

**АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ПОВЕРХНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ  
ПО СРЕДНЕМЕСЯЧНЫМ ДАННЫМ  
СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
1986 - 2002 гг.**

**М.В. Бабий, А.Е. Букатов,  
С.В. Станичный**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net*

*Оценены межгодовые тренды среднемесячной температуры поверхности моря, осредненной по всей площади моря. Показано, что для всех месяцев года тренды положительны. Отмечена высокая коррелированность межгодовой изменчивости майской и ноябрьской температур – коэффициент корреляции 0,9.*

В последнее время проблема глобального потепления климата широко обсуждается в литературе [1]. В связи с этим представляет интерес исследовать изменение температуры в таком почти изолированном от океана водном бассейне, как Черное море. Многолетние временные ряды температуры поверхности моря (ТПМ) на прибрежных станциях не дают однозначного ответа на этот вопрос из-за влияния вариаций речных стоков и явлений сноса и нагона.

Спутниковые наблюдения ТПМ последних лет, полученные на сетке с равномерным шагом по пространству и суточным интервалом по времени, позволили сделать оценку временного тренда среднегодовой ТПМ Черного моря [2,3]. В настоящей статье даются оценки межгодовых трендов среднемесячных ТПМ Черного моря.

В данной работе использованы среднемесячные значения ТПМ для Черного моря на сетке с шагом по пространству 18 км, взятые из архива PODAAC JPL AVHRR Pathfinder Data [4]. Значения температуры Т в архиве даны с погрешностью 0,01°C. Были взяты данные Т для ночного времени наблюдений. Измерения Т проводились радиометрами высокого разрешения на орбитальных спутниках NOAA-7, -9, -11 и -14. Анализ данных архива показал, что количество узлов сетки измерений Т по Черному морю немного менялось от года к году из-за разного количества узлов сетки в прибреж-

ной зоне. Поэтому для исследований были выбраны 1403 узла сетки одни и те же для всего периода наблюдений (1986-2002 гг.). По техническим причинам на спутниках измерения Т в декабре 1994 г. искажены большими ошибками. Поэтому при изучении межгодовой изменчивости Т в целях получения непрерывности временного ряда Т данные для декабря 1994 г. во всех узлах сетки измерений были заменены полусуммой значений Т для ноября 1994 и января 1995 гг.

Расчет временных трендов Т проводился по среднемесячным значениям ТПМ, осредненным по всему морю, т.е. по всем 1403 квадратам наблюдений. Заметим, что из-за облачного покрова в некоторые месяцы не удалось получить оценок ТПМ на обширных областях моря, однако они составляли не более 20% площади моря. В результате после осреднения ТПМ по площади моря был получен ряд из 204 значений Т, из которого были выделены 12 рядов по 17 значений Т для каждого месяца за весь период наблюдений.

По этим рядам были рассчитаны методом наименьших квадратов параметры линейных временных трендов среднемесячных и среднегодовой Т, которые приведены в таблице. Формула зависимости Т от времени для месяца «м» имеет вид:

$$T_m = T_{m1990} + K_m(n-1990) \pm \sigma_m,$$

где  $K$  – величина линейного тренда,  $n$  – номер года,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение приближения от измеренных значений температуры. Для среднегодовой Т формула аналогична. Последний столбец таблицы показывает величину повышения Т за весь период наблюдений. Наибольшее повышение Т характерно для мая и ноября (на 1,9°C и 1,7°C). Наименьшее – для Т января, декабря и июня (0,8°C и 0,9°C). В последней строке таблицы показано, что за 17 лет с 1986 по 2002 г. среднегодовая Т повысилась на ~1,5°C.

На рис.1 в полярных координатах отмечены кружками величины К линейных трендов среднемесячных Т (см. табл.). Анализ показывает, что в месяцы солнцестояний (июнь и декабрь) значения К в два раза ниже, чем в марте (весеннее равноденствие). Возможно, это связано с положением Земли в декабре и июне в перигее и апогее земной орбиты соответственно. В мае и ноябре величины К максимальны.

На рис.2 представлены межгодовые вариации среднемесячных температур. Линии обозначены первыми буквами названий соответствующих месяцев. Видно, что минимальные значения  $T$ , наблюдающиеся в феврале и марте, возрастают с годами с такими же  $K$ , что и среднегодовая  $T$  (см. табл.). Отметим, что межгодовые вариации  $T$  мая и ноября высоко коррелированы с коэффициентом 0,9. Так что, если  $T$  мая понизилась по сравнению с  $T$  мая предыдущего года, то следует ожидать понижения ноябряской  $T$  относительно  $T$  ноября предыдущего года. И наоборот, если  $T$  мая повысилась по сравнению с  $T$  мая предыдущего года, то следует ожидать повышения ноябряской  $T$  относительно  $T$  ноября предыдущего года. Линейные тренды  $T$  этих месяцев максимальны (см. рис.1).

Таблица – Параметры временных трендов  $T$

Месяц	$K$ , °C/год	$T_{1990}$ , °C	$\sigma$ , °C	$T_{2002} - T_{1986}$ , °C
Январь	0,05	7,89	0,80	0,83
Февраль	0,10	6,68	0,48	1,53
Март	0,10	6,84	0,61	1,64
Апрель	0,09	8,78	0,75	1,51
Май	0,12	13,25	1,04	1,91
Июнь	0,06	19,79	1,08	0,95
Июль	0,09	23,36	0,88	1,43
Август	0,08	24,29	0,73	1,28
Сентябрь	0,06	21,41	0,96	0,94
Октябрь	0,10	17,98	1,25	1,55
Ноябрь	0,11	13,40	1,14	1,72
Декабрь	0,06	9,93	1,23	0,91
Годовая	0,09	14,36	0,36	1,45

Для сопоставления межгодовой изменчивости среднегодовых ТПМ в отдельных ячейках сетки с межгодовой изменчивостью среднегодовой  $T$ , осредненной по всему морю, временные ряды среднемесячных  $T$  (204 измерения в каждой из трех ячеек сетки) были подвергнуты операции скользящего среднего по 12 месяцам. На рис.3 приведены результаты этой операции для трех ячеек сетки Черного моря, положение которых показано на врезке в левом верхнем углу. Номера кривых 1,2,3 соответствуют номерам ячеек на врезке. Сравнение этих кривых позволяет сделать заключение о почти

одинаковом их поведении. Только кривая 3, соответствующая расположению ячейки 3 в восточной части Черного моря, отражая принадлежность ячейки к самой теплой области моря, сдвинута в сторону более высоких температур на  $\sim 1,5$  °C. Однако и она в деталях повторяет поведение кривых в ячейках 1 и 2 западной и центральной частей моря. Жирная кривая 4 представляет изменчивость среднегодовой  $T$ , осредненной по всей площади моря. Как видим, поведение кривых 1-3 отслеживает поведение кривой 4, что свидетельствует о достоверности полученной оценки потепления поверхности Черного моря.

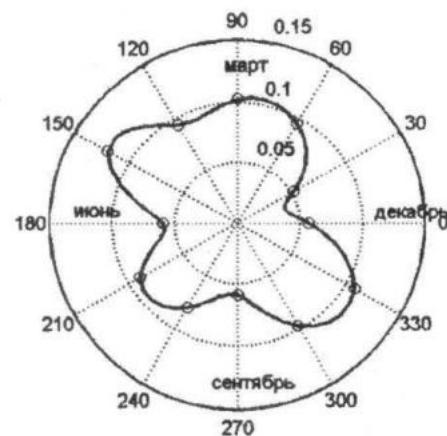


Рис.1 - Линейные тренды среднемесячных  $T$ , осредненных по всему морю (аппроксимация кубическими сплайнами)

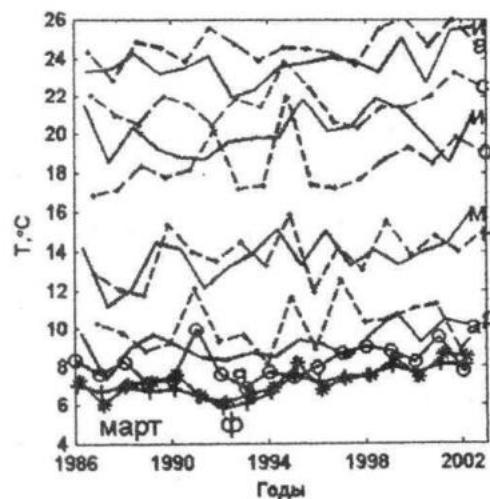


Рис.2 – Межгодовая изменчивость среднемесячных температур для разных месяцев года, обозначенных первыми буквами названий месяцев

Таким образом, показано, что межгодовые тренды среднемесячных ТПМ, осредненных по всему морю, положительны для всех месяцев года и составляют в максимуме величину  $0,11^{\circ}\text{C}/\text{год}$  (май, ноябрь) и в

минимуме  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{год}$  (июнь, декабрь). Среднегодовая Т Черного моря повысилась за 17 лет на  $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ . При этом размах колебаний Т от минимума (1987 г.) до максимума (1995 г.) составляет  $\sim 2^{\circ}\text{C}$ .

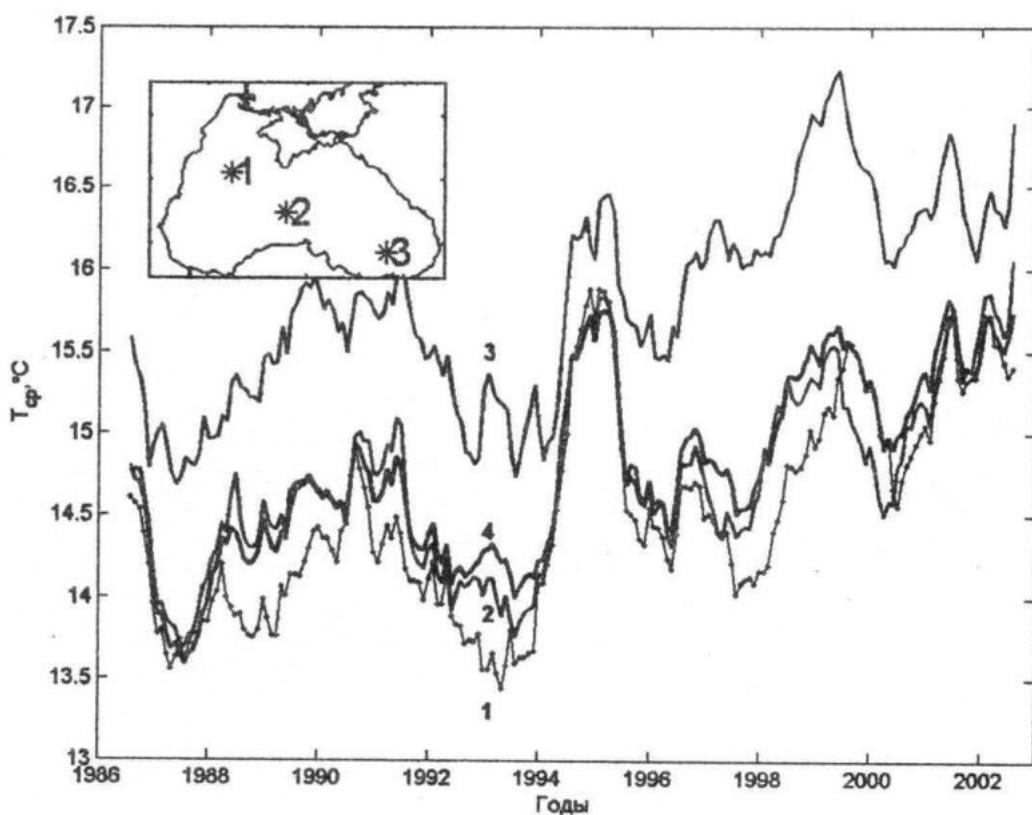


Рис.3 – Скользящее среднее по 12 месяцам рядов среднемесячных ТПМ. Кривые 1,2,3 соответствуют наблюдениям ТПМ в ячейках 1,2,3; жирная кривая 4 соответствует ТПМ, усредненной по всему морю.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев К.Я. Изменения глобального климата: реальность, предположения и вымыслы// Исслед. Земли из космоса. №1, 2002. С. 3-23.
2. Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. Об использовании спутниковых данных в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря // Исслед. Земли из космоса. – 2001. - №1. - С. 51-61.

3. Бабий М.В., Букатов А.Е., Станичный С.В. Межгодовая изменчивость среднегодовой температуры поверхности Черного моря по спутниковым измерениям 1986-2000 г. //Системы контроля окружающей среды. Методические, технические и программные средства. Сб. научн. тр., МГИ НАНУ, Севастополь, 2003. - С. 158-163.

4. Интернет. <http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/index.html>.