

Сезонні та між річні зміни рівня моря на станціях Цареградське гирло та Приморське

Вступ. Рівень моря суттєво впливає на прибережну зону. Тому проблеми зміни рівня моря завжди відносились до пріоритетних напрямків океанології. В останні десятиліття актуальність цих проблем зростає, що обумовлено значною мірою сучасним глобальним підвищенням рівня Світового океану та його морів та активним освоєнням берегової зони. Підвищення рівня спостерігається й в Чорному морі, а в 2010 році він досягнув свого абсолютного максимуму за всю 150 річну історію спостережень.

В північно-західній частині Чорного моря зміни рівня найбільш суттєві тому, що цей район характеризується малими глибинами, значним впливом річкового стоку та помітними тектонічними рухами, тому робота морських портів та інших об'єктів море господарського комплексу залежить від зміни рівня моря.

В роботі [1] представлено результати статистичного аналізу мінливості рівня моря на деяких станціях північно-західній частини Чорного моря на масштабах від між річної до синоптичної. В представлений статті розглядаються особливості сезонній та між річної мінливості рівня моря на станціях Приморське та Цареградське гирло в сучасний кліматичний період та її взаємозв'язки зі стоком Дунаю. Використовувались середньомісячні та середньорічні дані спостережень за рівнем моря та стоком Дунаю за 1975-2010 роки.

Сезонна мінливість рівня моря на станціях Цареградське гирло та Приморське.

Сезонна мінливість рівня у Чорному морі в цілому визначається співвідношенням складових водного балансу протягом року, з яких головним фактором є річковий стік. Найбільші рівні води спостерігаються, як правило, в весняні та літні місяці року, а найменші - на початку осені. На станції Цареградське гирло розмах сезонних коливань складає в середньому за багаторічними даними 26 см, а на станції Приморське - 22 см. Від року до року він змінюється від 15 см до 42 см та від 12 см до 49 см відповідно.

Складові водного балансу моря в кожному конкретному році відрізняються від середніх багаторічних значень, що обумовлює не тільки різні величини розмаху сезонного ходу, а й різноманітний характер кривих рівня моря. Розрахунки повторюваності сезонних екстремумів показують, що на станції Цареградське гирло лише в 70%, а на станції Приморське в 59% випадків максимум сезонного ходу спостерігається з квітня по липень.

Найбільша повторюваність припадає на квітень та складає 39% на станції Цареградське гирло, та 24% на станції Приморське. Інтенсивні опади осінню та зимою можуть бути причиною вторинного максимуму в сезонному ході рівня, який в деяких випадках перевищує весняний. Повторюваність зимового максимуму рівня складає на станції Цареградське гирло 19% та припадає на період грудень - лютий, а на станції Приморське – 28% та спостерігається в жовтні, грудні, січні та березні.

Мінімуми середньомісячних значень рівня моря в різні роки також відзначалися в різні місяці, за винятком періоду травень - червень. На відміну від максимальних значень, тимчасові зміни мінімуму рівня менш стійкі до своєї нормі. Так, на станції Цареградське гирло в 87% випадків мінімальний рівень спостерігається з серпня по грудень, з яких 50% припадає на вересень та листопад, а в 13% випадків мінімум спостерігається в січні - березні. На станції Приморське на період з вересня по грудень припадає лише 64% випадків сезонного мінімуму, а в 27% він спостерігається в січні та лютому, та в 7% - в липні. Аномальний сезонний хід рівня моря в основному пов'язаний з аномаліями річкового стоку.

Як відомо, зручною формою представлення кривих океанографічних елементів є розкладання їх в ряди поліномів Чебишева [2] які є параболоми різного порядку. Коефіцієнти розкладання показують внесок парабол різного порядку в реальні криві, та змінюються в часі. Тому для аналізу часових змін кривих сезонного ходу рівня моря можна аналізувати лише коефіцієнти розкладання, а при розробки методу прогнозу необхідно прогнозувати також коефіцієнти розкладання, а потім виконувати відновлення кривих. Для представлення використовувалась сума чотирьох членів ряду, яка є достатньою для задовільного (з невеликою помилкою) відновлення кривих.

Представлення кривих сезонного ходу рівня в ряд поліномів Чебишева має вигляд:

$$H(x) = A_0 + A_1 * \varphi_1(x) + A_2 * \varphi_2(x) + A_3 * \varphi_3(x) + A_4 * \varphi_4(x), \quad (1)$$

де φ_i - поліноми різного порядку; x - нумерація точок, $x=1, 2, \dots, 12$ (номер місяця); A_i - коефіцієнти розкладання, які розраховуються за формулою:

$$A_i = \sum H(x) \cdot \varphi_i(x) / \sum \varphi_i^2(x). \quad (2)$$

Члени ряду мають певний фізичний сенс. Члену A_0 відповідає середній за рік рівень моря.

Член ряду $A_1 * \varphi_1(x)$ є пряма лінія, при цьому, якщо A_1 зі знаком «+» нахил лінії відповідає максимальному рівню в січні, та мініимальному в грудні, а при A_1 зі знаком «-» в сезонному ході спостерігається

максимальний рівень в грудні, а мінімальний в січні. Розрахунки коефіцієнтів кореляції між розмахами сезонних коливань рівня на станціях Цареградське гирло та Приморське та коефіцієнтами A_1 дорівнюють 0,79 та 0,60 відповідно, є статистично значущими, та піддержують, що цей коефіцієнт добре відображає розмах сезонних коливань рівня моря.

Член ряду $A_2 * \varphi_2(x)$ - парабола першого порядку: при A_2 зі знаком «-» максимум припадає на 6 точку, а мінімум на 1 та 12 точки, тобто цей коефіцієнт відображає внутрішньо річні зміни рівні з максимумом в літні місяці та мінімумом в зимові, при A_2 зі знаком «+» спостерігається зворотня картина.

Член ряду $A_3 * \varphi_3(x)$ – парабола другого порядку, яка відповідає два максимуми і два мінімуми.

Член ряду $A_4 * \varphi_4(x)$ – парабола третього порядку, яка має три максимуми і два мінімуми.

Найбільший внесок в розкладання кривих сезонного ходу мають коефіцієнти A_1 та A_2 , а внесок коефіцієнтів A_3 та A_4 значно менше.

Аналіз розрахованих коефіцієнтів показав, що коефіцієнти A_1 у більшості випадків негативні, що відповідає зниженню рівня від січня до грудня. Виняток становлять аномальні роки 1996, 1997 і 2002, коли максимум припадає на зимові місяці - листопад-грудень, тобто нахил кривої відповідає підвищенню рівня від січня до грудня. Коефіцієнти A_2 також у більшості випадків негативні, що відповідає підвищенню рівня у весняно-літні місяці. Коефіцієнт A_3 у більшості випадків позитивний, що також добре відображає сезонний характер змін рівня – максимум у весняні місяці, мінімум у вересні і другий максимум в листопаді-грудні. Коефіцієнти A_4 також позитивні, що відповідає максимуму в літні місяці, а мінімуми в березні і жовтні.

Для аналізу зв'язків між сезонними коливаннями рівня моря на двох станціях розраховувались коефіцієнти парної кореляції між одноіменними коефіцієнтами розкладання кривих сезонного ходу (табл. 1).

Таблиця 1.

Коефіцієнти парної кореляції між одноіменними коефіцієнтами розкладання кривих сезонного ходу на станціях Цареградське гирло та Приморське.

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
A_0	0,924**	-	-	-	-
A_1	-	0,857**	-	-	-
A_2	-	-	0,615**	-	-
A_3	-	-	-	0,711**	-
A_4	-	-	-	-	0,787**

Примітка: ** - значимість на рівні 0,01.

З таблиці видно, що існує тісний зв'язок між усіма коефіцієнтами, що свідчить про спільність сезонних коливань на обох станціях.

Для аналізу багаторічних змін розмаху сезонних коливань розраховувались характеристики лінійних трендів, які показали, що на обох станціях спостерігається від'ємні тренди, але ж статистично не значущі. Коефіцієнти детермінації дорівнюють на станції Цареградське гирло 0,19, а на станції Приморське 0,12. Зменшення розмаху коливань за трендом за досліджуваний період склало на станції Цареградське гирло 10см, а на станції Приморське 8см. Тобто, розмах коливань зменшився приблизно на 30 %. В роботі [3] вказано, що за період 1946—1975р.р. розмах сезонних коливань по всьому Чорному морю знизився на 25%. Слід також відмітити, що на обох станціях перехід розмаху сезонних коливань нижче середнього значення припадає на 1992рік. В багаторічній мінливості розмаху сезонних коливань можна також спостерігати цикли від 4 до 8 років. На думку [4], причиною зменшення розмаху сезонних коливань є підвищення мінімального в сезонному ході рівня моря.

Багаторічні зміни рівня моря на станціях Цареградське гирло та Приморське.

Аналіз багаторічних змін рівня моря виконувався на основі розрахунків характеристик лінійних трендів середніх річних значень за весь досліджуваний період – 1975-2010 рр., та за окремі періоди 1975-1992рр. та 1993-2010рр. Результати показано в табл.2.

Таблиця 2.

Характеристики лінійний трендів середніх річних значень рівня моря на станціях Цареградське гирло та Приморське за різні часові періоди.

Станція, період	Цар. гирло. 1975-2010рр.	Приморське, 1975-2010рр.	Цар.гирло 1975-1992рр.	Приморське 1975-1992рр.	Цар.гирло 1993-2010рр.	Приморське 1993-2010рр.
Характеристика						
a (см / рік)	0,45	0,40	-0,09	-0,09	0.83	0.63
R ²	0.36	0.33	0.01	0.01	0.36	0.20
Δ (см)	16.2	14.4	-3.2	-3.2	14.9	13.2

Примітка: a – кутовий коефіцієнт тренду, R² - коефіцієнт детермінації,

Δ (см) – зміни за трендом. Виділені значущі на рівні 0.01 тренди.

Результати розрахунків демонструють статистично значущі позитивні тренди в багаторічних змінах рівня на обох станціях за весь досліджуваний

період , коефіцієнти детермінації дорівнюють 0,36 та 0,33, а кутові коефіцієнти 0,45 та 0,4, відповідно. Загальне підвищення рівня моря за трендом на станції Цареградське гирло склало 16 см, а на станції Приморське 14 см.

Якщо аналізувати окремі періоди, то можна відмітити, що на обох станціях за 1975—1992 рр. рівень моря істотно не змінювався, спостерігалися між річні коливання близько середнього значення. Після 1992 року почалось суттєве підвищення рівня, особливо на станції Цареградське гирло, де кутовий коефіцієнт за цей період майже в 2 рази перевищує кутовий коефіцієнт за весь досліджуваний період. Таким чином можна зробити висновок, що позитивні тренди в багаторічних змінах рівня моря на обох станціях обумовлені зростанням його рівня за останні 18 років.

Для виявлення того, як впливає стік Дунаю на зміни рівня моря, попередньо був виконаний аналіз стоку за весь досліджуваний період, який показав, що в багаторічних коливаннях спостерігається поступове зниження стоку. Починаючи з 1990 року стік в основному нижче норми, за виключенням 2000, 2005, 2006 та 2010 років. Для більш детального аналізу стоку розглядалися його зміни також за два періоди - 1975—1992 рр. та 1993—2010 рр.

За період 1975-1992 рр. в змінах стоку Дунаю спостерігається статистично значущий від'ємний тренд, коефіцієнт детермінації дорівнює 0.45, а кутовий коефіцієнт складає $-143 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ за рік, що показує значне зниження стоку. Цей висновок співпадає з висновком [3] в якій показано, що за останній кліматичний період річковий стік в Чорне море зменшився.

За період 1993-2010 рр. в багаторічних змінах стоку спостерігається дуже слабкий, статистично не значущий, позитивний тренд. Помітними є також хвильові коливання відносно середнього значення з максимумами в 1999р., 2005р., 2006р., та 2010р. та мінімумами в 2003р. та 2007р. Найбільше значення стоку припадає на 2010р. Саме в 2010 році рівень моря на станціях Цареградське гирло та Приморське також досяг свого максимуму. Згідно з [5] 2010 рік вважається самим теплим роком в північній півкулі за 120 років регулярних метеорологічних спостережень з 1891року. Практично на всіх станціях північно-західної частини Чорного моря – в 2010 році досягнуті також абсолютні максимуми температури води [4]. Аномальним цей рік був і по кількості опадів на площі водозбору Дунаю [5]. Таким чином, підвищення рівня моря в 2010 р. обумовлено як підвищенням стоку Дунаю за рахунок збільшення опадів, так і зростанням температури води в морі.

Таким чином, за досліджуваний період в багаторічних змінах стоку Дунаю та рівня моря спостерігаються різні тенденції – за останні 18 років стік зменшився, а рівень моря підвищився. Більш детальний аналіз показав,

що найбільш суттєво стік Дунаю зменшився з березня по червень, тобто в період максимуму сезонного стоку річки. В період межені - в серпні та вересні стік Дунаю майже не змінився.

Якщо корелювати стік ріки Дунай і рівень моря на станціях Цареградське гирло та Приморське за весь період (по середньорічним даним), то коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,272, та 0,305 відповідно, та є статистично не значущими. Ці результати не є несподіваними, тому, що процеси зміни стоку та рівня моря є суттєво нестационарними. Якщо ж брати замість значень середньо річного рівня та середньо річного стоку їх послідовні між річні зміни, можна позбавитись не стационарності та бачити наближення цих змін до стационарних процесів. Така процедура використовувалась, наприклад, для аналізу та прогнозу багаторічних змін рівня Каспійського моря, які, як відомо, є значними та суттєво нестационарними [2]. Після позбавлення не стационарності, розраховувались коефіцієнти кореляції між змінами стоку та змінами рівня, як для середньомісячних, так і середньорічних даних. Результати представлено в таблицях 3 та 4.

Табл. 3 Коефіцієнти кореляції (R) між середньомісячними та середніми річними змінами стоку ріки Дунай и змінами рівня моря на станції Цареградське гирло за період 1975-2010 рр.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8
R	0,411*	0,327	0,378*	0,522**	0,541**	0,813**	0,609**	0,572**

Місяць	9	10	11	12	Рік
R	0,485**	0,480**	-0,250	-0,313	0,831**

Примітка: * - значимість на рівні 0,05;

** - значимість на рівні 0,01.

Табл.4. Коефіцієнти кореляції (R) між середньомісячними та середніми річними змінами стоку ріки Дунай и змінами рівня моря на станції Приморське за період 1975-2010 рр.

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8
R	0,319	0,187	0,235	0,409*	0,417*	0,699**	0,555**	0,599**

Місяць	9	10	11	12	Рік
R	0,366**	0,283	0,380*	-0,287	0,802**

Примітка: * - значимість на рівні 0,05;

** - значимість на рівні 0,01.

З таблиць видно, що найбільш тісний зв'язок між зміною стоку і зміною рівня спостерігається для середньорічних даних, для яких коефіцієнти кореляції перевищують 0,8. З цього можна зробити висновок, що по між річними змінам стоку можна розраховувати між річні зміни рівня моря.

Висновки

1. На станції Цареградське гирло розмах сезонних коливань складає в середньому за багаторічними даними 26 см, а на станції Приморське - 22 см. Від року до року він змінюється від 15 см до 42 см, та від 12 см до 49 см відповідно. Максимум сезонного ходу спостерігається з квітня по липень - на станції Цареградське гирло лише в 70%, а на станції Приморське в 59% випадків. Повторюваність вторинного - зимового максимуму рівня складає на станції Цареградське гирло 19% та припадає на період грудень - лютий, а на станції Приморське - 28% та спостерігається в жовтні, грудні, січні та березні. На станції Цареградське гирло в 87% випадків мінімальний рівень спостерігається з серпня по грудень, з яких 50% припадає на вересень та листопад, а в 13% випадків мінімум спостерігається в січні - березні. На станції Приморське на період з вересня по грудень припадає лише 64% випадків сезонного мінімуму, а в 27% він спостерігається в січні та лютому, та в 7% - в липні.

2. Розкладання сезонних змін рівня в ряд поліномів Чебишева показав, що коефіцієнти розкладання добре відображають цей процес. Між коефіцієнтами розкладання спостерігаються тісні кореляційні зв'язки, що свідчить про спільність сезонних коливань на обох станціях.

3. В багаторічних змінах розмаху сезонних коливань на обох станціях спостерігаються негативні тренди, які свідчать про зменшення розмаху. За досліджуваний період зниження розмаху сезонних коливань склало на станції Цареградське гирло 10 см, а на станції Приморське 8 см. Тобто розмах коливань зменшився майже на 30 %, що співпадає з оцінками по інших станціях Чорного моря.

4. В багаторічних змінах середньорічного рівня моря на обох станціях спостерігаються значущі позитивні тренди. За досліджуваний період загальне підвищення рівня моря на станції Цареградське гирло склало 16 см, а на станції Приморське 14 см. Аналіз за окремі періоди показав, що на обох станціях з 1975 по 1992 рр. рівень моря істотно не змінювався, коливання відбувалися близько середнього рівня, а з 1993 року почалось суттєве підвищення рівня, особливо на станції Цареградське гирло, де кутувий

коефіцієнт за період з 1993—2010р.р. майже в 2 рази перевищує кутовий коефіцієнт за весь період. Таким чином, позитивні тренди в багаторічних змінах рівня моря на обох станціях обумовлені зростанням його рівня за останні 18 років.

5.В багаторічних коливаннях стоку ріки Дунай починаючи з 1990р. стік в основному нижче норми, за виключенням 2000, 2005, 2006, та 2010 років. За період з 1975—1992 рр. в коливаннях стоку Дунаю спостерігається статистично значущий негативний тренд, який показує значне його зниження. За період з 1993—2010 рр. тренд стоку Дунаю є статистично незначущим, а в річній мінливості спостерігаються коливання відносно середнього рівня. Таким чином, в багаторічних коливаннях рівня на обох станціях та стоку Дунаю за досліджуваний період спостерігаються різні тенденції - стік зменшується, а рівень підвищується.

6. Кореляція стоку Дунаю та рівня моря на обох станціях, показує що зв'язок між ними практично відсутній, що підтверджує різні тенденції та свідчить про суттєво нестационарні процеси. Якщо ж аналізувати замість значень стоку та рівня послідовні між річні зміни цих характеристик, можна позбавитись не стационарності. Коефіцієнт кореляції між змінами стоку і змінами рівня для середньорічних даних, перевищує 0,8. Таким чином, по між річним змінам стоку можна розраховувати між річні зміни рівня моря.

Література

1. Гаврилюк Р.В., Корнилов С.В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, 2014.- № 2(17).-С. 142-164.
2. Абузяров З.К., Думанская И.О, Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание // Москва, Обнинск: ИГ-СОЦИН.- 2009. - С.275.
3. Ильин Ю.П, Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н, Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том2 Черное море // Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт. - Севастополь, 2012.- С.420.
4. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика,2006.—210с.
5. Основные погодно-климатические особенности 2010 года в северном полушарии Земли.- <http://meteoinfo.ru/climate> .

Мінливість вітро-хвильового режиму моря в районі порту Іллічівськ

Останнім часом в науковій літературі змінам гідрометеорологічного режиму морів та їх регіонів приділяється велика увага [1].

Дослідження мінливості хвилювання моря і характеристик вітру також є одними з актуальних завдань сучасної географічної науки. На сьогоднішній день дослідження вітро-хвильового режиму в прибережній зоні вкрай важливо для запобігання економічних втрат, зумовлених екстремальними штормами. У свою чергу, успішність прогнозування таких штормів базується на розробках сучасних прогностичних моделей та знанні режимних характеристик гідрометеорологічних параметрів.

Порт Іллічівськ розташовано в північно-західній частині Чорного моря та є одним із великих морських портів України. В основі безпеки виробничих операцій в порту та експлуатації береговій інфраструктури необхідні знання про виникнення екстремальних погодних умов, зокрема, сильних штормів, здатних привести до значних економічних втрат. Враховуючи вищесказане, можна відмітити, що вітер і хвилювання є одними з найбільш важливих елементів, що визначають безпеку мореплавства і берегової інфраструктури.

Вітер та морське хвилювання впливають також на вздовж береговий рух наносів на підводному схилі, а це в свою чергу призводить до переформування берегової смуги, змінам рельєфу дна, замуленню морських підхідних каналів та акваторій портів. Для безпеки мореплавства в прибережній зоні моря та запобігання наслідків цих процесів потрібно виконувати трудомісткі та дорогі днопоглиблювальні роботи. Тому знання змін режиму переміщення наносів на шельфі має велике практичне значення [2].

Мета дослідження - оцінити мінливість вітро-хвильового режиму та інтенсивність переміщення наносів в районі порту Іллічівськ за останні роки і

визначити тенденції цих змін в порівнянні з середніми багаторічними нормами.

Для аналізу використанні данні спостережень на станції Іллічівськ за швидкістю вітру та хвилюванням моря за період 2006-2013 роки.

Середньомісячні та екстремальні значення швидкості вітру

Для аналізу вітрового режиму на станції Іллічівськ за досліджуваний період (2006-2013рр.) за середньомісячними даними розраховувались середні значення вітру, які порівнювались з багаторічними нормами з [1]. Розрахунки показали, що в усі місяці року за досліджуваний період швидкості вітру нижче, ніж за багаторічний період. Середньорічна швидкість вітру склала $3.2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, що нижче норми на $0,8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (на 20%), а найбільші зниження спостерігаються в листопаді - $1,3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та вересні - $1,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ (на 28%). Цей висновок добре узгоджується з аналогічними висновками по інших станціях, часова мінливість на яких показує загальне зниження швидкості вітру над Чорним морем за останні 30 років [1].

Порівняльний аналіз максимальних абсолютних значень швидкості вітру за досліджуваний період показав, що швидкості вітру у всі місяці року перевищують $20 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а в холодний сезон досягають $24-26 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ та мало відрізняються від аналогічних характеристик за багаторічний період.

З повторюваності по напрямках максимальної швидкості вітру видно, що на частку вітрів північної чверті припадає 62,5%, з яких північно-західного напрямку 33,3%, а на вітрі південної чверті - лише 15,6%.

Повторюваність різних градацій швидкості вітру

Поряд із середніми і максимальними значеннями швидкості вітру інтерес представляють відомості про повторюваність різних його градацій. За спостереженнями за чотири строки за добу розраховувались повторюваності вітру різних градацій за період 2006-2013 рр. і порівнювались з аналогічними характеристиками за багаторічний період. Результати розрахунків наведено в табл.1.

Таблиця 1.

Повторюваність (%) по місяцях різних градацій швидкості вітру на ст. Іллічівськ за період 2006-2013 рр.(чисельник) та її мінливість у порівнянні з багаторічною нормою (знаменник).

Град./ Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Штиль	2.8	4.4	3.3	5.7	7.3	6.7	6.2	8.1	5.8	4.4	4.1	3.0	5.15
	0.4	1.4	-0.3	1.7	3.0	2.4	2.8	4.0	2.4	1.8	1.5	0.8	1.8
1–5	74.3	76.6	75.8	86.0	85.1	89.2	86.5	85.0	83.7	83.6	82.7	77.4	82.5
	7.4	10.5	8.5	11.3	5.9	7.7	3.2	2.4	4.0	8.9	16.4	9.4	8.3
6–10	17.7	16.4	17.4	7.5	6.9	3.2	6.3	6.2	9.8	10.3	11.2	15.6	10.5
	-7.9	-10.0	-0.8	-11.7	-8.7	-10.3	-6.3	-6.5	-5.8	-9.8	-15.4	-10.3	-9.4
11–15	4.2	2.3	2.8	0.6	0.7	0.8	1.0	0.7	0.6	1.6	1.8	3.5	1.67
	-0.1	-1.6	-0.3	-1.5	-0.2	0.2	0.3	0.2	-0.5	-0.7	-2.2	0.2	-0.5
16– 20	0.7	0.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.17
	-0.2	-0.4	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.5	-0.2	-0.1
>20	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.08	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Примітка: темним кольором показано від'ємне відхилення

Як видно з таблиці, в середньому за рік повторюваність штилів і слабких вітрів зросла на 1,8% і на 8,3% відповідно, а сумарно - на 10,1 %. Особливо помітне зростання повторюваності слабких вітрів спостерігається з жовтня по грудень - від 9% до 16%, а також у лютому та квітні - 10% - 11%.

Повторюваність помірних вітрів ($6-10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) за досліджуваний період навпаки знизилася- в середньому за рік на 9,4% порівняно з нормою.

Найбільше зниження відзначається в листопаді і становить 15,4%.

Для сильних вітрів ($11-15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) за досліджуваний період також спостерігається зниження повторюваності у всі місяці року, за виключенням літніх (червень-серпень). В середньому за рік зниження повторюваності досягає 0,6%, а максимально - в листопаді на – 2,7%, в лютому - на 2% і в

квітні - на 1,6%. Повторюваність штормового вітру (більш $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) також нижче за норму у всі місяці, крім березня. Таким чином, за досліджуваний період на станції Іллічівськ спостерігалось збільшення повторюваності штилів і слабких вітрів і зниження повторюваності помірних і сильних вітрів. Ці зміни досягають 10%. Цей висновок добре узгоджується з результатами спостережень на інших станціях Чорного моря. На всіх станціях у другій половині ХХ століття і початку ХХІ століття спостерігається зменшення повторюваності помірних і сильних вітрів і збільшення повторюваності слабких вітрів [1]. В той же час, в літні місяці сильний, а березні штормовий вітер спостерігалися за досліджуваний період (вісім років) частіш, ніж за період з 1961 по 2011 роки (сорок років).

Повторюваність різних напрямків вітру

Для визначення того, які напрямки вітру в найбільшій мірі є відповідальними за зменшення швидкості вітру на ст. Іллічівськ за досліджуваний період, виконувалися розрахунки повторюваності різних градацій вітру по основних напрямках та порівнювалися з нормами. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Як видно з таблиці, збільшення повторюваності слабких вітрів відбулося більшою мірою за рахунок збільшення повторюваності південного вітру (40% від змін в усіх напрямках), східного і північно-західного вітру (по 30% від зміни в усіх напрямках). Повторюваність слабого північного вітру навпаки знизилася (на 12%).

Повторюваність помірних вітрів ($6-10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) показує зниження по всіх напрямках у порівнянні з нормою. Найбільші зниження відзначаються для північного вітру (на 30%) і південного вітру (на 20%).

Повторюваність сильних вітрів ($11-15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) по всіх напрямках також знизилася. Найбільші зниження спостерігаються для північного (на 40%) і східного вітрів (на 60%).

Таблиця 2.

Повторюваність (%) різних градацій швидкості вітру по основним напрямам за досліджуваний період (чисельник) та її зміни у порівнянні з середньою багаторічною нормою (знаменник).

Напрямок/ градація швидкості вітру, (м·с ⁻¹)	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	Повтор. (%)
Штиль	-	-	-	-	-	-	-	-	5.15
									1.8
1 – 5	11.83	4.10	9.28	3.28	21.43	3.0	16.20	13.4	82.52
	-0.1	0.7	2.4	0.0	3.5	-0.4	0.5	2.5	8.3
6 – 10	2.73	0.91	1.43	0.31	1.75	0.19	0.98	2.22	10.52
	-2.8	-0.9	-1.4	-0.5	-2.0	-0.1	-1.0	-0.9	-9.4
11 – 15	0.49	0.32	0.13	0.04	0.09	0.01	0.14	0.45	1.67
	-0.2	0	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	-0.5
16 – 20	0.04	0.01	0.04	0.0	0.0	0.0	0.03	0.05	0.17
	-0.06	-0.03	-0.02	-0.01	-0.02	0.0	0.01	-0.01	-0.14
>20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.01
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.0
Повтор. (%)	15.09	5.34	10.88	3.63	23.27	3.20	17.36	16.12	100
	-4.1	-0.2	0.7	-0.6	1.4	-0.5	-0.5	1.7	0.0

Примітка: темним кольором показано від'ємне відхилення

Повторюваність штормового вітру (більш 15 м·с⁻¹) знизилась по всіх напрямках, крім західного. Таким чином, штормові вітри в літні місяці та в березні були за досліджуваний період західного напрямку.

Якщо аналізувати повторюваність вітру по всіх градаціях швидкостей то можна зробити висновок: повторюваність північного вітру знизилася на 21%, а повторюваності південного і північно-західного вітрів зросли на 7% і 12% відповідно. Повторюваність по решті напрямів змінилося мало.

Повторюваність різних градацій висот хвиль

Зміни вітру повинні викликати зміни й хвильового режиму моря. За даними строкових спостережень за кожен місяць року за весь досліджуваний період розраховувались повторюваності висот хвиль різних градацій (дм) та виконувалось порівняння їх з багаторічними нормами. Результати розрахунків наведено в табл.3.

Таблиця 3.

Повторюваність (%) по місяцях різних градацій висот хвиль на ст..Іллічівськ за досліджуваний період (чисельник) та їх зміни у порівнянні з багаторічною нормою (знаменник).

ісяць./ градації, (дм)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Штиль	2,01	2,7	1,05	5,2	5,4	5,3	5,7	7,8	5,56	1,9	3,2	2,1	3,99
	1,31	1,8	-0,55	3,4	3,9	3,6	3,8	5,1	3,56	1	2,3	1,1	2,39
0,01- 0,25	39,72	39,8	41,5	55	56,8	57,3	61,6	56,7	58,12	47,2	50,5	45,7	50,8
	-9,98	-10,6	-3,7	2,5	0,4	-5,4	-2,07	-3,9	1,32	-0,3	6,6	-3,3	-2,37
0,26- 0,74	34,8	42,7	45,7	35,5	35,0	36,54	32,2	34,54	33,54	43,6	36,5	36,8	37,3
	2,7	12,2	10,9	-1,4	0,18	5,44	0,7	2,14	1,44	6,8	2,2	4,7	4
0,75- 1,25	10,81	13,5	9,8	3,9	3,7	0,83	1,5	0,94	2,5	6,4	8,7	9,7	6,02
	0,71	2,7	-2,8	-3,1	-2,2	-3,27	-1	-2,86	-4,6	-3,1	-4,2	2,3	-2,18
1,26- 2,00	6,6	2,2	1,8	0,42	0,13	0	0	0	0,3	1,88	1,9	6,5	1,8
	0	-4,3	-3,6	-1,28	0,67	-0,5	-0,4	-0,5	-1,5	2,72	-5,3	1	-1,6
2,1-3,5	0,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
	-0,21	-0,88	0,41	-0,16	0,08	0	-0,03	-0,03	-0,16	0,67	-0,72	0,32	-0,34

Примітка: темним кольором показано від'ємні відхилення.

Повторюваність хвилювання при штилі в середньому за рік становить 4%, в літні місяці - 6%-8%, а в зимові - тільки 1%-3%.

Найбільшу повторюваність за досліджуваний період має слабке хвилювання (0.1-2.5 дм). В середньому за рік вона досягає 50,8%, в літні

місяці зростає до 57% - 61%, а в зимові знижується до 39% -41%.

Повторюваність штилів та слабкого хвилювання сумарно сягає 55%.

Помірне хвилювання (2.6-7.4 дм) має найбільшу повторюваність в зимні та осінні місяці і становить 36% -45%. З травня по листопад вона знижується до 35% -33%. В середньому за рік помірне хвилювання спостерігаються в 37% випадків.

Сильне (7.5-12.5 дм) та штормове хвилювання (12.6-20.0 дм) спостерігається за досліджуваний період в середньому за рік в 6,0% та 1,8% випадків відповідно. Найбільш ймовірне таке хвилювання в холодний період року, на січень та лютий в сумі припадає 15% -17%. В теплий сезон ймовірність такого хвилювання не перевищує 3%.

Якщо порівнювати зміни повторюваності різних градацій за період 2006-2013гг. по відношенню до середніх багаторічних норм, то можна побачити, що в середньому за рік повторюваність хвилювання при штилі зросла на 2,5%. Повторюваність слабкого хвилювання, навпаки знизилася - в середньому за рік на 2,37%. Найбільше зниження відзначається в лютому і становить 10,4%. Повторюваність помірною хвилювання в порівнянні з багаторічною нормою зросла на 4%. Для сильного і штормового хвилювання спостерігається зниження повторюваності. В середньому за рік зниження досягає 4%, а максимального - в листопаді на – 10,22%, і в березні - на 6,81%.

Таким чином, за досліджуваний період на станції Іллічівськ спостерігалось підвищення повторюваності хвилювання при штилі та помірною хвилювання, і зниження повторюваності слабкого та штормового хвилювання.

Повторюваність різних напрямків вітрового хвилювання

В табл.4 наведено повторюваності різних градацій висот хвиль по основних напрямках та їх порівняння з нормами.

Таблиця 4.

Повторюваність різних градацій висот хвиль по напрямках на ст. Іллічівськ за період 2006 – 2013 рр. (чисельник) та її мінливість у порівнянні з середньою багаторічною нормою (знаменник).

Напрямок/ Швидкість	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	Σ
Штиль	-	-	-	-	-	-	-	-	4
									2,4
0,01-0,25 (1 бал)	5,71	2,05	5,25	2,31	12,4	2,5	11,3	9,5	51,02
	-0,89	-1,05	1,65	-1,49	2,1	-1	1,4	-4,2	-3,48
0,26-0,74 (2бал)	7,2	2,9	4	1,6	11,8	0,97	2,3	6,2	36,97
	0	-1,6	0,6	-2	1,2	0,47	1,3	3,5	3,47
0,75-1,25 (3бал)	1,6	1,2	1,73	0,3	0,9	0,17	0,02	0,14	6,06
	0,4	-0,6	0,26	-0,7	-0,8	0,12	0	0,04	-1,28
1,26-2,00 (4бал)	0,4	0,6	0,51	0,16	0,16	0,04	0,02	0,01	1,9
	0,1	-0,5	-0,29	-0,14	-0,14	0,04	0,01	0,01	-0,91
2,1-3,5 (5бал)	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0,05
	-0,01	-0,05	-0,1	-0,02	-0,02	0	0	0	-0,2
Сумма	14,91	6,8	11,49	4,37	25,26	3,68	13,64	15,85	100
	-0,4	-3,8	2,12	-4,35	2,34	-0,37	2,71	-0,65	0

За період 2006-2013 рр. у порівнянні з багаторічною нормою найбільше зниження повторюваності (в сумі) припадає на південно-східний (- 4,35%) та північно-східний (-3,8%) напрямки, а збільшення повторюваності відбулося для східного (2,12%) , південного (2,34%) та західного напрямків (2,71%).

Розрахунки параметрів вздовж берегового потоку наносів поблизу Сухого лиману

Проблемам деградації берегів в останні роки в науковій літературі приділяється велика увага. Зокрема, в роботах [3,4] виконано розрахунки

переміщення наносів в береговій зоні західного Криму. Для розрахунку інтенсивності переміщення наносів вздовж берега на практиці, як найбільш простий, частіше за всього використовують вітроенергетичний метод, який встановлює зв'язок між енергією вітру та інтенсивністю переміщення наносів [5].

В основі методу лежить розрахунок умовної енергії вітру E для кожного з восьми румбів напрямів вітру по формулі:

$$E = \sum P_i \cdot W_i^2 \cdot \sqrt[3]{D} \cdot k \cdot n / 1000 \quad (1),$$

де P_i – повторюваність швидкості вітру i -тої градації даного румбу (%);

W_i – середня швидкість вітру даного румбу для i -тої градації ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

D – довжина розгону вітру даного румбу (км);

k – коефіцієнт повноти сектору, відповідного даного румба;

n – коефіцієнт пониження енергії хвилювання при малих глибинах.

Геометричне підсумовування складових енергії вітру по всіх напрямках надає сумарну енергію вітру, що передається водній поверхні:

$$E = \bar{\Sigma} \cdot E_p \quad (2)$$

Пропорційна сумарній енергії вітру вздовж берегова складова потоку енергії, називається наносоруховаючою силою, і визначається за формулою:

$$N = E \cdot f(\delta) \quad (3)$$

де $f(\delta)$ – кутова функція, залежна від кута δ між напрямком вектору E і нормаллю до берегу. Складова потоку енергії визначається в умовних одиницях.

Середній річний об'єм наносів ($\text{тис} \cdot \text{м}^3$), що переміщається вздовж піщаного берегу з ухилом дна від 0,01 до 0,03 визначається за формулою:

$$M = 80 \cdot N^{1,25} \quad (4)$$

Для визначення занесення каналу приймається, що воно здійснюється під дією вітру зі всіх напрямків, тому розраховується арифметична сума складової E_p по всіх румбах, а середнє значення товщини шару наносів в каналі визначається за формулою:

$$\Delta h = \left[\sum_{i=1}^8 |E_p| \right]^2 \cdot \left(1 - \frac{H_{cp}}{H_k}\right) \quad (5)$$

де H_{cp} – середня глибина моря по трасі каналу (м);

H_k – проектна глибина каналу (м).

Знаючи товщину шару наносів (Δh), довжину каналу (L) та його ширину (B), можна визначити об'єм наносів в перерізі каналу:

$$V = \Delta h \cdot L \cdot B \text{ (м}^3\text{)} \quad (6)$$

Для розрахунків об'єму наносів використовувались дані про повторюваність вітру за період 2006-2013 рр. та за багаторічний період.

Розглядалися морські румби напрямків вітру – північно-східний, східний, південно-східний, південний та південно-західний .

У зв'язку з тим, що довжина розгону вітру D впливає на параметри хвиль лише до певного критичного розгону, після чого зростання хвиль припиняється, у розрахунковій формулі (1) використовується граничний розгін хвиль $D_{гр}$, який для мілководдя розраховується так:

$$D_{гран} = 0,8W^2 \cdot 0,18 \sqrt{H} \quad (7),$$

де W – середня швидкість вітру даного румбу кожної градації;

H – глибина моря (середня) на кожному румбі.

В тих випадках, коли фактичний розгін перевищує граничний, тоді в розрахунків водиться $D_{гран}$, якщо ж фактичний розгін менший за граничний, тоді в формулу (1) підставляється фактичний розгін. [6].

Розрахунки за повторюваністю вітру за 2006-2013 рр. показали, що геометрична сума складових енергії вітру по всіх морських румбах дорівнює:

$$\sum \vec{E}_p = 0,5$$

Кут між результуючим вектором $\sum \vec{E}_p$ і нормаллю до берега дорівнює $\delta = 28^\circ$, а наносорухоюча сила, дорівнює:

$$N = \sum \bar{E}_p \cdot f(\delta) = 0,5 \cdot 0,8 = 0,4.$$

Середній річний об'єм наносів (тис·м³), що переміщується вздовж берега в районі порту Іллічівськ за даними о вітрі за 2006-2013 рр.

визначається так:

$$M = 80 \cdot N^{1,25} = 80 \cdot 0,4^{1,25} = 25,45 \text{ тис} \cdot \text{м}^3$$

Результати розрахунків за багаторічними даними є такими.

Геометрична сума складових енергії вітру по всіх румбах дорівнює:

$$\sum E_p = 0,87$$

Кут між векторами $\sum E_p$ і нормаллю до берегу дорівнює $\delta = 28^\circ$.

Значення кутової функції $f(\delta) = 0,8$.

Наносорухаюча сила при середніх багаторічних умовах дорівнює

$$N = \sum E_p \cdot f(\delta) = 0,87 \cdot 0,8 = 0,696.$$

Середній річний об'єм наносів (тис·м³) що переміщується вздовж берега в районі порту Іллічівськ при середніх багаторічних умовах дорівнює:

$$M = \sum E_p \cdot N^{1,25} = 80 \cdot 0,696^{1,25} = 50,88 \text{ тис} \cdot \text{м}^3$$

Таким чином, середній річний об'єм наносів за досліджуваний період в два рази менш того об'єму, що переміщується при середніх багаторічних умовах. Слід також відмітити, що за отриманими розрахунками потік наносів вздовж берегу має напрям від південного заходу до північного сходу.

Виникає інтерес оцінити занесення морського підхідного каналу до порту Іллічівськ. Для визначення занесення каналу розраховується арифметична сума значень енергії вітру за обраними румбами. Розрахунки за період 2006-2013рр. показали, що товщина шару наносів (Δh) дорівнює 0,10 м, а середній багаторічний об'єм наносів в каналі становить 16,8 тис·м³ в рік.

Для середніх багаторічних умов товщина шару наносів становить 0,28 м, а об'єм наносів дорівнює 47 тис·м³ в рік.

В роботі [2], яка була виконана в 1968 р. занесення каналу до порту Іллічівськ визначено по середнім багаторічним даним та складає 50 тис·м³ в

рік. Порівняння показують, що наведені об'єми по середнім багаторічним даним в [2] і розраховані нами є близькими, що підтверджує достовірність виконаних розрахунків. Якщо порівнювати середній багаторічний об'єм наносів за період 2006-2013 рр. і за багаторічний період, то можна зробити висновки про те, що об'єм наносів в каналі складає 36% від об'єму наносів при середніх багаторічних умовах. Можна припустити, що однією з причин розмиву берегів, що прилеглі до району Сухого лиману і порту Іллічівськ є дефіцит наносів.

Висновки

1. Середньорічна швидкість вітру на станції Іллічівськ склала за досліджуваний період $3,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, в той час як за багаторічними нормами вона дорівнює $4,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ – зниження середньої швидкості вітру склало 20%. Найбільші зменшення спостерігаються в листопаді - $1,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, та вересні $1,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, що дорівнює 28% в порівнянні з багаторічними нормами. Цей висновок добре узгоджується з аналогічними висновками по інших станціях, часова мінливість на яких показує загальне зниження швидкості вітру над Чорним морем за останні 30 років.

2. Аналіз змін швидкості вітру за різними градаціями показує, що повторюваність штилів та помірних вітрів в сумі зросла на 10% в порівнянні з нормою, найбільше підвищення спостерігається з жовтня по грудень, в лютому та квітні та становить від 9% до 16%. Повторюваність помірних та сильних вітрів - навпаки знизилась в середньому за рік також на 10%. Найбільше зниження помірних вітрів відзначається в листопаді і становить 15,4%, а сильних – в листопаді, лютому та квітні знаходиться в межах від 1,6% - 2,7%. Таким чином зниження середньої швидкості вітру відбулося за рахунок підвищення штилів та слабких вітрів та зниження повторюваності помірних та сильних.

3. За досліджуваний період максимальні абсолютні швидкості вітру перевищують $20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і спостерігаються в усі місяці року, а в холодний сезон

досягають $24-26 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ та мало відрізняються від аналогічних характеристик за багаторічний період. Аналіз повторюваності по напрямках максимальної швидкості вітру показав, що на частку вітрів північної чверті припадає 62,5%, з яких північно-західного напрямку 33,3%, а на вітрі південної чверті - лише 15,6%.

4. Порівняння повторюваності різних напрямів вітру за досліджуваний період з багаторічними нормами показало, що для північного вітру спостерігається зниження, яке складає 4,1% та відбувається за рахунок зниження повторюваності всіх градацій вітру, а для північно-західного та південного вітру навпаки - підвищення на 1,7% та 1,4% відповідно, яке обумовлено зростанням повторюваності слабких вітрів. Повторюваність інших напрямів вітру змінилось незначно.

Якщо аналізувати зміни повторюваності лише морських румбів, то можна відмітити, що найбільше підвищення спостерігається для південного та східного напрямів (на 1,4% і 1,7% відповідно), та зниження для південно-східного вітру (на 0,6%). Повторюваність вздовж берегових вітрів - північно-східного та південно-західного - також знизилась на 0,2% та 0,5% відповідно.

5. Обробка матеріалів спостережень за вітровими хвилями показала, що найбільша повторюваність приходить на хвилі 1-2 бали (не більш 7,4 дм). За багаторічними нормами вона складає 89,3%, а за досліджуваний період 92,1% . Зростання відбулося за рахунок підвищення повторюваності хвиль інтенсивністю 2 бали, яке спостерігається у всі місяці року, крім квітня, а найбільше в лютому (12,2%).

Сильне – 3 бали, (7.5-12.5 дм) та штормове хвилювання – 4 бали, (12.6-20.0 дм) спостерігалися за досліджуваний період в середньому за рік в 6,0% та 1,8% випадків відповідно. Найбільш ймовірне таке хвилювання в холодний період року, на січень та лютий в сумі припадає 15% -17%. В теплий сезон ймовірність такого хвилювання не перевищує 3%. Для сильного і штормового хвилювання спостерігається зниження повторюваності в

порівняні з нормою. В середньому за рік зниження досягає 4%, а максимально - в листопаді на – 10,22%, і в березні - на 6,81%.

Хвилювання інтенсивністю в 5 балів спостерігалось лише в січні 2012 року, а висота хвилі становила 2,3 м.

6. Аналіз вітрового хвилювання за напрямками показав, що за досліджуваний період відбулися їх зміни у порівнянні з багаторічними нормами. Для південно-східного та північно-східного напрямів відбулось зниження повторюваності - на 4,35% та на 3,8% відповідно, а для східного, південного та західного напрямів навпаки підвищення повторюваності - 2,12%, 2,34%, 2,71% відповідно. Цей висновок узгоджується з висновком про зміни напрямів морських румбів вітру.

7. Розрахунки за вітро-енергетичним методом показали, що при умовах близьких до норми, середній річний об'єм вздовж берегового потоку наносів в районі поблизу Сухого лиману складає 50,88 тис·м³ за рік, а за умовами 2006-2013р.р - 25,45 ти с·м³ за рік. Об'єм наносів в каналі при середніх багаторічних умовах складає 47 тис·м³ за рік, а за досліджуваний період - 16,8 тис·м³ за рік, тобто лише 36% . Можна припустити, що однією з причин розмиву берегів, що прилеглі до району Сухого лиману і порту Іллічівськ є дефіцит наносів.

Література

1. Ильин Ю.П., Репин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.А., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2. Черное море. Севастополь , 2012, -420с.
2. Бертман Д.Я., Шуйский Ю.Д., Шкарупо И.В. Характеристика движения морских наносов вдоль пересыпи Сухого лиман. / Труды Союзмор НИИ проекта.-1968. - вып.20.с. 143-148.
3. Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н. Штормовой ветро-волновой режим у черноморского побережья Крыма. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: ЭКОСИ- Гидрофизика, 2009. – вып.19. – с.56-69.

4. Горячкин Ю.Н., Удовик В.Ф., Харитонов Л.В. Оценки параметров потока наносов у западного берега Бакальской косы при прохождении сильных штормов в 2007 году.// Морской гидрофизический журнал, 2010, № 5.- с.42-51.
5. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. – Московское отделение Гидрометеоиздата, М, 1975, -240с.
6. Инженерная океанология. Лабораторные работы. Ленинградский Гидрометеорологический институт, Л., 1987. -120с.