

## Изменчивость крупномасштабных океанических фронтальных зон: анализ глобальной спутниковой информации

А.С. Казьмин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,  
117851 Москва, Нахимовский проспект, 36  
E-mail: akazmin@ocean.ru*

На основе анализа многолетних глобальных спутниковых данных о температуре поверхности океана (ТПО) проведен сравнительный анализ долгопериодной изменчивости основных крупномасштабных климатических океанических фронтальных зон (ОФЗ) Мирового океана. В работе использованы данные о ТПО высокого пространственного разрешения, полученные по измерениям радиометра AVHRR (4 км x 4 км по пространству и 1 месяц по времени; продукт PATHFINDER) за 1982–2009 гг. В качестве характеристик изменчивости ОФЗ использованы максимальная величина меридионального градиента зонально осредненной ТПО ( $G_{max}$ ) и меридиональное положение  $G_{max}$  (ядро ОФЗ). Исследованы временные ряды значений  $G_{max}$  и его положения для субтропических и субполярных ОФЗ в Атлантическом и Тихом океанах (оба полушария) и в Индийском океане, а также для экваториальных фронтов в восточной части Тихого океана.

**Ключевые слова:** температура поверхности океана, океанические фронтальные зоны, долгопериодная изменчивость.

### Введение

Фронты и фронтальные зоны являются неотъемлемыми элементами структуры Мирового океана, встречаются во всем спектре пространственных масштабов от десятков метров до размеров самого океана, формируются различными фронтогенетическими механизмами и играют важную роль в гидрофизических и биологических процессах. Наибольший интерес вызывают крупномасштабные океанические фронтальные зоны (ОФЗ) климатического происхождения, поддерживаемые глобальным перераспределением количества движения и тепла. Изменчивость и фронтогенез в ОФЗ служат интегральным отражением процессов взаимодействия океана и атмосферы. Ввиду важности вопроса для понимания общей термо-гидродинамики и климата океана, ОФЗ стали с середины 1970-х годов объектом ряда исследований, основанных как на традиционных, так и на спутниковых измерениях. Тот факт, что климатические ОФЗ являются элементами единой глобальной системы, предполагает необходимость когерентного анализа в масштабах всего Мирового океана. Тем не менее, большинство имеющихся фронтальных исследований остаются локальными и не используют одно из основных преимуществ спутниковых измерений температуры поверхности океана (ТПО), доступных на регулярной основе с 1982 г., т.е. глобального покрытия при адекватном пространственно-временном разрешении. В (Kazmin and Rienecker, 1996) двенадцатилетний ряд глобальных спутниковых измерений ТПО был использован для исследования климатологии и сезонной изменчивости ОФЗ во всем Мировом океане. В настоящее время доступно около 30 лет непрерывных регулярных измерений высокого разрешения, что позволяет исследовать долгопериодную (квази-декадную) изменчивость ОФЗ. В предлагаемой работе осуществлен глобальный подход к исследованию пространственно-временной изменчивости фронтальных зон климатического происхождения, основанный на когерентном анализе многолетних рядов спутниковых измерений ТПО во всех основных крупномасштабных ОФЗ.

## Данные и обработка

В работе использованы данные о ТПО высокого пространственного разрешения, полученные по измерениям радиометра AVHRR ( $4 \times 4$  км по пространству и 1 месяц по времени; продукт PATHFINDER; <http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder4km/>) за 1982-2009 гг. Первоначально были построены глобальные средне-многолетние (28 лет) климатологические карты распределения локальных градиентов ТПО для каждого месяца, которые позволили выявить глобальную картину географического распределения основных ОФЗ и их сезонной изменчивости. Примеры карт для февраля и августа представлены на рис. 1. Для подавления мезомасштабных флюктуаций и выявления основных особенностей долгопериодной изменчивости было использовано зональное осреднение ТПО в пределах выделенных участков ОФЗ (рис. 1). Ранее такой интегральный подход был успешно использован для выделения основных характеристик квази-декадной изменчивости как в крупномасштабных ОФЗ (Nakamura and Kazmin, 2003), так и в локальной области Канарского апвеллинга (Santos, Kazmin and Peliz, 2005). Предварительно было проведено осреднение ТПО для сезонов максимальной интенсивности ОФЗ, различных для субполярных и субтропических зон и для северного и южного полушарий. Зональное осреднение оправдано тем, что выбранные области располагаются в открытых частях океанов и ОФЗ в них ориентированы практически зонально. Далее были рассчитаны величины меридиональных градиентов зонально осредненной ТПО ( $G(y,t) = |(\partial \langle T \rangle / \partial y)|$ , где  $\langle T \rangle$  обозначает зонально осредненную ТПО) и определены их максимальные значения ( $G_{max}$ ) для каждой ОФЗ и меридиональное положение  $G_{max}$  (ядро ОФЗ). В результате были получены временные ряды значений  $G_{max}$  и его положения для субполярных (рис. 2) и субтропических (рис. 3) ОФЗ Атлантического и Тихого океанов (оба полушария) и Индийского океана, а также для экваториальных фронтов восточной части Тихого океана.

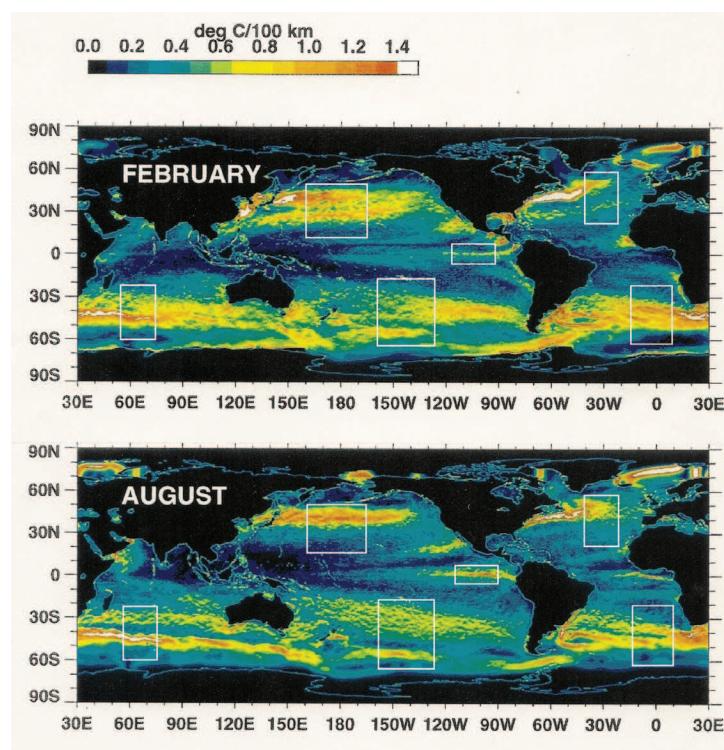


Рис. 1. Среднее многолетнее распределение величины градиента ТПО в Мировом океане в феврале (вверху) и в августе (внизу). Белые прямоугольники – области зонального осреднения ТПО в районах основных океанических фронтальных зон

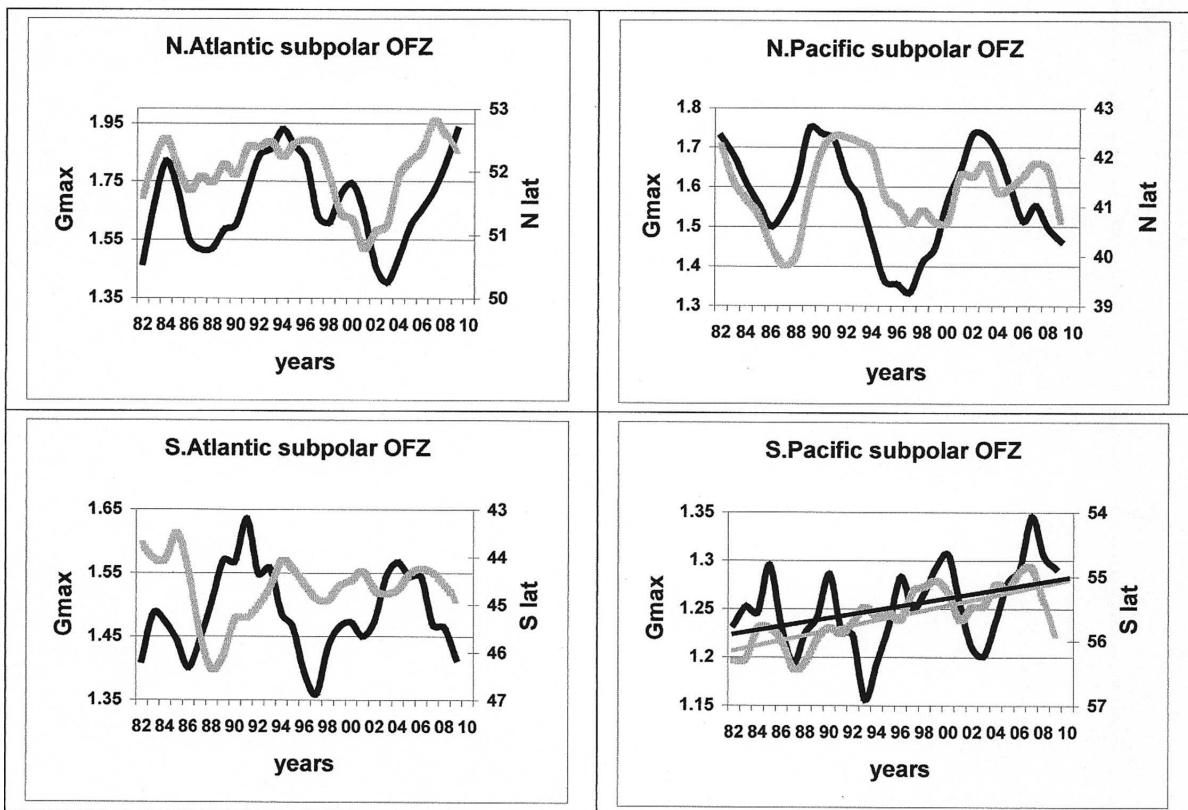


Рис. 2. Долгопериодная изменчивость величины максимального меридионального градиента зонально осредненной ТПО ( $G_{max}$ ,  $^{\circ}\text{C}/100 \text{ км}$ ; черная линия) и его меридионального положения (серая линия) в субполярных ОФЗ Атлантического (слева) и Тихого (справа) океанов (вверху северное полушарие, внизу – южное)

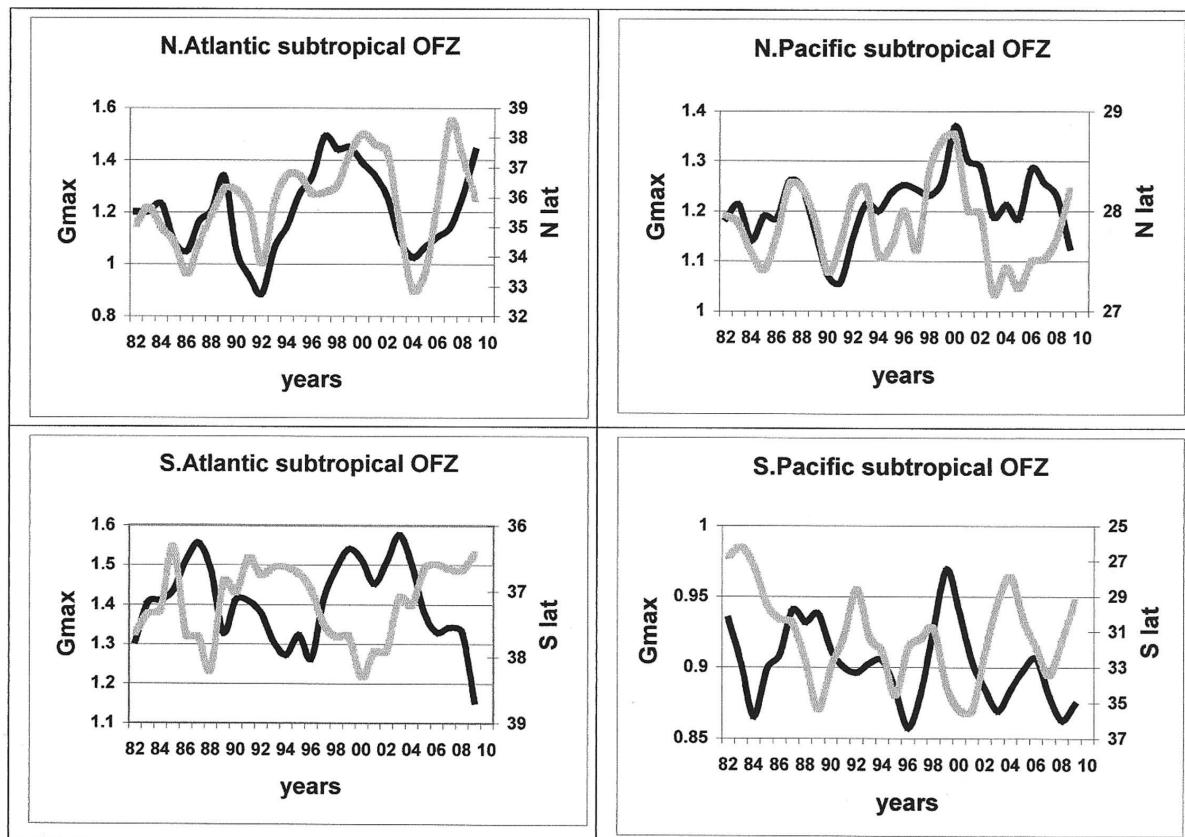


Рис. 3. То же, что на рис. 2, но для субтропических ОФЗ

## Предварительные результаты

**Субполярные ОФЗ.** Все субполярные ОФЗ (за исключением южной части Тихого океана) проявляют хорошо выраженную квази-декадную (8–10 лет) изменчивость величины Gmax (рис. 2). В южной части Тихого океана период изменчивости короче и составляет 6–7 лет. Обнаружены статистически значимые корреляции между интенсивностью субполярных ОФЗ (Gmax) и меридиональным положением ядра ОФЗ (за исключением южной Атлантики, где статистически достоверной связи не выявлено). В обоих полушариях усиление градиента ТПО сопровождается сдвигом ядра ОФЗ (меридионального положения Gmax) к северу (рис. 4). В южной части Тихого океана (см. рис. 4) и в Индийском океане наблюдается статистически значимый положительный линейный тренд в интенсивности субполярных ОФЗ. При этом общая интенсификация субполярных ОФЗ в этих районах в течение периода наблюдений сопровождается также общим смещением ядер зон к северу. Амплитуда долгопериодной изменчивости градиента ТПО в северном полушарии ( $0.4\text{--}0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ ) оказалась почти в два раза больше по сравнению с южным полушарием ( $0.2\text{--}0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ ). Обнаружена статистически значимая положительная корреляция между интенсивностью субполярной ОФЗ в Северной Атлантике и индексом Северо-Атлантического колебания (САК), что может быть связано с усилением конвергенции в поверхностном слое при интенсификации западного переноса.

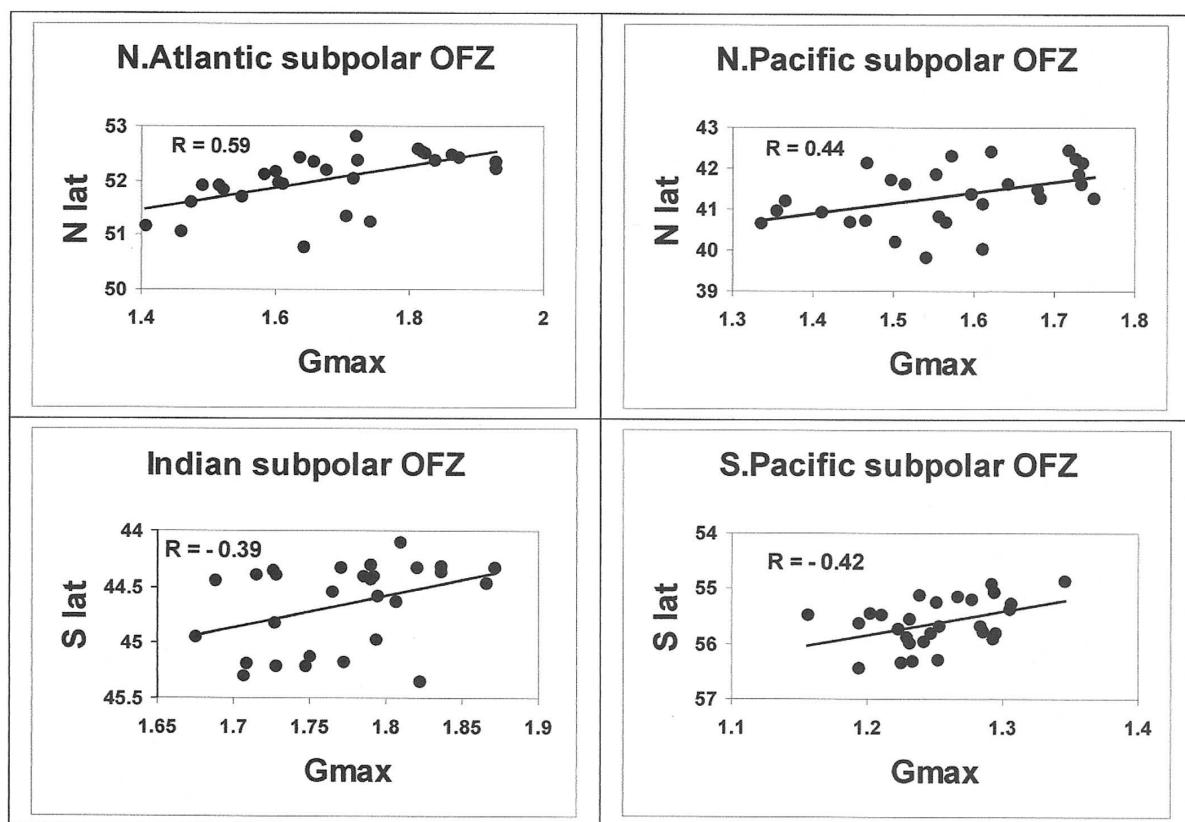


Рис. 4. Связь между величиной максимального меридионального градиента зонально осредненной ТПО ( $G_{\text{max}}$ ,  $^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ ) и его меридиональным положением в субполярных ОФЗ Атлантического и Индийского (слева) и Тихого (справа) океанов (вверху северное полушарие, внизу – южное)

**Субтропические ОФЗ.** Субтропические ОФЗ также проявляют квази-декадную изменчивость (7–10 лет), хотя и менее регулярную по сравнению с субполярными зонами (рис. 3). Обнаружены статистически значимые корреляции между интенсивностью субтропических

ОФЗ и меридиональным положением ядра ОФЗ. При этом наблюдается тенденция меридионального смещения ядер зон к полюсам (к северу в северном полушарии и к югу в южном) при интенсификации градиента ТПО (рис. 5). Как и в случае субполярных ОФЗ, амплитуда долгопериодной изменчивости градиента ТПО в субтропических ОФЗ в северном полушарии существенно (в 2–3 раза) превышает эту величину в южном полушарии.

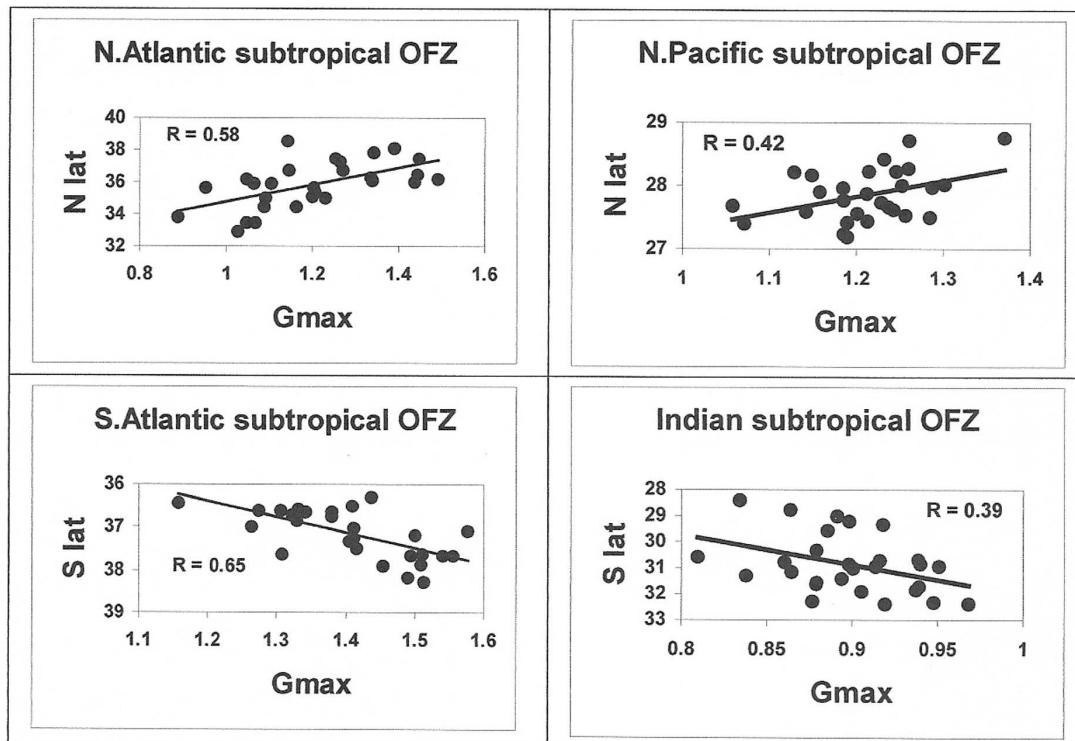


Рис. 5. То же, что на рис. 4, но для субтропических ОФЗ Атлантического (слева) и Тихого и Индийского (справа) океанов (вверху северное полушарие, внизу – южное)

**Экваториальные ОФЗ.** Период изменчивости экваториальных ОФЗ в Тихом океане составляет около 4–6 лет и хорошо совпадает с вариациями индекса Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Во время событий Эль-Ниньо (положительная фаза ЭНЮК) наблюдается резкое уменьшение интенсивности экваториальных ОФЗ, что связано с ослаблением экваториального апвеллинга и соответствующим уменьшением контрастов ТПО. Амплитуда долгопериодной изменчивости экваториальных ОФЗ (до 2.5 °C/100 км) существенно превосходит соответствующие значения для субполярных и субтропических ОФЗ.

Представленные в работе фактические данные будут использованы для последующего анализа связи долгопериодной изменчивости ОФЗ с крупномасштабными атмосферными воздействиями и изменениями климата.

## Литература

1. Kazmin A., Rienecker M. Variability and frontogenesis in the large-scale oceanic frontal zones // J. Geophys. Res. 1996. V. 101. № C1. P. 907-921.
2. Nakamura H., Kazmin A. Decadal changes in the North Pacific oceanic frontal zones as revealed in ship and satellite observations // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. № C3. doi:10.1029/1999JC000085.
3. Santos A.M.P., Kazmin A.S., Peliz A. Decadal changes in the Canary upwelling system as revealed by satellite observations: Their impact on productivity // J. Mar. Res. 2005. V. 63. P. 359-379.

# **Variability of the large-scale oceanic frontal zones: analysis of the global satellite information**

**A.S. Kazmin**

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences  
Nakhimovsky pr. 36, Moscow 117997, Russia  
E-mails: [akazmin@ocean.ru](mailto:akazmin@ocean.ru)*

Comparative analysis of the long-term variability of the major large-scale climatic oceanic frontal zones (OFZ) based on the global satellite measurements of sea surface temperature (SST) is presented. High spatial resolution global SST data obtained from AVHRR measurements (monthly mean at approximately 4 km spatial resolution; PATHFINDER product) for the period 1982-2009 have been used. As an indicator of OFZ variability we used the magnitude of maximum meridional gradient of zonally averaged SST (Gmax) and meridional position of Gmax (OFZ core) for each OFZ. Time series of Gmax and its position for subpolar and subtropical OFZ in Atlantic and Pacific (both hemispheres) and in Indian Ocean and also for equatorial fronts in eastern Pacific have been investigated.

**Keywords:** sea surface temperature, oceanic frontal zones, long-term variability.