

Н.Н.Дьяков<sup>1</sup>, И.Н.Фомина<sup>1</sup>, Т.Ю.Тимошенко<sup>1</sup>, А.А.Полозок<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Севастопольское отделение

Государственного океанографического института им.Н.Н.Зубова, г.Севастополь

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь

## ОСОБЕННОСТИ ВОДООБМЕНА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Выполнен анализ результатов специализированных экспедиционных исследований для изучения динамики вод в северной узости Керченского пролива (порт Крым – порт Кавказ) за период 1975 – 2013 гг. Для расчета расходов воды использована сетка с разрешением 1 м по вертикали и 20 м по горизонтали. Приведены количественные оценки среднемесячных, среднегодовых и максимальных расходов воды через узость пролива. Исследуются поля скорости ветра и уровня моря в Керченском проливе для случаев максимальных расходов воды.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *Керченский пролив, разрез Крым – Кавказ, водообмен, расходы воды, уровень моря, течения.*

Керченский пролив является важнейшей судоходной магистралью и рыбопромысловым районом. В результате водообмена через пролив формируются гидрологический и гидрохимический режимы прилегающих районов Азовского и Черного морей. При этом основная роль в формировании водообмена принадлежит ветровым течениям, сгонно-нагонным процессам, а также различиям в пресном балансе Черного и Азовского морей.

Оценки характеристик водообмена через Керченский пролив по данным наблюдений за 1962 – 1973 гг. получены в работах [1 – 4]. В настоящей работе рассматриваются особенности водообмена через Керченский пролив на основе данных специализированных натуральных наблюдений за период 1975 – 2013 гг. и более точной методики расчетов, по сравнению с [1].

**Материалы и методика расчетов.** В работе использованы данные многолетних экспедиционных наблюдений за течениями на разрезе порт Крым – порт Кавказ, полученные подразделениями Гидрометеослужбы в период 1975 – 2013 гг. Схема гидрологических станций на разрезе приведена на рис.1. Измерения течений и расходов воды проводились на семи гидрологических станциях разреза на трех горизонтах (поверхность; 3 м; 0,5 м от дна). Всего в проливе было выполнено более 600 разрезов. Максимальные наблюдаемые значения скорости течений составляли 80 см/с.

Выбор северной узости Керченского пролива в качестве объекта исследования связан с наличием большого массива регулярных наблюдений, преобладанием устойчивых и однонаправленных течений по поперечному сечению северной узости.

Площадь поперечного сечения пролива определялась по профилю поперечного сечения разреза порт Крым – порт Кавказ (рис.2), построенного для среднего многолетнего уровня воды (483 см) на ближайшем к проливу МГ Опасное, и составляла 29400 м<sup>2</sup>.

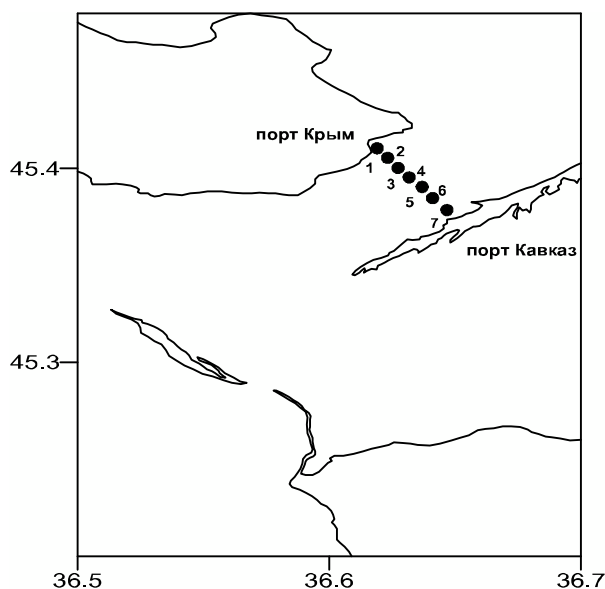


Рис. 1. Схема станций разреза порт Крым – порт Кавказ в Керченском проливе.

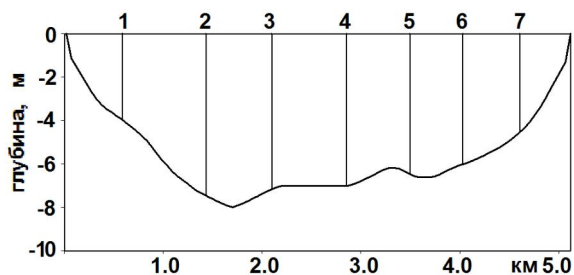


Рис. 2. Вертикальный профиль разреза порт Крым – порт Кавказ (номера вертикалей обозначены цифрами 1 – 7).

Расчет расходов воды определялся по методике, изложенной в [7], которая является более точной по сравнению с методикой Э.Альтмана [1]. Согласно [7], для каждой съемки скорость и направление течений на разрезе проектировались на продольную ось пролива, направленную перпендикулярно плоскости поперечного сечения разреза. Азимут продольной оси принимался равным  $220^\circ$ .

Далее в результате интерполяции, учитывающей изменения уровня моря на момент измерений на станциях, для каждой съемки получалось распределение нормальной составляющей скорости течения  $u_n(x_i, z_i)$  на разрезе с шагом  $\Delta x \sim 20$  м по горизонтали и шагом  $\Delta z \sim 1$  м по вертикали. Здесь  $x_i, z_i$  – координаты центра элементарной ячейки, в которую интерполировались значения скорости.

Прямой расход воды  $Q_{np}$  (из Азовского моря в Черное

море) определялся как сумма элементарных расходов  $u_n(x_i, z_i) \cdot \Delta x \cdot \Delta z$  для всех  $u_n(x_i, z_i) > 0$  по всему разрезу. Обратный расход воды  $Q_{об}$  (из Черного моря в Азовское) определялся как сумма элементарных расходов  $Q_i$  для всех  $u_n(x_i, z_i) < 0$  по всему разрезу. Результирующий расход воды  $Q_p$  рассчитывался как алгебраическая сумма

$$Q_p = Q_{np} + Q_{об}. \quad (1)$$

Отрицательные значения  $Q_p$  в формуле (1) указывают на преобладание черноморского потока, положительные – на преобладание азовского потока.

Следует отметить, что начиная с 1999 г. наблюдения за течениями выполнялись только на 4-х станциях разреза, расположенных в его западной части (ст. 1 – 4). Поэтому для количественной оценки суммарных расходов воды через всю северную узость  $Q_s$  после 1998 г. использовались регрессионные уравнения, описывающие связь суммарного расхода воды  $Q_s$  от расхода воды его западной части  $Q_w$  для разных типов течений (табл. 1). Эти

Т а б л и ц а 1. Уравнения, описывающие зависимость расходов воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) через всю северную узость Керченского пролива  $Q_s$  от расходов только через западную часть  $Q_w$  для различных типов течений в проливе ( $R$  – коэффициент корреляции).

№	тип течений	уравнение линейной регрессии	$R$
1	азовский	$Q_s = 379,5 + 1,24 \cdot Q_w$	0,991
2	черноморский	$Q_s = -397,9 + 1,20 \cdot Q_w$	0,977
3	смешанный	$Q_s = -84,7 + 1,24 \cdot Q_w$	0,935

уравнения получены на основе данных измерений на всех семи станциях за период 1975 – 1998 гг.

**Обсуждение результаты расчетов.** Как показал анализ данных натуральных наблюдений в северной узости Керченского пролива за период 1975 – 2013 гг., повторяемость устойчивых однонаправленных азовских течений составила 31 % от общего числа случаев. Такой тип течений возникает при ветрах северных направлений и определяется величиной стока основных рек в Азовское море.

При ветрах южных румбов развивался преимущественно черноморский тип течений (повторяемость 28 %). Смешанные течения переменных направлений, возникающие при смене поля ветра или при малоградиентном поле атмосферного давления, наблюдались в 41 % случаев.

Преобладающий перенос вод в северной узости пролива с учетом смешанных потоков за исследуемый период отмечался из Азовского моря в Черное море (51 % от общего числа наблюдений). Ранее (в 1962 – 1974 гг.) по данным [2, 3] повторяемость его была существенно выше (62 %).

Черноморский поток в 1975 – 2013 гг. наблюдался в 49 % случаев, в то время как с 1962 – 1974 гг. его повторяемость была 38 %.

В табл.2 представлены величины расходов воды по месяцам для азовского и черноморского потоков в Керченском проливе за 1975 – 2013 гг. Здесь  $Q_{cp}$  – среднемесячное значение расхода воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{max}$  – максимальное значение расхода воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Как видно, максимальный расход воды составил  $15127 \text{ м}^3/\text{с}$  для азовского типа течений и  $14165 \text{ м}^3/\text{с}$  для черноморского типа течений. Средний расход воды черноморских течений в северной узости пролива в 1975 – 2013 гг. составлял  $3845 \text{ м}^3/\text{с}$ . Согласно данным [2, 3], в 1962 – 1974 гг. он был значительно больше ( $4300 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Средний расход воды азовских течений в 1975 – 2013 гг. равен  $4004 \text{ м}^3/\text{с}$ , что на  $84 \text{ м}^3/\text{с}$  больше среднего значения за 1962 – 1974 гг.

Полученное снижение водообмена через северную узость Керченского пролива можно объяснить уменьшением скорости ветра в регионе [5, 6] и увеличением повторяемости черноморских течений.

На рис.3 показано соотношение между прямым  $Q_{np}$  и обратным  $Q_{об}$  расходами воды на разрезе порт Крым – порт Кавказ. Точки, лежащие на осях этого графика, соответствуют черноморскому (ось  $y$ ) и азовскому (ось  $x$ ) типам течений, а точки, лежащие внутри графика, соответствуют смешанному типу течений. Как видно, при значениях  $Q_{np}$  больше  $2500 \text{ м}^3$  и  $Q_{об}$  свыше  $5200 \text{ м}^3$  наблюдаются только однонаправленные потоки. В основном наблюдаются однонаправленные потоки.

Таблица 2. Средние и максимальные расходы воды ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) для Азовского и Черноморского потоков в Керченском проливе за 1975 – 2013 гг.

месяц	азовские течения			черноморские течения		
	$Q_{cp}$	$Q_{max}$	дата	$Q_{cp}$	$Q_{max}$	дата
1	4022	7433	2 января 1975 г.	4870	11500	15 января 1986 г.
2	6740	9737	13 февраля 1984 г.	4610	8121	10 февраля 2004 г.
3	4134	7863	24 марта 2004 г.	2834	8724	10 марта 1981 г.
4	4728	10700	16 апреля 1980 г.	3770	10624	3 апреля 2008 г.
5	4184	12100	5 мая 1986 г.	4078	10557	26 мая 2010 г.
6	4583	10500	15 июня 1981 г.	3040	8045	22 июня 2010 г.
7	3395	11600	25 июля 1979 г.	3371	8249	23 июля 2013 г.
8	2919	12200	9 августа 1979 г.	3491	9059	22 августа 2007 г.
9	3246	10248	17 сентября 2012 г.	4022	8691	29 сентября 2005 г.
10	3090	10100	26 октября 1979 г.	3817	14165	24 октября 2005 г.
11	4004	15127	15 ноября 2006 г.	4301	11262	19 ноября 1975 г.
12	3700	7682	12 февраля 1983 г.	3936	7103	25 декабря 1978 г.
год	4004	15127	15 ноября 2006 г.	3845	14165	24 октября 2005 г.

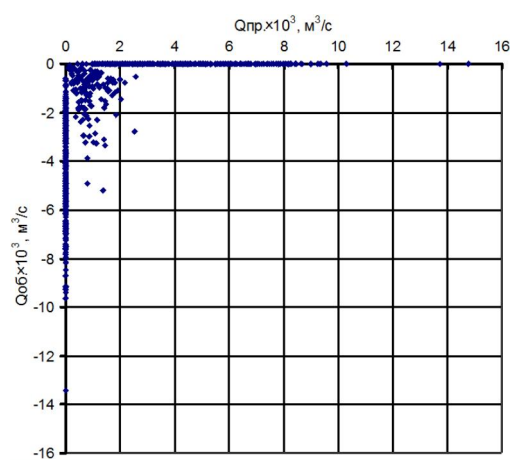


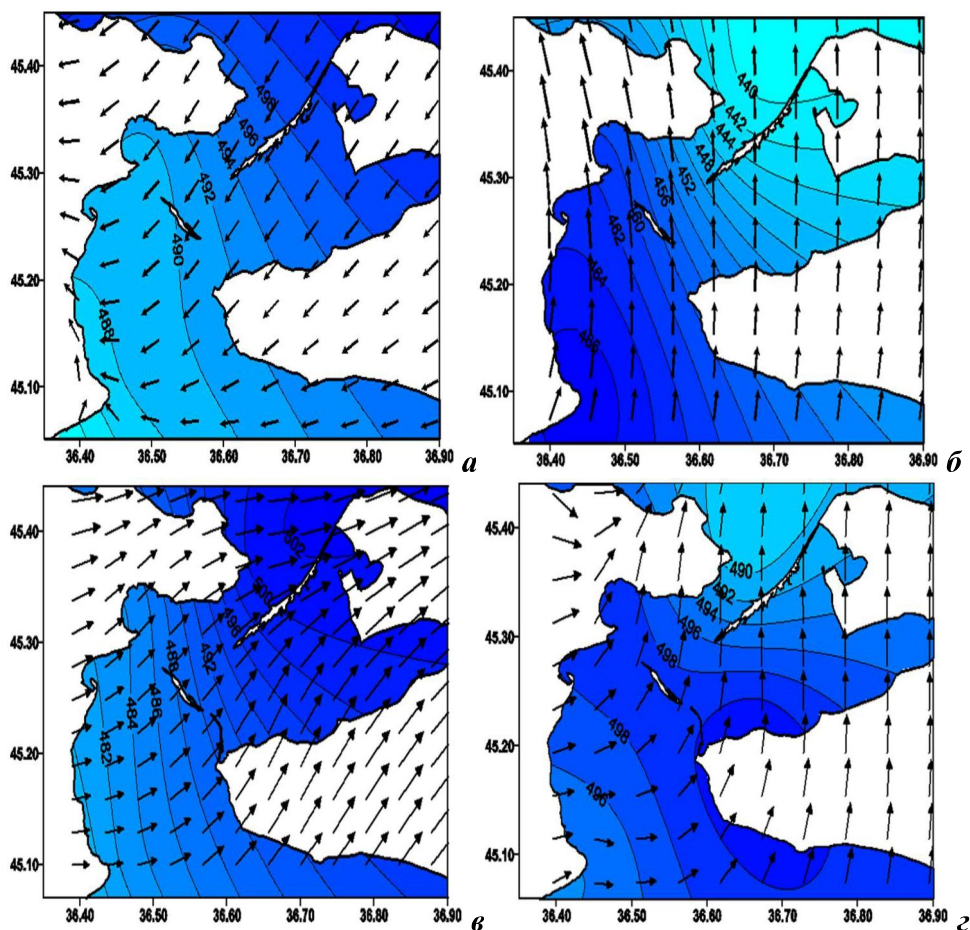
Рис. 3. Соотношение между прямым  $Q_{пр}$  и обратным  $Q_{об}$  расходами воды на разрезе порт Крым – порт Кавказ.

бря 2006 г.) в результате продолжительного западного и юго-западного ветров со скоростью 14 – 19 м/с на границах Керченского пролива перепад уровня достигал 20 см. Это вызвало 15 ноября 2006 г. в северной узости пролива сильные компенсационные течения в сторону, противоположную направлению ветра.

**Выводы.** Выполнен анализ результатов расчетов водообмена через Керченский пролив на основе данных специализированных натурных наблюдений за период 1975 – 2013 гг. с помощью методики [7].

На рис.4 представлены поля скорости ветра и уровня Керченского пролива при максимальных расходах воды. Поля получены путем линейной интерполяции данных береговых станций: Мысовое, Опасное, Керчь, Заветное, Феодосия, Тамань, Темрюк. Приведенные поля подтверждают образование однонаправленных потоков при больших скоростях ветра, когда его направление совпадает с уклоном уровня поверхности воды на концах пролива (рис.4, а, б, г).

Особый интерес представляет ситуация, возникшая 15 ноября 2006 г. (рис.4, в). Накануне (14 ноября



Р и с . 4 . Поля скорости ветра и уровня Керченского пролива при максимальных расходах воды: азовский расход 13 мая 1982 г. (ветер северный – северо-восточный, скорость 7 – 10 м/с, расход 10302 м<sup>3</sup>/с) (а); черноморский расход 19 ноября 1975 г., (ветер южный – юго-восточный, скорость 10 – 12 м/с, расход 11262 м<sup>3</sup>/с) (б); азовский расход 15 ноября 2006 г. (ветер западный – юго-западный, скорость 12 – 14 м/с, расход 15127 м<sup>3</sup>/с) (в); черноморский расход 24 октября 2005 г. (ветер южный – юго-западный, скорость 6 – 10 м/с, расход 14165 м<sup>3</sup>/с) (г).

Показано, что для всех отобранных съемок мгновенный расход воды через Керченский пролив за период январь – декабрь не превышал 15127 м<sup>3</sup>/с при прямом потоке  $Q_{np}$  и 13405 м<sup>3</sup>/с – при обратном  $Q_{об}$ . Между  $Q_{об} = -5200$  и  $Q_{np} = 2500$  м<sup>3</sup>/с возможны как однонаправленные, так и смешанные потоки. За пределами указанных значений наблюдаются только однонаправленные потоки.

Максимальные однонаправленные черноморские потоки возникают при ветрах юго-западных, южных, юго-восточных румбов при скоростях более 10 м/с, максимальные азовские однонаправленные потоки – при ветрах северных румбов.

Сравнение полученных расходов в северной узости Керченского пролива за исследуемый период с расходами за 1962 – 1974 гг. [2, 3] показало

снижение водообмена за счет уменьшения скоростей черноморских течений и незначительного увеличении их повторяемости. Эти изменения обусловлены уменьшением скорости ветра в регионе, а также особенностями межгодовой изменчивости бюджета пресных вод Азовского моря.

Анализ случаев максимальных расходов воды через северную узость пролива показал, что обычно эти расходы возникают при штормовых ветрах северных или южных румбов. При длительном действии ветра со скоростью 14 – 19 м/с в проливе возникают сильные компенсационные течения в сторону противоположную направлению ветра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альтман Э.Н., Толмазин Д.М.* Метод расчета течений и водообмена в Керченском проливе // *Океанология.*– 1970.– т.10, вып.3.– С.438-447.
2. *Альтман Э.Н.* Водообмен через Керченский пролив в условиях зарегулированного стока рек Азовского бассейна // *Океанология.*– 1973.– т.ХIII, вып.3.– С.416-423.
3. *Альтман Э.Н.* К вопросу об изменчивости расходов воды в Керченском проливе (по натурным наблюдениям) // *Тр. ГОИН.*– 1976.– вып.132.– С.17-28.
4. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР.* Т.V. Азовское море.– Л., 1991.– 236 с.
5. *Гидрометеорологические условия морей Украины.* Т.1. Азовское море.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– 402 с.
6. *Гидрометеорологические условия морей Украины.* Т.2. Черное море.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.– 402 с.
7. *Симов В.Г., Морозов В.И., Фомина И.Н., Мартынов Е.С.* Водообмен Таганрогского залива с Азовским морем // *Морской гидрофизический журнал.*– 2013.– № 4.– С.73-82.

Материал поступил в редакцию 01.02.2016 г.

N.N.Dyakov, I.N.Fomina, T.Yu.Timoshenko, A.A.Polozok

#### **PECULIARITIES OF WATER EXCHANGE THROUGH THE KERCH STRAIT ACCORDING TO IN SITU DATA**

The results of special cruises research of water dynamic in the Kerch Strait northern narrow (Crimea Port – Caucasus Port) are analyzed from 1975 up to 2013. To calculate the water discharges the grid with a resolution of 1 m vertically and 20 m horizontally is used. The average monthly, annual average and maximum water discharge through the Strait narrow are estimated quantitatively. In case maximum water discharges the wind current fields and sea level in the Kerch Strait are investigated.

**KEYWORDS:** Kerch strait, section Crimea – Caucasus, water discharge, sea level trends, currents.