

УДК 597-154.3: 597.553.2

Продуктивность тихоокеанских лососей: влияние термических условий вод в период первой зимы в бассейне Северной Пацифики

А.В. Бугаев, О.Б. Тепнин

Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «КамчатНИРО», г. Петропавловск-Камчатский)
e-mail: bugaev.a.v@kamniro.ru

Океанические условия, воздействующие на молодь тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus* spp.) в течение первой зимовки в океане, могут оказывать эффект на продуктивность производителей азиатских и североамериканских популяций. Мы оценили потенциальные корреляции между ежегодными коммерческими уловами пяти видов лососей и спутниковыми данными температурных аномалий морской поверхности (аТПО) в течение зимы в Беринговом море и северной части Тихого океана (октябрь-апрель 1982–2013 гг.). Наиболее значимые и устойчивые корреляции для азиатского и североамериканского популяционных комплексов стад были получены в зоне к югу от Алеутских о-вов (40–50° с.ш. и 160° в.д. — 170° з.д.). В Беринговом море большая часть корреляций была слабой и имела отрицательный или нейтральный (близкий к нулю) характер, что и ожидалось, учитывая, что большинство молоди тихоокеанских лососей покидает Берингово море в течение зимы. Северотихоокеанские воды к югу от Алеутских о-вов, как известно, являются зоной массового нагула молоди лососей в зимний период. Поэтому значительная часть корреляций здесь имела положительный характер для массовых видов лососей (горбуши, кеты и нерки) и отрицательный для малочисленных видов (кижуч и чавыча). Эти различия могут отражать эффект плотностного взаимодействия между высокочисленными и малочисленными видами тихоокеанских лососей в течение их первой зимовки в океане.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, продуктивность, аномалии поверхностной температуры океана (аТПО), зимовальные миграции.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования по влиянию климатических факторов на продуктивность тихоокеанских лососей приобретают всё больший интерес у отечественных и зарубежных специалистов. В настоящее время опубликовано достаточно большое количество работ, в которых рассматриваются различные аспекты взаимодействия климато-океанологических условий нагула лососей с их численностью и биологическими по-

казателями [Чигиринский, 1993; Кляшторин, 2000; Кляшторин, Любушин, 2005; Кровнин и др., 2010; Veamish et al., 1999, 2004 a, 2004 b; Impacts of climate..., 2008; Kaeriyama et al., 2009; Klyashtorin, 2001; Myers et al., 2007; Ruggerone et al., 2007, 2009; Zavolokin, Khen, 2012 и др.].

Ранее в своих исследованиях мы уже обращались к данной тематике, в результате чего был проведён анализ по влиянию различных

климатических факторов на продуктивность азиатской горбуши и кеты в ряде наблюдений 1925–2010 гг. [Бугаев, Тепнин, 2011; Bugaev, Tepnin, 2012]. Полученные данные показали, что наиболее высокий уровень корреляций наблюдался при сопоставлении показателей численности (уловов) этих видов лососей с индексами глобальных температурных аномалий воздуха и поверхности воды (GLB.Ts + dSST и N.NEM1) в северном полушарии Земли. Учитывая, что эти два фактора взаимосвязаны, для дальнейших исследований в качестве основного предиктора мы выбрали производный от них критерий аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в бассейне Северной Пацифики, он напрямую характеризует изменчивость термических условий акваторий, входящих в нагульный ареал тихоокеанских лососей.

Отметим тот факт, что по завершении раннего морского периода жизни этих рыб, наиболее критичным для формирования их продукционных показателей остаётся период 1-й зимы в океане (конец осени — зима — начало весны). Поэтому мы предлагаем оценить потенциальное влияние отклонения температуры слоя вод охваченного ветровым и конвективным перемешиванием от нормы, в первую зиму океанического нагула лососей на формирование численности поколений их производителей в азиатском и североамериканском регионах.

В настоящее время общие контуры ареалов зимнего обитания тихоокеанских лососей в Северной Пацифике в основном обозначены. При этом существует достаточно большое количество концепций видовых схем пространственного распределения стад лососей Азии и Северной Америки на данном этапе их жизненного цикла [Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2011; Pacific salmon..., 1991; Myers et al., 1996]. Тем не менее исследователи практически во всех случаях ссылаются на объективный недостаток информации из центральных областей Берингова моря и северной части Тихого океана, где и происходит максимальное смешение стад лососей, имеющих различное континентальное происхождение. Как правило, межгодовая изменчивость локализации азиатских и североамериканских группировок стад лососей во время зимовальных миграций остаётся неизвестной. Причём это касается как

глубины их проникновения в восточную и западную части Северной Пацифики, так и плотности мигрирующих скоплений. Однако большинство специалистов указывают, что зимой массовые миграции всех видов тихоокеанских лососей обоих континентов происходят в зоне тихоокеанских вод, расположенной южнее Алеутской гряды и ограниченной приблизительно 40–50° с.ш.

Следует подчеркнуть, что данные последних многолетних исследований на основе учётных траловых съёмов в западной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана показывают отсутствие прямого воздействия температуры поверхности океана (ТПО) на пространственное и количественное распределение тихоокеанских лососей во время океанического нагула [Шунтов, Темных, 2011]. Причём новые знания о температурных границах обитания лососей позволили значительно расширить наши представления об их толерантности к температуре. В ранних исследованиях 1960–70-х гг. речь, как правило, шла о более узких предпочтительных температурных градиентах местообитания, зависящих от видовой специфики лососей [Бирман, 1985; Manzer et al., 1965].

Тем не менее на современном этапе ихтиологических исследований большинством специалистов признаётся, что воздействие температурного фактора на рыб в основном происходит опосредованно. Применительно к тихоокеанским лососям во время зимовальных миграций это может выражаться во влиянии изменчивости температурного режима вод на физиологическое состояние рыб, развитии кормовой базы, миграционной активности пелагических хищников и т.п. В настоящее время однозначно ответить на вопрос о механизме этого воздействия крайне затруднительно. Как минимум необходимо проведение комплексных системных исследований в зоне зимнего обитания лососей. Но в любом случае понятно, что эти факторы могут влиять на их выживаемость в данный период жизни. При этом воздействие температурных условий на конечные продукционные показатели лососей можно проследить лишь на уровне определённой реакции, поскольку известно, что природа взаимодействия организма и среды имеет многофакторный характер.

Аналогичная ситуация возникает и при формировании гидрологических условий в том или ином районе Северной Пацифики. Во всех случаях это сложная и структурированная система регионального тепло и водообмена, взаимодействия с атмосферой. В связи с этим при анализе потенциального влияния температуры верхнего слоя океана на продуктивность тихоокеанских лососей необходимо принимать во внимание гидрологические условия не только в районах высокой концентрации скоплений рыб зимой, но также и на прилегающих акваториях, оказывающих влияние на формирование общего температурного режима нагульных вод.

В нашем случае в качестве одного из воздействующих факторов выступает гидрологическая и ледовая обстановка в Беринговом море. Известно, что циркуляция берингоморских водных потоков заметно влияет на формирование температурных условий прилегающих субарктических тихоокеанских вод. В связи с этим в предлагаемой работе мы рассматриваем в качестве полигона исследований не только бассейн северной части Тихого океана, но и Берингово море, несмотря на отсутствие в последнем значительных скоплений тихоокеанских лососей в зимний период.

Целью настоящей работы является анализ потенциального влияния аномальности температурных условий поверхностного слоя воды (аТПО) во время миграций молоди тихоокеанских лососей в зимний период 1-го года океанического нагула в берингоморских и тихоокеанских водах Северной Пацифики на продуктивность их производителей в Азии и Северной Америке.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для анализа динамики продуктивности тихоокеанских лососей в Азии и Северной Америке послужили данные статистики прибрежных и речных уловов, систематизированные и представленные Северотихоокеанской комиссией по анадромным рыбам (NPAFC) [Irvine et al., 2009; NPAFC, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014]. В работе использованы данные 1983–2013 гг.

Полигоном исследований были берингоморские и тихоокеанские воды Северной Пацифики от 40° до 65° с.ш. и от 150° в.д. и до 160° з.д. Анализ временной изменчивости

температурных условий на данной акватории проводился по среднемесячным показателям аномалий (отклонения от среднеежегодных) температуры поверхности океана (аТПО) на регулярной сетке с шагом в 1° по широте и долготе в 1982–2013 гг. Периодика ряда наблюдений обусловлена сроками начала регулярного спутникового мониторинга водной поверхности Мирового океана. Данные находятся в свободном доступе на сайте Международного научного института климата и общества (International Research Institute for Climate and Society, IRI: <http://iridl.ldeo.columbia.edu/>).

Расчёт аномалий производится на основе показателей ежемесячных полей ТПО, полученных путём линейной интерполяции (оптимальная интерполяция версии 2, NOAA OI.v2 SST) ежедневного поля, с последующим осреднением суточных значений за месяц [Reynolds et al., 2002; Richard et al., 2007]. Исходные ежедневные данные состоят из материалов спутникового мониторинга (спутники серии NOAA с приборами AVHRR) температурной обстановки на акваториях Мирового океана с корректировкой по всем доступным натурным наблюдениям (судовые датчики, буйковые датчики (ARGO), суда погоды и т.п.). База данных доступна в нескольких вариантах пространственного разрешения с шагом от 0,25 до 1° по широте и долготе.

Для анализа межгодовой изменчивости температурных условий в местах зимнего нагула лососей, нами было произведено условное деление бассейна Северной Пацифики на картографические трапеции с шагом по долготе в 10° и по широте в 5° (рис. 1). Всего получено 19 трапеций, охватывающих как большую часть акватории Берингова моря, так и прилегающие воды Тихого океана. Мы произвели линейное осреднение исходных полей аномалии ТПО на центры данных трапеций для месяцев с октября по апрель включительно. Таким образом, полный период охватывал часть года со второй половины осени и до первой половины весны 1982–2013 гг., то есть весь период обитания тихоокеанских лососей в открытых водах Северной Пацифики. С гидрологической точки зрения были получены временные ряды, характеризующие изменчивость температурных условий в холодный период



Рис. 1. Карта-схема района, для которого рассчитывались среднемесячные значения аномалий температуры поверхностного слоя вод. Цифрами обозначены картографические трапеции ($5 \times 10^\circ$), являющиеся зонами расчёта параметра

года практически квазиоднородного верхнего (охваченного ветровым и конвективным перемешиванием) слоя вод для большей части исследуемой акватории.

Математическую обработку данных выполняли с помощью программного пакета Statistica 6.0 [Халафян, 2008]. Применена техника анализа корреляций Пирсона и временных рядов. Построение картографических схем распределения значений для коэффициентов корреляций в заданных координатных узлах полигона исследований выполнено с использованием программы SURFER (Golden Software).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ТПО и её аномалии в Северной Пацифике. Район наших исследований в Беринговом море и северной части Тихого океана охватывает зоны двух климатических поясов: субарктического и умеренного, и имеет наибольший размах годового хода ТПО в Мировом океане [Монин и др., 1974].

Субарктический пояс занимает большую часть Берингова и Охотского морей. Осенью и зимой поверхностный слой воды охлаждается здесь до точки замерзания, и образуются большие массы льда. Охлаждение сопровождается осолонением вод. К лету морские льды постепенно исчезают, температура тонкого верхнего слоя поднимается до $3-5^\circ\text{C}$, на юге — до 10°C . Ниже сохраняется холодная вода, фор-

мирующая промежуточный слой, образовавшийся в результате зимнего охлаждения [Хен и др., 2008; Miura et al., 2002]. Термохалинная конвекция, летний прогрев и опреснение воды ($30-33\text{‰}$) в результате таяния льдов, взаимодействие струй тёплых течений (Алеутское) с холодными субполярными водами обуславливают относительно большое содержание биогенных веществ в поверхностных водах и высокую биопродуктивность субарктического пояса.

Северный умеренный пояс охватывает обширные акватории от Азии до Северной Америки и занимает промежуточное положение между основными областями формирования холодных субарктических и тёплых субтропических и тропических вод [Бурков, 1972]. На западе пояса взаимодействуют тёплое течение Куроисио и холодное Камчатско-Курильское (Оясио). Из образующихся потоков со смешанной водой формируется Северотихоокеанское течение, которое занимает значительную часть акватории и переносит огромные массы воды и тепла с запада на восток под воздействием господствующих здесь западных ветров. Температура воды в течение года в умеренном поясе сильно колеблется. Зимой у берегов она может опускаться до 0°C , летом поднимается до $15-20^\circ\text{C}$. Зимой развивается вертикальная термическая конвекция вод при участии интенсивного ветрового перемешивания. В субарктическом и умеренном поясах активна циклоническая деятельность, во многом определяющая интенсивность теплообменных процессов между океаном и атмосферой.

При этом следует подчеркнуть, что большое влияние на формирование теплового режима района исследований оказывает развитие ледового покрова на акватории Берингова моря, которое достигает в восточной части бассейна больших площадей, чем в западной [Якунин, 1987; Плотников, 2002; Атлас..., 2004]. Учитывая значительные межгодовые колебания площади покрытия льдом берингоморских вод, можно предположить, что этот фактор оказывает значительное влияние на термический режим всего моря, в том числе и через адвекцию «холода» течениями. В прилегающих районах Тихого океана в большей степени это влияние сказывается в северо-за-

падной его части с водотоком Камчатско-Курильского течения, которое доходит до северных Японских о-вов.

Кроме того, в холодный период года, продолжающийся в субарктике с октября по март, увеличивается и значение обменных процессов между атмосферой и океаном [Баталин, 1959]. Взаиморасположение основных центров действия атмосферы и их мощность определяют преимущественное направление воздушного переноса, частоту вторжения субтропических или арктических воздушных масс на акваторию северной части Тихого океана и Берингова моря [Глебова, 2001].

Период зимнего нагула лососей на акватории Северной Пацифики проходит в условиях постепенного понижения ТПО, в результате прямой отдачи тепла в атмосферу и развития конвективного перемешивания. На акваториях, удалённых от побережья, вертикальные профили температуры в это время приобретают характер близкий к изотермическому до глубины порядка 100 м (рис. 2). По этой причине, рассматривая данные об аномалиях температу-

ры поверхности океана (спутниковые данные), мы можем с достаточной точностью аппроксимировать термические условия практически на весь слой вод, где обитают лососи в период нагула. По имеющимся данным, это — эпипелагиаль от 0 до 40 м, где концентрируется более 95% рыб [Иванов и др., 2006].

На рис. 3 и 4 приведены графики межгодового изменения средних показателей региональных аТПО за периоды: октябрь-ноябрь, декабрь-февраль и март-апрель. Разбивка осуществлялась для западной, центральной и восточной частей берингоморского и тихоокеанского полигонов исследований. В целом видно, что ход кривых для всех сезонов и регионов достаточно близок. При этом корреляционные связи для пар осень—зима и зима—весна достаточно надёжны и положительны (табл. 1).

В сравнительном аспекте можно отметить, что для берингоморской зоны западная и центральная (глубоководная) части моря имеют очень близкую межгодовую динамику аТПО в отличие от восточной, имеющей противозначность по отношению к первым двум.

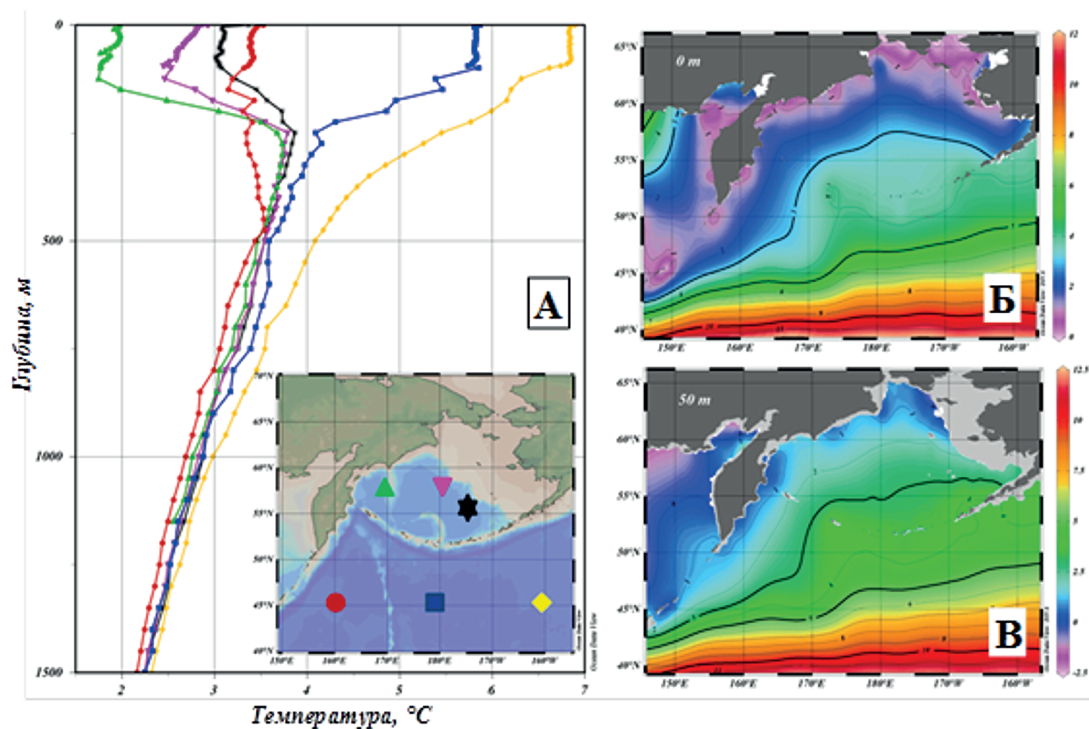


Рис. 2. Примеры среднееголетних профилей температуры верхнего 1500-метрового слоя вод (А) и полей распределения температуры поверхностного слоя вод (Б — горизонт 0 м, В — горизонт 50 м) в северной части Тихого океана в январе по данным 1955–2012 гг. [NOAA: Locarnini et al., 2013]

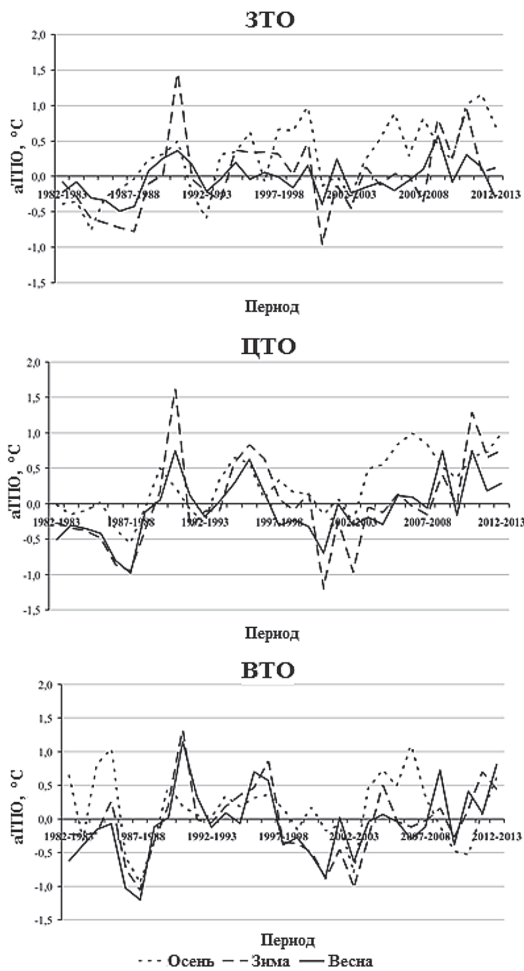


Рис. 3. Динамика показателей аномальности температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в тихоокеанских субарктических и прилегающих водах Северной Пацифики в 1982–2013 гг.: ЗТО — западная часть Тихого океана (зоны 1, 2, 6, 7); ЦТО — центральная часть Тихого океана (зоны 3, 4, 8, 9); ВТО — восточная часть Тихого океана (зоны 5, 10)

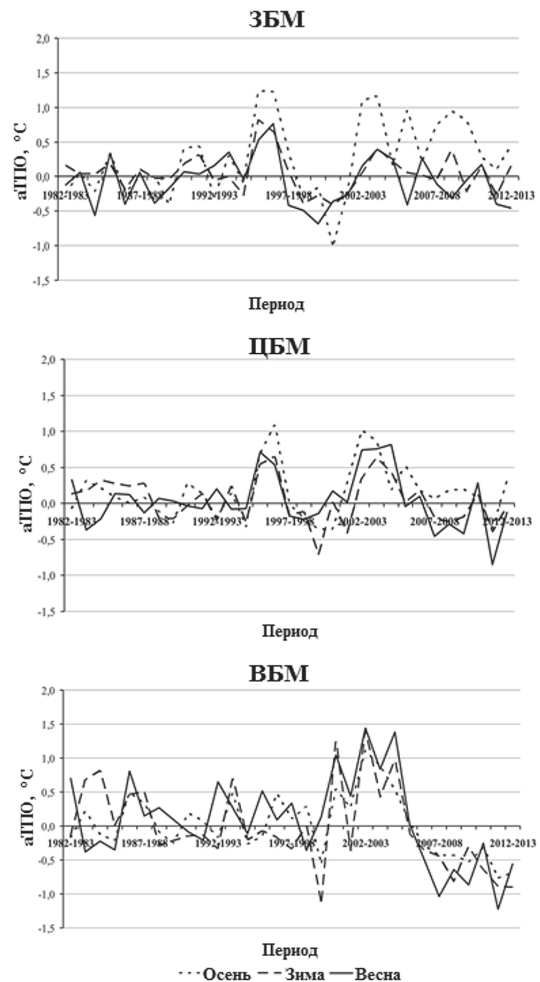


Рис. 4. Динамика показателей аномальности температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в берингоморских субарктических и прилегающих водах Северной Пацифики в 1982–2013 гг.: ЗБМ — западная часть Берингова моря (зона 15); ЦБМ — центральная часть Берингова моря (зоны 16, 17); ВБМ — восточная часть Берингова моря (зона 18)

Кроме того, можно выделить периоды малой изменчивости аномалий в 1980–90-х гг., а также значительное увеличение амплитуды колебаний значений аТПО в начале 2000-х гг. с последующим снижением в последнее десятилетие ряда наблюдений. При этом в восточной части Берингова моря наметилось значительное отклонение ТПО от нормы с отрицательным знаком. В тихоокеанской зоне разброс межгодовых изменений аТПО на региональном уровне был значительно выше в течение всего периода наблюдений. К отличительным особенностям хода аТПО во всех выделенных

здесь гидрологических районах можно отнести уверенный рост на рубеже первого и второго десятилетий 2000-х гг. Особенно это заметно на фоне предшествующего значительного понижения температуры в конце XX — начале XXI вв.

Наглядные отличия во временном ходе изменений средних показателей аТПО за холодный период года на разных широтах показывают и приведённые на рис. 5 диаграммы изменения аномалий по долготе в акватории исследований. Значительно отличаются самый северный (берингоморский — 57°50' с.ш.)

Таблица 1. Матрица коэффициентов корреляций Пирсона (r) между сезонными показателями региональной аномальности температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в Северной Пацифике (по данным 1982–2013 гг.)

Бассейн	Регион*	Сезон	Осень	Зима	Весна
Тихий океан	ЗТО	Осень	1,000		
		Зима	0,543	1,000	
		Весна	0,445	0,756	1,000
	ЦТО	Осень	1,000		
		Зима	0,616	1,000	
		Весна	0,632	0,867	1,000
	ВТО	Осень	1,000		
		Зима	0,506	1,000	
		Весна	0,353	0,849	1,000
Берингово море	ЗБМ	Осень	1,000		
		Зима	0,695	1,000	
		Весна	0,495	0,646	1,000
	ЦБМ	Осень	1,000		
		Зима	0,697	1,000	
		Весна	0,542	0,659	1,000
ВБМ	Осень	1,000			
	Зима	0,807	1,000		
		Весна	0,741	0,621	1,000

Примечание. Практически 100% полученных коэффициентов корреляций являются достоверными ($p < 0,05 - 0,001$). * — условные обозначения, как на рисунках 3 и 4.

и южный (тихоокеанский — $42^{\circ}50'$ с.ш.) широтные пояса. Это вполне объяснимо их удалённостью и относительной изолированностью Берингова моря.

Интересно отметить, что, за исключением самого южного участка, на всей другой акватории самым тёплым периодом был 1996–1998 гг. Причём это наблюдалось для всего ряда наблюдений и на всём протяжении долгого распределения. Наиболее «холодными» в северной части Тихого океана могут быть признаны зимы периодов 1983–1989 и 1999–2005 гг. В Беринговом море гидрологическая ситуация намного сложнее, так как здесь сказывается значительная неравномерность термальных характеристик вод западной и восточной частей бассейна. Например, в последние 7 лет восточная часть моря находилась в зоне глубоких отрицательных отклонений от нормы, тогда как на западе это проявляется менее отчётливо и не каждый год. Обратная ситуация наблюдалась в период с 1998 по 2005 гг.

ДИНАМИКА ПРОМЫСЛОВЫХ УЛОВОВ ЛОСОСЕЙ АЗИИ И СЕВЕРНОЙ АМЕРИКИ

В качестве предиктора численности мы использовали данные официальной статистики промысловых уловов тихоокеанских лососей в Азии (Россия и Япония) и Северной Америке (США и Канада). В настоящей работе мы рассматриваем динамику уловов только для двух континентальных группировок стад лососей без подразделения на страны производства (рис. 6), поскольку взаимосвязь температуры поверхности океана и продуктивности тихоокеанских лососей в большей степени может просматриваться на уровне производственных показателей крупнейших популяционных конгломератов лососей — азиатского и североамериканского.

В работе рассмотрена динамика запасов лососей за период с 1983 по 2013 гг. В этот период произошёл исторический подъём численности тихоокеанских лососей, схожий по уровню с 1920–30-ми гг. [Irvine et al., 2009].

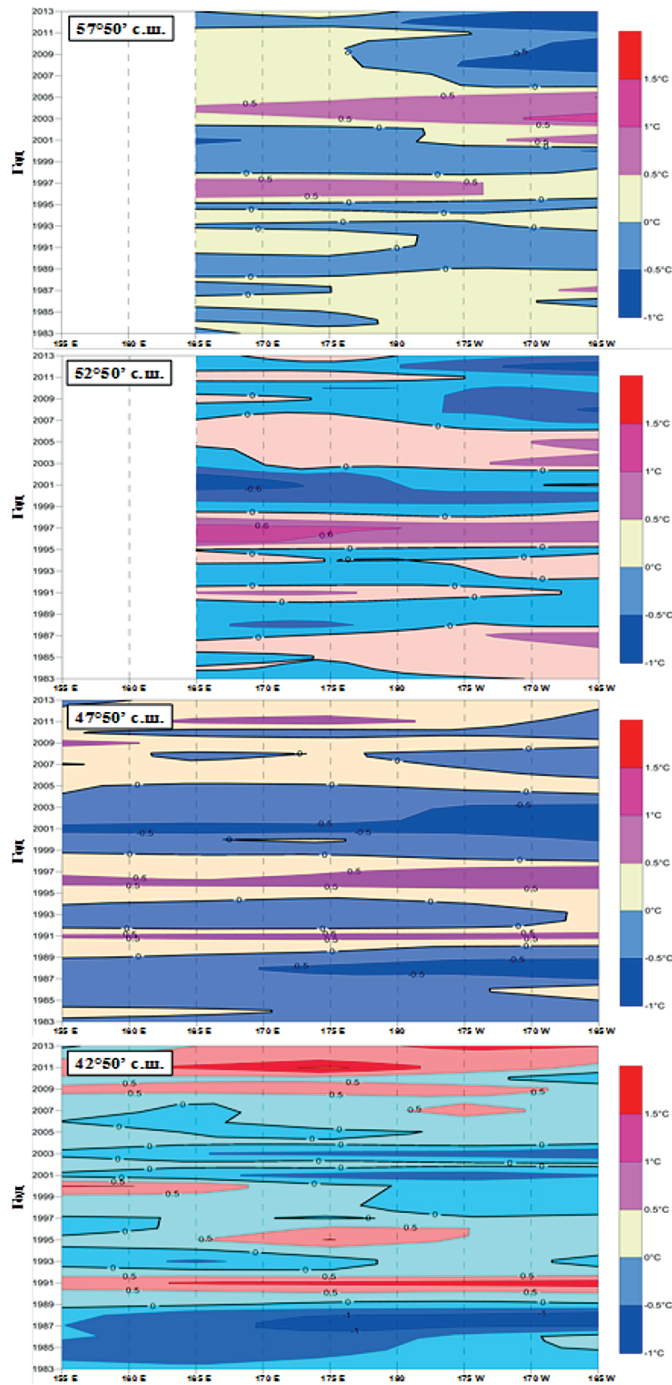


Рис. 5. Диаграммы долготного изменения аТПО на разных широтах расчётных станций параметра в берингоморских и тихоокеанских водах Северной Пацифики по данным 1983–2013 гг. [NOAA: Locarnini et al., 2013]

Отметим, что в основном продукционные показатели обоих периодов были сформированы тремя массовыми видами лососей — горбушей, кетой и неркой. Причём на данном вре-

менном интервале для перечисленных видов лососей в азиатской части ареала наблюдались положительные тренды увеличения запасов, а у североамериканских стад подобные тенденции отмечены только у горбуши и кеты, а численность нерки, напротив, заметно сократилась. У кижуча и чавычи уровень флюктуаций запасов значительно ниже, поэтому размах variability фактических уловов не столь показателен. Тем не менее тенденции на уменьшение запасов этих видов также были отмечены в Северной Америке. В целом промышленное изъятие тихоокеанских лососей (млн экз.) по среднемноголетним данным 1983–2013 гг. выглядело следующим образом:

— Азия: горбуша — 137,02 (42,62–332,11); кета — 68,37 (45,21–93,22); нерка — 7,81 (3,38–19,68); кижуч — 1,26 (0,31–3,34); чавыча — 0,18 (0,03–0,46);

— Северная Америка: горбуша — 112,13 (61,93–244,35); кета — 19,31 (10,62–25,27); нерка — 47,96 (25,19–85,10); кижуч — 7,48 (3,61–14,42); чавыча — 1,94 (0,83–4,00).

Исходя из представленных значений уловов и размаха их межгодовой изменчивости, представляется вероятным, что связь по принципу «аТПО — численность» более показательно выглядит для массовых видов лососей, у которых наблюдается большая флюктуация уровней запасов. Тем не менее в настоящей работе мы проводим анализ для всех лососей, поскольку ареалы зимнего обитания малочисленных и высокочисленных видов географически близки [Шунтов, Темных, 2011; Pacific salmon..., 1991].

Как видно из графиков, значимые положительные корреляции континентальных уловов были зафиксированы только у кеты ($r = 0,416$) и чавычи ($r = 0,534$). Во всех

остальных случаях значения коэффициентов корреляций варьировали в пределах приблизительно $r = \pm 0,3$ и не достигали порога статистической значимости доверительной вероятности. Учитывая в целом относительно низкий уровень значений аппроксимации рядов наблюдений, можно констатировать, что показатели взаимосвязи аТПО с численностью лососей будут достаточно адекватны для азиатских и североамериканских стад, поскольку многолетняя изменчивость их уловов слабо коррелирует друг с другом.

Взаимосвязь показателей аТПО с численностью лососей Азии и Северной Америки. Учитывая особенности пространственного распределения нагульных скоплений рыб в акватории Северной Пацифики и динамики формирования поколений возвратов производителей, мы предлагаем рассмотреть выявленные закономерности показатели аномалий температуры поверхности океана (аТПО) и их взаимосвязи с численностью уловов тихоокеанских лососей в Азии и Северной Америке отдельно для каждого вида.

Горбуша. Данный вид тихоокеанских лососей нагуливается в океане всего 1 год, после чего рыбы возвращаются в реки на нерест [Heard, 1991]. В связи с этим сопоставление рядов наблюдений осуществлялось по следующему принципу: термические условия вод периодов осень—зима—весна, например 1982—1983 гг., сопоставляли с данными статистики вылова горбуши в 1983 г. Таким образом, лаг ряда наблюдений составлял 1 календарный год. Учитывая краткосрочность морского нагула горбуши, можно предположить, что гидрологические условия данного периода зимовальных миграций предположительно оказывают максимальное воздействие на конкретное формиру-

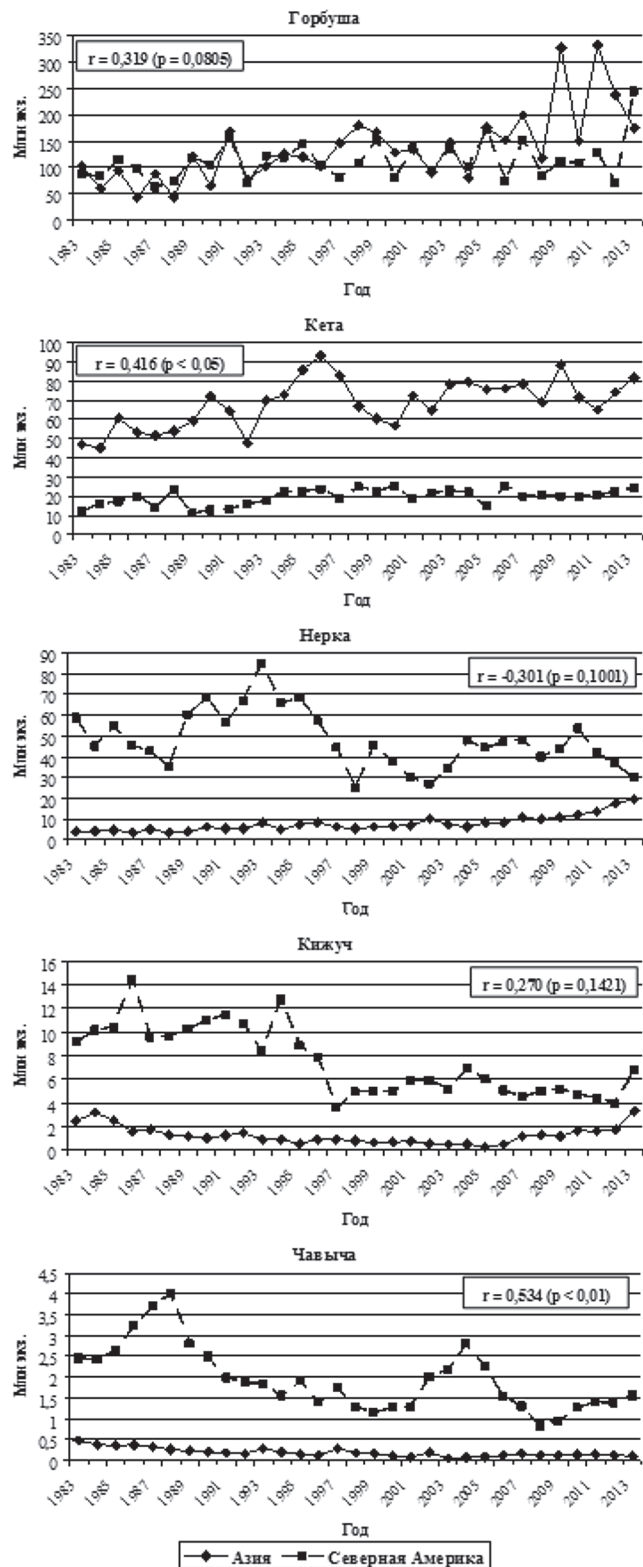


Рис. 6. Динамика промысловых уловов тихоокеанских лососей Азии и Северной Америки в 1983–2013 гг.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между сезонными показателями аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в Северной Пацифике с численностью уловов горбуши Азии и Северной Америки (по данным 1983–2013 гг.)

Зона	Азия						Северная Америка					
	Осень		Зима		Весна		Осень		Зима		Весна	
	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ
1	0,529	<0,01	0,508	<0,01	0,384	<0,05	0,162	0,3843	0,184	0,3212	0,028	0,8796
2	0,575	<0,001	0,562	<0,001	0,520	<0,01	0,238	0,1966	0,263	0,1526	0,226	0,2206
3	0,594	<0,001	0,576	<0,001	0,561	<0,001	0,385	<0,05	0,291	0,1126	0,227	0,2188
4	0,427	<0,05	0,456	<0,01	0,550	<0,01	0,406	<0,05	0,353	0,0512	0,330	0,0694
5	0,048	0,7980	0,377	<0,05	0,491	<0,01	0,306	0,0937	0,315	0,0847	0,355	<0,05
6	0,480	<0,01	0,440	<0,05	0,145	0,4359	-0,002	0,9919	0,090	0,6309	-0,142	0,4445
7	0,394	<0,05	0,566	<0,001	0,257	0,1621	0,059	0,7528	0,166	0,3727	0,048	0,7982
8	0,405	<0,05	0,525	<0,01	0,480	<0,01	0,226	0,2205	0,192	0,3015	0,169	0,3629
9	0,138	0,4599	0,394	<0,05	0,462	<0,01	0,052	0,7793	0,152	0,4129	0,219	0,2371
10	-0,263	0,1533	0,140	0,4511	0,251	0,1724	0,045	0,8116	0,115	0,5365	0,253	0,1702
11	0,188	0,3107	0,287	0,1168	0,134	0,4710	-0,006	0,9745	0,131	0,9443	0,002	0,9929
12	0,094	0,6147	0,245	0,1843	0,142	0,4459	0,048	0,7986	0,146	0,4323	0,197	0,2871
13	-0,389	<0,05	-0,201	0,2776	-0,185	0,3201	-0,162	0,3841	-0,005	0,9781	0,036	0,8481
14	-0,522	<0,01	-0,281	0,1254	-0,286	0,1194	-0,221	0,2331	0,028	0,8824	0,091	0,6559
15	0,209	0,2587	0,030	0,8717	-0,138	0,4570	-0,065	0,7263	-0,037	0,8427	-0,044	0,8141
16	0,123	0,5091	0,027	0,8845	0,050	0,7887	0,012	0,9506	0,079	0,6735	0,172	0,3561
17	-0,240	0,1942	-0,337	0,0634	-0,100	0,5923	-0,007	0,9681	-0,030	0,8709	0,124	0,5075
18	-0,303	0,0979	-0,392	<0,05	-0,297	0,1049	-0,052	0,7809	0,027	0,8836	0,075	0,6865
19	0,046	0,8052	-0,355	<0,05	-0,138	0,4587	0,120	0,5218	-0,026	0,8891	-0,017	0,9293

Примечание. Схема распределения зон (картографических трапеций) представлена на рисунке 1.

емое поколение возврата производителей этого вида. Полученные результаты корреляционного анализа представлены в таблице 2 и на рисунке 7.

Из полученных данных видно, что численность азиатской горбуши имеет относительно высокую положительную взаимосвязь с аТПО в субарктической и умеренной зоне Тихого океана ($r = 0,4-0,6$), ограниченной полигоном в пределах $40-50^\circ$ с.ш. и 150° в.д. — 170° з.д. Это отмечается для всех сезонов. Причём во всех случаях сохраняется устойчивый характер взаимосвязей.

У североамериканской горбуши взаимосвязь продуктивности с аТПО имеет достаточно сходную картину распределения значений корреляций, но со смещением акцента влияния в сторону восточной части тихоокеанских вод Северной Пацифики. При этом уровень значимости корреляций в целом несколько ниже,

чем для азиатских стад. Исключением является только зимний период, когда взаимосвязь аТПО и продуктивности горбуши приобретает устойчивый положительный характер практически по всей исследуемой акватории Тихого океана.

В этом случае необходимо принимать во внимание тот факт, что значительная часть североамериканской горбуши во время зимовальных миграций (возраст от 0,0 до 0,1) держится в водах залива Аляска, т.е. восточнее 160° з.д. [Takagi et al., 1981]. Наиболее вероятно, что температурные условия в центральном и западном районах имеют определённое сходство с таковыми в восточной части полигона исследований. В результате просматривается общая взаимосвязь аТПО с продуктивностью североамериканской горбуши по всему тихоокеанскому поясу субарктических и прилегающих умеренных вод в пределах $40-50^\circ$ с.ш.

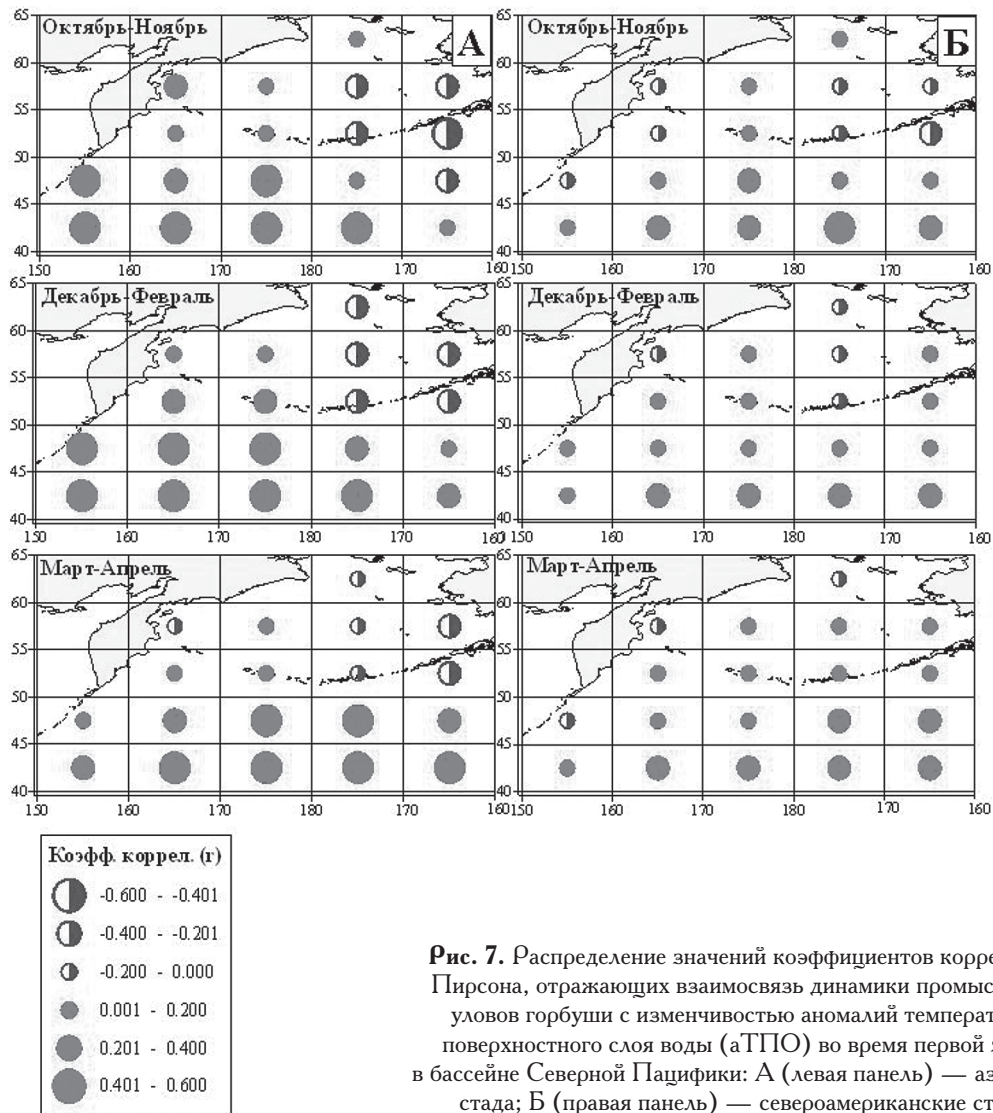


Рис. 7. Распределение значений коэффициентов корреляции Пирсона, отражающих взаимосвязь динамики промысловых уловов горбуши с изменчивостью аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) во время первой зимы в бассейне Северной Пацифики: А (левая панель) — азиатские стада; Б (правая панель) — североамериканские стада

В берингоморской части полигона исследований просматриваются по большей части отрицательные или слабо выраженные положительные значения корреляций, близкие к нейтральным (к нулевым значениям). Это может свидетельствовать о неясном влиянии водообменных процессов между бассейнами Берингова моря и северной части Тихого океана на продуктивность азиатской и североамериканской горбуши во время зимнего нагула. При этом наибольшее количество отрицательных коэффициентов корреляций было получено в восточной части Берингова моря и прилегающей акватории Алеутской гряды, а положительные, наоборот, в западной. Вероятно, это связано с противофазностью динамики аТПО в западной

и восточной частях берингоморского бассейна.

Принимая во внимание географию районов зимнего обитания лососей Азии и Северной Америки, можно констатировать, что термические условия вод в пределах тихоокеанского широтного пояса, расположенного южнее Алеутских и Командорских о-вов приблизительно на $5-10^\circ$, весьма заметно и устойчиво положительно коррелируют с продуктивностью горбуши обоих континентов. Учитывая высокий уровень флюктуаций численности горбуши как в межгодовом, так и многолетнем плане, приходим к выводу, что подобная взаимосвязь не является случайной.

Кета. Данный вид тихоокеанских лососей в подавляющем большинстве (70–90%) име-

ет возраст морского и океанического нагула 3–4 года [Макоедов и др., 2009; Salo, 1991]. В связи с этим, чтобы определить степень влияния термических условий вод в районах зимовки в 1-й год нагула на продуктивность кеты, мы использовали технику скользящего среднего с шагом 2 и смещением на 3 календарных года. Таким образом, осенне-весенние гидрологические наблюдения периода 1982–1983 гг. связывали со скользящим средним статистики вылова кеты в 1985–1986 гг. и т.д. Это позволило усреднить показатели численности поколений производителей в возрасте 0.3 и 0.4 для сопоставления с аТПО в зимовальный период их первого совместного нагула. Данный подход не даёт прямой оценки взаимодействия обоих параметров, но позволяет объективно проследить характер их динамики на многолетнем ряду наблюдений. Полученные результаты корреляционного анализа представлены в таблице 3 и на рисунке 8.

В данном случае, по аналогии с горбушей, наблюдается достаточно сходная картина потенциального влияния термических условий вод в бассейне Северной Пацифики на продуктивность кеты Азии и Северной Америки. Но при этом у азиатской кеты наиболее значимые положительные коэффициенты корреляций ($r = 0,2–0,4$) наблюдаются в широтном тихоокеанском поясе в пределах $40–45^\circ$ с.ш. и до 170° з.д. У североамериканской кеты максимальные показатели взаимосвязи с аТПО выражены значительно сильнее ($r = 0,4–0,6$). Причём акватория потенциального влияния заметно шире — $40–50^\circ$ с.ш. и до 160° в.д.

В принципе, в настоящее время хорошо известно, что стада кеты азиатского и североамериканского происхождения имеют высокий уровень глубины проникновения в восточную и западную части Северной Пацифики соответственно [Бугаев и др., 2012, 2014; Patton et al., 1998; Bugaev et al., 2009; Urawa et al.,

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между сезонными показателями аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в Северной Пацифике с численностью уловов кеты Азии и Северной Америки (по данным 1983–2013 гг.)

Зона	Азия						Северная Америка					
	Осень		Зима		Весна		Осень		Зима		Весна	
	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ
1	0,291	0,1262	0,344	0,0679	0,383	<0,05	0,220	0,2521	0,519	<0,01	0,355	0,0591
2	0,311	0,1006	0,160	0,4065	0,245	0,1993	0,388	<0,05	0,566	<0,01	0,494	<0,01
3	0,496	<0,05	0,220	0,2521	0,280	0,2802	0,413	<0,05	0,555	<0,01	0,545	<0,01
4	0,293	0,1228	0,193	0,3158	0,311	0,1007	0,368	<0,05	0,485	<0,01	0,521	<0,01
5	-0,035	0,8561	0,030	0,8778	0,156	0,4180	0,164	0,3965	0,348	0,0646	0,461	<0,05
6	0,125	0,5180	-0,131	0,4988	-0,262	0,1689	0,376	<0,05	0,317	0,0940	0,110	0,5712
7	-0,019	0,9205	-0,024	0,9024	-0,081	0,6777	0,016	0,9341	0,336	0,0751	0,284	0,1349
8	-0,184	0,3387	-0,099	0,6102	-0,091	0,6381	0,303	0,1101	0,377	<0,05	0,387	<0,05
9	-0,195	0,3110	-0,136	0,4804	0,061	0,7518	0,317	0,0933	0,419	<0,05	0,532	<0,01
10	-0,290	0,1270	-0,157	0,4170	-0,014	0,9436	0,155	0,4211	0,324	0,0867	0,473	<0,01
11	-0,202	0,2923	-0,334	0,0769	-0,107	0,5820	0,179	0,3516	0,221	0,2488	0,353	0,0601
12	-0,252	0,1876	-0,233	0,2228	-0,026	0,8926	0,196	0,3072	0,135	0,4862	0,269	0,1585
13	-0,325	0,0856	-0,217	0,2577	-0,051	0,7941	0,081	0,6776	-0,055	0,7767	0,072	0,7106
14	-0,342	0,0695	-0,115	0,5512	-0,082	0,6730	-0,144	0,4544	-0,045	0,8166	0,024	0,9020
15	0,053	0,7829	-0,220	0,2510	0,085	0,6626	0,362	0,0534	0,241	0,2076	0,272	0,1531
16	0,014	0,9424	-0,154	0,4256	0,161	0,4026	0,244	0,2024	0,099	0,6099	0,340	0,0712
17	-0,094	0,6294	-0,135	0,4856	0,059	0,7607	0,113	0,5598	-0,074	0,7037	0,064	0,7433
18	0,123	0,5259	-0,028	0,8859	0,081	0,6769	-0,140	0,4702	-0,240	0,2103	-0,115	0,5512
19	0,158	0,4144	-0,211	0,2722	-0,101	0,6015	0,303	0,1105	-0,010	0,9572	-0,083	0,6687

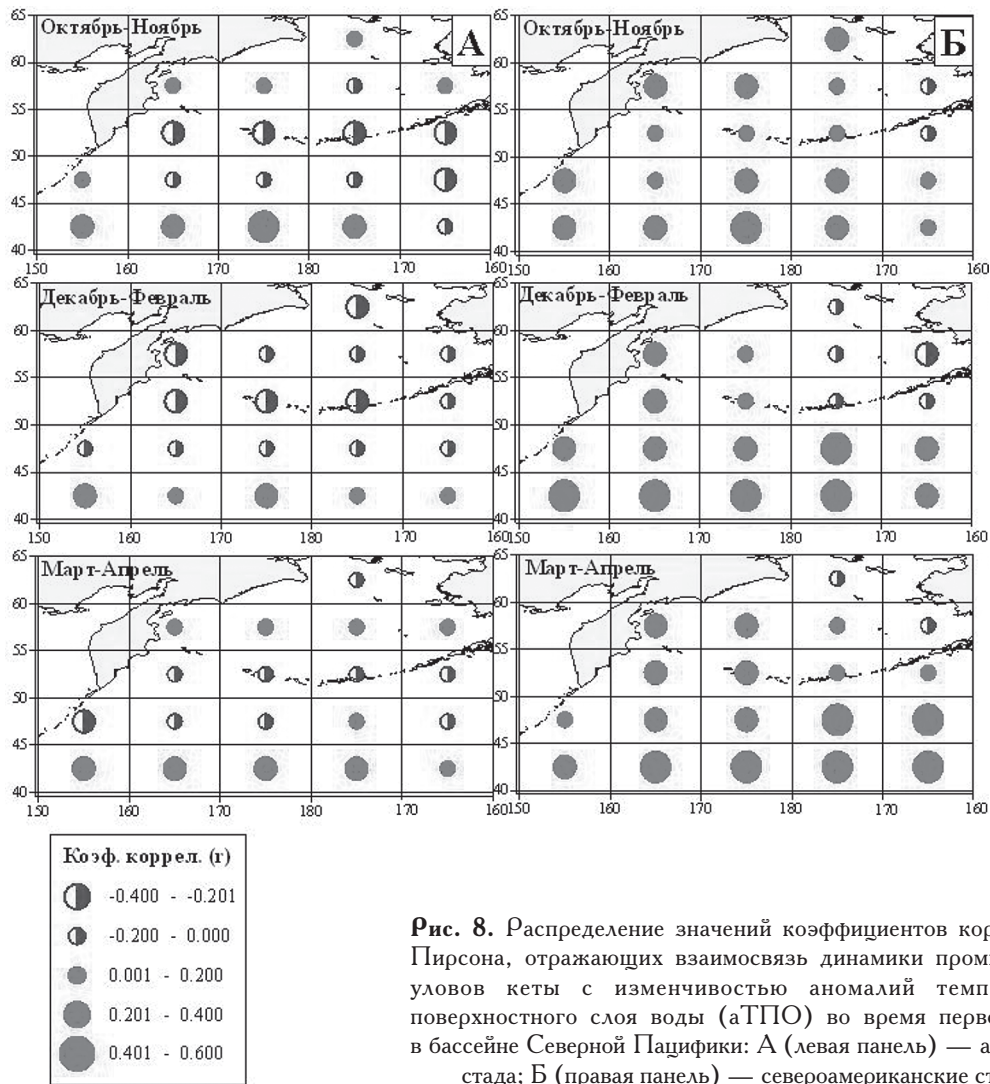


Рис. 8. Распределение значений коэффициентов корреляции Пирсона, отражающих взаимосвязь динамики промысловых уловов кеты с изменчивостью аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) во время первой зимы в бассейне Северной Пацифики: А (левая панель) — азиатские стада; Б (правая панель) — североамериканские стада

2009]. При этом основная часть азиатской кеты в 1-й год океанического нагула (возраст от 0.0 до 0.1) зимует в пределах 40–50° с.ш. и 160° в.д. — 180°, а североамериканской — в этом же широтном поясе, но восточнее 180° [Шунтов, Темных, 2011; Neave et al., 1976; Urawa et al., 2009].

В связи с этим отметим, что относительно высокая положительная взаимосвязь аТПО с продуктивностью кеты Северной Америки в пределах практически всей исследуемой акватории субарктической и умеренной зоны Тихого океана, несомненно, указывает на определенное сходство динамики рассматриваемых параметров. Причём определённая однородность термического режима тихоокеанских вод в западной, центральной и восточной частях

полигона исследований обеспечивает её устойчивость.

С азиатской кетой не все так очевидно. Не исключено, что менее заметное влияние аТПО во время зимовальных миграций данной континентальной группировки стад является следствием антропогенного вмешательства в 1990–2000-х гг., когда развитие искусственного воспроизводства этого вида в Японии приобрело масштабный характер. Как правило, выпуск молоди с рыбоводных заводов осуществляется после определённого подращивания, нацеленного на повышение её жизнеспособности на ранних этапах морского и океанического нагула. В конечном итоге оно привело к созданию нового запаса кеты, который по уровню численности превосходит все нативные стада

Азии вместе взятые. Понятно, что его влияние на формирование внутривидовой структуры зимовальных скоплений азиатской кеты будет определяющим.

Термические условия бассейна Берингова моря, по-видимому, менее значимы для формирования продуктивности поколений кеты на данной стадии жизненного цикла. У рыб азиатского происхождения взаимосвязь аТПО и продуктивности имеет более выраженный, хотя и слабый, отрицательный характер, а у североамериканских — положительный. Причём это характерно как для непосредственно берингоморских вод, так и для смежных тихоокеанских, входящих в акваторию Алеутской гряды. Возможно, отрицательная реакция азиатской кеты связана с воздействием холодного Камчатско-Курильского (Оясио) течения в западной части тихоокеанских вод Северной Пацифики, где её концентрация наиболее высока.

Нерка. Данный вид тихоокеанских лососей в подавляющем большинстве (более 90%) имеет возраст морского и океанического нагула 2–3 года [Бугаев, 1995, 2011; Burgner, 1991]. В связи с этим, как и в случае с кетой, чтобы определить степень влияния термических условий вод в районах зимовки в 1-й год нагула на продуктивность нерки, мы использовали технику скользящего среднего с шагом 2 и смещением на 2 года. Таким образом, осенне-весенние гидрологические наблюдения периода 1982–1983 гг. связывали со скользящим средним статистики вылова нерки в 1984–1985 гг. и т.д. Это позволило усреднить показатели численности поколений производителей в возрасте $n.2$ и $n.3$ для сопоставления с аТПО в зимовальный период их первого совместного нагула. Полученные результаты корреляционного анализа представлены в таблице 4 и на рисунке 9.

Таблица 4. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между сезонными показателями аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в Северной Пацифике с численностью уловов нерки Азии и Северной Америки (по данным 1983–2013 гг.)

Зона	Азия						Северная Америка					
	Осень		Зима		Весна		Осень		Зима		Весна	
	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ
1	0,547	<0,01	0,542	<0,01	0,563	<0,01	-0,269	0,1583	0,063	0,7445	0,098	0,6126
2	0,682	<0,001	0,428	<0,05	0,444	<0,05	-0,307	0,1050	-0,001	0,9985	0,215	0,2631
3	0,770	<0,001	0,480	<0,01	0,469	<0,05	-0,162	0,4017	0,024	0,9023	0,138	0,4742
4	0,533	<0,01	0,371	<0,05	0,467	<0,05	-0,180	0,3488	0,177	0,3580	0,233	0,2240
5	0,029	0,8813	0,227	0,2357	0,354	0,0596	-0,090	0,6406	0,229	0,2314	0,196	0,3091
6	0,384	<0,05	0,217	0,2592	0,020	0,9178	-0,145	0,4535	0,097	0,6159	0,312	0,0991
7	0,280	0,1407	0,345	0,0671	0,131	0,4992	-0,162	0,3994	-0,002	0,9929	0,255	0,1822
8	0,328	0,0822	0,287	0,1306	0,269	0,1584	-0,309	0,1027	-0,125	0,5174	-0,035	0,8558
9	0,030	0,8766	0,170	0,3781	0,290	0,1267	-0,208	0,2783	-0,041	0,8327	-0,004	0,9815
10	-0,381	<0,05	-0,082	0,6720	0,052	0,7891	-0,064	0,7421	0,165	0,3927	0,189	0,3267
11	-0,015	0,9387	-0,003	0,9854	-0,038	0,8462	-0,093	0,6298	-0,036	0,8542	0,063	0,7455
12	-0,077	0,6924	-0,040	0,8359	-0,014	0,9437	-0,283	0,1374	-0,005	0,9801	0,162	0,4013
13	-0,504	<0,01	-0,285	0,1339	-0,226	0,2384	-0,088	0,6506	-0,022	0,9079	-0,028	0,8843
14	-0,675	<0,001	-0,332	0,0787	-0,340	0,0715	-0,069	0,7204	-0,009	0,9624	-0,042	0,8295
15	0,295	0,1201	-0,056	0,7747	-0,072	0,7122	-0,072	0,7085	0,102	0,6002	0,123	0,5248
16	0,179	0,3540	-0,026	0,8937	0,111	0,5653	-0,111	0,5661	0,073	0,7077	0,007	0,9710
17	-0,220	0,2464	-0,290	0,1276	-0,153	0,4280	-0,083	0,6671	-0,104	0,5922	-0,294	0,1217
18	-0,330	0,0805	-0,338	0,0729	-0,353	0,0601	0,067	0,7300	0,062	0,7501	-0,076	0,6945
19	0,158	0,4123	-0,363	0,0530	-0,176	0,3600	-0,089	0,6456	-0,140	0,4820	-0,017	0,9299

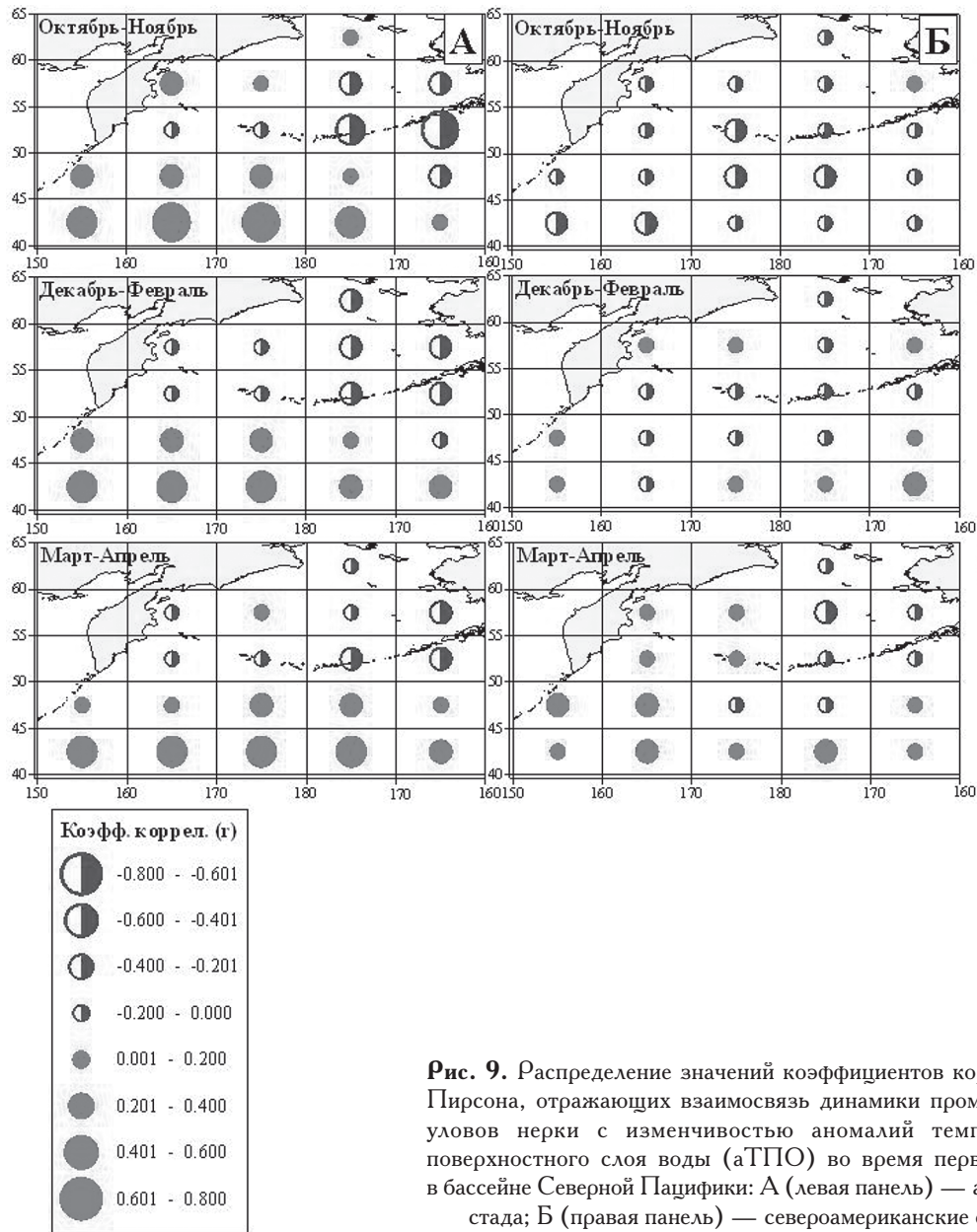


Рис. 9. Распределение значений коэффициентов корреляции Пирсона, отражающих взаимосвязь динамики промысловых уловов нерки с изменчивостью аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) во время первой зимы в бассейне Северной Пацифики: А (левая панель) — азиатские стада; Б (правая панель) — североамериканские стада

Из полученных данных видно, что в тихоокеанской зоне основного зимнего нагула азиатской нерки ($45\text{--}50^\circ$ с.ш. и 160° в.д. — 180°) [Бирман, 1985; Шунтов, Темных, 2011] наблюдается высокий и устойчивый уровень взаимосвязи аТПО с её продуктивностью. Значения максимальных коэффициентов корреляций варьируют в пределах $r = 0,4\text{--}0,8$. Это наиболее высокие показатели среди всех массовых видов тихоокеанских лососей. Причём сходная динамика наблюдается во все сезоны. В берингоморской и смежной акватории Алеутской гряды все связи имеют либо

выраженный отрицательный, либо нейтральный характер. Негативное взаимодействие особенно чётко просматривается в восточной части Берингова моря.

Следует отметить, что ранее А.С. Кровниным с соавторами [2010] уже были отмечены высокие положительные корреляции при изучении влияния температуры поверхности океана (ТПО) в северном полушарии с численностью западнокамчатской нерки. На основе этих наблюдений авторы даже предложили использовать данные показатели в качестве прогностической модели. На наш взгляд, это

представляется несколько преждевременным, поскольку реакции подобного рода всё-таки имеют многофакторную природу. Вследствие чего потенциальная вероятность ошибки прогноза будет очень высокой.

С североамериканской неркой ситуация отличается коренным образом. В подавляющем большинстве районов исследований, как в Тихом океане, так и Беринговом море, взаимосвязь аТПО с численностью производителей носит слабовыраженный отрицательный характер, который близок к нейтральному. Реального объяснения данному явлению мы пока не имеем. Но учитывая относительно высокую численность нерки Северной Америки, можно предположить, что некоторое воздействие температурного режима вод во время нагульных и зимовальных миграций на её продуктивность должно иметь место. Наиболее вероятно, это может быть связано с локализацией североамериканских стад во время первой зимовки в оке-

ане, поскольку, по имеющимся данным, молодь нерки после выхода в открытое море осенью в массе мигрирует в залив Аляска [French et al., 1976; Burgner, 1991]. Причём это касается стад, воспроизводящихся как на тихоокеанском побережье Северной Америки, так и на берингово-морском (комплекс стад Бристольского залива).

Возможно, более высокая компактность скоплений нерки во время нагульных миграций и является причиной столь высокой разницы уровней взаимосвязи азиатских и североамериканских стад с условиями термического режима вод Северной Пацифики. В первом случае учитывается практически весь ареал зимовки камчатской нерки, а во втором — только часть скоплений рыб, которые в основном формируются в заливе Аляска. Разумеется, этот вопрос требует дополнительных исследований с учётом и других факторов среды.

Кижуч. Данный вид, как и горбуша, проводит 1 год в океане, после чего происходит по-

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между сезонными показателями аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в Северной Пацифике с численностью уловов кижуча Азии и Северной Америки (по данным 1983–2013 гг.)

Зона	Азия						Северная Америка					
	Осень		Зима		Весна		Осень		Зима		Весна	
	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ
1	-0,309	0,0906	-0,289	0,1150	-0,410	<0,05	-0,488	<0,01	-0,292	0,1104	-0,283	0,1235
2	-0,190	0,3064	-0,060	0,7485	-0,159	0,3915	-0,493	<0,01	-0,261	0,1558	-0,166	0,3718
3	-0,110	0,5541	-0,010	0,9578	-0,096	0,6061	-0,499	<0,01	-0,231	0,2114	-0,130	0,4861
4	-0,017	0,9282	0,106	0,5714	0,051	0,7833	-0,337	0,0640	-0,105	0,5751	-0,090	0,6315
5	0,069	0,7120	0,111	0,5513	0,090	0,6285	0,065	0,7280	0,034	0,8568	-0,038	0,8377
6	-0,234	0,2046	-0,001	0,9969	-0,046	0,8039	-0,478	<0,01	-0,104	0,5760	0,163	0,3806
7	-0,072	0,6992	0,026	0,8894	0,015	0,9381	-0,229	0,2152	-0,213	0,2498	0,118	0,5259
8	0,062	0,7386	0,056	0,7636	-0,016	0,9328	-0,294	0,1083	-0,220	0,2333	-0,092	0,6235
9	0,004	0,9831	0,073	0,6949	-0,031	0,8683	-0,042	0,8243	-0,082	0,6598	-0,070	0,7077
10	0,058	0,7569	0,043	0,8192	-0,002	0,9920	0,256	0,1647	0,159	0,3941	0,121	0,5164
11	-0,081	0,6645	0,075	0,6877	-0,130	0,4841	-0,093	0,6194	0,045	0,8112	0,071	0,7049
12	0,034	0,8567	0,067	0,7220	-0,165	0,3760	-0,202	0,2770	0,028	0,8803	0,119	0,5227
13	-0,009	0,9620	-0,040	0,8310	-0,144	0,4401	0,255	0,1655	0,227	0,2189	0,156	0,4009
14	-0,116	0,5346	-0,084	0,6536	-0,123	0,5086	0,353	0,0513	0,310	0,0896	0,255	0,1669
15	-0,129	0,4888	0,046	0,8068	-0,279	0,1282	-0,256	0,1643	0,104	0,5758	0,114	0,5425
16	-0,025	0,8950	0,123	0,5090	-0,285	0,1198	-0,266	0,1488	0,071	0,7036	-0,090	0,6296
17	-0,140	0,4532	-0,023	0,9015	-0,431	<0,05	0,019	0,9173	0,238	0,1964	-0,045	0,8080
18	-0,418	<0,05	-0,136	0,4665	-0,405	<0,05	0,095	0,6124	0,281	0,1254	0,109	0,5602
19	-0,375	<0,05	-0,060	0,7469	-0,360	<0,05	-0,318	0,0809	0,235	0,2031	0,169	0,3622

ловое созревание и рыбы возвращаются в реки на нерест [Зорбиди, 2010; Sandercock, 1991]. В настоящей работе рассматриваются особи в период роста от возраста $p.0$ до $p.1$. В связи с этим сопоставление рядов наблюдений кижуча осуществлялось по аналогичному с горбушей принципу со смещением ряда статистики вылова производителей на 1 календарный год относительно периода гидрологических наблюдений. Полученные результаты корреляционного анализа представлены в таблице 5 и на рисунке 10.

Судя по полученным данным, общий характер взаимодействия исследуемых параметров как у азиатских, так и североамериканских стад был в основном негативным. Это наблюдалось на всей акватории тихоокеанско-беринговоморского полигона исследований. Причём

коэффициенты корреляций, отражающие взаимосвязь аТПО с продуктивностью азиатского кижуча, были заметно ниже, чем с североамериканским. В последнем случае наблюдалась чёткая отрицательная связь с термическим режимом субарктических вод северо-западной части Тихого океана: $r = -0,4-0,6$.

Ранее в исследованиях отмечалось, что кижуч среди всех видов тихоокеанских лососей имеет наиболее узкий диапазон предпочитаемых температурных границ обитания [Godfrey et al., 1975]. Несмотря на то что новые данные говорят о значительно большей термической толерантности лососей [Шунтов, Темных, 2011], всё равно максимальные уловы кижуча отмечаются лишь в определённых градиентных зонах ТПО. Возможно, это и послужило причиной негативной или нейтральной реакции

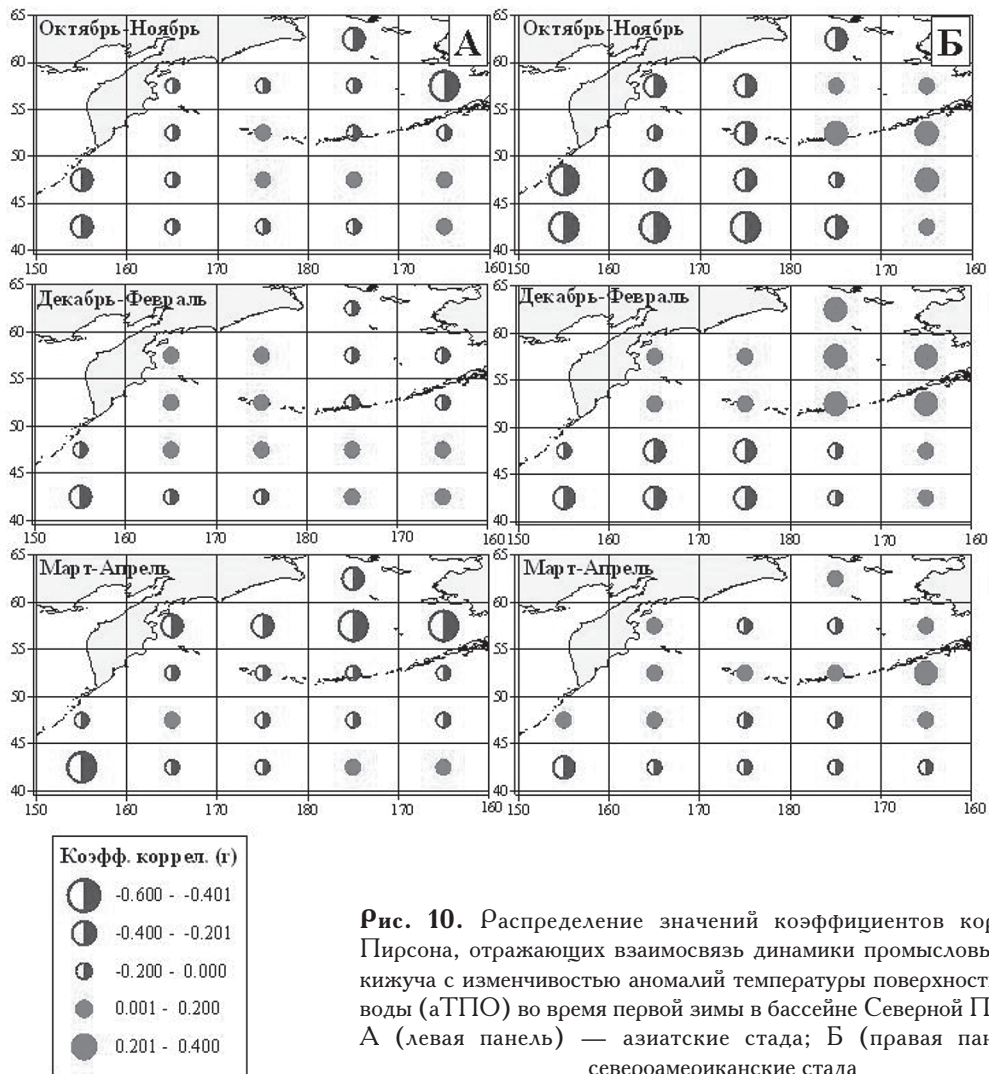


Рис. 10. Распределение значений коэффициентов корреляции Пирсона, отражающих взаимосвязь динамики промысловых уловов кижуча с изменчивостью аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) во время первой зимы в бассейне Северной Пацифики: А (левая панель) — азиатские стада; Б (правая панель) — североамериканские стада

изменчивости аТПО с продуктивностью вида в Азии и Северной Америке.

Чавыча. Данный вид в основном имеет 2–4 года морского и океанического нагула [Healey, 1991]. Как и в случаях с другими лососями, имеющими продолжительный морской период жизни, для определения степени влияния термических условий вод в районах зимовки в 1-й год нагула на продуктивность чавычи мы использовали технику скользящего среднего. В данном случае с шагом 3 и смещением на 2 года. Таким образом, осенне-весенние гидрологические наблюдения периода 1982–1983 гг. связывали со скользящим средним статистики вылова чавычи в 1984–1986 гг. и т.д. Это позволило усреднить показатели численности поколений производителей в возрасте п.2, п.3 и п.4 для сопоставления с аТПО в зимовальный период их первого совместного нагула. Полученные результаты корреляционного анализа представлены в таблице 6 и на рисунке 11.

Говоря непосредственно о характере взаимосвязи двух рассматриваемых параметров в пределах полигона исследований, необходимо уточнить, что чавыча является одним из наиболее малочисленных видов тихоокеанских лососей. Особенно это заметно в Азии. По этой причине флюктуации численности азиатской чавычи выражены крайне слабо, что заметно снижает возможности для анализа временных рядов в данном случае.

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно отметить некоторые закономерности, которые характерны для распределения значений коэффициентов корреляций, показывающих взаимосвязь аТПО с продуктивностью чавычи в бассейне Северной Пацифики. В тихоокеанской части района исследований как у азиатских, так и североамериканских стад во все сезоны преобладает отрицательная связь данных параметров. У чавычи азиатского происхождения максималь-

Таблица 6. Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между сезонными показателями аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) в Северной Пацифике с численностью уловов чавычи Азии и Северной Америки (по данным 1983–2013 гг.)

Район	Азия						Северная Америка					
	Осень		Зима		Весна		Осень		Зима		Весна	
	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ	r	ρ
1	-0,415	<0,05	0,242	0,2156	-0,108	0,5844	-0,314	0,1039	0,404	<0,05	0,079	0,6902
2	-0,545	<0,01	-0,179	0,3632	-0,266	0,1717	-0,670	<0,001	-0,469	<0,05	-0,464	<0,05
3	-0,517	<0,01	-0,097	0,6219	-0,147	0,4561	-0,760	<0,001	-0,568	<0,01	-0,524	<0,01
4	-0,259	0,1836	-0,032	0,8703	-0,085	0,6670	-0,594	<0,001	-0,487	<0,01	-0,501	<0,01
5	0,122	0,5346	0,086	0,6618	-0,062	0,7543	-0,146	0,4600	-0,341	0,0757	-0,376	<0,05
6	-0,356	0,0631	0,092	0,6419	0,234	0,2300	-0,760	<0,001	-0,451	<0,05	-0,280	0,1496
7	-0,159	0,4192	0,039	0,8418	0,285	0,1414	-0,430	<0,05	-0,457	<0,05	-0,258	0,1845
8	-0,018	0,9280	0,026	0,8953	0,104	0,5995	-0,461	<0,05	-0,403	<0,05	-0,321	0,0956
9	0,164	0,4049	0,141	0,4750	0,047	0,8130	-0,328	0,0882	-0,375	<0,05	-0,413	<0,05
10	0,334	0,0820	0,257	0,1872	0,124	0,5291	-0,020	0,9203	-0,289	0,1363	-0,354	0,0645
11	-0,004	0,9830	0,277	0,1535	0,166	0,3996	-0,358	0,0612	-0,241	0,2155	-0,307	0,1118
12	0,014	0,9417	0,228	0,2442	0,087	0,6591	-0,171	0,3842	-0,188	0,3374	-0,263	0,1767
13	0,381	<0,05	0,264	0,1742	0,106	0,5925	0,219	0,2625	0,153	0,4356	0,077	0,6951
14	0,303	0,1175	0,269	0,1659	0,138	0,4832	0,419	<0,05	0,238	0,2218	0,197	0,3155
15	-0,189	0,3358	0,216	0,2687	0,068	0,7301	-0,433	<0,05	-0,172	0,3824	-0,231	0,2359
16	-0,151	0,4440	0,278	0,1515	-0,081	0,6802	-0,279	0,1510	-0,103	0,6004	-0,386	<0,05
17	0,006	0,9744	0,252	0,1965	-0,195	0,3193	0,104	0,5985	0,302	0,1179	0,043	0,8264
18	-0,172	0,3808	0,154	0,4325	-0,128	0,5172	0,124	0,5305	0,395	<0,05	0,180	0,3601
19	-0,415	<0,05	0,242	0,2156	-0,108	0,5844	-0,314	0,1039	0,404	<0,05	0,079	0,6902



Рис. 11. Распределение значений коэффициентов корреляции Пирсона, отражающих взаимосвязь динамики промысловых уловов чавычи с изменчивостью аномалий температуры поверхностного слоя воды (аТПО) во время первой зимы в бассейне Северной Пацифики: А (левая панель) — азиатские стада; Б (правая панель) — североамериканские стада

ные корреляции в основном заметно ниже: $r = -0,2-0,6$, по сравнению с североамериканской: $r = -0,4-0,8$. Причём в обоих случаях взаимосвязь лучше просматривалась в осенний период.

В Беринговом море характер распределения значений коэффициентов корреляций достаточно разнороден в зависимости от сезонной изменчивости. У азиатской чавычи положительный вектор взаимосвязи наблюдается в зимний период, а осенью и весной корреляции близки к нулевым значениям. У североамериканской чавычи во все периоды положительная составляющая корреляционного фона

сосредоточена в восточной части берингово-морского полигона, а отрицательная — в западной. Возможно, это связано с более высокой численностью чавычи Северной Америки, в результате чего взаимосвязь аТПО с её продуктивностью в данной части ареала прослеживается лучше.

В целом, характеризуя взаимосвязь аТПО с динамикой численности чавычи в Северной Пацифике, необходимо добавить, что этот вид лососей не образует плотных скоплений во время зимовальных миграций [Шунтов, Темных, 2011; Major et al., 1978]. При этом протяжённость нагульных ареалов азиатских и североа-

американских стад простирается до 200-мильных экономических зон США и России [Larson et al., 2013]. Поэтому затруднительно однозначно оценить биологическую обоснованность полученных результатов математического анализа. Тем не менее применительно к чавыче с достаточно высокой вероятностью можно утверждать, что отрицательная взаимосвязь двух параметров чётко прослеживается в зоне субарктических и прилегающих умеренных вод Тихого океана. Причём наиболее заметно это выражено для североамериканских стад.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей публикации рассмотрены вопросы возможного влияния температурных условий поверхностного слоя акватории обитания (аТПО) с динамикой промысловых уловов лососей Азии и Северной Америки. Полигон исследований в значительной мере перекрывает акваторию зимовально-нагульных миграций всех видов лососей в Беринговом море и прилегающих водах Тихого океана, что позволяет достаточно адекватно оценить влияние температурного фактора на их продуктивность.

В результате проведённого анализа выяснено, что взаимосвязь аТПО с численностью тихоокеанских лососей во время нагула в первую зиму жизни в океане (конец осени, зима и начало весны) наиболее заметно прослеживается в водах Тихого океана (зона, ограниченная 40–50° с.ш. и 160° в.д. — 170° з.д.). Причём как для азиатских, так и для североамериканских стад взаимосвязь устойчиво сохранялась на значительной части акватории данного широтного пояса.

В Беринговом море характер взаимодействия аТПО и продуктивности лососей носил менее выраженный характер. Большинство корреляционных связей имели слабовыраженный отрицательный или нейтральный (близкий к нулю) характер. В принципе, это указывает на относительно слабое влияние берингоморских вод на формирование продукционных показателей лососей в 1-й океанический год жизни в зоне их зимнего обитания в приалеутском районе Северной Пацифики.

Потенциальное влияние термического режима вод на численность производителей

массовых (горбуша, кета и нерка) и малочисленных (кижуч и чавыча) видов имело свои особенности. В первом случае в большинстве случаев наблюдалась положительная взаимосвязь, а во втором — отрицательная. Не исключено, что здесь определяющим фактором является плотность формируемых зимовальных скоплений различных видов лососей. Но, учитывая многофакторность воздействия внешней среды на конечную продуктивность запасов рыб, в настоящее время невозможно однозначно обозначить механизм подобного взаимодействия.

Дополнительно следует отметить, что в тех случаях, когда результаты статистических оценок получены из районов, удалённых от известных границ массового распространения лососей Азии и Северной Америки, их нельзя однозначно трактовать как взаимосвязь продукционного и температурного факторов. Даже высокий уровень связи (положительной или отрицательной) вовсе не означает присутствие или отсутствие в данном регионе рыб той или иной континентальной группировки стад, поскольку это в значительной степени зависит от динамики термических режимов вод смежных акваторий. По этой причине взаимодействие температурного и продукционного факторов может быть в определённой степени сходным в зонах с высокой и низкой концентрацией азиатских и североамериканских лососей.

ЛИТЕРАТУРА

- Атлас океанографических параметров Берингова моря. 2004. СПб.: Изд-во ГУНИО МО. 396 с.
- Баталин А.М. 1959. Тепловой баланс дальневосточных морей // Известия АН СССР. Сер. геогр. № 7. С. 1003–1010.
- Бирман И.Б. 1985. Морской период жизни и вопросы динамики численности стада тихоокеанских лососей. М.: Агропромиздат. 208 с.
- Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2011. Оценка влияния некоторых климатических факторов на численность азиатских стад горбуши и кеты // Известия ТИНРО. Т. 166. С. 67–87.
- Бугаев А.В., Шапоров Р.А., Савин В.А., Чистякова А.И. 2012. Результаты камчатских фенотипических исследований тихоокеанских лососей *Oncorhynchus* spp. в 1990–2010 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки

- и северо-западной части Тихого океана. Вып. 25. С. 37–57.
- Бугаев А.В., Шапоров Р.А., Заволокин А.В. 2014. Происхождение и распределение стад кеты *Oncorhynchus keta* в западной части Берингова моря и северо-западной части Тихого океана в 2009 и 2010 гг. // Известия ТИНРО. Т. 179. С. 177–203.
- Бугаев В.Ф. 1995. Азиатская нерка (пресноводный период жизни, структура локальных стад, динамика численности). М.: Колос. 464 с.
- Бугаев В.Ф. 2011. Азиатская нерка — 2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX — начале XXI вв.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 380 с.
- Бурков В.А. 1972. Общая циркуляция вод Тихого океана. М.: Наука. 196 с.
- Глебова С.Ю. 2001. Типы атмосферных процессов над дальневосточными морями, межгодовая изменчивость их повторяемости и сопряженность. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Владивосток: ТИНРО-Центр. 24 с.
- Зорбиди Ж.Х. 2010. Кижуч азиатских стад. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 306 с.
- Иванов О.А., Глебов И.И., Свиридов В.В. 2006. Вертикальная структура пелагических траловых уловов тихоокеанских лососей // Известия ТИНРО. Т. 147. С. 64–70.
- Кляшторин Л.Б. 2000. Тихоокеанские лососи: климат и динамика запасов // Рыбное хозяйство. № 4. С. 32–34.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО. 235 с.
- Кровнин А.С., Кловач Н.В., Котенев Б.Н., Мурый Г.П. 2010. Связь уловов западно-камчатской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и нерки *O. nerka* с температурой поверхности океана в Северном полушарии и прогноз их вылова на 2010 г. // Рыбное хозяйство. № 3. С. 43–46.
- Макоедов А.Н., Коротяев Ю.А., Антонов Н.П. 2009. Азиатская кета. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 356 с.
- Монин А.С., Каменкович В.М., Корт В.Г. 1978. Изменчивость Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 262 с.
- Плотников В.В. 2002. Изменчивость ледовых условий дальневосточных морей России и их прогноз. Владивосток: Дальнаука, ТОИ. 170 с.
- Халафян А.А. 2008. STATISTICA 6. Статистический анализ данных. М.: Бином-Пресс. 512 с.
- Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д., Устинова Е.И., Фигуркин А.А. 2008. Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувековой изменчивости // Известия ТИНРО. Т. 153. С. 254–263.
- Чигиринский А.И. 1993. Глобальные природные факторы, промысел и численность тихоокеанских лососевых // Рыбное хозяйство. № 2. С. 19–22.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 2. Владивосток: ТИНРО-Центр. 473 с.
- Якунин Л.П. 1987. Атлас ледовитости дальневосточных морей СССР. Владивосток: Изд-во ДВНИГМИ. 79 с.
- Beamish R.J., Noakes D., McFarlane G.A., Klyashtorin L.B., Ivanov V.V., Kurashov V. 1999. The regime concept and natural trends in the production of Pacific salmon // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 56. P. 516–526.
- Beamish R.J., Sweeting R.M., Neville C.M. 2004 a. Improvement of juvenile Pacific salmon production in a regional ecosystems after the 1998 climatic regime shift // Trans. Amer. Fish. Soc. № 113. P. 1163–1175.
- Beamish R.J., Schnute J.T., Cass A.J., Neville C.M., Sweeting R.M. 2004 b. The influence of climate on the stock and recruitment of pink and sockeye salmon from the Fraser river, British Columbia, Canada // Trans. Amer. Fish. Soc. № 113. P. 1396–1412.
- Bugaev A.V., Zavalokina E.A., Zavalokin A.V., Zavarina L.O., Kireev I.N., Shubin A.O., Ignatyev Yu.I., Zolotukhin S.F., Kaplanova N.F., Volobuev M.V., Myers K.V. 2009. Stock-specific distribution and abundance of immature chum salmon in the western Bering Sea in summer and fall 2002–2003 // NPAFC. Bull. № 5. P. 105–120.
- Bugaev A.V., Tepnin O.B. 2012. Estimation of influence of some climatic factors on the abundance of Asian pink and chum salmon // NPAFC. Tech. report. № 8. P. 103–106.
- Burgner R.L. 1991. Life history of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* // Pacific salmon life histories / Eds. C. Groot, L. Margolis. Vancouver: UBC press. P. 3–117.
- French R., Bilton H., Osako M., Hartt A. 1976. Distribution and origin of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in offshore waters of the North Pacific Ocean // INPFC. Bull. № 34. 113 p.
- Godfrey H., Henry K.A., Machidori S. 1975. Distribution and abundance of coho salmon in offshore waters of the North Pacific Ocean // INPFC. Bull. № 31. 80 p.
- Healey M.C. 1991. Life history of chinook salmon // Pacific salmon life histories / Eds. C. Groot, L. Margolis. Vancouver: UBC press. P. 311–393.
- Heard W.R. 1991. Life history of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* // Pacific salmon life

- histories / Eds. C. Groot, L. Margolis. Vancouver: UBC press. P. 119–230.
- Impacts of climate and climate change on the key species in the fisheries in the North Pacific. 2008 // PICES Sci. Rep. V. 35. / Ed. R.J. Beamish. 218 p.
- Irvine J.R., Fukuwaka M., Kaga T., Park J., Seong K.B., Kang S., Karpenko V.I., Klovach N.V., Bartlett H., Volk E. 2009. Pacific salmon status and abundance trends // NPAFC. Doc. № 1199. 153 p.
- Kaeriyama M., Seo H., Kudo H. 2009. Trends in run size and carrying capacity of Pacific salmon in the north Pacific Ocean // NPAFC. Bull. № 5. P. 293–302.
- Klyashtorin L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches: the possibility of forecasting // FAO Fisheries Tech. Paper. № 410. Rome, FAO. 86 p.
- Larson W.A., Utter F.M., Myers K.W., Templin W.D., Seeb J.E., Guthrie III C.M., Bugaev A.V., Seeb L.W. 2013. Single-nucleotide polymorphisms reveal distribution and migration of chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* in the Bering Sea and North Pacific Ocean // Can. J. Fish. Aquat. Sci. № 70 (1). P. 128–141.
- Locarnini R.A., Mishonov A.V., Antonov J.I., Boyer T.P., Garcia H.E., Baranova O.K., Zweng M.M., Paver C.R., Reagan J.R., Johnson D.R., Hamilton M., Seidov D. 2013. World ocean atlas 2013. V. 1. Temperature / Ed. S. Levitus, A.V. Mishonov. NOAA Atlas NESDIS. № 73. 40 p.
- Major R.L., Ito J., Ito S., Godfrey H. 1978. Distribution and origin of chinook salmon *Oncorhynchus tshawytscha* in offshore waters of the North Pacific Ocean // INPFC. Bull. № 38. 54 p.
- Manzer J.I., Ishida T., Peterson A.E., Hanavan M.G. 1965. Salmon of the North Pacific Ocean. Part 5: Offshore distribution of salmon // INPFC. Bull. № 15. 452 p.
- Miura T., Suga T., Hanawa K. 2002. Winter mixed layer and formation of dichothermal water in the Bering Sea // J. of Oceanogr. № 58. P. 815–823.
- Myers K.W., Aydin K.Y., Walker R.V., Fowler S., Dahlberg M.L. 1996. Known ocean ranges of stocks of Pacific salmon and steelhead as shown by tagging experiments, 1956–1995 // NPAFC. Doc. № 192. 60 p.
- Myers K.W., Klovach N.V., Gritsenko O.F., Urawa S., Royer T.C. 2007. Stock-specific distribution of Asian and North American salmon in the open ocean, interannual changes, and oceanographic conditions // NPAFC. Bull. № 4. P. 159–177.
- Neave F., Yonemori T., Bakkala R.G. 1976. Distribution and origin of chum salmon *Oncorhynchus keta* in offshore waters of the North Pacific Ocean // INPFC. Bull. № 35. 79 p.
- North Pacific Anadromous Fish Commission. 2010. Records of the 18th Annual meeting, November 1–5, 2010. NPAFC. Doc. № 1249. 141 p.
- North Pacific Anadromous Fish Commission. 2011. Records of the 19th Annual meeting, October 23–28, 2011. NPAFC. Doc. № 1326. 143 p.
- North Pacific Anadromous Fish Commission. 2012. Records of the 20th Annual Meeting, October 7–12, 2012. NPAFC. Doc. № 1395. 152 p.
- North Pacific Anadromous Fish Commission. 2013. Records of the 21th Annual meeting, November 12–15, 2013. NPAFC. Doc. № 1491. 139 p.
- North Pacific Anadromous Fish Commission. 2014. Records of the 22th Annual meeting, May 12–16, 2014. NPAFC. Doc. № 1543. 193 p.
- Pacific salmon life histories. 1991 / Eds. C. Groot, L. Margolis. Canada, Vancouver: UBC press. 564 p.
- Patton W.S., Myers K.W., Walker R.V. 1998. Origin of chum salmon caught incidentally in the eastern Bering Sea walleye pollock trawl fishery as estimated from scale pattern analysis // N. Amer. J. Fish. Manage. № 18. P. 704–711.
- Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W. 2002. An improved *in situ* and satellite SST analysis for climate // J. of Climate. № 15. P. 1609–1625.
- Richard R.W., Thomas M.S., Chunging L., Dudley B.C., Kenneth S.C., Michael G.S. 2007. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature // J. of Climate. № 20. P. 5473–5496.
- Ruggerone G.T., Nielsen J.L., Bumgarner J. 2007. Linkages between Alaskan sockeye salmon abundance, growth at sea, and climate, 1955–2002 // Deep-Sea Res. II. № 54. P. 2776–2793.
- Ruggerone G.T., Nielsen J.L., Agler B.A. 2009. Climate, growth and population dynamics of Yukon River chinook salmon // NPAFC. Bull. № 5. P. 279–285.
- Salo E.O. 1991. Life history of chum salmon *Oncorhynchus chum* // Pacific salmon life histories / Vancouver: UBC press. P. 233–309.
- Sandercocock F.K. 1991. Life history of coho salmon *Oncorhynchus kisutch* // Pacific salmon life histories / Eds. C. Groot, L. Margolis. Vancouver: UBC press. P. 395–445.
- Takagi K., Aro K.V., Hartt A.C., Dell M.B. 1981. Distribution and origin of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in offshore waters of the North Pacific Ocean // INPFC. Bull. № 40. 195 p.
- Urawa S., Sato S., Crane P.A., Agler B., Josephson R., Azumaya T. 2009. Stock-specific ocean distribution and migration of chum salmon in the Bering Sea

and North Pacific Ocean // NPAFC. Bull. № 5. P. 131–146.

Zavolokin A.V., Khen G.V. 2012. Decreases in abundance of immature Pacific salmon in the western Bering Sea from 2002 to 2011: link to hydrological and forage conditions. // NPAFC. Doc. № 1398. 20 p.

Поступила в редакцию 08.06.15 г.

Принята после рецензии 15.06.15 г.

Productivity of Pacific salmon: influence of water thermal conditions during the period of first winter in the basin of North Pacific

A.V. Bugaev, O.B. Terpin

Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "KamNIRO", Petropavlovsk-Kamchatsky)

Ocean conditions experienced by juvenile Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) during the first winter at sea may affect the productivity of Asian and North American populations. We evaluated potential correlations between annual commercial catches of five species of Pacific salmon and gridded satellite sea surface temperature anomalies during winter in the Bering Sea and North Pacific Ocean (October–April, 1982–2013). The strongest correlations were restricted to the region south of the Aleutians (40–50°N latitude, 160°E — 170°W longitude), and were generally stable over time for both Asian and North American salmon. In the Bering Sea, correlations were slightly negative or neutral (close to zero), as expected given that most juvenile Pacific salmon leave the Bering Sea during winter. North Pacific waters south of the Aleutians correspond to the known area of high abundance of juvenile salmon in winter. The direction of correlations in this region was generally positive for highly abundant species (pink, chum, and sockeye) and negative for low abundance species (coho and chinook). These differences may reflect density effects between high and low abundance species during their first winter at sea.

Key words: Pacific salmon, production, anomaly sea surface temperature (aSST), winter migrations.