



УДК 504.4.054.001.57

В. С. Кресін¹, канд. техн. наук, зав. лаб., **В. О. Бараннік²**, канд. фіз.-мат. наук, доцент

¹ Українській науково-дослідний інститут екологічних проблем, м. Харків, Україна

² Національна академія міського господарства, м. Харків, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН МАСООБМІНУ ТА ЯКОСТІ ВОД У КЕРЧЕНСЬКІЙ ПРОТОЦІ ВНАСЛІДОК БУДІВНИЦТВА ДАМБИ В РАЙОНІ ОСТРОВА ТУЗЛА

Розроблена математична модель для розрахунків змін масообміну та якості вод у Керченській протоці внаслідок впливу збудованої дамби. Прогнозні розрахунки показали, що негативні наслідки дамби на екологічний стан Керченської протоки у найбільшому ступені будуть проявлені у Таманській затоці; прогнозується зростання вмісту загального азоту та фосфору, які призведуть до посилення процесів евтрофування та погіршення якості води.

Ключові слова: водообмін, якість вод, дамба, Керченська протока

Будівництво у вересні 2003 р. з узбережжя Росії дамби у районі о. Тузла викликало занепокоєність в Україні можливими змінами екологічного стану Керченської протоки, пов'язаними з впливом дамби. Тому виникла необхідність прогнозу впливу збудованої дамби на масообмін та якість води у Керченській протоці. Відповідно дорученню Мінприроди України, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем виконав наукову еколого-експертну оцінку стану якості води Азовського моря під впливом функціонування дамби в районі острова Тузла. У ході виконання робіт було здійснене математичне прогнозування змін масообміну та якості вод у Керченській протоці.

Метою робіт, які здійснювала російська сторона, було відновлення "природних" меж коси Тузла (з включенням до неї о. Тузла) шляхом улаштування насипної дамби з гірської маси із кріпленням бокових сторін кам'яним накиданням укісного типу [6]. Обґрунтовуючи екологічну доцільність з'єднання

дамби з о. Тузла, російські розробники проекту акцентували увагу на тому, що у разі залишення „промоїни” при вітрах північних і південних румбів будуть розвиватися течії до 1.7 – 2 м/с, острів почне розмиватися дуже швидкими темпами. Для оцінки гідрологічного впливу дамби було використано математичну модель, яка описувала циркуляцію води та величину нагонів біля берега, були виконані розрахунки вітрових течій. Негативних наслідків від цих змін російські розробники не прогнозували, натомість вони вважали, що зменшення солоності в Таманській та Динській затоках позитивно відзначиться на їхній продуктивності. Оцінка впливу гідрологічних чинників на хімічні показники якості води, окрім солоності, у проекту була відсутня, хоча, враховуючи різницю у якості води Азовського і Чорного морів за вмістом біогенних і забруднюючих речовин антропогенного походження, наслідками впливу дамби можуть бути зміни вмісту пріоритетних забруднюючих речовин антропогенного походження, насамперед наф-

топродуктів і біогенних речовин, зокрема мінерального азоту і фосфору у Таманській затоці і в прилеглих акваторіях Керченської протоки. Застосовані у математичній моделі оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) [6] рівняння Сен-Венана для знаходження швидкості морської течії оперують осередненою по глибині швидкістю течії та не відтворюють тієї особливості вітрової циркуляції у Керченській протоці, що морська течія у протоці характеризується значною нерівномірністю по глибині (різноспрямовані потоки на поверхні та дні). Ці властивості вітрової циркуляції Керченської протоки наочно відтворені у роботах [3, 8], де використовувалась лінійна теорія О. І. Фельзенабаума [6] сталих течій однорідної рідини за відсутності горизонтального обміну кількістю руху з урахуванням внутрішнього тертя, пропорційного до швидкості течії [5]. Для підвищення надійності оцінки впливу дамби на формування якості вод нами була розроблена більш адекватна математична модель процесів транспорту речовин у Керченській протоці.

Матеріал та методи. Розроблена модель включає два блоки: гідродинамічний та блок моделювання переносу розчинених речовин течіями. Дані гідродинамічного моделювання були використані для визначення параметрів водообміну між частинами акваторії Керченської протоки та були вихідними даними для моделі переносу розчинених речовин морськими течіями.

Характерною особливістю Керченської протоки і Азовського моря є їхня мілінітність (середня глибина Азовського моря $H_{AS} \approx 7.4$ м), що сприяє досить швидкому встановленню вітрових течій при стабільних вітрових синоптичних ситуаціях. Час $\tau_d \approx L_{AS}/v_g$, за який течії пристосовуються до поля вітрового впливу, оцінюється максимальним часом поширення гравітаційної хвилі із швидкістю $v_g \approx (gH_{AS})^{1/2}$ по вільній поверхні моря на його довжині $L_{AS} \approx 3 \cdot 10^5$ м і становить $\tau_d \approx 10$ годин. З другого боку, характерний час переносу розчинених речовин

на відстань, що дорівнює лінійному розміру Керченської протоки $L_K \approx 5 \cdot 10^4$ м, із характерною швидкістю вітрових течій $v_c \approx 0,1$ м/с, становить приблизно $\tau_c \approx L_K/v_c = 6$ діб. Це дозволяє моделювати вплив нестационарних течій на процеси масообміну у протоці послідовністю стаціонарних (осереднених) картин циркуляції відповідно до їх повторюваності.

З метою забезпечення надійності прогнозних оцінок для проведення модельних досліджень адаптовано раніше апробовані моделі формування якості морських вод [9 – 12]. Для розрахунків потрібних характеристик режиму циркуляції у Керченській протоці була обрана модель [9] з модифікацією [10, 11] щодо відтворення впливу островів на циркуляцію вод розміщенням відповідних мілин у місцях їх розташування. Гідродинамічний блок був детально описано у [4]. Наведені диференційні рівняння з граничними умовами вільного перетікання на “рідких” границях області протоки, що моделюється, вирішувались відносно інтегральної функції потоку ψ чисельним методом (ітеративний метод Зейделя для 5-точкового шаблону апроксимації “хрест”). Розрахунок швидкості морської течії дав можливість визначити величину водообміну через будь-яку вертикальну поверхню (створ) у протоці за формулою

$$Q = \iint_{\Sigma} \vec{n} \cdot \vec{u} d\sigma, \quad (1)$$

де Q є витрата води через поверхню Σ у напрямку її обраної нормалі \vec{n} ; \vec{u} - вектор горизонтальної швидкості течії; $d\sigma$ - елемент поверхні. При цьому, звісно, нехтується горизонтальним турбулентним обміном через поверхню, оскільки при явищах масштабів $\tau_d \approx 10$ годин менше синоптичного, що складає декілька діб, величина осередненої швидкості течії приблизно на порядок перевищує пульсаційну складову.

Згідно до проведених розрахунків [4], збудована дамба не вплине на водообмін між

Азовським та Чорним морями, але її вплив пошириться на Таманську затоку за рахунок скорочення притоку до неї чорноморських вод.

У середньому водообмін між Таманською затокою і Керченською протокою зменшиться приблизно на 45% (табл. 1).

Табл. 1 Розрахункові витрати водообміну Таманської затоки з Керченською протокою у природних умовах і різних варіантах будівництва дамби

Table 1 Accounting expenses of water changes of Tamansky Bay with Kerch Strait in natural condition and at miscellaneous variant of the dam construction

Умови	Водообмін, м ³ /с при різних напрямках вітру								Середній водообмін	
	Пн.	Пн.-сх.	Сх.	Пд.-сх.	Пд.	Пд.-зх.	Зх.	Пн.-зх.		
									м ³ /с	%
Природні умови	1000	800	1150	1190	1000	840	1120	1200	1107,7	100
Збудована дамба	600	350	820	910	600	310	820	980	603,5	54,5
Добудована до о. Тузла дамба	500	320	750	900	540	200	720	800	571,5	52
Скорочена на 500 м дамба	620	500	850	910	600	310	820	980	645,2	58

Для моделювання впливу водообміну на переніс речовин протока була умовно розділена на камери (секції), в межах яких можна не розрізняти горизонтальну неоднорідність розподілу розчинених речовин. Якщо вибрано таку камерну структуру протоки, модельований розподіл швидкості течій дозволяє визначити витрати води, якою обмінюються камери через їхні границі при різних вітрових ситуаціях і загальному перетоку води через протоку. Величини водообміну $Q_{s,s'}$ між різними частинами (з камери S до камери S') протоки були використані як вхідні дані для подальшого моделювання якості морських вод у протоці.

Рівняння, що відтворюють властивості камерної моделі вмісту речовин, є рівняннями матеріального балансу води та вмісту розчинених речовин, що формують якість води:

$$d\Omega_s/dt = \Sigma Q_{s,s'} - \Sigma Q_{s',s}, \quad (2)$$

$$(d\Omega_s/dt) \cdot C_{i,s} = (\Sigma Q_{s,s'}) \cdot C_{i,s} - (\Sigma Q_{s',s}) \cdot C_{i,s} - k \cdot C_{i,s} \cdot \Omega_s \quad (3)$$

де Ω_s – об'єм камери, що має номер s ; $C_{i,s}$ – концентрація розчиненої речовини i у камері s ;

k – швидкість реакції першого порядку біохімічної трансформації речовини i у камері s , якщо розглядається неконсервативна речовина.

Кожна камера отримує або втрачає воду, що вміщує розчинені речовини, від чи до прилеглих камер або зовнішніх джерел (атмосфера, дно чи прилеглі донні відкладення).

З урахуванням балансу мас рівняння щодо концентрації розчиненої речовини мають вигляд:

$$dC_{i,s}/dt = \Sigma K_{s,s'} \cdot (C_{i,s'} - C_{i,s}) - k \cdot C_{i,s}, \quad (4)$$

$$K_{s,s'} = Q_{s,s'} / \Omega_s, \quad (5),$$

де $K_{s,s'}$ є коефіцієнт впливу притоку води до камери s із камери s' .

Камерна модель протоки представлена як система звичайних диференціальних рівнянь першого порядку, що мають бути вирішені разом із початковими умовами

$$C_{i,s}(t=0) = C_{i,s}(0), \quad (6),$$

де $C_{i,s}(0)$ – початкова концентрація речовини i у камері s на початку модельованого періоду; при цьому коефіцієнти впливу повинні розглядатися як вхідні дані, що отримуються з моделі циркуляції води.

Для модельних досліджень можливого довгострокового впливу дамби на гідрохімічний режим Керченської протоки та прилеглих районів Чорного і Азовського морів у нестационарних гідродинамічних умовах застосовано підхід [12], згідно до якого нестационарна циркуляція у протоці моделювалась як стохастична послідовність стаціонарних полів швидкості течії, що відповідають основним напрямкам вітру і мають відповідну повторюваність. Це дозволило заздалегідь розрахувати коефіцієнти впливу на масопереніс для кожної характерної картини циркуляції і після цього проводити моделювання масопереносу. Крім того, для консервативних розчинених речовин з коефіцієнтом неконсервативності $k=0$ можна обмежитись лише розрахунком нормованої концент-

рації:

$$S_i = (C_i - C_{чм}) / (C_{ам} - C_{чм}), \quad (7)$$

де S_i – нормована концентрація речовини у камері i ; $C_{чм}$ – концентрація речовини у прилеглий частині Чорного моря, що задається константою; $C_{ам}$ – концентрація речовини у прилеглий частині Азовського моря (також постійна). Величина S_i показує пропорцію, у якій вода Азовського моря змішується з чорноморською водою у камері i .

Для відтворення особливостей циркуляції вод Керченської протоки з урахуванням контурів берегової лінії, розподілу глибин та впливу дамби, вибрано район Керченської протоки з прилеглими районами Чорного і Азовського морів, що має розміри 55 км по довготі і 55 км по широті (рис.1).



Рис. 1. Розподіл Керченської протоки на камери

Fig. 1 Modeling of the Kerch Strait region using the division on the cameras

Для розрахунків обрана сітка з однаковими кроками по горизонталі та вертикалі, що дорівнюють 250 м. Контури берегової лінії та розподіл глибин у районі встановлені з навігаційної карти Керченської протоки. Розміщення камер, їх нумерація та границі вказані на рис. 1. Камера „0” є прилегла до протоки частина Азовського моря; „1” – північна частина Керченської протоки з об’ємом 1.12 км^3 ; „2” – Таманська затока (1.28 км^3); „3” – південна

частина Керченської протоки (2.24 км^3); камера „4” відноситься до прилеглої частини Чорного моря. Моделювання осереднених течій Керченської протоки було виконано для напрямків вітру восьми румбів за умов відсутності дамби, сучасної конфігурації дамби з вільним проходом між нею і о. Тузла приблизно 500 м, та її скороченого варіанту з проходом 1 км.

Об’єми камер з номерами „0” і „4”, що

охоплюють прилеглі акваторії морів, були задані суттєво більшими, ніж камери протоки. Це при моделюванні у часі t динаміки величин нормованої концентрації $S_i(t)$ у камерах ($i=0,4$) забезпечувало постійність належних граничних умов:

$$S_0(t)=1, \quad (8)$$

$$S_4(t)=0. \quad (9)$$

Початковими умовами у камерах, на які поділено Керченську протоку, було обрано

$$S_1(0)=0, S_2(0)=0, S_3(0)=0, \quad (10)$$

тобто приймалося, що протока повністю заповнена чорноморською водою.

Нестаціонарні умови вітрового впливу на водообмін моделювались стохастичною послідовністю напрямків вітру, утвореною за допомогою генератора випадкових чисел відповідно до їх повторюваності за довгостроковий час метеорологічних спостережень (за даними МГ „Опасне” за 1980 – 2002 рр).

Тривалість дії певної вітрової ситуації, що випадала за черговим випадковим числом, і вибір на цей час відповідної матриці коефіцієнтів впливу для розрахунків нормованої концентрації розчиненої речовини у камерах протоки, обиралася рівною 1 добі. Часовий крок для чисельного інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь складав 0.1 доби. Термін періоду, на який проводились розрахунки, – 1 рік.

Результати та обміркування. За результатами моделювання динаміки нормованої концентрації за умов відсутності дамби (природні умови) час утримання вод (час зовнішнього водообміну) у камерах “1” і “3” (північна і південна частини протоки) у природних умовах складав близько 10 діб. Час зовнішнього водообміну Таманської затоки визначається величиною 100 діб (близько до 3 місяців). Це є часом пристосування гідрохімічного складу вод камер до зовнішнього впливу з боку прилеглих морських акваторій. Згодом, нормована концентрація домішок перестає залежати від початкових умов і виходить на середній рівень

$$S_1 = 0.849, S_2 = 0.533, S_3 = 0.104. \quad (11)$$

Відповідно до формули (7) концентрацію певної консервативної розчиненої речовини у водах Керченської протоки можна вирахувати за формулою

$$C_i = S_i \cdot C_{Am} + (1 - S_i) \cdot C_{Cm}, \quad (12)$$

Таким чином, у камерах Керченської протоки для природних умов маємо

$$C_1 = 0.849 \cdot C_{Am} + 0.151 \cdot C_{Cm}, \quad (13)$$

$$C_2 = 0.533 \cdot C_{Am} + 0.467 \cdot C_{Cm}, \quad (14)$$

$$C_3 = 0.104 \cdot C_{Am} + 0.896 \cdot C_{Cm}. \quad (15)$$

Виходячи з формул (13 – 15) середню природну концентрацію консервативної розчиненої речовини у Керченській протоці можна розрахувати за формулою

$$C' = (W_1 \cdot C_1 + W_2 \cdot C_2 + W_3 \cdot C_3) / W = 0.402 \cdot C_{Am} + 0.598 \cdot C_{Cm}, \quad (16)$$

$$W = W_1 + W_2 + W_3,$$

де W_i – об'єм i -ої камери.

У табл. 2. наведено дані натурних спостережень Південного науково-дослідного інституту морського рибного господарства і океанографії (ПівденНІРО, м. Керч), за 1986 – 2000 рр. та розрахункові дані щодо солоності та вмісту нафтопродуктів у прилеглих морських акваторіях і водах Керченської протоки. Як видно, розрахунки досить добре збігаються з спостереженнями (відносна похибка складає приблизно 10 %). Відхилення можуть бути пов'язані головним чином із непропорційним розподілом спостережень, що осереднювались по акваторії протоки.

При наявності дамби у сучасному стані динаміка зміни камерних нормованих концентрацій речовин приймає дещо інший характер. Час утримання вод (час зовнішнього водообміну) у камерах Керченської протоки майже не змінюється у порівнянні з природними умовами, лише зростає приблизно до 4 місяців для Таманської затоки. Згодом нормована концентрація консервативних домішок перестає залежати від початкових умов і виходить на середній рівень:

Табл. 2 Порівняння даних спостережень C'_{cn} та розрахунків C'_p солоності вод Керченської протоки за природних умов

Table 2 Comparison of observed data C'_{cn} and calculation C'_p to salinity of Kerch Strait water in natural condition

	Сезон року			
	Весна	Літо	Осінь	Зима
Солоність води у промілях				
C_{Am}	11.28	11.23	12.02	11.51
C_{Mm}	18.07	17.59	17.8	17.71
C'_{cn}	13.51	13.45	14.2	13.78
C'_p	15.34	15.03	15.47	15.22
Концентрація нафтопродуктів, мкг/дм ³				
C_{Am}	-	55.0	-	55.2
C_{Mm}	-	47.0	-	42.44
C'_{cn}	-	51.1	-	52.55
C'_p	-	52.0	-	52.4

- дані відсутні.

$$S_1 = 0.857, S_2 = 0.854, S_3 = 0.098. \quad (17)$$

Відповідно до (12), концентрацію певної консервативної розчиненої речовини у камерах Керченської протоки в умовах існуючої дамби можна вирахувати за формулами:

$$C_1 = 0.857 \cdot C_{Am} + 0.143 \cdot C_{Mm}, \quad (18)$$

$$C_2 = 0.854 \cdot C_{Am} + 0.146 \cdot C_{Mm}, \quad (19)$$

$$C_3 = 0.098 \cdot C_{Am} + 0.902 \cdot C_{Mm}. \quad (20)$$

Виходячи з цих формул, було визначено, що дамба майже зовсім не вплине на концентрацію розчинених речовин у північній частині протоки і тому не слід очікувати її впливу на солоність Азовського моря. З іншого боку, дамба змінить гідрохімічний склад води Таманської затоки, який майже впритул наблизиться до складу північної частини протоки і Азовського моря.

Якщо навіть скоротити дамбу, залишивши вільну частину до о. Тузла завширшки 1 км, динаміка змін у камерах протоки також майже не змінюється у порівнянні з природними умовами. Нормована концентрація домішок в умовах скороченої дамби перестане залежати від початкових умов і виходить на середній рівень

$$S_1 = 0.856, S_2 = 0.804, S_3 = 0.099. \quad (21)$$

Згідно до (12), концентрацію певної консервативної розчиненої речовини у каме-

рах Керченської протоки за умов скороченої дамби можна розрахувати за формулами:

$$C_1 = 0.856 \cdot C_{Am} + 0.144 \cdot C_{Mm}, \quad (22)$$

$$C_2 = 0.804 \cdot C_{Am} + 0.196 \cdot C_{Mm}, \quad (23)$$

$$C_3 = 0.099 \cdot C_{Am} + 0.901 \cdot C_{Mm}, \quad (24)$$

Виходячи з формул (22 – 24), було визначено, що скорочена дамба також зовсім не вплине на концентрацію розчинених речовин у північній частині протоки і тому не призведе до зменшення солоності Азовського моря.

З іншого боку, скорочена дамба, як і існуюча споруда, також змінить гідрохімічний склад води Таманської затоки, який майже впритул наблизиться до складу північної частини протоки і Азовського моря. Згідно розрахункам, вклад азовських та чорноморських вод у формування якості морських вод у Таманській затоці у природних умовах та після будівництва дамби наведено на рис 2.

Користуючись отриманими залежностями у наближенні консервативної речовини, проведені розрахунки вмісту деяких домішок, що характеризують солоність вод, антропогенне навантаження на Керченську протоку та вміст поживних речовин у протоці у природних умовах і після спорудження дамби (табл. 3). Дані щодо концентрацій речовин у прилеглих до протоки морських акваторіях і Керченській протоці надані ПівденНІРО.

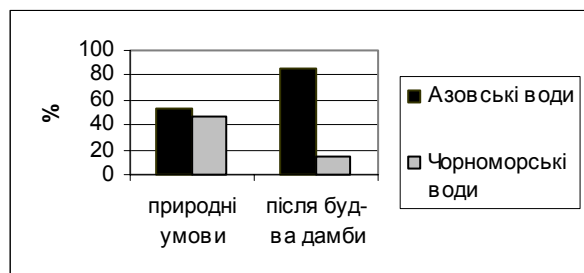


Рис. 2 Внесок азовських та чорноморських вод до формування якості морських вод Таманської затоки
Fig.2. Contribution of the Azov and Black Sea water in shaping of seawater quality of Tamansky Bay

Табл. 3 Розрахунковий вплив дамби на якість води Керченської протоки за деякими показниками
Table 3 Accounting influence of the dam on the quality of Kerch Strait water on some characteristics

Показник	Сезон	Концентрація, мкг/дм ³										
		C ₀	C ₄	Природні умови			Сучасна дамба			Скорочена дамба		
		C _{Ам}	C _{ЧМ}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃
Нафто-продукти	Літо	55.0	47.0	53.8	51.2	47.8	53.9	53.8	47.8	53.9	53.4	45.5
	Зима	55.2	42.4	53.3	49.2	43.8	53.4	53.3	43.7	53.4	52.7	43.7
N мінеральний	Весна	62.8	50.0**	60.9	56.8	51.3	61.0	60.9	51.3	61.0	60.3	51.3
	Зима	-*	-*									
P мінеральний	Весна	10.8	11.3	10.9	11.0	11.3	10.9	10.9	11.3	10.9	10.9	11.3
	Зима	-*	7.3									
Солоність (‰)	Весна	11.3	18.1	12.3	14.5	17.4	12.3	12.3	17.4	12.3	12.6	17.4
	Літо	11.2	17.6	12.2	14.2	16.9	12.1	12.2	17.0	12.1	12.5	17.0
	Осінь	12.0	17.8	12.9	14.7	17.2	12.9	12.9	17.2	12.9	13.2	17.2
	Зима	11.5	17.7	12.5	14.4	17.1	12.4	12.4	17.1	12.4	12.7	17.1

• - дані відсутні, ** - дані АЗНДІРГ.

За результатами розрахунків, в умовах існуючої дамби дещо знизиться солоність вод Таманської затоки та підвищиться концентрація азоту та нафтопродуктів у Таманській затоці. Окрім того, зменшення зовнішнього водообміну Таманської затоки буде призводити до погіршення кисневого режиму, а також до більш інтенсивного накопичення донних відкладень та формування джерел вторинного забруднення води. Це, у свою чергу, може зменшити рибопродуктивність у затоці [2]. У вісімдесяті роки минулого століття, коли економіка прилеглих країн ще не зазнала значного занепаду, вміст поживних речовин у водах Азовського і Чорного морів у порівнянні з сучасним станом був значно більшим. Концентрація валового азоту у Азовському морі досягала 1110 мкг/дм³, у Чорному морі – 350 мкг/дм³; фосфору валового відповідно – 80 та 27 мкг/дм³ [5].

Тому, виходячи з цих даних, згідно з результатами прогнозних розрахунків, у перспективі після відновлення економічної активності у регіоні слід очікувати значного зростання вмісту поживних речовин (насамперед лімітуючого фосфору) у Таманській затоці, що призведе до зростання її евтрофікації (табл. 4, рис.3 – 4), а також вмісту нафтопродуктів з перевищенням рівня ГДК (рис. 5).

При цьому прогнозується значне погіршення в літній період якості води у затоці, викликане масовим розвитком планктонних водоростей, та, як наслідок, подальше погіршення кисневого режиму, що може призвести до явищ задуху. Негативні наслідки цього явища можуть спостерігатися і в Керченській протоці під час винесення біомаси водоростей у протоку з Таманської затоки.

Табл. 4 Розрахунковий вплив дамби на якість води Керченської протоки за умов відновлення економічної активності у прилеглих районах

Table 4 Accounting influence of the dam on the quality of Kerch Strait water on condition of the recommencement of economic activity in Kerch Strait region

Показник	Концентрація, мкг/дм ³										
	C ₀	C ₄	Природні умови			Сучасна дамба			Скорочена дамба		
	C _{Ам}	C _{ЧМ}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃
N _{валовий}	1110	350	995	755	429	1001	999	425	1000	961	425
P _{валовий}	80	27	72	55	33	72.4	72.3	32	73	69.6	32
N _{мінеральний}	105*	50**	96,7	79,3	55,7	97,1	97	55,4	97,1	94,2	55,5
Нафтопродукти	120	50	109	87	57	110	110	57	110	106	57

* – дані [10], ** – дані Азовського науково-дослідного інституту рибного господарства АЗНДІРГ [1].

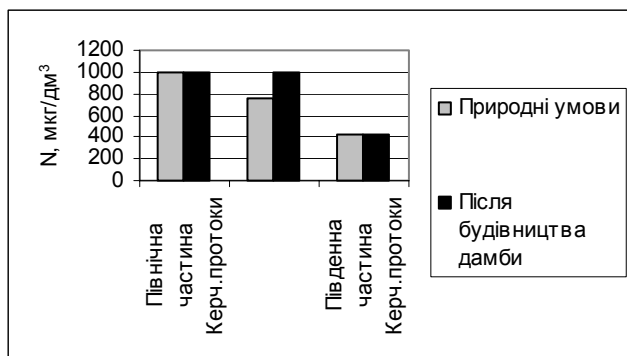


Рис. 3 Прогнозований вплив дамби на зміни концентрації азоту валового у Керченській протоці за умов відновлення економічної активності
Fig. 3 Prediction influence of the dam on change of total nitrogen concentrations in the Kerch Strait water on condition of the recommencement of economic activity

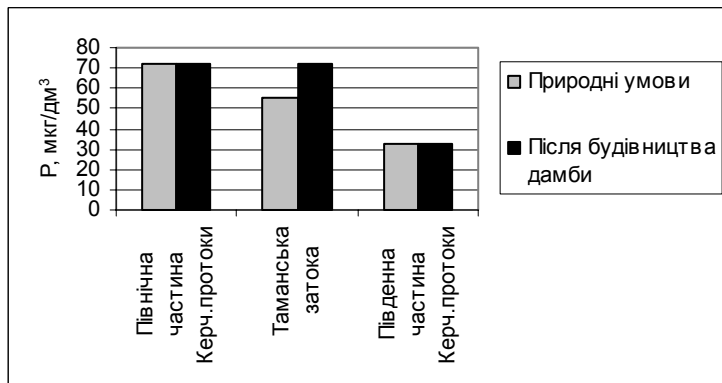


Рис. 4 Прогнозований вплив дамби на зміни концентрації фосфору валового у Керченській протоці за умов відновлення економічної активності

Fig. 4 Prediction influence of the dam on change of total phosphorus concentrations in the Kerch Strait water on condition of the recommencement of economic activity

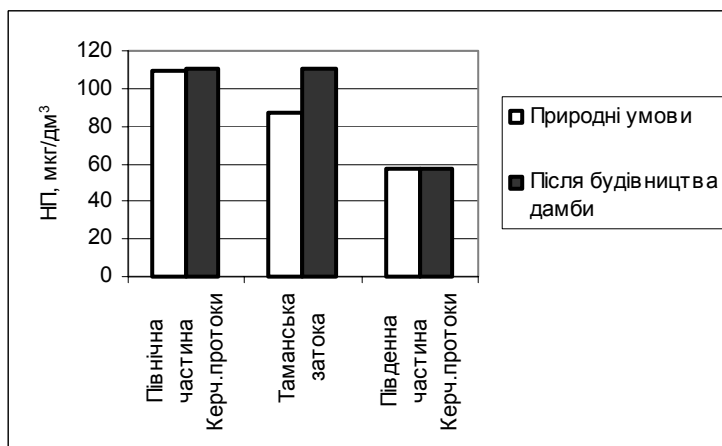


Рис. 5 Прогнозований вплив дамби на зміни концентрації нафтопродуктів у Керченській протоці за умов відновлення економічної активності у прилеглих районах

Fig. 5 Prediction influence of the dam on change of the oil concentrations in the Kerch Strait water on condition of the recommencement of economic activity in adjacent regions

Висновки. 1. В умовах існуючої дамби прогнозується зменшення солоності вод Таманської затоки (приблизно на 2 ‰). Можна очікувати незначного підвищення концентрації нафтопродуктів взимку лише у Таманській затоці за рахунок підвищення притоку азовських вод. Прогнозується також зростання вмісту азоту і фосфору у Таманській затоці, що призведе до посилення евтрофікації, погіршення якості води у періоди масового розвитку фітопланктону, погіршення кисневого режиму у затоці. **2.** У перспективі, після відновлення економічної активності у регіоні, вплив дамби позначиться на значному зростанні вмісту валового азоту та фосфору у Таманській затоці, що призведе до подальшого розвитку процесів евтрофікації та погіршення якості

води у літній період як у самій затоці, так і в Керченській протоці, поширяться явища задухи. Крім того, прогнозується зростання концентрації нафтопродуктів у Таманській затоці з перевищенням рівня ГДК. **3.** Негативний вплив дамби на якість води треба розглядати у двох аспектах: локальному та транскордонному. Локальний вплив функціонування дамби поширюється на Таманську затоку, а транскордонний вплив на Керченську протоку. Негативний вплив дамби на якість води акваторії Керченської протоки, прилеглої до о. Тузла і узбережжя Керченського півострова, можливий у період масового розвитку фітопланктону у Таманській затоці і виносу з неї до Керченської протоки забрудненої води і фітопланктону.

1. *Бронфман А. М., Дубинина В. Г., Макарова Г. Д.* Гидрологические и гидрохимические основы продуктивности Азовского моря. – М.: Пищ. пром-сть, 1979. – 288 с.
2. *Брянцев В. А.* Возможные экологические последствия сооружения Тузлинской дамбы (Керченский пролив) // Морський екологічний журнал. – 2005. – 4, №1. – С. 47 – 50.
3. *Иванов В. А., Шатино Н. Б.* Моделирование течений в Керченском проливе // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2004. – Вып.10. – С. 207 – 232.
4. *Кресін В. С., Бараннік В. О.* Математичне моделювання змін водообміну у Керченській протоці внаслідок будівництва дамби в районі острова Тузла // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: Зб.наук. праць УкрНДІЕП. – Харків, 2004. – С. 40 – 53.
5. *Михайлова Э. Н.* Об одном способе учета горизонтального обмена количеством движения в теории установившихся течений // Проблемы теории ветровых и термохалинных течений. – Севастополь: МГИ АН УССР, 1968. – С. 137 – 144.
6. *Оценка воздействия на окружающую среду / Отчет 0101840-4-2660-2003-ОВОС, кн. 5.1-5.5.* – Краснодар, 2003 г.
7. *Рациональное использование водных ресурсов бассейна Азовского моря // Под ред. И. И. Воронича.* – М.: Изд-во Наука, 1981. – 224 с.
8. *Рябцев Ю. Н.* Моделирование гидрофизических процессов Керченского пролива // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005. – Вып. 12. – С. 342 – 352.
9. *Фельзенбаум А. И.* Теоретические основы и методы расчета установившихся течений. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 96 с.
10. *Gedney R. T., Lick W.* Wind-driven currents in Lake Erie // J. Geophys. Res. – 1972. – 77. – P. 2714 – 2723.
11. *Gendey R. T., Lick W.* Numerical calculation of the steady-state wind-driven currents in Lake Erie // 13th Conf. Great Lakes Res., Internat. Assoc. Grate Lakes Res. – 1970. – P. 829 – 838.
12. *Schwab G. M., Katz P.L.* A model for the study of episodes in the dispersion of a conservative pollutant in lake Michigan // 17th Conf. Gr. Lakes Res., Internat. Assoc. Grate Lakes Res. – 1974. – P. 837 – 845.

Получено 21 ноября 2005 г.

После переработки 28 августа 2006 г.

Математическое прогнозирование изменений массообмена и качества вод в Керченском проливе вследствие строительства дамбы в районе острове Тузла. В. С. Кресин, В. А. Баранник. Разработана математическая модель для расчёта изменений массообмена и качества вод в Керченском проливе из-за влияния дамбы, сооружённой вблизи о. Тузла. Керченский пролив условно разделён на три камеры, имеющие жидкие границы с Чёрным и Азовским морями. Качество воды характеризуется содержанием солей, растворённых нефтепродуктов, общего азота и фосфора. Нестационарная циркуляция вод моделируется случайной последовательностью установившихся адвективных потоков, которые определяют водо- и массообмен через жидкие границы камер. Негативное влияние дамбы на экологическое состояние Керченского пролива в наибольшей степени следует ожидать в Таманском заливе, где прогнозируется рост содержания общего азота и фосфора, которые приведут к усилению процессов эвтрофирования и ухудшению качества воды.

Ключевые слова: водообмен, качество вод, дамба, Керченский пролив

Mathematical prediction of mass transfer and water quality changes in Kerch Strait due to the dam construction near Tuzla Island. V. Kresin, V. Barannik The simulation model of the water and mass exchange in the Kerch straight is developed to predict the water quality changes under impact of dam near the Tuzla Isl. The Kerch Strait is conditionally separated on three boxes having the liquid boundaries with Black and Azov Seas. The water quality is described by the content of salinity, dissolved oils, total nitrogen and phosphorous within boxes. The unsteady hydrodynamic circulation is modeled as random consequence of advective flows providing for the water and mass transfer through the liquid boundaries of boxes. Tamansky Gulf is expected to be the most negatively impacted part of Kerch Strait. The water quality is declined through the increase of dissolved total nitrogen and phosphorous is predicted to bring about rising of eutrophication.

Keywords: water exchange, waters quality, dam, Kerch Strait