

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

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

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

Поступила в редакцию 02.09.2021 г.

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

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

ВВЕДЕНИЕ

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

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

Аномально тёплые поверхностные воды, сформировавшиеся на северо-

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

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

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

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

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

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

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

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

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

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

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

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

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

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

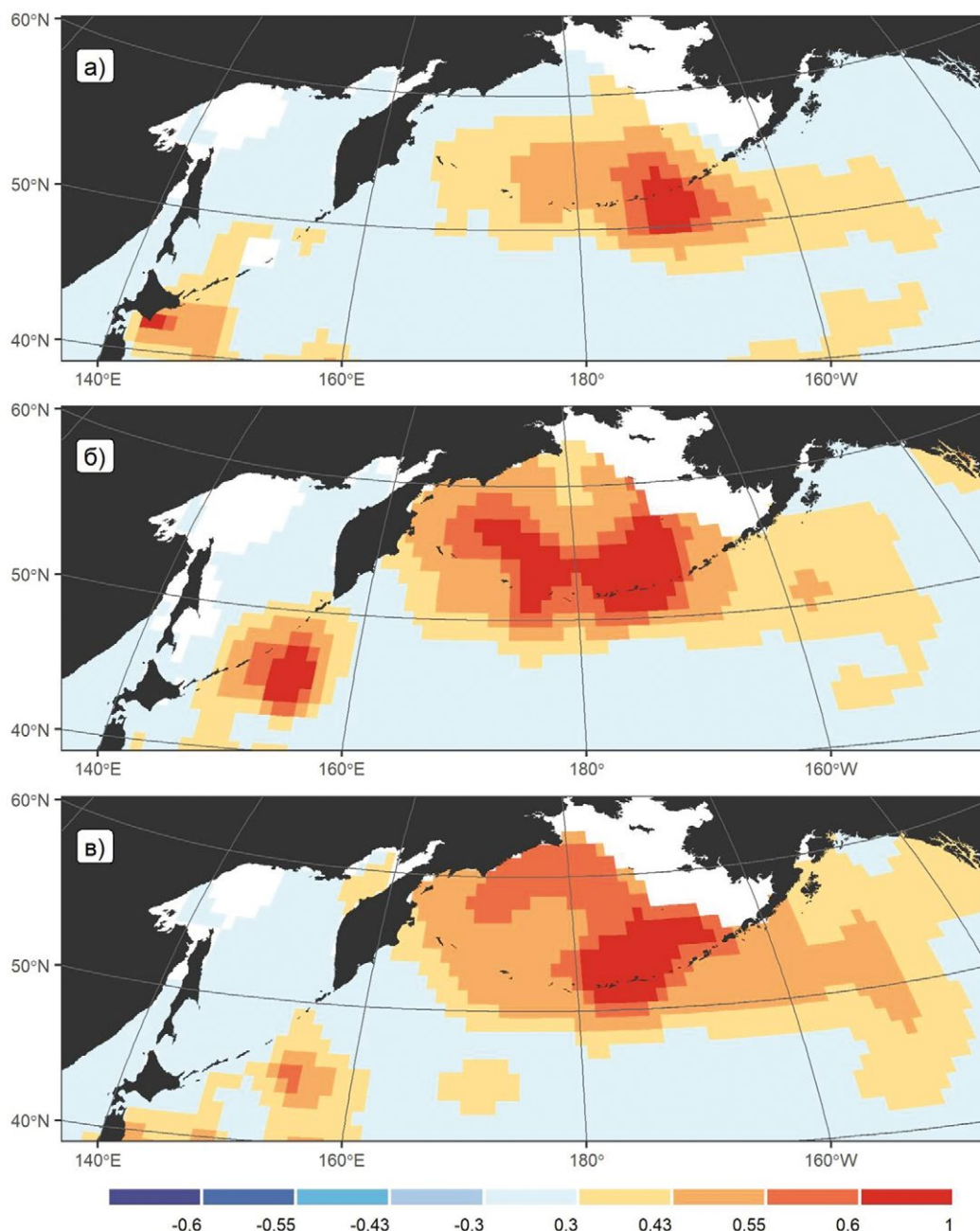


Рис. 1. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда чётных лет на восточной Камчатке и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для декабря (год, предшествующий вылову) (а), февраля (б) и апреля (год вылова) (в). Анализ для интервала 1978–2020 гг. Коэффициент корреляции рассчитан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

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

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

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

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

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

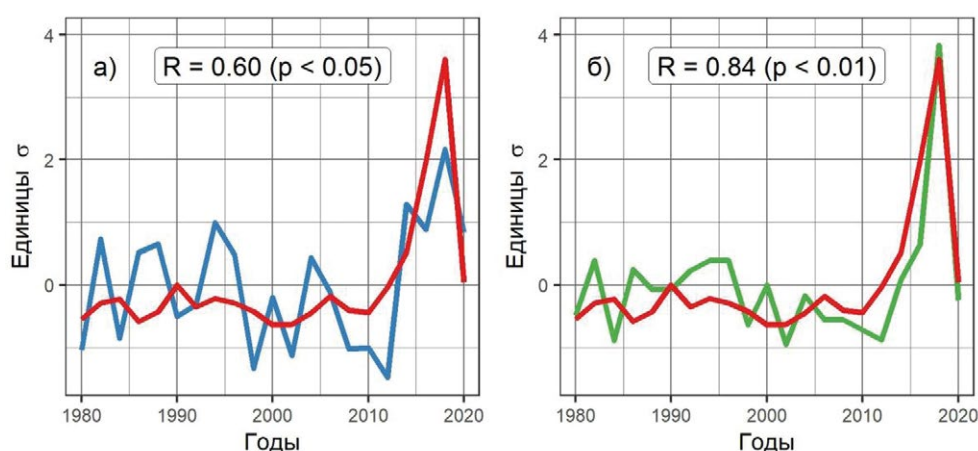


Рис. 2. Сравнение динамики вылова восточнокамчатской горбуши в ряду чётных лет (красная линия) с многолетним ходом значений широты центроида льда в Беринговом море (а – синяя линия) и положения кромки льда вдоль меридиана 175° з. д. (б – зелёная линия). Все временные ряды стандартизированы (значения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

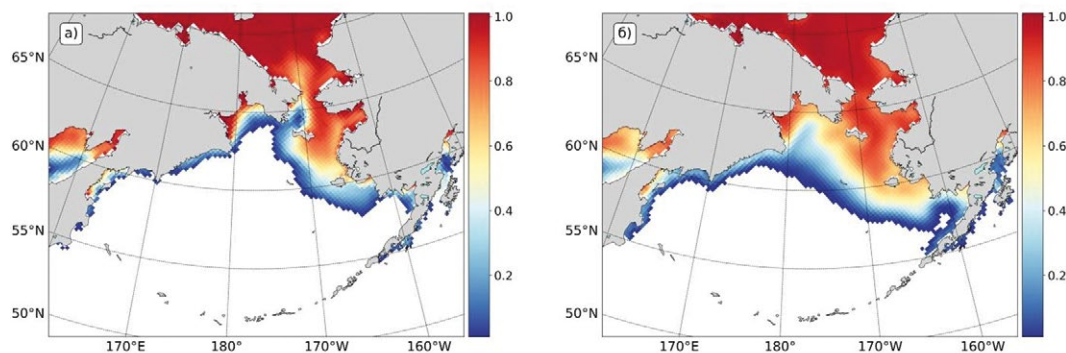


Рис. 3. Распространение и сплочённость льда в Беринговом море в феврале 2018 г. (а) и 2020 г. (б).

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

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

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

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

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

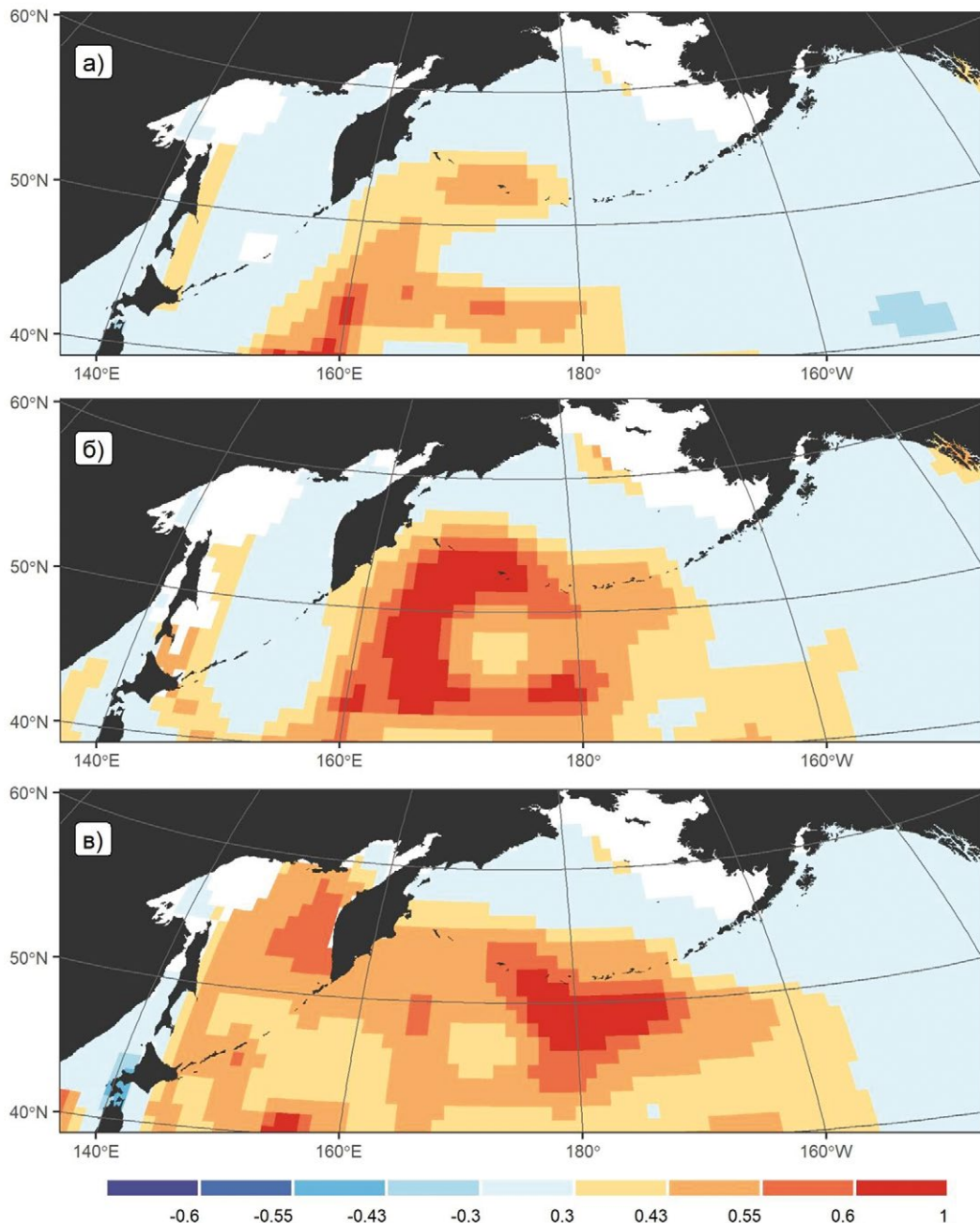


Рис. 4. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда нечётных лет на восточной Камчатке и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для декабря (год, предшествующий вылову) (а), февраля (б) и апреля (год вылова) (в). Анализ для интервала 1979–2019 гг. Коэффициент корреляции рассчитан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

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

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

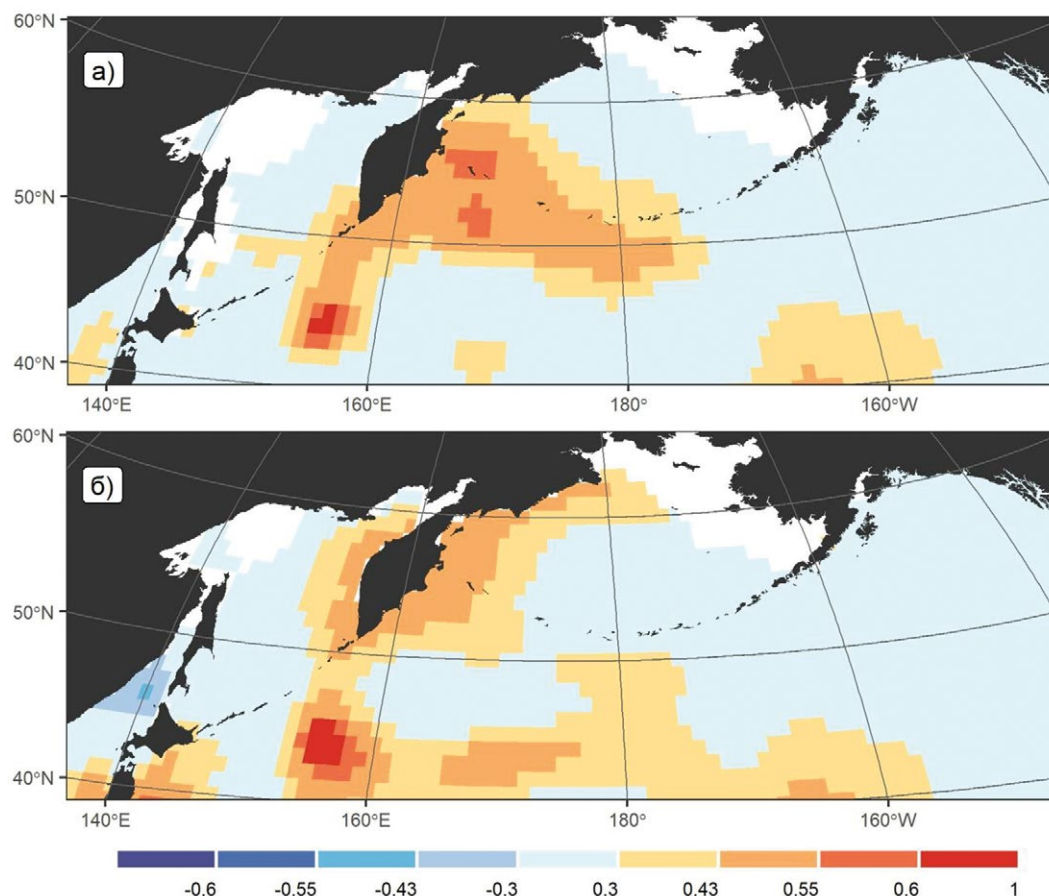


Рис. 5. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда чётных лет на западной Камчатке (доминирующие поколения) и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для февраля (а) и апреля (б). Анализ для интервала 1978–2020 гг. Коэффициент корреляции рассчитан для каждого узла сетки,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

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

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

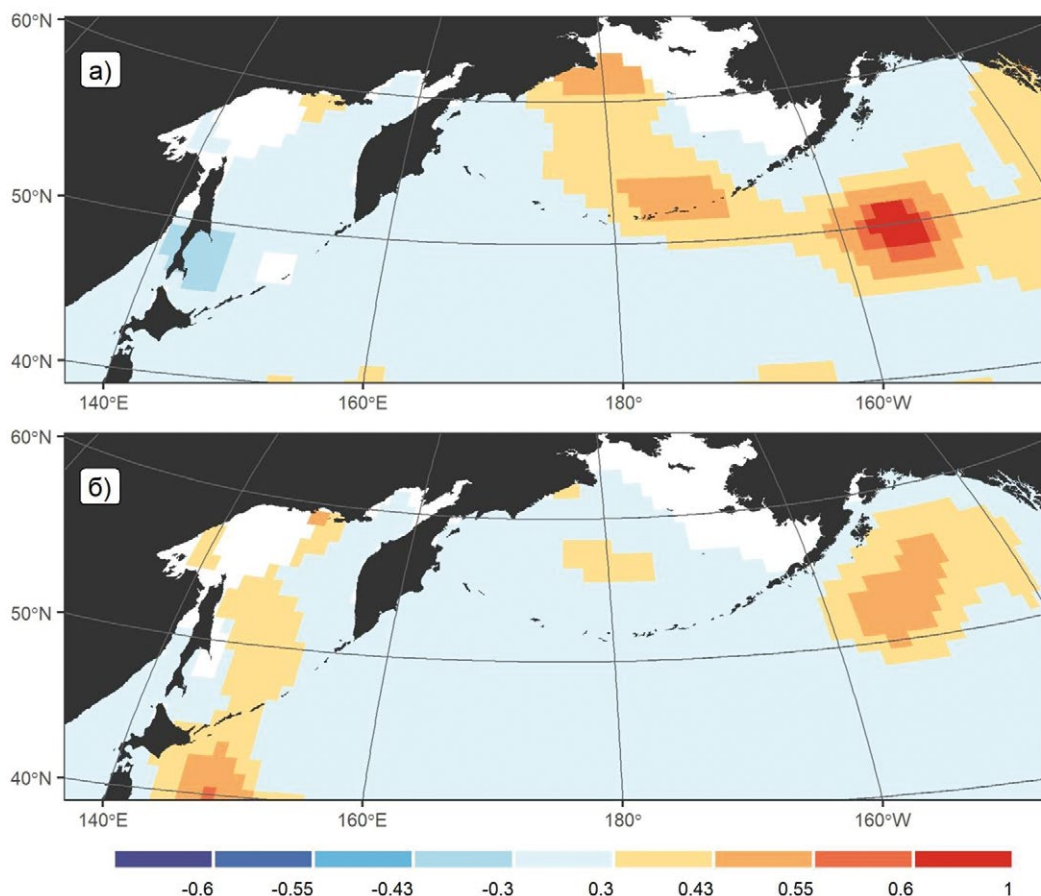


Рис. 6. Распределение коэффициентов корреляции между значениями уловов горбуши ряда нечётных лет на западной Камчатке и значениями теплозапаса слоя 0–100 м для февраля (а) и апреля (б). Анализ для интервала 1979–2019 гг. Коэффициент корреляции рассчитан для каждого узла сетки, соответствующей массиву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

горбуши — в основном, в южной части Берингова моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DYNAMICS OF ABUNDANCE

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

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

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

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

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