

УДК 551.46 (269.4)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОКЕАНА ПО ДАННЫМ ПОПУТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЭС «АКАДЕМИК ФЕДОРОВ» В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2007–2008 гг.

Ю.В. Артамонов¹, В.П. Бунякин², С.П. Кислицин², Е.А. Скрипалёва¹

¹*Морской гидрофизический институт Национальной Академии Наук Украины, г. Севастополь, Украина. e-mail: Artam-ant@yandex.ru*

²*Арктический и Антарктический Научно-исследовательский институт Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, РАЭ, г. Санкт-Петербург, Россия*

Реферат. В работе представлен анализ пространственного распределения аномалий температуры поверхности океана (ТПО), рассчитанных по данным попутных гидрометеорологических измерений по маршруту судна, выполненных в 53-й РАЭ на НЭС «Академик Федоров» в период с 6 декабря 2007 г. по 7 марта 2008 г. При анализе использовались среднемесячные значения ТПО в узлах одноградусной сетки массива BADC HadISST и Мировой базы гидрологических данных (World Ocean Base, 2005), а также массив осредненных по месяцам спутниковых значений ТПО в узлах сетки 54×54 км за период 1985–2002 гг. (архив AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA).

Показано, что в Атлантике наблюдались положительные аномалии ТПО, которые достигали максимальных значений (2,0–2,5°C) в зоне Западно-Африканского апвеллинга и в широтной полосе между термическим экватором и 7° ю.ш. В Субантарктической и Полярной зонах Южного океана температура на поверхности тоже была преимущественно выше нормы. Отрицательные аномалии температуры воды на поверхности океана наблюдались южнее Антарктического полярного фронта и на акваториях, прилегающих к антарктическим станциям.

Просторова структура аномалій температури поверхні океану за даними попутних вимірів на НЕС «Академік Федоров» у літній період 2007–2008 рр. Ю.В. Артамонов, В.П. Бунякін, С.П. Кислицин, О.О. Скрипальова.

Реферат. У роботі представлено аналіз просторового розподілу аномалій температури поверхні океану (ТПО), розрахованих за даними попутних гідрометеорологічних вимірів на маршруті судна, виконаних під час 53-ї РАЕ на НЕС «Академік Федоров» з 6 грудня 2007 р. по 7 березня 2008 р. У процесі аналізу було використано середньомісячні значення ТПО у вузлах одноградусної сітки масиву BADC HadISST та Світової бази гідрологічних даних (World Ocean Base, 2005), а також масив осереднених за місяцями супутникових значень ТПО у вузлах сітки 54×54 км за період 1985–2002 рр. (архів AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA).

Показано, що в Атлантиці спостерігалися позитивні аномалії ТПО, які досягали максимальних значень (2,0–2,5°C) у зоні Західно-Африканського апвеллінгу та у широтній смузі між термічним екватором і 7° півд.ш. У Субантарктичній і Полярній зонах Південного океану температура на поверхні була також переважно вище норми. Негативні аномалії температури води на поверхні океану спостерігалися південніше від Антарктичного полярного фронту й на акваторіях, прилеглих до антарктичних станцій.

The spatial structure of ocean surface temperature anomalies on the base of the accompanying measurements data on the R/V «Ak. Fedorov» in the Summer 2007–2008. **Ju.V. Artamonov, V.P. Bunyakin, S.P. Kislizhin, E.A. Skripaleva.**

Abstract. The analysis of the spatial distribution of ocean surface temperature (SST) anomalies, calculated using the data of the accompanying hydrometeorological measurement obtained during December, 6, 2007 – March, 7, 2008 cruise of the R/V Ak. Fedorov in 53th RAE is presented in work. For an analysis were used

the monthly-average SST values on $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ grid (BADC HADISST dataset and hydrological World Ocean Base, 2005), array of monthly-average satellite SST values on 54×54 km grid during 1985–2002 (AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA).

It is shown that in Atlantic Ocean the positive SST anomalies were observed, which were maximal ($2\text{--}2.5^{\circ}\text{C}$) in the West-African upwelling zone and in the latitudinal bar between the Thermal equator and 7S . In the Subantarctic and Polar zones of the South Ocean the surface temperature was also mainly higher than norm. The SST anomalies were negative to the south of Antarctic Polar front and in the Antarctic stations adjacent water areas.

Key words: ocean surface temperature, temperature anomalies, Antarctic region, climatic front, World Ocean Database, satellite measurements.

Введение

В период с 6 декабря 2007 г. по 7 марта 2008 г. в ходе 53-й Российской Антарктической экспедиции на НЭС «Академик Федоров» проводились совместные Российско-Украинские океанографические исследования. Эти работы выполнялись в рамках Государственной научно-технической Программы исследований Украины в Антарктике, а также программы Международного Полярного Года 2007–2008 гг. и в соответствии с Межгосударственным Соглашением о научно-техническом сотрудничестве между правительствами Украины и Российской Федерации.

Основное направление океанографических исследований Национального Антарктического Научного Центра (НАНЦ МОНУ) – изучение термохалинной структуры вод Мирового океана и прибрежных районов Антарктического континента с целью выявления особенностей межгодовой изменчивости полей температуры, характеристик водных масс и гидрологических фронтов. Знание реакции океанических фронтов как зон повышенной продуктивности на процессы взаимодействия океана и атмосферы на сезонном и межгодовом масштабах необходимо для успешного прогнозирования скоплений промысловых объектов. Важность данного направления обусловлена и тем, что в настоящее время широко обсуждаются проблемы глобального изменения климата Земли. Показано, что реакция океана на происходящие климатические изменения в разных регионах может быть неодинаковой [1–3]. Установлено, что изменчивость аномалий и трендов температуры, площадей разных водных масс на поверхности океана тесным образом связана с изменчивостью индексов атмосферной циркуляции, крупномасштабных течений и фронтальной системы Мирового океана [4, 5]. Вместе с тем разный объем и качество анализируемых данных приводят к тому, что оценки величин аномалий и трендов температуры воды могут сильно различаться. В последние годы для исследования изменчивости кинематических и температурных характеристик поверхности океана, наряду с контактными океанографическими измерениями, используют хорошо обеспеченные по пространству и времени спутниковые наблюдения. Совместный анализ спутниковых и контактных измерений является неотъемлемым атрибутом всех современных климатических программ, в том числе программы Международного Полярного Года 2007–2008 гг. В 53-й РАЭ на НЭС «Академик Федоров» проводились непрерывные контактные измерения температуры поверхности океана по маршруту судна. Это позволило за относительно короткий период времени охватить наблюдениями значительные акватории океана и получить крупномасштабные распределения гидрологических полей. Целью настоящей статьи является анализ пространственного распределения аномалий наблюдаемой температуры поверхности океана по маршруту судна относительно климатических норм, рассчитанных по независимым массивам гидрологических и спутниковых данных.

Методика исследований

В работе анализируются результаты попутных измерений температуры поверхности океана (ТПО), выполненных на НЭС «Академик Федоров» в период с 6 декабря 2007 г. по 7 марта 2008 г. Маршрут судна и положение основных галсов представлены на рисунке 1.

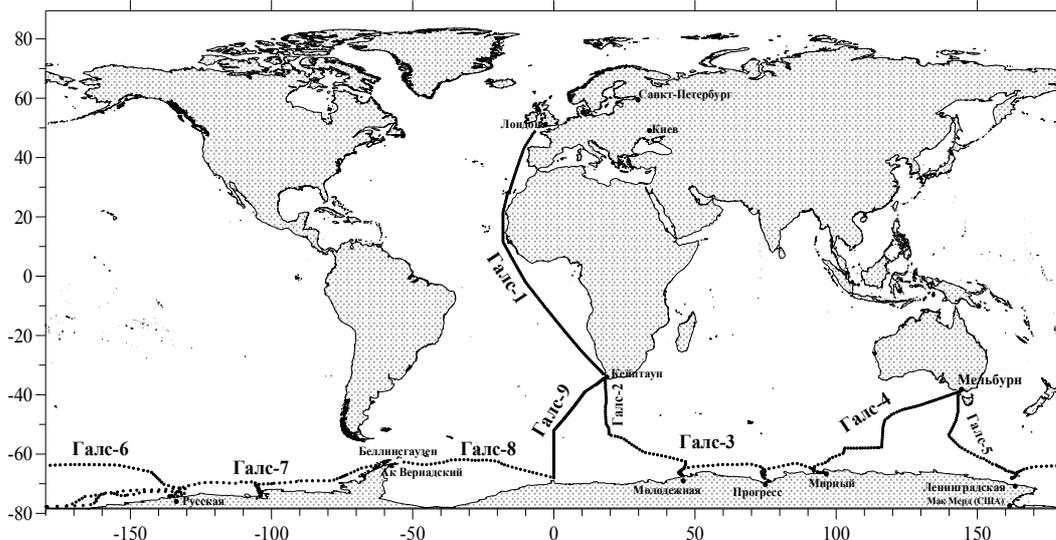


Рис. 1. Маршрут НЭС «Академик Федоров» в 53-й РАЭ и положение галсов, для которых рассчитаны аномалии ТПО.

Для анализа атмосферных условий, при которых формировались пространственные особенности поля ТПО, привлекались измерения метеорологических параметров в синоптические сроки, выполнявшиеся с помощью судовой автоматической станции погоды MILOS-500, и факсимильные карты погоды. Пространственные особенности поля ТПО, полученные контактным методом в ходе рейса НЭС «Академик Федоров», сравнивались с климатическим распределением поля температуры, рассчитанным по данным спутниковых измерений, а также с распределениями температуры по климатическим гидрологическим данным. Для таких оценок использованы: массив осредненных по месяцам спутниковых значений ТПО в узлах сетки 54×54 км за период с 1985 по 2002 гг. (архив AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA), а также среднемесячные значения ТПО в узлах одноградусной сетки из Мировой базы гидрологических данных (World Ocean Base, 2005) и массива BADC HadISST с 1870 по 2003 гг. По этим данным рассчитаны аномалии наблюдаемой ТПО относительно двух гидрологических и спутникового климатов (рис. 2). Аномалии ТПО, которые получены относительно всех трех независимых климатических массивов одновременно, заштрихованы: положительные – точками, отрицательные – черным цветом. Ниже по тексту указываются диапазоны температуры, в пределах которого изменяются величины аномалий ТПО, рассчитанные относительно трех климатических массивов.

Анализ результатов

Попутные гидрологические измерения на трансатлантическом **Галсе-1** показали, что на большей части акватории Атлантики вдоль маршрута судна значения ТПО были выше нормы (рис. 2, а). Сравнение фактических значений ТПО с ее климатическими значениями по гидрологическим и спутниковым данным показывает положительные аномалии ($1,0$ – $1,5^\circ\text{C}$) на восточной периферии Северного субтропического антициклонического круговорота. Максимальные значения аномалий ТПО ($2,5$ – $3,0^\circ\text{C}$) были получены относительно гидрологического климата (WOB-2005) между 20 – 23° с.ш., где судно пересекало зону Западно-Африканского апвеллинга.

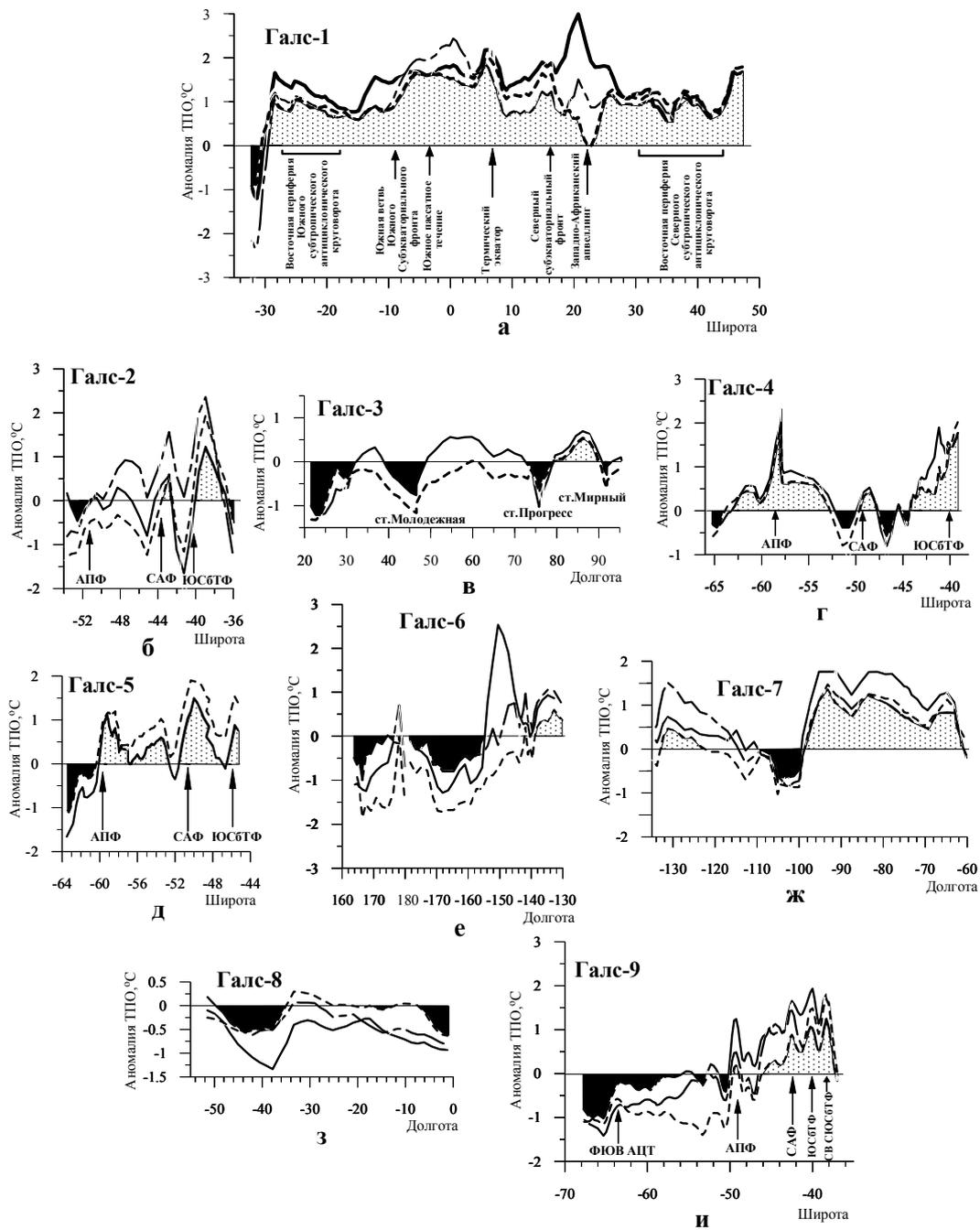


Рис. 2. Распределение аномалий ТПО вдоль разных галсов (сплошные линии – ТПО_{факт}–ТПО_{WOB-2005}, штрих-пунктир – ТПО_{факт}–ТПО_{спутники}, штриховые линии – ТПО_{факт}–ТПО_{ВАСД}).

Расчет аномалий ТПО относительно спутникового климата тоже выявил максимум в этом районе, но меньший по абсолютной величине ($1,5^{\circ}\text{C}$), в то время как расчет аномалий относительно массива BADC HadISST показал минимальные значения, близкие к нулю. Такие различия в величинах аномалий в этом районе, вероятно, связаны с существенной пространственной изменчивостью ТПО на относительно небольшой площади зоны апвеллинга. Поэтому особенности процедуры интерполяции первичных данных в узлы регулярной сетки в разных независимых массивах могут сказываться на величине климатической нормы и, как следствие, на величине аномалии фактической ТПО относительно этой нормы.

Южнее 20° с.ш. наблюдался рост ТПО, связанный с тем, что судно пересекало Северный субэкваториальный фронт. Здесь, между 16° и 18° с.ш., аномалии температуры относительно разных климатических норм колебались в пределах $1,5\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$. Между 5° и 7° с.ш., в зоне Термического экватора, отмечался еще один локальный максимум значений аномалий ТПО ($> 2,0^{\circ}\text{C}$). Большие положительные аномалии ТПО ($1,5\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$) наблюдались также в широтной полосе между экватором и примерно 7° ю.ш. в зоне действия Южного пассатного течения, которое выносит холодные воды Южно-Африканского апвеллинга в приэкваториальные широты. Наличие здесь высоких положительных аномалий может свидетельствовать об ослаблении адвекции холодных апвеллинговых вод в этот период.

Примерно между 7° и 12° ю.ш. при пересечении Южной ветви Южного субэкваториального фронта наблюдалось уменьшение ТПО и ее аномалий. Южнее ($15\text{--}28^{\circ}$ ю.ш.), на восточной периферии Южного субтропического антициклонического круговорота, температура медленно уменьшалась, а ее аномалии постепенно возрастали. Еще южнее, при подходе к п. Кейптаун, наблюдалось резкое уменьшение фактических значений ТПО, при этом аномалии, рассчитанные относительно всех трех независимых климатических массивов, становились отрицательными.

Распределение аномалий ТПО на **Галсе-2** от п. Кейптаун до 54° ю.ш. (рис. 2, б) тесным образом связано со структурой крупномасштабных фронтов на поверхности океана между Африкой и Антарктидой. По данным попутных измерений здесь были выделены Фронт течения Агульяс (ФТАг), Южный субтропический (ЮСБТФ), Субантарктический (САФ) и Антарктический полярный (АПФ) фронты. Эти фронты хорошо прослеживаются и по климатическим спутниковым данным [6].

Фронт течения Агульяс был выражен относительно слабо, что соответствовало его климатической норме. Вместе с тем область максимальных температур (23°C) южнее этого фронта, связанная с «языком» теплых вод, приносимых с северо-востока, характеризовалась значительной положительной температурной аномалией ($1,5\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$), т.е. воды течения Агульяс, представляющие поверхностную водную массу Субтропической зоны, были теплее нормы. Этому потеплению способствовала антициклоническая погода, которая наблюдалась к югу от Африки. Здесь были зарегистрированы высокое атмосферное давление, низкие скорости ветра и высокая температура воздуха.

Южный субтропический фронт располагался на широте своего климатического положения между 40° и 41° ю.ш. и прослеживался по перепаду фактической температуры от $22\text{--}23^{\circ}\text{C}$ до $13\text{--}14^{\circ}\text{C}$. При переходе через фронт наблюдалось резкое изменение значений аномалий ТПО, со сменой их знака, от $1,5\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$ до $0\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$.

Субантарктический фронт также располагался близко к своему среднему климатическому положению на широте $43,5\text{--}44^{\circ}$ ю.ш. Между ЮСБТФ и САФ наблюдались отрицательные аномалии ТПО, свидетельствующие о том, что поверхностные воды в Субантарктической зоне были холоднее климатической нормы. При переходе через САФ, как и в случае ЮСБТФ, наблюдалось резкое изменение значений аномалий ТПО со сменой их знака от $0,5\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ до $0\text{--}1,2^{\circ}\text{C}$.

В Полярной зоне между САФ и АПФ аномалии ТПО были в пределах $-0,5\text{--}1,0^{\circ}\text{C}$. Антарктический полярный фронт на поверхности океана проявлялся слабо, как по

климатическим, так и по фактическим данным. Небольшое увеличение меридионального градиента температуры, соответствующее этому фронту, наблюдалось несколько южнее 51° ю.ш. Как и в случае ЮСбТФ и САФ, температура воды на северной периферии АПФ была выше нормы, на южной периферии ниже нормы, причем отрицательные аномалии южнее фронта прослеживались по расчетам относительно всех трех климатических массивов.

Отрицательные аномалии ТПО наблюдались далее на юго-восток вдоль **Галса-3** при переходе судна от меридионального галса к станции Молодежная (рис. 2, в). Вблизи полярных станций, на участках галса, прилегающих к Антарктическому континенту, температура воды на поверхности была заметно ниже. Здесь наблюдались отрицательные аномалии ТПО, тогда как на переходах между станциями температура повышалась на $0,5$ – $1,5^{\circ}\text{C}$ и аномалии ТПО были положительными. Эта тенденция сохранялась практически на всех переходах судна вокруг Антарктиды. Анализ судовых метеорологических измерений указывает на существенное влияние синоптических процессов на гидрологический режим в районах станций. Понижение температуры воды, как правило, сопровождалось усилением ветров восточных румбов, понижением атмосферного давления и температуры воздуха. Дальнейший анализ временной изменчивости метеопараметров на антарктических станциях с привлечением спутниковых данных, а также анализ синоптических карт за длительный период позволяют уточнить степень влияния синоптической и межгодовой изменчивости атмосферных процессов на гидрологию прибрежных районов.

В восточной части Индийского океана, южнее Австралии (квазимеридиональные **Галсы-4, 5**), как и в западной части океана, южнее Африки, распределение аномалий ТПО отражало структуру крупномасштабных зональных фронтов. На **Галсе-4** наблюдалось резкое изменение величин аномалий ТПО при пересечении фронтальных разделов ЮСбТФ между 39° и 41° ю.ш. (от $2,0^{\circ}\text{C}$ до $0,5^{\circ}\text{C}$), САФ между 48° и 50° ю.ш. (от $0,5^{\circ}\text{C}$ до $-0,5^{\circ}\text{C}$) и АПФ между 58° и 60° ю.ш. (от $1,5^{\circ}\text{C}$ до $0,2^{\circ}\text{C}$) (рис. 2, г). В Субантарктической зоне преобладали отрицательные аномалии ($-0,3$ – $-0,8^{\circ}\text{C}$), в Полярной зоне южнее 53° ю.ш. – положительные ($0,5$ – $1,5^{\circ}\text{C}$). У берегов Антарктиды аномалии опять становились отрицательными.

Вдоль **Галса-5** наблюдались положительные аномалии ТПО, при этом пересечение фронтальных разделов также сопровождалось резким изменением их величин при сохранении знака (рис. 2, д). К югу от АПФ (60° ю.ш.) в Антарктической зоне зафиксированы отрицательные аномалии ТПО ($-1,0^{\circ}\text{C}$), которые прослеживались и на квазизональном **Галсе-6** вплоть до 150° з.д. На участке между 175° в.д. и 170° з.д., где судно удалялось от берега, величины аномалий приближались к нулю (рис. 2, е). Далее на восток они возрастали до $0,5$ – $2,0^{\circ}\text{C}$. Положительные аномалии того же порядка наблюдались также вдоль **Галса-7** (рис. 2, ж). Между 100° и 105° з.д., где судно подходило близко к берегу Антарктиды, аномалии становились отрицательными ($-0,5^{\circ}\text{C}$).

В море Уэдделла (**Галс-8**) характер распределения аномалий заметно отличался от других районов Антарктики. Здесь вдоль всего галса преобладали отрицательные аномалии ТПО (рис. 2, з). При этом ближе к Антарктическому полуострову их величины, рассчитанные относительно разных климатических массивов, колебались в пределах от $-0,5^{\circ}\text{C}$ до $-1,5^{\circ}\text{C}$, а в центральной части галса они были близки к нулю. В восточной части моря, где судно снова приблизилось к берегу Антарктиды, отрицательные аномалии увеличились до $-0,5$ – $-0,8^{\circ}\text{C}$.

В южной части квазимеридионального **Галса-9** отрицательные аномалии ТПО сохранялись вплоть до 50° ю.ш. (рис. 2, и). Между 64° и 62° ю.ш. при пересечении Фронта Южной ветви Антарктического циркумполярного течения (ФЮВ АЦТ) наблюдалось уменьшение их абсолютных величин от $-1,0$ – $-1,5^{\circ}\text{C}$ до $-0,8$ – $-0,2^{\circ}\text{C}$, а севернее АПФ (50° ю.ш.) аномалии становились преимущественно положительными. При пересечении САФ, ЮСбТФ и Северной ветви (СВ) ЮСбТФ наблюдались резкие перепады величин аномалий до $0,5$ – $1,0^{\circ}\text{C}$, но при этом их положительный знак сохранялся.

Проведенный анализ показал, что пространственное распределение аномалий ТПО вдоль маршрута судна, рассчитанных относительно трех независимых климатических массивов данных, качественно оказалось сходным, несмотря на некоторые наблюдающиеся различия. Эти различия могли быть обусловлены, во-первых, разным объемом первичной информации, которая послужила основой для формирования используемых климатических массивов, во-вторых, разным шагом сетки при интерполяции результатов спутниковых и контактных измерений. В работе основное внимание уделялось тем пространственным особенностям изменчивости аномалий ТПО, которые проявлялись одновременно при расчетах относительно двух или трех независимых массивов. Можно считать, что в этом случае структура аномалий ТПО приближалась к реальной ситуации в океане.

Выводы

Проведенные расчеты аномалий наблюдаемой ТПО вдоль маршрута судна относительно трех независимых климатических массивов позволили описать особенности фактического состояния основных структурных зон поверхности океана от умеренных широт Северного полушария до Антарктического континента.

Установлено, что в Атлантике наблюдались положительные аномалии, которые в зоне Западно-Африканского апвеллинга и в широтной полосе между Термическим экватором и 7° ю.ш. достигали 2,0–2,5°C. В Субантарктической и Полярной зонах Южного океана температура на поверхности также была преимущественно выше климатической нормы.

Южнее Антарктического полярного фронта и в районах, прилегающих к антарктическим станциям, наблюдались отрицательные аномалии температуры на поверхности океана.

Установлено, что крупномасштабные фронты прослеживаются не только в поле градиентов ТПО и в распределении величин внутрigoдового и межгодового среднего квадратического отклонения ТПО [6], но также в поле аномалий температуры. В пределах фронтальных зон наблюдался резкий перепад величин аномалий ТПО, вплоть до изменения их знака.

Полученные выводы будут существенно расширены и отдельные их положения уточнены после обработки материалов попутных измерений всего банка данных, накопленного в ходе научных рейсов в Украинских и Российских Антарктических экспедициях.

Литература

1. Lau K.M., Weng H. Interannual, Decadal-Interdecadal and Global Warming Signals in Sea Surface Temperature during 1955–97 // *Journal of Climate*. – 1999. – V. 12. – P. 1257–1267.
2. Casey K.S., Cornillon P. Global and Regional Sea Surface Temperature Trends // *Journal of Climate*. – 2001. – V. 14. – P. 3801–3818.
3. Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J. et al. Antarctic climate change during the last 50 years // *Int. J. Climatology*. – 2005. – V. 25. – P. 279–294.
4. Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Букатов А.Е., Скрипалева Е.А. Сезонная изменчивость линейных трендов поля температуры в Южной части Атлантического океана по спутниковым данным // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа*. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2006. – С. 422–427.
5. Артамонов Ю.В., Бабий М.В., Букатов А.Е. Корреляционные связи между индексами атмосферной циркуляции и аномалиями температуры на поверхности Мирового океана // *Системы контроля окружающей среды*. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. – 2006. – С. 166–169.
6. Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А. Структура и сезонная изменчивость крупномасштабных фронтов Атлантического океана по спутниковым данным // *Исследования Земли из космоса*. – 2005. – № 4. – С. 62–75.