

УДК 551.46 (265+267+269)

СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФРОНТОВ ЮЖНОГО ОКЕАНА

Ю.В. Артамонов, Е.А. Скрипалёва, М.В. Бабий, Л.К. Галковская

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь,
e-mail: Artam-ant@yandex.ru*

Реферат. На основе спутниковых измерений температуры поверхности океана (ТПО) из архива AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA за 1985-2002 гг. и данных ТПО из массива NCEP за 1981 по 2008 гг. исследована сезонная и межгодовая изменчивость крупномасштабных фронтов Южного океана. Показано, что основные фронтальные разделы циркумполярны и наиболее резко проявляются в пограничных, прилегающих к континентам. Наиболее мощными являются Южный субтропический, Субантарктический и Антарктический полярный фронты. Они характеризуются максимальной сезонной изменчивостью интенсивности с преобладающим годовым сигналом. В каждом отдельном бассейне наблюдаются свои отличительные особенности, связанные с орографией региона и гидрометеорологическими условиями. Выявлены значительные межгодовые вариации поля ТПО в зонах основных фронтов.

Сезонна та міжрічна мінливість гідрологічних фронтів Південного океану. Ю.В. Артамонов, О.О. Скрипальова, М.В. Бабій, Л.К. Галковська.

Реферат. На основі супутникових вимірів температури поверхні океану (ТПО) із архіву AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA за 1985–2002 рр. і даних масиву NCEP з 1981 по 2008 р. досліджено сезонну та міжрічну мінливість великомасштабних фронтів Південного океану. Показано, що основні фронтальні розділи є циркумполярними та найбільш різко проявляються в приграничних шарах, що прилягають до континентів. Найбільш загостреними є Південний субтропічний, Субантарктичний й Антарктичний полярний фронти. Вони характеризуються максимальною сезонною мінливістю інтенсивності з переважним річним сигналом. У кожному окремому басейні спостерігаються свої відмінні риси, пов'язані з орографією регіону й гідрометеорологічними умовами. Виявлено істотні міжрічні варіації поля ТПО в зонах основних фронтів.

Seasonal and interannual variability of the hydrological fronts in the Southern Ocean. Ju.V. Artamonov, E.A. Skripaleva, M.V. Babiy, L.K. Galkovskaya.

Abstract. The seasonal and interannual variability of the large-scale fronts in the Southern Ocean are investigated, based on SST satellite observations from archive AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA during 1985-2002 and NCEP SST data during 1981-2008. It is shown, that the main frontal sections are circumpolar and most sharply shown in boundary layers adjacent to continents. Most intensive are the Southern subtropical, Subantarctic and Antarctic polar fronts. These fronts are characterized by the greatest seasonal variability of intensity with the prevailing annual signal. In the each separate basin the distinctive features connected with the region's orography and hydrometeorological conditions are observed. The essential interannual variations of SST field in the main fronts zones are discovered.

Key words: sea surface temperature, Southern Ocean, meridional gradient of temperature, temperature front, linear trend, climatic seasonal cycle, interannual variability, SST satellite data.

1. Введение

Исследование фронтальной структуры вод Антарктики и ее изменчивости на различных временных масштабах, наряду с прикладной значимостью, обусловленной наличием районов интенсивного промысла, имеет фундаментальное научное значение для

изучения климатических изменений. В литературе широко обсуждаются особенности проявления межгодовых вариаций в различных гидрометеорологических полях. Показано (обзор [1]), что сигнал Эль-Ниньо распространяется из тропической зоны Тихого океана в умеренные и полярные широты в виде волн Россби, которые сопровождаются перемещением аномалий теплых вод на юг. В Антарктическом циркумполярном течении (АЦТ) эти аномалии в виде Антарктической циркумполярной волны следуют в восточном направлении и влияют на гидрологический режим умеренных и полярных широт Атлантического и Индийского океанов. Пространственная структура и интенсивность аномалий в значительной степени зависят от структуры и изменчивости гидрологических фронтов.

В настоящее время представления о структуре фронтов Южного океана сложились в основном по данным контактных измерений [2–7]. К югу от Южной субтропической конвергенции, которую в данной работе мы принимаем за северную границу Южного океана, выделяют следующие фронты: в зонах Южно-Атлантического (ЮАТ), Южно-Индийского (ЮИТ) и Южно-Тихоокеанского (ЮТТ) течений располагаются ветви Южного субтропического фронта (ЮСБТФ). Южнее, в области Антарктического циркумполярного течения, наблюдаются Субантарктический, Антарктический полярный фронты и Фронт Южной ветви АЦТ. Вдоль границы плавучих льдов располагается фронт, получивший название Антарктическая граница ледовитости [7]. В опубликованных схемах фронтов существуют региональные пробелы, обусловленные недостатком контактных измерений. Положение некоторых фронтов в полярной зоне определено не точно, а их сезонная и межгодовая изменчивость практически не изучены. Эти пробелы частично были восполнены на основе спутниковых данных для Атлантического сектора и восточной части Тихоокеанского сектора Южного океана [8–10]. В данной работе на основе современных массивов спутниковых и контактных измерений ТПО (AVHRR OPD JPL NOAA/NASA и NCEP) уточняется структура и изменчивость крупномасштабных фронтов в целом для Южного океана.

2. Материалы и методика

Идентификация фронтов и анализ их сезонного цикла проводились по данным массива спутниковых измерений ТПО за период с 1985 по 2002 г. (архив AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA) по методике, изложенной в [8–10]. Положение основных меридиональных разрезов, вдоль которых исследовались сезонная и межгодовая изменчивость фронтов, представлено на рис. 1. Величины экстремумов меридиональных градиентов температуры (МГТ) в °C/54 км далее приводятся в скобках, при этом их размерность опускается.

Оценки межгодовой изменчивости характеристик фронтов проводились по данным массива NCEP за период с ноября 1981-го по декабрь 2008 г. [11]. По этим данным определялись линейные тренды величин МГТ (°C/54 км/27 лет) и межгодовых смещений широтного положения каждой изотермы (градус широты/27 лет). В основе такого подхода лежит предположение о том, что в пределах определенной фронтальной зоны сохраняются качественно сходные региональные тенденции в межгодовой изменчивости поля ТПО. Для фильтрации сезонного сигнала и внутридекадной изменчивости исходные ряды ТПО были сглажены скользящим средним по 10-ти годам. Оценки значимости рассчитанных трендов показали, что их величины более чем в 3 раза превышают величину стандартного отклонения исходных рядов. Это свидетельствует о том, что статистическая значимость трендов составляет более 95% [12]. Отрицательные (положительные) знаки трендов показывают, что изотермы смещаются на юг (север), а значения отрицательных МГТ увеличиваются (уменьшаются) по абсолютной величине. Далее в тексте статьи размерность трендов опускается.

3. Анализ результатов

3.1. Структура и климатический сезонный цикл основных фронтов Южного океана

В зонах Южно-Атлантического, Южно-Индоеокеанского, Южно-Тихоокеанского и Антарктического циркумполярного течений на фоне общего роста абсолютных значений МГТ прослеживаются несколько экстремумов, соответствующих ветвям Южного субтропического, Субантарктического, Антарктического полярного фронтов и Фронта Южной ветви Антарктического циркумполярного течения. Это Северные (СВ), Южные (ЮВ) ветви и собственно Южный субтропический, Субантарктический, Антарктический полярный фронты и Фронт Южной ветви АЦТ (рис. 1). Главные ветви этих фронтов выделялись по наиболее интенсивным экстремумам с учетом известных ранее особенностей широтного положения и температурного диапазона [8–10].

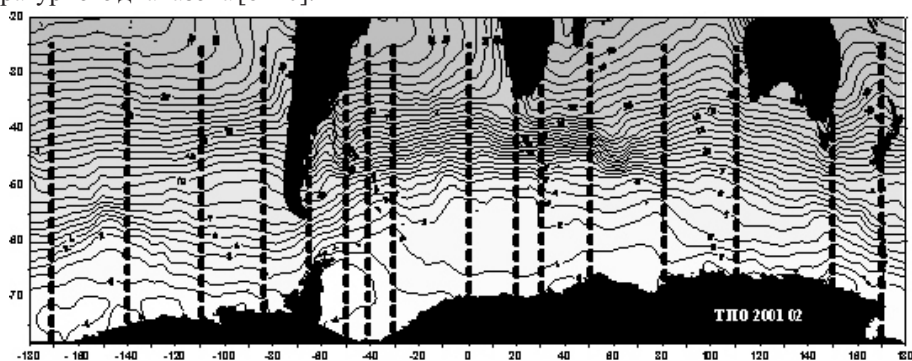


Рис. 1. Положение основных меридианов, вдоль которых исследовались сезонная и межгодовая изменчивость фронтов, на фоне распределения ТПО в феврале 2001 г.

Южный субтропический фронт (ЮСБТФ).

Атлантический сектор (рис. 2а, 3а). На западе (65° з.д.) Южный субтропический фронт прослеживается у берегов Южной Америки между 50° и 52° ю.ш. В сезонном цикле его интенсивности хорошо выражен годовой сигнал с максимумом (-0.65) в феврале, при этом разница между минимумом и максимумом абсолютных величин МГТ на оси фронта (Δ МГТ) достигает 0.45. На 50° з.д. фронт смещается на север (41–42° ю.ш.). Его интенсивность изменяется с полугодовой периодичностью с экстремумами в мае (-0.85) и октябре (-0.7), Δ МГТ уменьшается до 0.3. Восточнее (40°, 30° з.д., Гринвич) ЮСБТФ располагается между 39° и 43° ю.ш. В изменениях его интенсивности снова появляется годовой сигнал с максимумами соответственно в феврале (-0.8), в ноябре (-0.6) и в марте (-0.7). К югу от Африки (20° в.д.), где проходит течение Агульяс, ЮСБТФ совпадает с южной границей этого течения и располагается на 41° ю.ш. Его интенсивность изменяется с полугодовым периодом с экстремумами в январе (-1.2) и в июле (-1.15). Отметим, что в Атлантике сезонные смещения широтного положения ЮСБТФ составляют в среднем 1-2 градуса, Δ МГТ на западе океана достигают 0.45, а к востоку от 40° з.д. не превышают 0.2.

Индоеокеанский сектор (рис. 2б, 3а). На западе (30°, 50° в.д.) ЮСБТФ располагается между 40° и 42° ю.ш. и усиливается соответственно в сентябре (-0.95) и в июне (-1.55). В центральной части океана (80°, 110° в.д.) сезонные колебания его положения возрастают. Фронт прослеживается на 33° ю.ш. в сентябре, на 40° ю.ш. в феврале. Интенсивность его ослабевает, значения МГТ в период наибольшего обострения (февраль–апрель) составляют -0.55. К югу от Австралии (150° в.д.) сезонные смещения ЮСБТФ снова уменьшаются (43–45° ю.ш.), его интенсивность также невелика, величины МГТ при максимальном развитии фронта (апрель) не превышают -0.6. В целом в Индоеокеанском секторе интенсивность ЮСБТФ изменяется с преобладающим годовым периодом, Δ МГТ не превышают 0.2.

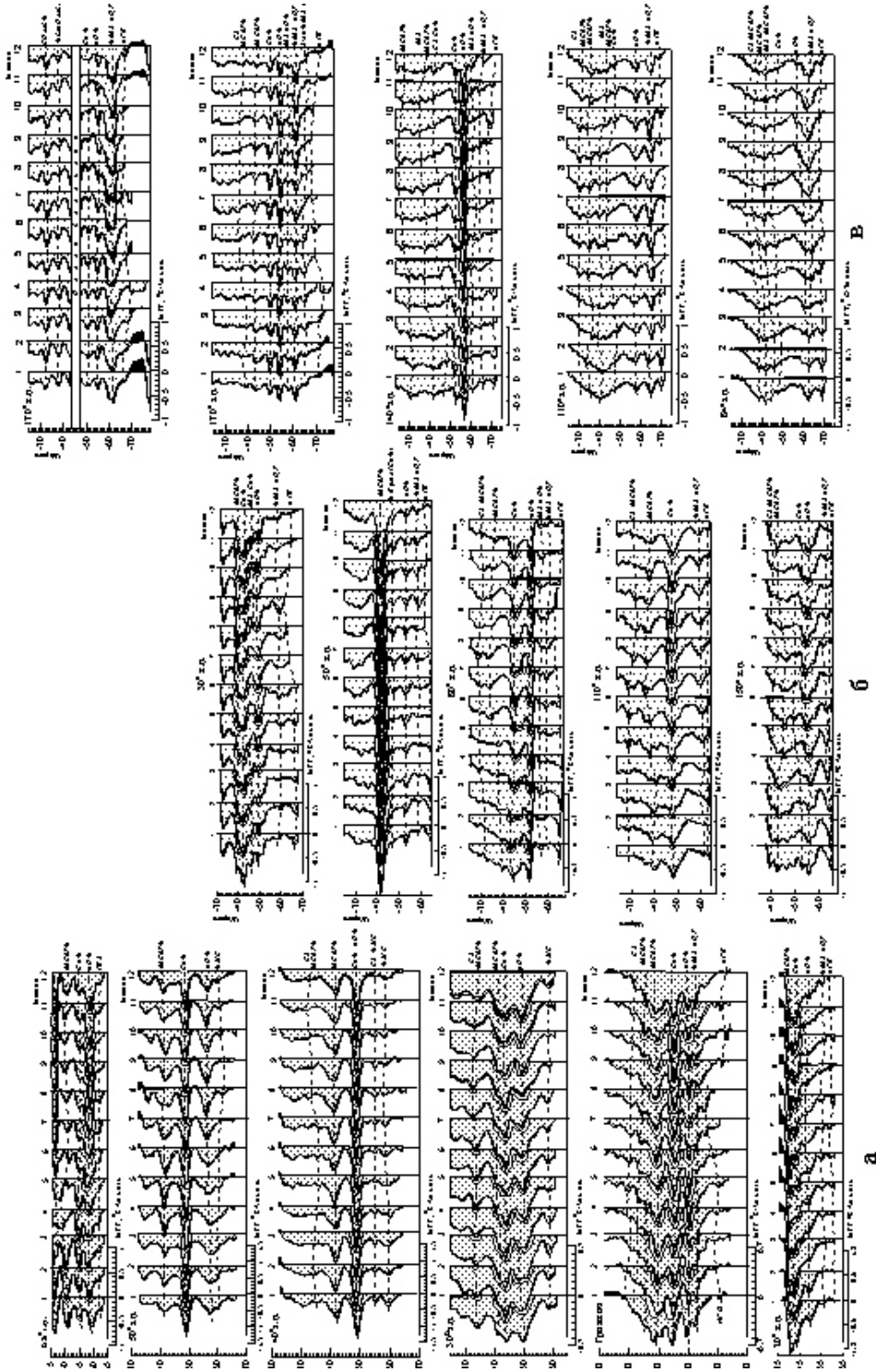


Рис. 2. Внутригодовая изменчивость МТГ и положение основных фронтов в Атлантическом секторе Южного океана вдоль меридианов 65°, 50°, 40°, 30° з.д., Гринвич, 20° в.д. (а); в Индоокеанском секторе вдоль меридианов 30°, 50°, 80°, 110°, 150° в.д. (б); в Тихоокеанском секторе вдоль меридианов 170° в.д., 140°, 110°, 84° з.д. (в).

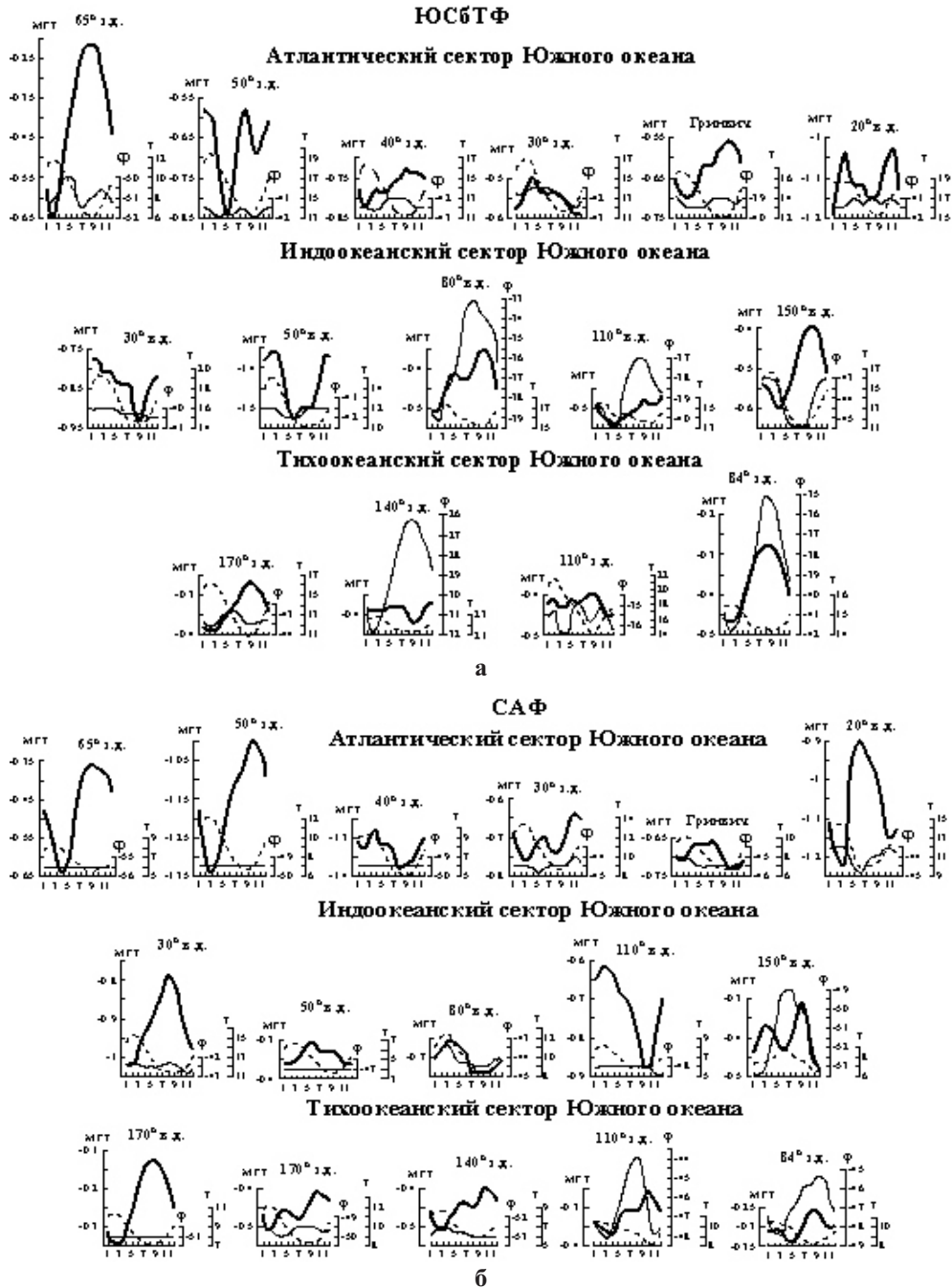


Рис. 3. Сезонный ход интенсивности (МГТ), температуры (Т) и широтного положения (Δ) Южного субтропического (а) и Субантарктического (б) фронтов. Здесь и далее на рис. 4, 5 нижняя ось – месяцы, МГТ (левая ось) – жирная сплошная линия, температура – пунктир, положение – тонкая сплошная линия.

Тихоокеанский сектор (рис. 2в, 3а). К западу от Новой Зеландии (170° в.д.) наблюдаются два фронта с характеристиками, близкими к ЮСБТФ. Фронт, располагающийся на $32-33^\circ$ ю.ш., мы назвали Северо-Новозеландским фронтом (СНовЗФ). Фронт, прослеживающийся южнее ($37-38^\circ$ ю.ш.), получил название Фронт Западно-Новозеландского течения (ФЗапНовЗТ). Фронты усиливаются (соответственно -0.5 и -0.35) в марте, Δ МГТ не превышают 0.1 . Восточнее (170° з.д.) ЮСБТФ располагается на $43-44^\circ$ ю.ш. и наиболее обострен (-0.4) также в марте. На 140° з.д. фронт наблюдается значительно севернее, проходя над Южной котловиной, где его широтные смещения резко увеличиваются (26° ю.ш. в сентябре, 32° ю.ш. в феврале), а интенсивность изменяется слабо (-0.40 – -0.45). На 110° з.д., где ЮСБТФ пересекает Восточно-Тихоокеанское поднятие, сезонные вариации его положения снова уменьшаются ($35-36^\circ$ ю.ш.), интенсивность также мало изменяется (-0.4 – -0.45). Ближе к берегам Южной Америки (84° з.д.), где ЮСБТФ проходит над Чилийской котловиной, его сезонные смещения вновь увеличиваются ($35-42^\circ$ ю.ш.), Δ МГТ также возрастает (0.2). Фронт усиливается (-0.55) в феврале.

Отметим, что во всех океанах отмечается тенденция к усилению ЮСБТФ и смещению его на юг летом-осенью Южного полушария в период увеличения площадей Южных субтропических антициклонических круговоротов [13], что сопровождается смещением ЮАТ, ЮИТ и ЮГТ на юг и увеличением температурных контрастов между прогретыми водами в центральной части круговоротов и более холодными водами, переносимыми этими течениями.

Субантарктический фронт (САФ)

Атлантический сектор (рис. 2а, 3б). В проливе Дрейка (65° з.д.) Субантарктический фронт занимает устойчивое положение около 56° ю.ш. Восточнее (50° з.д.) фронт проходит вдоль северной границы Фолклендского плато ($49-50^\circ$ ю.ш.). Между проливом Дрейка и 50° з.д. интенсивность САФ изменяется с годовым периодом с экстремумами (-0.65 – -1.35) в марте-апреле, Δ МГТ здесь максимальны и достигают 0.4 . На 40° з.д. САФ сходится с Антарктическим полярным фронтом, образуя единый фронтальный раздел САФ+АПФ около $49-50^\circ$ ю.ш. В сезонном цикле его интенсивности наблюдаются два экстремума в августе (-1.4) и в феврале (-1.35). В центральной части океана (30° з.д., Гринвич) САФ прослеживается между 44° и 46° ю.ш. Его интенсивность изменяется также с полугодовым сигналом с экстремумами в феврале-марте (-0.75) и в августе-ноябре (-0.7), Δ МГТ уменьшаются почти в 3 раза (0.15). К югу от Африки (20° в.д.) интенсивность САФ возрастает, при этом в ее сезонном цикле сохраняется полугодовая периодичность с максимумами в марте (-1.25) и ноябре (-1.15), Δ МГТ увеличивается до 0.35 .

Индийский сектор (рис. 2б, 3б). На 30° в.д. САФ наблюдается у южной границы котловины Агульяс ($42-43^\circ$ ю.ш.) и усиливается (-1.0) в январе-феврале, Δ МГТ достигает 0.25 . На 50° в.д. фронт смещается на юг (47° ю.ш.) к о-вам Крозе. Его интенсивность изменяется слабо (-0.3 – -0.35). Восточнее (80° в.д.) САФ смещается к северу в район плато Амстердам, сезонные колебания его положения увеличиваются до 2 градусов ($43-45^\circ$ ю.ш.). Фронт максимально развит (-0.75) в июле. Ближе к Австралии (110° в.д.) САФ занимает устойчивое положение (48° ю.ш.) у северной границы Австрало-Антарктического поднятия. Здесь фронт обостряется (-0.9) в сентябре, а Δ МГТ возрастает до 0.3 . Между Австралией и Антарктидой (150° в.д.) сезонные смещения САФ возрастают до 4 градусов (53° ю.ш. в марте, 49° ю.ш. в августе). Интенсивность изменяется с полугодовым периодом с экстремумами в июне (-0.45) и декабре (-0.5), Δ МГТ уменьшается до 0.2 .

Тихоокеанский сектор (рис. 2в, 3б). На западе (170° в.д.) САФ занимает устойчивое положение на 51° ю.ш. над хр. Маккуори. Между 170° и 140° з.д. фронт проходит вдоль северной границы Южно-Тихоокеанского поднятия ($50-53^\circ$ ю.ш.). Восточнее (110° , 84° з.д.) САФ смещается к северу, сезонные колебания его широтного положения увеличиваются до 5 градусов ($44-49^\circ$ ю.ш.). В целом для Тихого океана интенсивность фронта изменяется с преобладающим годовым периодом, Δ МГТ составляют $0.1-0.25$. САФ усиливается (-0.3 – -0.5) в первую половину года, при этом наступление максимума обостренности запаздывает от февраля на западе океана к маю на востоке.

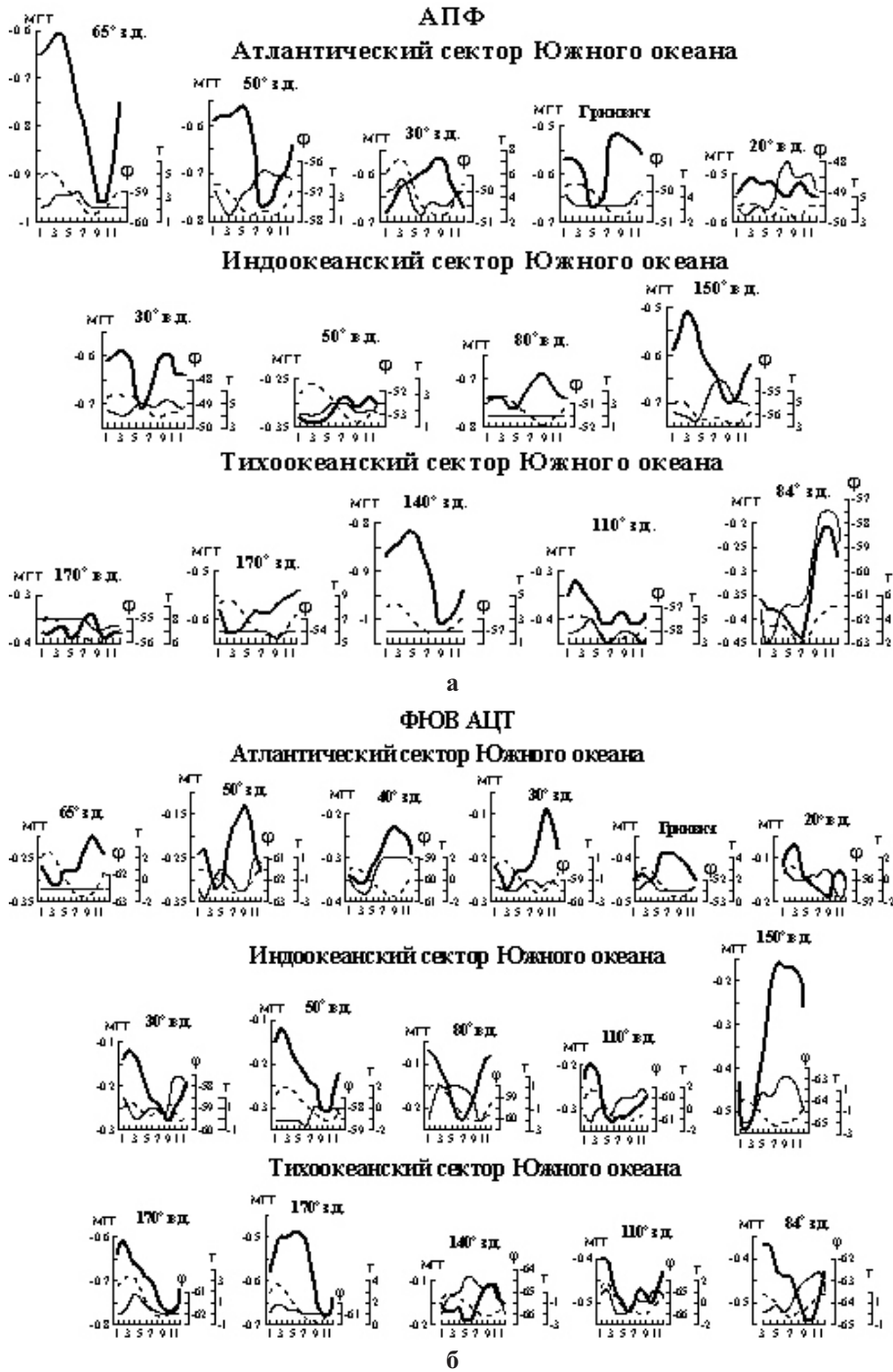


Рис. 4. Сезонный ход интенсивности (МГТ), температуры (Т) и широтного положения (Δ) Антарктического полярного фронта (а) и Фронта Южной ветви АЦТ (б).

В среднем сезонные смещения положения САФ на большей части акватории Южного океана не превышают 1 градуса по широте. На востоке Тихого океана и между Австралией и Антарктидой они увеличиваются до 4-5 градусов.

Антарктический полярный фронт (АПФ).

Атлантический сектор (рис. 2а, 4а). В проливе Дрейка и в западной части моря Скотия (65° , 50° з.д.) Антарктический полярный фронт усиливается (-0.8 – -0.95) в конце зимы начале весны Южного полушария (август–октябрь). Здесь отмечаются максимальные Δ МГТ (0.25 – 0.35). Положение фронта смещается к северу от 60° ю.ш. в проливе Дрейка до 49° ю.ш. в месте его слияния с САФ (40° з.д.). Далее на восток (30° з.д., Гринвич) АПФ располагается на 50 – 51° ю.ш. и ослабевает (-0.5 – -0.7). Наблюдается запаздывание в наступлении максимума обострения фронта от января на 30° з.д. до мая на Гринвиче. Величины Δ МГТ не превышают 0.15 . Между Африкой и Антарктидой (20° в.д.) АПФ прослеживается между 48° и 50° ю.ш., а его интенсивность изменяется незначительно (-0.5 – -0.55).

Индоокеанский сектор (рис. 2б, 4а). На 30° в.д. АПФ прослеживается около 49° ю.ш. и наиболее обострен (-0.7) в июне. Δ МГТ не превышает 0.1 . Восточнее, на 50° в.д., фронт смещается на юг (53° ю.ш.) и ослабевает. В период обострения (март–апрель) величины МГТ составляют -0.35 . В центральной части океана (80° в.д.) АПФ располагается на 51 – 52° ю.ш. Интенсивность фронта возрастает вдвое (-0.75), при этом ее сезонные колебания также невелики (Δ МГТ < 0.1). На восточной границе (150° в.д.) АПФ смещается к югу (55 – 56° ю.ш.) и усиливается (-0.7) в сентябре, Δ МГТ увеличивается до 0.2 .

Тихоокеанский сектор (рис. 2в, 4а). На западе океана (170° в.д., 170° з.д.) АПФ прослеживается между 54° и 56° ю.ш. Величины МГТ в течение года изменяются незначительно (-0.35 – -0.4 на 170° в.д. и -0.55 – -0.65 на 170° з.д.). В центральной части океана (140° , 110° з.д.) АПФ располагается у южной границы Южно-Тихоокеанского поднятия (57 – 58° ю.ш.). Здесь фронт усиливается во вторую половину года (июль–октябрь). На 140° з.д. интенсивность АПФ (-1.0) и Δ МГТ (0.3) максимальны. На 110° з.д. они уменьшаются почти в 3 раза. Восточнее (84° з.д.) сезонные смещения положения АПФ увеличиваются (63° ю.ш. в феврале, 57° ю.ш. в октябре). Фронт обостряется (-0.45) в июле, а Δ МГТ возрастает до 0.25 . Ближе к берегам Южной Америки фронт проходит между 59° и 63° ю.ш., интенсивность его возрастает, а ее максимум (-0.8 – -0.9) наступает в октябре.

В целом для Южного океана сезонные смещения положения фронта невелики и в среднем не превышают 2 градусов по широте, за исключением восточной части Тихоокеанского сектора, где они возрастают до 6 градусов.

Фронт Южной ветви Антарктического циркумполярного течения (ФЮВ АЦТ)

Атлантический сектор (рис. 2а, 4б). В проливе Дрейка, над материковой окраиной Южных Шетландских о-вов, Фронт Южной ветви АЦТ называют Границей континентальных вод (ГКВ) [2]. Здесь (65° з.д.) ГКВ располагается между 62° и 63° ю.ш. и усиливается (-0.3) в марте, Δ МГТ составляет 0.15 . Восточнее, между 50° и 30° з.д., ФЮВ АЦТ носит название Фронт моря Скотия (ФМС) [8] и прослеживается между 59° и 63° ю.ш. Он наиболее обострен (-0.35) в марте–апреле, Δ МГТ достигают 0.25 . На Гринвиче ФЮВ АЦТ смещается к северу (52 – 53° ю.ш.) и усиливается в январе (-0.5), Δ МГТ не превышает 0.1 . Между Африкой и Антарктидой (20° в.д.) фронт располагается южнее (56 – 57° ю.ш.) и ослабевает, максимальные значения МГТ (-0.2) наблюдаются в сентябре, а Δ МГТ составляет 0.15 .

Индоокеанский сектор (рис. 2б, 4б). На западе и в центральной части океана (30 – 110° в.д.) ФЮВ АЦТ проходит между 58° и 61° ю.ш. Время наступления максимума интенсивности (-0.3) смещается в восточном направлении от сентября на 30° в.д. до июня на 110° в.д., Δ МГТ не превышают 0.15 . На востоке (150° в.д.) ФЮВ АЦТ прослеживается южнее (63 – 65° ю.ш.) и усиливается (-0.55) в феврале, Δ МГТ увеличивается до 0.4 .

Тихоокеанский сектор (рис. 2в, 4б). На западе (170° в.д., 170° з.д.) ФЮВ АЦТ прослеживается на 61 – 62° ю.ш. и усиливается (-0.7 – -0.8) в сентябре–октябре. Здесь интенсивность фронта и Δ МГТ (0.2) максимальны. В центральной части океана (140° , 110°

з.д.) ФЮВ АЦТ проходит вдоль южного края котловины Беллинсгаузена между 64° и 66° ю.ш. Здесь фронт наиболее развит (-0.2 -0.3) в июне, Δ МГТ не превышают 0.1. Восточнее (84° з.д.) интенсивность ФЮВ АЦТ возрастает почти в 2 раза, ее максимум наблюдается (-0.55) в сентябре-октябре, Δ МГТ составляет 0.15.

В Южном океане в целом сезонные колебания широтного положения Фронта Южной ветви АЦТ составляют 2-3 градуса. На западе Тихого океана и в проливе Дрейка они не превышают одного градуса.

Антарктическая граница ледовитости (АГЛ)

Атлантический сектор (рис. 2а, 5). Антарктическая граница ледовитости прослеживается в восточной части океана. На Гринвиче фронт располагается между 58° и 60° ю.ш. и усиливается (-0.15) в мае-июле. Между Африкой и Антарктидой (20° в.д.) АГЛ наблюдается несколько южнее ($60-62^{\circ}$ ю.ш.) и наиболее обострена (-0.2) в августе. В целом в Атлантике Δ МГТ не превышают 0.15, сезонные смещения положения фронта составляют 2 градуса.

Индоокеанский сектор (рис. 2б, 5). На западе океана ($30-80^{\circ}$ в.д.) АГЛ наблюдается между 61° и 67° ю.ш. Сезонные колебания положения фронта достигают 4-5 градусов. АГЛ смещается к югу в феврале-марте и к северу в сентябре. На 110° в.д. АГЛ занимает устойчивое положение около 64° ю.ш. Интенсивность фронта возрастает в восточном направлении от -0.25 на 30° в.д. до -0.4 на 110° в.д. и изменяется с годовым сигналом с максимумом в феврале-марте. Величины Δ МГТ составляют 0.25 на западе океана и 0.4 на востоке. Между Австралией и Антарктидой (150° в.д.) АГЛ большую часть года очень близко подходит к ФЮВ АЦТ, и разделить их с учетом шага сетки крайне затруднительно.

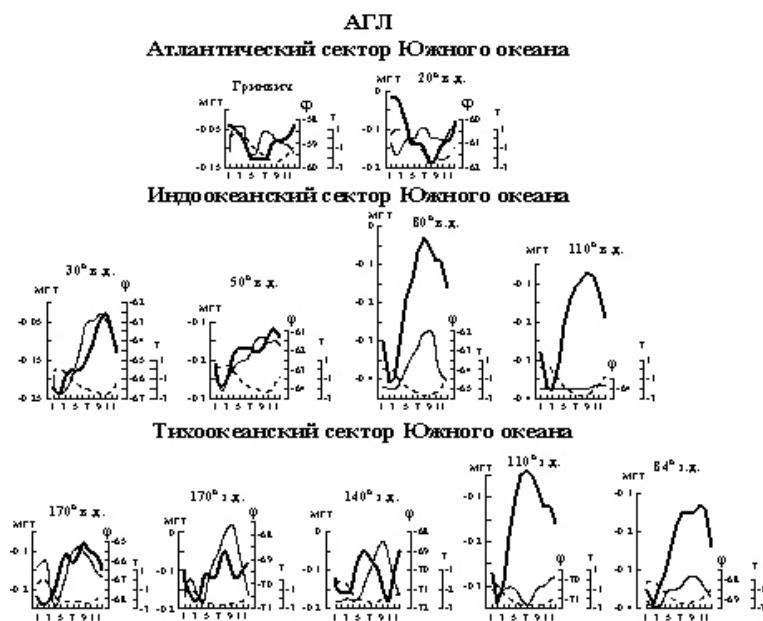


Рис. 5. Сезонный ход интенсивности (МГТ), температуры (Т) и широтного положения (Δ) Антарктической границы ледовитости.

Тихоокеанский сектор (рис. 2в, 5). В Тихом океане АГЛ располагается между 65° и 72° ю.ш. Размах внутригодовых широтных смещений фронта уменьшается от 3-4 градусов на западе океана до 1-2 градусов на востоке. АГЛ занимает крайнее южное положение в марте-апреле и смещается к северу в августе-сентябре. Интенсивность АГЛ изменяется с преобладающим годовым периодом (за исключением 140° з.д.) с максимумами (-0.2 -0.4) в феврале-марте, при этом величины ΔМГТ увеличиваются к востоку от 0.15 на 170° в.д. до 0.35 на 84° з.д. На 140° з.д. в сезонном цикле интенсивности прослеживается полугодовой сигнал с максимумами (-0.2) в марте и октябре.

Отметим, что интенсивность АГЛ в каждом из океанов возрастает почти в 2 раза в направлении с запада на восток. В Атлантике и в восточных частях Тихого и Индийского океанов сезонные вариации положения АГЛ составляют в среднем 1-2 градуса по широте, в западных частях океанов они увеличиваются до 3-5 градусов.

3.2. Межгодовая изменчивость

В зоне Южного субтропического фронта (диапазон изотерм 13-21°C) наблюдаются преимущественно отрицательные тренды смещений изотерм (рис. 6а). Наиболее заметное смещение ЮСБТФ на юг (величина тренда -1.5) происходит в западной части Тихоокеанского сектора Южного океана. Слабые положительные тренды (до 0.4), т.е. смещения ЮСБТФ на север, отмечаются между 90° и 60° з.д. и между 20° з.д. и Гринвичем. Отрицательные тренды (-0.2 – -0.4) широтных смещений изотерм, соответствующих Субантарктическому (5-14°C) и

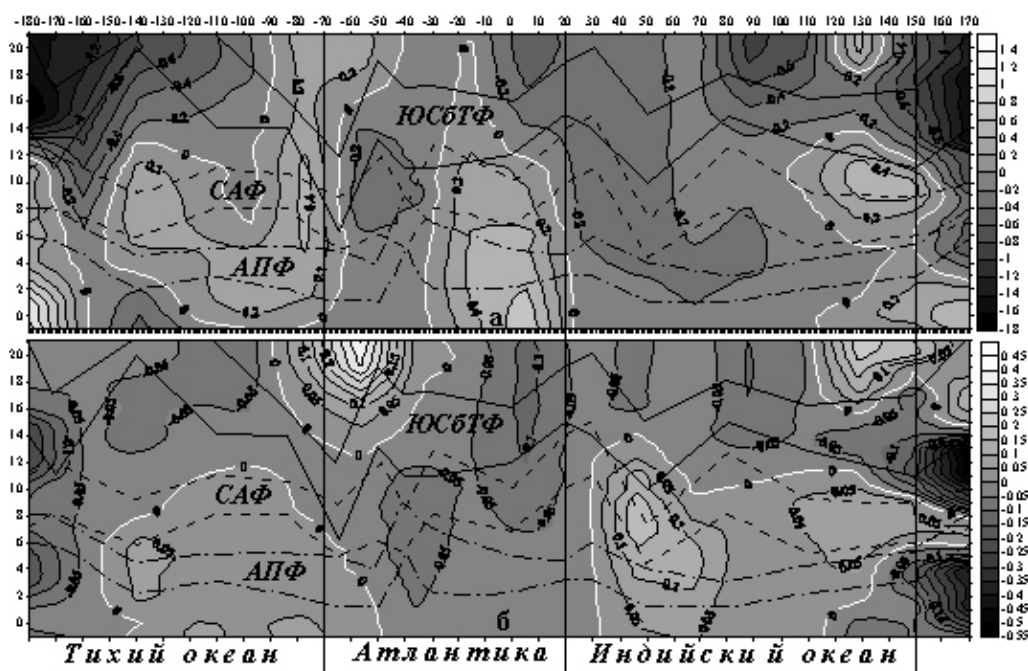


Рис. 6. Изменение трендов межгодовых смещений широтного положения изотерм (а) и величин МГТ (б) в зависимости от изотермы и долготы, а также температурные диапазоны фронтов: сплошные линии ЮСБТФ, штриховые линии САФ, штрих-пунктир АПФ

Антарктическому полярному ($1-8^{\circ}\text{C}$) фронтам, наблюдаются в западной части Атлантического океана до $25-30^{\circ}$ з.д., в Тихом океане между 165° и 150° з.д. и в Индийском океане до $130-140^{\circ}$ в.д. Положительные тренды (до 0.4) для САФ и АПФ отмечаются на большей части Тихого океана и в восточных частях Атлантического и Индийского океанов.

Тренды величин МГТ в зоне ЮСБТФ отрицательны почти на всей акватории Южного океана (рис. 6б) и достигают максимальных значений на западе Тихого океана (-0.25) и в восточной части Атлантики (-0.15). Такой характер трендов соответствует усилению ЮСБТФ. Ослабление ЮСБТФ, соответствующее положительным трендам МГТ (до 0.15), наблюдается в западных частях Атлантического (между 60° и 40° з.д.) и Тихого ($150-170^{\circ}$ в.д.) океанов. Отрицательные тренды величин МГТ для САФ и АПФ отмечаются на западе Тихого океана (до -0.2) и в Атлантике к востоку от 60° з.д. до 30° в.д. (-0.1). Здесь происходит усиление фронтов. Тренды МГТ положительны в Индийском (до 0.2) и в Тихом океане восточнее 150° з.д. (до 0.1), что соответствует ослаблению САФ и АПФ.

Выводы

Проведенный анализ показал, что основные фронтальные разделы циркумполярны и наиболее резко проявляются в пограничных слоях, прилегающих к континентам. Максимальной сезонной изменчивостью с преобладающим годовым сигналом характеризуются Южный субтропический, Субантарктический и Антарктический полярный фронты. Антарктический полярный фронт на большей части акватории Южного океана усиливается в холодное время года (июль–октябрь). Фронт Южной ветви АЦТ обостряется во вторую половину года, и только в проливе Дрейка, в море Скотия и к югу от Австралии, в первую.

В каждом отдельном бассейне наблюдаются свои особенности. Южный субтропический фронт наиболее интенсивен в Атлантическом и Индийском океанах, Субантарктический и Антарктический полярный фронты в Атлантическом, Фронт Южной ветви АЦТ в Тихом, Антарктическая граница ледовитости в Индийском и Тихом океанах. В Атлантическом, Тихом и на западе Индийского океана САФ усиливается в первую половину года (январь–май), в центральной части и на востоке Индийского океана во вторую (июль–декабрь). К югу от Африки и Австралии в сезонном цикле интенсивности САФ наблюдается полугодовая периодичность.

Оценки трендов широтных смещений изотерм и величин МГТ в зонах основных фронтов показали, что наиболее заметные сдвиги положения фронтов отмечаются в западной части Тихого океана, где за последние 30 лет ЮСБТФ сместился почти на 1.5° по широте к югу. На большей части Тихого океана и в восточных частях Атлантического и Индийского океанов наблюдается смещение САФ и АПФ на север почти на 0.5° по широте. На западе Тихого океана и на востоке Атлантики выявлена тенденция к росту интенсивности ЮСБТФ. Усиление САФ и АПФ прослеживается на западе Тихого океана и в Атлантике. Абсолютные величины МГТ в зонах фронтов увеличились на $0.15-0.25^{\circ}\text{C}/54$ км. Ослабление САФ и АПФ отмечается в Индийском океане и в Тихом океане восточнее 150° з.д., при этом значения МГТ по абсолютной величине уменьшились на $0.2^{\circ}\text{C}/54$ км.

Литература

1. **Turner J.** Review the El NICO – Southern Oscillation and Antarctica // Int. J. Climatology. – 2004. – № 24. – С. 1–31.
2. **Peterson R.G., Stramma L.** Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean // Prog. Oceanogr. – 1991. – 26. – P. 1–73.

Ю.В. Артамонов: СЕЗОННАЯ И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФРОНТОВ...

3. **Артамонов Ю.В., Булгаков Н.П., Ломакин П.Д.** Фронты Атлантического сектора Южного океана (обзор литературы) // Препринт. – МГИ НАН Украины, Севастополь. – 1999. – 68 с.
4. Фронтальные зоны юго-восточной части Тихого океана: (Биология, физика, химия) / Под ред. М.Е. Виноградова, К.Н. Федорова. М.: Наука, 1984, 333 с.
5. **Belkin I.M., Gordon A.L.** Southern Ocean fronts from the Greenwich Meridian to Tasmania // J. Geophys. Res. 1996. 101. № C2. P. 36753696.
6. **Грузинов В.М.** Гидрология фронтальных зон Мирового океана. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 272 с.
7. **Кляусов А.В.** О фронтальной зоне вблизи северной границы распространения морских льдов в Южном океане // Океанология. – 1993. – 33. – № 6. – С. 824–832.
8. **Артамонов Ю.В., Скрипалёва Е.А.** Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. – 2005. – № 4. – С. 62–75.
9. **Артамонов Ю.В., Скрипалёва Е.А.** Сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов восточной части Тихого океана по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. – 2008. – № 4. – С. 45–61.
10. **Артамонов Ю.В., Скрипалёва Е.А.** Изменчивость гидрологических фронтов Перуанско-Чилийского сектора по спутниковым данным // УАЖ. 2006. № 4 5. С. 109116.
11. <http://nomad1.ncep.noaa.gov>.
12. **Химмельблау Д.** Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 960 с.
13. **Артамонов Ю.В.** Сезонная динамика крупномасштабных круговоротов, гидрологических фронтов и поверхностных водных масс в Южной Атлантике // Системы контроля окружающей среды. Севастополь, ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. С. 211-213.