

**УДК 551.465**

**Ю. С. Тучковенко**, канд. физ.-мат. наук,

**В. Н. Коморин**<sup>\*</sup>, канд. геогр. наук,

**В. Я. Илюшин**, канд. геогр. наук,

Одесский государственный экологический университет,

<sup>\*</sup>Украинский научный центр экологии моря

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА НАНОСОВ В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ**

Описана математическая структура модели транспорта наносов, адаптированной к условиям Керченского пролива. Рассмотрены, установленные в численных экспериментах с моделью, закономерности динамики вод, транспорта наносов и возможные изменения эрозионно-аккумулятивных процессов на морском дне в Керченском проливе и Керченской бухте, связанные со строительством дамбы в Тузлинской промоине.

**Ключевые слова:** Керченский пролив, динамика вод, ветровое волнение, транспорт наносов.

**Постановка задачи.** Географическое положение Керченского пролива определяет его важную роль в хозяйственной деятельности Украины и России как стратегической судоходной магистрали. На акватории Керченского пролива расположен ведущий активную хозяйственную деятельность порт Керчь. В связи с необходимостью проведения систематических дноуглубительных работ в районе Керченского судоходного канала и подходного канала к Керченскому порту, актуальной представляется задача моделирования динамики вод и литодинамических процессов на акватории пролива. Строительство российской стороной в 2003 г. искусственной дамбы между м. Верблюд Таманского полуострова и украинским о. Тузла обострило эту проблему, поскольку ожидается, что неизбежная перестройка циркуляции вод на акватории Керченского пролива приведет к изменению характеристик литодинамических процессов.

Задача моделирования динамики вод в Керченском проливе рассматривалась в работах [1, 2, 3]. Математическая постановка задачи моделирования транспорта наносов в прибрежной зоне моря, эрозионно-аккумулятивных процессов на морском дне, обсуждалась в работах [4, 5].

**Цель представляемой работы** заключается в исследовании, с помощью трехмерной численной лито-гидродинамической модели, закономерностей транспорта наносов и возможных изменений заносимости судоходных каналов в Керченском проливе и Керченской бухте, связанных со строительством дамбы в Тузлинской промоине. Подробное описание математической структуры гидродинамической

модели приведено в [6], поэтому остановимся только на разработанном для нее литодинамическом блоке.

### Описание математической структуры блока транспорта наносов.

Объединение литодинамической части модели с гидродинамической в единую модель транспорта наносов осуществляется на основе уравнения переноса консервативной примеси, которое по математической структуре аналогично уравнениям сохранения тепла и солей гидродинамической модели [6], отличаясь от них наличием гравитационной скорости осаждения примеси и параметризацией потоков обмена взвесью с донными отложениями. В криволинейной по вертикали ( $\sigma$  – системе) координат обобщенное уравнение переноса примеси записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} & (HC_i)_t + B_x^{-1} \left( B_x H [u C_i - D_h (C_i)_{,x}] \right)_{,x} + B_y^{-1} \left( B_y H [v C_i - D_h (C_i)_{,y}] \right)_{,y} + \\ & + \left( (\tilde{w} - w_{gi}) C_i - H^{-1} D_v (C_i)_{,\sigma} \right)_{,\sigma} = HQ_i(x, y, z, t). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $u, v, w$  – составляющие вектора скорости течения  $\vec{v}$ ;  $t$  – время;  $C_i$  – концентрации моделируемых фракций гранулометрического состава минеральной взвеси ( $i = 1, 2, 3 \dots N$ );  $w_{gi}$  – скорость гравитационного осаждения частиц взвеси;  $D_h, D_v$  – коэффициенты горизонтальной и вертикальной диффузии примеси;  $Q_i$  – приток или сток частиц  $i$ -ой фракции взвеси в результате турбулентного взмучивания донных отложений или седиментации частиц.

Предполагается, что влияние взвеси на динамику вод пренебрежимо мало.

Граничные условия для взвеси формулируются следующим образом.

На поверхности моря:  $D_v (C_i)_{,z} - w_{gi} C_i = 0,$  (2)

на дне:  $D_v (C_i)_{,z} - w_{gi} C_i = Q_{ci}^{bot}.$  (3)

На боковой «жидкой» границе:

$$\begin{aligned} C_{oi} &= C_i^* && \text{если } \vec{v}\vec{n} \leq 0 \\ \frac{\partial C_{oi}}{\partial t} &= -\vec{v}\vec{n} \frac{\partial C_i}{\partial \vec{n}} && \text{если } \vec{v}\vec{n} > 0, \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь  $Q_{ci}^{bot}$  – поток минеральной взвеси через границу «вода – донные отложения»;  $C_{oi}$  – концентрация  $i$ -ой фракции взвешенных наносов на открытой морской границе, рассчитанная по модели;  $C_i^*$  – фоновая концентрация взвеси, характерная для открытого моря.

Поток  $Q_{ci}^{bot}$  взвешенных частиц  $i$ -ой фракции, обусловленный процессами турбулентного взмучивания и гравитационного осаждения взвеси, рассчитывается следующим образом:

$$Q_{ci}^{bot} = w_{gi}(C_{ie} - C_{id}), \quad (5)$$

где  $C_{id}$  – концентрация взвеси в морской воде вблизи границы раздела «вода – донные отложения»;  $C_{ie}$  – равновесная придонная концентрация взвеси, соответствующая несущей способности стационарного однородного потока при тех же локальных значениях параметров потока. Для определения равновесной концентрации использовалась формула Ван-Райна [7]:

$$C_{ei} = 0.015d_i T_i^{1.5} D_{*i}^{-0.3} / z_{ob}, \text{ где } T_i = \frac{\tau_{eff}}{\tau_{cri}} - 1; D_{*i} = d_i \left[ \frac{g(\rho_c - \rho)}{\rho v^2} \right]^{1/3}, \quad (6)$$

где  $d_i$  – диаметр частиц взвеси;  $\rho, \rho_c$  – плотность морской воды и частиц взвеси, соответственно;  $T_i$  – параметр транспортирующей способности потока;  $\tau_{cri}$  – критическое напряжение донного трения, при котором частицы размера  $d_i$  отрываются от дна;  $\tau_{eff}$  – эффективное напряжение донного трения, обусловленное совместным действием волн и течений:

$$\tau_{eff} = \tau_b + \tau_\omega, \quad (7)$$

где  $\tau_b$  – напряжение донного трения, генерируемое сдвигом скорости течения у дна, которое рассчитывалось по формуле:

$$\tau_{bx} = \Phi u_b \text{ и } \tau_{by} = \Phi v_b, \text{ где } \Phi = C_{wb2} (u_b^2 + v_b^2)^{1/2}, \quad (8)$$

Здесь  $u_b$  и  $v_b$  – составляющие вектора придонной скорости течения;  $C_{wb2} = \max \left[ \kappa^2 / [\ln(z_b/z_0)]^2; 0.0025 \right]$ , где  $\kappa = 0.4$  – постоянная Кармана,  $z_0 = 0.6 \cdot 10^{-3}$  м – параметр шероховатости, характеризующий вертикальный масштаб неровностей дна;  $z_b$  – расстояние от дна до ближайшего расчетного уровня по вертикали.

Второе слагаемое в формуле (7)  $\tau_\omega$  – напряжение придонного трения, вызванное ветровыми волнами, рассчитываемое как [8]

$$\tau_\omega / \rho = 3\omega^2 a^2 k \delta / 8sh^2 kH + u_{*\omega}^2 / \pi, \quad (9)$$

$\omega, k, a$  – угловая частота, волновое число и амплитуда ветровых волн;  $\delta = 0.23(u_{*\omega} / \omega)$  – толщина волнового пограничного турбулентного слоя.

Амплитуда динамической скорости в волновом потоке при зернистой шероховатости  $u_{*\omega}$ , определяется с помощью выражения

$$u_{*\omega} = 0.4u_m / [\ln(1.6a_\delta / k_s + 1)], \quad (10)$$

где  $u_m = a\omega / \text{sh}(kH)$ ,  $a_\delta = u_m / \omega$ ,  $k_s = 2.5d_{sr}$ ;  $d_{sr}$  - средний диаметр частиц, слагающих дно.

Критическое напряжение донного трения  $\tau_{cri}$  для каждой фракции частиц, слагающих дно, может быть определено по методике Ван-Райна [7]:

$$\begin{aligned} \tau_{cri} &= \rho g d_i (\rho_c / \rho - 1) \theta_{cri}; \\ \theta_{cri} &= 0.24 D_{*i} \quad \text{при } D_{*i} \leq 4, \\ \theta_{cri} &= 0.14 D_{*i}^{-0.64} \quad \text{при } 4 < D_{*i} \leq 10, \\ \theta_{cri} &= 0.04 D_{*i}^{-0.1} \quad \text{при } 10 < D_{*i} \leq 20, \\ \theta_{cri} &= 0.013 D_{*i}^{0.29} \quad \text{при } 20 < D_{*i} \leq 150, \\ \theta_{cri} &= 0.055 \quad \text{при } 150 < D_{*i}. \end{aligned} \quad (11)$$

В качестве граничных условий на береговом контуре задается условие отсутствия потока взвеси (абразионно-аккумулятивные процессы на побережье не рассматриваются).

Для расчета векторов расходов взвешенных  $q_s$  и донных  $q_b$  наносов используются известные зависимости [7]:

$$\bar{q}_s = \int_0^H \bar{v}(z) C(z) dz; \quad (12)$$

$$\bar{q}_b = 0.053 ((s-1)g)^{0.5} d_m^{1.5} T^{2.1} D_*^{-0.3} \bar{v}_b / |\bar{v}_b|, \quad (13)$$

где  $\bar{v}_b$  - вектор скорости течений у дна,  $s = \rho_c / \rho$ .

Общий расход наносов  $\bar{q} = \bar{q}_s + \bar{q}_b$  (в кг/м·с) определяет массу твердого материала, переносимого на единицу длины в единицу времени во взвешенном состоянии и в результате влечения потоком и сальтации осадочного материала вблизи дна. Очевидно, что изменение отметок дна  $\partial\eta/\partial t$  будет определяться процессами локальной эрозии и седиментации, а также дивергенцией общего расхода наносов, т.е.

$$\frac{\partial\eta}{\partial t} = - \frac{1}{(1-n)\rho_c} \left[ \sum_i Q_{ci}^{bot} - \nabla \bar{q}_b \right], \quad (14)$$

где  $n$  – пористость грунта.

**Исходная информация.** При расчетах пространственная область Керченского пролива аппроксимировалась расчетной сеткой 62 x 73 узла с шагом 500 м (рис. 1). Шаг по времени составлял 6 секунд для баротропной составляющей скорости течений и 72 с. – для бароклиной.

Использовались десять расчетных уровней по глубине в  $\sigma$ -системе координат. При расчетах плотностных течений учитывалась только халинная их составляющая.

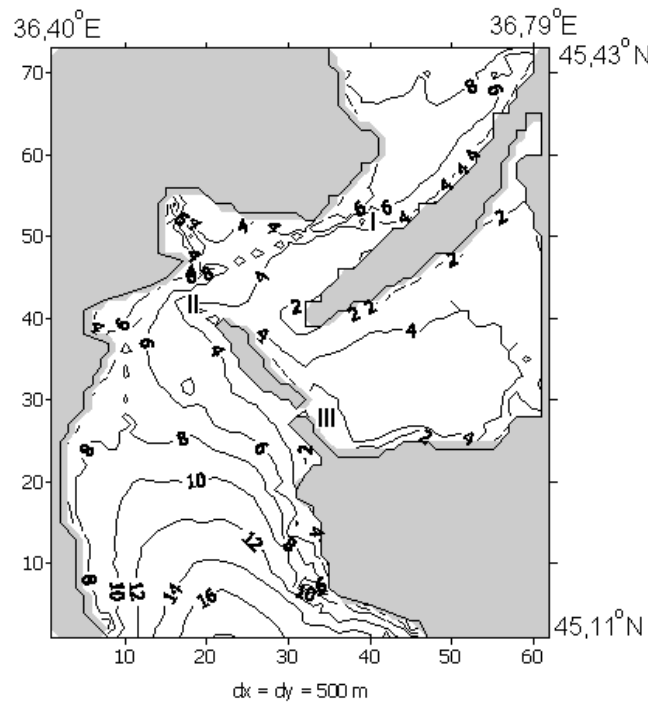


Рис. 1 Расчетная область и батиметрическая карта Керченского пролива, с учетом построенной дамбы. Пространственный шаг расчетной сетки 500 м. Обозначения: I – Северная узкость, II – Павловская узкость, III – Тузлинская промоина

Из наблюдений известно [9], что основная роль в формировании поля течений в Керченском проливе принадлежит ветру, разности уровней на границах пролива, обусловленной сгонно-нагонными явлениями, а также различиями роли пресной составляющей в водном балансе Черного и Азовского морей.

Общее направление движения вод по проливу определяется перепадом уровней между Черным и Азовским морями у входов в пролив. При действии ветров северных направлений уровенная поверхность принимает наклон от Азовского моря к Черному, а при южных ветрах – наоборот. Заметим, что этот наклон уровня является противоположным естественному уклону, который возник бы в замкнутой акватории под действием ветров указанных направлений. Результатом является совпадение направлений дрейфовых и градиентных (компенсационных) течений в проливе.

Таким образом, для корректного описания динамики вод в проливе с помощью гидродинамической модели необходимо в качестве граничных

условий задавать перепад уровня на границах пролива при различных ветровых условиях. В первом приближении может быть использована эмпирическая зависимость, приведенная в [9]:

$$\Delta h = 1,55W_a + 1,35, \quad (15)$$

где  $W_a$  – проекция ветра на ось  $45-225^\circ$ , в м/с,  $\Delta h$  – перепад уровня между северной и южной границами пролива, в см. Проекции ветра от северо-запада до юго-востока через восток придается знак плюс, а проекции ветра от юго-востока до северо-запада через запад – знак минус. Вход в уравнение производится с соответствующим знаком.

При расчетах, значения перепада уровня, рассчитанные в соответствии с формулой (15), корректировались, с учетом средней глубины на северной и южной границах пролива, с использованием соотношения [10]:

$$h_c = h_s \sqrt{H_s / H_c},$$

где  $h_c$  и  $h_s$  – возмущения уровня моря на открытой границе пролива и в прибрежной зоне, соответственно;  $H_s$  и  $H_c$  – невозмущенная глубина моря в прибрежной точке регистрации уровня моря ( $H_s$  полагалась равной 4 м) и на морской границе пролива, соответственно.

Содержание минеральной взвеси в воде на открытой границе Керченского пролива со стороны Азовского моря полагалось равным 0.02 г/л, а во втекающих черноморских водах – 0.004 г/л. Плотность илистых частиц  $\rho_c$  принята равной 2000 кг/м<sup>3</sup>. Пористость рыхлого грунта  $n = 0.75$ . При расчетах рассматривалась доминирующая фракция илов с диаметром  $d$  частиц 0.01 мм.

Скорость гравитационного оседания взвеси рассчитывалась по формуле:

$$w_g = gd^2 \Delta \rho (18\nu\rho_0)^{-1}, \quad (16)$$

где  $d$  – диаметр частиц взвеси;  $\nu$  – молекулярный коэффициент вязкости воды;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho_0$  – плотность воды;  $\Delta \rho = \rho_c - \rho_0$ ,  $\rho_c$  – плотность частиц минеральной взвеси.

Согласно формуле (16) для частиц среднего размера  $d = 0.01$  мм, скорость оседания  $w_g = 3 \cdot 10^{-5}$  м/с.

Критическое напряжение донного трения для движения наносов  $\tau_{cr}$ , рассчитанное по формуле (11), составило 0.163 Н/м<sup>2</sup>.

**Результаты численного моделирования.** Моделирование гидро- и литодинамических процессов на акватории Керченского пролива выполнялось в исходном варианте (без дамбы) и с учетом строительства дамбы в Тузлинской промоине, в результате чего промоина была

искусственно преобразована в канал шириной 175 м и глубиной 5 м между дамбой и о.Тузла.

В численных экспериментах использовался ветер четырех румбов по направлению (продольных по отношению к оси канала – СВ, ЮЗ и поперечных - ЮВ, СЗ), силой 10 м/с – характерное значение, при котором ветер начинает оказывать заметное влияние на литодинамические процессы.

Расчеты динамики вод, выполненные с помощью гидродинамической модели, показали, что совпадение направлений дрейфовых и градиентных течений на большей части акватории пролива (за исключением Таманского залива), при ветрах дующих вдоль его оси, способствует интенсификации транзитного потока. В исходном варианте максимальные скорости течений отмечаются в районах Северной (70 – 80 см/с) и Павловской (40-50 см/с) узкостей, а также в Тузлинской промоине (30-40 см/с). При наличии дамбы средняя по глубине скорость потока в Северной узкости уменьшается на несколько процентов, а в Павловской узкости и особенно в канале между дамбой и о.Тузла увеличивается, соответственно на 10-20 и 50-100 %, в зависимости от направления ветра. Минимальные скорости течений в проливе имеют место при поперечных юго-восточных и северо-западных ветрах, когда перекося уровня между границами пролива минимален.

Течения в узкостях и Тузлинской промоине имеют однонаправленную по вертикали структуру, в то время как в относительно глубокой части канала, расположенной южнее Тузлинской косы, пространственная структура течений существенно зависит от направления ветра. При восточном и западном ветрах здесь формируется баротропная (однонаправленная по глубине) циклоническая либо антициклоническая циркуляция. При южном и северном ветрах - на поверхности и в прибрежных областях - у дна, течения направлены по ветру, а в придонном слое глубокой части акватории формируется компенсационное противотечение, которое ослабляется плотностными течениями, возникающими за счет градиента солености.

При юго-восточном, юго-западном, северо-западном и северо-восточном ветрах, вдоль одного из берегов южной части Керченского пролива формируется однонаправленный по глубине поток, в то время как у противоположного берега придонные течения отклоняются от поверхностных на угол 90° и более.

Минимальная интенсивность циркуляции вод в Керченском проливе отмечается при поперечных по отношению к его оси северо-западном и юго-восточном ветрах, когда перекося уровня между северным и южным концами пролива также минимален. В этом случае течения в узкостях не превышают 35 и 20 см/с, соответственно.

Для расчета пространственного распределения характеристик волн (высоты волны, периода, длины, направления и т.п.) в Керченском проливе использовалась модель SWAN (Simulating WAVes Nearshore), которая позволяет учесть все морфологические и гидродинамические особенности исследуемой акватории. Подробное описание физико-математической структуры модели и ее численной реализации можно найти в [11].

Расчеты показали (рис. 2), что при ветрах северо-восточной четверти высоты волн при отсутствии и наличии дамбы отличаются (на 5-10 см или 13-15 %) на расстоянии не превышающем 3-4-х км на юго-запад от дамбы, в то время как при ветрах юго-западной четверти влияние дамбы на ослабление ветрового волнения в Таманском заливе значительно сильнее - высота ветровых волн в восточных прибрежных районах Таманского залива уменьшается почти на 10 см, а непосредственно за дамбой – на 40-50 см по сравнению с ситуацией при отсутствии дамбы. При северо-западных и юго-восточных ветрах, направленных по нормали к оси пролива, наличие дамбы практически не влияет на характеристики ветрового волнения в проливе и Таманском заливе.

Процессы осадконакопления и эрозии дна определяются как локальными эффектами взмучивания частиц донных отложений и осаждения взвеси, так и горизонтальным транспортом взвешенных и донных наносов течениями. Поскольку содержание взвеси в воде ограничено динамической возможностью потока, то именно пространственно-неоднородный перенос взвеси, в основном, определяет морфометрические изменения в акватории. Процесс литодинамики можно представить следующим образом. Существуют определенные зоны устойчивой эрозии дна, которые служат поставщиками взвешенного материала. Из этих зон взвесь транспортируется течениями и при определенных условиях осаждается, образуя зоны аккумуляции наносов. Поток взвеси слагается из взвешенных наносов, переносимых течениями, и потока донных наносов, которые перемещаются вдоль дна в виде сальтирующих и влекомых частиц под воздействием ветро-волновых течений до тех пор, пока не произойдет ослабление ветрового воздействия или частицы не выйдут из зоны устойчивой эрозии.

Моделирование транспорта наносов и эрозионно-аккумулятивных процессов на морском дне Керченского пролива показало (рис. 3-4), что заносимость акватории порта Керчь и подходных каналов обусловлена интенсивной эрозией дна на мелководье Северной и Павловской узкостей. Из района Северной узкости илистые наносы поступают при ветрах северо-восточной четверти, а с мелководья Павловской узкости – при ветрах юго-западной четверти. Смыв илистых донных отложений в Северной узкости является основным источником наносов, аккумулирующихся в Керченской бухте. Транспорт наносов со стороны



Таманского залива не оказывает значимого влияния на скорость осадконакопления в центральной части пролива и бухте при продольных ветрах (поскольку наносы попадают в интенсивный транзитный поток), а после строительства дамбы - становится несущественным и при ветрах юго-восточной четверти.

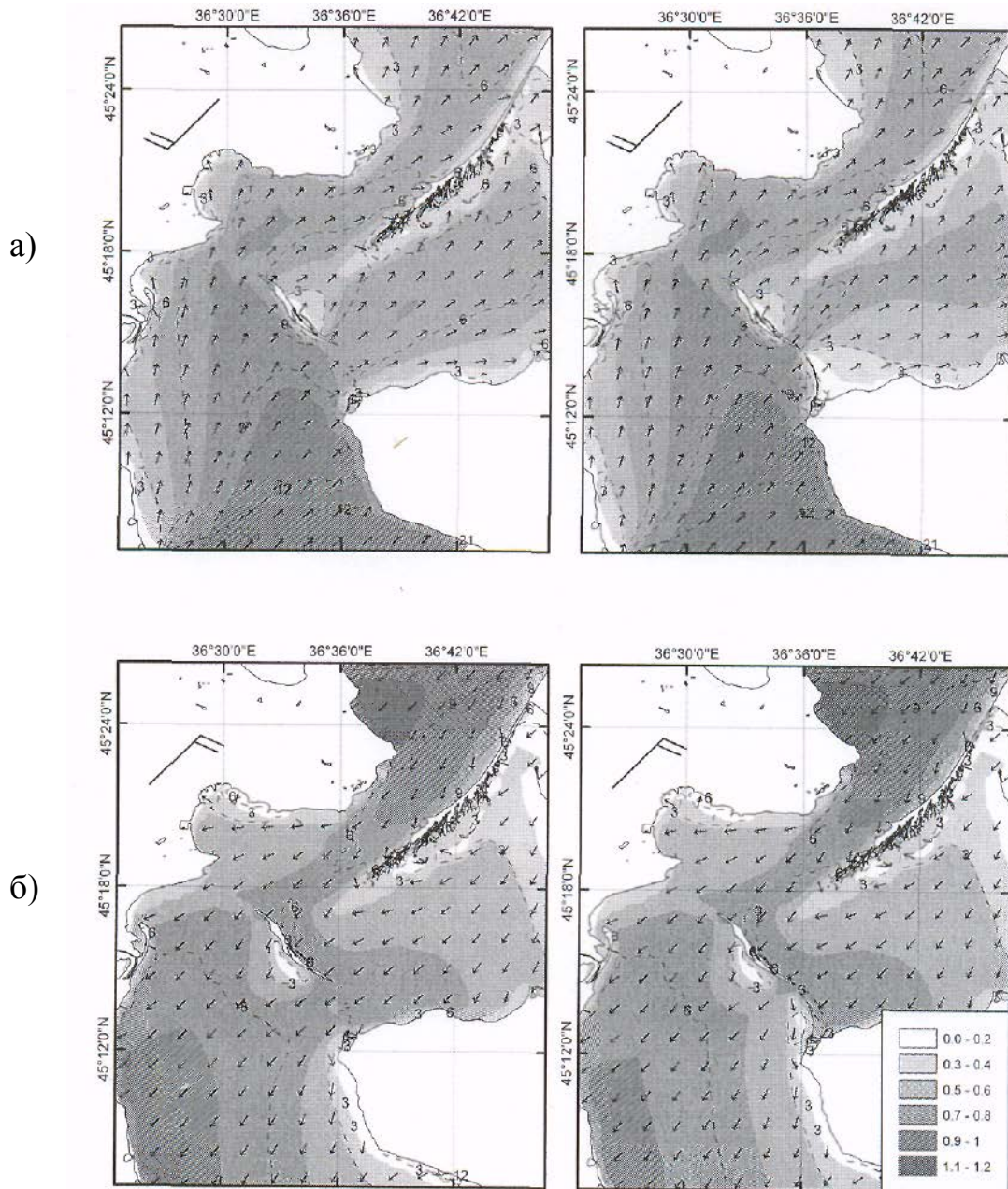


Рис. 2 Пространственное распределение высот волн (м, оттенки), длин волн (м, изолинии) и направления распространения волн (вектор) в Керченском проливе при ветре силой 10 м/с: а) юго-западного; б) северо-восточного. Рисунок слева – без дамбы, рисунок справа – существующий вариант дамбы

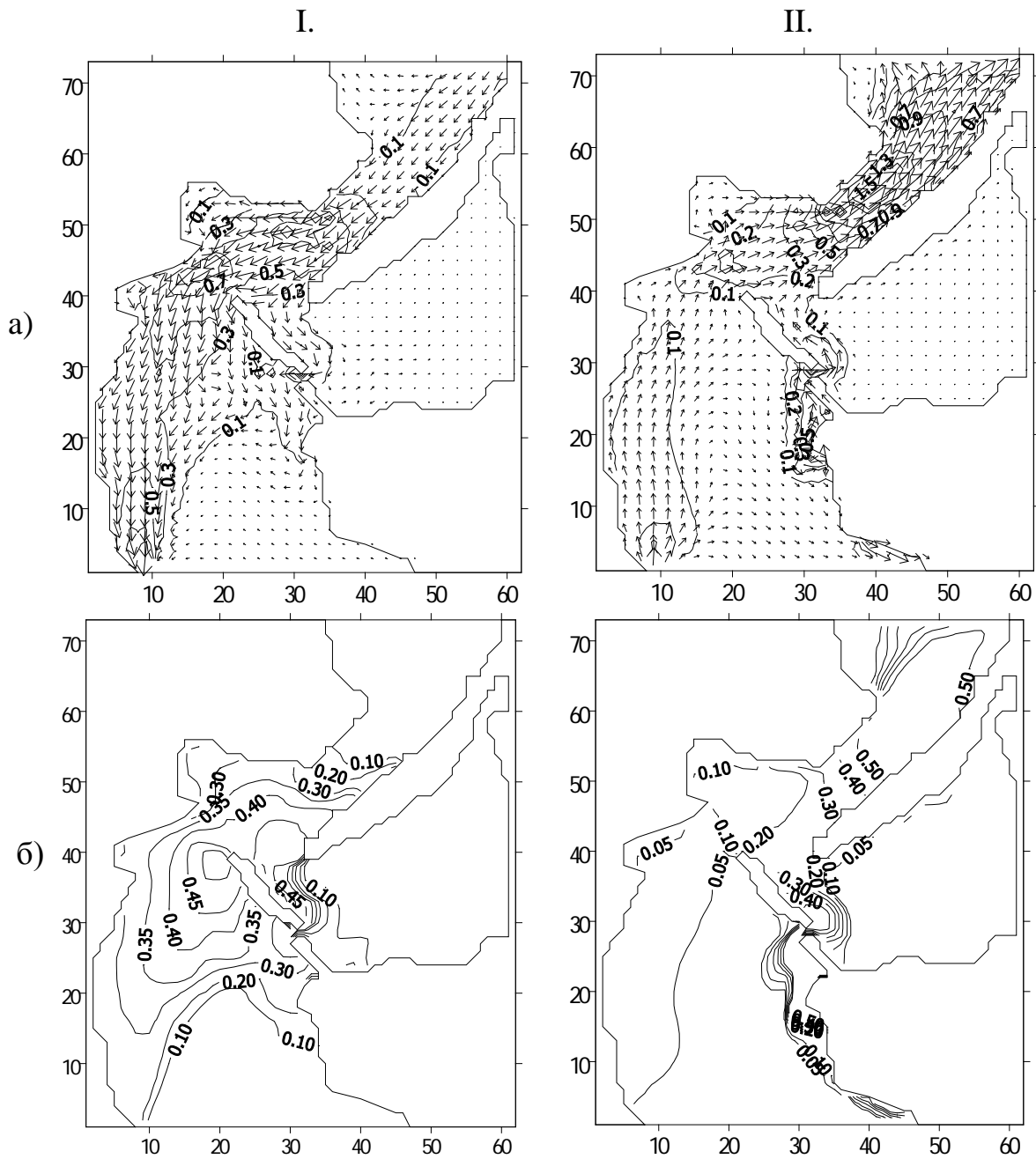


Рис. 3 Расходы наносов (а), в  $\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}$ , и концентрация взвеси (б), в  $\text{г}/\text{л}$ , в водах придонного слоя при северо-восточном (I) и юго-западном (II) ветрах силой  $10 \text{ м}/\text{с}$

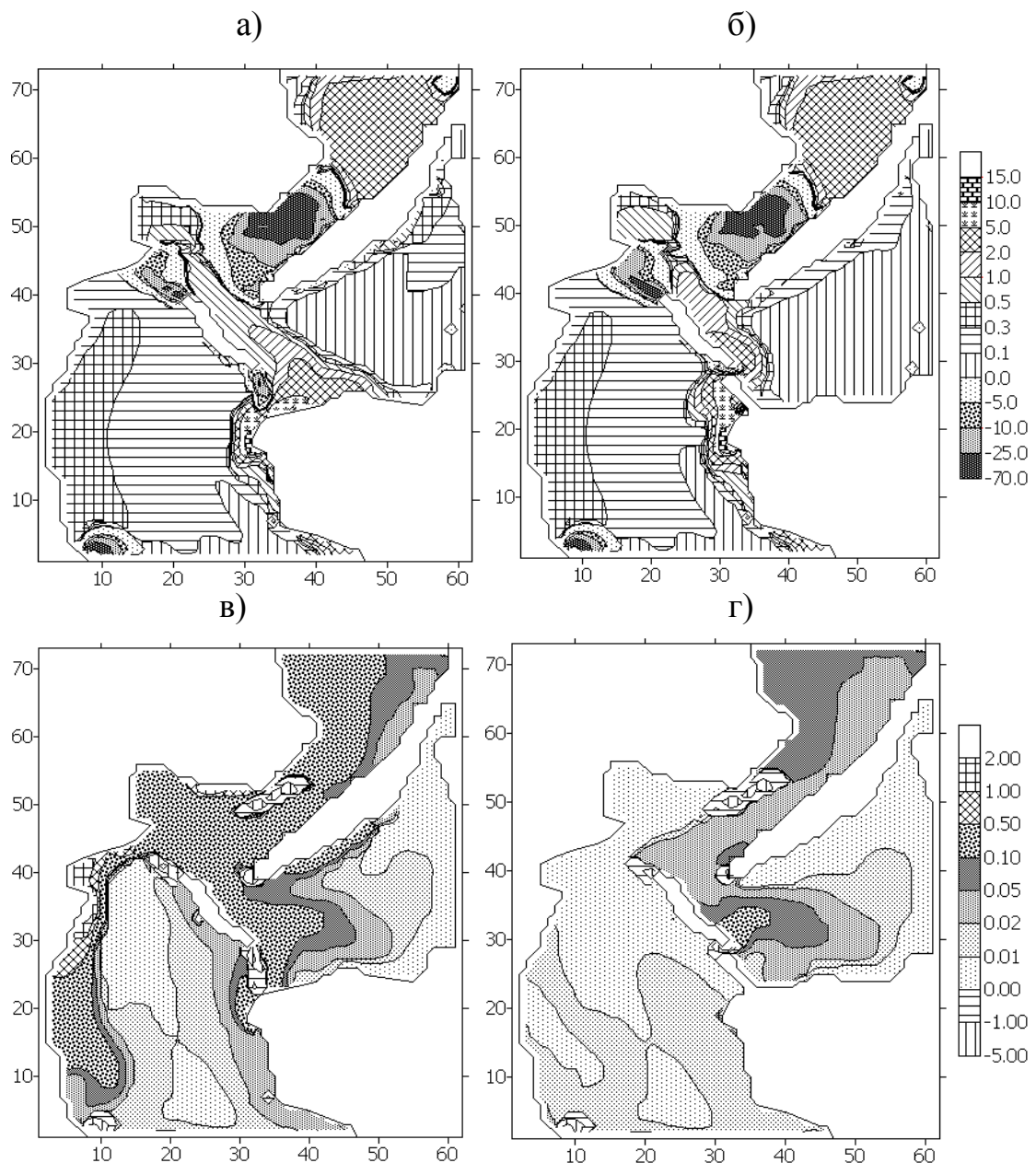


Рис. 4 Рассчитанное по модели изменение отметок дна в Керченском проливе за сутки (в мм) при юго-западном (а, б) и юго-восточном (в, г) ветрах силой 10 м/с, при отсутствии (а, в) и наличии (б, г) дамбы

Морфометрические особенности акватории пролива, с одной стороны, обуславливают транзитный перенос взвешенных илистых частиц между Северной и Павловской узкостями при ветрах с продольной составляющей относительно оси пролива, уменьшая таким образом поступление взвешенных наносов на акваторию Керченской бухты, а, с другой стороны, способствуют ее заносимости, поскольку транспортирующая способность потока в акватории бухты в несколько раз

ниже чем в прилегающей части пролива, что приводит к систематической аккумуляции взвешенных частиц в границах бухты. Максимальная скорость осадконакопления (1-2 мм/сут) отмечается при северо-восточных ветрах, которые имеют и наибольшую повторяемость (51 %) для градации силы ветра 10-15 м/с [12].

Расчеты показали, что строительство дамбы не окажет существенного влияния на заносимость акватории Керченского порта при доминирующих в этом районе северо-восточных ветрах, однако при штормовых юго-западных ветрах содержание взвеси в водах Керченской бухты и скорость осадконакопления ощутимо возрастут за счет более интенсивного транспорта наносов с мелководья Павловской узкости.

**Выводы.** В результате численных экспериментов с предложенной в работе моделью транспорта наносов установлено, что строительство дамбы на Тузловской косе приведет к интенсификации течений в Павловской узкости (на 10-20 %) и особенно в канале между дамбой и о.Тузла (на 50-100 %). В Северной узкости скорость потока уменьшится на несколько процентов. Как следствие, при доминирующих штормовых северо-восточных ветрах скорость осадконакопления в Керченской бухте существенно не изменится, но при юго-западных и южных штормовых ветрах, повторяемость которых составляет 10 % [12], скорость осадконакопления увеличится. После строительства дамбы транспорт наносов в Керченскую бухту со стороны Таманского залива при ветрах юго-восточной четверти значительно уменьшится.

Таким образом, учитывая повторяемость штормовых ветров различных направлений, можно предположить, что строительство дамбы все же может повлечь за собой увеличение заносимости Керченской бухты, но незначительное.

## Литература

1. Белов В. П., Филиппов Ю. Г. Основные черты динамики вод Азовского моря и Керченского пролива // Труды ГОИН.– 1978.– Вып.139.–С. 11-20.

2. Тучковенко Ю. С. Численная математическая модель циркуляции вод в Керченском проливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: НАН Украины, МГИ, ОФ ИнБЮМ.– 2002.–Вып.1(6).–С. 223-232.

3. Иванов В. А., Шапиро Н. Б. Моделирование течений в Керченском проливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: НАН Украины, МГИ, ОФ ИнБЮМ.– 2004.– Вып.10.– С. 207-232.

4. *Лонин С. А.* Влияние взвеси на динамику мелководного водоема // Известия АН. Физика атмосферы и океана. – 1995.– том 31, № 4.– С. 577-586.
5. *Антропогенное* воздействие на динамику наносов в морской прибрежной зоне / Иванов В. А., Михинов А. Е., Лукьянов Ю. П., Баклановская В. Ф., Чечель И. И., Ковешников Л. Л. – Препр./ АН Украины. Морской гидрофиз. ин-т. – Севастополь: 1993. – 36 с.
6. *Тучковенко Ю.С.* Гидродинамическая модель для расчета трехмерной циркуляции и термохалинной структуры вод северо-западной части Черного моря // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.– 2002.– № 45. – С. 129 - 139.
7. *Van Rijn L.C.* Sediment transport. Pt.1: Bed load transport; Pt.2: Suspended load transport //J. Hydraul. Eng.-1984.-vol. 110, № 10, 11-P. 1431-1456; 1613-1641.
8. *Михинов А.Е.* Транспорт донных наносов в волновом потоке / Моделирование гидрофизических процессов и полей в замкнутых водоемах и морях.- М.: Наука.- 1979.- С.139-149.
9. *Альтман Э. Н.* Динамика вод Керченского пролива // Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия.– СПб.: Гидрометеоздат, 1991. – С. 291-324.
10. *Лонин С.А., Тучковенко Ю.С.* Имитация сгонно-нагонных колебаний уровня моря в портах северо-западной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: НАН Украины, МГИ.– 1999.–С. 58-66.
11. *SWAN Cycle III version 40.11. User Manual.*– Delft University of Technology, Netherlands, 2000. – 117 p. (<http://swan.ct.tudef.nl>)
12. *Определение источников и причин заносимости основного судоходного канала, входа в акваторию Керченского морского торгового порта, участка сопряжения с Чушскинским коленом, Керчь-Еникальского канала и разработка мероприятий по ее снижению: Отчет о НИР / ЧерноморНИИпроект; Арх. N 4584. - Одесса, 2003.*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТУ НАНОСІВ У КЕРЧЕНСЬКІЙ ПРОТОЦІ**

**Ю. С. Тучковенко, В. М. Коморін\*, В. Я. Ілюшин**

Одеський державний екологічний університет,

\*Український науковий центр екології моря

Описано математичну структуру моделі транспорту наносів, адаптованої до умов Керченської протоки. Розглянуто, встановлені в числових експериментах з моделлю, закономірності динаміки вод, транспорту наносів та можливі зміни ерозійно-аккумулятивних процесів на морському дні в Керченській протоці і Керченській бухті, пов'язані з будівництвом дамби в Тузлинській вимоїні.

**Ключові слова:** Керченська протока, динаміка вод, вітрове хвилювання, транспорт наносів.

## **MODELLING OF SEDIMENT TRANSPORT IN KERCH STRAIT**

**Yu. S. Tuchkovenko, V. M. Komorin<sup>\*</sup>, V. Ya. Plyushin**

Odessa state environmental university,

<sup>\*</sup>Ukrainian science centre of ecology of sea

The mathematical structure of the sediment transport model adapted to the Kerch Strait conditions is described. The characteristics of the waters dynamic, the sediment transport and the possible erosion and sedimentation changes of the Kerch Strait and Kerch Bay bottoms, that have been caused by the dam construction on the Tuzla Bar and established by the model numerical experiments, are considered.

**Key words:** Kerch Strait, waters dynamics, wind waves, sediment transport.