

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ РЕЧНЫХ ВОД В БЕСПРИЛИВНОМ МОРЕ

В.С. Большаков

Распространение речных вод в бесприливном море рассматривается на примере Черного моря. Речные воды, вытекая в море, вызывают понижение солености и некоторые гидродинамические явления в приустьевых районах. В Черном море существуют три обширных приустьевых района: Северо-Западный, создаваемый совместным действием Дуная, Днестра, Днестра; Колхидский - при устьях Риона, Ингура, Хоби и Керченский, создаваемый стоком из Керченского пролива распресненных /10-12<sup>0</sup>/оо/ вод Азовского моря. В настоящее время можно считать изученным, в первом приближении, только главный, Северо-Западный район, принимающий в себя 75% материкового стока в Черное море.

Соленость на поверхности обширных пространств центральных областей Черного моря колеблется в сравнительно узких пределах от 17,5 до 18,5<sup>0</sup>/оо. Колебания солености во времени в центре моря по многолетним наблюдениям характеризуются среднеквадратичными отклонениями  $\pm 0,67^0$ /оо на глубине 100 м /максимум/ и  $\pm 0,31^0$ /оо на поверхности моря. Поэтому за границу Северо-Западного приустьевых района была принята изохалина 17<sup>0</sup>/оо на поверхности моря. Как видно из рис. 1, в летнее время ширина района достигает 60-70 миль от берега. Зимой, как показала специальная съемка солености, выполненная на э/с "Миклухо-Маклай" 10-13 марта 1962 г., и последующие наблюдения на стандартных разрезах Одесской МГС и Дунайской ГМО, ширина района сокращается до 5-15 миль против дельты Дуная и до 2-5 миль - против устьев Днепровского и Днестровского лиманов.

Многочисленные рукава дельты Дуная и приустьевые Днепровский и Днестровский лиманы сглаживают годовой ход речного стока.

Например, в 1964 г. амплитуда колебаний уровня воды, являющаяся эквивалентом колебаний интенсивности речного стока, на устьевых водопостах рукавов дунайской дельты: Прорвы, Потаповского, Быстрого и Старо-Стамбульского была в 3-6 раз меньше, чем в вершине дельты, на водопосту Рени. Наблюдения в устьях Днепровского и Днестровского лиманов, выполненные в 1965 г. на э/с "Миклухо-Маклай", показали, что заметного изменения средней скорости течений от зимы /межень/ к лету /половодье/ даже в очень многоводный год, каким был 1955 г., не происходит.

В пределах приустьевого района речные воды трансформируются в морскую воду. Трансформация идет в несколько этапов. Трансформация вод Днепра и Днестра начинается в приустьевых Днестровском и Днепровском лиманах в результате водообмена лиманов с морем. В устьевых проливах лиманов наблюдаются часто меняющиеся течения в сторону лимана или моря с преобладанием последних. Средняя соленость воды, вытекающей из Днепровского лимана, равна  $3^0/00$  и из Днестровского -  $5^0/00$ . Расчет водообмена этих лиманов с морем по "гидрографическим" формулам Кнудсена показал, что в Днепровском лимане к речной воде примешивается 17%, а в Днестровском - 28% морской воды с соленостью 13-17 $^0/00$ . Водообмен увеличивает сток из лиманов в море: из Днепровского лимана до 144%, из Днестровского - до 170% объема чисто речного стока.

Пресная вода, вытекающая в море из устьев дунайской дельты, и слегка осолоненная вода /1-5 $^0/00$ /, вытекающая из устьевых лиманов, растекается тонким слоем по поверхности моря. Чисто стоковое речное /лиманное/ течение, как показали Н.А. Родионов и К.Бондар /2, 3/, быстро затухает в море на расстоянии 1-5 км от устьев. При этом уменьшение скорости идет по линейному закону. Однако слегка осолоненная речная /лиманная/ вода продвигается в море в 2-3 раза дальше стокового течения, до гидрофронта. При этом на поверхности раздела речной и морской вод - халоклине создаются большие градиенты солености, достигающие 8-10 $^0/00$  на 0,5 м глубины. Такие большие градиенты солености почти полностью прекращают вертикальное турбулентное перемешивание через халоклин. Числа Ричардсона  $Ri$ , являющиеся критерием существования или отсутствия вертикальной турбулентности, подсчитанные по данным наблюдений на многосерийных океанографических станциях, сделанных у устья Потаповского рукава /дунайская дельта/, в порту Бугаз /устье Днестров-

ского лимана/ и в Кинбурнском проливе /устье Днепровского лимана/ в июне 1965 г., для соответствующих халоклинов оказались равными 7, 5, 2 и 2, 5 соответственно. Поскольку критерий сохранения вертикальной турбулентности Ричардсона /критическое число Ричардсона/ по А. Дефанту [4] оценивается величиной порядка 1, то очевидно, в рассматриваемых случаях вертикальное перемешивание, по существу, отсутствует. Для сравнения укажем, что на границе Северо-Западного района, на станции, сделанной тогда же, минимальное число Ричардсона равно 2500. Отсутствие вертикального перемешивания или его малая интенсивность и является, по-видимому, причиной долгого сохранения распространяющегося поверх морской воды слоя сильно распресненной воды в этой зоне приустьевых районов.

Слой почти пресной воды распространяется, постепенно осолоняясь боковым турбулентным перемешиванием до гидрофронта, где он резко, скачком, обрывается. При этом соленость на поверхности моря увеличивается от 6-8 с речной стороны до 10-12<sup>0</sup>/оо с морской стороны гидрофронта. Речные гидрофронты отличаются резко очерченной цветовой границей, слоем и конвергенцией течения. Наиболее мористое положение гидрофронт в Северо-Западном районе показано на рис. 1.

В зонах между устьями и гидрофронтами летом образуются два скачка плотности по вертикали: халоклин и термоклин, причем термоклин лежит ниже халоклина. На халоклине развиваются внутренние волны с амплитудой до 5-7 м и периодом от нескольких минут до нескольких часов. Минимальный период внутренних волн, как показал П. Гроен [1], равен так называемому периоду свободных колебаний частиц жидкости, принадлежащих уровню наибольшей устойчивости. Эти периоды, вычисленные по формуле П. Гроена для наблюдавшихся у устьев Дуная, Днепровского и Днестровского лиманов градиентов удельного объема в халоклинах, оказались равными приблизительно 1 мин. Максимальный период внутренних волн в бесприливном море, по П. Гроену, равен периоду инерционных колебаний. Эти периоды для Северо-Западного района равны 16 ч 30 мин - 16 ч 56 мин.

В зонах между устьями и гидрофронтами сильно развита турбулентность, вызывающая большую изменчивость гидрологических харак-

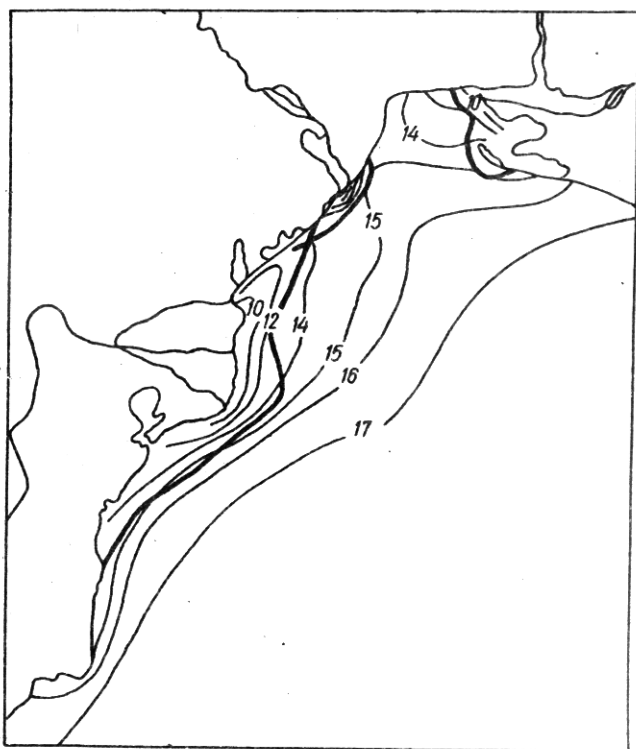


Рис. I. Распределение солёности воды на поверхности моря в промиллях летом. Построено по **средним** данным за май-август 1961-1965 гг. Толстой линией обозначено максимальное удаление гидрофронтот от устьев.

теристик как в пространстве, так и во времени. Среднеквадратичные отклонения здесь достигаются для скорости течений 30-40 см/сек, температуры  $2-3^{\circ}\text{C}$  и солёности  $3-5^{\circ}\text{‰}$ . Эти цифры характеризуют интенсивность турбулентности в переходном слое от речной воды к морской. Ниже этого слоя, в морской воде с солёностью  $16-18^{\circ}\text{‰}$ , интенсивность турбулентности сильно уменьшается. Иллюстрацией сильной из-

менчивости солености в этих зонах могут служить изменения солености на станции "Аннет", выполненной 13-16 июня 1965 г. в 5 км к востоку от устья рукава Потаповского дельты Дуная /рис. 2/.

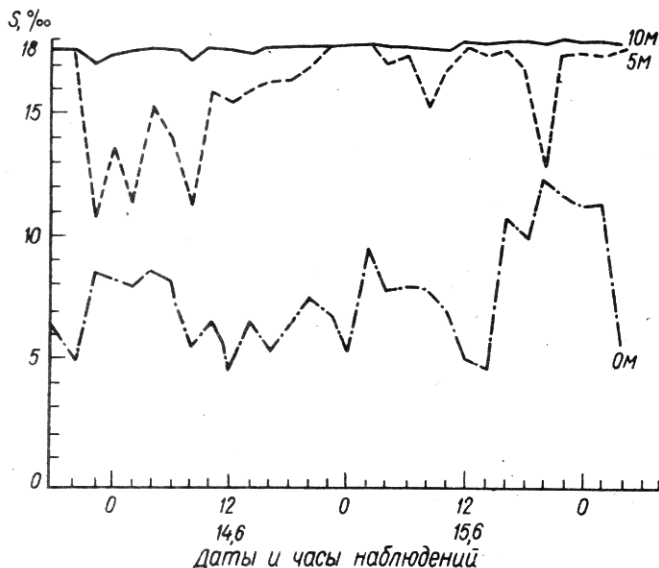


Рис. 2. Колебания солености воды в промиллях на станции "Аннет" 13-16 июня 1965 г.

В рассмотренных зонах от устьев до гидрофронтонтов речная вода трансформируется в морскую на 35-47%, на гидрофронтах - на 59-71%. Дальнейшая трансформация до 100% /соленость 17<sup>0</sup>/‰/ происходит в пространстве от гидрофронтонтов до границы Северо-Западного района. В этом процессе главную роль играет водообмен приустьевоего района и остального пространства моря и вспомогательную - испарение. Испарение /минус осадки/ "высасывает" в области трансформации ежегодно в среднем 32 км<sup>3</sup> пресной воды, т.е. 12% материкового стока в Северо-Западный район. Трансформация речной воды в морскую в целом вызывает приток в эту часть моря 1180±100 км<sup>3</sup>/год морской воды. Объем трансформированной речной воды, вытекающей из этой части моря, в среднем равен 1450±71 км<sup>3</sup>/год. Средний период

возобновления воды Северо-Западного района в процессе водообмена равен  $0,8 \pm 0,48$  года. В водообмен вовлекается около  $2600 \text{ км}^3/\text{год}$  воды, т.е. в 10 раз больше, чем сам материковый сток.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гроен П. - В кн.: Внутренние волны. Изд-во "Мир", М., 1964.
2. Родионов Н.А., Бондар К. - Течения на взморье. Гидрология устьевой области Дуная. Гидрометеоздат. М., 1963.
3. Bondar C. - Studii de Hidrologie. Bucuresti, 1964, 11.
4. Defant A. - Phys. Oceanogr., 1961, 1.