

УДК 551.466

О.І. Сахненко, к.геогр.н.

Одеський державний екологічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МІНЛИВОСТІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАВИСІ ТА ХВИЛЬОВИХ ПАРАМЕТРІВ У ПРИБЕРЕЖНІЙ ЗОНІ ЧОРНОГО МОРЯ В РАЙОНІ ЛУЗАНІВКИ, ПОБЛИЗУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ

Виконано розрахунки хвильових параметрів і просторового розподілу зависі в прибережній акваторії Чорного моря в районі Лузанівки, поблизу Куяльницького лиману.

Ключові слова: Лузанівка, прибережна зона, концентрація зависі, вітрові хвилі.

Вступ. В останні десятиліття витрати річки Великий Куяльник зменшились [1]. Середньомісячна солоність ропи в південній частині Куяльницького лиману вже 2002 р. зросла до 245 ‰ [2]. Ропа гіперсолонного Куяльницького лиману при зниженні рівнів води в літні періоди 2009-2012 рр перетворювалась в перенасичений водно-сольовий розчин, мінералізація якого за даними Одеського державного екологічного університету в серпні 2009 року досягла 390 ‰, а з липня по серпень 2012 р зросла з 266 до 365 ‰ [3]. Такий водно-сольовий режим Куяльницького лиману може призвести до зниження рекреаційного потенціалу Одеської області, втрати лиману як курорту державного значення [3]. У зв'язку з цим в районі Куяльницького лиману проводяться інтенсивні науково-дослідні та проектно-пошукові роботи, спрямовані на збереження екосистеми лиману та запобігання його пересиханню [3, 4]. У роботі [4] показано необхідність забезпечення самопливної подачі морських вод у лиман за допомогою з'єднувального каналу або трубопроводу. Дано рекомендації щодо можливого наповнення з'єднувальної гідротехнічної споруди (трубопроводу або каналу) «море-лимани» в сучасних умовах. Рішення інженерних задач, пов'язаних з постачанням морської води у лиман, потребують детальної інформації про динамічні процеси, що протікають в прибережній морській акваторії в районі пляжів Лузанівки, де планується будівництво морської частини системи трубопроводів. **Метою роботи** є оцінки хвильових параметрів та концентрацій донного матеріалу в морській воді в зонах інтенсивного скаламучення в прибережній зоні Чорного моря в районі Лузанівки, поблизу Куяльницького лиману, дослідження просторового розподілу концентрацій при штормових умовах.

Матеріали і методи досліджень. *Вітровий режим.* Розподіл вітру по градаціях швидкості в районі Одеси свідчить про найбільш характерний для берегових гідрометеорологічних станцій режим слабких вітрів. На більшій частині узбережжя протягом року переважають вітри швидкістю 1-4 м/с. Значну повторюваність, але меншу, ніж градація швидкості вітру 1-4 м/с, має градація швидкості вітру 5-6 м/с. У літні місяці повторюваність швидкостей вітру 1-4 м/с досягає 60 %, в зимові місяці повторюваність цих градацій майже зрівнюється і складає 20-30 %.

Незважаючи на переважання слабких вітрів, на узбережжі Чорного моря спостерігається досить значне число днів з сильним вітром (> 15 м/с). Найбільше таких днів (34-35 д/рік) має місце на північно-східному та північно-західному узбережжі моря. Хоча дні з сильним вітром можливі в будь-які сезони, але в тепле півріччя вони спостерігаються рідше, ніж у холодне. У літні місяці такі дні бувають взагалі не щорічно [5].

Середні місячні і річні швидкості вітру на гідрометеорологічних станціях (ГМС) Одеса-Порт та Одеса-ГМО (гідрометеорологічна обсерваторія) наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Середньомісячна та річна швидкість вітру (м/с) за період 1981-2000 рр. на ГМС «Одеса-Порт» і за період 1961-1990 рр. на ГМС «Одеса-ГМО» [4]

ГМС	Місяць року												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Одеса-Порт	4,8	4,7	5,0	4,3	4,3	4,3	4,2	4,0	4,4	4,9	5,6	4,9	4,6
Одеса-ГМО	4,6	4,6	4,3	3,8	3,4	3,2	3,2	3,3	3,4	3,9	4,3	4,3	3,9

За даними ГМС «Одеса-Порт», в районі м. Одеси найбільшу повторюваність має вітер західного напрямку (22,5 %). Вітри північного, північно-західного і південного напрямків мають майже однакову повторюваність (приблизно 14,4-14,5 %). Сумарна повторюваність вітрів північних румбів протягом всього року складає 34,6 % (табл. 2).

Таблиця 2 – Повторюваність напрямків вітру (%) за даними ГМС «Одеса-Порт», середня за період 1981-2000 рр. [4]

Місяць	Півн.	Півн.-Сх.	Сх.	Під.-Сх.	Півд.	Півд.-Зах.	Зах.	Півн.-Зах.
I	17,7	6,6	9,8	4,1	11,5	4,4	30,1	15,8
II	13,7	7,8	15,8	8,7	12,6	3,1	23,7	14,6
III	18,0	9,2	13,9	12,9	13,6	2,7	18,3	11,4
IV	11,9	5,8	15,1	20,1	16,4	2,9	17,2	10,6
V	10,5	3,9	12,5	23,0	18,6	3,5	16,9	11,1
VI	10,9	3,1	8,2	19,1	15,9	3,9	23,1	15,8
VII	14,1	2,0	5,6	15,3	11,8	2,8	27,7	20,7
VIII	14,7	3,5	7,5	14,7	12,1	3,8	24,3	19,4
IX	12,6	3,7	11,1	13,7	17,6	3,6	23,3	14,4
X	16,5	7,6	13,0	10,4	15,8	3,3	19,5	13,9
XI	15,5	8,6	18,1	8,5	12,5	3,5	20,5	12,8
XII	17,8	7,1	11,5	6,5	14,5	5,0	25,3	12,3
Рік	14,5	5,7	11,9	13,1	14,4	3,5	22,5	14,4

Для весняного періоду (березень-травень) характерне поступове зменшення північно-східного, північного і північно-західного перенесень і посилення впливу вітрів південного і південно-східного напрямків.

Влітку південні вітри мають приблизно однакову повторюваність з північними і північно-західними вітрами.

Повторюваність сильних вітрів та їх сумарна тривалість мають чітко виражений річний хід. Максимум припадає на зимові місяці, мінімум – на літні. У 80-85 % усіх виявлених випадків посилення вітру його швидкість не перевищує 15 м/с. Штормові вітри зі швидкістю понад 20 м/с спостерігаються найчастіше в 1-3 % випадків.

Швидкості більш ніж 20 м/с найчастіше досягають штормові вітри південного і західного напрямку. Сильні вітри переважних напрямків найбільш стійкі в часі. У літні місяці безперервна тривалість сильних вітрів знижується. У холодну пору року зростає повторюваність сильних штормових вітрів, найбільш стійких у часі і триваючих іноді по 2-3 доби [5].

Спектральний підхід до опису поверхневих вітрових хвиль. Для оцінки параметрів вітрового хвилювання, а також його дисипативних характеристик у прибережній зоні моря використовувалася чисельна хвильова модель SWAN (Simulating Waves Nearshore), розроблена в Delft University (Нідерланди) [6]. SWAN успішно апробована для різних мілководних зон Світового океану.

В SWAN хвилі описуються двовимірним хвильовим спектром щільності дії. Щільність дії дорівнює спектральній густині енергії, поділеній на відносну частоту

$$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma, \quad (1)$$

де σ – відносна частота;

θ – напрямок хвиль.

Розвиток хвильового спектра описується рівнянням спектрального балансу щільності дії, яке має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma}, \quad (2)$$

де S – вираз, що описує процеси генерації, дисипації і нелінійних взаємодій;

$c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta$ – швидкості перенесення хвильової енергії у фазовому просторі, що визначаються в припущенні мінливого рельєфу дна і фонових течій на основі методу геометричної оптики.

Хвильове рівняння (2) вирішується з нульовими значеннями N на твердих межах розрахункової області. На рідких межах величина N розраховується через висоту і напрямок хвиль. Знаючи розподіл N , можна визначити частотно-кутовий спектр поверхневого хвилювання за допомогою співвідношення $E = \sigma N$ і на його основі отримати оцінки спектральних характеристик хвилювання.

За допомогою спектральної хвильової моделі SWAN описано просторовий характер обвалення вітрових хвиль. Модель використовувалася також для обчислення орбітальної швидкості руху біля дна, що неявно описує турбулентний хвильовий режим в придонному шарі.

При обчисленні концентрації донного матеріалу у водній товщі використано такий вираз для вертикального розподілу завислих наносів в придонному шарі [7]

$$C = C_a e^{-Wz / \varepsilon_{s1}}. \quad (3)$$

Для розрахунку вертикального розподілу концентрації завислих наносів поза межами придонного граничного шару використовувався вираз

$$C = C_a e^{-W\delta / \varepsilon_{s1}} \left(\frac{z}{\delta} \right)^{-W\delta / \varepsilon_{s1}}, \quad (4)$$

де C – об’ємна концентрація завислих наносів;

W – гідравлічна крупність донних наносів;

C_a – величина придонної об’ємної концентрації наносів;

δ – величина, що характеризує товщину придонного шару;

z – вертикальна координата;

ε_{s1} – коефіцієнт дифузії частинок в придонному шарі по вертикальній осі.

Як показують дані експериментальних досліджень, в придонному шарі хвильових потоків концентрація завислих наносів добре апроксимується показовою функцією. Це дає можливість припустити, що в придонному шарі $\varepsilon_{s1} = \text{const}$ [6]:

$$C_a = 0,035 \left(\lg \left(\frac{u_{*m}}{W} D_*^{0,7} \right) \right)^{3,75}, \quad (5)$$

де u_{*m} – максимальна динамічна швидкість в умовах зернистої шорсткості;

D_* – параметр частинок, згідно з методикою [7].

Зіставлення розрахованих за (3) профілів об’ємних концентрацій наносів з лабораторними даними показало добру відповідність та здатність (3) відображати концентрації зависі в придонному шарі води.

Розрахунок хвильової швидкості тертя поблизу дна u_* виконувався за формулою [7]

$$u_*^2 = 0,0865 \frac{u_m^2 u_{*m} T}{\lambda} + 0,15 u_{*m}^2 \frac{\Delta^2}{L \delta}, \quad (6)$$

$$L = 1,83 u_{*m} T$$

де u_m – придонна орбітальна швидкість у хвильовому потоці;

u_{*m} – максимальна динамічна швидкість в умовах зернистої шорсткості;

λ , T – відповідно довжина та період вітрових хвиль;

Δ – висота донних рифлів;

δ – товщина нестационарного турбулентного граничного шару [7].

В якості вихідної, використовувалася нелінійна теорія хвиль малої амплітуди. Розрахунок стаціонарної складової хвильових тангенціальних напружень також здійснювався за алгоритмом, наведеним у [6]. Критичне напруження донного тертя τ_{cri} , за якого частинки відриваються від дна, розраховувалося за методикою Ван-Рейна

$$\tau_{cri} = \rho g d_{cp} (\rho_c / \rho - 1) \theta_{cri}, \quad (7)$$

$$\theta_{cri} = 0,24 D_*^{-1} K \text{ при } D_* < 4, \quad (8)$$

$$\theta_{cri} = 0,14 D_*^{-0,64} K \text{ при } 4 < D_* \leq 10,$$

$$\theta_{cri} = 0,04 D_*^{-0,1} K \text{ при } 10 < D_* \leq 20,$$

$$\theta_{cri} = 0,013 D_*^{0,29} K \text{ при } 20 < D_* \leq 150,$$

$$\theta_{cri} = 0,55 K^3 \text{ при } 150 < D_*.$$

g – прискорення вільного падіння;

d_{cp} – середній діаметр частинок;

ρ_c, ρ – щільність завислих частинок і рідини, відповідно;

$K=1$.

Вітрові хвилі сприяють перемішуванню прибережних вод і скаламучуванню донних відкладів на мілководді, що, в остаточному підсумку, підвищує транспортуючу здатність потоків. Просторовий розподіл зон обвалення вітрових хвиль має важливе значення при протіканні ерозійно-аккумуляційних процесів, транспортуванні та перерозподілі наносів. Розрахунок трансформації й обвалення вітрових хвиль виконувався на акваторії при штормових умовах.

Поле глибин акваторії (рис. 1) розміром 750×1194 м апроксимоване розрахунковою сіткою з кроком 27 м по осях x і y , які спрямовані на схід і північ відповідно.

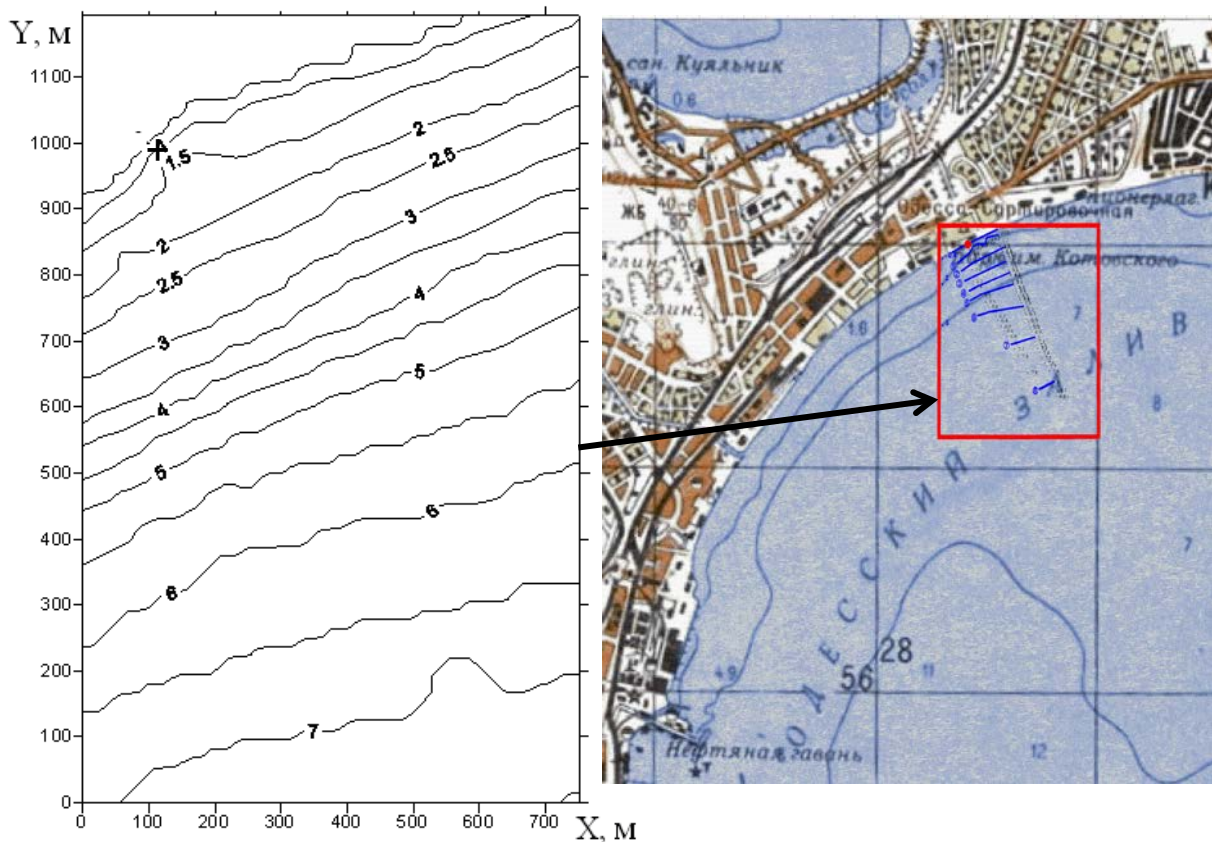


Рис.1 – Просторовий розподіл глибин (м, цифри в розривах ізобат) в районі передбачуваного будівництва морської частини з'єднувальних споруд (позначено символом «+» на рисунку) в Одеській затоці [4]. Рівень води моря -0.4 м БС.

Прийнято, що хвилювання генерується вітром 15 м/с південного напрямку. На відкритій морській, тобто східній межі розрахункової області задавалися період і висота значної хвилі h_s . Середні характеристики хвилювання визначалися з емпіричних співвідношень, що зв'язують їх зі швидкістю вітру, довжиною розгону і глибиною моря [8]. Висота значної хвилі h_s визначалася із співвідношення, яке пов'язує її з середньою висотою хвилі \bar{h} [9]

$$\bar{h} = 0,6 h_s. \quad (9)$$

При південному вітрі зі швидкістю 15 м/с усталене хвилювання на глибокій морській межі розрахункової області характеризується наступними значеннями параметрів: висота значної хвилі $h_s=2,1$ м, середній хвильовий період – 4,4 с. Розраховані характеристики вітрового хвилювання при заданих вітрових умовах узгоджуються з даними спостережень над хвилюванням, отриманими Геофізичною обсерваторією Одеського державного екологічного університету [10].

Хвильовий спектр визначався з дискретністю 4° по кутовій координаті. Для частотної координати використовувалася нерівномірна сітка з 25 вузлами. Мінімальна частота 0,01 Гц. Максимальне значення висоти хвилі в зоні обвалення визначалося співвідношенням

$$h_{\max} = \gamma \cdot H, \quad (10)$$

де $\gamma = 0.78$ – параметр обвалення.

Результати досліджень. Моделювалася трансформація вітрових хвиль при реально існуючій конфігурації берегової лінії і промірах глибин, виконаних у 2012 р. [4]. Розраховане поле мінливості висот вітрових хвиль на прибережній акваторії наведено на рис.2.

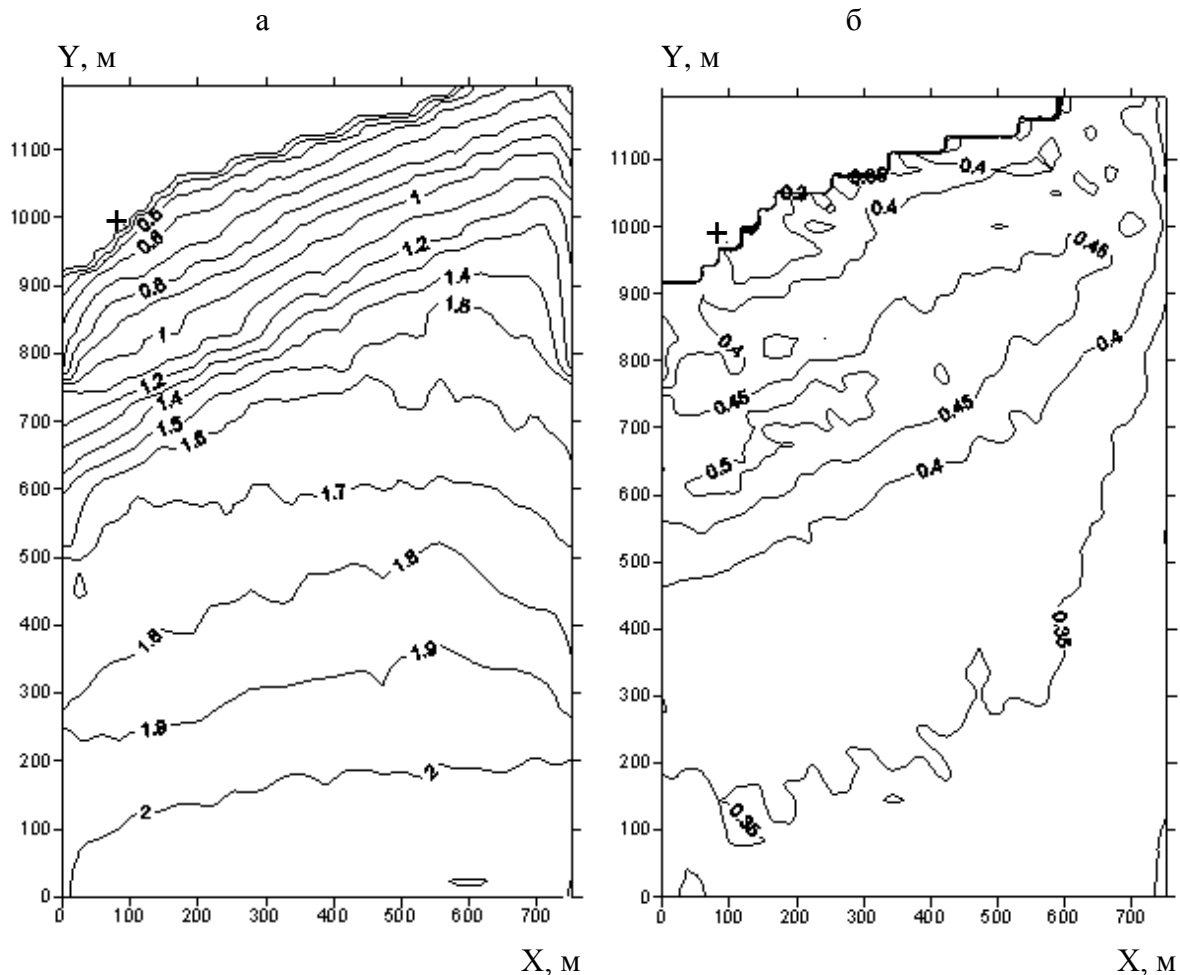


Рис.2 – Просторовий розподіл висот значних хвиль (а), м, та орбітальної швидкості хвильового руху поблизу дна (б), м/с, в районі передбачуваного будівництва морської частини з'єднувального споруд (позначено символом «+»)

При південному вітрі висота значної хвилі в південній частині акваторії може досягати 2,0 – 2,1 м, а на решті акваторії – менша 2,0 м. У міру подальшого просування хвиль по мілководдю до берега їх висота змінюється несуттєво: на окремих ділянках акваторії збільшується не більш ніж на 5 см, але в цілому – зменшується. Остаточне руйнування хвиль спостерігається в прибережній мілководній зоні, про що свідчить згущення біля берегової лінії ізоліній висот значних хвиль (рис. 2а).

На рис.2,а наведено одержане за модельними розрахунками поле висот значних хвиль, які спочатку поширювалися по нормалі до південної морської межі розрахункової області. Найбільш інтенсивне зменшення висот значних хвиль починається з ізобати 3,5 м.

Чинником, що визначає втрати хвильової енергії за рахунок тертя об дно, є орбітальна швидкість хвильового руху біля дна U_{rms} . Орбітальна швидкість хвильового руху біля дна є також показником інтенсивності скаламучування донного матеріалу хвилями.

У просторовому розподілі орбітальної швидкості хвильового руху простежується зона інтенсифікації в районі ізобати 3-3,5 м. (рис.2,б).

Збільшення придонної орбітальної швидкості хвильового руху в даному районі призведе до більш інтенсивного скаламучування донних відкладів на цих ділянках і підвищення концентрації зависі у водній товщі (рис.3а,б).

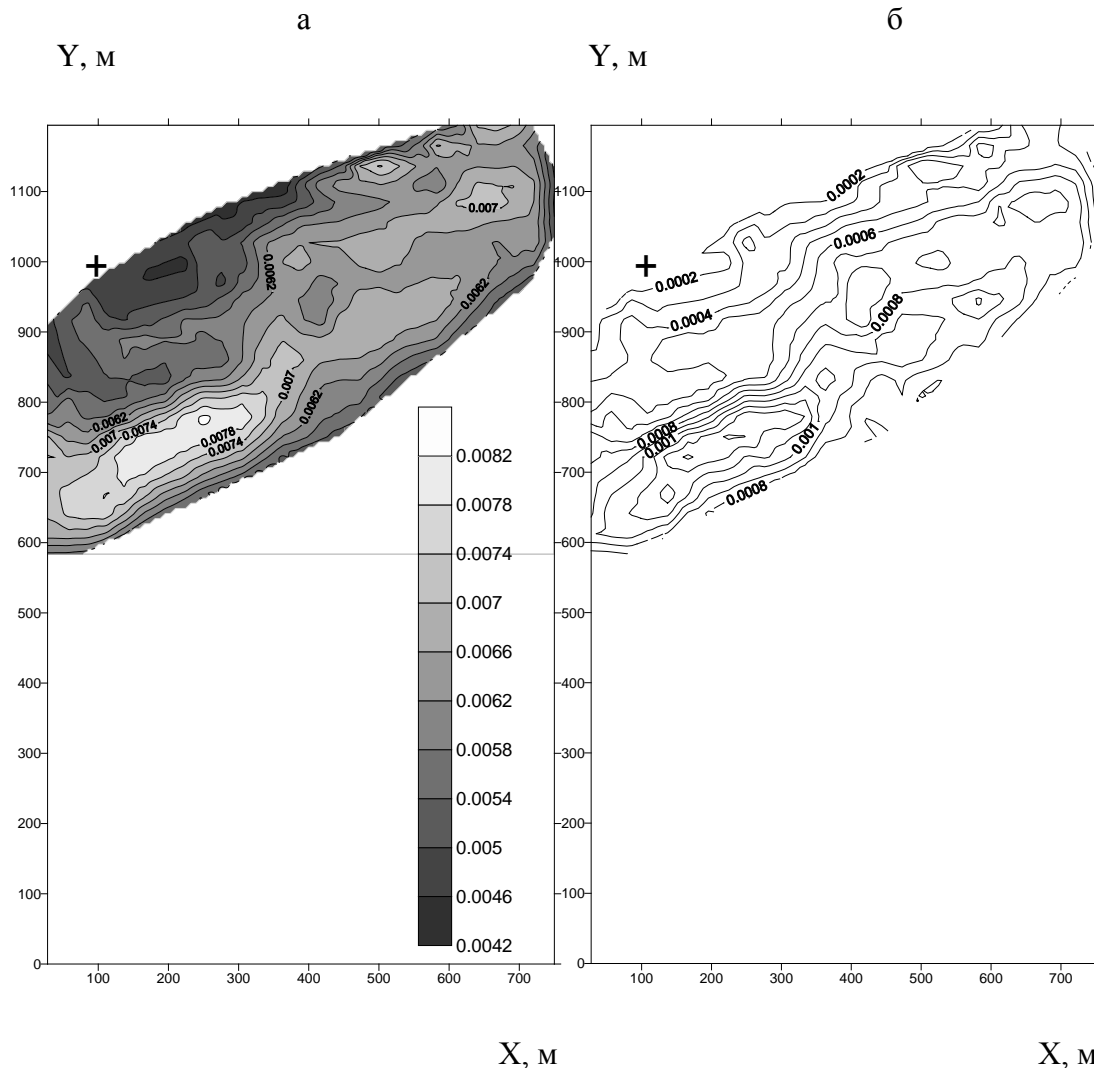


Рис. 3 – Просторовий розподіл об'ємної концентрації зависі поблизу дна (а) та на рівні 1 м від поверхні дна (б).

Максимуми придонних орбітальних швидкостей при штормовому вітрі 15 м/с досягають 0,5 м/с (рис. 2,б). В прибережній смузі орбітальні швидкості хвильових рухів зменшуються до 0,2-0,3 м/с. На південній рідкій межі розрахункової області орбітальні швидкості хвильових рухів поблизу дна складають близько 0,35 м/с.

Аналіз просторового розподілу концентрації зависі поблизу дна (рис. 3а) та на рівні 1 м від поверхні дна (рис.3,б) свідчить про те, що за штормових умов в досліджуваній прибережній мілководній морській акваторії максимальні концентрації зависі спостерігаються в придонному шарі до 1 м, на відстані 230 м від берега [4]. В решті вертикальної товщі води, поза межами придонного пограничного шару, концентрації різко падають. Про це свідчать також вертикальні профілі концентрації зависі. Мінімальні значення концентрацій на рівні 1 м відрізняються від значень поблизу дна більш ніж на порядок, максимальні концентрації на вказаних рівнях різняться в 6-8 разів.

Для дрібнозернистого піску (діаметр донних частинок менший за 0.2 мм) кількісно оцінено умови, при яких можливий транспорт наносів під дією придонних хвильових течій. З цією метою було виконано розрахунки критичної швидкості початку рухів донних частинок u_c за формулою

$$u_c^2 = \frac{\tau_{cri}}{\rho}, \quad (11)$$

де τ_{cri} – критичне напруження донного тертя поблизу дна;

ρ – щільність води.

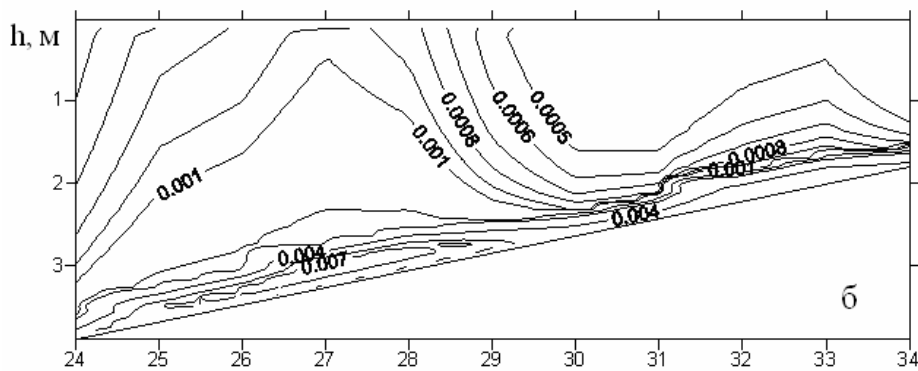
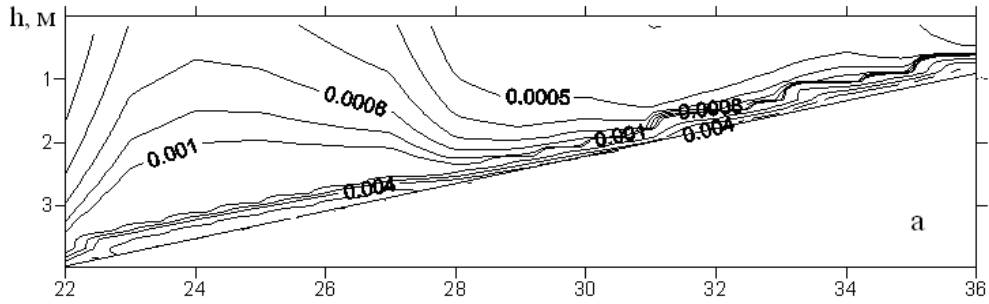
Порівняння u_* з u_c дало можливість використати ці величини для ідентифікації зон можливого скаламучення та виникнення транспорту донних наносів. При розрахунку концентрацій домішки перевірялася умова перевищення хвильовими придонними швидкостями тертя критичних значень, за якими відбувається відрив частинок від дна за критерієм $\frac{u_*^2 - u_c^2}{u_c^2} > 0$. Як показали розрахунки, ця умова починає

виконуватися при переході хвиль через ізобату 3,5 м на відстані 300-335 м від берега. На південь від цієї прибережної зони транспорт наносів за розглянутих вітро-хвильових умов виникнути не може. Розташування зон можливого скаламучення донного матеріалу добре корелює з відповідним просторовим розподілом висот вітрових хвиль. З цього можна зробити висновок, що штормове хвилювання може бути ефективним механізмом транспорту донного матеріалу в прибережній морській акваторії в районі пляжів Лузанівки при південних вітрах.

На рис.4 наведені вертикальні розрізи концентрації зависі у водній товщі вздовж Y-координати для $x = 108$ м та $x = 189$ м від початку обраної системи координат (рис. 1). Максимальні концентрації спостерігаються в досить тонкому придонному шарі. В решті водного стовпчика, поза межами придонного пограничного шару, концентрації зависі майже на порядок нижчі.

Характер просторового розподілу розрахованої концентрації зависі в прибережній зоні стикується з розрахунками, виконаними на експериментальному полігоні «Камчія» (Чорне море) в період шторму, а також з результатами натурних спостережень [7].

На рис.5 наведено вертикальний профіль об'ємної концентрації зависі у вузлі (7, 29) розрахункової області, який відображає різке експоненційне зростання концентрації в придонному шарі завтовшки приблизно 1 м.



номери вузлів розрахункової сітки на осі Y

Рис.4 – Вертикальний розріз розподілу об'ємної концентрації завислих наносів у водній товщі в напрямку координати Y: а) при $x = 108$ м (4 вузол розрахункової сітки вздовж координати X); б) при $x = 189$ м (7 вузол розрахункової сітки вздовж координати X). Горизонтальний просторовий крок розрахункової сітки 27 м.

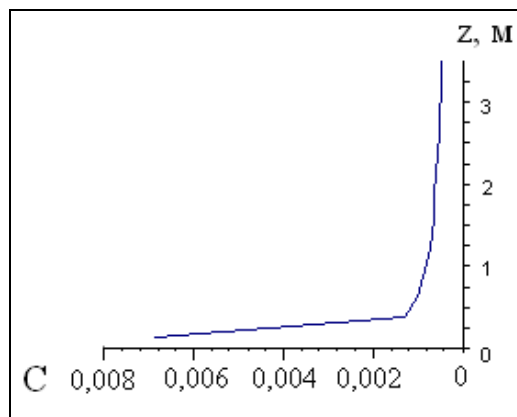


Рис. 5 – Вертикальний розподіл об'ємної концентрації завислих наносів в штормовий період, розрахований згідно з методикою [7] за виразами (2, 3) у вузлі (7, 29) розрахункової області, z – вертикальна координата, на дні $z = 0$.

З урахуванням того, що активне обвалення вітрових хвиль та скаламучення донного матеріалу відбувається на мілководному узбережжі, починаючи з глибин 3,0-3,5 м, оголовок гідротехнічної споруди (труби) слід виводити за межі цієї мілководної зони на відстань 300-335 м від берега.

У разі неможливості виводу оголовку труби на вказану відстань, слід враховувати просторовий розподіл концентрації зависі в водах акваторії (рис. 3 а, б). Зокрема, як видно з рис. 3б, оголовок труби може бути виведений на відстань 80-110 м від берега, але нижня його частина повинна бути піднята над дном на відстань не менш 1 м. Однак цей варіант потребує додаткового дослідження, оскільки при меншій швидкості вітру і, відповідно, висоті хвиль, зона їх руйнування буде зміщатися до берега, а разом з нею і зона максимальних концентрацій зависі у воді.

Висновки. При сталому штормовому південному вітрі активне обвалення вітрових хвиль та скаламучення донного матеріалу на ділянці прибережної зони моря в районі пляжу Лузанівка відбувається на мілководному узбережжі, починаючи з глибин 3,0-3,5 м, на відстані 300-335 м від берега.

Відповідно до зони обвалення хвиль у просторовому розподілі орбітальної швидкості хвильового руху поблизу дна при штормовому вітрі простежується зона інтенсифікації в районі ізобати 3-3,5 м (рис.2). Збільшення придонної орбітальної швидкості хвильового руху поблизу дна в даному районі до 0,5 м/с призводить до більш інтенсивного скаламучення донних відкладів на цих ділянках і підвищення концентрації зависі в придонному шарі.

Тому морський оголовок гідротехнічної споруди (труби) рекомендується виводити за межі цієї мілководної зони. Варіант розміщення оголовку труби на відстані 80-110 м від берега за умови, що нижня його частина повинна бути піднята над дном на відстань не менш 1,0 м, потребує додаткового дослідження і обґрунтування шляхом виконання розрахунків при сталих вітрах меншої швидкості, які мають більшу повторюваність.

Максимальні концентрації спостерігаються в досить тонкому придонному шарі до 1 м. В решті водного стовпчика, поза межами придонного пограничного шару, концентрації зависі майже на порядок нижчі.

Список літератури

1. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н., Бабинец С.К., Чурсіна О.Д. Экологическое состояние Куяльницкого лимана // Мат. Всеукр. наук.-практ. конф. — Одеса: Інноваційно-інформ. центр, 2009. — С. 216-221.
2. Адобовский В.В. Современные процессы высыхания и осолонения лиманов с ограниченным водообменом // Екологічні проблеми Чорного моря. — Одеса. — 2002. — С. 3-8.
3. Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: звіт про науково-дослідну роботу (закл.) / під керівн. Лободи Н.С., ОДЕКУ. — Одеса, 2012.
4. Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: звіт про науково-дослідну роботу (закл.) / під керівн. Тучковенка Ю.С., ОДЕКУ. — Одеса, 2012.
5. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Гидрометеорологические условия. — С.-П.: Гидрометеоиздат, 1991. — Т. IV, Вып.1. — 429 с.
6. SWAN Cycle IV, Version 40.31: user manual. - Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, Netherlands, 2004. — 110 p.
7. Иванов В.А. Проблемы и перспективы оценок воздействия на окружающую среду при освоении ресурсов шельфа. — Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ - Гидрофизика», 2004. — С. 114-125.
8. Океанографические таблицы / Под ред. Мироненко З.И. — С.-П.: Гидрометеоиздат, 1975. — С. 234-236.
9. Абузяров З.К. Морское волнение и его прогнозирование. — Гидрометеоиздат, 1981. — 165 с.
10. Сбор гидрофизических параметров и исследование их изменчивости с помощью сети гидрометрических постов на контрольно-калибровочном полигоне космической гидрофизики: отчет о НИР (заключит.) / ОГМИ. — Одесса, 1985. — 107 с.

Моделювання просторової змінливості концентрації зависі та хвильових параметрів в прибережній зоні Чорного моря в районі Лузанівки, вблизи Куяльницького лимана. О.І. Сахненко

Виконані розрахунки хвильових параметрів, просторового розподілу зависі в прибережній зоні Чорного моря в районі Лузанівки, вблизи Куяльницького лимана.

Ключові слова: Лузанівка, прибережна зона, концентрація зависі, ветрові хвилі.

Modeling of the spatial variability of the suspended matter concentration and wave parameters in the coastal zone of the Louzanovka beach near the Kuyalnik estuary. O. I. Sakhnenko

Calculations of the spatial distribution of the suspended matter concentration and wave parameters in the coastal waters of the Black Sea near the Kuyalnik estuary were made.

Keywords: The Louzanovka beach, coastal zone, the concentration of bottom particles, the wind waves.