

В. Б. ШТОКМАН

**НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРНЫЕ МОМЕНТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СМЕШЕНИЯ ВОДНЫХ МАСС КАСПИЙСКОГО МОРЯ В СИСТЕМЕ  $S = f(t)$** *(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 9 I 1938)*

Водными массами или водными телами (Wasserkörper) в море мы называем согласно Дефанту<sup>(1)</sup> (A. Defant) объемы жидкости более или менее значительного пространственного протяжения, отличающиеся друг от друга своими характерными физико-химическими свойствами. Каждую водную массу мы будем считать в первом приближении однородной как в смысле ее температуры, так и ее солености.

Весьма плодотворным методом для изучения турбулентности и смешения водных масс в море является построение кривых  $S = f(t)$ , которые устанавливают функциональную связь между соленостью  $S$  морской воды и ее температурой  $t$  для различных глубин вертикального сечения гидросферы<sup>(2)</sup>. Согласно элементарному принципу продукты смешения двух водных масс лежат на прямой, проведенной между двумя точками, соответствующими в системе  $S = f(t)$  двум однородным водным массам. Обычно  $t-S$  кривые, построенные для данного вертикального распределения температуры и солености в море, изображаются ломаными линиями. Точки изгиба этих кривых соответствуют «ядрам» тех или иных водных масс, залегающих на глубинах, в то время как прямолинейные отрезки  $t-S$  кривых указывают на смешение водных масс между собой в вертикальном направлении.

Каспийское море, являясь громадным замкнутым водоемом с богатым стоком пресных вод и интенсивным испарением, представляет собою замечательную естественную лабораторию для изучения процессов смешения водных масс этого бассейна как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Горизонтальное смешение водных масс в турбулентном потоке вследствие напряжений сдвига, обусловленных турбулентностью и действующих в вертикальных поверхностях, параллельных горизонтальной компоненте потока, представляет особый научный интерес при изучении геофизических процессов большого масштаба. Есть основания полагать, что эта горизонтальная турбулентность в динамическом смысле играет более важную роль по сравнению с вертикальной турбулентностью, обычно учитываемой при изучении процессов смешения в атмосфере и гидросфере и обусловленной турбулентными напряжениями сдвига, действующими в горизонтальных плоскостях, параллельных оси потока<sup>(3)</sup>.

Легко видеть, что для качественного изучения горизонтального смещения водных масс мы можем воспользоваться тем же методом  $t-S$  кривых. В самом деле, если сопоставление  $t-S$  кривых, построенных для вертикальных сечений моря, позволяет судить о распространении водных масс и их вертикальном смещении, то ничто не мешает нам изучать зависимость  $S=f(t)$  для различных точек какого-либо одного горизонтального сечения гидросферы. Для этой последней цели следует только наносить в системе  $S=f(t)$  не температуры и солености, соответствующие различным глубинам данной вертикали, а аналогичные элементы для одного и того же горизонта различных вертикалей.

Огличие последнего приема от способа вертикальных  $t-S$  кривых заключается в том, что горизонтальные  $t-S$ -диаграммы позволяют определять лишь области полного смещения между какими-либо двумя водными массами. Действительно, каждая группа точек в «горизонтальной» системе  $S=f(t)$ , объединяемая прямой, представляет собой область смещения. Таких областей смещения на горизонтальной  $t-S$ -диаграмме может быть несколько в том случае, если вся совокупность точек группируется по нескольким прямым.

Понятно, чем больше различных областей смещения (несколько прямых) намечается на такой  $t-S$ -диаграмме, тем менее интенсивны процессы смещения в горизонтальном направлении. При большой дисперсии точек, когда объединение их в прямые затруднительно, мы имеем случай полного отсутствия смещения водных масс в горизонтальном направлении.

В свете изложенных соображений автором был проанализирован многочисленный материал, добытый океанографическими экспедициями в центральной и южной частях Каспийского моря в период 1933—1937 гг.

Зависимость  $S=f(t)$  изучалась как для придонных горизонтов различных гидрологических станций вне зависимости от фактической глубины придонных проб (эти глубины колебались в весьма обширных пределах), так и для одних и тех же промежуточных глубин всех станций, покрывающих разрезами Каспийское море. Особенное внимание было уделено анализу горизонтальных  $t-S$ -диаграмм, построенных для слоя температурного скачка. Благодаря незначительному изменению солености по вертикали (для центральной и южной части соленость по вертикали колеблется в пределах 0.1—0.2‰) вертикальная устойчивость слоев Каспийского моря всецело определяется температурным градиентом в том же направлении, достигающем весьма больших значений в августе (1° на метр, 2° на метр).

Глубина температурного скачка в Каспийском море колеблется в различные годы в пределах от 25 до 50 м. Благодаря наличию столь резко выраженной (в летнее время) вертикальной устойчивости слоев Каспийского моря весьма интересным представляется изучение влияния этого фактора на процессы смещения водных масс в горизонтальном направлении.

На построенных нами горизонтальных  $t-S$ -диаграммах наблюдалась более или менее значительная дисперсия точек в координатной плоскости  $S, t$ . В большинстве случаев намечалось несколько областей смещения водных масс в центральном и южном Каспии. Пространственное распределение этих областей смещения было однако вполне закономерным.

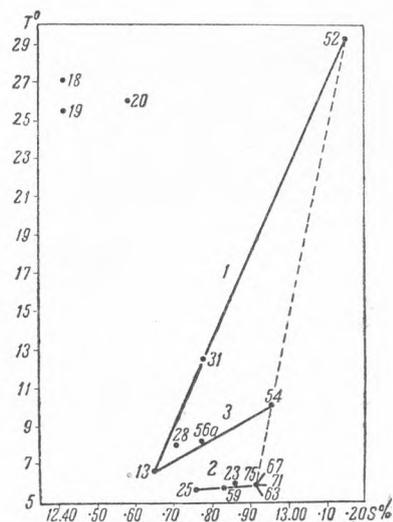
Сопоставление карт с нанесенными на них областями смещения, построенными для слоев с максимальной (слой температурного скачка) и минимальной (придонные слои) вертикальной устойчивостью, позволило нам прийти к одному важному заключению о связи вертикальной устойчивости с процессами горизонтального смещения водных масс.

Дисперсия точек на  $t-S$ -диаграммах, построенных для глубин с максимальной вертикальной устойчивостью, как правило, была значительно

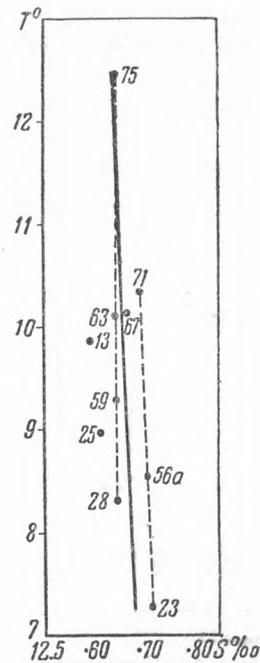
менее дисперсии точек для глубин с минимальной устойчивостью. Аналогичные результаты дали и  $S-O_2$ -диаграммы. Благодаря этому количество различных областей смешения в слоях с минимумом вертикальной устойчивости было всегда больше числа областей смешения на глубине температурного скачка.

В силу сказанного мы пришли к выводу о том, что наличие вертикальной устойчивости должно способствовать увеличению интенсивности смешения водных масс в горизонтальном направлении вдоль изопикнических поверхностей.

Вертикальная устойчивость, как известно, действует совершенно опре-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

деленным образом на интенсивность турбулентного обмена в вертикальном направлении,—вертикальный обмен в этом случае уменьшается. Это было показано еще Экманом<sup>(4)</sup> (W. Ekman) в его классических экспериментах и затем Петтерсоном (H. Pettersson) и Мальмхеденом<sup>(5)</sup> (H. Malmheden). Однако всестороннего решения вопроса о связи вертикальной устойчивости с горизонтальным перемешиванием мы до настоящего времени не имеем.

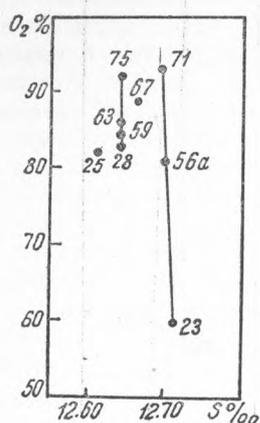
Тэйлор<sup>(6)</sup> (G. Taylor) например во многих своих исследованиях полагает, что вертикальная устойчивость в атмосфере изотропно уменьшает компоненты турбулентного перемешивания. Согласно Тэйлору «сфера турбулентного перемешивания», имеющая место в однородной жидкости, дегенерирует в сферу меньшего радиуса при наличии вертикальной устойчивости.

Наши выводы оспаривают подобного рода заключение. Очевидно, что сфера турбулентного смешения в условиях вихревых движений больших размеров, приводящих к смешению весьма значительных водных масс в море, при наличии вертикальной устойчивости дегенерирует в эллипсоид, малая ось которого параллельна изопикническим поверхностям. Последний вывод прекрасно подтверждает аналогичные соображения Парра<sup>(7)</sup> (A. Parr), который однако пользовался несколько иными прие-

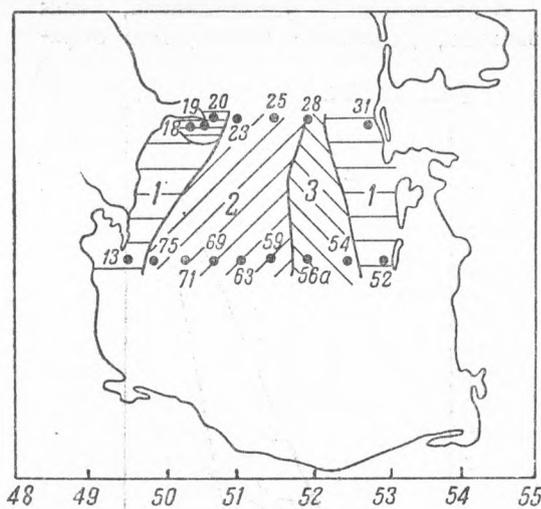
мами при изучении данного вопроса. При этом необходимо отметить ошибочность заключения Парра, который считает, что большая ось эллипсоида смещения параллельна изопикническим поверхностям. Опровергнуть это заключение Парра можно при помощи тензоральной теории турбулентности.

К сожалению благодаря весьма ограниченным размерам настоящей статьи мы не имеем возможности привести многочисленный графический материал, убедительно иллюстрирующий изложенные соображения (эти материалы будут опубликованы в ближайшем будущем).

Мы приводим здесь лишь один характерный случай горизонтального смещения водных масс летом 1933 г. в южной части моря. На фиг. 1



Фиг. 3.



Фиг. 4.

изображена  $t-S$ -диаграмма, построенная по данным придонных проб (на ней обозначены три области смещения). На фиг. 2 указана аналогичная диаграмма для глубин с максимальной вертикальной устойчивостью. Как видно из фиг. 1 и 2, процессы горизонтального смещения на глубине с максимальной вертикальной устойчивостью значительно энергичнее по сравнению с горизонтальным смещением в придонных слоях. Это подтверждает и  $S-O_2$ -диаграмма, построенная для глубин с максимальной вертикальной устойчивостью. На этой последней диаграмме (фиг. 3) хорошо обозначились те же две области смещения, которые указаны на фиг. 2.

На фиг. 4 изображено пространственное распределение областей смещения в придонных слоях моря.

Азербайджанская научно-исследовательская  
станция Института морского рыбного  
хозяйства и океанографии.  
Баку.

Поступило  
27XI 1937.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Defant, Veröffentlich. des Inst. f. Meereskunde, N. F. A., H. 19 (1929).
- <sup>2</sup> B. J. Helland-Hansen, Nogen hydrografiske metoder (1916).
- <sup>3</sup> C. G. Rossby, Pap. in Physic. Ocean. a. Met., Cambridge, Mass., V, № 1 (1936).
- <sup>4</sup> V. W. Ekman, Ann. d. Hydrographie, 24 (1906).
- <sup>5</sup> H. Pettersson, H. W. Malmheden, Med. från Göteborgs Oceanografiska inst., 11 (1935).
- <sup>6</sup> G. J. Taylor, Rap. et pr. verbaux des réunions du C. I. pour l'expl. de la mer, LXXVI (1931).
- <sup>7</sup> A. E. Parr, Journ. du Conseil, XI, № 3 (1936).