

Е. А. Скрипалева

Сезонная и межгодовая изменчивость крупномасштабных температурных фронтов Тропической Атлантики по спутниковым данным

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины Л. В. Черкесовым)

Features of the seasonal and interannual variabilities of large-scale temperature fronts in the Tropical Atlantic are investigated on the basis of sea surface temperature satellite observations during 1985–2001. The front's climatic seasonal cycle is described. It is shown that the maximal interannual variations of characteristics are typical of the North Tropical and North Subtropical fronts and are equal to 0.35 °C/54 km for front's intensity, 600–700 km for the spatial displacement, and 4 °C for front's temperature. The significant correlation between front's characteristics and the indices of atmospheric circulation NAO (North Atlantic Oscillation) and SOI (South Oscillation) is found.

В связи с резкими изменениями климата, происходящими в настоящее время, вопросы межгодовой изменчивости гидрофизических полей, в том числе крупномасштабных океанических фронтов, становятся все более актуальными [1–4]. Выявление особенностей этой изменчивости тропических фронтов Атлантики и ее связей с атмосферной циркуляцией важно как для понимания региональных и глобальных закономерностей формирования и изменения климата океана, так и для дальнейшего совершенствования промысловых прогнозов. Общие представления о структуре и изменчивости фронтальной системы Тропической Атлантики базируются либо на результатах конкретных экспедиций, либо на основе климатических массивов гидрологических данных с крайне неравномерной пространственно-временной обеспеченностью [5–8]. Использование массива спутниковых измерений температуры поверхности океана (ТПО), равномерно обеспеченными по пространству и времени, позволило уточнить структуру и особенности сезонной изменчивости крупномасштабных фронтов Атлантического океана [9], однако межгодовая изменчивость фронтов Тропической Атлантики до сих пор практически не исследована. Цель работы авторов настоящего сообщения — выявить основные закономерности сезонной и межгодовой изменчивости характеристик фронтов в тропической зоне Атлантического океана на основе многолетнего ряда спутниковых данных ТПО.

Нами использован массив спутниковых измерений ТПО за период с 1985 по 2001 гг. со среднемесячным осреднением в узлы регулярной сетки 54×54 км из архива AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA. Фронты тропической зоны Атлантики имеют преобладающую зональную протяженность, поэтому для анализа их изменчивости были рассчитаны поля горизонтальных меридиональных градиентов температур (МГТ) ТПО. (Размерность величин МГТ в °C/54 км далее по тексту опускается.) Основой для исследования межгодовой изменчивости фронтов являются закономерности климатического сезонного цикла. Для его анализа поля МГТ осреднялись по месяцам за 17 лет. Положение фронтов определялось по экстремумам МГТ на их меридиональных профилях, согласно методике, подробно изложенной в [9]. Широтное распределение климатических МГТ для каждого месяца года

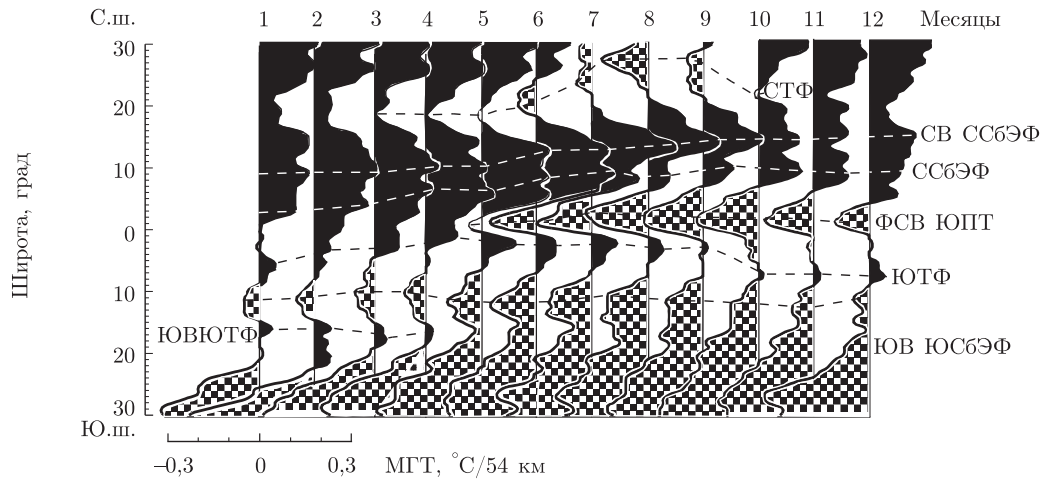


Рис. 1. Широтное распределение МГТ по месяцам года вдоль меридиана 30° з. д. и положение крупномасштабных фронтов

вдоль меридиана 30° з. д. и положение экстремумов, соответствующих основным фронтам, представлено на рис. 1.

Для оценки межгодовой изменчивости фронтов для каждого из 204 месяцев определялись величина экстремума МГТ, его широтное положение и средняя температура на оси фронта. Далее рассчитывались среднегодовые и среднемесячные аномалии этих характеристик относительно среднего за 204 месяца. Кроме того, между аномалиями характеристик тропических фронтов и индексами атмосферной циркуляции колебаний Южного (ЮК) и Северо-Атлантического (САК) были вычислены кросскорреляционные функции с 95%-м уровнем статистической значимости.

Согласно [9], в тропической зоне Атлантики выделены следующие крупномасштабные фронты. На северной границе района между 15 и 27° с. ш. располагается Северный тропический фронт (СТФ). Южнее прослеживаются Северная ветвь Северного субэкваториального фронта (СВ ССбЭФ) между 9 и 15° с. ш. и собственно Северный субэкваториальный фронт (ССбЭФ) между 4 и 10° с. ш. Ближе к экватору (3° с. ш. — 2° ю. ш.) располагается Фронт Северной ветви Южного пассатного течения (ФСВ ЮПТ). К югу от экватора между 2 и 6° ю. ш. проходит Южный тропический фронт (ЮТФ). Далее на юг между 10 и 17° ю. ш. прослеживается Южная ветвь Южного субэкваториального фронта (ЮВ ЮСбЭФ). Самым южным фронтом региона является ЮВ ЮТФ, расположенная между 15 и 22° ю. ш.

Анализ климатического сезонного цикла фронтов, выполненный в данной работе, позволил установить следующие закономерности. СТФ проявляется на поверхности океана с июня по сентябрь на западе акватории и с марта по октябрь в ее центральной части (30° з. д.). Восточный участок СТФ у берегов Африки существует в течение всего года. На всем своем протяжении СТФ наиболее интенсивен (МГТ $\sim -0,25$) в августе. В это время он максимально смещается к северу (25 – 27° с. ш.).

Северный субэкваториальный фронт и его Северная ветвь, за исключением центральной части океана (30° з. д.), смещаются в северном направлении от весны к осени с размахом сезонных колебаний на западе акватории 4 – 5° , на востоке — 7 – 8° . На 30° з. д. сезонные вариации положения СВ ССбЭФ и ССбЭФ уменьшаются до 2° по широте и имеют хорошо выраженный полугодовой сигнал со смещением к северу в марте и октябре. СВ ССбЭФ

усиливается (МГТ $\sim 0,2 \dots 0,4$) в июне–июле, а ССбЭФ — в апреле–мае (МГТ $\sim 0,3$). На западе акватории ССбЭФ максимально обостряется в июле.

Фронт Северной ветви Южного пассатного течения восточнее 30° з. д. достигает максимальной интенсивности (МГТ $\sim -0,3 \dots -0,47$) в июне–июле и максимально смещается к экватору в марте–апреле. На Гринвиче в сезонных изменениях положения ФСВ ЮПТ наблюдается полугодовой сигнал. Фронт смещается к югу и пересекает экватор в марте и октябре. В центральной и западной частях океана ФСВ ЮПТ проявляется на поверхности только с мая по декабрь, усиливаясь в сентябре (МГТ $\sim -0,2$). У северо-восточного побережья Южной Америки ФСВ ЮПТ продолжается как Фронт Гвианского течения. Он прослеживается с августа по декабрь и максимально обостряется в сентябре (МГТ $\sim -0,2$). В Карибском море в течение всего года наблюдается Фронт Карибской ветви Гвианского течения. Он наиболее развит в феврале (МГТ $\sim -0,3$).

Южный тропический фронт в центральной части океана наиболее интенсивен (МГТ $\sim 0,1$) и расположен ближе всего к экватору в апреле. Далее на восток ЮТФ заметно усиливается, а максимум обостренности ($\sim 0,2$) наступает в июне.

Южная ветвь Южного субэкваториального фронта к западу от Гринвича располагается между 10 и 14° ю. ш., к востоку — между 14 и 17° ю. ш. В сезонном ходе положения ЮВ ЮСбЭФ между 20° з. д. и Гринвичем преобладает полугодовой сигнал, а на 30° з. д. и 10° в. д. — годовой. Фронт усиливается с запада на восток, при этом наступление максимума обостренности (МГТ $\sim -0,15 \dots -0,35$) запаздывает от июля на 30° з. д. до сентября на Гринвиче. На востоке тропиков у берегов Африки фронт обостряется (МГТ $\sim -0,65$) два раза в год — в июне и декабре.

Южная ветвь Южного тропического фронта наиболее четко прослеживается летом Южного полушария с максимумом интенсивности ($0,15$) в январе. У берегов Африки ЮВ ЮТФ существует в течение всего года и усиливается (МГТ $\sim 0,12$) с июня по август.

Наибольшие сезонные изменения интенсивности характерны для ССбЭФ в западной части океана (до $0,3$ МГТ) и для ФСВ ЮПТ — на востоке (до $0,5$ МГТ). Интенсивность тропических фронтов изменяется с преобладающим годовым периодом. Максимальные сезонные вариации положения фронтов (до 5 – 7° широты) характерны для СТФ, ССбЭФ и его СВ. Внутригодовое изменение температуры на оси фронтов составляет 2 – 3°C на западе акватории и 4 – 6°C на востоке.

Анализ межгодовой изменчивости характеристик фронтов был выполнен для меридиана 30° з. д., пересекающего центральную часть исследуемой акватории. Хотя в климатическом сезонном цикле СТФ и ФСВ ЮПТ на этом меридиане проявлялись только в течение нескольких месяцев года из-за сглаженности среднегодового поля ТПО, в каждом из 204 мес. эти фронты прослеживаются достаточно четко.

Временные реализации характеристик фронтов указывают на их существенную межгодовую изменчивость, которая проявляется в изменениях интенсивности, широтного положения и температурного диапазона, а также в фазовом запаздывании наступления максимума обостренности от года к году на 2 – 3 мес. На рис. 2 в качестве примера представлен межгодовой ход индексов ЮК, САК и аномалий характеристик СВ ССбЭФ. Межгодовые изменения интенсивности максимальны для СТФ и ССбЭФ и достигают $0,35^\circ\text{C}/54$ км. Наибольшие межгодовые колебания температуры характерны для СТФ и составляют 4°C . Максимальные межгодовые смещения широтного положения наблюдаются для СТФ (до 700 км), СВ ССбЭФ и ЮВ ЮСбЭФ (до 600 км). Таким образом, межгодовые вариации характеристик фронтов Тропической Атлантики сопоставимы с их сезонной изменчивостью.

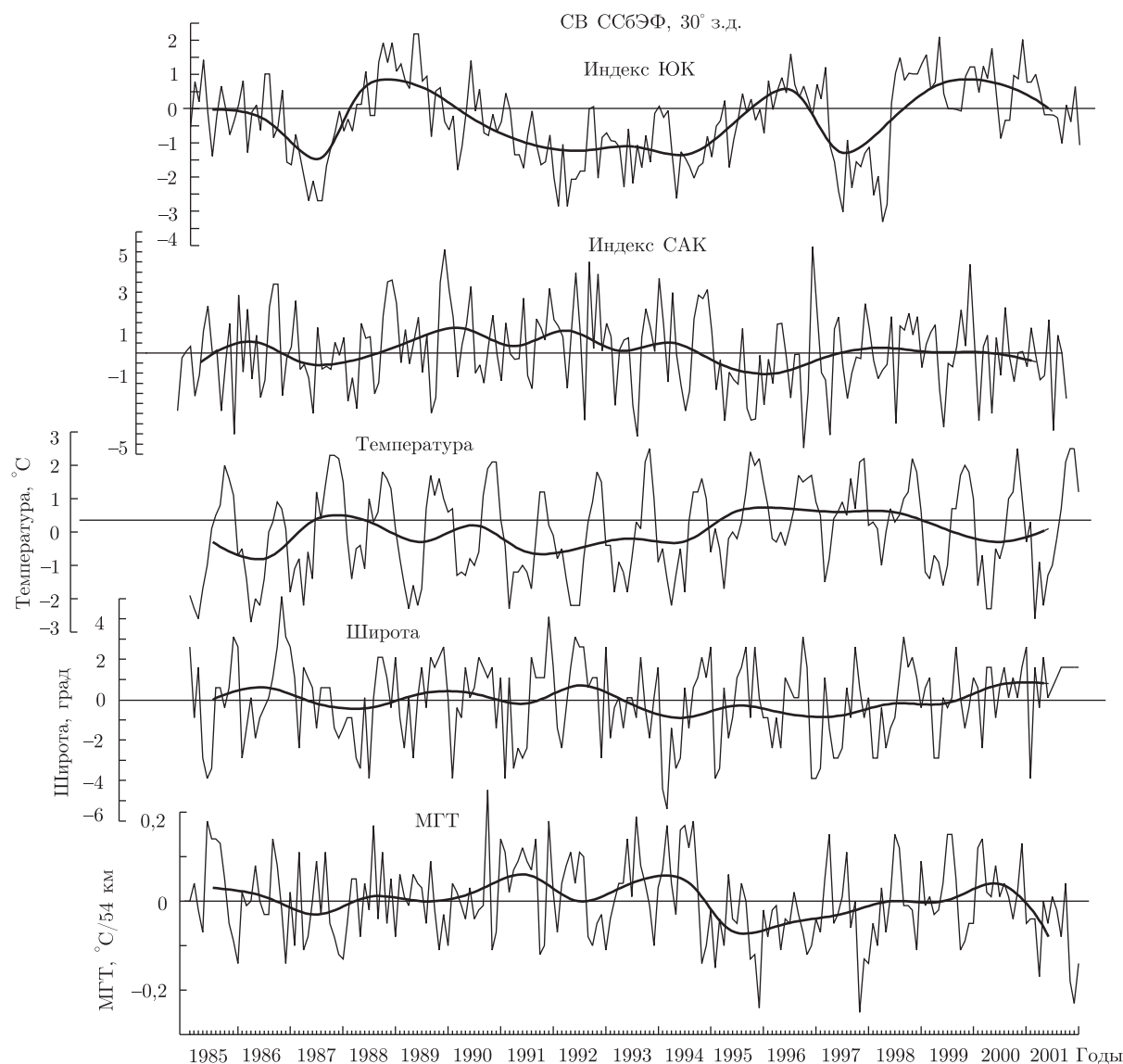


Рис. 2. Межгодовой ход индексов ЮК и САК (безразмерные вертикальные оси) и аномалий характеристик СВ ССБЭФ на 30° з. д. Полуширные линии — среднегодовые значения

Наиболее тесная значимая связь между индексом САК и среднегодовыми аномалиями характеристик фронтов выявлена для СВ ССБЭФ при нулевом сдвиге (рис. 3, а) и ЮВ ЮСБЭФ при сдвиге в 1 год (см. рис. 3, б). Для величин МГТ наблюдается прямая связь со значениями коэффициента корреляции $R = 0,55$, для температуры — обратная корреляция с $R = -0,60$. Это свидетельствует о том, что увеличение индекса САК приводит к повышению интенсивности СВ ССБЭФ, ослаблению ЮВ ЮСБЭФ и понижению их температурных диапазонов. Значимая обратная корреляция ($R = -0,55$) наблюдается также для температуры на осях ФСВ ЮПТ и СТФ со сдвигом в 2 года и ЮТФ с нулевым сдвигом.

Значимые связи характеристик фронтов с индексом ЮК выявлены только для температуры. Для СТФ и СВ ССБЭФ отмечается обратная корреляция с $R = -0,60$ со сдвигом

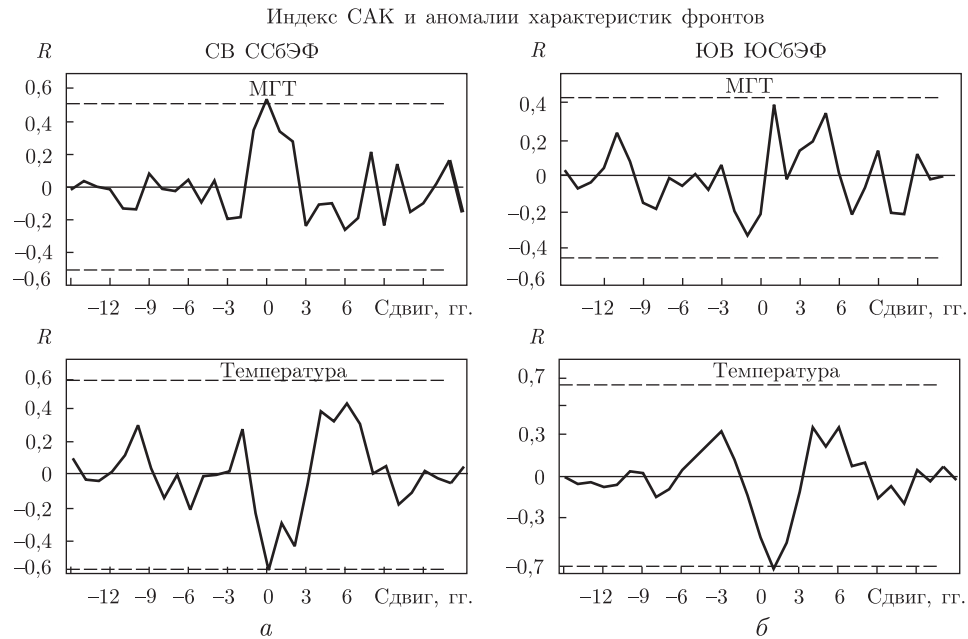


Рис. 3. Кросскорреляционные функции между индексом САК и среднегодовыми аномалиями характеристик СВ ССбЭФ (а) и ЮВ ЮСбЭФ (б).

Штриховые линии — границы 95%-го доверительного интервала

в 4 года и -1 год соответственно, а для ФСВ ЮПТ и ЮТФ — прямая корреляция с $R = 0,65$ со сдвигом -1 год. Отрицательный сдвиг свидетельствует о лидировании температуры на оси фронтов относительно ЮК.

Для среднемесячных аномалий характеристик фронтов также выявлены значимые связи с САК и ЮК, но абсолютные значения коэффициентов корреляции значительно ниже (0,25–0,35), чем в случае среднегодового осреднения.

1. Артамонов Ю. В., Воскресенская Е. Н., Джиганшин Г. Ф., Полонский А. Б., Сизов А. А., Тимофеев Н. А., Посошков В. П. Низкочастотная изменчивость гидрометеорологических и гидрофизических характеристик Тропической и Субтропической Атлантики в связи с глобальными вариациями типа Эль-Ниньо – Южная Осцилляция / Под ред. А. Б. Полонского, А. А. Сизова. – Москва, 1991. – 247 с. – Деп. в ВИНТИ 08.10.91, № 4560-В91.
2. Hurrell J. W., Loon H. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic oscillation // Climate Change. – 1997. – No 36. – P. 301–326.
3. Джиганшин Г. Ф., Полонский А. Б. Межгодовая и десятилетняя изменчивость теплозапаса верхнего 200-метрового слоя в Тропической Атлантике в 1950. – 1992 гг. // Изв. АН. – Физика атмосферы и океана. – 2001. – **37**, № 2. – С. 497–505.
4. Воскресенская Е. Н. Глобальные процессы в системе океан – атмосфера и их влияние на природные аномалии Атлантико-Европейского региона: Дис. ... д-ра геогр. наук. – Севастополь, 2005. – 408 с.
5. Артамонов Ю. В., Полонский А. Б. Сезонная изменчивость гидрофизических характеристик Тропической Атлантики. Ч. I. Материалы, методы обработки, уровень шумов, метеоусловия. Ч. 2. Течения, T, S-характеристики // Исследования Тропической Атлантики. – Севастополь, 1989. – С. 7–60.
6. Булгаков Н. П., Воскресенская Л. А., Черкесов Л. В., Скрипалева Е. А., Ярошеня Р. А. Атлас крупномасштабных неоднородностей поля температуры Тропической Атлантики. – Москва, 1992. – 212 с. – Деп. в ВИНТИ 25.06.92, № 235-В92.
7. Булгаков Н. П., Воскресенская Л. А., Скрипалева Е. А., Ярошеня Р. А. Термохалинные характеристики крупномасштабных неоднородностей и фронтальных зон Тропической Атлантики // Мор. гидрофиз. журн. – 1998. – № 1. – С. 26–37.

8. Булгаков Н. П., Воскресенская Л. А., Скрипалева Е. А., Ярошеня Р. А. Физико-гидрологические характеристики климатических фронтальных зон Тропической Атлантики // Там же. – 1998. – № 4. – С. 39–56.
9. Артамонов Ю. В., Скрипалева Е. А. Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. – 2005. – № 4. – С. 62–75.

*Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь*

Поступило в редакцию 18.03.2008