

Среда обитания
водных биологических ресурсовКлиматические факторы изменчивости
условий среды обитания промысловых биоресурсов
и функционирования морских экосистем

УДК 639.2.053.1:639.211:551.582(265.5)

Связь «лососевых эпох» в дальневосточном регионе
с крупномасштабными изменениями климата в Северной Пацифике

А.С. Кровнин, Б.Н. Котенёв, Н.В. Кловач

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ
«ВНИРО»), г. Москва

E-mail: akrovnin@vniro.ru

На основе анализа климатических данных и данных по уловам дальневосточных лососей за 1911—2016 гг. выявлено два типа крупномасштабной климатической изменчивости, обуславливающей создание благоприятных условий для роста запасов лососей. «Лососевая эпоха» первой половины XX в. была связана с потеплением поверхностных вод в северо-восточной части океана, распространявшимся в северо-западную часть Тихого океана. Благоприятные условия для роста запасов азиатских лососей с конца 1980-х гг., напротив, сформировались вследствие резкого потепления поверхностных вод в западной половине океана. Похолодание вод в северо-западной части Тихого океана в 2012—2014 гг. обусловило снижение уловов лососей в 2012—2015 гг. Однако осенью 2013 г. началось резкое потепление вод в северо-восточной части океана, которое продолжилось и в 2014—2016 гг. Адвекция этого тепла в пределы СЗТО создала благоприятные условия для выживания лососей поколений 2014—2016 гг., прежде всего у Западной и Восточной Камчатки. В целом, характер распределения АТПО на севере северотихоокеанского региона в 2015—2016 гг. в значительной степени схож с их распределением в период «лососевой эпохи» первой половины XX в. Можно предположить, что современный период высокой численности дальневосточных лососей ещё не закончился. Время его окончания остаётся неопределённым и зависит от того, как долго сохранится аномально тёплое состояние поверхностных вод на северо-востоке океана. Начала очередной «лососевой эпохи» следует ожидать в 2030-х гг.

Ключевые слова: дальневосточные лососи, аномалии температуры поверхности океана, «лососевая эпоха», климатические изменения, северо-западная часть Тихого океана, северо-восточная часть Тихого океана

ВВЕДЕНИЕ

Анализ уловов азиатских лососей позволил выделить многолетние периоды их высоких и низких запасов. Общеизвестно, что «лососевые эпохи» с большими уловами связаны с периодами потепления вод Северной Пацифики [Кляшторин, Любушин, 2005; Радченко, 2008; Шунтов, Темных, 2008, 2011; Бугаев, Тепнин, 2015; Котенёв и др., 2015; Klyashtorin, 2001; Radchenko et al., 2007; Kaeriyama et al., 2009; Irvine, Fukawaka, 2011]. В силу различия ландшафтно-климатических условий нерестовых бассейнов в СВТО и СЗТО, а также разницы во времени наступления потепления поверхностных вод в этих районах динамика уловов, и их состав существенно различается между северо-восточной и северо-западной частями Тихого океана [Ruggerone et al., 2010; Stachura et al., 2014]. Динамика уловов американских лососей хорошо кор-

релируется с низкочастотной изменчивостью Алеутского минимума [Beamish, Bouillon, 1993] и зимнего индекса тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО), тесно связанной с явлениями Эль-Ниньо/Южное Колебание (ЭНЮК) [Mantua et al., 1997; Francis et al., 1998]. Так, первая «лососевая эпоха» в СВТО началась быстрым ростом уловов нерки в 1885 г. и горбуши в 1895 г. [Радченко, Рассадников, 1997], а в СЗТО — с 1905 г. [Radchenko et al., 2007]. В СВТО она закончилась в 1947–1950 гг., а в СЗТО в 1957–1958 гг. Вторая «лососевая эпоха» в СВТО началась после 1975–1977 гг., а в СЗТО основной рост уловов отмечался после 1987–1989 гг. Однако слабый рост уловов в СЗТО отмечен в Сахалино-Курильском районе уже с конца 1960-х гг., а в остальных промысловых районах России — с середины 1970-х гг. Следовательно, фаза низких уловов в СВТО продолжалась 25 лет и была связана с ослаблением Алеутского минимума. В СЗТО для сахалино-курильских лососей продолжительность фазы низких уловов составила около 15–20 лет, а у Западной и Восточной Камчатки фаза низких уловов в 1957–1977 гг. продолжалась 20 лет. В значительной степени очень низкие российские уловы были связаны с активным японским морским промыслом в период с 1955 по 1976 гг. [Моисеев, 1964]. Если слабый рост уловов азиатских лососей в 1977–1989 гг. отнести к фазе низких уловов, то она продолжалась 30 лет, т.е. значительно больше чем в СВТО. Эта фаза низких уловов в СЗТО коррелируется с отрицательной фазой арктического колебания и положительной фазой зимнего индекса восточноазиатского муссона, а также с преобладанием на большей части Северной Пацифики отрицательных аномалий температуры поверхности океана (АТПО). После 1989 г. в Северной Пацифике началась эпоха потепления [Yeh et al., 2011].

Тесная связь «лососевых эпох» в СВТО и СЗТО с температурой поверхностных вод Северной Пацифики дает основание для выявления характера связи уловов дальневосточных лососей с крупномасштабными пространственными модами изменчивости АТПО в океане. Эти связи могут стать основой для определения времени наступления очередной «лососевой эпохи».

Весьма важен вопрос о сроках окончания современной «лососевой эпохи» в СЗТО в связи с резким потеплением вод в СВТО в 2013–2016 гг. и развитием явления Эль-Ниньо в 2015–2016 гг.

[Bond et al., 2015; Tisdale, 2015]. Распространение тёплых вод из северо-восточной части океана в пределы СЗТО характерно для пространственного распределения ЭОФЗ поля АТПО Северной Пацифики [Hartmann, 2015]. Оно обусловило хорошее выживание в океане поколения лососей 2014 г. и, соответственно, хорошие уловы камчатских, амурских лососей, а также их южно-курильских и сахалинских стад в 2016 г. Исключением стали подходы кеты к Южным Курилам и Восточному Сахалину, которые связаны с поколениями 2012–2013 гг., характеризовавшимися низкой выживаемостью ската.

Продолжительность наблюдаемого в настоящее время потепления поверхностных вод в Северной Пацифике во многом определит время окончания современной «лососевой эпохи» в СЗТО.

В заключительной части работы обсуждается время наступления новой «лососевой эпохи» в первой половине XXI в.

Исходные данные

В работе использованы массивы среднемесячных значений температуры поверхности океана (ТПО) в северной части Тихого океана (1916–2013 гг.) и геопотенциальных высот на поверхности 1000 гПа в Северном полушарии (2014–2016 гг.). Данные по ТПО в узлах регулярной двухградусной сетки взяты из массива ERSST v.3b [Smith et al., 2008; HYPERLINK «<http://www.ncdc.noaa.gov/ersst>» www.ncdc.noaa.gov/ersst]. Кроме того, анализ термических условий в северо-западной части Тихого океана (СЗТО) за период 2014–2016 гг. проведен с использованием среднемесячных значений ТПО в узлах регулярной одноградусной сетки из массива NOAA OI v2 [Reynolds et al., 2002; HYPERLINK «<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>» www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html]. Данные по геопотенциальным высотам представляют собой результат глобального реанализа, проведенного Национальным центром прогнозов среды и Национальным центром атмосферных исследований США [Kalnay et al., 1996], и имеются в свободном доступе на сайте <http://www.esrl.noaa.gov>. Среднемесячные значения индекса ТДО взяты с сайта Лаборатории исследования систем земли по адресу: www.esrl.noaa.gov/ped/data/climateindices, а та-

ковые для индекса осцилляции северо-тихоокеанских круговоротов (ОСТК) — с сайта www.03d.org/nrgo/nrgo.php.

Временные ряды аномалий ТПО были рассчитаны относительно базового периода 1981–2010 гг.

Данные по уловам дальневосточных лососей за период 1911–1971 гг. приведены в работе Л.Б. Кляшторина и Б.П. Смирнова [Кляшторин, Смирнов, 1992]. Они учитывают японские уловы в современной российской ИЭЗ. Статистика уловов за период 1972–2015 гг. размещена на сайте Комиссии по Анадромным Рыбам Северной Части Тихого океана (НПАФК) по адресу: www.npafc.org.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Связь «лососевых эпох» с крупномасштабными процессами в Северной Пацифике. На протяжении последних 100 лет запасы дальневосточных лососей характеризовались значительной долговременной изменчивостью (рис. 1). Период их высокой численности в 1920-х–1940-х гг. сменился депрессией запасов в 1960-х–1970-х гг. С 1980-х гг. начался новый рост численности и биомассы лососей, и в 2009 г. их российский вылов достиг максимума в 540000 т. В 2012–2015 годы наблюдалось падение уловов. В 2015 г. они составили 366000 т, снизившись почти в 1,5 раза по сравнению с максимумом 2009 г. Однако в 2016 г. уловы лососей вновь возросли до 430 тыс. т.

В первую и вторую «лососевые эпохи» в СЭТО были выделены периоды роста и наиболее высокого уровня запасов лососей в 1916–1945 и 1982–2013 гг. Они совпали с резким повышением ТПО

в Северной Пацифике (рис. 2). Этот рисунок демонстрирует трендовую составляющую изменчивости среднегодовых АТПО в северной части Тихого океана от 20 до 65° с.ш. и соответствует второй главной компоненте (ГК2) поля температурных аномалий, объясняющей 14% его общей дисперсии. Различна интенсивность этих трендов: в 1916–1945 гг. резкая и быстрая, а в период 1982–2008 гг. — пологая, с постепенным ростом. Это связано с различными климатическими причинами.

На рис. 3 показаны распределения коэффициентов корреляции между общими уловами дальневосточных лососей и среднегодовыми АТПО в Северной Пацифике для двух периодов высоких запасов лососевых — 1916–1945 гг. и 1982–2013 гг. Как видно из рис. 3,а, рост запасов лососей в 1916–1945 гг. был связан с потеплением поверхностных вод в восточной части океана, которое распространялось на запад вдоль Алеутских островов вплоть до побережья Камчатки и восточной части Охотского моря, охватывая районы обитания лососей на всех стадиях их морского периода жизни. Потепление восточной части Северной Пацифики — характерная особенность положительной фазы ТДО. Действительно, рассматриваемый период характеризовался развитием положительной фазы ТДО, которая окончательно установилась в начале 1920-х гг. и закончилась в 1945 г. Корреляционное поле на рис. 3,а обладает значительным сходством с ЭОФЗ АТПО в Северной Пацифике, связанной с усилением воздействия устойчивого гребня субтропического антициклона на зал. Аляска. Этот гребень формируется под воздействием западного

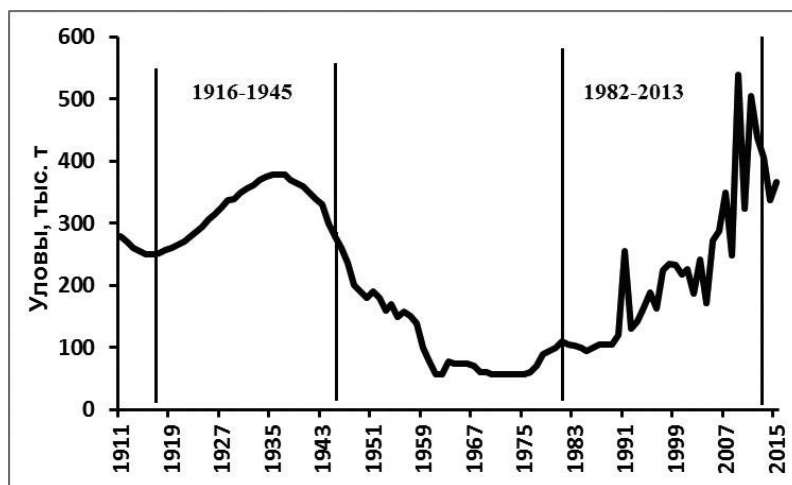


Рис. 1. Динамика общих уловов дальневосточных лососей в 1911–2015 гг. Вертикальными линиями обозначены границы периодов роста и высокого уровня запасов лососей

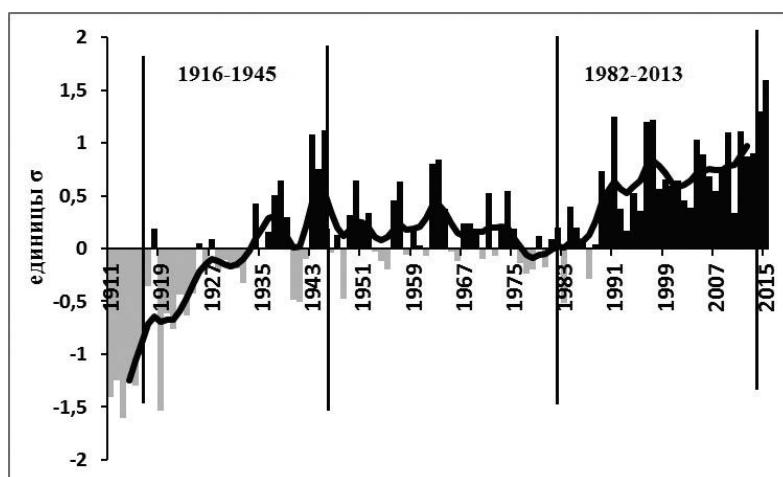


Рис. 2. Трендовая составляющая изменчивости поля среднегодовых АТПО в Северной Пацифике (1911–2015 гг.). Вертикальными линиями обозначены границы периодов роста и высокого уровня запасов лососей

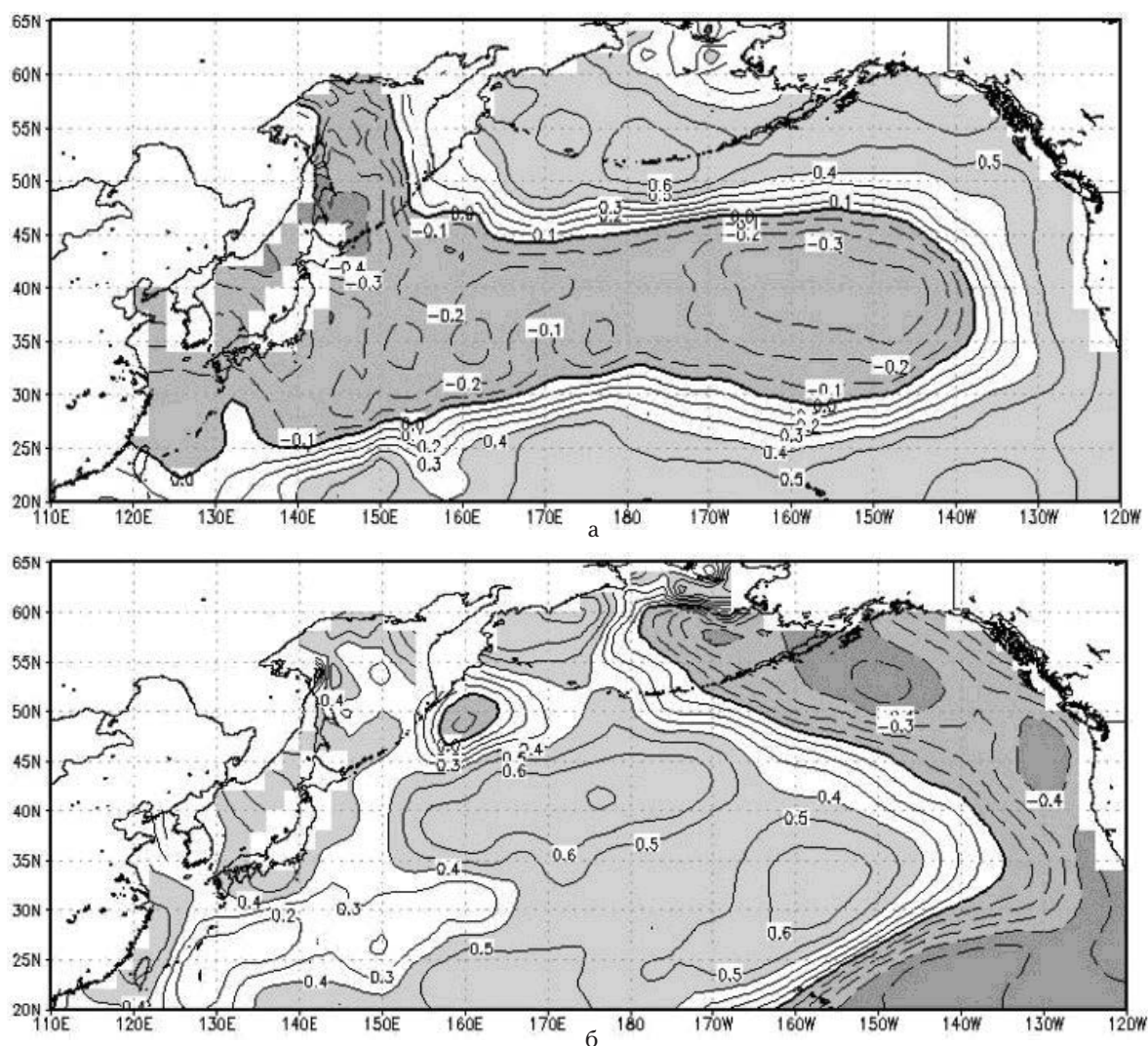


Рис. 3. Распределение коэффициентов корреляции между общими уловами дальневосточных лососей и среднегодовыми АТПО в Северной Пацифике для периодов 1916–1945 гг. (а) и 1982–2013 гг. (б)

тропического очага тёплых вод [Seager, Hoerling, 2014; Wang et al., 2014].

Второй период роста запасов и, соответственно, уловов дальневосточных лососей (1982–2013 гг.), напротив, совпал с резким потеплением вод в западной и центральной частях океана (рис. 3,б). Это потепление стало следствием установления нового климатического режима в северной части Тихого океана в конце 1980-х гг., который сопровождался смещением «центра тяжести» климатической изменчивости из его восточной половины в западную.

Полученные результаты подтверждаются характером распределения величин линейных трендов среднегодовых АТПО на акватории Северной Пацифики для двух рассматриваемых периодов (рис. 4). Сравнение основных пространственных особенностей соответствующих полей, приведённых

на рис. 3 и 4, свидетельствует об их значительном сходстве. Таким образом, оба периода роста запасов дальневосточных лососей за последние 100 лет тесно связаны с резким усилением тенденции к потеплению поверхностных вод в северной части Тихого океана. Однако климатические механизмы потепления и, соответственно, районы его максимального проявления были различны. В первом случае формирование благоприятных условий для воспроизводства азиатских лососей было связано с установлением положительной фазы ТДО и, соответственно, потеплением поверхностных вод в СВТО, распространявшимся в северо-западную часть Тихого океана. Вполне вероятно, что это потепление было обусловлено меридиональным сдвигом субтропического антициклона и усилением его влияния на северо-восток океана. Во втором случае рост за-

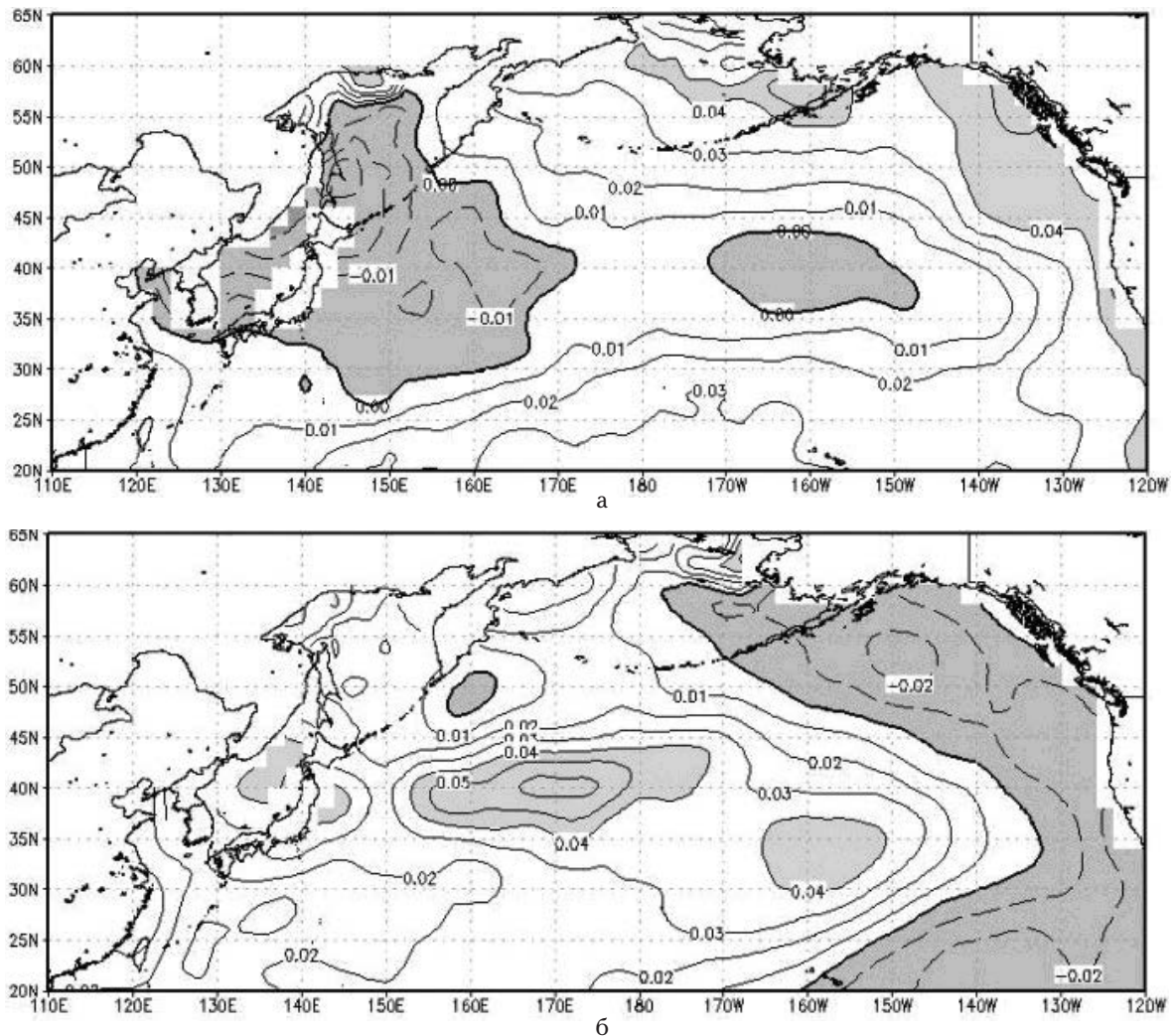


Рис. 4. Распределение величин линейных трендов ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) среднегодовых АТПО в Северной Пацифике для периодов 1916–1945 (а) и 1982–2013 гг. (б)

пасов азиатских лососей определялся сменой ведущей климатической моды в Северной Пацифике. Если до середины 1980-х гг. климатические условия в океане формировались под воздействием Алеутского минимума и ТДО, то со второй половины 1980-х гг. ведущую роль в изменчивости АТПО в океане стали играть северо-тихоокеанское колебание и связанная с ним западно-тихоокеанская дальняя связь в средней тропосфере (СТО/ЗТ) [Yeh et al., 2011]. На потепление вод в СЗТО в 1982–2013 гг. большое влияние оказал также меридиональный сдвиг системы течений «Продолжение Куро-Ойясио» к северу. Особенно интенсивным он был в 2000-х гг. [Frankignoul et al., 2011].

Вместе с тем, связь запасов лососей в период их снижения (1946–1981 гг.) с изменениями АТПО не столь однозначна. Прежде всего, следует отметить, что после пика 1945 г. средний уровень колебаний АТПО, связанных с ГК2 (трендовая составляющая), понизился, но, в целом, оставался положительным на протяжении большей части рассматриваемого периода, свидетельствуя о продолжении потепления, но менее интенсивном (см. рис. 2). Лишь во второй половине 1970-х гг. наблюдались слабые отрицательные значения ГК2.

Отмеченные выше особенности изменчивости АТПО в Северной Пацифике в 1946–1981 гг. подтверждаются распределением величин линейных трендов (рис. 5). В восточной части океана наблюдалось очень слабое потепление (до $0,01^{\circ}\text{C}/\text{год}$). Более интенсивный рост поверхностной температуры воды отмечался в Японском и Охотском морях,

с максимумом до $0,05^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в районе Южных Курил. В то же время, в обширном районе центральной части океана в 1946–1981 гг. происходило похолодание вод.

Динамику общих уловов дальневосточных лососей в период с 1946 по 2015 г. демонстрирует рис. 6. Как видно, тенденция к их росту наметилась ещё в первой половине 1970-х гг. Это, возможно, произошло вследствие отмеченных выше положительных тенденций в изменении АТПО в северо-западной части Тихого океана (см. рис. 5), а также постепенного ослабления отрицательной фазы ТДО и установления её положительной фазы в зимний период 1976–1977 гг. Таким образом, увеличение запасов лососей началось по сценарию, схожему с периодом 1916–1945 гг. Однако в дальнейшем произошла коренная перестройка климатической системы Северной Пацифики, закончившаяся установлением нового климатического режима в конце 1980-х гг. Как отмечалось выше, он сопровождался усилением роли СТО/ЗТ, смещением «центра тяжести» климатической изменчивости в западную половину океана и потеплением её поверхностных вод, что, в конечном итоге, привело к резкому росту запасов и, как следствие, уловов дальневосточных лососей. При этом с 2007 г. в СВТО установилась отрицательная фаза ТДО, которая просуществовала до зимы 2014 г., т.е. всего 7 лет, а не 20–25 лет, как это было раньше.

Современные изменения запасов горбуши. На протяжении последних 5 лет наблюдались значительные колебания в величине запасов основ-

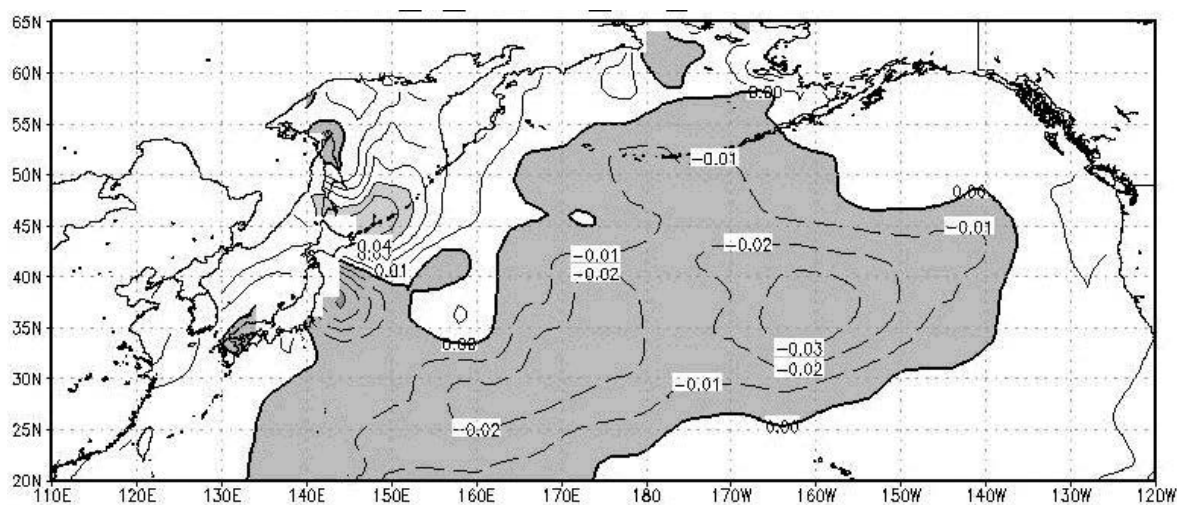


Рис. 5. Распределение величин линейных трендов ($^{\circ}\text{C}/\text{год}$) среднегодовых АТПО в Северной Пацифике в период 1946–1981 гг.

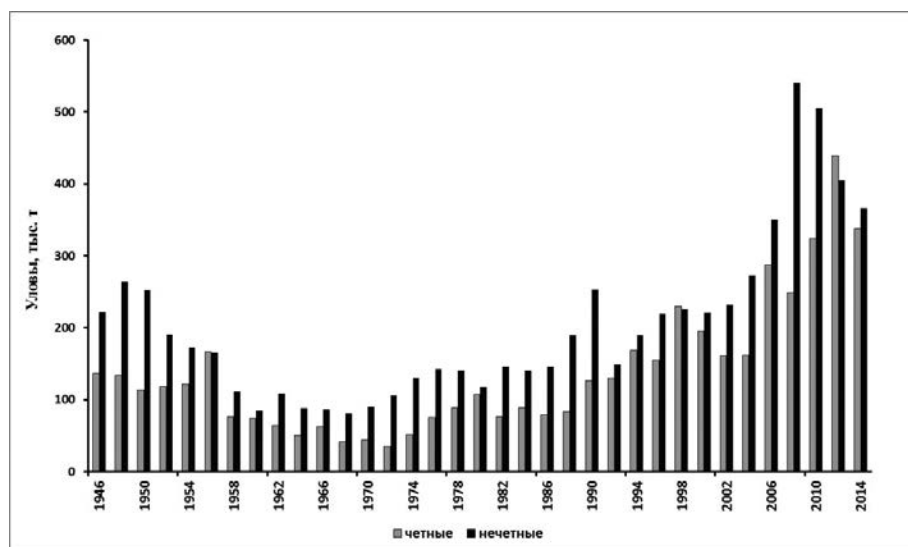


Рис. 6. Динамика уловов дальневосточных лососей в 1946–2015 гг.

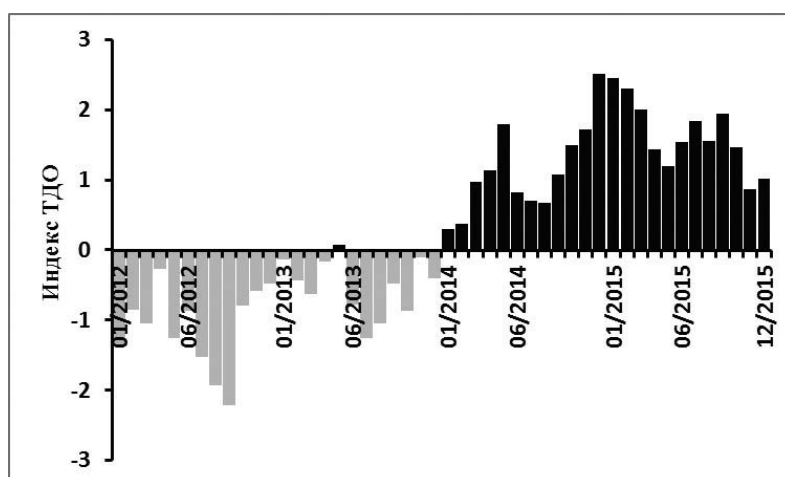
ных промысловых стад азиатской горбуши. После пика вылова восточно-камчатской горбуши в 182 тыс. т в 2011 г., а западно-камчатской горбуши — в 165 тыс. т в 2012 г., их уловы существенно снизились, соответственно, до 37 тыс. т в 2013 г. и 8,2 тыс. т в 2014 г. В 2015 г. улов восточно-камчатской горбуши увеличился более чем в 2 раза, и составил 89 тыс. т, а западно-камчатской горбуши в 2016 г. — в 9 раз (75 тыс. т по состоянию на 5 октября 2016 г.). В 2016 г. наблюдался резкий рост вылова четной линии восточно-камчатской горбуши (69 тыс. т по состоянию на 5 октября 2016 г.). В период с 2011 по 2015 г. отмечалось четырёхкратное падение уловов нечётных поколений горбуши Восточного Сахалина, а вылов чётных поколений горбуши Южных Курил после 2012 г. снизился в 5–6 раз. Однако вылов горбуши у Южных Курил возрос до 13,5 тыс. т. (по состоянию на 5 октября 2016 г.), в 3 раза больше чем в 2014 г.

Можно предположить, что резкие изменения в состоянии запасов азиатской горбуши связаны с влиянием климато-океанологических факторов на выживаемость её поколений на различных стадиях морского периода жизни. Хорошим индикатором климатических процессов в Северной Пацифике и дальневосточных морях России является ТПО и её аномалии.

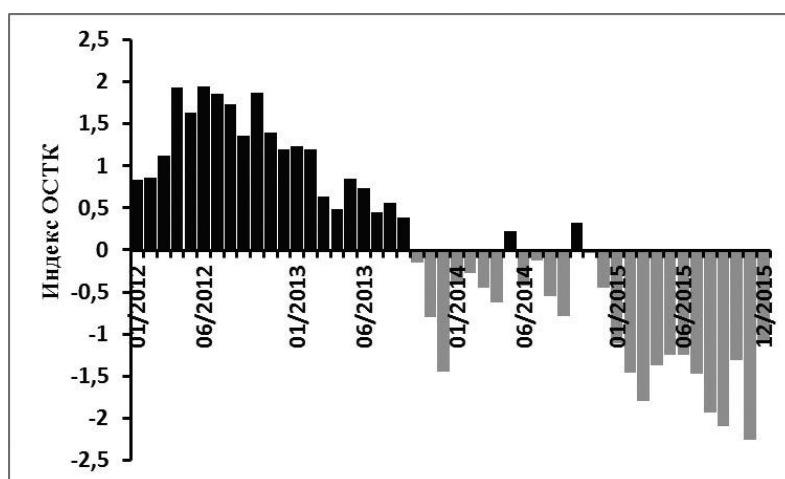
После установления в 2007 г. отрицательной фазы ТДО «центр тяжести» климатической изменчивости в Северной Пацифике сместился из её западной половины в восточную, которая стала определять состояние климатической системы всего се-

веротихоокеанского региона. Стабильность её функционирования, характерная для периода 2007–2013 гг., нарушилась в январе 2014 г. после довольно неожиданной смены фазы ТДО с отрицательной на положительную. Положительные значения индекса тихоокеанской декадной осцилляции сохраняются до настоящего времени (рис. 7, а). Установление положительной фазы ТДО стало результатом необычайно сильного потепления вод вдоль западного побережья североамериканского континента, начавшегося осенью 2013 г. В зимне-весенние периоды 2014–2015 гг. положительные АТПО здесь достигали 2,5–2,8 °С. Это аномально резкое потепление поверхностных вод во внетропических широтах восточной части Северной Пацифики получило английское название «The Blob» («пятно») [Bond et al., 2015; Hartmann, 2015; Petersen et al., 2015 a, b; 2016 a, b]. Зимой 2016 г. интенсивность «пятна» снизилась, и значения аномалий ТПО на востоке океана не превышали 1,0 °С. Однако в сентябре 2016 г. средняя АТПО в области вновь возросла, достигнув 2,0 °С. Основные причины формирования теплого 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 вод вследствие формирования необычайно сильного и устойчивого антициклона у западного побережья США и Канады и над заливом Аляска [Bond et al., 2015].

Потеплению вод в восточной части Северной Пацифики способствовало также ослабление цир-



а



б

Рис. 7. Изменения среднемесячных значений индексов ТДО (а) и ОСТК (б) в период 2012–2015 гг.

куляции вод как в пределах субарктического, так и субтропического океанических круговоротов, о чём свидетельствует преобладание отрицательных значений индекса осцилляции северо-тихоокеанских круговоротов (ОСТК) с октября–ноября 2013 г. (рис. 7,б).

Следует отметить, что термическое состояние вод в северо-западной части Тихого океана в зимние сезоны 2012–2014 гг. характеризовалось развитием отрицательных АТПО на обширной акватории к северу, востоку и юго-востоку от Японских островов, охватывая также восточную половину Охотского моря и районы к востоку от Камчатки. Их максимальные абсолютные величины достигали 1,4–1,6 °С. Эти отрицательные температурные аномалии сохранялись не только до конца весеннего сезона (рис. 8), но и вплоть до начала третьей декады июня, создавая неблагоприятные условия существования для молоди горбуши в ранний морской период её жизни.

В 2015 г. ситуация на северо-западе Тихого океана коренным образом изменилась. Постепенное распространение положительных АТПО из зал. Аляска и восточной части Берингова моря на запад, к побережью Камчатки и Чукотки, а затем на юг, вдоль западной периферии субарктического круговорота, обусловило тот факт, что уже в мае 2015 г. в районах к востоку и северу от Японских островов теплосодержание поверхностных вод было выше нормы (рис. 9). Таким образом, потепление вод, начавшееся на востоке океана в конце 2013 г., достигло СЗТО к маю 2015 г.

На рис. 10 приведены карты АТПО в северной части Тихого океана для зимних сезонов 2014–2016 гг. Термические условия зимовки во все годы оказались схожими и определялись аномальным потеплением вод на северо-востоке океана, влияние которого распространялась на район южнее Алеутских островов, где значения температурных

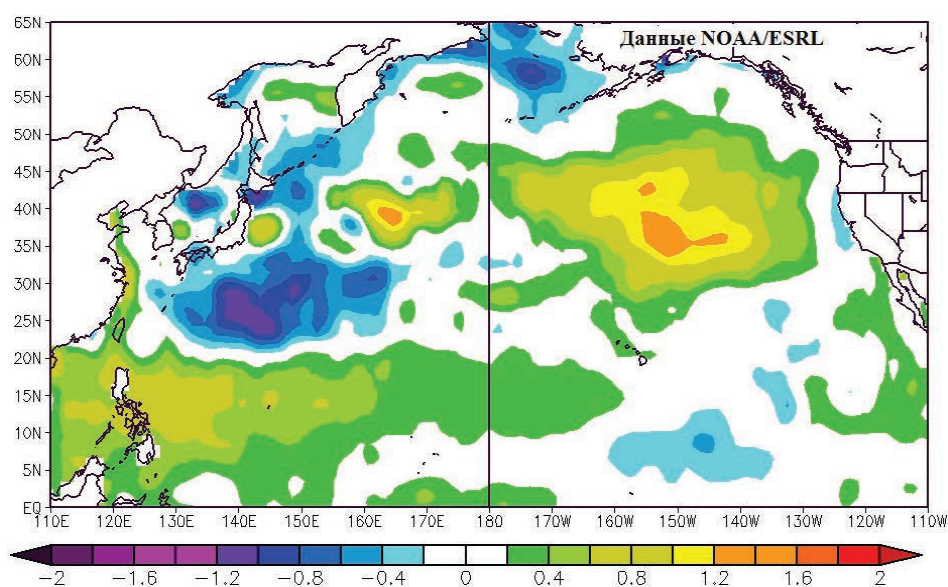


Рис. 8. Распределение АТПО в Северной Пацифике в апреле—мае 2012—2014 гг.

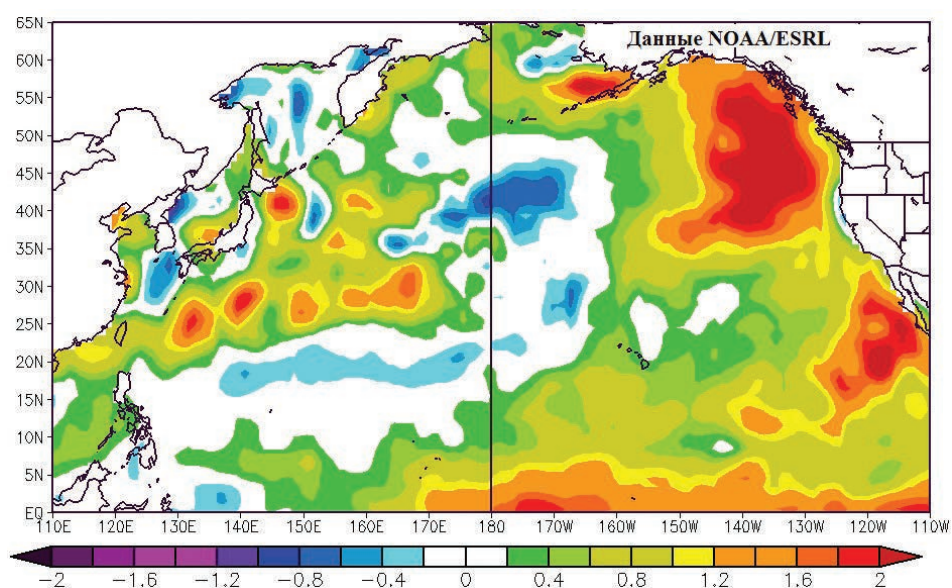


Рис. 9. Распределение АТПО в Северной Пацифике в мае 2015 г.

аномалий составляли $0,4\text{--}0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, выживаемость горбуши в период зимовки 2014—2016 гг. должна была оставаться на одном и том же уровне.

Распределение АТПО в дальневосточных морях России и прилегающих районах океана в мае и июне 2014—2016 гг., т.е. после ската молоди горбуши в море демонстрирует рис. 11. Июньские температурные аномалии 2014—2016 гг., т.е. в период, когда происходит основной скат молоди западно-камчатской и восточно-камчатской горбуши из нерестовых рек, как у северо-восточного, так и за-

падного побережья полуострова характеризовались положительными значениями (рис. 11, г-е). Это создавало благоприятные условия для выживаемости молоди в ранний морской период её жизненного цикла и, в конечном итоге, отразилось в росте уловов камчатских стад горбуши через год.

У побережья Восточного Сахалина термические условия в мае и июне 2014—2016 гг. характеризовались большей межгодовой изменчивостью и пространственной неоднородностью по сравнению с районом полуострова Камчатка. В 2014 г. от мая к июню наблюдалось значительное усиление положитель-

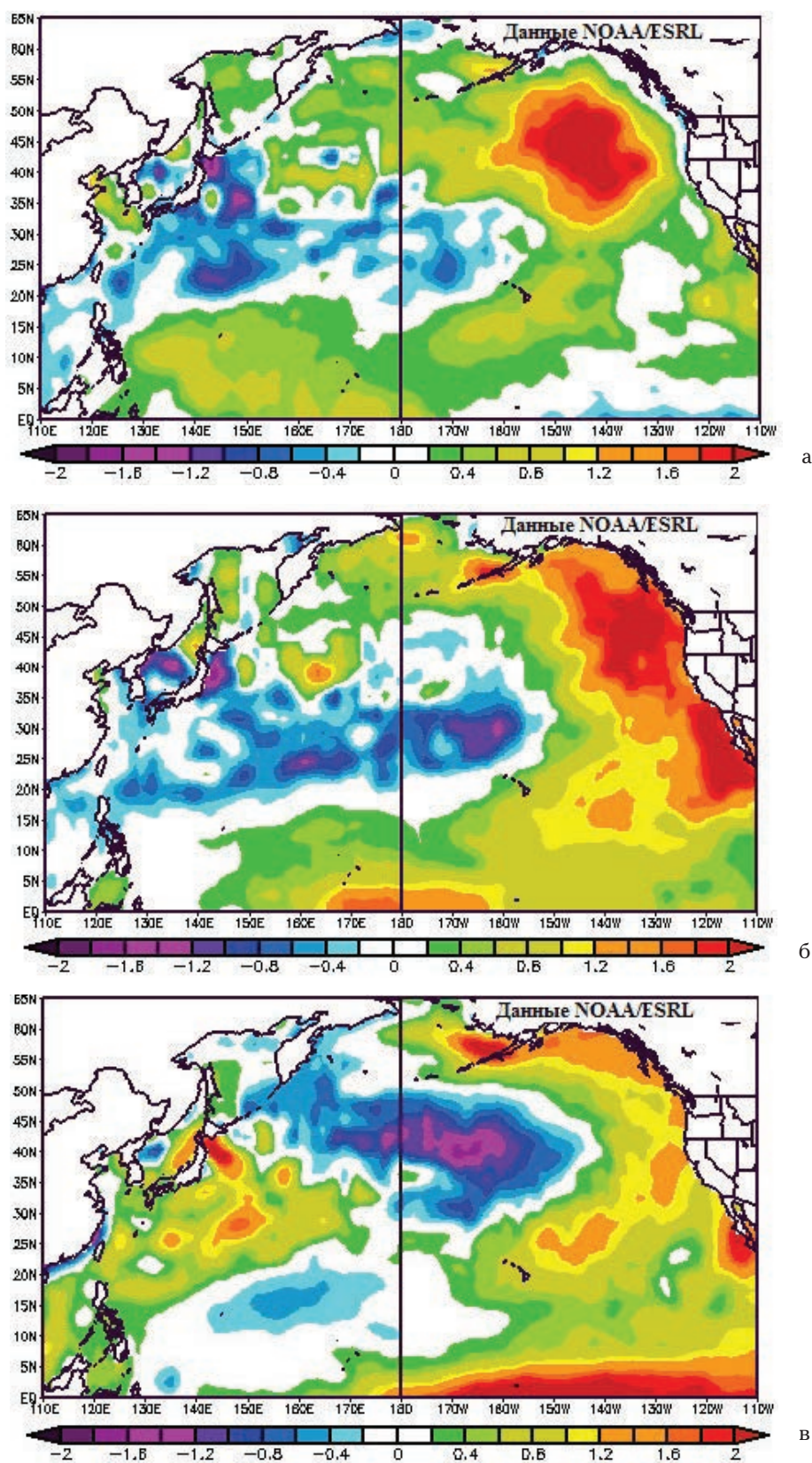
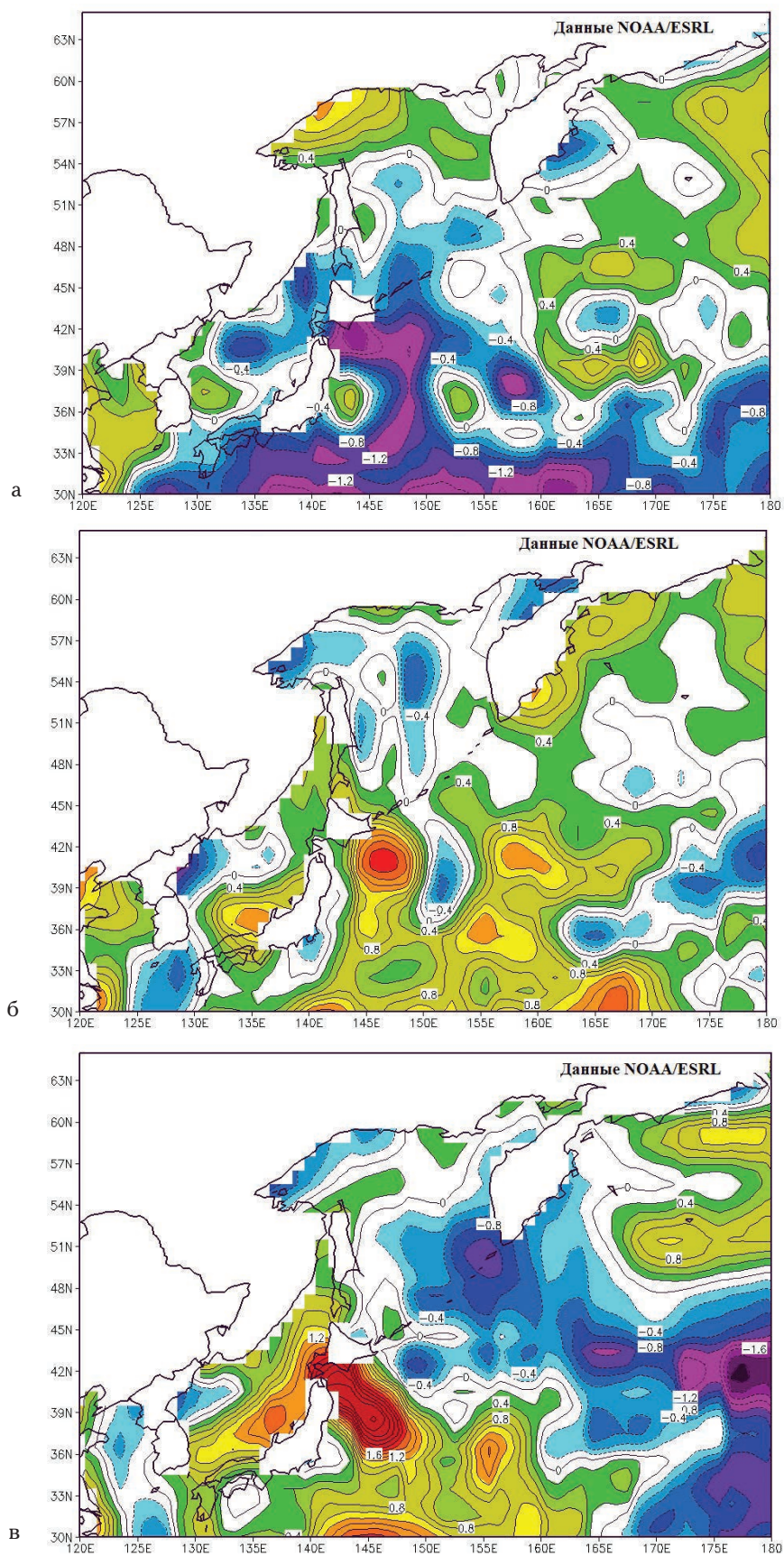


Рис. 10. Распределение АТПО в Северной Пацифике в зимние (январь–апрель) сезоны 2014 г. (а), 2015 г. (б) и 2016 г. (в)



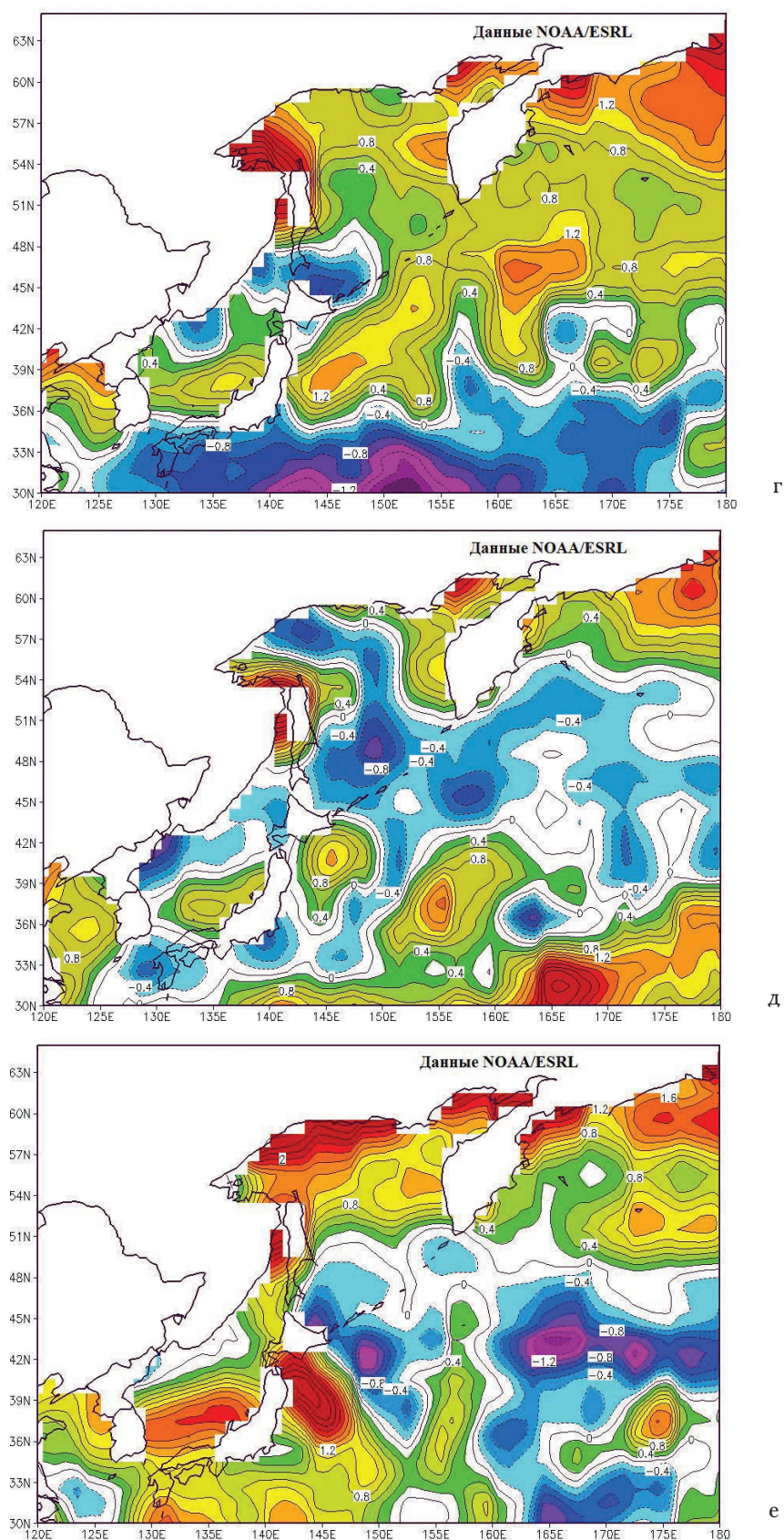


Рис. 11. Распределение АТПО в северо-западной части Тихого океана в мае (а–в) и июне (г–е) 2014–2016 гг.

ных АТПО, в то время как в заливе Анива, наоборот, отмечалась интенсификация отрицательных температурных аномалий, создавая неблагоприятные условия выживания для скатившейся в залив молоди (рис. 11,а; з). Схожая ситуация наблюдалась и в 2015 г. (рис. 11,б; д). Возможно, это, в конечном итоге, стало основной причиной роста уловов горбуши у северо-восточного побережья Сахалина в последние годы. В мае—июне 2016 г. максимальные положительные АТПО вновь отмечались в водах у северо-восточных берегов Сахалина (рис. 11,в; е).

В районе Южных Курильских островов от конца весеннего к началу летнего сезонов 2014—2016 гг. наблюдалось усиление похолодания поверхностных вод, что могло неблагоприятно сказаться на выживании молоди южно-курильской горбуши. Вероят-

но, это стало основной причиной её низких уловов в 2015 г. Однако вылов горбуши в 2016 г. превзошел прогноз и составил 13,5 тыс. т (на 5 октября 2016 г.), что в 3 раза больше улова в 2014 г.

Анализ температурных данных за май—июнь 2014—2016 гг. свидетельствует о различном пространственном масштабе климатических процессов, влияющих на воспроизводство горбуши, которая скатывается в прибрежные воды Камчатки и южную часть Охотского моря. Термическое состояние прикамчатских вод в 2014—2016 гг. в значительной мере определялось процессами, которые происходили на северо-востоке Северной Пацифики. В то же время, ярко выраженная пространственная неоднородность распределения АТПО в южной части Охотского моря обусловлена сложной динамикой вод, с наличием довольно устойчивых вихре-

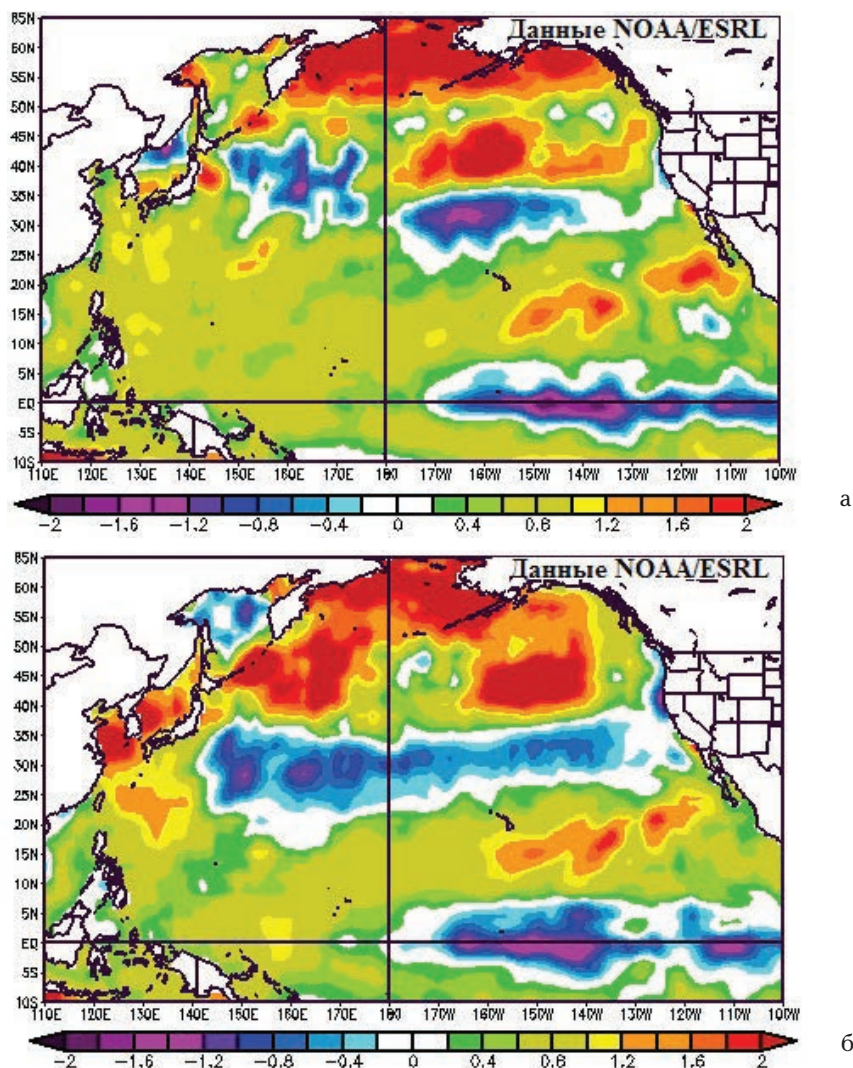


Рис. 12. Распределение АТПО в Северной Пацифике в июле (а) и августе (б) 2016 г.

вых образований, т.е. изменчивость температуры на поверхности моря от года к году имеет более локальный характер по сравнению с районом Камчатки.

Следует отметить, что летний сезон 2016 г. характеризовался необычайно сильным потеплением поверхностных вод Берингова моря. Оно началось в конце весны в юго-восточной части моря, а в июле 2016 г. охватило всю его акваторию (рис. 12,а). Максимальные положительные АТПО достигали 2,5–3,0 °С. Меньшие по величинам температурные аномалии (до 0,8–1,0 °С) в июле 2016 г. отмечались и на акватории Охотского моря.

Аномальное потепление поверхностных вод Берингова моря было в значительной степени связано с формированием обширного антициклона над его акваторией (рис. 13,а). Связанная с ним маловетренная и безоблачная погода обусловила хороший

радиационный прогрев поверхности моря. Следует отметить, что в июле 2016 г. аномалии температуры воздуха на Камчатке и северо-востоке Евразии достигали 4–8 °С. Высокая температура воздуха, в сочетании с малым количеством атмосферных осадков способствовали обмелению нерестовых рек для лососей, что может сказаться на их воспроизводстве.

В августе 2016 г. фактически произошло раздвоение области высокого атмосферного давления над северной частью северотихоокеанского региона (рис. 13,б). Её западный центр сместился на юг до 40–45° с.ш. В результате, область потепления поверхностных вод продвинулась в южном направлении и охватила район к востоку от Курильских островов, где значения АТПО в августе превышали 2,0–2,3 °С (см. рис. 12,б). В то же время,

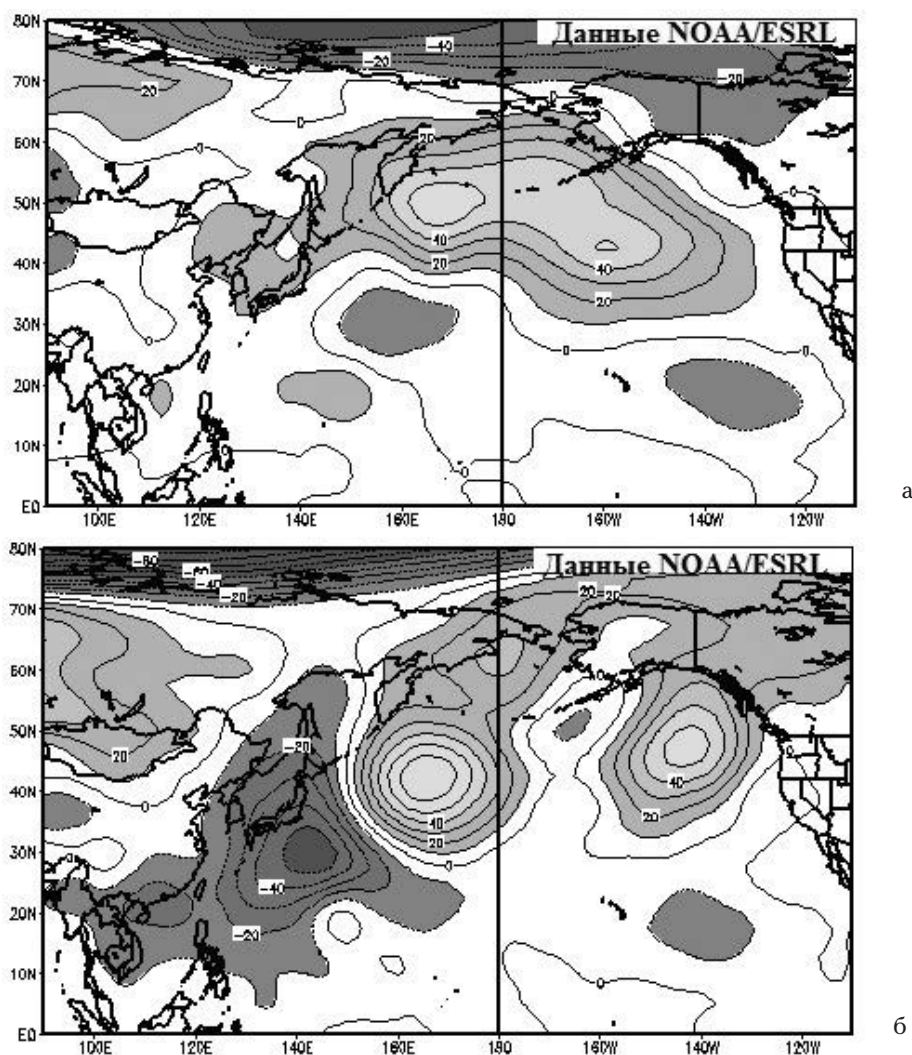


Рис. 13. Распределение аномалий геопотенциальных высот поверхности 1000 гПа (м) над Северной Пацификой в июле (а) и августе (б) 2016 г.

западный центр высокого атмосферного давления блокировал выход южных циклонов в открытые районы океана и обусловил их смещение в меридиональном направлении на Японское море, западную и центральную части Охотского моря. В сочетании с аномальным северным атмосферным переносом вдоль восточной периферии восточносибирского антициклона это привело к развитию отрицательных АТПО (до минус $0,5^{\circ}\text{C}$) в августе 2016 г. на большей части акватории Охотского моря (см. рис. 12,б).

В целом, характер распределения АТПО на севере северо-тихоокеанского региона в 2015–2016 гг. в значительной степени схож с их распределением в период «лососевой эпохи» первой половины XX в. Это позволяет предположить, что современный период высокой численности дальневосточных лососей еще не закончился, несмотря на падение уловов в 2012–2015 гг. В настоящее время сложно судить о времени его окончания. Это зависит от того, как долго сохранится аномально теплое термическое состояние поверхностных вод на северо-востоке океана, которое оказывает тепляющее влияние на западную часть Берингова моря и район к югу от Камчатки. Интенсивность начавшегося в июле 2016 г. явления Ла-Нинья, которое, как правило, сопровождается похолоданием вод на востоке Северной Пацифики, а через несколько месяцев проявляется в северо-западной части Тихого океана, остаётся слабым. При этом следует учитывать, что положительные термические аномалии в районе «пятна» распространились до глубины 300 м. Учитывая тепловую инерцию океана, можно предположить, что такой большой объём тепловой воды вряд ли быстро исчезнет. Поэтому повышенный тепловой фон в северной части океана и Беринговом море сохранится, по крайней мере, до середины 2017 г. Для уточнения времени окончания современных аномальных климатических условий в северной части Северной Пацифики необходим мониторинг развития явления Ла-Нинья и анализ циркуляции атмосферы в пределах всего Северного полушария, начиная с зимнего сезона 2016–2017 г.

О времени начала «лососевой эпохи» в первой половине XXI в. На рис. 14 показаны изменения среднемесячных значений АТПО на акватории Северной Пацифики ($0\text{--}65^{\circ}$ с.ш., 100° в.д. — 100° з.д.), сглаженных 121-месячным скользящим осреднением на основе данных с января 1864 г. по май 2016 г. Исходные данные взя-

ты из массива HadISST1 [Rayner et al., 2003; www.metoffice.gov.uk/].

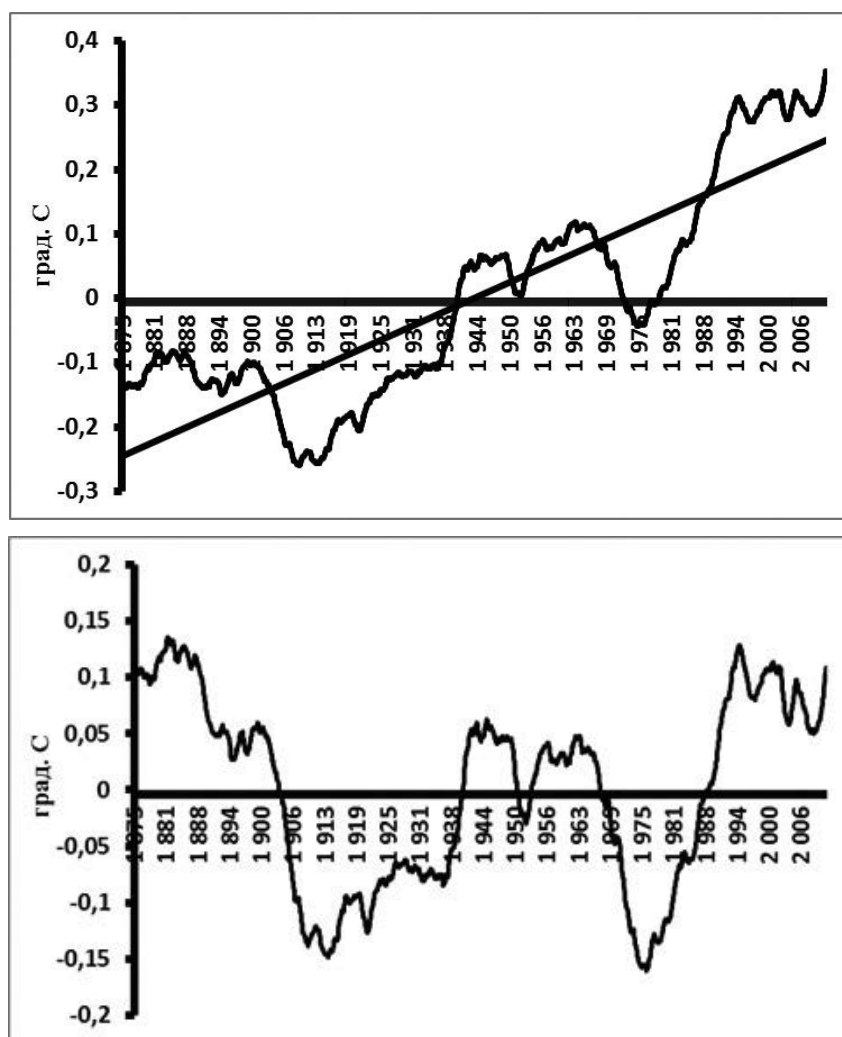
Анализ изменчивости аномалий ТПО, представленных на рис. 14,а, показывает, что в одни последовательные десятилетия их колебания происходили выше линии тренда, а в другие — ниже, что свидетельствует о наличии так называемой многодекадной изменчивости на фоне общей длительной тенденции к потеплению поверхностных вод. Такие многодекадные колебания с периодом около 60–65 лет хорошо известны в Северной Атлантике, получив название «Атлантическая многодекадная осцилляция». Аналогичные колебания обнаруживаются и в Северной Пацифике, если из исходных данных удалить линейный тренд (см. рис. 14,б).

Как видно из рис. 14,б, минимумы поверхностной температуры воды наблюдались в 1913–1915 гг. и 1974–1976 гг., а максимумы — в 1944–1946 гг. и в середине 1990-х гг. Однако, если судить по исходным (несглаженным) данным, то последний максимум АТПО в Северной Пацифике наблюдался во второй половине первого десятилетия XXI в. (рисунок не приведен). Таким образом, период многодекадных колебаний АТПО в Северной Пацифике составляет около 60 лет. Если описанная закономерность в изменениях АТПО в Северной Пацифике сохранится в ближайшие десятилетия, то следующего температурного минимума и, соответственно, начала очередной «лососевой эпохи» следует ожидать примерно в середине 2030-х гг. При этом следует учитывать, что на фоне наблюдаемого глобального тренда к потеплению снижение запасов лососей между современной и последующей «лососевыми эпохами» может оказаться не столь заметным, как в 1960-е гг.

Выводы

1. Формирование «лососевых эпох» в дальневосточном регионе связано с общим потеплением поверхностных вод в северной части Тихого океана. На основе анализа климатических данных и данных по уловам дальневосточных лососей выявлено два типа крупномасштабной климатической изменчивости, обуславливающей создание благоприятных условий для роста запасов лососей.

2. «Лососевая эпоха» первой половины XX в. была связана с установлением положительной фазы ТДО и, соответственно, потеплением поверхностных вод в северо-восточной части океана, распространявшимся на северо-западную часть Тихого океа-



а

б

Рис. 14. Изменения среднемесячных АТПО в Северной Пацифике, сглаженных 121-месячным скользящим осреднением по данным с января 1864 г. по май 2016 г.: фактические данные (а) и после удаления линейного тренда (б)

на, охватывая районы обитания лососей на всех стадиях их морского периода жизни. Благоприятные условия для роста запасов азиатских лососей с конца 1980-х гг., напротив, сформировались вследствие резкого потепления поверхностных вод в западной половине океана. Это потепление было обусловлено установлением нового климатического режима в северной части Тихого океана в конце 1980-х гг., который сопровождался усилением роли северо-тихоокеанского колебания и смещением «центра тяжести» климатической изменчивости из восточной половины Северной Пацифики в западную.

3. Начальная фаза завершения последней «лососевой эпохи» совпала с резким похолоданием поверхностных вод в северо-западной части Тихого океана в 2012–2014 гг., что обусловило снижение

уловов лососей в 2012–2015 гг. Однако осенью 2013 г. началось резкое потепление вод в северо-восточной части океана (до 3–4 °С), которое продолжилось и в 2014–2016 гг. Адвекция этого тепла на запад в пределы СЭТО создала благоприятные условия для выживания лососей поколения 2014 г. у Западной и Восточной Камчатки, амурских лососей и в меньшей степени горбуши Восточного Сахалина и Южных Курил. В результате в 2016 г. уловы лососей на Дальнем Востоке резко возросли по сравнению с 2015 г. В целом, характер распределения АТПО на севере северо-тихоокеанского региона в 2015–2016 гг. в значительной степени схож с их распределением в период «лососевой эпохи» первой половины XX в. Это позволяет предположить, что современный период высокой чис-

ленности дальневосточных лососей еще не закончился, несмотря на падение уловов в 2012—2015 гг. Такие условия могут сохраниться в 2017 г.

4. Время окончания современной «лососевой эпохи» остается неопределенным и зависит от того, как долго сохранятся аномально теплое термическое состояние поверхностных вод на северо-востоке океана, которое оказывает отепляющее влияние на западную часть Берингова моря и район к югу от Камчатки. Для уточнения времени окончания современных аномальных климатических условий в северной части Северной Пацифики необходим мониторинг развития явления Ла-Нинья, начавшегося в июле 2016 г., и анализ циркуляции атмосферы в пределах всего Северного полушария, начиная с зимнего сезона 2016—2017 г.

5. Начала очередной «лососевой эпохи» следует ожидать в 2030-х гг. При этом следует учитывать, что на фоне наблюдаемого глобального тренда к потеплению снижение запасов лососей между современной и последующей «лососевыми эпохами» может оказаться не столь заметным, как в 1960-е годы.

ЛИТЕРАТУРА

- Бугаев А.В., Тепнин О.Б. 2015. Продуктивность тихоокеанских лососей: влияние термических условий вод в период первой зимы в бассейне Северной Пацифики // Труды ВНИРО. Т. 158. С. 89—111.
- Кляшторин Л.Б., Смирнов Б.П. 1992. Тихоокеанские лососи: состояние запасов и воспроизводство // Рыбн. хоз-во. сер. Аквакультура: Обзорная информация/ВНИЭРХ. Вып. 2. 36 с.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: ВНИРО. 235 с.
- Котенёв Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. 2015. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши // Труды ВНИРО. Т. 158. С. 143—161.
- Моисеев П.А. 1964. Рыболовство Японии. М.: Изд-во «Пищевая промышленность». 200 с.
- Радченко В.И. 2008. О корреляции российского вылова горбуши с динамикой теплового баланса Мирового океана. Бюллетень № 3 реализации «Концепции дальневосточной программы изучения тихоокеанских лососей». ФГУП «ТИНРО-Центр». Владивосток. С. 230—235.
- Радченко В.И., Рассадников О.А. 1997. Тенденции многолетней динамики запасов азиатских лососей и определяющие её факторы // Изв. ТИНРО-Центра. Т. 122. С. 72—92.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-Центр. 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: монография Т. 2. Владивосток: ТИНРО-Центр. 473 с.
- Beamish R. J., Bouillon D.R. 1993. Pacific salmon production trends in relation to climate // Can. J. of Fish and Aquat. Sci. V. 50. P. 1002—1016.
- Bond N.A., Cronin M.F., Freeland H., Mantua N. 2015. Causes and Impacts of the 2014 Warm Anomaly in the NE Pacific // Geophys. Res. Lett. V. 42. Issue 9. P. 3414—3420.
- Francis R.S., Hare S.R., Hollowed A.B., Wooster W.S. 1998. Effects of interdecadal climate variability on the oceanic ecosystems of the NE Pacific // Fisheries Oceanography. V. 7. P. 121.
- Frankignoul C., Sennechal N., Kwon Y., Alexander M.A. 2011. Influence of the Meridional Shifts of the Kuroshio and the Oyashio Extensions on the Atmospheric Circulation // J. of Climate. V. 24. P. 762—777.
- Hartmann D.L. 2015. Pacific sea surface temperature and the winter of 2014. Geophys. Res. Lett. V. 43. doi: 10.1002/2015GL063083
- Irvine J.R., Fukuwaka M.A. 2011. Pacific salmon abundance trends and climate change // ICES Journal of Marine Science. V. 68. №. 6. P. 1122—1130.
- Kaeriyama M., Seo H., Kudo H. 2009. Trends in run size and carrying capacity of Pacific salmon in the North Pacific Ocean // INPFC. Bull. № 5. P. 293—302.
- Kalnay E. et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. V. 77. P. 437—470.
- Klyashtorin L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting // FAO Fish Techn. Paper. № 410. 86 p.
- Mantua J.N., Hare S.R., Zhang Y., Wallace J.M., Francis R.C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impact on salmon production // Bull. Am. Meteorol. Soc. V. 78. P. 1069—1079.
- Peterson W., Robert M., Bond N. 2015 a. The warm blob — Conditions in the northeastern Pacific Ocean // PICES Press. North Pacific Marine Science Organization. V. 23. № 1. P. 36—38.
- Peterson W., Robert M., Bond N. 2015 b. The warm Blob continues to dominate the ecosystem of the northern California Current // PICES Press. North Pacific Marine Science Organization. V. 23. № 2. P. 44—46.
- Peterson W., Bond N., Robert M. 2016 a. The Blob (Part Three): Going, going, gone? // PICES Press. North Pacific Marine Science Organization. V. 24. № 1. P. 46—48.
- Peterson W., Bond N., Robert M. 2016 b. The Blob is gone but has morphed into a strongly positive PDO/SST pattern // PICES Press. North Pacific Marine Science Organization. V. 24. № 2. P. 46—47.
- Radchenko V.I. Temnykh, O.S., Lapko V. 2007. Trends in Abundance and Biological Characteristics of Pink Salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the North Pacific Ocean. North Pacific Anadromous Fish Commission, Bulletin № 4. P. 7—21.

- Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C., Kaplan A. 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* V. 108. №. D14, 4407, doi:10.1029/2002JD002670
- Reynolds R.W., Rayner N.A., Smith T.M., Stokes D.C., Wang W. 2002. An improved in situ and satellite analysis for climate // *J. of Climate.* V. 15. P. 1609–1625.
- Ruggerone G.T., Peterman R.M., Dorner B., Myers K.W. 2010. Magnitude and Trends in Abundance of Hatchery and Wild Pink Salmon, Chum Salmon, and Sockeye Salmon in the North Pacific Ocean // *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science* 2: P. 306–328.
- Seager R., Hoerling M., Schubert S., Wang H., Lyon B., Kumar A., Nakamura J., Henderson N. 2014. Causes and predictability of the 2011 to 2014 California Drought. Assessment Report from Modeling, Analysis, Predictions and Projections (MAPP) Program of the NOAA/OAR Climate Program Office. Available via: <http://cpo.noaa.gov/MAPP/californiadroughtreport>. 18.08.2016
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. 2008. Improvement to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006) // *J. Climate.* V. 21. P. 2283–2296.
- Stachura M.M., Mantua N.J., Scheuerell M.D. 2014. Oceanographic influences on patterns in North Pacific salmon abundance // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 71. P. 226–235.
- Tisdale B. 2015. On global Warming and the Illusion of Control. 733 p. Accessible via: <https://bobtisdale.fales.wordpress.com>. 15.09.2016
- Wang S., Huang J., He Y., Guan Y. 2014. Combined effects of the Pacific Decadal Oscillation and El Niño-Southern Oscillation on Global Land Dry-Wet Changes. *Scientific Reports* 4, Article number: 6651, doi:10.1038/srep06651. Accessible via: <http://www.nature.com/articles/srep06651>. 05.09.2016
- Yeh S.-W., Kang Y.-J., Noh Y., Miller A.J. 2011. The North Pacific Climate Transitions of the Winters of 1976/77 and 1988/89 // *J. of Climate.* V. 24. P. 1170–1183.
- REFERENCES**
- Bugaev A.V., Tepnin O.B. 2015. Produktivnost tikhookeanskikh lososej: vliyanie termicheskikh uslovij vod v period pervoj zimy v bassejne Severnoj Patsifiki [Productivity of Pacific salmon: influence of water thermal conditions during the period of first winter in the basin of North Pacific] // *Trudy VNIRO.* T. 158. S. 89–111.
- Klyashtorin L.B., Smirnov B.P. 1992. Tihookeanskije lososi: sostoyanie zapasov i vosпроизводство [Pacific salmon: state of stocks and reproduction] // *Rybn. hoz-vo. ser. Akvakul'tura: Obzornaya informatsiya/VNIERKH.* Vyp. 2. 36 s.
- Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. 2005. Tsiklicheskie izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti [Cyclic climate changes and fish productivity] // *M.: VNIRO.* 235 s.
- Kotenev B.N., Krovin A.S., Klovach N.V., Mordasova N.V., Murj G.P. 2015. Vliyanie klimato-okeanologicheskikh faktorov na sostoyanie osnovnykh zapasov gorbushi [Impact of climatic and oceanographic factors on the state of main pink salmon stocks, 1950–2015] // *Trudy VNIRO.* T. 158. S. 143–161.
- Moiseev P.A. 1964. Rybolovstvo Yaponii [Japan Fishing]. M.: Izd-vo «Pishchevaya promyshlennost». 200 s.
- Radchenko V.I. 2008. O korrelyatsii rossijskogo vylova gorbushi s dinamikoj teplovogo balansa Mirovogo okeana [On correlation of Russian pink salmon catch with dynamics of heat balance of the World Ocean]. *Byulleten № 3 realizatsii «Kontseptsii dal'nevostochnoj programmy izucheniya tikhookeanskikh lososej».* FGUP «TINRO-Tsentr». Vladivostok. S. 230–235.
- Radchenko V.I., Rassadnikov O.A. 1997. Tendentsii mnogoletnej dinamiki zapasov aziatskikh lososej i opredelyayushhie ee faktory [Tendencies of long-term dynamics of Asian salmon stocks and its determinate factors] // *Izv. TINRO-Tsentra.* T. 122. S. 72–92.
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2008. Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh. [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems: monograph] T. 1. Vladivostok: TINRO-Tsentr. 481 s.
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2011. Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh: monografiya [Pacific salmon in marine and ocean ecosystems: monograph] T. 2. Vladivostok: TINRO-Tsentr. 473 s.

Поступила в редакцию 15.09.2016 г.
Принята после рецензии 07.10.2016 г.

Association of «salmon epochs» in the Far East region with the large-scale climate variations in the North Pacific

A.S. Krovnin, B.N. Kotenev, N.V. Klovach

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

Based on the analysis of climatic data and data on Far East salmon catches for 1911–2016, two types of the large-scale climatic variability creating favorable conditions for growth of salmon stocks have been revealed. «The salmon epoch» in the first half of the XX century was associated with warming of surface water in the Northeast Pacific and its propagation into the northwestern ocean. On the contrary, the favorable conditions for growth of Asian salmon stocks since the end of the 1980s were resulted from a sharp warming of surface water in the western half of the ocean. The cooling of Northwest Pacific surface water in 2012–2014 led to decrease in salmon catches in 2012–2015. However, a sharp warming off the western North American coast began in autumn, 2013 and continued also in 2014–2016. Advection of this warm water into the Northwest Pacific resulted in formation of favorable conditions for survival of the 2014–2016 salmon generations, first of all in the area of West and East Kamchatka. In general, the character of sea surface temperature anomalies distribution in the northern part of the North Pacific in 2015–2016 is very similar to their distribution during the «salmon epoch» of the first half of the XX century. Thus, it may be supposed that the present period of high Far East salmon abundance has not come to its end yet. Time of its ending remains uncertain and depends on how long the anomalously warm state of surface water in the Northeast Pacific will continue. It is expected that the next «salmon epoch» will begin in the 2030s.

Key words: Far East salmon, sea surface temperature anomalies, «salmon epoch», climate variability, Northwest Pacific, Northeast Pacific.