

S.V. Lebedev

**МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ И УРОВНЯ ЮЖНОГО ОКЕАНА ПО
ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

S.V. Lebedev

**INTERANNUAL VARIABILITY IN THE SOUTHERN
OCEAN SURFACE TEMPERATURE BASED
ON REMOTE SENSING DATA**

Рассматривается влияние климатических параметров, таких, как атмосферное давление на уровне моря, температура воздуха на поверхности континента, толщина и площадь морского льда вокруг Антарктиды и ее ледникового панциря на гидрологический режимы Южного океана и, в первую очередь, на уровень поверхности океана и уровень океана.

The paper considers the influence of such climatic parameters as sea-level air pressure, air temperature on the continent's surface, thickness and area of the sea ice around Antarctica and its ice shield, on the hydrodynamic regimes of Southern Ocean and specifically on the sea-surface level and the sea level.

Как показали исследования последних лет, глобальные изменения климата в Антарктике нашли свои выражения в межгодовых трендах некоторых климатических параметров, таких, как атмосферное давление на уровне моря, температура воздуха на поверхности континента, толщина и площадь морского льда вокруг Антарктиды и ее ледового панциря. Эти изменения оказывают сильное влияние на гидрологический и гидродинамический режимы Южного океана и, в первую очередь, на температуру поверхности океана (ТПО) и уровень океана. Для изучения этих тенденций использовались данные ТПО на основе спутниковой MCSST (Multi-Channel Sea Surface Temperature) информации и данные об аномалиях уровня океана (АУО) по комбинированным данным альтиметрических измерений со спутников ERS-2, TOPEX/Poseidon, Jason-1, ENVISAT и GFO-1. Согласно полученным результатам, за период с 1982 по 2005 гг. в пределах 300–1000-километровой полосы к северу от побережья Антарктиды ТПО растет со скоростью $0,01 \pm 0,005$ °C/год, а для Южного Океана в целом имеет отрицательный тренд $-0,02 \pm 0,003$ °C/год. АУО (следовательно, и сам уровень) растет со средней скоростью $0,24 \pm 0,026$ см/год за период с 1993 по 2005 гг.

Однако в некоторых районах Южного океана (например, в районе Южно-Тихоокеанского поднятия) скорость понижения ТПО более высокая $-0,065 \pm 0,007$ °C/год, причем АУО имеет ярко выраженный отрицательный тренд $-0,21 \pm 0,05$ см/год.

Введение

Южный океан играет ключевую роль в климатической системе Земли. Поэтому все глобальные изменения в ней в первую очередь должны отражаться в метеорологическом, гидрологическом и гидродинамическом режимах этого региона.

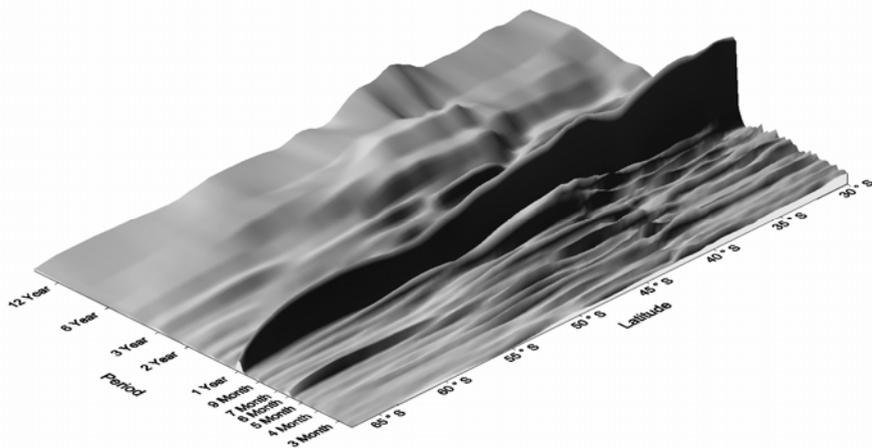
Согласно последним исследованиям, атмосферное давление на уровне моря, по данным NCEP-NCAR реанализа [Kalnay, 1996; Kistler, 2001], в районе параллели 65° ю.ш. падало со скоростью около $-0,166 \pm 0,039$ гПа/год в течение 1957–1998 гг. и $-0,177 \pm 0,062$ гПа/год за период с 1969 по 1998 г. Отрицательная тенденция со временем ослаблялась до $-0,123 \pm 0,221$ гПа/год для интервала времени с 1979 по 1993 гг. [Hines, 2000]. Эта отрицательная тенденция в Южном полушарии сохраняется и в изменениях толщины льда, и его площади. Так, по данным дистанционного зондирования [Comiso, 2004], скорость изменения этих параметров соответственно составила $-0,3 \pm 0,5$ % и $-0,2 \pm 0,6$ % в 10 лет за период с 1979 по 2003 гг. Аналогичную тенденцию имеет и температура воздуха у поверхности. За период с 1979 до 1998 гг. она падала со скоростью $-0,042 \pm 0,067$ °C/год [Comiso, 2000].

Все это говорит о том, что климатические условия в районе Южного океана с каждым годом изменяются в значительной степени. Некоторые из параметров, характеризующих метеорологический режим этого региона Мирового океана, имеют ярко выраженную отрицательную межгодовую изменчивость. Естественно, это отражается и на гидрологическом и гидродинамическом режимах Южного океана. Так, по данным ТПО изменяются положения Субантарктического и Полярного фронтов, являющиеся естественными границами Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) [Moore, 1999; Костяной, 2003; Лебедев, 2004; Kostianoy, 2004; Sirota, 2004, 2006]. Последнее обстоятельство играет ключевую роль в климатической системе Земли, в формировании водных масс Мирового океана и их переноса. Следовательно, это отражается как на положении самого АЦТ, так и на его интенсивности [Fu, 1984; Lebedev, 2006]. В проливе Дрейка и в районе острова Кергелен ось АЦТ смещается к югу со скоростью около $0,016$ град./год или $1,8$ км/год [Lebedev, 2006].

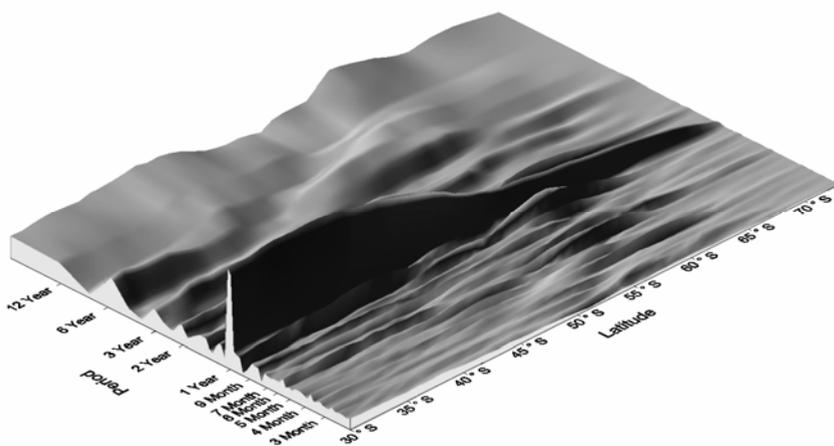
Очевидно, что указанные изменения имеют ярко выраженный характер в полях ТПО и АУО. Именно по этой причине так важно исследование пространственной неоднородности межгодовой изменчивости данных полей. Это стало возможным в последнее время с связи с развитием дистанционных методов зондирования поверхности океана с борта искусственных спутников Земли.

Используемые данные и методика

Для исследования межгодовой изменчивости ТПО использовались данные MCSST измерений радиометрами AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometers) со спутников NOAA-7, -10, -11 и -14 с пространственным разрешением по широте и долоте $1/6^\circ$ (примерно 18 км) и временным осреднением одна неделя [AVHRR Weekly Global..., 1998]. Точность измерения ТПО составляет $0,3^\circ\text{C}$ [McClain, 1985].



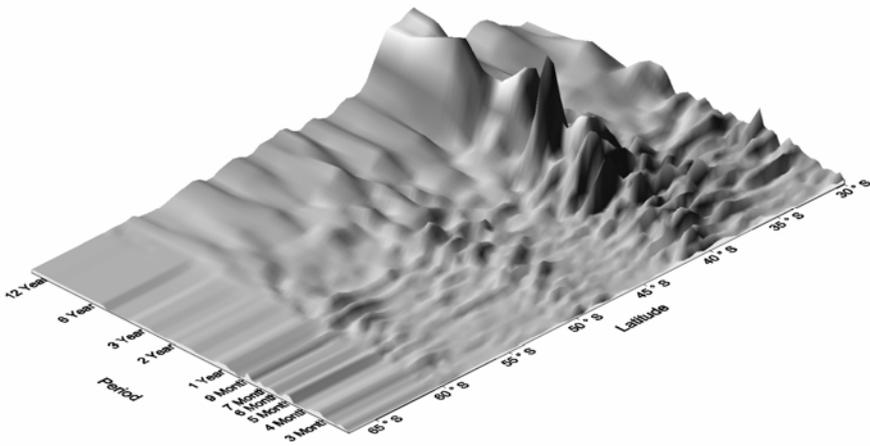
(a)



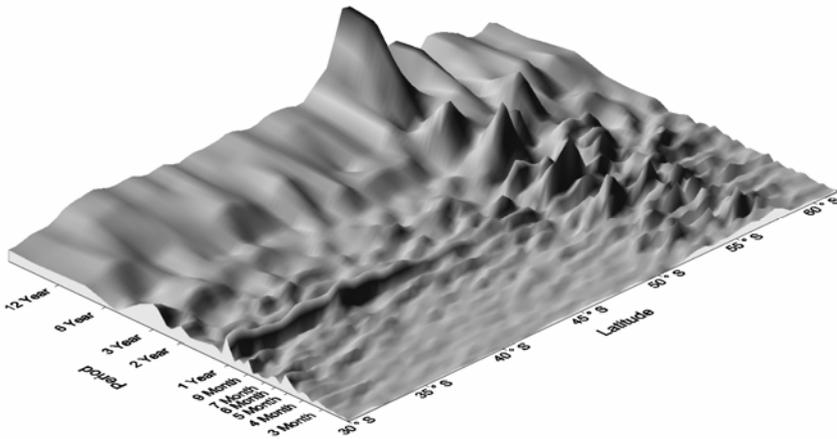
(б)

Рис. 1. Спектральная плотность ТПО вдоль меридионального разреза: (а) – 45°в.д. в индийском секторе и (б) – 140°з.д. в тихоокеанском секторе Южного океана

На основании этих данных строились среднемесячные поля ТПО с пространственным разрешением $1/2^\circ \times 1/2^\circ$. Для учета влияния Антарктической циркумполярной волны (АЦВ) проводился анализ временной изменчивости ТПО и ее спектральной плотности в каждой точке расчетной сетки и вдоль каждого меридиана (рис. 1). По данным [White, 1996] период АЦВ составляет от 3 до 6 лет, поэтому временной интервал для работы брался равным 24 года с 1982 по 2005 год. За это время анализ спектральной плотности ТПО показал, что максимальное значение соответствует годовой составляющей (рис. 1), поэтому влияние АЦВ на расчет межгодового тренда ТПО будет несущественным.



(а)



(б)

Рис. 2. Спектральная плотность АУО вдоль меридионального разреза: (а) – 45° в.д. в индийском секторе и (б) – 140° з.д. в тихоокеанском секторе Южного океана

Для анализа межгодовой изменчивости АУО использовались комбинированные данные альтиметрических измерений со спутников ERS-2, TOPEX / Poseidon, Jason-1, ENVISAT и GFO-1, созданные в рамках проектов Еврокомиссии по исследованию климата (ENACT – EVK2-CT2001-00117, AGORA – ENV4-CT956-0113 и DUACS – ENV44-T96-0357) [Le Traon, 1998, 2001; SSALTO/DVACS User Handbook, 2001]. Эти данные имеют пространственное разрешение $1/3^\circ$ в меркаторовской проекции, временное осреднение – одна неделя с точностью расчета АУО – 4,2 см [Fu, 1994; Chelton, 2001].

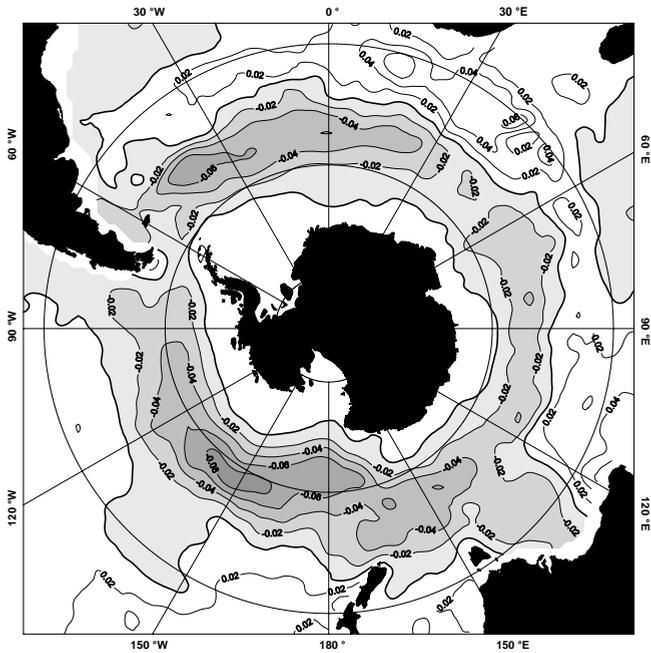
На основании этих данных строились среднемесячные поля АУО с пространственным разрешением $1/2^\circ \times 1/2^\circ$ для временного интервала с 1993 по 2005 г. Так же как и для ТПО, проводился анализ временной изменчивости АУО и спектральной плотности в каждой точке расчетной сетки и вдоль каждого меридиана (рис. 2). В спектральной плотности АУО помимо годовой составляющей четко выделяются составляющие с периодом 2–3 года и 5–6 месяцев. Изменчивость спектральной плотности АУО вдоль каждого меридионального разреза четко показывает положение АЦТ (рис. 2).

Межгодовые или климатические тренды ТПО и АУО рассчитывались как коэффициенты линейной регрессии в каждой точке сеточной области с пространственным разрешением $1/2^\circ \times 1/2^\circ$. Результаты этих расчетов представлены на рис. 3.

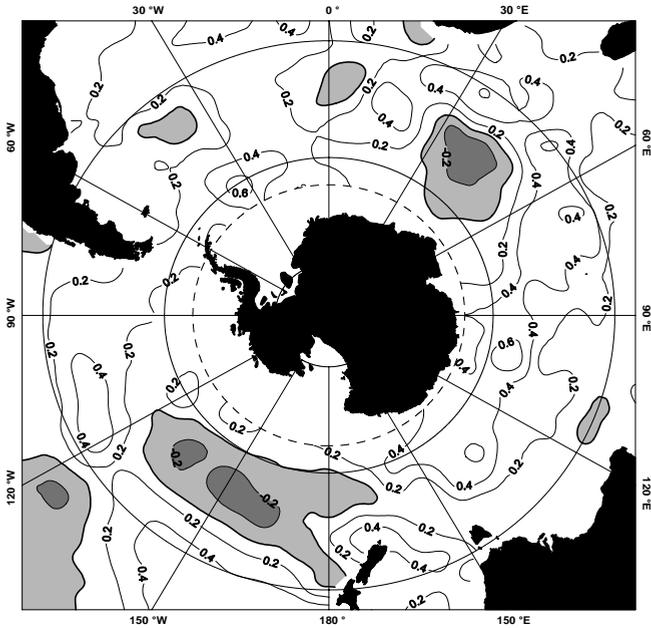
Анализ полученных результатов

Согласно полученным результатам (рис. 3, а), за период с 1982 по 2005 г. в пределах 300–1000-километровой полосы к северу от побережья Антарктиды ТПО растет со скоростью $0,01 \pm 0,005$ °C/год. Судя по всему, именно это и является причиной изменения толщины льда и его площади в этом районе. Для Южного океана в целом ТПО имеет отрицательный тренд $-0,02 \pm 0,003$ °C/год. Однако в районах Южно-Тихоокеанского поднятия и восточной части Южно-Атлантического хребта скорость падения ТПО более высокая и составляет более $-0,065 \pm 0,007$ °C/год.

Уровень океана или АУО в целом для Южного океана имеет положительную межгодовую тенденцию роста со средней скоростью около $0,24 \pm 0,026$ см/год за период с 1993 по 2005 г. В районе Южно-Тихоокеанского поднятия АУО падает со скоростью $-0,21 \pm 0,05$ см/год. Отрицательная тенденция межгодовой изменчивости уровня океана наблюдается также и в районах северо-восточной части Аргентинской котловины, юго-восточной части Капской котловины (на стыке с котловиной Агульяс) и в центральной части Южно-Австралийской котловины наблюдается падение АУО со скоростью более чем $0,11 \pm 0,03$ см/год. В восточной части Африканско-Атлантической котловины уровень океана также падает, только с более высокой скоростью – $0,19 \pm 0,07$ см/год.



a



b

Рис. 3. Карта скорости межгодовой изменчивости: *a* – ТПО (°С/год) и *b* – АУО (см/год).

Нулевая изолиния выделена жирной линией.

Область отрицательных скоростей закрашена в оттенки серого.

Литература

1. Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А., Франкиньоль М., Делль Б. Фронты и мезомасштабная изменчивость в южной части Индийского океана по альтиметрическим данным TOPEX/Poseidon и ERS-2. // *Океанология*, 2003, т. 43, № 5, с. 632–642.
2. Лебедев С.А., Сирота А.М. Применение данных спутниковой альтиметрии в промыслово-океанологических исследованиях юго-восточной части Тихого океана. // *Вопросы рыболовства*, 2004, т. 5, № 19, с. 482–488.
3. AVHRR Weekly Global Gridded MCSST. 1998. http://podaac.jpl.nasa.gov:2031/DATASET_DOCS/avhrr_wkly_mcsst.html.
4. Chelton D.B., Ries J.C., Haines B.J., Fu L.-L., Callahan P.S. Satellite Altimetry. // In: *Satellite Altimetry and Earth Sciences. A Handbook of Techniques and Applications.* (Eds. L.-L. Fu and A. Cazenave). Academic Press, 2001, p. 1–131.
5. Comiso J.C. The Polar Ice Cover – How It Is Changing. // *Gayana*, 2004, vol. 68, № 2, part 2, p. 123–129.
6. Comiso J.C., Variability and Trends in Antarctic Surface Temperatures from In Situ and Satellite Infrared Measurements. // *J. Climate*, 2000, vol. 13, p. 1674–1696.
7. Fu L.-L. and Chelton D.B. Temporal variability of the Antarctic Circumpolar Current observed from satellite altimetry. // *Science*, 1984, vol. 226, p. 343–346.
8. Fu L.-L., Pihos G. Determining the response of sea level to atmospheric pressure forcing using TOPEX/Poseidon data. // *J. Geophys. Res.* 1994; vol. 99, № C12, p. 24633–24642.
9. Hines K.M., Bromwich D.H. and Marshall G.J. Artificial Surface Pressure Trends in the NCEP-NCAR Reanalysis over the Southern Ocean and Antarctica // *J. Climate*. 2000, vol. 13, p. 3940–3952.
10. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, vol. 77, № 3, p. 437–471.
11. Kistler R., Kalnay E., Collins W., et al. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CDROM and Documentation. // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2001, vol. 82, № 2, p. 247–267.
12. Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Lebedev S.A., Frankignoulle M., Delille B. Oceanic fronts in the southern Indian Ocean as inferred from the NOAA SST, TOPEX/Poseidon and ERS-2 altimetry data. // *Gayana*. 2004. vol. 68. № 2, part 2, p. 333–339.
13. Lebedev S. Inertannual and Seasonal Variation of Axis Position and Intensity of the Antarctic Circumpolar Current by Satellite Altimetry. // *15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium.* Venice. Lido. Italy. 13–18 March. 2006. Abstract Book, p. 60.
14. Le Traon P.Y., Nadal F., Ducet N. An improved mapping method of multi-satellite altimeter data. // *J. Atm. Ocean. Tech.*, 1998, № 15, p. 522–534.
15. Le Traon P.Y., Dibarboure G., Ducet N. Use of a high resolution model to analyze the mapping capabilities of multiple altimeter missions. // *J. Atm. Ocean. Tech*, 2001, № 18, p. 1277–1288.
16. McClain E.P., Pichel W.G., Walton C.C. Comparative Performance of AVHRR-Based Multichannel Sea Surface Temperatures. // *J. Geophys. Res.*, 1985, vol. 90, p. 11587–11601.
17. Moore J.K., Abbott M.R., Richman J.G. Location and dynamics of the Antarctic Polar Front from satellite sea surface temperature data. // *J. Geophys. Res.*, 1999, vol. 104, № C2, p. 3059–3073.
18. Sirota A.M., Lebedev S.A., Kostianoy A.G. Oceanic currents in the southeastern Pacific Ocean as revealed by satellite altimetry data. // *Gayana*, 2004, vol. 68, № 2, part 2, p. 539–542.
19. Sirota A., Lebedev S. Investigation of the oceanic currents and fronts in the Southeastern Pacific Ocean using satellite altimetry data. // *15 Years of Progress in Radar Altimetry Symposium.* Venice. Lido. Italy. 13–18 March. 2006. Abstract Book. P. 50.
20. SSALTO/DUACS User Handbook. CLS. AVI-NT-011-312-CN. CNES. Toulouse. 2001. 31 p.
21. White W.B., Peterson R.G. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. // *Nature*, 1996, vol. 380, p. 699–702.