

9. Бибикова Е. В., Кириозова Т. И., Грачева Т. В. Изотопный возраст древнейших гранитоидов Приднепровья // Геохимия. – 1983. – № 7. – С. 997–1004.
10. Магматические горные породы. Т. 1. Классификация, номенклатура, петрография. Ч. 2. – Москва: Наука, 1983. – С. 371–767.

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 07.04.2004

УДК :551.46(262.5):629.78

© 2004

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

Прогноз среднемесячных температур поверхности Черного моря по среднемесячной температуре в марте

(Представлено академиком НАН Украины Н. П. Булгаковым)

Monthly mean PO DAAC JPL AVHRR Pathfinder SST Data for 1986–2002 averaged over the Black Sea area are analyzed. It is shown that the difference between the yearly mean temperature and March monthly mean temperature for every year of the observation period is $(7.7 \pm 0.6)^\circ\text{C}$. The annual variation of SST can be described by two harmonics — annual and semi-annual ones with rather stable phase and amplitude. A forecast algorithm for monthly mean temperature prediction uses the March mean SST and takes into account the nonlinear variation of the yearly mean SST.

Температура поверхности моря (ТПМ) является объектом изучения многих работ, посвященных исследованию Черного моря. В атласах представлены карты ТПМ, в которых обобщены многолетние (более 50 лет) измерения температуры на прибрежных станциях и попутных ее измерений с судов [1, 2]. Эти карты описывают крупномасштабные особенности поля ТПМ. Благодаря непрерывности спутниковых наблюдений последних 17-ти лет появилась возможность получения прогностических оценок ТПМ. Анализ межгодовой и сезонной изменчивости ТПМ на основе спутниковых данных выполнен в работе [3], где отмечены особенности сезонного хода в разных областях Черного моря. В работах [4, 5] описана аппроксимационная пространственно-временная модель ТПМ для Черного моря, по которой можно вычислить годовой ход для любой точки моря, задавая ее координаты. Цель нашей работы — на базе спутниковых наблюдений разработать метод прогнозирования среднегодовой и среднемесячных ТПМ (осредненных по всей площади Черного моря) на год вперед.

Среднемесячные значения ТПМ для Черного моря на сетке с пространственным шагом 18 км взяты из архива PODAAC JPL AVHRR Pathfinder Data [6]. С целью уменьшить влияние солнечного прогрева были использованы данные для ночных измерений. Анализ данных архива показал, что количество узлов сетки измерений по Черному морю немного менялось от года к году из-за разного количества узлов сетки в прибрежной зоне. Поэтому для исследования были выбраны $N = 1403$ узла сетки одни и те же для всего периода наблюдений (1986–2002 гг.) (рис. 1). Заметим, что по техническим причинам на спутниках измерения температуры в декабре 1994 г. искажены большими ошибками. Из-за этого

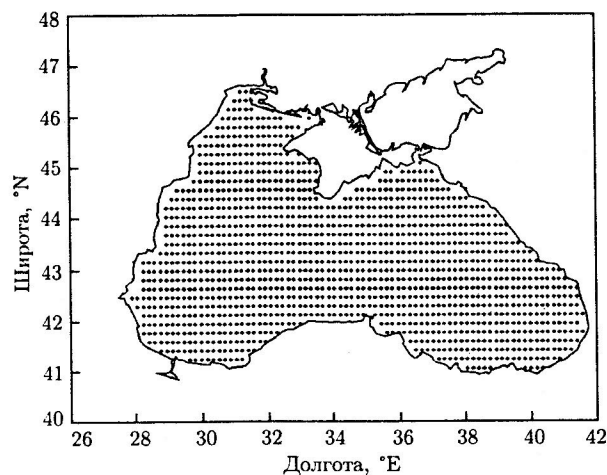


Рис. 1. Узлы сетки измерений ТПМ

в целях получения непрерывности временного ряда ТПМ во всех узлах сетки измерений, данные для декабря 1994 г. были заменены полусуммой декабрьских значений ТПМ 1993 и 1995 годов.

Для каждого месяца по всем выбранным узлам сетки наблюдений получены средние по всему морю температуры и построен временной ряд из 204 температурных значений для 17-ти лет измерений, который стал исходным для дальнейшего анализа. Этот ряд подвергнут операции скользящего осреднения по 12 точкам с шагом в один месяц. По полученному ряду среднегодовых значений $T_{\text{год}}(t')$, где t' меняется от 1986,5 до 2001,5 с дискретностью 1 мес., вычислен линейный тренд, с помощью которого для периода 1986–2002 гг. линейное приближение $T_{\text{год}}(t')$ представляется в виде

$$T_{\text{год}}^*(t) = 14,48 + 0,008t, \quad \sigma = 0,33 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где t — время, мес., отсчитываемое с января 1990 г.; σ — среднеквадратическое отклонение приближения. Величина линейного тренда $0,008 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мес.}$ или $0,096 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}$ совпадает с оценкой, приведенной в работе [3].

Чтобы выяснить, вариации температуры какого месяца являются определяющими в изменчивости $T_{\text{год}}$, вычислены коэффициенты корреляции R_k между $T_k(m)$ и $T_{\text{год}}(m)$, которые даны в табл. 1, где $k = 1, 2, \dots, 12$ (номер месяца) и $m = 1, 2, \dots, 17$ (номер года). Оценки 95% доверительных интервалов значений R_k показали, что значимыми можно считать только коэффициенты корреляции для февраля, марта и апреля ($k = 2, 3, 4$). Причем наилучший доверительный интервал для величин R_k получился для марта — значение $R_3 = 0,88$ лежит в интервале $0,69\text{--}0,96$. Высокие значения коэффициентов корреляции R_2 и R_3 свидетельствуют о том, что среднегодовая ТПМ обуславливается месяцами с самыми низкими ТПМ (февраль – март).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между среднегодовой $T_{\text{год}}$ и среднемесячной T_k

Месяц, k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R_k	0,30	0,74	0,88	0,74	0,28	0,14	0,49	0,41	0,44	0,45	0,54	0,04

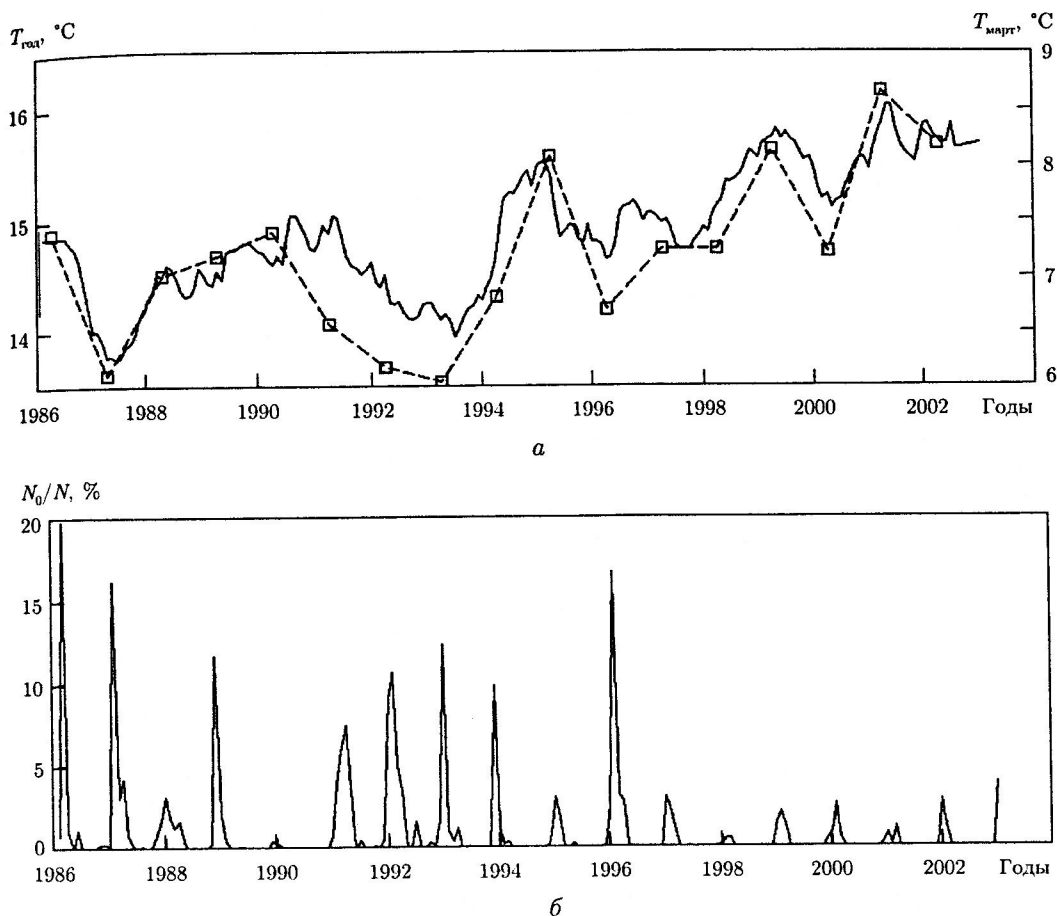


Рис. 2. Реализация среднегодовой ТПМ (а): сплошная кривая — $T_{\text{год}}(t')$, штрихпунктирная — $T_{\text{март}}$; относительная площадь Черного моря, покрытая облаками (б)

Изменчивость скользящего среднего $T_{\text{год}}(t')$ и $T_{\text{март}}(m)$ иллюстрирует рис. 2, а. Разность между $T_{\text{год}}(m)$ и $T_{\text{март}}(m)$ устойчива во времени и составляет

$$\Delta T(m) = T_{\text{год}}(m) - T_{\text{март}}(m) = 7,7 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \sigma = 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

отсюда

$$T_{\text{год}}(m) = T_{\text{март}}(m) + 7,7 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (2)$$

Наибольшие величины отклонений ΔT , которые приходятся на период 1991–1994 гг., можно объяснить присутствием значительного облачного покрова над морем в зимние месяцы этого периода. На рис. 2, б приведены значения косвенной оценки облачности над Черным морем, полученные следующим образом. В некоторых узлах сетки измерений из-за длительного облачного покрова над морем, особенно в зимне-весенние месяцы, среднемесячные значения T_k измерить не удалось и они в архиве отсутствуют. Количество узлов сетки без измерений N_0 (в процентах к общему количеству узлов сетки N) может служить косвенным показателем относительной площади Черного моря, покрытой облаками в этот месяц. Показатель облачности входит в уравнение теплового баланса как параметр и является существенным фактором, влияющим на ТПМ. На графике рис. 2, б выделяются

периоды: 1991–1994 гг., когда в зимне-весенние месяцы облачный покров был наиболее обширным, и 1998–2002 гг., когда площадь моря, покрытая облаками, была невелика. Если сравнить графики рис. 2, а и 2, б ($T_{\text{год}}$ и N_0/N), то можно предположить, что положительный временной тренд в (1) обусловлен тенденцией уменьшения с течением времени площади моря, покрытой облаками в зимние месяцы рассматриваемого периода.

Для того чтобы построить алгоритм прогноза T_k , проведен скользящий гармонический анализ по 12 членам ряда отклонений исходного ряда от ряда, полученного скользящим осреднением: $T - T_{\text{год}}(t')$. В результате имеем 193 оценки амплитуд и фаз четырех гармоник годового хода температуры. Анализ показал, что существенными следует признать только две гармоники: годовую и полугодовую, поскольку амплитуды третьей и четвертой гармоник меньше суммы среднеквадратичных отклонений амплитуд первой и второй гармоник и ими можно пренебречь.

Таким образом, моделируемое значение температуры для k -го месяца m -го года $T_{\text{мод}}(k, m)$ будет иметь вид суммы среднегодового значения ТПМ и двух гармоник (параметры которых приведены в табл. 2):

$$T_{\text{мод}}(k, m) = T_{\text{год}}(m) + \sum A_i \sin(i(\lambda_k + \varphi_i)), \quad i = 1, 2, \quad (3)$$

где λ_k — долгота Солнца для середины k -го месяца; A_i и φ_i — амплитуда и фаза i -й гармоники соответственно. В табл. 2 значения σ_A и δ_φ — среднеквадратические отклонения оценок амплитуд и фаз гармоник.

Подставляя выражение $T_{\text{год}}(m)$ из формулы (2) в (3), получим формулу прогноза:

$$T_{\text{мод}}(k, m) = T_{\text{март}}(m) + 7,7 + \sum A_i \sin(i(\lambda_k + \varphi_i)). \quad (4)$$

Вычисленные по формуле (4) модельные значения $T_{\text{мод}}(k, m)$ для всех месяцев исследуемого периода представлены на рис. 3, а сплошной линией, звездочками обозначены данные исходного ряда ТПМ; отклонения модельных $T_{\text{мод}}(k, m)$ от измеренных — на рис. 3, б. Среднеквадратическое отклонение (СКО) расчетных величин температур от измеренных значений за весь период составляет $0,92^\circ\text{C}$, однако СКО аппроксимации для разных месяцев меняется. Так, если для апреля погрешность составляет $\sim 0,5^\circ\text{C}$, то для декабря уже $1,3^\circ\text{C}$. Это иллюстрирует рис. 4, из которого ясно, что ошибка прогноза возрастает с удалением месяца от марта. Отклонение кривой от монотонности в сторону уменьшения ошибки прогноза в июле и августе, возможно, связано с относительной однородностью температурного поля поверхности Черного моря в эти месяцы.

Таким образом, предложенный алгоритм (2), (4) может быть использован для прогнозистических оценок среднегодовой и среднемесячных температур поверхности Черного моря. Основу алгоритма составляют: среднемесячная ТПМ марта; осредненный за 17 лет годовой ход отклонений ТПМ от среднего; постоянная величина $7,7^\circ\text{C}$. При этом погрешность прогноза зависит от того, как далеко отстоит прогнозируемый месяц от марта внутри года.

Таблица 2. Параметры гармоник

Номер гармоники	$A, ^\circ\text{C}$	$\sigma_A, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \text{рад}$	$\sigma_\varphi, \text{рад}$
1	8,99	0,35	5,3908	0,0384
2	1,44	0,36	1,8308	0,1338

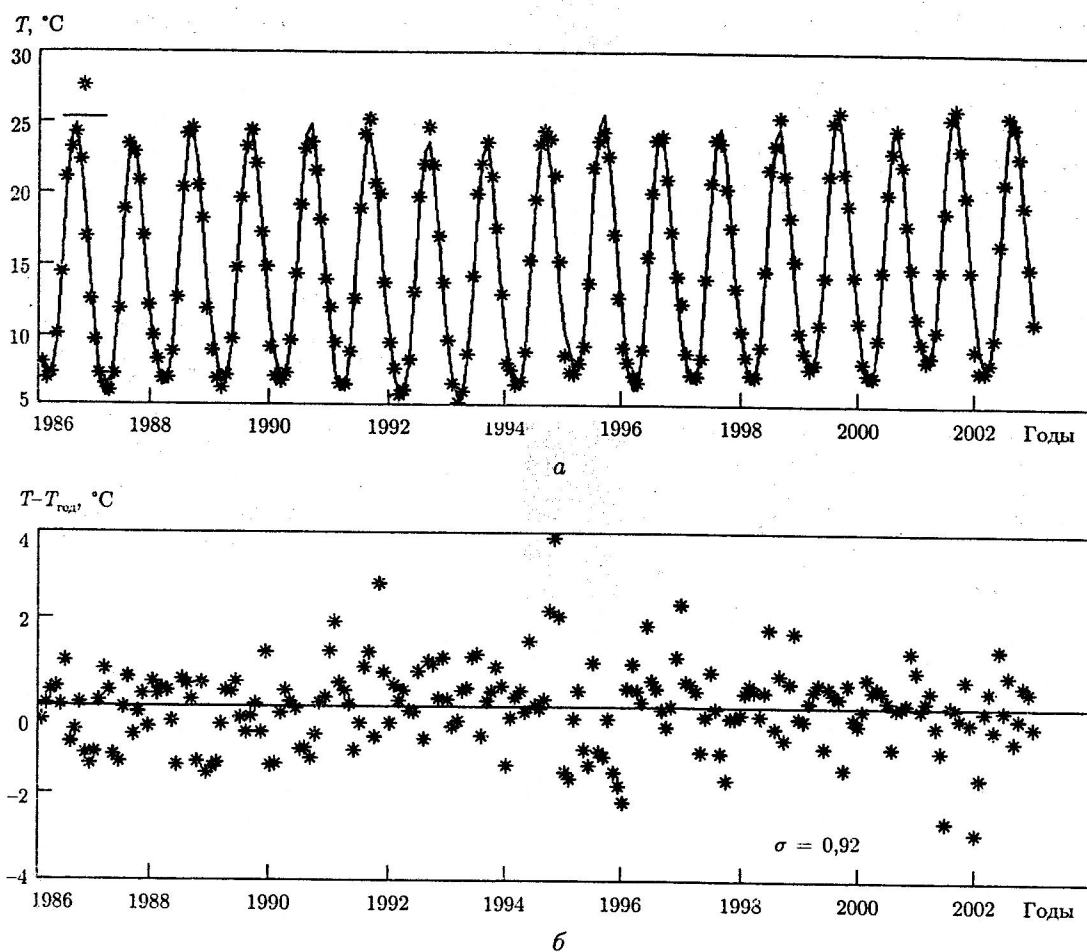


Рис. 3. Аппроксимация исходного ряда ТПМ (а); отклонения $T(k, m)$ от $T_{\text{мод}}(k, m)$ (б).

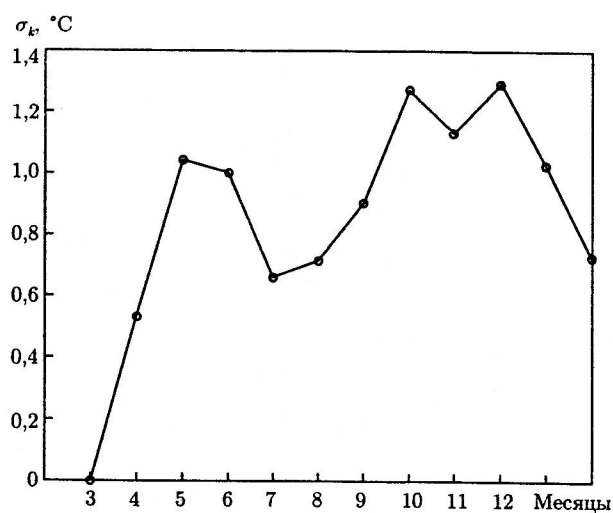


Рис. 4. Среднеквадратическая погрешность прогноза температур T_k по $T_{\text{март}}$

Предложенный алгоритм прогностических оценок среднемесячных ТПМ внутри года по значению ТПМ в марте учитывает нелинейный характер изменения среднегодовой температуры.

1. Богуславский С. Г., Жоров В. А., Еремеев В. Н. и др. Атлас температурного поля Черного моря. – Севастополь – Киев: Морск. гидрофиз. ин-т, 1984. – 88 с.
2. Альтман Э. Н., Гертман И. Ф., Голубева З. А. Климатические поля солёности и температуры воды Черного моря. – Севастополь: ГОИН, 1987. – 108 с.
3. Гинзбург А. И., Костяной А. Г., Шеремет Н. А. Об использовании спутниковых данных в исследовании сезонной и межгодовой изменчивости температуры поверхности Черного моря // Исследования Земли из космоса. – 2001. – № 1. – С. 51–61.
4. Бабий М. В., Букатов А. Е., Станичный С. В. Аппроксимационная модель температуры поверхности Черного моря по спутниковым измерениям 1991–1998 гг.: Системы контроля окружающей среды // Сб. науч. тр. – Севастополь: Морск. гидрофиз. ин-т, 2001. – С. 369–372.
5. Бабий М. В., Букатов А. Е., Станичный С. В. Межгодовая изменчивость среднегодовой температуры поверхности Черного моря по спутниковым измерениям 1986–2000 гг.: Системы контроля окружающей среды. Методические, технические и программные средства // Сб. науч. тр. – Севастополь: Морск. гидрофиз. ин-т, 2003. – С. 158–163.
6. <http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/index.html>

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Поступило в редакцию 19.11.2003

УДК 550.361:551.583

© 2004

Академик НАН Украины Н. П. Булгаков, А. Х. Дегтерев

Влияние перехода к голоцену на положение главного термоклина

By numerical solution of the heat conduction equation, it is shown that the signal about a climate warming at the Holocene beginning would reach the depth 500–1000 m till now without turbulent mixing. As a result, the temperature vertical distribution in the ocean is formed that is like to a real ocean thermocline. This effect affects stronger the temperature profile into the 1 km top layer of the Earth core. That is why the measurements of the thermal flux give data that are less by 30% than the real geothermal flux.

Изменение температуры воды с глубиной ниже деятельного слоя в океане обычно связывают со сложными процессами вертикального перемешивания, обусловленными погружением выхолаженных вод в сравнительно небольших по площади районах формирования глубинных вод. Сам факт вертикальной циркуляции вод не вызывает сомнений, однако достоверных данных об интенсивности субдукции выхолаженных вод нет [1]. В классической теории океанического термоклина [2] рассматривается также изменчивость с глубиной коэффициентов турбулентного перемешивания, их связь со скоростью крупномасштабных течений в океане и другие факторы. Однако в ряде работ высказывалось предположение, что низкая температура глубинных вод океана связана не столько с растеканием по дну выхолаженных вод Северной Атлантики и Антарктики, сколько с тем, что до голоцена