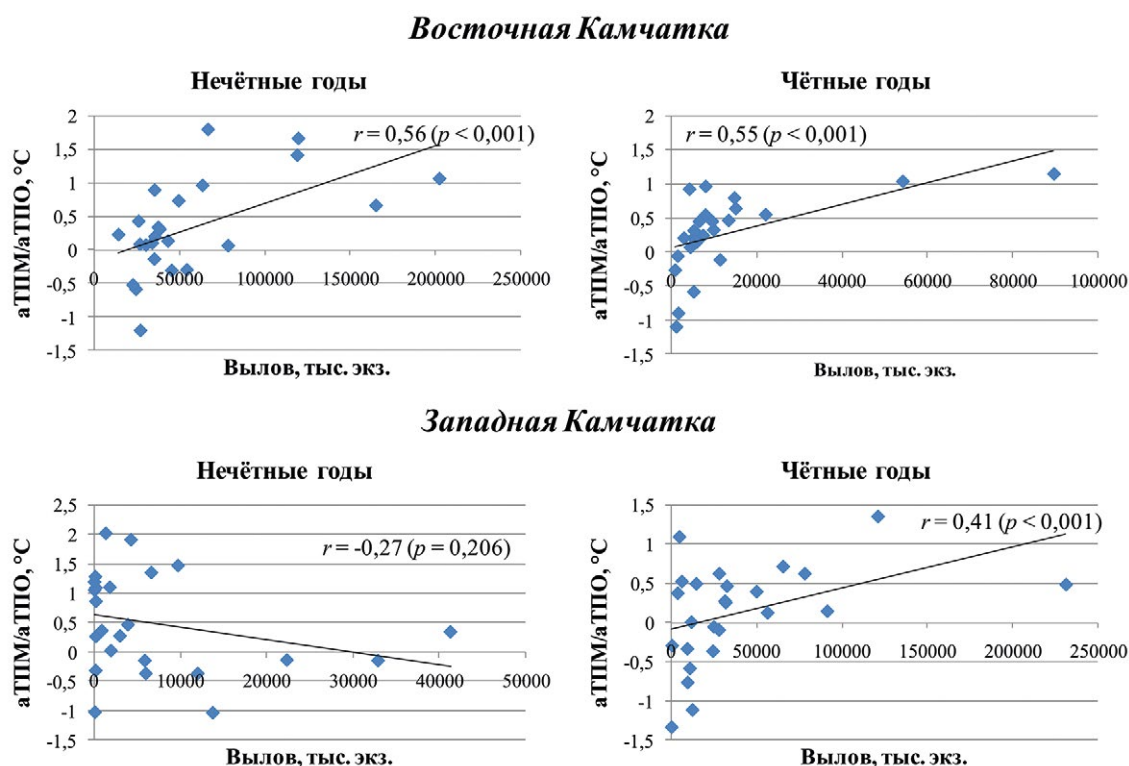
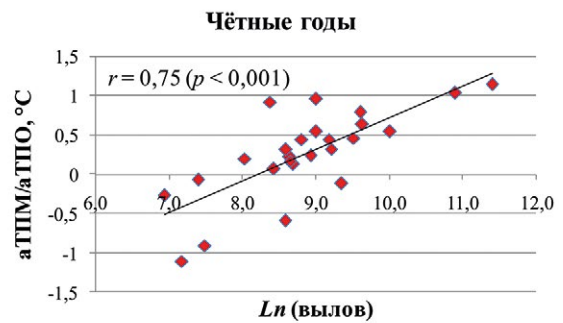
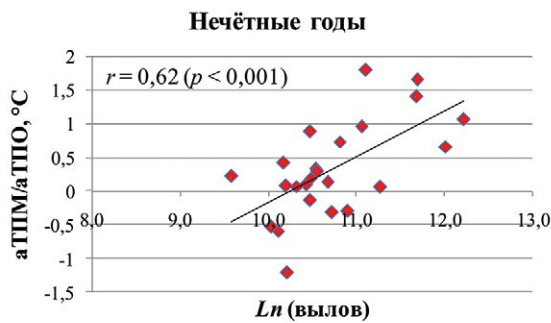


Рис. 9. Взаимосвязь изменчивости численности уловов горбуши в нечётные и чётные годы от показателей аТПМ/аТПО в районах (Восточная Камчатка — квадраты 32 и 33; Западная Камчатка — квадрат 12) их активных нагульных миграций в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

Восточная Камчатка



Западная Камчатка

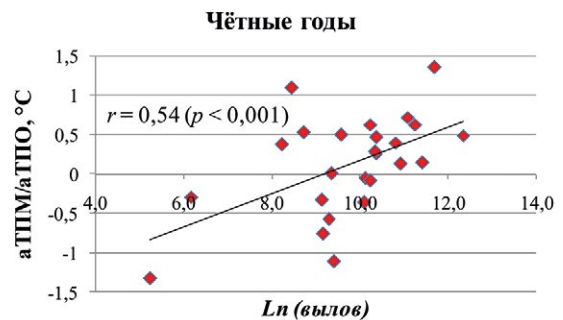
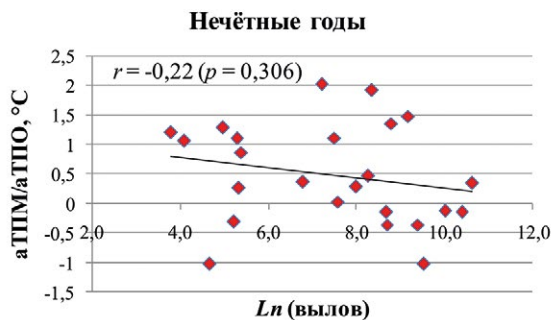


Рис. 10. Взаимосвязь логарифма изменчивости численности уловов горбуши в нечётные и чётные годы от показателей аТПМ/аТПО в районах (Восточная Камчатка — квадраты 32 и 33; Западная Камчатка — квадрат 12) их активных нагульных миграций в сентябре 1-го года морского/океанического этапа жизни по данным 1971–2020 гг.

$r = 0,62$ и $r = 0,75$, соответственно. Это, также указывает на возможные вариации работы с рядами наблюдений при создании прогностических моделей.

В качестве индикаторной информации, дополнительно отметим, что в сентябре 2020 г. в квадратах 12, 13, 23, 32 и 33 (для горбуши Восточной Камчатки) средняя аТПМ/аТПО составила 1,03 °С, что превышает среднееголетний показатель 2011–2020 гг. — 0,96 °С. При этом, подчеркнем, что в 2019 г., когда происходил нагул восточнокамчатской горбуши возврата 2020 г., показатель аТПМ/аТПО был минимальным за последние 10 лет — 0,60 °С. В акватории квадратов 11, 12, 21 и 22 (для горбуши Западной Камчатки) средний показатель аТПМ/аТПО в сентябре 2020 г. составил 1,09 °С. Это заметно выше регионального среднееголетнего показателя

аТПО (2011–2020 гг.) — 0,80 °С. В свою очередь в указанных районах аТПМ/аТПО в сентябре 2019 г., также был относительно низок — 0,63 °С. Однако отклонение этого показателя в меньшую сторону, относительно среднееголетнего значения, было заметно меньше, чем в предыдущем случае.

Таким образом, исходя из представленных данных, можно предположить, что температурные условия нагула камчатских стад горбуши в сентябре 2020 г. были благоприятными. Аналогичные тенденции характерны для октября и ноября. Это может свидетельствовать о повышенном уровне возвратов камчатской горбуши в 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследований показывают наличие устойчи-

вых взаимосвязей численности уловов тихоокеанских лососей с показателями аномалий температуры поверхности (аТПМ/аТПО) в зонах ранних морских/океанических миграций молоди в осенний и зимний период в водах Берингова и Охотского морей, а также в водах Субарктического фронта западной части Тихого океана. Это подтверждает возможность использования имеющихся рядов наблюдений аТПМ/аТПО для математического моделирования прогнозов возвратов лососей Восточной и Западной Камчатки. Полученные данные послужат в качестве дополнительного климатического индикатора. Это позволит расширить возможности моделей ОРМ (общая регрессионная) и *Random Forest*, используемых при прогнозировании динамики запасов камчатских лососей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики численности стада тихоокеанских лососей: монография. М.: Агропромиздат, 1985. 208 с.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б. Оценка влияния некоторых климатических факторов на численность азиатских стад горбуши и кеты // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 166. С. 67–87.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б. Продуктивность тихоокеанских лососей: влияние термических условий вод в период первой зимы в бассейне Северной Пацифики // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 89–111.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // Иссл. водн. биол. ресурсов Камчатки и Сев.-Зап. Части Тихого океана. 2018. Вып. 49. С. 5–50.
- Бугаев В.Ф. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности): монография. М.: Колос, 1995. 464 с.
- Бугаев В.Ф. Азиатская нерка — 2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX — начале XXI вв.): монография. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2011. 380 с.
- Заварина Л.О. Биология и динамика численности кеты *Oncorhynchus keta* северо-восточного побережья Камчатки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО, 2008. 25 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности: монография. М.: ВНИРО, 2005. 235 с.
- Котенев Б.Н., Богданов М.А., Кровнин А.С., Мурый Г.П. Изменения климата и динамика вылова дальневосточных лососей // Вопр. промысловой океанологии. 2010. Вып. 7. № 1. С. 60–92.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 143–161.
- Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. Азиатская кета: монография. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2009. 356 с.
- Фельдман М.Г. Использование метода случайных лесов деревьев решений *Random Forest* в целях прогнозирования подходов восточнокамчатской горбуши // Иссл. водн. биол. ресурсов Камчатки и Сев.-Зап. Части Тихого океана. 2020. Вып. 59. С. 76–96.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плотностной регуляции и факторов внешней среды // Изв. ТИНРО. 2015. Т. 182. С. 88–114.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. Т. 1. 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2011. Т. 2. 473 с.

- Beverton R.J.H., Holt S.J.* Dynamics of exploited fish population // *Fish. Invest.* 1957. Ser. II. № 19. 533 p.
- Breiman L.* «Random Forests» // *Machine Learning*. 2001. № 45 (1). P. 5–32.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B.* Estimation of influence of some climatic factors on the abundance of Asian pink and chum salmon // *NPAFC, Technical report*. 2012. № 8. P. 103–106.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B., Myers K.W.* Correlation between winter sea surface temperatures in the north Pacific ocean and continental-scale commercial catches of pacific salmon, 1983–2013 // *NPAFC, Bull.* 2016. № 6. P. 189–205.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B., Radchenko V.I.* Climate Change and Pacific Salmon Productivity on the Russian Far East // *NPAFC, Technical report*. 2018. № 11. P. 73–79.
- Kaplan A., Cane M., Kushnir Y., Clement A., Blumenthal M., Rajagopalan B.* Analyses of global sea surface temperature 1856–1991 // *J. of Geophysical Research*. 1998. № 103. P. 18567–18589.
- Neter J., Wasserman W., Kutner M.H.* Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs (3rd ed.). Burr Ridge: Irwin, 1990. 1181 c.
- Parker D.E., Jones P.D., Folland C.K., Bevan A.* Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 1994. № 99. P. 14373–14399.
- Peterman R.M.* Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival // *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*. 1982. № 39. P. 1444–1452.
- Reynolds R.W., Smith T.M.* Improved global sea surface temperature analyses // *J. Climate*. 1994. № 7. P. 929–948.
- Ricker W.* Stock and recruitment // *J. of the fisheries research board of Canada*. 1954. V. 11. № 5. P. 559–623.
- Shepherd J.G.* A family of general production curves for exploited populations // *Math. Biosci.* 1982. V. 59. P. 77–93.
- Story of International Year of the Salmon: concept to lunch* // *NPAFC, Technical report*. 2017. № 10. 142 p.
- The ocean ecology of pacific salmon and trout* / Ed. R.J. Beamish. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 2018. 1147 p.
- Urawa S., Irvine J.R., Kim J.K. et al.* Forecasting Pacific Salmon Production in a Changing Climate: A Review of the 2011–2015 NPAFC Science Plan // *NPAFC, Bull.* 2016. № 6. P. 501–534.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**ON THE USE OF THE DATA OF THE ANOMALY OF THE
WATER SURFACE TEMPERATURE IN THE WESTERN
PART OF THE NORTHERN PACIFIC AS A POTENTIAL
CLIMATIC PREDICTOR FOR PREDICTING THE
NUMBER OF PACIFIC SALMON OF KAMCHATKA**

© 2021 y. A.V. Bugaev, M.G. Pheldman, O.B. Tepnin, M.V. Koval

*Kamchatka branch Russian Federal research institute of the Fisheries
and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683600*

The paper presents an analysis of the relationship between the variability of sea surface temperature anomalies (SSTa) in the areas of autumn-winter migrations of young Pacific salmon from Eastern and Western Kamchatka and the dynamics of the number of catches of their producers. The series of observations includes the period 1971–2020. The SSTa data collection site covers the waters of the western part of the Bering Sea, the southern part of the Sea of Okhotsk and the northwestern part of the Pacific Ocean.

The results of the studies showed that in the areas of mass feeding of juvenile pink salmon, chum salmon and sockeye salmon, the SSTa indicators have a stable relationship with the number of catches of these species. Most of the reliable relationships are indicated by moderate correlation coefficients at the level of $r = 0,30-0,60$. The pattern is observed for all salmon species in a significant part of the considered water area in the autumn period (September-October). In winter, the relationship is observed much less frequently. It is proposed to use the accumulated SSTa series for multidimensional modeling

In addition, the promptly obtained SSTa data in the autumn period of the year preceding the year of fishing, will allow using this indicator as an indicator information characterizing the conditions of feeding of juvenile salmon.

Ключевые слова: pacific salmon, prediction of the number of returns, temperature anomaly of water, feeding migrations

ТИХООКЕАНСКИЕ ЛОСОСИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

© 2021 г. С.Л. Марченко

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

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

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

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

ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

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

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

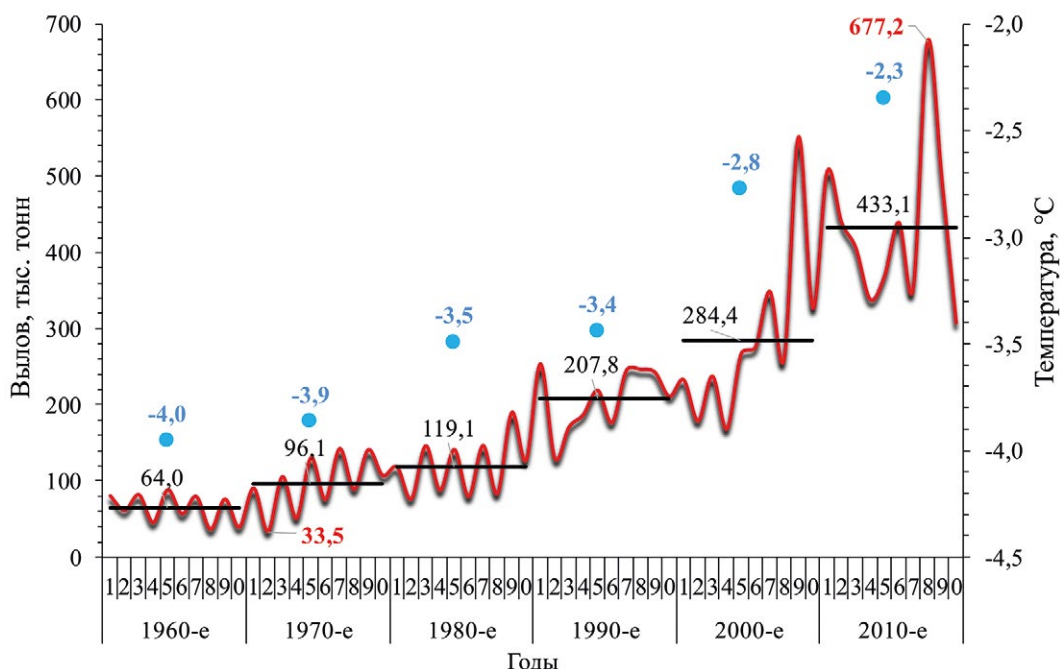


Рис. 1. Динамика вылова тихоокеанских лососей и среднегодовой температуры воздуха на Дальнем Востоке России в 1960–2020 гг. (горизонтальные линии и цифры — средний вылов за десятилетие, точки и цифры — средняя температура воздуха за десятилетие).

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

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

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

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

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

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

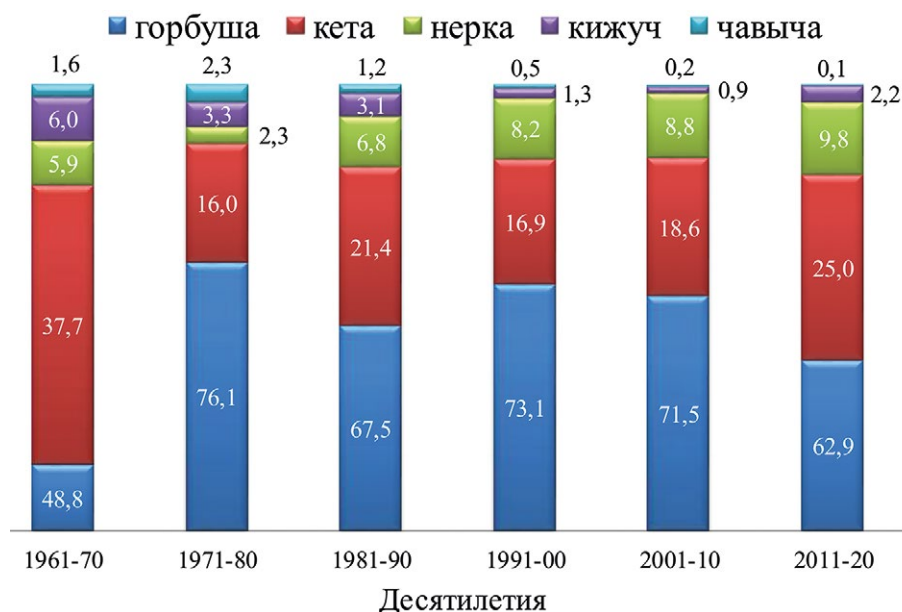


Рис. 2. Структура (видовой состав) уловов тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке России в 1960-е-2010-е гг., %.

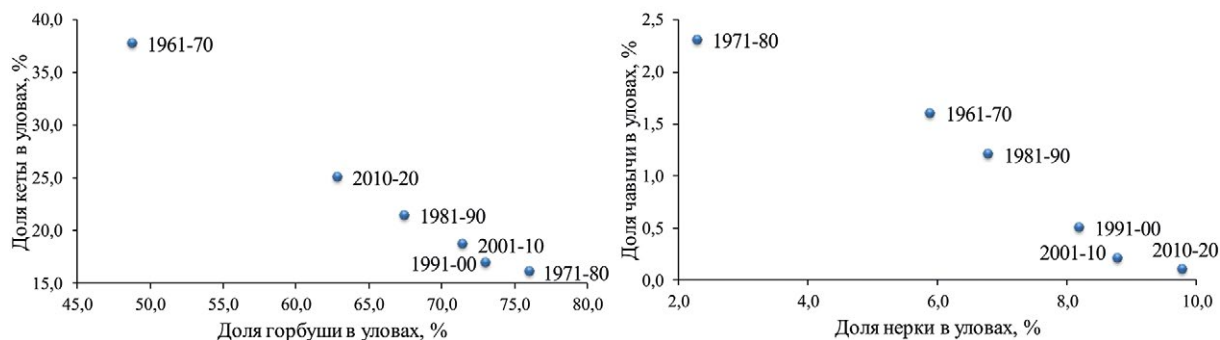


Рис. 3. Сопряжённость относительных уловов горбуши и кеты (слева) и нерки и чавычи (справа).

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

Потепление климата привело к изменению сроков и динамики нерестовой миграции тихоокеанских лососей. Например, у горбуши р. Ола (Тауйская губа, Магаданская область) в ряду нечётных лет начало устойчивой нерестовой миграции сместилось с I пятидневки июля в 1960-е гг. на IV пятидневку июня в 2010-е гг., а срок 50%-го прохода производителей на нерест — с I пятидневки августа в 1960-е гг. на III пятидневку июля в 2010-е гг. Изменились сроки начала нерестовой миграции и у горбуши заливов Ульбанский и Сахалинский (южная часть материкового побережья Охотского моря) (Канзепарова, Золотухин, 2015), а также материкового побережья Японского моря (Лысенко и др., 2021).

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

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

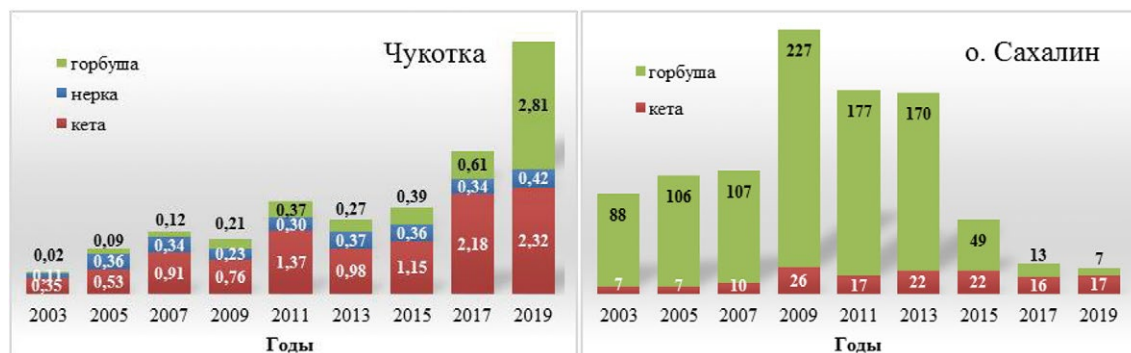


Рис. 4. Динамика вылова тихоокеанских лососей на Чукотке и на о. Сахалин, тыс. т.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

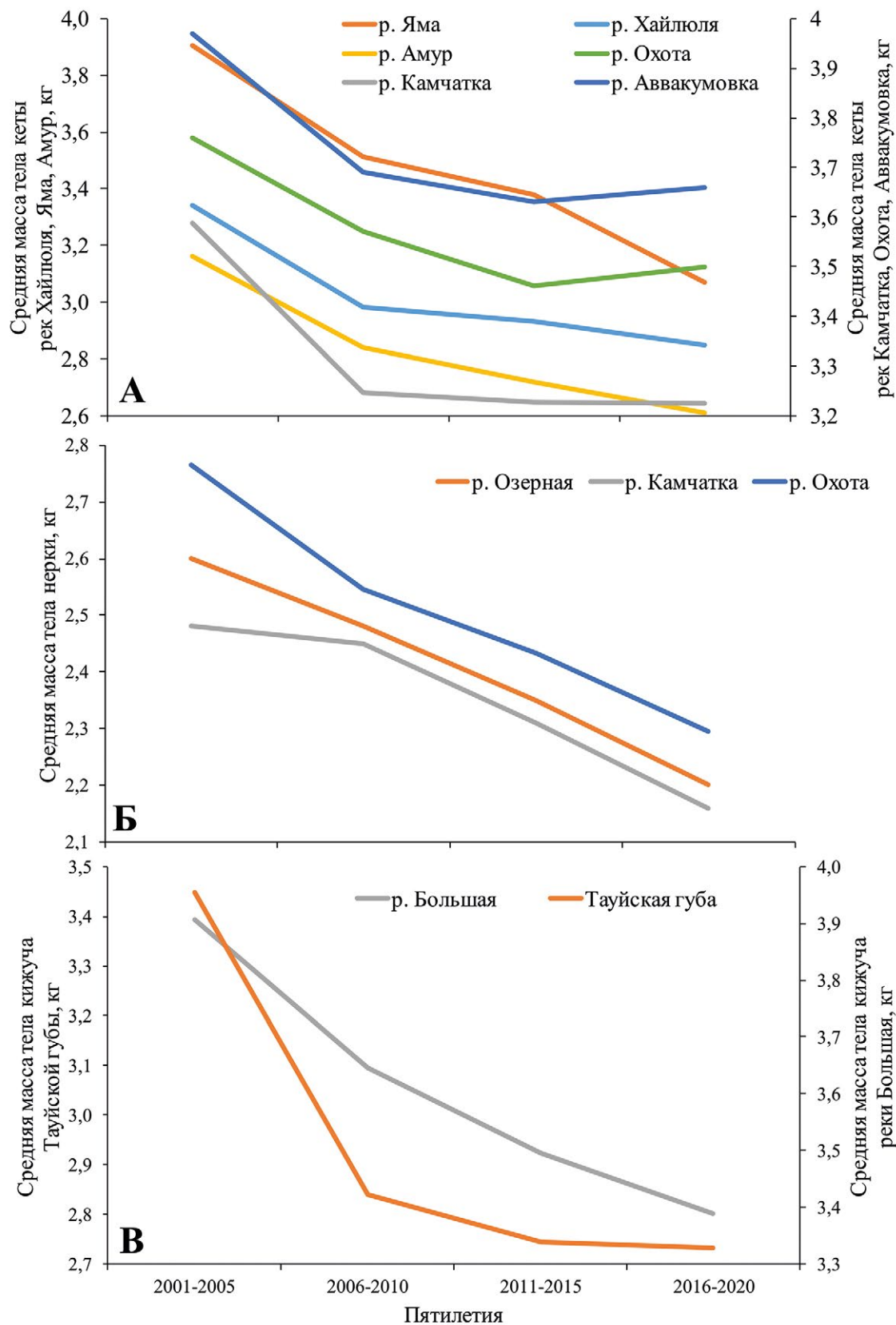


Рис. 5. Динамика массы тела кеты (А), нерки (Б) и кижуча (В) в начале XXI в. по пятилетиям.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DYNAMICS OF ABUNDANCE

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

© 2021 г. S.I. Marchenko

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

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

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

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) И КЕТЫ (*ONCORHYNCHUS KETA*) В КАМЧАТСКОМ КРАЕ

© 2021 г. О.В. Зикунова, В.А. Дубынин, Л.О. Заварина,
С.В. Шубкин, А.В. Бугаев

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО),
г. Петропавловск-Камчатский, 683600
E-mail: zikunova@kamniro.ru

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

В работе представлен анализ динамики запасов двух массовых долгоцикловых видов тихоокеанских лососей Камчатки — кеты и нерки. Отмечено, что, начиная с середины 1990-х гг., численность основных единиц запасов этих видов достигла исторического максимума. Однако в 2020 г. наметились тенденции к сокращению численности некоторых региональных группировок стад кеты и нерки. Кроме того, производители доминирующих возрастных когорт характеризовались очень низкими линейно-массовыми показателями. Обращают на себя внимание отрицательные тренды в изменениях средней массы в поколениях обоих видов на протяжении достаточного длительного периода времени. Сделано предположение, что в ближайшей перспективе запасы кеты и нерки могут перейти на более низкий уровень численности. Представлены основные методы, используемые при прогнозировании численности возвратов тихоокеанских лососей с продолжительным периодом жизни и оправдываемость получаемых оценок. Описаны элементы системы управления лососевым промыслом в Камчатском крае.

Ключевые слова: Камчатка, нерка *Oncorhynchus nerka*, кета *Oncorhynchus keta*, динамика численности, подход, возврат, линейно-массовые показатели, прогнозирование, промысел.

ВВЕДЕНИЕ

За продолжительную историю исследований тихоокеанских лососей в динамике их численности прослеживались заметные подъёмы и падения, связанные как с условиями роста рыб, так и с уровнем эксплуатации популяций промыслом. Поэтому требуется постоянный мониторинг наиболее промыслово-значимых единиц запасов. В пределах Камчатского края из долгоцикловых видов лососей наибольшее значение имеют следующие единицы промыслового запаса: на западном побережье — кета (Западно-Камчатская и Камчатско-Курильская

подзоны), нерка р. Озерная (Камчатско-Курильская подзона); на восточном побережье — нерка и кета р. Камчатка (Петропавловско-Командорская подзона) и кета Карагинской подзоны.

Таким образом, можно выделить, 5 наиболее значимых центров воспроизводства указанных видов, определяющих общие тенденции динамики численности камчатских лососей с продолжительным периодом жизни.

Цель работы — анализ современной динамики запасов нерки и кеты с позиции актуализации методов прогнозирования и регулирования промысла этих видов в Камчатском крае.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования биологических показателей и возрастной структуры производителей нерки и кеты послужили оригинальные данные, собранные во время научных экспедиций на основные водоёмы Камчатского края в период нерестового хода лососей и обработанные сотрудниками КамчатНИРО в предшествующий 20-й период (2001–2020 гг.). Все собранные материалы обработаны по общепринятым методикам (Правдин, 1966). При подготовке демонстрационных материалов использовано программное приложение MS Excel.

Численность подхода нерестовых стад определяли, как сумму количества выловленных и пропущенных на нерест рыб в период 1941–2020 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая динамика численности

Минимальные объёмы вылова и численности нерестовых подходов кеты и нерки обоих побережий Камчатки отмечены в 1960–1970-е гг. (рис. 1). Это

было обусловлено, как естественными климатическими факторами, так и чрезмерной нагрузкой японского дрейфтерного промысла в открытых водах Берингова моря и северо-западной части Тихого океана. Нерестовые подходы в эти годы, даже в условиях полного прекращения берегового вылова, не обеспечивали пропуск производителей достаточный для расширенного воспроизводства. В связи с введением в 1978 г. исключительных экономических зон, ограничивающих любую промысловую деятельность в пределах 200-миль от береговых линий всех государств, имеющих морские границы, значительно сократился пресс дрейфтерного промысла как на азиатские стада лососей, так и, в частности, на камчатские стада (Бугаев, 2015; Справочные материалы по дрейфтерному лову тихоокеанских лососей, 2010). После этого численность кеты и нерки Камчатки стала постепенно возрастать. Однако в целом принятые меры оказались недостаточными для восстановления запасов лососей.

Тем не менее, динамика численности тихоокеанских лососей, как Дальнего Востока России, так и всей Северной

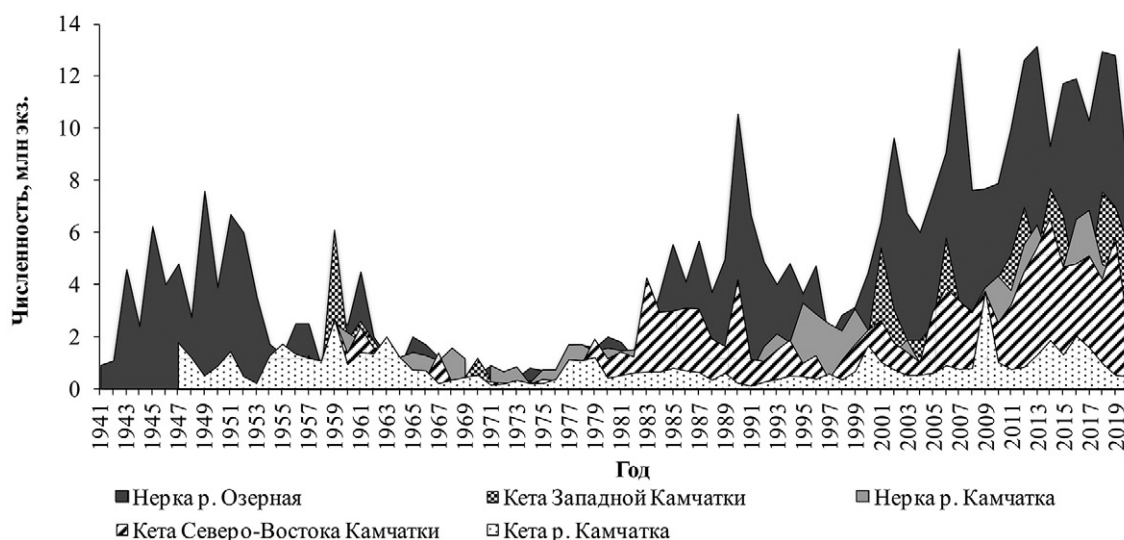


Рис. 1. Динамика численности нерестовых подходов основных единиц запасов кеты и нерки Камчатского края в 1941–2020 гг., млн экз.

Пацифики, зависела не только от антропогенного воздействия, но и комплекса масштабных климатических изменений, которые были отмечены в конце XX и начале XXI вв. (Кляшторин, Любушин, 2005; Impacts of climate..., 2008; Бугаев и др., 2018). Значительную роль в этом сыграла глобальная температурная аномалия Земли, которая привела к экосистемным перестройкам в бассейне Северной Пацифики.

С середины 1990-х гг. производителей камчатских лососей добывали (вылавливали) преимущественно береговым промыслом. Численность их локальных стад перешла на новый более высокий уровень, являющийся исторически максимальным. Пик подходов двух видов был отмечен в 2010-х гг.: для нерки р. Озерная — в 2013 г. (13,182 млн для нерки р. Камчатка — в 2017 г. (6,857 млн для кеты рек Западной и Северо-Восточной Камчатки — в 2014 г. (7,691 и 6,521 млн). Исключением является только кета р. Камчатка, наибольший подход которой был зафиксирован в 2009 г. (3,730 млн).

Очень высокая численность камчатских стад кеты и нерки сохранялась вплоть до 2020 г. (рис. 1). В 2020 г. численность подходов кеты восточного побережья Камчатки и нерки рек Камчатка и Озерная оказались значительно ниже среднего уровня предыдущего десятилетия — 2010–2019 гг. (таблица).

Не исключено, что в ближайшей перспективе популяции кеты и нерки перейдут на более низкий уровень численности. Возможно, это будет связано с глобальной цикличностью динамики запасов тихоокеанских лососей, зависящей от климатической изменчивости. Однако проверить эту теорию будет можно только через несколько лет.

Актуализируя представляемую информацию, обратим внимание, что в 2020 г. отмечено значимое отклонение и в соотношении ожидаемой и фактической численности нерестовых подходов кеты восточного побережья Камчатки и нерки рек Камчатка и Озерная.

Анализ численности поколений

Подходы кеты в реки северо-восточного побережья Камчатки (Карагинская подзона) в 2020 г. были представлены рыбами поколений 2014–2017 гг. В данном случае это производители в возрасте 2+–5+ с доминированием особей 3+ и 4+. Согласно прогнозным ожиданиям, численность рыб в возрасте 3+ (поколение 2016 г.) должна была составить 1,89 млн экз.; в возрасте 4+ (поколение 2015 г.) — 2,99 млн экз.; в возрасте 5+ (поколение 2014 г.) — 0,47 млн экз. Однако в подходах 2020 г. фактическая численность рыб в возрасте 3+, 4+ и 5+ составила 0,93, 0,89 и 0,06 млн экз., соответственно, что на 51 % (3+), 70 % (4+) и 88 % (5+) ниже прогнозных оценок

Таблица. Численность нерестовых подходов основных единиц промысловых запасов нерки и кеты Камчатского края в 2010–2019 гг. и в 2020 г., млн экз.

Период, год	Кета			Нерка	
	северо-восточное побережье	р. Камчатка	западное побережье	р. Камчатка	р. Озерная
2010–2019	4,675	1,219	5,877	5,205	11,289
2020	2,259	0,457	5,506	3,293	8,178
Δ, %	52	63	6	37	28

(рис. 2). При этом, существенного несоответствия, относительно прогнозных ожиданий, в соотношении возрастных групп в нерестовом подходе не отмечено. Если неточности в прогнозировании численности младших групп вполне ясны, так как они не подтверждены ни одной значимой в возврате группой, то значительные отклонения в старших группах (4+ и 5+) противоречивы.

В подходе кеты *р. Камчатка* в 2020 г. ожидалось, что соотношение ведущих возрастных классов составит: рыбы возраста 3+ (поколения 2016 г.) — 48,7%; 4+ (поколения 2015 г.) — 46,4%; 5+ (поколения 2014 г.) — 4,0%. Фактическое соотношение групп было следующим: 3+ — 80,8%; 4+ — 16,7%; 5+ — 1,6%. Наблюдается существенный сдвиг в сторону увеличения доли возрастной группы 3+. Кроме того, по аналогии с северо-восточной кетой, отклонения в соотношении прогнозируемой и фактической численности возрастных групп, увеличивались от рыб младшего возраста к старшему — 3+ на 51%, 4+ на 67% и 5+ на 82% (рис. 2).

При этом рыбы старшей группы 5+ (поколение 2014 г.) составляют невысокую долю в подходах (3–5%) и, соответственно, не могли вызвать существенных потерь в общей численности подходов. Значительное отклонение фактической численности кеты восточного побережья, относительно ожидаемых

оценок, обусловлено заметно меньшими подходами кеты возрастных групп 4+ (поколение 2015 г.) — в 3 раза и 3+ (поколение 2016 г.) — в 2 раза.

По многолетним наблюдениям (Селифонов, 1975, 1988; Бугаев, 1995; Бугаев, Дубынин, 2002; 2005) у нерки *р. Озерная* отмечено 14 возрастных групп. Основу возвратов составляют рыбы в возрасте 2.2 (4+), 2.3 (5+) и 3.3 (6+) (первая цифра обозначает продолжительность пресноводного, вторая — морского периодов жизни). В последних трех поколениях нерка возрастной группы 3.3 превосходила по численности нерку возрастной группы 2.2. Суммарно нерка этих трех возрастных групп в 20-летний период в среднем составляла 88,7% от численности возврата (поколения).

Можно констатировать, что в абсолютных цифрах нерки *р. Озерная* в 2020 г. подошло в 1,3 раза меньше, чем ожидали. Было значительно меньше (более чем вдвое) рыб младшего возраста — 3+ (поколение 2016 г.) и 4+ (поколение 2015 г.), в 1,4 раза меньше нерки основного возраста 5+ (поколение 2014 г.), но заметно больше (в 3,5 раза) нерки самого старшего возраста — 7+ лет (поколение 2012 г.). Нерки возраста 6+ лет оказалось в 1,2 раза больше (поколение 2013 г.) (рис. 3).

Возвраты нерки *р. Камчатка* обычно базируются на 2-х возрастных группировках — 1,3 (4+) и 2,3 (5+), реже на

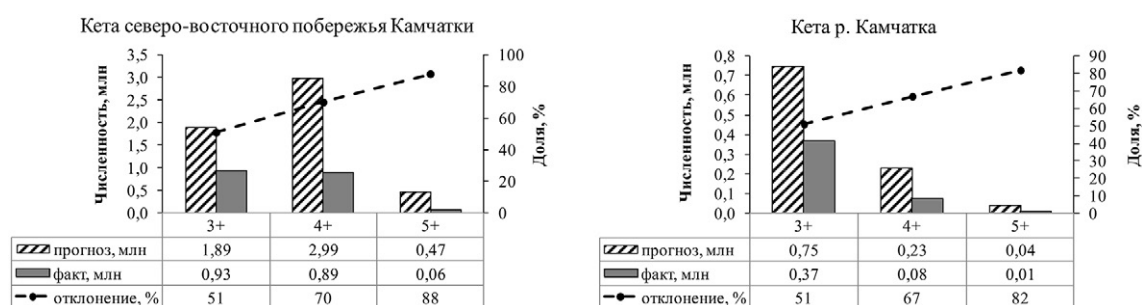


Рис. 2. Соотношение прогнозируемой и фактической численности кеты северо-восточного побережья Камчатки и *р. Камчатка* в нерестовых подходах в 2020 г.

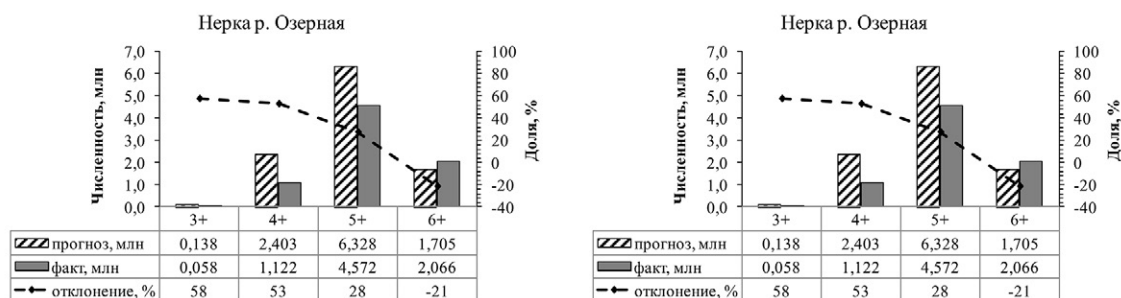


Рис. 3. Соотношение прогнозируемой и фактической численности нерки рек Озерная и Камчатка в нерестовых подходах в 2020 г.

3-х — 3+, 4+ и 5+ лет. В подходе 2020 г. отмечено значительное снижение численности одной из ведущих группы 5+ (поколение 2014 г.) практически в 2 раза, старшей группы 6+ (поколение 2013 г.) — в 2,6 раза. Меньше было и рыб младшего возраста — 3+ (поколение 2016 г.) и 4+ (поколение 2015 г.) — в 1,2 раза (рис. 3).

Таким образом, расчеты показали значительное снижение в 2020 г. в нерестовых подходах численности нерки р. Озерная поколения 2015 г. вернувшихся в возрасте 4+ (2,2) и восточнокамчатской кеты поколений 2015 г. — возраста 4+ (0,4), нерки р. Камчатка — поколения 2014 г. в возрасте 5+ (2,3). Можно говорить о возможной повышенной элиминации их в море, что могло привести к заметному снижению численности их подходов в 2020 г. В дальнейшем, это может повлечь снижение общей численности данных поколений (2014 и 2015 гг.).

Анализ изменчивости размерно-массовых показателей

Необходимо отметить отрицательные тренды в изменениях средней массы тела в поколениях нерки и кеты на протяжении достаточного длительного периода времени. Данные преобразования отмечены как у самок, так и у самцов, основных возрастных групп обоих видов. Сходная динамика наблюдается и при анализе длины тела, в поколении

ях нерки и кеты. Но, учитывая высокую взаимосвязь этих показателей, в настоящей работе рассматривается только средняя масса тела (навеска).

По результатам анализа показателей массы тела кеты основных единиц промысловых запасов в возрасте 3+ (0,3) и 4+ (0,4) по поколениям 1995–2014 гг. выявлено, что, как у самцов, так и у самок, наблюдается общий тренд на их снижение (рис. 4).

У нерки рек Озерная и Камчатка в динамике средней массы производителей, также характерно наличие четкого тренда на снижение этого показателя для поколений 1994–2014 гг. (рис. 5).

Для каждой единицы запасов, как кеты, так и нерки, характерна определенная межгодовая цикличность, то есть наличие скрытых внутренних трендов, которые могут быть обусловлены меняющимися условиями нагула. В значительной степени это может быть определено воздействием среды во время морского/океанического нагула, когда происходит половое созревание лососей. Ранее, аналогичные наблюдения были получены при изучении многолетней динамики линейно-массовых показателей некоторых стад камчатской нерки (Бугаев, 2011; Бугаев и др., 2015).

Подчеркнем, что в поколениях кеты и нерки, формирующих возврат 2020 г., отмечены наиболее низкие навески во временном ряду имеющих наблюдения

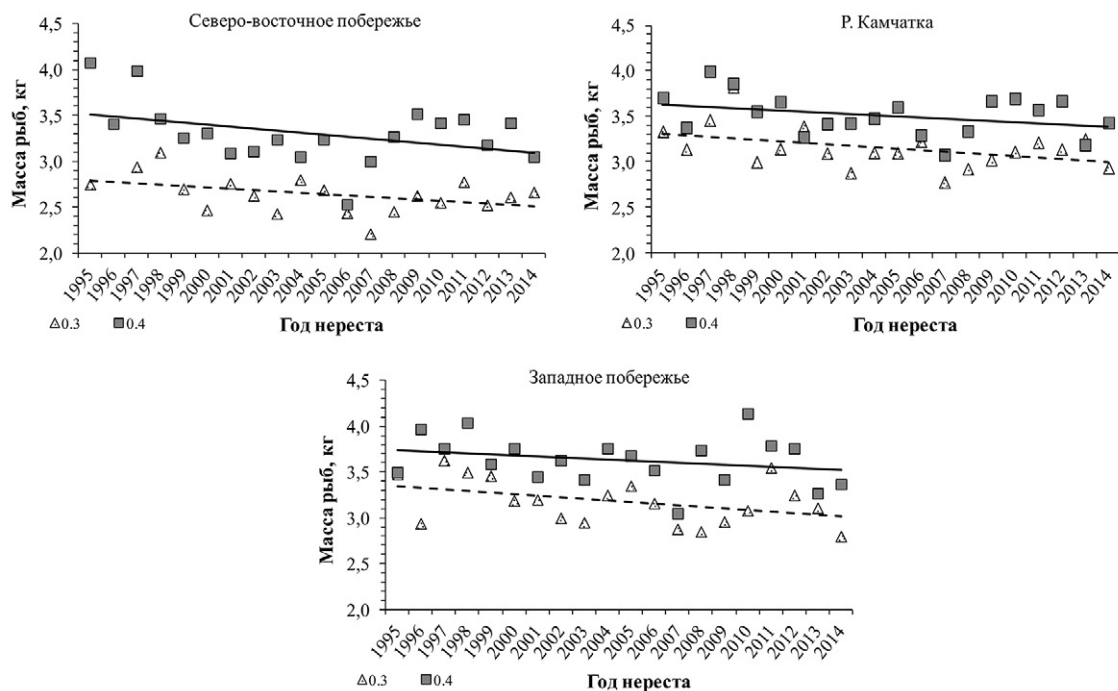


Рис. 4. Динамика массы тела ведущих возрастных когорт кеты по основным единицам промысловых запасов Камчатского края (поколения 1995–2014 гг.), кг.

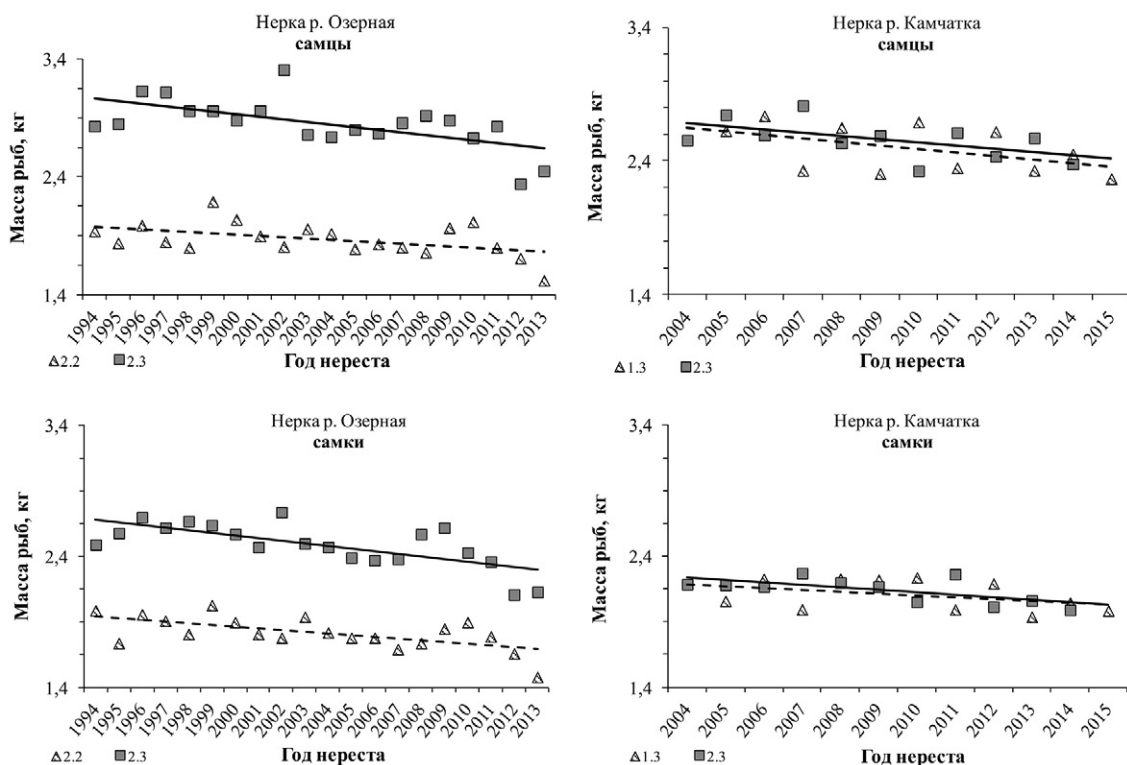


Рис. 5. Динамика массы тела ведущих возрастных когорт нерки (раздельно по полу) по основным единицам промысловых запасов Камчатского края (поколения 1994–2015 гг.), кг.

ний. Следует уточнить, что подобная тенденция была отмечена ранее не только для камчатских стад, но и для всех

региональных комплексов стад тихоокеанских лососей Северной Пацифики (Бугаев, 2017). Наиболее вероятно, что

это вызвано воздействием климатической изменчивости и плотностным фактором.

Методы прогнозирования динамики численности запасов

Информационной базой прогнозов основных промысловых стад нерки и кеты служат многолетние ряды промысловой статистики, оценки численности нерестовых запасов и данные основных биологических показателей (соотношение полов, возраст, размерно-массовые критерии, плодовитость).

Прогноз численности старших возрастных групп лососей с продолжительным периодом жизни основан на линейной связи с суммарной численностью вернувшихся в предыдущие годы рыб данной возрастной группы (остаточный принцип или метод sibлигов) (Peterman, 1982). При этом, чем старше возрастная когорта, тем связь сильнее, и прогноз ее численности более обоснован. Для младших возрастных групп, когда метод sibлигов становится недо-

стоверным, прогноз их численности основывается на модели «запас — пополнение» (Ricker, 1954; Beverton, Holt, 1957; Shepherd, 1982, Дубынин и др., 2007), а также на моделировании показателя выживаемости (R/S) от родительского запаса и зависимости пополнения запаса от смолтов. Прогноз долей возрастных групп в возвратах определяется как среднее за какой-либо период времени.

Результаты анализа динамики соответствия прогнозируемой и фактической численности подходов нерки и кеты основных промысловых единиц запасов Камчатки свидетельствуют об отсутствии в последние годы существенных «провалов» прогнозов (рис. 6 и 7). В отдельные годы значительный шум в расчеты численности поколений лососей может вносить недостаточно адекватно оцененная численность нерестового запаса производителей (родителей), обеспечивающих возвраты конкретного года. Соответственно применяемые методики в отношении прогнозирования долгоциклового вида ти-

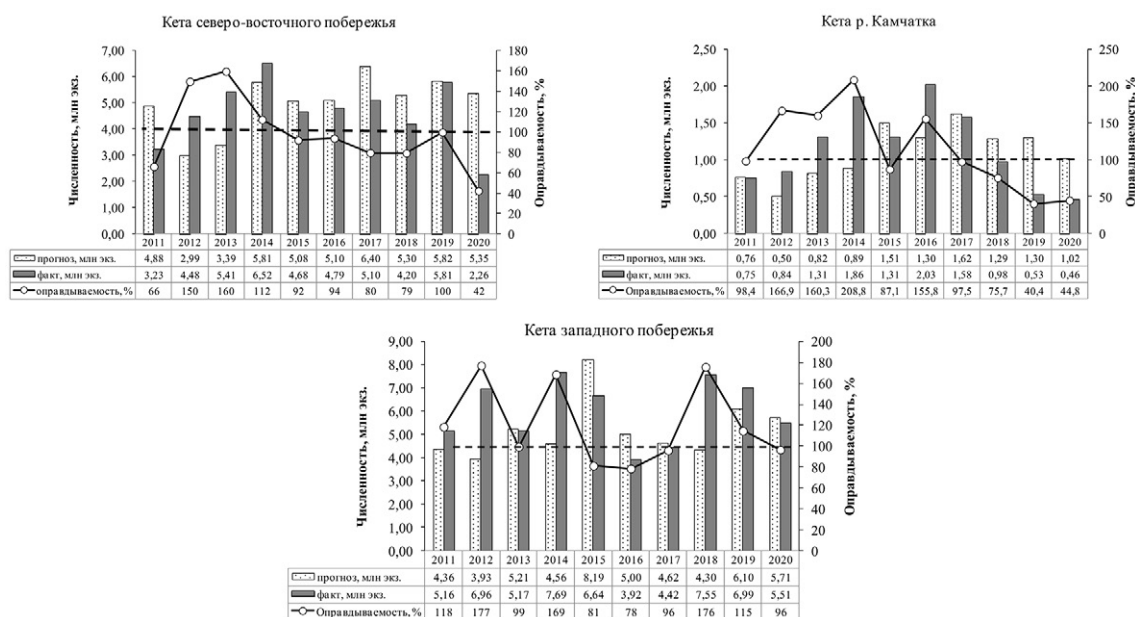


Рис. 6. Прогнозируемая и фактическая численность подходов кеты по основным единицам промысловых запасов Камчатского края в 2011–2020 гг.

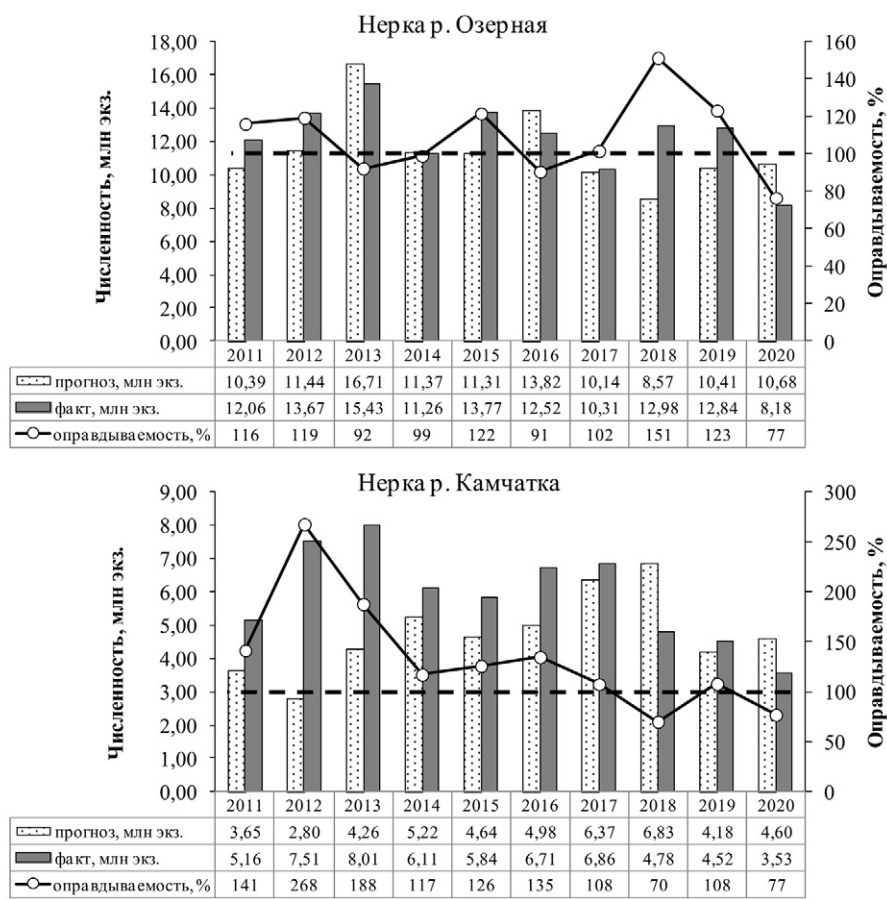


Рис. 7. Прогнозируемая и фактическая численность подходов нерки по основным единицам промысловых запасов Камчатского края в 2011–2020 гг.

хоокеанских лососей Камчатки можно считать приемлемыми.

Регулирование промысла

Исследования тихоокеанских лососей направлены на сохранение и поддержание высокой численности их популяций за счет рационального использования запасов. Для поддержания численности стад тихоокеанских лососей на высоком уровне, прежде всего, следует обеспечить необходимый уровень заполнения нерестилищ производителями.

Одним из основных требований рационального использования рыбных запасов является наличие ориентиров управления, обоснованных с помощью моделирования принципов устойчивого рыболовства при определенном уровне запаса. В частности, для тихоокеанских

лососей таковыми являются модели зависимости пополнения от численности родительского стада (Дубынин, 2012; Фельдман и др., 2019). Этот метод позволяет выделить наиболее продуктивные тренды (страты) взаимосвязи «родители — потомство» для отдельных временных периодов в зависимости от актуального уровня запасов.

Предосторожный подход управления рыбными запасами предполагает наличие не только целевых, но и граничных ориентиров (Бабаян, 2000). Используемые в «КамчатНИРО» нелинейные правила регулирования промысла (ПРП) определены предосторожными оценками граничных ориентиров (буферными ориентирами) по нерестовому запасу и эксплуатации. Целевые ориентиры использованы для сверки со сред-

ними имитационными значениями промыслового запаса и эксплуатации.

В прибрежной зоне Камчатки тихоокеанских лососей добывают на морских рыболовных участках (РЛУ) ставными неводами, а в бассейнах внутренних водоёмов на речных РЛУ с помощью закидных неводов или плавными жаберными сетями. При этом практически 80–90% вылова тихоокеанских лососей осуществляют на морских РЛУ.

В настоящее время рыбопромышленные предприятия имеют хорошо развитую базу по переработке рыбы, что позволяет им выловить и переработать практически всех производителей лососей в подходах. Следует отметить, что промысловое изъятие нерки, кеты, кижуча и чавычи в дни, когда ведут промысел на морских и речных РЛУ, в среднем, заметно превышает 90%, и проход достаточного количества производителей на нерестилища в этих условиях просто невозможен.

При этом рациональное использование запасов тихоокеанских лососей должно предусматривать достаточное заполнение нерестилищ, которое достигается путем установочного регламентирования промысла и его оперативным регулированием в течение путины. Результативным способом, обеспечивающим требуемое количество производителей, служит регулярное введение проходных дней. Оперативное регулирование промысла реализовывает Комиссия по регулированию добычи (вылова) андромных видов рыб в Камчатском крае. На основе поступающей актуальной информации о динамике и мощности подходов тихоокеанских лососей к побережьям, формируется система оперативных изменений периодики проходных дней, корректировок объёмов прогнозируемого вылова, а также закрытия промысла в случае необходимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены закономерности современной динамики запасов двух массовых долгоцикловых видов тихоокеанских лососей Камчатки — кеты и нерки. Начиная с середины 1990-х гг., численность основных единиц запасов этих видов возрастала. В период 2010-х гг. запасы камчатской нерки и кеты достигли исторического максимума. Однако к 2020 г. наметились тенденции к сокращению численности некоторых региональных группировок стад кеты и нерки.

Кроме того, для этого периода характерно снижение размерно-массовых характеристик нерки и кеты доминирующих возрастных когорт. Обращают на себя внимание отрицательные тренды в изменениях средней массы в поколениях обоих видов на протяжении достаточного длительного периода времени. Полагаем, что в ближайшей перспективе запасы кеты и нерки Камчатки могут перейти на более низкий уровень численности.

Представлены основные методы, используемые при прогнозировании численности возвратов тихоокеанских лососей с продолжительным периодом жизни и оправдываемость получаемых оценок. Описаны элементы системы управления лососевым промыслом в Камчатском крае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению: монография. М.: ВНИРО, 2000. 192 с.

Бугаев А.В. Преднерестовые миграции тихоокеанских лососей в экономической зоне России. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2015. 416 с.

Бугаев А.В. Оценка влияния численности стад и глобальной температурной аномалии на среднюю массу тела тихоокеанских ло-

сосей в бассейне Северной Пацифики // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 3–33.

Бугаев А.В., Бугаев В.Ф., Погодаев Е.Г. Возрастная и размерно-массовая структура локальных стад нерки *Oncorhynchus nerka* некоторых нагульно-нерестовых озер Камчатского края // Изв. ТИНРО. 2015. Т. 180. С. 3–38.

Бугаев А.В., Тепнин О.Б., Радченко В.И. Климатическая изменчивость и продуктивность тихоокеанских лососей Дальнего Востока России // Иссл. водн. биол. ресурсов Камчатки и Сев.-Зап. Части Тихого океана. 2018. Вып. 49. С. 5–50.

Бугаев В.Ф. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М.: Колос, 1995. 464 с.

Бугаев В.Ф. Азиатская нерка — 2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX — начале XXI вв.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2011. 380 с.

Бугаев В.Ф., Дубынин В.А. Факторы, влияющие на биологические показатели и динамику численности нерки *Oncorhynchus nerka* рек Озерной и Камчатка // Изв. ТИНРО. 2002. Т. 130. С. 679–757.

Дубынин В.А. Мониторинг стада нерки р. Озерная (по материалам 2003–2004 гг.) // Материалы отчетной сессии КамчатНИРО по итогам научно-исследовательских работ в 2004 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2005. С. 75–82.

Дубынин В.А. Об оптимуме производителей нерки на нерестилищах бассейна р. Озерная в современный период // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». Петропавловск-Камчатский, 26–27 сентября 2012 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2012. С. 302–308.

Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Ильин О.И. К методике прогнозирования численности поколений нерки *Oncorhynchus nerka* стада р. Озерной // Изв. ТИНРО. 2007. Т. 149. С. 219–225.

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

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 374 с.

Селифоных М.М. Промысел и воспроизводство красной бассейна р. Озерной // Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО, 1975. 23 с.

Селифоных М.М. Некоторые черты биологии и колебания численности нерки бассейна реки Озерной (Камчатка) // Проблемы фертилизации лососевых озер Камчатки. Владивосток: ТИНРО, 1988. С. 114–129.

Справочные материалы по дрейтерному лову тихоокеанских лососей / Под ред. О.Ф. Гриценко. М.: Изд-во ВНИРО, 2010. 196 с.

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: Науч. рец. ж. Камчат. филиала НИИ рыб. хоз-ва и океанографии («КамчатНИРО»). 2019. Вып. 52. С. 50–78.

Beverton R.J.H., Holt S.J. Dynamics of exploited fish population // Fish. Invest. 1957. Ser. II. № 19. 533 p.

Impacts of climate and climate change on the key species in the fisheries in the North Pacific / Ed. R.J. Beamish. 2008. PICES, Sci. Rep. V. 35. 218 p.

Peterman R.M. Model of salmon age structure and its use in preseason forecasting and studies of marine survival // Can. J. of Fish. and Aquat. Sci. 1982. No. 39. P. 1444–1452.

Ricker W.E. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Bd. of Canada. 1954. V. 11(5). P. 559–623.

Shepherd J.G. A family of general production curves for exploited populations // Math. Biosci. 1982. V. 59. P. 77–93.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**TRENDS IN ABUNDANCE, PREDICTION, FISHERY
MANAGEMENT SOCKEYE SALMON (*ONCORHYNCHUS
NERKA*) AND CHUM SALMON (*ONCORHYNCHUS
KETA*) IN KAMCHATKA TERRITORY**

© 2021 г. O.V. Zikunova, V.A. Dubynin, L.A. Zavarina, S.V. Shubkin, A.V. Bugaev

*Kamchatka branch Russian Federal Research Institute
of the Fisheries and Oceanography,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683600*

The paper presents an analysis of the dynamics of stocks of two mass long-cycle species of Pacific salmon of Kamchatka — chum salmon and sockeye salmon. It is noted that, since the mid-1990s, the number of the main units of stocks of these species has reached a historical maximum. However, by 2020, there are trends to reduce some regional groups of chum salmon and sockeye salmon stocks. In addition, in 2020 adult fish of the dominant age cohorts were characterized by very low size-mass indicators. Attention is drawn to the negative trends in changes in the average weight in the generations of sockeye salmon and chum salmon over a sufficiently long period of time. It is assumed that in the near future, the stocks of chum salmon and sockeye salmon may move to a lower level of abundance. Presents the main methods used in predicting the number of returns of Pacific salmon with a long life period and the validity of the estimates obtained. The elements of the salmon fishery management system in the Kamchatka are described.

Keywords: Kamchatka, sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*, chum salmon *Oncorhynchus keta*, trends in abundance, spawning run, age, length-weight composition, prediction, fishery management.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ
ЗАПАСАМИ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*
КАМЧАТСКОГО КРАЯ (ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ,
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОМЫСЛА)**

© 2021 г. М.Г. Фельдман, А.В. Бугаев

*Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО),
г. Петропавловск-Камчатский, 683600 (КамчатНИРО),
г. Петропавловск-Камчатский, 683600
E-mail: feldman.m.g@kamniro.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021

Динамика подходов горбуши Камчатки в 2010-х гг. претерпела значительные изменения. Рост численности подходов происходит одновременно с увеличением диапазона изменчивости промыслового запаса, что требует постоянного совершенствования методики прогнозирования подходов. Рассмотрены основные современные методы прогнозирования данного вида, применяемые в КамчатНИРО. С учетом больших флуктуаций численности запасов предложено правило регулирования промысла, основанное на предосторожных ориентирах управления.

Ключевые слова: горбуша, *Oncorhynchus gorbuscha*, динамика численности, запас-пополнение, прогнозирование, правила регулирования промысла.

ВВЕДЕНИЕ

В пределах камчатского ареала горбуша является доминирующим видом, ежегодный вылов которой в первые два десятилетия XXI в. в среднем соответствовал 120 тыс. т (65% от добычи всех видов лососей на Камчатке). В 2011–2020 гг. уловы вида на Камчатке увеличились в среднем до 167 тыс. т, что составляло более 60% от добычи горбуши на всем Дальнем Востоке. Причем, в период 2016–2020 гг. этот показатель достиг порядка 75%. В значительной степени рост численности камчатской горбуши во второй половине второго десятилетия XXI в. связан с выходом ранее неурожайных поколений горбуши на высокопродуктивный уровень. В 2016 и 2018 гг. увеличились подходы горбуши

к северо-восточному побережью Камчатки, а в 2019 г. — к западному побережью полуострова.

Отмеченные изменения численности и структуры запасов горбуши Камчатки обусловили многоуровневый подход для прогнозирования ее динамики численности. В настоящее время прогноз возвратов (подходов) горбуши основывается на теоретических положениях, реализованных в результате оценки взаимосвязи представленной в стратифицированной модели на базе классической зависимости «родители — потомство» (Ricker, 1954; Shepherd, 1982), а также регрессионного моделирования с применением климатических индексов (PDO — Тихоокеанская декадная осцилляция, WP — индекс, характери-

зующий циклоническую активность) (Фельдман, Шевляков, 2015) и классификационного анализа (метод случайный лес деревьев решений) (Breiman, 2001). В качестве индикаторной информации в прогнозах обязательно учитываются данные учетно-мальковых работ по скату горбуши из реперных рек Восточной и Западной Камчатки. Кроме того, прогноз ориентируется на оценки численности горбуши, полученные в результате проведения специалистами «ТИНРО» и «КамчатНИРО» учетных траловых съемок во время осенней откочевки молоди в открытые воды Берингова и Охотского морей.

Современные представления о ведении эффективного рыбного хозяйства (обеспечении устойчивости воспроизводства горбуши и промысла ее запасов, а также надежности прогнозирования ее подходов) обусловили формирование стратегии управления рыбными запасами, базирующейся на ретроспективной оценке динамики численности, их прогнозирования и ведении промысла, согласно специальным правилам регулирования промысла (ПРП). Соответственно, сложившаяся во втором десятилетии XXI в. динамика численности горбуши Камчатки, требует постоянного совершенствования методики прогнозирования ее подходов. В рамках представленной работы рассмотрены основные современные методы прогнозирования данного вида, применяемые в «КамчатНИРО». С учетом возросших флуктуаций численности запасов вида предложены новые ПРП, основанные на предосторожных ориентирах управления.

Целью настоящей работы является обзор новейших методических принципов прогнозирования горбуши Камчатки для выработки единой многоуровневой системы управления запасами вида.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности динамики численности камчатской горбуши в современный период

Современные запасы горбуши Камчатки (2010-е гг.) находятся на максимальном по численности уровне за весь имеющийся период наблюдений XX и XXI вв. Начиная с 1990-х годов, подходы этого вида последовательно возрастали. При этом, в последние годы, на восточном побережье на высокопродуктивный уровень стали выходить поколения чётных лет (2016 и 2018 гг.), а на западном побережье — нечётных лет (2019 г.).

В течение 1990–2000-х гг. подходы урожайных поколений горбуши обоих побережий были сопоставимыми. На восточном побережье численность в нечётные годы колебалась от 40 до 100 млн в среднем составляя 80 млн рыб, а на западном в чётные годы — от 67 до 128 млн в среднем 91 млн рыб. Смежные линии неурожайных поколений горбуши оставались малочисленными, но с разными уровнями динамики запасов. На западном побережье линия нечётных лет в 1990-е гг. была в депрессивном состоянии, ее подходы оценивали в пределах 1 млн экз. В середине 2000-х было небольшое увеличение численности подходов (2003–2007 гг.), но потом данная генерация снова вернулась в депрессию вплоть до 2015 г. В этот же период горбуша восточного побережья линии чётных лет воспроизводства, напротив, была хоть и малочисленной, но не являлась депрессивной по отношению к среднегодовым показателям возвратов, составляя в разные годы от 2 до 33 млн экз.

С начала 2010-х гг. наметились перемены в тенденциях динамики численности у урожайных поколений горбуши

для обоих побережий Камчатки. В 2009 и 2011 гг. подходы на восточном побережье резко возросли, составив более 180 млн экз. Соответственно, аналогичная ситуация наблюдалась и на западном побережье в 2012 г., когда численность подхода горбуши преодолела рубеж в 150 млн рыб. В дальнейшем подходы резко сократились и стали сопоставимыми со смежными неурожайными линиями — на восточном побережье в 2013 г., а на западном — в 2014 г. Однако уже со следующего поколения снова пошел рост численности. На восточном побережье уровень подходов в 2015 г. составил 185 млн рыб, в 2017 г. — 180 млн рыб, а в 2019 г. — 310 млн рыб (исторический максимум для данного региона). Тем не менее, в 2020 г., несмотря на ожидание высоких подходов, численность горбуши в возвратах была близка к среднескользящим показателям, характерным для неурожайных лет. На западном побережье, после провала 2014 г., численность подходов снова возросла, а в 2018 г. достигла рекордных 350 млн рыб. При этом возросла численность подходов и смежных неурожайных поколений — на Восточной Камчатке до 104 млн рыб в 2018 г. и на Западной Камчатке до 62 млн рыб в 2019 г.

В целом динамика численности западнокамчатской горбуши повторяет таковую у восточнокамчатской с задержкой на 1 год (Котенев и др., 2015; Фельдман, Шевляков, 2015). Более наглядно это можно представить, если несколько сгладить ряды с помощью 3-летнего скользящего среднего (рис. 1).

Сходство тенденций динамики численности горбуши Восточной и Западной Камчатки, говорит о том, что на формирование запасов обеих региональных группировок стад влияет один и тот же комплекс факторов внешней среды. Влияние восточнокамчатской



Рис. 1. Сравнительные тренды динамики численности у восточнокамчатской и западнокамчатской горбуши с годовым отставанием, млн экз.

горбуши на западнокамчатскую, можно исключить, так как во время осенней откочевки, когда формируется численность запасов вида, обе группировки стад имеют географически изолированные районы нагула.

Методы прогнозирования подходов камчатской горбуши

Традиционным методом для определения величины поколений и впоследствии подходов является зависимость между количеством родителей и потомков (Ricker, 1954). В оценке зависимости пополнения от запаса использовались наблюдения по пропуску производителей и возврату потомков с 1990 г. по настоящее время обеих линий воспроизводства.

В прогнозе пополнения используется резонансная модель (Фельдман, Шевляков, 2015), особенностью которой является наличие максимума выживаемости поколений в зависимости от плотности. Вместе с тем, структурная форма данной модели совпадает с общей структурой моделей «запас — пополнение», показанной Дж. Шепардом (Shepherd, 1982):

$$R = \frac{aS^2}{\sqrt{(S_0^2 - S^2)^2 + b^2S^2}}, \quad (1)$$

где a — предел численности пополнения при неограниченном нерестовом запасе; b — нерестовый запас, необходимый для продуцирования пополнения, а при максимальной выживаемости и S_0 — нерестовый запас, обеспечивающий максимальную выживаемость потомков.

Основным методом проверки адекватности модели является анализ ее отклонений от наблюдаемых значений с помощью проверки распределения остатков на нормальность. Поскольку оценки родителей и потомков величины неотрицательные, то и распределение этих оценок подчиняется предположительно логнормальному закону, следовательно, необходимо оценивать распределение отклонений между логарифмами фактического и модельного пополнения. Даже визуальный анализ распределения показывает его далекое от нормальности состояние: наличие как минимум трех мод. С помощью метода ЕМ-кластеризации (Dempster et al., 1977) исходное распределение, за исключением нескольких выбросов, можно разбить на три значимых кластера (рис. 2). Соответственно им, исходные

данные были разбиты на три уровня численности (страты), каждый из которых описывается своей моделью (рис. 3).

Для оценки терминального значения запаса (прогноз подхода будущего поколения) реализуются два пути. Прогноз уровня численности по стратифицированной резонансной модели, где данные по запасу и пополнению разбиты на уровни (страты) т. е., по сути, решением задачи на классификацию. Для этого пути используются мощный современный метод машинного обучения: случайный лес деревьев решений — *Random Forest* (Breiman, 2001), основанный на использовании множества простых моделей-классификаторов (деревьев решений), каждое из которых выращено на собственной бутстреп-выборке наблюдений с замещением.

Цель данного метода определить уровень терминального поколения, иначе говоря, какую из трех моделей «запас — пополнение», нужно применить для прогноза численности будущего подхода. В качестве предикторов использованы помесечные данные климатических индикаторов, а в качестве

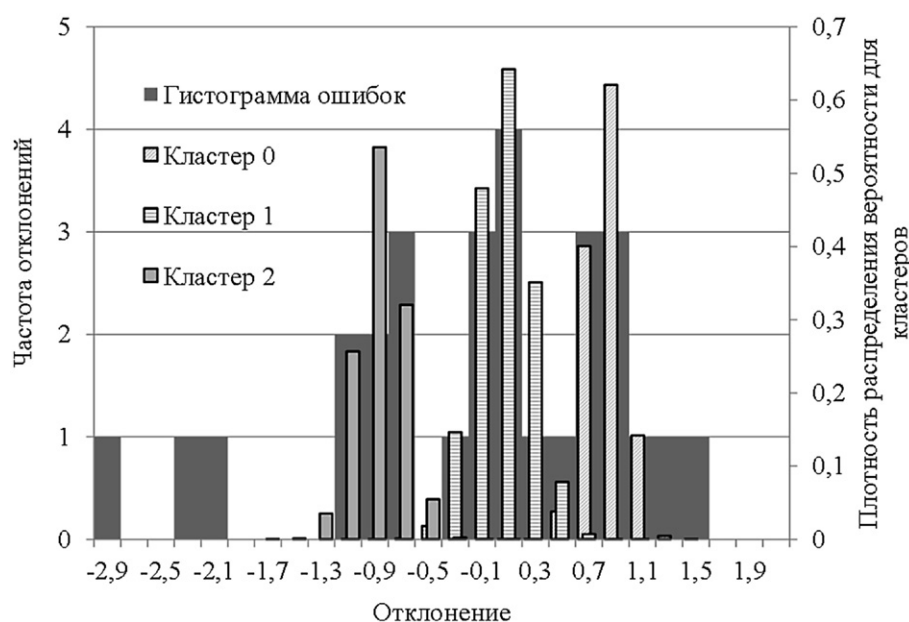


Рис. 2. Результаты ЕМ-кластеризации распределения остатков модели «запас — пополнение»

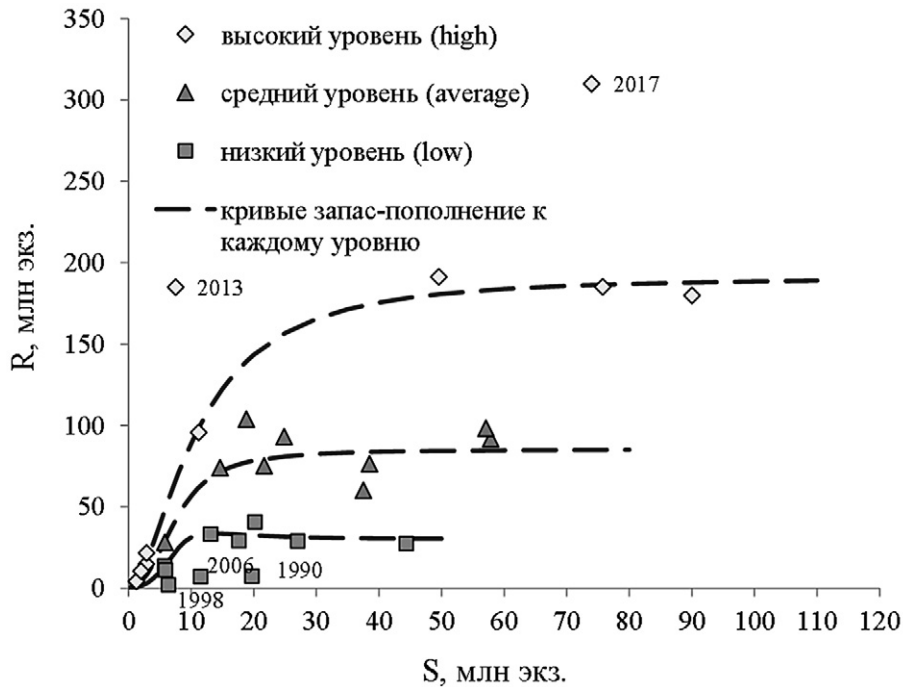


Рис. 3. Стратифицированная модель «запас — пополнение» для горбуши Восточной Камчатки

отклика уровни численности, полученные в результате ЕМ-кластеризации. На основе такого обучающего набора формируется ансамбль деревьев решений, который способен определить, к какому кластеру отнести терминальное поколение. При этом отбор значимых предикторов можно провести циклически, итеративно исключая незначимые признаки (Фельдман, 2020).

Прогноз уровня численности определяется простым большинством голосов базовых моделей в ансамбле. Причем наименьшая ошибка будет зависеть от достаточного количества деревьев, как правило, она стабилизируется при количестве около 100 деревьев и выше. На рисунке 4 показана доля ошибок вне выборки (out of bag или ООВ), которые эквивалентны тестовой ошибке (Джеймс и др., 2016; Шитиков, Мастицкий, 2017).

Второй путь — непосредственная оценка подхода с помощью методологии общей регрессионной модели (ОРМ) (Neter et al., 1990), в которой в качестве

предикторов выступают смоделированные по резонансной модели типа «запас — пополнение» значения выживаемости каждого поколения горбуши, а также показания климатических индикаторов в критические периоды онтогенеза (Фельдман, Шевляков, 2015).

Оба данных метода позволяют суммировать влияние различных факторов среды на численность горбуши в течение всего ее жизненного цикла, начиная с периода нереста родительского поколения. Вместе с тем, мы оцениваем и промежуточную численность поколения: в период покатной миграции на контрольных реках и в период откочевки молоди в открытое море к местам нагула. При этом оценки покатной миграции не проводятся тотально, а только на реперных (контрольных) водных объектах: Восточная Камчатка — реки Хайлюля и Кичига, Западная Камчатка — реки Большая, Утка, Кихчик, Пымта и Колпакова. Соответственно, данные по скату на востоке не могут использоваться для моделирования возврата по всему побережью

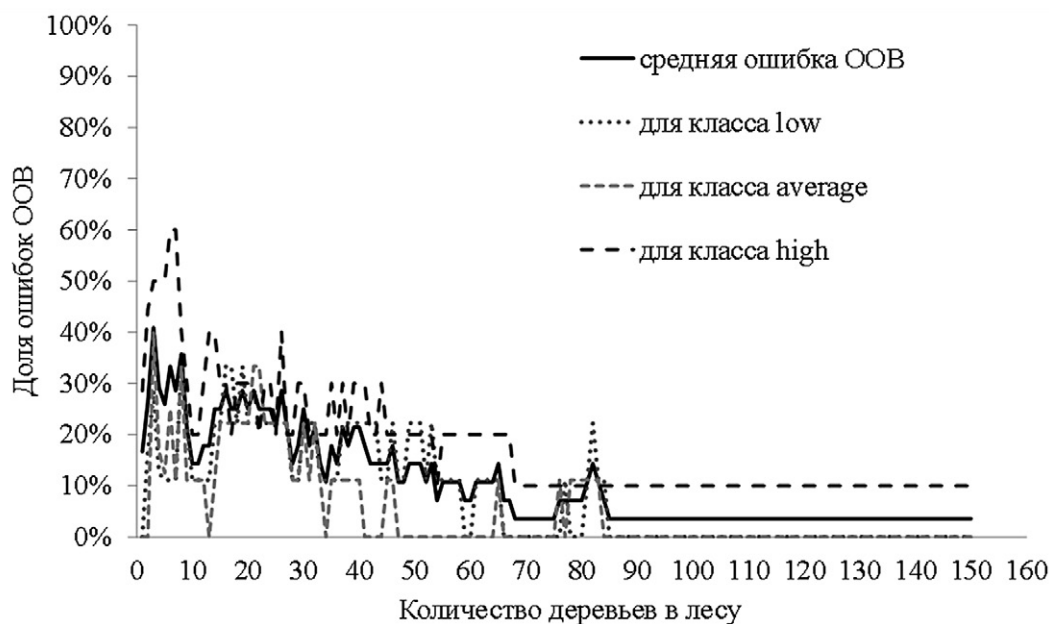


Рис. 4. Снижение доли ошибок ООВ в зависимости от количества деревьев в ансамбле для каждого уровня численности.

из-за малого количества контрольных рек. Для западного побережья, несмотря на то, что реперных рек больше, достаточные продолжительные ряды наблюдений имеются только для рек Большая и Утка, а по оставшимся трем рекам, наблюдения проводятся только четвертый год. Поэтому данные мальково-учетных работ при прогнозировании возвратов в большей степени рассматриваются в качестве индикаторной информации.

Наиболее объективной будет являться прогнозная оценка возврата горбуши по данным учетных траловых съёмов во время осенней откочёвки молоди от побережий Камчатки. В основном это связано с тем, что критические периоды её онтогенеза (инкубация икры, смолтификация и адаптация в прибрежной зоне) на данном этапе уже интегрированы в оценку учтённой численности молоди в открытом море. Кроме того, в настоящее время накоплены достаточно продолжительные временные ряды для построения простой регрессионной зависимости возврата горбуши от учтенной молоди.

Регулирование промысла

После определения прогноза возврата, доля изъятия, а, следовательно, и прогнозный вылов, рассчитывают с помощью правила регулирования промысла (ПРП). Для запасов горбуши Камчатского края приняты характерные для тихоокеанских лососей нелинейные ПРП, основанные на предосторожных оценках граничных ориентиров пропуска и эксплуатации (Бабаян, 2000), или иначе, буферных ориентирах по пропуску (S_{buf}) и эксплуатации (E_{buf}), подтвержденных тестированием на бутстреп-выборках (рис. 5).

Поскольку буферные ориентиры являются параметрами ПРП, то при их тестировании рассматриваются различные стратегии промыслового изъятия, из которых выбирается наиболее соответствующий целям управления режима промысла (рис. 6). Например, если поставлена цель максимизации вылова при минимальном риске, то с помощью изоплетных диаграмм различных характеристик запаса в зависимости от параметров ПРП можно выбрать нужные

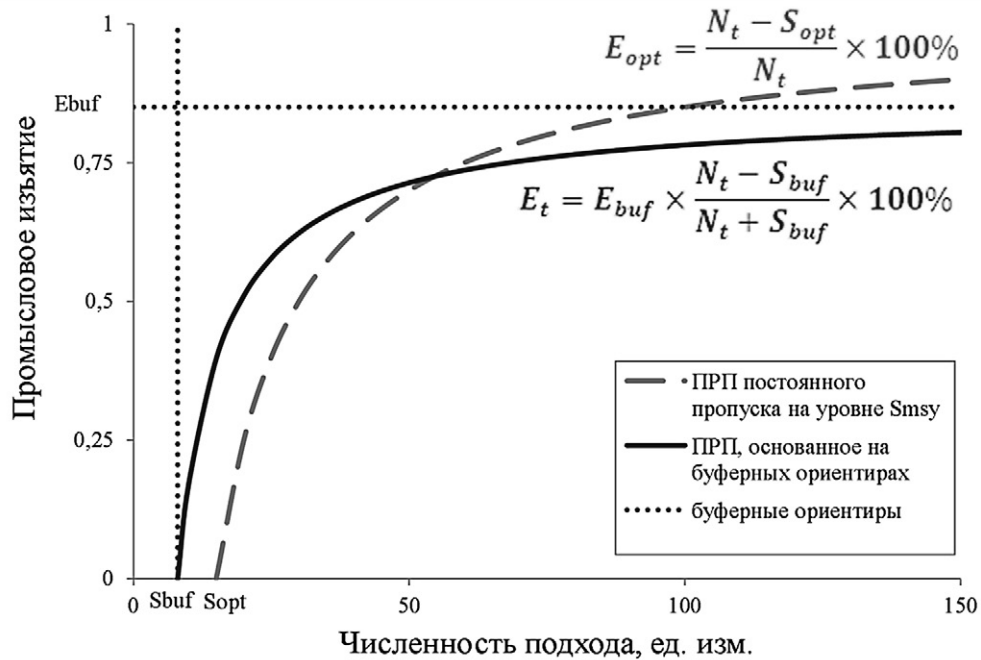


Рис. 5. Правило регулирования промысла (ПРП) с учетом предосторожного подхода (буферные ориентиры).

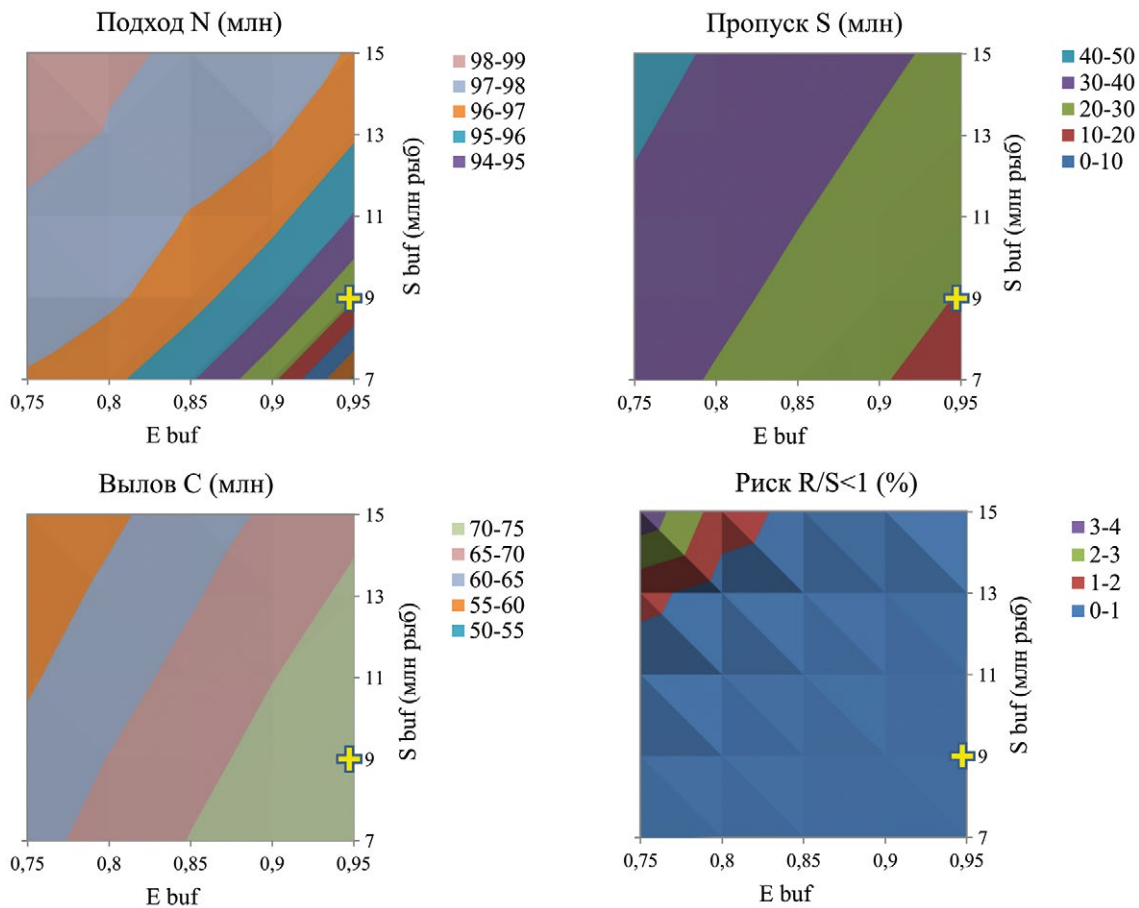


Рис. 6. Тестирование параметров ПРП (буферных ориентиров) и выбор режима управления (отмечено крестом) в соответствии с поставленной целью.

ориентиры управления $S_{buf} = 9$ млн рыб и $E_{buf} = 0,95$ (отмечено на диаграммах крестом). Устойчивость выбранного режима промысла позволяет определить имитация долгосрочной динамики запасов.

Установленный с помощью ПРП уровень промыслового изъятия в Камчатском крае регулируется с помощью соответствующего количества проходных дней. Если режим проходных дней в прибрежье и в реках сбалансирован правильным образом, то достаточно введение одного проходного дня в неделю на морских рыболовных участках, что обеспечивает пропуск 14% (1/7 недели) от общего подхода лососей (Шевляков и др., 2019). Соответственно два проходных дня позволяют пропустить около 29% (2/7 недели), а три дня — до 43% (3/7 недели). Однако в период рунного хода урожайных поколений горбуши в Камчатском крае, решением региональной Комиссии по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб, проходные дни на морских рыболовных участках отменяют, чтобы не допустить переполнения нерестилищ.

На речных рыболовных участках режим проходных дней может не меняться в течение путины, составляя 2–3 дня. Представленная система проходных дней вполне достаточна для обеспечения необходимого уровня пропуска производителей для устойчивого воспроизводства, так как порядка 80–90% вылова камчатской горбуши осуществляется на морских участках.

Основанием разработки оперативной корректировки прогнозируемого вылова может являться более высокий уровень фактических подходов горбуши в тот или иной центр воспроизводства. Для этих целей, как правило, сравнивается динамика нарастающих уловов в текущий год со среднемноголет-

ними показателями предыдущих лет (например, за последние 5 лет) в соответствии с объемами предварительного прогноза. В случае с горбушей речь идет о терминальных поколениях урожайной или неурожайной линии лет. Как правило, в процессе подготовок корректировок используется информация по годам-аналогам, когда характер динамики промысла был сходен с текущим годом. Объем корректировки прогнозируемого вылова определяется, исходя из расчетной кривой нарастающих уловов и предполагаемых сроков окончания промысла.

В случае если фактический возврат производителей меньше прогнозируемого, включается другой механизм регулирования промысла. В основном увеличивается количество проходных дней для обеспечения необходимого пропуска производителей на нерестилища. В экстренных случаях происходит закрытие промысла по решению региональной Комиссии по регулированию добычи (вылова) анадромных рыб.

Планируется усиление информационной базы подготовки корректировок прогнозируемого вылова горбуши на основе данных учетных траловых съёмок ТИНРО в юго-западной части Берингова моря в июне 2021 г. Это позволит получить актуальную информацию о численности подхода горбуши северо-востока Камчатки (Карагинская подзона) непосредственно перед началом лососевой путины. Аналогичная съёмка для западнокамчатской горбуши традиционно проводится в прикурильских водах северо-западной части Тихого океана в июне — начале июля. Вся, оперативно поступающая информация о численности половозрелой горбуши, послужит одним из базовых компонентов потенциальных корректировок регионального вылова этого вида.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Численность подходов камчатской горбуши в последнее десятилетие достигла максимальных величин, вместе с тем возросли и ее флуктуации. Сходство трендов динамики подходов горбуши на обоих побережьях Камчатки говорит о масштабном воздействии факторов окружающей среды, испытываемой в настоящее время существенные перестройки вследствие эффекта глобального потепления. Что, естественно, затрудняет прогнозирование данного вида. Вследствие этого прогноз численности подходов горбуши базируется на различных моделях (регрессионные, ансамблевые), теоретически снижающих возможную дисперсию ошибки прогнозирования. Применяемые правила регулирования промысла адаптированы к реальным условиям и основаны на предосторожном подходе, призванном обеспечить максимальную устойчивость запасов к промысловому воздействию и эффективному воспроизводству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабаян В.К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению: монография. М.: ВНИРО, 2000. 192 с.
- Джеймс Г., Уиттон Д., Хастис Т., Тибширани Р. Введение в статистическое обучение с примерами на языке R (пер. С.Э. Мاستицкого). М.: ДМК Пресс, 2016. 450 с.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурыш Г.П. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 143–161.
- Фельдман М.Г. Использование метода случайных лесов деревьев решений RandomForest в целях прогнозирования подходов горбуши северо-востока Камчатки // Иссл. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-запад. части Тихого океана. 2020. Вып. 59. С. 76–96.
- 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.
- Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Островский В.И. и др. Ориентиры и оперативная оценка пропуска производителей на нерестилища как инструменты перспективного и краткосрочного управления запасами тихоокеанских лососей в реках Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 196. С. 23–62.
- Шитиков В.К., Мاستицкий С.Э. Классификация, регрессия, алгоритмы DataMining с использованием R. Электронная книга, 2017. Адрес доступа: <https://github.com/ranalytics/data-mining>.
- Breiman L. «Random Forests» // Machine Learning. 2001. № 45 (1). P. 5–32.
- Dempster A.P., Laird N.M., Rubin D.B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm // J. of the royal statistical society. Series B. 1977. № 39 (1). P. 1–38.
- Neter J., Wasserman W., Kutner M.H. Applied linear statistical models: regression, analysis of variance, and experimental designs (3rd ed.). Burr Ridge: Irwin, 1990. 1181 с.
- Ricker W. Stock and recruitment // J. of the fisheries research board of Canada. 1954. V. 11. № 5. P. 559–623.
- Shepherd J.G. A family of general production curves for exploited populations // Math. Biosci. 1982. V. 59. P. 77–93.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

MODERN PRINCIPLES OF PINK SALMON (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*) STOCKS MANAGEMENT IN THE KAMCHATKA REGION (POPULATION DYNAMICS, FORECASTING, FISHING REGULATION)

© 2021 y. M.G. Feldman, A.V. Bugaev

Kamchatka branch Russian Federal research institute of the Fisheries and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683600

The dynamics of the approaches of the pink salmon of the Kamchatka region has undergone significant changes in 2010 years. The increase in the number of runs (catch + escapement) approaches occurs simultaneously with an increase in the range of variability of fluctuations in the fishing stock, which requires constant improvement of the methodology for forecasting approaches. The main forecasting methods of this type used in Kamchatka are considered. Taking into account the large fluctuations in the stock, the rules for regulating the fishery are proposed, based on precautionary management guidelines.

Keywords: pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha*, population dynamics, recruitment, forecasting, fishing management rule.

**УСЛОВИЯ НАГУЛА МОЛОДИ ГОРБУШИ
В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД
НА ПРИМЕРЕ СЕЗОНА 2019/2020 гг.**

© 2021 г. С.В. Найденко, Г.В. Хен, А.Л. Фигуркин, Н.А. Кузнецова,
А.Н. Старовойтов, А.А. Сомов, М.А. Шебанова

*Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО),
г. Владивосток, 690091
E.mail: svetlana.naydenko@tinro-center.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

Рассматриваются кормовые и климато-океанологические условия нагула молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) осенью 2019 г. в западной части Берингова и Охотском морях в зимне-весенний период 2020 г. в Тихом океане. Проанализированы многолетние данные о составе и обилии кормовой базы в местах осеннего нагула лососей, составе и величине их пищевых рационов, а также сопутствующих видов нектона. Сделан вывод, что пищевая обеспеченность сеголеток горбуши осенью 2019 г. находилась на среднемноголетнем уровне и не могла стать причиной низких возвратов половозрелых рыб в 2020 г. Приведены данные о климато-океанологических условиях обитания лососей в океане, а также о видовом составе, количественном соотношении и экологии зоопланктонных видов, составляющих кормовую базу этих рыб. Сделано заключение, что зимой 2020 г. в северной части Тихого океана не произошло значительного изменения термического режима вод, которое повлекло бы за собой структурные перестройки зоопланктонных сообществ, снижение обилия массовых зоопланктонных видов и ухудшение пищевой обеспеченности лососей. Нагул молоди лососей, в частности горбуши, при освоении морских и океанических акваторий действительно является очень важным этапом жизненного цикла этих рыб, но решающей роли в формировании численности он не играет.

Ключевые слова: лососи, горбуша, климатические изменения, индекс PDO, аномалии температуры, зоопланктон, пищевая обеспеченность, Берингово море, Охотское море, Тихий океан.

ВВЕДЕНИЕ

В 2020 г. отмечали низкие, по сравнению с предыдущими годами, уловы лососей р. *Oncorhynchus* в некоторых районах как российского, так и американского побережий Тихого океана. В частности, на российском побережье не оправдались ожидания с подходами горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) к рекам восточной Камчатки и Магаданской области. Разница между прогнозной величиной и фактическим выловом горбуши составила 63,9 и 3,9 тыс. т

(или 77 и 63% от величины прогноза) в этих районах соответственно. В некоторых публикациях о результатах лососевой путины-2020 (Горохов и др., 2020; Бугаев и др., 2020), сделано предположение, что одной из причин слабых подходов горбуши к дальневосточным берегам могло стать ухудшение условий её нагула осенью в море и зимой в океане на фоне климато-океанологических изменений, наблюдаемых в пределах всей Северной Пацифики. Следует отметить, что тема пищевой обеспеченности ло-

сосей в период их морского и океанического нагула уже неоднократно обсуждалась в большинстве работ (Шунтов и др., 2010, 2017, 2019; Naydenko, 2010; Найденко, Хоружий, 2014, 2017; Заволокин, 2014; Найденко, Темных, 2016). В этой серии публикаций, основанных на огромных фактических материалах, собранных в ежегодных экспедициях Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО), сделаны выводы о том, что при различных состояниях кормовой базы и численности потребителей (в том числе лососей), пищевая обеспеченность лососей не изменялась настолько, чтобы быть причиной снижения их численности.

В настоящей статье дана оценка условиям нагула и обитания молоди лососей, в частности горбуши, в осенне-зимний период 2019/2020 гг., и проведено сравнение полученных оценок с данными предыдущих лет. Основная цель этих исследований — выяснить могли ли данные условия стать причиной слабых возвратов горбуши в 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными первичными материалами являются данные о фоновых условиях, видовом составе, распределении, обилии и питании гидробионтов, собранные при проведении ТИНРО морских экспедиций осенью в западной части Берингова и Охотском морях и в зимне-весенний период в северо-западной части Тихого океана. Исследования проводили на однотипных научно-исследовательских судах типа СТМ-833 (НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский»).

Траления выполнялись разноглубинными тралами 80/376, 80/396 м с мелкочейной вставкой в кутце. Скорость тралений в среднем составляла 4,6 узла, при средней площади облова трала

за 1 час 0,417 км². Вертикальное раскрытие трала в среднем составляло 33,1 м, горизонтальное — 48,5 м. После поднятия трала на борт судна, проводился полный разбор уловов гидробионтов. Всех рыб, головоногих моллюсков, гидроидных и сцифоидных медуз и прочих беспозвоночных определяли до вида, просчитывали, проводили массовые промеры и взвешивали. Промысловых и наиболее массовых видов подвергали полному (или неполному) биологическому анализу (далее по тексту ПБА), осуществляли сбор трофологических и иных проб. Численность и биомассу видов нектона рассчитывали по стандартной методике, принятой в практике проведения ТИНРО-центром аналогичных экосистемных съёмок и подробно описанных в ряде публикаций (Волвенко, 1998, Нектон ..., 2004, 2005, 2006; Макрофауна ..., 2011, 2012).

Сбор и обработку проб планктона проводили параллельно с ихтиологическими исследованиями по методике, принятой в ТИНРО (Волков, 1996, 2008). Во всех рейсах для облова планктона применяли одинаковое орудие лова — большую сеть Джели (БСД), со стандартными параметрами: диаметром входного отверстия 38 см (с площадью 0,1 м²) и фильтрующим конусом из капронового сита № 48 (с размером ячеек 0,168 мм) (Современные методы ..., 1983; Волков, 2008). Во время съёмок выполняли тотальные обловы планктона по сетке станций (которая совпадала с сеткой траловых и гидрологических станций) в двух слоях эпипелагиали — 0–50 и 0–200 м, как в дневное, так и в ночное время суток. С учётом экологии видов и для получения реальных оценок обилия планктона были использованы поправки на уловистость сети БСД, предложенные частично на основании имеющихся публикаций (Кули-

кова, 1954; Грезе и др., 1975; Виноградов, Шушкина, 1983, 1987; Тимонин 1983; и др.), а частично по экспертным оценкам (Горбатенко, Долганова, 2007).

Сбор и первичная обработка материалов по питанию рыб выполнена по стандартным методикам (Руководство., 1986; Чучукало, 2006; Волков, 2008). Индекс наполнения желудков (далее по тексту ИНЖ), показывающий интенсивность питания рыб, получали в результате количественно-весовой обработки. ИНЖ рассчитывали путём деления веса пищевого комка на общую массу рыбы, умножая на 10000 для мирных рыб (ИНЖ выражается процимиллах, ‰).

Для оценки пищевой обеспеченности были использованы:

– показатель З/Н, рассчитанный как отношение запаса планктона (т/км^2) в слое эпипелагиали к биомассе нектона (т/км^2) в этом же слое, показывающий сколько единиц потенциальных планктонных ресурсов приходится на единицу нектона;

– коэффициент использования кормовой базы, рассчитанный как отношение рациона нектона (суточного или сезонного), к биомассе кормовых организмов (без учёта продукции).

Для визуализации данных по материалам экспедиций, а также с использованием нектонной базы данных «Траловая макрофауна пелагиали северной Пацифики» (№ в гос. реестре 2014620536) и базы данных «Сетной зоопланктон северной Пацифики 1984–2013» были построены графики, рисунки и таблицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Условия нагула молоди горбуши в осенний период в глубоководных котловинах Берингова и Охотского морей

В осенний период молодь тихоокеанских лососей для нагула исполь-

зует глубоководные котловины морей (Шунтов, Темных, 2008). В Беринговом море в пределах российских вод основным районом концентрации молоди лососей является Командорская и юго-западная часть Алеутской котловин, а в Охотском море — главным образом центральная и южная котловины, а также районы Иono-Кашеваровский и Впадина ТИПРО. Летом в этих районах численность молоди не очень высокая, но осенью, после того как она покидает шельфовые воды, её численность в глубоководных районах увеличивается значительно (Шунтов и др., 2010; Шунтов, Темных, 2008; Naydenko, Somov, 2019). Наиболее быстрое распределение молоди горбуши в эпипелагиали открытых районов происходит в сентябре (Бирман, 1985; Шунтов, 1994; Ерохин, 2002; Шунтов, Темных, 2008). Именно воды глубоководных котловин используются для нагула молодью лососей до момента их выхода в океан. Соответственно условия (кормовые и гидрологические) обитания лососей в этот период имеют немаловажное значение для становления/формирования их морской/океанической жизненной формы (с теми продукционными и биоэнергетическими характеристиками, которые позволяют молоди мигрировать в океан и выжить в зимне-весенний период).

В Беринговом море по многолетним данным обилие молоди лососей от раннего лета к осени в Командорской и Алеутской котловинах увеличивается в 33 и 21 раз, соответственно (рис. 1).

Численность сеголеток горбуши в данном регионе в чётные годы скакала выше, чем в нечётные годы (Темных, 2004; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Бугаев и др., 2019). В 2000-е гг. самую высокую численность (1,0–1,3 млрд экз.) сеголеток горбуши, учтённую по данным траловых съёмок, отмечали в 2008,

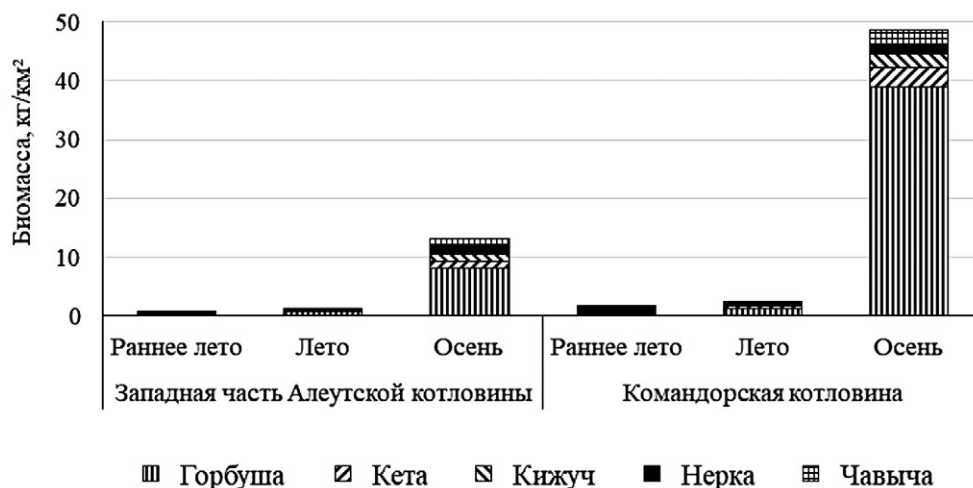


Рис. 1. Динамика биомассы (кг/км²) молоди лососей в верхней эпипелагиали (0–50 м) глубоководных котловин Берингова моря в течение летне-осеннего периода по данным нектонных съёмов 2000-х гг. (Naydenko, Somov, 2019).

2010 и 2018 гг. (Шунтов и др., 2008, 2010; Шунтов, Темных, 2010, 2018; Старовойтов и др., 2018) (рис. 2).

Но в 2014, 2016 и 2018 гг. на урожайный промысловый уровень вышли поколения воспроизводства горбуши чётного ряда лет (Бугаев и др., 2018). Численность молоди горбуши от производителей 2018 г. в верхней эпипелагиали глубоководной части Берингова моря осенью 2019 г. была оценена 153,6 млн экз. (Старовойтов и др., 2019). Ожидаемая величина возврата горбуши Кара-

гинской подзоны в 2020 г. согласно зависимости «учёт в море — численность возврата» была определена в диапазоне 45–60 млн особей, а прогнозируемый объём вылова с учетом оптимального пропуска — в 60 тыс. т (Темных и др., 2019), а в последствии увеличен до 78,8 тыс. т. Однако, как показали результаты лососевой путины 2020 г., численность подхода горбуши не достигла ожидаемой величины. В связи с этим появились предположения, объясняющие низкие возвраты, в том числе, и об

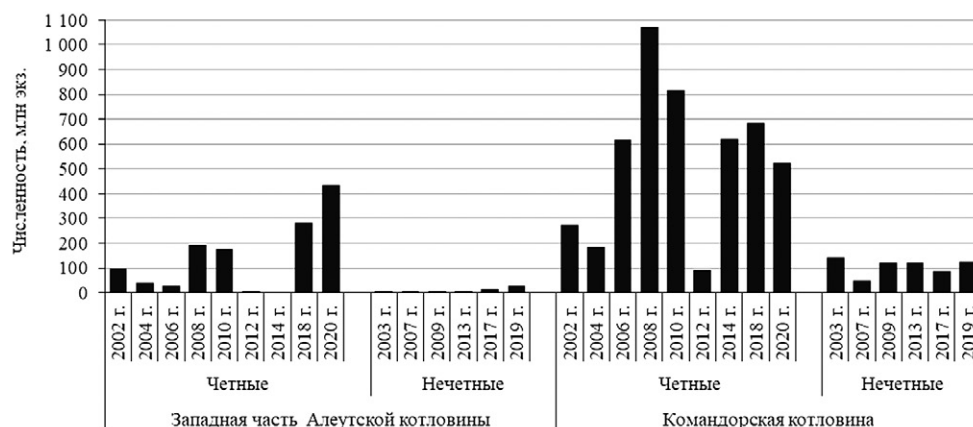


Рис. 2. Численность (млн экз.) сеголеток горбуш в верхнем слое эпипелагиали в глубоководных котловинах западной части Берингова моря осенью 2002–2020 гг. (База данных «Траловая макрофауна пелагиали северной Пацифики», № в гос. реестре 2014620536; Старовойтов, 2017; Старовойтов и др., 2018, 2019, 2020).

ухудшении условий нагула в осенний и зимне-весенний периоды.

Для оценки межгодовой изменчивости пищевой обеспеченности молоди лососей осенью в Беринговом море использовали данные о составе и запасах кормовой базы лососей, обилии потребителей кормовых ресурсов, а также накармливаемости рыб и составе их пищевых рационов.

В западной части Берингова моря в многолетней динамике количественных показателей обилия зоопланктона, составляющего значительную долю рациона лососей, не отмечено резких и значительных колебаний, за исключением отдельных случаев. В 2000-е гг. общая биомасса зоопланктона изменялась не более чем в 1,5–2,0 раза, а минимальные значения в глубоководной части

Берингова моря осенью не опускались ниже 580 мг/м^3 в слое 0–50 м и 295 мг/м^3 в слое 0–200 м (рис. 3). Среднегодовые показатели обилия зоопланктона в осенний период составили 1059 и 901 мг/м^3 в слое эпипелагиали 0–50 м Командорской и западной части Алеутской (далее по тексту з/ч Алеутской) котловин соответственно. В слое 0–200 м данные показатели были ниже и составили 625 и 617 мг/м^3 в этих районах соответственно.

Обилие потребителей зоопланктонных ресурсов в верхней эпипелагиали исследуемых районов в 2000-е гг. изменялось от $0,1$ до $2,8 \text{ т/км}^2$. Однако при высокой учтенной в этом слое биомассе мезопелагических рыб этот показатель может достигать $7,1 \text{ т/км}^2$. В зависимости от обилия кормовой базы и её по-

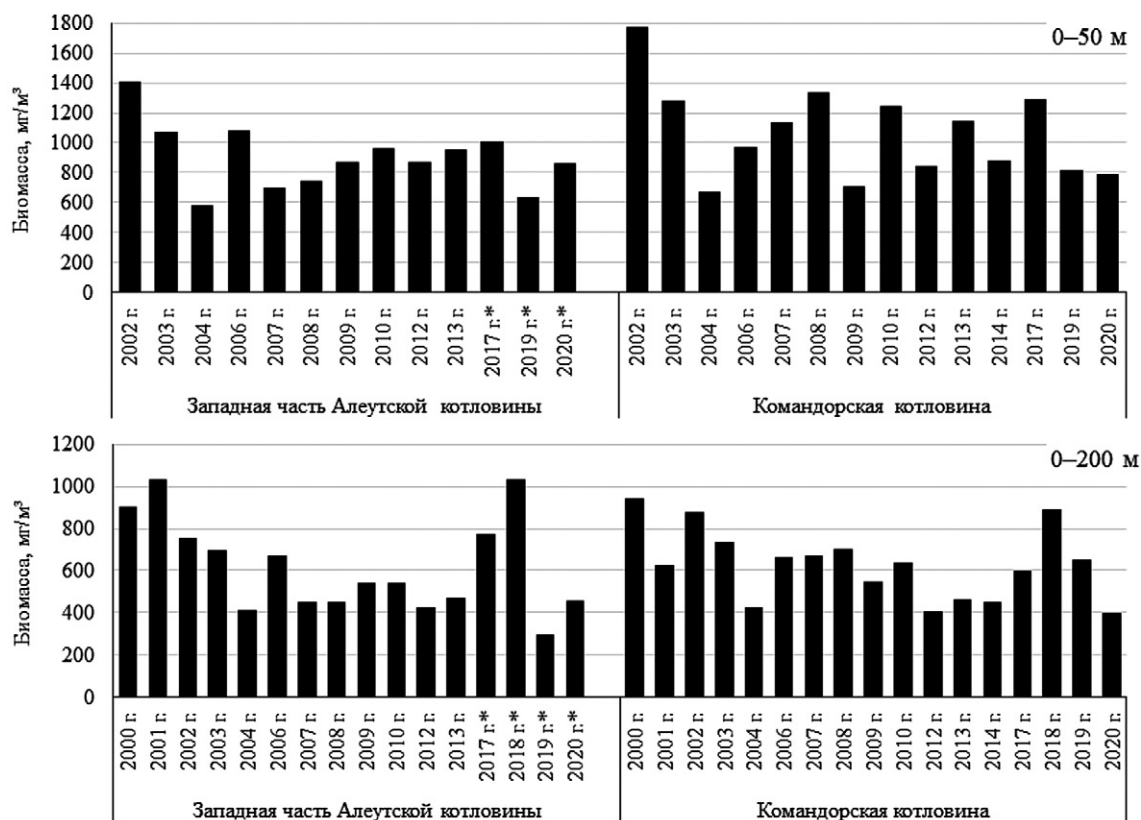


Рис. 3. Динамика биомассы (мг/м^3) зоопланктона в слоях эпипелагиали 0–50 и 0–200 м глубоководных котловин Берингова моря осенью 1986–2020 гг. (База данных «Сетной зоопланктон северной Пацифики 1984–2013», 2016; с дополнениями за 2014–2020 гг.).

Примечание: * — площадь районов обследована не полностью.

требителей, изменялся показатель, показывающий сколько единиц зоопланктона приходится на единицу нектона.

В верхнем слое эпипелагиали Командорской котловины в 2004, 2008, 2009, 2012–2014, 2019, 2020 гг. на одну тонну нектона приходилось 20–26 т зоопланктона, при среднемноголетнем (за 2002–

2020 гг.) значении — 32 т. В 2010 и 2017 гг. этот показатель достигал 67 т и 78 т соответственно. В западной части Алеутской котловины среднемноголетнее, а также минимальные и максимальные значения этого соотношения были ниже (табл. 1).

Следует отметить, что показатель соотношения кормовых ресурсов на

Таблица 1. Соотношение (т) запаса зоопланктона, биомассы рыб и кальмаров в верхнем слое эпипелагиали глубоководных котловин Берингова моря осенью 2002–2020 гг.

Котловина	Годы															Средняя
	2000-е								2010-е							
	02	03	04	06	07	08	09	10	12	13	14*	17	18*	19	20	
Командорская	33	35	32	20	40	24	25	67	26	31	24	78	н/д	25	23	32
з/ч Алеутской	10	29	23	22	26	24	33	65	24	36	н/д	438	н/д	22	50	26

Примечание: * Площадь районов обследована не полностью, н/д — нет данных.

единицу нектона рассчитан, без учета продукции зоопланктона и обилия мелкоразмерного нектона (составляющего весомую часть рациона рыб и кальмаров).

В 2000-х гг. в глубоководной части Берингова моря отмечали совершенно разные комбинации показателей высокого/среднего/низкого обилия пищи и её потребителей в верхнем слое эпипелагиали. Именно в этом слое происходит основное питание лососей (Чучукало, 2006). Однако, даже при одновременно высоком обилии нектона (в том числе и молоди лососей), пониженной биомассе зоопланктона и, соответственно, низком соотношении запаса зоопланктона и биомассы нектона («З/Н»), например, в 2006 и 2014 гг., такой показатель как накормленность молоди горбуши был на среднем и высоком уровнях, а основу её пищевого рациона (от 70 до 90%) формировали гиперииды, птероподы и эвфаузиды, которые обычно имеют первостепенное значение в питании лососей. Вряд ли только кормовые условия

осенью обеспечили хорошие возвраты горбуши на следующий год, но её вылов на Восточной Камчатке (Карагинский и Петропавловско-Командорский районы) в 2007 и 2015 гг. был вполне высоким — 71 и 89 тыс. т, соответственно¹.

Самую высокую, учтенную по траповым уловам, численность молоди горбуши в Командорской котловине отмечали в 2008, 2010 и 2018 гг. — 1070, 816 и 683 млн экз. соответственно, когда плотность сеголеток достигала 4,3; 3,3 и 2,8 тыс. экз./км². Кормовые условия горбуши в эти годы различались. Удельная биомасса зоопланктонных ресурсов в данном районе была на высоком уровне, достигая 1245–1336 мг/м³ в слое 0–50 м и 637–891 мг/м³ в слое 0–200 м (рис. 3). Но общая биомасса рыб и кальмаров, потребителей кормо-

¹ Здесь и далее по тексту приведены официальные данные вылова, предоставленные территориальными органами Росрыболовства, и опубликованные в Бюллетенях изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке в 2009–2020 гг.

вых ресурсов, в верхнем слое эпипелагиали наиболее высокой — 706 тыс. т (или 2,8 т/км²), была в 2008 г., а в 2010 и 2018 гг. составила 232 и 296 тыс. т (0,9 и 1,2 т/км²) соответственно. Количество зоопланктонной пищи, приходящейся на единицу нектона в 2008 г. было ниже, чем в 2010 и 2018 гг. (табл. 1). В эти годы в питании молоди горбуши доминировали амфиподы, достигающие 56–61 % рациона, а накормленность рыб была на среднем уровне (рис. 4). Однако в 2008 г. в пище сеголеток горбуши отмечали повышенную долю сагитт 17% (при их среднемноголетней доле в рационе 2%), размеры были на 1,0–1,5 см меньше среднемноголетних показателей и молодь почти на две недели раньше уходила в районы зимнего обитания (Шунтов и др., 2008; Темных, 2009). Выше перечисленные факты указывают на возможность действия фактора плотности. Тем не менее, ушедшее в районы зимнего обитания поколение горбуши 2008 г. ската обеспечило хорошие возвраты половозрелых рыб в следующем году. Вылов горбуши на восточной Камчатке в 2009 г. составил 140 тыс. т. Довольно высокими были возвраты горбуши и от поколения рыб скатившихся

в 2010 и 2018 гг. Вылов горбуши в 2011 и 2019 гг. составил 182 и 227 тыс. т соответственно. Таким образом, можно констатировать, что ни фактор плотности, ни пищевая обеспеченность в период миграций молоди горбуши из прибрежья в открытые воды и во время зимнего обитания в океане в эти годы не повлияли на численность рыб вернувшихся на нерест.

Количественные оценки зоопланктона, полученные в 2019 г. были ниже, чем в предыдущие годы, составляя 811 и 635 мг/м³ в слое 0–50 м и 649 и 295 мг/м³ в слое 0–200 м Командорской и з/ч Алеутской котловин, соответственно. Но, это были не самые низкие показатели за рассматриваемый период лет (рис. 3). При этом биомасса четырех групп зоопланктона (эвфаузиид, амфипод, копепод и птеропод), имеющих наибольшее значение в питании лососей, в этих районах отличалась от среднемноголетних значений в 1,5 и 1,3 раза, соответственно. Накормленность молоди горбуши в Командорской котловине была средняя: ИНЖ рыб с длиной тела АС по Смитту, равной 10–20 и 20–30 см, составляли 91 и 125‰, соответственно. В з/ч Алеутской котловины горбу-

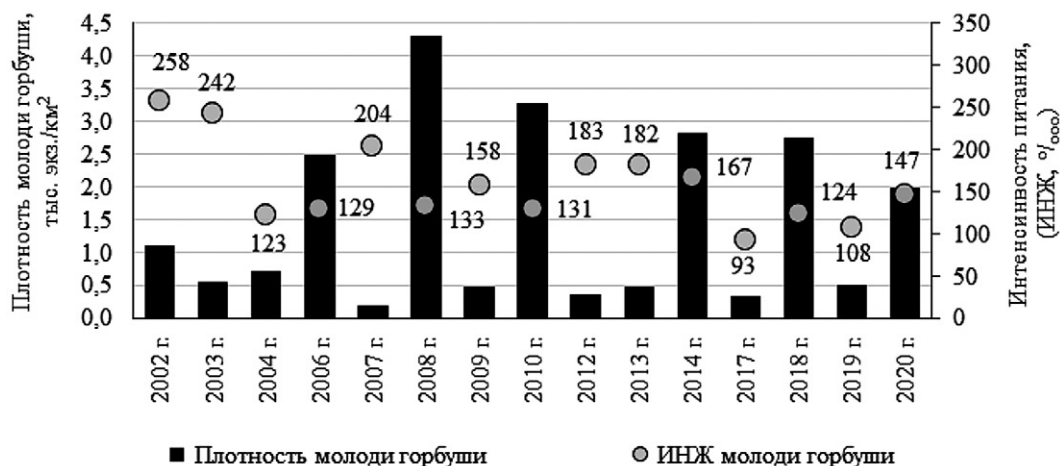


Рис. 4. Плотность (тыс. экз./км²) молоди горбуши и ИНЖ (‰) в верхнем слое эпипелагиали Командорской котловины Берингова моря осенью 2000-х гг. Цифры — значение ИНЖ (‰) (Найденко и др., 2020).

ша питалась более интенсивно, ИНЖ рыб с длиной тела АС по Смитту, равной 10–20 и 20–30 см, достигали 226 и 164‰, соответственно. В рационе сеголеток в обеих котловинах доминировали гиперииды, декаподы и нектонная пища. При этом в Командорской котловине, где обилие молоди рыб и кальмаров было выше, по сравнению с другими районами, их доля в рационе лососей превышала 50% (Найденко и др., 2020). Суточный коэффициент использования зоопланктонных ресурсов верхней эпипелагиали нектонным населением был невысоким — 0,0004. Все эти данные

свидетельствуют в пользу вполне удовлетворительных для лососей кормовых условий, сформировавшихся осенью 2019 г. в глубоководной части Берингова моря.

В Охотском море суммарная численность сеголеток горбуши осенью 2019 г. в верхней эпипелагиали была оценена в 554,8 млн экз. (или 69,9 тыс. т). Средний улов на усилие составил 140 экз./траление, что было почти в 2 раза ниже среднегодового показателя (рис. 5).

С учетом экстраполяции на площадь, неохваченную тралениями, предположили, что численность молоди

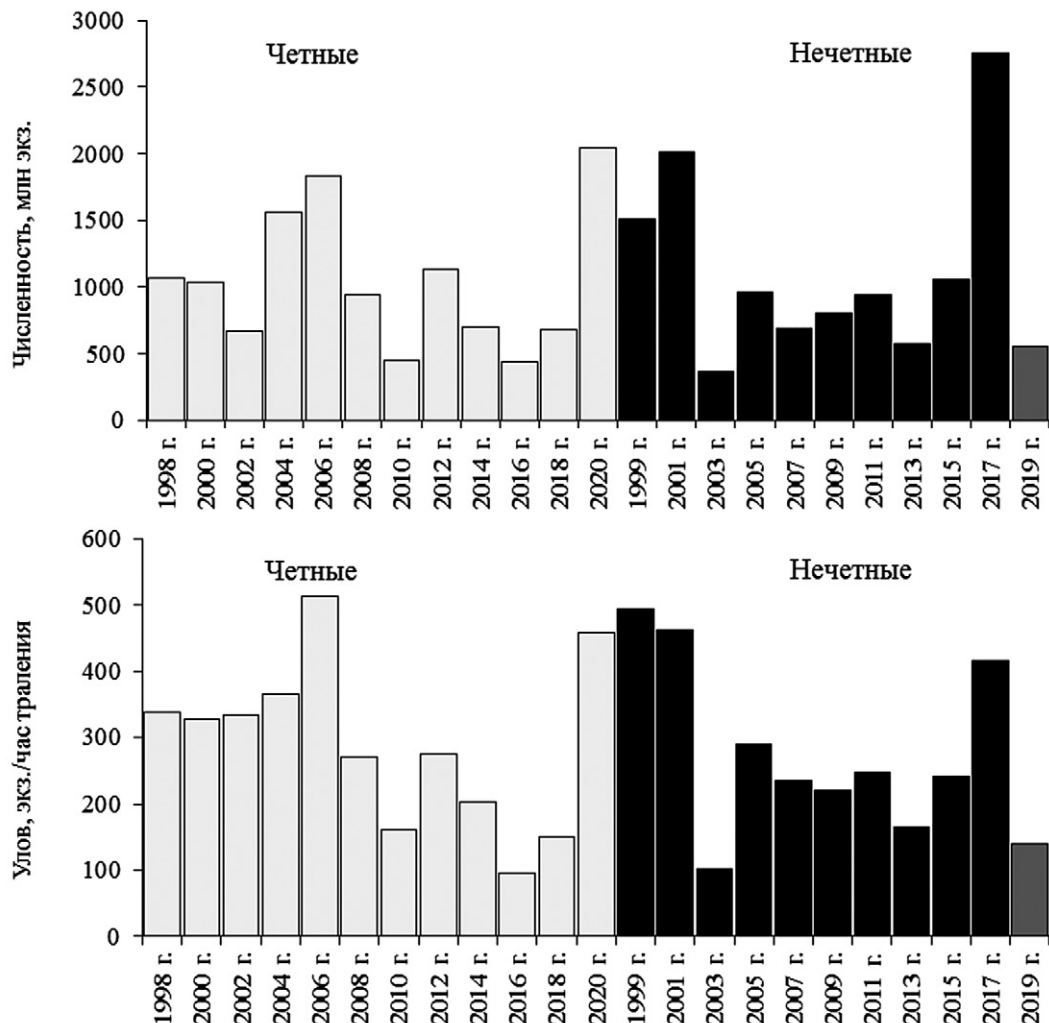


Рис. 5. Численность (млн экз.) и средние значения уловов на усилие (использованы только результативные траления, в экз./час траления) сеголеток горбуши в Охотском море осенью 1998–2020 гг. (Старовойтов и др., 2019, с добавлениями за 2020 г.)

горбуши, вышедшей в открытые воды Охотского моря осенью 2019 г. была ниже численности, учтённой в нечётный 2017 г. (2,7 млрд экз.) и не превышала 1 млрд экз (Старовойтов, 2017; Старовойтов и др., 2019). Общая численность подхода горбуши в охотоморский бассейн ожидалась около 130–140 млн экз., а прогнозируемый объём вылова был определён в 133 тыс. т. Вылов горбуши в охотоморском бассейне в 2020 г. составил 86% от прогнозной величины. При этом, если на Западной-Камчатке (включая Камчатско-Курильскую подзону) вылов превысил прогнозную оценку почти на 39 тыс. т и составил 111 тыс. т, то в Магаданской области, в бассейне р. Амур, на Восточном Сахалине и Южных Курилах он был ниже ожидаемых оценок.

Следует отметить, что после откочевки из прибрежья в глубоководные районы моря молодь горбуши разных охотоморских стад образует смешанные скопления, и до миграций в океан нагуливается при одинаковых условиях. Среднемолодняк за 2007–2019 гг.

удельная биомасса зоопланктона в слое 0–50 м в основных районах осеннего нагула лососей — центральной и южной котловинах, составила 623 и 615 мг/м³ соответственно. Осенью 2019 г. удельная биомасса зоопланктона в этих районах была несколько выше — 800 и 640 мг/м³ (рис. 6).

Рассчитанный запас зоопланктонных ресурсов для всей обследованной акватории осенью 2019 г. оценен в 19 353 тыс. т. В то время как обилие рыб и кальмаров по данным траловых уловов в этот год было невысоким, составляя всего 441 тыс. т (или 0,8 т/км²) (рис. 6). С учетом этих оценок в верхнем слое эпипелагиали всех обследованных районов на одну тонну нектона приходилось 44 т зоопланктона. Для сравнения осенью 2012, 2013 и 2015 гг. данный показатель был на уровне 25–37 т, а в 2010 и 2016 гг. достигал 109 и 90 т соответственно. Осенью 2019 г. нагульная молодь горбуши довольно активно питалась: ИНЖ рыб варьировали от 84 до 307‰. В глубоководной центральной

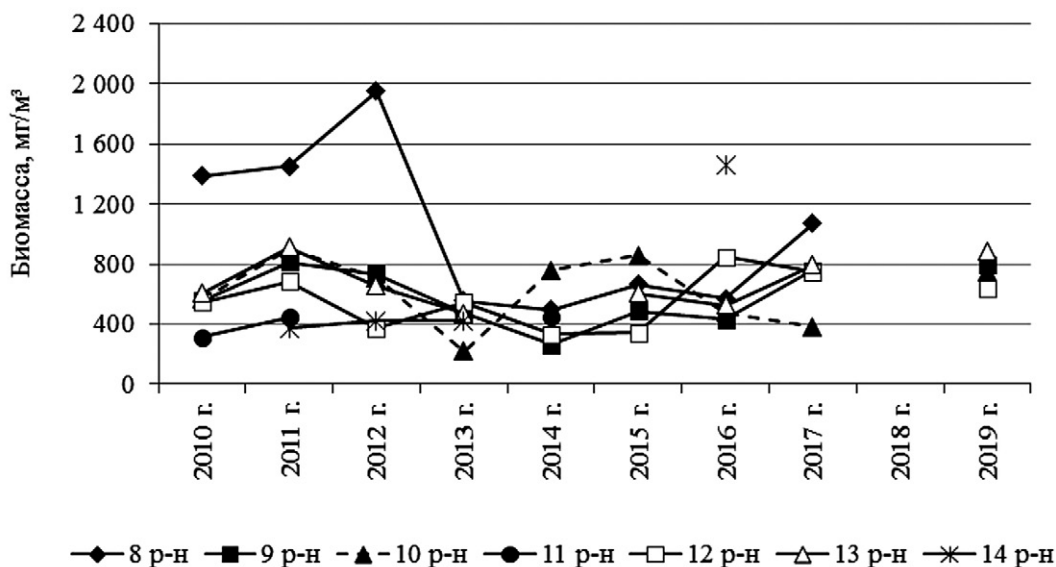


Рис. 6. Динамика удельной биомассы (мг/м³) зоопланктона в слое эпипелагиали 0–50 м разных районов Охотского моря осенью 2010–2019 гг. (8 р-н — югозападнокамчатский район, 9 р-н и 12 р-н — центральная и южная котловины, 10 р-н — восточносахалинский шельф, 13 р-н — среднекурильский район).

котловине, где плотность молоди горбуши была наибольшей, ИНЖ рыб составляли 116‰, а основу питания формировали амфиподы и эвфаузииды — 73 и 14% рациона соответственно. Амфиподы доминировали в пище сеголеток, достигая 78–98% рациона, и в районах восточносахалинского шельфа, южной котловины и прикурильских вод. Узкий пищевой рацион, включающий, главным образом, предпочитаемые кормовые организмы, обычно рассматривается как показатель хорошей обеспеченности рыб пищей.

В тоже время, стоит отметить, что даже при одинаковых благоприятных условиях нагула в осенний период, выживание молоди разных стад зимой в океане может варьировать. Это обусловлено тем, что биоэнергетический потенциал рыб в пресноводный и прибрежный периоды в разных районах формируется при воздействии комплекса различных факторов, что, соответственно, определяет разные стартовые условия молоди для ее миграций в глубоководные районы моря и последующего нагула в океане зимой.

В целом можно заключить, что осенью 2019 г. пищевая обеспеченность молоди горбуши в эпипелагиали Охотского и западной части Берингова морей находилась на уровне среднемноголетних значений и не могла быть фактором, который оказал негативное влияние на формирование численности возврата половозрелых рыб.

*Условия нагула молоди горбуши
в зимне-весенний период в Тихом океане*

Большую часть своей ихтиомассы горбуша наращивает в период зимне-весеннего нагула, успешность которого определяется комплексом абиотических и биотических факторов. Основным местом зимнего обитания охотоморской и японской горбуши, являются воды западной части северной Пацифики. В центральной части зимуют, главным образом западноберингово-морские и восточнокамчатские стада, и лишь небольшая часть западнокамчатской и восточносахалинской горбуши. Этот район также является периферийной нагульной областью для горбуши американских стад, т. к. нагул основной

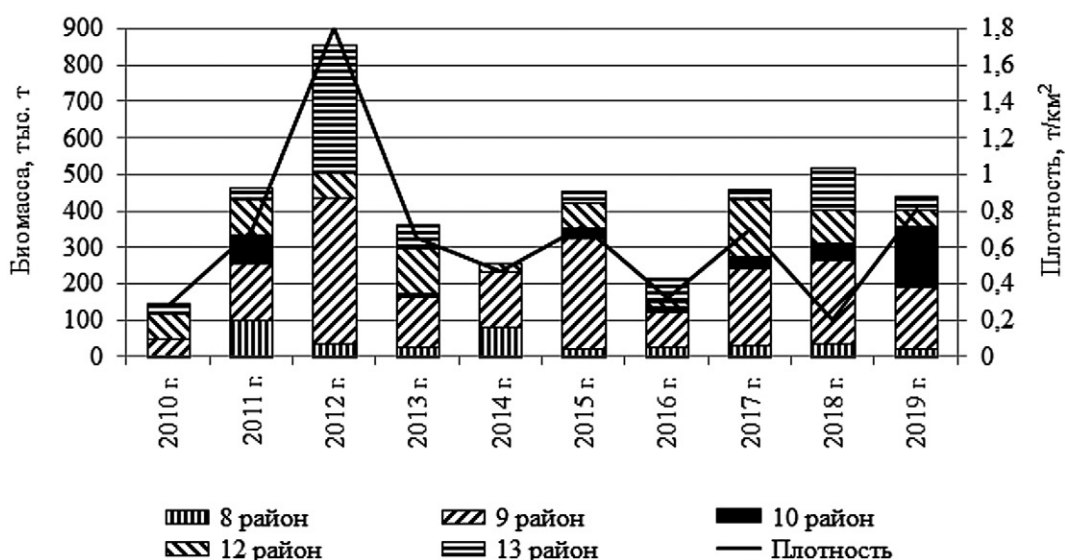


Рис. 7. Динамика биомассы (тыс. т) рыб и кальмаров в верхнем слое эпипелагиали разных районов Охотского моря осенью 2010–2019 гг. (названия районов приведены на рисунке 6).

ее части проходит в восточных районах северной части Тихого океана (СТО) (Takagi et al., 1981; Ogura, 1994; Бирман, 1985; Атлас ..., 2002; Шунтов, Темных, 2008, 2011; The Ocean..., 2018).

В местах нагула горбуши азиатских стад, с 2015 г. отмечали «сжатое» состояние западного круговорота. При данном состоянии наблюдаются сокращение на участке океанской ветви Восточно-Камчатского течения площади субарктических вод берингоморского происхождения и смещение их южной границы на северо-запад, а также высокая интенсивность теплых затоков со стороны ветвей течений Куроисио и Алеутского и положительные аномалии температуры поверхности океана (ТПО). Все это определяет зимы как «мягкие». Насколько «сжатым» было состояние макрокруговорота зимой 2020 г., можно судить по расположению изотерм 3,5 и 8,0 °C на рисунке 8.

Поскольку лососи приурочены к водным массам с определённой вертикальной термохалинной структурой и циркуляционными полями, то при «сжатом»

состоянии и смещении водных масс к северу и северо-западу, распределение лососей российских стад также смещается к северу и северо-западу (Фигуркин, Найдено, 2013).

По конфигурации изотерм в пределах акватории СТО в зимний период (использованы данные только для февраля-марта) 2020 г. не сильно отличался от 2018 и 2019 гг. (рис. 9), когда возвраты горбуши были вполне высокими в линии как чётных, так и нечётных лет.

Исходя из данных ежемесячного анализа NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration — Национальное управление океанических и атмосферных исследований США) параметров водной среды и атмосферы в Тихом океане (NOAA's National Weather Service (NWS): <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>), где обязательно указываются любые отклонения, и, в первую очередь, крупные, в первое полугодие 2020 г. явление Эль-Ниньо было нейтральным и какого-либо воздействия на

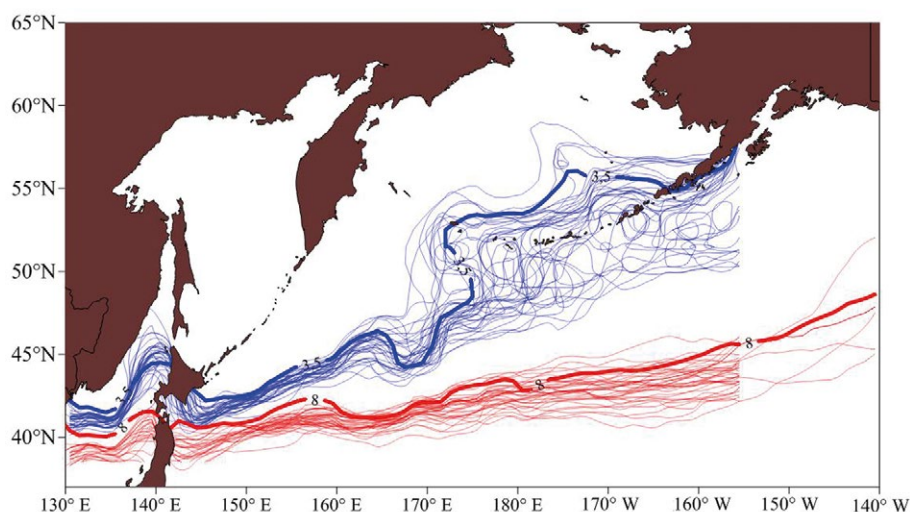


Рис. 8. Положения южной границы субарктических вод (изотерма 3,5 °C — синие линии) и северной границы субтропических вод (изотерма 8 °C — красные линии) в феврале-марте 1982–2020 гг. Жирным выделены изотермы 2020 г. (построено по данным сайта NOAA's National Weather Service (NWS): <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html> о средней температуре поверхности океана в одноградусных квадратах; (Фигуркин, Найдено, 2013, с добавлением данных за 2013–2020 гг.).

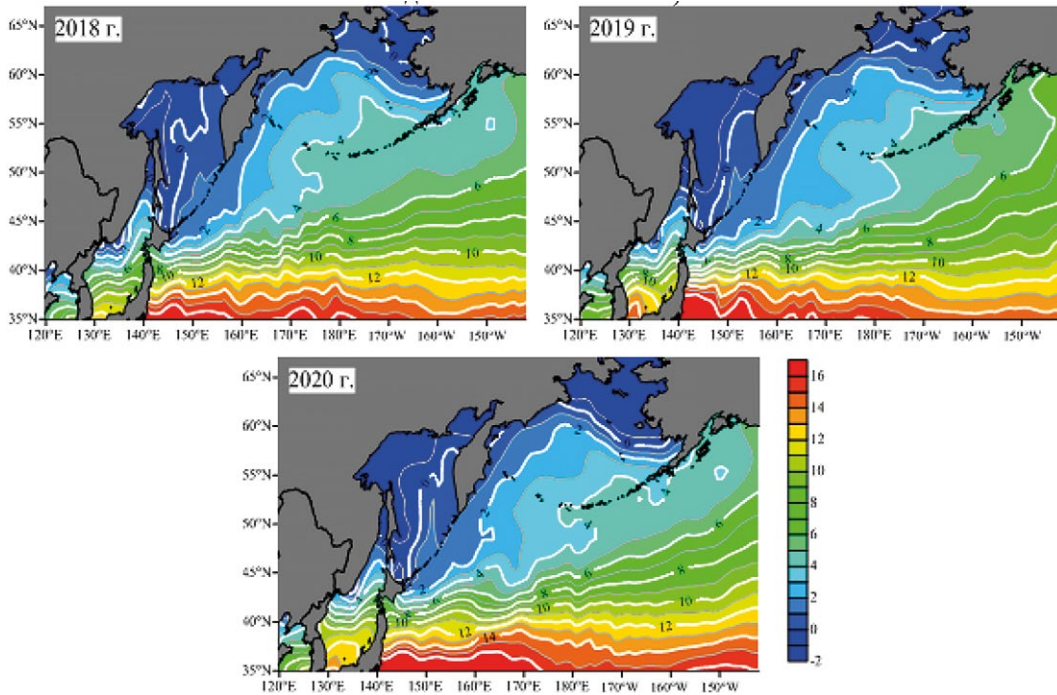


Рис. 9. Распределение температуры поверхности воды (ТПО, °C) в Северной Пацифике в феврале-марте 2018–2020 гг. (построено по данным сайта NOAA's National Weather Service (NWS): <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html> о средней за февраль-март температуре поверхности океана в одноградусных квадратах; (Найденко и др., 2020)

север океана оказать не могло, а индекс PDO (Pacific Decadal Oscillation — Тихоокеанское декадное колебание) был слабо отрицательным, что исключает сильное потепление на севере океана. Только на северо-востоке океана выделялась область положительных аномалий в зал. Аляска, получившая название «Blob 2», в которой аномалия температуры превышала $+3^{\circ}\text{C}$ (NOAA's National Weather Service (NWS): <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>) (первый «Blob» отмечали в 2013–2016 гг. [Bond et al., 2015]). По данным сайта NEAR-GOOS Regional Delayed Mode Data Base: <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro.html>, именно в восточной части СТО четко наблюдался тренд на увеличение температуры поверхности воды зимой и весной. Но при этом, в данном районе область положительных аномалий ТПО в 2020 г. располагалась южнее, чем в 2019 г. (PICES Press: [\[meetings.pices.int/publications/pices-press/volume28/PPJul2020.pdf#page=29\]\(https://meetings.pices.int/publications/pices-press/volume28/PPJul2020.pdf#page=29\)\). Кроме этого, аномалии ТПО зимой 2020 г. были незначительно выше аномалий 2019 г., и ниже значений 2018 г.](https://</p>
</div>
<div data-bbox=)

Вышеприведенные данные свидетельствуют в пользу того, что зимой 2020 г. в Северной Пацифике каких-либо масштабных сдвигов в состоянии климато-океанологической обстановки не произошло. Следует также учесть, что потепление в северном полушарии не наступило «вдруг», а продолжается уже почти 40 лет, что отмечено в большом количестве публикаций (Risbey et. al., 2014; Yao et. al., 2016; Логинов, Лысенко, 2019; Бардин и др., 2020;). С этой точки зрения вряд ли условия только одного 2020 г. стали «вдруг» результатом наблюдаемого потепления. В некоторые годы аномалии температуры относительно нормы были заметно выше или ниже, и они, как правило, раз-

личались по отдельным участкам Северной Пацифики даже в течение одного года. Соответственно влияние климато-океанологических процессов на планктонное население в разных районах такой огромной акватории имело существенные отличия.

По результатам исследований, проведенных в северной части Тихого океана в январе-феврале 2006 г. в рамках программы Беринговоморско-алеутской лососевой международной съёмки (BASIS), а также в феврале-апреле 2009–2011 гг., в планктонных сообществах эпипелагиали среди крупноразмерного планктона повсеместно доминировали копеподы, щетинкочелюстные, эвфаузииды и амфиподы, т. е. группы, составляющие основу зоопланктонной части рациона лососей зимой (Волков, 2006, 2007; Кузнецова, Ефимкин, 2010; Найдено и др., 2010; Кузнецова и др., 2011; Найдено, Темных, 2016). Большое количество опубликованных материалов (Гейнрих, 1961; Гелетин, 1975; Погодин, 1981; Бродский, 1983; Чучукало и др., 1989; Пономарева, 1990; Кузнецова, 1996; Чучукало и др., 1996, 2013; Шебанова, 1997; 2016; Кузнецова, Ефимкин, 2010; Шебанова и др., 2011, 2012; Кузнецова и др., 2011; Miller et al., 1984; Kobari, Ikeda, 1999, 2001; Tsuda et al., 1999; Nagasawa et al., 2001) по экологии зоопланктонных видов, а также данные о количественном их распределении, свидетельствуют о том, что в зимние и весенние месяцы в эпипелагиали идет постоянная смена обилия представителей планктона (разных стадий и размерно-возрастных групп). Это связано с подъёмом половозрелых рачков в верхние слои для размножения, нахождения там младших стадий и молоди или откорма молодых особей. Все эти виды имеют разные экологические характеристики, реализуют свой биотический потенциал при оди-

наковых (или отличающихся) условиях среды по-разному. Поэтому на происходящие изменения среды они будут реагировать в разной степени и однонаправленного снижения или увеличения биомассы всех видов не произойдет. К тому же многие массовые виды зоопланктона проводят часть жизненного цикла на больших глубинах, и в этот период не зависят от температуры поверхности океана, а более теплые и мягкие зимы способствуют растянутым срокам их нереста и нахождения в верхних слоях эпипелагиали, что является благоприятным фактором для формирования условий нагула лососей. Так, в феврале-апреле 2009–2011 гг. на некоторых участках западной и центральной частей СТО в верхней эпипелагиали наблюдали значительные концентрации копепод (более 1000 и до 4600 мг/м³) и эвфаузиид (более 1000 и до 7800 мг/м³). Максимальные биомассы этих рачков отмечались главным образом в темное время суток, но высокое их обилие, особенно копепод, наблюдалось и днем. На таких скоплениях кормовых организмов, по всей видимости, и проходит основной откорм лососей в зимне-весенний период. Например, в центральной части СТО (где зимует главным образом восточнокамчатская горбуша) в феврале-марте 2009 г., на отдельных станциях ИНЖ горбуши были на уровне 300–611‰, а в питании доминировали эвфаузииды, обилие и доступность которых на этих участках были высокими. В западной части СТО (где в основном зимуют охотоморские стада горбуши) в марте-апреле ИНЖ более 300‰ отмечали более часто, но в рационе рыб преобладали копеподы, которые в эти месяцы в эпипелагиали были обильными и в темное, и светлое время суток (Найдено и др., 2010).

Судя по состоянию западного субарктического круговорота, аномалиям

ТПО и положению изотерм, климато-океанологическая ситуация зимой 2020 г. в местах нагула российских стад не сильно отличалась от ситуации 2009–2011 гг. Вышеприведенные факты дают основание предположить, что в 2020 г. в составе планктонных сообществ эпипелагиали западной и центральной частей СТО не произошло структурных изменений, которые могли бы повлиять на пищевую обеспеченность лососей, их выживаемость и численность рыб, возвращающихся к местам нереста. Следует также учитывать, что по данным зимних исследований плотность нектонного населения в северо-западной части Тихого океана не превышает 1,0 т/км² и является низким показателем. При этом в зимние и весенние месяцы на одну тонну нектона приходится от 20 до 100 т планктона, не считая молоди рыб и кальмаров, составляющих весомую часть рациона лососей, что немало важно при оценке кормовых условий лососей в период их нагула в океанских водах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе данных о запасах кормовых ресурсов и степени их использования, составе и величине рационов лососей, информации о климато-океанологических условиях обитания этих рыб в океане, а также экологии, видовом составе и количественном соотношении зоопланктонных видов в зимне-весенний период, сделаны следующие выводы:

- пищевая обеспеченность сеголеток горбуши осенью 2019 г. в западной части Берингова и Охотском морях находилась на среднемноголетнем уровне и не могла стать причиной низких возвратов половозрелых рыб в 2020 г.;
- зимой-весной 2020 г. в северной части Тихого океана не произошло зна-

чительного изменения термического режима вод, которое повлекло бы за собой структурные перестройки зоопланктонных сообществ, снижение обилия массовых зоопланктонных видов, ухудшение пищевой обеспеченности лососей, и, как следствие, снижение их выживаемости.

Здесь вполне уместно отметить, что по оперативным данным на дату 20 октября 2021 г. промысловый вылов горбуши на побережьях восточной и западной Камчатки составил 203,2 и 175,7 тыс. т. Довольно высокие уловы горбуши свидетельствуют о вполне благоприятных условиях нагула и хорошей выживаемости горбуши осенью 2020 г. в пределах Охотского и Берингова морей и в океане в зимне-весенний период 2021 г. Это также подтверждает выводы о том, что катастрофических изменений в экосистеме Северной Пацифики, в частности в районах зимнего нагула азиатских стад лососей, не произошло.

Факт, что горбуша разных стад (в частности, западнокамчатских и североохотомоских), нагуливаясь в одних и тех же местах при одинаковых условиях, имеет разную выживаемость и возвраты, свидетельствует в пользу того, что осенний нагул молоди лососей в море после выхода из прибрежья и океанический в зимне-весенний период, являются важными этапами жизненного цикла лососей, но решающей роли в формировании их численности они не играют. Определяющее воздействие на формирование динамики численности лососей оказывают, прежде всего, условия пресноводного периода (Шунтов, Темных, 2008, 2011; Radchenko et al., 2013). Смертность же в морской и океанический периоды жизни лососей значительно ниже. Условия нагула лососей в океанический период жизни в первую очередь определяют формирование про-

дукционных характеристик этих рыб, нежели сказываются на их смертности.

К сожалению, на сегодняшний день отсутствуют надежная статистика береговых подходов лососей, в том числе горбуши (в силу ограниченности проведения учётных работ в речных бассейнах); регулярный мониторинг условий обитания молоди в пресноводный и прибрежный периоды; ряд данных о биоэнергетических показателях молоди лососей на всех этапах морского периода жизни; дополнительные и надежные экспресс-методы генетической идентификации стад в море; оценки пресса хищников на численность лососей в море. В таких условиях прогнозирование подходов лососей становится трудной задачей. Однако большие массивы данных, уже накопленные в результате экосистемных исследований морского и океанического периодов жизни этих рыб, могут уже сегодня снять некоторые вопросы и должны учитываться при определении пределов численности рыб, возвращающихся на нерест.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций* / под ред. Гриценко О.Ф. М.: Изд-во ВНИРО, 2002. 190 с.
- Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Платова Т.В., и др. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 29–45.
- Бирман И.Б. Морской период жизни и вопросы динамики стада тихоокеанских лососей: монография. М.: Агропромиздат, 1985. 208 с.
- Бродский К.А. Веслоногие ракообразные (Copepoda, Calanoida) морей СССР и со- предельных вод. Т. 1.: монография. Л.: Наука, 1983. 356 с.
- Бугаев А.В., Лепская Е.В., Коваль М.В., и др. Обзор итогов лососевой путины-2020 в Камчатском крае (Сообщение 2): Анализ оправдываемости прогнозов и возможных причин их несоответствия // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2020. С. 141–170.
- Бугаев А.В., Шпигальская Н.Ю., Зикуннова О.В., и др. Аналитический обзор итогов лососевой путины — 2018 (Камчатский край) // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2018. С. 14–40.
- Бугаев А.В., Шпигальская Н.Ю., Зикуннова О.В., и др. Аналитический обзор итогов лососевой путины-2019 (Камчатский край) // Владивосток: ТИНРО-центр, 2019. Бюл. № 14 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 23–52.
- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Сбор мезопланктона батометрами большого объема // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 1983. С. 154–158.
- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана: монография. М.: Наука, 1987. 240 с.
- Волненко И.В. Проблемы количественной оценки обилия рыб по данным траловых съёмов // Изв. ТИНРО. 1998. Т. 124. С. 473–500.
- Волков А.Ф. О методике взятия проб зоопланктона // Изв. ТИНРО. 1996. Т. 119. С. 306–311.
- Волков А.Ф. Планктон и питание лососей в северной части Тихого океана в зимний период 2006 г. (рейс НИС «Кайо-мару», Япония) // Изв. ТИНРО. 2006. Т. 147. С. 265–275.
- Волков А.Ф. Планктон и питание лососей в северной части Тихого океана в весенний период 2006 г. (рейс НИС «Кайо-мару», Япония) // Изв. ТИНРО. 2007. Т. 149. С. 338–351.

Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию нектона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 405–416.

Гейнрих А.К. Сезонные явления в планктоне Мирового океана. 1. Сезонные явления в планктоне средних и высоких широт // Тр. Ин-та Океанологии. 1961. Т. 51. С. 57–81.

Гелетин Ю.В. Летнее распределение поверхностных копепод Calanoida на северо-западе Тихого океана в связи с температурой воды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: ЗИН АН СССР, 1975. 20 с.

Горбатенко К.М., Долганова Н.Т. Сравнительная уловистость различных типов планктонных сетей высокопродуктивных зон Тихого океана. // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 225–232.

Горохов М.Н., Волобуев В.В., Голованов И.С., и др. Лососевая путина — 2020 в Магаданской области // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2020. С. 61–66.

Грезе В.Н., Баландина Э.П., Билева О.К., Макарова Н.П. Эффективность работы орудий лова планктона и оценка реальной численности элементов пелагического биоценоза // Гидробиол. журн. 1975. Т. 11, № 4. С. 108–111.

Ерохин В.Г. Биология молоди тихоокеанских лососей в прикамчатских водах Охотского моря: дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2002. 145 с.

Кузнецова Н.А. Некоторые черты биологии *Euphausia pacifica* в субарктических водах северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. 1996. Т. 119. С. 244–255.

Кузнецова Н.А., Ефимкин А.Я. Характеристика планктонных сообществ в западной части Субарктического фронта Северной Пацифики в зимне-весенний период 2010 г. // Владивосток: ТИНРО-центр, 2010. Бюлл. № 5 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». С. 164–177.

Кузнецова Н.А., Радченко К.В., Овсянников Р.Г. Состояние планктонных сообществ в районе зимовок тихоокеанских лососей в СЗТО в зимне-весенний период 2011 г. // Владивосток: ТИНРО-центр, 2011. Бюл. № 6 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 148–158.

Куликова Е.Б. Сравнительная уловистость нескольких типов планктонных сетей // Тр. Ин-та Океанологии. 1954. Т. 11. С. 233–237.

Логинов В.Ф., Лысенко С.А. Оценка роли Тихого океана в изменениях современного климата // Изв. РАН. Серия географическая. 2019. № 3. С. 3–12.

Макрофауна пелагиали западной части Берингова моря: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1982–2009. видов // Под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-центр, 2012. 480 с.

Макрофауна пелагиали северо-западной части Тихого океана: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1997–2009 / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-центр, 2011. 616 с.

Найденко С.В., Старовойтов А.Н., Куренкова и др. Питание тихоокеанских лососей в зоне Субарктического фронта в зимне-весенний период 2009 г. // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 161. С. 142–161.

Найденко С.В., Темных О.С. Выживаемость тихоокеанских лососей в зимне-весенний период в Северной Пацифике // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 185. С. 67–94.

Найденко С.В., Хен Г.В., Фигуркин А.Л., и др. Условия нагула молоди горбуши в западной части Берингова моря осенью 2019 г. и в океане зимой 2020 г. // Владивосток: ТИНРО-центр, 2020. Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 171–195.

Найденко С.В., Хоружий А.А. Пищевая обеспеченность нектона эпипелагиали прикурильских вод Тихого океана в летние периоды 2000-х гг. // Изв. ТИНРО. 2014. Т. 176. С. 240–260.

Найденко С.В., Хоружий А.А. Трофодинамика нектонных сообществ эпипелагиали северо-западной части Тихого океана в летний и зимний периоды // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 188. С. 181–203

Нектон западной части Берингова моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов // Под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-центр. 2006. 416 с.

Нектон северо-западной части Тихого океана. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-центр, 2005. 544 с.

Нектон северо-западной части Японского моря. Таблицы численности, биомассы и соотношения видов / под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. 226 с.

Погодин А.Г. Нерест эвфаузиид (Euphausiacea, Crustacea) в водах северной части Татарского пролива // Генетика и размножение морских животных. Владивосток, 1981. С. 196–203.

Пономарева Л.А. Биология эвфаузиид Мирового океана: монография. М.: Наука, 1990. 212 с.

Руководство по изучению питания рыб / Сост. А.Ф. Волков, В.И. Чучукало. Владивосток: ТИНРО, 1986. 32 с.

Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / под ред. М.Е. Виноградова: монография. М.: Наука, 1983. 279 с.

Старовойтов А.Н. Траловые оценки численности посткатадромной горбуши в западной части Берингова моря в 2017 г. // Бюл. № 12 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2017. С. 136–138.

Старовойтов А.Н., Сомов А.А., Емелин П.О., и др. Состав сообществ нектона и макропланктона и результаты тралового учета посткатадромной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Беринговом

и Охотском морях осенью 2018 г. // Владивосток: ТИНРО-центр, 2018. Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 163–167.

Старовойтов А.Н., Шейбак А.Ю., Дудков С.П., и др. Новые данные о составе сообществ нектона и макропланктона и результаты тралового учета посткатадромной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Беринговом и Охотском морях осенью 2019 г. // Владивосток: ТИНРО-центр, 2019. Бюл. № 14 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 146–154.

Старовойтов А.Н., Шейбак А.Ю., Канзепарова А.Н., и др. Состав сообществ нектона и макропланктона и результаты тралового учета посткатадромной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Беринговом и Охотском морях осенью 2020 г. // Владивосток: ТИНРО-центр, 2020. Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 196–208.

Темных О.С. Азиатская горбуша в морской период жизни: биология, пространственная дифференциация, место и роль в пелагических сообществах: автореф. дис... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-центр, 2004. 47 с.

Темных О.С. Современный статус тихоокеанских лососей в пелагических экосистемах субарктической Пацифики // Бюл. № 4 реализации «Концепции бассейновой программы изучения лососей» Владивосток: ТИНРО, 2009. С. 235–241.

Темных О.С., Шевляков Е.А., Канзепарова А.Н. Дальневосточная лососевая путина-2019 // Бюл. № 14 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр, 2019. С. 3–22.

Тимонин А.Г. Замыкающие планктонные сети для вертикальных ловов мезопланктона // В кн. Совершенные методы количественной оценки распределения морского планктона. М., 1983. С. 15–172.

Фигуркин А.Л., Найденко С.В. Пространственное распределение горбуши в зоне Су-

барктического фронта в зимне-весенний период // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 174. С. 69–84.

Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях: монография. Владивосток: ТИНРО-центр, 2006. 484 с.

Чучукало В.И., Кузнецова Н.А., Напазков В.В. Сезонное распределение эвфаузиид в Беринговом и Охотском морях и прилегающих водах Тихого океана // Изв. ТИНРО. 1996. Т. 119. С. 256–281.

Чучукало В.И., Федосова Р.А., Кузнецова Н.А. и др. Возрастная структура массовых видов веслоногих рачков эпипелагиали северо-западной части Тихого океана. ТИНРО. Владивосток, 1989. 27 с. Деп. в ВНИЭРХ, № 6(212), № 1002-рх 89.

Чучукало В.И., Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Горбатенко К.М. Жизненные циклы, соматическая продукция эвфаузиид в Охотском море // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 173. С. 164–183.

Шебанова М.А. Закономерности сезонного распределения *Neocalanus plumchrus*, *Neocalanus cristatus* и *Eucalanus bungii* (Copepoda, Calanoida) в эпипелагиали Охотского моря // Изв. ТИНРО. 1997. Т. 122. Р. 342–361.

Шебанова М.А. Продукция копепод в западной части Берингова моря в летне-осенний период // Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием «Морские биологические исследования: достижения и перспективы», приуроченная к 145-летию Севастопольской биологич. Станции. Севастополь: ЭКОСИ, Гидрофизика, 2016. Т. 2. С. 477–480.

Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Чучукало В.И. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Oithona similis* (Copepoda) в Охотском и западной части Берингова морей // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 166. С. 231–243.

Шебанова М.А., Дулепова Е.П., Чучукало В.И. Некоторые черты биологии и продукционные характеристики *Pseudocalanus newmani* (Copepoda) в Охотском и Берин-

говом морях // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 170. С. 163–174.

Шунтов В.П. Новые данные о морском периоде жизни азиатской горбуши // Изв. ТИНРО. 1994. Т. 116. С. 3–41.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1.: монография. Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. 481 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Лососевая путина-2010: снова рекордный вылов, но только для четных лет // Бюл. № 5 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: ТИНРО-центр, 2010. С. 3–11.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 2.: монография. Владивосток: ТИНРО-центр, 2011. 606 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Дальневосточная лососевая путина-2018: абсолютный исторический рекорд, обеспеченный камчатской горбушей // Владивосток: ТИНРО-центр, 2018. Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. С. 3–13.

Шунтов В.П., Темных О.С., Иванов О.А. Об устойчивости стереотипов в представлениях о морской экологии тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp.) // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 188. С. 3–36.

Шунтов В.П., Темных О.С., Куренкова Е.В., Хоружий А.А. К результатам лососевой путины-2008: вылов ниже официального прогноза, но хорошие предпосылки рекордных подходов горбуши 2009 // Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. Бюл. № 3 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». С. 3–11.

Шунтов В.П., Темных О.С., Найдено С.В. Ещё раз о факторах, лимитирующих численность тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp., сем. Salmonidae) в океанический период их жизни // Изв. ТИНРО. 2019. Т. 196. С. 3–22. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-3-22.

Шунтов В.П., Темных О.С., Найдено С.В., и др. К обоснованию экологической ёмкости дальневосточных морей и субарктической северной Пацифики для пастбищного выращивания тихоокеанских лососей. Сообщение 4. Влияние фактора плотности на обеспеченность тихоокеанских лососей пищей и их роль в потреблении кормовой базы нектона // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 161. С. 25–52.

Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and Impacts of the 2014 Warm Anomaly in the NE Pacific // Geophys. Res. Lett. 2015. V. 42, Iss. 9. P. 3414–3420.

Kobari T., Ikeda T. Ontogenetic vertical migration and life cycle of *Neocalanus plumchrus* (Crustacea: Copepoda) in the Oyashio region, with notes on regional variations in body sizes // J. Plankton Res. 2001. V. 23. P. 287–302.

Kobari T., Ikeda T. Vertical distribution, population structure and life of *Neocalanus cristatus* (Crustacea: Copepoda) in the Oyashio region, with notes on its variations // Mar. Biol. 1999. V. 134. P. 683–696.

Miller C.B., Frost B.W., Batchelder H.P. et al. Life history of large grazing copepods in a Subarctic ocean Gyre: *Neocalanus plumchrus*, *Neocalanus cristatus* and *Eucalanus bungii* in the Northeast Pacific // Progr. Oceanogr. 1984. V. 13. P. 201–243.

Nagasawa K., Ontsuka S., Saeki S. et al. Abundance and Insitu feeding habits of *Neocalanus cristatus* (Copepoda: Calanoida) in the central and western North Pacific Ocean in summer and winter // Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. 2001. V. 38. P. 37–52.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) National Weather Service (NWS): <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/GODAS/>.

Naydenko S.V. The feeding habits of the Pacific salmon, their trophic status and role in the North Pacific marine ecosystem // Salmon: biology, nutrition and consumption. Series: Fish, Fishing and Fisheries / Eds. Lacopo P., Riemma M. New York: Nova Sci. Publ. 2010. P. 61–100.

Naydenko S.V., Somov A.A. Seasonal trophodynamics of the upper epipelagic nekton community in the western Bering Sea // J. of Ichthyology. 2019. V. 59 (5). P. 786–804. DOI: 10.1134/S0032945219050096

North-East Asian Regional (NEAR) Global Ocean Observing System (GOOS) Regional Delayed Mode Data Base: <https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro.html>.

Ogura M. Migratory behavior of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the open sea // Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish. 1994. V. 31. P. 1–139.

PICES Press: <https://meetings.pices.int/publications/pices-press/volume28/PPJul2020.pdf#page=29>

Radchenko V.I., Temnykh O.S., Zavolokin A.V. Review of Studies on Asian Juvenile Pacific Salmon Stocks, 2006–2012 // NPAFC Tech. Rep. 2013. V. 9. P. 3–10.

Risbey J.S., Lewandowsky S., Langlais C., Monselesan D.P., O’Kane T.J., Oreskes N. Well-estimated global surface warming in climate projections selected for ENSO // Nat. Climate Change. 2014. V. 4, No. 9. P. 835–840. DOI: 10.1038/nclimate2310.

Takagi K., Aro K.V., Hartt A.C., Dell M.B. Distribution and origin of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in offshore waters of the North Pacific Ocean // INPFC Bull. 1981. V. 40. 195 p.

The Ocean Ecology of pacific salmon and trout / Ed. by R. Beamish. Bethesda (Maryland): American Fisheries Society, 2018. 1147 p. ISBN: 978-1-934874-45-5. 2018.

Tsuda A., Saito H., Kasai H. Life histories of *N. flemingeri* and *N. plumchrus* (Calanoida: Copepoda) in the western subarctic Pacific // Marine Biology. 1999. V. 135. P. 533–544.

Yao S.-L., Huang G., Wu R.-G., Qu X. The global warming hiatus — a natural product of interactions of a secular warming trend and a multi-decadal oscillation // Theor. Appl. Clim. 2016. V. 123, № 1–2. P. 349–360.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**ENVIRONMENTAL SURROUNDING OF PINK SALMON
JUVENILES DURING FALL AND WINTER 2019/2020**

© 2021y. S.V. Naydenko, G.V. Khen, A.L. Figurkin, N.A. Kuznetsova,
A.N. Starovoytov, A.A. Somov, M.A. Shebanova

*Pacific branch Russian Federal Research Institute of the
Fisheries and oceanography, Vladivostok, 690091*

Several significant forecast failures occurred during 2020 pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fishing season in Russia. The major crush was observed for eastern Kamchatka. Precarious harvest was also observed for some Alaskan stocks. This paper represents an opposing representation of environmental and feeding condition during pink salmon offshore migration and wintering in 2019–2020 which were considered as unfavorable according to several authors. A comparison of 2019 prey composition and feeding intensity with long-term data showed that feeding conditions were sufficient. The feeding conditions in the fall of 2019 could not be the reason for the low returns of pink salmon in 2020. Analysis of environmental conditions (configuration of the western subarctic gyre, temperature distribution, position of isotherms, ecology and abundance of zooplankton species) demonstrated no significant difference with previous years. Therefore, in our opinion, the dramatic thermal regime shift during the winter 2020 in the North Pacific which caused structural changes biomass decrease in zooplankton communities and, consequentially, deterioration of the feeding conditions, seems quite doubtful.

Keywords: Pacific salmon, pink salmon, climate change, Pacific Decadal Oscillation, temperature anomaly, zooplankton, food security, Bering Sea, Sea of Okhotsk, Pacific Ocean.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОМЫСЛА ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ Р. АМУР В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ИХ ЧИСЛЕННОСТИ В 2017–2020 ГГ.

© 2021 г. Д.В. Коцюк, Е.В. Подорожнюк, В.И. Островский

*Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии,
г. Хабаровск, 680028
E-mail: dk-fish@mail.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

Представлены данные по вылову тихоокеанских лососей Амура почти за 100-летний период. Констатируется, что до 2017 г. промысел лососей проводился без дополнительных мер регулирования, что было обусловлено ростом численности и стабильным состоянием условий воспроизводства этих видов рыб. Этот факт привел к увеличению количества пользователей ресурса и рыболовных участков. После вспышки 2008–2017 гг. численность амурской летней кеты снизилась до среднемноголетнего уровня, запас осенней кеты также снижается, но более медленными темпами. Описаны меры регулирования промысла тихоокеанских лососей. Выявлена положительная динамика в количестве рыб на нерестилищах и в закладке икры на лососевых рыбоводных заводах, что подтверждает необходимость продолжения ограничений, введенных в последние годы.

Ключевые слова: Хабаровский край, бассейн р. Амур, тихоокеанские лососи, динамика запаса, численность, вылов, меры регулирования промысла.

ВВЕДЕНИЕ

В Хабаровском крае выделяют 3 промысловых района, в которых добывают тихоокеанских лососей: материковое побережье Охотского моря, р. Амур и Амурский лиман, а также подзона Приморье. Бассейн р. Амур является наиболее важным районом, в котором воспроизводятся от 36 до 43% тихоокеанских лососей Хабаровского края. Особое значение Амура обусловлено также историческими, социальными и экологическими условиями.

По данным Н.А. Крюкова (1894) промысел тихоокеанских лососей в р. Амур ведут более 100 лет. И всё это время горбуша, летняя и осенняя кета Амура остаются важнейшими объектами промысла для рыбной промышленности Хабаровского края.

Уловы лососей в Амуре, как относительный показатель состояния запасов, свидетельствуют о высоких продукционных возможностях реки. Естественные нерестилища при условии благоприятности природных факторов обеспечивают возвраты, позволявшие вылавливать до 100 тыс. т горбуши и кеты. В XX–XXI вв. отмечено 2 пика уловов амурских лососей с разницей примерно в 100 лет. Практически с самого начала рыбохозяйственных исследований, Т.М. Борисов (1925) высказывал серьёзные опасения о состоянии запасов летних лососей (горбуши и летней кеты). В отдельные периоды тенденцию снижения численности осенней кеты отмечали И.Б. Бирман (1954) и В.Я. Леванидов (1964). Ими было показано, что колебания численности лососей Амура

носят периодический характер и, в первую очередь, обусловлены изменениями водности бассейна реки. По оценкам Ю.С. Рослого (2002), долговременные изменения водности Амура влияют не только на численность, но и на биологическую структуру популяций.

Снижение уловов тихоокеанских лососей в р. Амур в разные периоды связывали и с антропогенными факторами, в том числе, со значительным прессом промышленного и браконьерского изъятия на различных этапах анадромной миграции. Тем не менее, несмотря на многочисленные заявления экологов, которые слышны и сегодня (URL: <https://www.todaykhv.ru/news/society/24103/>, дата обращения 21.04.2021), уничтожения лососей Амура не произошло, а их видовое и внутривидовое разнообразие со времен первых промышленных уловов не изменилось. Безусловно, антропогенные факторы наряду с биотическими оказывают влияние на состояние запасов тихоокеанских лососей, а в условиях естественного снижения запаса они способны усугублять депрессию численности.

Цель настоящей работы: показать эффективность применяемых мер регулирования промысла тихоокеанских лососей в условиях снижения их запаса в бассейне р. Амур в 2017–2020 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Основой для настоящей работы стали собственные и архивные данные, а также материалы нормативно-правовых актов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. Статистика вылова амурских лососей представлена по архивным данным «ХабаровскНИРО» и по данным, предоставленным Амурским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству. Данные по объёму закладки икры на лососевых рыбоводных

заводах представлены Амурским филиалом ФГБУ «Главрыбвод». Материалами по количеству пропуска производителей на нерестилища и плотностям производителей на нерестилищах являются непосредственные исследования сотрудников «ХабаровскНИРО». Оценка эффективности принятых решений проводилась в рамках теории оптимального управления непрерывными динамическими системами. Расчёты выполнены с помощью языка и среды для статистических вычислений в пакете R (R Core Team, 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальный вылов тихоокеанских лососей в Амуре в 1908–2020 гг. был в 1910–1920-е и в 2010-е гг. Исторические максимумы уловов горбуши отмечены в чётные годы — в 1928 (19,6 тыс. т) и в 2016 (23,1 тыс. т) гг. Поколения горбуши ряда нечётных лет имели значительно меньший уровень численности, а соответственно, и вылова.

Амурская летняя кета продемонстрировала пики уловов в 1907–1920 гг. (максимум 50,5 тыс. т в 1910 г.) и в 2010-е гг. (максимум 16,1 тыс. т в 2012 г.). Динамика вылова амурской осенней кеты, в целом, соответствует таковой для летней кеты. Максимумы уловов осенней кеты были в 1910 (40,2 тыс. т) и в 2015 (29,7 тыс. т) гг. (рис. 1).

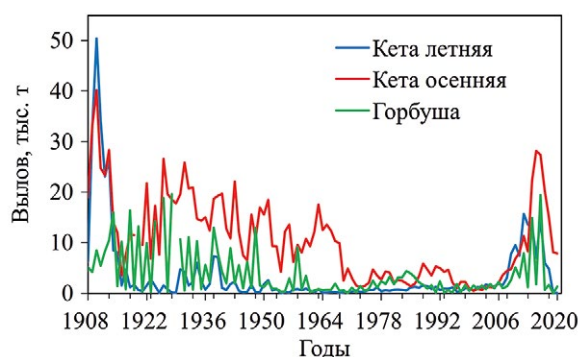


Рис. 1. Динамика вылова тихоокеанских лососей в р. Амур в 1908–2020 гг.

Максимальный вылов тихоокеанских лососей в р. Амур в XXI в. был получен в 2016 г. — 61,5 тыс. т. Ему предшествовало десятилетие поступательного роста численности лососей. Но уже в 2017 г. произошло значительное снижение численности подходов производителей тихоокеанских лососей в р. Амур. В 2018–2020 гг. тенденция на снижение численности сохранилась. Ряд авторов, В.И. Островский и др., (2017), а также Н.В. Колпаков и др., (2019) указывают, что в основе деградации запасов были естественные причины.

Ужесточение мер регулирования промысла тихоокеанских лососей в Амуре было начато в 2017 г. При этом, низкая численность возврата лососей в Амур в 2017 г. была связана с катастрофическим наводнением 2013 г. В тот год гидрологические условия были крайне неблагоприятны промыслу и привели к значительному переполнению нерестилищ. Вместе с тем, экстремально высокий уровень воды, а соответственно и скорость течения, оказали негативное влияние на физиологическое состояние производителей тихоокеанских лососей, которые мигрируют по р. Амур до нерестилищ более чем на 1000 км. Эти явления отрицательно повлияли на нерест и на начальные этапы эмбриогенеза формирующегося поколения. Учитывая, что в последующие годы численность подходов производителей лососей в бассейн р. Амур продолжила снижаться, мы считаем, что паводок 2013 г. был лишь одним из комплекса негативных факторов. Дополнительным фактором был пресс промысла, интенсивность которого достигла своего апогея в середине 2010-х гг. (Колпаков, Коцюк, 2019).

Оценив перспективы рыболовства, отраслевая наука уже в 2017 г. предложила меры регулирования, направленные на снижение пресса промысла.

В первую очередь, в Правилах рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (приказ Минсельхоза России от 23 мая 2019 № 267) был установлен запрет на использование ставных сетей, определены условия постановки плавных сетей и ставных неводов (в том числе, ставных неводов типа «заездок»), регламентирована конструкция орудий лова.

Следующим шагом снижения пресса рыболовства стала Стратегия промысла тихоокеанских лососей в Хабаровском крае, разрабатываемая Хабаровским филиалом «ВНИРО» ежегодно с 2018 по 2020 гг. Она содержит базовые принципы регулирования промысла: сроки начала и запрета рыболовства, места постановки орудий лова, проходные дни (периоды), распределение объёмов вылова. Данные научные рекомендации ежегодно рассматривал и утверждал Дальневосточный научно-промысловый совет (ДВНПС).

Дополнительно устанавливались ограничения рыболовства амурских лососей по статье 26 Федерального закона Российской Федерации от 20.12.2004 № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов». Так, в 2020 г. по 31 декабря был запрещён промышленный лов амурских лососей плавными сетями в р. Амур, а также установлено ограничение длины крыла «заездков» в Амурском лимане в 1500 м и запрещено использование более 1 глаголи у «заездков».

Жёсткие и крайне непопулярные меры имели положительный эффект. Так, уже в 2018 г. по сравнению с 2016 г. количество используемых на промысле стационарных орудий лова снизилось более чем в 2 раза. В 2019 и 2020 гг. их количество снизили еще в 2 раза (Колпаков, Коцюк, 2019). Кроме того сократилось количество сетей на лове. Отме-

тим, что сети в р. Амур были основным орудием лова, формировавшим в среднем 2/3 вылова тихоокеанских лососей. Более того, их широкое использование приводило к формированию практически сплошной промысловой зоны от устья р. Амур до г. Хабаровск.

В результате предпринятых мер существенно расширилась область распространения производителей тихоокеанских лососей в бассейне р. Амур. В р. Амур горбуша и летняя кета поднимались до с. Бельго, а отнерестовавшие производители были отмечены в бассейне рек Анюй, озер Кади, Кизи, Удыль. Заходы осенней кеты отмечены в р. Архара (Амурская область, Средний Амур) и верхнем течении р. Бикин (Приморский край). По р. Амгунь горбуша поднялась на 400 км до р. Омал (бассейн р. Нимелен).

Увеличилось заполнение нерестилищ в бассейне р. Амур. Так, общая численность производителей горбуши к 2020 г. выросла до 2,4 млн. рыб (около 60% оптимума), летней кеты — до 2,0 млн рыб (более 96% оптимума), а численность производителей осенней кеты в 2019 и 2020 гг. превысила оптимум на 47 и 9%, соответственно.

Рост заполнения нерестилищ прослеживался по увеличению плотности рыб и нерестовых бугров на нерестилищах, что особенно показательно в отношении осенней кеты. Так, в бассейне р. Амгунь средние плотности рыб на нерестилищах увеличились в 2,2 раза (на отдельных участках насчитывали до 60 экз./100 м²), в реках Уссури и Анюй — в 5 и в 12 раз, соответственно.

С ростом количества прошедших на нерест производителей, увеличились объёмы закладки икры осенней кеты на лососевые рыболовные заводы (ЛРЗ) Амурского филиала ФГБУ «Главрыбвод» с 38,0 до 80,7 млн икринок. Более того, в 2020 г. впервые за последние 4 года был перевыполнен государственный план по закладке икры (таблица, рис. 2).

Отметим, что динамика сбора икры на ЛРЗ демонстрирует тенденцию снижения численности осенней кеты в верхних притоках р. Амур (рек Гур и Анюй) и увеличение численности осенней кеты в р. Амгунь. Так, объём икры осенней кеты, собранной на Удинском ЛРЗ в 2016–2020 гг., увеличился с 16,5 до 51,5 млн икринок, а вот суммарные сборы икры осенней кеты на Гурском и Анюйском ЛРЗ постепен-

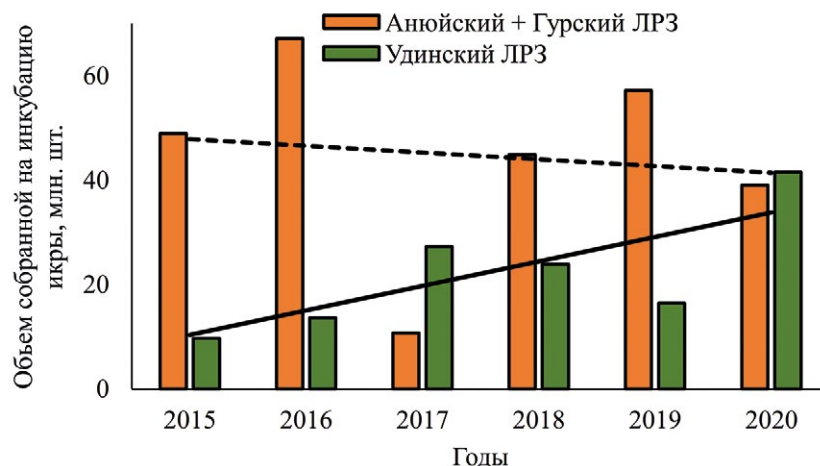


Рис. 2. Динамика закладки икры на лососевых рыболовных заводах в бассейне р. Амур в 2015–2020 гг.

Таблица. Динамика пропуска тихоокеанских лососей на нерестилища, плотностей производителей на нерестилищах и закладки икры на лососевых рыбоводных заводах в бассейне р. Амур в 2017–2020 гг.

Год/ вид	Пропуск в реку на нерестили- ща, млн рыб	Оптимум заполнения нерести- лищ, млн рыб	Заполне- ние от оп- тимума, %	Плотность рыб на не- рестилищах в реках, экз./100 м²			Заклад- ка икры на ЛРЗ, млн икринок	Выполне- ние плана по заклад- ке икры на инкуба- цию, %
				Амгунь	Анжуй	Уссури		
Горбуша								
2018	2,3	≈4,0	57,5	3,0				
2020	2,4	≈4,0	60,0	3,2				
Кета летняя								
2017	<0,500	2,0	25,0	0				
2018	0,557	1,9	29,3	0,6				
2019	1,401	1,8	77,8	-				
2020	1,927	2,0	96,4	1,1				
Кета осенняя								
2017	<2,500	4,0	62,5	19,0	0,2	0,6	38,0	42,5
2018	3,900	4,0	97,5	17,0	2,0	0,15	68,8	77,0
2019	4,551	3,1	146,8	19,5	10,0	1,5	73,6	97,2
2020	4,562	4,2	108,6	22,0	12,0	1,8	80,7	129,0

но снизились с 49,0 до 39,1 млн икринок (рис. 2). Не исключено, что эта тенденция сохранится и в 2021 г.

Полагаем, что положительная динамика в количестве рыб на нерестилищах, общего пропуска производителей

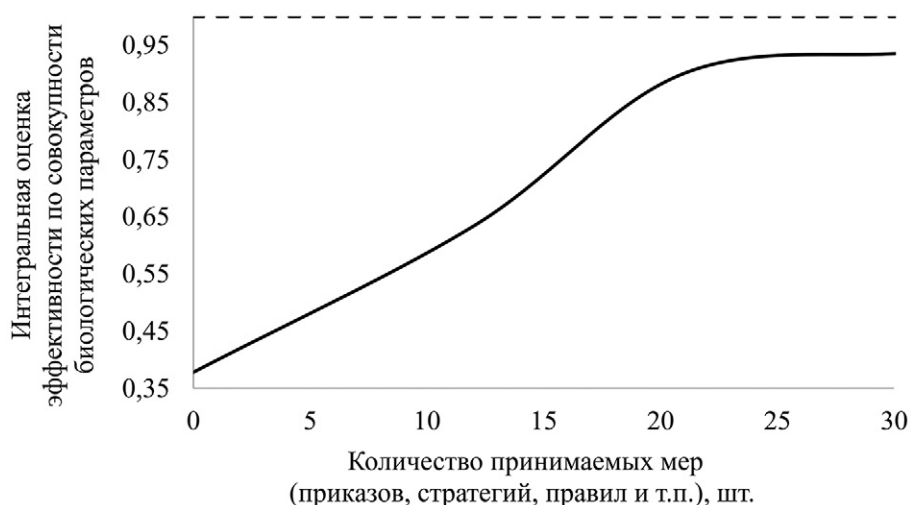


Рис. 3. Интегральная оценка эффективности введенных мер ограничения на промысле тихоокеанских лососей в бассейне р. Амур в 2018–2020 гг. по совокупности биологических параметров.

в реку и увеличение количества заложенной на инкубацию икры подтверждают правильность принятых мер регулирования промысла тихоокеанских лососей в бассейне р. Амур. В качестве дополнительного ограничения предлагается ограничить район добычи осенней кеты.

Анализ принимаемых мер регулирования промысла, проведенный, по интегральной оценке, показал положительную корреляцию между принимаемыми мерами и состоянием запаса тихоокеанских лососей в бассейне р. Амур (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Своевременное принятие мер регулирования промысла позволило сдерживать падение запасов амурских лососей и стабилизировать их на среднемноголетнем уровне для начала XXI в. Вместе с тем, для обеспечения расширенного воспроизводства амурских лососей в условиях неоднозначности развития климатической обстановки необходимо сохранить и возможно расширить комплекс выработанных мер регулирования на ближайшие 2–3 года для формирования 1–2 высокоурожайных поколений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бирман И.Б. Динамика численности и современное состояние запасов кеты и горбуши в бассейне Амура // Тр. совещ. по вопр. лососевого хоз-ва Дальнего Востока. М.: Изд. АН СССР, 1954. С. 22–37.

Борисов Т.М. К рыболовному сезону 1924 г. на реке Амуре (Факты и толки) // Бюл. рыб. хоз-ва. 1925. № 1–2. С. 8–11.

Колпаков Н.В., Коцюк Д.В. Кризисы рыболовства в бассейне реки Амур. Количественный анализ фонда рыбопромысловых участков // Владивосток: ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»). Бюл. № 14 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2019. С. 93–105.

Колпаков Н.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В., Островский В.И. Итоги лососевой путины в Хабаровском крае в 2019 г. // Владивосток: ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»). Бюл. № 14 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2019. С. 53–64.

Крюков Н.А. Некоторые данные о положении рыболовства в приамурском крае. Санкт-Петербург: Типография императорской академии наук, 1894. 87 с.

Леванидов В.Я. О связи между плотностью заполнения нерестилищ и эффективностью нереста амурских лососей // Изв. ТИНРО. 1964. Т. 55. С. 65–73.

Островский В.И., Коцюк Д.В., Миронова Т.Н. и др. Итоги лососевой путины в Хабаровском крае в 2017 г. // Владивосток: «ТИНРО-Центр». Бюл. № 12 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2017. С. 46–54.

Рослый Ю.С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура: монография. Хабаровск, 2002. 210 с.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from: <https://www.R-project.org/> Accessed 2016.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**REGULATION OF FISHING FOR PACIFIC AMUR SALMON IN
CONDITIONS OF THEIR DECLINING NUMBERS IN 2017–2020**

© 2021 г. D.V. Kotsyuk, E.V. Podorozhnyuk, V.I. Ostrovsky

*Khabarovsk branch Russian Federal Research Institute of the
Fisheries and Oceanography, Khabarovsk, 680028*

The analysis of Pacific salmon stock dynamics in the Amur River for an almost 100-year period was conducted. Until 2017, a salmon fishery was produced without additional regulation measures that was explained by an increase in number and a stable state of reproduction conditions of these species. This fact has led to an increase in the number of fishing companies and fishing areas, and aggravated IUU fishing. At present, the abundance of the Amur summer chum salmon after the outbreak of 2008–2018 fell to the average long-term level, the stock of autumn chum salmon is also declining, but at a slower pace. The article describes fishery regulation measures and the restrictions launched in 2018–2020. A positive dynamic was revealed in the number of fishes in spawning grounds and in laying eggs in salmon hatcheries. It confirms efficiency of the restrictions introduced in recent years.

Key words: Khabarovsk territory, the Amur River basin, pacific salmons, stock dynamics, abundance, catch, fishery regulation measures.

ОЦЕНКА ПРИЁМНОЙ ЁМКОСТИ ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ АКВАТОРИИ ЗАЛ. АНИВА И ЮГО-ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА (ОХОТСКОЕ МОРЕ) ДЛЯ МОЛОДИ КЕТЫ И ГОРБУШИ

© 2021 г. В.С. Лабай, Г.В. Шевченко, И.А. Атаманова, Д.С. Заварзин,
О.Н. Мухаметова, Н.К. Заварзина, А.А. Живогляд, Т.С. Шпилько, Е.С. Корнеев

Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО),
г. Южно-Сахалинск, 693023,
E-mail: v.labaj@yandex.ru

Поступила 23.08.2021 г.

По результатам исследований у юго-восточного Сахалина и в зал. Анива в 2017–2020 гг. описана гидрологическая характеристика морского побережья на четырех участках: 1) северная часть зал. Анива — бух. Лососей, 2) юго-восточная часть зал. Анива, 3) скалисто-каменистое побережье юго-восточного Сахалина, 4) открытое песчаное побережье юго-восточного Сахалина. Проанализирована поэтапная (со второй декады мая по первую декаду июля) изменчивость структуры и продукционных показателей зоосестона. Рассмотрена изменчивость прибрежной ихтиофауны и питание рыб-планктофагов. В результате исследований произведен расчёт приёмной ёмкости для покатников тихоокеанских лососей (горбуша и кета). В северной части зал. Анива (участок 1) приёмная ёмкость для покатников кеты оценена на уровне 335 млн шт., для покатников горбуши — 426 млн шт. В юго-восточной части зал. Анива для покатников кеты — 78,3 млн шт., для покатников горбуши — 398,3 млн шт. На участке 3 над глубинами 0–3 м приёмная ёмкость для покатников кеты составляет около 138,7 млн шт., для покатников горбуши — около 129,2 млн шт. На участке 4 над глубинами 0–3 м — около 18,2 млн покатников кеты и около 67,2 млн покатников горбуши.

Ключевые слова: кета *Oncorhynchus keta*, горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, приёмная ёмкость, гидрология, зоосестон, ихтиофауна, планктофаг

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значительный интерес учёных вызывает изучение водных экосистем с точки зрения оценки их ёмкости среды. Это позволяет перейти к практическим аспектам: описать значимость того или иного водоема для перспектив промыслового рыболовства, товарно-восстановительного рыбобоводства и спортивно-любительского рыболовства. Основу аквакультуры на о. Сахалин составляют лососёвые рыбо-разводные заводы. Общий объём выпуска покатников тихоокеанских лососей не должен превышать ёмкости среды,

в связи с чем, остро встает вопрос изучения кормовой базы молоди тихоокеанских лососей в морском побережье. Проведённый в 2017–2020 гг. на различных участках морского побережья зал. Анива и юго-восточного Сахалина мониторинг гидрологических условий, сообществ планктона и ихтиофауны позволил накопить достаточный объём данных для оценки приёмной ёмкости среды для молоди тихоокеанских лососей.

Цель работы — оценить приёмную ёмкость среды для молоди тихоокеанских лососей (горбуша *Oncorhynchus*

gorbuscha и кета *O. keta*) в морском побережье юго-восточного Сахалина и в зал. Анива на основе сезонных комплексных съёмок, выполненных в 2017–2020 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на однородных участках побережья (0–20

м) вблизи впадения устьев рек, являющихся базовыми действующими или строящимися лососевых рыборазводных заводов в 2017–2020 гг. Участок 1 относится к открытому песчаному побережью зал. Анива (бух. Лососей) у впадения р. Таранай (площадь 200,8 км²). Участок 2 (у впадения р. Островка — 91,1 км²) характерен для скалистого побережья зал.

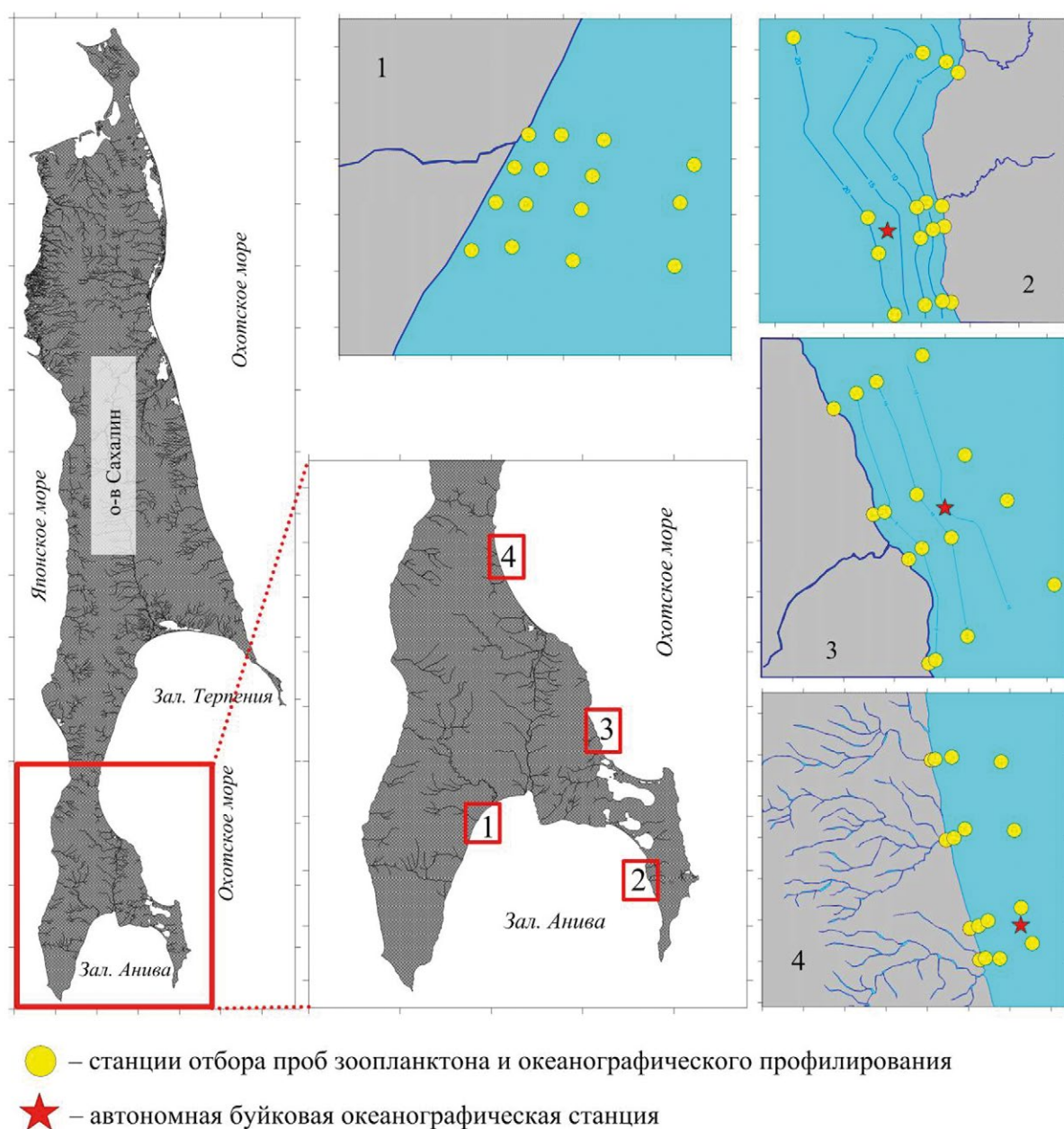


Рис. 1. Карта-схема района исследований. Участки: 1) зал. Анива у впадения р. Таранай, 2) зал. Анива у впадения р. Островка, 3) юго-восточный Сахалин у впадения р. Долинка, 4) юго-восточный Сахалин у впадения р. Дудинка.

Анива с выраженной сублиторальной ванной, отделенной от моря прерывистой рифовой грядой. Участок 3 (у впадения р. Долинка — 167,9 км²) относится к скалисто-каменистому побережью юго-восточного Сахалина с выраженной сублиторальной ванной. Участок 4 (у впадения р. Дудинка — 148,3 км²) является типичным для открытого песчаного побережья юго-восточного Сахалина с выраженным вдольбереговым валом песчаных наносов (рис. 1).

Для учета динамики ихтиофауны и в связи со сроком нахождения молоди лососей в побережье, составляющем 10–14 дней (Карпенко и др., 2013, данные авторов), расчеты разбиты на три этапа: 1-й — вторая половина мая, 2-й — первая половина июня, 3-й — вторая половина июня — июль.

Исследования среды обитания, кормовой базы и питания рыб-планктофагов проводили с мая по начало июля ежедекадно с борта моторной лодки на двух разрезах по обе стороны от устья базовой реки. На станциях, приуроченных к урезу воды и изобатам 5, 10 и 20 м отбирали пробы зоо- и ихтиопланктона, зондом YSI-85 выполняли вертикальное профилирование водной толщи с вертикальным интервалом 1 м для измерения температуры (°C) и солёности воды (psu), а также концентрации в воде рас-

творенного кислорода (мл/дм³). На участках 2, 3 и 4 для изучения гидрофизических процессов выставляли автономную буйковую станцию (АБС) в притопленном варианте, которая в том числе включала в себя акустический доплеровский измеритель течений SonTek.

Один раз весной (май) и один раз летом (июль) в 2018–2020 гг. для уточнения состава и показателей обилия зоосестона съёмки выполняли на четырех разрезах, согласно схеме (рис. 1). Общее количество отобранных проб и проведённых измерений показано в таблице 1.

Во второй половине мая, первой и второй половинах июня в 2018–2020 гг. выполняли ихтиологические съёмки для учета численности и биомассы рыб и отбора проб на питание рыб.

Оценка биомассы ихтиофауны приведена по данным обловов малым (мальковым) закидным неводом длиной 12 м, ваерами — 30 м, высотой стенки — 5 м, ячейей — 5×5 мм. Расчёт удельной численности (N , экз./м²) и биомассы (B , г/м²) рыб каждого вида проводили с учётом облавливаемой площади ($S = a \times b$, где a — длина невода, b — длина ваера). Коэффициент уловистости закидных неводов приняли равным 0,5 (Карпенко и др., 1997). Дополнительно мальковой волокушей длиной 10 м, с ячейей в крыльях 5×5 мм, в кутце — 3×3 мм

Таблица 1. Объём собранных данных

Год	Участок	Гидрологическая съёмка, профилей	Зоопланктон, проб	Ихтиопланктон, проб	Ихтиофауна, ловов
2017*	1	16 (измерения проводились только на 4-х станциях)	45	–	27
2018	2	41	41	55	30
2019*	3	72	72	72	89
2020	4	56	56	56	33

Примечание: * Исследования проводились только по 4-м декадам.

производили отбор молоди кеты и горбуши. Данные обловов закидным неводом и мальковой волокушей суммировались.

Пробы зоосестона и ихтиопланктона отбирали методом тотального облова; зоосестон — планктонной сетью БСД-37, ихтиопланктон — планктонной сетью ИКС-50 (Расс, 1966; Рекомендации..., 1987; Волков, 2008). Поскольку существенную роль в питании рыб-планктофагов в прибрежье играют донные организмы, поднимающиеся в пелагиаль в результате вертикальных миграций и волнового перемешивания, для целей настоящей работы учитывались все животные, попадавшие в планктонную сеть, как планктонные, так и прочие, т. е. весь зоосестон. Близ уреза воды пробы зоосестона и ихтиопланктона отбирали фильтрацией через планктонную сеть 100 л воды.

Продукцию зоосестона (P) приближенно оценивали физиологическим методом через уравнение дыхания (Алимов, 1989):

$$R = aW^b,$$

где W — средняя масса особи в популяции (г); R — скорость потребления кислорода ($\text{мгO}_2/\text{ч}\cdot\text{г}$); b — показатель степени; a — коэффициент интенсивности дыхания ($\text{мгO}_2/\text{ч}\cdot\text{г}$).

Полученную величину умножали на 24. Для перевода единиц кислорода и массы в единицы энергии использовали переходные коэффициенты: 3,48 ккал/ гO_2 , 3,15 $\text{мгO}_2/\text{мгC}$, 44,77 Дж/ мгC (Алимов, 1989).

Продукция (P) приближенно оценивалась:

$$P = R(K_2 / (1 - K_2)),$$

где K_2 — коэффициент утилизации пищи на рост (Алимов, 1989, Методические ..., 1984). Значение K_2 для ветвисто-

усых рачков равно 0,3–0,4, а для веслоногих раков, в зависимости от продолжительности развития, — 0,1–0,3 (Методические ..., 1984). Для всех остальных организмов брали среднюю величину — 0,26 (Алимов, 1989, Методические ..., 1984).

Продукцию биоценоза (P_6) рассчитывали по равенству (Алимов, 1989):

$$P_6 = P_m + P_x - C_x,$$

где P_m — суммарная продукция популяций мирных животных; P_x — суммарная продукция популяций хищников; C_x — суммарный рацион популяций хищников.

Приёмная ёмкость водного объекта для целей искусственного воспроизводства или пастбищной аквакультуры оценивается путем сопоставления экологической ёмкости водного объекта, количества молоди данного вида, фактически обитающего в нём и количества обитающих видов водных биоресурсов со сходными экологическими потребностями.

На основании сведений, полученных в ходе реализации комплексной ихтиологической и планктонных съёмок, рассчитывается биомасса кормовых организмов для водного объекта по формуле:

$$B_{\text{сест.общ.}} = \frac{B_{\text{сест.сп.}} \times S}{1000},$$

где: $B_{\text{сест.общ.}}$ — общая биомасса организмов пелагиали, пригодных в пищу объекту искусственного воспроизводства или пастбищной аквакультуры, кг, ккал; $B_{\text{сест.сп.}}$ — средняя биомасса организмов пелагиали, пригодных в пищу объекту искусственного воспроизводства или пастбищной аквакультуры, $\text{г}/\text{м}^2$, ккал/ м^2 ; S — площадь биотов в водном объекте, на которых определяется биомасса организмов пелагиали, м^2 ; 1000 — множитель для перевода граммов в килограммы, калорий в килокалории.

На основании полученных сведений, рассчитывается величина продукции кормовых организмов сестона, изымаемая обитающими в водном объекте видами водных биоресурсов, по формуле:

$$P_{\text{изъят.}} = \sum N_i \times m_{\text{ср.}i} \times R_i,$$

где: $P_{\text{изъят.}}$ — величина продукции пелагических кормовых организмов, изымаемая обитающими в водном объекте видами водных биоресурсов; Σ — показатель суммирования величин по отдельным видам водных биоресурсов; N_i — численность каждого из обитающих в данном водном объекте вида водных биоресурсов, экз.; $m_{\text{ср.}i}$ — средняя масса особи каждого из обитающих в данном водном объекте вида водных биоресурсов; R_i — рацион каждого из обитающих в данном водном объекте вида водных биоресурсов, % от массы тела; произведение двух последних величин можно заменить абсолютным средним рационом на одну особь $R_{\text{а.}}$, кг, ккал.

Вычитая из величины продукции кормовых организмов сестона величину возможного изъятия продукции, определяют резерв продукции организмов сестона по формуле:

$$P_{\text{сест.рез.}} = P_{\text{сест.общ.}} - P_{\text{изъят.}}$$

где $P_{\text{сест.рез.}}$ — резерв продукции организмов сестона.

Далее рассчитывается возможная биомасса объекта искусственного разведения, обеспеченная резервом продукции кормовых организмов сестона, по формуле:

$$P_{\text{объекта}} = \frac{P_{\text{сест.рез.}}}{k_2},$$

где: $P_{\text{объекта}}$ — биомасса объекта искусственного воспроизводства или пастбищной аквакультуры, обеспеченная резервом продукции кормовых организмов сестона; k_2 — кормовой коэффициент (коэффициент использования

ассимилированной пищи на рост), безразмерная величина. Для целей настоящей работы использована величина $k_2 = 2,5$ (Леванидов, 1969; Методика ..., 2011).

Плотность молоди лососей в прибрежье рассчитана, исходя из максимального ската за весь период наблюдений, как частное от совокупного ската к общей площади прибрежной зоны для каждого конкретного участка. Пополнение молоди может происходить также за счёт миграции с соседних участков прибрежья. В данной работе, в качестве допущения, принимается «обнуление» этой части пополнения, т. к. обмен молодью между участками принимается равноценным при общей незначительной протяженности границ участков (до 2 км) при значительной протяженности участков — 50–100 км.

Изучение содержимого пищеварительных трактов рыб проводили по принятым методикам (Методическое..., 1974). Суточные рационы рыб в пределах изобат 0–3 м рассчитывались по методике, разработанной Чучукало и Напазаквым (1999):

$$C_n = F_n \times t_n,$$

где $F_n = 1 / t_n \times \int_0^n f_F(t) \times dt$ — средняя по времени скорость потребления корма; $D_x = 16W^{0,18}y_m^{0,6}\tau$ — время переваривания 90 % пищи; $y_m = m_p/W$, где m_p — начальная масса пищи, W — масса рыбы; $\tau = 10^{0,035(\Theta_0 - \Theta)}$ — температурная поправка.

Общее количество собранных проб (желудков) на питание рыб показано в таблице 2.

Для предупреждения ошибок, связанных с тем, что энергетическая ценность различных кормовых объектов может существенно различаться по видам и группам при расчете приёмной ёмкости через единицы массы (Борисов и др., 2004), все расчёты производили

Таблица 2. Количество обработанных желудков на питание рыб

Период	Участок	Количество желудков	
		Молодь лососей р. <i>Oncorhynchus</i>	Прочие рыбы
2017	1	382	–
2018	2	180	134
2019	3	136	221
2020	4	42	263

в энергетическом эквиваленте массы — через калорийность, выраженную в калориях на единицу сырой массы.

Сопряженность гидрологических данных оценивали с помощью линейной корреляции Пирсона (Орлов, 2006).

Метеоданные взяты с сайта <https://rp5.ru/>.

Расчёт приёмной ёмкости производили по толщине слоя воды комфортного по температуре для молоди лососей (выше 5–6 °С) (Шунтов, Темных, 2008).

**Рис. 2.** Вдольбереговые мелководные зоны на участках 3 и 4.

Для участков 3 и 4 использован принцип «бутылочного горлышка», где общая приёмная ёмкость лимитирована пропускной способностью отделенного рифами или вдольбереговыми валами мелководного участка с глубиной до 3 м (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидрологическая характеристика. Наиболее важной особенностью гидрологических условий, выявленной при анализе данных наблюдений на АБС, были периодические резкие понижения температуры морской воды в прибрежных акваториях вплоть до отрицательных значений, что характерно для изучаемого района (Шевченко, Кирил-

лов, 2017). Солёность воды изменялась в противофазе с температурой ($R = \text{минус } 0,85$), что типично для акваторий, в которых, в зависимости от направления действующих ветров, развиваются явления апвеллинга и даунвеллинга.

В районе устья р. Островка (участок 2) резкие понижения температуры (рис. 3) происходили при отжимных ветрах северо-восточного и близких к нему румбов, которые весной и летом 2018 г. достаточно часто наблюдались над изучаемым районом, несмотря на то, что в тёплый период года обычно преобладают ветра южного — юго-западного румбов (летний муссон). Одно из наиболее значительных понижений температуры воды было отмечено 7–9 июня.

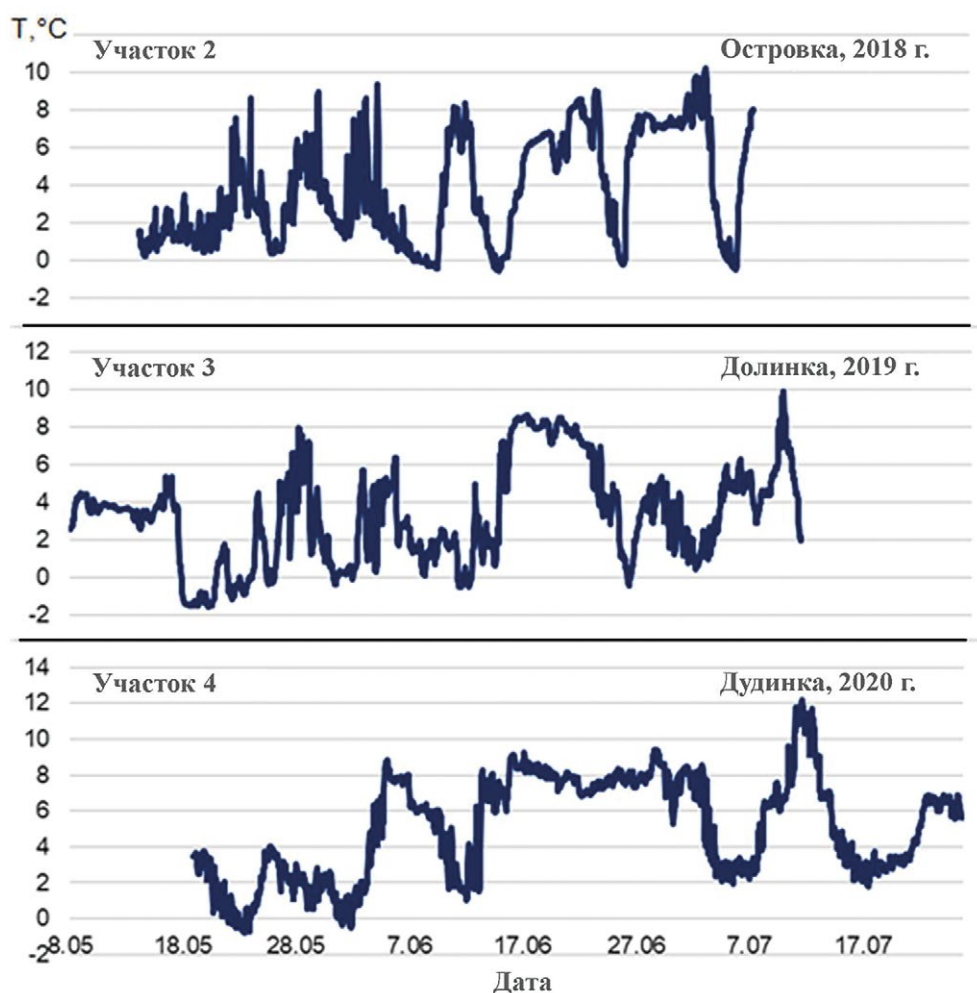


Рис. 3. Динамика температуры морской воды по измерениям на АБС.

В этот период вода поверхностного слоя, уже прогревшаяся до 11–12 °С, была оттеснена в направлении открытого моря, а вблизи берега температура воды опустилась до 4–5 °С, что было обусловлено действием в течение нескольких суток устойчивого северо-восточного ветра со скоростью 4–5 м/с.

У юго-восточного побережья Сахалина отжимной характер имеют ветра юго-западного и южного румбов (Шевченко, Кириллов, 2017). В районе устья р. Долинка (участок 3) наиболее значительное понижение температуры до –1,5 °С было зафиксировано с 18 по 21 мая 2019 г. на глубине около 17 м (рис. 3). Аналогичная картина была выявлена на данном участке взморья по результатам гидрологической съемки 27 июня — в прибрежной части даже у поверхности температура воды снизилась примерно на 8–9 °С по сравнению с предшествующей съемкой 19 июня. При этом прогретый слой стал существенно тоньше, а более теплая вода была оттеснена в направлении открытого моря. Такое выраженное проявление апвеллинга было обусловлено действием в течение нескольких суток достаточно сильного (7–9 м/с) юго-западного ветра.

В районе устья р. Дудинка (участок 4) весной и летом 2020 г. наблюдали аналогичную картину с резкими снижениями температуры морской воды при отжимных ветрах (рис. 3). Подобные ситуации являются важным фактором риска для жизнедеятельности молоди лососевых рыб в ранний морской период жизни.

Еще одним важным результатом океанологических исследований была оценка направления прибрежных течений. На акватории, прилегающей к устьям рек Дудинка и Долинка (участки 3 и 4), преобладают течения южного румба, что может приводить к сносу зоопланктона на различных стадиях раз-

вития и молоди лососевых рыб в южном направлении. Повторяемость течений, ориентированных в противоположную сторону (они формируются при отжимных ветрах), составляла около 20%. Близкая частота встречаемости направления прибрежных течений отмечена и в районе устья р. Островка (участок 2), где преобладают течения северного румба, возникающие при типичных ветрах южного сектора, а при отжимных — направление прибрежного потока изменяется на южное.

Питание рыб. Плотность и рацион питания массовых видов рыб-планктофагов по этапам исследований показаны в таблице 3. Состав и рацион рыб с изобат 3–20 м на участках 3 и 4 приведены по литературным данным, основанным на траловых съёмках молоди в этих же районах побережья о. Сахалин в 1990-х гг. (Иванков и др., 1999).

Молодь кеты и горбуши рыб в прибрежных водах начинает активное питание, переходя постепенно от доступных ей мелких малоподвижных объектов (личинки и имаго воздушных насекомых, падающих на водную поверхность) близ устья рек к зоосестону по мере удаления от них. Спектр питания включал практически все доступные виды зоосестона, главным образом, копепод, ветвистоусых раков, гарпактицид, амфипод, а также личинок полихет, усоногих раков, икру и личинок рыб. Отмечена устойчивая тенденция — с отходом от устья реки и увеличением размеров рыб, в рационе молоди увеличивается доля зоопланктона (практически до 100%) и снижается доля некто-бентической составляющей, что согласуется с имеющимися литературными данными (Иванков и др., 1999; Шунтов, Темных, 2008).

В июне–июле 2017 г. на участке 1 в уловах отмечено 30 видов рыб. Основу

Таблица 3. Плотность рыб-планктофагов и их рацион в морском побережье

Показатель	N_i , экз./м ²			R_i , кал сест./жел.		
Этап	I	II	III	I	II	III
Год / Участок / Диапазон глубин, м	2017 / 1 / 0–20					
<i>Clupea pallasii</i>	0,00600	0,00600	0,00600	982,50	982,50	982,50
<i>Osmeridae indet.</i>	0,03400	0,03400	0,03400	305,00	305,00	305,00
<i>Hypomesus japonicus</i>	0,02100	0,02100	0,02100	340,00	340,00	340,00
<i>Salangichthys microdon</i>	0,00002	0,00002	0,00002	20,90	20,90	20,90
<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	0,11000	0,11000	0,11000	348,00	348,00	348,00
<i>O. gorbuscha</i> , покотники	0,09100	0,09100	0,09100	273,60	273,60	273,60
Год / Участок / Диапазон глубин, м	2018 / 2 / 0–20					
<i>Clupea pallasii</i>	0	0	0,00020	0	0	0
<i>Hypomesus japonicus</i>	0,00005	0	0,03950	32,70	0	32,70
<i>Mallotus villosus</i>	0,01830	0	0,00050	0	0	0
<i>Salangichthys microdon</i>	0,00010	0	0,00010	0	0	0
<i>Gasterosteus</i> sp.	0	0,0066	0	0	0	0
<i>Ammodytes hexapterus</i>	0,00060	0,0011	0	44,10	44,10	0
<i>Hypoptychus dybowski</i>	0,00020	0,0001	0,00030	79,70	79,70	79,70
<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	0,03000	0,03000	0,03000	152,10	152,10	152,10
<i>O. gorbuscha</i> , покотники	0,83700	0,83700	0,83700	29,90	29,90	29,90
Год / Участок / Диапазон глубин, м	2019 / 3 / 0–3					
<i>Clupea pallasii</i>	0,05000	0,13100	0,00150	90,50	90,50	90,50
<i>Hypomesus japonicus</i>	0,20100	0,41900	0,03200	66,80	255,00	279,00
<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	0,00170	0,00120	0,00010	30,00	19,00	37,00
<i>O. gorbuscha</i> , покотники	0,05660	0,00690	0,00380	13,00	24,00	40,00
Год / Участок / Диапазон глубин, м	2019 / 3 / 3–20 (по: Иванков и др., 1999)					
<i>Clupea pallasii</i>	0,00001	0,00001	0,00001	0	22,20	22,20
<i>Osmeridae indet.</i>	0,00444	0,00444	0,00444	0,90	3,60	0,40
<i>Hemilepidotus papilio</i>	0,00040	0,00040	0,00040	3,50	8,02	5,70
<i>Pungitius pungitius</i>	0,00001	0,00001	0,00001	34,10	77,80	55,30
<i>Gasterosteus</i> sp.	0,00110	0,00110	0,00110	105,00	240,00	170,00
<i>Ammodytes hexapterus</i>	0,00010	0,00010	0,00010	56,00	128,00	91,00
<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	0,00100	0,00100	0,00100	34,00	58,00	56,00
<i>O. gorbuscha</i> , покотники	0,00400	0,00400	0,00400	24,50	25,00	54,00

Показатель	Ni , экз./м ²			Ri , кал сест./жел.		
Этап	I	II	III	I	II	III
Год / Участок / Диапазон глубин, м	2020 / 4 / 0–3					
<i>Eleginus gracilis</i>	0,00600	0	0,09000	55,24	0	55,24
<i>Hypomesus japonicus</i>	0,00100	0	0,02200	152,52	0	152,52
<i>Ammodytes hexapterus</i>	0,00200	0	0	17,95	0	0
<i>Osmerus dentex</i>	0	0	0,19300	0	0	64,22
<i>Oncorhynchus keta</i> , покатики	0,00310	0,0031	0,00310	14,56	45,85	122,34
<i>O. gorbuscha</i> , покатики	0,03170	0,0317	0,0317	5,68	5,68	5,68
Год / Участок / Диапазон глубин, м	2020 / 4 / 3–20 (по: Иванков и др., 1999)					
<i>Clupea pallasii</i>	0,00001	0,00001	0,00001	22,21	22,21	22,21
<i>Osmeridae indet.</i>	0,00444	0,00444	0,00444	0,94	3,62	0,44
<i>Hemilepidotus papilio</i>	0,00040	0,00040	0,00040	3,52	8,02	5,70
<i>Pungitius pungitius</i>	0,00001	0,00001	0,00001	34,15	77,84	55,27
<i>Gasterosteus</i> sp.	0,00110	0,00110	0,00110	105,07	239,52	170,05
<i>Ammodytes hexapterus</i>	0,00010	0,00010	0,00010	55,98	127,6	90,59
<i>Oncorhynchus keta</i> , покатики	0,00040	0,00040	0,00040	34,00	58,00	56,00
<i>O. gorbuscha</i> , покатики	0,00180	0,00180	0,00180	24,76	24,76	24,76

ихтиомассы слагали зубастая корюшка *Osmerus dentex* (21,1%), навага *Eleginus gracilis* (22,0%), мойва *Mallotus villosus* (11,7%), крупночешуйная краснопёрка *Tribolodon hakonensis* (19,5%) и морская малоротая корюшка *Hypomesus japonicus* (17,1%). Среди 4 видов-планктофагов основную конкуренцию молодежи лососей составляли неопределенная до вида молодь корюшек и морская малоротая корюшка (табл. 3).

У юго-восточного побережья зал. Анива (участок 2) в мае преобладала мойва (98,5% общей биомассы). На втором этапе работ основу численности (64,0%) и биомассы (88,2%) рыб в уловах составляла крупночешуйная краснопёрка, на третьем — морская малоротая корюшка (40,7% биомассы). Эти весенне-нерестующие виды в целом

формировали около 85% биомассы рыб за период исследований. Среди 37 отмеченных в уловах видов рыб сходный с молодью лососей тип питания организмами зоосестона отличал тихоокеанскую песчанку, короткопёрую песчанку и морскую малоротую корюшку, рацион которых отражен в таблице 3.

В прибрежье участка 3 по численности и биомассе лидировали навага (58,7 и 56,7%, соответственно) и морская малоротая корюшка (19,5 и 16,9%, соответственно), формировавшие крупные скопления в начале июня. На третьем месте по численности (5,2%) была тихоокеанская сельдь, особенно с мая по начало июня, а по биомассе (8,6%) — крупночешуйная краснопёрка, которая появилась в прибрежье в конце июня и достигла максимальных плотности и биомассы

к июлю. Среди всего многообразия рыб на данном участке (30 видов отмечены в уловах) по результатам анализ питания основными конкурентами молоди лососей в прибрежье являлись тихоокеанская сельдь и морская малоротая корюшка; их спектр питания в значительной мере совпадал. Итоговые величины рациона показаны в таблице 3.

К особенностям участка 4 следует отнести отсутствие в обследованном прибрежье массовых подходов весенне-нерестующих видов рыб (мойвы, морской малоротой корюшки), характерных для песчано-галечных грунтов юго-восточного побережья в мае-июне. За период работ по численности преобладали зубастая корюшка (51,0%) и навага (25,5%). При этом численность зубастой корюшки и наваги достигала максимальных значений в июле. По биомассе наиболее значимы были крупночешуйная краснопёрка (40,4%) и навага (21,3%). Основными конкурентами молоди лососей в прибрежье среди 19 отмеченных в уловах видов рыб являются морская малоротая и азиатская зубастая корюшки, тихоокеанская песчанка и дальневосточная навага; их спектр питания в значительной степени включает организмы зоосестона. Именно их рацион был учтен при расчетах приёмной ёмкости среды в прибрежье (табл. 3).

Исходные данные для расчетов по плотности рыб-планктофагов по участкам приведены в таблице 3.

Кормовая база планктоядных рыб. Различия в гидрологическом режиме модельных участков обусловили значительную вариабельность динамики биомассы зоосестона и составляющих его групп (рис. 3). На участке 1 весной зоосестон имеет преимущественно копеподный облик с доминированием представителей родов *Acartia*, *Pseudocalanus*,

Oithona различных возрастных стадий. В конце фенологической весны (1-я и 2-я декады июня) в прибрежье отмечено появление массы планктонных личинок бентических беспозвоночных и размножение эвфаузиид. Практически всеми этими организмами питается молодь кеты и горбуши, а также другие планктоядные рыбы.

На участке 2 наблюдали несколько изменений в видовой структуре зоосестона. Первое, во второй декаде мая, было связано с активным нерестом и развитием личиночных стадий эвфаузиид. В прибрежье в это время их биомасса составляла 1,079 г/м³. Второе изменение наблюдали в третьей декаде мая — первой декаде июня. Оно было связано со значительным снижением доли эвфаузиид, развитием прибрежных видов копепод и размножением бентосных групп, имеющих в онтогенезе планктонные личиночные стадии. Третье изменение связано с увеличением количества морских эпипелагических холодноводных видов копепод в первой декаде июня.

На участке 3 плотность и биомасса зоосестона варьировали в широких пределах. Наибольшая амплитуда, как численности, так и биомассы, была характерна для мелководной зоны при несовпадении кривых плотности зоосестона с ходом температуры вод. Определяющее воздействие на состав и биомассу зоосестона оказывают волновое перемешивание, поднимающее организмы бентоса во взвесь, естественные суточные миграции нектобентических организмов, и нерест тихоокеанской сельди *Clupea pallasii*, обусловившие рост биомассы в первую декаду июня до 0,448 г/м³. Пик биомассы пришелся на вторую декаду июня (0,466 г/м³), был сформирован в основном меропланктоном, и, в первую очередь,

личинками полихет и усоногих раков. Для меропланктона были также обычны свободноплавающие стадии пара-

зитических монстриллид Monstrilloidea и различные, в основном мелкие, медузы Hydrozoa.

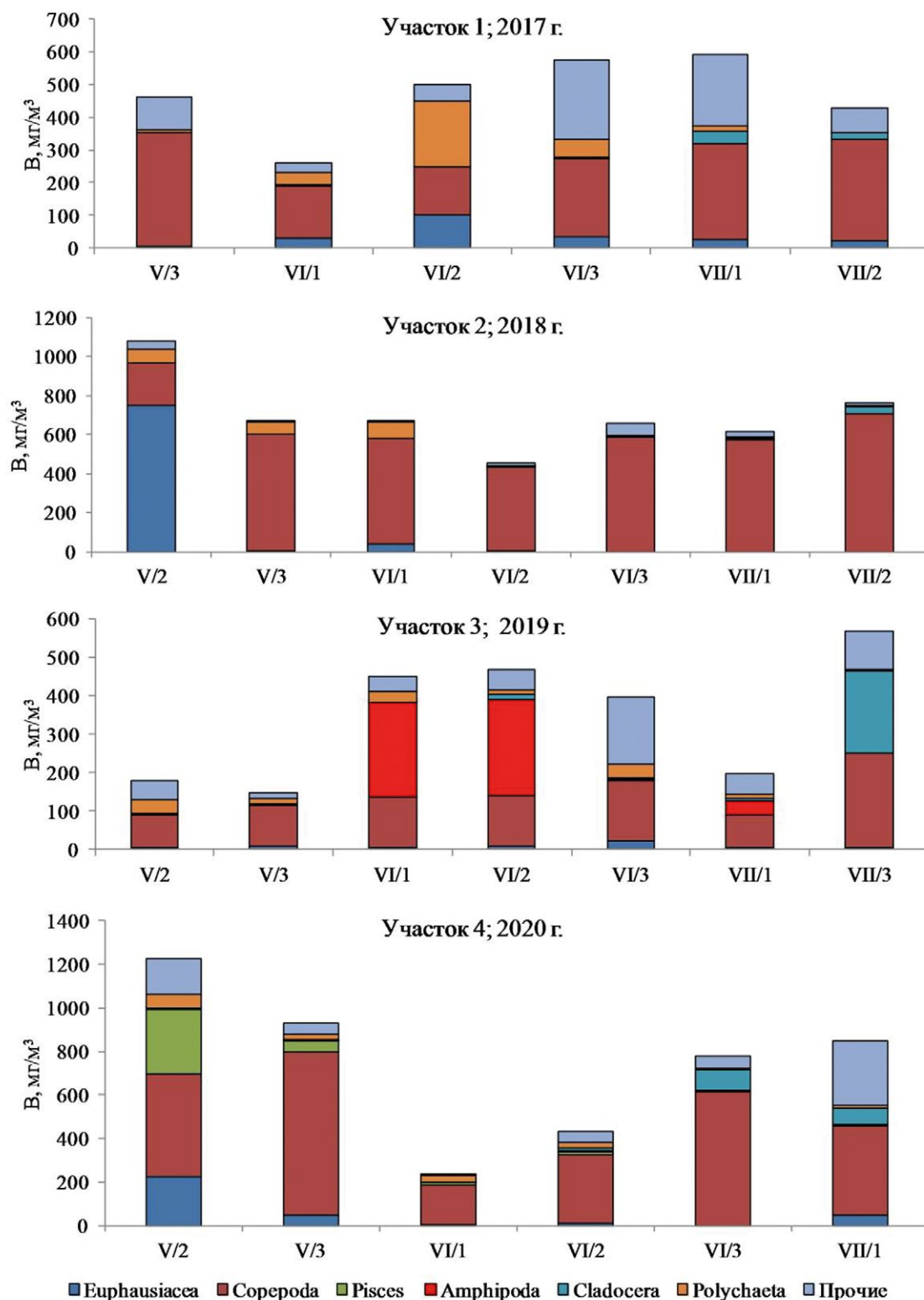


Рис. 4. Динамика биомассы зоосестона ($B, \text{мг/м}^3$) по выделенным участкам; обозначение Pisces относится к икре и личинкам рыб (ихтиопланктон)

На участке 4 кривая биомассы не совпадала с ходом температуры. На данном участке решающее воздействие оказывали другие факторы — волновое перемешивание, поднимающее организмы бентоса во взвесь, естественные суточные миграции нектобентических организмов, нерест минтая и сезонные сукцессии сообществ. Как на мелководье, так и в мористой части побережья в первую половину июня отмечен минимум биомассы зоосестона, связанный с перестройкой сообщества с весеннего на летнее ($0,238 \text{ г/м}^3$). Пик биомассы ($1,225 \text{ г/м}^3$), отмеченный во второй половине мая, был сформирован в прибрежье в основном личинками эвфаузиид, а в мористой части, кроме них, существенную роль играли копеподы рода *Acartia* и икра северной камбалы.

В среднем за период с середины мая по середину июля биомасса кормового зоосестона, включающего личинок полихет, ветвистоусых, веслоногих и разноногих раков, эвфаузиид, икры и личинок рыб, изменялась от 273 до 676 мг/м^3 .

Расчёт приёмной ёмкости для молоди лососевых. Расчёты приёмной ёмкости по участкам приведены в таблице 4. В целом в северной части зал. Анива (участок 1), приёмная ёмкость составила для покатников кеты 335 млн шт., для покатников горбуши — 426 млн шт. С учётом общей продолжительности периодов подъёма холодных вод ($1/2$ от всего периода нагула молоди в прибрежье) во время апвеллингов, приёмная ёмкость на всей акватории прибрежной зоны юго-восточной части зал. Анива (участок 2) соответствует для покатников кеты 78,3 млн шт., для покатников горбуши — 398,3 млн шт. На участке 3 над глубинами 0–3 м с середины мая по начало июля приёмная ёмкость для мальков кеты составляет

около 138,7 млн шт., для мальков горбуши — около 129,2 млн шт.; над изобатами 3–20 м — 212,2 млн шт. кеты или 337,4 млн шт. горбуши. Лимитирующими на данном участке возможный выпуск молоди с ЛРЗ являются величины для мелководной «лагуны» в пределах изобат 0–3 м. Приёмная ёмкость акватории юго-восточного побережья на участке 4 над глубинами 0–3 м равна около 18,2 млн шт. покатников кеты, для покатников горбуши — около 67,2 млн шт.; над изобатами 3–20 м — 622 млн шт. кеты либо 1221,4 млн шт. горбуши. Как и на участке 3, на участке 4 возможный выпуск молоди кеты и горбуши с ЛРЗ лимитируется возможностями мелководной прогреваемой зоны над изобатами 0–3 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приёмная ёмкость среды для молоди кеты и горбуши в прибрежье юго-восточного Сахалина и в зал. Анива определяется сочетанием лимитирующих гидрологических факторов (температура воды) и наличием резерва кормовых организмов сестона. Ограничение по температуре воды определяется положением нижней границы комфортного слоя (выше $5\text{--}6^\circ\text{C}$) и резкими понижениями температуры воды при отжимных ветрах.

Спектр питания молоди кеты и горбуши включал практически все доступные виды зоосестона, кроме крупных ракообразных, щетинкочелюстных и желетелого планктона. С отходом от устья реки и увеличением размеров покатников, в рационе молоди увеличивается доля зоопланктона практически до 100%.

В период прибрежного нагула молоди кеты и горбуши наиболее массовыми видами ихтиофауны являются навага, морская малоротая корюшка и крупно-

Таблица 4. Расчёт приёмной ёмкости для горбуши и кеты по участкам

Показатель		I этап	II этап	III этап
Участок 1 (2017 г., 0–20 м)				
<i>P</i> сест. комфорт. слоя, кал/м ² * сутки		108,515	125,07	171,27
<i>P</i> изъят., кал/м ² * сутки		86,6	86,6	86,6
<i>P</i> сест. резерв., кал/м ² * сутки/ <i>k</i> ₂		8,8	15,4	33,9
<i>R</i> _{аи} , кал сест./жел.	<i>Oncorhynchus keta</i> , покятники	34,8	34,8	34,8
	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , покятники	27,36	27,36	27,36
<i>S</i> , км ²		200,8	200,8	200,8
<i>N</i> _{объекта корм.} ЭКЗ.	<i>N</i> _{кеты корм.} ЭКЗ./м ²	0,3	0,4	1,0
	<i>N</i> _{горбуши корм.} ЭКЗ./м ²	0,3	0,6	1,2
	<i>N</i> _{кеты корм.} ЭКЗ. с акватории	50636989	88846690	195478414
	<i>N</i> _{горбуши корм.} ЭКЗ. с акватории	64406696	113006755	248634825
Участок 2 (2018 г., 0–20 м)				
<i>P</i> сест. комфорт. слоя, кал/м ² * сутки		329,0	123,3	291,6
<i>P</i> изъят., кал/м ² * сутки		29,6	29,6	30,9
<i>P</i> сест. резерв., кал/м ² * сутки/ <i>k</i> ₂		119,7	37,5	104,3
<i>R</i> _{аи} , кал сест./жел.	<i>Oncorhynchus keta</i> , покятники	152,1	152,1	152,1
	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , покятники	29,9	29,9	29,9
<i>S</i> , км ²		91,1	91,1	91,1
<i>N</i> _{объекта корм.} ЭКЗ.	<i>N</i> _{кеты корм.} ЭКЗ./м ² *	0,39	0,12	0,34
	<i>N</i> _{горбуши корм.} ЭКЗ./м ² *	2,00	0,63	1,74
	<i>N</i> _{кеты корм.} ЭКЗ. с акватории	35859020	11218297	31223162
	<i>N</i> _{горбуши корм.} ЭКЗ. с акватории	182413278	57066990	158830870
Участок 3 (2019 г., 0–3 м)				
<i>P</i> сест., кал/м ² * сутки		84,39	527,92	24,67
<i>P</i> изъят., кал/м ² * сутки		18,74	118,89	9,22
<i>P</i> сест. резерв., кал/м ² * сутки/ <i>k</i> ₂		26,3	163,6	6,2
<i>R</i> _{аи} , кал сест./жел.	<i>Oncorhynchus keta</i> , покятники	30	19	37
	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , покятники	13	24	40
<i>S</i> , км ²		14,37	14,37	14,37
<i>N</i> _{объекта корм.} ЭКЗ.	<i>N</i> _{кеты корм.} ЭКЗ./м ²	0,88	8,61	0,17
	<i>N</i> _{горбуши корм.} ЭКЗ./м ²	2,02	6,82	0,15
	<i>N</i> _{кеты корм.} ЭКЗ. с акватории	12578540	123742339	2400178
	<i>N</i> _{горбуши корм.} ЭКЗ. с акватории	29027400	97962685	2220165

Показатель		I этап	II этап	III этап
Участок 3 (2019 г., 3–20 м)				
Р сест., кал/м ² * сутки		40,37	68,18	62,51
Р изъят., кал/м ² * сутки		0,26	0,45	0,47
Р сест. резерв., кал/м ² * сутки/ k_2		16,0	27,1	24,8
R _{ар} , кал сест./жел.	<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	34	58	56
	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , покотники	24,5	25	54
S, км ²		153,5	153,5	153,5
N _{объекта корм.} , экз.	N _{кеты корм.} , экз./м ²	0,47	0,47	0,44
	N _{горбуши корм.} , экз./м ²	0,65	1,08	0,46
	N _{кеты корм.} , экз. с акватории	72433941	71700379	68022429
	N _{горбуши корм.} , экз. с акватории	100520571	166344880	70541778
Участок 4 (2020 г., 0–3 м)				
Р сест., кал/м ² * сутки		33,697	17,458	27,71
Р изъят., кал/м ² * сутки		0,75	0,32	21,28
Р сест. резерв., кал/м ² * сутки/ k_2		13,2	6,9	2,6
R _{ар} , кал сест./жел.	<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	14,56	45,85	122,34
	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , покотники	5,68	5,68	5,68
S, км ²		16,89	16,89	16,89
N _{объекта корм.} , экз.	N _{кеты корм.} , экз./м ²	0,91	0,15	0,02
	N _{горбуши корм.} , экз./м ²	2,32	1,21	0,45
	N _{кеты корм.} , экз. с акватории	15287770	2525285	355085
	N _{горбуши корм.} , экз. с акватории	39188368	20384565	7648077
Участок 4 (2020 г., 3–20 м)				
Р сест., кал/м ² * сутки		143,632	159,116	273,449
Р изъят., кал/м ² * сутки		0,19	0,36	0,27
Р сест. резерв., кал/м ² * сутки/ k_2		57,4	63,5	109,3
R _{ар} , кал сест./жел.	<i>Oncorhynchus keta</i> , покотники	34	58	56
	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i> , покотники	24,76	24,76	24,76
S, км ²		131,4	131,4	131,4
N _{объекта корм.} , экз.	N _{кеты корм.} , экз./м ²	1,69	1,09	1,95
	N _{горбуши корм.} , экз./м ²	2,32	2,56	4,41
	N _{кеты корм.} , экз. с акватории	221744456	143865782	256398004
	N _{горбуши корм.} , экз. с акватории	304495619	337003851	579898556

чешуйная краснопёрка. На обширных песчаных побережьях к ним добавляется зубастая корюшка и, иногда, мойва. Конкуренцию за пищевые ресурсы для молоди лососей составляет ограниченное количество видов, преимущественно, морская малоротая корюшка, тихоокеанская и короткопёрая песчанки.

Средняя биомасса кормового для молоди кеты и горбуши зоосестона с середины мая по середину июля изменялась по участкам от 273 мг/м³ до 676 мг/м³.

Приёмная ёмкость изменялась от 18 млн шт. молоди кеты или 67 млн шт. молоди горбуши на участке песчаного побережья юго-восточного Сахалина у впадения р. Дудинка до 335 млн шт. кеты или 426 млн шт. горбуши у юго-восточного побережья зал. Анива. Данные получены по результатам односезонного мониторинга для каждого участка, поэтому являются весьма приблизительными. Эти данные могут служить ориентировочными для последующих расчётов и нуждаются в обязательном уточнении по результатам многолетнего мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 152 с.
- Борисов Б.М., Волков А.Ф., Горбатенко К.М., Коваль М.В., Шершнева В.И. Стандартные таблицы сырых весов и некоторых энергетических характеристик (калорийность, жиры, белки, углеводы, минеральный остаток) зоопланктона дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 138. С. 355–367.
- Иванков В.Н., Андреева В.В., Тяпкина Н.В., Рухлов Ф.Н., Фадеева Н.П. Биология и кормовая база тихоокеанских лососей в ранний морской период жизни. Владивосток: ДВГУ, 1999. 260 с.
- Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию nekтона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. 2008. Т. 154. С. 405–416.
- Карпенко В.И., Андриевская Л.Д., Коваль М.В. Питание и особенности роста тихоокеанских лососей в морских водах. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2013. 303 с.
- Карпенко В.И., Коваленко М.Н., Василец П.М. и др. Методика морских исследований тихоокеанских лососей: Методическое пособие. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 1997. 64 с.
- Леванидов В.Я. Воспроизводство амурских лососей и кормовая база их молоди в притоках Амура // Изв. ТИНРО. 1969. Т. 67. 242 с.
- Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам / Приложение к приказу Росрыболовства от 25.11.2011 №1166. 78 с.
- Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГОСНИОРХ, 1984. 33 с.
- Орлов А.И. Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2006. 672 с.
- Расс Т.С. Методическое руководство по сбору икринок, личинок и мальков рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 44 с.
- Рекомендации по сбору и обработке ихтиопланктона зоны течения Куроисио. Владивосток: ТИНРО, 1987. 70 с.
- Чучукало В.И., Напазаков В.В. К методике определения суточных рационов питания и скорости переваривания пищи у хищных и бентосоядных рыб // Изв. ТИНРО. 1999. Т. 126. Ч. 1. С. 160–171.
- Шевченко Г.В., Кириллов К.В. Вариации температуры воды у побережья о. Сахалин по данным инструментальных измерений // Метеорология и гидрология. 2017. № 3. С. 68–78.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Том 1. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2008. 482 с.

DYNAMICS OF ABUNDANCE

**ESTIMATION OF RECEPTION CAPACITY OF THE COASTAL
WATER OF ANIVA BAY AND SOUTH-EASTERN SAKHALIN (SEA
OF OKHOTSK) FOR JUVENILE OF CHUM AND PINK SALMONS**

© 2021 y. V.S. Labay, G.V. Shevchenko, I.A. Atamanova, D.S. Zavarzin,
O.N. Moukhametova, N.K. Zavarzina, A.A. Zhivoglyadov, T.S. Shpilko,
E.S. Korneev

*Sakhalin branch Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Yuzhno-Sakhalinsk., 693023
E-mail: v.labaj@yandex.ru*

The hydrological characteristics of the coastal area are described in four areas: 1) the northern part of Aniva Bay — Lososy Bay, 2) the southeastern part of Aniva Bay, 3) stone-rocky coast of southeastern Sakhalin and 4) open sandy coast of southeastern Sakhalin on the results research in 2017–2020. The stage-by-stage (from the second decade of May to the first decade of July) variability of the structure and production parameters of zooseston was analyzed. The variability of the coastal ichthyofauna and the feeding of planktophagous fish are described. The calculation of the receiving capacity for smolts of Pacific salmon (pink salmon and chum salmon) has been made. In the northern part of Aniva Bay (section 1), the receiving capacity for smolts of chum salmon is estimated as 335 million units, for smolts of pink salmon as 426 million units. The receiving capacity of the southeastern part of Aniva Bay for smolts of chum salmon is estimated as 78.3 million units, for smolts of pink salmon as 398.3 million units. The receiving capacity in section 3 above a depth of 0–3 m for smolts of chum salmon is about of 138.7 million units, for smolts of pink salmon about of 129. million units. The receiving capacity in section 4 above a depth of 0–3 m is about of 18.2 million smolts of chum salmon and about of 67.2 million smolts of pink salmon.

Keywords: chum salmon *Oncorhynchus keta*, pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, receiving capacity, hydrology, zooseston, ichthyofauna, planktophagous fish.

**СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ПРОМЫСЛА ГОРБУШИ
ONCORHYNCHUS GORBUSCHA И КЕТЫ *O. KETA*
(SALMONIDAE, SALMONIFORMES) В РАЙОНАХ ИХ
МАССОВОГО ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА**

© 2021 г. В.И. Радченко

*Комиссия по анадромным рыбам северной части Тихого океана (НПАФК),
г. Ванкувер V6C3B, Канада
E-mail: vlrاد@npafc.org*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

Горбуша и кета — наиболее популярные виды тихоокеанских лососей для искусственного разведения, которые в совокупности составляют более 87% молоди тихоокеанских лососей, выпускаемой с рыбоводных заводов в северной части Тихого океана. Эти два вида вносят большой вклад в общий улов тихоокеанского лосося, с 2001 г. — 85,7% по численности и 80,0% по массе. В последние годы эффективность искусственного разведения горбуши и кеты начала снижаться под влиянием климатических изменений. «Волны тепла» в океане воздействуют на южную часть ареалов лососей, где к югу от 50° с. ш. расположены 95% лососевых рыбоводных заводов. Смертность заводской молоди возрастает, и воздействие заводского лосося на природные запасы видимо преувеличивается. Несмотря на складывающуюся кризисную ситуацию в искусственном воспроизводстве лососей, вопросы совершенствования технологий и управления этим процессом почти не исследуются. Результаты отолитного мечения публикуются нерегулярно. Требуется провести ревизию эффективности работы имеющихся мощностей, разработать адаптивную стратегию дальнейшего развития искусственного воспроизводства, которая будет базироваться на принципах концентрации рыбоводных предприятий в относительно изолированных районах, позволяющих изымать промыслом преимущественно рыбоводную горбушу и кету. Необходима широкая экспериментальная работа на базе сохраняющихся в федеральной собственности рыбоводных заводов с использованием новых достижений генетики и геномики, а также ведение, наряду с паразитологическим, биохимического и генетического мониторинга подходов лососей.

Ключевые слова: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, кета *Oncorhynchus keta*, состояние запасов, искусственное воспроизводство, промысел, стрессогенные факторы.

Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* и кета *Oncorhynchus keta* — наиболее многочисленные виды лососей в северной части Тихого океана. Эти два вида вносят наибольший вклад в общий улов тихоокеанского лосося — 85,7% по численности и 80,0% по массе с 2001 г. На горбушу приходится 65,7% численности и 46,3% массы общего вылова лосося всеми странами, в то время как кета составляет 20,0% численности и 33,7% массы, соответственно. Горбуша и кета также явля-

ются наиболее распространёнными видами тихоокеанских лососей в искусственном воспроизводстве, составляя вместе более 87% молоди (кета — 60,6%, горбуша — 26,9%), выпущенной из рыбоводных мощностей (рыборазводных заводов, питомников и нерестовых каналов) в странах-участницах НПАФК в текущем столетии. Молодь обоих видов лососей начинает мигрировать в море вскоре после выхода из гравия, что делает горбушу и кету наиболее подходящими вида-

ми для заводского разведения в районах с ограниченными пресноводными ресурсами для нагула молоди, например, на о. Сахалин или на юго-востоке Аляски.

На начальных этапах развития управления рыбным хозяйством перед искусственным воспроизводством ставилась недостижимая цель — уравнивать в уловах лосося между четными, менее продуктивными в большинстве регионов годами и более продуктивными нечетными. В других регионах искусственное воспроизводство горбуши и кеты было организовано с целью восстановления запасов, пострадавших от массового плохо регулируемого промысла и / или разрушения мест обитания, для расширения возможностей рыболовства, содействия занятости рыбаков в прибрежных общинах и удовлетворения растущего внутреннего спроса на морепродукты. Некоторые проекты в области искусственного воспроизводства лосося реализованы со значительным успехом, например, воспроизводство кеты в Японии (Hiroi, 1998).

В последние годы вылов лосося в регионах северной части Тихого океана характеризуется значительными колебаниями, что связывают с прогрессирующими изменениями климата (Urawa et al., 2016; Crozier et al., 2019). На этом фоне активизировалась дискуссия о влиянии искусственного воспроизводства лосося на природные запасы и о вкладе этой деятельности в промысловые запасы. Существенный рост количества выпущенных мальков и возвратов заводского лосося подпитывают мнения о замещении природного лосося рыбой, выведенной в заводских условиях, а также научные споры об эффективности искусственного воспроизводства, оценке коэффициентов возврата, различиях в выживаемости, адаптивности и генетике природного и рыбодоводного лосося. Несмотря на то, что научные инструменты для оценки

этих параметров постепенно улучшаются, сделать какие-либо окончательные выводы еще предстоит.

Данные по вылову и выпускам молоди горбуши и кеты с рыбодоводных мощностей прибрежных стран взяты из открытой и регулярно пополняемой базы данных Комиссии по анадромным рыбам северной части Тихого океана (НПАФК). В последнее время количество выпускаемой молоди лосося всеми странами-участницами НПАФК остается на высоком уровне, превышая 5 млрд рыб в год. В 2019 г. количество выпущенной молоди лосося увеличилось на 0,5 млрд и достигло исторического максимума в 5,5 млрд рыб. Более 65% мальков горбуши в 2000-е гг. было выпущено в США, из которых 99,94% — на Аляске. Россия выпустила 23% от общего количества мальков горбуши, за ней следуют Япония — 10% и Канада — чуть более 1%. Япония лидирует по выпускам кеты с 57,9% численности мальков в текущем столетии, за ней следуют США (20,9%), Россия (17,8%), Канада (2,9%) и Корея (0,5%).

Целью данного обзора является оценить состояние запасов горбуши и кеты в основных районах их искусственного воспроизводства в прибрежных странах северной части Тихого океана, чтобы проследить тенденции их динамики на фоне воздействующих на нее природных и антропогенных факторов, а также рассмотреть обоснованность предпринимаемых мер по управлению запасами лососей в этих районах. В целом состояние дел можно охарактеризовать следующим образом:

ГОРБУША

Центральная Аляска, зал. Принца Уильяма, США

В настоящее время в штате Аляска работают 27 частных лососевых рыбо-

водных завода (ЛРЗ) и 3 — под федеральным управлением, на которых проводятся исследования лососей и технологии их искусственного воспроизводства. На двух ЛРЗ, деятельность которых регулируется властями штата, разводят лососевых для спортивного рыболовства (NPAFC 2020). На 8 ЛРЗ инкубируют икру горбуши и выпускают молодь на регулярной основе. Четыре наиболее крупных из них расположены в зал. Принца Уильяма (согласно действующему в США рыбохозяйственному районированию — Центральная Аляска). В 2000–2019 гг. эти ЛРЗ проектной мощностью от 130 до 236 млн рыб каждый суммарно выпускали 590–780, в среднем 679 млн молоди горбуши ежегодно. Это составляло от 71,7% до 79,4%, в среднем 74,6% от общей численности выпуска молоди горбуши в пределах штата. Еще два завода работают на о. Кодьяк и полове Кенай, входящих в статистический район Западная Аляска (14,3%–19,2%, в среднем 16,4%), и два ЛРЗ, по сути, лишь один вносящий существенный вклад, — на о. Баранова (Юго-восточная Аляска): 2,9%–11,2%, в среднем 8,8% численности выпускаемой с побережья штата молоди горбуши. Молодь горбуши обычно выпускают после подращивания в садках в морском побережье в течение 2–4 недель. За это время масса тела рыб увеличивается примерно вдвое (Leon et al., 1985). Размеры и масса тела молоди к моменту выпуска варьируются в пределах 36,4–52,2 мм и 0,33–1,81 г (Boldt, Haldorson, 2004).

Исторически программа воспроизводства запасов горбуши в зал. Принца Уильяма была разработана для поддержки лососевого промысла и консервных заводов, обеспечивающих занятость местного населения и благополучие прибрежных общин. В 1972–1974 гг. промысел лосося здесь практически

прекратился из-за резкого сокращения подходов. В настоящее время промысел, искусственное разведение и переработка горбуши на Аляске пользуются значительными субсидиями и государственной поддержкой, включая льготное кредитование рыбаков, оказание им финансовой помощи в случае недолова, как в 2016 г., и объёмные закупки консервированной горбуши для государственных нужд, школьного питания, национальных и международных гуманитарных программ.

ЛРЗ на Аляске располагали по единому принципу — вблизи друг друга и районов промысла, позволяющих преимущественно изымать рыболовную горбушу, а также вблизи производственных мощностей для обработки улова. В конце 1990-х–начале 2000-х гг. 70%–80% улова горбуши направляли на производство консервов. Затем, в связи с ростом рынка мороженой потрошенной горбуши в КНР, доли улова, направляемого на консервы и реализуемого в мороженном виде, почти сравнялись в 2007 г. Статус-кво наблюдался недолго, уже в 2011–2012 гг. доля вылова, направляемого на консервы, снизилась до 47% и 34% соответственно (Кнарр, 2012). Объём экспорта мороженой горбуши вырос с минимальных значений в 2002 г. до более чем 37,5 тыс. т в 2010 г. (McDowell Group, 2011), а в 2013 г. с побережья Аляски в Китай экспортировано около 60 тыс. т горбуши и 20 тыс. т кеты. Дальнейший рост экспорта сдерживается заполнением китайского рынка горбушей российского вылова и его постепенной переориентацией на более дорогостоящие виды лососей.

Долю заводской горбуши в вылове в зал. Принца Уильяма в настоящее время определяют в ходе реализации масштабной программы отолитного мечения и сбора меток из промысловых уло-

вов (Knudsen et al., 2015). В последние годы отолитному мечению подвергается около 85–87% выпускаемой молоди горбуши. При такой организации промысла прилов рыбы природных популяций остается стабильным и контролируемым. Доля заводской горбуши в общем вылове в заливе превысила 50% с 1986 г. (Willette et al., 2001), а в 2000–2020 гг. она составила 84,4% (Рис. 1). Лишь в недавние годы максимальных возвратов горбуши (2013–2015 гг.) доля горбуши природных популяций увеличивалась до 19,3% и 26,0% общего вылова, а в 2017 г. достигла 41,6% (Stopha, 2017). В четном 2020 г. доля природной горбуши в улове составила 25% (Betz, Russel, 2020), несколько превысив уровень 2018 г. Коэффициент возврата заводской горбуши в 2013 и 2015 гг. оценен в 11% и 13,3%, а средний коэффициент за 1985–2018 гг. составил 5,5%.

Положение дел в зал. Принца Уильяма отличается от большинства ситуаций, исследованных в работах, по-

священных взаимодействию природных и заводских популяций лососей, поскольку здесь количество заводской молоди в разы превышает количество покатилов с естественных нерестилищ (Cross et al., 2008). И хотя молодь с природных нерестилищ растет быстрее, догоняя в период нагула в заливе молодь, выпущенную с ЛРЗ, ее расчётные коэффициенты возврата (4,7–6,2%) оказываются такими же, или даже несколько ниже, чем 5,5%, характерные для заводской горбуши.

Промысел горбуши в зал. Принца Уильяма ведут кошельковыми неводами с малотоннажных судов. Прилов горбуши иными орудиями лова при промысле других видов лососей составляет десятые доли процента (Russell et al., 2017). Наибольшие уловы горбуши в зал. Принца Уильяма достигнуты в нечётные 2013 и 2015 гг. — 92,5 и 95,1 млн рыб, соответственно. Для линии четных лет рекордный вылов составил 76 млн рыб в 2010 г. и, позднее, 43,2 млн рыб

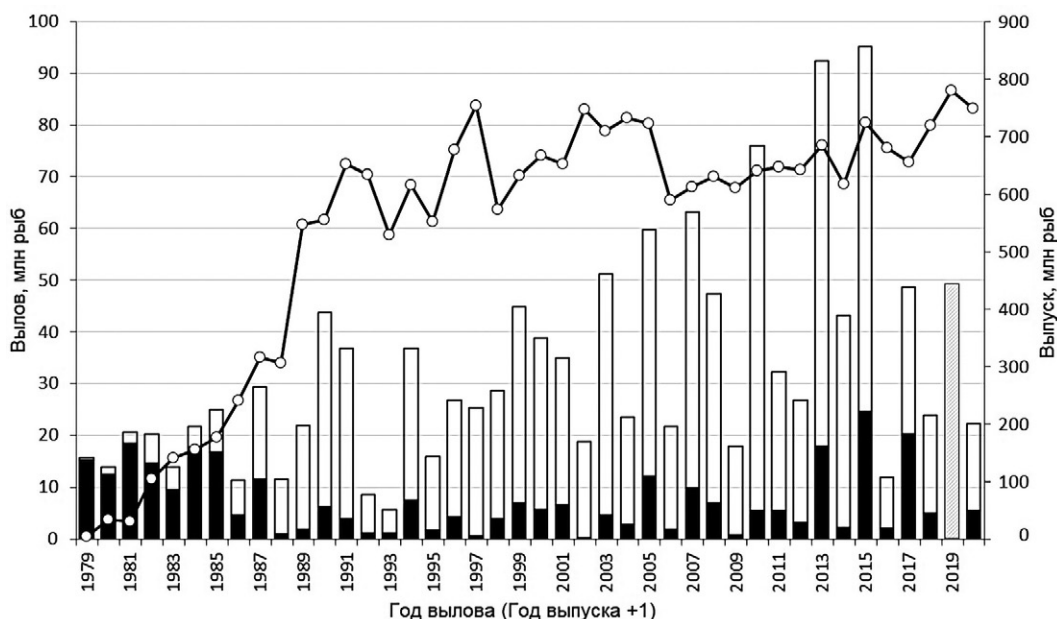


Рис. 1. Доля заводской горбуши (светлая часть столбцов) в промышленном вылове горбуши в зал. Принца Уильяма (Аляска), 1979–2020 гг. График, показывающий количество выпускаемой молоди в пределах центральной Аляски, смещён на один год вперёд, так что данные выпуска и вылова относятся к одной генерации горбуши.

в 2014 г. Затем произошло резкое снижение численности популяции горбуши чётных лет, обеспечившей вылов всего 12,0 млн рыб в 2016 г. при частичном восстановлении до 22,3–23,9 млн рыб в 2018 и 2020 гг. В 2017 г. вылов горбуши линии нечётных лет составил 48,7 млн рыб, при этом численность нерестового подхода оказалась на 25,3% ниже прогнозируемой накануне путины величины. В 2019 г. вылов достиг 85% прогнозируемого.

История восстановления запасов горбуши в зал. Принца Уильяма была бы неполной без упоминания произошедшей здесь в марте 1989 г. крупнейшей аварии танкера «Экзон Вальдез», приведшей к разливу более 38,5 тыс. т сырой нефти. Первоначально считалось, что смертность икры и ранней молоди горбуши в частях залива, оказавшихся под воздействием разлива, в 1989 г. превысила смертность в условиях без нефтяного загрязнения на 28% (Geiger et al., 1996). Потери численности взрослой горбуши от нефтяного загрязнения оценивались в 2,3 млн рыб за пять лет (1990–1994 гг.) при общей оценке величины подхода природной горбуши в заливе в 144 млн рыб. На вебсайте Доверительного совета по управлению устранением последствий разлива нефти до сих пор изложено мнение о том, что природные запасы и экосистемы нерестовых рек залива полностью восстановились только через десять лет после катастрофы (<http://www.evostc.state.ak.us>). Тем не менее, повторный анализ собранных данных показал, что прежние оценки потерь горбуши завышены. Напротив, выживаемость молоди горбуши в период после ската/выпуска в годы после разлива нефти могла возрасти вследствие существенного сокращения численности рыбоядных птиц (Brannon et al., 2012).

Сложно сказать, действительно ли экосистема зал. Принца Уильяма полностью восстановилась после этого катастрофического события, и повлияло ли оно на значимость заводской горбуши в промысле. Разлив нефти в 1989 г. не затронул районы размещения трех из четырёх ЛРЗ в отличие от устьев многих нерестовых рек западного и юго-западного побережья залива. Бесспорно одно, масштабные работы по изучению экосистемы (за прошедшие 30 лет Доверительный совет финансировал выполнение 214 научно-исследовательских программ) и восстановлению её отдельных компонентов создали весомую базу данных для оптимизации управления промыслом и другими видами природопользования в пределах залива.

Северное побережье Хоккайдо — Япония

Искусственное воспроизводство горбуши в Японии имело целью, прежде всего, продлить сроки лососевой путины, а также более равномерно загрузить работой персонал рыбоводных предприятий (Saito et al., 2016). Рыбоводы Хоккайдо старались отобрать для воспроизводства икру горбуши раннего хода, которую после инкубации можно выпустить перед выпуском молоди кеты, и которая возвращается в прибрежье в августе, когда промысел кеты еще не начинается. Горбушу, возвращавшуюся к забойкам ЛРЗ в сентябре, для целей искусственного воспроизводства не использовали. Это привело к постепенному смещению сроков миграции горбуши в прибрежье Хоккайдо примерно на полмесяца раньше по сравнению с 1980–1990-ми гг. (Saito et al., 2016).

ЛРЗ, воспроизводящие горбушу, в основном расположены на охотоморском побережье Хоккайдо (Morita et al., 2006a). Количество таких заводов и численность выпускаемой молоди суще-

ственно возросли с середины 1970-х гг. (Hiroi, 1998). К 1986 г. численность выпускаемой молодежи горбуши достигла 150 млн рыб. После этого выпуски стали централизованно регулировать на уровне 140–150 млн рыб в год, а с 2013 г. ежегодные выпуски снизились до 100–125 млн рыб в год. Молодь горбуши выпускают в 42 реки острова, в основном выпадающие в южную часть Охотского моря, а также в сопредельные воды Тихого океана.

Выпуск молодежи горбуши на Хоккайдо производится с марта по май. Согласно нормативам, выпускают мальков длиной 33–35 мм и массой 0,22–0,27 г. Значительную часть молодежи подкармливают, и такие мальки ко времени выпуска имеют длину тела 37–42 мм и массу 0,32–0,46 г (Запорожец, Запорожец, 2011; Tojima et al., 2017). Для адаптации молодежи лососей к морской среде и уменьшения пресса хищничества в первые дни после ската, практикуется выдерживание части выпускаемой молодежи горбуши в садках в морском прибрежье (Nagata et al., 2012).

Промысел горбуши на о. Хоккайдо ведут в прибрежье с конца июля по начало октября малыми ставными неводами, называемыми в англоязычной литературе «стационарными сетными ловушками», имеющими меньшие размеры, чем невода для промысла кеты (Morita et al., 2006a). Горбуша также прилавливается при сетном дрифтерном промысле за пределами прибрежной зоны, но основу этого прилова составляет рыба российского происхождения (Nagasawa, 2011, цит. по Ohnuki et al., 2015). Количество выставленных ловушек остается довольно постоянным с конца 1960-х гг. — в пределах между 1400 и 1800 ед. (Morita et al., 2006a; Nagata et al., 2012), хотя число рыбацких организаций, занятых этим ловом, после

2010 г. сократилось примерно в 1,5 раза (Saito et al., 2016).

Несмотря на стабильный уровень выпуска горбуши и небольшие изменения в количестве выставляемых орудий лова, величина вылова горбуши на о. Хоккайдо варьируется значительно. С начала 1980-х гг. вылов стабильно рос на фоне увеличивающихся объемов выпуска молодежи, достигнув в 1994 и 1996 гг. уровня в 15,1 и 15,9 млн рыб, соответственно. Общий подход горбуши к японскому побережью в 1994 г. оценен в 20 млн рыб (Kaeriyama, 1999). В начале 2000-х гг. линия горбуши четных лет неожиданно утратила лидирующие позиции, и с 2005 г. вылов в нечетные годы устойчиво превысил показатели смежных лет. Популяции нечетных лет обеспечили максимальный вылов горбуши в 14,5 млн рыб в 2007 г. Затем подходы обеих линий существенно снизились, и после 2010 г. вылов горбуши на о. Хоккайдо резко сократился с более 10 млн рыб до 1,5–3 млн рыб. Исключением, как и в зал. Принца Уильяма, стал 2016 г., но здесь, напротив, возврат горбуши оказался неожиданно высоким, обеспечив вылов 9,0 млн рыб (рис. 2). Величины вылова здесь даны без учета производителей, изымаемых в реках для целей искусственного воспроизводства, которые составляли от 5% до 17%, в среднем 11% общего вылова в штуках в 1989–2014 гг. (Saito et al., 2016).

До середины 2000-х гг. рост подходов и вылова горбуши на о. Хоккайдо относили к успехам ее искусственного разведения. В 1996 г., на первом международном симпозиуме НПАФК в г. Саппоро, О. Хирои заключил, что коэффициент возврата заводской горбуши на Хоккайдо с конца 1980-х гг. стабилизировался на уровне 5%, достигнув 12% при пиковом подходе в 1994 г. (Hiroi, 1998). По мнению М. Кериямы, коэффи-

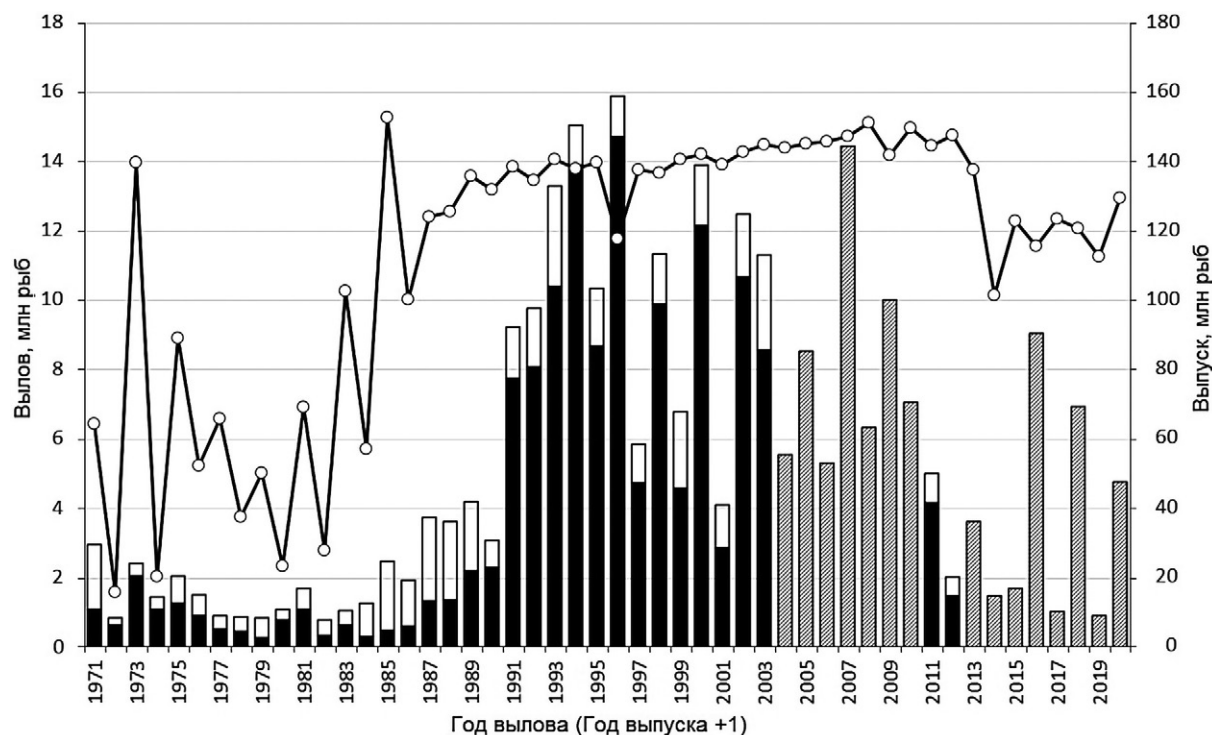


Рис. 2. Доля заводской горбуши (светлая часть столбцов) в промышленном вылове горбуши на Хоккайдо (по Morita et al., 2006a; Ohnuki et al., 2015), 1979–2020 гг. Для лет, вылов в которые обозначен серыми столбцами, разделение не производилось. График, показывающий количество выпускаемой молоди с побережья Хоккайдо, смещён на один год вперёд, так что данные выпуска и вылова относятся к одной генерации горбуши.

коэффициент возврата варьировался в пределах 1–3% в 1981–1988 гг., затем вырос до 6–7% в конце 1980-х — начале 1990-х гг. с достижением пиковых значений более 12 и 16% в 1994 и 1996 гг. (Kaeriyama, 1999). Столь высокие, фактически нереальные оценки возврата горбуши не совпадали с точкой зрения других исследователей. К тому же, уже во второй половине 1990-х гг., несмотря на постоянное количество ежегодно выпускаемой с ЛРЗ молоди, у горбуши побережья Хоккайдо проявилась двухлетняя цикличность в динамике численности подходов (Радченко, 2001).

В середине 2000-х гг. К. Морита опубликовал несколько работ, коренным образом меняющих взгляд на вклад заводской горбуши в общую численность вида на о. Хоккайдо. Согласно его оценкам, вклад горбуши, выпущенной с ЛРЗ,

в общий вылов составлял в 1971–2003 гг. 35,4–41,7%, а в 1994–2003 гг. лишь 17,5–22,6% (Morita et al., 2006a, b). Основную же часть возврата с начала 1990-х гг. обеспечивали рыбы, преодолевшие рыбобоводные заграждения и сформировавшие природные популяции в реках Хоккайдо. Как оказалось, имеются отдельные наблюдения за пропуском лососей на нерест в реки, опубликованные на японском языке, согласно которым пропуск горбуши в базовые реки ЛРЗ еще в 1960-е гг. мог достигать 200 тыс. рыб (Morita et al., 2006 b). К. Морита привёл весомый аргумент в пользу определяющего вклада в общий вылов горбуши природных популяций, указав на невысокий процент в уловах рыб, несущих отолитную метку (Nagata et al., 2012; Ohnuki et al., 2015). Значимость природных популяций была также призна-

на ввиду отсутствия корреляции между численностью выпускаемой молодежи и возвратом взрослых рыб (Saito et al., 2016) и показана в эксперименте с маркированием мальков заводской горбуши — в отдельных реках свыше 90% молодежи горбуши составляли рыбы от природного нереста (Toraio et al., 2011).

Принимая во внимание оценки Мориты, можно рассчитать, что коэффициент возврата горбуши с японских ЛРЗ составлял в 1994–2012 гг. всего лишь около 1,3%. В японской литературе имеются еще более низкие оценки возврата заводской горбуши в отдельные базовые реки ЛРЗ — 0,05–0,35% (Fujiwara, 2011, цит. по Saito et al., 2016). Кардинально меняется оценка экономической эффективности искусственного воспроизводства горбуши на о. Хоккайдо. В середине 1990-х гг. считали, что вылов заводской горбуши приносит национальному рыболовству 50–90 млрд иен при затратах ЛРЗ порядка 10–14 млрд иен (Hiroi, 1998). Согласно последним оценкам (Ohnuki et al., 2015), экономический эффект от выпусков горбуши, вернувшейся на о. Хоккайдо в 2011 и 2012 гг., составил 0,22 и 0,15 иены на одного выпущенного малька, что в целом за год равняется 0,31 и 0,22 млрд иен.

М. Керияма рекомендует максимально разделить природные популяции и искусственное воспроизводство горбуши (Kaeriyama, Qin, 2014), т. е. перенять опыт рыбоводов Аляски. Впрочем, подобное вряд ли возможно на о. Хоккайдо при наблюдаемом уровне стрейнга горбуши в пределах открытого охотоморского побережья, вблизи которого мигрируют и другие региональные группировки горбуши. При столь невысоких оценках экономической эффективности искусственного воспроизводства, следует ожидать серьезной ревизии подходов в области управления

воспроизводством и промыслом горбуши на о. Хоккайдо.

Побережье Британской Колумбии — Канада

В Британской Колумбии программа искусственного воспроизводства лососей (Salmonid Enhancement Program, или SEP) принята в 1977 г. С тех пор правительство выделило более 1 млрд \$ на обеспечение функционирования 23 государственных ЛРЗ под управлением Департамента рыболовства и океанов (ДФО), искусственных нерестовых каналов и финансирования около 300 мелких проектов по воспроизводству лососей, реализуемых как прибрежными общинами, так и общественными организациями. Структура рыбоводства лососевых рыб в Британской Колумбии в общих чертах описана Мак-Кинли с соавторами (MacKinlay et al., 2004).

Целями SEP объявлены как расширение возможностей для рыболовства, в том числе спортивного и потребительского, так и восстановление подорванных запасов лососей и мест их обитания с целью обеспечения стабильного состояния популяций и зависящих от них экосистем, а также совместная работа с прибрежными общинами, включая общины коренных народов. В последние годы наметилось смещение целей в сторону сохранения подорванных запасов и восстановления популяций, пострадавших от перелова (Grant, Pestal, 2009; Spilsted, Pestal, 2009; Van Will et al., 2009). Горбуша, ввиду меньшего промыслового интереса к ней, играет в программе воспроизводства подчиненную роль. Доля выпуска молодежи горбуши от молодежи всех видов с момента реализации программы в 1977 г. составила лишь 5,3%. В четные годы эта доля повышается до 7,8%, а в нечетные снижается до 2,8%. В абсолютных величинах с тихоокеанского побережья Канады в текущем сто-

летию молоди горбуши выпускали 10,9–25,6, в среднем 20,1 млн рыб в четные и 8,4–14,9, в среднем 13,0 млн рыб в нечётные годы. Самые низкие показатели выпуска отмечены в последние годы: в 2015 и 2019 гг. (рис. 3).

Два основных ЛРЗ, воспроизводящих горбушу в Британской Колумбии, расположены на восточном побережье о. Ванкувер, еще один — севернее, в районе г. Порт-Харди. Кроме того, в провинции реализуется множество проектов по искусственному воспроизводству горбуши, в том числе и в нерестовых каналах, обеспечивающих выпуск до 3,55 млн мальков в год (MacKinlay et al., 2004). Для большинства общественных проектов икру собирают на крупных ЛРЗ. В северной части материкового побережья провинции нерестовые каналы для горбуши имеются в бассейнах двух рек, других рыбоводных мощностей нет (Spilsted, Pestal, 2009). Два небольших ЛРЗ расположены на южном материковом побережье Британской

Колумбии. Ряд общественных проектов с выпуском молоди горбуши около 1,5 млн рыб в 2002 г. реализуются в нижнем течении крупнейшей в провинции р. Фрейзер (MacKinlay et al., 2004). В бассейне р. Фрейзер и прилегающем южном побережье провинции воспроизводится только горбуша линии нечётных лет.

Исходя из представлений о том, что молодь горбуши мигрирует в морское побережье сразу после подъёма на плав, а также, по-видимому, вследствие невысокой рыночной стоимости горбуши в Канаде, молодь с заводов в основном выпускали без подкармливания (MacKinlay et al., 2004). Масса выпускаемой молоди в цитируемой работе указана в 0,1 г, но, по-видимому, это приблизительная оценка. В 2002 г., в качестве эксперимента, один из ЛРЗ выдерживал около 3 млн молоди горбуши в садках в эстуарии р. Кемпбел (неопубликованные материалы ЛРЗ «Puntledge River», 2002). В 2007 г. такой подход был одобрен регулятором на

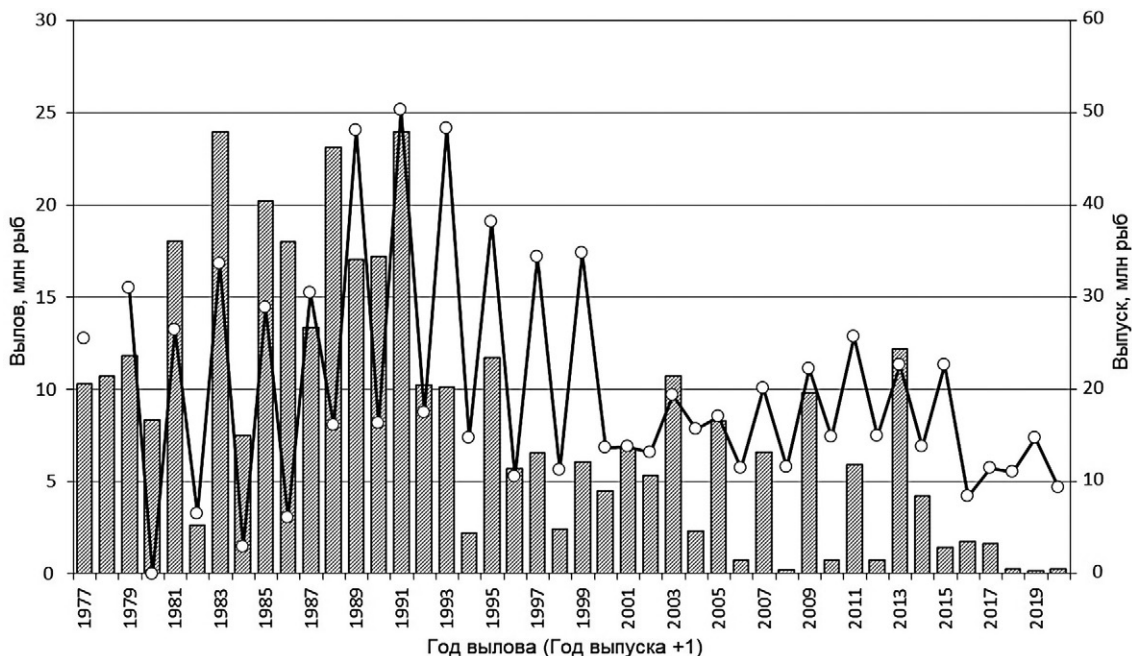


Рис. 3. Промышленный вылов и выпуск молоди горбуши в Британской Колумбии (Канада), 1977–2020 гг. График, показывающий количество выпускаемой молоди, смещён на один год вперед, так что данные выпуска и вылова относятся к одной генерации горбуши.

уровне провинции, и теперь садки для подращивания молоди установлены в нескольких бухтах прол. Джорджия (Van Will et al., 2009).

Промысел горбуши в Британской Колумбии ведется в морском прибрежье кошельковыми неводами с малотоннажных судов, жаберными сетями, а в реках — ловушками роторного типа («рыбными колесами») и также сетями. Часть горбуши, 1,6–3,0 млн рыб в 1990-е и 350–850 тыс. рыб в 2000-е нечётные гг., добывалась американскими рыбаками в рамках действующего соглашения. С 2001 г. промысел в Канаде в основном ведут общины коренных народов, населяющих данный район побережья. Часть горбуши вылавливается при троллинговом лове других видов лососей. Улов частично реализуется в свежем и замороженном виде, но большая его часть направляется на выпуск консервов, имеющих традиционные рынки сбыта в Великобритании и Австралии. Включая последний значимый подход горбуши линии нечетных лет в 2013 г., ее ежегодный вылов в текущем столетии варьировался в пределах 6,8–12,2 млн рыб (рис. 3). После этого, как и для линии чётных лет с начала 1990-х гг., промыслом осваиваются символические величины.

Отолитное маркирование горбуши на ЛРЗ Британской Колумбии производится не каждый год. По данным НПАФК, его проводили в 2011, 2015 и 2016 гг. в объёмах от 200 до 900 тыс. рыб, поэтому данные о возврате заводской горбуши недоступны. Возвраты горбуши в базовые реки ЛРЗ на восточном побережье о. Ванкувер, как правило, обеспечивают хорошие возможности для рыболовов-любителей, в то время как в южных районах материкового побережья положительный вклад искусственного воспроизводства после 2013 г. не очевиден. Расчетные показатели воз-

врата горбуши от количества выпускаемой молоди для ЛРЗ восточного побережья о. Ванкувер варьируются в пределах 0,96–3,5% (Van Will et al., 2009). Для бассейна р. Фрейзер вклад ЛРЗ в общий возврат горбуши оценивается менее 5% (Grant, Pestal, 2009).

Промысловая статистика не показательна для оценки численности подходов горбуши к побережью Британской Колумбии. Так, в р. Фрейзер доля вылова горбуши от общей численности её подхода с 1970-х гг. последовательно снижалась со средней величины в 74% до 64% в 1980-е гг., 38% в 1990-е гг. и только 6% в 2001–2007 гг. (Grant, Pestal, 2009). В 2009 и 2011 гг. эта доля несколько возросла, но не превысила 25 и 38% (Irvine et al., 2014). Коэффициент корреляции между оценками подхода горбуши в бассейн р. Фрейзер и величиной ее вылова здесь в нечётные 1085–2009 гг. (r) равен 0,37 (к примеру, для зал. Анива для 1971–2004 гг. эта величина составляет 0,99). В других районах побережья Британской Колумбии степень освоения подходов горбуши остается еще более низкой (Irvine et al., 2014).

Причиной недоосвоения подходов горбуши являлись как слабая заинтересованность рыбацких общин в ресурсах этого лосося вследствие низких закупочных цен и ограниченных возможностей переработки улова (Grant, Pestal, 2009), так и противоречивые рекомендации по его управлению. С одной стороны, промысел горбуши ограничивали с целью сохранения запасов нерки позднего хода и стальноголовой форели, а с другой — рекомендовалось усилить промысловую нагрузку на горбушу, так как ее многочисленная в чётные годы молодь могла конкурировать за кормовые ресурсы со скатившейся молодью нерки в прол. Джорджия (Beamish et al., 2010). Средние размеры горбуши обеих

репродуктивных линий в 2000-е гг. существенно уменьшились (Irvine et al., 2014), что также уменьшило привлекательность её промысла. В последнее время, после 2013 г., рыбацкие общины лишены стимула развивать промысел из-за слабых подходов горбуши на большей части побережья Британской Колумбии.

Восточное побережье о. Сахалин — Россия

На восточном побережье Сахалина в настоящее время функционируют 28 рыбоводных заводов и один капитальный питомник. Основной вклад в искусственное воспроизводство горбуши вносят 7 наиболее крупных ЛРЗ, еще несколько частных рыбоводных заводов выпускают до 5 млн шт. молоди горбуши ежегодно. В целом, численность выпуска молоди горбуши с восточного побережья Сахалина варьировалась в пределах от 120 до 250 млн рыб в 1990–2000-е гг. Около 60% выпуска приходилось на зал. Анива, остальное — на юго-восточное побережье Сахалина. Молодь горбуши с ЛРЗ Сахалина выпускают обычно без подкормки либо после краткосрочного кормления массой 0,2–0,35 г (Запорожец, Запорожец, 2011).

Основным орудием промысла горбуши на восточном побережье Сахалина был и остается ставной невод. В 1980-е гг. количество выставленных ставных неводов на всём побережье Сахалина, в зависимости от промысловых ожиданий, составляло от 90 до 250 единиц. С ростом подходов горбуши количество выставленных неводов кратно возросло: от 297 до 428 ед. в 1990-е гг., от 275 до 533 ед. в 2001–2010 гг., от 546 до 913 ед. в 2011–2017 гг. (Лисицын, 2014, с дополнениями). Кроме того, в пределах рыбопромысловых участков с 2013 г. дополнительно разрешен промысел ставными жаберными сетями. Дополнительным промысловым прессом на запасы

горбуши на восточном побережье Сахалина стало масштабное применение с 2009 г. в качестве орудий лова рыбоучётных заграждений и рыбопропускных устройств (РУЗ/РПУ), до этого времени применявшихся только на базовых реках ЛРЗ. В морском побережье и эстуариях нерестовых рек промысловые бригады часто добывают горбушу закидными неводами, особенно в периоды штормовой погоды, мешающей навигации флота, обслуживающего невода. С 2011 г. на Сахалине создаются рыбопромысловые участки в нерестовых реках, несмотря на неоднозначную оценку такой меры регулирования промысла как учёными, так и рыбаками. За 2011–2014 гг. в Сахалинской области учреждены и распределены среди пользователей 49 рыбопромысловых участков в островных реках (Лисицын, 2014).

Отметим, что еще в 1990-е годы вылов горбуши на Сахалине зависел от выставления на приёмку улова перерабатывающего флота. В отдельные годы массовых подходов горбуши это обстоятельство сдерживало промысел и существенно сказывалось на его итоговых результатах (например, в 1989 г.). Но в конце 1990-х — начале 2000-х гг. на Сахалине построены и реконструированы десятки рыбоперерабатывающих комбинатов и цехов, способных сегодня обеспечить переработку всего улова горбушовой путины на берегу.

С конца 1980-х гг. вылов горбуши на восточном побережье Сахалина заметно вырос, достигнув максимума в 155,5 млн рыб для линии нечетных лет в 2009 г. Вылов горбуши линии четных лет в этот период в основном не превышал 25 млн экз., затем скачкообразно вырос до 69,7 млн рыб в 2006 г. и «закрепился» на уровне 42,6–56,5 млн рыб в последние пять четных лет. После 2009 г. численность подходов и вылов горбуши

в нечетные годы начали резко снижаться, несмотря на наращивание промысловых усилий. В 2017 г. результат горбушовой путины на восточном побережье Сахалина едва превысил 8,5 млн рыб, в 2019 г. — 5,5 млн рыб (Рис. 4).

Как и на о. Хоккайдо, ряд специалистов в годы роста численности подходов объясняли его успехами искусственного воспроизводства горбуши (обзор в работе Каев, Игнатъев, 2015). Максимально оптимистическая оценка вклада заводской горбуши в её общий вылов достигала 33% (Белоусов и др., 2002), при этом коэффициент возврата молоди в 2001 г., о котором идёт речь в статье, должен был составить 14,6%. Понятно, что столь большие величины в большей мере отражали несовершенство методики оценки и/или некорректность сделанных авторами допущений. Исследования связи величины возвратов горбуши с объёмами ската покатики с при-

родных нерестилищ и выпусков молоди с ЛРЗ позволили констатировать, что изменения уловов в большей мере определялись изменением продуктивности природных нерестилищ, чем работой ЛРЗ (Каев, Игнатъев, 2015).

С 2008 г. на сахалинских ЛРЗ, выпускающих молодь в реки зал. Анива, начато масштабное отолитное маркирование горбуши, что позволило, начиная с 2010 г., получить этим методом первые данные о возвратах заводской молоди. Оценка возврата в зал. Анива заводской горбуши, выпущенной с двух основных ЛРЗ, в 2010–2013 гг. составила от 8,1% до 14,7% (Стекольников, 2015). С учетом работы двух других ЛРЗ, стрейнга и перехватывающего промысла горбуши вдоль юго-восточного побережья о. Сахалин (Антонов и др., 2014), можно предположительно увеличить долю заводской горбуши в возврате в зал. Анива до 12–21%. Вылов в зал. Анива в эти

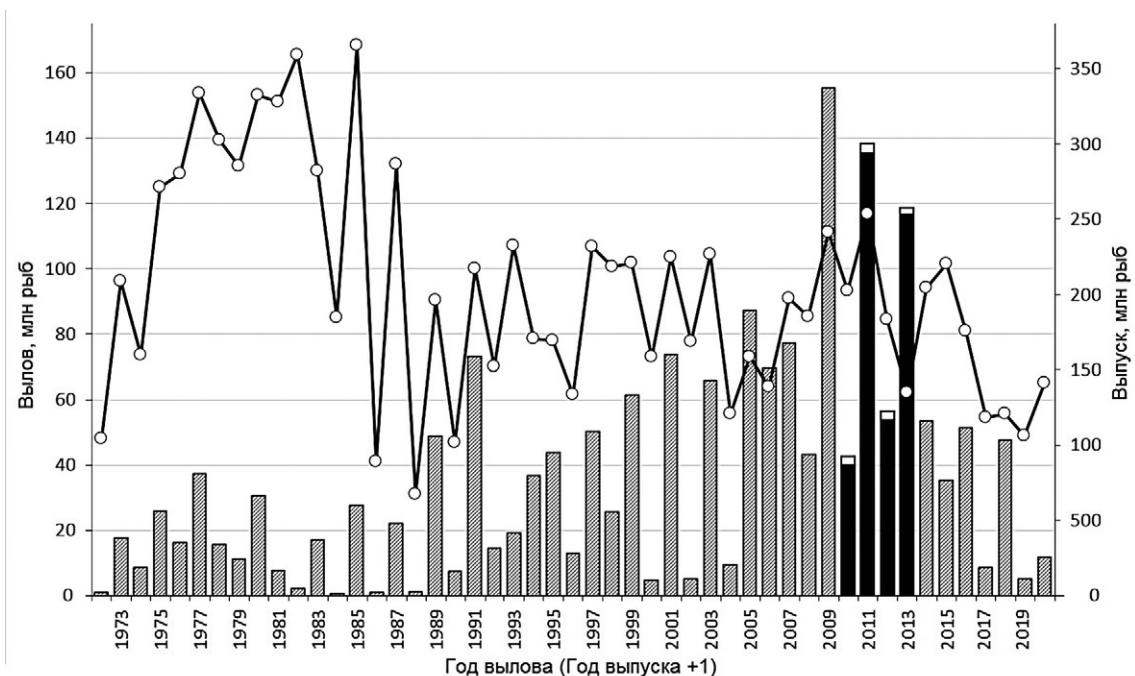


Рис. 4. Доля заводской горбуши (светлая часть столбцов) в промышленном вылове горбуши на восточном побережье Сахалина (по Стекольников, 2015), 1971–2020 гг. Для лет, вылов в которые обозначен серыми столбцами, разделение не производилось. График, показывающий количество выпускаемой молоди, смещён на один год вперёд, так что данные выпуска и вылова относятся к одной генерации горбуши.

годы составлял 17,8% (2010 г.), 5,0% (2011 г.), 11,2% (2012 г.) и 1,2% (2013 г.) от общего вылова на восточном побережье Сахалина. Если допустить, что ЛРЗ юго-востока Сахалина работали в части искусственного воспроизводства горбуши столь же успешно, как и ЛРЗ зал. Анива, доля заводской горбуши в уловах сахалинских рыбаков на восточном побережье острова в эти годы варьировалась в пределах от 0,2% (2013 г.) до 5% (2010 г.), в среднем за 4 года — 2,6%.

Подобные расчёты недавно были повторены для горбуши, выпущенной с крупнейшего специализированного Анивского ЛРЗ (Мякишев и др., 2019). Анализируя данные о прилове горбуши с отолитной меткой, авторы пришли к выводу, что выпущенная с Анивского ЛРЗ рыба составила 1,75% улова горбуши в зал. Анива в 2010–2016 гг. Анивский завод выпустил около 50% всей заводской молоди горбуши в зал. Анива (Леман и др., 2015). Создается впечатление, что оценки доли заводской горбуши следует повысить до 3,5% или даже до 5,86% в наиболее продуктивные 2010–2013 гг., если взять за основу данные таблицы 3 из работы Мякишева и др. (2019). Однако, как указано в таблице 1 этой статьи, авторы априори считают, что вся горбуша, пропущенная на естественные нерестилища выше забойки ЛРЗ, является рыбоводной из выпусков Анивского ЛРЗ. Поэтому их оценки нельзя считать объективными.

Коэффициенты возврата заводской горбуши в зал. Анива в 2010–2013 гг. оценены в 0,3–2,8%, в то время как в базовые реки ЛРЗ возвращалось от 0,1 до 1,0% выпущенных рыб. С учетом стринга и результатов перехватывающего промысла горбуши вдоль юго-восточного побережья острова коэффициенты возврата увеличены до 1,0–6,4% (Стекольников, 2015). К сожалению, коэф-

фициенты примененной для расчетов регрессионной модели в работе не приведены, что не позволяет судить о достоверности экстраполяций. По оценкам СахНИРО, объёмы выпуска молоди горбуши с ЛРЗ восточного побережья Сахалина и Курильских островов в 1999–2009 гг. составляли от 6 до 14%, в среднем 9% от общего ската. С учётом того, что, по данным отолитного маркирования, выживаемость заводской молоди оказалась в среднем в 3,5 раза ниже, чем природной (Стекольников, 2015), расчёты доли заводской горбуши в уловах по доле в общей численности ската дают нам сходную оценку в 2,6%. Следует отметить, что оценки ската природной молоди также получены методом экстраполяции данных из контрольных рек на значительно более обширную площадь природных нерестилищ (Радченко, 2001).

В 2015–2018 гг. выпуск молоди горбуши с ЛРЗ Восточного Сахалина постепенно снижается, что связано с массовой переориентацией рыбоводных мощностей на искусственное воспроизводство кеты, даже в тех местах, где условия для разведения этого лосося не оптимальны (Каев, Игнатъев, 2015). В 2019 г. отмечено небольшое повышение количества выпускаемой молоди горбуши, но средний уровень первого десятилетия текущего века ещё не достигнут.

о. Итуруп — Южные Курильские острова, Россия

Искусственное воспроизводство горбуши на о. Итуруп также имеет давнюю историю (Смирнов и др., 2006). В 1979–1984 гг. объёмы выпуска молоди горбуши здесь превышали 200 млн рыб в год, но ожидаемого роста уловов лосося, за исключением 30,2 млн рыб в 1985 г. (в год наиболее крупного «провала» горбушовой путины на Запад-

ной Камчатке), не произошло. Высказывалось предположение о превышении приемной ёмкости прибрежных заливов и бухт при выпуске слишком большого количества молоди (Смирнов и др., 2006). Корректировка планов выпуска и последовавшая перестройка народного хозяйства страны привели к резкому снижению численности выпускаемой молоди — до 65,8–76,4 млн рыб во второй половине 1990-х гг. В новых условиях хозяйствования переданные в аренду два крупнейших ЛРЗ в полной мере возобновили свою работу, в результате чего в 2002–2014 гг. с побережья о. Итуруп выпускалось в среднем 119 млн шт. молоди горбуши. Общее же количество ЛРЗ на о. Итуруп с 2005 по 2016 г. увеличилось более чем вдвое — с шести до 13 единиц. Из них молодь горбуши выпускали 4–5 ЛРЗ (Леман и др., 2015).

Выпускают молодь с ЛРЗ о. Итуруп в первой половине июня, ориентируясь на температуру воды в морском прибрежье и динамику ската природной моло-

ди горбуши. В последние годы практикуется кормление молоди перед выпуском продолжительностью до двух месяцев. В результате кормления средняя масса молоди горбуши увеличивалась с 0,2–0,3 г до 0,35–0,5 г в 2013–2015 гг. (Бойко, 2014; Лаврик, 2016).

Вылов горбуши на Курильских островах, между тем, оставался довольно стабильным: в чётные 1994–2004 гг. вылавливали 21,9–28,7 млн рыб, в нечётные 1995–2003 гг. — 10,8–17,8 млн рыб. 85–94% этого количества добывалось на о. Итуруп. Затем вылов горбуши достиг максимума в два смежных года (2006 и 2007 гг.) на уровне 32,6–32,7 млн рыб, после чего подходы и уловы стали сокращаться — резко для генеративной линии нечетных и более плавно для линии четных лет (рис. 5). В 2016–2020 гг., за исключением 2018 г., уловы горбуши на о. Итуруп стабилизировались на низком уровне в 10,8–14,1 млн рыб. В 2018 г., в год наибольших подходов горбуши по всему охотоморскому реги-

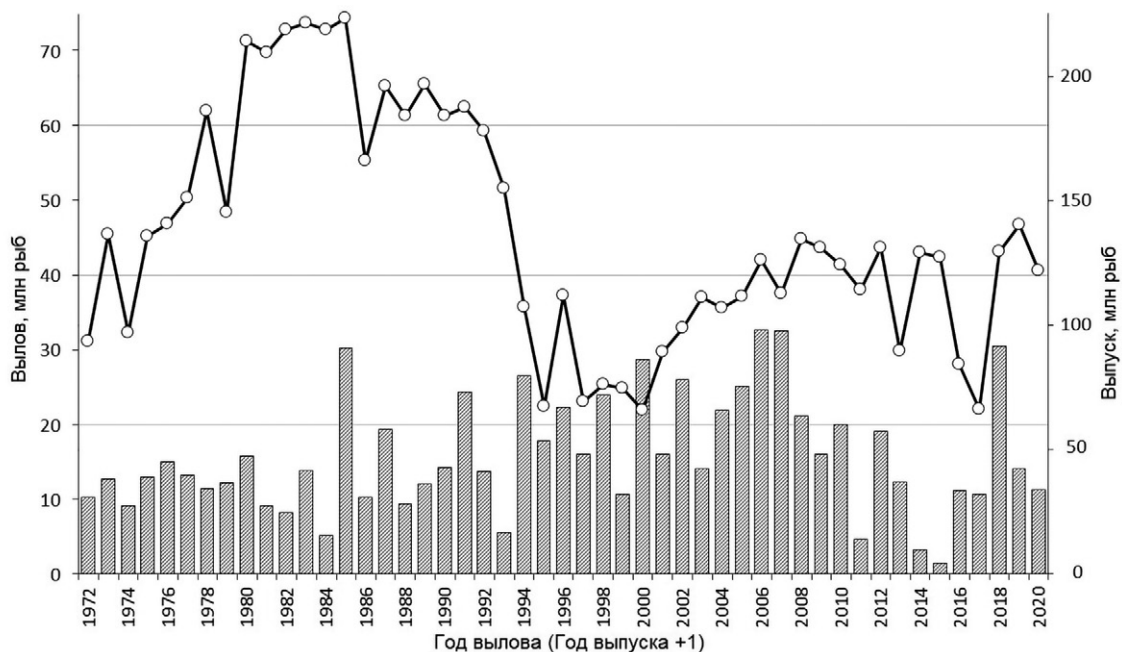


Рис. 5. Промышленный вылов и выпуск молоди горбуши на о. Итуруп (Россия), 1971–2020 гг. График, показывающий количество выпускаемой молоди с побережья острова, смещён на один год вперёд, так что данные выпуска и вылова относятся к одной генерации горбуши.

ону, на о. Итуруп было добыто 30,6 млн шт. горбуши.

Промысел на о. Итуруп ведется ставными, в меньшей степени закидными неводами. В 2000-е гг. на острове составлялось около 100 ставных неводов. Переработка улова осуществляется как на береговых мощностях, так и на приёмных перерабатывающих судах. Слабые возвраты после урожайных лет в середине прошлого десятилетия привели к тому, что объёмы выпуска молоди горбуши стали снижаться. Почти все вновь введённые рыбоводные мощности ориентированы на воспроизводство кеты. Происходит перепрофилирование и тех мощностей, на которых ранее разводили горбушу (в частности, Рейдового ЛРЗ). В итоге, объём выпуска молоди горбуши в 2016 г. (66,2 млн рыб) снизился до уровня второй половины 1990-х гг., хотя затем восстановился до уровня 122–140 млн рыб в 2017–2019 гг.

С 2009 г. на Курильском и Рейдовом ЛРЗ о. Итуруп начат выпуск молоди лососей с метками на отолидах. Объём выпуска молоди горбуши в 2009 г. составил 50 млн рыб, в 2010 г. — 91 млн в 2011 г. — 115 млн рыб. В меньших объёмах отолитное маркирование горбуши продолжалось до 2015 г., когда на Курильском ЛРЗ на ручье Кетовый было маркировано 26,5 млн рыб (Akinicheva et al., 2016).

К сожалению, данные о возврате маркированной горбуши к о. Итуруп остаются неопубликованными. По данным СахНИРО, при возврате первого выпуска маркированной молоди горбуши, в прибрежье и базовой реке Курильского ЛРЗ в 2010 г. были собраны отолиды 19 маркированных рыб из 439 исследованных особей. Эти предварительные оценки (доля 4,3% в возврате в окрестности базовой реки) несколько выше полученных для молоди, выпущенной с ЛРЗ зал. Анива. Маркированная мо-

лодь горбуши отмечена в траловых уловах в Охотском море в ходе осенних траловых съёмок ТИНРО-Центра. Так, в 2014 г. из 1023 исследованных особей горбуши, 15 имели термическую метку на отолидах, в том числе 7 рыб были выпущены с ЛРЗ о. Итуруп (Чистякова и др., 2015).

КЕТА

Острова Хоккайдо и Хонсю — Япония

Основной целью искусственного воспроизводства лососей в Японии явилось восстановление их запасов, пострадавших от массового нерегулируемого промысла (Nagata et al., 2012), а также изменения русла и загрязнения рек (Запорожец, Запорожец, 2011). В настоящее время в Японии работают, по разным источникам, от 262 до 303 ЛРЗ, 129–160 на о. Хоккайдо и 133–143 на о. Хонсю (Miyakoshi et al., 2013; Kitada, 2014, 2018). На картах Национального института рыбохозяйственных исследований и образования Японии (Iida et al., 2018) указано расположение 113 частных ЛРЗ на о. Хоккайдо и 129, 6 из которых не функционируют — на о. Хонсю, а также 13 государственных ЛРЗ на о. Хоккайдо, и 8 ЛРЗ префектурального подчинения — 3 на о. Хоккайдо и 5 на о. Хонсю, соответственно. Соотношение объёмов выпуска молоди кеты между частными и государственными заводами — 87% к 13% (Kitada, 2014). Большая часть ЛРЗ, около 100 — на Хоккайдо, обеспечивает все циклы искусственного воспроизводства вплоть до выпуска молоди. Часть небольших хозяйств занимается подращиванием малька, получая икру на стадии глазка или молодь от более крупных государственных и частных ЛРЗ. Молодь, выпущенная с ЛРЗ национального и префектурального подчинения, подвергается термической маркировке

отолитов, а молодь частных ЛРЗ маркируется только при проведении научных исследований (Miyakoshi et al., 2013).

Икру кеты собирают с сентября по декабрь на забойках, установленных на 75–80 реках. В зависимости от широты расположения ЛРЗ, икра инкубируется при температуре 6–9 °С с сентября по январь в боксах-инкубаторах ящичного типа, вмещающих 500 тыс. икринок каждый. Выклюнувшихся личинок содержат в затемненных каналах. Поднявшуюся на плав молодь перемещают в каналы с температурой воды около 4–12 °С и около двух месяцев кормят сухим гранулированным кормом. Подращивание на ЛРЗ практикуется с 1966 г. Действует рекомендация доращивать мальков кеты до длины 5 см и массы не менее 1 г на момент выпуска, что регулируют как за счёт увеличения объема воды, в которой содержится молодь, так и регулирования её температуры.

На тихоокеанском побережье о. Хонсю, где климат более теплый, инкубационный период начинается раньше и молодь кеты в основном выпускают с середины марта по начало мая (Yatsuya et al., 2018). На юге о. Хоккайдо — в основном в мае. В более прохладных восточных районах о. Хоккайдо выпуск начинается в конце апреля и заканчивается в начале июня. Молодь кеты на о. Хоккайдо выпускают в 140–145 рек, чаще в нижнем течении, и в 74–80 садков в морском побережье. Морские садки для подращивания молоди кеты начали использовать с начала 1970-х гг., выпускают молодь из них во второй половине мая (Kasugai et al., 2018). Средний вес молоди, выпускаемой в реки на Хоккайдо, составляет около 1,2 г, из садков в побережье — 1,6–1,7 г. и более (1,93–2,12 г в эксперименте 2005–2006 гг., по Kasugai et al., 2018).

Выпускают молодь на о. Хоккайдо при температуре воды в побережье в пределах 5–15 °С, оптимальной считается 8–13 °С. «Идеальной» схемой выпуска предусматривается, что мальки успеют вырасти до 7 см, пока вода в побережье прогреется до температуры 13 °С (Miyakoshi et al., 2013). Доля молоди кеты, выпускаемой в побережье о. Хоккайдо из садков, увеличилась с 2,6 % в 1983 г. до 9,17 % в 2006 г. (Kasugai et al., 2018). Отмечено, что молодь, подращиваемая в морских садках, обладает ослабленным хомингом по отношению к базовой реке ЛРЗ, на котором она была выращена, но проводит больше времени в морском побережье и преобладает здесь в уловах (Kasugai et al., 2018).

В 2006 г. К. Морита с соавторами сообщили о существовании в японских реках многочисленных природных популяций кеты (Morita et al., 2006a), которые могут внести заметный вклад в её промышленный вылов. Так, вклад потомства рыб, отнерестившихся в природных условиях, в 2008 г. составил 34 % вылова на забойке местного ЛРЗ «Читозе» (Morita, 2014). На иллюстрации к данной статье вклад природных популяций в общую продукцию кеты на Хоккайдо в начале второго десятилетия XXI в. К. Морита примерно оценил в 30 %, в то время как ранее соглашался с общим мнением, что к побережью Хоккайдо в основном возвращается рыбоводная кета (Morita et al., 2006a). К. Морита также отмечает снижение количества рек, из которого рыбоводами отбирался посадочный материал для воспроизводства кеты — со 150–160 рек в первой половине 1980-х гг. до 70–80 рек в 1995–2004 гг. Соответственно, в 2002–2004 гг. только около половины мальков кеты выпускались в реки, в которые вернулись их родители (Morita et al., 2006a).

Промысел кеты в прибрежье о. Хоккайдо и северных провинций о. Хонсю с конца августа по декабрь ведут в прибрежье ставными неводами, большими по размеру, чем «стационарные сетные ловушки» для промысла горбуши (Saito, 2015). Количество выставляемых ловушек значительно возросло с ростом подходов кеты: от 400 единиц в конце 1960-х гг. до почти тысячи в середине 1990-х гг. с постепенным снижением до 850 в середине первой декады XXI в. (Morita et al., 2006a). Для нужд искусственного воспроизводства кету отлавливают перед забойками в реках. Это количество невелико по сравнению с промышленным выловом кеты. Так, в 2019 г. в реках выловлено 1,78 млн шт. взрослой кеты массой около 2,135 тыс. т (Fukuzawa, Gouda, 2020).

Коэффициент возврата японской рыболовной кеты сильно варьируется в зависимости от региона. Для генераций 1976–1998 гг. коэффициент возврата на япономорской стороне о. Хонсю в среднем составил 0,3%, в то время как на охотоморском побережье о. Хоккайдо — 4,7%, а на побережье Кунаширского пролива — даже 5,9%. В остальных районах возврат рыболовной кеты характеризовался промежуточными средними значениями — от 1,7 до 3,1% (Saito, Nagasawa, 2009). Сходные оценки приведены О. Хирои (Hiroi, 1998): на о. Хоккайдо в период с 1968 по 1984 гг. коэффициент возврата кеты стабильно превысил уровень 2%, с 1984 г. — 3%, с 1989 г. — 4%, в то время как на о. Хонсю он оставался в пределах 0,6–2,5%. Максимальные коэффициенты возврата рыболовной кеты на о. Хоккайдо отмечены для поколений от закладки в 1999 г. (6,8%) и 2001 гг. (6,9%), максимальный возврат, около 61 млн рыб — в 2004 г. (Kitada, 2014). Промысловый вылов кеты на японских островах превысил

80,88 млн рыб в 1996 г., после чего снизился до 42,55 млн рыб в 2000 г. К 2004 г. величина вылова восстановилась до уровня 69,66 млн рыб, однако затем началось его неуклонное снижение до 17,3 млн рыб в 2019 г.

Максимальный вылов кеты на о. Хоккайдо (60,49 млн рыб, включая вылов в реках) имел место в 2004 г. (рис. 6). В дальнейшем коэффициент возврата на о. Хоккайдо снизился с 3,6–6,9% для поколений кеты от закладки в 1996–2005 гг. до 2,4–3,8% — от закладки в 2008–2011 гг. а для вернувшихся полностью поколений 2012 и 2013 гг. закладки — лишь 1,1% и 1,3% (по данным, любезно предоставленным М. Кериямой). Причины продолжающегося снижения эффективности искусственного воспроизводства японской кеты в основном связываются с климатическими изменениями и технологическими ошибками. В качестве одной из причин называются ограниченные технические возможности хозяйств в части содержания подрастающей молоди кеты и выпуск её по этой причине в прибрежье в неблагоприятное время, когда вода ещё не прогрелась и кормовая база не сформировалась (Miyakoshi et al., 2013). Плохая выживаемость молоди кеты в море также связывается с потеплением климата, в частности разрушением «коридора» с благоприятными условиями среды для миграции молоди лососей от побережья японских островов на нагул в бореальные широты (Kaeriyama et al., 2014).

Интересно отметить явление «старения» супер-популяции рыболовной кеты о. Хоккайдо, выразившееся в изменении соотношения в возврате рыб разных возрастов. На начальном этапе успешного становления искусственного воспроизводства кеты, до 1982 г., в возврате рыболовной кеты отмеча-

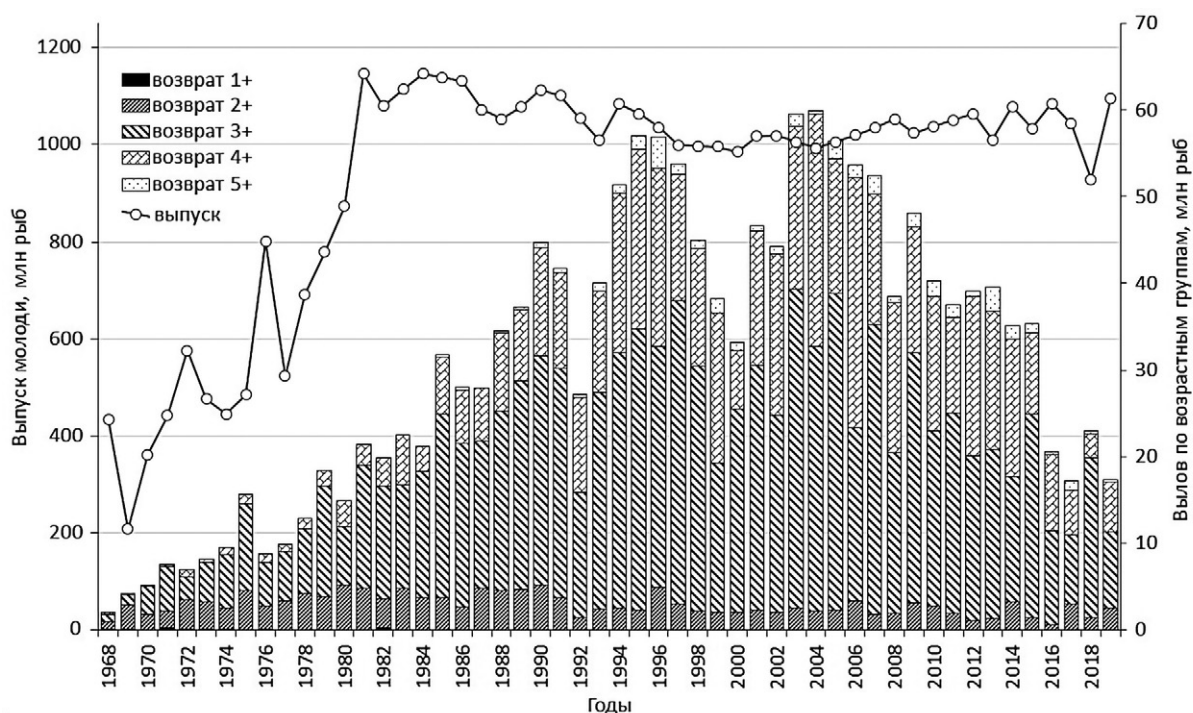


Рис. 6. Динамика выпуска молоди (по году закладки, левая ось ординат) и вылова (правая ось) кеты на о. Хоккайдо по возрастным группам, 1968–2019 гг. Данные Ассоциации искусственного воспроизводства лососей Хоккайдо и М. Кериямы (M. Kaeriyama, University of Hokkaido, pers. comm.)

лись особи, созревшие в возрасте 1+ (двухлетки). До 1991 г. включительно, доля рыб, созревших и вернувшихся на нерест в возрасте 2+ (трехлеток) в среднем составляла 19% численности генерации, что равнялось 3,9 млн рыб в вылове за 1972–1991 гг. Напротив, в 1992–2019 гг. средний возврат трёхлеток составил лишь 5,6% численности генерации, в вылове в среднем насчитывалось 2,2 млн таких рыб, несмотря на то, что на эти годы пришлись наиболее массовые возвраты и значимые уловы кеты на о. Хоккайдо. Первые шестилетки (5+) в пробах вернувшейся на нерест кеты встречены в 1985 г. Их средняя доля в возврате генераций рыболовной кеты от закладки в 1979–1986 гг. составляла около 1%, что равнялось примерно 320 тыс. рыб в вылове на о. Хоккайдо в 1985–1992 гг. После 1992 г. доля кеты, вернувшейся в возрасте 5+, в среднем составила 3% численности генераций

рыбоводной кеты от закладки в 1987–2013 гг., а численность в вылове в 1993–2019 гг. — 1,28 млн рыб. В то же время, нельзя сказать, что численность трехлеток в вылове последовательно снижается, а шестилеток — постепенно увеличивается. В некоторые из последних лет, например, в 2014, 2017 и 2019 гг. численность трёхлеток в вылове была существенно выше среднего уровня — в пределах 2,5–3,2 млн рыб. Шестилетки были немногочисленны в 2016, 2018 и 2019 гг. — от 170 до 385 тыс. рыб в общем вылове на о. Хоккайдо.

Более низкую выживаемость заводской молоди кеты по сравнению с молодьё с естественных нерестилищ обычно объясняют более низким генетическим разнообразием заводской молоди в результате селективного отбора, инбридинга и накоплением «вредных» мутаций в результате высокой выживаемости на стадии от икры до выпускаемого

малька (83% от закладки в 1989–2018 гг.). Считается, что носители таких мутаций погибли бы в дикой природе на ранних стадиях (Araki et al., 2008). Как следствие, молодь заводской кеты обладает меньшими адаптационными способностями. Результаты генетических исследований рыбоводного лосося позволяют говорить об эффекте «одомашнивания» искусственно воспроизводимых популяций, заключающегося в эпигенетическом репрограммировании, возникающем вследствие содержания заводской молоди лососей в однородной технической среде ЛРЗ, кормления искусственным кормом, отличным от имеющегося в природе, т. п. (Christie et al., 2012, 2016; Le Luyer et al., 2017). Техническая среда ЛРЗ благоприятствует определенным генотипам, связанным с одомашниванием, а искусственный отбор может привести к дезадаптации к изменениям климата и действовать в направлении, противоположном естественному отбору (Tillotson et al., 2019). Эпигенетические модификации, возникающие при заводском содержании молоди кеты, могут объяснить снижение её жизнеспособности.

Долгосрочное искусственное воспроизводство японской кеты на ЛРЗ определило изменение частоты аллелей в её популяциях, что может ослаблять хоминг (Kitada, Kishino, 2021). Расположение мест нагула и нереста японской кеты требует протяжённых миграций, в том числе вдоль побережий, где воспроизводятся другие популяции вида, что предполагает более высокий стресс по сравнению с другими региональными группировками (Kitada, Kishino, 2021). Также отмеченная замена аллелей адаптированных к повышенной температуре генов определяет снижение эффективности метаболизма в скелетных мышцах, что соответствует наблюдениям, зафиксировавшим низкую выносли-

вость (Kobayashi, Ohkuma, 1983, цит. по Kitada, Kishino, 2021) и эффективность метаболизма (Shimizu et al., 2016) японской рыбоводной кеты при физических нагрузках.

Важно, что при наблюдавшемся с начала 1970-х гг. росте подходов кеты средняя масса рыб последовательно уменьшалась (Ishida et al., 1993; Kaeriyama, 1998; Kitada, 2018). Высказывается мнение, что после запрета дрифтерного промысла японская рыбоводная кета «проигрывает» внутривидовую конкуренцию кете природных запасов, воспроизводящихся на российском побережье Охотского моря в более благоприятных климатических условиях, на которую ранее в основном приходился пресс промысла дрифтерными сетями (Kitada, 2018, 2020). Основываясь на этих представлениях, японские специалисты прогнозируют, что состояние рыбоводных популяций японской кеты продолжит ухудшаться при прогрессирующем потеплении климата и росте температуры морской воды.

Юго-восточная Аляска — США

Пятнадцать частных и два государственных исследовательских ЛРЗ расположены на юго-востоке Аляски (Heard, 2012). Финансирование работы частных ЛРЗ осуществляется за счёт разрешения на вылов около 30–35% их рыбоводной продукции. Кроме того, входящие в две крупных рыбоводных ассоциации (северную и южную) ЛРЗ частично финансируются за счет 2%-х отчислений от стоимости промышленного вылова, выплачиваемых рыбаками. На юго-востоке Аляски мало водоёмов пригодных для нагула молоди лососей с длительным пресноводным периодом. Поэтому регион специализируется на искусственном воспроизводстве кеты, а не более ценных видов лососей.

Объём искусственного воспроизводства кеты на юго-востоке Аляски вырос довольно быстро. Если в 1980 г. на 8 прибрежных участках выпускали 8,7 млн шт. молоди рыбоводной кеты, к 2007 г. это количество возросло до 454 млн шт., выпускаемых на 22 участках (Eggers, Heintz, 2008), а к 2013 г. численность рыбоводной молоди впервые превысила 500 млн шт., выпускаемых на 18 участках (Piston, Heintz, 2014; NPAFC, 2020). Среднее количество выпускаемой молоди остается относительно стабильным с небольшой тенденцией к увеличению, при среднем объёме выпуска за 2010–2019 гг. в 493 млн рыб. За пять последних лет средняя составила 524 млн рыб (NPAFC, 2020). Рыбоводная кета составляет около 80% от всей выпускаемой молоди лососей на юго-востоке Аляски. Для закладки используют икру как летней кеты, подходы которой наблюдаются в июле — начале августа, так и осенней, возвращающейся на нерест в конце августа-сентябре. Летней кеты воспроизводят больше в связи с её более высокой ценностью для промысла.

На ЛРЗ молодь кормят в течение нескольких месяцев после выклева. Мальков летней кеты выпускают начиная с апреля, массой 2,5 г и более, осенней кеты — массой более 2 г, преимущественно в мае (Stopha, 2015). Хотя выпускаемая рыбоводная молодь крупнее и упитаннее, чем природная (Reese et al., 2008), в море эти различия почти нивелируются уже через несколько недель (Sturdevant et al., 2012; Kohan et al., 2013). Как возможные механизмы этого феномена, предполагают более быстрый «компенсаторный» рост лучше адаптированной молоди кеты природного происхождения и селективную смертность более крупной рыбоводной молоди (McConnell et al., 2018).

Средний коэффициент возврата рыбоводной кеты на юго-востоке Аляски немного превышает плановые 2,5%, составив 2,8% для 1985–2011 гг. В последние годы оценки несколько снизились, за 10 лет с 2007 по 2016 гг. — до 2,6% (Pryor, 2017), а с учетом снижения величины подходов кеты после относительно благополучного 2017 г., вероятно, еще в большей степени в последние 3 года.

Вклад искусственного воспроизводства кеты в промысел оценивается довольно высоко. По оценкам авторов недавнего отчета (ENRI, 2001), рыбоводная кета обеспечила 64% вылова этого лосося на Аляске в 2000 г. Для юго-восточной Аляски и зал. Принца Уильяма это доля составила 73% и 88%, соответственно, на о. Кадьяк — 26%. Сходно оценивается доля рыбоводной кеты в вылове этого лосося на юго-востоке Аляски в первую декаду XXI в.: 73%, или около 5 млн рыб в год (Piston, Heintz, 2012). По оценкам за 2007–2016 гг., кета обеспечила 78% стоимости рыбоводной продукции юго-востока Аляски, в то время как кижуч, чавыча, горбуша и нерка — 12, 6, 2 и 2%, соответственно (Pryor, 2017). Вклад кеты существенно возрос по сравнению с начальным периодом деятельности рыбоводных корпораций (1985–1993 гг.), когда доля кеты в стоимости рыбоводной продукции едва превысила 50%, а доли остальных видов лососей, в той же последовательности, равнялись 26, 8, 6 и 9%.

Промысел кеты на юго-восточной Аляске ведется в морском прибрежье кошельковыми неводами и жаберными сетями с малотоннажных судов, а также троллингом. С 1994 г. перед путиной утверждается план управления промыслом, распределяющий подход кеты по трем группам рыболовного флота, использующим различные орудия лова. Сетными орудиями лова осваивается

основной объём вылова кеты. В среднем за 10 лет с 2007 по 2016 гг. неводами добывалось 2,9 млн рыб в год, жаберными сетями — 2,5 млн, а троллингом — 376 тыс. рыб (Pryor, 2017). Недавний пик вылова кеты пришелся на 2012–2013 гг. (рис. 7), когда кошельковыми неводами добывали 4,2–4,5 млн рыболовной кеты. Троллингом в 2013 г. добыто 936 тыс. рыболовной кеты (Pryor, 2017). В сочетании с высокой приемной ценой кеты-сырца, период 2012–2013 гг. остается наиболее благополучным в отношении промысла рыболовной кеты на Аляске.

Даже в период относительного благополучия с подходами кеты на юго-востоке Аляски пристальное внимание уделялось вопросам управления ресурсами рыболовных и природных популяций, в частности интенсивности промысла, базирующегося на смешанных запасах. Считается, что от такого про-

мысла могут пострадать малочисленные популяции лососей, в частности популяции кеты небольших водотоков (Halupka et al., 2000; Piston, Heintz, 2014). Дополнительной угрозой малочисленным популяциям выглядит обнаруженный существенный стрейнг рыболовной кеты. Так, в 2015 г. в небольшом нерестовом водотоке на юго-восточной Аляске рыболовная кета составила 51,4% от количества исследованных экземпляров вида, собранных после нереста. Рыболовная кета подошла на нерест значительно позднее природной, по возрастному составу оказалась ранее созревшей и отличалась меньшими размерами как в целом, так и по отдельным возрастным группам (McConnell et al., 2018). Продолжительность жизни рыболовной кеты на нерестилище была короче на два дня, а количество невыметанной икры в среднем составило 47% против

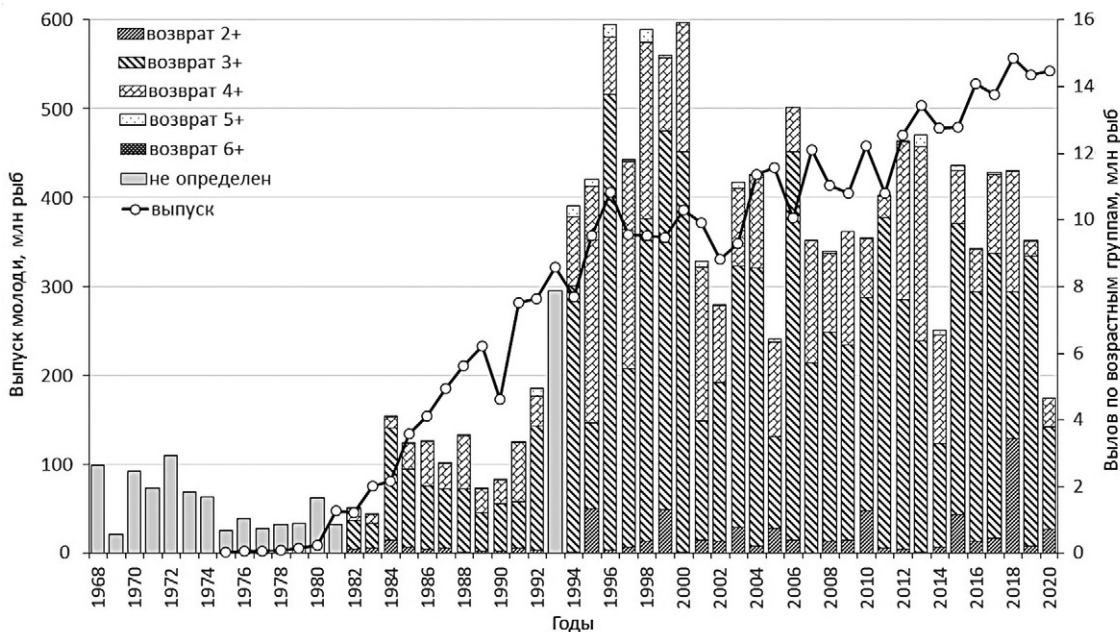


Рис. 7. Динамика выпуска молоди (по году выпуска, левая ось ординат) и вылова (правая ось ординат) кеты на юго-восточной Аляске по возрастным группам, 1968–2020 гг. Данные о возрастном составе — по результатам определения из уловов кеты жаберными сетями (все подрайоны) из базы данных Департамента рыбы и дичи штата Аляска. Для 2008 г. — из базы данных о возврате кеты с отолитными метками <https://mtalab.adfg.alaska.gov/OTO/reports/MarkSummary.aspx> (все подрайоны промысла + пропуск).

19% у самок природного происхождения. Впрочем данное наблюдение объясняется более поздними сроками миграции рыбоводной кеты, совпадающими с потеплением воды в ручье и массовыми подходами горбуши.

Высказывается мнение, что возраст полового созревания кеты в основном обуславливается наследственностью. Изменчивость данного признака меньше у рыбоводной кеты, чем у природной, а в возврате доминируют четырехлетки (3+) (McConnell et al., 2018). В то же время, в работе (Carlson, Seamons, 2008), на которую ссылаются авторы (McConnell et al., 2018), указывается, что возраст и продолжительность полового созревания лососевых рыб определяют условия для роста в морской среде (или пресноводных водоемах для неанадромных видов). При этом более быстрый рост определяет наступление половозрелости в более раннем возрасте и большие размеры тела в этом возрасте. Соответственно, возраст полового созревания и длина тела при половом созревании характеризуются умеренными значениями параметра наследуемости h^2 (среднее = 0,21 в обоих случаях), что предполагает возможность адаптации лососей к меняющимся условиям среды (Carlson, Seamons, 2008). К тому же, кета в данной работе не рассматривается вовсе, а выводы для анадромных представителей рода *Oncorhynchus* делаются на данных, полученных для кижуча, чавычи и стальноголовой форели.

Рыбы в возрасте 3+ значительно преобладали в уловах у побережья юго-восточной Аляски, составив 66,2% вылова за период 1982–2020 гг. Для возрастного класса 4+ этот показатель составил 27,7%, для 2+ — 5,1%, для 5+ — 1,0%. Семилетки (6+) встречались единично. Как видно из рисунка 7, соотно-

шение возрастных групп в подходах не было постоянным. В начальный период возобновления искусственного воспроизводства кеты возврат рыб в возрасте 4+ был несколько выше с тенденцией к увеличению — от 29,5% в 1982–1992 гг. до 32,9% в 1995–2001 гг., что нашло свое отражение в исследованиях того периода (Ishida et al., 1993; Helle & Hoffmann, 1995, 1998; Biggler et al., 1996; Kaeriyama, 1998). Высказывалось предположение, что «старение» популяций кеты связано с сокращением экологической ёмкости районов нагула в океане в результате как роста численности выпускаемой молодежи, так и возможной смены климато-океанологического режима. Тем более, что общий вылов кеты всеми странами в северной части Тихого океана в то время достиг максимального уровня — 116,5 млн рыб в 1996 г. Тем не менее, начиная с 2002 г., на юго-восточной Аляске наблюдается обратная ситуация. Доля четырёхлеток в этот период в среднем составила 68,0%, а рыб в возрасте 4+ и 5+ — снизилась до 25,3% и 0,6%, соответственно.

Как и на о. Хоккайдо, с возобновлением искусственного воспроизводства кеты на юго-восточной Аляске в возрастном составе подходов наблюдалось заметное увеличение доли рыб, созревших и вернувшихся на нерест в возрасте 2+. В 1982–1987 гг. их доля в среднем составила 7,5%, в то время как в 1988–1992 гг. — лишь 2,7%. На сходном уровне эта доля сохраняется и в период после 1994 г. — 2,2%, если исключить из расчета годы с резкими «всплесками» численности кеты младшей возрастной группы — 1995 (11,9%), 1999 (8,7%), 2003 (6,9%), 2005 (11,4%), 2010 (13,4%), 2015 (10,0%), 2018 (30,0%) и 2020 (15,1%) гг. Линию хороших возвратов трёхлеток (возраст 2+) в 1995, 1999, 2003 гг. можно провести от генераций 1983 (12,4%),

1987 (5,3%), 1991 (4,4%) и связать с наследственностью. Но в дальнейшем четырехлетний интервал проявления этого феномена нарушается, а доля рыб в возрасте 2+ временами достигает исключительно высоких значений — до 30% в 2018 г. Соответственно, в эти годы средний возраст кеты в нерестовых подходах заметно снижается.

Снижение подходов и вылова кеты на юго-восточной Аляске произошло в последние два года. В 2019 г. провал прогноза (вылов 20,6 млн рыб, Brenner et al., 2019) и разочарование рыбаков объяснялись излишне оптимистическими ожиданиями мощных подходов, основанными на численности вернувшихся в 2018 г. трёхлеток. В 2020 г. прогнозировался вылов кеты на уровне прошлого года (9,4 млн рыб, Brenner et al., 2020), который вновь оправдался менее чем наполовину. Гипотезы, объясняющие наблюдаемое снижение, пока ещё не разработаны. Можно предположить, что наиболее тщательно специалисты исследуют воздействие на лососей «волны тепла», пришедшей из центральной части Тихого океана и определившей существенные положительные аномалии температуры воды в прибрежье Аляски начиная с 2014 г. (Bond et al., 2015). Выживаемость лососей в реках и, соответственно, эффективность нереста снижается в условиях положительных температурных аномалий. В 2020 г. основу вылова должна была составить кета от нереста/закладки икры в 2015–2016 гг., в самые «жаркие» по величине температурных аномалий годы. Хотя целевые показатели пропуска на нерест и нормы закладки икры на ЛРЗ в эти годы безусловно достигались, воспроизводство природных популяций могло оказаться недостаточно эффективным под воздействием «волны тепла». В то же время, как по-

казали исследования 2014–2017 гг., хотя в «перегретой» экосистеме зал. Аляска произошли заметные изменения, скатившаяся из рек молодёжь лососей смогла удовлетворить свои пищевые потребности, переключившись на альтернативные виды кормового зоопланктона (Fergusson et al., 2020).

В 2021 г. рыбоводы юго-восточной Аляски ожидают возврат кеты в размере 8,1 млн рыб, считая ситуацию 2020 г. временным явлением. В то же время, невысокая численность в подходе 2020 г. всех возрастных групп дает мало оснований для оптимизма.

о. Итуруп — Южные Курильские острова, Россия

Кета, нерестящаяся в природе на о. Итуруп, принадлежит к осенней сезонной расе. Нерест кеты отмечали более чем в 50 водоемах острова, при этом численность нерестовых группировок в основном определяется условиями водотока и площадью доступных нерестилищ (Кловач и др., 2018). В зависимости от расположения нерестилищ кеты выделяют два экотипа — речной и озёрный (Zhivotovsky et al., 2012). Естественный нерест кеты наблюдается во всех крупных реках и озерно-речных системах (Кловач и др., 2018).

Пять ЛРЗ на о. Итуруп продолжали функционировать до начала XXI столетия, когда началось строительство ЛРЗ «Куйбышевский», и также были разработаны рекомендации о возможном сооружении ЛРЗ на 4-х ручьях и в озёрно-речных системах Сопочное и Лебедино. Затем произошел настоящий бум строительства новых ЛРЗ: их количество с 2005 по 2019 г. увеличилось втрое — с 5 до 15 единиц. Одной из причин послужило включение строительства ЛРЗ в первую редакцию федеральной целевой программы (ФЦП) социально-

экономического развития Курильских островов. И хотя ФЦП в дальнейшем оказалась скорректированной, частные компании, которые должны были получить средства на строительство, выполнили намеченное собственными силами. В том числе реализованы уникальные для российского лососеводства проекты функционирования ЛРЗ на родниково-грунтовых водах с последующим выдерживанием молоди в солоноватой воде (Литвиненко, Корнеева, 2017).

Вновь введенные на о. Итуруп рыбобоводные мощности почти исключительно ориентированы на воспроизводство кеты. Кроме того, крупный ЛРЗ «Рейдовый» полностью перепрофилирован на выпуск молоди кеты (30 млн рыб). В итоге, в то время как объем выпуска молоди горбуши в последние 6 лет снизился, количество выпускаемой молоди кеты значительно возросло, превысив в 2017 г. 250 млн рыб, а в настоящее время — 300 млн рыб (рис. 8).

Температура воды при инкубации икры кеты уменьшается с 7,0 °C в октябре до 4,5 °C в январе (Бойко, 2014). Оптимальным считается выклев предличинок при наборе 484,7–493,9 градусодней до начала марта, что близко к условиям развития эмбрионов в естественной среде (Ефанов, Бойко, 2014). В конце апреля-начале мая молодь кеты поднимается на плав и начинает питаться, при остатке желточного мешка 30% и менее (Ефанов, Бойко, 2014), но не менее 12,5% (Сергеенко, 2007). Подкормку молоди осуществляют с первой-второй декады марта сухими гранулированными кормами до достижения молодь кеты навески 1,15–1,32 г (Лаврик, 2016). На ЛРЗ со смешанным водоснабжением к пресной воде начинают добавлять морскую после десяти дней подкормки молоди кеты (Литвиненко, Корнеева, 2017). В связи с более высокой температурой источника пресной воды, кормление на этих ЛРЗ начинают в феврале, и молодь

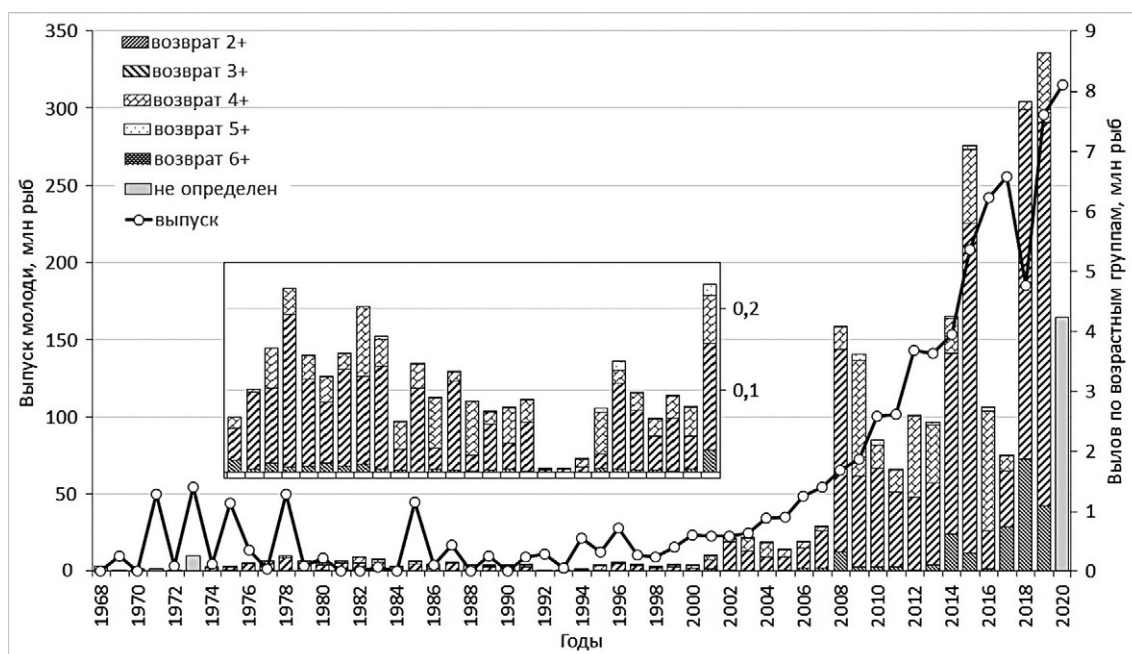


Рис. 8. Динамика выпуска молоди (по году выпуска, левая ось ординат) и вылова (правая ось) кеты на о. Итуруп по возрастным группам, 1968–2020 гг. Данные о возрастном составе до 2005 г. — по данным ВНИРО (Н.В. Кловач), для 2006–2019 — по данным СахНИРО (Ю.И. Игнатьев). На врезке — величина вылова в 1975–2001 гг. в более крупном масштабе.

к моменту выпуска достигает массы 1,25–1,60 г. Выпускают молодь в июне, частично — в первой декаде июля, когда вода в морском побережье прогревается до температуры 6°C и выше (Бойко, 2014; Литвиненко, Корнеева, 2017).

Промысел кеты на о. Итуруп ведется в основном ставными неводами, устанавливаемыми на рыбопромысловых участках, а также на рыбоучётных / рыбопропускных заграждениях базовых рек ЛРЗ. В 2000-е гг. на острове составлялось около 100 ставных неводов. В 2016 г. ЗАО «Курильский Рыбак» стало практиковать лов кеты кошельковым неводом с малотоннажных судов, что позволяет получать сырец более высокого качества. Но и в этом случае организация промысла отличается от североамериканской, где добыча производится владельцем судна по собственной лицензии и улов впоследствии продается на рыбообрабатывающее предприятие по установленной цене приёмки.

Оценки коэффициента возврата рыболовной кеты в литературе значительно разнятся. Высказывалось мнение, что в период с середины 1990-х по середину 2000-х гг., его величина стабильно превышает 2%, а для отдельных поколений достигает почти 9% (Смирнов и др., 2006). Некоторые специалисты поднимают среднюю планку оценки до >4,0% — 4,5% (Ефанов, Бойко, 2014). В определённой мере величину возврата кеты для южных Курильских островов можно оценить по математическому соотношению численности выпускаемой молоди и вылова тремя годами позднее, поскольку до начала искусственного воспроизводства возвраты кеты от естественного нереста обеспечивали незначительный вылов, а стринг рыболовной кеты в другие регионы и возможный прилов транзитной кеты в какой-то мере компенсируют друг дру-

га. Это соотношение для вылова в 1996–2020 гг. в среднем составило 3,2%. В то же время, с увеличением объёмов выпуска наметилось его последовательное снижение от максимальной величины в 5,4% для периода 2006–2010 гг. до 2,4% для периода 2016–2020 гг. Сходные расчёты, выполненные для возврата кеты в 2013 и 2014 гг., дали оценку в 2,67% (Шевляков, Чистякова, 2017). На побережье соседнего о. Кунашир уловы кеты в 21-м столетии заметно возросли, в среднем варьируясь на уровне 560 тыс. рыб. В пользу прилова здесь кеты, подоспевшей в побережье в результате стринга или транзитом, говорит тот факт, что основной её вылов производится в северной части острова, где природные нерестилища кеты незначительны (Каев, Ромасенко, 2017).

Как и в других рассмотренных выше районах массового искусственного воспроизводства кеты, четырёхлетки (3+) составляют основу преднерестовых подходов вида, составив 63,1% с 1974 по 2019 гг. Второе место — у пятилеток (4+), составивших 29,7% за этот период. Увеличение доли трёхлеток в период после интенсификации выпусков рыболовной кеты с ЛРЗ также имело место: после выпуска в 1973 г., численность которого впервые превысила 50 млн рыб, доля трёхлеток в подходах в 1975 г. достигла 21,3%, а в среднем за 1975–1982 гг. она составила 7,4% против 3,3% в 1983–2005 гг. (Кловач и др. 2018). Подобное увеличение численности трёхлеток после массовых выпусков молоди с ЛРЗ «Курильский» в 2000-е гг. отмечалось и раньше (Zhivotovsky et al., 2012), но в том случае речь шла об общем увеличении численности кеты за счет рыболовной составляющей, включая все возрастные группы. После ввода в эксплуатацию новых ЛРЗ и перепрофилирования ЛРЗ «Рейдовый» доля трёхле-

ток в возврате снова возросла, достигая 37,7% и 23,9% в 2017 и 2018 гг., соответственно. За возросшей в 2017–2018 гг. процентной долей трёхлеток наблюдался значительный подход рыб в возрасте 3+ на следующий год, определивший вылов рекордных 7,83 млн шт. кеты в 2018 г. и 8,63 млн шт. в 2019 г. А вот прогноз вылова на 2020 г., рассчитанный исходя из среднего соотношения возрастных групп кеты на прошлые годы, не оправдался. Реальная численность подхода оказалась примерно вдвое ниже прогнозируемой величины в 8,03 млн рыб (Ельников и др., 2019).

Поскольку вплоть до последнего года уловы кеты отличались заметным ростом, специалисты пока не выражают особых волнений по поводу слабых подходов кеты в 2020 г., рассматривая данный случай как стечение неблагоприятных обстоятельств для выживаемости лососей в море. Ранее опасения относительно устойчивости запасов высказывались в связи с прогнозируемым воздействием численно преобладающей рыбоводной кеты на природные популяции. Так, Л.А. Животовский с соавторами (Zhivotovsky et al., 2012) отмечают быструю экспансию рыбоводной кеты с ЛРЗ «Курильский» в отношении природных нерестилищ оз. Лебединое и вытеснение кеты озёрного экотипа с традиционных мест нереста в прибрежье.

Несмотря на реализацию программы отолитного мечения кеты на Курильском и Рейдовом рыбоводных заводах в течение десяти лет в 2008–2017 гг. с выпуском до 78,3–153,5 млн меченой молоди ежегодно (Акиничева и др. 2012, Чистякова и др. 2015, Шевляков, Чистякова, 2017, Akinicheva et al., 2016), оценка стрейнга рыбоводной кеты о. Итуруп еще не опубликована, что может быть связано с трудностями сбора отолитов в окрестностях ЛРЗ, а также с пробле-

мой формирования хорошо читаемых меток на отолитах кеты, отмеченной многими исследователями (Акиничева и др., 2012, Шевляков, Чистякова, 2017).

ОБСУЖДЕНИЕ

На основании приведенных данных можно заключить, что задача создания «искусственного запаса» горбуши и кеты, обеспечивающего относительно стабильную промысловую эксплуатацию, в какой-то степени решена только в одном из рассматриваемых регионов — в зал. Принца Уильяма. Впрочем, еще в начале 2000-х гг. результаты искусственного воспроизводства здесь не воспринимались столь однозначно. Высказывалась точка зрения, что искусственное разведение горбуши оказывает негативное воздействие на естественное воспроизводство, а возвраты заводской горбуши, по сути, замещают собой потенциальный рост продукции природных запасов, так как экологическая ёмкость залива ограничена. В качестве аргумента приводили данные о вылове горбуши в трех соседних промысловых районах — на о. Кадьяк, южном побережье Аляскинского полуострова и юго-восточной Аляске, где уловы также пропорционально возросли. Кроме того, было показано снижение, на фоне роста выпуска заводской молоди, отношения численности возврата горбуши к численности пропуска на нерестилища родительского поколения (Hilborn, Eggers, 2000, 2001). Сходное беспокойство высказано относительно природного запаса кеты озёрного экотипа на о. Итуруп (Zhivotovsky et al. 2012).

Оппоненты данного мнения подчеркивали, что в 1990-е гг. численность горбуши в зал. Принца Уильяма достигла значительно более высоких значений, чем во время предыдущего периода роста запасов в 1930-е–1940-е гг.

(Wertheimer et al., 2001). Отмечено, что несмотря на снижение соотношения численности возврата и пропуска родительского поколения, в заливе оно остается наиболее высоким по отношению к трём другим районам промысла. Снижение же численности пропуска отнесено к совершенствованию управления промыслом, которое позволяет удерживать пропуск на оптимальном уровне, не допуская превышения целевого норматива, часто наблюдавшегося в прежние годы. Трофологические и биоэнергетические исследования молоди горбуши не обнаружили напряженной пищевой конкуренции в зал. Принца Уильяма (Boldt, Haldorson, 2002), а содержание энергии в теле молоди в большей мере зависело от условий локальных участков акватории залива, чем от ее происхождения (Boldt, Haldorson, 2004). В последние годы наиболее весомым аргументом в пользу получения существенного дополнительного вылова горбуши за счёт искусственного воспроизводства стали результаты отолитного мечения.

Также, как мы видим на примерах размножения горбуши на восточном Сахалине и кеты на о. Итуруп, стрейнг рыбоводных лососей может быть причиной увеличения улова в соседних регионах. Значимость стрейнга рыбоводного лосося невозможно оценить без осуществления программы отолитного мечения, предусматривающей сбор отолитов на обширной территории. Горбуша с отолитами с меткой Анивского ЛРЗ вылавливалась как на восточном, так и на западном побережьях южного Сахалина и даже на о. Итуруп (Мякишев и др., 2019).

Залогом успеха реализации программы искусственного воспроизводства горбуши на средней Аляске и, в частности, в зал. Принца Уильяма, по-видимому стало благоприятное сте-

чение обстоятельств, включая формирование условий среды, поддерживающих выживаемость лососей на высоком уровне. Как отмечено выше, в указанный период наблюдалось увеличение и природных запасов горбуши. Для 1991–2017 гг. коэффициент корреляции вылова заводской горбуши и горбуши природного происхождения в зал. Принца Уильяма оказался достаточно высок ($r = 0,68$), как и для общего вылова горбуши на побережье Аляски ($r = 0,70$). В то же время, сходные по благоприятности условия и рост численности природных запасов наблюдались и в других регионах интенсивного заводского разведения горбуши и кеты. Почему же там при интенсификации искусственного разведения не удалось достичь ожидаемой стабильности возвратов лосося?

Для горбуши на Восточном Сахалине основной причиной, вероятно, была неверно поставленная задача по увеличению численности возврата в чётные годы до уровня численности возврата доминантной популяции нечётных лет. Несмотря на все усилия по совершенствованию биотехнологии разведения лососей на ЛРЗ, а также реконструкцию существующих и строительство новых рыбоводных хозяйств в середине 1980-х гг., соседние годы продолжали отличаться численностью вылова горбуши. К тому же, в динамике запасов кеты и горбуши в основных районах их воспроизводства стали наблюдаться резкие положительные и отрицательные выбросы, совпадающие по времени с прогрессирующим развитием искусственного разведения этих лососей. На этом фоне наметилось расхождение трендов динамики численности горбуши популяций чётных и нечётных лет (Радченко, 2006), по-видимому, вследствие их разной реакции на интенсивное искус-

ственное воспроизводство. Во второй половине 2010-х гг. на Восточном Сахалине, а также на о. Хоккайдо произошла «смена доминант» — популяция нечётных лет уступила позиции популяции чётных лет. Маловероятно, что это напрямую связано с заводским разведением, поскольку сходное явление имело место на обоих побережьях пол-ова Камчатка в этот же период времени.

Споры об эффективности искусственного воспроизводства, особенно в отношении горбуши, продолжают до настоящего времени (Каев, 2010; Каев, Игнатьев, 2015). Актуальность темы достигла максимума в последние годы на фоне резкого снижения величины подходов и уловов горбуши в Сахалинской области. Сокращение возвратов кеты к побережью Японии также вызывает вопросы об эффективности её искусственного воспроизводства. В районах к северу от Хоккайдо неудачные в промысловом отношении последние годы также можно рассматривать как тревожное свидетельство начинающегося сокращения численности запасов.

Касаясь темы негативного влияния рыбоводных лососей на природные запасы, можно, по-видимому, заключить, что тема теряет свою актуальность. Опубликованные в последние годы оценки количества в океане рыбоводного лосося (Amoroso et al., 2017; Ruggerone, Irvine, 2018) основаны на данных о выживаемости и возвратах для периода высокой численности кеты и горбуши в том числе и в южных частях ареала, когда они были существенно выше. К тому же, до развития методов, позволяющих определить долю в возврате рыб искусственного и природного происхождения, доля первых завышалась повсеместно, иногда в несколько раз. Очевидно, что завышалась и оценка воздействия заводских популяций лососей на их природные

запасы. Между тем, в море процентная доля рыбоводной молоди кеты снижается значительно быстрее, чем рассчитанная исходя из соотношения численности выпуска и естественного ската (Шевляков, Чистякова, 2017). Это подтверждает мнение, что выживаемость заводской молоди как горбуши (Стекольщикова, 2015) и кеты (Запорожец, Запорожец, 2017), так и других видов лососей, например, кижуча (Labelle et al., 1997; Beetz, 2009) значительно (в разы) ниже, чем выживаемость молоди, скатывающейся с естественных нерестилищ.

Обширные морфофизиологические и гистологические исследования заводской молоди горбуши на 22-х ЛРЗ Сахалина и Курил не выявили каких-либо признаков, по которым рыбоводная молодь может быть менее жизнеспособной, чем природная (Зеленников и др., 2019). Вероятно, разница в профилях экспрессии генов связана с упомянутым выше эпигенетическим перепрограммированием (Le Luyer et al., 2017) и изменением частоты аллелей ключевых генов (Kitada, Kishino, 2021). Высказывается предположение, что стресс, получаемый молодью в условиях технической среды ЛРЗ, может играть важную роль в переходе отоцитов лосося в ватеритную форму, что можно рассматривать как пример подобных эпигенетических изменений (Sweeting et al., 2004). Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на оценке степени различий в экспрессии генов у рыбоводной молоди и мальков природного происхождения.

Имеются и другие причины меньшей выживаемости рыбоводной молоди лососей. Так, через 3 года после начала работы новых рыбоводных мощностей выживаемость выпускаемой молоди кижуча в прол. Джорджия заметно снижалась, что оказалось связано с поведенческой реакцией хищных рыб,

концентрирующихся в местах выпуска мальков (Beamish et al., 1992; Nickelson, 2003). Эти наблюдения заставляют задуматься о преобладающей роли физической и биологической среды обитания лосося во время морского периода их жизненного цикла.

Бесспорно, молодь горбуши, скатывающаяся с природных нерестилищ, более разнокачественная, чем выращенная в стандартных условиях заводская молодь. Об этом говорят данные о проценте мальков, скатывающихся с остатками желточного мешка, а также больший, чем у заводской молоди, размах размерных и весовых характеристик (Карпенко, 1998; Шунтов, Темных, 2008). Учитывая этот факт и отталкиваясь от подтвержденных данными представлений о меньшей, в среднем, жизнеспособности рыболовной молоди, рассмотрим ситуацию с ее выживаемостью в зави-

симости от благоприятности условий обитания на схеме (Рис. 9). Допустим, что условия, с которыми молодь лосося столкнется в ранний морской период жизни, окажутся благоприятными, и молодь с адаптивностью от 20% от максимальной величины и выше сможет выжить. В этот интервал в том числе попадет вся рыболовная молодь, что резко увеличит общую численность возврата. При неблагоприятных условиях, когда вся молодь с адаптивностью менее 50% от максимальной будет элиминирована, в составе условного «не адаптированного» запаса погибнет и вся рыболовная молодь. Словом, при благоприятных условиях в морской период заводская молодь кеты и горбуши массово выживает, что определяет существенный рост возврата. При неблагоприятных условиях — столь же массово гибнет. Естественно, в реальных условиях возможно

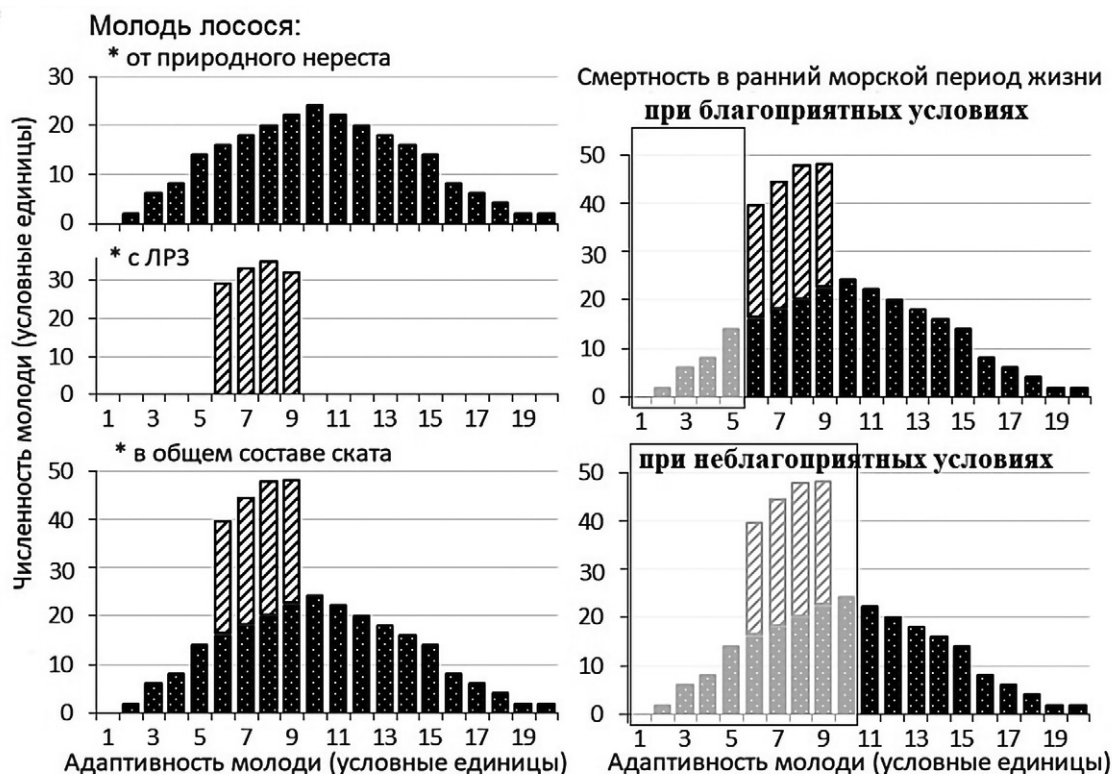


Рис. 9. Схематический механизм формирования численности поколения горбуши и кеты в зависимости от адаптивности молоди в период ската. Пояснения в тексте.

бесконечное количество промежуточных ситуаций, а, кроме того, по отношению к любой особи будут действовать случайные факторы.

Адаптивные способности рыбной молоди горбуши в зал. Принца Уильяма за счёт подращивания в садках и выпуска её средней массой в два раза больше, чем масса природной молоди, по-видимому, приближены к естественному уровню (Boldt, Haldorson, 2004). Это объясняет ситуацию, когда в нескольких менее урожайных поколениях, по-видимому, скатившихся в неблагоприятные по условиям годы, доля заводской горбуши оказывается более высокой и стабильной, чем горбуши от естественного нереста (рис. 1). На о. Хоккайдо, к примеру, наблюдается обратная ситуация — доля рыбной молоди возрастает в уловах после благоприятных для ската лет (рис. 2).

Южные районы в пределах ареалов горбуши и кеты в последние годы характеризуются более значительным снижением их подходов и уловов, чем северные районы (рис. 10). У материкового

североамериканского побережья аномально теплые условия в океане и на суше в течение последних лет (2015–2017 и 2019 гг.) определялись переносом Северотихоокеанским течением сильно прогретых вод — явлением, получившим название *blob*, или пузырь (Bond et al., 2015), а также самым сильным за последнее время Эль-Ниньо (Becker, 2017). В районах воспроизводства лососей на американском континенте (кроме Аляски) негативными последствиями потепления климата стали засуха, частые лесные пожары, падение уровня и потепление воды в нерестовых реках. Снижается выживаемость молоди лососей в условиях более теплой воды в прибрежье Британской Колумбии. Так, выживаемость молоди кижуча в прол. Джорджия, где средняя температура поверхностного слоя воды (ТПО) по сравнению с 1970-ми гг. выросла примерно на 1 °C, отрицательно коррелирует с ТПО: $R^2 = 0,67$ (Beamish et al., 2010). В 2015 г., в результате наблюдавшейся «волны тепла», аномалии ТПО в летний и осенний сезоны возросли до 1,8 °C (Muhling et al., 2020).

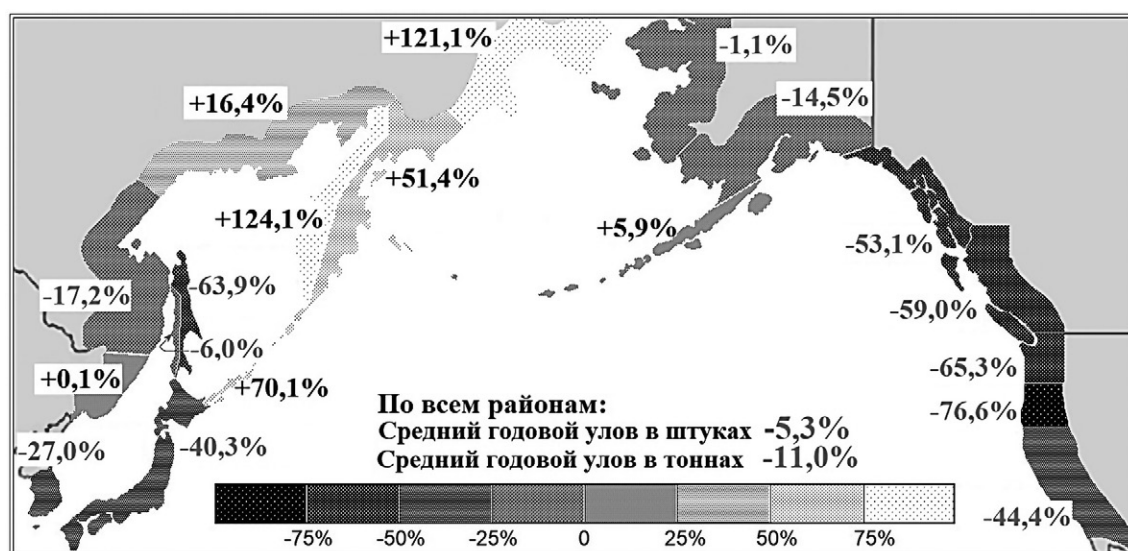


Рис. 10. Сравнение среднего годового улова лососей в 2011–2015 гг. и 2016–2020 гг. в штуках по статистическим районам, выделяемым в странах-участницах НПАФК.

Теплее становится и на территории Российского Дальнего Востока. По сравнению с 1980-ми гг., средняя температура воздуха в Приамурье, Приморье и на Сахалине выросла более чем на 1 градус (Росгидромет, 2017). На относительно небольшие реки Сахалинской области такое потепление способно оказать заметное воздействие. По сути, аномальное потепление в пресноводных экосистемах в южных частях ареала воздействует на запасы лососей дважды. На уровне популяции, падение уровня воды в реках приводит к потере площади доступных нерестилищ, росту угрозы хищничества и браконьерства, уменьшению возможности выбора распределения в потоке воды, росту скученности и, как следствие, повышению вероятности стресса (Billard et al., 1990). На уровне особи, в более теплой воде у лососей вследствие снижения концентрации растворенного кислорода наблюдается затрудненное дыхание, ухудшение работы сердечной мышцы (Farrell, 2002), повышение уровня кортизола в крови, снижение способности организма продуцировать лейкоциты и антитела (Schreck et al., 2001). Как результат, снижается плавательная активность и возможность преодолевать препятствия в русле реки (Young et al., 2006). В более теплой воде происходит резкий рост частоты грибковых, вирусных и бактериальных заболеваний, поражающих, в первую очередь, жабры и покровы (Wagner et al., 2005), а также увеличение численности массовых паразитов, в частности лососевой вши (Rittenhouse et al., 2016). В более теплой воде лососи дольше восстанавливаются после стресса, вызванного контактом с орудием лова (Raby et al., 2013).

В Охотском море, куда также поступает перегретая вода из Тихого океана, механизмы, формирующие гидрологи-

ческие условия эпипелагиали, работают иначе, чем в открытом океане у североамериканского побережья. За счёт адвекции в Охотское море более тёплой воды к концу лета нарастают градиенты температур в термокLINE. Это определяет более интенсивное перемешивание водной толщи в переходный сезон, быстрое охлаждение поверхностного слоя. Вследствие роста количества штормовых дней, препятствующих становлению ледового покрова, интенсивное перемешивание и выхолаживание поверхностных вод наблюдается и в зимний период. Как следствие, отрицательные аномалии температуры поверхностного слоя сохраняются до июня. Июнь — одинаково важный месяц как для скатывающейся из рек молоди, так и для возвращающихся из океана производителей. Температура воды в июне во многом определяет формирование запаса кормового зоопланктона. Так, концентрация кормового зоопланктона в прикурильских водах океана летом более холодного 2015 г. оказалась существенно ниже, чем в более тёплом 2016 г. (Кузнецова, Шебанова, 2017). Хотя пищевые потребности массовых видов нектона остаются достаточно обеспеченными валовыми запасами планктона, в сравнительном плане кормовые условия лососей в более холодной эпипелагиали ухудшаются.

Океаническая бореальная экосистема в южной части нагульного ареала горбуши и кеты эволюционирует в субтропическую экосистему со своими массовыми видами, в частности сардиной-иваси. Запасы сардины восстанавливаются после периода низкой численности в 1990-е — 2000-е гг. и район ее нагульных миграций смещается все дальше к северу. Мигрирующие скопления сардины привлекают рыбоядных хищников, количество которых, а соответственно, и угроза для мигрирующих ло-

сосей, будут возрастать. Этот рост будет происходить как в результате перераспределения, так и улучшения воспроизводства хищных рыб и млекопитающих при улучшении кормовых условий. Кроме конкуренции за кормовые ресурсы и пространство, которую, как показывает предыдущий период высокой численности сардины-иваси, лососи выдерживают плохо (Темных, 2005), при массовых пелагических промыслах возможен существенный прилов мигрирующих кеты и горбуши, который существующие инструменты сбора промысловой статистики охватывают не полностью (Radchenko, 2017).

Промысел в период, предшествующий половому созреванию и нересту, является мощным стрессогенным фактором (Чмилевский, 1991). Среди пелагических рыб стрессогенное воздействие промысла хорошо изучено на примере сельди. Известно, что сельдь в период, непосредственно предшествующий нересту, становится чувствительной к техногенным шумам, сопровождающим промысел (Doksæter et al., 2012). В экспериментах установлено, что содержание выловленной сельди в сетных садках с высокой плотностью посадки может вызвать задержку развития половых клеток, снижение качества половых продуктов вплоть до гибели эмбрионов еще в материнских ястыках и увеличение распространенности вируса геморрагической септицемии (Hershberger et al., 2001; Ojaveer et al., 2015). Следует напомнить, что систематически сельдеобразные и лососеобразные весьма близки, и еще недавно семейство лососевых включали в отряд сельдеобразных (Линдберг и др., 1997).

Даже непродолжительное действие сильных стрессоров, таких как контакт с орудиями лова, отлов и транспортировка, вызывает у рыб, включая лососей,

«рефлекторную недостаточность», проявляющуюся в нарушении нормального пищевого поведения, двигательной активности, замедленной реакции на приближение хищника. В острых случаях рефлекторная недостаточность приводит к отложенной гибели рыб. Так, кижуч, выпущенный из ловушки невода, может погибнуть от последствий стресса в течение до 20 дней после поимки (Davis, 2007). В эксперименте у атлантического лосося в результате хронического стресса наблюдались динамические изменения в экспрессии генов, определяющих функционирование организма по линии гипоталамус — гипофиз — надпочечники. У рыб, подвергшихся хроническому стрессу, наблюдалась пониженная гормональная реакция на новый фактор стресса по сравнению с контрольной группой (Madaro et al., 2015). Разработка методов быстрой оценки степени стресса, вызванного воздействием промысла, в реальном времени и прогнозирование отложенной смертности, основываясь на использовании представлений о рефлекторной недостаточности, определена в качестве насущной задачи рыбохозяйственной науки в ближайшем будущем (Davis, 2007, 2010).

Стресс лососей перед нерестом негативно влияет на качество икры. Установлено, что содержание кортизола в икре кижуча, подвергнутого в экспериментальных условиях стрессу за 2 недели до нереста, значительно выше, чем в контрольных образцах (Schreck et al., 2001). При этом стрессоры, воздействующие на рыб, как правило, усиливают действие друг друга (Power, 1997). Можно предположить, что кумулятивный эффект продолжительного беспокойства в процессе промысла и снижения обеспечения растворенным кислородом в сахалинских реках оказывает значительно большее негативное воздействие

на будущее потомство, чем каждый из воздействующих стрессоров по отдельности.

ВЫВОДЫ

Многие аспекты биологии и экологии лососей остаются неисследованными, в то время как система мониторинга их запасов требует усовершенствовать её техническую оснащенность, в частности научно-исследовательским флотом, и расширить возможности. В этих условиях специалистам стран НПАФК следует объединить усилия по изучению и сохранению этой уникальной группы рыб, что целесообразно сделать в рамках программы Международного года лосося (МГЛ). Реализация проекта МГЛ осуществляется через интенсификацию координированных на международном уровне научных исследований и просветительской деятельности, нацеленных на изучение динамики запасов лососей и их взаимозависимости с деятельностью человека (Young et al., 2017). Это хорошая возможность в условиях ограниченного финансирования науки ставить общие вопросы и решать их за счёт общих ресурсов.

Среди вопросов динамики запасов лососей, имеющих первостепенную важность для разработки прогнозов состояния их запасов, которые требуют интенсивного изучения совместными усилиями учёных стран северотихоокеанского бассейна, можно назвать следующие:

- Воздействие климатической изменчивости на лососей на разных этапах жизненного цикла (особенно в наименее изученный период зимовки в океане);
- Формирование самовоспроизводящихся популяций лососей в Арктике;
- Эволюция экосистем южной части нагульного ареала лососей в субтропические экосистемы, эксплуатируемые

масштабными пелагическими промыслами;

- Взаимодействие природных популяций и запасов, воспроизводимых на ЛРЗ;

– Динамика физиологического состояния производителей в ходе анадромной миграции и воздействующие на неё факторы;

- Кумулятивное воздействие природных и антропогенных факторов, вызывающих стресс у производителей лососей.

Большая Тихоокеанская Экспедиция, планируемая на 2022 г., имеет возможность дать нам предварительные ответы на многие вопросы, поднятые в данной статье. Столь масштабные исследования района зимовки лососей будут проведены впервые. Сбор информации и отбор проб создаст основу для усовершенствования управления промыслом лосося, который в настоящее время часто ставит на первое место удобство рыболовных операций и рыбопереработки. Между тем, в период значительных изменений климата, промысел должен вестись с соблюдением самых осторожных подходов со всеми мерами, которые обеспечивают эффективное естественное воспроизводство запасов и экономически выгодное искусственное разведение.

Дальнейшее развитие искусственного разведения горбуши и кеты в северной части Тихого океана должно осуществляться с учетом практики и тенденций, получивших признание в районах её успешного распространения, включая размещение ЛРЗ в определённых районах побережья, где влияние искусственного разведения на природные популяции будет сведено к минимуму, и будет предоставлена возможность организовать вылов с преимущественным изъятием рыболовной продукции.

Управленцы должны быть готовы сами и убедить рыбаков в правильности решения, что в какие-то годы будет необходимо запрещать промысел лососей природных запасов, строго охранять немногих зашедших в реки производителей, и при этом вести правильно организованное на конкретном участке освоение возврата рыболовной продукции, не только для закладки. Наверное, только таким путём мы придём к необходимости открытой и прозрачной оценки эффективности работы имеющихся рыболовных мощностей, массового применения новейших методов мечения и оценки коэффициента возврата, оперативной публикации полученных результатов, даже если они не будут соответствовать чьим-либо ожиданиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акиничева Е.Г., Шубин А.О., Стекольников М.Ю. Современное состояние исследований по маркированию и идентификации заводских лососей в Сахалино-Курильском регионе // Тр. СахНИРО. 2012. Т. 13. С. 83–90.
- Антонов А.А., Буслов А.В., Брагина И.Ю. и др. Результаты мечения горбуши у юго-восточного побережья острова Сахалин в 2014 г. // Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2014. № 9. С. 154–157.
- Белоусов А., Пахомова Л., Аладьина Е. Воспроизводство рыбных запасов, итоги года // Рыбн. хоз-во. 2002. № 2. С. 39–41.
- Бойко А.В. Экологические особенности искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей в условиях современных рыболовных заводов Сахалинской области. Дис. ... канд. биол. наук. Южно-Сахалинск: ФГБОУ ВПО «СахГУ», 2014. 166 с.
- Ельников А.Н., Лепская В.А., Вараксин И.А. Прогнозирование численности кеты на Южных Курильских островах // Тр. ВНИРО. 2019. Т. 177. С. 17–27.
- Ефанов В.Н., Бойко А.В. Экологические особенности и оптимизация условий искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей на современных рыболовных заводах Сахалинской области. Южно-Сахалинск, Изд-во СахГУ. 2014. 124 с.
- Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Лососеводство в зарубежных странах Северотихоокеанского региона // Исслед. вод. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. 2011. Вып. 22. С. 28–48.
- Запорожец Г.В., Запорожец О.М. Структура возврата, численность и биологические характеристики заводской и дикой кеты в бассейне реки Паратунки (юго-восточная Камчатка) в 2010–2015 гг. // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 190. С. 49–61.
- Зеленников О.В., Проскуряков К.А., Рудакова Г.С., Мякишев М.С. Сравнительная характеристика молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, при ее естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Биол. моря. 2020. Т. 46. № 1. С. 14–23.
- Каев А.М. Некоторые вопросы динамики стада горбуши в связи с ее темпоральной структурой // Бюллетень № 5 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». Владивосток: ТИНРО-Центр. 2010. С. 89–96.
- Каев А.М., Игнатьев Ю.И. Развитие заводского разведения тихоокеанских лососей в Сахалино-Курильском регионе и его значение для промысла // Тр. ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 95–104.
- Каев А.М., Ромасенко Л.В. Горбуша и кета острова Кунашир (структура популяций, воспроизводство, промысел). Южно-Сахалинск: СахГУ. 2017. 124 с.
- Карпенко В.И. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО. 1998. 165 с.
- Кловач Н.В., Леман В.Н., Ельников А.Н., Вараксин И.А. Воспроизводство и промысел кеты о. Итуруп (южные Курильские острова): прошлое, настоящее, будущее // Рыбн. хоз-во. 2018. № 6. С. 42–47.

Кузнецова Н.А., Шебанова М.А. Состояние планктонного сообщества в прикурильских водах при современном возобновлении массовых нагульных северных миграций субтропических рыб // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 190. С. 119–131.

Лаврик М.А. Проведение этапа выращивания молоди ценных видов рыб в искусственном воспроизводстве, в зависимости от видовых особенностей // Лучшие практики рыбохозяйственного образования: сб. мат-лов Всеросс. научно-практической школы-конференции (18–21 октября 2016 г.) / Под ред. Ефанова В.Н. Санкт-Петербург: Изд-во ООО «ИНФОСТИ». 2016. С. 100–108.

Леман В.Н., Смирнов Б.П., Точилина Т.Г. Пастбищное лососеводство на Дальнем Востоке: современное состояние и существующие проблемы // Тр. ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 105–120.

Линдберг Г.У., Фёдоров В.В., Красюкова З.В. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Жёлтого морей. Часть 7. СПб.: Гидрометеиздат. 1997. 350 с.

Лисицын Д.В. Проблемы сохранения и использования тихоокеанских лососей на Сахалине. Электронная публикация. Март 2014 г. Доступна по адресу https://ecosakh.ru/wp-content/uploads/2014/03/tixoakeanskii_lososi.pdf (дата просмотра 29 окт. 2021 г.).

Литвиненко А.В., Корнеева Е.И. Опыт выращивания молоди кеты на лососевом рыбноводном заводе «Бухта Оля» // Изв. КГТУ. 2017. № 44. С. 28–37.

Мякишев М.С., Иванова М.А., Зеленников О.В. К вопросу о мечении молоди тихоокеанских лососей и эффективности работы рыбноводных заводов // Биол. моря. 2019. Т. 45. № 5. С. 342–348.

Радченко В.И. Динамика численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в бассейне Охотского моря в 90-е гг. // Биол. моря. 2001. Т. 27. № 2. С. 91–101.

Радченко В.И. О совпадении трендов динамики численности горбуши поколений чёт-

ных и нечётных лет в сахалино-курильском регионе // Изв. ТИНРО. 2006. Т. 145. С. 39–55.

Росгидромет (Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. М.: Росгидромет. 2017. 70 с.

Сергеенко Т.М. Морфофизиологическая характеристика молоди кеты (*Oncorhynchus keta* Walbaum) при её воспроизводстве на лососевых рыбноводных заводах Сахалина. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2007. 25 с.

Смирнов Б.П., Федорова Л.К., Борзов С.И., Погодин В.П. Заводское воспроизводство тихоокеанских лососей на южных Курильских островах: история, современное состояние и перспективы // Современные проблемы лососевых рыбноводных заводов Дальнего Востока: Мат-лы междунар. научн. семинара в рамках VII научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей», 30.11–1.12.2006 г. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. 2006. С. 199–206.

Стеколыщикова М.Ю. Некоторые результаты мониторинга заводских стад горбуши зал. Анива (о. Сахалин) // Изв. ТИНРО. 2015. Т. 183. С. 51–60.

Темных О.С. Азиатская горбуша в морской период жизни: биология, пространственная дифференциация, место и роль в пелагических сообществах: Дис. ... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-Центр, 2004. 466 с.

Чистякова А.И., Бугаев А.В., Ким О.О. Применение результатов отолитного маркирования для определения доли заводской молоди горбуши и кеты в период осенних миграций в Охотском море в 2014 г. // Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2015. № 10. С. 147–152.

Чмилевский Д.А. Оогенез рыб как чувствительная тест-система при воздействии факторов различной природы / Тез. докл. V Всес. конф. по раннему онтогенезу рыб.

Астрахань, 1–3.10.1991 г. М.: ВНИРО. 1991. С. 218–219.

Шевляков Е.А., Чистякова А.И. Миграции молоди кеты в Охотском море, сравнительный анализ эффективности деятельности предприятий рыбководного комплекса Дальнего Востока России и Японии // Изв. ТИНРО. 2017. Т. 191. С. 79–96.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-центр, 2008. Т. 1. 481 с.

Akinicheva E., Volobuev V., Fomin E., Myakishev M. Marked salmon production by the hatcheries of Russia in 2015 // N. Pac. Anadr. Fish Com. Doc. 1630. 2016. 4 p.

Amaya D.J., Miller A.J., Xie S.-P., Kosaka Y. Physical drivers of the summer 2019 North Pacific marine heatwave // Nat. Commun. 2020. V. 11. № 1903

Amoroso R.O., Tillotson M.D., Hilborn R. Measuring the net biological impact of fisheries enhancement: pink salmon hatcheries can increase yield, but with apparent costs to wild populations // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2017. V. 74. P. 1233–1242.

Araki H., Berejikian B.A., Ford M.J., Blouin M.S. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild // Evol. Appl. 2008. V. 1. № 2. P. 342–355.

Beamish R.J., Thomson B.L., McFarlane G.A. Spiny Dogfish predation on Chinook and Coho Salmon and the potential effects on hatchery-produced salmon // Trans. Am. Fish. Soc. 1992. V. 121. P. 444–455.

Beamish R.J., Sweeting R.M., Neville C.M., Lange K.L. Competitive interactions between pink salmon and other juvenile Pacific salmon in the Strait of Georgia // N. Pac. Anadr. Fish Com. Doc. V. 1284. 2010. 26 p.

Becker E. December 2017 La Niña update: Double, double. E-publication <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/december-2017-la-niña-update-double-double> (accessed 29 Oct. 2021).

Beetz J.L. Marine survival of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Washington State: Characteristic patterns and their relationships to environmental and biological factors. Master's thesis. Seattle. University of Washington. 2009. 118 p.

Bigler B.S., Welch D.W., Helle J.H. A review of size trends among North Pacific salmon *Oncorhynchus spp.* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1996. V. 53. P. 455–465.

Billard B., Bry C., Gillet C. Stress, environment, and reproduction in teleost fish. In: Pickering A.D. (ed.). Stress and fish. Academic Press, New York. 1990. P. 185–207.

Boldt J.L., Haldorson L.J. A bioenergetics approach to estimating consumption of zooplankton by juvenile pink salmon in Prince William Sound, Alaska // Alaska Fish. Res. Bull. 2002. V. 9. P. 111–127.

Boldt J.L., Haldorson L.J. Size and condition of wild and hatchery pink salmon juveniles in Prince William Sound, Alaska // Trans. Am. Fish. Soc. 2004. V. 133. № 1. P. 173–184.

Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific // Geophys. Res. Lett. 2015. V. 42. P. 3414–3420.

Botz J., Russel C.W. 2020 Prince William Sound salmon season summary. ADF&G Advisory Announcement. October 9, 2020. 4 p.

Brannon E.L., Collins K., Cronin M.A. et al. Review of the Exxon Valdez oil spill effects on pink salmon in Prince William Sound, Alaska // Rev Fish Sci. 2012. V. 20. P. 20–60.

Brenner R.E., Munro A.R., Larsen S.J. (eds). Run forecasts and harvest projections for 2019 Alaska salmon fisheries and review of the 2018 season. Alaska Department of Fish and Game, Special Publication № 19–07, Anchorage. 2019. 96 p.

Brenner R.E., Larsen S.J., Munro A.R., Carroll A.M. (eds). Run forecasts and harvest projections for 2020 Alaska salmon fisheries and review of the 2019 season. Alaska Department of Fish and Game, Special Publication № 20–06, Anchorage. 2020. 75 p.

- Carlson S.M., Seamons T.R. A review of quantitative genetic components of fitness in salmonids: implications for adaptation to future change // *Evol. Appl.* 2008. V. 1. P. 222–238.
- Christie M.R., Marine M.L., French R.A., Blouin M.S. Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation // *PNAS*. 2012. V. 109. № 1. P. 238–242.
- Christie M.R., Marine M.L., Fox S.E. et al. A single generation of domestication heritably alters the expression of hundreds of genes // *Nat. Commun.* 2016. V. 7. № 10676.
- Cross A.D., Beauchamp D.A., K.W. Myers, J.H. Moss. Early marine growth of pink salmon in Prince William Sound and the coastal Gulf of Alaska during years of low and high survival // *Trans. Am. Fish. Soc.* 2008. V. 137. № 3. P. 927–939.
- Crozier L.G., McClure M.M., Beechie T. et al. Climate vulnerability assessment for Pacific salmon and steelhead in the California Current Large Marine Ecosystem // *PLoS One*. 2019. V. 14. № 7. № 0217711.
- Davis M.W. Simulated fishing experiments for predicting delayed mortality rates using reflex impairment in restrained fish // *ICES J. Mar. Sci.* 2007. V. 64. P. 1535–1542.
- Davis M.W. Fish stress and mortality can be predicted using reflex impairment // *Fish and Fisheries*. 2010. V. 11. P. 1–11.
- Doksæter L., Handegard N.O., Godø O.R. et al. Behavior of captive herring exposed to naval sonar transmissions (1.0–1.6 kHz) throughout a yearly cycle // *J. Acoust. Soc. Am.* 2012. V. 131. № 2. P. 1632–1642.
- Eggers D.M., Heintz S.C. Chum salmon stock status and escapement goals in Southeast Alaska. Alaska Department of Fish and Game, Special Publication № 08–19, Anchorage. 2008. 67 p.
- Environment and Natural Resources Institute (ENRI). Evaluating Alaska's ocean-ranching salmon hatcheries: biologic and management issues. Univ. of Alaska Anchorage. 2001. 77 p.
- Farrell A.P. Cardiorespiratory performance in salmonids during exercise at high temperature: insights into cardiovascular design limitations in fishes // *Comp. Biochem. Physiol. A*. 2002. V. 132. P. 797–810.
- Fergusson E., Miller T., McPhee M.V. et al. Trophic responses of juvenile Pacific salmon to warm and cool periods within inside marine waters of Southeast Alaska // *Prog. Oceanogr.* 2020. V. 186. № 102378.
- Fukuzawa H., Gohda Y. Preliminary 2019 salmon enhancement production in Japan. N. Pac. Anadr. Fish Com. Doc. 1885 (Rev. 1). 2020. 3 p.
- Geiger H.J., Bue B.G., Sharr S. et al. A life history approach to estimating damage to Prince William Sound pink salmon caused by the Exxon Valdez oil spill // *Am. Fish. Soc. Symp.* № 18. Bethesda, MD, USA. 1996. P. 487–498.
- Grant S., Pestal G. Certification Unit Profile: Fraser River Pink Salmon // *Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2009. № 2875: vii + 36 p.
- Halupka K.C., Bryant M.D., Willson M.F., Everest F.H. Biological characteristics and population status of anadromous salmon in southeast Alaska / US Dep. of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Gen. Tech. Rep. GTRPNW-468. 2000. 255 p.
- Heard W.R. Overview of salmon stock enhancement in southeast Alaska and compatibility with maintenance of hatchery and wild stocks // *Environ. Biol. Fish.* 2012. V. 94. P. 273–283.
- Helle J.H., Hoffman M.S. Size decline and older age at maturity of two chum salmon (*Oncorhynchus keta*) stocks in western North America, 1972–1992. In *Climate change and northern fish populations*. Edited by R.J. Beamish // *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 1995. V. 121. P. 245–260.
- Helle J.H., Hoffman M.S. Changes in size and age at maturity of two North American stocks of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) before and after a major regime shift in the North Pacific Ocean. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. 1998. № 1. P. 81–89.
- Hershberger P.K., Kocan R.M., Elder N.E. et al. Management of Pacific herring closed pound

spawn-on-kelp fisheries to optimize fish health and product quality // N. Am.J. Fish. Manage. 2001. V. 21. P. 550–555.

Hilborn R., Eggert D. A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska // Trans. Am. Fish. Soc. 2000. V. 129. P. 333–350.

Hilborn R., Eggert D. A review of the hatchery programs for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska: response to comment // Trans. Am. Fish. Soc. 2001. V. 130. № 4. P. 720–724.

Hiroi O. Historical trends of salmon fisheries and stock conditions in Japan // N. Pac. Anadr. Fish Com. Bull. 1998. № 1. P. 23–27.

Iida M., Yoshino K., Katayama S. Current status of natural spawning of chum salmon *Oncorhynchus keta* in rivers with or without hatchery stocking on the Japan Sea side of northern Honshu, Japan // Fish. Sci. 2018. V. 84. P. 453–459.

Irvine J.R., Michielsens C.J.G., O'Brien M. et al. Increasing dominance of odd-year returning Pink Salmon // Trans. Am. Fish. Soc. 2014. V. 143. P. 939–956.

Ishida Y., Ito S.O., Kaeriyama M. et al. Recent changes in age and size of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific Ocean and possible causes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1993. V. 50. P. 290–295.

Kaeriyama M. Dynamics of a chum salmon, *Oncorhynchus keta*, population released from Hokkaido in Japan // N. Pac. Anadr. Fish Com. Bull. 1998. № 1. P. 90–102.

Kaeriyama M. Hatchery programmes and stock management of salmonid populations in Japan. In: Howell B.R., Moksness E., Svasand T. (eds). Stock enhancement and sea ranching. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK. 1999. P. 153–167.

Kaeriyama M., Qin Y. Biological interactions between wild and hatchery-produced Pacific salmon. In: Woo, P.T.K., Noakes D.J. (eds.). Salmon: biology, ecological impacts and economic importance. Nova Science Publishers, Inc. 2014. P. 223–238.

Kaeriyama M., Seo H., Qin Y. Effect of global warming on the life history and population dynamics of Japanese chum salmon // Fish. Sci. 2014. V. 80. P. 251–260.

Kasugai K., Sakamoto H., Miyakoshi Y., Nagata M. Returns of Chum Salmon Released from Net Pens and Rivers in Eastern Hokkaido, Japan // N. Am.J. Fish. Manage. 2018. V. 38. № 1. P. 24–30.

Kitada S. Japanese chum salmon stock enhancement: current perspective and future challenges // Fish. Sci. 2014. V. 80. P. 237–249.

Kitada S. Economic, ecological and genetic impacts of marine stock enhancement and sea ranching: a systematic review // Fish Fish. 2018. V. 19. P. 511–532.

Kitada S. Lessons from Japan marine stock enhancement and sea ranching programmes over 100 years // Rev. Aquac. 2020. V. 12. P. 1944–1969.

Kitada S., Kishino K. Population structure of chum salmon and selection on the markers collected for stock identification // Ecol. Evol. 2021. V. 11. P. 13972–13985.

Knapp G. 2012. Trends in Alaska and world salmon markets. E-publication https://www.adfg.alaska.gov/static/fishing/PDFs/commercial/gk_trends_4-12-12.pdf (accessed 29 Oct. 2021).

Knudsen E., Buckhorn M., Gorman K. et al. Interactions of wild and hatchery pink salmon and chum salmon in Prince William Sound and Southeastern Alaska / Final Progress Report for 2013. Alaska Department of Fish and Game. 2015. Contract IHP-13-013. 55 p. + Apps.

Kohan M.L., Orsi J.A., Mueter F., McPhee M.V. Variation in abundance and condition of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the eastern Gulf of Alaska in relation to environmental variables // N. Pac. Anadr. Fish Com. Tech. Rep. 2013. № 9. P. 244–248.

Labelle M., Walters C.J., Riddell B. Ocean survival and exploitation of Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) stocks from the east coast of Vancouver Island, British Columbia // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1997. V. 54. P. 1433–1449.

Le Luyer J., Laporte M., Beacham T.D. et al. Parallel epigenetic modifications induced by

hatchery rearing in a Pacific salmon // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2017. 6 p.

Leon K.A., Dudiak N.C., Rawson C.B. Effectiveness of Alaska dry pellet (ADP) and Oregon moist pellet (OMP) fed to pink salmon in saltwater net pens // FRED Reports. 1985. V. 46. 17 p.

MacKinlay D.D., Lehmann S., Bateman J., Cook R. Pacific salmon hatcheries in British Columbia // American Fisheries Society Symposium. 2004. V. 44. P. 57–75.

Madaro A., Olsen R.E., Kristiansen T.S. et al. Stress in Atlantic salmon: response to unpredictable chronic stress // J. Exp. Biol. 2015. V. 218. P. 2538–2550.

McConnell C.J., Westley P.A.H., McPhee M.V. Differences between wild and hatchery-stray chum salmon despite long-term immigration by strays // Aquacult. Environ. Interact. 2018. V. 10. P. 99–113.

McDowell Group. Pink salmon product development and the role of the Prince William Sound Aquaculture Corporation. February 2011. E-publication accessible at <https://www.adfg.alaska.gov/static/fishing/PDFs/hatcheries/PSPD.pdf> (accessed 29 Oct. 2021)

Miyakoshi Y., Nagata M., Kitada S., Kaeriyama M. Historical and current hatchery programs and management of chum salmon in Hokkaido, northern Japan // Rev. Fish. Sci. 2013. V. 21. P. 469–479.

Morita K. Japanese wild salmon research: toward a reconciliation between hatchery and wild salmon management // NPAFC Newsletter. 2014. № 35. P. 4–14.

Morita K., Morita S.H., Fukuwaka M. Population dynamics of Japanese pink salmon (*Oncorhynchus gorbusha*): are recent increases explained by hatchery programmes or climatic variations? // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2006a. V. 63. P. 55–62.

Morita K., Saito T., Miyakoshi Y. et al. A review of Pacific salmon hatchery programmes on Hokkaido Island, Japan // ICES J. Mar. Sci. 2006b. V. 63. P. 1353–1363.

Muhling B.A., Brodie S., Smith J.A. et al. Predictability of species distributions deteriorates under novel environmental conditions in the California Current system // Front. Mar. Sci. 2020. V. 7: № 589. doi: 10.3389/fmars.2020.00589

Nagata M., Miyakoshi Y., Urabe H. et al. An overview of salmon enhancement and the need to manage and monitor natural spawning in Hokkaido, Japan // Environ. Biol. Fish. 2012. V. 94. P. 311–323.

Nickelson T. The influence of hatchery Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) on the productivity of wild Coho Salmon populations in Oregon coastal basins // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2003. V. 60. P. 1050–1056.

North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC). NPAFC Statistics: Description of Pacific Salmonid Catch and Hatchery Release Data Files. 2020. 53 p. E-publication accessible at https://npafc.org/wp-content/uploads/2020/03/Metadata_1Dec2020.pdf (accessed 29 Oct. 2021)

Ohnuki T., Morita K., Tokuda H. et al. Numerical and economic contributions of wild and hatchery pink salmon to commercial catches in Japan estimated from mass otolith markings // N. Am. J. Fish. Manage. 2015. V. 35. № 3. P. 598–604.

Ojaveer H., Tomkiewicz J., Arula T., Klais R. Female ovarian abnormalities and reproductive failure of autumn-spawning herring (*Clupea harengus membras*) in the Baltic Sea // ICES J. Mar. Sci. 2015. V. 72. P. 2332–2340.

Piston A.W., Heintz S.C. Hatchery Chum Salmon Straying Studies in Southeast Alaska, 2008–2010 / Alaska Department of Fish and Game, Fishery Manuscript Series № 12–01, Anchorage. 2012. 35 p.

Piston A.W., Heintz S.C. Chum salmon stock status and escapement goals in Southeast Alaska / Alaska Department of Fish and Game, Special Publication № 14–13, Anchorage. 2014. 84 p.

Power M. Assessing the effects of environmental stressors on fish populations // Aquat. Toxicol. 1997. V. 39. P. 151–169.

Pryor F. 2017 Report to the Alaska Board of Fisheries on the status of the allocation of

hatchery produced salmon in the Southeast Alaska region / Alaska Department of Fish and Game, Fishery Management Report № 17–62, Anchorage. 2017. 26 p.

Raby G.D., Cooke S.J., Cook K.V. et al. Resilience of pink salmon and chum salmon to simulated fisheries capture stress incurred upon arrival at spawning grounds // *Trans. Am. Fish. Soc.* 2013. V. 142. № 2. P. 524–539.

Radchenko V.I. Bycatch of Pacific salmon in pelagic fisheries in the North Pacific Ocean: a problem requiring investigation // *NPAFC Newsletter*. 2017. № 42. P. 30–34.

Reese C., Hillgruber N., Sturdevant M. et al. Spatial and temporal distribution and the potential for estuarine interactions between wild and hatchery chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Taku Inlet, Alaska // *Fish. Bull.* 2008. V. 107. P. 433–450

Rittenhouse M.A., Revie C.W., Hurford A. A model for sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) dynamics in a seasonally changing environment // *Epidemics*. 2016. V. 16. P. 8–16.

Ruggerone G.T., Irvine J.R. 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.* 2018. V. 10. P. 152–168.

Russell C.W., Botz J., Haught S., Moffitt S. 2016 Prince William Sound area finfish management report / Alaska Department of Fish and Game, Fishery Management Report № 17–37, Anchorage. 2017. 160 p.

Saito T. Biological monitoring of key salmon populations: Japanese chum salmon // *NPAFC Newsletter*. 2015. № 37. P. 10–19.

Saito T., Nagasawa K. Regional synchrony in return rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Japan in relation to coastal temperature and size at release // *Fish. Res.* 2009. V. 95. P. 14–27.

Saito T., Hirabayashi Y., Suzuki K. et al. Recent decline of pink salmon (*Oncorhynchus gorbusha*) abundance in Japan // *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.* 2016. № 6. P. 279–296.

Schreck C.B., Contreras-Sanchez W., Fitzpatrick M.S. Effects of stress on fish

reproduction, gamete quality, and progeny // *Aquaculture*. 2001. V. 197. P. 3–24

Shimizu T., Ban M., Miyauchi Y. et al. Nutritional condition of hatchery and wild chum salmon *Oncorhynchus keta* fry migrating down the Chitose River // *Journal of Fisheries Technology*. 2016. V. 8. № 2. P. 89–94. (на японском языке).

Spilsted B., Pestal G. Certification Unit Profile: North Coast and Central Coast Pink Salmon // *Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2009. № 2880. P. viii + 72 p.

Stopha M. An evaluation of the Medvejie Creek salmon hatchery for consistency with statewide policies and prescribed management practices / Alaska Department of Fish and Game, Division of Commercial Fisheries, Regional Information Report 5J15–03, Anchorage. 2015. 90 p.

Stopha M. Alaska fisheries enhancement annual report 2016 / Alaska Department of Fish and Game, Division of Commercial Fisheries, Regional Information Report 5J17–04, Anchorage. 2017. 96 p.

Sturdevant M.V., Fergusson E., Hillgruber N. et al. Lack of trophic competition among wild and hatchery juvenile chum salmon during early marine residence in Taku Inlet, Southeast Alaska // *Environ. Biol. Fishes*. 2012. V. 94. P. 101–116.

Sweeting R.M., Beamish R.J., Neville C.M. Crystalline otoliths in teleosts: Comparisons between hatchery and wild Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in the Strait of Georgia // *Rev. Fish Biol. Fish.* 2004. V. 14. P. 361–369.

Tillotson M.D., Barnett H.K., Bhuthimethee M. et al. Artificial selection on reproductive timing in hatchery salmon drives a phenological shift and potential maladaptation to climate change // *Evol. Appl.* 2019. V. 12. P. 1344–1359.

Tojima T., Kuwaki M., Urawa S. Releases of otolith marked salmon from Japan between summer of 2015 and spring of 2016. NPAFC Doc. 1695. 2017. 17 p.

Torao M., Nagata M., Sasaki Y. et al. Evidence for existence of wild population of pink salmon in the Tohoro River system flowing into

Nemuro Strait, eastern Hokkaido, Japan // Sci. Rep. Hokkaido Fish. Res. Inst. 2011. V. 80. P. 45–49.

Urawa S., Irvine J.R., Kim J.K. et al. Forecasting Pacific salmon production in a changing climate: a review of the 2011–2015 NPAFC Science Plan // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. 2016. № 6. P. 501–534. doi:10.23849/npafcb6/501.534.

Van Will P., Brahniuk R., Pestal G. Certification Unit Profile: Inner South Coast Pink Salmon (Excluding Fraser River). Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2009. № 2876. P. vii + 63p.

Wagner G.N., Hinch S.G., Kuchel L.J. et al. Metabolic rates and swimming performance of adult Fraser River sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) after a controlled infection with *Parvicapsula minibicornis* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2005. V. 62. P. 2124–2133.

Wertheimer A.C., Smoker W.W., Joyce T.L., Heard W.R. Comment: a review of the hatchery programmes for pink salmon in Prince William Sound and Kodiak Island, Alaska // Trans. Am. Fish. Soc. 2001. V. 130. P. 712–720.

Willette T.M., Cooney R.T., Patrick V. et al. Ecological processes influencing mortality of

juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Prince William Sound, Alaska // Fish. Oceanogr. 2001. V. 10. P. 14–41.

Yatsuya M., Sasaki K., Shimizu Y. et al. Effects of duration of net-pen acclimation and timing of river stocking on early growth and adult return of chum salmon along the Pacific coast of Honshu, Japan // N. Pac. Anadr. Fish Com. Tech. Rep. 2018. № 11. P. 127–128.

Young J.L., Bornik Z.B., Marcotte M.L. et al. Integrating physiology and life history to improve fisheries management and conservation // Fish Fish. 2006. V. 7. P. 262–283.

Young M., Saunders M., Radchenko V. (eds.). Story of the International Year of the Salmon: Concept to Launch // N. Pac. Anadr. Fish Com. Tech. Rep. 2017. № 10. 142 p.

Zhivotovsky L.A., Fedorova L.K., Rubtsova G.A. et al. Rapid expansion of an enhanced stock of chum salmon and its impacts on wild population components // Environ. Biol. Fishes. 2012. V. 94. № 1. P. 249–258.

AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION

**PINK *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* AND CHUM
O. KETA (SALMONIDAE, SALMONIFORMES) SALMON
STOCK AND FISHERY CONDITIONS IN PLACES OF
THEIR INTENSIVE HATCHERY PROPAGATION**

© 2021 y. V.I. Radchenko

North Pacific Anadromous Fish Commission (NPAFC), Vancouver V6C 3B2, Canada

Pink and chum salmon are the most popular Pacific salmon species for hatchery propagation comprising together more than 87% of Pacific salmon juveniles released into the North Pacific Ocean. These two species heavily contribute to the total Pacific salmon harvest-85.7% in numbers and 80.0% by weight since 2001. Last years, efficiency of pink and chum salmon hatchery propagation started to decline under the recent climate changes. Ocean heat waves impact the southern part of salmon area, where 95% of hatcheries are located southward from 50°N. Hatchery juveniles mortality increases and hatchery salmon impact on wild salmon stocks looks to be overestimated. Despite the emerging crisis situation in the salmon hatchery propagation, the issues of adopting its technologies and management are almost being not investigated. The results of otolith marking are not published regularly. It is necessary to revise the efficiency of the existing hatcheries, develop an adaptive strategy for the further development of hatchery propagation, which will be based on the principles of their concentration in relatively isolated areas to allow fishing mainly for hatchery pink and chum salmon. Extensive experimental work is required on the basis of federal-owned fish hatcheries using new advances in genetics and genomics, as well as conducting biochemical and genetic monitoring of salmon run along with parasitological one.

Key words: pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, chum salmon *Oncorhynchus keta*, stock condition, hatchery propagation, fishery, stressors

**ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА
КЕТЫ *ONCORHYNCHUS KETA* В БАССЕЙНЕ
Р. НАЙБА (О. САХАЛИН)**

© 2021 г. М.Ю. Стеколыщикова, О.А. Барковская, Ю.А. Батюк

*Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, 693023
E-mail: m.stekolshikova@sakhniro.ru*

Поступила в редакцию 23.08.2021 г.

На основе идентификации отолитных меток кеты генераций 2009–2014 гг. (всего исследовано 1621 экз.) для лососевых рыбозаводных заводов р. Найба (юго-восточный Сахалин) рассчитаны коэффициенты возврата. Установлены значительные различия в эффективности «найбинских» ЛРЗ: средний коэффициент возврата кеты ЛРЗ «Залом» составил 1,59%, ЛРЗ «Березняковский» — 0,84%, ЛРЗ «Соколовский» — 0,48%. Показано, что величина коэффициента возврата была теснее связана со сроками выпуска молоди, чем с массой ее тела и водоёмом происхождения родительских особей. Сделан вывод о наличии резервов для роста вылова заводской кеты на Сахалине при условии оптимизации сроков выпуска искусственной молоди.

Ключевые слова: о. Сахалин, искусственное воспроизводство, кета, отолитное маркирование, коэффициент возврата, сроки выпуска.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, когда тенденция сокращения естественных запасов тихоокеанских лососей становится все более очевидной, обеспечение устойчивого развития рыбохозяйственного комплекса Сахалино-Курильского региона тесно связано с уровнем производства продукции аквакультуры.

Сегодня в Сахалинской области действует 62 лососевых рыбозаводных завода (ЛРЗ) и 5 питомников. В 2020 г. выпуск молоди достиг исторического максимума (1093,7 млн экз.). Основным объектом разведения является кета *Oncorhynchus keta*, доля которой в общем объёме выпускаемой рыбозаводными предприятиями молоди составляет более 75%.

Большинство ЛРЗ расположено на юге о. Сахалин и на о. Итуруп. Возможности дальнейшего наращивания объёмов выпуска молоди в водные объекты этих районов в значительной мере ограничены приёмной ёмкостью прибрежной акватории и решением о запрете строительства ЛРЗ в бассейнах ряда рек с целью сохранения генофонда диких лососей. В этой связи значительный интерес вызывает вопрос о наличии резервов повышения эффективности лососеводства. Учитывая, что дебит, температурные режимы водоисточников и уровень технического оснащения современных рыбозаводных заводов позволяют содержать кету в зоне экологического оптимума, а использование сбалансированных кормов — получать

молодь с высокими качественными характеристиками, речь идет не столько о совершенствовании биотехнологии, сколько о выборе стратегии выращивания и выпуска молоди.

Многие исследователи отмечают влияние массы молоди на время её пребывания в прибрежье и на дальнейшую выживаемость (Леванидов, 1964; Parker, 1962; Ricker, 1966; Канидьеv, 1984). Выполненный на основании литературных данных В.С. Леманом и В.В. Чебановой (2002) расчет показал, что прирост массы тела молоди кеты в пределах от 0,5 до 1,5 г на каждые 0,1 г может дать увеличение коэффициента возврата в среднем на 0,2%. О необходимости синхронизации выпуска молоди с температурными условиями и динамикой кормового зоопланктона в прибрежье известно с начала 1960-х гг. (Фроленко, 1965; Канидьеv, 1967). Позднее, В.В. Карпенко (1998) отмечал, что в годы раннего ската молоди горбуши с нерестилищ рек Карагинского залива, когда его сроки не совпадали со сроками массового развития зоопланктона, наблюдалась высокая элиминация молоди горбуши на стадии раннего морского нагула. Существуют и данные о том, что задержка выпуска в пределах 1–2 недель может привести к уменьшению возврата в 2 раза (Morley et al, 1996).

Однако установление причинно-следственных связей между мерами по повышению эффективности деятельности ЛРЗ и коэффициентом возврата лососей методологически весьма сложная задача, так как решающее влияние на формирование численности поколений лососей оказывают условия её нагула в прибрежье. При этом действие факторов среды маскирует или компенсирует возможные «ошибки» рыбоводов.

Способствовать решению означенной задачи может исследование эффективности разведения кеты на ЛРЗ «За-

лом», «Соколовский» и «Березняковский», расположенных на притоках р. Найба (юго-восточный Сахалин) на расстоянии, соответственно, 32, 56 и 76 км от устья.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве показателя эффективности разведения кеты используется коэффициент возврата (КВ), рассчитанный как отношение численности возврата поколения к количеству выпущенной молоди.

В результате деятельности «найбинских» ЛРЗ создано промышленное стадо кеты, интенсивно облавливаемое в прибрежье юго-восточного Сахалина и в нижнем течении р. Найба. В 2009–2015 гг. средний суммарный объём выпуска молоди с «найбинских» ЛРЗ составлял 54,4 млн экз., что в дальнейшем обеспечило возвраты от 261,9 до 912,1 тыс. экз. Возрастной состав производителей кеты представлен рыбами 3–6 лет.

С 2009 г. молодь кеты, выпускаемую с ЛРЗ «Залом», «Соколовский» и «Березняковский», метят методом отолитного маркирования, при этом каждому заводу присваивается отдельная метка (Akinicheva, Volobuev, 2010, 2011; Akinicheva et al., 2012, 2013, 2014, 2015). Это позволяет идентифицировать рыб по происхождению в возврате.

В основу представляемой статьи положены результаты исследования микроструктуры отолитов 1621 экз. половозрелой кеты из уловов в нижнем течении р. Найба и примыкающем к устью участке прибрежья.

Для подготовки отолитов к анализу микроструктуры использовали стандартные методики, применяемые в отолитометрических исследованиях, принятых в системе рыбохозяйственных институтов (Secor et al., 1991).

Численность возврата кеты для каждого рыбоводного завода рассчитана в соответствии с долей рыб с метками этого ЛРЗ в вылове. Вычисление долей маркированных рыб в вылове выполнили на основе линейных трендов или, при их отсутствии, как среднеарифметическое.

Оценки численности возврата «найбинской» кеты имеют относительный характер, так как выполнены без учета количества рыб, выловленных севернее и южнее означенного участка. Однако мы считаем, что значения коэффициентов возврата в район р. Найба отражают динамику и разницу в выживаемости кеты трех «найбинских» ЛРЗ. Основанием для такого вывода являются результаты анализа встречаемости маркированной кеты в водах восточного Сахалина в 2016, 2019 гг., когда район исследований включал участок побережья от р. Фирсовка до м. Анива. Было установлено, что в эти годы, во-первых, более 90% рыб «найбинского» стада было выловлено в прибрежье в районе базовой реки и в реке, а во-вторых, соотношение численности кеты с метками ЛРЗ «Березняковский» и «Соколовский» в вылове других районов соотносимо.

Расчёт численности и коэффициентов возврата кеты поколений 2014,

2015 гг. выполнен для возрастных групп 2+, 3+, 4+.

Возраст рыб определяли по меткам на отолидах (ежегодно ЛРЗ присваивался новый код метки).

Информация о перевозках икры кеты и сроках выпуска, а также размерно-весовые характеристики молоди кеты предоставлены Сахалинским филиалом ФГБУ «Главрыбвод».

Данные о температуре поверхности воды в прибрежье получены с помощью спутниковой станции TeraScan.

Статистический анализ выполняли при помощи пакета «Анализ данных» в Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В динамике индексов выживаемости кеты всех трёх «найбинских» ЛРЗ в морской период прослеживается общая закономерность (рис. 1), что свидетельствует об определяющем влиянии природных факторов на становление численности поколений 2009–2014 гг. Вместе с тем выживаемость кеты разного происхождения отличалась. Коэффициенты возврата кеты, выпущенной с ЛРЗ «Залом» изменялись от 0,75 до 5,00%, с ЛРЗ «Березняковский» — от 0,41 до 2,04%, с ЛРЗ «Соколовский» — от 0,03 до 1,52% (поколение 2013 г. не вернулось).

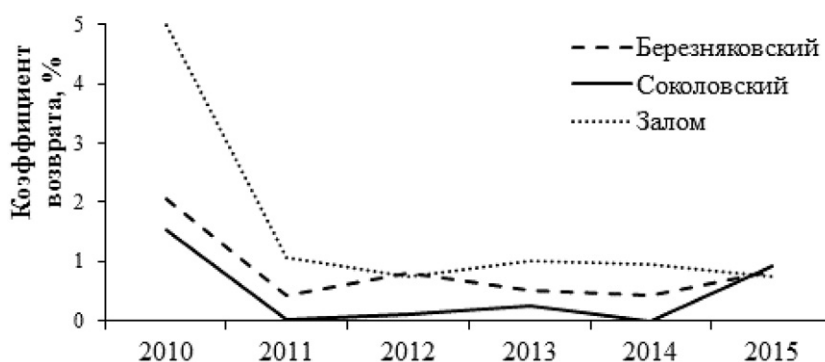


Рис. 1. Динамика выживаемости кеты ЛРЗ «Березняковский», «Соколовский» и «Залом», выпущенной в 2010–2015 гг.

Анализ возрастной структуры поколений кеты «найбинских» стад показал, что кета ЛРЗ «Березняковский» и «Залом» возвращалась преимущественно в возрасте 2+–4+ лет. В подходах доминировали четырёхлетние особи. Доля пятилеток в возвратах незначительно превышала долю трёхлеток, а особи в возрасте 5+ лет встречались в уловах лишь дважды (табл. 1). Три поколения кеты Соколовского ЛРЗ вернулись двумя возрастными группами: трёх- и четырёхлетками — генерации 2011, 2012 гг. и в возрасте 3+, 4+ — генерация 2014 г.

Средний возраст созревания исследуемых генеративных линий кеты Березняковского ЛРЗ составил 3,1 года ($CV = 11,3\%$). Кета ЛРЗ «Залом» созревала в среднем за 3,0 года ($CV = 27,4\%$). Средний возраст созревания кеты ЛРЗ «Соколовский» составил 2,9 года (от 3,3 для поколения 2013 г. до 2,4 для поколения 2011 г., $CV = 32,9\%$). Столь существенная разница в выживаемости и темпе созревания кеты «найбинских» ЛРЗ позволяет предположить, что её причины кроются, прежде всего, в организации рыбоводного процесса, и является основанием для проведения углублённого анализа деятельности рыбоводных заводов.

В исследуемый период производственные мощности ЛРЗ «Березняковский», «Соколовский» осваивались, в том числе, за счет перевозок икры кеты с других рыбоводных заводов Сахалинской области (рис. 2). Тогда как закладка икры кеты на ЛРЗ «Залом» осуществлялась от производителей, зашедших в базовую реку завода. Известно, что в силу адаптации нативных популяций лососей к конкретным экологическим условиям отдельных рек, которая, во многих случаях, является генетически закрепленной, перевозки икры и молоди из одних водоёмов в другие являются малоэффективными (Хованский, 2006). Именно поэтому факт того, что часть рыбоводной продукции, выпущенной с ЛРЗ «Березняковский» и «Соколовский», имела не местное происхождение, рассматривался нами как наиболее очевидная причина сравнительно низкой эффективности этих рыбоводных заводов.

Сравнительно высокая выживаемость кеты ЛРЗ «Залом», а также наличие корреляционной связи средней степени выраженности между долей нативной молоди в выпусках и коэффициентами возврата кеты, как в случае ЛРЗ «Березняковский» ($r = 0,56$; $n = 6$; $p < 0,05$), так и ЛРЗ «Соколовский»

Таблица 1. Темп полового созревания кеты ЛРЗ р. Найба поколений 2009–2014 гг., %

Год выпуска	ЛРЗ «Березняковский»				ЛРЗ «Соколовский»				ЛРЗ «Залом»			
	2+	3+	4+	5+	2+	3+	4+	5+	2+	3+	4+	5+
2010	13,4	57,5	26,4	2,7	17,1	63,0	19,9	0	15,0	67,6	17,4	0
2011	8,8	65,9	25,3	0	61,7	38,3	0	0	11,1	74,0	14,9	0
2012	14,9	71,0	14,1	0	5,5	94,5	0	0	14,8	80,2	5,0	0
2013	12,9	69,2	17,9	0	0	74,8	25,2	0	0	48,5	49,3	2,2
2014	31,7	47,8	20,5	0	поколение не вернулось				17,6	75,7	6,7	0
2015	1,0	86,4	12,6	н/д	1,4	90,4	8,2	н/д	31,5	63,1	5,4	н/д
Среднее	13,8	66,3	19,5	0,5	17,1	72,2	10,7	0	15,0	68,1	16,5	0,4

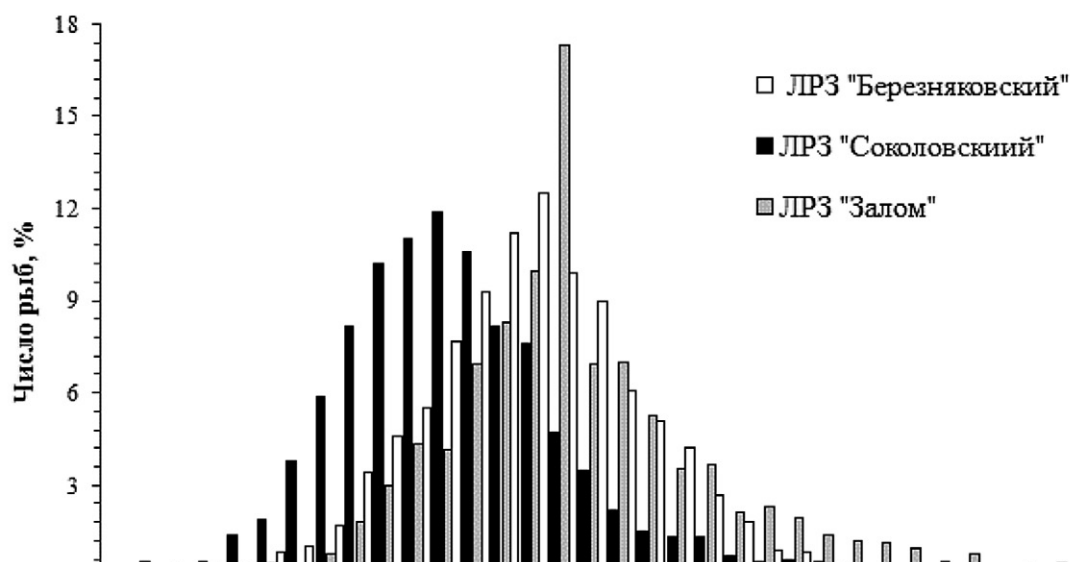


Рис. 2. Происхождение молоди кеты, выпущенной с ЛРЗ «Березняковский» и «Соколовский» в 2010–2015 гг.

($r = 0,61$; $n = 6$; $p < 0,05$), подтверждает зависимость величины возврата от происхождения молоди. Отсутствие статистической достоверности в данном случае вероятнее всего связано с малым объемом выборки.

Вместе с тем, несмотря на то, что в выпусках ЛРЗ «Соколовский» доля нативной молоди кеты в среднем в 1,7 раза превышала аналогичный показатель для ЛРЗ «Березняковский», коэффициенты возврата «соколовской» кеты были в 2,0 раза ниже. В связи с этим логично предположить, что в случае ЛРЗ «Соколовский», численность возвратов кеты жестко лимитировалась еще одним или несколькими факторами, не действующими, или влияющими в меньшей степени на кету двух других «наибинских» ЛРЗ.

Среди рыбоводных мероприятий, направленных на увеличение эффективности лососеводства, в первую очередь следует отметить повышение жизнестойкости выпускаемой молоди и корректировку сроков выпуска в соответствии с наступлением благоприятных условий в прибрежье (Parker, 1962; Леванидов, 1964; Ricker, 1966; Канидьев, 1984).

Определяющими критериями качества молоди являются размерно-весовые показатели и физиологическая полноценность. Молодь кеты, подращиваемая на ЛРЗ «Соколовский», характеризовалась сравнительно низкими темпами роста и, как следствие, наименьшими средними значениями (табл. 2, рис. 3).

Причина тому, на наш взгляд, носит субъективный характер и является следствием низких суточных рационов кормления. Такой тактики кормления молоди кеты на заводе придерживаются в течение многих лет. Однако результаты исследований физиологических, гематологических и биохимических показателей молоди кеты ЛРЗ «Березняковский», «Соколовский», проведенных в 2001–2007 гг. (Грозеску, 2005; Сергеев, 2007), показали, что физиологическое состояние молоди находилось в пределах нормы.

Корреляционных связей между величиной возврата и средней массой молоди, а также между количеством молоди разных весовых групп в выпуске (до 700 мг и свыше 900 мг) не выявлено. Отчасти это можно объяснить искажением смысла связи под влиянием других

Таблица 2. Средние значения длины (АС, мм) и массы (Р, мг) молоди кеты, выпущенной с ЛРЗ р. Найба в 2010–2015 гг.

Год выпуска	ЛРЗ «Березняковский»		ЛРЗ «Соколовский»		ЛРЗ «Залом»	
	АС, мм	Р, мг	АС, мм	Р, мг	АС, мм	Р, мг
2010	49,2	1011,1	47,4	819,3	50,9	1078,1
2011	49,9	1001,0	48,6	803,4	54,3	1244,8
2012	51,3	1016,1	47,5	814,2	52,4	1095,7
2013	50,7	1025,0	46,7	895,7	50,6	1034,4
2014	54,6	1084,7	47,6	817,4	50,7	1004,9
2015	49,8	1035,3	50,1	881,0	51,6	1030,0
среднее	50,9	1028,9	48,0	838,5	51,8	1081,3

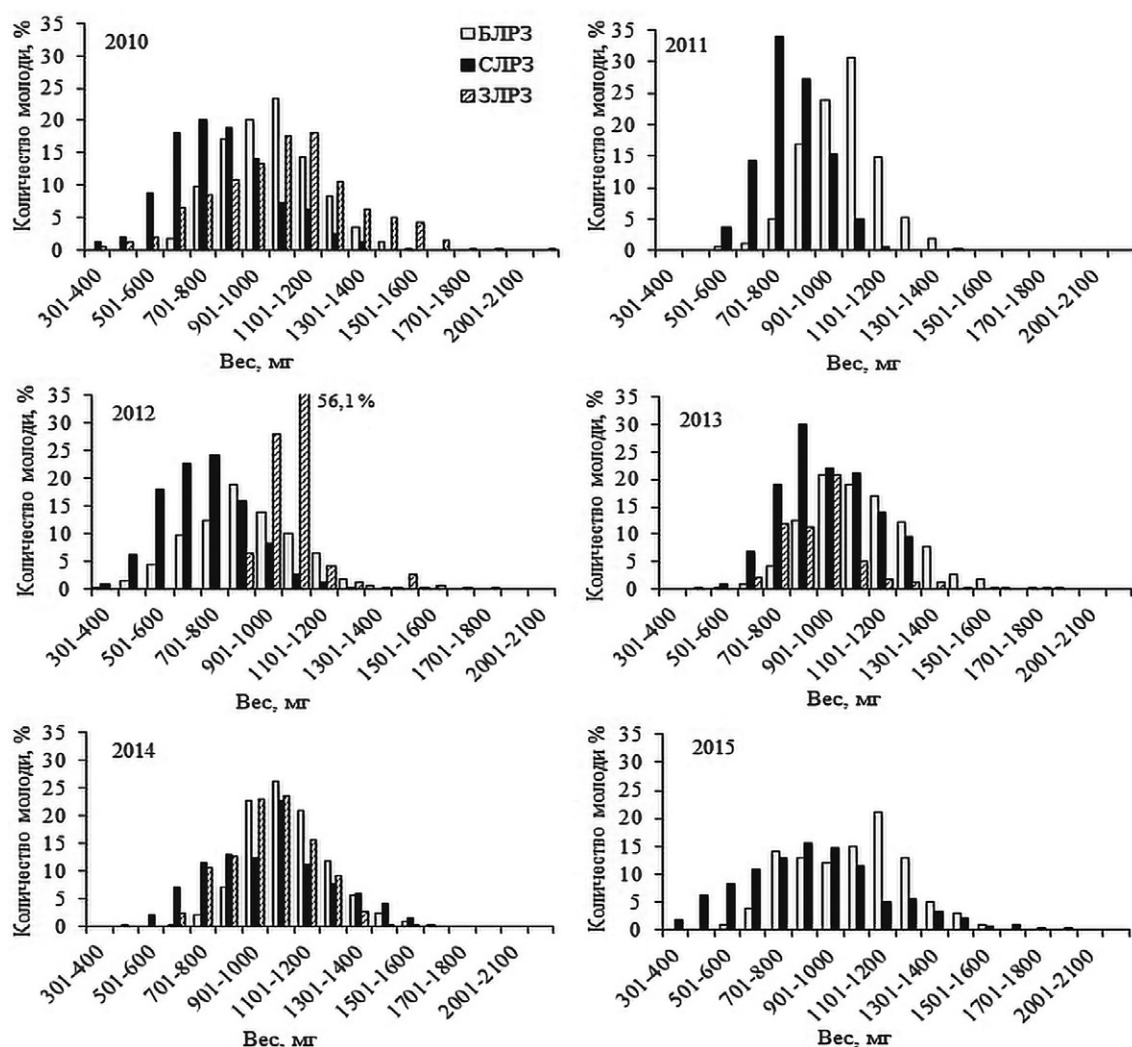


Рис. 3. Весовые группы молоди кеты, выпущенной с ЛРЗ «Березняковский», «Соколовский» и «Залом» в 2010–2015 гг.

факторов, но мы не склонны считать, что сравнительно низкие размерно-весовые показатели молоди являются основной причиной повышенной смертности кеты ЛРЗ «Соколовский».

Как показано в серии публикаций, комфортная для молоди тихоокеанских лососей температурная зона составляет 7–12 °С (Карпенко 1983, 1994; Чупахин, Каев, 1980; Irie, 1990; Шубин и др., 1996; Волобуев, Марченко, 2011). Прогрев прибрежных вод выше 14 °С стимулирует миграцию молоди в более холодные мористые зоны (Карпенко, 1998; Шубин, 1996; Атаманова, 2015). Однако в пределах указанного диапазона представители разных видов отличаются избирательностью по отношению к верхней границе температурного оптимума. Согласно данным А.Н. Старовойтова (2003), кета первого морского года жизни в период нагула предпочитает воды, температура которых не превышает 10,8 °С. В работе Л.И. Изергина (2020) упоминается, что во время нагула в лагунах материкового побережья северной части Охотского моря молодь кеты избегает участков, где температура превышает 10,5 °С.

Выпуск молоди с каждого из «найбинских» рыбозаводов осуществляли в разные сроки, но во всех случаях на момент начала выпуска температура прибрежных вод превышала 6 °С (рис. 4). Первой, в третьей декаде мая, начинали выпускать молодь с ЛРЗ «Залом». Как правило, выпуск продолжался в течение двух недель. Кету Березняковского ЛРЗ выпускали с первой декады июня, в отдельные годы — с третьей декады мая до первой декады июля, кету Соколовского ЛРЗ — не ранее второй декады июня до конца июля. Известно, что для кеты характерны две стратегии ската: часть молоди скатывается вскоре после выхода из грунта, другая задерживается в реке на несколько недель (Гри-

ценко, 2002; Павлов и др., 2010, 2015). Литературные данные свидетельствуют о том, что миграционное поведение заводской кеты сходно с таковым у диких покатинов (Канидьева, 1967; Vams, 1970; Kaeriyama, 1997; Леман, Чебанова, 2002). Если обратиться к графикам, приведенным на рисунке 4, можно заключить, что часть молоди, возможно, весьма значительная, выпущенная преимущественно с ЛРЗ «Соколовский», выходила в море в период, когда температура в прибрежье превышала толерантный диапазон.

Примечательно, что корреляционный анализ показал наличие отрицательной связи средней степени выраженности ($r = -0,54$; $n = 12$; $p > 0,05$) между количеством молоди, выпущенной с ЛРЗ «Березняковский», «Соколовский» после 25 июня, и коэффициентами возврата. Мы считаем, что в условиях многофакторного воздействия внешней среды на становление численности поколений лососей, полученный результат косвенно свидетельствует о том, что в июле на акватории, примыкающей к устью р. Найба, складываются условия, способствующие повышенной смертности молоди.

Комплексного изучения условий среды на акватории раннего морского нагула «найбинской» кеты в период проведения исследования не проводили. Однако гидробиологические наблюдения, выполненные в прибрежных водах юго-восточного Сахалина на траверсе рек Найба, Долинка в 1989, 2019 гг. соответственно, позволяют утверждать, что кормовая база молоди лососей в прибрежье юго-восточного Сахалина избыточна и заметно превышает совокупный рацион рыб-планктофагов (Иванков, 1999; Лабай и др., 2020).

Ещё одним фактором, который может лимитировать численность молоди лососей, является её выедание хищны-

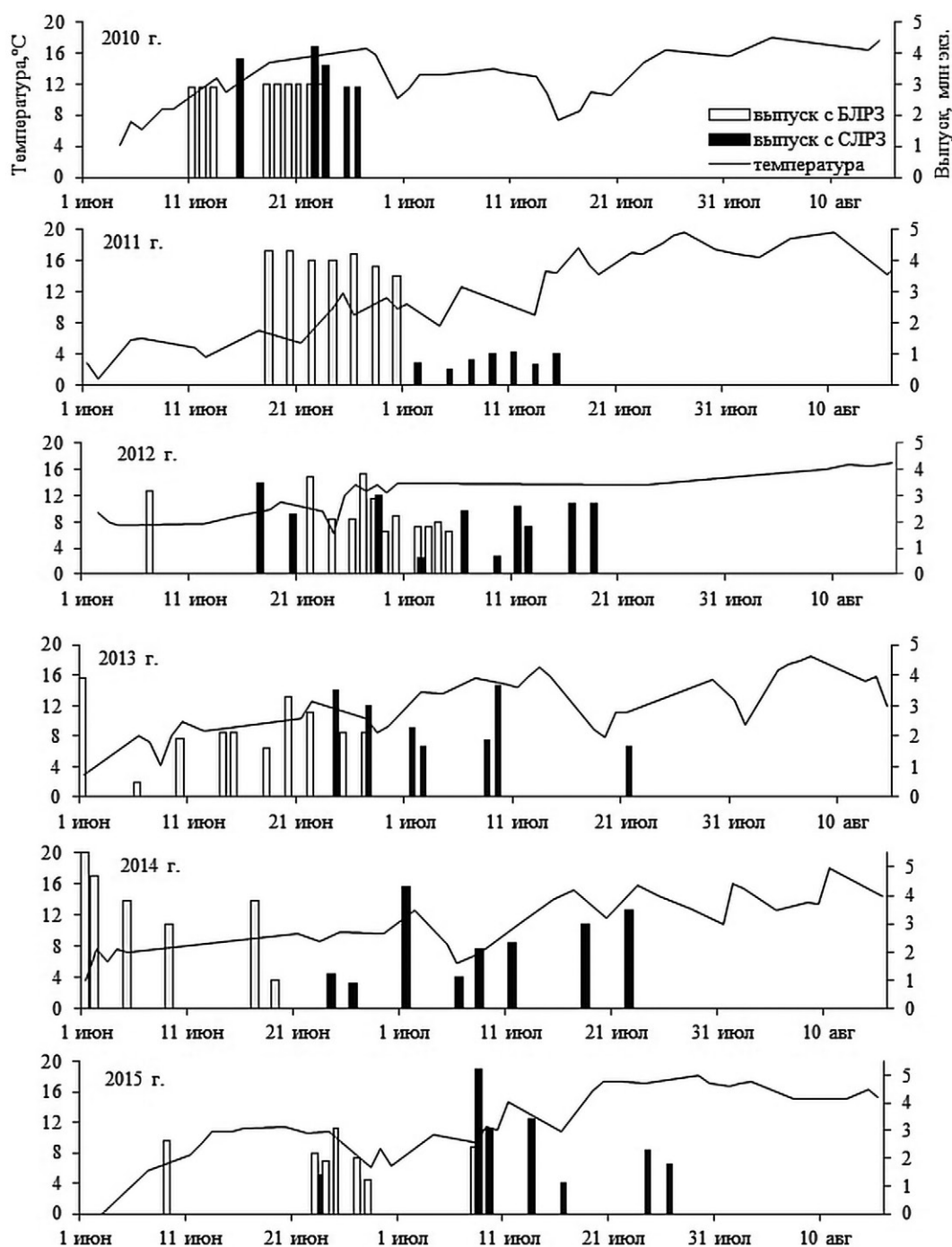


Рис. 4. Температура воды в прибрежье в районе р. Найба в период выпуска и выхода в море молоди кеты с ЛРЗ «Березняковский» и «Соколовский» в 2010–2015 гг.

ми рыбами. Основными потребителями молоди лососей являются кунджа *Salvelinus leucomaenis*, крупночешуйная краснопёрка *Tribolodon hakonensis*, навага *Eleginus gracilis*, азиатская зубастая корюшка (Шершнев, 1971; Хоревин и др., 1981; Карпенко, 1998; Иванков, 1999).

Несмотря на то, что указанные виды рыб отмечаются в реках и прибрежье на протяжении всего весенне-летнего сезона, в отдельные годы максимальных показателей численности и биомассы достигают именно в июле (Лабай и др., 2020).

Однако наиболее убедительным объяснением причины низких коэффициентов возврата кеты ЛРЗ «Соколовский» нам представляется высокая гибель молоди вследствие физиологических нарушений в организме из-за перехода в воду морской солености в условиях повышенных температур. Среди покатников тихоокеанских лососей, в том числе кеты, присутствуют как смолты, так и пресмолты, завершение процесса смолтификации для которых происходит уже после выхода в море (Варнавский, 1990). Более того, существует мнение, что оптимизация процесса осморегуляции невозможна до тех пор, пока молодь полностью не перейдет в морскую среду (Ведемейер и др., 1981). В период смолтификации у рыб развивается система компенсаторных реакций, сопровождающаяся перестройкой адаптационных механизмов организма, определяемая рядом авторов как стресс (Wedemeyer, McLeay, 1981; Iwata et. al., 1990; Мартемьянов, 2000). Наличие дополнительных стресс-факторов, в нашем случае температурного, может индуцировать в организме патологические процессы, приводящие в конечном итоге к гибели организма (Изергин, 2020). Подтверждением нашему априорному предположению может отчасти служить пример нарушения механизмов осморегуляторной адаптации у сеголеток горбуши искусственного происхождения, проходящей на границе термотолерантного диапазона, детально описанный в монографии С.В. Варнавского (1990).

Учитывая, что в отдельные годы до 40% молоди кеты с ЛРЗ юго-восточного Сахалина выпускается в июле, проведение исследования адаптивных возможностей сеголетков кеты в период их нахождения в прибрежье представляет большой практический интерес.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Первые результаты дифференцированной оценки возврата «найбинской» кеты показали, что заводы, расположенные в бассейне р. Найба, работают с разной эффективностью. Так, каждый миллион молоди, выпущенной в 2010–2015 гг. с ЛРЗ «Залом» в дальнейшем обеспечил возврат в среднем 16,0 тыс. особей, с ЛРЗ «Березняковский» — 8,4 тыс. экз., с ЛРЗ «Соколовский» — 4,1 тыс. экз.

Анализ корреляционных связей между величиной возврата и такими параметрами как доля нативной молоди в выпусках, масса и сроки выпуска молоди показал, что столь значимые отличия в выживаемости лишь отчасти объясняются тем, что часть рыболовной продукции, выращенной на ЛРЗ «Березняковский» и «Соколовский», на стадии икры была перевезена с других рыболовных заводов, а молодь с ЛРЗ «Залом» имела местное происхождение. Низкая выживаемость кеты Соколовского ЛРЗ, в первую очередь, определяется сроками выпуска. В то время как основной объём молоди с ЛРЗ «Залом» и «Березняковский» выпускают в июне, на ЛРЗ «Соколовский» сроки выпуска по большей части смещены на июль, когда в прибрежье, по-видимому, складываются условия, способствующие повышенной смертности молоди.

Наиболее вероятной причиной гибели молоди представляется снижение способности к солёностной адаптации в условиях повышенных температур. Несмотря на то, что данная гипотеза требует подтверждения, проведённое исследование выявило наличие резерва и намечает пути повышения эффективности ЛРЗ.

Благодарности

Авторы благодарят Д.М. Ложкина — специалиста лаборатории океано-

графии Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» — за предоставление данных по температуре воды в прибрежной зоне, примыкающей к р. Найба; М.С. Мякишева — начальника отдела по воспроизводству водных биологических ресурсов Сахалинского филиала ФГБУ «Главрыбвод» — за предоставление данных о перевозках икры, сроках выпуска и размерно-весовой характеристике молоди кеты, выращиваемой на Березняковском и Соколовском ЛРЗ; С.В. Сидорову — начальника отдела аквакультуры Сахалино-Курильского территориального управления Федерального агентства по рыболовству — за предоставление данных о сроках выпуска и размерно-весовой характеристике молоди кеты, выращиваемой на ЛРЗ «Залом».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атаманова И.А.* Сезонная динамика прибрежного зоопланктона в восточной части зал. Анива // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях: Тр. «СахНИРО». 2020. Т. 16. С. 131–150.
- Варнавский В.С.* Смолтификация лососевых. Владивосток: ИБМ ДВО АН СССР, 1990. 180 с.
- Ведемейер Г.А., Мейер Ф.П., Смит Л.* Стресс и болезни рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 128 с.
- Волобуев В.В., Марченко С.Л.* Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. 303 с.
- Гриценко О.Ф.* Проходные рыбы острова Сахалин. М.: ВНИРО, 2002. 247 с.
- Грозеску Ю.Н.* Оценка физиологического состояния молоди кеты, выращенной на лососевых рыбоводных заводах о. Сахалин // Вестник Астраханского Государственно-го технического университета. 2005. Т. 3 (26). С. 145–151.
- Иванков В.Н., Андреева В.В., Тяпкина Н.В. и др.* Биология и кормовая база тихоокеанских лососей в ранний морской период жизни. Владивосток: ДВГУ, 1999. 260 с.
- Изергин Л.И.* Биологические показатели, особенности распределения и морфологическая картина крови молоди кеты (*Oncorhynchus keta*, 1792) в условиях смены типа эстуария (на примере р. Ола, Тауйская губа Охотского моря): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2020. 24 с.
- Канидьев А.Н.* Факторы, определяющие величину смертности и возможность повышения жизнеспособности заводской молоди кеты в пресноводный период жизни: Автореф. дис. канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО, 1967. 20 с.
- Канидьев А.Н.* Биологические основы искусственного разведения лососевых рыб. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1984. 215 с.
- Карпенко В.И.* Влияние факторов среды на формирование качественных показателей молоди дальневосточных лососей рода *Oncorhynchus* (Salmonidae) в прикамчатских водах Берингова моря // Вопр. ихтиологии. 1983. Т. 23, Вып. 5. С. 813–820.
- Карпенко В.И.* Методические аспекты оценки смертности камчатской горбуши в ранний морской период жизни // Изв. ТИНРО. 1994. Т. 116. С. 152–162.
- Карпенко В.И.* Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО, 1998. 165 с.
- Лабай В.С., Заварзин Д.С., Заварзина Н.К., Костюченко К.М. и др.* Питание некоторых массовых видов рыб в прибрежье юго-восточного Сахалина у впадения р. Долинка // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях. Тр. «СахНИРО». 2020. Т. 16. С. 186–215.
- Леванидов В.Я.* О зависимости между размерами мальков амурской осенней кеты

(*Oncorhynchus keta* infrasp. *autumnalis* Berg) и ее выживаемостью // *Вопр. ихтиологии*. 1964. Т. 4. Вып. 4. С. 658–663.

Леман В.Н., Чебанова В.В. Возможности повышения эффективности искусственного разведения кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) и экология заводской молоди в бассейне реки Большая (западная Камчатка) // *Тр. ВНИРО*. 2002. Т. 141. С. 215–228.

Мартемьянов В.И. Стресс у рыб: защитные и повреждающие процессы // *Биология внутренних вод*. 2002. № 4. С. 3–13.

Павлов Д.С., Кириллова Е.А., Кирилов П.И. Покатная миграция молоди лососевых рыб в р. Утхолок и ее притоках (северо-западная Камчатка). Сообщение 1. Покатная миграция молоди первого года жизни // *Изв. ТИНРО*. 2010. Т. 163. С. 3–44.

Павлов Д.С., Кириллова Е.А., Кирилов П.И., Невздолий В.К. Покатная миграция, поведение и распределение молоди рыб в низовьях реки Озерной (юго-западная Камчатка) // *Изв. РАН. Серия биологическая*. 2015. Т. 1. С. 52–62.

Сергеенко Т.М. Морфофизиологическая характеристика молоди кеты (*Oncorhynchus keta* Walbaum) при ее воспроизводстве на лососевых рыболовных заводах Сахалина: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Южно-Сахалинск, 2007. 25 с.

Старовойтов А.Н. Кета (*Oncorhynchus keta* (Walbaum)) в дальневосточных морях биологическая характеристика вида. 1. Сезонное распределение и миграции кеты в дальневосточных морях и открытых водах северо-западной Пацифики // *Изв. ТИНРО*. 2003. Т. 132. С. 43–81.

Фроленко Л.А. Питание и кормовая база молоди кеты и горбуши в реках и прибрежных участках юго-восточной части Татарского пролива // *Изв. ТИНРО*. 1965. Т. 59. С. 160–172.

Хованский И.Е. Эколого-физиологические и биотехнологические факторы эффективности лососеводства (на примере искусственного разведения тихоокеанских лососей на северном побережье Охотского

моря): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Хабаровск, 2006. 47с.

Хоревин Л.Д., Руднев В.А., Шершнев А.П. Выедание хищными рыбами молоди горбуши *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) в период ската из небольшой нерестовой реки о. Сахалин // *Вопр. ихтиол.* 1981. Т. 21. Вып. 6. С. 1016–1022.

Чупахин В.М., Каев А.М. Распределение и некоторые черты биологии молоди горбуши и кеты в прибрежье острова Итуруп // *Изв. ТИНРО*. 1980. Т. 104. С. 116–121.

Шершнев А.П. Биология молоди кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) в прибрежных водах юго-восточной части Татарского пролива: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 1971. 20 с.

Шубин А.О., Федотова Н.А., Сенченко И.А. Распределение, кормовая база и питание молоди горбуши в прибрежье юго-востока Сахалина // *Рыбохоз. исслед. в Сах.-Курил. р-не и сопред. акваториях: Сб. науч. тр. СахНИРО*. 1996. Т. 1. С. 21–33.

Akinicheva E.G., Volobuev V.V. Marked salmon production by the hatcheries of Russia in 2010 // *NPAFC Doc*. 2010. № 1273. 6 p.

Akinicheva E.G., Volobuev V.V., Fomin E.A. Marked salmon production by the hatcheries of Russia in 2011 // *NPAFC Doc*. 2011. № 1340. 5 p.

Akinicheva E.G., Volobuev V.V., Fomin E.A. Marked salmon production by the hatcheries of Russia in 2012 // *NPAFC Doc*. 2012. № 1400. 6 p.

Akinicheva E.G., Volobuev V.V., Fomin E.A. Marked Salmon Production by the Hatcheries of Russia in 2013 // *NPAFC Doc*. 2013. № 1489. 7 p.

Akinicheva E.G., Volobuev V.V., Fomin E.A. Marked Salmon Production by the Hatcheries of Russia in 2014 // *NPAFC Doc*. 2014. № 1553 (Rev.1). 7 p.

Akinicheva E.G., Batyuk J.A., Volobuev V.V., Fomin E.A. Proposed Otolith Marks for Brood Year 2015 Salmon in Russia // *NPAFC Doc*. 2015. № 1566. 5 p.

Bams R.A. Evaluation of a revised hatchery method tested pink and chum salmon fry // *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1970. V. 27. P. 1429–1452.

Irie T. Ecological studies on the migration of juvenile chum salmon, *Oncorhynchus keta*, during early ocean life // Bull. of Seikai Nat. Fish. Res. Inst. 1990. No. 68. 142 p.

Iwata M., Muto K., Akutsu U., Klyash-torin L.B. et. al., Growth, maturation and seawater adaptability of Kamchatka Kokanee, *Oncorhynchus nerka*, implanted in Nikko // Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture. 1990. No. 20. P. 41–51.

Kaeriyama M. Life history strategy and migration pattern of juvenile sockeye and chum salmon // Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 1997. V. 44. No. 1. P. 25–30.

Kaeriyama M., Ueda H. Life history strategy and migration pattern of juvenile sockeye (*Oncorhynchus nerka*) and chum salmon (*O. keta*) in Japan: a review // Bull. NPAFC. 1998. № 1. P. 163–171.

Morley R.B., Fedorenko A.Y., Bilton H.T., Lehmann S.J. The effects of time and size at re-

lease on returns at maturity of chinook salmon from Quinsam river hatchery, B.C. 1982 and 1983 releases // Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sc. 1996. N. 2105. 88 p.

Parker R.R. Estimations of ocean mortality rates for Pacific salmon (*Oncorhynchus*) // J. Fish. Res. Board Can. 1962. V. 19. N. 4. P. 561–589.

Ricker W.E. Sockeye salmon in British Columbia // Bull. Internat. N. Pacif. Fish. Comm. 1966. N. 18. P. 59–70.

Secor D.H., Dean J.M., Laban E.H. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. Columbia, 1991. 85 p.

Wedemeyer G.A., McLeay D.J. Methods for Determining the Tolerance of Fishes to Environmental Stressors // Stress and Fish. L., N-Y, Toronto. Acad. Pres., 1981. P. 247–275.

AQUACULTURE AND ARTIFICIAL REPRODUCTION

**POSSIBILITIES OF INCREASING THE OF ARTIFICIAL
REPRODUCTION OF CHUM SALMON *ONCORHYNCHUS*
KETA IN THE NAIBA RIVER BASIN (SAKHALIN ISLAND)**

© 2021 y. M.Y. Stekolshchikova, O.A. Barkovskaya, Y.A. Batyuk

*Sakhalin branch Russian Federal Research Institute of the
Fisheries and oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023*

Based on the identification of otolith tags of chum salmon of the 2009–2014 generations (a total of 1621 specimens were studied) return coefficients were calculated for salmon fish breeding plants of the Naiba River (south-eastern Sakhalin). Significant differences were found in the effectiveness of the salmon fish breeding plants of the Naiba River: the average return rates of chum salmon return of the hatchery «Zalom» was 1,59%, the hatchery «Berezhnyakovsky» — 0,84%, the hatchery «Sokolovsky» — 0,48%. It is shown that the value of the return coefficient was more closely related to the release dates of the young than to the weight of its body and the reservoir of origin of the parent individuals. It is concluded that there are reserves for the growth of the catch of factory chum salmon on Sakhalin, provided that the timing of the release of artificial juveniles is optimized.

Key words: Sakhalin, artificial reproduction, chum salmon, otolith labeling, return coefficient, release dates.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ №ФС77-45410
от 15 июня 2011 г. в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Учредитель – ФГБНУ «ВНИРО»

Подписано в печать 29.12.2021 г.
Печать офсетная. Формат бумаги 60×90 1/8
Бумага 90 г/м². Тираж 100 экз.

Редакция журнала «Вопросы рыболовства»
Тел.: 8 (499) 264-65-33, e-mail: vr@vniro.ru

Отпечатано в типографии Book Jet
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18
Сайт: <http://bookjet.ru>
Почта: info@bookjet.ru
Тел.: +7(4912) 466-151