

**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, биохимическим и генетическим мониторингом 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 рыбоводного лосося. Несмотря на то, что научные инструменты для оценки

этих параметров постепенно улучшаются, сделать какие-либо окончательные выводы еще предстоит.

Данные по вылову и выпуску молоди горбуши и кеты с рыбоводных 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 выпуску 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 подрачивания в садках в морском прибрежье 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 мороженом 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.

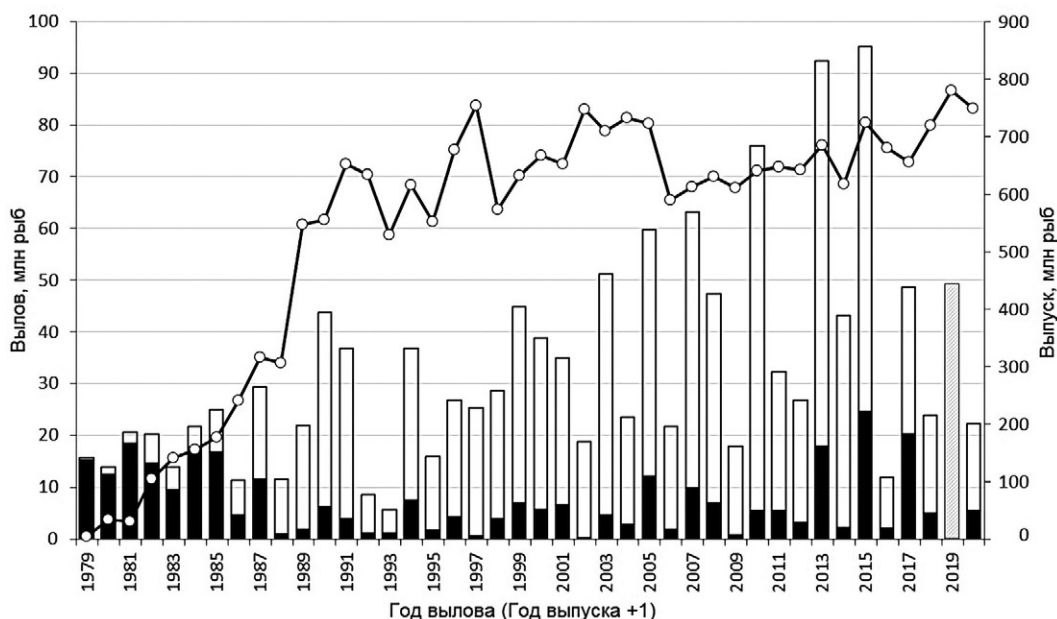
Долю заводской горбуши в вылове в зал. Принца Уильяма в настоящее время определяют в ходе реализации масштабной программы отолитного мечения и сбора меток из промысловых уло-

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 покотников 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 «Эксон 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 молоди 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.

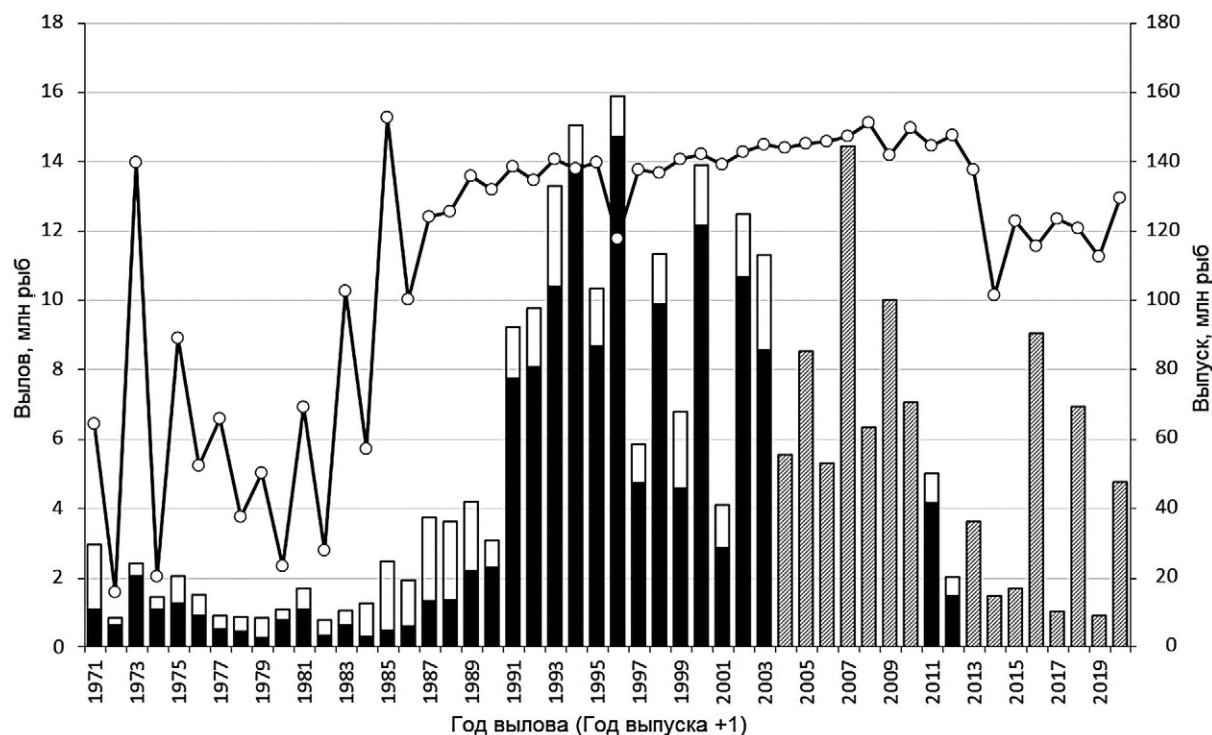
Выпуск молоди горбуши на Хоккайдо производится с марта по май. Согласно нормативам, выпускают мальков длиной 33–35 мм и массой 0,22–0,27 г. Значительную часть молоди подкармливают, и такие мальки ко времени выпуска имеют длину тела 37–42 мм и массу 0,32–0,46 г (Запорожец, Запорожец, 2011; Tojima et al., 2017). Для адаптации молоди лососей к морской среде и уменьшения пресса хищничества в первые дни после ската, практикуется выдерживание части выпускаемой молоди 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 молоди, 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-

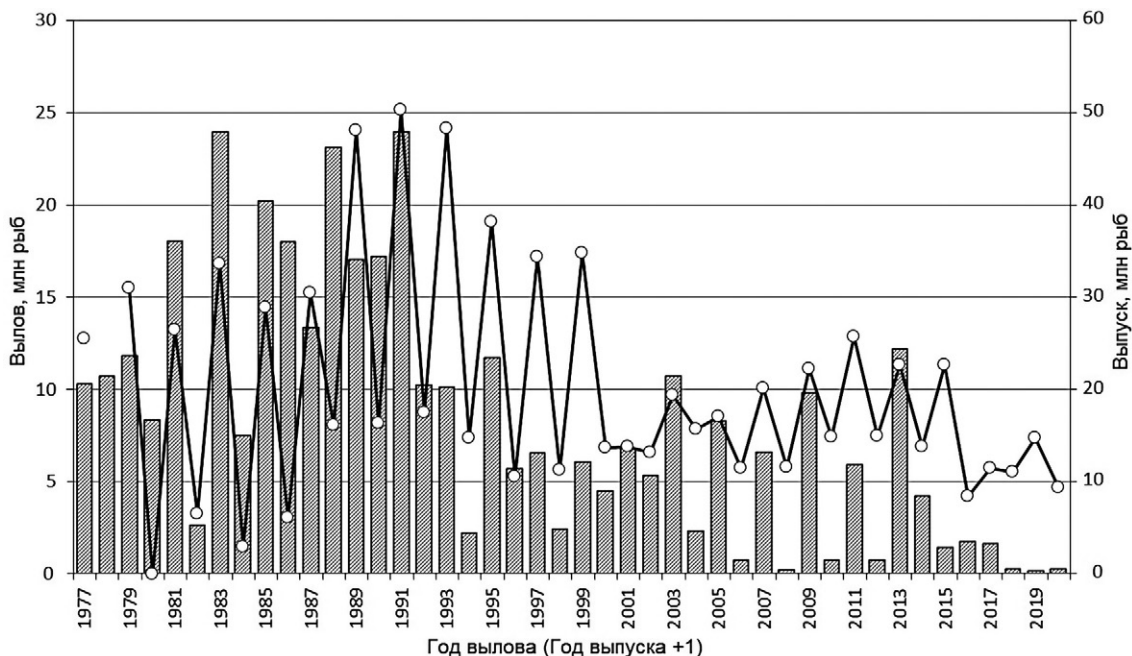


летию молоди горбуши выпускали 10,9–25,6, в среднем 20,1 млн рыб в четные и 8,4–14,9, в среднем 13,0 млн рыб в нечётные годы. Самые низкие показатели выпуска отмечены в последние годы: в 2015 и 2019 гг. (рис. 3).

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.

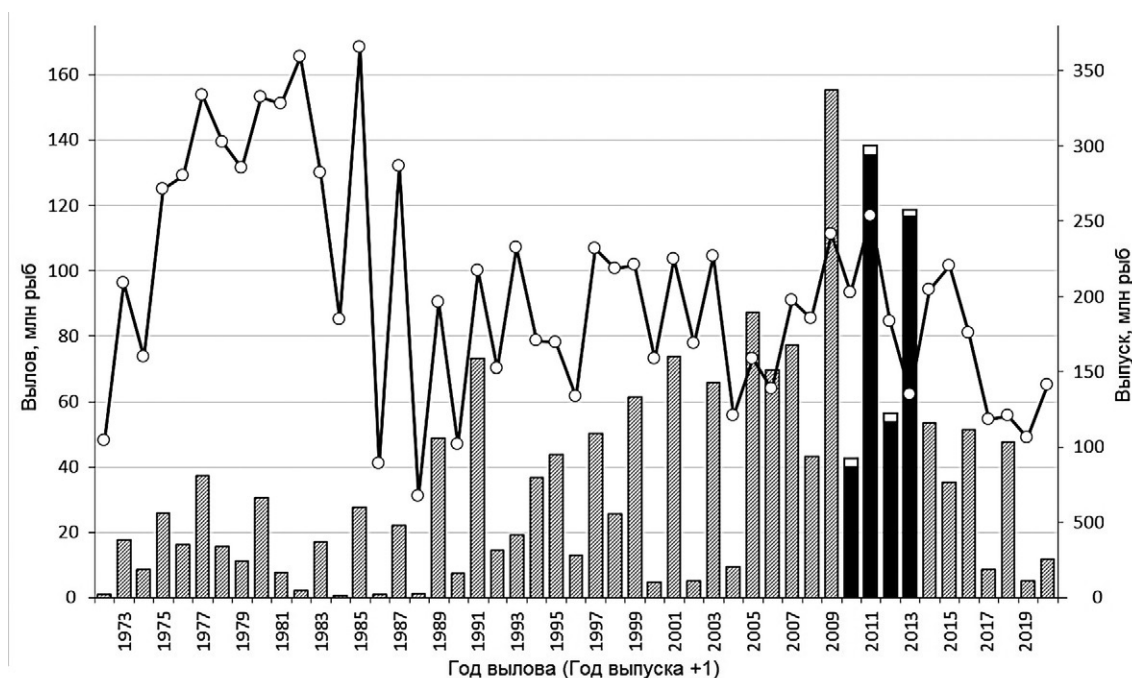
С конца 1980-х гг. вылов горбуши на восточном побережье Сахалина заметно вырос, достигнув максимума в 155,5 млн рыб для линии нечетных лет в 2009 г. Вылов горбуши линии четных лет в этот период в основном не превышал 25 млн экз., затем скачкообразно вырос до 69,7 млн рыб в 2006 г. и «закрепился» на уровне 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 поклатников 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, Игнатьев, 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*

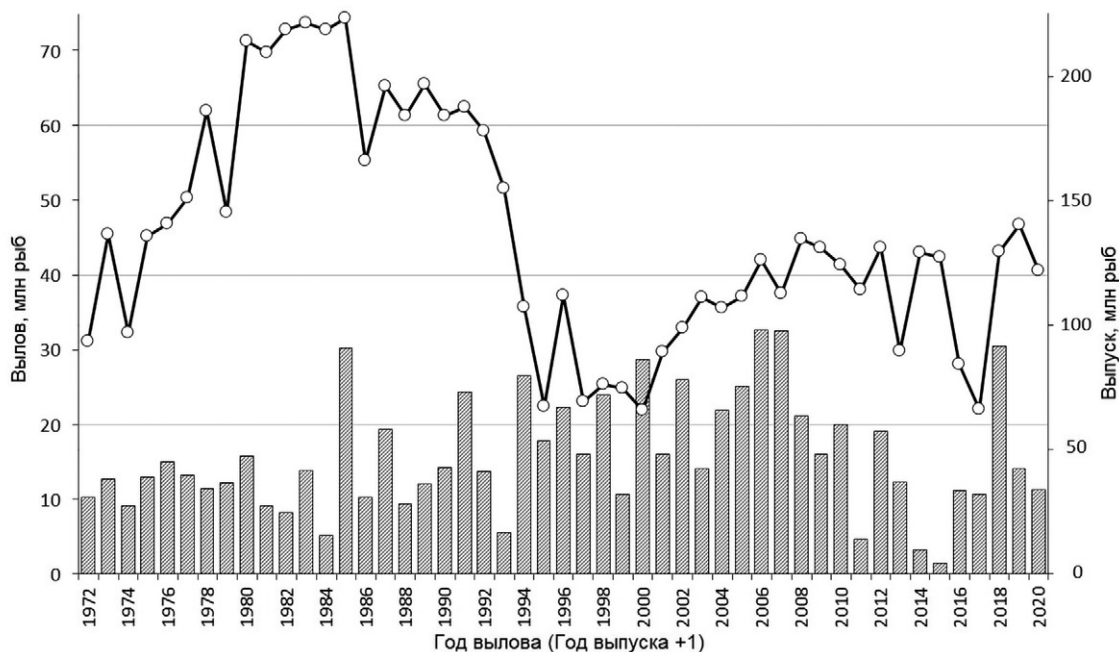
Искусственное воспроизводство горбуши на о. Итуруп также имеет давнюю историю (Смирнов и др., 2006). В 1979–1984 гг. объёмы выпуска молоди горбуши здесь превышали 200 млн рыб в год, но ожидаемого роста уловов лосося, за исключением 30,2 млн рыб в 1985 г. (в год наиболее крупного «провала» горбушовой 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).



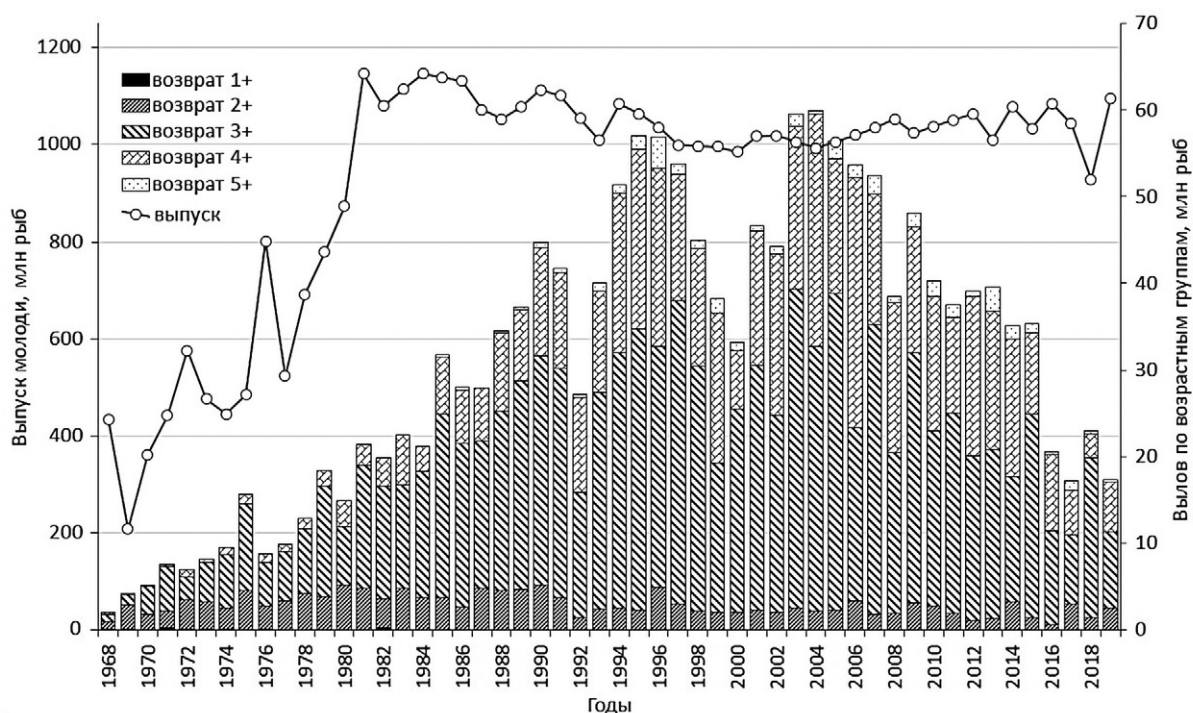
Промысел кеты в прибрежье о. Хоккайдо и северных провинций о. Хонсю с конца августа по декабрь ведут в прибрежье ставными неводами, большими по размеру, чем «стационарные сетные ловушки» для промысла горбуши (Saito, 2015). Количество выставляемых ловушек значительно возросло с ростом подходов кеты: от 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). Промышленный 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 молодежи 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 молодежи кеты в море также связывается с потеплением климата, в частности разрушением «коридора» с благоприятными условиями среды для миграции молодежи 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 (М. 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 счёт 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 рыбободной кеты, к 2007 г. это количество возросло до 454 млн шт., выпускаемых на 22 участках (Eggers, Heint, 2008), а к 2013 г. численность рыбободной молоди впервые превысила 500 млн шт., выпускаемых на 18 участках (Piston, Heint, 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). Рыбободная 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 рыбободная 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 рыбободной молоди (McConnell et al., 2018).

Средний коэффициент возврата рыбободной 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.

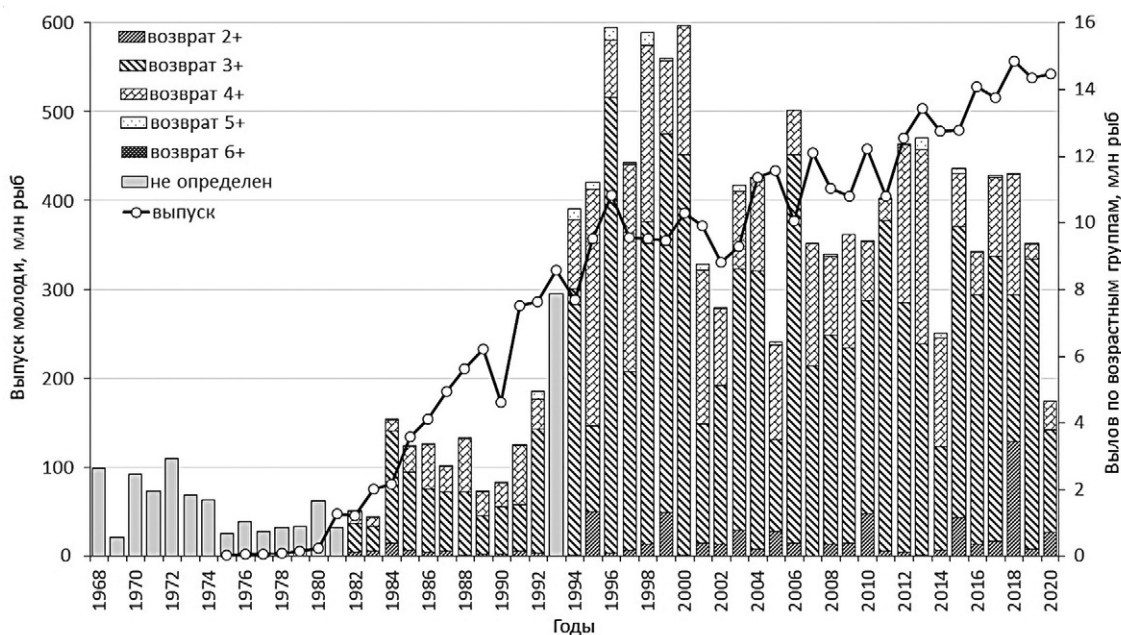
Вклад искусственного воспроизводства кеты в промысел оценивается довольно высоко. По оценкам авторов недавнего отчета (ENRI, 2001), рыбободная кета обеспечила 64% вылова этого лосося на Аляске в 2000 г. Для юго-восточной Аляски и зал. Принца Уильяма это доля составила 73% и 88%, соответственно, на о. Кадьяк — 26%. Сходно оценивается доля рыбободной кеты в вылове этого лосося на юго-востоке Аляски в первую декаду XXI в.: 73%, или около 5 млн рыб в год (Piston, Heint, 2012). По оценкам за 2007–2016 гг., кета обеспечила 78% стоимости рыбободной 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 рыбободных корпораций (1985–1993 гг.), когда доля кеты в стоимости рыбободной 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. рыболовы 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*

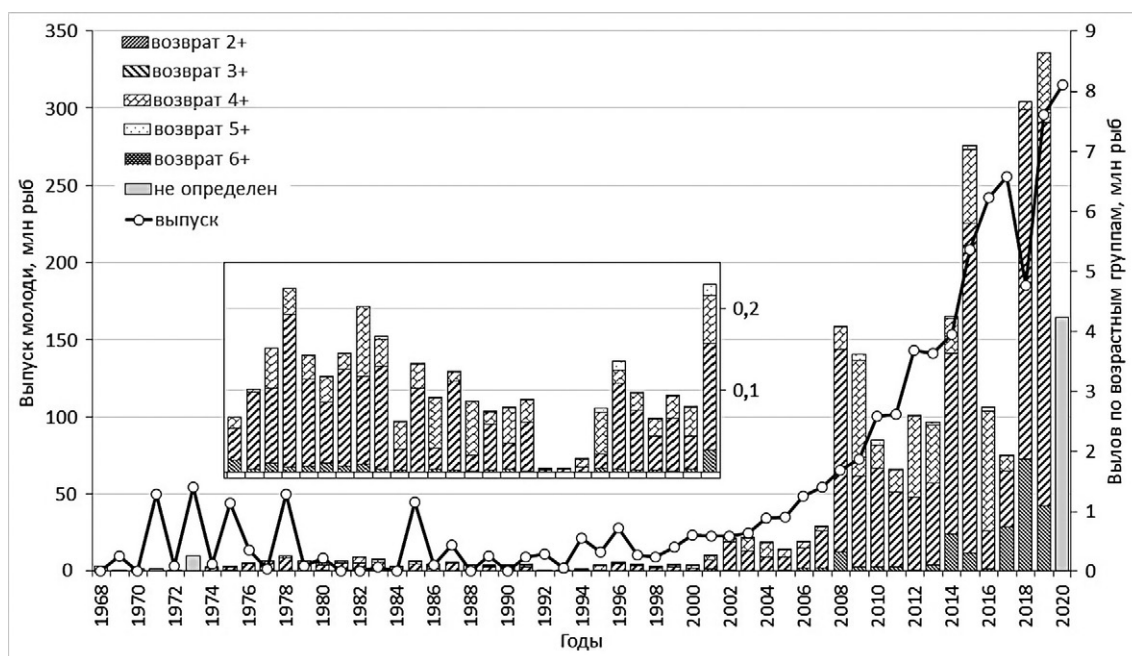
Кета, нерестящаяся в природе на о. Итуруп, принадлежит к осенней сезонной расе. Нерест кеты отмечали более чем в 50 водоемах острова, при этом численность нерестовых группировок в основном определяется условиями водотока и площадью доступных нерестилищ (Кловач и др., 2018). В зависимости от расположения 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 генераций 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, продолжаются 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.

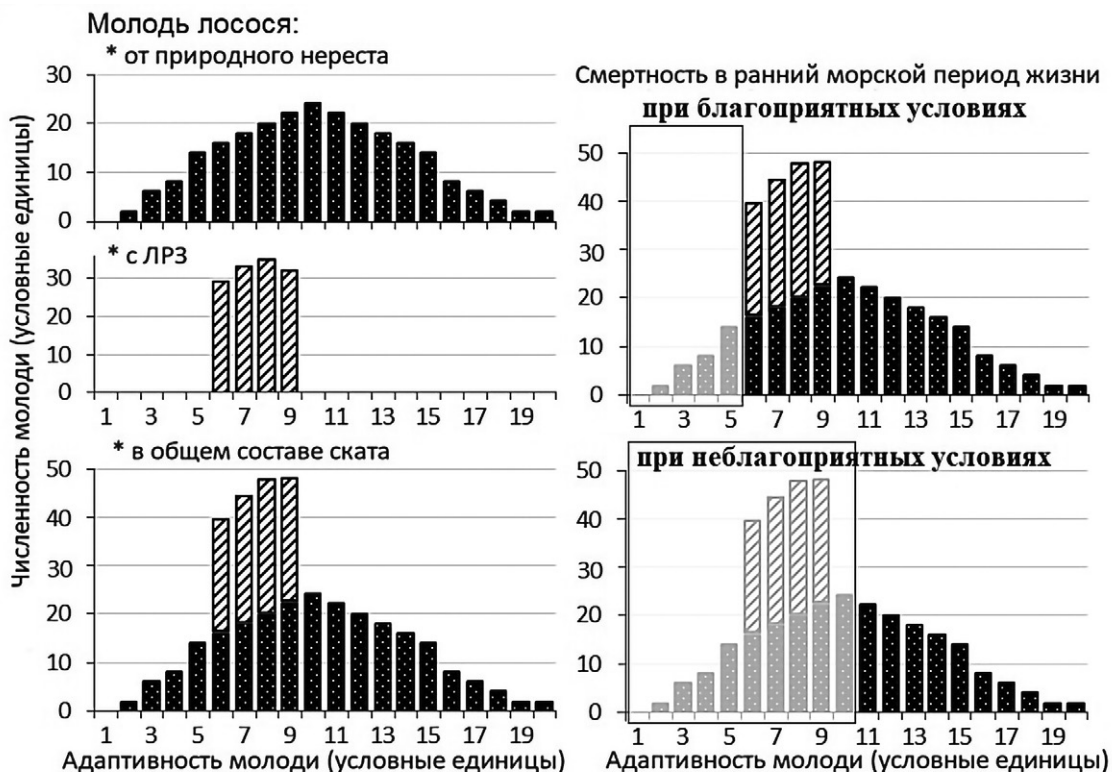
Обширные морфофизиологические и гистологические исследования заводской молоди горбуши на 22-х ЛРЗ Сахалина и Курил не выявили каких-либо признаков, по которым рыбоводная молодь может быть менее жизнеспособной, чем природная (Зеленников и др., 2019). Вероятно, разница в профилях экспрессии генов связана 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).

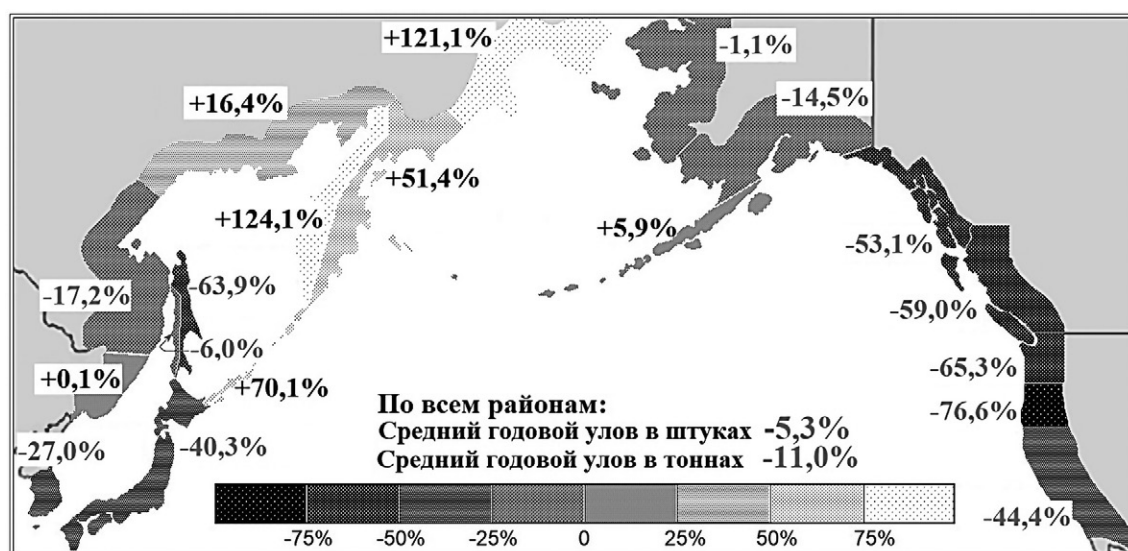


Рис. 10. Сравнение среднего годового улова лососей в 2011–2015 гг. и 2016–2020 гг. в штуках по статистическим районам, выделяемым в странах-участницах НПАФК.

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 теплой 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 теплом 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](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 gorbusha* 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., Eggers 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., Eggers 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](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 gorbuscha*): 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](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 gorbuscha*) 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