

*Р.Диксон (Научный центр по окружающей среде,
рыболовству и аквакультуре, Великобритания),
Й.Майнке (Гамбургский Университет, институт
океанографии, Германия)*

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АТЛАНТИКИ В 1998-1999 гг. И ИХ ПОСТЕПЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОСЛЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Введение

Северо-Атлантическое колебание (САК) является наиболее значительным режимом периодических изменений в атмосфере Северной Атлантики, оно обуславливает более трети от общей дисперсии изменений давления на уровне моря в зимний период. Кроме того, его изменчивость объясняет примерно треть дисперсии колебаний температуры воздуха во внетропической части северного полушария за последние 65 лет, поэтому вероятно, что она связана с тенденциями длительных и медленных глобальных изменений.

Характер изменчивости САК таков, что периоды высоких значений индекса, характеризуемые интенсификацией Исландского минимума и усилением Азорского максимума на юге, следовательно, усилением западных ветров в средних широтах, чередуются с периодами низких значений. Знаки этих аномалий почти противоположны. Условный (общепринятый) индекс активности САК представляет собой среднюю разность давления между этими двумя основными центрами действия атмосферы, для его расчета используются данные различных пар станций. В отличие от прошлого года, когда анализировался зимний (декабрь-март) индекс по Дж.У.Харрелу (Hurrell, 1995a, 1996), полученный для створа «Лиссабон-Сиккисхолмур», в настоящее время для того, чтобы удлинить временной ряд в прошлое до 1823 г., мы применяем зимний (ноябрь-март) индекс, предложенный П.Д.Джонсом, Т.Йонссоном и Д.Уилером (Jones, Jonsson, Wheeler, 1997). Он рассчитан на основе данных более длительного периода инструментальных наблюдений в районах Гибралтара и юго-западной Исландии (рис.1).

Общий характер изменчивости индекса САК (рис.1) является одинаковым для любого варианта его расчета. На протяжении XIX и в начале XX века преобладали короткопериодные межгодовые колебания. Затем сформировалась тенденция увеличения аномальности, когда

квазидесятилетние изменения были выражены наиболее ярко (индекс САК перешел из самой экстремальной и устойчивой отрицательной фазы в 60-х годах в самую экстремальную и устойчивую положительную фазу в конце 80-х-начале 90-х годов. После этого наблюдались рекордно быстрое снижение значений индекса в период между зимами 1994-1995 и 1995-1996 гг. и его последующее восстановление до положительных значений. Известно, что САК контролирует или изменяет три основных параметра, обуславливающих океаническую циркуляцию – скорость ветра, скрытый и явный потоки тепла (Cayan, 1992a,b,c), испарение или осадки (Hurrell, 1995a). Поэтому знание того, какой характер носили его изменения в прошлом, создает важную основу для интерпретации изменчивости океанографических условий на стандартных разрезах.

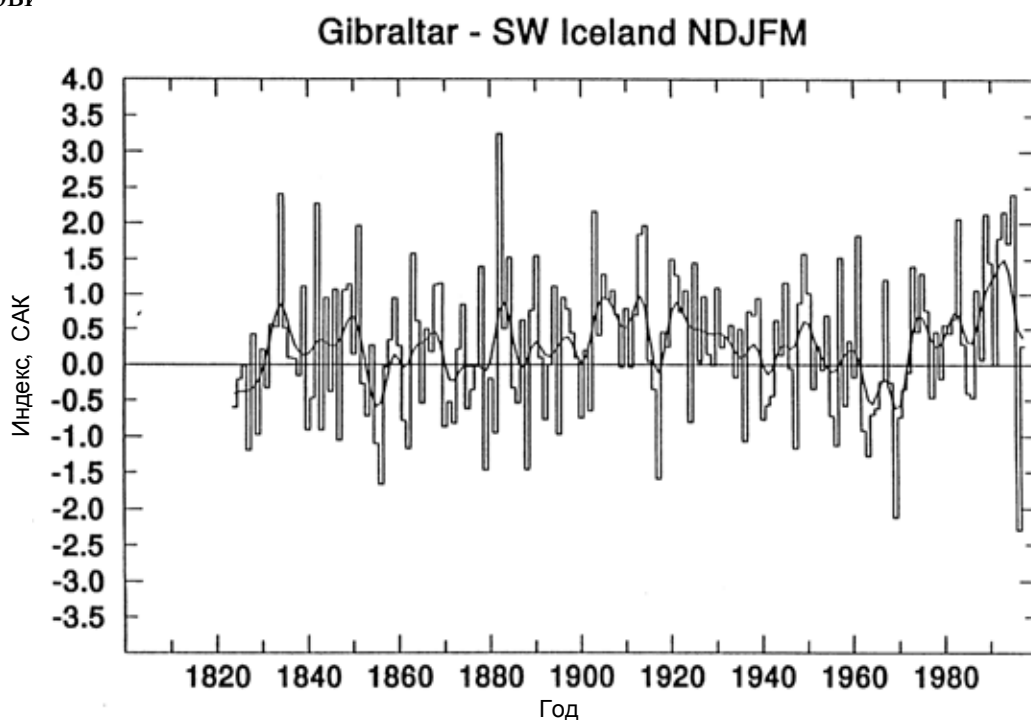


Рис.1. Зимний (ноябрь-март) индекс САК по П.Д.Джонсу, Т.Йонссону и Д.Уилеру (Jones, Jonsson, Wheeler, 1997), рассчитанный на основе регистраций атмосферного давления в районах Гибралтара и юго-западной Исландии за период с 1823 г. по настоящее время

Основные типы отклика океана на воздействие САК описаны в других работах (Dickson et al., в печати), поэтому мы сконцентрируемся на определении различных видов реакции океана на резкое, но экстремальное межгодовое «сальто» САК в 1994-1996 гг. На рис.1 показано, насколько аномальным было это изменение, если рассматривать 176-летний ряд инструментальных наблюдений. Данные рис.2 подтверждают, что здесь сыграли роль оба центра действия атмосферы. Основное внимание обращено на это событие, так как чувствительность океана к такому экстремальному

изменению может указывать на возможность столь же быстрого восстановления при возобновлении высоких положительных значений индекса САК.

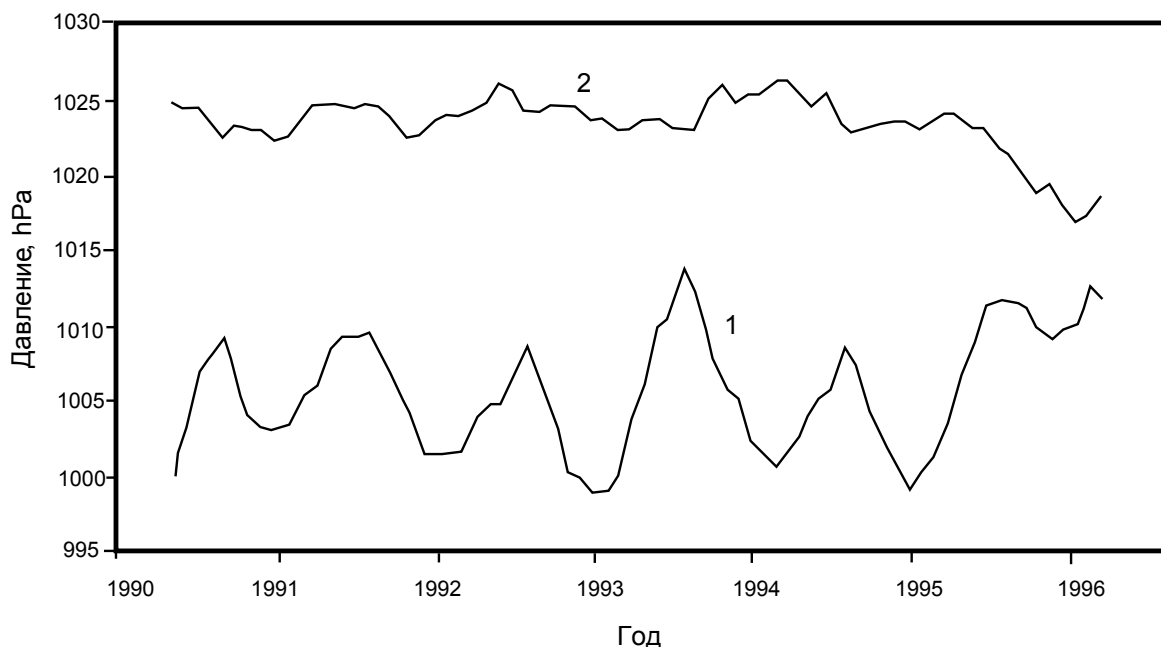


Рис.2. Сглаженные среднемесячные значения давления, показывающие, что в мощном межгодовом изменении САК в 1994/95-1995/96 г. участвовали как Исландский (1), так и Азорский (2) центры действия атмосферы

Чувствительность океана по отношению к резкому изменению САК в 1994-1996 гг.

Панатлантическое изменение уровня моря. 3-месячные (март-май) средние аномалии высоты уровня моря (АВУМ) в 1995 и 1996 гг. показывают экстремальные изменения в широтных поясах примерно вдоль 40 и 60° с.ш. (рис.3) (Esselborn, 1990). В 1995-1996 гг. АВУМ в северном поясе выросли от почти нулевых значений приблизительно до +8 см как в системе Северо-Атлантического течения (САТ), так и в субполярном круговороте. Более глубокий анализ, выполненный М.Бершем, Й.Майнке и А.Си (Bersch, Meinke, Sy, в печати) и С.Эссельборном (Esselborn, 1999), показывает, что АВУМ в системе САТ имеют в основном локальное происхождение и вызваны прогревом и увеличением толщины верхних слоев (рис.4). По величине они соответствуют изменению динамической высоты, рассчитанной на основе океанографических данных разреза А1Е, выполнявшегося в рамках проекта WOCE. Установлено, что в субполярном

круговороте АВУМ на этом разрезе образовывались в результате увеличения толщины рапресненных поверхностных слоев в море Ирмингера. Разность (незначимая) между величинами АВУМ и аномалиями динамической высоты (Esselborn, 1999) имеет такой знак, при котором ее можно объяснить замедлением циклонической циркуляции, связанным с ослаблением действия ветра. Это подтверждается анализом АВУМ и динамических высот на разрезе AX2 между Исландией и о-вом Ньюфаундленд (проект WOCE), выполненным Г.Ревердином, Н.Вербрюгге и Х.Валдимарссоном (Reverdin, Verbrugge, Valdimarsson, в печати). Данные рис.5 также указывают на близкий характер их изменений во времени со значительным увеличением высоты от 1995 г. к 1996 г., включая незначимое различие в 1996 г., обусловленное баротропными течениями. Сроки увеличения высоты соответствуют времени поступления теплых соленых вод с востока.

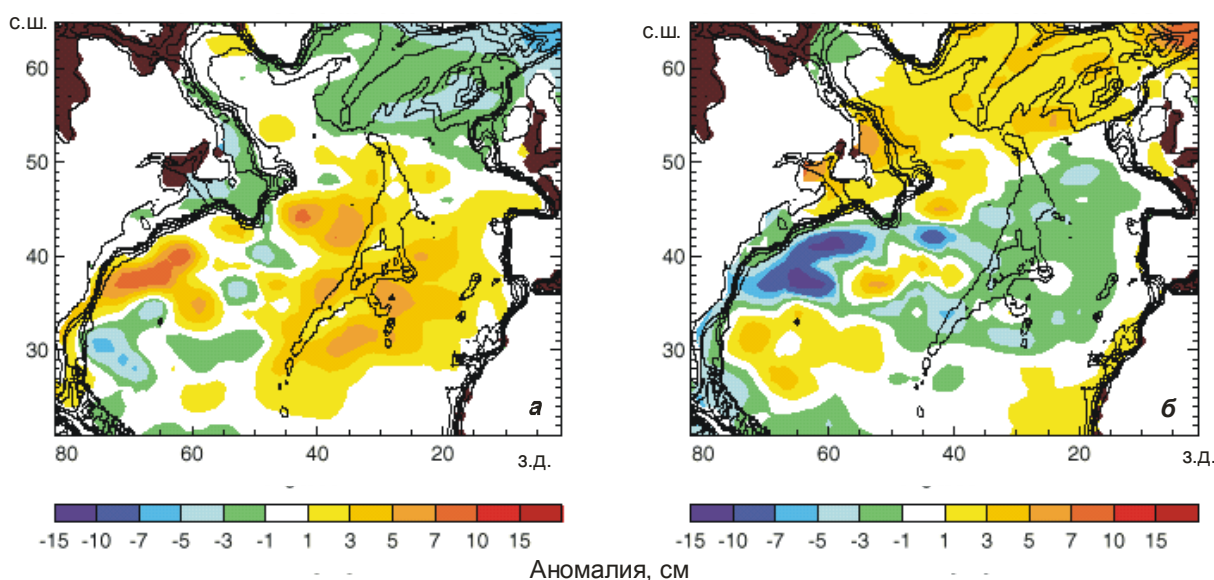


Рис.3. Аномалии высоты уровня моря по результатам альтиметрии (проект «Топекс/Посейдон») для марта-мая 1995 г. (а) и 1996 г. (б), рассчитанные относительно среднего для марта-мая значения за период 1993-1997 гг. (Esselborn, 1999)

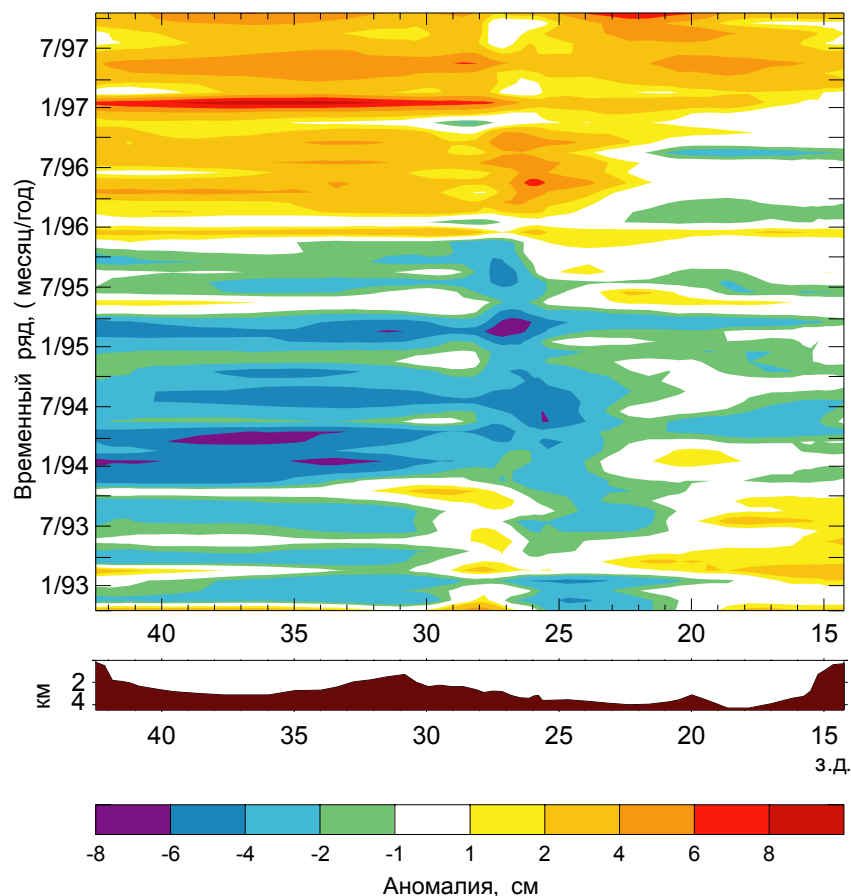


Рис.4. Временной ряд аномалий высоты уровня моря на океанографическом разрезе A1E, выполнявшемся в рамках проекта WOCE, (см.рис.7). Аномалии определены относительно среднего значения на отдельном разрезе (Esselborn, 1999)

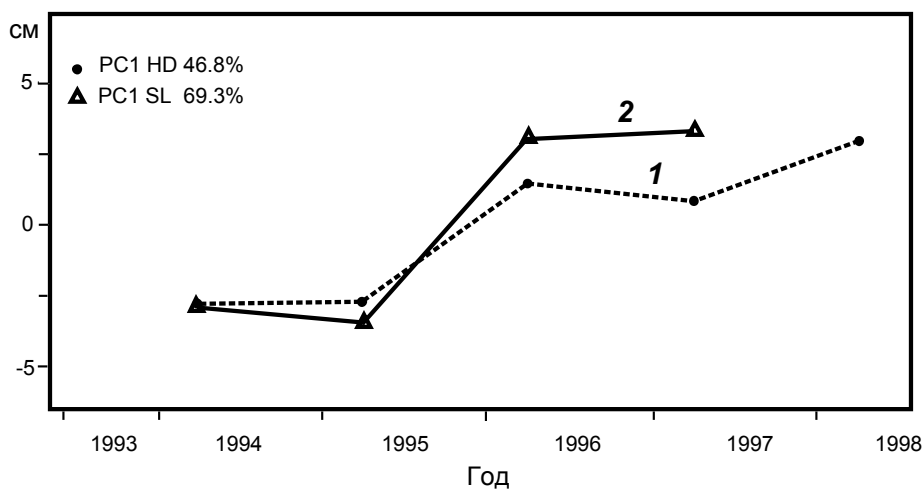


Рис.5. Временной ряд первых главных компонент (PC1) динамической высоты (1) и высоты уровня моря (2) для разреза AX2, выполнявшегося по проекту WOCE при помощи термических батитермографов в в створе между Рейкьявиком и банкой Флемиш-

Кап по Ревердину, Вербрюгге, Валдимарссону (Reverdin, Verbrugge, Valdimarsson, в печати)

Перенос тепла на север через параллель 48° с.ш. Имеются данные семикратного выполнения (в 1957, 1982, 1993, 1994, 1996, 1997 и 1998 гг.) трансатлантического океанографического разреза А2 (проект WOCE), располагающегося от пролива Ла-Манш до «хвоста» Большой Ньюфаундлендской банки. Этот разрез проходит по широте 48° с.ш. примерно вдоль линии нулевых значений вихря касательного напряжения ветра и находится к югу от сложной системы субполярного круговорота. Перенос тепла в меридиональном направлении происходит на нем главным образом за счет геострофической компоненты циркуляции. Используя метод, предложенный К.Брайаном (Bryan, 1962) и примененный С.Добролюбовым, В.Терещенковым и А.Соковым (Dobroliubov, Tereschenkov, Sokov, 1996) к данным, которые получены в результате неоднократного выполнения океанографического разреза вдоль 36° с.ш., К.Лорбачер (Lorbacher, 1999) и также К.П.Колтерманн с соавторами (Decadal Changes..., в печати) оценили общий меридиональный перенос тепла через параллель 48° с.ш. как сумму потоков, определяемых баротропной, геострофической и экмановской компонентами циркуляции. На рис.6 представлены оценки переноса тепла, основанные на данных 7-кратного выполнения этого разреза, а также изменения зимнего индекса САК по Харрелу (Hurrell, 1995). Несколько ранних значений соответствуют долговременным тенденциям изменения индекса САК. Набор данных последних лет указывает на присутствие в переносе тепла короткопериодных колебаний, которые достаточно хорошо согласуются с экстремальными межгодовыми изменениями индекса САК после 1993 г. Меридиональный перенос тепла уменьшается с $0,66 \cdot 10^{15}$ до $0,25 \cdot 10^{15}$ Вт вслед за рекордным падением индекса САК в период с зимы 1994-1995 гг. по зиму 1995-1996 гг. Так же быстро он восстанавливается до $0,57 \cdot 10^{15}$ Вт летом 1998 г., когда индекс САК снова принимает положительные значения. Столь значительные изменения, происшедшие в очень короткий промежуток времени, могут быть первым указанием на то, что кратковременному изменению атмосферного воздействия, каким бы экстремальным оно ни было, может соответствовать такой же быстрый отклик крупномасштабной циркуляции океана.

Сдвиг в западном направлении субарктического фронта в средней части Атлантики. Субарктический фронт в северной части Северной Атлантики является границей между водными массами системы теплого Северо-Атлантического течения и холодного субполярного круговорота. Его положение, как известно, реагирует на воздействие атмосферы, что показано М.Бершем, Й.Майнке и А.Си (Bersch, Meinke, Sy, в печати) на основе данных разреза А1Е, простирающегося от Ирландии до Гренландии и

выполнявшегося в рамках проекта WOCE в 1991-1997 гг., а также Г.Ревердином, Н.Вербрюгге и Х.Валдимарссоном (Reverdin, Verbrugge, Valdimarsson, в печати) по данным измерений с помощью теряемых батитермографов (ХВТ) на разрезе AX2 между Исландией и Ньюфаундлендом, выполнявшемся в рамках проекта WOCE в 1993-1998 гг. Более конкретно различные наборы данных указывают на западный сдвиг фронта в Исландском бассейне в период резкого и экстремального по величине изменения зимнего индекса САК с 1995 по 1996 г. Например, до 1995 г., восточная граница субполярного круговорота на разрезе A1E располагалась в районе 24° з.д., о чем свидетельствует распределение солености на горизонте 200 м (рис.7). Однако после 1995 г. субполярные воды с низкой соленостью в районе к востоку от хребта Рейкьянес исчезали и заменялись теплыми и солеными водами Северо-Атлантического течения (рис.8). Этот сдвиг в западном направлении сопровождался увеличением толщины слоя вод субполярного типа (SPMW) на разрезе A1E примерно с 950 м в годы положительных значений индекса САК (1991-1995 гг.) до 1050 м при его экстремальных отрицательных значениях в 1996 г. (рис.9). Эти изменение теплосодержания и солености представляются более значительными, чем за счет локальных потоков, что свидетельствует о возможности адвекции. Результаты, полученные Г.Ревердином с соавторами, указывают на то, что теплые и соленые воды поступили на выполнявшийся ими при помощи теряемых батитермографов меридиональный разрез в районе к юго-западу от Исландии еще в конце 1995 г. – начале 1996 г. и находились там до 1997-1998 гг. Эксперименты, выполненные с помощью модели FLAME в Институте океанографии (г.Киль), подтверждают эти сроки.

Кардинальное изменение режима осадков над Европой. Известно, что САК оказывает существенное влияние на траектории, количество и интенсивность зимних циклонов в Атлантике (Rogers, 1990, 1997; Hurrell, 1995b). В период отрицательной фазы САК центр циклонической активности смещается в юго-западном направлении в сторону американского побережья, а в период противоположной фазы (высокий индекс) сдвигается в северо-восточном направлении в Норвежское и Гренландское моря. Дж.У.Харрел (Hurrell, 1995a) с использованием комплексного анализа ESMWF показал, что ось максимального переноса влаги в соответствии с циклонической активностью смещается дальше на север и восток во время положительной фазы САК. Дж.У.Харрел и Х. ван Лун (Hurrell, van Loon, 1997) иллюстрируют именно такую особенность и показывают изменения в характере атмосферных осадков в евро-атлантическом секторе, соответствующие единичному отклонению индекса САК зимние периоды 1900-1994 гг. Р.Р.Диксон с соавторами (Dickson et al., в печати) реконфигурировали базу

глобальных данных по осадкам П.Кси и П.А.Аркина (Хіе, Arkin, 1996) для того, чтобы показать, каким образом выпадение осадков в полушарии концентрируется в северо-западной Европе и северных морях (Норвежское, Гренландское и Исландское) по мере смены отрицательной фазы САК на положительную. На рис.10 предоставлены данные глобального климатологического центра осадков (Германия), подтверждающие, что общая тенденция проявилась и в конкретном случае очень большого снижения индекса САК в период от зимы 1994/95 г. к зиме 1995/96 г. Как видно из рисунка, для осадков распределение аномалий, выраженных в процентах от среднееголетнего зимнего значения за 1961-1990 гг., имеет почти полностью противоположный характер по всей Европе вплоть до западной части России.

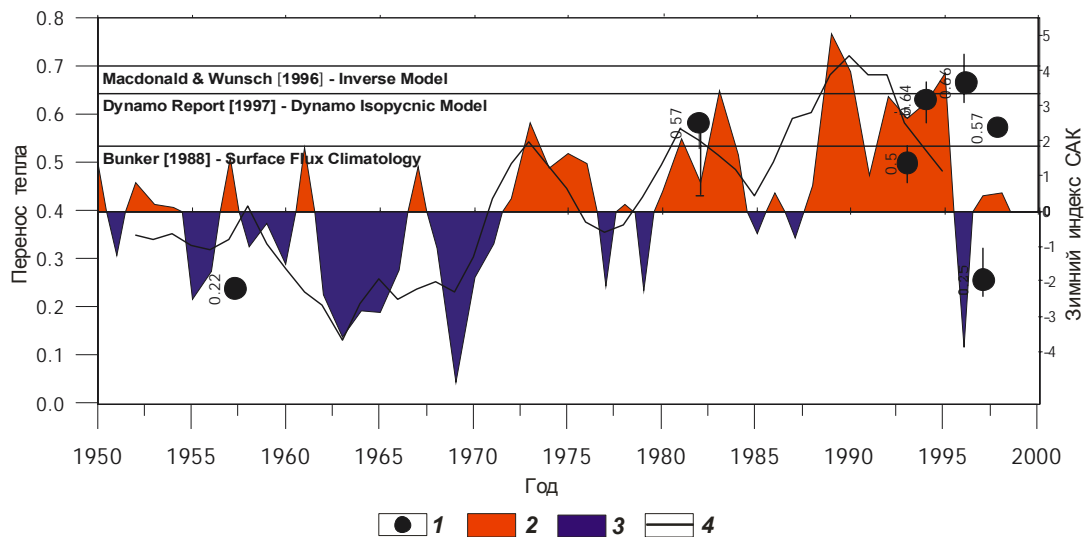


Рис.6. Перенос тепла в Северной Атлантике через параллель 48° с.ш. (1); изменения индекса САК по Дж.У.Харрелу (Hurrell, 1995a) (2) и (3) – положительные и отрицательные соответственно и его 5-летняя скользящая средняя (4), а также оценки переноса тепла, полученные по различным моделям (по Decadal Changes..., в печати)

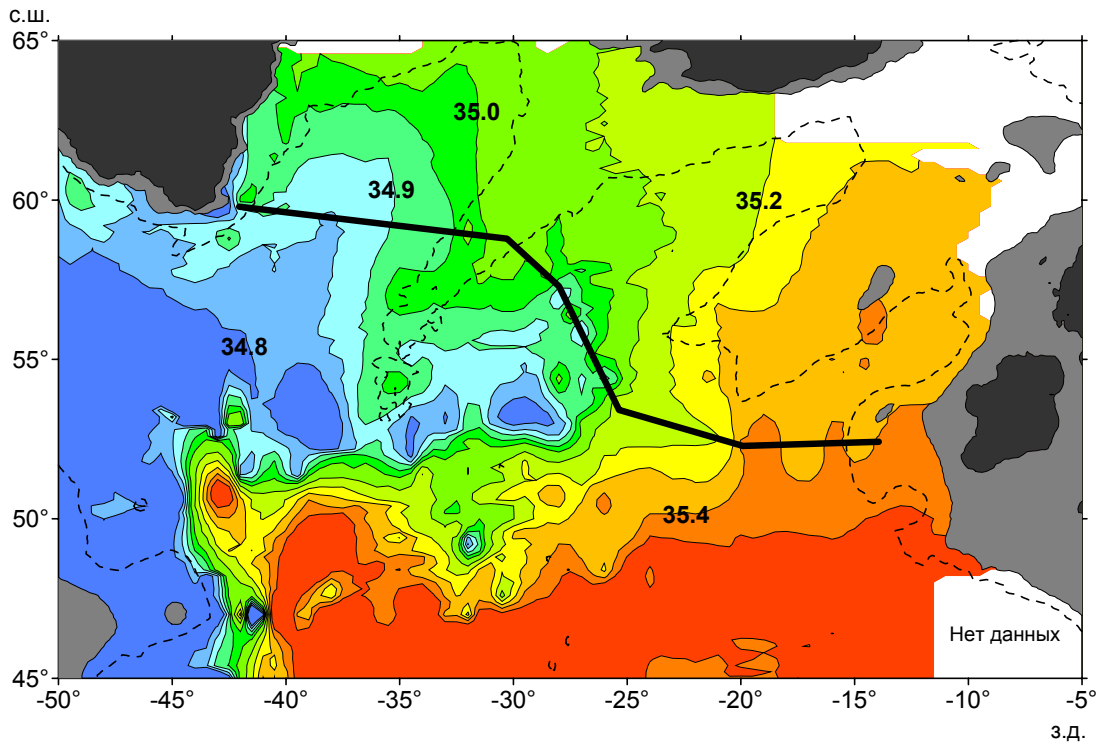


Рис.7. Положение океанографического разреза А1Е (проект WOCE) и распределение солености на горизонте 200 м (данные собраны после 1980 г.) по Бершу, Майнке, Си (Bersch, Meinke, Sy, в печати)

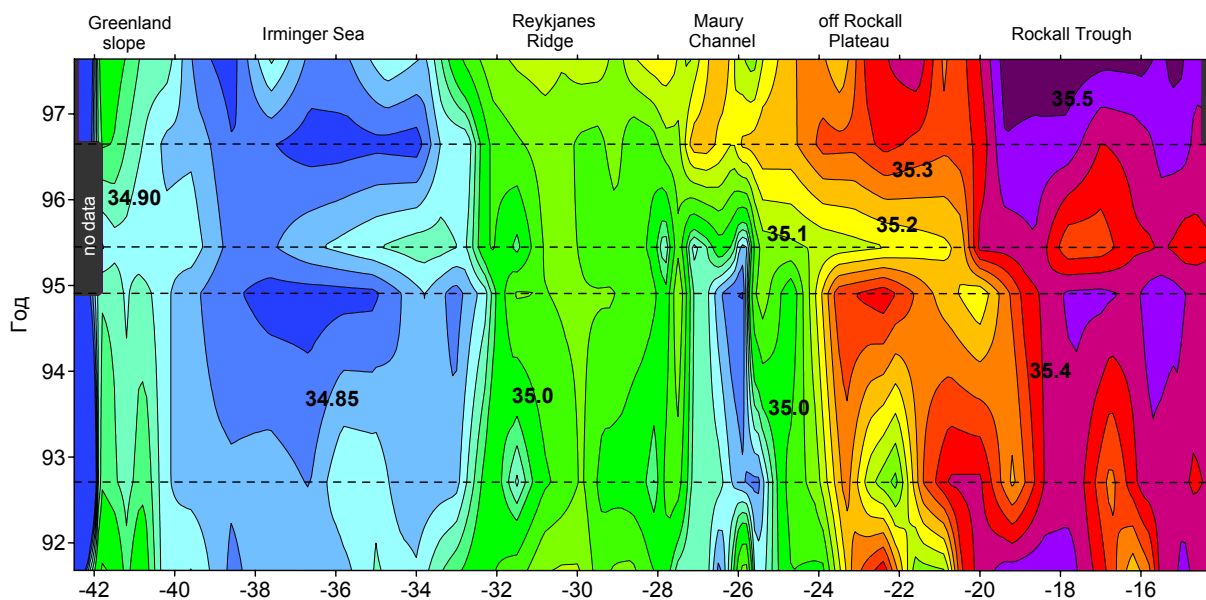


Рис.8. Изменение солености в слое 0-500 м в различные годы на разрезе А1Е по Бершу, Майнке, Си (Bersch, Meinke, Sy, в печати)

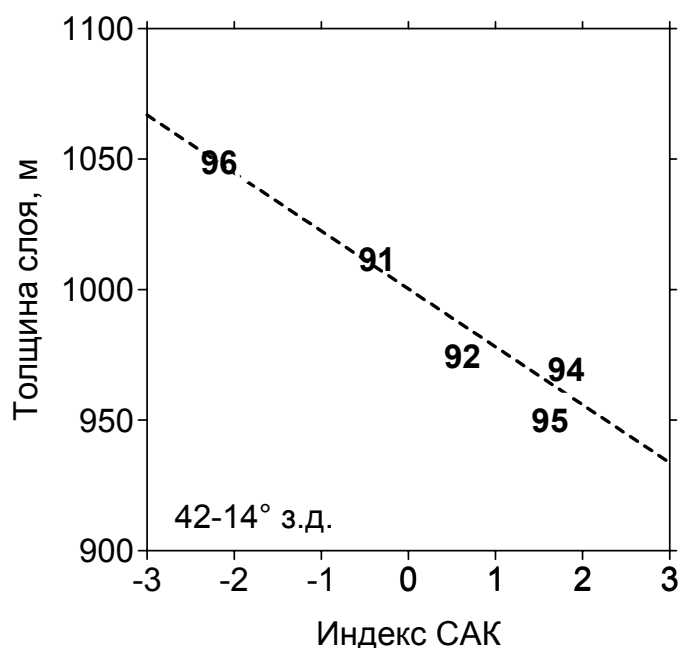


Рис.9. Связь между толщиной слоя вод субполярного типа (глубина изопикны 27,74 кг/м³ на разрезе А1Е и индексом САК в различные годы по Бершу, Майнке, Си (Bersch, Meinke, Sy, в печати)

Перенос льдов через пролив Фрама. Предполагается, что САК, определяющее более долговременную изменчивость распределения атмосферного давления над европейской Арктикой и субарктическими морями, и объемом выноса льда через западную часть пролива Фрама должны изменяться одинаковым образом. Это было показано Р.Р.Диксоном с соавторами (Dickson et al., 1998) на основе наблюдений, выполненных Т.Винье, Н.Норлунном и А.К.Вамбекком (Vinje, Nordlund, Vambekk, 1998), и расчетов по модели М.Хилмера, М.Хардера и П.Лемке (Hilmer, Harder, Lemke, 1998). Из рис.11 видно, что высокие значения объемного переноса льда в течение зимы 1994-1995 гг., на 64 % превышавшие среднюю за период 1990-1996 гг. величину, в 1995-1996 гг. резко уменьшились до величины на 25 % ниже среднего уровня и стали соответствовать рекордному снижению индекса САК от зимы к зиме. Согласно Т.Винье, Н.Норлунну и А.К.Вамбекку (Vinje, Nordlund, Vambekk, 1998), такие изменения в большой мере отражают изменения площадного переноса льда, обусловленные локальным градиентом давления и лишь в незначительной степени ($\pm 10\%$) являются результатом колебаний толщины ледового покрова, которые могут быть вызваны изменениями в происхождении льда. Далее на юг в Гренландском море избыток распресненной воды, образовавшийся за счет пикового выноса льда в 1994-1995 гг., распространился в направлении на восток от Восточно-Гренландского течения и был вовлечен в циклоническую циркуляцию в Гренландском круговороте. Такая перемена контрастирует с

наблюдавшимся в конце 60-х ранее максимумом выноса льда и пресной воды, который перемещался на юг расширившимся Восточно-Гренландским течением, но без значительного распространения на восток. Затем он прошел через Датский пролив и наблюдался как «Большая аномалия солености (The «Great Salinity Anomaly»..., 1988). Данное различие можно попытаться объяснить изменением условий конвекции в Гренландском море в период между этими явлениями. В 60-е годы сильный вихрь касательного напряжения ветра поддерживал интенсивную циклоническую циркуляцию, мощный «купол» в структуре вод Гренландского моря и интенсивную конвекцию, проникавшую на глубину более 3500 м, поэтому большой фронт к западу от этого очага конвекции препятствовал расширению Восточно-Гренландского течения в восточном направлении. Во втором случае активность конвекции в Гренландском море была слабой, «купол» в Гренландском море значительно «размылся», и поэтому отсутствовал мощный фронт, препятствовавший восточному распространению распресненной воды Восточно-Гренландского течения. При его наличии поверхностный распресненный слой действовал бы как дополнительный сдерживающий фактор по отношению к и без того слабой конвекции.

Похолодание и пополнение запаса трески Северного моря. Существует сильная положительная корреляция между зимним индексом САК и аномалией температуры поверхностного слоя в Северном море (Becker, Pauly, 1996). Для трески Северного моря, обитающей близко к южной границе распространения данного вида, Б.Планк и Т.Фредо (Planque, Fredou, в печати) выявили обратную связь между индексом САК и пополнением запаса. Можно предположить, что экстремально быстрое уменьшение индекса САК в период между зимними сезонами 1994/95 г. и зимой 1995/96 г. сопровождалось снижением температуры воды в Северном море и увеличением пополнения запаса трески. Эти изменения прослеживаются по имеющимся данным. Результаты использования среднесезонных аномалий температуры поверхности моря для створа «Феликстов-Роттердам» (наблюдения выполняются начиная с 1970 г. с недельным интервалом) в качестве показателя изменений температуры в Северном море (рис.12б) свидетельствуют, что экстремальные положительные значения индекса САК в начале 90-х годов сопровождалось максимальным потеплением в Южном заливе, а резкому изменению знака в 1996 г. соответствовало кратковременное похолодание (аномалия температуры уменьшилась с 1 до минус 1 °С). Пополнение запаса трески Северного моря, выраженное количеством годовиков (на рис.12г оно показано относительно года появления поколения), в ответ на эти изменения очень быстро увеличилось в три раза перед тем, как снизиться до минимальных значений в 1997-1998 гг.

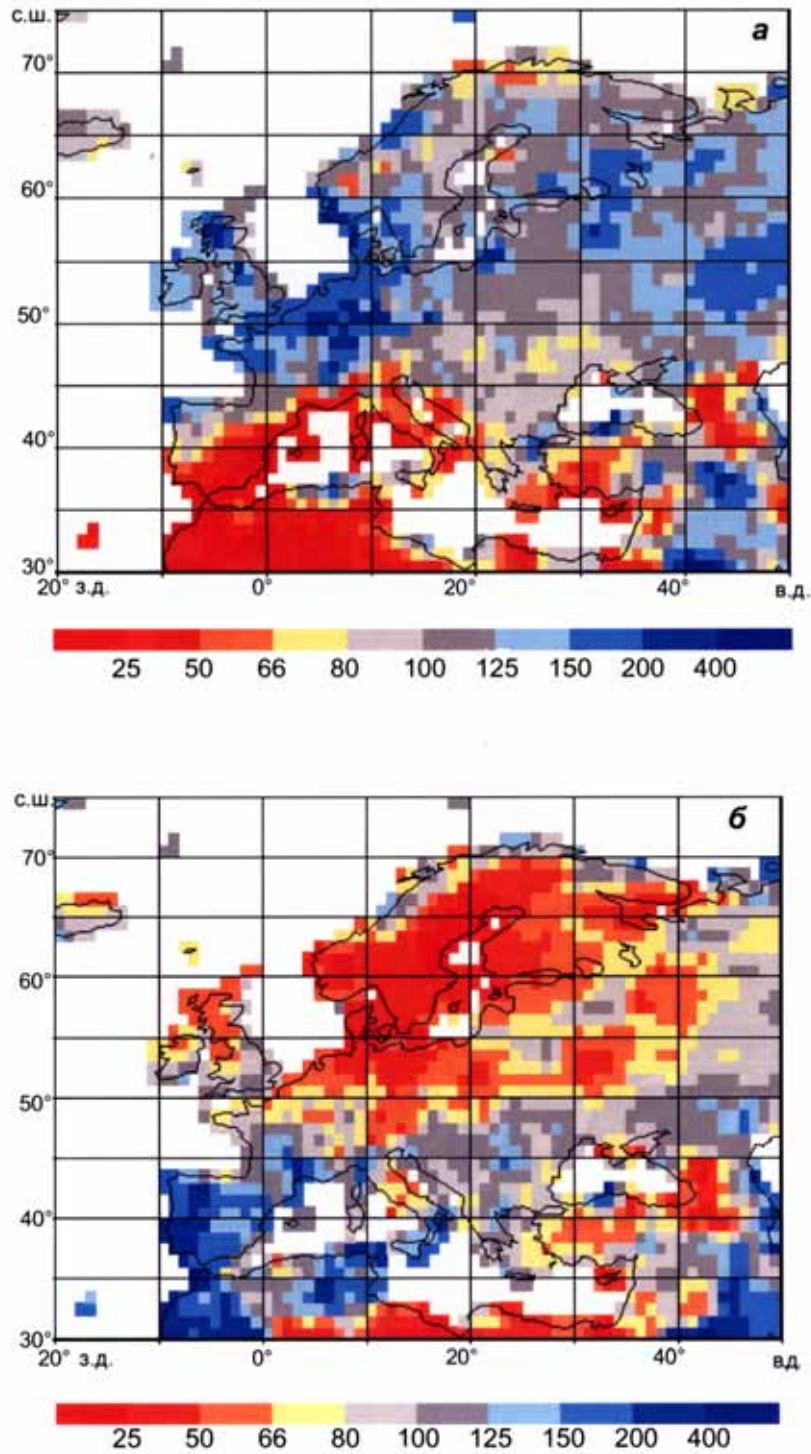


Рис.10. Аномалии осадков в зимний период (декабрь-февраль) 1994/95 г. (а) и 1995/96 г. (б), рассчитанные в процентах относительно средних значений за 1961-1990 гг. (данные Глобального климатологического центра осадков, Оффенбах)

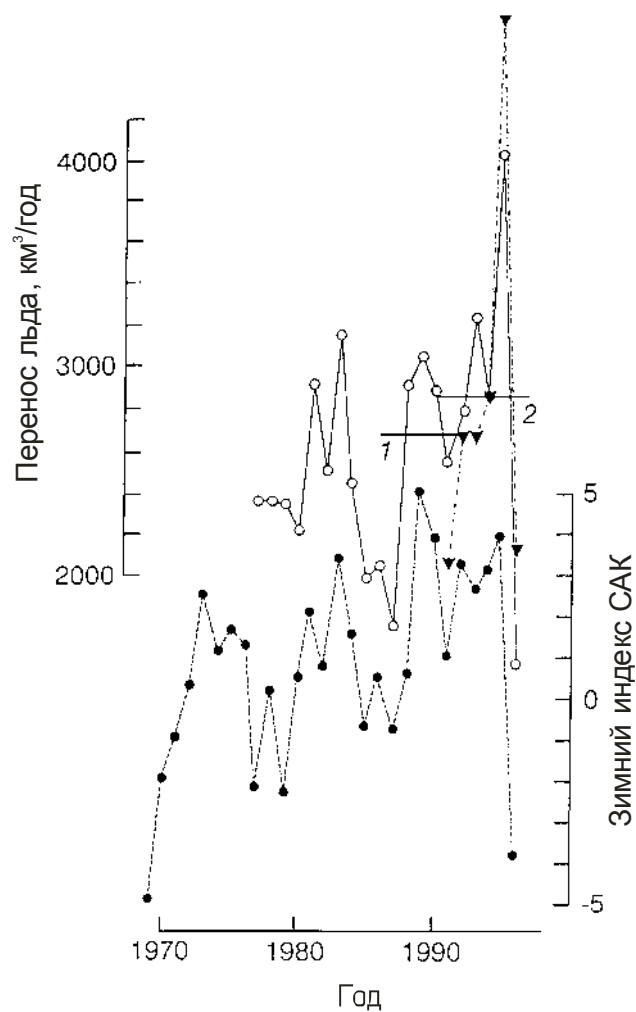


Рис.11. Изменения зимнего индекса САК (темные кружки, по Hurrell, 1995), расчетных (светлые кружки) и наблюдаемых (темные треугольники, по Vinje, Nordlund, Vambekk, 1998) значений переноса льда через пролив Фрама (по Dickson et al., 1998)

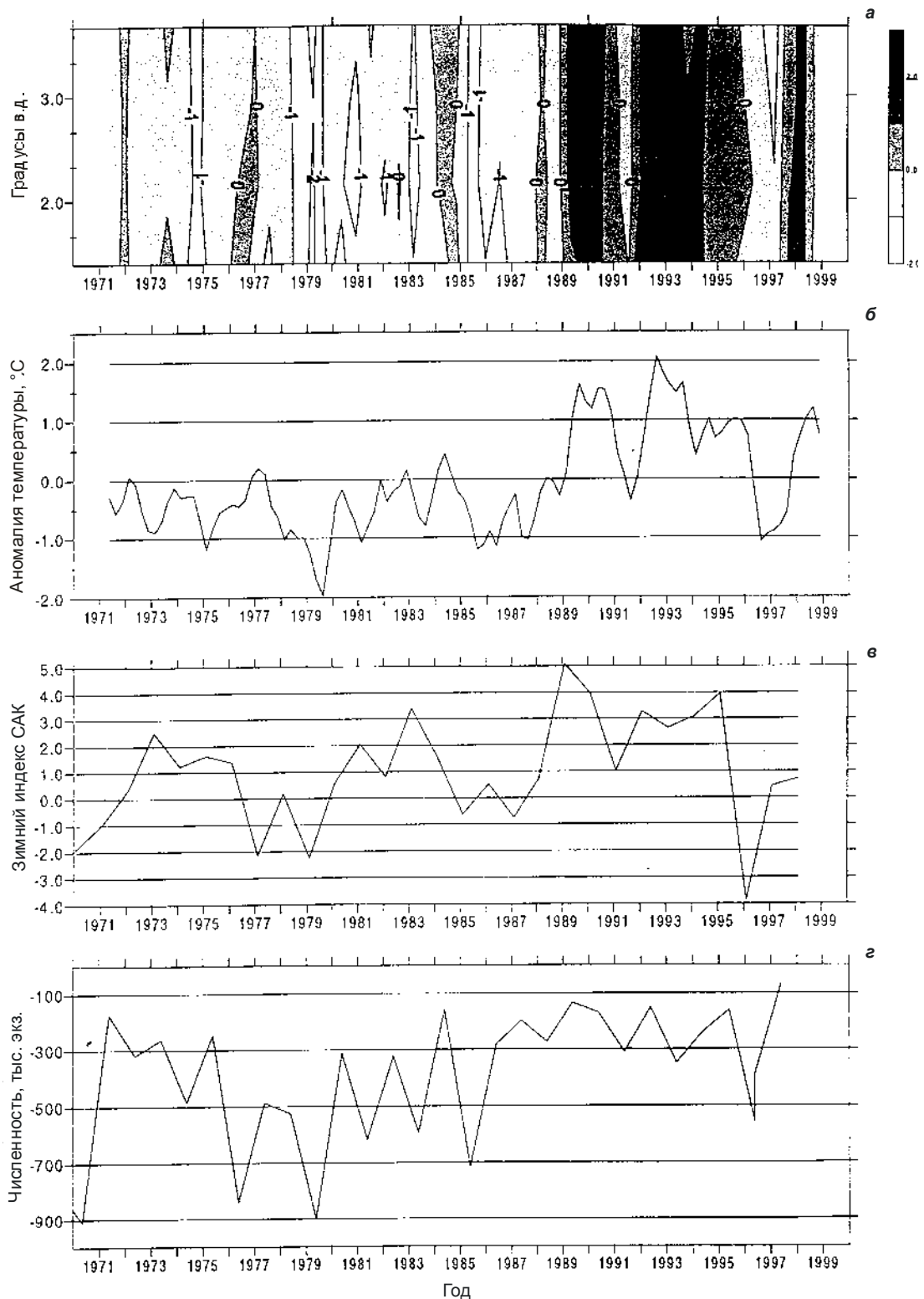


Рис.12. Изменения аномалий температуры поверхности моря по долготе на галсе «Феликстов-Роттердам» в 1970-1999 гг. (а), аномалий средней сезонной поверхностной температуры на этом же галсе (б), индекса САК (Hurrell, 1995а) (в) и пополнения запаса трески Северного моря, выраженного как количество (тыс. экз.) годовиков (Аноп., 1999). Шкала перевернута, численность показана относительно года нереста

Чувствительность и прогнозируемость

На приведенных примерах мы пытаемся выявить частные случаи, которые показывают, что отклик океана происходит достаточно быстро, даже при очень кратковременном изменении исходных действующих сил, например, резкое изменение САК зимой 1994-1995 гг. от высокого положительного состояния до наиболее экстремальных отрицательных значений за всю историю инструментальных наблюдений (см. рис.1). Такой же отклик параметров океана вполне обоснованно можно ожидать по мере того, как индекс САК будет возвращаться к высоким положительным значениям. По П.Д.Джонсу, Т.Йонссону и Д.Уилеру (Jones, Jonsson, Wheeler, 1997), индекс для створа «Гибралтар-юго-запад Исландии», имевший самое низкое значение (минус 2,22) зимой 1995-1996 гг., в зимние периоды 1996-1997 гг. и 1997-1998 гг. уже начал частично увеличиваться до значений 0,30 и 0,92, соответственно, а что касается меридионального переноса тепла в океане через параллель 48° с.ш., то К.П.Колтерманн с соавторами (Decadal Changes..., 1998) уже указали на его возвращение к высоким положительным значениям летом 1998 г. (см.рис.6).

П.Д.Джонс, Т.Йонссон и Д.Уилер (Jones, Jonsson, Wheeler, 1997) предоставили величины индекса САК для декабря 1998 г. (+2,12) и января 1999 г. (+1,07). Эти данные говорят о том, что высокое положительное значение вполне возможно, а рассмотренные частные случаи экстремальных межгодовых изменений могут иметь прогностическое значение и указывать на возможный отклик океана, характерный для положительной фазы САК.