

На правах рукописи

Кровнин Андрей Сергеевич

**РОЛЬ КРУПНОМАСШТАБНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ В МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЯХ
ЗАПАСОВ ОСНОВНЫХ ОБЪЕКТОВ РОССИЙСКОГО ПРОМЫСЛА**

Специальность:
25.00.36 – геоэкология (науки о Земле)

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Москва - 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»)

Научный руководитель: **Лапин Сергей Александрович**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Отдела динамики климата и водных экосистем Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Москва.

Официальные оппоненты: **Алексеев Генрих Васильевич**, доктор географических наук, профессор, руководитель Отдела взаимодействия океана и атмосферы Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург.

Чернышков Павел Петрович, доктор географических наук, профессор кафедры географии океана Института природопользования, территориального развития и градостроительства Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта, г. Калининград.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», г. Москва

Защита диссертации состоится 20 ноября 2020 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 002.046.03 при ФГБУН Институте географии Российской академии наук по адресу: 119017 г. Москва, Старомонетный пер., д. 29.

Факс: (495) 959-00-33, e-mail: d00204603@igras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Института географии РАН и на сайте: <http://www.igras.ru/2549>

Автореферат разослан «___»_____ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат географических наук  Е.А.Белоновская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Россия – одна из крупнейших рыбодобывающих стран мира. В 2018 г. ее общий улов превысил 5,0 млн. т. Из них порядка 3,4 млн. т. (68%) добыты в морях Дальнего Востока и прилегающих водах Тихого океана, а 1,06 млн. т. (21%) – в Баренцевом и Норвежском морях. Численность и биомасса основных промысловых объектов, таких как треска, сельдь, мойва в Северном бассейне и минтай, лососи, сардина-иваси, сельди на Дальнем Востоке, подвержены значительным колебаниям на масштабах времени от одного до нескольких десятилетий.

Динамика численности любой популяции промысловых гидробионтов определяется, прежде всего, биологическими законами, которые действуют на фоне изменений, происходящих в среде обитания под влиянием климата. Глобальные и региональные климатические колебания представляют собой важнейший фактор, обуславливающий флуктуации численности и биомассы промысловых популяций на различных масштабах времени (Cushing, 1978; 1982).

Морские экосистемы, представляющие собой важный объект геоэкологии, имеют несколько устойчивых состояний с различной реакцией на изменения климато-океанологических параметров (Шунтов, 1991; Шунтов и Дулепова., 1991; Skud, 1982; Wooster and Bailey, 1989). Переходы между ними часто совпадают с климатическими режимными сдвигами, охватывающими значительные пространства. Поэтому для статистически достоверной оценки влияния климата на состояние промысловых популяций необходимо иметь четкое представление о характере функционирования климатической системы, включая характеристики ее пространственно-временной структуры, как для отдельных океанов, так и для полушария в целом. Они могут послужить основой для прогнозирования изменений численности и биомассы основных объектов российского промысла на масштабах от одного до нескольких десятилетий. Как показали итоги Второго Международного рыбопромышленного форума (г. Санкт-Петербург, сентябрь 2018 г.), такой прогноз уже сейчас востребован добывающими компаниями. Он может послужить одной из научных основ для разработки стратегии развития рыбохозяйственного комплекса России, направленной на рациональное использование водных биоресурсов и устойчивое развитие прибрежных регионов страны.

Научный подход основан на установлении корреляционных связей между крупномасштабными изменениями атмосферы и океана, характеризующимися индексами атмосферных и океанических дальних связей, и биологическими параметрами состояния популяции, такими как численность пополнения, коэффициенты выживания и т.д. Используя оценки долгосрочной изменчивости крупномасштабных климатических факторов, будущее состояние запаса определяется с учетом благоприятных и неблагоприятных условий его воспроизводства. При этом универсальным показателем состояния климатической системы и ее изменчивости является температура поверхности океана (ТПО), регулирующая термическое и динамическое взаимодействие

между океаном и атмосферой. Температура контролирует все физиологические процессы в морских организмах (Rivkin and Legendre, 2001; Deutsch et al., 2015). ТПО часто представляет собой ведущий индикатор и/или важнейший драйвер флуктуаций морских экосистем (Mueter et al., 2009; Drinkwater et al., 2010; Ottersen et al., 2010), включая изменения в распределении рыб (Nye et al., 2009; Block et al., 2011; Pinsky et al., 2013), пополнении их популяций (Planque and Fredou, 1999; Hunt et al., 2011) и биоразнообразии (Edwards and Richardson, 2004; Tittensor et al., 2010). ТПО и ее изменения (аномалии) оказывают значительное влияние даже на донные организмы, поскольку часть их жизненного цикла (на ранних стадиях онтогенеза) проходит в подповерхностном слое вод. Кроме того, вследствие сезонного перемешивания вод (зимняя конвекция) изменения в ТПО передаются в более глубокие слои вод. Поэтому понимание механизмов формирования пространственно-временной структуры аномалий ТПО и ее изменчивости чрезвычайно важно как для оценки изменений климата, так и связанных с ними долгосрочных тенденций в состоянии промысловых запасов.

Объект исследования: климатические колебания в северных частях Атлантического (САО) и Тихого (СТО) океанов.

Предмет исследования: особенности влияния климатических изменений в САО и СТО на состояние запасов основных объектов российского промысла.

Цель диссертационной работы – выявить основные структурные элементы климатических систем северных частей Атлантического и Тихого океанов, которые определяют колебания запасов ключевых промысловых популяций на временных масштабах от одного до нескольких десятилетий, и оценить ожидаемые многолетние изменения численности и биомассы промысловых объектов в условиях меняющегося климата.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- систематизация атмосферных и океанических дальних связей (ДС) Северного полушария с целью выявления механизмов формирования пространственно-временной структуры крупномасштабных колебаний аномалий температуры поверхности (АТПО) северных частей Атлантического и Тихого океанов;

- районирование акваторий обоих океанов по характеру колебаний средних зимних аномалий ТПО;

- выявление статистических связей между структурными элементами климатических систем северных частей океанов и колебаниями запасов основных объектов российского промысла на масштабах от одного до нескольких десятилетий;

- оценка влияния климатических процессов в Северном полушарии на долгопериодные колебания численности сильно флуктуирующих промысловых видов рыб (северо-восточная арктическая треска, тихоокеанские лососи, дальневосточная сардина);

- оценка ожидаемых многолетних изменений численности и биомассы промысловых объектов в Северном и Дальневосточном рыбохозяйственных бассейнах под влиянием климата.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Механизмы формирования пространственно-временной структуры климатических колебаний в северных частях Атлантического и Тихого океанов и ее изменчивость.
2. Оценка статистических связей между биологическими показателями состояния популяций основных объектов российского промысла и крупномасштабными климатическими факторами.
3. Особенности влияния климатических процессов в Северном полушарии на долгопериодные колебания численности сильно флуктуирующих промысловых видов рыб.
4. Ожидаемые многолетние изменения численности и биомассы промысловых объектов в условиях меняющегося климата.

Научная новизна.

- Детальное изучение механизмов формирования пространственно-временной структуры вариаций АТПО и ее изменчивости показало, что в Северной Атлантике около 1/3 суммарной дисперсии температурных аномалий связано с 4-х полюсной структурой, обусловленной североатлантическим колебанием (САК). В СТО выделены два независимых диполя в изменениях АТПО: широтный (центральная часть – восток океана) и меридиональный (северо-запад и юго-запад океана).

- Впервые выявлены две моды взаимодействия между климатическими системами северных частей Атлантического и Тихого океанов. Первая («западная») мода, преобладавшая до конца 1980-х годов, отражала влияние климатических процессов СТО на климат Северной Атлантики посредством «атмосферного моста» через Северную Америку. Сдвиг центров действия САК на восток с конца 1970-х годов обусловил установление «восточной» моды взаимодействия, когда климатические изменения, происходившие в североатлантическом бассейне, распространялись в западную половину СТО через систему атмосферных дальних связей («атмосферный мост») над Евразией. Установление «восточной» моды взаимодействия стало одной из причин резкого потепления поверхностных вод в западных и центральных районах северной части Тихого океана с конца 1980-х гг.

- Впервые установлены новые (ранее неизвестные) статистически значимые связи ($|r| = 0,60 \div 0,80$) между индексами атмосферных и океанических ДС и биологическими параметрами состояния запасов основных объектов российского промысла в Северном и Дальневосточном рыбохозяйственных бассейнах.

- Впервые выявлены изменения характера связи (смена ее знака) между биологическими и климатическими характеристиками (при смене климатических режимов, при различном уровне состояния запасов) для северо-восточной арктической трески, норвежской весенне-нерестующей сельди, трески северо-западной части Берингова моря.

- Впервые установлено, что формирование двух «сардинных эпох» в XX веке и «лососевой эпохи» в 1980-х – 2010-х годах было связано с усилением

влияния климатических процессов в Атлантико-Евразийском секторе на климат северо-западной части Тихого океана.

- Впервые выполнена оценка ожидаемых многолетних изменений численности и биомассы дальневосточной сардины, тихоокеанских лососей, северо-восточной арктической трески и норвежской весенне-нерестующей сельди под влиянием климата на период до 2035 г.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что ее результаты существенно дополняют представления о характере функционирования климатической системы Северного полушария и могут быть использованы для средне- и долгосрочного прогнозирования климатических тенденций в северных частях Атлантического и Тихого океанов. Выявленные связи между биолого-промысловыми параметрами состояния популяций ключевых объектов промысла и климатическими факторами учитываются специалистами ФГБНУ «ВНИРО» в практике рыбопромыслового прогнозирования. Экспертные оценки тенденций в изменении основных промысловых запасов с учетом ожидаемых изменений климата могут быть рекомендованы для использования при разработке стратегии устойчивого развития рыбопромышленного комплекса России.

Обоснованность и достоверность результатов работы обусловлена использованием большого объема качественной исходной климатической и биологической информации, грамотным применением современных методов одномерного и многомерного статистического анализа. Результаты работы не противоречат, но существенно дополняют и расширяют современные представления о характере функционирования и изменчивости климатической системы Северного полушария и ее влияния на состояние промысловых популяций.

Личный вклад автора состоит в подготовке массива климатических данных и отборе временных рядов биолого-промысловых характеристик, необходимых для выполнения работы; разработке алгоритма кластерного анализа для районирования САО и СТО и его реализации на языке программирования ФОРТРАН; проведении анализа полученных результатов, их визуализации, интерпретации и обобщения. По результатам работ в составе группы авторов в 2005 г. диссертант получил патент на изобретение №2264097 «Способ оценки состояния запасов промысловых рыб по результатам многолетних наблюдений». Срок действия патента истекает 27мая 2024 г.

Апробация диссертационной работы. Основные результаты работы докладывались автором на ежегодных (с 1992 по 2019 гг.) международных и научно-практических конференциях по рыболовству и климатическим изменениям, проходивших в Греции (1992), Канаде (1992, 2001, 2002, 2007, 2013, 2017, 2019), России (2002, 2003, 2004, 2011, 2012, 2014, 2016, 2017, 2018), Южной Корее (2003, 2016), Франции (1995, 2004), Швейцарии (1995) Испании (2004), Норвегии (2004, 2011, 2012), Дании (2012), Китае (2008), Бразилии (2004), Финляндии (2007), Исландии (2013), Японии (2012, 2015), США (1995, 1998, 2001, 2004, 2014, 2017, 2019). В составе Межправительственной Группы

Экспертов по Изменениям Климата (МГЭИК) в 2007 г. был награжден Нобелевской Премией Мира.

Публикации. Материалы диссертации полностью изложены в работах, опубликованных соискателем. По теме диссертации опубликовано 37 работ, из которых 12 статей - в рецензируемых научных журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы. Список литературы включает 145 наименований. Иллюстративный материал представлен 5 таблицами и 85 рисунками. Общий объем диссертации составляет 149 страниц.

Благодарности. Автор выражает свою особую благодарность заведующему лабораторией климатических основ биопродуктивности к.г.н. Котеневу Борису Николаевичу, д.г.н. Масленникову Вячеславу Вячеславовичу, коллективу Отдела динамики климата и водных экосистем и, прежде всего, к.б.н. Мордасовой Наталии Вадимовне и Васильевой Тамаре Евгеньевне, а также сотрудникам Отдела рыбохозяйственной экологии ФГБНУ «ВНИРО» к.б.н. Аржановой Наталии Владимировне и Зубаревичу Виктору Львовичу, за огромную помощь в подготовке настоящей работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность работы, определены основная цель и задачи для ее достижения, отражены научная новизна и практическая значимость работы. Сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе автора и апробации работы.

В **первой главе** дано подробное описание климатических и биолого-промысловых данных, а также методов многомерного статистического анализа, использованных в работе.

В работе использовались следующие климатические данные, имеющиеся в свободном доступе в сети интернет:

1. Результаты реанализа по модели NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996), включающие среднемесячные значения геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа и атмосферного давления на уровне моря, а также глобальных и региональных климатических индексов за период 1950-2018 гг., размещенные на сайте Лаборатории Исследования Земных Систем (США; ESRL – Earth System Research Laboratory).

2. Среднемесячные значения температуры поверхности океана в узлах регулярной сетки $2^\circ \times 2^\circ$ по Расширенной модели Рейнольдса (ERSST v.4) за период 1856-2018 гг. и по модели оптимальной интерполяции (OISST v.2) в узлах регулярной одноградусной сетки за период 1982-2018 гг.

3. Данные объективного анализа ТПО в узлах сетки $5^\circ \times 5^\circ$ в CAO ($20-65^\circ$ с. ш., 95° з. д. - 5° в. д.) и СТО ($20-55^\circ$ с. ш., 115° в. д. - 130° з. д.) из архива Росгидрометцентра за период 1957-2018 гг.

Основная часть биолого-промысловой информации (данные по численности пополнения, биомассе нерестового запаса, уловам) имеется в

свободном доступе на сайтах международных организаций (ИКЕС, НПАФК). Остальные материалы любезно предоставлены сотрудниками профильных лабораторий ФГБНУ «ВНИРО». Наиболее длительные временные ряды имеются по численности пополнения северо-восточной арктической трески и норвежской весенне-нерестующей сельди (с 1907 г.), а также по уловам дальневосточных лососей (с 1911 г.) и сардины (с 1905 г.).

Для анализа пространственно-временной структуры климатических колебаний в САО и СТО использованы методы многомерного статистического анализа: метод эмпирических ортогональных функций (метод главных компонент) и один из методов иерархического кластерного анализа, известный как метод минимальной дисперсии или метод Уорда (Ward, 1963).

Расчеты выполнены для двух перекрывающихся периодов: 1957-1988 и 1977-2018 гг. Их выбор обусловлен необходимостью оценки влияния известных из литературы климатических сдвигов 1970/1971, 1976/1977 и 1988/1989 гг. на пространственную структуру колебаний АТПО в Северном полушарии.

В **главе 2** приведено определение понятия «дальняя связь» (ДС) в климатической системе, рассмотрены принципы их выделения и исследования, дана характеристика основным ветвям атмосферных и океанических ДС Северного полушария с указанием периодов преобладания их положительных и отрицательных фаз. Констатируется, что наличие дальних связей в атмосфере и океане дает ключ к пониманию связи различных биолого-промысловых характеристик в удаленных друг от друга районах океана.

В **третьей главе** рассмотрены механизмы формирования пространственно-временной структуры АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов в зимний период года (январь-апрель) и ее изменчивость, приведены результаты районирования акваторий океанов по характеру колебаний средних зимних АТПО, описаны особенности взаимодействия климатических систем северных частей океанов.

Первые три эмпирические ортогональные функции (ЭОФ) (~ 60% суммарной дисперсии) дают представление о пространственно-временной структуре колебаний АТПО в **Северной Атлантике** и механизмах ее формирования. На рис.1 эмпирические ортогональные функции представлены в виде полей коэффициентов корреляции между временным рядом соответствующей данной ЭОФ главной компоненты (ГК) и временными рядами АТПО во всех узлах регулярной сетки на акватории океана. Аналогичным образом представлены соответствующие данной ЭОФ атмосферные поля.

Для ЭОФ1 характерна 4-х полюсная структура, с аномалиями ТПО одного знака (положительными на рис. 1) на северо-западе и юго-востоке акватории и противоположными им по знаку аномалиями в северо-восточной и юго-западных частях океана. В период 1957-1988 гг. распределение АТПО, связанное с ЭОФ1, определялось сочетанием положительной фазы западно-атлантической дальней связи и отрицательной фазы атмосферной дальней связи «тропики – умеренные широты Северного полушария». В 1977-2018 гг. наблюдалось расширение центров САК с их одновременным смещением на север и на восток. Аналогичные изменения отмечены для северо-западного и

юго-западного океанических центров ЭОФ1. В отличие от периода 1957-1988 гг. в 1977-2018 гг. отсутствовала связь с северо-тихоокеанскими ветвями атмосферных ДС.

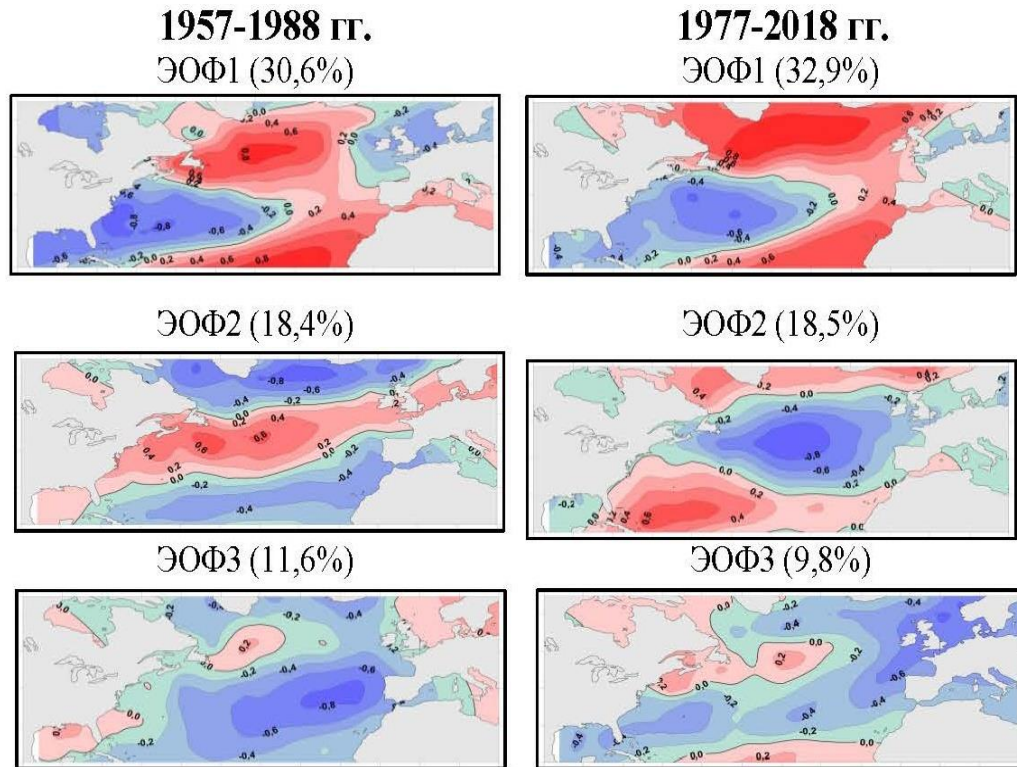


Рис. 1. Первые три ЭОФ средних зимних (январь-апрель) АТПО в северной части Атлантического океана для двух периодов: 1957-1988 и 1977-2018 гг.

В 1957-1988 гг. ЭОФ2 (18,4%) характеризовалась меридиональной трехполусной структурой с отрицательными аномалиями ТПО в районах к северу от 50° с. ш. и к югу от $40-35^\circ$ с. ш., между которыми располагалась область положительных АТПО. Изменения в структуре ЭОФ2 от 1957-1988 гг. к 1977-2018 гг. связаны со значительным расширением и смещением к востоку центра максимальной изменчивости АТПО в средних широтах Северной Атлантики.

ЭОФ3 в 1957-1988 гг. характеризовалась одним обширным центром в южной половине Северной Атлантики, колебания АТПО в котором были в некоторой степени обусловлены тихоокеанско-североамериканской дальней связью. В 1977-2018 гг. этот центр сместился далеко на северо-восток – в Северное море и южную часть Норвежского моря вслед за аналогичной миграцией центров действия САК.

В целом, полученные результаты показали, что:

- пространственная структура колебаний аномалий ТПО в северной части Атлантического океана и ее изменчивость определяются, прежде всего, изменениями в долготном и широтном положении двух центров действия атмосферы, которые связывают с североатлантическим колебанием;

- около 1/3 изменчивости температурных аномалий в САО связаны с 4-х полюсной пространственной структурой. В период 1957-1988 гг. ее формирование определялось совместным влиянием положительной фазы

западно-атлантической дальней связи и отрицательной фазы атмосферной дальней связи «тропики – умеренные широты Северного полушария», а в 1977-2018 гг. – североатлантическим колебанием.

- Период 1977-2018 гг. характеризовался смещением центров действия атмосферы над Северной Атлантикой в восточном направлении, что сопровождалось аналогичным сдвигом центров максимальной изменчивости аномалий ТПО.

- От 1957-1988 гг. к 1977-2018 гг. наблюдалось ослабление влияния на Северную Атлантику климатических процессов, формирующихся в восточной половине северотихоокеанского бассейна.

Первые три ЭОФ среднезимних аномалий ТПО в северной части Тихого океана объясняют порядка 65% общей дисперсии их колебаний (рис. 2).

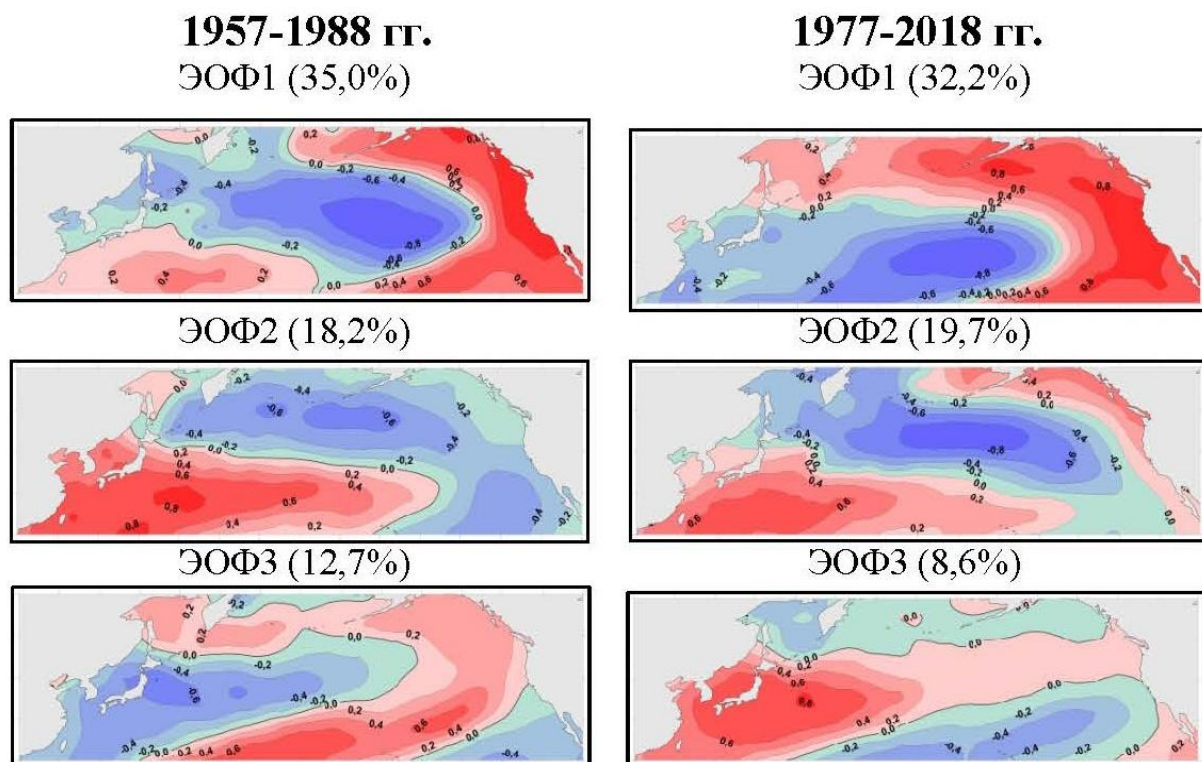


Рис. 2. Первые три ЭОФ средних зимних (январь-апрель) АТПО в северной части Тихого океана для двух периодов: 1957-1988 и 1977-2018 гг.

Основная особенность структуры первой ЭОФ (35,0%) в 1957-1988 гг. – широтный диполь, отражающий противофазную связь между колебаниями АТПО в центральной части океана и вдоль западного побережья Северной Америки и известный как «тихоокеанская декадная осцилляция» (Pacific Decadal Oscillation; Mantua et al., 1997). В атмосфере эта мода сопряжена с тихоокеанско-североамериканской ДС. В 1977-2018 гг. структура ЭОФ1 отражала широтный диполь, центры которого были смещены к югу примерно на 10° широты по сравнению с периодом 1957-1988 гг.

Пространственная реализация ЭОФ2 в 1957-1988 гг. характеризовалась меридиональным диполем с нодальной линией приблизительно вдоль 40° с. ш. Эта ЭОФ известна как «мода Виктория» (Bond et al., 2003). Ди Лоренцо с соавторами (Di Lorenzo et al., 2008) связали ее с изменениями

крупномасштабной океанической циркуляции, получившими название осцилляции северотихоокеанских круговоротов (ОСТК – North Pacific Gyre Oscillation (NPGO)). В 1977-2018 гг. пространственная структура ЭОФ2 имела трехполосную структуру с аномалиями ТПО одного знака (в данном случае положительными) на крайнем юго-западе и северо-востоке акватории СТО и аномалиями противоположного знака в обширном районе между ними.

ЭОФ3 в оба периода имела дипольную структуру, вытянутую в квазиширотном направлении. Один из ее центров простирался на восток от Японских островов, а второй центр с аномалиями противоположного знака располагался в центральной части океана на 20-30° с. ш.

В целом, пространственная структура колебаний АТПО в СТО оказалась более устойчивой во времени, чем в CAO. При этом от 1957-1991 гг. к 1977-2018 гг. отмечалось значительное усиление изменчивости АТПО в юго-западном секторе СТО при ее ослаблении в восточной половине океана.

Районирование исследуемых акваторий CAO и СТО методом Уорда (Ward, 1963) выполнено для периодов 1957-1991 гг. и 1987-2014 гг.

В CAO по результатам кластерного анализа за 1957-1991 гг. выделено шесть крупномасштабных географических районов с когерентными изменениями среднезимних АТПО в пределах каждого из них (рис. 3а). Колебания температурных аномалий характеризовались «четырехполосной» структурой, аналогичной структуре ЭОФ1 в период 1957-1988 гг. (рис. 4а) Эта пространственная структура в значительной мере определялась САК. Коэффициент корреляции между первой ГК временных рядов аномалий ТПО, осредненных по каждому из районов 1А-4А, и временным рядом индекса САК составил -0,73 ($p < 0,01$). В то же время, на колебания АТПО в центральной части океана (район 5А) значительное влияние оказывала тихоокеанско-североамериканская ДС.

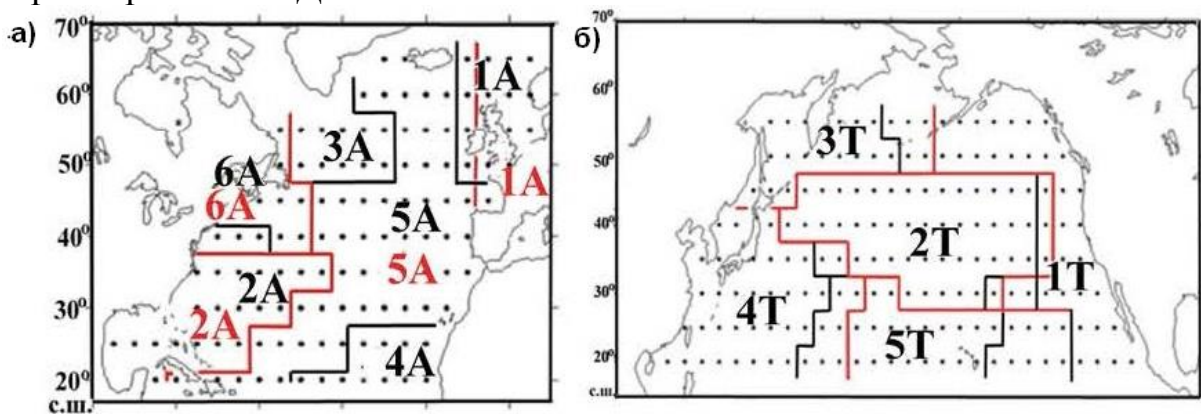


Рис. 3. Результаты кластерного анализа полей средних зимних АТПО в северных частях Атлантического (а) и Тихого (б) океанов за периоды: 1957-1991 гг. (черные ломаные линии) и 1987-2014 гг. (красные ломаные линии)

Результаты районирования северной части Атлантического океана за период 1987-2014 гг. выявили следующие изменения: 1) отсутствие 4-х полюсной структуры, характерной для периода 1957-1991 гг., в связи с объединением районов 3А, 4А и 5А в один обширный район 5А; 2) смещение границы между районами 5А и 1А на восток; 3) увеличение площади района 6А

с усилением отрицательной корреляционной связи между колебаниями АТПО в районах 5А и 6А ($r = -0,86$; $p < 0,01$), что, вероятно, связано с изменениями в характере крупномасштабной океанической циркуляции.

В северной части Тихого океана в 1957-1991 гг. выделены две независимые пространственные моды флуктуаций АТПО: колебания аномалий между ее восточной (район 1Т) и центральной частями (район 2Т), а также на северо-западе (район 3Т) и юго-западе (район 4Т) ее акватории происходили в противофазе (рис. 4б). Противофазность флуктуаций аномалий поверхностной температуры воды между районами 1Т и 2Т обусловлена географическим положением центров тихоокеанско-североамериканской ДС, а между северо-западным (3Т) и юго-западным (4Т) районами – проявлением западно-тихоокеанской ДС.

В 1987-2014 гг. количество кластеров (районов) в СТО по сравнению с периодом 1957-1991 гг. не изменилось (рис. 3б). Однако корреляционная связь между центральной (район 2Т) и восточной (район 1Т) частями исследуемой акватории стала статистически незначимой ($r = -0,13$), в то время как между северо-западным и юго-западным районами (3Т и 4Т) она, напротив, усилилась (с $r = -0,42$ до $r = -0,60$).

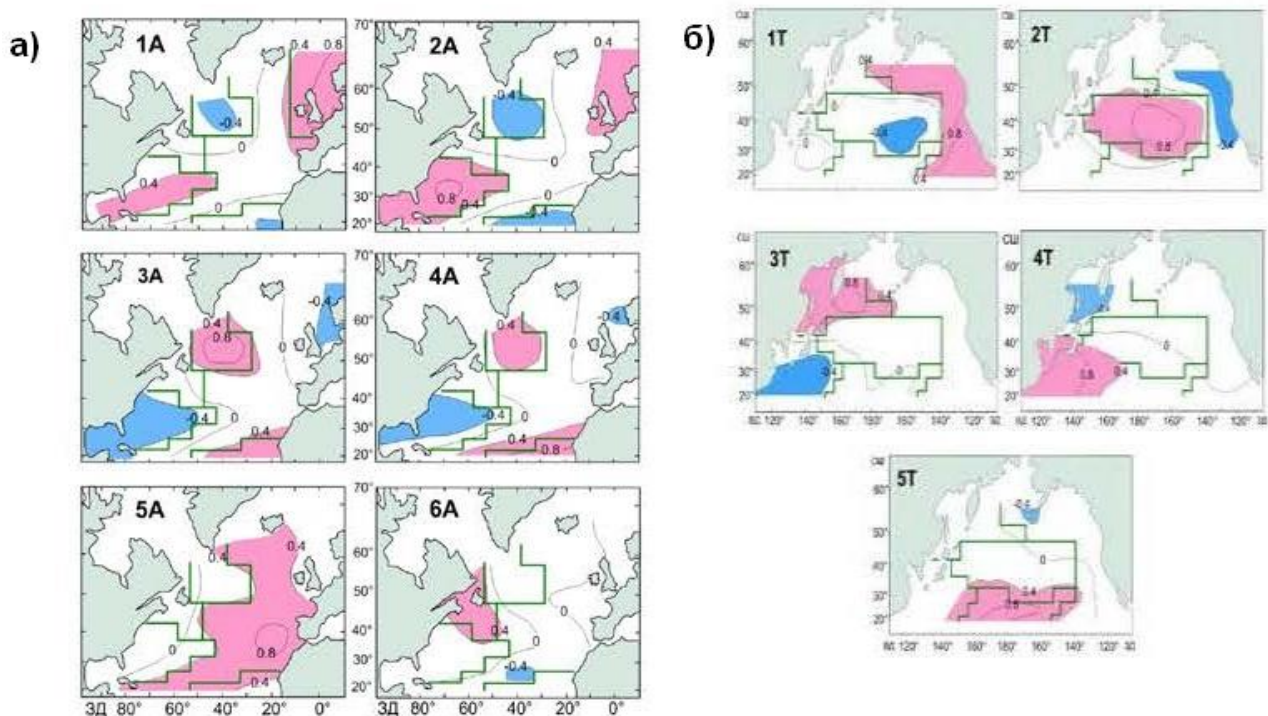


Рис. 4. Распределение коэффициентов корреляции между временными рядами АТПО, осредненными по каждому из районов 1А-6А, и временными рядами аномалий в каждом из узлов 5-градусной сетки в период 1957-1991 гг. (а); то же самое, но для районов 1Т-5Т (б). Розовой и голубой заливкой показаны области с $|r| \geq 0,40$

Выявлены две моды взаимодействия между северными частями Атлантического и Тихого океанов. Первая («западная») мода, преобладавшая до конца 1980-х гг., отражала влияние климатических процессов 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 ДС. (рис. 5б,в). Эта

мода проявлялась в высокой положительной корреляции колебаний средних зимних АТПО между восточной частью СТО и центральной частью САО ($r = 0,74$) в 1957-1991 гг. (рис. 5а).

Сдвиг центров действия САК в восточном направлении, наблюдавшийся с конца 1970-х годов, обусловил установление «восточной» моды взаимодействия между исследуемыми акваториями (рис. 6б,в). 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 в юго-западной части СТО (рис. 6а). В то же время, связь между вариациями температурных аномалий в восточной части СТО и центральной части САО значительно ослабла. Климатические изменения, происходившие на северо-востоке Атлантического океана, проявлялись в западной половине северной части Тихого океана через систему атмосферных дальних связей над Евразией.

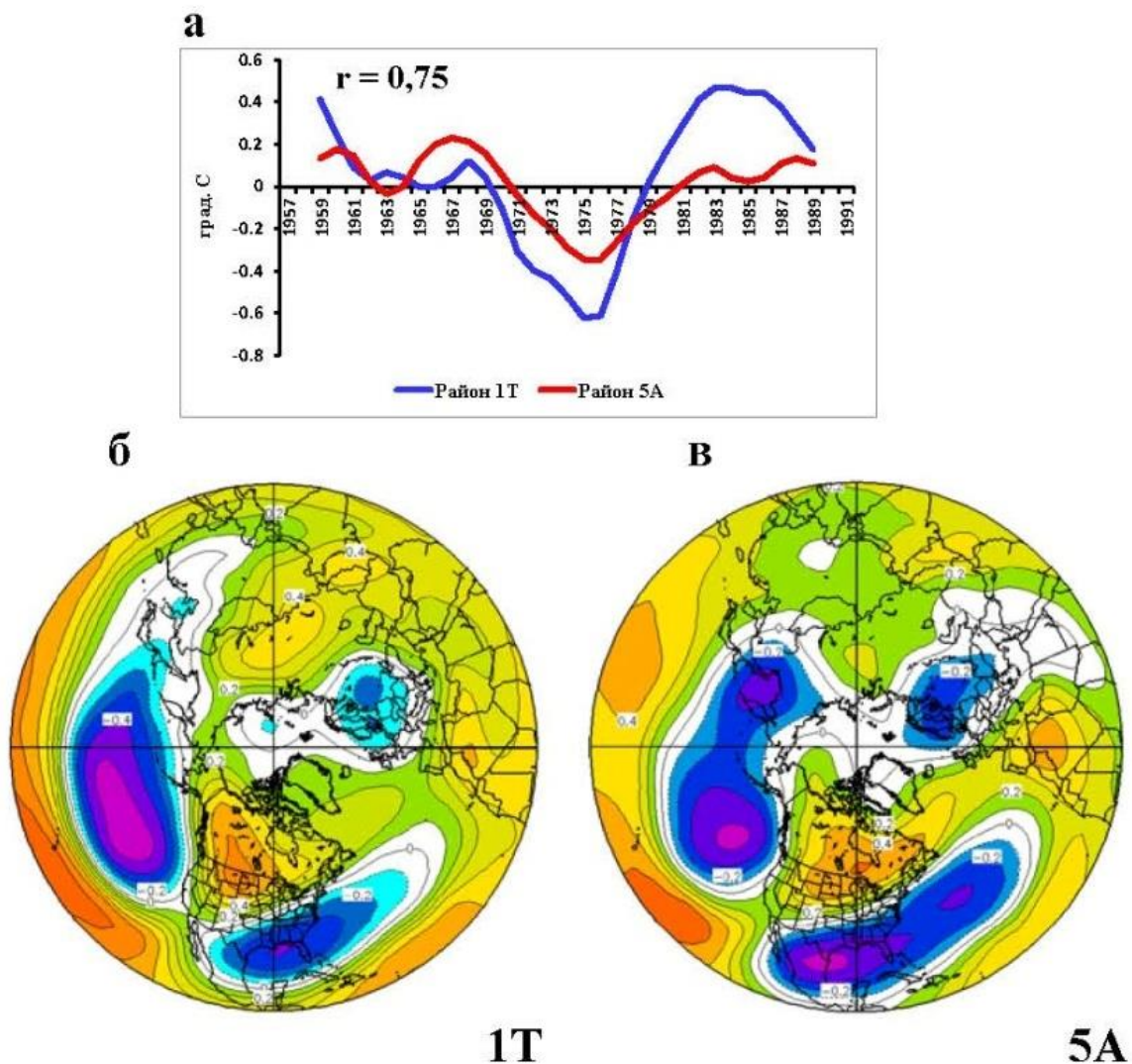


Рис. 5. Распределение коэффициентов корреляции между средними зимними АТПО, осредненными по районам 1Т (а) и 5А (б), и аномалиями геопотенциальных высот поверхности 500 гПа в период 1957-1991 гг.; 5-летние скользящие средние аномалий ТПО в районах 1Т (красная линия) и 5А (синяя линия) (в)

Установление «восточной» моды взаимодействия стало одной из причин резкого потепления поверхностных вод в западной половине СТО в конце 1980 -х годов. Это подтверждается анализом влияния первых трех ЭОФ средних зимних аномалий геопотенциальных высот поверхности 500 гПа в евразийском секторе Северного полушария (20-70° с. ш., 0-150° в. д.) на поле АТПО в северной части Тихого океана в период 1977-2005 гг., т.е. при восточном положении центров САК.

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.

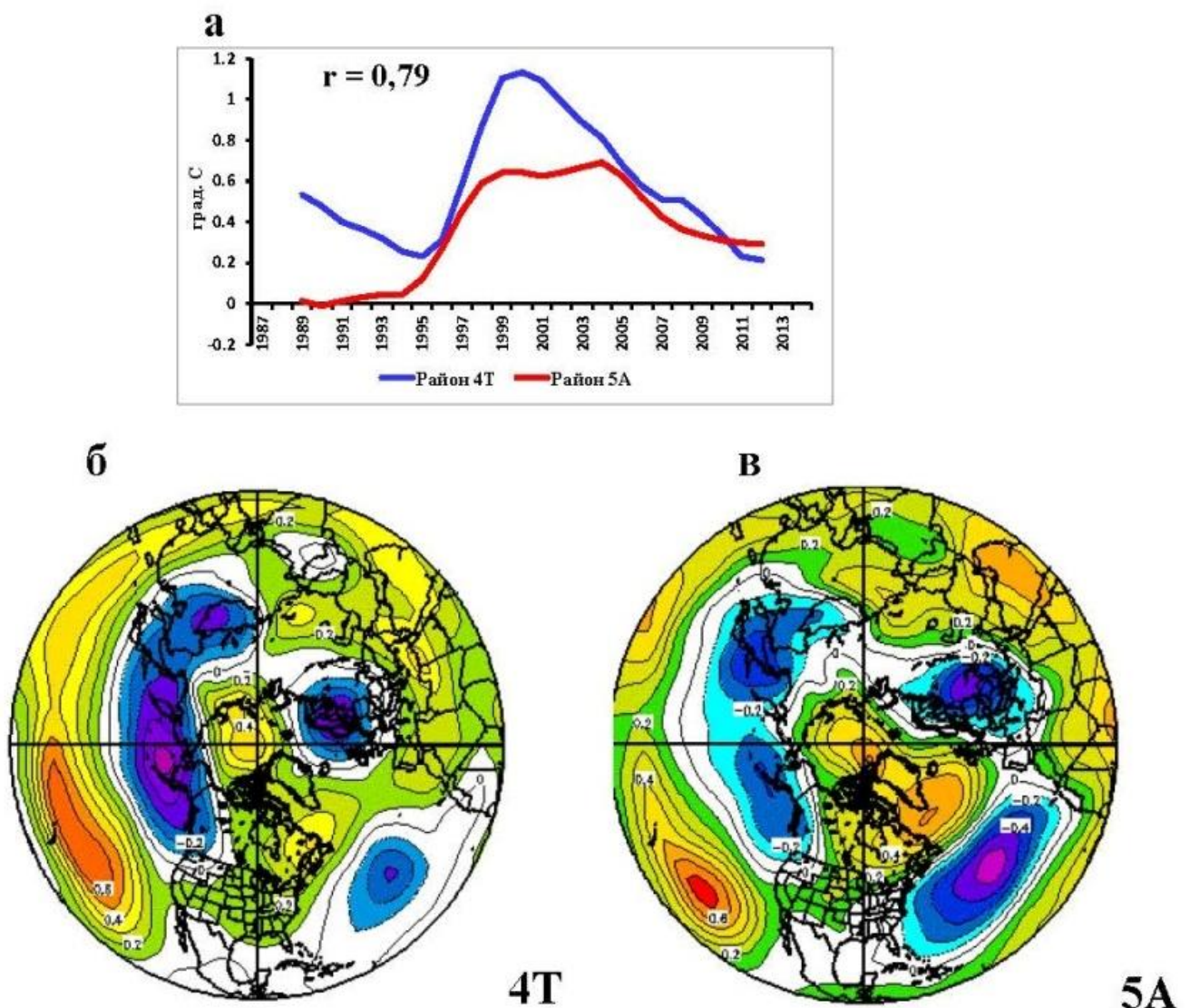


Рис. 6. Временные ряды средних зимних АТПО в районах 4Т и 5А, сглаженные 5-летним скользящим осреднением (а); распределение коэффициентов корреляции между АТПО в районах 4Т (б) и 5А (в) и аномалиями N_{500} в Северном полушарии в период 1987-2014 гг.

Таблица 1 демонстрирует эволюцию климатических процессов в северных частях океанов за последние 70 лет, а также прогноз их развития на период до 2026 г.

Таблица 1. Эволюция и основные характеристики ведущих климатических мод северных частей Тихого и Атлантического океанов в 1946-2015 гг. и прогноз их развития до 2027 г.

Знаки «+» и «-» означают, соответственно, положительную и отрицательную фазу климатического процесса

Период, гг.	Северная часть Тихого океана	Северная Атлантика
1946-1955	Максимальное развитие ТДО- Тенденция к снижению ТПО в СЗТО	Максимальное развитие +АМО Усиление тенденции к САК- Положительные АТПО в СВА
1956-1965	ТДО- Начальная стадия ЗТ- Формирование АТПО - в СЗТО	Окончательная стадия АМО+ Максимальное развитие САК- Снижение ТПО в СВА
1966-1976	Окончательная стадия ТДО- Максимальное развитие ЗТ- Отрицательные АТПО в СЗТО	Начальная стадия АМО- Усиление САК+ Ярко выраженная декадная изменчивость АТПО в СВА
1977-1987	Максимальное развитие ТДО+ Тенденция к ослаблению ЗТ- АТПО - в СЗТО	Максимальное развитие АМО- САК+ Декадные колебания АТПО в СВА
1988-1994	ТДО+ Усиление ЗТ+ Положительные ТПО в СЗТО	Окончательная стадия АМО- Максимальное развитие САК+ Рост ТПО в СВА
1995-2007	Окончательная стадия ТДО+ Максимальное развитие ЗТ+ Максимум потепления в СЗТО	Максимальное развитие АМО+ Тенденция к снижению индекса САК АТПО+ в СВА
2008-2017	Начальная стадия ТДО- Окончательная стадия ЗТ+ Тенденция к снижению ТПО в СЗТО	АМО+ Усиление тенденции к снижению индекса САК АТПО+ в СВА
2018-2026	ТДО- Начальная стадия ЗТ- Формирование АТПО - в СЗТО	Окончательная стадия АМО+ САК- Заметная тенденция к снижению ТПО в СВА

Четвертая глава посвящена выявлению связей между многолетними колебаниями запасов основных промысловых объектов Северного и Дальневосточного рыбохозяйственных бассейнов и крупномасштабными климатическими факторами в Северном полушарии.

К 39 биологическим и 36 физическим временным рядам (всего 75 рядов) за период 1970-1995 гг. был применен метод главных компонент.

Первая ГК (20,3%), связанная с САК ($r = - 0,74$, $p < 0,01$), тесно коррелирует ($|r| > 0,40$) с 36 биологическими и физическими временными рядами. Эта компонента описывает многолетние колебания индексов выживания многих североатлантических стад (пикши, сайды, палтуса, ирландской сельди), а также запасов западно- и восточно-камчатской нерки, горбуши, минтая. В большинстве случаев эти колебания происходили в одной фазе с САК. ГК2 (13,9%) связана с ТДО ($r = - 0,80$, $p < 0,01$). Высокие

коэффициенты корреляции с ГК2 получены для некоторых стад сельди и сайды Северо-Восточной Атлантики, а также восточно-камчатской кеты. ГК3 (8,1%) описывает обратную связь между изменениями индексов выживания поколений трески и пикши в Северо-Западной Атлантике, с одной стороны, и северо-восточной арктической трески, с другой.

Раздельный анализ физических и биологических рядов показал, что для первых трех ГК биологических рядов характерна устойчивость знака компоненты от года к году, которая нарушается только во время смены режимов, в то время как физические ряды обнаруживают значительную межгодовую изменчивость внутри каждого климатического режима. Таким образом, можно предположить, что морские экосистемы как бы "сглаживают" межгодовые колебания атмосферных и океанографических характеристик фильтром высоких частот.

Для ряда основных объектов российского промысла в Северном и Дальневосточном рыбохозяйственных бассейнах выявлены ведущие климатические факторы, в значительной степени определяющие состояние их запасов.

В североатлантическом регионе к их числу относятся северо-восточная арктическая треска (СВАТ) и норвежская весенне-нерестующая сельдь (НВНС).

Для **северо-восточной арктической трески** на уровне интегральных кривых, отражающих долгопериодные колебания, существует тесная обратная связь между аномалиями численности пополнения в возрасте 3 года и зимним индексом САК (рис. 7а). Однако на более коротких временных масштабах связь между пополнением трески и индексом САК не столь однозначна. На одних интервалах времени продолжительностью 18-20 лет она отрицательна, а на других – положительна (рис. 7б). При этом смена знака корреляционной связи с отрицательного на положительный в 1974 г. совпала с резким снижением уровня пополнения трески. Данный пример демонстрирует, что влияние климата на промысловую популяцию может быть различным при разных средних уровнях пополнения.

Учитывая выявленные связи, динамику запаса трески после 2018 г. можно представить следующим образом. Примерно до 2020-2022 гг. будет наблюдаться снижение запаса из-за высокой смертности особей старших возрастов и малоурожайных (вследствие высокого каннибализма) поколений 2007-2013 гг. рождения. В первой половине 2020-х гг. при приближении к окончанию положительной фазы АМО, что, по аналогии с 1960-ми годами, может сопровождаться усилением отрицательной фазы САК, возможно появление ряда рекордно урожайных поколений, которые обусловят рост запаса в конце 2020-х гг. Это обеспечит ОДУ в эти годы на уровне 1-1,2 млн. т. С началом роста индекса САК в конце 2020-х-начале 2030-х гг. урожайность поколений СВАТ начнет снижаться, как это было во второй половине 1970-х гг. и начале 1980-х гг., что отрицательно скажется на биомассе запаса трески после 2035 г.

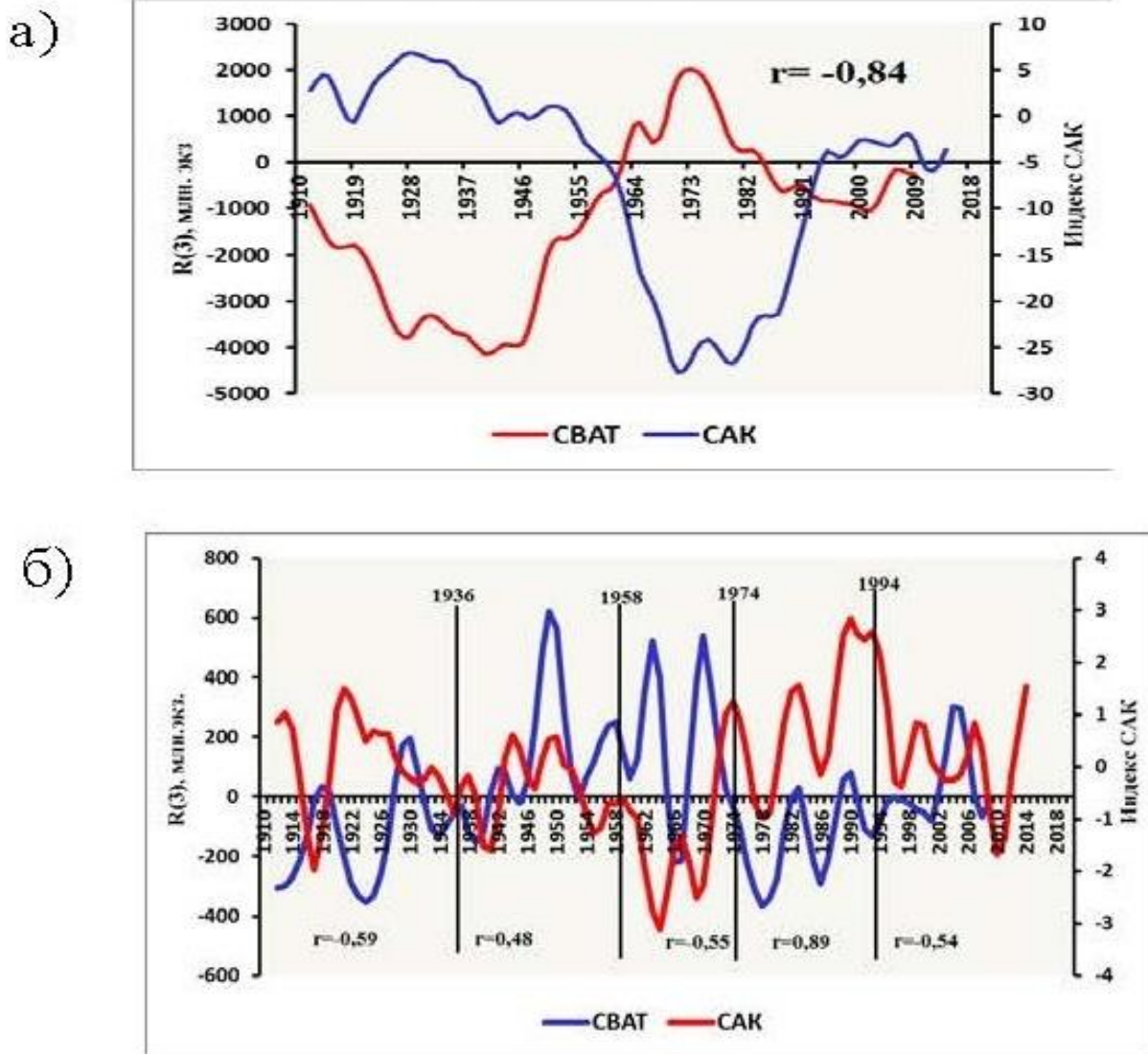


Рис. 7. Интегральные кривые аномалий зимнего (январь-март) индекса САК и пополнения СВАТ в возрасте 3 года (а); изменения зимнего индекса САК и пополнения СВАТ в возрасте 3 года. Все анализируемые временные ряды сглажены 5-летним скользящим осреднением

Успех воспроизводства **НВНС** зависит от температурных условий в районе нагула ее молоди в юго-западной части Баренцева моря. Период 1923-1994 гг. характеризовался довольно тесной связью между пополнением сельди и температурой воды на Кольском разрезе ($r = 0,56$) (рис. 8а). Однако, начиная с 1995 г., наблюдавшаяся до этого связь стала ослабевать, а с 2004 г. тенденции в изменении рассматриваемых характеристик стали противоположными. Показано, что в 2004-2014 гг. выживаемость поколений НВНС определялась условиями выноса ее личинок в юго-западную часть Баренцева моря.

На рис. 8б приведены интегральные кривые аномалий численности пополнения сеголеток сельди и среднего зимнего (январь-март) индекса скандинавской ДС за период 1950-2016 гг. Между временными рядами, использованными для построения интегральных кривых, существует тесная отрицательная связь ($r = -0,66$). Положительной фазе скандинавской ДС соответствует развитие блокирующего антициклона над Скандинавией и

области низкого давления над Европой. Аномальный восточный перенос в атмосфере на южной периферии антициклона замедляет прибрежные течения, которые выносят молодь сельди в Баренцево море, снижая, таким образом, уровень ее пополнения. Повышенная частота формирования зимних антициклонов после 2005 г. стала одной из основных причин снижения численности пополнения сельди.

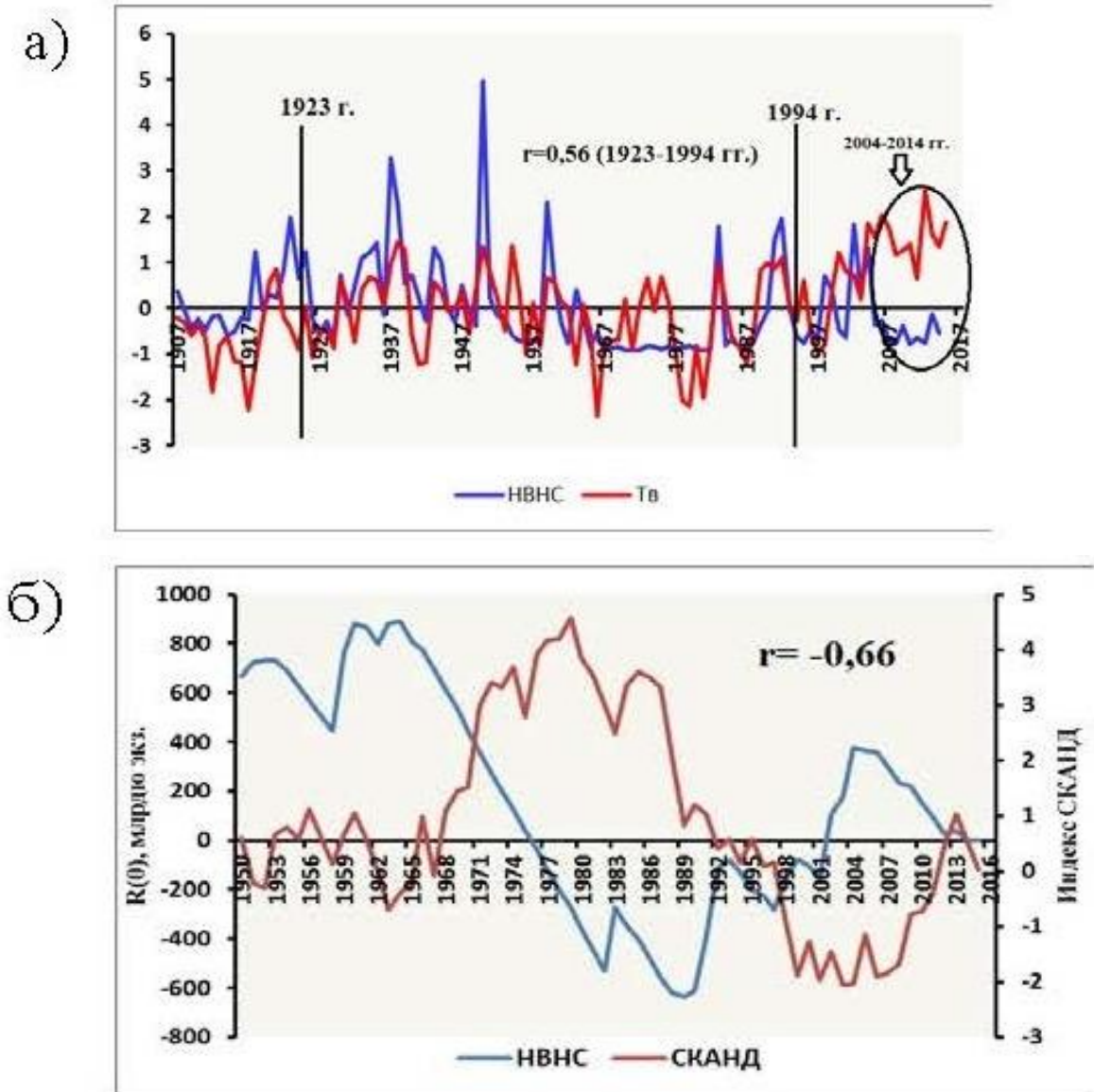


Рис. 8. Динамика нормированных аномалий среднегодовой температуры воды (0-200 м) на Кольском разрезе и численности сеголеток НВНС в период 1907-2015 гг. (а); интегральные кривые аномалий численности сеголеток сельди и среднего зимнего индекса СКАНД в период 1950-2016 гг. (б)

Физические условия для появления редких средних или урожайных поколений сельди будут формироваться в годы отрицательных индексов СКАНД при положительной фазе АМО, т.е. до середины 2020-х гг.. При ожидаемом переходе к отрицательной фазе АМО во второй половине 2020-х гг. урожайность поколений НВНС снизится в зависимости от интенсивности похолодания и степени ледовитости Баренцева моря. Вероятнее всего, вылов России в 2030-е гг. сохранится на низком уровне – 50-100 тыс. т.

В северо-западной части Тихого океана важнейшим объектом промысла являются **тихоокеанские лососи**. На протяжении последних 100 лет их запасы характеризовались значительной долговременной изменчивостью. Периоды роста и высокого уровня запасов лососей в 1916-1945 и 1982-2013 гг. совпали с резким повышением ТПО в северной части Тихого океана.

На рис. 9 показано распределение коэффициентов корреляции между общими уловами дальневосточных лососей и среднегодовыми АТПО в северной части Тихого океана для двух периодов высоких запасов лососевых – 1916-1945 гг. и 1982-2013 гг. Рост запасов лососей в 1916-1945 гг. был связан с потеплением поверхностных вод в восточной части океана, которое распространялось на запад вдоль Алеутских островов вплоть до побережья Камчатки и восточной части Охотского моря, охватывая районы обитания лососей на всех стадиях их морского периода жизни (рис. 9а).

Второй период роста запасов дальневосточных лососей совпал с резким потеплением вод в западной и центральной частях океана (рис. 9б). В этот период, прежде всего, формировались благоприятные условия для выживания скатившейся молоди лососей. В то же время, тенденция к похолоданию вод в местах зимовки лососей в заливе Аляска и в районе восточных Алеутских островов могла обусловить смещение зимующих особей на запад, в район более теплых вод.

Как отмечалось выше, на потепление вод в западной половине СТО оказало влияние установление «восточной моды» взаимодействия между климатическими процессами в северных частях Атлантического и Тихого океанов.

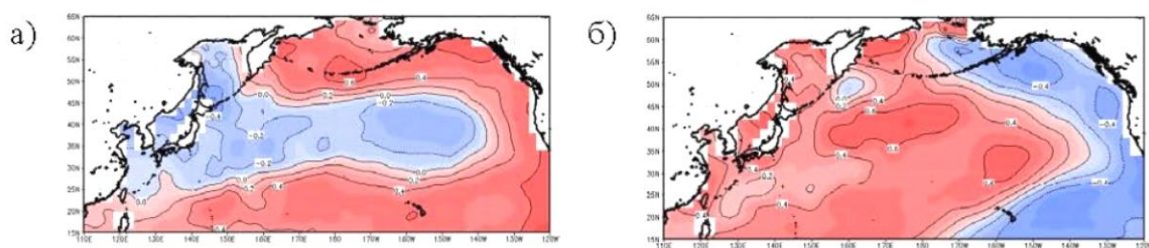


Рис. 9. Распределение коэффициентов корреляции между общими уловами дальневосточных лососей и среднегодовыми АТПО в северной части Тихого океана для периодов 1916-1945 гг. (а) и 1982-2013 гг. (б)

Таким образом, хотя оба периода роста запасов дальневосточных лососей были связаны с резким усилением тенденции к потеплению поверхностных вод в СТО, климатические механизмы потепления и, соответственно, районы его максимального проявления были различны.

Для **дальневосточной сардины** связь между климатическими изменениями в СТО и ростом ее численности неоднозначна. Первая «сардинная эпоха» в 1920-х – 1930-х годов совпала с максимумом так называемого «раннего потепления» в Северном полушарии, в то время как окончание второй эпохи 1970-х – 1980-х годов связано с началом нового резкого потепления в северной части Тихого океана в конце 1980-х годов.

Рост уловов сардины в 1921-1940 и 1966-1990 гг. был обусловлен формированием отрицательных АТПО в январе-феврале в обширной зоне к востоку от Японских островов, тогда как на остальной акватории океана в это время наблюдалось потепление (рис.10).

Резкое потепление вод в западных и центральных районах океана, начавшееся в конце 1980-х годов, обусловило окончание последнего периода высокой численности и уловов дальневосточной сардины.

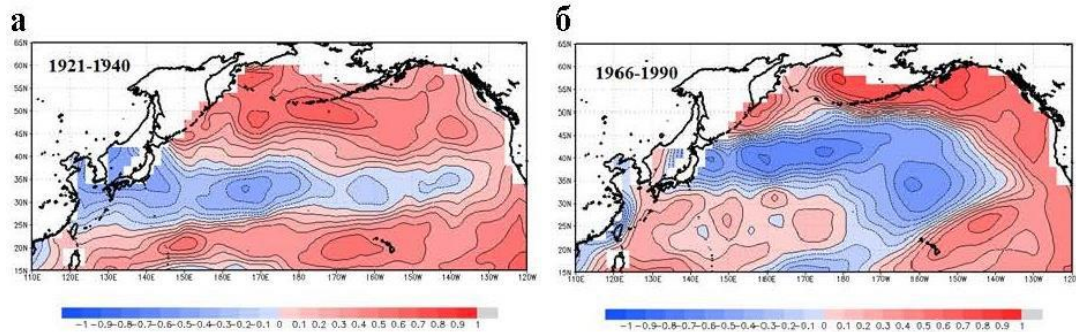


Рис. 10. Распределение коэффициентов корреляции между японскими уловами сардины и северотихоокеанскими АТПО в январе-феврале в периоды двух последних «сардинных эпох»

С 2010 г. начался некоторый рост биомассы сардины, вызванный появлением урожайных поколений. В недавней обзорной работе (Булатов и др., 2016) рост запаса сардины в 2010-2015 гг. рассматривается как временное явление в преддверии будущей «сардинной эпохи». Ожидается, что новая «сардинная эпоха» начнется в конце 2020-х – начале 2030-х гг. на восходящей ветви отрицательной фазы 60-летнего цикла колебаний АТПО в северной части Тихого океана (рис. 11). Около 2040 г. ее сменит «лососевая эпоха».

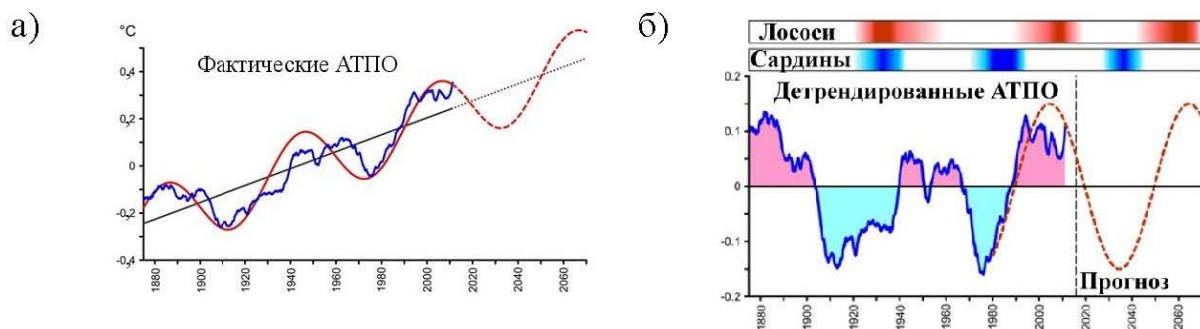


Рис. 11. Прогноз «лососевой» и «сардинной» эпох в 2030-х – 2040-х годов по аномалиям температуры поверхности океана в СТО: фактические изменения средних зимних (январь-апрель) АТПО, сглаженных 11-летним скользящим осреднением (синяя линия). Прямая линия соответствует линейному тренду. Красная линия отражает колебания АТПО с периодом около 60 лет (а); колебания АТПО после удаления линейного тренда (б).

В отличие от пелагических рыб, для многих донных объектов промысла в СЗТО характерны флуктуации меньшего временного масштаба – порядка 12-18 лет. К их числу относятся восточно-камчатский минтай, минтай северной части Охотского моря, треска северо-западной части Берингова моря.

Для **восточно-камчатского минтая** получена отрицательная корреляционная связь между численностью пополнения и АТПО в районах нереста и раннего онтогенеза у Восточной Камчатки: урожайные поколения

появляются при развитии отрицательных температурных аномалий на нерестилищах, и наоборот.

Структура корреляционного поля на рис. 12а хорошо соответствует пространственной структуре поля корреляций между зимним индексом Арктического колебания (АК) и АТПО в СТО, но с обратным знаком. Поэтому не вызывает удивления значимая противофазная связь между изменениями индекса АК и численностью пополнения минтая у Восточной Камчатки ($r = -0,72$) (рис. 12б).

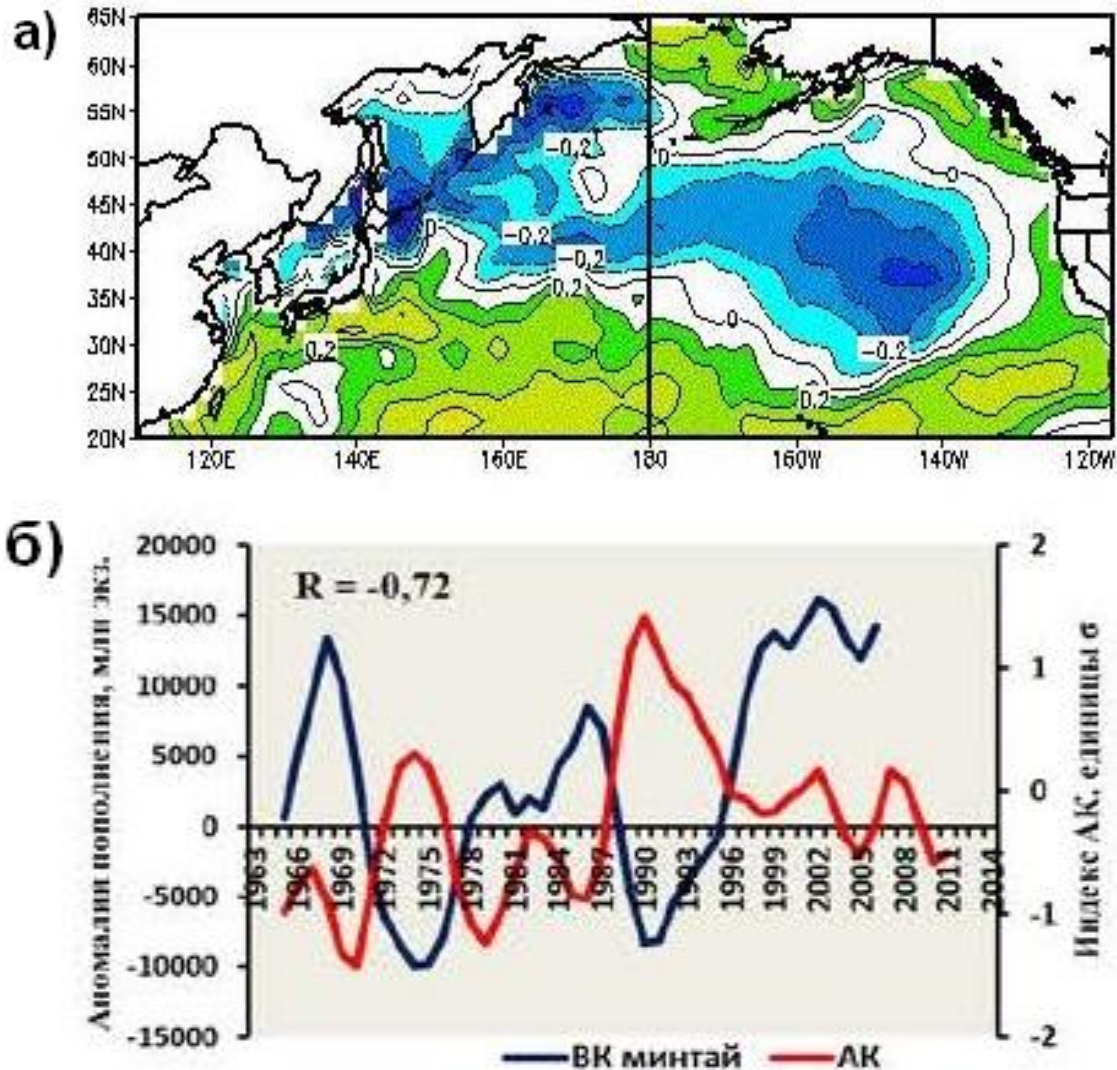


Рис. 12. Распределение коэффициентов корреляции между численностью пополнения восточно-камчатского минтая в возрасте 3 года и полем средних зимних АТПО в северной части Тихого океана в 1963-2008 гг. (а); сглаженные 5-летним скользящим осреднением временные ряды зимнего индекса АК и пополнения восточно-камчатского минтая в возрасте 3 года (б)

Таким образом, АК оказывает значительное влияние на состояние запаса восточно-камчатского минтая через изменения термического режима поверхностных вод в районе его нереста и раннего онтогенеза.

Условия выживания поколений минтая северной части Охотского моря в период 1980-2010 гг. в значительной мере определялись изменениями интенсивности океанической циркуляции, прежде всего, субарктического океанического круговорота. Выявленный двухлетний сдвиг между климатическими изменениями и коэффициентом выживания минтая, по-

видимому, соответствует времени реакции популяции минтая на режимные сдвиги в колебаниях регионального климата.

Пополнение запаса **трески северо-западной части Берингова моря** в период 1967-2015 гг. характеризуется хорошо выраженной изменчивостью с периодом около 15 лет. При этом колебания численности пополнения тесно связаны с крупномасштабной модой изменчивости зимних АТПО в северной части Тихого океана, отражающей осцилляцию северотихоокеанских океанических круговоротов. Знак связи не оставался постоянным на протяжении исследуемого периода. Его смена совпала с режимным климатическим сдвигом во второй половине 1980-х гг. На условия воспроизводства трески значительное влияние оказывает северный центр северотихоокеанского колебания. В свою очередь, знак аномалии атмосферного давления в этом центре определяется фазой арктического колебания с задержкой в 2 года. Таким образом, условия среды для воспроизводства трески северо-западной части Берингова моря в значительной степени зависят от состояния арктического колебания.

Выявленный характер связи между численностью пополнения трески и климатическими факторами позволяет предположить, что следующий период ее высоко численных поколений будет наблюдаться во второй половине 2020-х – начале 2030-х годов. Соответственно, к 2035 г. биомасса трески северо-западной части Берингова моря может быть высокой.

Следует отметить, что необходимость знаний о возможном изменении состояния запасов основных промысловых видов рыб на 10-20 лет вперед исключительно важна для целей стратегического планирования. Без этого такие стратегии могут привести либо к крупному недоосвоению запасов, либо к их перелову и подрыву. Такое же знание необходимо при планировании капиталовложений в инфраструктуру промысла, переработку и транспортировку рыбы для предприятий, имеющих свою долю в освоении общего допустимого улова (ОДУ) на предстоящее десятилетие. Отсутствие долгосрочного прогноза изменчивости сырьевой базы в значительной степени увеличивает финансовые риски судовладельцев. Последствия планирования «вслепую» могут иметь не только финансовое, но и негативное социальное последствие. Необходимо также учитывать, что наблюдаемое в настоящее время повышение температуры океана провоцирует сдвиги в распределении промысловых видов, как правило, в сторону полюса, и/или в более глубокие воды вслед за проникновением на север более теплолюбивых видов зоопланктона. Такие сдвиги влияют на биологические взаимодействия и, как следствие, на функционирование морских экосистем. Таким образом, изменение климата способно оказать значительное влияние на получение товаров и услуг, предоставляемых морскими экосистемами (ФАО, 2018).

В **Заключении** представлены основные результаты диссертационной работы:

1. Пространственная структура колебаний аномалий ТПО в северной части Атлантического океана и ее изменчивость определяются изменениями в долготном и широтном положении двух центров действия атмосферы, которые

связаны с североатлантическим колебанием. Около 1/3 изменчивости температурных аномалий в САО обусловлено 4-х полюсной пространственной структурой: знак АТПО на северо-западе и юго-востоке акватории противоположен знаку аномалий в северо-восточной и юго-западной частях океана. В период 1957-1988 гг. ее формирование определялось совместным влиянием положительной фазы западно-атлантической дальней связи и отрицательной фазы атмосферной дальней связи «тропики – умеренные широты Северного полушария», а в 1977-2018 гг. – североатлантическим колебанием.

2. Период 1977-2018 гг. характеризовался смещением центров действия САК в восточном направлении. При этом от 1957-1988 гг. к 1977-2018 гг. наблюдалось ослабление влияния на Северную Атлантику климатических процессов, формирующихся в восточной половине северотихоокеанского бассейна.

3. В северной части Тихого океана выделены два независимых диполя в пространственной структуре колебаний АТПО: широтный (центральная часть – восток океана) и меридиональный (северо-запад и юго-запад океана). В 1977-2018 гг. значительно усилилась изменчивость аномалий ТПО в юго-западном секторе СТО при ее ослаблении в восточной половине океана, что, очевидно, связано с общей интенсификацией системы «западно-тихоокеанская дальняя связь/осцилляция северотихоокеанских круговоротов». Одновременно снизилось значение тихоокеанской декадной осцилляции как единого процесса, контролирующего изменения АТПО на значительном пространстве исследуемой акватории.

4. Пространственные структуры первых трех ЭОФ северотихоокеанских АТПО обладают определенным сходством. Для каждой из них характерна область температурных аномалий одного знака в западной половине океана, окруженная аномалиями противоположного знака с севера, востока и юга. В этом смысле, первые три ведущие моды изменчивости АТПО можно рассматривать как отклонения от некоего «среднего состояния». Смена ведущей моды обусловлена долготными и широтными смещениями соответствующих атмосферных центров, часто формирующих известные ветви дальних связей – западно-тихоокеанскую и тихоокеанско-североамериканскую. Устойчивость их положения во времени определяет длительность и район максимального проявления того или иного климатического режима.

5. Впервые 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 СТО 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 ДС. Сдвиг центров действия САК в восточном направлении с конца 1970-х гг. обусловил установление «восточной» моды взаимодействия между исследуемыми акваториями. Климатические изменения, происходившие в

североатлантическом бассейне, распространялись в западную половину СТО через систему атмосферных дальних связей над Евразией. Установление «восточной моды» взаимодействия, вероятно, стало одной из причин потепления поверхностных вод в западных и центральных районах северной части Тихого океана в конце 1980-х гг.

6. 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 СТО через 5-6 лет.

7. Предложена качественная схема изменений климата в северных частях Тихого и Атлантического океана на масштабах от одного до нескольких десятилетий.

8. Для ряда ключевых объектов российского промысла, включая северо-восточную арктическую треску, норвежскую весенне-нерестующую сельдь, тихоокеанских лососей, дальневосточную сардину, восточно-камчатскую и северо-охотоморскую популяции минтая, треску северо-западной части Берингова моря, выявлены ведущие климатические факторы, определяющие многолетние колебания уровня их пополнения и запасов. Показано, что многолетние изменения промысловых запасов могут быть связаны как с региональными климатическими процессами (ТДО, ОСТК, САК), так и являться следствием взаимодействия климатических систем северных частей Атлантического и Тихого океанов.

9. Впервые на основе ретроспективного анализа статистических связей между климатическими и биологическими параметрами сделан экспертный прогноз изменений в состоянии запасов некоторых массовых объектов российского промысла на период до 2035 г. В частности, ожидаемое изменение климата в северной части Тихого океана с учетом 60-летней цикличности позволяет предположить рост запасов и уловов дальневосточной сардины и снижение биомассы тихоокеанских лососей. В Северо-Восточной Атлантике будет происходить снижение запасов северо-восточной арктической трески и норвежской весенне-нерестующей сельди.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Кровнин А.С., Кловач Н.В., Борисов В.М., Бондаренко М.В., Мурый Г.П. Крупномасштабные флуктуации запасов морских промысловых организмов // Рыбное хозяйство. 2003. №4. С. 20-23.

2. Кровнин А.С., Котенев Б.Н., Кловач Н.В., Мурый Г.П. Связь уловов западно-камчатской горбуши (*Oncorhynchus gorbusha*) и нерки (*O. nerka*) с температурой поверхности океана в Северном полушарии и ориентировочный прогноз их вылова на 2010 г. // Рыбное хозяйство. № 3. 2010. С. 43-46.

3. Котенев Б.Н., **Кровнин А.С.**, Масленников В.В., Мордасова Н.В. О будущем состоянии популяций массовых гидробионтов в биопродуктивных районах Мирового океана // Труды ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 209-248.

4. Котенёв Б.Н. **Кровнин А.С.**, Кловач Н.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950-2015 гг. // Труды ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 143-161.

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

6. Булатов О.А., Котенев Б.Н., **Кровнин А.С.** О перспективах новой "сардинной эпохи" в северо-западной части Тихого океана // Вопросы рыболовства. 2016. Т. 17. №4. С. 385-405.

7. **Кровнин А.С.**, Антонов Н.П., Котенев Б.Н., Мурый Г.П. Влияние климата на квазидекадные изменения численности поколений трески северо-западной части Берингова моря // Труды ВНИРО. 2017. Т. 169. С. 37-50.

8. **Кровнин А.С.**, Мельников С.П., Кивва К.К., Артеменков Д.В., Мурый Г.П. Влияние изменчивости океанологических условий на окуня-клювача в пелагиали Северной Атлантики // Труды ВНИРО. 2017. Т. 169. С. 51-63.

9. Котенев Б.Н., **Кровнин А.С.**, Масленников В.В., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Перспективы развития мирового рыболовства в связи с изменением климата // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. Научно-теоретический журнал. № 48. СПб.: РГГМУ. 2017. С. 167-185.

10. **Кровнин А.С.**, Котенев Б.Н., Мордасова Н.В., Мурый Г.П. Дальние связи в атмосфере и океане как основа долгосрочного прогнозирования водных биоресурсов // Труды ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 33-65.

11. **Кровнин А.С.**, Мельников С.П., Артеменков Д.В., Мурый Г.П., Никитенко А.И. Влияние крупномасштабных климатических факторов на динамику запаса тихоокеанской сайры // Труды ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 66-78.

12. Котенев Б.Н., Булатов О.А., **Кровнин А.С.** Перспективы отечественного рыболовства до 2035 года в условиях меняющегося климата // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20. №4. С. 395-435

Основные статьи в других изданиях

13. **Krovnin A.S.**, Rodionov S.N. Atlanto-Scandian herring: a case study. In: Climate variability, climate change and fisheries (ed. M.H. Glantz), Cambridge University Press, Great Britain. 1992. P. 231-260.

14. Rodionov S.N., **Krovnin A.S.** The 1980s in the context of climatic changes in the North Atlantic region. ICES. Mar. Sci. Symp. 1992. No. 195. P. 86-95.

15. **Krovnin A.S.** A comparative study of climatic changes in the North Pacific and the North Atlantic and the relation to abundance of fish stocks. In R. J. Beamish [ed.] Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Publ. Fish Aquat. Sci. 1995. № 121. P. 181-198.

16. Everett J.T., **Krovnin A.S.**, Okemwa E., Regier H.A., Troadec J.P., and Lluch-Belda D. Fisheries. In: The IPCC Second Assessment Report, v.2: Scientific Technical Analyses of Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change

(Watson, R.T., M.C. Zinyowera, and R.H. Moss (eds.). Cambridge University Press. 1995. P. 513-539.

17. **Krovnin A.S.**, Moury G.P. Climatic variations in the North Atlantic and the North Pacific in the 1990s: a comparative study // Hydrobiological Variability in the ICES Area, 1990-1999, ICES Marine Science Symposia, Actes du Symposium, 2003. V. 219. P. 311-314.

18. **Кровнин А.С.**, Богданов М.А., Мурый Г.П., Тананаева Ю.Н. Сравнительный подход к изучению изменчивости экосистем Северной Атлантики и Северной Пацифики (с использованием климатических данных) – Методические аспекты исследований рыб морей Дальнего Востока // Труды ВНИРО. М.: Изд-во ВНИРО. 2006. Т. 146. С. 67-83.

19. Котенев Б.Н., **Кровнин А.С.**, Мордасова Н.В., Мурый Г.П. О влиянии крупномасштабной изменчивости атмосферы-океана на урожайность поколений трески Баренцева моря // Вопросы промысловой океанологии. 2013. Вып. 10. С. 26-65.

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

21. **Krovnin A.S.**, Klovach N.V., and Kivva K.K. Unprecedented Far East Salmon Catches in 2018: What Should We Expect in Future? NPAFC Technical Report. 2019. <https://doi.org/10.23849/npafctr15/7.12>.