

Е. Г. АГАФОНОВА, А. С. МОНИН

СТАТИСТИКА ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ АТЛАНТИКИ

(Представлено академиком Л. М. Брежовских 15 II 1972)

Имеющиеся в природе соотношения между нагреванием, охлаждением, испарением, осадками, горизонтальными и вертикальными движениями воды создают специфическую статистическую связь между температурой и соленьостью вод океана, являющуюся красноречивой характеристикой его климата, а тем самым и климата нашей планеты. Наиболее полное описание этой статистической связи дает двумерная плотность вероятности $p(S, T)$ соленьости S и температуры T вод океана. Эта функция может быть использована для характеристики термодинамического состояния Мирового океана в целом и для сравнений климата отдельных его акваторий; ее определение для вод на различных глубинах даст статистическое описание термохалинной стратификации океана, ее воспроизведение математическими моделями циркуляции океана (в его взаимодействии с атмосферой) будет богатым критерием достоинств таких моделей.

До настоящего времени функция $p(S, T)$ еще не строилась. В качестве первого шага мы предприняли построение этой функции для поверхности Атлантического океана, используя накопленный в Институте океанологии АН СССР архив гидрологических станций, содержащий около 80% всех мировых данных за последнее столетие; по Атлантике этот архив содержит около 70 000 станций, 90% из которых относится к периоду 1925—1965 г., причем большинство наблюдений выполнено к северу от 40° с.ш. и преимущественно в летнее время (подробное описание этих материалов см. в монографии Р. П. Булатова (1)).

Указанный архив наряду с исходными материалами содержит хранящиеся в запоминающем устройстве ЭВМ данные, осредненные по трапециям со сторонами 5° по долготе и широте (в Атлантике 417 таких трапеций) и по всему периоду наблюдений. Для построения плотности вероятности $p(S, T)$ мы использовали 417 пар средних значений (S, T) на поверхности океана для этих трапеций, приписав каждой из них вес, пропорциональный площади трапеции (т. е. косинусу ее средней широты).

Весь диапазон изменений температуры (от 0 до 28°С) был разбит на 14 интервалов $\Delta_k T$ шириной по 2°, диапазон изменений соленьости (от 32,0 до 37,4‰) — на 26 интервалов $\Delta_k S$ шириной по 0,2‰, и в каждой ячейке $(\Delta_k S, \Delta_k T)$ подсчитывалась сумма p_{ik} весов всех точек (S, T) , попадающих в эту ячейку (причем веса нормировались условием $\sum_{ik} p_{ik} = 1$). Вели-

чины p_{ik} и являются эмпирическими оценками значений плотности вероятности $p(S, T)$. Несмотря на малое количество точек в ячейках, но благодаря тому, что каждая точка получена осреднением по большому числу исходных данных в соответствующей трапеции за все время наблюдений (в среднем по 150 точек), распределение значений p_{ik} по таблице (S, T) оказалось сравнительно гладким и позволило провести гладкие изолинии функции $p(S, T)$; на рис. 1а они маркированы значениями p в процентах.

В самых общих чертах рельеф функции $p(S, T)$ содержит две вершины (со значениями p выше 3‰): одну в области высоких температур (26—28°) и высоких соленостей (~36‰; по солености она несколько размыта), соответствующую тропическим водам, занимающим большую долю общей площади океана, и вторую в области низких температур (0—4°) и низких соленостей (~33,8‰), соответствующую приполярным водам. Эти вершины соединяются довольно узким хребтом (со значениями выше 0,5%), так что наиболее вероятные значения температуры и солености на поверхности Атлантики связаны между собой высокой положительной

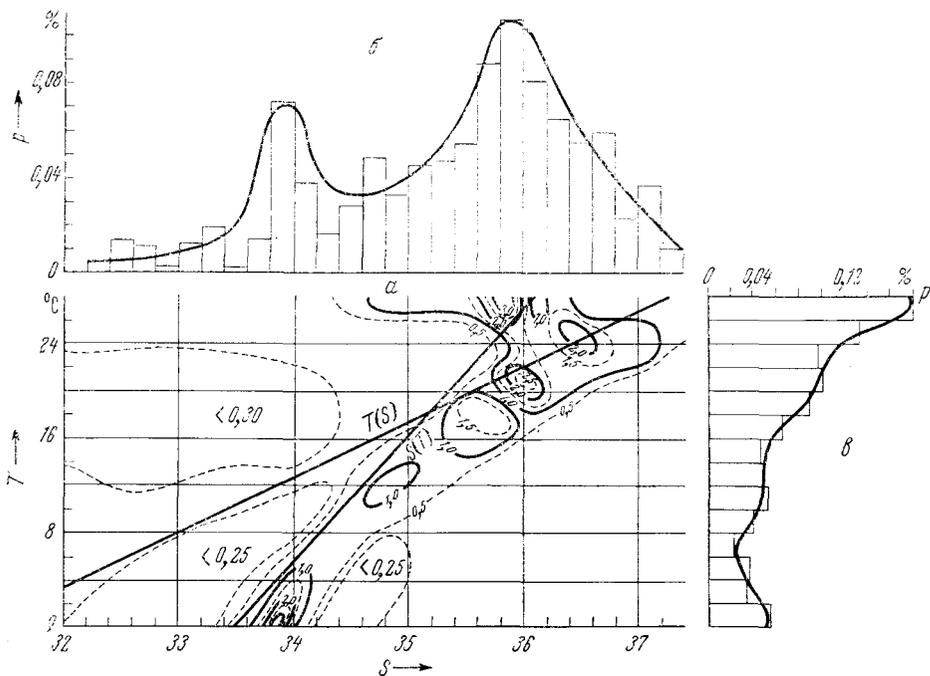


Рис. 1

корреляцией, почти функциональной зависимостью. Однако эта корреляция несколько снижается из-за наличия в океане теплых вод пониженной солености, занимающих на графике область слева от хребта и тем самым выпадающих из выраженной хребтом статистической закономерности, возможно, вследствие каких-то аномальных механизмов их формирования (тогда как холодных вод с повышенной соленостью в области справа от хребта практически не встречается). В результате коэффициент корреляции между температурой и соленостью оказался равным только +0,66.

Частное распределение вероятности значений солености $p(S)$, показанное на рис. 1б, оказалось отчетливо двухвершинным, с максимумами при $S \approx 34$ и 36 ‰ (второй из них выше и шире). Средняя соленость равна $\bar{S} = 35,19$ ‰ со стандартным отклонением $\sigma_s = 1,15$ ‰. Асимметрия распределения отрицательна (влияние вод пониженной солености), коэффициент асимметрии равен $a_3/\sigma^3 = -0,36$. Коэффициент эксцесса $a_4/\sigma^4 - 3 = -0,60$ также отрицателен.

Частное распределение вероятности значений температуры $p(T)$, показанное на рис. 1в, также оказалось двухвершинным, с основным максимумом в области наиболее высоких температур $T \sim 28^\circ$ и небольшим максимумом в области наиболее низких температур $T < 2^\circ$. Средняя температура равна $\bar{T} = 18^\circ,06$ со стандартным отклонением $\sigma_T = 8^\circ$. Распределение обладает отрицательной асимметрией (влияние холодных вод), коэффициент асимметрии равен $-0,70$. Коэффициент эксцесса также отрицателен, он равен $-0,64$.

Уравнения прямолинейной регрессии температуры на соленость и солености на температуру имеют вид

$$T(S) = 4,55S - 140,56,$$

$$S(T) = 0,094T + 33,49.$$

Остаточная дисперсия первого из них равна $35,4$ ($^{\circ}\text{C}$)² — она приблизительно вдвое меньше полной дисперсии температуры. Остаточная дисперсия $S(T)$ равна $0,756$ (‰)² — она также приблизительно вдвое меньше полной дисперсии солености. Обе линии прямолинейной регрессии показаны на графике двумерной плотности вероятности $p(S, T)$. Они смещены влево от хребта на этом распределении из-за упоминавшегося выше влияния встречающихся в океане теплых вод пониженной солености.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
10 II 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Р. П. Булатов, Океанологические исследования, № 22 (1971).