

Учет влияния водообмена через Керченский пролив на сгонно-нагонные процессы и течения в Азовском море

Представлены результаты численного моделирования влияния водообмена через Керченский пролив на стационарные движения в Азовском море. С использованием трехмерной нелинейной численной модели выполнен анализ экстремальных отклонений уровня, поверхностных и глубинных течений в зависимости от направления и скорости постоянного ветра, а также с учетом и без учета водообмена через пролив. Установлено, что учет водообмена с Черным морем приводит к увеличению максимальных отклонений уровня и скоростей установившихся течений. В частности показано, что при скорости ветра 10 м/с максимальные значения нагонов и скоростей течений при учете пролива на 36 и 42% соответственно больше, чем без учета. При этом наибольшие скорости течений вызываются ветром южного направления.

Введение

Азовское море сообщается с Черным через Керченский пролив посредством движения воды, возникающего из-за разности уровней в северной (азовской) и южной (черноморской) частях и под действием ветра, влияние которого на уровень воды в проливе в среднем в 5 – 6, а при штормах в 10 – 15 раз сильнее, чем воздействие речного стока [1]. При осуществлении транспортных операций возможны аварии, которые могут происходить в сложных гидрометеорологических условиях, и время для принятия решений в таких ситуациях ограничено. Моделирование экстремальных отклонений уровня и пространственно-временных параметров распространения примеси в Азовском море позволяет оценить вероятные масштабы последствий до возникновения аварийной ситуации.

Изучению сгонно-нагонных явлений и течений Азовского моря без учета Керченского пролива посвящены работы [2 – 5], в которых с помощью трехмерной нелинейной σ -координатной модели [6, 7] выявлены особенности формирования полей уровня моря и течений, генерируемых различными полями ветра.

В данной работе представлены результаты исследования влияния водообмена через Керченский пролив на стационарные движения в Азовском море. С использованием трехмерной нелинейной численной модели выполнен анализ экстремальных отклонений уровня, а также поверхностных и глубинных течений в зависимости от направления и скорости постоянного ветра с учетом и без учета водообмена через пролив.

Постановка задачи. Граничные и начальные условия

Введем систему координат, в которой ось x направлена на восток, y – на север, z – вертикально вверх. Математическая модель основывается на урав-

нениях движения и неразрывности, записанных в декартовой системе координат (x, y, z) с использованием приближений Буссинеска и гидростатики [6, 7]:

$$\frac{du}{dt} - fv + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(A_M \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} A_M \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} K_M \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} + fu + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} A_M \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(A_M \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} K_M \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + g\rho = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

Здесь все обозначения общеприняты. Коэффициент горизонтальной турбулентной вязкости A_M вычисляется с помощью формулы Смагоринского [8], для параметризации коэффициента вертикальной турбулентной вязкости K_M применяется теория Меллора – Ямады [9].

Граничные условия на свободной поверхности имеют вид

$$w|_{z=\zeta} = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y}, \quad (5)$$

$$K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) \Big|_{z=\zeta} = (\tau_{0x}, \tau_{0y}). \quad (6)$$

Здесь $\tau_{0x} = \rho_a C_a W_x |\mathbf{W}|$, $\tau_{0y} = \rho_a C_a W_y |\mathbf{W}|$ – проекции касательных напряжений ветра; C_a – коэффициент поверхностного трения, зависящий от скорости ветра [10]:

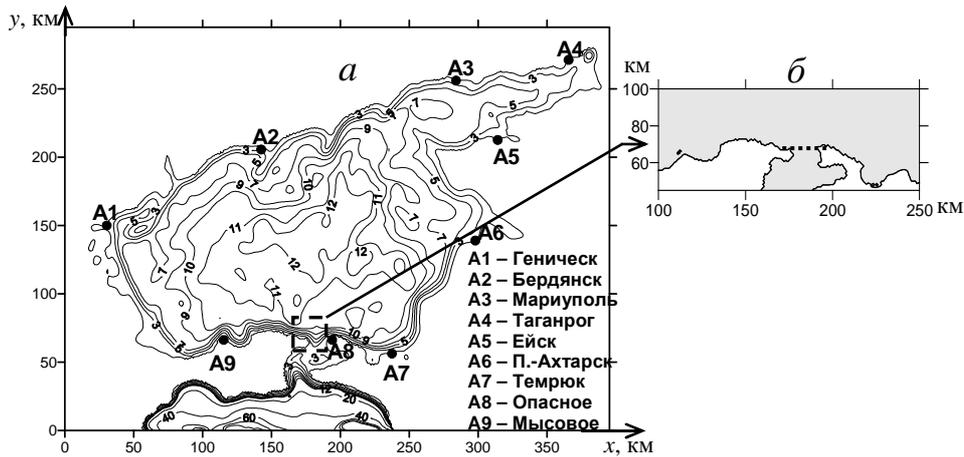
$$C_a = k^2 [14,56 - 2 \ln W_0]^{-2}, \quad (7)$$

где $k = 0,4$ – постоянная Кармана; $W_0 = |\mathbf{W}|/W_1$; $W_1 = 1$ м/с.

На боковых границах выполняются условия прилипания. При решении задачи с учетом пролива на жидкой границе принимается условие свободного протекания (равенство нулю первой производной нормальной составляющей горизонтальной скорости к жидкой границе). Жидкая граница (рис. 1, а) соответствует вертикальному разрезу по $44,81^\circ$ с.ш. вдоль акватории Черного моря ($60 \leq x \leq 240$ км, $y = 0$). Во всех точках, расположенных на этой границе, выполняется условие

$$v'_n|_{\Gamma} = 0, \quad (8)$$

где Γ – жидкая граница. При решении задачи без учета пролива рассматривается замкнутый бассейн, в котором вдоль $39,33^\circ$ с.ш. имеет место вертикальная боковая стенка (рис. 1, а).



Р и с. 1. Положение прибрежных станций вдоль побережья Азовского моря и сечение, через которое рассчитывается расход воды

На дне ($z = -H(x, y)$) равна нулю нормальная составляющая скорости

$$\left(w + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} \right) \Big|_{z=-H} = 0. \quad (9)$$

Придонные касательные напряжения связаны со скоростью квадратичной зависимостью [6]

$$K_M \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) \Big|_{z=-H} = (\tau_{1x}, \tau_{1y}), \quad (10)$$

где $\tau_{1x} = c_b u \sqrt{u^2 + v^2}$; $\tau_{1y} = c_b v \sqrt{u^2 + v^2}$; c_b – коэффициент донного трения, который находится по формуле $c_b = k^2 / (\ln^2 z_2 / z_0)$, здесь z_2 – шаг по вертикали в придонном слое, $z_0 = 0,003$ м – параметр шероховатости донной поверхности [6].

В начальный момент времени $t = 0$ движение жидкости отсутствует, свободная поверхность горизонтальна:

$$u(x, y, z, 0) = 0, \quad v(x, y, z, 0) = 0, \quad \zeta(x, y, z, 0) = 0. \quad (11)$$

Приближение к установившемуся режиму оценивается по относительным изменениям полной энергии $E_S(t)$, которая находится как сумма осредненных по объему моря кинетической $E_K(t)$ и потенциальной $E_P(t)$ энергий. Считается, что стационарный режим достигается при $\delta E_S^n \leq 10^{-2}$, где $\delta E_S^n = |E_S^{n+1} - E_S^n| / E_S^n$; n – номер шага по времени. Исходя из этого, определяется время установления движения жидкости $t = t_1$.

Для расчета водообмена через Керченский пролив на каждом шаге по времени рассчитывается суммарный расход воды, проходящей через сечение, расположенное на разрезе $177 \leq x \leq 192$ км, $y = 62$ км (рис. 1, б). При этом объем протекшей жидкости за время $0 \leq t \leq t_n$ определяется выражением

$$G(t_n) = S \sum_{i=1}^n \overline{U(t_i)} t_i, \quad (12)$$

где $\overline{U(t_i)}$ – средняя скорость течений в сечении пролива на i -м временном шаге; S – площадь сечения.

Численная реализация модели и выбор параметров. В исходных уравнениях (1) – (4), граничных условиях (5), (6), (8) – (10) и начальных условиях (11) осуществляется переход от координаты z к σ -координате [6, 7] посредством соотношений $x^* = x$, $y^* = y$, $\sigma = [z - \zeta]/[H + \zeta]$, $t^* = t$, где $\sigma \in [-1; 0]$. Для численных расчетов применена модифицированная версия модели *POM (Princeton Ocean Model)* [6, 7]. Количество расчетных уровней по вертикали равнялось 11, при этом линейные размеры ячейки сетки составляли $\Delta x = \Delta y \approx 1$ км. Уравнения интегрировались с шагом $\Delta t = 18$ с для определения осредненных двумерных горизонтальных компонент скорости и уровня моря и с шагом $10\Delta t = 3$ мин – для вычисления отклонений от найденных средних и вертикальной компонент скорости. Топография дна расчетной области (рис. 1, а) на модельную сетку была интерполирована из массива глубин, снятого с навигационных карт. Отклонения уровня моря анализировались в девяти точках морского побережья.

Анализ численных экспериментов

За последние 50 лет волны максимальной высоты (2 м) в северной части Керченского пролива наблюдались только при ветрах северной четверти. Повторяемость ветров южной четверти в северо-восточной части моря составляет 12%, но по силе они никогда не превышали 15 – 17 м/с. Согласно данным за всю историю инструментальных наблюдений (с 1936 г.) известно, что в течение всего года, за исключением марта, в проливе преобладает волнение высотой 0,7 – 1 м и ниже. При северном ветре доминирует поток из Азовского моря с максимальными скоростями течений в северной части пролива до 40 – 70 см/с. При южном ветре в проливе наблюдается черноморский поток с максимальными скоростями до 80 см/с. Повторяемость азовских течений в среднем за год составляет 58%, черноморских – 42%.

Численные эксперименты реализованы для трех направлений стационарного ветра различной скорости. Развитие ветра над поверхностью моря происходит в два этапа. От начального момента времени $t = 0$ на водную поверхность начинает действовать ветер заданного (постоянного) направления, скорость которого нарастает со временем (3 ч) по линейному закону. Затем скорость ветра в каждой точке акватории достигает заданного значения и далее не меняется. Исследования проводились для южного (Ю), западного (З) и восточного (В) ветра при скоростях: $W_1 = 5$, $W_2 = 10$, $W_3 = 15$ м/с.

1. В серии численных экспериментов исследуется влияние скорости и направления стационарного ветра на экстремальные смещения уровня моря и поля течений в установившемся режиме. Полученные результаты сравниваются с расчетами, проведенными при моделировании установившихся движений в Азовском море без учета водообмена через Керченский пролив.

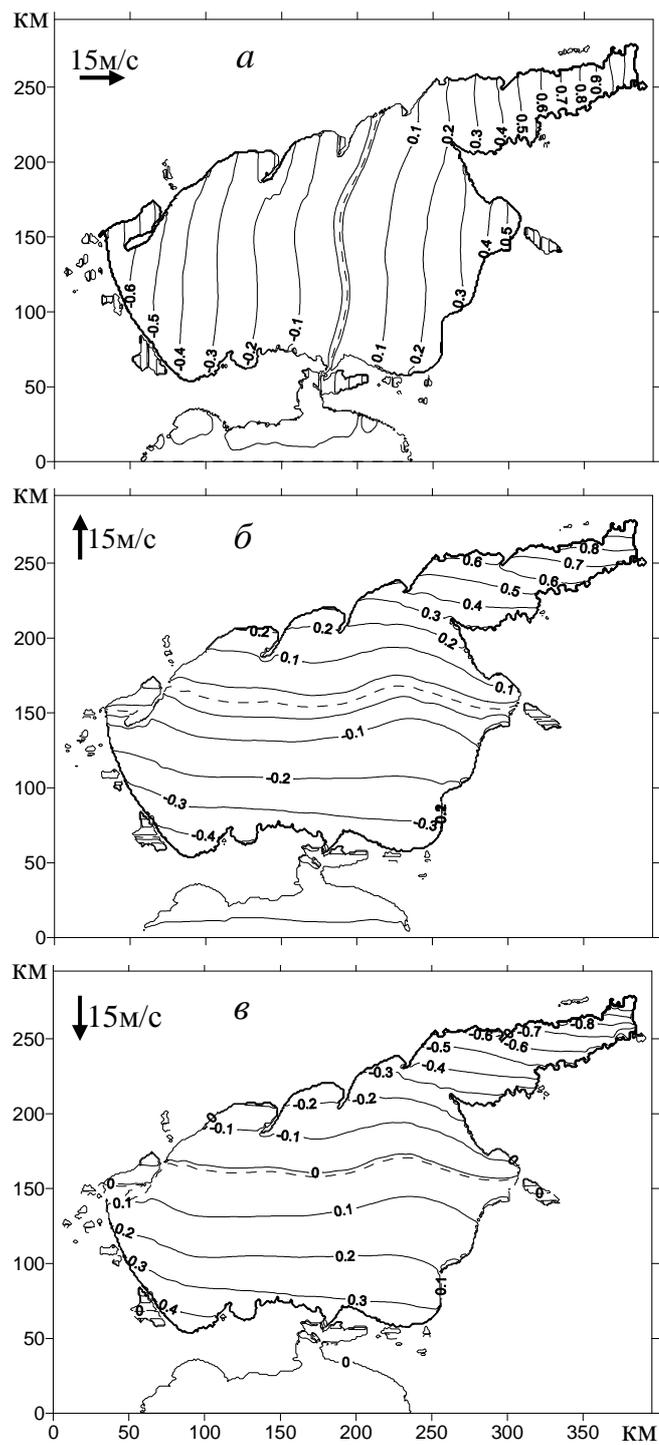
На рис. 2 приведены поля уровня моря в момент времени $t = t_1$, генерируемые постоянным ветром различных направлений, действующим со скоростью 15 м/с. Видно, что при различных направлениях ветра в стационарном режиме происходит понижение уровня у подветренных берегов (сгон) и повышение – у наветренных (нагон). Узловая (штриховая) линия ориентирована перпендикулярно направлению действующего ветра, она пересекает центральную часть моря в зональном (рис. 2, б, в) и меридиональном (рис. 2, а) направлениях. При ветре рассматриваемых направлений наиболее сильному влиянию сгонно-нагонных процессов (до 1 м) подвержен Таганрогский залив.

В табл. 1 приведены зависимости максимальных отклонений уровня на береговых станциях Азовского моря в установившемся режиме от направления и скорости ветра с учетом и без учета водообмена через пролив. Из анализа приведенных данных следует, что на каждой станции наиболее значимые сгонно-нагонные процессы отмечаются в большинстве случаев под действием ветра больших скоростей и при учете водообмена с Черным морем. Действие стационарного ветра одного направления, но большей скорости (10 и 15 м/с) приводит к возрастанию наибольших отклонений уровня не более чем на 60%. Сравнение величин $|\zeta|_{\max}$, полученных при решении задачи с учетом и без учета пролива для ветра одного направления и скорости, показывает, что учет водообмена приводит к увеличению экстремальных значений уровня. При скорости ветра 10 м/с максимальные различия абсолютных максимумов на станциях составляют: 43% (западный ветер), 45% (южный), 46% (северный); при скорости ветра 15 м/с – 44% (западный ветер), 43% (южный), 45% (северный).

Т а б л и ц а 1

Максимальные отклонения уровня в установившемся режиме ($|\zeta_{\max}|$, см) на береговых станциях Азовского моря, вызываемые постоянным ветром трех направлений, с учетом (1) и без учета (2) пролива

Береговые станции	$W_1 = 5 \text{ м/с}$						$W_2 = 10 \text{ м/с}$						$W_3 = 15 \text{ м/с}$					
	З		Ю		С		З		Ю		С		З		Ю		С	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Геническ	-7	-7	-1	0	1	0	-42	-29	0	-1	0	-1	-112	-69	-2	-4	1	4
Бердянск	1	0	-4	-3	4	3	-4	-2	17	11	-18	11	-5	-4	46	28	-47	-26
Мариуполь	4	2	-6	-5	8	6	27	6	31	24	-32	24	25	14	79	57	-82	-60
Таганрог	11	10	-11	-8	9	8	57	44	44	32	-48	32	138	100	108	80	-140	-82
Ейск	7	6	-6	-4	5	4	38	22	14	16	-13	16	96	52	36	41	-29	-37
П.-Ахтарск	5	5	-1	-1	2	1	29	21	-8	3	8	3	73	49	-20	-12	14	8
Темрюк	2	1	5	3	-7	-3	5	7	-22	-14	22	-14	15	20	-59	-33	55	31
Опасное	-1	-1	5	3	-6	-3	-4	-3	-21	-12	21	-12	-9	-5	-56	-29	53	28
Мысовое	-4	-3	4	3	-5	-3	-18	-13	-22	-15	21	-15	-45	-30	-58	-35	53	36



Р и с. 2. Поля уровня (м) Азовского моря в установившемся режиме при западном (а), южном (б) и северном (в) ветре

Существенно влияет на максимальные отклонения уровня и направление стационарного ветра. Отметим, что на рассматриваемых станциях наибольшие подъемы или опускания уровня происходят при определенном направлении ветра одной и той же скорости. Так, при западном ветре максимальные нагоны отмечаются на станциях Таганрог (138 см), Ейск (96 см), Приморско-Ахтарск (73 см), а максимальные сгоны – на ст. Геническ (112 см). При южном ветре наибольшие максимальные подъемы уровня имеют место на станциях Бердянск (46 см) и Мариуполь (79 см), максимальные опускания уровня – на станциях Темрюк (59 см), Опасное (56 см), Мысовое (58 см). Северный ветер вызывает наибольшие нагоны на станциях Темрюк (55 см), Опасное (53 см), Мысовое (53 см), наибольшие сгоны – на станциях Бердянск (47 см), Мариуполь (82 см) и Таганрог (140 см).

Таким образом, для ст. Геническ максимальные нагоны будут развиваться при южном ветре, а наибольшие сгоны – при западном и северном. В районе ст. Бердянск максимальные подъемы уровня наблюдаются при южном, максимальные опускания – при северном ветре. Наиболее опасным с точки зрения сгонов для станций Мариуполь, Таганрог и Ейск является северный ветер, максимальные нагоны здесь вызываются южным и западным ветром. На ст. Приморско-Ахтарск наибольшие сгоны возникают при северном ветре, западный ветер обуславливает максимальные подъемы уровня. На ст. Темрюк максимальные нагоны развиваются при северном ветре, а наибольшие сгоны – при южном. В районе ст. Опасное максимальные подъемы уровня наблюдаются при северном ветре, наибольшие опускания – при южном и западном. На ст. Мысовое возникновение наибольших нагонов имеет место при северном ветре, сгонов – при южном и западном.

В табл. 2 приведены абсолютные максимумы отклонений свободной поверхности Азовского моря в установившемся движении в зависимости от скорости и направления постоянного ветра. Как следует из анализа приведенных данных, наибольшие экстремальные изменения уровня моря соответствуют расчетам, проведенным с учетом водообмена с Черным морем, они тем больше, чем больше скорость действующего ветра. Сравнение двух значений $|\zeta_{\max}|$, полученных при разных условиях в проливе и одинаковом ветровом воздействии, показывает близкое совпадение результатов расчета. При этом отклонения результатов для трех исследуемых направлений постоянного ветра со скоростями 5, 10 и 15 м/с составляют 13, 19, 24% (западный ветер); 17, 6, 25% (южный ветер); 18, 19, 23% (северный ветер). Отметим, что направление ветра также влияет на величины максимальных отклонений ζ . Так, под действием стационарного ветра со скоростью 15 м/с наибольшие значения $|\zeta_{\max}|$, которые достигаются при западном ветре (162 см), превышают наименьшие (115 см), вызванные южным ветром, на 29%.

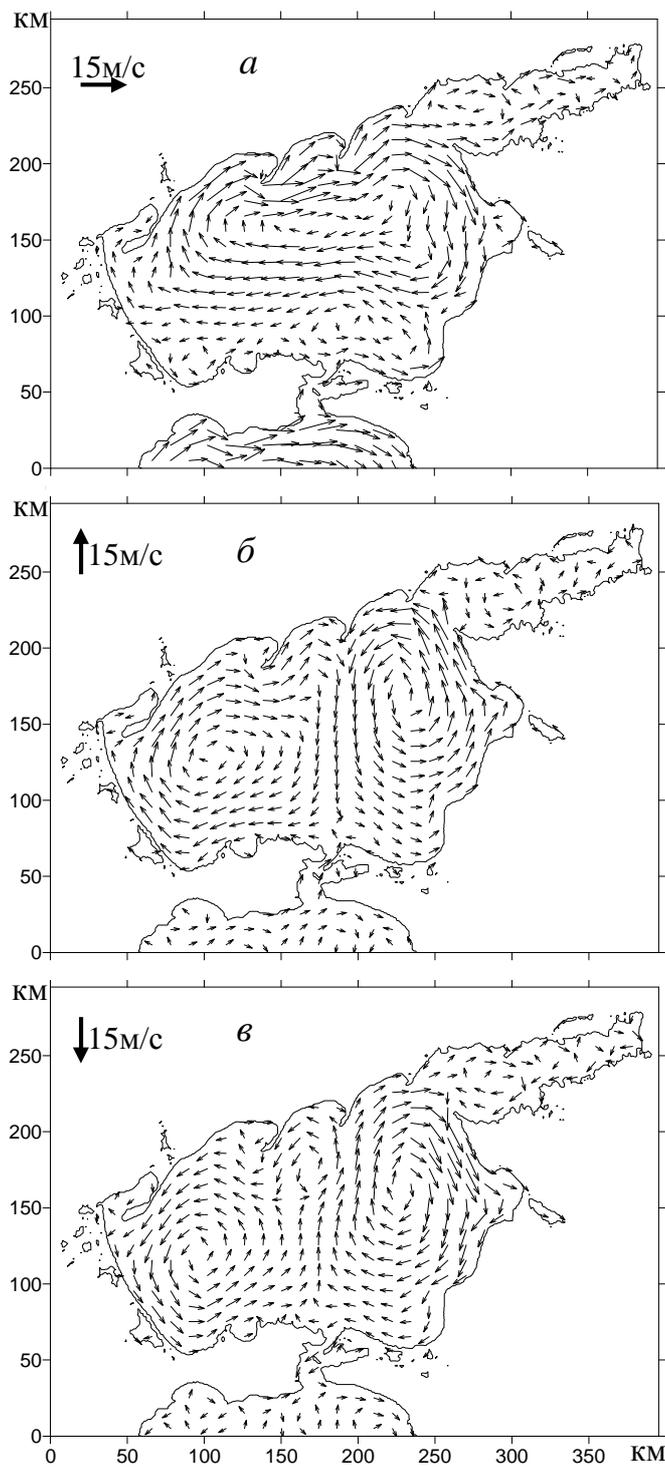
2. На рис. 3, 4 представлены пространственные распределения скорости и направления течений на горизонтах 1 и 10 м в момент времени $t = t_1$ при постоянном ветре различных направлений со скоростью 15 м/с. Распределения получены с помощью линейной интерполяции результатов численного моделирования с σ -координатных поверхностей на плоскости $z = \text{const}$.

Экстремальные отклонения уровня (см) Азовского моря, полученные с учетом (1) и без учета (2) пролива, в зависимости от скорости и направления стационарного ветра

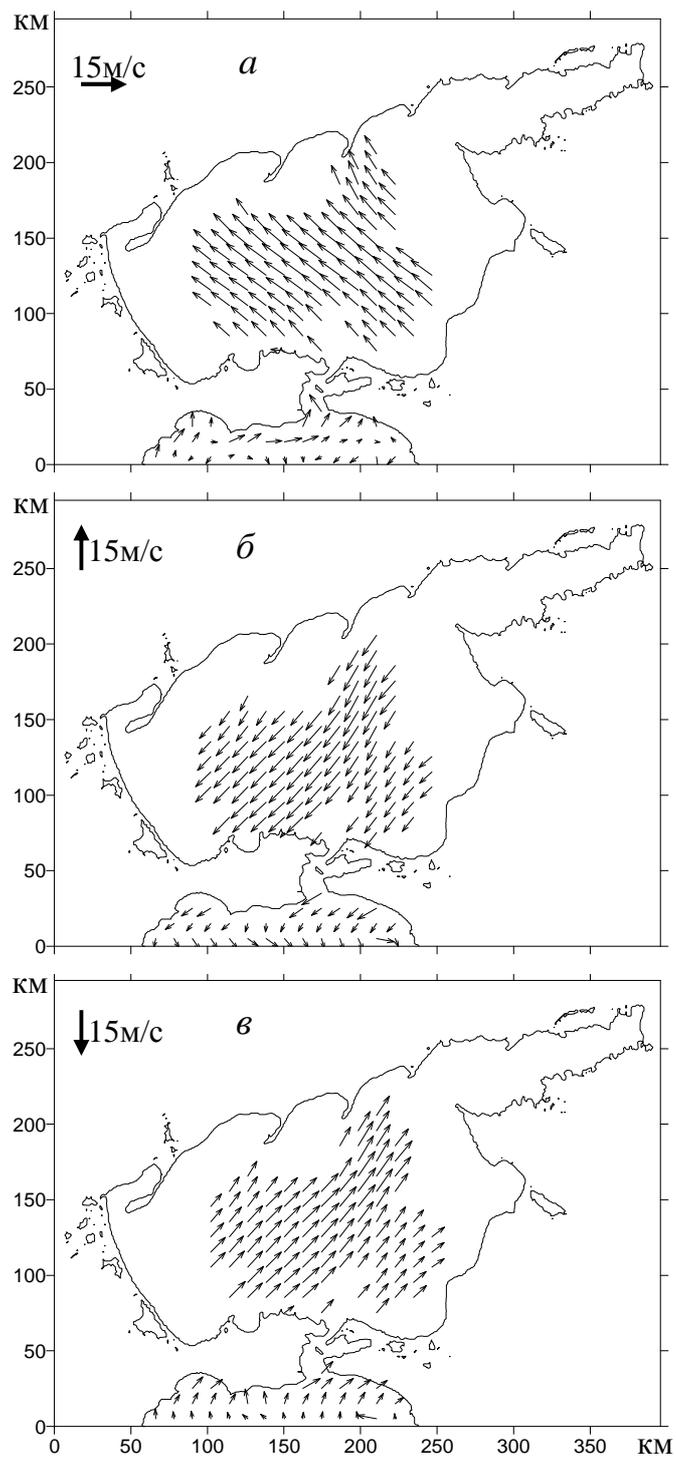
Скорость ветра, м/с	З		Ю		С	
	1	2	1	2	1	2
5	16	14	18	15	11	9
10	69	56	47	44	47	38
15	162	123	115	86	143	113

Как показывает анализ приведенных полей, течения в установившемся режиме характеризуются выраженными вихревыми образованиями. Их положение и конфигурация определяются направлением ветра. При этом наиболее интенсивные течения имеют место в глубоководной части моря. При западном ветре в Азовском море возникают две системы круговоротов, которые ориентированы в зональном направлении (рис. 3, *a*). На границе между круговоротами направление потока жидкости ориентировано противоположно действующему ветру. В Таганрогском заливе формируется пара вихрей противоположного знака. При северном ветре в центральной части моря образуются два круговорота противоположного знака (рис. 3, *в*). Бóльший по площади (циклонический) примыкает к западному берегу и содержит в себе малое вихревое образование. Меньший по площади, но более мощный (антициклонический) находится в восточной части моря. Между этими двумя круговоротами располагается узкая полоса переноса водных масс, ориентированная противоположно ветру. Южный ветер формирует течения, поля которых являются «зеркальным отражением» полей течений при северном ветре (прослеживается та же конфигурация вихревых образований, но они имеют противоположный знак) (рис. 3, *б*).

На глубине 10 м (рис. 4) в центральной части акватории наблюдаются течения, направление которых отклоняется на 135° и более от направления действующего ветра. Как следует из рис. 3, 4, направление течений через пролив при действии одного и того же ветра в поверхностном и придонном слоях противоположно. Отметим, что в придонном слое под действием западного и северного ветра (рис. 4, *a*, *в*) течения через Керченский пролив направлены из Черного в Азовское море, а в поверхностном слое (рис. 3, *a*, *в*) – в противоположную сторону. При южном ветре (рис. 3, *б*; 4, *б*) течения на глубине 10 м направлены из Азовского в Черное море – обратно своему направлению в поверхностном слое.



Р и с. 3. Поля скоростей стационарных поверхностных течений (м/с) в Азовском море при западном (а), южном (б) и северном (в) ветре



Р и с. 4. Поля скоростей стационарных течений (м/с) в Азовском море на глубине 10 м при западном (а), южном (б) и северном (в) ветре

В табл. 3 приведены значения максимумов скоростей стационарных течений на различных горизонтах в зависимости от скорости и направления ветра при учете и без учета водообмена через пролив. Из анализа этих данных следует, что величины скоростей установившихся течений, найденные при моделировании с учетом пролива, при действии одного и того же ветра больше, чем без его учета. При этом на рассматриваемых горизонтах учет водообмена приводит к относительной разнице значений модулей скоростей течений, не превышающей 45%. Наибольшие скорости течений, вызванные действием ветра одной и той же скорости, отмечаются при южном ветре, наименьшие – при северном. Так, максимальные скорости поверхностных течений, вычисленные с учетом пролива при скорости ветра 15 м/с, составляют 0,87 м/с (З); 1,22 м/с (Ю) и 0,99 м/с (С). Относительная разница между наибольшим и наименьшим значениями представленных скоростей составляет 30%. Аналогичное соотношение скоростей течений прослеживается и на других горизонтах при действии постоянного ветра со скоростями 5 и 10 м/с. Таким образом, южный ветер, действующий вдоль Керченского пролива, вызывает течения, скорости которых превышают (на 12 – 30%) скорости течений, вызванных западным или северным ветром.

Т а б л и ц а 3

Максимальные скорости стационарных течений (см/с), полученные с учетом (1) и без учета (2) пролива, на различных горизонтах Азовского моря в зависимости от скорости и направления ветра

Горизонт, м	$W_1 = 5 \text{ м/с}$						$W_2 = 10 \text{ м/с}$						$W_3 = 15 \text{ м/с}$					
	З		Ю		С		З		Ю		С		З		Ю		С	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	14	11	16	12	14	11	44	40	46	39	42	41	87	64	122	85	99	69
3	11	9	13	10	12	9	28	23	38	28	35	28	73	52	113	68	94	57
5	9	8	11	9	10	8	20	14	35	23	31	22	62	39	98	46	79	44
10	6	5	8	6	7	6	17	13	24	16	21	16	41	29	51	35	42	27

Рассмотрим теперь влияние Керченского пролива на интегральный водообмен ($G(t)$) в установившемся режиме. В численных экспериментах на каждом шаге по времени рассчитаны значения функции $G(t)$. При этом положительные значения $G(t)$ соответствуют поступлению воды в Азовское море, отрицательные – в Черное.

Из анализа зависимости от времени интегральных расходов воды (м^3) через пролив в течение расчетного периода (200 ч) следует, что наибольший расход имеет место при южном ветре, наименьший – при северном. Нарастание расхода до максимума происходит от начального момента времени до момента $t = 20$ ч.

Сформулируем основные результаты проведенных исследований:

– численное моделирование установившихся движений жидкости в Азовском море, проведенное с учетом водообмена через пролив, выявило увеличение не более чем на 50% максимальных сгонов и нагонов по сравнению с результатами расчетов, полученных без учета пролива;

– южный ветер при учете водообмена через пролив вызывает течения, максимальные скорости которых на 30% превышают скорости установившихся движений, вызванных западным и северным ветром;

– при учете водообмена через пролив максимальные скорости установившихся течений значительно возрастают (до 53%) только при скоростях ветра 10 и 15 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР*. Т. V. Азовское море. – СПб.: Гидрометеоздат, 1991. – 234 с.
2. *Иванов В.А., Фомин В.В., Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Исследование сгонно-нагонных явлений в Азовском море, вызванных атмосферными возмущениями // *Доповіді НАН України*. – 2006. – № 11. – С. 109 – 113.
3. *Иванов В.А., Фомин В.В., Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Исследование эволюции поля примеси в Азовском море при наличии стационарных течений // Там же. – 2007. – №7. – С. 106 – 120.
4. *Фомин В.В., Шульга Т.Я.* Исследование волн и течений, возникающих под действием ветра в Азовском море // Там же. – 2006. – № 12. – С. 110 – 115.
5. *Иванов В.А., Фомин В.В., Черкесов Л.В., Шульга Т.Я.* Исследование влияния течений, вызванных западным ветром, на эволюцию областей загрязнения в Азовском море // Там же. – 2007. – № 3. – С. 112 – 117.
6. *Blumberg A.F., Mellor G.L.* A description of three dimensional coastal ocean circulation model in Three-Dimensional Coast Ocean Models // *Coast. Estuar. Sci.* – 1987. – 4. – P. 1 – 16.
7. *Фомин В.В.* Численная модель циркуляции вод Азовского моря // *Научные труды УкрНИГМИ*. – 2002. – Вып. 249. – С. 246 – 255.
8. *Smagorinsky J.* General circulation experiments with the primitive equations. I. The basic experiment // *Mon. Wea. Rev.* – 1963. – 91, № 3. – P. 99 – 164.
9. *Mellor G.L., Yamada T.* Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems // *Rev. Geophys. Space Phys.* – 1982. – 20, № 4. – P. 851 – 875.
10. *Hsu S.A.* A mechanism for the increase of wind stress coefficient with wind speed over water surface: A parametric model // *Ibid.* – 1986. – 16, № 1. – P. 144 – 150.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь
E-mail: vaivanov@alpha.mhi.inf.net
shulgaTY@mail.ru

Материал поступил
в редакцию 10.03.09
После доработки 03.07.09

АНОТАЦІЯ У роботі представлені результати чисельного моделювання впливу водообміну через Керченську протоку на стаціонарні рухи в Азовському морі. З використанням тривимірної нелінійної чисельної моделі виконано аналіз екстремальних відхилень рівня, поверхневих та глибинних течій в залежності від напрямку та швидкості постійного вітру, а також з урахуванням та без урахування водообміну через протоку. Зазначено, що урахування водообміну з Чорним морем призводить до збільшення максимальних відхилень рівня та швидкостей стаціонарних течій. Зокрема показано, що максимальні значення нагонів і швидкостей течій при урахуванні протоки на 36 і 42% відповідно більші, ніж без урахування протоки при швидкості вітру 10 м/с. При цьому найбільші швидкості течій виникають під дією вітру південного напрямку.

ABSTRACT Results of numerical modeling of influence of water-exchange through the Kerch strait on stationary motions in the Sea of Azov are presented. Three-dimensional non-linear numerical model is used to analyze extremal level inclinations, and surface and deep currents depending on direction and speed of permanent wind, and with and without regard to water-exchange through the strait. It is found that consideration of water exchange with the Black Sea results in increase of maximum inclinations of the level and velocities of constant currents. In particular, it is shown that at the wind speed 10 m/s and with regard to the strait effect, maximum values of surge phenomena and current velocities exceed those obtained without regard to this effect by 36 and 42%, respectively. The highest current velocities are induced by the south wind.