

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ВОД И ИХ СВЯЗЬ С ТОЛЩИНОЙ ХОЛОДНОГО ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ В ЧЕРНОМ МОРЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

В.М. Кушнир, Л.А. Петренко

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

Результаты комплексной съемки Черного моря по программе CoMSBlack-91 были использованы для вычисления пространственного распределения вертикальной скорости $\langle w \rangle$, осредненной в верхнем 150-метровом слое. Показано, что существует корреляция ($R=0.65$) между величиной $\langle w \rangle$ и толщиной холодного промежуточного слоя.

Введение. Вертикальные потоки существенно влияют на биологическую продуктивность различных районов Черного моря, особенно в летний период формирования больших вертикальных градиентов плотности в слоях, находящихся выше холодного промежуточного слоя (ХПС)[1].

Как известно, толщина ХПС в Черном море варьирует в достаточно широких пределах. Целью данной работы было изучение влияния вертикальной скорости течения в верхнем слое моря на толщину ХПС.

Наблюдения. В сентябре - октябре 1991 года была проведена комплексная съемка Черного моря по программе CoMSBlack-91 двумя научно-исследовательскими судами «Профессор Колесников» (Украина) (07.09 - 24.10.91) и «Билим» (Турция) (06.09 - 11.09.91). Эта съемка охватила практически всю акваторию Черного моря за исключением западного и юго-западного районов, прилегающих к побережью Румынии и Болгарии. Измерения гидрологических параметров проводились на всех станциях STD-зондами «Исток-5» на НИС «Профессор Колесников» и «Sea Bird» (SBE-9) на НИС «Билим».

Метод. Оценки вертикальной скорости течения $w(x,y,z)$ для синоптического и более крупных масштабов были вычислены по следующему соотношению:

$$w = \frac{\frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial y}}{\rho_0 f \frac{\partial \rho}{\partial z}} = \frac{G_{py} G_{px} - G_{px} G_{py}}{\rho_0 f G_{pz}} \quad (1)$$

Подобные соотношения в различной форме часто используются для оценки вертикальной скорости течения [2, 3].

Ключевым моментом в определении $w(x,y,z)$ является необходимость определения наиболее вероятных величин горизонтальных градиентов плотности и давления на различных глубинах. Вследствие малости значений этих величин и ограниченного количества данных, их прямые (разностные) оценки подвержены значительным искажениям из-за влияния инструментальных и методических погрешностей, влияния мезо- и мелкомасштабных процессов. В связи с этим был использован метод максимального правдоподобия, в соответствии с которым указанные градиенты определяются по соотношениям [2].

$$G_{px} = \frac{K_{xy} K_{py} - S_y^2 K_{px}}{K_{xy}^2 - S_x^2 S_y^2}$$

$$G_{py} = \frac{K_{xy} K_{px} - S_x^2 K_{py}}{K_{xy}^2 - S_x^2 S_y^2}$$

$$K_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad K_{px} = \sum_{i=1}^n (p_i - p_0) x_i$$

$$K_{py} = \sum_{i=1}^n (p_i - p_0) y_i \quad (2)$$

$$S_x^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad S_y^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2$$

Для приведения данных измерений к одному моменту времени была использована трехмерная пространственная интерполяция на заданную фиксированную сетку. Горизонтальное расстояние между узлами сетки было в 2 - 3 раза меньше бароклинного радиуса деформации, вертикальный шаг сетки - 5 м.

Для распознавания и исправления погрешностей определения $w(z)$ в отдельных точках верхнего квазиоднородного слоя моря вследствие малости вертикального градиента плотности в знаменателе (2) был использован следующий метод. На фиксированной глубине вычисляется стандартное отклонение оценки вертикальной скорости

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (w_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i)^2} \quad (3)$$

Если выполняется условие

$$\left| w_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \right| < 2\sigma_w,$$

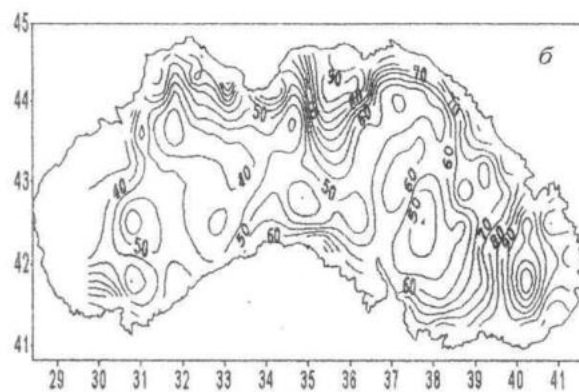
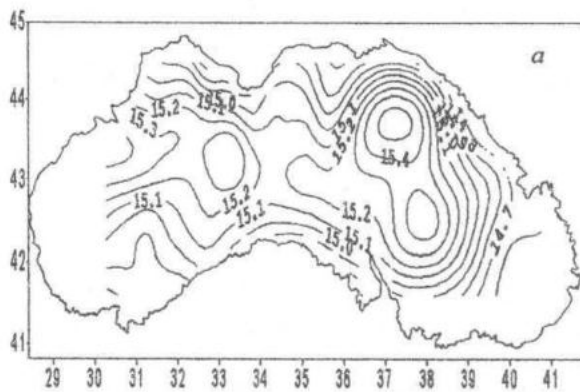


Рис. 1 - Распределение плотности на глубине 50 м (а) и толщины ХПС (б)

то величина вертикальной скорости является достоверной с вероятностью 95%. Если указанное неравенство не выполняется, величина w_i исключается и заменяется интерполированным значением. Такая процедура повторяется до тех пор, пока все величины вертикальной скорости не будут соответствовать указанному условию.

Анализ полученных результатов. На Рис.1а и б показаны распределения плотности на глубине 50 м и толщины ХПС по данным съемки CoMSBlack-91. Распределение плотности соответствует основным особен-

ностям гидрологической структуры Черного моря [1].

Толщина ХПС h_{cl} определялась как разница глубин залегания изотермы 8°C и колебалась в пределах от 30-45 до 70-90 м. Распределение толщины ХПС характеризуется более сложной структурой и большей изменчивостью по сравнению с полем плотности.

Пространственные распределения скорости вертикальных течений $w(x,y,z)$ на глубине 50 м и средней вертикальной скорости в верхнем 150-метровом слое показаны на Рис.2а и б соответственно.

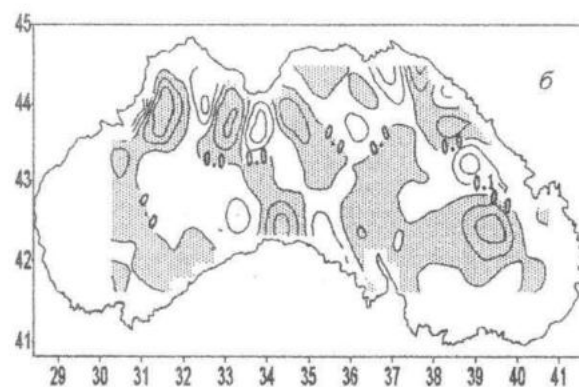
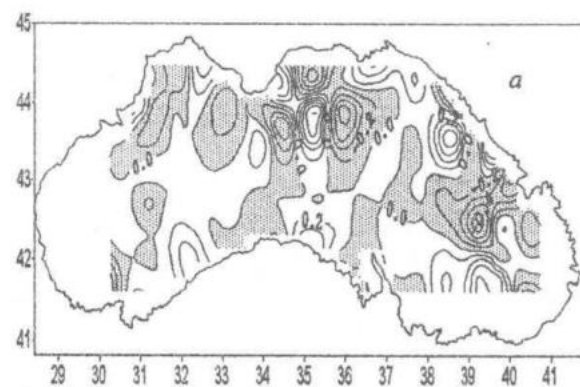


Рис. 2 - Вертикальная скорость на горизонте 50 м (а) и вертикальная скорость, осредненная в слое от 0 до 150 м (б)

Распределение величины вертикальной скорости на глубине 50 м (Рис. 2 а) представляет собой чередование пятен подъема и опускания вод, причем наиболее интенсивный вертикальный обмен наблюдается на перифериях циклонических круговоротов, к которым приурочены максимальные значения скорости, и в пределах главной струи Основного Черноморского течения.

Горизонтальное распределение вертикальной скорости на глубине 50 м и горизонтальное распределение толщины ХПС в достаточной степени хорошо согласуются. Про-

слеживается соответствие зон с положительной вертикальной скоростью (зоны подъема) с зонами уменьшения толщины ХПС в районах 33E, 43N; 35.5E, 43.5N; 38E, 42.5N; обширной зоной опускания и зоной увеличения толщины ХПС в юго-восточной части Черного моря (Батумский антициклон).

Верхний 150-м слой охватывает зону максимальных градиентов основных гидрологических характеристик и глубины залегания ХПС. С целью определения общей тенденции вертикального движения вод в этом слое производилось осреднение $w(x,y)$ в

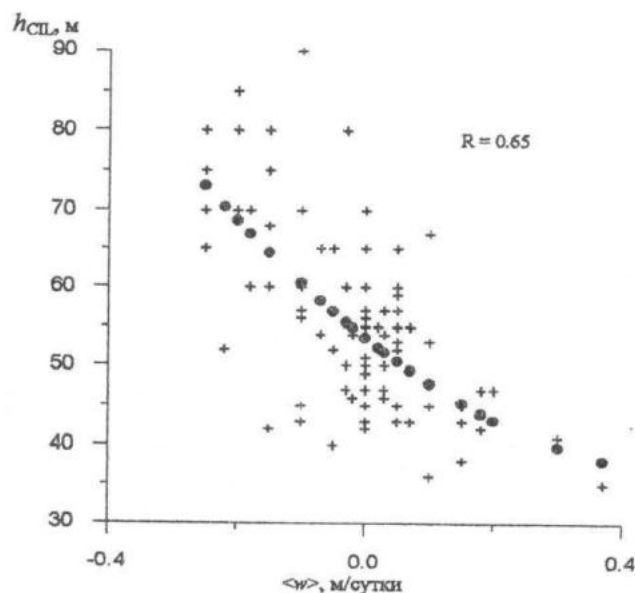


Рис. 3 - Взаимосвязь толщины ХПС и вертикальной скорости, осредненной в слое от 0 до 150 м (крестики) и регрессионная зависимость $h_{CL} = f(\langle w \rangle)$ (точки)

каждой точке расчетной схемы. Распределение осредненных величин вертикальной скорости $\langle w \rangle$ соответствует крупномасштабным (~100 км) зонам подъема и опускания вод и практически совпадает с положением квазистационарных синоптических вихрей Черного моря и с зонами вариации толщины ХПС. На Рис. 3 приведено совместное распределение оценок $\langle w \rangle$ и h_{CL} . Там же приведено значение корреляции ($R = 0.65$) между этими оценками.

Таким образом, распределение зон подъема и опускания вод в верхнем, активном слое Черного моря существенно влияет на толщину ХПС и, вероятно, определяет более сложный, «пятнистый», характер изменения

толщины ХПС по сравнению с горизонтальным распределением поля плотности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комплексные океанографические исследования Черного моря / - Киев: Наук. думка, 1980. - 240 с.
2. Bulgakov S.N., Kushnir V.M., Martinez A.Z. Black Sea vertical circulation and extremes of the hydrochemical and hydrooptical parameters. *Oceanologica Acta*, 1999, 22, 4, - P. 367-380.
3. Leach. H. The diagnosis of synoptic-scale vertical motion in the seasonal thermocline. *Deep-Sea Res*, 1987, 34, - P. 2005-2017.