

Е. А. Скрипалева

## Особенности сезонной изменчивости поля температуры на поверхности Индийского океана по контактными и спутниковым данным

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

*Порівнюються просторові розподіли характеристик сезонної мінливості поля температури на поверхні Індійського океану, що розраховані за трьома сучасними масивами даних: British Atmospheric Data Centre HadISST SST; супутникові дані з архіву AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA та база даних World Ocean Atlas 2005. Розрахунки, виконані за незалежними результатами, однаково відбивають структуру і мінливість поля температури поверхні океану (ТПО), а існуючі відмінності на більшій частині досліджуваної акваторії на один-два порядки менші, ніж амплітуда річного сигналу. Аналізуються регіональні особливості прояву сезонних варіацій поля ТПО.*

Для понимания механизмов формирования климатической изменчивости термохалинной структуры вод и ее влияния на биологическую продуктивность океана была изучена изменчивость океанографических полей Индийского океана на различных пространственно-временных масштабах, в частности на сезонном и межгодовом. Существующие обзоры по гидрологии Индийского океана носят преимущественно региональный характер [1–4] и базируются в основном на материалах конкретных экспедиций [1, 2, 4], в них описана синоптическая структура океанографических полей. Имеющиеся работы по их сезонной изменчивости основываются на относительно устаревших массивах гидрологических данных [5, 6] и не отвечают современному уровню климатических исследований.

В последние годы созданы современные банки данных контактных измерений, в результате чего появились различные атласы океанографических характеристик. К сожалению, в них отсутствует физический анализ распределений параметров и их изменчивости [7, 8]. Кроме того, по-прежнему отмечается недостаток контактных измерений в полярных широтах, особенно в зимний период, поэтому климатические распределения гидрологических характеристик в этих районах малодостоверны. Существенным в изучении изменчивости гидрологических полей на различных временных масштабах стало использование спутниковых измерений с хорошим пространственно-временным разрешением. Для Индийского океана на основе этих данных исследована мезомасштабная изменчивость характеристик фронтов [9, 10]. В настоящее время уже накоплены результаты спутниковых измерений температуры поверхности океана (ТПО) за период более чем 20 лет, что позволяет применять их для исследования сезонного цикла, достоверность результатов которого значительно повышается при комплексном использовании спутниковых и контактных измерений.

В настоящем сообщении на основе трех современных массивов, включая спутниковые измерения, описаны особенности климатического сезонного цикла поля температуры на поверхности Индийского океана. Для этой цели были использованы массивы данных:

British Atmospheric Data Center HadISST SST (BADC) со среднемесячными данными ТПО за период с 1975 по 2003 г. Значения ТПО получены интерполяцией фактических контактных и спутниковых измерений в узлы одноградусной сетки [11];

спутниковых измерений ТПО из архива AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA со среднемесячным осреднением в узлах регулярной сетки  $54 \times 54$  км за период с 1985 по 2002 гг.;

World Ocean Atlas 2005 (WOA), содержащий климатические среднемесячные значения ТПО в узлах одноградусной сетки, полученные в результате интерполяции фактических контактных измерений [12].

Для исследования сезонных вариаций поля ТПО в каждом узле регулярной одноградусной сетки по данным первых двух массивов рассчитывали среднемесячные климатические значения температуры. Затем по всем трем типам массивов вычисляли амплитудно-фазовые характеристики поля ТПО.

Сравнение пространственных распределений амплитуд годовой ( $A_{\text{год}}$ ) и полугодовой ( $A_{\text{пггод}}$ ) гармоник ТПО, полученных по спутниковым данным, данным BADC и базе данных WOA, показало тесную линейную связь между этими распределениями (рис. 1). Значения коэффициентов корреляции ( $R$ ) с 95%-м уровнем статистической значимости между полями  $A_{\text{год}}$  по трем разным массивам составляют 0,94–0,97, для  $A_{\text{пггод}}$  — 0,87–0,94.

Значения разности между величинами  $A_{\text{год}}$  по спутниковым данным ( $A_{\text{год сп.}}$ ), массиву BADC ( $A_{\text{год BADC}}$ ) и базе WOA ( $A_{\text{год WOA}}$ ) на большей части акватории не превышают по абсолютной величине  $0,2$  °C (рис. 2). Наибольшие различия между  $A_{\text{год сп.}}$  и  $A_{\text{год BADC}}$ ,  $A_{\text{год сп.}}$  и  $A_{\text{год WOA}}$  ( $\sim 0,4$ – $0,6$  °C) отмечаются в зонах их резких горизонтальных градиентов: на севере Аравийского моря и Бенгальского залива, в западной части Южной субэкваториальной дивергенции, к югу от о-ва Ява, у северо-западного берега Австралии, в зоне Антарктического циркумполярного течения и вдоль побережья Антарктиды. Абсолютные значения разности между  $A_{\text{год BADC}}$  и  $A_{\text{год WOA}}$  несколько ниже. Их максимум не превышает  $0,3$  °C и отмечается на юго-востоке акватории в области Антарктического циркумполярного течения. Такие различия в величинах амплитуд связаны с существенной пространственной изменчивостью ТПО на относительно небольших площадях в зонах интенсивных течений и фронтов. Поэтому особенности процедуры интерполяции первичных данных в узлы регулярной сетки в разных массивах и разной обеспеченностью фактической информацией могут сказываться на величине климатической нормы, и, как следствие, на величинах амплитудно-фазовых характеристик ТПО.

Расчеты отношения величин амплитуд годовой гармоник ТПО по каждому из массивов к разности амплитуд по трем массивам показали, что почти на всей акватории имеющиеся различия на один-два порядка меньше, чем амплитуда годового сигнала.

Для оценки значимости годовой и полугодовой гармоник поля соответствующих амплитуд были нормированы на стандартное отклонение остаточного ряда (ряд среднемесячных значений параметра за вычетом обеих периодических составляющих). Районы, где уровень полезного сигнала не превышал в два раза уровень шума, из интерпретации исключены. На картах распределения годовой и полугодовой амплитуд эти участки акватории заштрихованы (рис. 3, *г–е*). Установлено, что на всей акватории Индийского океана амплитуда годовой гармоник ТПО по трем типам данных на порядок превышает стандартное отклонение остаточного ряда, что свидетельствует о ее значимости (см. рис. 3, *а–в*). Полугодовая гармоника ТПО достоверна в Бенгальском и Аденском заливах, в Аравийском, Андаманском и Тиморском морях, над северной частью Сомалийской котловины и у берегов Антарктиды (см. рис. 3, *г–е*).

Таким образом, сопоставление распределений амплитудно-фазовых характеристик ТПО, полученных по трем массивам, и оценка их значимости показали, что по всем типам данных

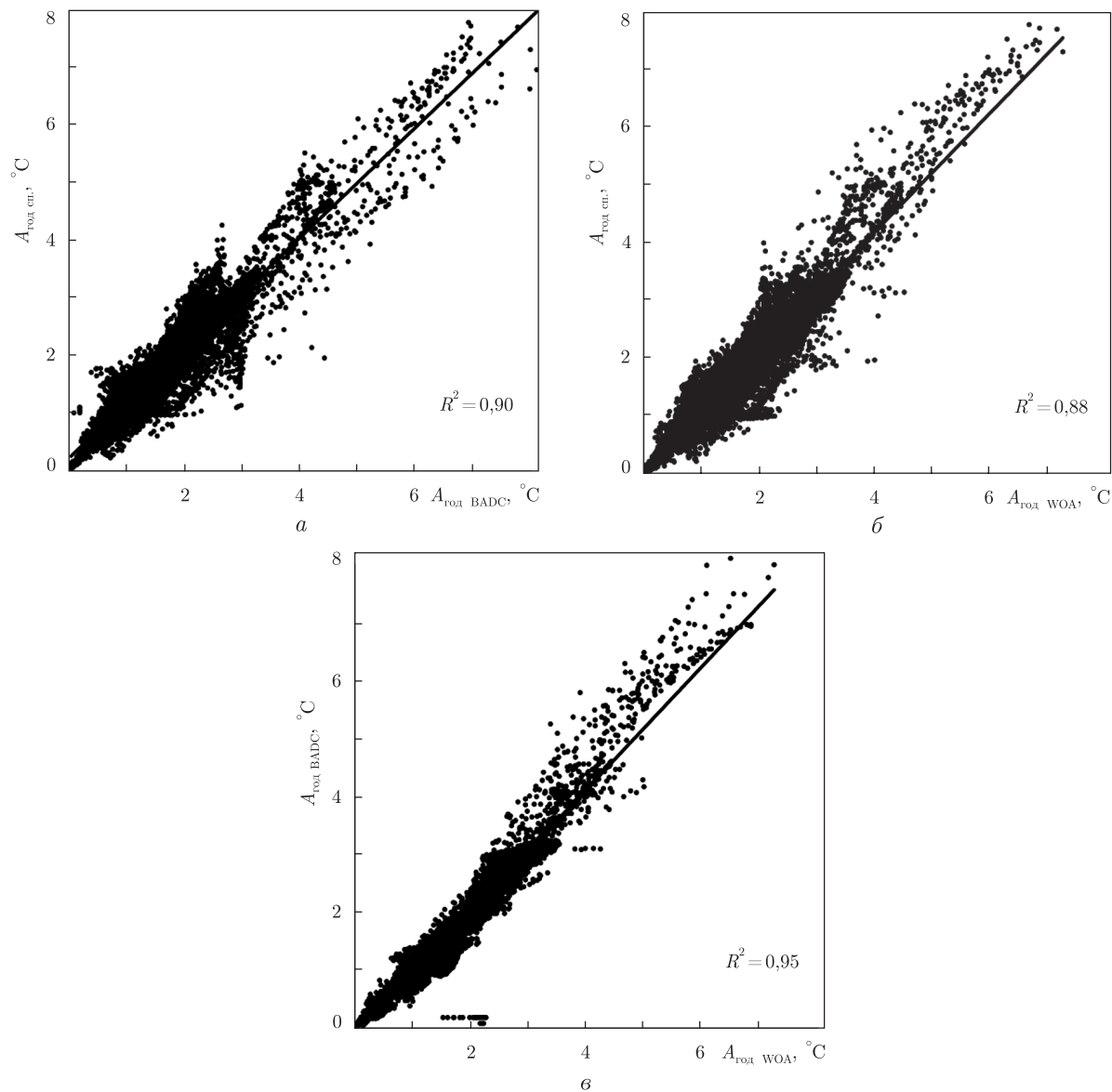


Рис. 1. Графики линейной связи между амплитудами годовой гармонике поля ТПО по трем массивам данных (а–в)

сезонная изменчивость ТПО отражается одинаково. Максимум годовых колебаний ТПО наблюдается к северу от экватора в районах муссонной циркуляции (см. рис. 3, а–в): Персидский залив (до 7,0 °С), Красное море (до 3,5 °С), северная часть Аравийского моря (до 4,0 °С), Аденский залив и северная часть Бенгальского залива (до 2,5 °С). В Южном полушарии высокие значения  $A_{\text{год}}$  прослеживаются в центре Южного субтропического антициклонического круговорота (3,0–3,5 °С), на участке экватории между о-вами Крозе и Кергелен (до 3,0 °С), у северо-западного побережья Австралии и в Большом Австралийском заливе (2,5–3,0 °С).

По распределению фазы годовой гармонике сезонных колебаний ТПО можно утверждать следующее: в полярных и умеренных широтах максимум ТПО наступает в февра-

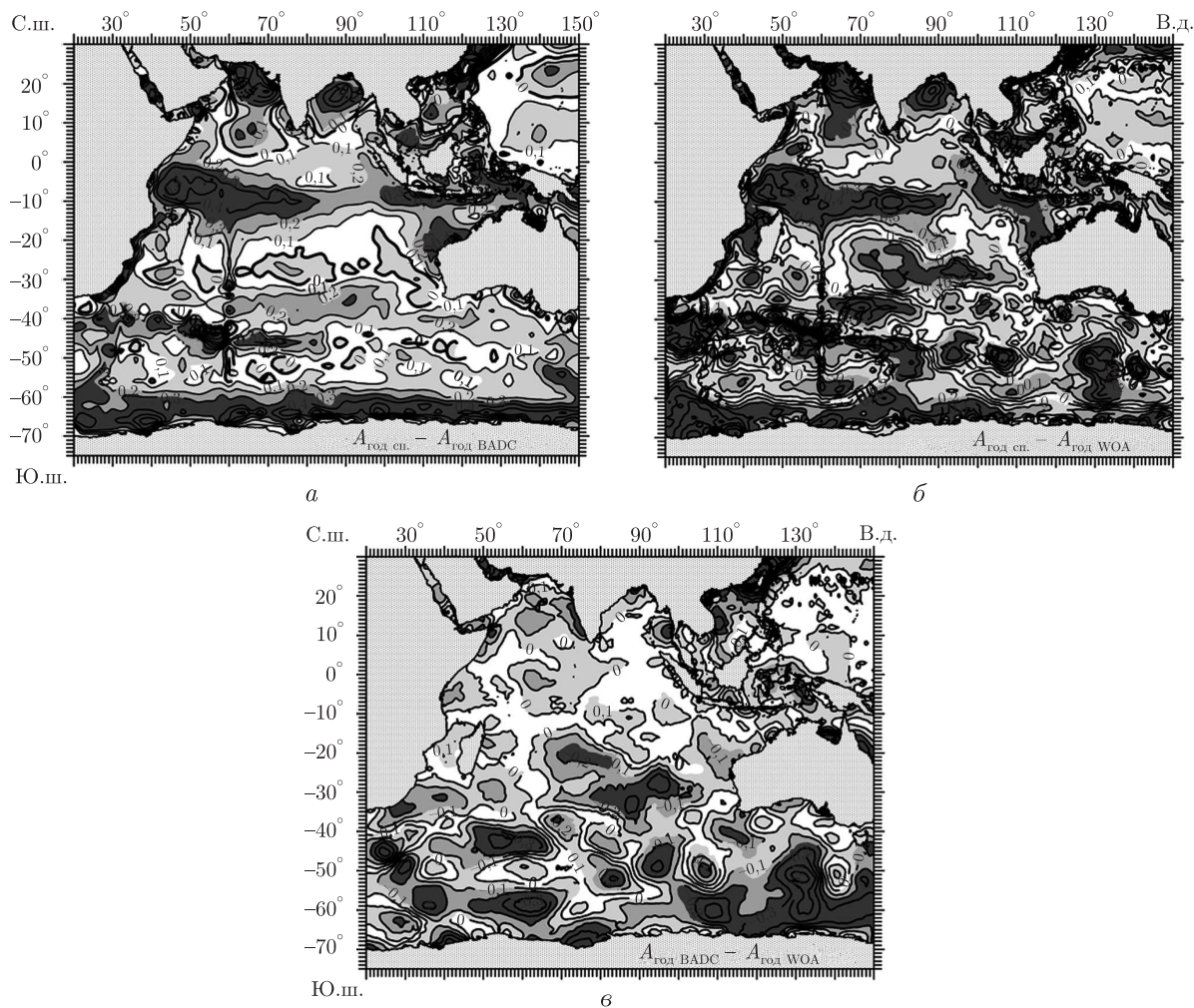


Рис. 2. Разность величин амплитуд годовой гармонике поля ТПО ( $^{\circ}\text{C}$ ), рассчитанных по спутниковым данным и данным массива BADC (*a*), по спутниковым данным и базе WOA (*б*), по данным массива BADC и базе WOA (*в*)

ле — марте; в тропической зоне — смещается на апрель — май; в Аденском заливе и на севере Аравийского моря — отмечается в июне. В Персидском заливе и в Красном море максимальные значения ТПО выявлены в августе — сентябре.

Роль полугодовой составляющей в сезонном цикле ТПО возрастает севернее экватора, где усиливается влияние муссонной циркуляции (см. рис. 3, *г-е*), при этом величина ее амплитуды в приэкваториальной области сопоставима с величиной амплитуды годовой гармонике ( $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ ). В других районах акватории она в 2–3 раза меньше годовой. Максимальные величины  $A_{\text{пгод}}$  отмечаются в Аденском заливе и Аравийском море (до  $2,5^{\circ}\text{C}$ ), в Бенгальском заливе, Андаманском море и в северной части Сомалийской котловины (до  $1,5^{\circ}\text{C}$ ). В Тиморском море и в приантарктических морях величины  $A_{\text{пгод}}$  не превышают  $0,5\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$ . В районах действия муссонов максимумы полугодовой гармонике ТПО наступают в апреле — мае и в октябре — ноябре. В эти периоды происходит ослабление муссонной циркуляции [5]. В приантарктической области максимальные значения температуры в полугодовой гармонике ТПО наблюдаются в феврале и августе.



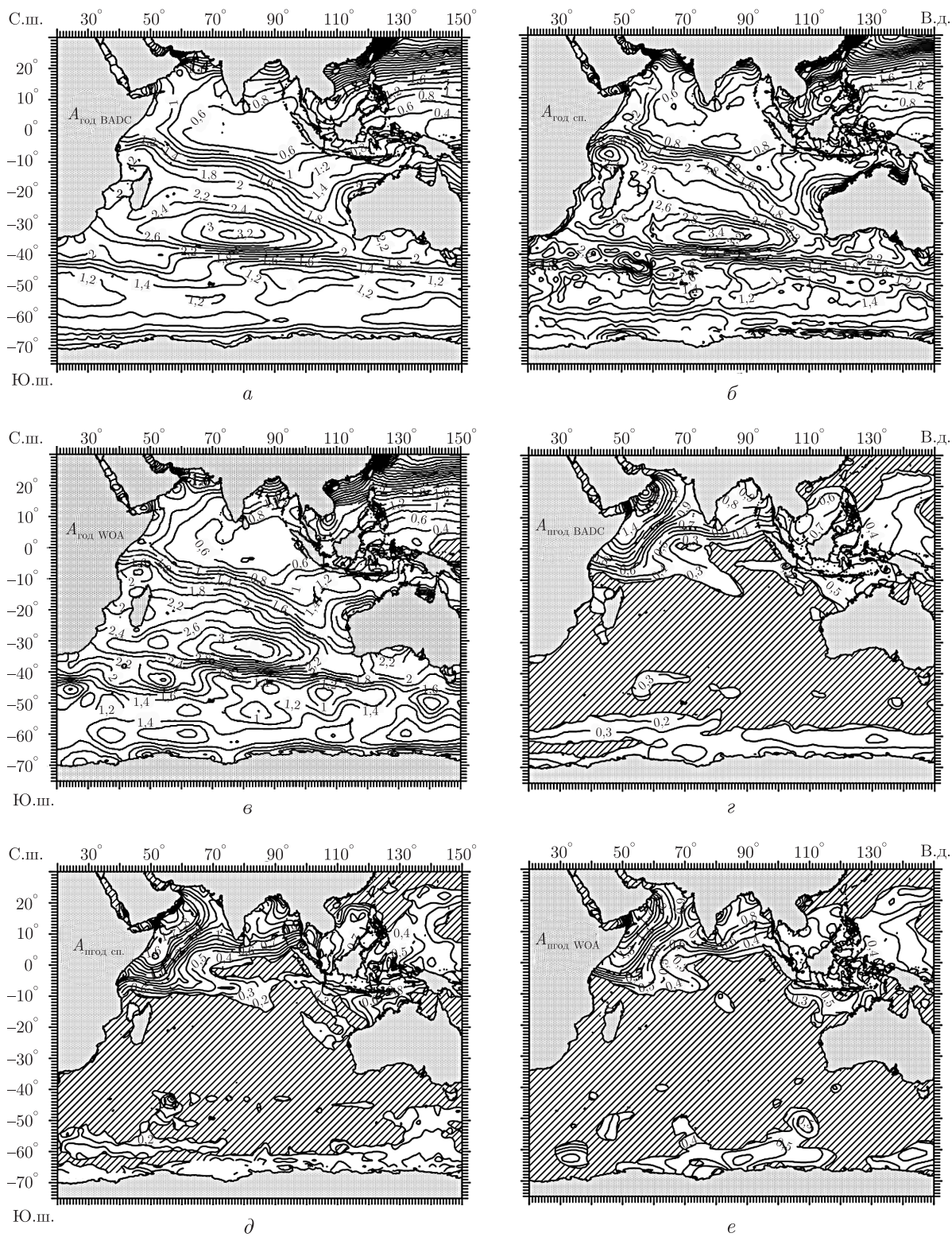


Рис. 3. Пространственное распределение амплитуд годовой (а–в) и полугодовой (г–е) гармоник поля ТПО ( $^{\circ}\text{C}$ ) по данным массива BADC (а, б), спутниковым измерениям (в, д) и базе WOA (в, е)

1. *Jacobs S. S., Georgy D. T.* Observations on the southwest Indian / Antarctic Ocean // A Voyage of Discovery. – Oxford: Pergamon press, 1977. – P. 43–84.
2. *Artamonov Yu. V.* The circulation and structure of water masses of the Arabian Sea based on synoptic surveys // The mesoscale structure of the epipelagic ecosystem of the open northern Arabian Sea / Ed. by K. Banse, S. Piontkovski. – Hyderabad: Univ. press (India), 2006. – P. 12–46.
3. *Reverdin G.* The upper equatorial Indian Ocean: the climatological seasonal cycle // *Phys. Oceanogr.* – 1987. – No 7. – P. 903–927.
4. *Park Y. H., Camberoni L., Charriaud E.* Frontal structure, water masses and circulation in the Crozet Basin // *J. Geophys. Res.* – 1993. – **98**. – P. 12.361–12.385.
5. *Канаев В. Ф., Нейман В. Г., Парин Н. В.* Индийский океан. Природа и ресурсы Мирового океана. – Москва: Мысль, 1975. – 284 с.
6. *Атлас термодинамических характеристик тропической зоны Индийского океана* / Под ред. В. В. Покудова. – Ленинград: Гидрометеиздат. – 1985. – 107 с.
7. *Levitus S., Boyer T.* World Ocean Atlas 1994. – Vol. 4: Temperature. – Washington: National Oceanographic Data Center, Ocean Climate Laboratory, 1994. – 120 p.
8. *WOCE-Observations 1990–1998*; a summary of the WOCE global data resource. CD-ROM Data Sets. – WOCE Report, No 179/02. – Southampton (UK).
9. *Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Франкиньюль М., Демль Б.* Исследование фронтов южной части Индийского океана с помощью спутниковых температурных данных // *Исследование Земли из космоса*. – 2002. – № 5. – С. 39–49.
10. *Костяной А. Г., Гинзбург А. И., Лебедев С. А. и др.* Фронты и мезомасштабная изменчивость в южной части Индийского океана по альтиметрическим данным *TOPEX/POSEIDON* и *ERS-2* // *Океанология*. – 2003. – **43**, № 5. – С. 671–682.
11. <http://badc.nerc.ac.uk/data/hadisst/>(British Atmospheric Data Centre HadISST SST). – 2003.
12. *Locarnini R. A., Mishonov A. V., Antonov J. I., Boyer T. P., Garcia H. E.* World Ocean Atlas 2005. – Volume 1: Temperature / Ed. by S. Levitus, NOAA Atlas NESDIS 61. – Washington: U. S. Government Printing Office, 2006. – 182 p.

*Морской гидрофизический институт  
НАН Украины, Севастополь*

*Поступило в редакцию 21.04.2009*

**E. A. Skripaleva**

### **Features of the sea surface temperature seasonal variability in the Indian Ocean on the basis of hydrological and satellite data**

*The spatial distributions of characteristics of the sea surface temperature (SST) seasonal variability in the Indian Ocean, calculated using three modern data set (British Atmospheric Data Centre HadISST SST, satellite data from archive AVHRR Ocean Pathfinder Data JPL NOAA/NASA, database World Ocean Atlas 2005), are compared. It is shown that the calculations executed by independent data equally reflect the SST structure and the variability, and the available distinctions on the most part of the researched water area by 1–2 orders are less than the annual signal amplitude. The regional features of SST seasonal variations are analyzed.*