

Среда обитания
водных биологических ресурсов
Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 597.154.3:597.562(268.45)

Влияние климата на квазидекадные изменения численности поколений трески северо-западной части Берингова моря

А.С. Кровнин, Н.П. Антонов, Б.Н. Котенев, Г.П. Мурый

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

E-mail: akrovnnin@vniro.ru

Квазидекадная изменчивость численности пополнения трески северо-западной части Берингова моря (СЗТ) в возрасте 1 год в 1968–2016 гг. тесно связана с крупномасштабными изменениями средних зимних аномалий температуры поверхности океана (АТПО). Эти изменения в свою очередь характеризуют осцилляцию северотихоокеанских круговоротов (ОСТК). Знак этой связи изменился после 1988 г. Корреляционное поле связи численности поколений СЗТ в возрасте 1 год с АТПО отражает атмосферный диполь северотихоокеанского колебания (СТК). Северный центр этого диполя определяет условия воспроизводства СЗТ. Интенсивность аномалий атмосферного давления в этом центре определяется фазой арктического колебания (АК) с задержкой в 2 года. Следовательно, воспроизводство СЗТ зависит от состояния АК. Резкий рост численности пополнения СЗТ в начале 2010-х гг. был обусловлен хорошей выживаемостью на ранних стадиях онтогенеза после суро-вых зим. Физико-биологический механизм этого выживания заслуживает отдельного рассмотрения.

Ключевые слова: квазидекадная изменчивость, тихоокеанская треска, пополнение, северо-западная часть Берингова моря, аномалии температуры поверхности океана, осцилляция северотихоокеанских круговоротов, Арктическое колебание.

ВВЕДЕНИЕ

Треска северо-западной части Берингова моря (СЗТ) обитает на шельфе и верхней части склона на глубинах до 450–500 м от м. Олюторский до Берингова пролива [Антонов, 2011, 2013; Борец, 1997; Вершинин, 1984, 1987; Датский, Андronов, 2007; Датский, Батанов, 2013; Савин, 2013]. В зал. Анадырский её летне-осенние скопления связаны с водами Наваринского течения.

Для пространственно-функциональной структуры этой трески характерно наличие трёх батиметрических зон её обитания: прибрежная зона до глубин 70–100 м, где в летне-осенний период обитают сеголетки и молодь рыбы в

возрасте до 2 лет; зона летне-осеннего нагула промысловых скоплений на глубинах 70–170 м; зона зимовки (XII–III) промзапаса на глубинах от 150–250 м до 450 м и весеннего нереста (III–IV) половозрелых рыб (рис. 1).

По распределению молоди в зал. Анадырский предполагается, что нерест трески происходит также в глубоких заливах [Датский, Андронов, 2007]. Вероятно, такой нерест возможен и в глубоких заливах вдоль Корякского побережья. Высокая плотность молоди трески до 2 т/км² (рис. 1) на глубинах 20–40 м в 1996 г. указывает на то, что на глубинах менее 20 м, где продуктивность прибрежных вод ещё выше, эти плотности, в т.ч. молоди размером 10–

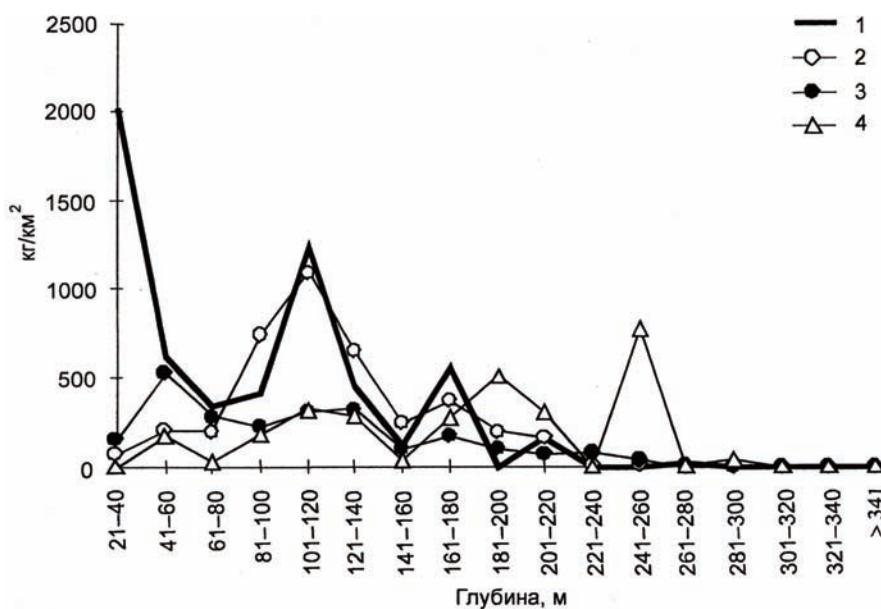


Рис. 1. Батиметрическое распределение биомассы трески в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 1996 (1), 1999 (2), 2001 (3) и 2002 (4) гг. [Датский, Андронов, 2007]

20 см и 20–30 см, должны быть ещё больше. Трудно представить, что сеголетки и эта молодь, наиболее обильная к юго-западу от м. Наварин [см. рис. 84; Датский, Андронов, 2007], появились здесь из восточной части Берингова моря или из зал. Олюторский. Другая специфическая особенность трески этого запаса заключается в том, что она более тугорослая по сравнению с другими запасами трески [Яржомбек и др., 1997].

В силу крайне суровых условий обитания трески в этом районе для численности её поколений характерны резкие колебания от 13 млн до 4 млрд экз. Переловы нерестового стада также могут определять низкую численность поколений.

Тесная связь изменений урожайности поколений рассматриваемого запаса трески с биотическими (численность родительского стада) и абиотическими факторами установлена многими исследователями [Вершинин, 1983, 1984, 1987; Заочный, 1986; Савин, 2013; Терентьев и др., 2004]. Итоги этих многолетних исследований были подведены в двух обобщающих работах [Заочный, 1986; Терентьев и др., 2004].

На основе анализа особенностей зимней циркуляции атмосферы над Беринговым морем в период с 1962 по 1984 гг. с помощью меридиональных и зональных среднемесячных индексов Каца установлено, что коэффициент корре-

ляции между зимними индексами меридионального переноса воздушных масс и численностью поколений северо-западной трески равен 0,73 [Заочный, 1986]. По мнению автора, в годы, когда над Беринговым морем преобладает южный меридиональный перенос и ослаблен зональный восточный перенос, как правило, появляются урожайные поколения трески. В годы с преобладанием северного и восточного холодных переносов численность поколений трески низкая.

В работе [Терентьев и др., 2004] для периода 1982–2005 гг. установлены тесные связи между величиной промзапаса СЗТ и такими факторами среды, как: площадь ледового покрова в Беринговом море в апреле ($r = -0,62$); средняя ледовитость Охотского моря в феврале–марте ($r = 0,81$); суммарная ледовитость Охотского моря ($r = 0,77$); суммарная ледовитость Охотского моря в январе–апреле ($r = -0,83$). По мнению авторов, определяющим фактором многолетней динамики промзапаса является солнечная активность. Коэффициент корреляции между ними 0,65. Множественный корреляционный анализ позволил авторам не только прогнозировать изменения промзапаса трески на 4 года вперёд, но и получать численность поколения с такой же заблаговременностью. Авторы отметили, что выявленные связи указывают на рост запаса трески в начале 2000-х гг.

В отличие от перечисленных и других работ, в которых изучается влияние климата на межгодовую изменчивость поколений СЗТ, целью данной работы является выяснение особенностей пространственной структуры циркуляции атмосферы и океана и его термики, которые определяют квазидекадную изменчивость численности поколений этой трески.

Квазидекадная изменчивость климата Северной Пацифики и северного полушария отражена в изменчивости региональных и планетарных атмосферных и океанических индексов. К атмосферным относятся: северо-тихоокеанский индекс (СТИ), характеризующий изменчивость Алеутского минимума [Overland et al., 1999; Rodionov et al., 2007; Trenberth, Hurrel, 1994; Trenberth, Hurrel, 1995]; индекс северо-тихоокеанского колебания (СТК) [Linkin and Nigam, 2008; Rogers, 1981], а также индексы Арктического колебания (АК) [Thompson, Wallace, 1998] и тесно связанного с ним Северо-Атлантического колебания (САК) [Hurrel, 1995; Hurrel, Deser, 2009]. К океаническим индексам относятся: индекс Тихоокеанской декадной осцилляции (ТДО), которую определяют как ведущую эмпирическую ортогональную функцию (ЭОФ) поля аномалий температуры поверхности океана (АТПО) [Alexander, 2010; Francis et al., 1998; Mantua et al., 1997; Minobe, Mantua, 1999], а также индекс осцилляции северо-тихоокеанских круговоротов (ОСТК или NPGO – North Pacific Gyre Oscillation) [Ceballos et al., 2009; Di Lorenzo et al., 2008; Furtado, Di Lorenzo, 2011].

С учётом предшествующих исследований [Вершинин, 1987; Терентьев и др., 2004] в работе использованы средние зимние значения этих индексов, так как именно зимние условия определяют выживаемость поколений СЗТ.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Характеристики запаса трески северо-западной части Берингова моря получены методом виртуально-популяционного анализа с настройками по Сэвиллу. Основой для расчётов послужили годовые данные по уловам (млн экз.) за 1968–2016 гг. [Антонов, 2011], дополнительно для 2010–2016 гг. использованы данные ТИНРО-Центра.

Данные по численности пополнения восточной берингоморской трески за 1977–2014 гг. получены с сайта: www.beringclimate.noaa.gov/data.

При анализе состояния северо-восточной арктической трески использованы данные по численности пополнения в возрасте 3+ года за 1967–2015 гг., содержащиеся в отчёте Рабочей группы ИКЕС по арктическому рыболовству (AFWG) [ICES AFWG, 2015].

Средние зимние (январь–апрель) температуры поверхности океана (ТПО) рассчитаны на основе среднемесячных данных, полученных из Расширенного реконструированного массива температуры поверхности океана (ERSST) Национальной Администрации США по Океанам и Атмосфере (NOAA) версии 3b, доступного на сайте Лаборатории Изучения Земных Систем (США, <http://www.esrl.noaa.gov/psd>) [Smith et al., 2008; Xue et al., 2003].

Средние зимние (декабрь–февраль) значения геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа рассчитаны на основе среднемесячных данных, содержащихся в массиве NCEP/NCAR Reanalysis 1, доступном на сайте Лаборатории Изучения Земных Систем (США, <http://www.esrl.noaa.gov/psd>) [Kalnay et al., 1996].

При расчётах аномалий ТПО (АТПО) и высот изобарической поверхности 500 гПа принят базовый период 1971–2000 гг.

При расчётах среднесезонных значений и их аномалий, а также при расчёте главных компонент (ГК) использована программа Climate Data Operators, доступная на сайте: <http://www.mpimet.mpg.de/cdo>.

Средние зимние значения Индекса осцилляции северо-тихоокеанских круговоротов (ОСТК) [Di Lorenzo et al., 2008] рассчитаны на основе среднемесячных значений, доступных на сайте: <http://www.oces.us/ngpo>.

Средние зимние значения индекса Арктического колебания [Higgins et al., 2000; Higgins et al., 2001; Zhou et al., 2001; Higgins et al., 2002; Larson et al., 2004] рассчитаны на основе среднемесячных данных, доступных на сайте Центра климатических прогнозов США (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/predict/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения численности годовиков трески (численности поколений в возрасте 1 год) северо-западной части Берингова моря в 1967–2015 гг. демонстрирует рис. 2а. Обращает на себя внимание резкий рост численности пополнения запаса в первой половине 2010-х гг. От 2010 к 2011 г. она возросла с 284 до 3970 млн экз., т.е. на один порядок, и сохранилась на высоком среднем уровне в 2440 млн экз. в последующие годы. При этом в последние годы отмечается увеличение её общего запаса, уловов и уловов на усилие.

Причины резкого роста численности пополнения запаса трески неясны, а полученные для периода 2011–2015 гг. оценки требуют дальнейшей проверки. Поэтому в работе использованы данные только за период с 1967 по 2010 гг.

Как видно из рис. 2б, временной ряд численности пополнения трески в этот период обнаруживает хорошо выраженную декадную изменчивость с максимумами в середине 1970-х и начале 1990-х гг., а также в середине периода 2000–2010 гг., т.е. со средним периодом колебаний порядка 15 лет.

Возникает вопрос, как связаны декадные колебания численности пополнения трески с декадной климатической изменчивостью, которая является характерной особенностью северотихоокеанского региона, включая Берингово море.

Для выявления связи многолетних колебаний численности пополнения с крупномасштабными модами изменчивости температурных аномалий были рассчитаны коэффициенты корреляции между временным рядом численности

поколений в возрасте 1 год и временными рядами средних зимних АТПО на акватории Северной Пацифики (рис. 3а).

Поле корреляций имеет «подковообразную» пространственную структуру. Пояс положительных коэффициентов корреляции простирается от Восточной Камчатки и Корякского побережья на восток, в зал. Аляска, и далее на юг, вдоль берегов североамериканского континента, окружая обширную область отрицательных корреляций (до $-0,40$), занимающую около половины представленной акватории. Очаг максимальных положительных коэффициентов корреляции ($r = 0,53–0,55$) расположен юго-восточнее Алеутских о-вов.

Распределение коэффициентов корреляции между временным рядом численности поколений в возрасте 1 год и полем средних зимних АТПО в Северной Пацифике обладает большим сходством со структурой поля корреляций между индексом осцилляции северотихоокеанских круговоротов и теми же самыми рядами температурных аномалий, но с обратным знаком (рис. 3б). Следовательно, можно ожидать наличия статистически значимой связи между временными рядами численности пополнения трески и индекса ОСТК.

Ряды двух рассматриваемых характеристик, слаженные 5-летним скользящим осреднением демонстрирует рис. 4. Это позволяет получить более наглядное представление о характере их связи в многолетнем аспекте, поскольку при осреднении слаживается значительная межгодовая изменчивость. На рис. 4 можно выделить два периода с противоположным харак-

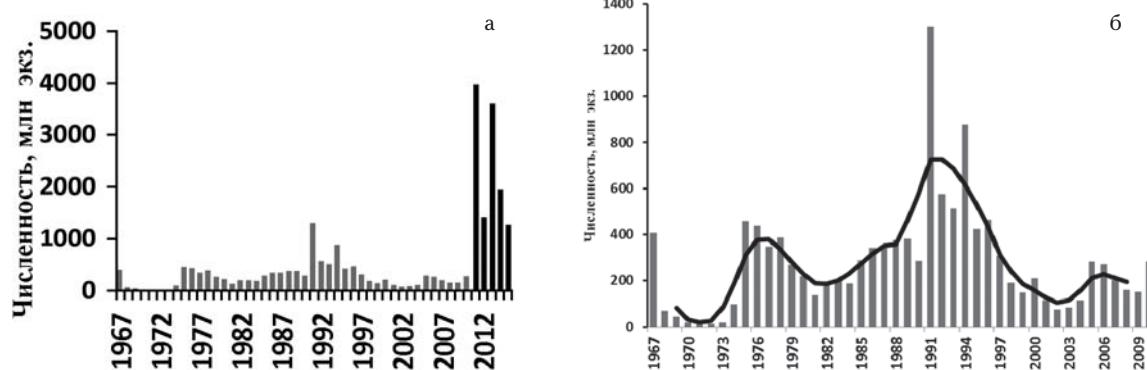


Рис. 2. Изменения численности трески северо-западной части Берингова моря в возрасте 1 год:
а — в 1967–2015 гг.; б — 1967–2010 гг. Годы на горизонтальной оси соответствуют годам нереста.
Толстая чёрная линия на рис. 2б показывает 5-летние скользящие средние

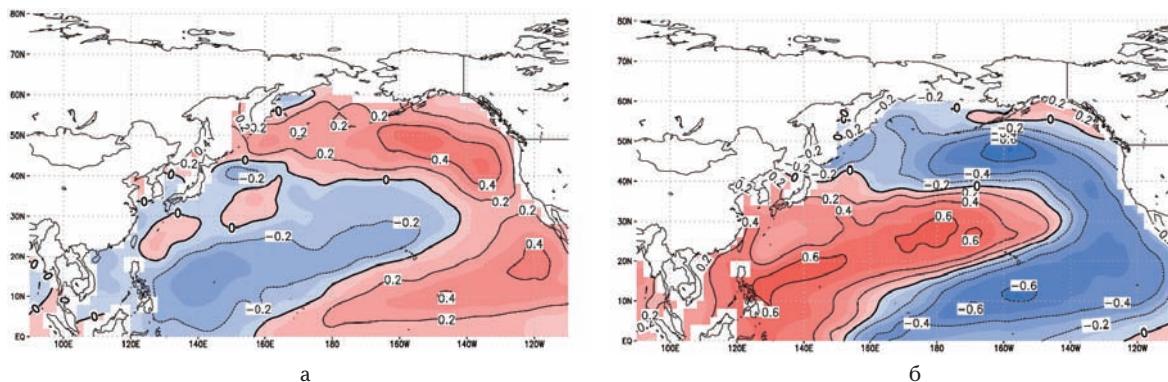


Рис. 3. Распределение коэффициентов корреляции между временными рядами численности поколений в возрасте 1 год (а) и индекса ОСТК (б) и полем средних зимних (январь–апрель) АТПО в Северной Пацифике в 1967–2010 гг.

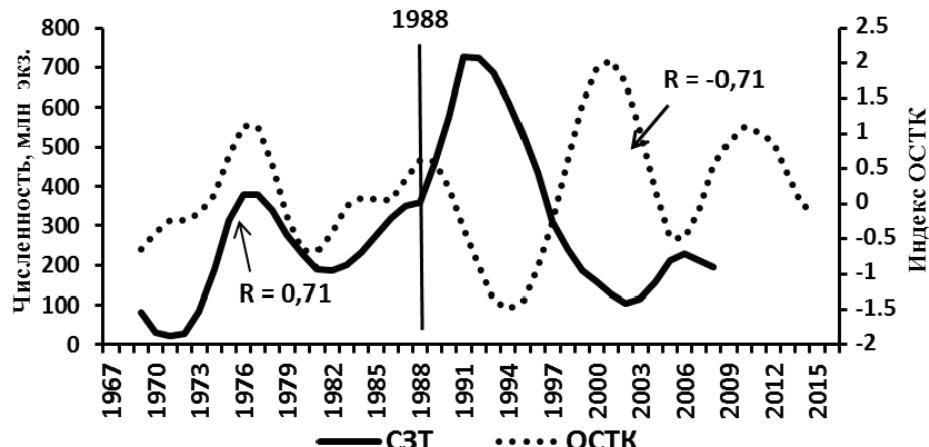


Рис. 4. Сглаженные 5-летним осреднением временные ряды численности пополнения трески северо-западной части Берингова моря в возрасте 1 год и индекса ОСТК. Вертикальной линией отмечен год изменения характера связи между анализируемыми характеристиками

тером связи между индексом ОСТК и численностью поколений трески. В 1967–1987 гг. связь между рассматриваемыми параметрами была прямой ($r = 0.71$), а, начиная с 1988 г., она стала обратной ($r = -0.71$).

Следует отметить, что изменение знака связи между численностью поколений в возрасте 1 год и индексом ОСТК совпало по времени с режимным сдвигом к более теплому состоянию поверхностных вод в Северной Пацифике [Yeh et al., 2011]. Этот сдвиг сопровождался сменой ведущей моды декадной климатической изменчивости во внутротропических широтах северо-тихоокеанского региона. Если до 1988 г. изменения АТПО на временных масштабах от одного до двух десятилетий определялись тихоокеанской декадной осцилляцией (ТДО), связанной с алеутским минимумом атмосферного

давления, то с конца 1980-х гг. ведущую роль в изменчивости температуры поверхности океана стала играть ОСТК, тесно связанная с северотихоокеанским колебанием в приземной атмосфере. В средней тропосфере СТК проявляется в виде диполя западно-тихоокеанской дальней связи (ЗТ) [Linkin and Nigam, 2008].

Рисунок 5 показывает распределение коэффициентов корреляции между времененным рядом численности поколений в возрасте 1 год и полем АТПО (январь–апрель) в северотихоокеанском регионе за 1967–1987 гг. Оно, как и на рис. 3а, характеризуется «подковообразной» структурой, которая, однако, смешена на север по сравнению с таковой за весь анализируемый период с 1967 по 2010 гг. Обширная область отрицательных коэффициентов корреляции (до $r = -0.69$ в зал. Олюторский), про-

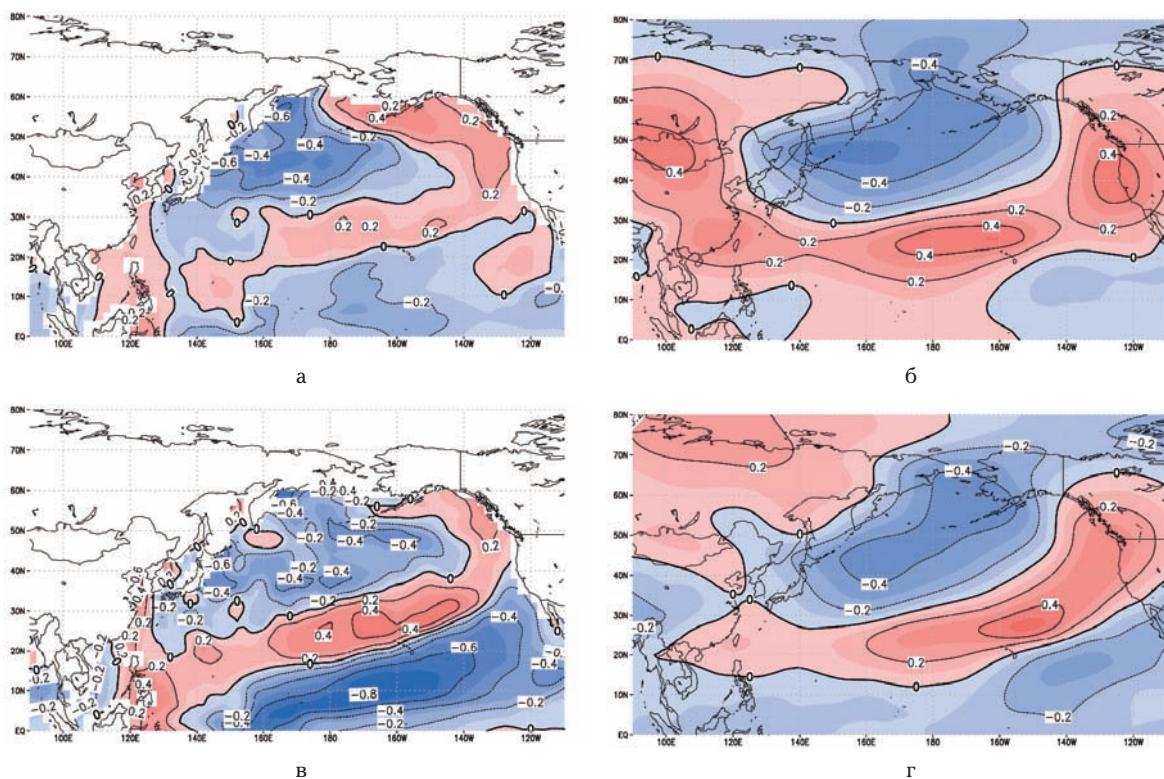


Рис. 5. Распределение коэффициентов корреляции между временным рядом численности поколений в возрасте 1 год и полями средних зимних аномалий ТПО (а) и H_{500} (б) в Северной Пацифике в 1967–1987 гг.; (в) и (г) — то же самое, но для индекса ОСТК

стирающаяся от побережья Евразии на восток до 150° з.д., окружена поясом положительных корреляций, в котором максимальные значения достигают 0,50–0,52, в юго-восточной части Берингова моря. Таким образом, рост численности пополнения запаса трески в 1967–1987 гг. наблюдался после суровых зим в северо-западной части Тихого океана и на западе Берингова моря, когда в этих районах формировались отрицательные АТПО. Атмосферная ситуация в северотихоокеанском регионе в такие зимы характеризовалась развитием диполя с центром пониженного атмосферного давления в субарктических и умеренных широтах и центром более высокого атмосферного давления между 20° и 30° с.ш. (рис. 5б). Этот диполь соответствовал положительной фазе северотихоокеанского колебания.

Как и можно было ожидать, пространственная структура полей корреляции для зимнего индекса ОСТК (рис. 5в, г), рассчитанных за период 1967–1987 гг., имеет большое сходство со структурой соответствующих полей, представленных на рис. 5а, б. Однако имеются

и существенные различия. В частности, распределение коэффициентов корреляции между рядами пополнения трески и АТПО свидетельствует о явно выраженной противофазности между западной и восточной частями Берингова моря (рис. 5а), в то время как на аналогичной карте для индекса ОСТК противоизменный характер колебаний температурных аномалий на западе и востоке моря практически не выражен (рис. 5в). Это связано с различиями в пространственной структуре связи двух рассматриваемых характеристик с атмосферой. В обоих случаях над западной частью Берингова моря преобладал северо-восточный перенос, однако для ряда численности поколений в возрасте 1 год широтный градиент давления (косвенным показателем которого является градиент коэффициентов корреляции) над западной половиной моря более «размыт», чем для ряда индекса ОСТК. На востоке моря в случае ряда численности пополнения, напротив, отмечался более интенсивный юго-западный перенос, влияние которого распространялось вплоть до зал. Анадырский (рис. 5б).

Картинам распределения коэффициентов корреляции между численностью поколений в возрасте 1 год и полями аномалий ТПО и геопотенциальных высот на поверхности 500 гПа (рис. 6а, б) в период 1988–2010 гг. близки к «классической» структуре ОСТК (рис. 6в) и СТК (рис. 6г), но, как и следовало ожидать из рис. 4, с противоположным знаком. В этот период благоприятные условия для роста численности пополнения трески отмечались после более мягких зим в южной и центральной частях Бeringова моря, в годы с отрицательной фазой северотихоокеанского колебания. Однако, как видно из рис. 6а, в районе 60° с.ш. характер колебаний зимних АТПО был противоположен таковому в остальных районах моря. При формировании области высокого атмосферного давления над северной частью северотихоокеанского региона здесь преобладали аномальные ветра западных румбов, переносившие холодные воздушные массы с северо-восточного побережья Евразии. Кроме того, аномальная западная атмосферная циркуляция у 60° с.ш., по-видимому, способствовала развитию экма-

новского переноса поверхностных вод на юг с выносом более холодной глубинной воды к поверхности моря.

Связанная с северотихоокеанским колебанием противофазность в изменениях зимних АТПО в Беринговом море между районами к югу и северу примерно от 58° с.ш. в период 1988–2010 гг. еще лучше выражена для третьей главной компоненты (ГК3) поля аномалий температуры поверхности океана в районе 50–65° с.ш., которая характеризует положительную fazу ОСТК (рис. 7).

Декадная изменчивость численности пополнения запаса трески северо-западной части Берингова моря отражает климатические изменения, охватывающие все Северное полушарие (рис. 8).

В этой связи следует отметить, что на высокоширотные северные районы континентов и океанов большое влияние оказывает арктическое колебание [Thompson and Wallace, 1998; Xie et al., 1999]. В частности, в работе [Xie et al., 1999] показано, что квазидекадная (от 8 до 15 лет) изменчивость АК/САК оказывает зна-

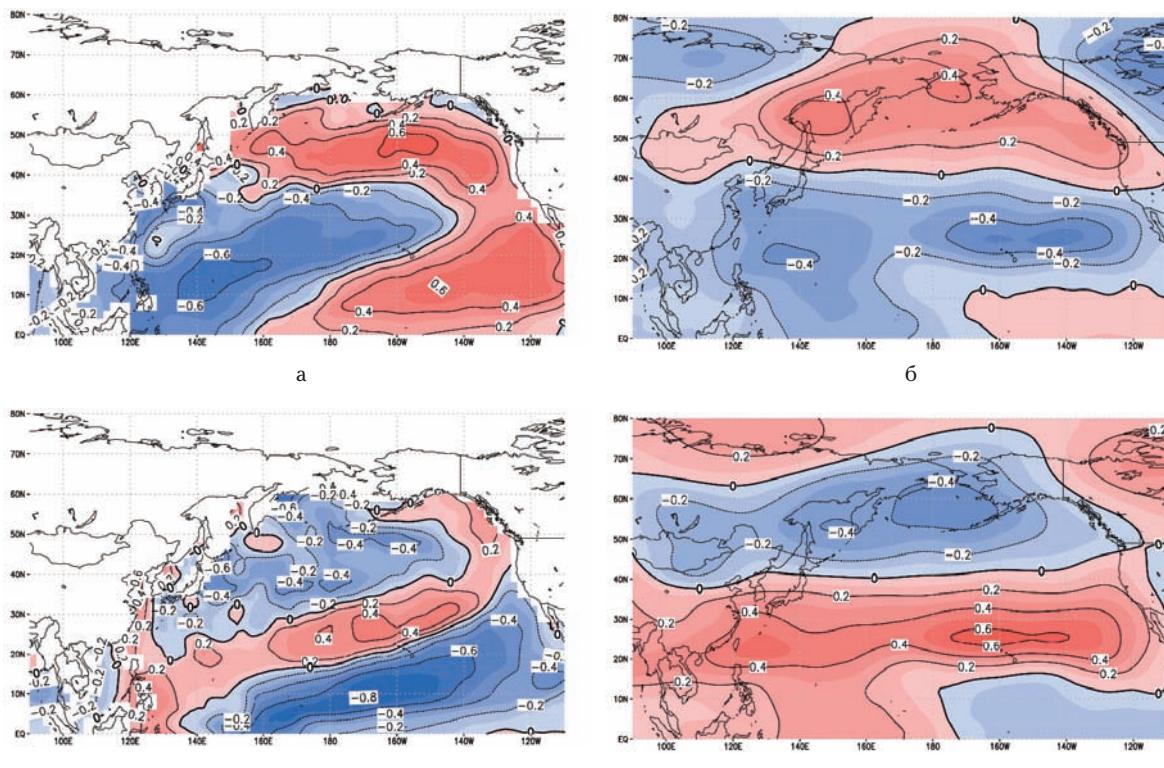


Рис. 6. Распределение коэффициентов корреляции между временным рядом численности поколений в возрасте 1 год и полями средних зимних аномалий ТПО (а) и Н500 (б) в Северной Пацифике в 1988–2010 гг.; (в) и (г) то же самое, но для индекса ОСТК

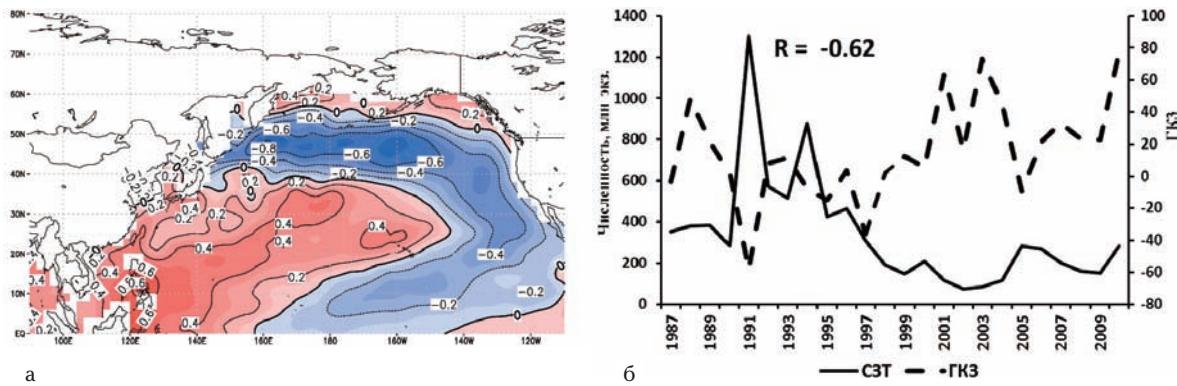


Рис. 7. Распределение коэффициентов корреляции между полем средних зимних АТПО в Северной Пацифике и временным рядом ГКЗ поля температурных аномалий в районе $50-65^{\circ}$ с.ш. за период 1988–2010 гг. (а); временные ряды ГКЗ и численности поколений в возрасте 1 год (б)

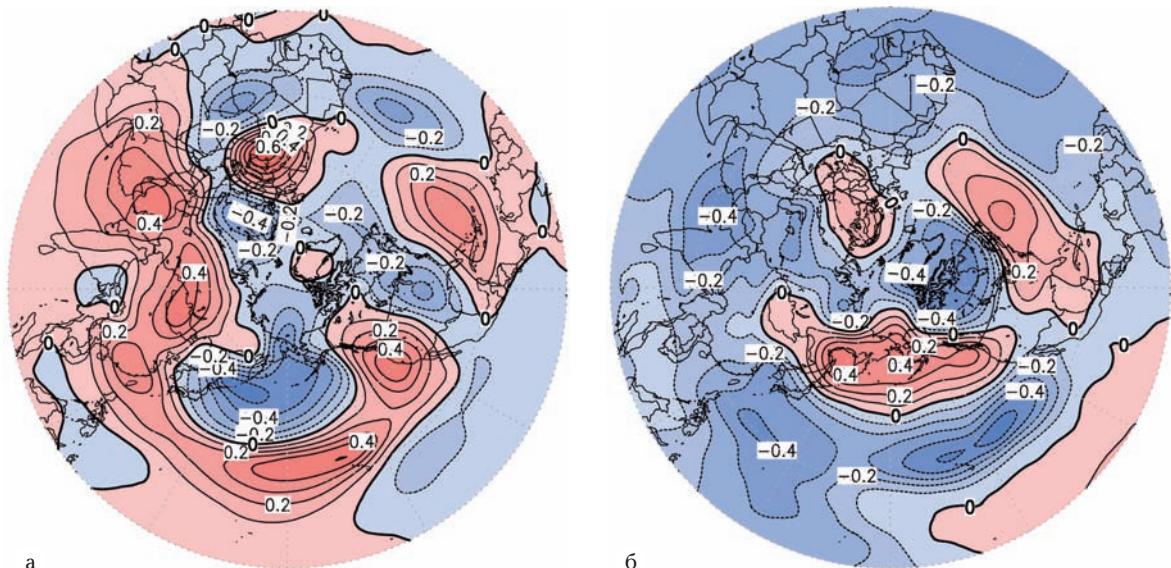


Рис. 8. Распределение коэффициентов корреляции между времененным рядом численности поколений в возрасте 1 год и полем средних зимних (декабрь–февраль) аномалий Н500 в 1967–1987 гг. (а) и 1988–2010 гг. (б)

чительное влияние на ТПО в северной части Японского моря и на севере Северной Пацифики вдоль субполярного фронта. Влияние квазидекадной изменчивости, связанной с АК/САК, также выявлено в подповерхностной температуре вод Японского [Minobe et al., 2004] и Охотского [Minobe and Nakamura, 2004] морей. Все эти результаты свидетельствуют о том, что квазидекадная изменчивость в Северо-Западной части Тихого океана и прилегающих морях связана с квазидекадными изменениями АК/САК.

Анализ кросс-корреляционных функций зимнего индекса АК с временными рядами численности поколений в возрасте 1 год и зимнего

индекса ОСТК показал, что максимальные значения коэффициентов корреляции наблюдались при временном сдвиге в 2 года, когда изменения индекса АК опережают изменения двух последних характеристик (рис. 9).

Как видно из рис. 9, характер связи между анализируемыми характеристиками не остается постоянным во времени. Так, численность пополнения запаса трески и индекс АК изменились синхронно до 1997 г., после чего в их колебаниях наметилась противофазность. Связь между индексами АК и ОСТК имеет более сложный характер. С 1967 по 1984 гг. оба индекса изменялись в фазе, в период с 1985 по 2003 гг. их колебания характеризовались об-

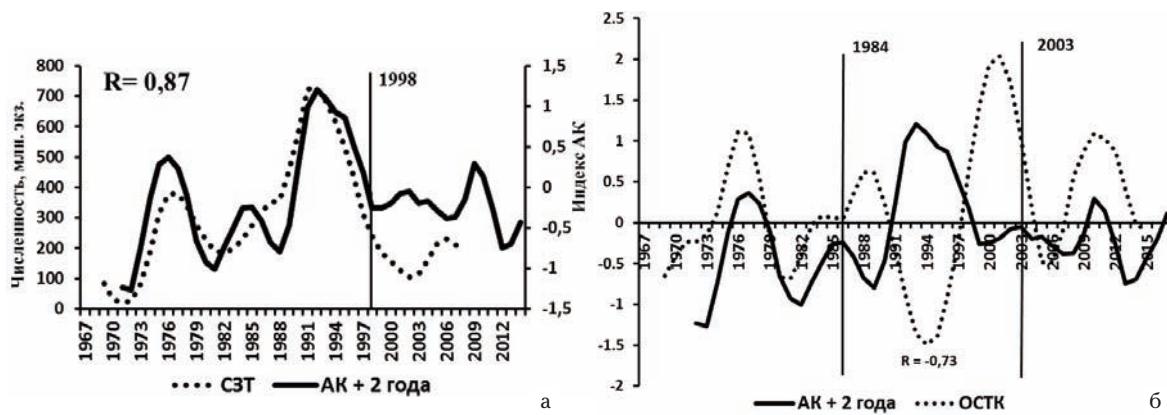


Рис. 9. Сглаженные 5-летним скользящим осреднением временные ряды индекса АК со сдвигом на 2 года вперед и численность пополнения трески северо-западной части Бeringова моря в возрасте 1 год (а) и индекса ОСТК (б). Вертикальными линиями отмечены годы изменения характера связи между анализируемыми характеристиками

ратной связью ($r = -0,73$), а после 2003 г. вновь появились признаки синфазности.

Можно предположить, что квазидекадная изменчивость АК/САК с задержкой в 2 года, прежде всего, оказывает определяющее влияние на северный центр северотихоокеанского колебания, а через него на fazu осцилляции северотихоокеанских круговоротов (рис. 10).

Индекс ОСТК был предложен Э. Ди Лоренцо с соавторами [Di Lorenzo et al., 2008] и представляет собой главную компоненту, т.е. временной ряд, второй эмпирической ортогональной функции (ЭОФ2) поля аномалий динамических высот уровня моря (топографии морской поверхности) в районе 180–110° з.д. и 25–62° с.ш. Учитывая, что аномалии динамических высот отражают изменения геострофической циркуляции, предложенный индекс характеризует интенсивность субарктического

и субтропического океанических круговоротов Северной Пацифики. В периоды положительной фазы ОСТК происходит усиление циркуляции в обоих круговоротах. При этом пространственная структура поля ветровых аномалий соответствует положительной fazе северотихоокеанского колебания (СТК), которое представляет собой доминантную моду изменчивости приземного атмосферного давления. СТК имеет два центра. Один из них расположен над северной частью Берингова моря, а второй, с аномалиями противоположного знака, — в тропической зоне Северной Пацифики, к северу от Гавайских о-вов. Когда индекс ОСТК положителен, ветровое воздействие создает благоприятные условия для развития апвеллинга (подъема вод) и формирования отрицательных АТПО в Аляскинском круговороте и вдоль северной периферии субаркти-

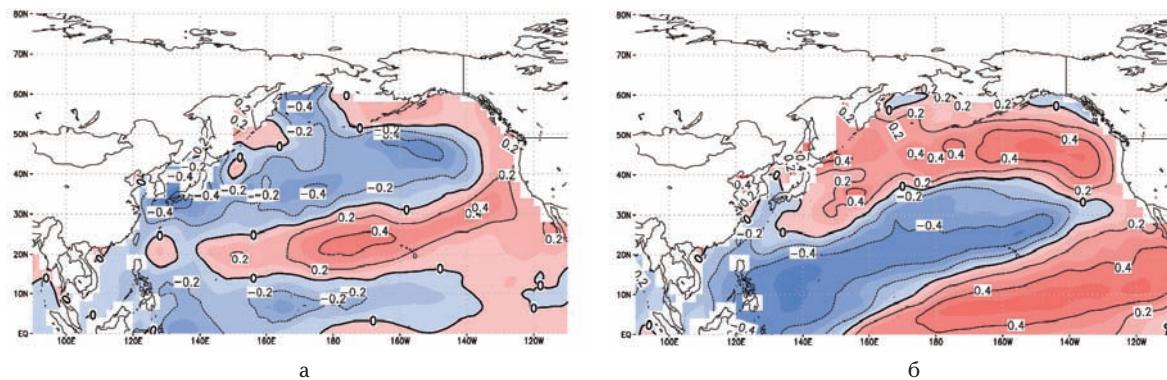


Рис. 10. Распределение коэффициентов корреляции между временным рядом индекса АК (декабрь–февраль) смещённым на 2 года вперед и полем средних зимних (январь–апрель) АТПО в Северной Пацифики: а — 1967–1987 гг.; б — 1988–2010 гг.

ческого круговорота. В районе Восточной Камчатки и в восточной части Охотского моря повышенная теплоотдача с морской поверхности за счёт преобладания ветров северных румбов на западном фланге северного центра СТК приводит к дальнейшему усилению отрицательных аномалий ТПО.

Полученная нами связь пополнения запаса трески северо-западной части Берингова моря с пространственной структурой ОСТК, таким образом, лишь отражает влияние квазидекадной изменчивости атмосферной циркуляции в высоких широтах Северного полушария на северо-запад Тихого океана и его моря. При этом успех пополнения определяется характером зимней атмосферной циркуляции над Беринговым морем (северным центром СТК) в год нереста.

Решающее влияние квазидекадной изменчивости атмосферной циркуляции, связанной с АК/САК, на численность трески северо-западной части Берингова моря в возрасте 1 года подтверждается также наличием статистической связи между пополнением северо-восточной арктической трески, обитающей в Баренцевом море и тесно связанной с САК [Котенев и др., 2013], и пополнениями запасов стад трески в восточной и западной частях Берингова моря (рис. 11).

Остается открытым вопрос о причинах резкого роста численности пополнения запаса трески в 2011–2015 гг. Формирование численности поколения в раннем онтогенезе является результатом действия двух основных факторов – нерестового запаса и условий окружающей среды, в т.ч. термических. Поэтому сама численность может рассматриваться как индикатор условий выживания лишь до некоторой степени, а не полностью. Значительно более адекватным представляется количественное выражение выживания в раннем онтогенезе, «очищенное» от влияния нерестового запаса. Радович [Radvovich, 1962] в качестве такого индикатора предложил коэффициент выживания (КВ), представляющий собой отношение численности организмов, доживших до определённого возраста, к численности рождённых организмов. Для промысловых рыб коэффициент выживания может быть рассчитан как отношение численности поколения либо к общему количеству выметанной икры в год его рождения, либо к биомассе не-

рестового запаса. В последнем случае КВ представляет собой число рыб, выживших от одной тонны нерестового запаса.

В данной работе коэффициенты выживания трески определены как отношение численности рыб в возрасте 1 год к биомассе нерестового запаса в год рождения поколения. При этом временной ряд численности был смешен к году нереста, т.е. на 1 год назад.

Изменения коэффициентов выживания трески северо-западной части Берингова моря показаны на рис. 12. Максимальные величины КВ наблюдались в 1975–1976 гг. и в 2011–2013 гг. Отметим, что в период локального максимума пополнения запаса трески в начале 1990-х гг. коэффициенты выживания её поколений были в несколько раз ниже, чем в середине 1970-х и первой половине 2010-х гг.

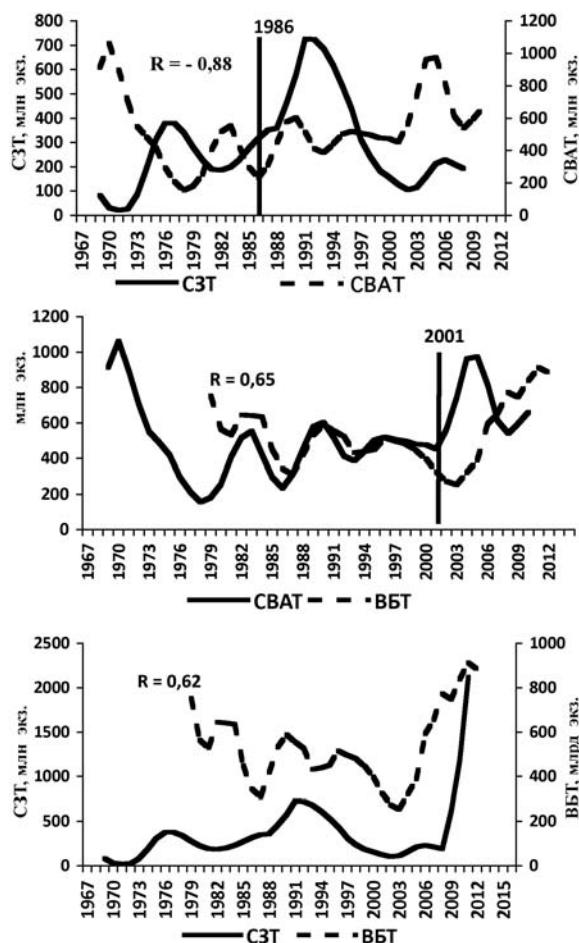


Рис. 11. Корреляционные связи долговременной изменчивости численности поколений СЗТ, северо-восточной арктической трески (СВАТ) и восточно-берингоморской трески (ВБТ)

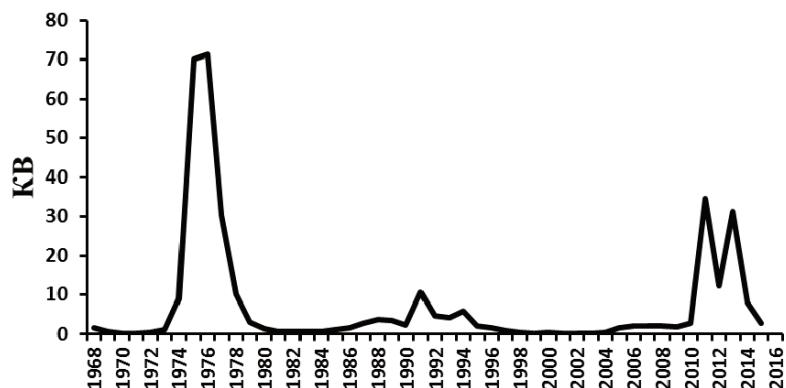


Рис. 12. Коэффициенты выживания СЗТ в 1968–2015 гг.

Таким образом, с точки зрения выживаемости поколений трески период с 2011 по 2015 гг. не является экстраординарным. Более того, в середине 1970-х гг. выживаемость поколений была даже выше, хотя абсолютная численность пополнения в эти годы была значительно ниже, чем в 2010-х гг. Различия связаны с величиной биомассы нерестового запаса.

Рисунок 13 демонстрирует распределение средних зимних (январь–апрель) АТПО в годы с максимальными коэффициентами выживания трески северо-западной части Берингова моря. Оба периода характеризуются схожими, аномально холодными зимами в Беринговом море, предшествующими высокой выживаемости поколений трески.

Таким образом, можно предположить, что высокая численность поколений трески в пер-

вой половине 2010-х гг. была связана с аномально суровыми зимами на западе Берингова моря.

Выводы

Пополнение запаса трески северо-западной части Берингова моря в период 1967–2015 гг. характеризуется хорошо выраженной квазидекадной изменчивостью.

Эти декадные колебания тесно связаны с крупномасштабной модой изменчивости зимних АТПО в Северной Пацифике, отражающей осцилляцию северотихоокеанских океанических круговоротов (ОСТК). Однако знак связи не оставался постоянным и сменился при режимном климатическом сдвиге во второй половине 1980-х гг.

Корреляционное поле пополнения запаса трески с АТПО отражает атмосферный диполь, связанный с северотихоокеанским колебанием. Можно предположить, что северный центр диполя в значительной степени определяет условия воспроизводства трески на северо-западе моря.

Знак аномалии атмосферного давления в северном центре определяется фазой арктического колебания с задержкой в 2 года. Таким образом, условия среды для воспроизведения трески северо-западной части Берингова моря в значительной степени зависят от состояния арктического колебания.

Резкий рост численности пополнения трески в начале 2010-х гг. был, по-видимому, обусловлен её хорошей выживаемостью на ранних стадиях онтогенеза после суровых зим в западной половине Берингова моря.

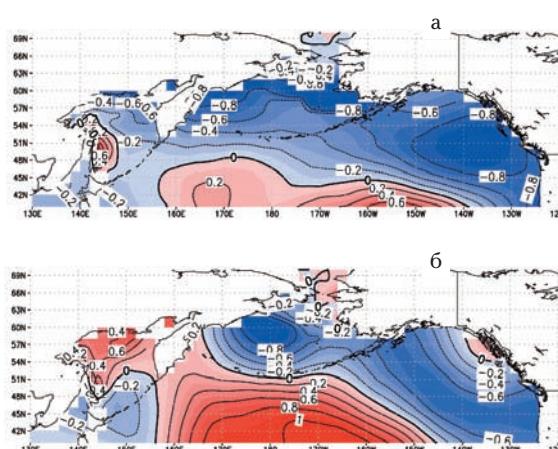


Рис. 13. Распределение АТПО (январь–апрель) в северной части Северной Пацифики в годы с максимальными КВ трески северо-западной части Берингова моря: а — 1975–1976 гг.; б — 2011–2013 гг.

ЛИТЕРАТУРА

- Антонов Н.П. 2011. Промысловые рыбы Камчатского края: биология, запасы, промысел. М.: Изд-во ВНИРО. 245 с.
- Антонов Н.П. 2013. Треска *Gadus macrocephalus* прикамчатских вод // В сб. Тихоокеанская треска дальневосточных вод России (под ред. Орлова А.М.). М.: Изд-во ВНИРО. С. 133–151.
- Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-Центр. 217 с.
- Вершинин В.Г. 1984. Биология и промысел трески северо-западной части Тихого океана // Автореф. ... канд. дисс. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 21 с.
- Вершинин В.Г. 1987. О биологии и современном состоянии запасов трески северной части Берингова моря // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. М.: Наука. С. 207–224.
- Датский А.В., Андронов П.Ю. 2007. Ихтиоцен верхнего шельфа северо-западной части Берингова моря / Отв. Редактор А.В. Датский. Магадан : СВНЦ ДВО РАН. 261 с.
- Датский А.В., Батанов В.Л. 2013. Тихоокеанская треска *Gadus macrocephalus* и её роль в рыбном сообществе Олюторско-Наваринского района Берингова моря в 1996–2005 гг. // В сб. Тихоокеанская треска дальневосточных вод России (под ред. Орлова А.М.). М.: Изд-во ВНИРО. С. 189–212.
- Заочный А.Н. 1986. Роль атмосферной циркуляции в формировании термического режима шельфовых вод Камчатки // Динамика численности промысловых животных дальневосточных морей. Владивосток: Изд-во ТИНРО. С. 17–23.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. 2013. О влиянии крупномасштабной изменчивости атмосферы-океана на урожайность поколений трески Баренцева моря // Вопросы промыслового океанологии. М.: Изд-во ВНИРО. Вып. 10. С. 26–65.
- Савин А.Б. 2013. Распределение и миграция тихоокеанской трески в западной части Берингова моря, у побережья Восточной Камчатки и в Охотском море // В сб. Тихоокеанская треска дальневосточных вод России (под ред. Орлова А.М.). М.: Изд-во ВНИРО. С. 37–80.
- Терентьев Д.А., Винников А.В., Тепнин О.Б. 2004. Прогнозирование величины промзапаса тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus*Tilesius, 1810 (*Gadidae*) северо-западной части Берингова моря на основе его связи с абиотическими факторами // Известия ТИНРО. Вып. 137. С. 292–300.
- Тихоокеанская треска дальневосточных вод. России. Сб. 2013 / Под ред. Орлова А.М. М.: Изд-во ВНИРО. 320 с.
- Яржомбек А.А., Абрамов А.А., Богданов Г.А., Ровнина О.А. 1997. Рост трески *Gadus macrocephalus* северо-западной части Берингова моря // Вопросы ихтиологии. Т. 37. Вып. 5. С. 719–720.
- Alexander M.A. 2010. Extratropical air-sea interaction, SST variability and the pacific decadal oscillation (PDO) // In: Sun D, Bryan F (eds) Climate dynamics: why does climate vary. AGU Monograph #189, Washington, DC, pp 123–148.
- Ceballos L.I., E. Di Lorenzo, C. D. Hoyos, N. Schneider and B. Taguchi. 2009. North Pacific Gyre Oscillation synchronizes climate fluctuations in the eastern and western boundary systems. *J. Climate*, 22, 5163–5174.
- Di Lorenzo E., N. Schneider, K.M. Cobb, P.J.S. Franks, K. Chlak, A.J. Miller, J.C. McWilliams, S.J. Bograd, H. Arango, E. Curchister, T.M. Powell, and P. Riviere North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change // *Geophysical Research Letter*. 2008. V. 35. L08607. doi:10.1029/2007GL032838
- 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.
- Furtado J.C., E. Di Lorenzo. 2011. Pacific climate variability in IPCC coupled climate models. *PICES Scientific Reports*, № 40. P. 103–110.
- Higgins R.W., Leetmaa A., Kousky V.E. 2002: Relationships between climate variability and winter temperature extremes in the United States. *J. Climate*, 15, 1555–1572.
- Higgins R.W., A. Leetmaa, Y. Xue and A. Barnston, 2000: Dominant factors influencing the seasonal predictability of U.S. precipitation and surface air temperature. *J. Climate*, 13, 3994–4017.
- Higgins R.W., Y. Zhou and H.-K. Kim, 2001: Relationships between El Niño-Southern Oscillation and the Arctic Oscillation: A Climate-Weather Link. *NCEP/Climate Prediction Center ATLAS 8.* (Link to Atlas).
- Hurrell J.W. 1995: Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676–679.
- Hurrell J.W., C. Deser. 2009: North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *J. Mar. Syst.*, 78, No. 1, 28–41, DOI:10.1016/j.jmarsys.2008.11.026.
- Kalnay E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, D. Joseph. 1996: The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437–471.
- Larson J., Y. Zhou, R. W. Higgins. 2004: Characteristics of landfalling tropical cyclones in the United States and Mexico: Climatology and Interannual Variability *J. Climate* (submitted).
- Linkin M.E., Nigam S. 2008. The North Pacific Oscillation-West Pacific Teleconnection Pattern: Mature-Phase Structure and Winter Impacts // *Journal of Climate*. V. 21. P. 1979–1997.
- Mantua N.J., S.R. Hare, Y. Zhang, J.M. Wallace, R.C. Francis. 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069–1079.

- Minobe S., Nakamura M.* 2004. Interannual to decadal variability in the southern Okhotsk Sea based on a new gridded upper water temperature data set // JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, V. 109. C09S05, doi:10.1029/2003JC001916.
- Minobe S., Mantua N.* Interdecadal modulation of interannual atmospheric and oceanic variability over the North Pacific. Progress in Oceanography. 1999. 43. № 2–4. P. 163–192.
- Minobe S., A. Sako, M. Nakamura.* 2004. Interannual to interdecadal variability in the Japan Sea based on a new gridded upper water temperature data set, J. Phys. Oceanogr., in press.
- Overland J.E., J.M. Adams and N.A. Bond.* 1999: Decadal variability of the Aleutian low and its relation to high-latitude circulation. J. Climate, 12, 1542–1548.
- Radovich J.* Effects of sardine spawning stock size and environment on year-class production// California Fish and Game. 1962. V. 48. No. 2. P. 123–140.
- Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG), 23–29 April 2015, Hamburg, Germany / ICES CI-EM 2015/ACOM:05. 2015.* 590 p.
- Rodionov S.N., Bond N.A., Overland J.E.* 2007. The Aleutian Low, storm tracks, and winter climate variability in the Bering Sea // Deep-Sea Research II. V. 54. P. 2560–2577.
- Rogers J.C.* 1981. The North Pacific Oscillation. J. of Climatology. V. 1. P. 39–57.
- Smith T.M., R.W. Reynolds, T.C. Peterson and J. Lawrimore.* 2008: Improvements NOAA's Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006). Journal of Climate, 21, 2283–2296.
- Thompson D.W.J., Wallace J.M.* 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // Geophys. Res. Lett., 25. P. 1297–1300.
- Trenberth K.E., Hurrell J.W.* 1995. Decadal coupled atmosphere – ocean variation in the North Pacific Ocean. Canad. Spec. Publ. Fish. and Aquat. Sci. V. 121. P. 15–24.
- Trenberth K.E. and J.W. Hurrell.* 1994: Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific, Climate Dynamics, 9, 303–319.
- T. Xie, S.-P., K. Hu, J. Hafner, H. Tokinaga, Y. Du, G. Huang, and Sampe.* 2009. Indian Ocean capacitor effect on Indo-Western Pacific climate during the summer following El Niño. J. Climate, 22, 730–747.
- Xue, Y., T.M. Smith, and R.W. Reynolds,* 2003: Interdecadal Changes of 30-Yr SST Normals during 1871–2000. Journal of Climate, 16, 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 // Journal of Climate. V. 24. P. 1170–1183.
- Zhou, S., A.J. Miller, J. Wang, and J.K. Angell.* 2001: Trends of NAO and AO and their associations with stratospheric processes. Geophys. Res. Lett., 28, 4107–4110.
- REFERENCES**
- Antonov N.P.* 2011. Promyslovye ryby Kamchatskogo kraja: biologiya, zapasy, promysel. M.: Izd-vo VNIRO. 245 s.
- Antonov N.P.* 2013. Treska Gadus macrocephalus prikamchatskih vod // V sb. Tiookeanskaya treska dal'nevostochnyh vod Rossii (pod red. Orlova A.M.). M.: Izd-vo VNIRO. S. 133–151.
- Borec L.A.* 1997. Donnye ihtioceny rossijskogo shel'fa dal'nevostochnyh morej: sostav, struktura, ehlementy funkcionirovaniya i promyslovoe znachenie. Vladivostok: TINRO-Centr. 217 s.
- Vershinin V.G.* 1984. Biologiya i promysel treski severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana // Avtoref. kand. diss. Vladivostok: DVNC AN SSSR. 21 s.
- Vershinin V.G.* 1987. O biologii i sovremennom sostoyanii zapasov treski severoj chasti Beringova morya // Biologicheskie resursy Arktiki i Antarktiki. M.: Nauka. S. 207–224.
- Datskij A.V., Andronov P.YU.* 2007. Ihtiocen verhnego shel'fa severo-zapadnoj chasti Beringova morya / Otv. Redaktor A.V. Datskij. Magadan : SVNC DVO RAN. 261 s.
- Datskij A.V., Batanov V.L.* 2013. Tiookeanskaya treska Gadus macrocephalus i ee rol' v rybnom soobshchestve Olyutorsko-Navarskogo rajona Beringova morya v 1996–2005 gg. // V sb. Tiookeanskaya treska dal'nevostochnyh vod Rossii (pod red. Orlova A.M.). M.: Izd-vo VNIRO. S. 189–212.
- Zaochnyj A.N.* 1986. Rol' atmosfernoj cirkulyacii v formirovaniyu termicheskogo rezhima shel'fovyyh vod Kamchatki // Dinamika chislennosti promyslovyh zhivotnyh dal'nevostochnyh morej. Vladivostok: Izd-vo TINRO. S. 17–23.
- Kotenev B.N., Krovin A.S., Mordasova N.V., Muryj G.P.* 2013. O vliyanii krupnomasshtabnoj izmenchivosti atmosfery-okeana na urozhajnost' pokolenij treski Barentseva morya // Voprosy promyslovoj okeanologii. M.: Izd-vo VNIRO. Vyp. 10. S. 26–65.
- Savin A.B.* 2013. Raspredelenie i migraciya tiookeanskoj treski v zapadnoj chasti Beringova morya, u poberezhiya Vostochnoj Kamchatki i v Ohotskom more // V sb. Tiookeanskaya treska dal'nevostochnyh vod Rossii (pod red. Orlova A.M.). M.: Izd-vo VNIRO. S. 37–80.
- Terent'ev D.A., Vinnikov A.V., Tepnin O.B.* 2004. Prognozirovaniye velichiny promzapasa tiookeanskoj treski *Gadus macrocephalus* Tilesius, 1810 (Gadidae) severo-zapadnoj chasti Beringova morya na osnove ego svyazi s abioticheskimi faktorami // Izvestiya TINRO. Vyp. 137. S. 292–300.
- Yarzhombev A.A., Abramov A.A., Bogdanov G.A., Rovnina O.A.* 1997. Rost treski *Gadus macrocephalus* severo-zapadnoj chasti Beringova morya // Voprosy ihtiologii. T. 37. Vyp. 5. S. 719–720.

Поступила в редакцию 27.10.2017 г.
Принята после рецензии 22.11.2017 г.

Climate effects on quasi-decadal changes in recruitment of Pacific cod in the northwestern Bering Sea

A.S. Krovinn, N.P. Antonov, B.N. Kotenev, G.P. Moury

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

Quasi-decadal variability in recruitment of Pacific cod (at age 1) in the northwestern Bering Sea during the 1968–2016 period is closely related to the large-scale variations of mean winter sea surface temperature anomalies (SSTA). These variations, in turn, are characterized by the North Pacific Gyre Oscillation (NPGO). The sign of the relationship changed since 1988. The correlation pattern between the cod recruitment time series and mean winter SSTA field in the North Pacific reflects the atmospheric dipole corresponding to the North Pacific Oscillation. Its northern center determines the conditions of cod reproduction. The intensity of atmospheric pressure anomalies in this center depends on the phase of Arctic Oscillation (AO) with a lag of 2 years. Thus, reproduction of cod in the northwestern Bering Sea depends on the AO state. The sharp increase in abundance of cod recruitment in the first half of the 2010s was associated with very favorable survival conditions at early ontogenetic stages after the severe winters. The physical and biological mechanism of this survival requires a further research.

Keywords: quasi-decadal variability, Pacific cod, recruitment, northwestern Bering Sea, sea surface temperature anomalies, North Pacific Gyre Oscillation, Arctic Oscillation.