

**ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ
АТМОСФЕРЫ НАД КРЫМСКИМ
ПОЛУОСТРОВОМ И ТЕМПЕРАТУРЫ
ВОЗДУХА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ
ЧЕРНОГО МОРЯ**

Бабий М.В., Букатов А.Е.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
99000 Севастополь, ул.Капитанская, 2
E-mail: ocean@alpha.mhi.iuf.net

Ижко В.А.

КБ "ЮЖНОЕ"
Днепропетровск

Цель работы - построить эмпирические модели температурного поля атмосферы над Крымским полуостровом и приповерхностной температуры воздуха над Черным морем в зависимости от высоты над уровнем моря h , широты φ , долготы места λ и заданного месяца года m (для января $m=1$). В работе использовалась база данных, составленная из среднемесячных температур воздуха Θ , вычисленных по многолетним измерениям приповерхностной температуры на 79 станциях Крымского полуострова [1], из которых 48 станций внутри полуострова и 31 береговая станция, и 83-х пунктах Черного моря из 60-ти стандартных квадратов акватории Черного моря и 23-х береговых станций [2].

Для построения модели годовой ход приповерхностной температуры $\Theta_k(m)$ в k -ом пункте наблюдений на высоте h_k и координатами (φ_k, λ_k) аппроксимируем суммой:

$$\Theta_k(m) = v_k + \sum_{i=1}^4 v_{ik} \cdot \cos((m + n_{ik}) \cdot i \cdot \pi / 6),$$

$$m=1,2,\dots,12., \quad (1)$$

где $\Theta_k(m)$ - среднемесячные значения температуры для k -ого пункта из базы данных. Среднегодовое значение температуры v_k , амплитуды v_{ik} и n_{ik} (величины, определяющие фазовый сдвиг) для гармоник годового хода определяем стандартной процедурой через вычисление коэффициентов Фурье для ряда $\Theta_k(m)$. В выражении (1) сумму ограничиваем четырьмя гармониками, поскольку в спектре температуры воздуха, вычисленном по вековым наблюдениям среднемесячных температур воздуха в Ялте и пос. Кацивели [3], четко проявляются четыре гармоники. Получив v_k , v_{ik} и n_{ik} ($i=1,2,3,4$) для каждого пункта наблюдений, составляем пары рядов вида

$$\left\| \begin{array}{c} v_1 \quad h_1 \\ \dots \\ v_N \quad h_N \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} v_1 \quad \varphi_1 - 45^0 \\ \dots \\ v_N \quad \varphi_N - 45^0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{c} v_1 \quad \lambda_1 - 30^0 \\ \dots \\ v_N \quad \lambda_N - 30^0 \end{array} \right\|$$

Аналогичные пары рядов составляем для величин v_{ik} и n_{ik} . Методом наименьших квадратов вычисляем производные $\partial v_i / \partial h$, $\partial v_i / \partial \varphi$, $\partial v_i / \partial \lambda$ ($i=0,1,\dots,4$) и $\partial n_i / \partial h$, $\partial n_i / \partial \varphi$, $\partial n_i / \partial \lambda$ ($i=1,\dots,4$), как наклоны соответствующих линий регрессии. Здесь v_i , n_i и их производные - средние для рассматриваемого района значения амплитуд и величин, определяющих фазовые сдвиги гармоник годового хода температуры. Тогда можно записать выражения для среднегодовой температуры $\bar{v}_0(h, \varphi, \lambda)$, амплитуд гармоник годового хода $\bar{v}_i(h, \varphi, \lambda)$ и величин $\bar{n}_i(h, \varphi, \lambda)$ ($i=1,2,3,4$) в виде:

$$\bar{v}_i(h, \varphi, \lambda) = v_i + \frac{\partial v_i}{\partial h} h + \frac{\partial v_i}{\partial \varphi} \cdot (\varphi - 45^0) + \frac{\partial v_i}{\partial \lambda} \cdot (\lambda - 30^0),$$

$$i=0,1,2,3,4; \quad (2)$$

$$\bar{n}_i(h, \varphi, \lambda) = n_i + \frac{\partial n_i}{\partial h} h + \frac{\partial n_i}{\partial \varphi} \cdot (\varphi - 45^\circ) + \frac{\partial n_i}{\partial \lambda} \cdot (\lambda - 30^\circ),$$

$i=1, 2, 3, 4.$ (3)

После того, как вычислены $\bar{v}_i(h, \varphi, \lambda)$ и $\bar{n}_i(h, \varphi, \lambda)$, эмпирические выражения для температурных полей запишем в виде:

для Черного моря

$$T(m, \varphi, \lambda) = \bar{v}_0(\varphi, \lambda) + \sum_{i=1}^S \bar{v}_i(\varphi, \lambda) \cdot \cos((m + \bar{n}_i(\varphi, \lambda)) \cdot i \cdot \pi / 6),$$

(4)

для Крымского полуострова

$$T(m, h, \varphi, \lambda) = \bar{v}_0(h, \varphi, \lambda) + \sum_{i=1}^S \bar{v}_i(h, \varphi, \lambda) \cdot \cos((m + \bar{n}_i(h, \varphi, \lambda)) \cdot i \cdot \pi / 6).$$

(5)

В табл. 1, 2 представлены вычисленные коэффициенты формул (2), (3) для Черного моря (табл. 1) и Крымского полуострова (табл. 2). Значения коэффициентов вычислялись с учетом всех станций внутри и около границы рассматриваемых областей (вариант 1) или станций, расположенных только в окрестности их границ (вариант 2), или только внутри области (вариант 3). Значения v_i приводятся в $[^\circ\text{C}]$, $\partial v_i / \partial h$ - в $[^\circ\text{C}/\text{км}]$, $\partial v_i / \partial \varphi$ и $\partial v_i / \partial \lambda$ - в $[^\circ\text{C}/\text{угл.град}]$, p_i - в [мес], а $\partial p_i / \partial \varphi$ и $\partial p_i / \partial \lambda$ - в [мес/угл.град]. Диапазоны изменений широты и долготы ограничены размерами региона, диапазон изменений h - от 0 до 1.2 км (высота Ай-Петри).

Над Черным морем (табл. 1) для всех трех случаев $\partial v_0 / \partial \varphi < 0$, а $\partial v_0 / \partial \lambda > 0$, что отражает реальную тенденцию увеличения среднегодового значения температуры в направлении от северо-запада к юго-востоку. Однако при этом $\partial v_1 / \partial \varphi > 0$, а $\partial v_1 / \partial \lambda < 0$. Следовательно на северо-западе Черного моря амплитуда годовой гармоника температуры воздуха много больше, чем на юго-востоке. Кроме того видна устойчивость

полученных значений амплитуд и фаз относительно количества (все станции или часть их) и местоположения (береговые станции или квадраты акватории моря). Однако, акватория Черного моря (вариант 2) по сравнению с береговыми станциями (вариант 3) дает несколько меньшие (по абсолютной величине) значения, как широтного градиента среднегодовой температуры $\partial v_0 / \partial \varphi$, так и амплитуды годовой гармоника v_1 .

Для полугодовой гармоника широтный градиент $\partial v_2 / \partial \varphi < 0$ и имеет величину порядка $-0.1^\circ\text{C}/\text{угл.град}$. Для береговых станций его величина на порядок меньше значения для акватории Черного моря. Величина $\partial v_2 / \partial \lambda$ пренебрежимо мала для всех вариантов. Значения $\partial p_2 / \partial \varphi$ - порядка $0.1 \text{ мес}/\text{угл.град}$, а $\partial p_2 / \partial \lambda$ - примерно в два раза меньше.

Сравнение вычисленных для Крымского полуострова (табл. 2) во всех трех вариантах коэффициентов выявляет устойчивость значений среднегодовой температуры и амплитуд гармоник. Градиент по высоте отрицателен и для v_0 и для v_i при учете станций внутри полуострова. Однако, будучи рассчитанным только по береговым станциям, он дает положительную величину для годовой гармоника. Градиенты v_0 и амплитуды полугодовой гармоника температуры воздуха по широте отрицательны, тогда как градиент амплитуды годовой гармоника положителен, как и над Черным морем (табл. 1). Градиенты v_0 и амплитуд обеих гармоник по долготе положительны. Отметим, что величина градиента по долготе годовой гармоника на порядок больше, чем долготный градиент среднегодовой температуры.

Для всех пунктов наблюдений над Черным морем и Крымским полуостровом по формулам (4) и (5)

были рассчитаны среднемесячные температуры $T_k(m, \varphi_k, \lambda_k)$ и $T_k(m, h_k, \varphi_k, \lambda_k)$ соответственно. Вычи-слены также

средние квадратические отклонения (СКО) для разностей

Таблица 1

Варианты	Среднее и амплитуды гармоник			Фазы гармоник			
	$i=0$	$i=1$	$i=2$	$i=1$	$i=2$		
1	Все станции акватории и береговые станции Черного моря						
	v_i	11.46	11.14	0.55	n_i	4.64	-1.40
	$\partial v_i / \partial \varphi$	-0.79	0.76	-0.08	$\partial n_i / \partial \varphi$	0.08	0.12
	$\partial v_i / \partial \lambda$	0.13	-0.05	0	$\partial n_i / \partial \lambda$	-0.01	0.06
2	Береговые станции Черного моря						
	v_i	11.22	11.50	0.42	n_i	4.68	-1.22
	$\partial v_i / \partial \varphi$	-0.75	0.77	-0.01	$\partial n_i / \partial \varphi$	0.07	0.29
	$\partial v_i / \partial \lambda$	0.10	-0.07	0.02	$\partial n_i / \partial \lambda$	-0.01	0.06
3	Квадраты акватории Черного моря						
	v_i	11.84	10.64	0.64	n_i	4.56	-1.81
	$\partial v_i / \partial \varphi$	-0.65	0.59	-0.09	$\partial n_i / \partial \varphi$	0.06	-0.09
	$\partial v_i / \partial \lambda$	0.16	-0.06	0	$\partial n_i / \partial \lambda$	-0.02	0.06

Таблица 2

Варианты	Среднее и амплитуды гармоник гармоник			Фазы			
	$i=0$	$i=1$	$i=2$	$i=1$	$i=2$		
1	Все станции Крымского полуострова						
	v_i	11.64	11.20	0.50	n_i	4.67	5.10
	$\partial v_i / \partial h$	-5.87	-0.52	-0.45	$\partial n_i / \partial h$	0.17	1.15
	$\partial v_i / \partial \varphi$	-2.34	1.87	-0.37	$\partial n_i / \partial \varphi$	0.17	0.67
	$\partial v_i / \partial \lambda$	0.02	0.21	0.01	$\partial n_i / \partial \lambda$	0	-0.03
2	Береговые станции полуострова						
	v_i	11.69	11.08	0.58	n_i	4.63	4.96
	$\partial v_i / \partial h$	-1.18	2.35	-0.64	$\partial n_i / \partial h$	0.26	0.12
	$\partial v_i / \partial \varphi$	-2.16	1.87	-0.38	$\partial n_i / \partial \varphi$	0.17	0.52
	$\partial v_i / \partial \lambda$	0.05	0.23	0.02	$\partial n_i / \partial \lambda$	0.01	0.06
3	Станции внутри полуострова						
	v_i	11.35	11.26	0.36	n_i	4.75	5.40
	$\partial v_i / \partial h$	-5.21	-0.61	-0.12	$\partial n_i / \partial h$	0.01	0.62
	$\partial v_i / \partial \varphi$	-1.99	1.92	-0.19	$\partial n_i / \partial \varphi$	0.10	0.54
	$\partial v_i / \partial \lambda$	0.04	0.15	0.03	$\partial n_i / \partial \lambda$	-0.04	-0.18

$T_k(m, \varphi_k, \lambda_k) - \Theta_k(m)$ и $T_k(m, h_k, \varphi_k, \lambda_k) - \Theta_k(m)$. Для пунктов Черного моря и для пунктов Крымского полуострова значение СКО составляет 0.7°C . Сравнение величин амплитуд гармоник

v_i с СКО показало, что $v_i < 0.5 \cdot \text{СКО}$ для $i=3$ и $i=4$. Другими словами, третью и четвертую гармоники можно не учитывать. Расчеты на основе выражений (4) и (5) для $S=2$ и $S=4$

показали, что величина СКО практически не изменилась. Поэтому можно ограничиться двумя гармониками - годовой и полугодовой.

Таким образом на основе натуральных данных приповерхностной температуры воздуха, полученных за период с 1869 по 1970 г.г. построены региональные модели температурных полей воздуха над Крымским полуостровом и Черным морем. Они позволяют рассчитывать величину среднемесячной температуры воздуха в любом пункте региона с погрешностью $\pm 0.7^{\circ}\text{C}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по климату Черного моря. М. Гидрометеиздат, 1974, 406 с.
2. Справочник по климату СССР, вып.10, ч.II. Л. Гидрометеиздат, 1967. 608 с.
3. Бабий М.В., Г.А.Губарь, А.К.Куклин, Г.Н.Христофоров. Статистические и спектральные характеристики температуры воздуха и морской воды в Ялте по многолетним наблюдениям. Изв. АН, ФАО, 1994, том 30, № 5, с.666-670.