

Климатические колебания как главный фактор
изменчивости условий среды обитания про-
мысловых биоресурсов и функционирования
морских экосистем

УДК: 551.465.7:639.2.0538

Сопряжённость климатических колебаний между
северными частями Атлантического и Тихого океанов

А. С. Кровнин

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

E-mail: akrovnin@vniro.ru

На основе анализа изменений в пространственной структуре климатических колебаний в Северном полушарии до и после климатического сдвига 1980-х гг. выявлены две моды взаимодействия между климатическими процессами в северных частях Атлантического и Тихого океанов. Первая («западная») мода, преобладавшая до конца 1980-х гг., отражала влияние климатических процессов, развивавшихся в северной части Тихого океана, на климат Северной Атлантики как результат взаимодействия двух взаимно независимых тихоокеанских дальних связей (тихоокеанско-североамериканской и «тропики — умеренные широты Северного полушария») с западно-атлантической ветвью атмосферных дальних связей. Яркое выраженный сдвиг центров действия североатлантического колебания в восточном направлении с конца 1970-х гг. обусловил установление «восточной» моды взаимодействия между исследуемыми акваториями. При этом климатические изменения, происходившие в североатлантическом бассейне, распространялись в западную половину Северной Пацифики через систему атмосферных дальних связей («атмосферный мост») над Евразией. Установление «восточной моды» взаимодействия, вероятно, стало одной из причин резкого потепления поверхностных вод в западных и центральных районах северной части Тихого океана с конца 1980-х гг., способствовавшему началу «лососёвой эпохи» в его северо-западной части. Наряду с синхронными связями между евразийскими атмосферными модами и аномалиями температуры поверхности северной части Тихого океана, выявлен асинхронный отклик в океане на долготные сдвиги в положении центров действия североатлантического колебания. Атмосферный сигнал, связанный с его южным центром, распространялся на восток вдоль экваториальной зоны и проявился в юго-западном секторе Северной Пацифики через 5–6 лет.

Ключевые слова: пространственно-временная структура, аномалии температуры поверхности океана, атмосферные дальние связи, климатический режим, Северная Атлантика, северная часть Тихого океана.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-23-43

ВВЕДЕНИЕ

Разработка стратегии развития рыбохозяйственного комплекса России на период от одного до нескольких десятилетий требует знания соответствующих изменений

в состоянии основных промысловых запасов, т. е. их долгосрочного прогнозирования. Один из наиболее перспективных подходов к долгосрочному прогнозированию состояния промысловых запасов связан с учётом

климатической изменчивости. Однако, к настоящему времени проблема долгосрочного прогнозирования состояния запасов водных биоресурсов под влиянием климата не получила своего окончательного решения в силу объективных причин. К их числу относятся, прежде всего, отсутствие единого фактора (комплекса факторов) среды, контролирующего успех воспроизводства во всех промысловых районах.

Помимо проблемы с определением ведущего фактора среды, следует отметить временную неустойчивость связей между физическими факторами и биологическими характеристиками конкретной промысловой популяции [Drinkwater, Myers, 1987; Prager, Hoenig, 1989; Myers, 1998]. Эта неустойчивость часто проявляется при смене климатических режимов (эпох), когда меняется либо сам ведущий фактор среды или степень его воздействия на состояние промыслового объекта.

При разработке долгосрочных прогнозов состояния запасов водных биоресурсов большие надежды возлагались на использование ритмичности климата для оценки ожидаемых изменений в уровне уловов массовых видов рыб [Кляшторин, Сидоренков, 1996; Кляшторин, Любушин, 2005; Klyashtorin, 2001; Sharp, 2003]. Однако, здесь тоже прослеживается нарушение связей, в силу чего предсказанные изменения в состоянии промысловых запасов не оправдались по времени наступления.

Более успешными оказались методические подходы, учитывающие сопряжённую крупномасштабную пространственно-временную изменчивость абиотических и биотических явлений. В начале 1960-х гг. Г.К. Ижевский [1961; 1964; 1967] успешно развивал этот методический подход в целях рыбохозяйственного прогнозирования. Он выделил в Северном полушарии природные системы субполушарного масштаба (Атлантическую и Гренландско-Североамериканскую), в которых процессы в гидросфере, атмосфере и биосфере развивались взаимосвязано. Г.К. Ижевский предполагал также существование Тихоокеанской природной системы.

Экспериментальная проверка подхода Г.К. Ижевского [Елизаров и др., 1990; Rodionov, 1995; Krovnnin, 1995] подтвердила его принципиальное положение о противофазности процессов в Атлантической и Североамериканской системах. Установлена устойчивая отрицательная связь между треской в Северном море и в районах Ньюфаундленда, Лабрадора и Западной Гренландии. В последних районах выявлена хорошая согласованность в колебаниях пополнения трески.

В последующие годы были выявлены многочисленные примеры дальних биологических связей и почти синхронных сельдевых, сардинных, анчоусных эпох в Северной Атлантике, в Тихом океане и районах апвеллинга всего Мирового океана. Так, согласованы по времени эпохи высоких уловов норвежской сельди и японской сардины [Кушинг, 1979; Cushing, Dickson, 1976; Cushing, 1982]. На протяжении последних 500 лет синхронно менялся уровень уловов японской и адриатической сардины. В 1930-е гг. одновременно наблюдались высокие уловы калифорнийской, японской, адриатической и испанской сардины [Zupanovich, 1968]. Рост уловов сардины у берегов Японии в 1976–1987 гг. происходил почти одновременно с ростом её уловов в Калифорнийском, Перуанском и Бенгельском апвеллингах [Alheit, Bakun, 2010; Chaves et al., 2003].

Аналогичная сопряжённость характерна и для эпох высоких (низких) уловов других массовых промысловых объектов: трески в Северной Атлантике [Rodionov, 1995], сельди и минтая в Северной Пацифике [Khen et al., 2013], антарктического криля [Масленников, 2003].

Все указанные долговременные изменения в состоянии запасов массовых промысловых объектов связаны с коренными изменениями в характере циркуляции атмосферы и океана и их взаимодействия друг с другом. Механизм влияния таких резких изменений на биологические системы раскрыт в подробном описании цикла Расселла в западной части Английского канала [Кушинг, 1979; Cushing, Dickson, 1976;

Cushing, 1982], а также в последних обобщающих монографиях [Marine Ecosystems ..., 2004, 2010].

Указанные долговременные изменения в состоянии запасов массовых промысловых объектов связаны с коренными изменениями в характере циркуляции атмосферы и океана и их взаимодействия друг с другом. Такие изменения вследствие существования атмосферных дальних связей могут сопровождаться одновременной сменой климатического режима в различных районах Земного шара вследствие существования атмосферных дальних связей.

За последние 50 лет резкие смены климатических режимов отмечались в 1976–1977 гг. и во второй половине 1980-х гг. Однако они значительно отличались друг от друга. На основе анализа 100 временных рядов наблюдений над климатическими и биологическими характеристиками за период 1965–1997 гг. показано, что смена режимов в зимнем сезоне 1988–1989 гг. не сопровождалась резкими изменениями в ходе основных климатических индексов северной части Тихого океана и не означала возвращения к условиям, наблюдавшимся до зимы 1976–1977 гг. [Hare, Mantua, 2000]. В то же время, авторы выявили существенные изменения в состоянии различных популяций гидробионтов в северо-восточной части океана после зимы 1988–1989 гг. С другой стороны, период 1989–1994 гг. характеризовался резкой интенсификацией центров действия САК и их смещением далеко на восток и северо-восток от среднемноголетнего положения [Jung et al., 2003]. Это сопровождалось, в частности, изменениями в положении центров североатлантических и евразийских атмосферных дальних связей и характере их влияния на изменчивость температуры поверхности океана (ТПО) в северных частях обоих океанов [Кровнин и др., 2018]. В работе [Overland et al., 1999] установлено, что климатический сдвиг 1988–1989 гг. в северной части Тихого океана был обусловлен изменениями характеристик арктического колебания (которое тесно связано с североатлантическим колебанием), а не алеутского минимума. Одним из наиболее значимых

последствий смены режима в конце 1980-х гг. стал температурный скачок в тепловом состоянии северотихоокеанского бассейна, сопровождавшийся резким ростом его средней ТПО [Yeh et al., 2011].

Исходя из вышеизложенного, представляет интерес анализ изменений в пространственной структуре климатических колебаний в Северном полушарии до и после климатического сдвига 1980-х гг., который и стал основной целью настоящей работы.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В работе использованы следующие данные:

–Результаты реанализа по модели NCEP/NCAR [Kalnay et al., 1996], включающие среднемесячные значения геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа за период 1957–2018 гг. в узлах регулярной сетки $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ с сайта Лаборатории Исследования Земных Систем: США, ESRL [Earth System ..., 2019 a].

–Среднемесячные значения температуры поверхности океана в узлах регулярной сетки $2^\circ \times 2^\circ$ из расширенного восстановленного массива температуры поверхности океана (ERSST) Национального Управления США по Океанам и Атмосфере (NOAA) версии 4 [Xue et al., 2003; Smith et al., 2008; Earth System ..., 2019 б] за период 1957–2018 гг. и по модели оптимальной интерполяции (OISST v.2) в узлах регулярной одноградусной сетки за период 1982–2018 гг. [Earth System ..., 2019 в].

–Данные объективного анализа ТПО в узлах сетки $5^\circ \times 5^\circ$ в северных частях Атлантического ($20\text{--}65^\circ$ с. ш., 95° з. д. — 5° в. д.) и Тихого ($20\text{--}55^\circ$ с. ш., 115° в. д. — 130° з. д.) океанов из архива Росгидрометцентра за период 1957–2018 гг.

–Временные ряды среднемесячных значений различных климатических индексов за период 1957–2018 гг. [Earth System ..., 2019].

В работе акцент сделан на зимний сезон, поскольку именно в этот период года наблюдается интенсификация атмосферной циркуляции, усиливается теплообмен на границе «океан-атмосфера», отмечается наиболее тесная статистическая связь между параметрами атмосферы и температурой поверх-

ности океана. Для ТПО средние зимние значения рассчитывались для периода с января по апрель, а для атмосферных характеристик — с декабря по февраль.

Средние зимние аномалии климатических характеристик в узлах регулярной сетки были рассчитаны как отклонения от соответствующих среднемноголетних значений за период 1961–1990 гг.

Для анализа пространственно-временной структуры климатических колебаний использованы методы многомерного статистического анализа: метод эмпирических ортогональных функций (ЭОФ) или метод главных компонент (ГК) [von Storch, Zwiers, 2003], и один из методов кластерного анализа, известный как метод минимальной дисперсии или метод Уорда [Ward, 1963].

Расчёты методом разложения на ЭОФ выполнены для двух перекрывающихся подпериодов: 1957–1988 и 1977–2018 гг., которые охватывают климатические сдвиги, соответственно, 1976–1977 гг. и второй половины 1980-х гг.

Кластерный анализ проведён на основе массива данных по ТПО из архива Росгидрометцентра после удаления из них линейного тренда для двух периодов: 1957–1991 гг. и 1987–2014 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение метода разложения на ЭОФ к совместному полю аномалий ТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов

На рис. 1 показаны первые три ЭОФ совместного поля АТПО в северных частях Тихого и Атлантического океанов для периода 1957–1988 гг.

ЭОФ1 (27,2%) совместного поля отражает влияние тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО) на атлантический сектор Северного полушария (рис. 1 а, б). При этом коэффициент корреляции между ГК ЭОФ1 и индексом ТДО в 1957–1988 гг. составил 0,94. В Северной Атлантике структура ЭОФ1 характеризовалась противофазными изменениями АТПО у юго-восточного побережья США и в районе, простиравшемся от

60° з. д. на восток и северо-восток к северо-западному побережью Африки.

Особенности пространственной структуры ЭОФ1 в рассматриваемый период определялись тихоокеанско-североамериканской ветвью дальних связей (ТСА — PNA, Pacific/North American teleconnection pattern) в атмосфере (рис. 1б). Её атлантический центр обеспечивал положительную связь колебаний АТПО вдоль западного побережья Северной Америки и на юго-востоке Северной Атлантики, хорошо выраженную на рис. 1а. Механизм влияния этого центра на атмосферную циркуляцию в североатлантическом регионе подробно описан в работах [Dickson, Namias, 1976; Walter, Graf, 2002; Honda et al., 2007].

В периоды положительной фазы ТСА/ТДО (PNA/PDO) он характеризуется циклонической циркуляцией, которая способствует снижению интенсивности северо-восточного пассата и потеплению поверхностных вод в тропических и субтропических широтах восточной половины Северной Атлантики. В то же время, аномальные северные и северо-восточные ветры вдоль его западной периферии обуславливают формирование отрицательных АТПО в Мексиканском заливе и в районе Гольфстрима.

Следует отметить, что результаты кластерного анализа за период 1957–1991 гг. свидетельствуют о статистически значимой положительной связи ($r = 0,60$; $p < 0,05$) колебаний температурных аномалий между центральным североатлантическим (5А) и восточным северотихоокеанским (1Т) районами (рис. 2). При сглаживании временных рядов АТПО в этих районах 5-летним скользящим осреднением значение коэффициента корреляции возрастает до 0,75 (рис. 3а).

Очевидно, что связь между районами 1Т и 5А осуществляется через «смешанное» влияние на Северную Атлантику двух взаимно независимых тихоокеанских дальних связей: тихоокеанско-североамериканской и «тропики — умеренные широты Северного полушария» (рис. 3б, в).

В работе [Pinto, Reyers, 2011] выявлена значимая отрицательная связь меж-

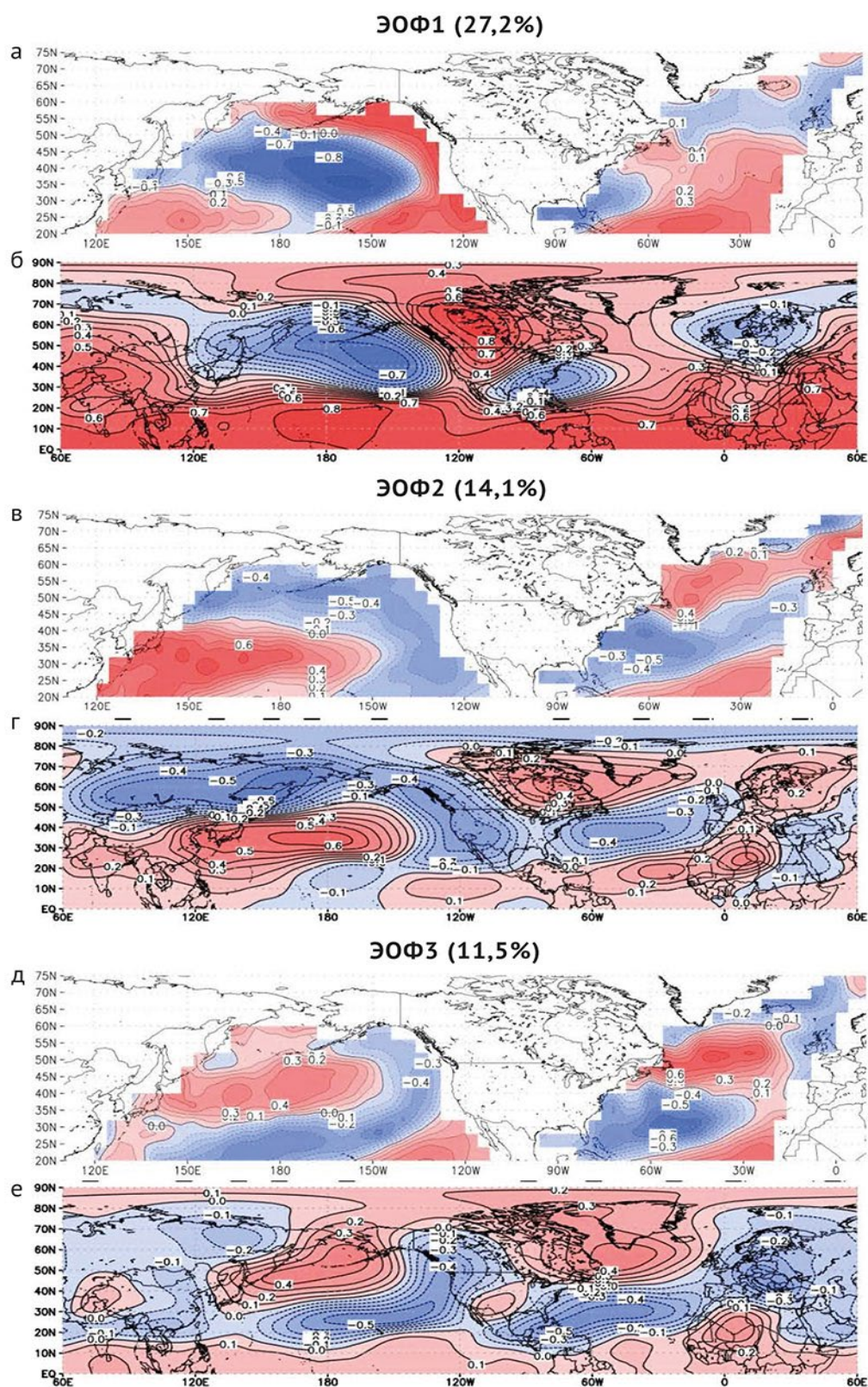


Рис. 1. Первые три ЭОФ совместного поля средних зимних АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов для периода 1957–1988 гг. (а, в, д) и их связь с атмосферной циркуляцией на поверхности 500 гПа (б, г, е)

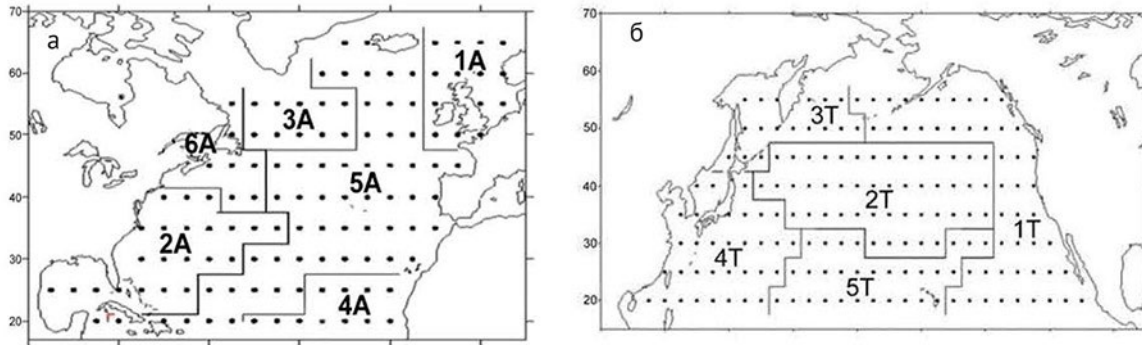


Рис. 2. Районирование северных частей Атлантического (а) и Тихого океанов (б) по результатам кластерного анализа полей средних зимних АТПО для периода 1957–1991 гг.

ду зимними индексами тихоокеанско-североамериканской дальней связи и североатлантического колебания (САК) в период 1973–1994 гг. В основе возможного физического механизма такой связи лежат бароклинные волны, формирующие траектории североатлантических циклонов. Аномалии H_{500} в периоды положительной

(отрицательной) фазы ТСА обуславливают пониженную (повышенную) адвекцию тёплого и влажного воздуха из Мексиканского залива и холодного воздуха с территории Канады, что, в свою очередь, ослабляет (усиливает) бароклинность над восточной частью Северной Америки. При этом условия для развития вихревых образований на

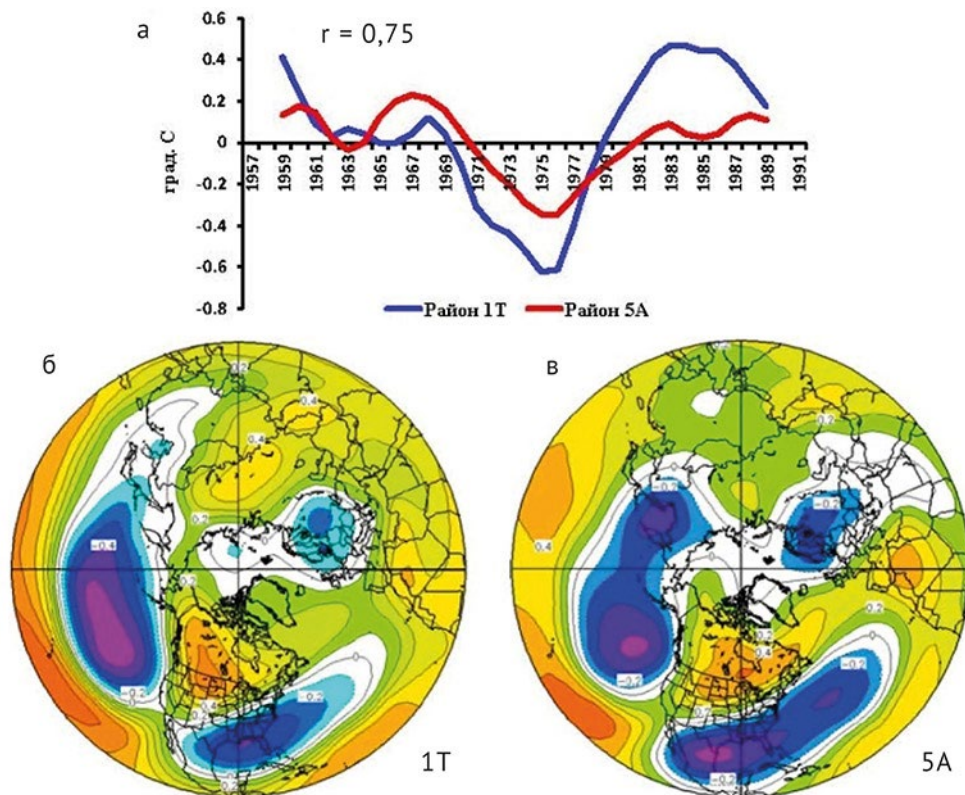


Рис. 3. Временные ряды средних зимних АТПО в районах 1Т и 5А, слаженные 5-летним скользящим осреднением (а); распределение коэффициентов корреляции между АТПО в районах 1Т (б) и 5А (в) и аномалиями H_{500} в Северном полушарии в период 1957–1991 гг.

входе в североатлантический регион ухудшаются (улучшаются). Авторы показали, что вслед за пониженной (повышенной) циклонической активностью в районе о. Ньюфаундленд в начале зимы при положительной (отрицательной) фазе ТСА, в последующие месяцы происходит её ослабление (усиление) вниз по течению, т. е. восточнее.

Так как изменчивость САК тесно связана с циклонической деятельностью над центральными и восточными районами Северной Атлантики, описанные процессы обуславливают сдвиг индекса североатлантического колебания в сторону преобладания его отрицательных (положительных) значений.

Б. Гуан и С. Нигам [Guan, Nigam, 2009] изучали влияние климатических процессов в северной части Тихого океана на атлантическую многодекадную осцилляцию по данным за 1870–2001 гг. Согласно их результатам это влияние объясняет 45% изменчи-

вости атлантической многодекадной осцилляции (АМО).

Исходя из вышеизложенного, пространственную структуру ЭОФ1 в её североатлантической части можно интерпретировать как начальную стадию формирования положительной фазы АМО под влиянием северотихоокеанских атмосферных дальних связей. Отметим, что рост ТПО на востоке северной части Тихого океана и в центральном районе северной части Атлантического океана начался одновременно в зимний сезон 1976–1977 гг. (рис. 3а), совпав с известным климатическим сдвигом.

В северной части Тихого океана ЭОФ2 (14,1%) совместного поля АТПО в период 1957–1988 гг. представлена меридиональным диполем, обладающим значительным сходством с модой Виктория, или модой «западно-тихоокеанское колебание / осцилляция северотихоокеанских круговоротов» (ЗТ/ОСТК), в её положительной фазе [Bond

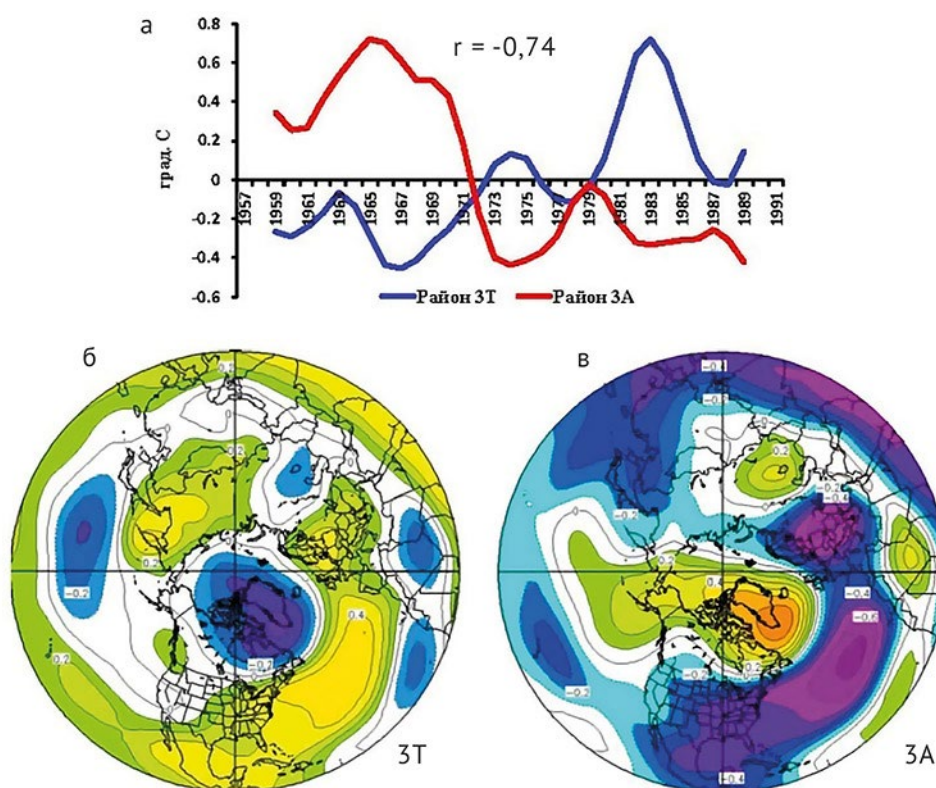


Рис. 4. Временные ряды средних зимних АТПО в районах 3Т и 3А, сглаженные 5-летним скользящим осреднением (а); распределение коэффициентов корреляции между АТПО в районах 3Т (б) и 3А (в) и аномалиями H_{500} в Северном полушарии в период 1957–1991 гг.

et al., 2003; Di Lorenzo et al., 2008] (рис. 1в). В Северной Атлантике хорошо выражена трёхполюсная структура, с центром отрицательных АТПО у восточного побережья Северной Америки и двумя центрами положительных аномалий — северо-восточнее о. Ньюфаундленд и в тропических широтах на востоке океана. Такая структура хорошо соответствует атлантическому триполю [Deser, Blackmon, 1993; Kushnir, 1994].

В средней тропосфере Северного полушария ЭОФ2 была сопряжена с двумя диполями противоположной полярности над западными частями океанов и прилегающими районами материков (рис. 1г). Эти диполи обуславливали, в частности, противофазные колебания АТПО между северо-западными частями обоих океанов, что подтверждается результатами кластерного анализа для периода 1957–1991 гг. Коэффициент корреляции между временными рядами сглаженных 5-летним скользящим осреднением АТПО в районах ЗТ и ЗА составил — 0,74 (рис. 4а).

Следует отметить, что на рис. 4б, в отмеченные выше атмосферные диполи прослеживаются только для района ЗТ. Они представляют собой атмосферную волну, распространяющуюся из субтропических широт западной половины Тихого океана через северный полюс в субтропическую зону Северной Атлантики.

В то же время, колебания температурных аномалий в атлантическом районе ЗА связаны с региональными атмосферными процессами, обусловленными изменчивостью САК.

Таким образом, противофазность колебаний АТПО в рассматриваемых районах может определяться влиянием северотихоокеанского климата на западную половину Северной Атлантики.

Сравнение рис. 1б и 1г позволяет предположить, что пространственная структура атмосферного поля для ЭОФ2 представляет собой трансформированный вариант аналогичного поля для ЭОФ1. Эта трансформация заключается в смещении центров ТСА на северо-восток, что можно интерпретировать также как распространение стоячей атмосферной волны, включающей все 4 центра тихоокеанско-североамериканской

дальней связи, в северо-восточном направлении. В северотихоокеанском бассейне при этом наблюдалось раздвоение центра отрицательных аномалий H_{500} , что в конечном итоге привело к формированию диполя в атмосфере над его западной половиной. В североатлантическом регионе распространение атмосферной волны хорошо согласуется с результатами работы [Pinto, Reyers, 2011].

В северной части Тихого океана структура ЭОФ3 (11,5%) совместного поля АТПО отражает противофазность их колебаний между обширным районом к востоку от Японских островов и районом, расположенным южнее, на 20–30° с. ш. (рис. 1д). В Северной Атлантике довольно хорошо выражена четырёхполюсная структура с аномалиями ТПО одного знака (положительными на рис. 1д) на северо-западе и юго-востоке акватории и противоположными им по знаку аномалиями в северо-восточной и юго-западных частях океана.

Структура корреляционного поля между ГКЗ и аномалиями H_{500} в Северном полушарии отражает дальнейшую трансформацию атмосферных полей, связанных с ЭОФ1 и ЭОФ2 (рис. 1е). В частности, отмечается смещение североатлантического центра положительных аномалий геопотенциальных высот на восток, в район к юго-западу от Гренландии. В северной части Тихого океана отмечалось смещение центра отрицательных аномалий H_{500} , располагавшегося у ЭОФ2 вдоль западного побережья Северной Америки, в западном направлении вдоль 20–25° с. ш. В результате, знаки аномалий в центрах атмосферного диполя над северотихоокеанским бассейном сменились на противоположные, и в атмосфере над обоими океанами сформировались меридиональные диполи одной полярности.

В целом, анализ первых трёх ЭОФ совместного поля АТПО в северных частях Тихого и Атлантического океанов показал, что в 1957–1988 гг. формирование структуры колебаний температурных аномалий в североатлантическом бассейне в значительной мере определялось характером развития климатических процессов в северотихоокеанском регионе и над Северной Америкой.

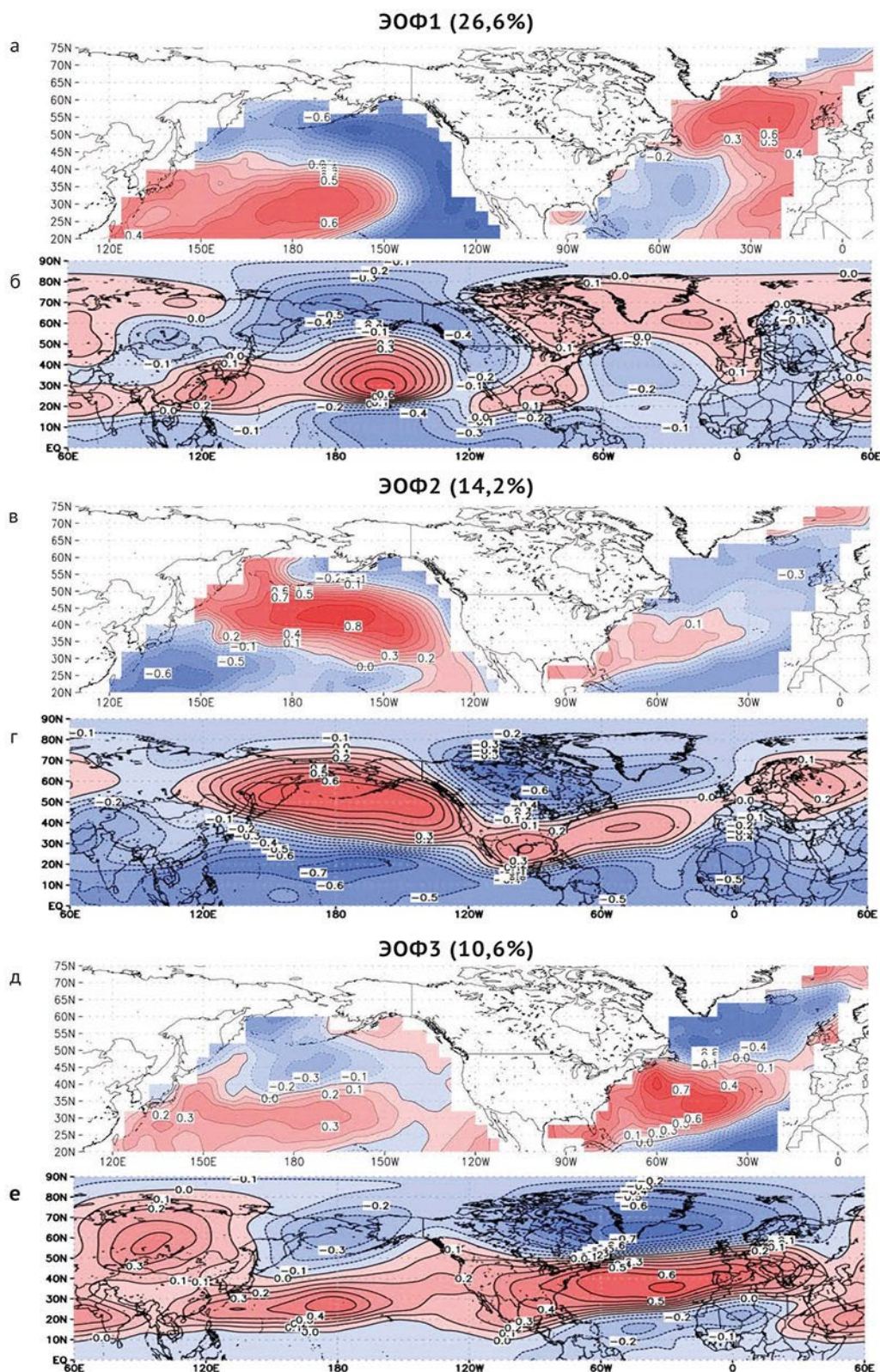


Рис. 5. Первые три ЭОФ совместного поля средних зимних АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов для периода 1977–2018 гг. (а, в, д) и их связь с атмосферной циркуляцией на поверхности 500 гПа (б, г, е)

В период 1977–2018 гг. ЭОФ1 (26,6%) характеризовала положительную связь изменений АТПО в юго-западном секторе северной части Тихого океана и на большей части акватории Северной Атлантики с центром западнее Британских островов (рис. 5а).

Коэффициенты корреляции между ГК1 совместного поля и аномалиями H_{500} над северной частью Атлантического океана статистически незначимы, свидетельствуя об отсутствии «атмосферного моста» через североамериканский континент, обуславливавшего статистически значимую связь колебаний АТПО между отдельными районами двух океанов в 1957–1988 гг. (рис. 5б).

В то же время, результаты кластерного анализа за период 1987–2014 гг. выявили высокую связь колебаний АТПО в юго-западном районе северной части Тихого океана (район 4Т) с их изменениями в центральном и северо-восточном районах Северной Атлантики (районы 5А и 1А) (рис. 6).

На рис. 7а в качестве примера приведён график временных рядов аномалий ТПО в районах 5А и 4Т, сглаженных 5-летним скользящим осреднением и характеризующихся коэффициентом корреляции, равным 0,79 ($p < 0,05$).

Поля корреляций между исходными рядами этих аномалий и аномалиями H_{500} в Северном полушарии обладают значительным сходством и указывают на повышенную циклоническую активность в умеренных широтах Евразии, которая может рассматриваться как связующее звено между климатическими процессами в Северо-

Восточной Атлантике и западной половине северотихоокеанского бассейна (рис. 7б, в).

Структура ЭОФ2 (14,2%) совместного поля АТПО на акватории Северной Атлантики в период 1977–2018 гг. практически не отличалась от аналогичной структуры для 1957–1988 гг., но коэффициенты корреляции между временными рядами ГК2 и АТПО в узлах регулярной сетки в большинстве случаев были статистически незначимыми (рис. 5в). Это справедливо и для значений коэффициентов корреляции между ГК2 и аномалиями H_{500} над северной частью Атлантического океана (рис. 5г).

ЭОФ3 (10,6%), в целом, отражает изменчивость аномалий ТПО в Северной Атлантике, обусловленную североатлантическим колебанием (рис. 5д, е).

Таким образом, проведённый выше анализ выявил две моды взаимодействия между климатическими процессами в северных частях Атлантического и Тихого океанов. Первая («западная») мода, преобладавшая до конца 1980-х гг., отражала влияние климатических процессов северной части Тихого океана на климат Северной Атлантики как результат взаимодействия двух взаимно независимых тихоокеанских дальних связей (тихоокеанско-североамериканской и «тропики — умеренные широты Северного полушария») с западно-атлантической ветвью атмосферных дальних связей. Эта мода проявлялась, в частности, в высокой положительной корреляции колебаний средних зимних АТПО между восточной частью Северной Пацифики и центральной частью Северной Атлантики ($r = 0,60$; $p < 0,05$) в 1957–1991 гг.

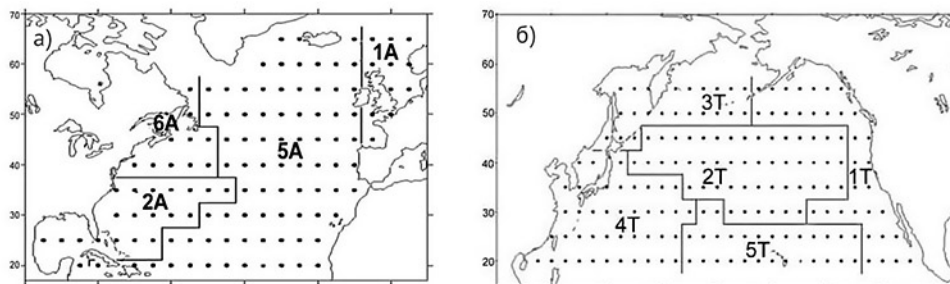


Рис. 6. Районирование северных частей Атлантического (а) и Тихого океанов (б) по результатам кластерного анализа полей средних зимних АТПО для периода 1987–2014 гг.

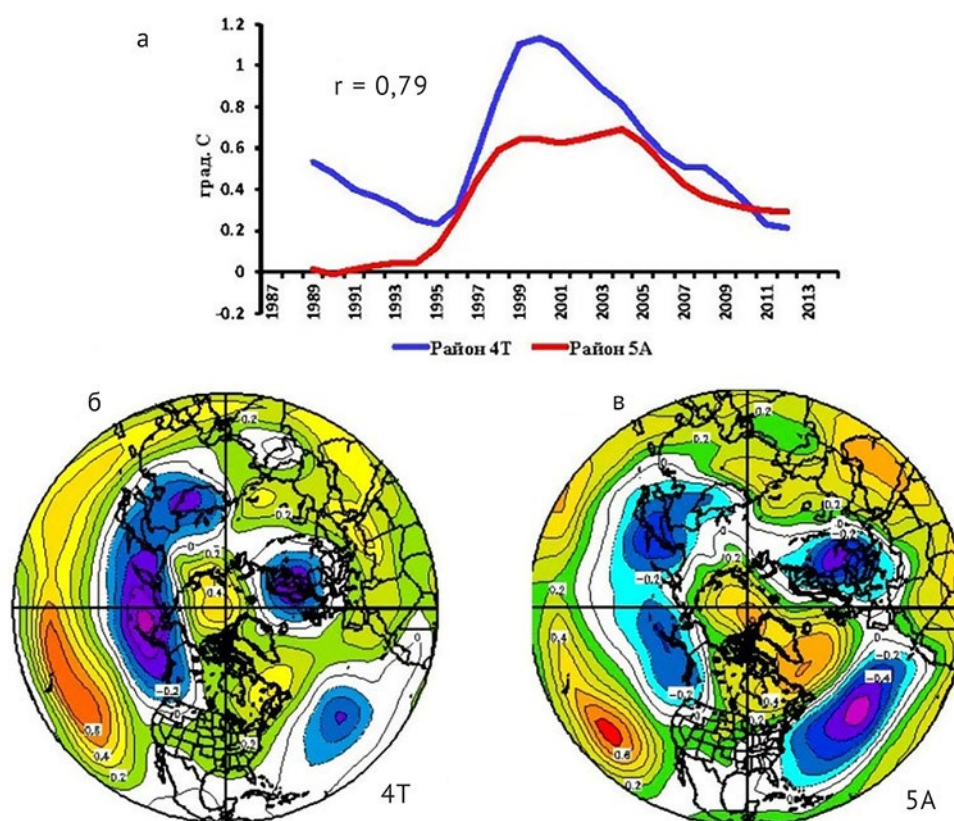


Рис. 7. Временные ряды средних зимних АТПО в районах 4Т и 5А, сглаженные 5-летним скользящим осреднением (а); распределение коэффициентов корреляции между АТПО в районах 4Т (б) и 5А (в) и аномалиями N_{500} в Северном полушарии в период 1987–2014 гг.

Влияние долготного смещения центров действия САК на изменчивость АТПО в северной части Тихого океана

Предпосылки к изменению характера взаимодействия между северными частями океана появились уже в конце 1970-х гг. Анализ данных о долготном положении двух североатлантических центров действия атмосферы в зимние сезоны 1950–2015 гг. свидетельствует о начале их миграции в восточном направлении после 1976 г. (рис. 8а, б). При этом восточный сдвиг Исландского минимума и Азорского максимума атмосферного давления был наиболее ярко выражен в конце 1980-х — первой половине 1990-х гг. В результате, «центр тяжести» климатической изменчивости в Северной Атлантике сместился из её западной половины в восточную (рис. 8в, г). Обратная миграция центров действия САК на запад началась в 2005–2007 гг.

Смещение центров действия САК на восток обусловило существенное ослабление характерной для 1957–1991 гг. корреляционной связи между вариациями температурных аномалий в восточной части Северной Пацифики и центральной части Северной Атлантики.

В то же время, в период с конца 1980-х гг. до 2014 г. отмечалась статистически значимая положительная корреляция между колебаниями АТПО в центральной и северо-восточной частях Северной Атлантики и юго-западной части СТО.

Можно говорить об установлении «восточной моды» взаимодействия между океанами. Очевидно, что климатические изменения, происходившие в североатлантическом бассейне, распространялись в западную половину СТО через систему атмосферных дальних связей над Евразией.

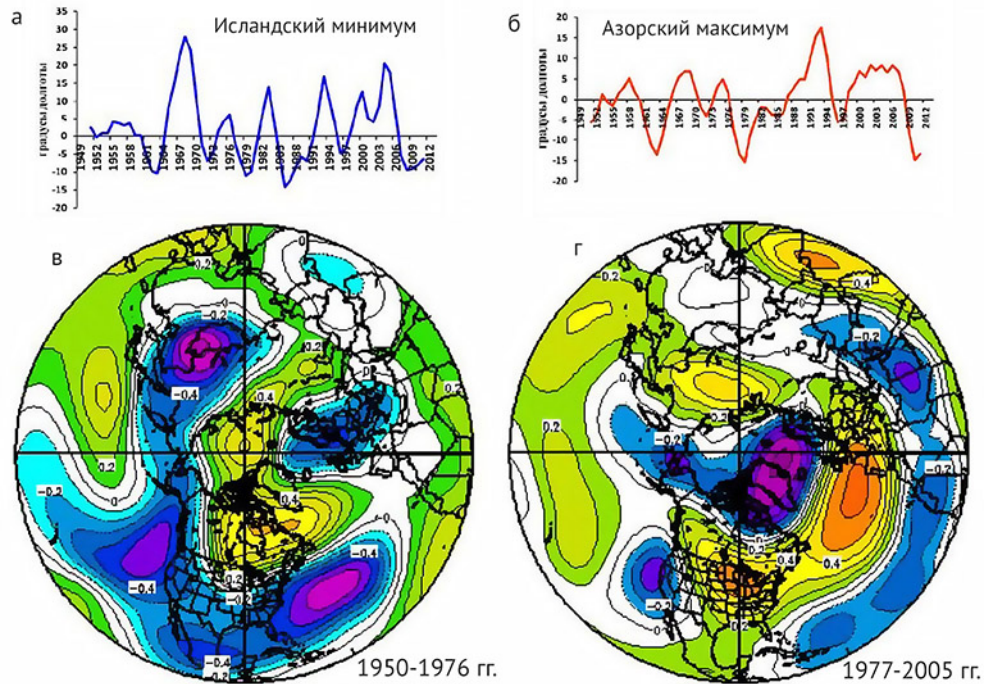


Рис. 8. Пятилетние скользящие средние аномалий долготы положения Исландского минимума (а) и Азорского максимума (б) атмосферного давления в зимние сезоны 1950–2015 гг.; распределение коэффициентов корреляции между нормированной суммой аномалий долгот положения центров САК и аномалиями H_{500} в Северном полушарии в зимние сезоны 1950–1976 гг. (в) и 1977–2005 гг. (г)

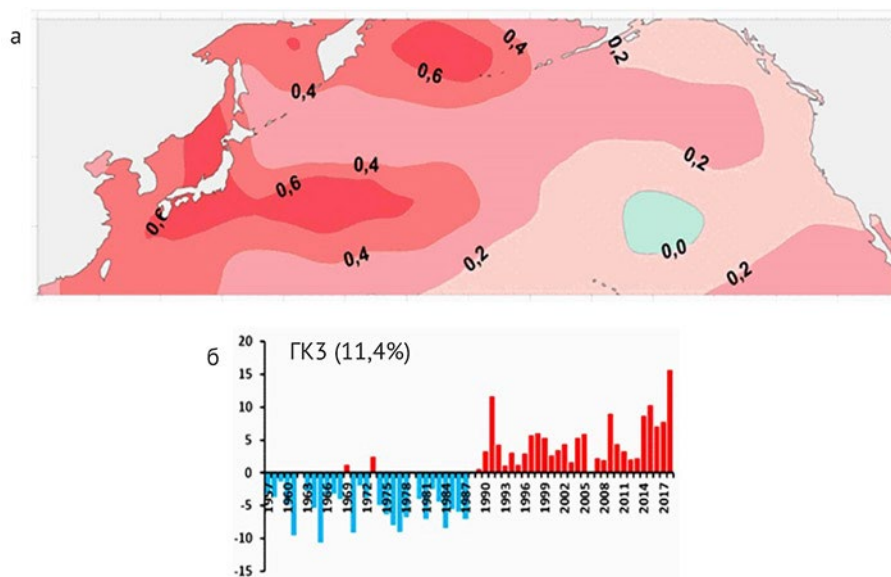


Рис. 9. ЭОФ3 (11,4%) средних зимних АТПО (без удаления линейного тренда) в северной части Тихого океана (а); временной ряд ГКЗ за период 1957–2018 гг. (б)

Установление «восточной моды» взаимодействия, вероятно, стало одной из причин резкого потепления поверхностных вод в западной половине СТО в конце 1980-х гг. На

рис. 9а показана ЭОФ3 (11,4%) аномалий ТПО в северной части Тихого океана, рассчитанная для исходных (недетрендрированных) временных рядов за период 1957–2018 гг. Она

отражает трендовую составляющую в изменчивости температурных аномалий. Резкое изменение в тепловом состоянии поверхностных вод Северной Пацифики произошло между 1987 и 1990 гг. (рис. 9б). При этом центры максимальной изменчивости АТПО располагались в западной половине океана — восточнее Камчатки и к востоку от Японских островов (рис. 9а), что можно рассматривать как свидетельство влияния атмосферных процессов, развивающихся над Евразией, на акваторию северной части Тихого океана.

Это подтверждается анализом связи первых трёх главных компонент средних зимних аномалий геопотенциальных высот поверхности 500 гПа в евразийском секторе Северного полушария (20–70° с. ш., 0–150° в. д.) с полем АТПО в северной части Тихого океана в период 1977–2005 гг., т. е. при восточном положении центров САК.

ГК1 (38,5%) аномалий геопотенциальных высот поверхности 500 гПа в евразийском секторе Северного полушария в период 1977–2005 гг. была сопряжена с дальней связью «восточная Атлантика / западная Россия (ВА/ЗР)» ($r = 0,64$; $p < 0,05$) (рис. 10). Эта компонента показывает режимные сдвиги

в 1987 и 1999 гг., первый из которых сопровождался потеплением западной половины Северной Пацифики, главным образом, к востоку от о. Хонсю, а второй — её похолоданием.

ГК2 (20,2%) обнаруживает высокую отрицательную связь со скандинавской дальней связью (СКАНД) в атмосфере ($r = -0,80$). Её переход к отрицательной фазе в 1989 г., совпавший с усилением САК и сдвигом его центров на восток, оказал значительное влияние на потепление поверхностных вод в западной части океана, особенно в районах восточнее Южных Курильских островов и о. Хонсю.

ГК3 (12,1%) характеризуется относительно невысокой, но статистически значимой (при $p = 0,05$) отрицательной корреляционной связью с индексом полярно-евразийской (ПОЛ) атмосферной дальней связи ($r = -0,50$). Пространственная структура соответствующей ЭОФ обладает большим сходством со структурой поля корреляций между временными рядами АТПО в районах 5А и 4Т и аномалиями H_{500} в евразийском секторе (см. рис. 7б, в). Режимный сдвиг этой компоненты в 1989 г. сопровождался похолоданием вод в юго-за-

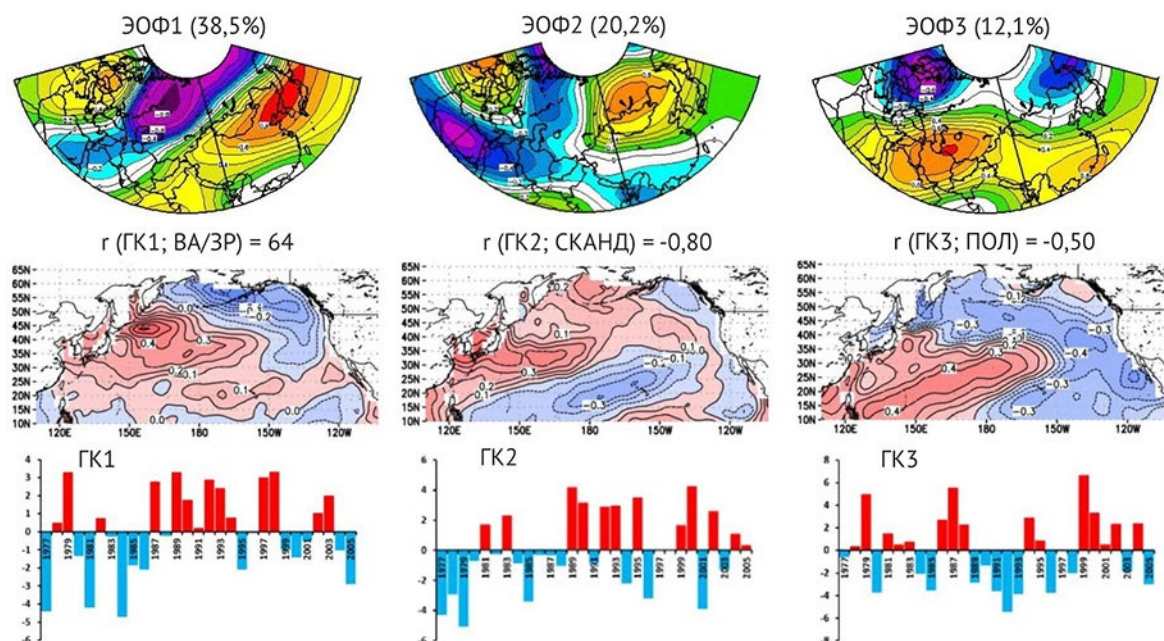


Рис. 10. Первые три ЭОФ средних зимних аномалий H_{500} в евразийском секторе Северного полушария (20–70° с. ш., 0–150° в. д.), их связь с АТПО в северной части Тихого океана, временные ряды первых трех ГК аномалий H_{500} за период 1977–2005 гг.

падном секторе северной части Тихого океана и их потеплением на северо-западе его акватории, включая Охотское море и западную часть Берингова моря, в районах к югу Алеутских островов и к западу от побережья США между 150 и 120° з. д. Режимный сдвиг в 1999 г. обусловил смену знака температурных аномалий во всех указанных районах.

Таким образом, все три моды изменчивости атмосферной циркуляции в евразийском секторе Северного полушария внесли определённый вклад в потепление зимних ТПО

в западной половине северной части Тихого океана, начиная со второй половины 1980-х гг.

Наряду с синхронными связями между евразийскими атмосферными модами и АТПО в СТО, существует асинхронный отклик в океане на долготные сдвиги в положении центров действия североатлантического колебания.

На рис. 11 приведено распределение коэффициентов корреляции между временным рядом суммы нормированных аномалий долгот центров САК и аномалиями H_{500}

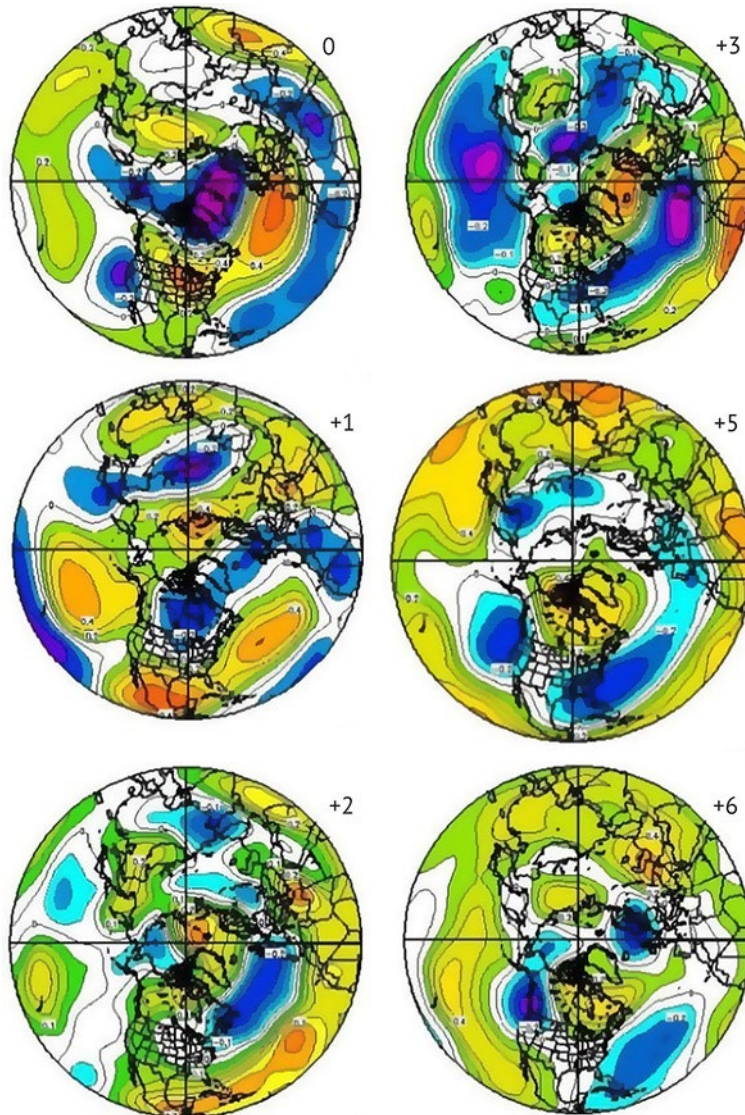


Рис. 11. Распределение коэффициентов корреляции между нормированной суммой аномалий долгот положения центров САК в зимние сезоны 1977–2005 гг. и аномалиями H_{500} в Северном полушарии с временными сдвигами от 0 до 6 лет

в Северном полушарии в зимние сезоны 1977–2005 гг. со сдвигами (t) от 0 до 6 лет.

При сдвигах 1–2 года центр положительных аномалий H_{500} , соответствующий Азорскому антициклону, смещается в экваториальные широты юго-западной части Северной Атлантики. В последующие годы атмосферный сигнал, связанный с этим центром, распространяется на восток вдоль экваториальной зоны и через 5 лет достигает юго-западных районов Северной Пацифики (отметим, что карта для $t = 4$ года на рис. 11 не показана). При $t = 6$ лет хорошо заметно дальнейшее продвижение области положительных аномалий H_{500} в центральные и восточные районы северной части Тихого океана.

Пространственная динамика центра отрицательных аномалий H_{500} , изначально ассоциирующаяся с Исландским минимумом, на временных сдвигах от 1–2 до 6 лет довольно хорошо отражает отмеченное выше (см. рис. 7б, в) усиление циклонической активности в широтной полосе между 45 и 60° с. ш.

Структура корреляционного поля, показанная на рис. 12б, свидетельствует о том, что восточное смещение центров САК обуславливает потепление поверхностных вод

в западных и центральных районах Северной Пацифики через 6 лет.

На акватории Северной Атлантики распределение коэффициентов корреляции при этом указывает на установление положительной фазы Атлантической многодекадной осцилляции.

Таким образом, можно предположить, что конечным результатом ярко выраженной миграции центров североатлантического колебания в восточном направлении в конце 1980-х гг. стал рост ТПО на всей акватории Северной Атлантики и на значительной площади акватории северной части Тихого океана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа изменений в пространственной структуре климатических колебаний в Северном полушарии до и после климатического сдвига 1980-х гг. выявлены две моды взаимодействия между климатическими процессами в северных частях Атлантического и Тихого океанов. Первая («западная») мода, преобладавшая до конца 1980-х гг., отражала влияние климатических процессов, развивавшихся в северной части Тихого океана, на климат Северной Атланти-

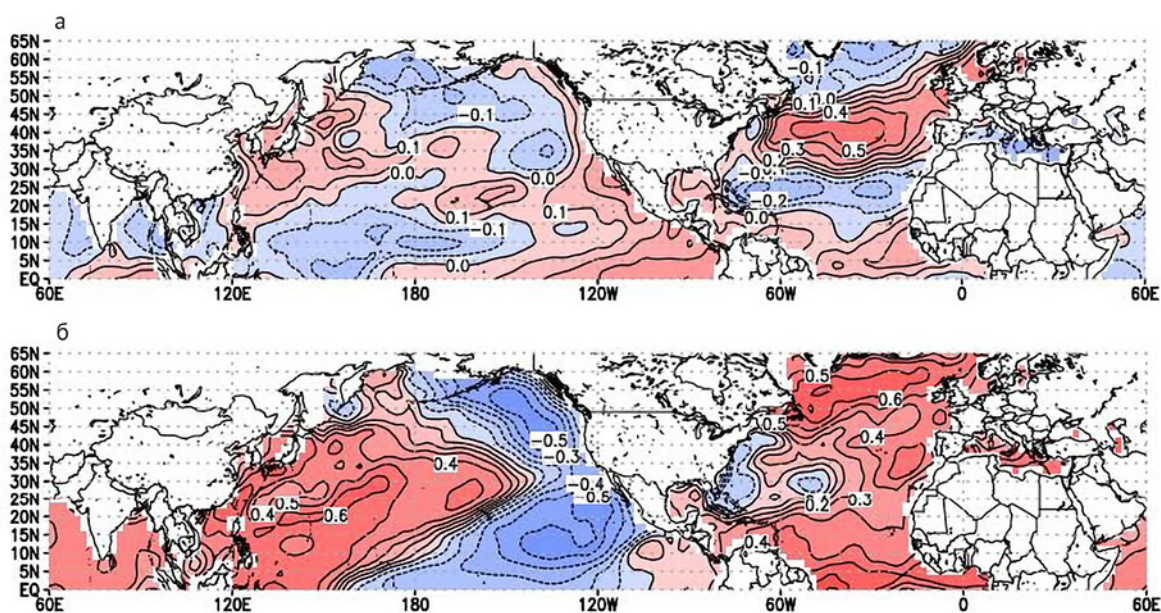


Рис. 12. Распределение коэффициентов корреляции между нормированной суммой аномалий долгот положения центров САК в зимние сезоны 1977–2005 гг. и АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов при $t = 0$ (а) и $t = 6$ лет (б)

ки как результат взаимодействия двух взаимно независимых тихоокеанских дальних связей (тихоокеанско-североамериканской и «тропики — умеренные широты Северного полушария») с западно-атлантической ветвью атмосферных дальних связей. Ярво выраженный сдвиг центров действия САК в восточном направлении с конца 1970-х гг. обусловил установление «восточной» моды взаимодействия между исследуемыми акваториями. При этом климатические изменения, происходившие в североатлантическом бассейне, распространялись в западную половину Северной Пацифики через систему атмосферных дальних связей («атмосферный мост») над Евразией. Установление «восточной моды» взаимодействия, вероятно, стало одной из причин резкого потепления поверхностных вод в западных и центральных районах северной части Тихого океана с конца 1980-х гг.

Установление «восточной» моды взаимодействия между климатическими системами северных частей Атлантического и Тихого океанов с большой вероятностью стало одной из основных причин начала «лососёвой эпохи» и окончания «сардинной эпохи» в северо-западной части Тихого океана в конце 1980-х — начале 1990-х гг. [Кровнин и др., 2016; Булатов и др., 2016].

Наряду с синхронными связями между евразийскими атмосферными модами и АТПО в северной части Тихого океана, выявлен асинхронный отклик в океане на долготные сдвиги в положении центров действия североатлантического колебания. Атмосферный сигнал, связанный с его южным центром, распространялся на восток вдоль экваториальной зоны и проявился в юго-западном секторе Северной Пацифики через 5–6 лет.

ЛИТЕРАТУРА

- Булатов О.А., Котёнев Б.Н., Кровнин А.С. 2016. О перспективах новой «сардинной эпохи» в северо-западной части Тихого океана // Вопросы рыболовства. Т. 17. № 4. С. 385–405.
- Елизаров А.А., Родионов С.Н., Котёнев Б.Н. 1990. Системный подход Г.К. Ижевского. Сопряжённость колебаний численности поколений трески в Северной Атлантике // Пленарные докл. 8-й Всес. конф. по промысловой океанологии. С. 48–66.
- Ижевский Г.К. 1961. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат. 216 с.
- Ижевский Г.К. 1964. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб. М.: ВНИРО. 166 с.
- Ижевский Г.К. 1967. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб // Труды ВНИРО. Т. 62. С. 20–32.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: Изд-во ВНИРО. 235 с.
- Кляшторин Л.Б., Сидоренков Н.С. 1996. Долгопериодные климатические изменения и флуктуации запасов пелагических рыб в Пацифике // Известия ТИНРО. Т. 119. С. 33–54.
- Кровнин А.С., Котёнев Б.Н., Кловач Н.В. 2016. Связь «лососёвых эпох» в дальневосточном регионе с крупномасштабными изменениями климата в Северной Пацифике // Труды ВНИРО. Т. 164. С. 22–40.
- Кровнин А.С., Котёнев Б.Н., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. 2018. Дальние связи в атмосфере и океане как основа долгосрочного прогнозирования водных биоресурсов // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 33–65.
- Кушинг Д.Х. 1979. Морская экология и рыболовство. М.: Пищ. пром-сть. 228 с.
- Масленников В.В. 2003. Климатические колебания и морская экосистема Антарктики. М.: Изд-во ВНИРО. 296 с.
- Alheit J., Bakun A. 2010. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms // J. of Marine Systems. V. 79. P. 267–285.
- Bond N.A., Overland J.E., Spillane M.C., Stabeno P. 2003. Recent shifts in the state of the North Pacific. Geophysical Research Lettrs, 30. P. 2183–2186. doi:10.1029/2003GL018597.
- Chaves F.P., Ryan J., Lluch-Cota, S.E., Niquen M.C. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean // Science. V. 299. P. 217–221.
- Cushing D.H. 1982. Climate and fisheries. Academic Press: L. 373 pp.
- Cushing D.H., Dickson R.R. 1976. The biological Response in the Sea to climatic changes // Advances in Marine Biology. V. 14. P. 2–122.
- Deser C., Blackmon M.L. 1993. Surface climate variation over the North Atlantic ocean during winter: 1900–1989 // J. Climate. V. 6. P. 1743–1753.
- Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Chhak, K., Franks P.J.S., Miller A.J., McWilliams J.C., Bograd S.J., Arango H., Curchister E., Powell T.M., Rivere P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change // Geophys. Res. Lett., 35, L08607, doi:10.1029/2007GL032838/

- Dickson R.R., Namias J. 1976. North American Influences on the Circulation and Climate of the North Atlantic Sector // *Monthly Weather Review*. V. 104 (10). P. 1256–1265.
- Drinkwater K.F., Myers R.A. 1987. Testing Predictions of Marine Fish and Shellfish Landings from Environments Variables // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 4. P. 1568–1573.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v4.html>. 06.06.2019 а.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/>. 06.06.2019 б.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>. 06.06.2019 в.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>. 06.02.2019 г.
- Guan B., Nigam S. 2009. Analysis of Atlantic SST variability factoring inter-basin links and the secular trend: clarified structure of the Atlantic Multidecadal Oscillation // *J. Climate*. V. 22. P. 4228–4240.
- Hare S.R., Mantua N.J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // *Progress in Oceanography*. V. 47. P. 103–145.
- Honda M.S., Yamane S., Nakamura H. 2007. Inter-basin link between the North Pacific and North Atlantic in the upper tropospheric circulation: Its dominance and seasonal dependence // *J. Meteor. Soc. Japan*. V. 85. P. 898–908.
- Jung T., Hilmer M., Rupprecht E., Kleppek S., Gulev S.K., Zolina O. 2003. Characteristics of the recent eastward shift of interannual NAO variability // *J. Climate*, 16, pp. 3371–3382.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis, 40-year project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* V. 77. P. 437–471.
- Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. 2013. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // *Deep-Sea Research II*. V. 94. P. 106–120.
- Klyashtorin L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting. FAO Fisheries Technical paper, № 410. 86 p.
- Krovnin A.S. 1995. A Comparative study of climatic changes in the North Pacific and North Atlantic and their relation to the abundance of fish stocks // *Can. Spec. Publ. Aquat. Fish. Sci.* V. 121. P. 181–198.
- Kushnir Y. 1994. Interdecadal Variations in North Atlantic Sea Surface Temperature and Associated Atmospheric Conditions // *J. Climate*. V. 7(1). P. 141–157.
- Marine ecosystems and climate variation: the North Atlantic. 2004. / Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Belgano A. (eds.). Oxford University Press, 252 p.
- Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003–2008. 2010. / McKinnell S.M. and M.J. Dagg (eds). PICES Special Publication. № 4. 393 p.
- Myers R.A. 1998. When do environment-recruitment correlations work? // *Rev. in Fish Biology and Fisheries*. V. 8. P. 285–305.
- Overland J.E., Adams J.M., Bond M.A. 1999. Decadal variability of the Aleutian low and its relation to high-latitude circulation // *J. Climate*. V. 12. P. 1542–1548.
- Pinto J.G., Meyers M. 2011. The variable link between PNA and NAO in observations and in multi-century CGCM simulations // *Climate Dynamics*. V. 36(1–2) Doi:10.1007/s00382–010–0770.
- Prager M.H., Hoenig J.M. 1989. Superposed Epoch Analysis: A Randomization Test of Environmental Effects on Recruitment with Application to Chub Mackerel // *Transactions of the American Fisheries Society*. V. 118. P. 608–618.
- Rodionov S.N. 1995. Atmospheric teleconnections and coherent fluctuations in recruitment to North Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks // *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 121, P. 45–55.
- Sharp G.D. 2003. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis. FAO Fish. Techn. Pap. № 452. 75 p.
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. 2008: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006) // *J. Climate*, 21: P. 2283–2296.
- Von Storch H, Zwiers F.W. 2003. Statistical analysis in climate research, 1st edn. Cambridge University Press, Cambridge. 495pp.
- Walter K., Graf H.-F. 2002. On the changing nature of the regional connection between the North Atlantic Oscillation and sea surface temperature // *J. of Geophysical Res.* V. 107. NO. D17. 4338 doi. org/10.1029/2001JD000850.
- Ward J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function // *J. Am. Stat. Assoc.* V. 58. P. 236–244.
- Xue Y., Smith T.M., Reynolds R.W. 2003: Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871–2000 // *J. Climate*. 16. P. 1601–1612.
- 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. Climate*. V. 24. P. 1170–1183.
- Zupanovich S. 1968. Causes of fluctuations in sardine catches along the eastern coast of the Adriatic Sea // *Anali Jadranskog Inst.* V. IV. P. 401–489.

Поступила в редакцию 06.09.2019 г.
Принята после рецензии 12.12.2019 г.

Habitat of aquatic biological resources
Climatic factors of variability of environmental
conditions of fishery resources and marine
ecosystem functioning

**Connectivity of climatic variations
in the North Atlantic and North Pacific**

A.S. Krovnin

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

Based on the analysis of changes in the spatial structure of climatic variations in the Northern Hemisphere before and after the climatic regime shift in the 1980s, the modes of interaction between climatic processes in the North Atlantic and North Pacific have been identified. The first (“western”) mode prevailed until the late 1980s, reflected the impact of the North Pacific climatic processes on the North Atlantic climate as a result of interaction of two mutually independent Pacific teleconnection patterns (Pacific/North American and Tropical/Northern Hemisphere patterns) with the West Atlantic pattern. The pronounced eastward shift of the North Atlantic Oscillation (NAO) centers from the late 1970s resulted in establishment of the “eastern” mode of interaction between the aquatories under consideration. The climatic changes originated in the North Atlantic basin propagated in the western half of the North Pacific via the system of atmospheric teleconnection patterns over Eurasia (“atmospheric bridge”). The establishment of the “eastern” mode became obviously one of the reasons of sharp warming of surface waters in the western and central areas of the North Pacific from the end of the 1980s, which favored the beginning of a new “salmon epoch” in its northwestern part. Along with the synchronous relationships between the Eurasian atmospheric modes and North Pacific sea surface temperature anomalies, an asynchronous response in the ocean to longitudinal shifts in position of the NAO centers, was found. The atmospheric signal associated with its southern center propagated eastward along the equatorial zone and appeared in the southwestern sector of the North Pacific 5–6 years later.

Keywords: spatiotemporal structure, sea surface temperature anomalies, atmospheric teleconnection patterns, climatic regime, North Atlantic, North Pacific.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-23-43

REFERENCES

- Bulatov O. A., Kotenev B. N., Krovnin A. S.* 2016. O perspektivah novoj “sardinnoj epohi” v severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana [On prospects of a new “sardine epoch” in the Northwest Pacific] // *Voprosy rybolovstva*. V. 17. No.4. S. 385–405.
- Elizarov A. A., Rodionov S. N., Kotenev B. N.* 1990. Sistemnyj podhod G. K. Izhevskogo. Sopryazhennost’ kolebanij chislennosti pokolenij treski v Severnoj Atlantike [Connectivity of changes in abundance of cod generations in the North Atlantic] // *Plenarnye dokl. 8-oj Vses. konf. po promyslovoj okeanologii*. S. 48–66.
- Izhevskij G. K.* 1961. Okeanologicheskie osnovy formirovaniya promyslovoj produktivnosti morej. [Oceanological bases of fishery productivity formation in the seas]. M.: Pishchepromizdat, 216 s.
- Izhevskij G. K.* 1964. Sistemnaya osnova prognozirovaniya okeanologicheskikh uslovij i vosпроизводства promyslovyyh ryb [System approach to forecasting of oceanological conditions and reproduction conditions of fish]. M.: Izd-vo VNIRO, 166 s.
- Izhevskij G. K.* 1967. Sistemnaya osnova prognozirovaniya okeanologicheskikh uslovij i vosпроизводства promyslovyyh ryb [System approach to forecasting of oceanological conditions

- and reproduction conditions of fish] // Trudy VNIRO. T. LXII. — S. 20–32.
- Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. 2005. Ciklicheskie izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti [Cyclic climate changes and fish productivity]. M: VNIRO. 235 s.
- Klyashtorin L.B., Sidorenkov N.S. 1996. Dolgoperiodnye klimaticheskie izmeneniya i fluktuacii zapasov pelagicheskikh ryb v Pacifike [Long-term climate changes and fluctuations of Pacific pelagic fish stocks] // Izvestiya TINRO. T. 119. S. 33–54.
- Krovnin A.S., Kotenev B.N., Klovach N.V. 2016. Svyaz' "lososyevykh epokh" v dal'nevostochnom regione s krupnomasshtabnymi izmeneniyami klimata v Severnoj Pacifike [Association of «salmon epochs» in the Far East region with the large-scale climate variations in the North Pacific] // Trudy VNIRO. 2016. V. 164. S. 22–40.
- Krovnin A.S., Kotenev B.N., Mordasova N.V., Muryj G.P. 2018. Dal'nie svyazi v atmosfere i okeane kak osnova dolgosrochnogo prognozirovaniya vodnykh bioresursov [Teleconnections in the atmosphere and ocean as a basis of the long-range fishery forecasting] // Trudy VNIRO. V. 173. S. 33–65.
- Kushing D.H. 1979. Morskaya ekologiya i rybolovstvo. [Marine ecology and fishery]. M.: Pishcheyaya promyshlennost'. 228 s.
- Maslennikov V.V. 2003. Klimaticheskie kolebaniya i morskaya ekosistema Antarktiki. [Climatic variations and marine ecosystem of the Antarctic]. M.: Izd-vo VNIRO. 296 s.
- Alheit J, Bakun A. 2010. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms // J. of Marine Systems. V. 79. P. 267–285.
- Bond N.A., Overland J.E., Spillane M.C., Stabeno P. 2003. Recent shifts in the state of the North Pacific. Geophysical Research Letters, 30. P. 2183–2186. doi:10.1029/2003GL018597.
- Chaves F.P., Ryan J., Lluch-Cota, S.E., Niquen M.C. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean // Science. V. 299. P. 217–221.
- Cushing D.H. 1982. Climate and fisheries. Academic Press: L. 373 pp.
- Cushing D.H., Dickson R.R. 1976. The biological Response in the Sea to climatic changes // Advances in Marine Biology. V. 14. P. 2–122.
- Deser C., Blackmon M.L. 1993. Surface climate variation over the North Atlantic ocean during winter: 1900–1989 // J. Climate. V. 6. P. 1743–1753.
- Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K.M., Chhak, K., Franks P.J.S., Miller A.J., McWilliams J.C., Bograd S.J., Arango H., Curchister E., Powell T.M., Rivere P. 2008. North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change // Geophys. Res. Lett., 35, L08607, doi:10.1029/2007GL032838/
- Dickson R.R., Namias J. 1976. North American Influences on the Circulation and Climate of the North Atlantic Sector // Monthly Weather Review. V. 104 (10). P. 1256–1265.
- Drinkwater K.F., Myers R.A. 1987. Testing Predictions of Marine Fish and Shellfish Landings from Environments Variables // Can. J. Fish. Aquat. Sci. V. 4. P. 1568–1573.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v4.html>. 06.06.2019 a.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/>. 06.06.2019 b.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html>. 06.06.2019 b.
- Earth System Research Laboratory. Accessible via: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/>. 06.02.2019 r.
- Guan B., Nigam S. 2009. Analysis of Atlantic SST variability factoring inter-basin links and the secular trend: clarified structure of the Atlantic Multidecadal Oscillation // J. Climate. V. 22. P. 4228–4240.
- Hare S.R., Mantua N.J. 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989 // Progress in Oceanography. V. 47. P. 103–145.
- Honda M.S., Yamane S., Nakamura H. 2007. Inter-basin link between the North Pacific and North Atlantic in the upper tropospheric circulation: Its dominance and seasonal dependence // J. Meteor. Soc. Japan. V. 85. P. 898–908.
- Jung T., Hilmer M., Rupprecht E., Kleppek S., Gulev S.K., Zolina O. 2003. Characteristics of the recent eastward shift of interannual NAO variability // J. Climate, 16, pp. 3371–3382.
- Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Leetmaa A., Reynolds R., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K.C., Ropelewski C., Wang J., Jenne R., Joseph D. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis, 40-year project // Bull. Amer. Meteor. Soc. V. 77. P. 437–471.
- Khen G.V., Basyuk E.O., Vanin N.S., Matveev V.I. 2013. Hydrography and biological resources in the western Bering Sea // Deep-Sea Research II. V. 94. P. 106–120.
- Klyashtorin L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting. FAO Fisheries Technical paper, № 410. 86 p.
- Krovnin A.S. 1995. A Comparative study of climatic changes in the North Pacific and North Atlantic and their relation to the abundance of fish stocks // Can. Spec. Publ. Aquat. Fish. Sci. V. 121. P. 181–198.
- Kushnir Y. 1994. Interdecadal Variations in North Atlantic Sea Surface Temperature and Associated

- Atmospheric Conditions // *J. Climate*. V. 7(1). P. 141–157.
- Marine ecosystems and climate variation: the North Atlantic*. 2004. / Stenseth N.C., Ottersen G., Hurrell J.W., Belgano A. (eds.). Oxford University Press, 252 p.
- Marine Ecosystems of the North Pacific Ocean, 2003–2008*. 2010. / McKinnell S.M. and M.J. Dagg (eds.). PICES Special Publication. № 4. 393 p.
- Myers R.A. 1998. When do environment-recruitment correlations work? // *Rev. in Fish Biology and Fisheries*. V. 8. P. 285–305.
- Overland J.E., Adams J.M., Bond M.A. 1999. Decadal variability of the Aleutian low and its relation to high-latitude circulation // *J. Climate*. V. 12. P. 1542–1548.
- Pinto J.G., Reyers M. 2011. The variable link between PNA and NAO in observations and in multi-century CGCM simulations // *Climate Dynamics*. V. 36(1–2) Doi:10.1007/s00382–010–0770.
- Prager M.H., Hoenig J.M. 1989. Superposed Epoch Analysis: A Randomization Test of Environmental Effects on Recruitment with Application to Chub Mackerel // *Transactions of the American Fisheries Society*. V. 118. P. 608–618.
- Rodionov S.N. 1995. Atmospheric teleconnections and coherent fluctuations in recruitment to North Atlantic cod (*Gadus morhua*) stocks // *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 121, P. 45–55.
- Sharp G.D. 2003. Future climate change and regional fisheries: a collaborative analysis. FAO Fish. Techn. Pap. № 452. 75 p.
- Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. 2008: Improvements to NOAA's Historical Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis (1880–2006) // *J. Climate*, 21: P. 2283–2296.
- Von Storch H, Zwiers F.W. 2003. Statistical analysis in climate research, 1st edn. Cambridge University Press, Cambridge. 495 pp.
- Walter K., Graf H.-F. 2002. On the changing nature of the regional connection between the North Atlantic Oscillation and sea surface temperature // *J. of Geophysical Res.* V. 107. NO. D17. 4338 doi.org/10.1029/2001JD000850.
- Ward J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function // *J. Am. Stat. Assoc.* V. 58. P. 236–244.
- Xue Y., Smith T.M., Reynolds R.W. 2003: Interdecadal changes of 30-yr SST normals during 1871–2000 // *J. Climate*. 16. P. 1601–1612.
- 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. Climate*. V. 24. P. 1170–1183.
- Zupanovich S. 1968. Causes of fluctuations in sardine catches along the eastern coast of the Adriatic Sea // *Anali Jadranskog Inst.* V. IV. P. 401–489.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. The first three EOFs of joint mean winter SSTA field in the North Atlantic and North Pacific for the 1957–1988 period (a, c, e) and their association with atmospheric circulation on the 500 hPa surface (b, d, f)

Fig. 2. Dividing of the North Atlantic (a) and North Pacific (b) into districts by results of cluster analysis of mean winter SSTA fields for 1957–1991

Fig. 3. Time series of 5-yr running means of winter SSTA in Regions 1P and 5A (a); correlation patterns between SSTA in Regions 1P (b) and 5A (c) and anomalies of H_{500} field in the Northern Hemisphere for 1957–1991

Fig. 4. Time series of 5-yr running means of winter SSTA in Regions 3P and 3A (a); correlation patterns between SSTA in Regions 3P (b) and 3A (c) and anomalies of H_{500} field in the Northern Hemisphere for 1957–1991

Fig. 5. The first three EOFs of joint mean winter SSTA field in the North Atlantic and North Pacific for the 1977–2018 period (a, c, e) and their association with atmospheric circulation on the 500 hPa surface (b, d, f)

Fig. 6. Dividing of the North Atlantic (a) and North Pacific (b) into districts by results of cluster analysis of mean winter SSTA fields for 1987–2014

Fig. 7. Time series of 5-yr running means of winter SSTA in Regions 4P and 5A (a); correlation patterns between SSTA in Regions 4P (b) and 5A (c) and anomalies of H_{500} field in the Northern Hemisphere for 1987–2014

Fig. 8. 5-year running means of anomalies of longitudinal position of the Icelandic Low (a) and Azores High (b) in winter seasons of 1950–2015; correlation patterns between normalized sum of anomalies of longitudinal position of the NAO centers and anomalies of H_{500} field in the Northern Hemisphere in winter seasons of 1950–1976 (c) and 1977–2005 (d)

Fig. 9. EOF3 (11.4%) of mean winter SSTA (without removal of linear trend) in the North Pacific (a); time series of PC3 for 1957–2018 (b)

Fig. 10. The first three EOFs of mean winter anomalies of H_{500} field in the Eurasian sector of the Northern Hemisphere (20–70°N, 0–150°E), their association with SSTA in the North Pacific, time series of the first three PCs of H_{500} anomalies for 1977–2005

Fig. 11. Correlation patterns between normalized sum of anomalies of longitudinal position of the NAO centers in winter seasons of 1977–2005 and anomalies of H_{500} field in the Northern Hemisphere with time lags (t) from 0 to +6 years.

Fig. 12. Correlation pattern between normalized sum of anomalies of longitudinal position of the NAO centers in winter seasons of 1977–2005 and SSTA in the North Pacific and North Atlantic at $t = 0$ (a) and $t = 6$ years (b)