

# ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБТРОПИЧЕСКОЙ АТЛАНТИКИ ПО ДАННЫМ WODB И ORA-S3

**С.Б. Крашенинникова, П.А. Сухонос**

Морской гидрофизический институт  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: svetlanabk@mail.ru,  
pasukhonis@mail.ru

*Произведено сравнение вертикальных профилей, полей и долговременных тенденций изменения температуры в северо-западной части Северного субтропического антициклонического круговорота, по данным контактных наблюдений Мирового банка океанографических данных (WODB) и океанического реанализа ORA-S3 за 1959 – 2010 гг. Температура в верхнем 2000-метровом слое океана качественно согласуется по двум массивам данных. Выделенные линейные тренды среднегодовой температуры статистически значимы и в слое 0 – 1000 м – положительные, в слое 1000 – 2000 м – отрицательные.*

**Введение.** Исследование термической структуры и ее изменчивости в Северной Атлантике является важной климатической задачей. Для ее решения, необходимо иметь достоверную информацию об изменчивости температуры океана в термоклине. Подходящими для этой задачи являются данные о температуре Мирового океанографического банка (WODB) и океанического реанализа ORA-S3, методическое сравнение которых на разных горизонтах в слое термоклина в Субтропической Атлантике ранее не проводилось. Этому посвящена настоящая работа.

**Методика и материалы.** Для расчета среднегодовой температуры использовались среднесуточные данные контактных наблюдений (CTD, OSD, XBT, MBT) температуры WODB за 1959 – 2010 гг. [1]. В работе использовались два 10-тиградусных квадрата Марсдена (квадраты 7404 и 7304), приведенные к стандартным горизонтам, наиболее обеспеченные по пространству и времени данными наблюдений. Они охватывают северо-западную часть Северного субтропического антициклонического кругово-

рота (ССАК). Здесь Гольфстрим соединяется с Северо-Атлантическим течением и вместе они образуют Северный субтропический фронт. При первичной обработке данные температуры поверхности осреднялись в 1° узлы сетки. Однако из-за сильной зашумленности рядов и плохой обеспеченности их по времени, для дальнейшего сравнения полей температуры поверхности океана осреднение по пространству производилось по более крупной сетке 2°×2°.

Для сравнения полей температуры, полученных по данным контактных наблюдений из WODB и по данным реанализа, использовались среднемесячные данные температуры океанического реанализа ORA-S3 Европейского Центра Среднесрочных Прогнозов Погоды (ECMWF) за период 1959 – 2010 гг. [2]. Пространственное разрешение данных составляет 1° × 1°.

Среднемноголетние вертикальные профили температуры строились путем осреднения исходных среднемесячных температур в двух квадратах Марсдена (32 – 50° с.ш., 30 – 48° з.д.) за весь период наблюдений 1959 – 2010 гг. по 26 (данные WODB) и 23 (данные ORA-S3) горизонтам. Дискретность исходных данных составляет ~ 10 метров в верхнем 0 – 100 м слое, ~ 100 м в слое 100 – 1000 м и ~ 500 м в слое 1000 – 2000 м. Далее, усредняя исходные данные температуры в каждом узле сетки за 1959 – 2010 гг., строились среднемноголетние поля температуры и поля её среднеквадратичного отклонения (СКО) на горизонтах 0; 100; 500; 1000; 2000 м. Для определения долговременных тенденций изменения температуры в 2000-метровом слое были получены временные ряды среднегодовой температуры на 5 горизонтах в северо-западной части ССАК. Эти временные ряды подвергались стандартному статистическому анализу. Далее по ним рассчитывались линейные тренды, и производилась оценка их значимости.

**Результаты.** На рис. 1 представлены среднемноголетние профили температуры в северо-западной части ССАК, полученные по данным WODB и океанического реанализа ORA-S3 за 1959 – 2010 гг. На двух профилях выделяется

характерная особенность на глубине 120 – 125 м, здесь наблюдается наибольшее различие (~1 °C) между ними. Вертикальные профили температуры хорошо коррелируют между собой в 2000-метровом слое. Коэффициент корреляции между ними равен 0.9. Полученные среднемноголетние профили температуры в северо-западной части ССАК хорошо согласуются с результатами работы [3].

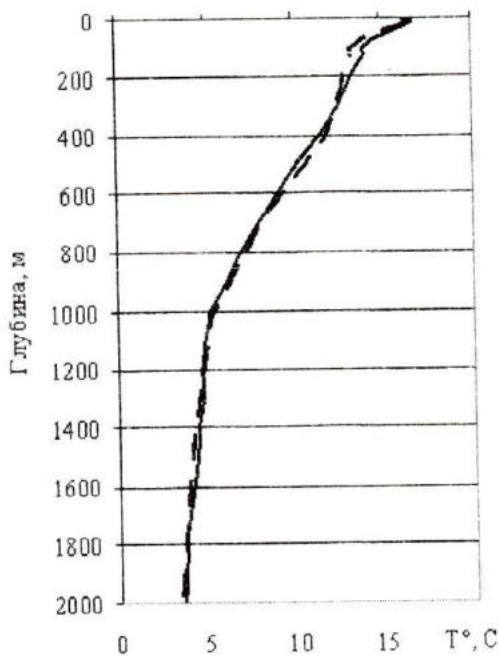


Рис. 1. Среднемноголетние профили температуры в северо-западной части ССАК (30–48° с.ш. 42–50° з.д.) за 1959 – 2010 гг. Жирная кривая – по данным WODB, пунктирная кривая – по данным реанализа ORA-S3

Таким образом, вертикальная структура температуры в северо-западной части ССАК по данным контактных наблюдений и по данным океанического реанализа согласуется между собой, поэтому можно перейти к сравнению полей температуры на горизонтах.

Среднемноголетние поля температуры в северо-западной части ССАК, полученные по данным WODB и данным реанализа ORA-S3 за 1959 – 2010 гг., представлены на рис. 2.

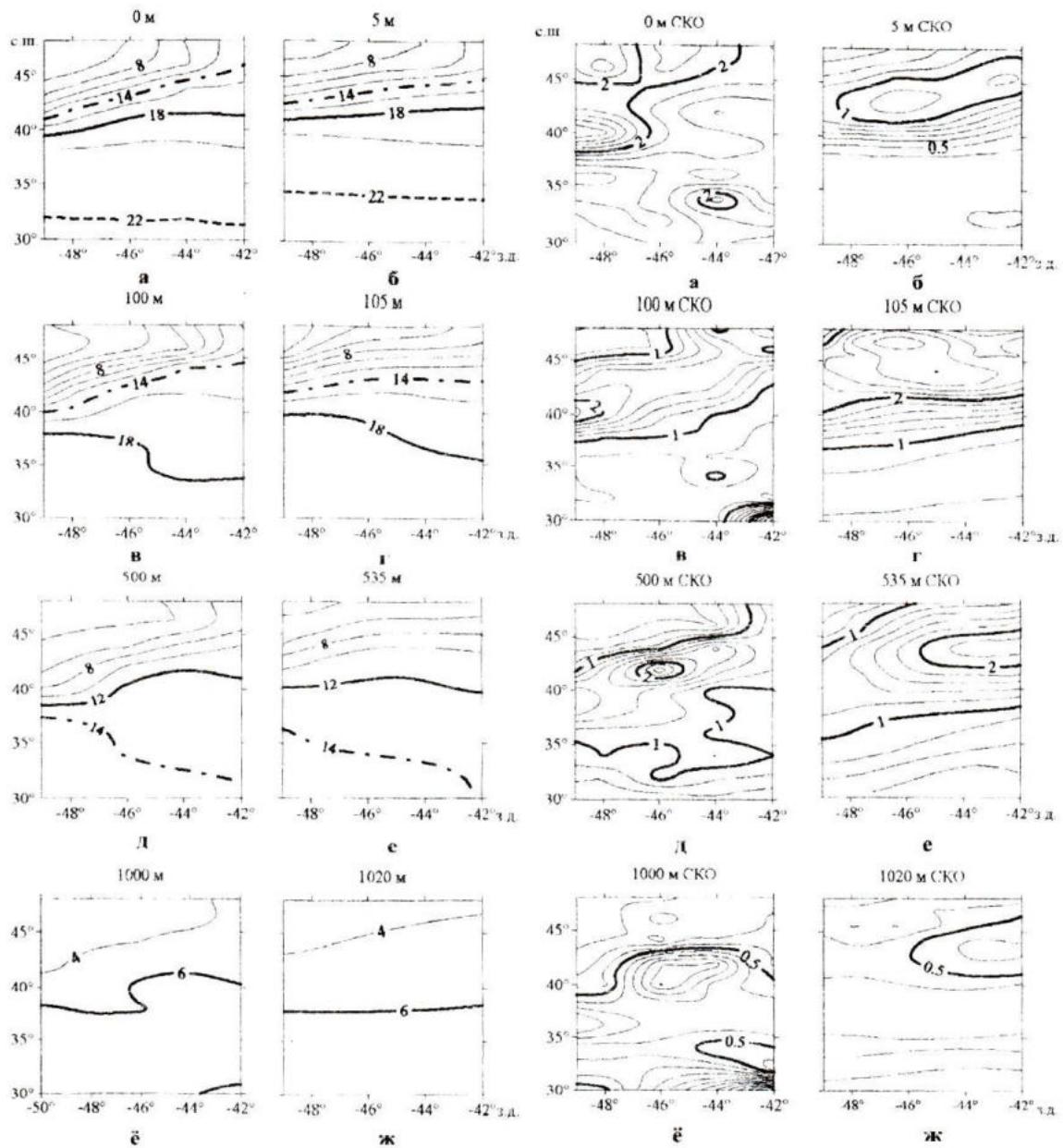
Из сравнения полей температуры на горизонтах 0; 100; 500; 1000 м видно, что они неплохо согласуются между собой. Вместе с тем выделяются некоторые

отличия. На поверхности океана наблюдается несколько завышенное положение 22-х градусной изотермы по данным реанализа ORA-S3. На глубине 100 м 18-ти градусная изотерма по данным контактных наблюдений к востоку от 45° з.д. находится ниже 35° с.ш., в то время как по данным реанализа среднемноголетнее положение 18-ти градусной изотермы в рассматриваемых квадратах Марсдена не опускается ниже 35° с.ш. На горизонте 1000 м начинают появляться некоторые отличия в температурных полях, которые, возможно, связаны с более сильным сглаживанием данных реанализа ORA-S3.

Поля СКО температуры на разных горизонтах, представлены на рис. 3. В исследуемых квадратах Марсдена изменчивость поверхностной температуры по данным WODB находится в диапазоне 1,5 – 3,1 °C (рис. 3 а). В то время как по данным реанализа ORA-S3 за весь исследуемый период изменчивость ТПО составляет 0,3 – 1,1 °C (рис. 3 б). Величины СКО, полученные по данным WODB ~ в 2,5 раза больше, чем по данным ORA-S3. Вместе с тем отмечается качественное совпадение структуры полей СКО по двум типам данных. На рис. 3 а и рис. 3 б выделяются максимумы изменчивости ТПО в районе 42° с.ш. и 33° с.ш. Однако их положения несколько смешены по долготе. Качественно поля СКО полученные на горизонтах 100 – 1000 м (рис. 3 в-ж) согласуются между собой, однако некоторые особенности, которые встречаются в полях СКО, полученных по данным WODB не выделяются на полях СКО по данным океанического реанализа.

Такие расхождения в характеристиках могут быть связаны с выбором различных масштабов пространственно-временного осреднения данных температуры [4].

Таким образом, несмотря на более высокое значение СКО температуры для данных контактных наблюдений, по сравнению с данными реанализа, наблюдается совпадение областей повышенной изменчивости температуры на всех горизонтах.



Р и с. 2. Среднемноголетние поля температуры в северо-западной части ССАК за 1959 – 2010 гг. на 4-х горизонтах: 0; 100; 500; 1000 м, полученные по данным *WODB* (а, в, д, е) и по данным *ORA-S3* (б, г, е, ж). Изолинии проведены через 2 °C

Временные ряды среднегодовых температур, полученные по данным *WODB* и реанализа *ORA-S3*, осредненные в области 42 – 50° з.д. 30 – 48° с.ш. северо-западной части ССАК и их линейные тренды за период 1959 – 2010 гг., представлены на рис. 4 а и б. Величина коэффициента детерминации, отражает высокую достоверность аппроксимации временных рядов линейным трендом.

Р и с. 3. Среднеквадратичные отклонения полей температуры в северо-западной части ССАК за 1959 – 2010 гг. на 4-х горизонтах: 0; 100; 500; 1000 м, полученные по данным *WODB* (а, в, д, е) и данным *ORA-S3* (б, г, е, ж). Изолинии СКО проведены через 0,2 °C

Из сравнения рис. 4 а и 4 б видно, что в отдельные годы наблюдается хорошее совпадение температуры по двум типам данных. Рассчитанная дисперсия временных рядов среднегодовых температур на рассматриваемых горизонтах по данным контактных наблюдений в среднем превышает почти в 2,5 раза соответствующую дисперсию рядов по данным океанического реанализа.

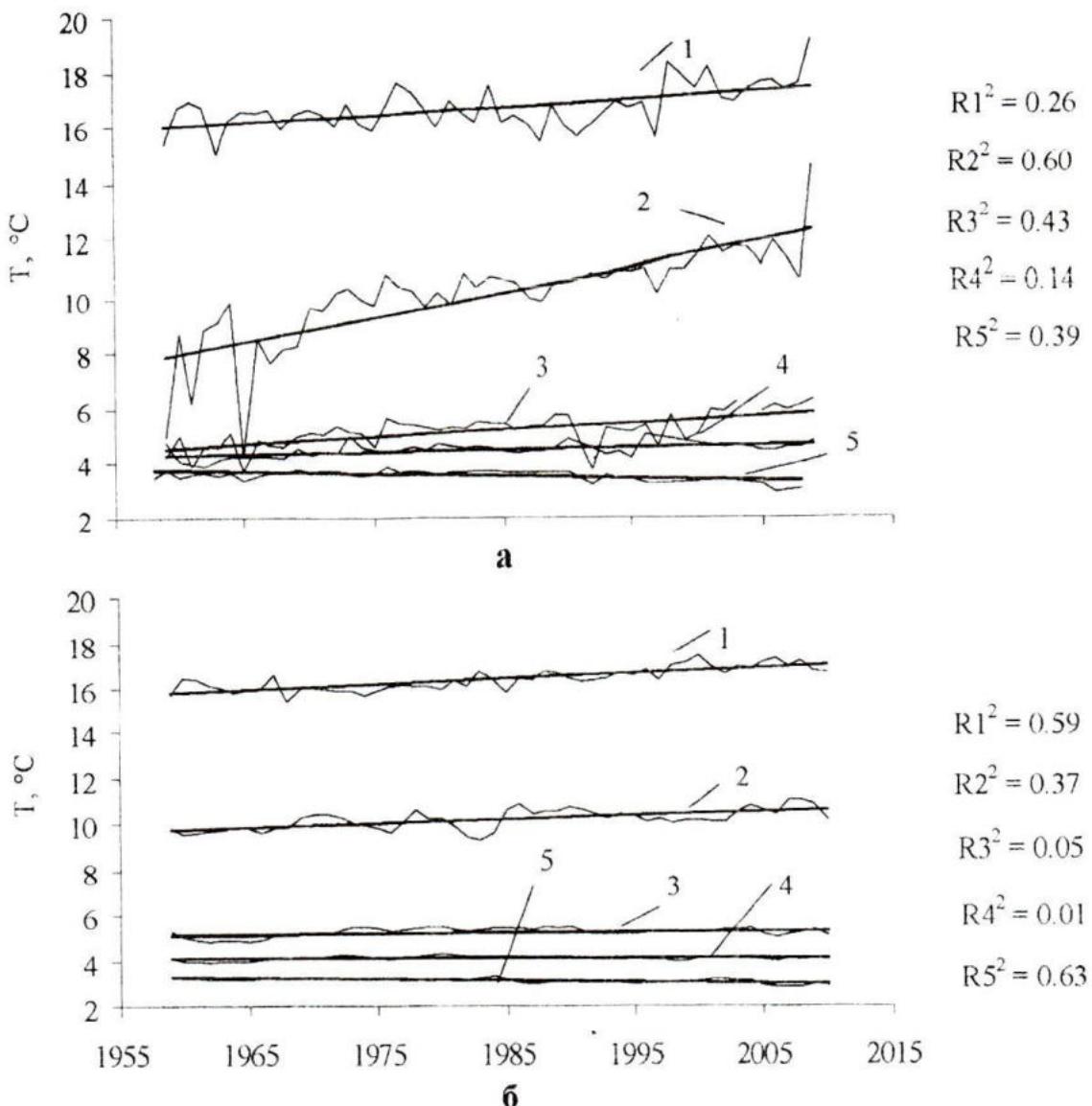


Рис. 4. Межгодовая изменчивость температуры в северо-западной части ССАК ( $30 - 48^\circ$  с.ш.  $42 - 50^\circ$  з.д по данным WODB (а) и ORA-S3 (б). Тонкая кривая – межгодовые флуктуации температуры на 4-х горизонтах: 1 – 0 м, 2 – 500 м, 3 – 1000 м, 4 – 1500 м, 5 – 2000 м. Жирные линии – линейные тренды за 1959 – 2010 гг.  $R1^2, R2^2, R3^2, R4^2, R5^2$  – коэффициенты детерминации

Корреляционный анализ показал наличие прямой связи между рядами среднегодовой температуры на горизонтах 0, 500, 1000, 1500, 2000 м океана по двум типам данных (WODB и ORA-S3), значимой на 99% доверительном уровне. Значение коэффициента корреляции между ними составляет 0,5 – 0,6.

Анализ линейных трендов показал, что в исследуемой области обнаруживаются положительные тенденции в изменчивости температуры океана в слое 0 – 1000 м. Максимальный рост температуры отмечен на глубинах 500 – 1000 м. В слое 1000 –

2000 м отмечается уменьшение температуры за период 1959 – 2010 гг. Выделенные тренды являются статистически значимыми на 95% доверительном уровне.

Таким образом, одинаковые линейные тенденции в изменчивости температуры термоклина в исследуемой области выделяются как по данным контактных наблюдений, так и по данным реанализа ORA-S3.

Выделенные положительные тренды в изменчивости температуры океана в слое 0 – 1000 м согласуются с результатами многочисленных работ [4, 5]. Уменьшение температуры в промежуточном слое 1000 – 2000 м

может быть обусловлено увеличением притока Лабрадорской промежуточной воды в исследуемый период [6]. Однако в работе [7] получены противоположные результаты: тренды температуры океана за период 1951 – 1981 гг. в верхнем ~1000 м слое – отрицательные, а на глубинах ниже 1000 м – положительные. Это связано с тем, что температура океана носит квазипериодический характер изменчивости [8]. Кроме того, разница линейных тенденций, полученных в настоящей работе и работе [7], может быть обусловлена особенностями структуры поля температуры на границе фронтальных зон. Так на основе анализа архивных данных температуры за период 1950 – 1990 гг. на горизонте 125 м в работе [9] выявлены противоположные тенденции изменения температуры: отрицательная – в северном субполярном круговороте и положительная – в ССАК.

Таким образом, выделенные долговременные тренды температуры в верхнем 2000-метровом слое в северо-западной части ССАК скорее, являются следствием квазипериодической изменчивости, с периодом, несколько превышающим длину анализируемого ряда, связанной с Атлантической мультидекадной осцилляцией [10].

**Заключение.** Среднемноголетние профили, поля температуры в термоклине в северо-западной части ССАК, полученные по данным *WODB* и реанализа *ORA-S3* за 1959 – 2010 гг. хорошо совпадают между собой.

Величины СКО температуры на рассматриваемых горизонтах, полученные по данным *WODB* в среднем в 2 – 2,5 раза больше, чем по данным *ORA-S3*.

Временные ряды межгодовых колебаний температуры, полученные по двум типам данных хорошо согласуются между собой на всех горизонтах, с коэффициентами корреляции 0,5 – 0,6.

Выделенные значимые линейные тренды в изменчивости температуры по данным *WODB* и реанализа *ORA-S3* в верхнем 1000 м слое – положительные, а на горизонтах 1000 – 2000 м – отрицательные.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.nodc.noaa.gov/oc5/wod05/data05geo.html>
2. *Balmaseda M.A., Vidard A., Anderson D.L.T.* The ECMWF Ocean Analysis System: ORA-S3 // Month. Weath. Rev. – 2007. – 136. – P. 3018 – 3034.
3. *Emery W.J., Dewar J.S.* Mean temperature-salinity, salinity-depth and temperature-depth curves for the North Atlantic and the North Pacific // Progress in Oceanogr. – 1982. – 11, №. 3. – P. 219 – 305.
4. *Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P. et al.* Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems // Geophys. Res. Lett. – 2009. – 36, №. 7. – DOI: 10.1029/2008GL037155.
5. *Large W.G., Yeager S.G.* On the Observed Trends and Changes in Global Sea Surface Temperature and Air–Sea Heat Fluxes (1984–2006) // J. of Clim. – 2012. – 25, № 18. – P. 6123 – 6135.
6. *Curry R., Dickson B., Yashayaev I.* A change in the freshwater balance of the Atlantic Ocean over the past four decades // Nature – 2003. – 426, № 6968. – P. 826 – 829.
7. *Antonov J.I.* Linear trends of temperature at intermediate and deep layers of the North Atlantic and the North Pacific Oceans: 1957 – 1981 // J. of Clim. – 1993. – 6, №. 10. – P. 1928 – 1942.
8. *Анисов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б. и др.* Междекадная изменчивость термической структуры вод Северной Атлантики и ее климатическая значимость // Доклады Академии наук. – Академиздат-центр "Наука" РАН – 2012. – 443, №. 3. – С. 372 – 376.
9. *Levitus S., Antonov J.I., Boyer T.P.* Interannual variability of temperature at a depth of 125 meters in the North Atlantic Ocean // Science. – 1994. – 266, №. 5182. – P. 96 – 99.
10. *Полонский А.Б.* Атлантическая мультидекадная осцилляция и ее проявления в Атлантико-Европейском регионе // Морской гидрофизический журнал. – 2008. – №. 4. – С. 47 – 58.