

Сравнительный подход к изучению изменчивости экосистем Северной Атлантики и Северной Пацифики (с использованием климатических данных)

А.С. Кровнин, М.А. Богданов, Г.П. Мурый,
Ю.Н. Тананаева (ВНИРО)

Введение

В последние десятилетия значительно возрос интерес к изучению влияния изменений климата на состояние морских экосистем и рыбопродуктивность. Это влияние наиболее ярко выражено на декадном и междекадном временных масштабах. При этом колебания запасов различных промысловых объектов не распределены в пространстве хаотично, а часто происходят синхронно в удаленных друг от друга районах океана [Cushing, 1978; Garrod and Colebrook, 1978; Klyash-torin, 2001; 1988; Lluch-Belda et al., 1989], т.е. характеризуются крупномасштабностью.

Проблема крупномасштабности (системности) изменений, наблюдаемых в природе, пожалуй, впервые в мире была поставлена более сорока лет назад российским океанологом Г. К. Ижевским с выходом в свет его монографии «Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб» [1964]. Изучая процессы живой и неживой природы, он пришел к выводу о возможности существования в Северном полушарии природных систем, физические и биологические процессы в которых имеют общую для каждой конкретной системы направленность. В частности, опираясь на довольно разрозненные данные, Г.К. Ижевский выделил в Северной Атлантике две системы: Атлантическую и Гренландско-Североамериканскую, характеризующиеся противоположным ходом в развитии природных процессов (рис. 1).

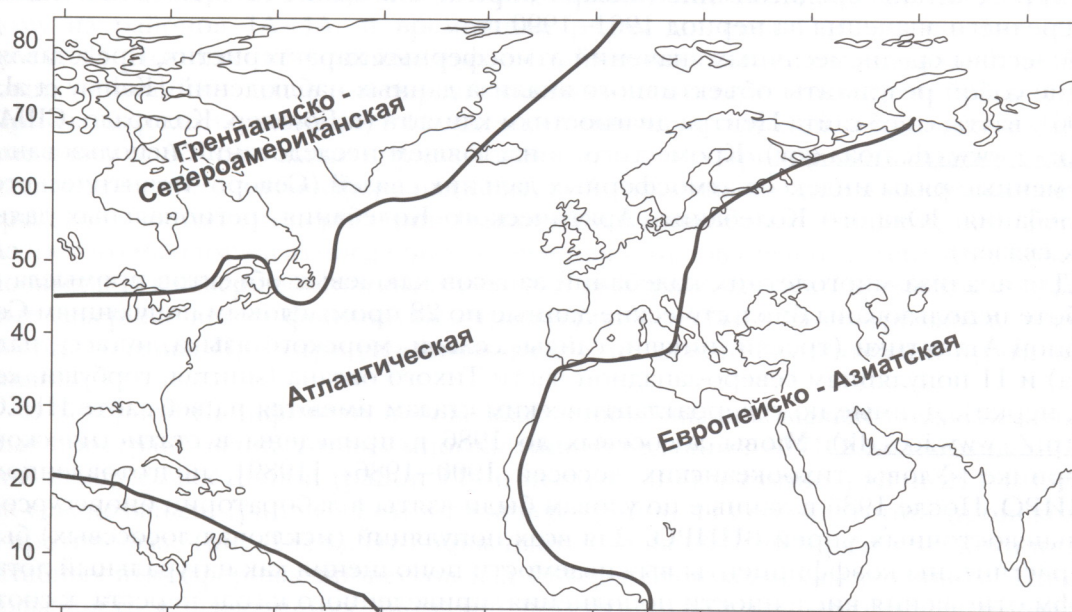


Рис. 1. Природные системы в Северной Атлантике, по Г.К. Ижевскому [1964]

Разработанный Г.К. Ижевским системный подход послужил основанием использования для прогностических разработок не только причинно-следственных, но и структурных связей между элементами некоторой сложной системы, проявляющимися лишь в процессе ее функционирования как единого целого. Гипотеза о существовании природных систем оказалась чрезвычайно плодотворной и в том плане, что позволила использовать эмпирические связи не только в пределах одной системы, но и так называемые дальние связи между процессами в соседних и более удаленных системах. Во второй половине 1960-х гг. и в 1970-е гг. идеи Г.К. Ижевского успешно использовались специалистами ВНИРО для долгосрочных прогнозов океанологических условий в различных районах Северной Атлантики [Богданов и др., 1968, 1969, 1972–1978].

В предлагаемой работе на основе сформированных обширных массивов многолетних данных, в том числе по биологическим характеристикам, с использованием современных методов многомерного статистического анализа проведено исследование пространственно-временной структуры климатических колебаний в северных частях Атлантического и Тихого океанов (с целью уточнения физических границ природных систем). Сделана также попытка выявить статистически значимые связи между колебаниями глобальных и региональных климатических параметров и изменениями различных биолого-промысловых характеристик в Северной Атлантике и Северной Пацифике. Приведенные ниже результаты имеют важное значение как для выявления климатических основ биопродуктивности вод исследуемых океанов, так и для разработки долгосрочных рыбопромысловых прогнозов.

Материалы и методы

В качестве исходных данных в работе использованы массивы среднемесячных значений температуры поверхности океана (ТПО) в северных частях Атлантического (20–65° с.ш., 95° з.д. – 5° в.д.) и Тихого (20–55° с.ш., 115° в.д. – 130° з.д.) океанов, приземного атмосферного давления, геопотенциальных высот на изобарических поверхностях 700 гПа в Северном полушарии за период с 1957 по 2002 г. Данные по ТПО, представленные в узлах регулярной пятиградусной сетки (всего 120 узлов для Северной Атлантики и 175 узлов для северной части Тихого океана), получены из архива Росгидромета. Для каждого узла пятиградусной сетки были рассчитаны среднезимние (январь–апрель) аномалии ТПО как отклонения от среднего значения за период 1961–1990 гг.

Массивы среднемесячных значений атмосферных характеристик, представляющие собой результаты объективного анализа данных наблюдений [Kalnay et al., 1996], взяты с веб-сайта Центра диагностики климата (г. Боулдер, Колорадо, США, <http://www.cdc.noaa.gov>). Кроме того, в настоящем исследовании использованы временные ряды индексов атмосферных дальних связей (Северо-Атлантического Колебания, Южного Колебания, Арктического Колебания, региональных дальних связей).

Для анализа многолетних колебаний запасов ключевых объектов промысла в работе использованы биологические данные по 28 промысловым популяциям Северной Атлантики (трески, пикши, сайды, сельди, морского языка, путассу, палтуса) и 11 популяциям северо-западной части Тихого океана (минтая, горбуши, кеты, нерки). Данные по североатлантическим стадам имеются на веб-сайте ИКЕС (<http://www.ices.dk>). Уловы лососевых до 1986 г. приведены в статистическом сборнике «Уловы тихоокеанских лососей 1900–1986» [1989], подготовленном ВНИРО. После 1986 г. данные по уловам были взяты в лаборатории биоресурсов дальневосточных морей ВНИРО. Для всех популяций (исключая лососевых) были рассчитаны коэффициенты выживаемости пополнения как натуральный логарифм отношения численности пополнения, приведенного к году нереста, к соответствующей этому году биомассе нерестового запаса. Для лососевых использованы данные по уловам.

Для выделения в северных частях Атлантического и Тихого океанов крупномасштабных районов с когерентным характером многолетних колебаний анома-

лий ТПО (АТПО) в пределах каждого из них был использован один из методов иерархического кластерного анализа – метод минимальной дисперсии, или метод Дж. Уорда [Ward, 1963]. Алгоритм используемого метода подробно описан в работе А.С. Кровнина [Krovnin, 1995].

Выбранный метод кластерного анализа облегчает выявление особенностей пространственной структуры многолетних колебаний АТПО, представляющей собой хороший индикатор климатических изменений. Для изучения временной структуры климатической изменчивости в северных частях Атлантического и Тихого океанов был использован метод главных компонент. Этот метод широко описан в литературе [Афифи и Эйзен, 1982; Дубров и др., 2000]. Одно из его преимуществ заключается в том, что он позволяет выделить общие составляющие изменчивости у большой группы временных рядов, в том числе разнородных по своей природе (физических, биологических и т.д.).

Результаты и обсуждение

Кластерный анализ

По результатам кластерного анализа в Северной Атлантике выделено шесть крупномасштабных географических районов с когерентными изменениями среднезимних АТПО в пределах каждого из них (рис. 2, а). Рис. 3 демонстрирует распределение коэффициентов корреляции между временными рядами аномалий поверхностной температуры воды, осредненными по каждому из выделенных районов, и рядами АТПО в каждом из узлов пятиградусной сетки в Северной Атлантике. Как видно из рисунка, колебания аномалий характеризуются «четырёх-полюсной» структурой: их флуктуации на северо-востоке (район 1А) и юго-западе (район 2А) исследуемой акватории противоположны таковым в ее северо-западной (район 3А) и юго-восточной (район 4А) частях.

Выявленная пространственная структура многолетних флуктуаций среднезимних АТПО в значительной мере определяется Северо-Атлантическим Колебанием (САК), представляющим собой меридиональную осцилляцию в поле атмосферного давления с двумя центрами действия, один из которых расположен в районе Исландии, а другой – над субтропической частью Северной Атлантики, простираясь от Азорских островов до Пиренейского полуострова. Коэффициент корреляции между первой ГК временных рядов аномалий ТПО, осредненных по каждому из районов 1А–4А, и временным рядом индекса САК составляет $-0,73$ ($p < 0,01$). Потепление или похолодание поверхностных вод в районах, формирующих описанную выше «четырёхполюсную» структуру, зависит от фазы САК. При его положительной фазе Исландский минимум углублен, а приземное давление к югу от 55° с.ш. выше нормы. Такая ситуация сопровождается усилением западного переноса в атмосфере над Северной Атлантикой. Аномальные южные ветры вдоль восточной периферии Исландского минимума и западной периферии Азорского максимума атмосферного давления обуславливают потепление поверхностных вод в северо-восточном и юго-западном районах, в то время как аномальные северные ветры формируют отрицательные АТПО на северо-западе и юго-востоке океана. При отрицательной фазе САК знаки всех аномалий противоположны.

В Северной Пацифике на основе кластерного анализа выявлены две независимые пространственные моды многолетних 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 происходят в противофазе (рис. 2, б; 4). Это объясняется особенностями развития крупномасштабных атмосферных процессов над Северо-Тихоокеанским регионом. Противофазность в флуктуациях аномалий поверхностной температуры воды между районами 1Т и 2Т обусловлена географическим положением центров так называемой Тихоокеанско-Североамериканской дальней связи в средней тропосфере Северного полушария, а инверсная связь между изменениями АТПО в северо-за-

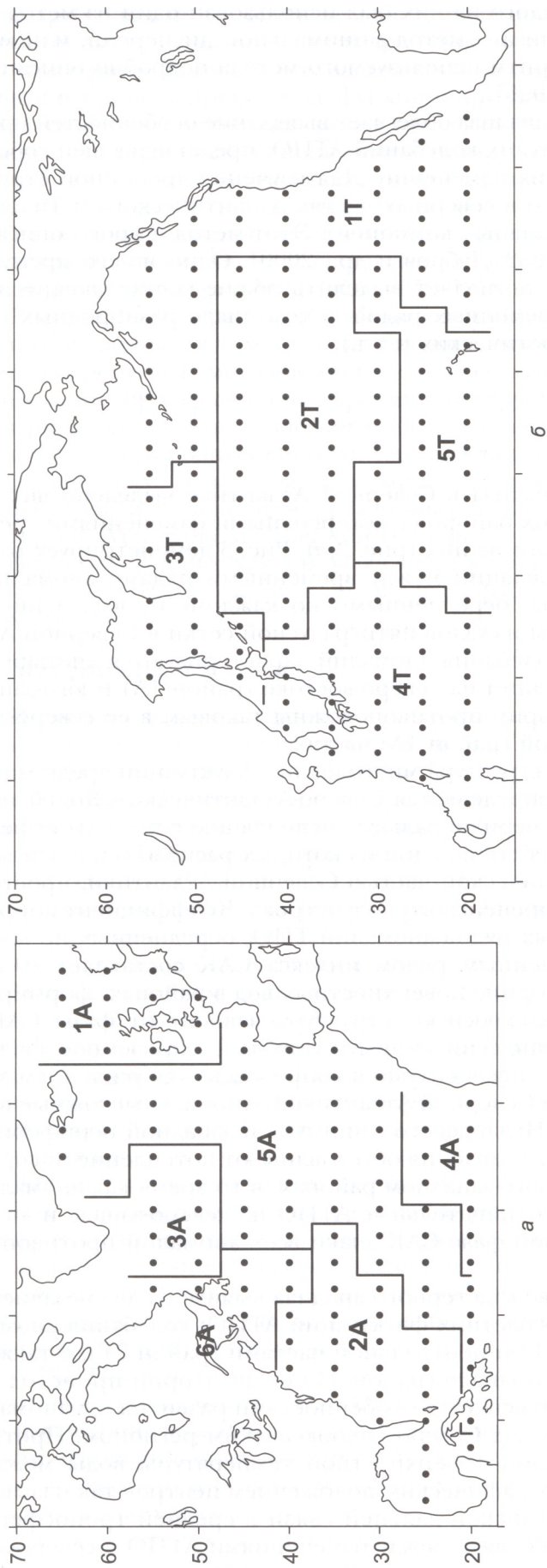


Рис. 2. Районы выделенные по результатам кластерного анализа ТПО: *а* – Северной Атлантики; *б* – Северной Пацифики

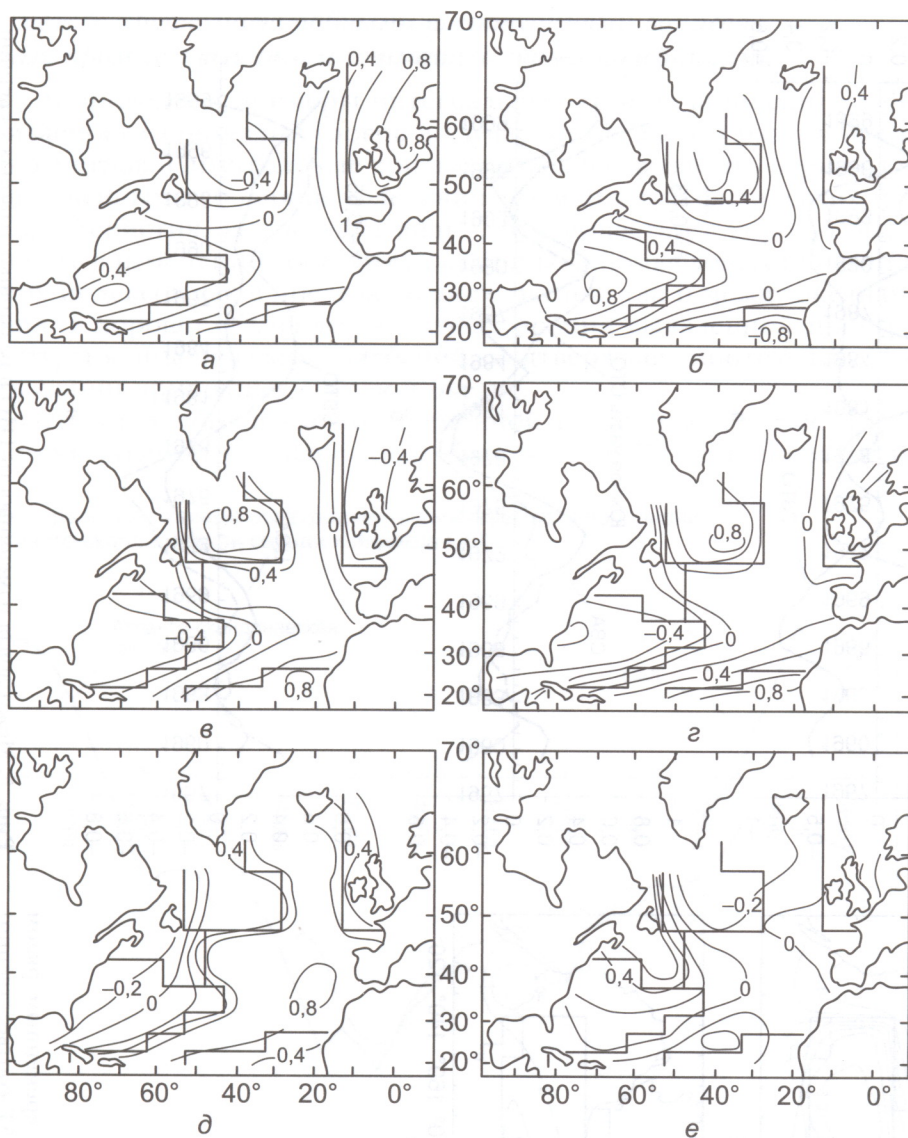


Рис. 3. Распределение коэффициентов корреляции между временным рядом АТПО (средним по району а – 1А; б – 2А; в – 3А; г – 4А; д – 5А; е – 6А соответственно) и временными рядами АТПО в узлах пятиградусной сетки в Северной Атлантике

падной и юго-западной частях Северной Пацифики – проявлением Западно-Тихоокеанской дальней связи [Wallace and Gutzler, 1981; Krovnin, 1995].

Следует отметить наличие статистически значимых корреляционных связей в многолетних изменениях АТПО между различными районами северных частей Атлантического и Тихого океанов. Так, вариации аномалий поверхностной температуры воды в северо-западных частях рассматриваемых океанов характеризуются значимым отрицательным коэффициентом корреляции, $r = -0,69$, $p < 0,05$ (рис. 5). Напротив, колебания АТПО в Северо-Восточной Атлантике и южной части Северной Пацифики, а также в восточном районе Северной Пацифики и центральной части Северной Атлантики синфазны (соответственно $r = 0,73$ и $0,65$; $p < 0,05$). Все указанные связи обусловлены особенностями проявления различных ветвей дальних связей в атмосфере Северного полушария.

Результаты кластерного анализа в целом подтверждают гипотезу Г.К. Ижевского с физической точки зрения, хотя выявленная пространственная структура климатических колебаний, в частности, в Северной Атлантике, оказалась сложнее, чем предполагал Г.К. Ижевский (1964).

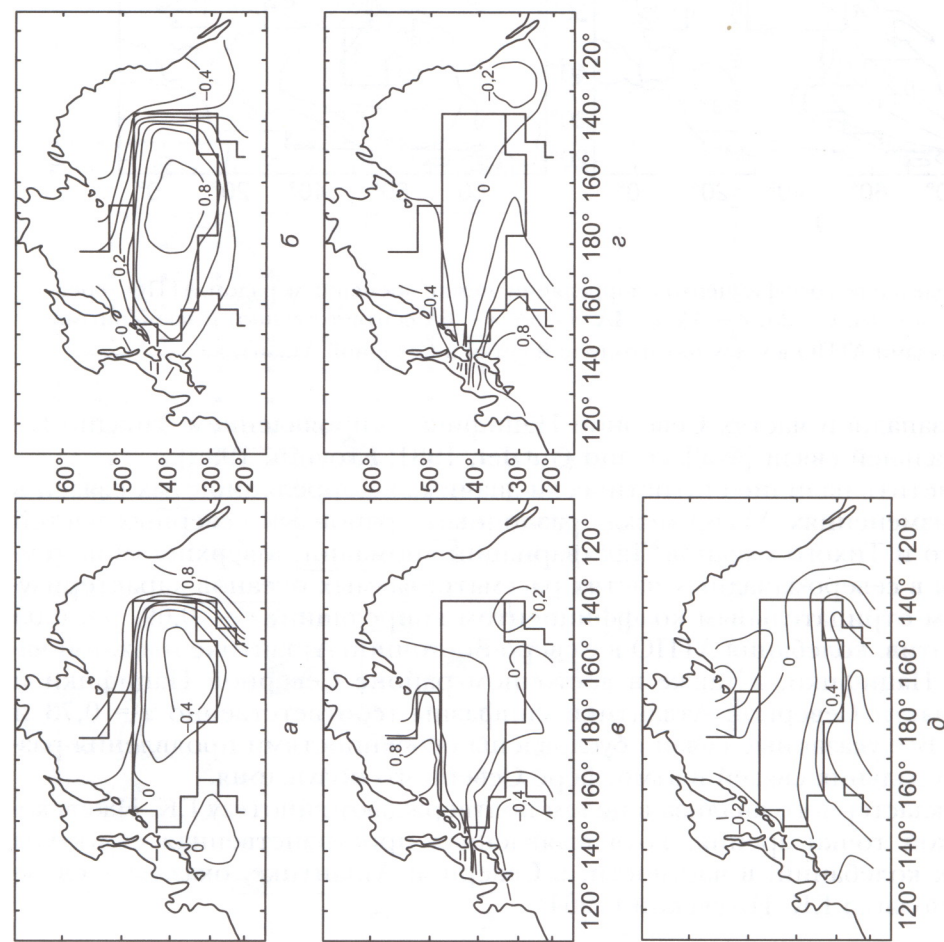


Рис. 4. Распределение коэффициентов корреляции между временным рядом АТПО (средним по району а - 1Г; б - 2Г; в - 3Г; г - 4Г; д - 5Г соответственно) и временными рядами АТПО в узлах пятиградусной сетки в Северной Пацифике

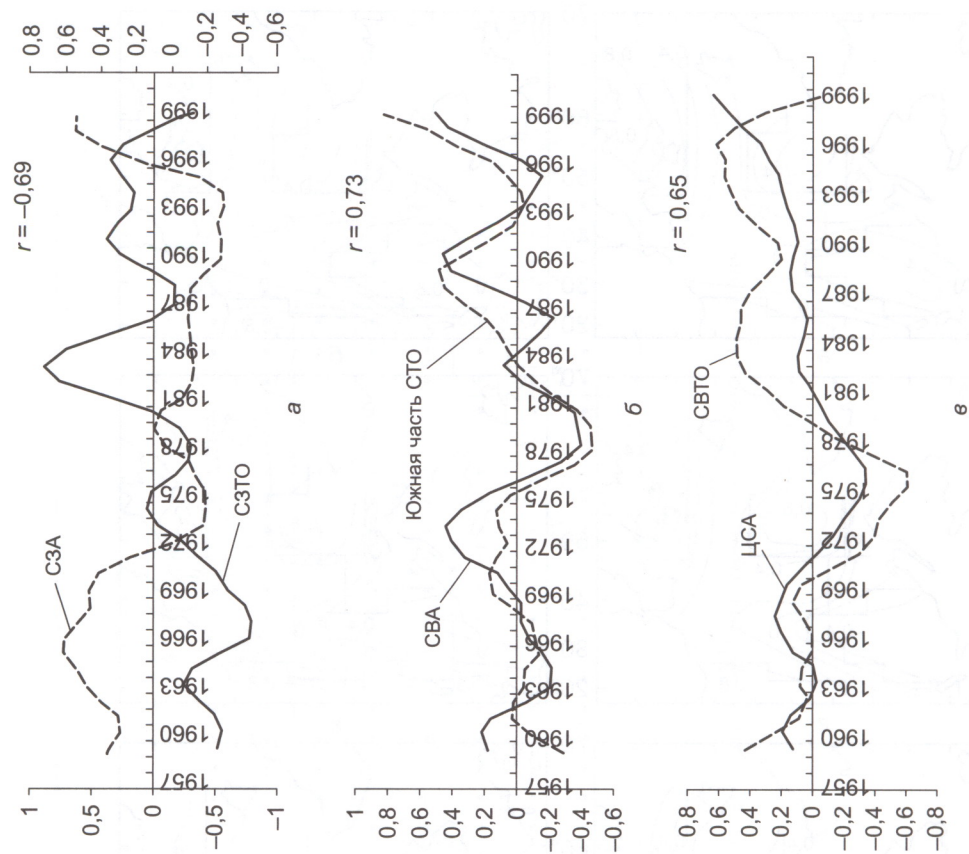


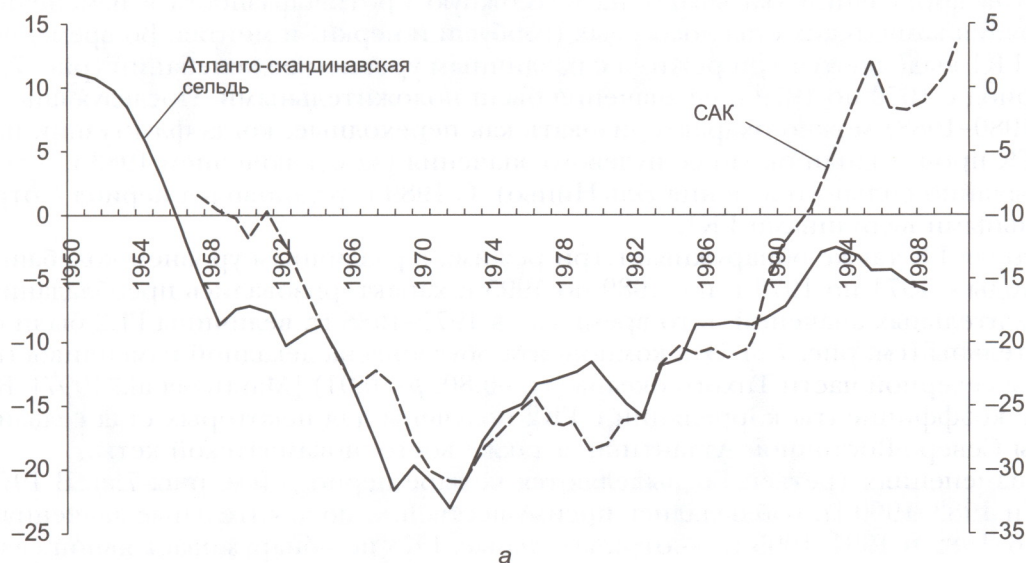
Рис. 5. Межгодовая изменчивость ТПО в различных районах Северной Атлантики и Северной Пацифики

Связь между крупномасштабными флуктуациями запасов основных промысловых рыб и климатическими колебаниями

На рис. 6 приведены примеры интегральных кривых аномалий коэффициентов выживаемости (аномалий уловов в случае лососевых) и различных климатических параметров. Интегральные кривые позволяют выявлять периоды с различными качественными уровнями колебаний тех или иных физических и биологических характеристик. Из рисунка видно, что существует хорошо выраженная синхронность в изменении состояния различных промысловых популяций и климатических индексов как в пределах одного океана, так и между океанами. Такая синхронность хорошо объясняется с точки зрения выявленной пространственной структуры климатических колебаний, подтверждая гипотезу Г.К. Ижевского о существовании природных систем в океане.

Для более детального изучения временной структуры многолетних флуктуаций в системе «атмосфера–гидросфера–биосфера» к 75 временным рядам, харак-

Интегральные кривые коэффициента выживаемости пополнения атлантико-скандинавской сельди и индекса САК



Интегральные кривые аномалий коэффициентов выживаемости пополнения исландской сельди и баренцевоморского палтуса и индекса Тихоокеанско-Североамериканской дальней связи

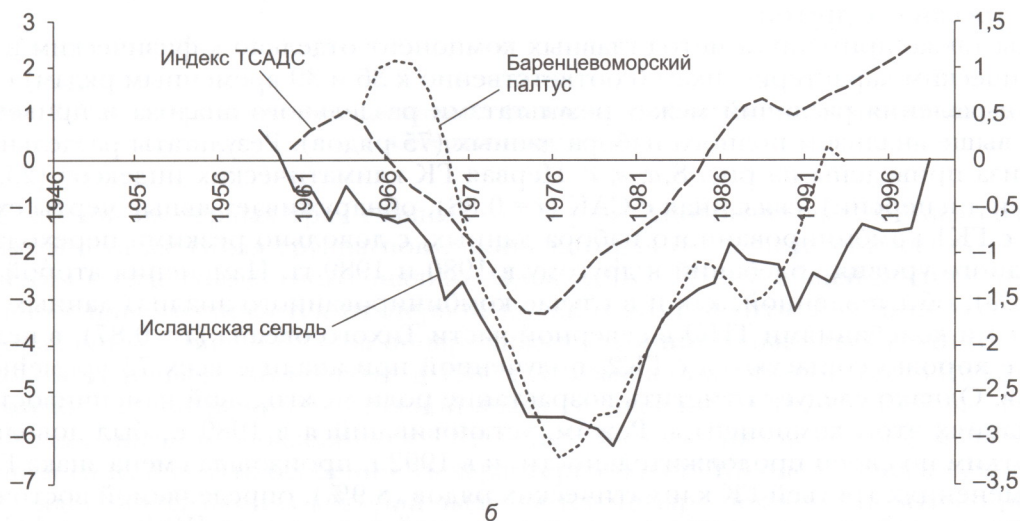


Рис. 6. Примеры интегральных кривых климатических и биолого-промысловых характеристик различных стад Северной Атлантики и Северной Пацифики

теризующим изменчивость ключевых промысловых ресурсов Северной Атлантики и Северной Пацифики и различных климатических параметров, был применен метод главных компонент (ГК). Как отмечалось выше, этот метод позволяет выделить общие моды временной изменчивости для большого числа разнородных по своей природе временных рядов. Это особенно важно при изучении крупномасштабных флуктуаций.

Первые три ГК определяют соответственно 20,3%, 13,9% и 8,1% общей дисперсии. Коэффициенты корреляции определены для каждого из 75 рядов.

Первая ГК связана с САК ($r = -0,74$, $p < 0,01$), которое представляет собой основной элемент климатической системы Северо-Атлантического региона [Hurrell, 1995; Marshall et al., 1997]. Высокие коэффициенты корреляции ($|r| > 0,40$) получены для 36 биологических и физических временных рядов. ГК1 описывает многолетние колебания индексов выживания многих североатлантических стад (пикши, сайды, палтуса, исландской сельди), а также запасов промысловых объектов, определяющих промысел в дальневосточных морях России (западно- и восточнокамчатских популяций нерки, горбуши, минтая). Колебания в большинстве случаев происходят в одной фазе с САК. Следует отметить также, что знаки коэффициентов корреляции указывают на возможную противофазность в изменениях состояния камчатских стад лососевых (горбуши и нерки) и минтая. Во временном ходе ГК1 выделяются три режима с различным уровнем ее колебаний (рис. 7, а). В период с 1970 по 1979 г. ее значения были положительными. Последующие годы (1980–1988) можно охарактеризовать как переходные, когда флуктуации первой ГК происходили около ее нулевого значения (за исключением 1983 г. — года необычайно сильного явления Эль-Ниньо). С 1989 г. установился период с отрицательными величинами ГК1.

Вторая ГК также обнаруживает три режима с различным уровнем колебаний. Периоды с 1971 по 1976 г. и с 1989 по 1995 г. характеризовались преобладанием положительных значений, в то время как в 1977–1988 гг. величины ГК2 были отрицательны (см. рис. 7, б). Эта компонента обусловлена декадной изменчивостью ТПО в северной части Тихого океана ($r = -0,80$, $p < 0,01$) [Mantua et al., 1997]. Высокие коэффициенты корреляции с ГК2 получены для некоторых стад сельди и сайды Северо-Восточной Атлантики, а также восточнокамчатской кеты.

В изменениях третьей ГК выделяются четыре периода (см. рис. 7, в). В 1970–1975 и 1983–1990 гг. наблюдались преимущественно положительные значения, а в 1976–1982 и 1991–1995 гг. — отрицательные. ГК3 не обнаруживает явной связи с рассматриваемыми в работе климатическими характеристиками, но хорошо описывает инверсную связь между изменениями индексов выживания поколений трески и пикши в Северо-Западной Атлантике, с одной стороны, и аркто-норвежской трески — с другой.

Мы также применили метод главных компонент отдельно к физическим и биологическим характеристикам (соответственно к 36 и 39 временным рядам) с целью выявления различий между результатами раздельного анализа и приведенным выше анализом полного набора данных (75 рядов). Результаты раздельного анализа приведены на рис. 8, а; в; д. Первая ГК климатических индексов (23,6% общей дисперсии), связанная с САК ($r = 0,88$), обнаруживает явные черты сходства с ГК1 комбинированного набора данных, с довольно резкими переходами от одного уровня колебаний к другому в 1980 и 1989 гг. Изменения второй ГК (19,3%), обусловленной, как и в случае комбинированного анализа данных, декадными колебаниями ТПО в северной части Тихого океана ($r = 0,87$), в целом также хорошо согласуются с ГК2, полученной при анализе всех 75 временных рядов. Однако следует отметить возрастание роли межгодовой изменчивости в вариациях этой компоненты. Режим, установившийся в 1989 г., был довольно коротким по своей продолжительности, и в 1992 г. произошла смена знака ГК2. В изменениях третьей ГК климатических рядов (8,9%), определяемой восточноатлантической ветвью дальних связей в средней тропосфере [Wallace and Gutzler, 1981] ($r = -0,79$), межгодовая изменчивость становится еще более ярко выраженной.

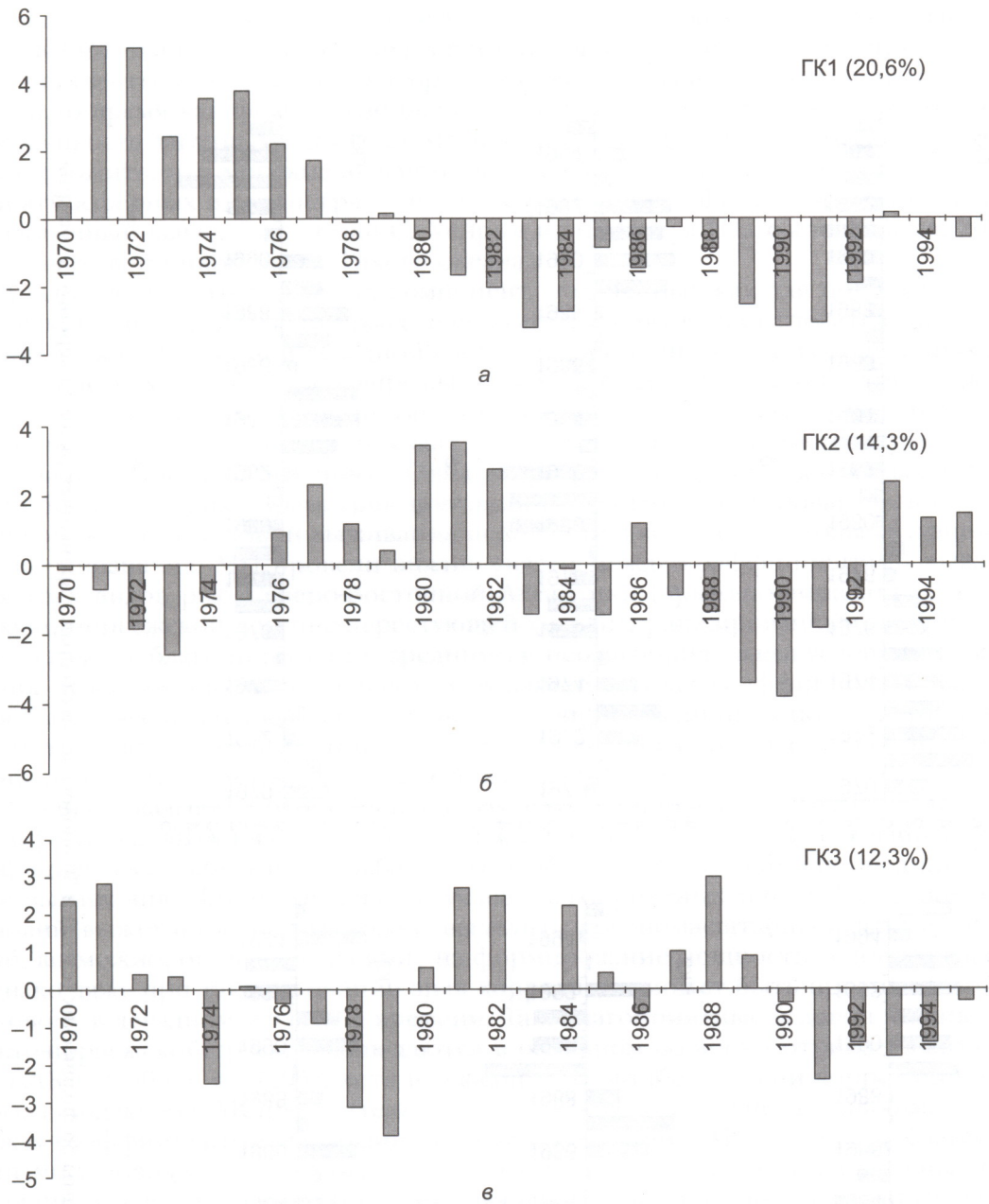


Рис. 7. Первые три главные компоненты 75 физических и биологических временных рядов Северного полушария

С каждой из первых трех главных компонент биологических данных связана примерно та же самая группа популяций, которая была выявлена для этой компоненты в ходе совместного анализа. Однако ГК1 (21,9% общей дисперсии) довольно сильно отличается от первой главной компоненты комбинированного набора данных (рис. 8, б). Она обнаруживает наличие только двух режимов с переходом от первого ко второму в 1980 г. В изменениях второй ГК (11,6%) прослеживаются три режима со сменой знака ее значений в 1976 и 1987 гг., т.е. на 1–2 года раньше по сравнению с ГК2 климатических рядов и полным набором данных (рис. 8, з). Эта особенность характерна и для ГК3 биологических временных рядов, в колебаниях которой выделяются четыре режима с довольно резкими переходами от одного к другому в 1974, 1982 и 1991 гг. (рис. 8, е)

Раздельный анализ рассматриваемых временных рядов методом главных компонент позволил выявить довольно существенные различия в характере крупно-

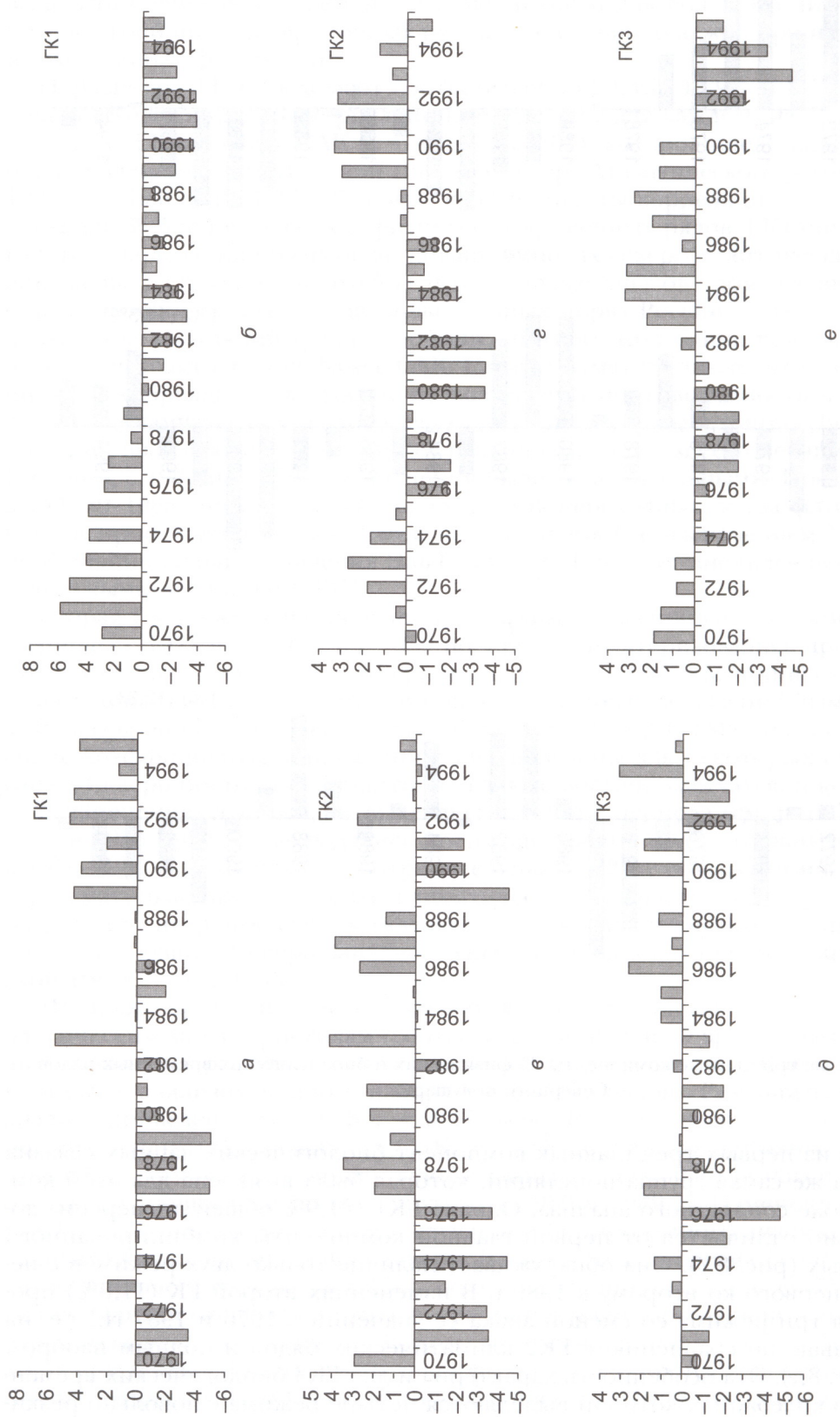


Рис. 8. Первые три главные компоненты 36 физических (слева) и 39 биологических (справа) временных рядов Северного полушария

масштабных изменений климатических и биологических параметров. Первые три ГК биологических рядов обнаруживают ярко выраженную 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. Следовательно, можно предположить, что морские экосистемы как бы сглаживают межгодовые колебаний атмосферных и океанографических характеристик фильтром низких частот. Аналогичный вывод был сделан С. Хейром и Н. Мантуя [Hare and Mantua, 2000] для северо-восточной части Тихого океана.

Анализ первых трех главных компонент, полученных как для полного набора данных, так и по результатам отдельного анализа, позволяет сделать вывод о наличии четко выраженной декадной составляющей в многолетних колебаниях как климатических, так и биолого-промысловых характеристик. При этом с каждой компонентой связана группа промысловых объектов, декадные изменения в состоянии запасов которых происходят согласованно и, по-видимому, определяются общей физической причиной. Однако при рассмотрении межгодовых флуктуаций биологических параметров популяций с учетом формирования мощности годового класса и условий выживания поколений в конкретные годы ситуация не столь однозначна. Мы провели анализ связей между коэффициентами выживания трех видов рыб Северо-Восточной Атлантики (аркто-норвежской трески и пикши, норвежской весенне-нерестующей сельди), ранжированных на три группы по годам с благоприятными, средними и неблагоприятными условиями выживания, и климатическими индексами. В данном случае коэффициенты выживания были рассчитаны как натуральные логарифмы величины пополнения в возрасте трех лет к общей популяционной плодовитости [Bondarenko et al., 2003]. Данные по пополнению были приведены к году нереста.

Анализ показывает, что в большинстве случаев корреляция между глобальными и региональными климатическими характеристиками и ранжированными коэффициентами выживания слабая. Это особенно характерно для средних условий выживания. Для предельных случаев благоприятных или неблагоприятных условий выживания иногда можно выделить крупномасштабный фактор, который, возможно, оказывает влияние на формирование мощности годового класса. Однако даже при такой ситуации знак корреляции может быть противоположен таковому в декадном масштабе времени. Так, благоприятные условия выживания аркто-норвежской трески наблюдаются в основном во время отрицательной фазы САК ($r = -0,80$, $p < 0,05$), хотя в декадном масштабе времени корреляционная связь с индексом САК положительна. Тем не менее статистически значимая связь между коэффициентом выживания трески и индексом САК для лет с неблагоприятными условиями выживания отсутствует. В то же время получены тесные корреляции между коэффициентами выживания в годы с благоприятными (неблагоприятными) условиями и низкими (высокими) индексами Восточноатлантической дальней связи в средней тропосфере, которая в некоторой степени отражает колебания индекса САК [Barnston and Livezey, 1987] — $r = -0,74$ и $0,65$ соответственно; $p < 0,05$. Для норвежской весенне-нерестующей сельди благоприятные условия выживания формируются в основном в периоды положительной фазы САК, хотя коэффициент корреляции довольно низкий ($r = 0,48$). Однако, как и для аркто-норвежской трески, нет явной связи между неблагоприятными условиями выживания и климатическими индексами. Это справедливо и для аркто-норвежской пикши: довольно высокая положительная корреляция с зимним индексом САК для благоприятных условий ($r = 0,70$; $p < 0,01$) и низкая корреляция с климато-океанологическими характеристиками для неблагоприятных условий выживания.

Таким образом, не подлежит сомнению, что климатическая изменчивость на декадном и междекадном временных масштабах в значительной степени влияет на состояние промысловых популяций, обуславливая установление периодов с различным уровнем колебаний биолого-промысловых характеристик популяции. Смена периодов, как правило, происходит в годы перехода от одного климатиче-

ского режима к другому. Однако нет явной связи между коэффициентами выживания трех рассматриваемых видов рыб Северной Атлантики, ранжированных на три группы в соответствии с благоприятными, средними и неблагоприятными условиями выживания, и климатическими параметрами. Данная проблема требует дальнейших исследований, в которых должны быть учтены локальные океанологические условия, такие, как ветровое перемешивание, вихревая структура вод, вертикальные потоки и т.д.

Особенности межгодовой изменчивости в развитии сезонных процессов и ее возможное влияние на промысловые ресурсы (на примере тихоокеанских лососей)

Наряду с исследованиями воздействия крупномасштабных процессов взаимодействия океана с атмосферой на состояние промысловых запасов значительный интерес представляет изучение влияния межгодовой изменчивости таких сезонных явлений, как даты ледостава, время устойчивого прогрева и охлаждения акватории моря или того или иного района океана и т.д., на продукционные процессы и в конечном итоге на формирование урожайности поколений. Сроки начала и продолжительность указанных явлений (или, как их еще называют, фенологических сезонов) в значительной степени меняются от года к году.

Анализ еженедельных карт ТПО, построенных в лаборатории разработки методов дистанционных исследований промысловых районов Мирового океана ВНИРО по спутниковым данным, позволил выявить весьма существенные межгодовые различия в особенностях осенне-зимнего выхолаживания и весенне-летнего прогрева в различных районах Северной Пацифики и Северной Атлантики. В частности, на протяжении последних 8–9 лет в северо-западной части Тихого океана наблюдалось более раннее начало осенне-зимнего охлаждения, характеризующееся пересечением изотермой 5 °С параллели 50° с.ш. в секторе 170° в.д. – 175° з.д. (рис. 9). С 1996 по 2003 г. его сроки сдвинулись с конца февраля на конец декабря. Одновременно происходит постоянный рост продолжительности холодного периода года: с 70 дней в 1996 г. до 170 дней в 2003 г., т.е. она увеличилась более чем на три месяца. В качестве критерия оценки выбрана продолжительность устойчивого пребывания изотермы 5 °С южнее 50° с.ш. (см. рис. 9). Следует отметить также устойчивую тенденцию к более раннему становлению ледового покрова у Южных Курил и западного побережья Камчатки.

Иная ситуация наблюдалась в Норвежском море. Здесь отмечено более раннее пересечение изотермами 5, 7 и 10 °С соответственно 75, 70 и 60° с.ш., принятое в качестве критерия начала весенне-летнего прогрева (см. рис. 9). По сравнению с 1996 г. весенне-летний прогрев в 2003 г. начался на 1,5–2 месяца раньше. Это может свидетельствовать об уменьшении продолжительности холодного сезона в Норвежском море, что косвенно подтверждается и четкой тенденцией к снижению продолжительности пребывания струи Восточно-Исландского течения, определяемой по положению изотермы 5 °С, южнее 65° с.ш. и восточнее 5° з.д. с 255 дней в 1997 г. до 130 дней в 2003 г. (рис. 10).

Таким образом, в период с 1996 по 2003 г. в северо-западной части Тихого океана и Норвежском море отмечаются противоположные тенденции в сроках окончания и, возможно, продолжительности холодного гидрологического сезона. Эта противофазность может быть обусловлена различным характером развития крупномасштабных процессов в системе «океан–атмосфера» в Северной Атлантике и Северной Пацифике.

Продолжительность и сроки окончания зимнего гидрологического сезона в значительной степени определяют особенности весенних биопродукционных процессов и в конечном итоге рыбопродуктивность вод.

В качестве примера рассмотрим более подробно межгодовую изменчивость термического режима приповерхностных вод приалеутского (49–50° с.ш., 170° в.д. – 175° з.д.) и прикурильского (46–47° с.ш., 153–163° в.д.) секторов Северной Пацифики и ее возможное влияние на промысловые ресурсы.

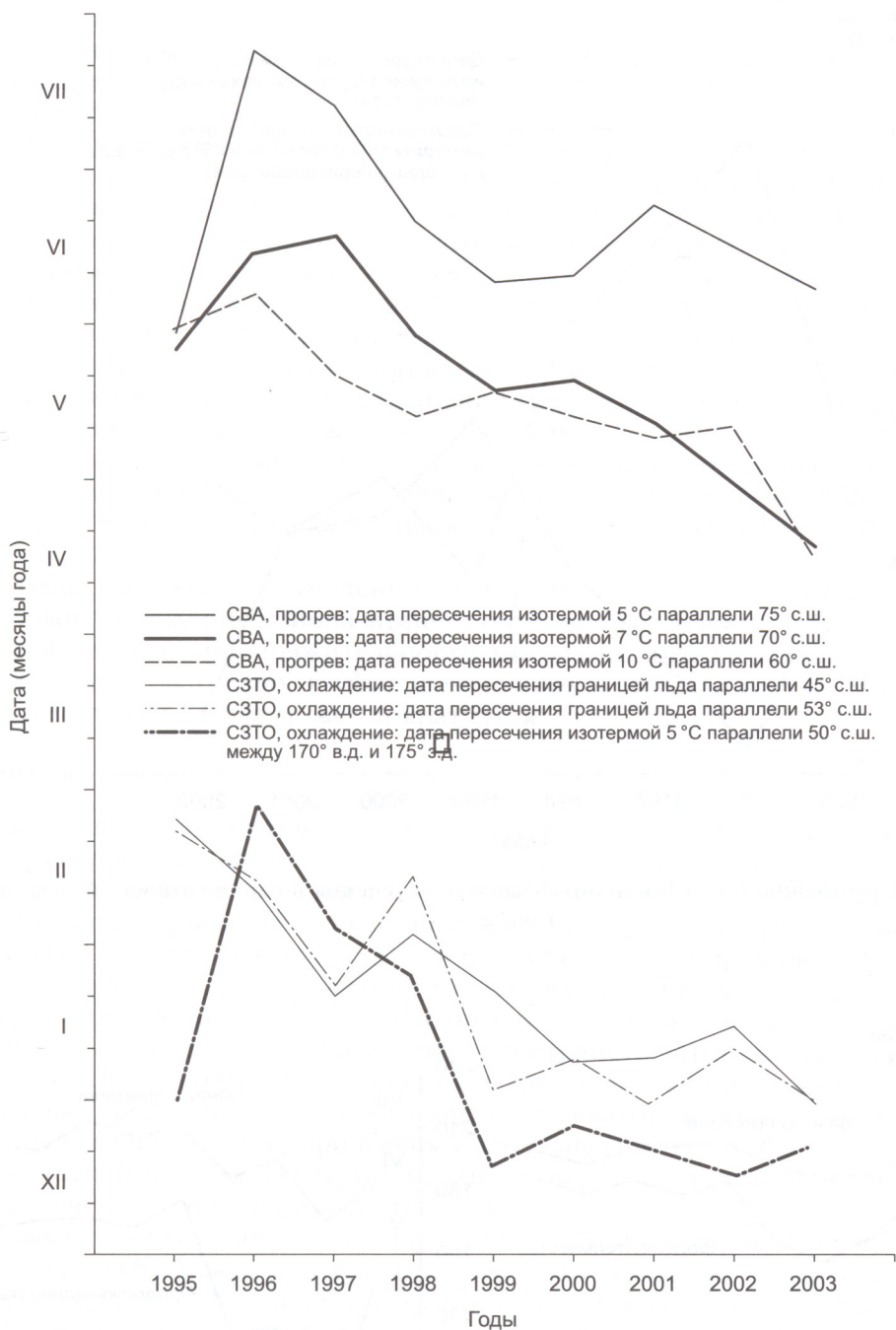


Рис. 9. Межгодовая изменчивость начала теплого и холодного периодов года в Северо-Восточной Атлантике и северо-западной части Тихого океана

В обоих секторах были проанализированы продолжительность периода с поверхностной температурой ниже 5 °С, сроки его начала и окончания (рис. 11). Как видно по рисункам, наблюдается отмеченная выше четкая обратная зависимость между сроками начала похолодания и его продолжительностью, причем приалеутский район (см. рис. 11, *a*) характеризуется гораздо большей амплитудой значений температуры, чем прикурильский (см. рис. 11, *b*). Хотя в обоих районах наблюдается тенденция к увеличению продолжительности холодного периода (в приалеутском районе она опять-таки выражена сильнее), о синфазности межгодовых изменений этой характеристики можно говорить лишь примерно в 50% случаев. Вероятно, это обусловлено более сложной динамикой вод прикурильской зоны. Из графиков следует, что в 1997 г. зимнее охлаждение в приалеутском

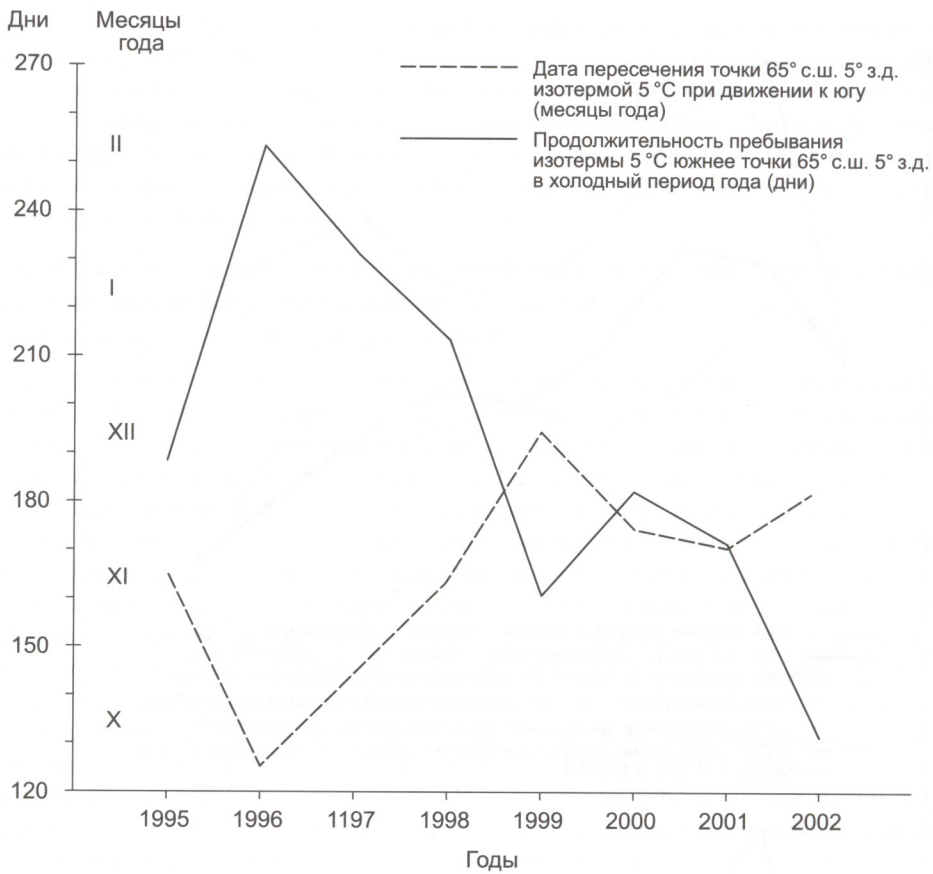


Рис. 10. Пребывание струи Восточно-Исландского течения в районе южнее 65° с.ш., восточнее 5° з.д.

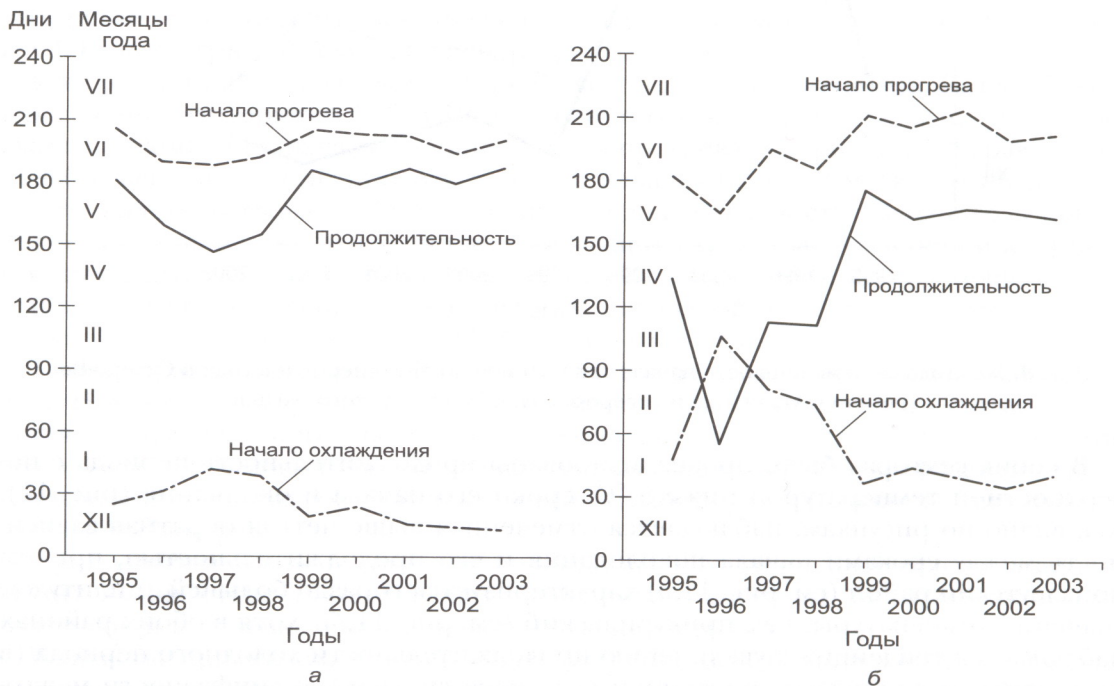


Рис. 11. Продолжительность периода с поверхностной температурой ниже 5 °С в секторах а – 46–47° с.ш., 153–163° з.д. и б – 49–50° с.ш., 170° в.д. – 175° з.д. северной части Тихого океана

районе начиналось значительно позже, чем в прикурильском (15 марта и 10 января соответственно). С 1997 по 2002 г. начало зимнего охлаждения в обоих районах сдвинулось на более ранние и к тому же более близкие сроки (10 января и 17 декабря соответственно).

Начало и продолжительность охлаждения северной части Тихого океана, несомненно, влияют на сроки и скорость миграции лососей к районам зимнего обитания. А температура воды играет немаловажную роль в формировании количественных и качественных характеристик популяций. Общеизвестно, что основным районом зимнего обитания тихоокеанских лососей является приалеутский, так как его гидрологические условия более благоприятны для зимовки лососевых рыб [Бирман, 1960, 1969]. Но поскольку продолжительность холодного периода в обоих районах увеличивается, причем в приалеутском гораздо быстрее, можно говорить об усилении негативного влияния гидрологических условий на тихоокеанских лососей в период их зимовки. Так, в начале рассматриваемого периода длительность холодного периода в приалеутском районе была значительно меньше, чем в прикурильском (52 дня в 1996 г. в приалеутском районе, 155 дней в прикурильском). В 2002 г. продолжительность возросла до 170 и 180 дней соответственно.

Учитывая наблюдаемые тенденции в характере зимнего охлаждения можно предположить смещение района зимнего обитания к юго-востоку. Это может привести к увеличению продолжительности миграции лососей к районам зимнего обитания и, следовательно, к уменьшению сроков летнего нагула. Численность популяций в таком случае может сократиться.

Выводы

1. Анализ пространственной структуры многолетних колебаний среднезимних АТПО в северных частях Атлантического и Тихого океанов выявил в обоих океанах крупномасштабные районы с когерентными изменениями аномалий поверхностной температуры воды в пределах каждого из них. В Северной Атлантике вариации АТПО на северо-востоке и юго-западе акватории противоположны таковым в ее северо-западной и юго-восточной частях. Такая «четыреполюсная» структура определяется Северо-Атлантическим Колебанием (САК). В Северной Пацифике выделены две независимые пространственные моды многолетних флуктуаций АТПО: колебания аномалий между ее восточной и центральной частями, а также на северо-западе и юго-западе ее акватории происходят в противофазе. Это обусловлено географическим положением центров Тихоокеанско-Североамериканской и Западно-Тихоокеанской ветвей дальних связей в средней тропосфере Северного полушария соответственно.

2. Выявлены статистически значимые корреляционные связи в многолетних изменениях АТПО между различными районами Северной Атлантики и Северной Пацифики, что объясняется особенностями проявления различных ветвей дальних связей в атмосфере Северного полушария.

3. Анализ первых трех главных компонент 75 физических и биологических временных рядов позволяет сделать вывод о наличии четко выраженной декадной составляющей в многолетних колебаниях как климатических, так и биолого-промысловых характеристик. С каждой компонентой связана группа промысловых объектов, декадные изменения состояния запасов которых происходят согласованно и, по-видимому, определяются общей физической причиной. Вместе с тем статистически значимая связь между коэффициентами выживания трех промысловых видов рыб Северной Атлантики (аркто-норвежской трески и пикши, норвежской весенне-нерестующей сельди), ранжированных на три группы в соответствии с благоприятными, средними и неблагоприятными условиями выживания, и климатическими факторами практически отсутствует. Возможно, это справедливо и для других промысловых популяций.

4. Раздельный анализ временных рядов методом главных компонент обнаружил довольно существенные различия в характере крупномасштабных изменений климатических и биологических параметров. Для биологических рядов ха-

рактерна ярко выраженная устойчивость знака компоненты от года к году. Смена знака происходит только при переходе от одного климатического режима к другому. У физических рядов наблюдается значительная межгодовая изменчивость внутри каждого режима. По-видимому, морские экосистемы как бы сглаживают межгодовые колебания атмосферных и океанографических характеристик фильтром низких частот.

5. В период с 1996 по 2003 г. в северо-западной части Тихого океана отмечается устойчивая тенденция к более раннему началу осенне-зимнего охлаждения и увеличению продолжительности холодного сезона, а в Норвежском море — к более ранним срокам весенне-летнего прогрева, что может привести к пространственному смещению ареалов промысловых популяций.

6. Результаты работы подтверждают гипотезу Г.К. Ижевского о системной организации физических и биологических процессов в океане и их системной взаимосвязанности.

Литература

- Афифи А., Эйзен С.* 1982. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ.— М.: Мир.— 488 с.
- Бирман И.Б.* 1960. Новые данные о морском периоде жизни и морском промысле тихоокеанских лососей // Труды совещания Ихтиологической комиссии. Вып. 10.— М.— С. 151–164.
- Бирман И.Б.* 1969. Периодические колебания численности лососевых и солнечная активность // Труды ВНИРО.— М.: ВНИРО.— С. 171–184.
- Богданов М.А., Потайчук С.И., Солянкин Е.В.* 1968. Системы природы и гидрологические промысловые прогнозы // Рыбное хозяйство. № 3.— С. 6–9.
- Богданов М.А., Потайчук С.И., Солянкин Е.В.* 1969. К проблеме долгосрочного прогноза гидрологических условий и урожайности промысловых рыб // Рыбное хозяйство. № 9.— С. 7–12.
- Богданов М.А., Елизаров А.А., Солянкин Е.В.* 1972. К оценке ожидаемых условий воспроизводства промысловых рыб Северной Атлантики и морей юга европейской территории СССР // Рыбное хозяйство. № 7.— С. 19–21.
- Богданов М.А., Елизаров А.А., Солянкин Е.В.* 1973. О прогнозировании климатического фона и абиотических факторов в Северной Атлантике, морях европейского севера и юга европейской территории СССР на 1973 год // Рыбное хозяйство. № 7.— С. 12–15.
- Богданов М.А. и др.* 1974. К оценке условий воспроизводства промысловых рыб Северной Атлантики и морей юга европейской территории СССР на основе системного анализа природных процессов // Рыбное хозяйство. № 7.— С. 21–24.
- Богданов М.А., Потайчук С.И., Солянкин Е.В.* 1975. К вопросу о фоновом прогнозе и прогноз на 1975 год гидрологических условий и урожайности промысловых рыб в морях Северной Атлантики и европейской территории СССР // Рыбное хозяйство. № 8.— С. 9–12.
- Богданов М.А. и др.* 1976. О системном анализе природных явлений в Северной Атлантике и прилегающих полярных морях // Труды ВНИРО. Т. 112. Вып. 1.— М.: ВНИРО.— С. 7–15.
- Богданов М.А., Солянкин Е.В.* 1977. Прогноз на 1977 год некоторых фоновых характеристик абиотических условий воспроизводства рыб в водоемах Атлантическо-Европейского сектора северного полушария // Рыбное хозяйство. № 7.— С. 14–16.
- Богданов М.А., Солянкин Е.В.* 1978. Прогноз фоновых показателей абиотических условий воспроизводства промысловых рыб в Северной Атлантике, морях европейского севера и юга европейской территории СССР // Рыбное хозяйство. № 7.— С. 20–26.
- Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И.* 2000. Многомерные статистические методы.— М.: Финансы и статистика.— 352 с.
- Ижевский Г.К.* 1964. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб.— М.: ВНИРО.— 166 с.
- Уловы тихоокеанских лососей, 1900–1986.*— М.: ВНИРО. 1989.— 213 с.
- Barnston A.G., Livezey R.E.* 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Monthly Weather Review. 115: 1083–1126.
- Bondarenko M.V., Krovvin A.S., Serebryakov V.P.* 2003. Ranging year-class strength and survival rates during early life history of the Barents Sea food fishes to establish biological reference points and evaluate environmental effects- ICES CM 2003/Y:09.— 108 p.
- Cushing D.H.* 1978. Biological effects of climatic change // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 173.— P. 107–116.
- Garrod D.J., Colebrook J.M.* 1978. Biological effects of variability in the North Atlantic Ocean // Rapp. P.-v. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. V. 173.— P. 128–144.
- Hare S.R., Mantua N.J.* 2000. Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. Progress in Oceanography. V. 47. Nos 2–4.— P. 103–145.

Hurrell J.W. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation, regional temperatures and precipitation // Science.— P. 269, 676–679.

Kawasaki, T. 1983. Why do some pelagic fishes have wide fluctuations in their number? Biological basis of fluctuation from the viewpoint of evolutionary ecology // G.D. Sharp and J. Csirke (Eds.). Reports of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish resources. FAO Fisheries Report, 291, 1065–1080.

Kalnay E. and Coauthors. 1996. The NCEP / NCAR Reanalysis, 40-year project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77.— P. 437–471.

Klyashtorin L.B. 2001. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches. The possibility of forecasting // FAO Fisheries Technical paper, 410.— 86 p.

Krovinin A.S. 1995. A Comparative study of climatic changes in the North Pacific and North Atlantic and their relation to the abundance of fish stocks // R.J. Beamish (ed.). Climate change and northern fish populations. Can. Spec. Publ. Aquat. Fish. Sci. 121.— P. 181–198.

Lluch-Belda D. et al. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem // South African Journal of Marine Science. N. 8.— P. 195–205.

Mantua, N.J. et al. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production // Bull. Amer. Meteorol. Soc. V. 78.— P. 1069–1079.

Marshall J. et al. 1997. A White Paper on Atlantic Climate Variability. <http://geoid.mit.edu/accp/ave.html.html>.

Wallace J.M., Gutzler D.S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Mon. Weather Rev., 109.— P. 784–812.

Ward J.H., Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Am. Stat. Assoc. 58.— P. 236–244.

УДК 639.211 (265.53)

Опыт оперативного прогнозирования подходов горбуши Западной Камчатки

В.Г. Ерохин (КамчатНИРО)

Изучение азиатских стад горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в период морских анадромных миграций в последние годы складывалось, главным образом, из двух составляющих: периодических траловых съемок и ежегодного дрефтерного мониторинга в российской экономической зоне. Имея каждый свою специфику, обуславливающую спектр решаемых ими задач, эти два способа получения научной информации дополняют друг друга. Траловые съемки в силу своеобразной одномоментности, вытекающей из их выполнения на обширной акватории в короткие сроки, позволяют увидеть пространственную динамику фоновых характеристик, плотностных и биологических показателей рыб, уловить тенденции в разделении смешанных морских скоплений на миграционные потоки, направленные к определенным регионам. Однако период массовых подходов лососей к дальневосточному побережью России составляет не менее трех месяцев. Получение информации в течение столь длительного срока с траловых судов, работа которых при исследовании лососей является в высокой степени затратной, невозможно.

Исходя из особенности завершающей жизненной стадии лососей — односторонней преднерестовой миграции, изучению миграционного потока в различных точках пространства во многом тождественно его исследование на стационарных точках или площадках, но в различные моменты времени. Задачи временного мониторинга решаются работой судов-дрифтероловов длительностью до 2,5–3 месяцев во всех основных районах анадромных миграций лососей в северо-западной части Тихого океана и в Беринговом море — от южных Курильских островов до м. Наварин (Чукотка), а также в Охотском море.