

Згінно-нагінні коливання рівня моря в портах Южний та Чорноморськ

Вступ. Протягом року рівень води у прибережній частині моря відчуває неперіодичні коливання, викликані місцевим вітром та вітрами, які охоплюють площу моря у цілому. Дія сильних вітрів над морем приводить до згінно-нагінних коливань рівня. Особливе значення мають ці коливання для господарській діяльності в прибережній зоні моря – в акваторіях портів, де при підвищенні рівня створюється загроза затоплення прилеглих територій, а при пониженні – загроза посадки суден на мілину.

Основними факторами, які визначають режим коливань рівня в синоптичному діапазоні частот є вітер та атмосферний тиск. При цьому вітру належить вирішальна роль, а коливання рівня проявляються в вигляді згінно-нагінних коливань. Їх розвиток визначається співвідношеннями напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги. З цієї причини розмах згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях, навіть близько розташованих одна від одною, можуть суттєво відрізнятися [1,2].

Визначення показників штормової активності в останні роки привертає увагу багатьох вчених, зокрема в зв'язку зі змінами клімату [3]. В північно-західній частині Чорного моря розташовані найважливіші морські порти України (Одеса, Чорноморськ та Южний), а вплив згінно-нагінних коливань рівня на їх роботу є суттєвим. Тому вивчення цих процесів, а також спроба розробки методів їх прогнозування представляє значний практичний інтерес, що обумовлює актуальність виконаної роботи. Мета роботи - аналіз згінно-нагінних коливань рівня моря в акваторіях портів Южний та Чорноморськ, встановлення зв'язків між змінами рівня та дією вітру, а також визначення рівнянь для розрахунків згонів та нагонів.

Вихідні дані та методика досліджень. Для дослідження використовувалися дані строкових спостережень (00, 06, 08, 12, 18 год) за

рівнем моря, напрямками та швидкістю вітру на станції Чорноморськ за період 2006-2013 рр., та на станції Южний за період 2000-2011рр., які представлені в таблицях ТГМ. В якості критерію виділення згону або нагону використовувалась запропонована в [4] величина розмаху коливань в 15 см та більше на добу, що відповідає найбільш характерній для цього процесу в Чорному морі величині. На нашу думку ця величина приблизно співпадає з величиною середньо квадратичного відхилення рівня моря в синоптичному діапазоні частот, та є допустимою помилкою при оцінках розрахунків рівня за стохастичними моделями [5]. Використовувалася методика візуального виділення згонів та нагонів за цим критерієм по графіках зміни рівня для кожного місяця року за весь період спостережень окремо для кожної станції. За цими даними формувалися ряди, які в подальшому підлягали статистичній обробки. З візуального аналізу визначалися такі характеристики: дати та строки початку та кінця згону або нагону, їх величина (в см) та тривалість (в годинах), напрям та швидкість вітру (середнє та максимальнє значення) за період згонів і нагонів. Методи дослідження, які використовувались в роботі, це стандартні методи математичної статистики, прийняті в гідрометеорології та океанографії – статистичний, кореляційний, регресійний аналізи.

Статистичні характеристики згінно-нагінних коливань рівня моря на станціях Чорноморськ та Южний.

В роботі [6] було виконано аналіз інтенсивності згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях північно-західній частини Чорного моря. Дослідження показали, що на станціях Чорноморськ та Южний повторюваність нагонів, які не перевищують 30 см відносно середнього місячного значення складає 72% та 76% відповідно, а повторюваність згонів такої інтенсивності на двох станціях є приблизно однаковою та досягає 65%. Повторюваність нагонів інтенсивністю вище за 30 см (значні нагони) на станції Чорноморськ складає 28%, а на станції Южний –24%, а згонів такої інтенсивності – 34-35%. Для дуже значних (більш 50 см відносно

середнього рівня) нагонів повторюваність складає 2% випадків на станції Чорноморськ, та 1 % випадків на станції Южний, алеж для згонів такої інтенсивності повторюваності досягають 5% та 7% відповідно. Таким чином, на двох станціях повторюваність незначних нагонів перевищує аналогічні згони, а значних та дуже значних згонів, навпаки, перевищує повторюваність аналогічних нагонів. Такий характер згінно-нагінних коливань рівня моря обумовлено співвідношеннями напрямів діючого вітру та конфігурації берегової смуги. Порти Чорноморськ та Южний розташовано у мілководних районах північно-західній частини моря, тому найбільші згони й нагони формуються тут під дією вітру, направленного переважно перпендикулярно до лінії берега. Аналіз показав, що на станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються при південному та південно-східному вітрах, середні швидкості таких вітрів складають $8-9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня виникають переважно при північно-західному та західному вітрах, середня швидкість яких становить $9-10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна досягає $19-22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. На станції Южний підйоми рівня моря спостерігаються при південних, південно-східних, східних вітрах. Середні швидкості таких вітрів складають $12-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах. Середня швидкість вітру становить $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна досягає $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Таким чином, на обох станціях вітри згінних напрямків сильніші, що є причиною більшого розмаху згонів, в порівнянні з розмахом нагонів.

Розрахунки кількості випадків згонів-нагонів показали, що на станції Чорноморськ за період 2006-2013 рр. спостерігалось 101 випадок підйому і 107 випадків спаду, тобто кількість спадів декілька вище, ніж кількість підйомів. У середньому за цей період за місяць спостерігається 1 випадок спаду и 1 випадок підйому. В осінньо-зимовий період їх кількість підвищується до 6, а у весняно-літній період знижується до 1 випадку в місяць або зовсім не спостерігається.

На станції Южний за період 2000-2011 рр. спостерігалось 270 випадків згонів і 246 випадків нагонів, тобто кількість згонів також трохи вище, ніж кількість нагонів. В середньому за рік спостерігається по 2 випадки нагонів і згонів в місяць. В осінньо-зимовий період їх кількість зростає до 3, а у весняно-літній період знижується до 1-2 випадків на місяць.

Важливою характеристикою мінливості згінно-нагінних коливань є розмах зміни рівня. В середньому за досліджуваний період на станції Чорноморськ розмах підйому рівня становить 34 см, а розмах спаду – 38 см, тобто величина спаду декілька більша, ніж величина підйому. За максимальними значеннями величина спаду досягала 101 см, а величина підйому – 97 см. Протягом року величини підйому і спаду рівня сильно змінюються. В осінньо-зимові місяці- з листопада по березень- розмах підйому в середньому складає 39-45 см, а розмах спаду - 40-47см. В літні місяці розмах підйому зменшується до 18-27см, а спаду – 27-45 см.

На станції Южний за досліджуваний період розмах підйому рівня в середньому становить 30 см, а розмах спаду – 34 см, за максимальними значеннями величина спаду досягала 98 см, а підйому – 91 см. Осіню та зимою розмах підйому становить 30-38 см, а спаду -35-45 см. Літом розмах підйому зменшується до 22-28см, а спаду – 26-34 см.

Важливою характеристикою згінно-нагінних коливань рівня є тривалість підйомів і спадів. За початок підйому приймалася найнижча точка в положенні рівня моря, а за початок спаду – найвища. Проміжок часу від початку до кінця спаду чи підйому і є тривалістю явища. На обох станціях тривалість підйому рівня склала 33-34 години, а тривалість спадів – 36-38 годин, тобто тривалість спадів декілька вища, ніж тривалість підйомів. Для цієї характеристики також спостерігається сезонна мінливість – найбільші значення припадають на зимовий період та досягають 39-46 годин, найменші – в літні місяці, 22-36 годин.

Для господарській діяльності важливим є прогноз досягнення рівнем критичних позначок. Такими позначками для порту Чорноморськ та Южний

принято 427 см при спаді і 550 см при підйомі. За період 2008-2013 р.р. на станції Чорноморськ спостерігалось 5 випадків небезпечного спаду рівня, а небезпечних підйомів не зафіксовано. На станції Южний за 2000-2011р.р. спостерігалось 8 випадків небезпечного підйому рівня і 6 випадків небезпечного спаду рівня. Всі небезпечні спади рівня спостерігалися в осінньо-зимовий період року (вересень - січень).

В роботі [4] представлено результати чисельних експериментів та їх співставлення з даними натурних спостережень за змінами рівня моря на прибережних станціях, викликаних циклонами, що рухаються над Чорним морем. Було виявлено декілька типів траєкторій руху циклонів, які обумовлюють максимальні величини спаду та підйому рівня в пунктах узбережжя. Зокрема, показано, що в Одесі та Чорноморську максимальний спад рівня обумовлено циклонами, що рухаються з заходу, а максимальний підйом рівня – циклонами з траєкторією руху з південного заходу.

За досліджуваній період спостерігались випадки виникнення небезпечного явища одночасно на станціях Чорноморськ та Южний. На рис.1 показана синоптичні карти над Чорним морем за 00 годин 10 листопада 2007 р. (а) та 00 годин 11 листопада 2007 р. (б) [7], які демонструють переміщення на Чорне море південного циклону з Балканського півострова. В першій половині 10 листопада в північно-західній частині Чорного моря спостерігався південний та південно-східний вітер швидкістю $13-18 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, що обумовило підйом рівня - на станції Чорноморськ на 37 см, на станції Южний – на 48 см, а на станції Одеса на 27 см. В другій половині 10-го та першій половині 11-го листопада напрям вітру змінився на західний, північно-західний та посилювався до $17-23 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. На станції Чорноморськ рівень моря за 18 годин (з 12:00 10 листопада до 06:00 11 листопада) знизився з 518 см до 417 см, тобто на 101 см, на станції, Южний зниження рівня склало 98 см - з 528см до 430см, а в Одесі на 87 см - з 507 см до 420см. Тобто у всіх портах було зафіксовано зниження рівня до небезпечних позначок. Таким чином, цей приклад підтверджує, що навіть

підчас потужного шторму в портах північно-західній частині Чорного моря розмах підйому рівня значно менше, ніж розмах спаду.

Як відомо з літературних джерел [2], в подальшому циклон перемістився на Азовське море і викликав в Керченській протоці висоту хвилі 3,5-4 метри. В результаті шторму в Керченській протоці затонуло 4 судна, 6 сіло на міліну, а 2 танкери отримали пробоїни. В результаті чого в море потрапило 3 тис.тон мазуту і близько 6 тис. тон сірки. Економічний збиток склав близько 900 млн. доларів.

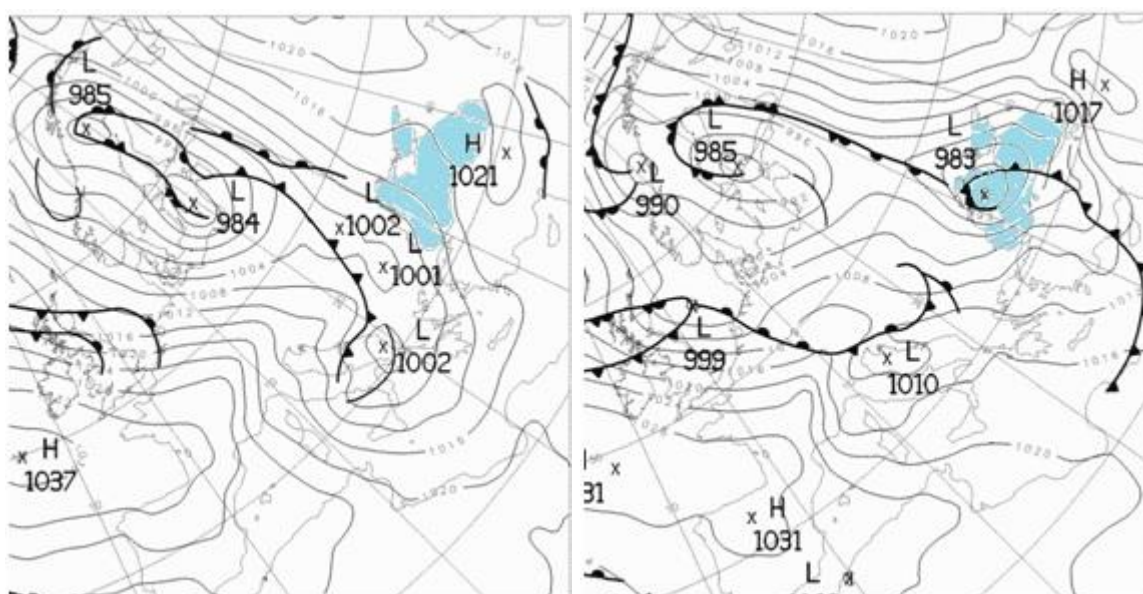


Рис. 1. Синоптична ситуація над Чорним морем за 00 годин 10 листопада (а) та 00 годин 11 листопада (б) 2007 р. з[7].

Статистичні зв'язки між характеристиками вітру та згінно-нагінними коливаннями рівня моря

Як було показано вище, на станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються в більшості випадків при південному та південно-східному вітрах, а спади рівня - при північно-західному та західному вітрах, тому

напрямок північний захід - південний схід приймалось як ефективний. напрямом для розрахунків проєкцій швидкості вітру. На станції Южний в більшості випадків спади рівня спостерігаються при північних, північно-західних та північно-східних вітрах, а підйоми - при південних, південно-східних та південно-західних вітрах, тому для цієї станції ефективним напрямом обрано напрям північ-південь. За формулою $\Pi = |V| \cdot \cos\varphi$, де $|V|$ – модуль швидкості вітру, φ - кут між напрямом вітру та ефективним напрямом, розраховувались проєкції (Π) швидкості вітру за кожен строк окремо для фази спаду та фази підйому рівня. При цьому вітри, що обумовлюють підйом рівня ураховуються з від'ємним знаком, а ті, що обумовлюють спади рівня – з позитивним знаком. Так як середня тривалість спадів та підйомів рівня складає приблизно 30 годин, розраховувалась накопичувальна сума проєкцій вітру $\sum V$ за цей проміжок часу. За цими даними формувався ряд, який в подальшому використовувався в якості одного з аргументів в рівнянні регресії. Другим аргументом приймалось початкове значення рівня моря окремо для фази підйому та фази спаду. Для визначення рівнянь регресії сформовано ряди наступної тривалості: для станції Южний ряд складає 148 значень для згонів, та 82 значень для нагонів; для станції Чорноморськ ряд складає 52 значення для згонів та 34 значення для нагонів. За цими рядами визначалося рівняння множинної регресії, яке в загальному вигляді є таким:

$$\Delta H = a H_{\text{поч.}} + b \sum V + c, \text{ де}$$

ΔH – зміни рівня моря під час спаду, або підйому,

$H_{\text{поч}}$ – початкове значення рівня моря,

$\sum V$ – сума проєкцій швидкості вітру на ефективний напрям за попередні 30 годин,

a, b, c - коефіцієнти рівняння регресії.

За рівняннями регресії розраховувались зміни рівня для фаз підйому та спаду окремо, порівнювались з фактичними значеннями та розраховувалась

забезпеченість розрахунків. За допустиму помилку приймалось значення середньо квадратичного відхилення [5], яке становить 18 - 24 см. В таблиці 1 наведено рівняння регресії змін рівня моря на кожній станції окремо для фази підйому та спаду, множинний коефіцієнт кореляції (R) та забезпеченість (%) розрахунків за рівняннями. Всі коефіцієнти кореляції є значущими на рівні 0,01. Як видно с таблиці, забезпеченість розрахунків за рівняннями перевищує 80% для станції Южний. Для станції Чорноморськ для фази спаду рівня забезпеченість перевищує 90%, а для фази підйому складає всього 61%, що може бути обумовлено недостатньо довжиною ряду.

Таблиця 1.

Рівняння регресії для розрахунку змін рівня для фаз спаду та підйому, множинний коефіцієнт кореляції (R) та забезпеченість (%) розрахунків за рівняннями для станцій Чорноморськ та Южний.

Станція	Фази змін рівня	Рівняння регресії	R	Забесп.(%)
Чорноморськ	Спад рівня	$\Delta H = 0,686 * H_{ноч} - 0,553 * \sum V + 150,749$	0.77	91
	Підйом рівня	$\Delta H = 0,612 * H_{ноч} - 0,489 * \sum V + 199,981$	0.80	61
Южний	Спад рівня	$\Delta H = 0,572 * H_{ноч} - 0,430 * \sum V + 203,924$	0,71	84
	Підйом рівня	$\Delta H = 0,663 * H_{ноч} - 0,354 * \sum V + 172,075$	0,74	87

Висновки

Аналіз згінно-нагінних коливань моря на станціях Чорноморськ та Южний показав, що в середньому за рік спостерігається 1-2 випадки спаду і підйому рівня на місяць. В осінньо-зимовий період їх кількість підвищується до 4-6, а у весняно-літній період знижується до 1 випадку в місяць, або зовсім не спостерігається.

На станції Южний в середньому за місяць розмах підйому рівня становить 30 см, а розмах спаду 34 см, на станції Чорноморськ в середньому за рік розмах підйому рівня становить 34 см, а розмах спаду – 38 см. Тобто на обох станціях величина спаду декілька більша, ніж величина підйому. Протягом року величини підйому і спаду рівня сильно змінюються. На станції Чорноморськ в осінньо-зимові місяці – з листопада по березень – розмах підйому в середньому складає 39-45 см, а розмах спаду – 40-47 см. В літні місяці розмах підйому зменшується до 18-27 см, а спаду – 27-45 см. На станції Южний осіню та зимою розмах підйому становить 30-38 см, а спаду – 35-45 см.

На обох станціях тривалість підйому рівня склала 33-34 години, а тривалість спадів – 36-38 годин, тобто тривалість спадів декілька вища, ніж тривалість підйомів. Для цієї характеристики також спостерігається сезонна мінливість – найбільші значення припадають на зимовий період та досягають 39-46 годин, найменші – в літні місяці, 22-36 годин.

На станції Чорноморськ підйоми рівня моря спостерігаються в більшості випадків при південному та південно-східному вітрах. Середні швидкості таких вітрів складають $8-9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Спади рівня спостерігаються при північно-західному та західному вітрах, середня швидкість – $9-10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна – $19-22 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$,

На станції Южний в більшості випадків спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах, середня швидкість $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна – $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Підйоми рівня спостерігаються при південних, південно-східних і східних вітрах, при цьому середні швидкості вітрів

складають 12-15 м·с⁻¹, а максимальні 20-28 м м·с⁻¹. Таким чином, вітри згінного напрямку більш сильні, що є причиною більшого розмаху згонів в порівнянні з розмахом нагонів.

Отримано рівняння регресії для розрахунків змін рівня окремо для фази підйому та фази спаду. Аргументами в рівняннях є початкове значення рівня моря та сума проєкцій вітру на ефективні напрями за попередні 5 синоптичних строків (30 годин). Множинні коефіцієнти кореляції знаходяться в межах від 0,71 до 0,81 та є значущими на рівні 0,01. Забезпеченість розрахунків рівня за отриманими рівняннями складає 60-90%.

Література

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. //Черное море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия.- СПб.: Гидрометеоздат, 1991.- 430 с.
2. Абузьяров З.К., Думанская И.О, Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание // Москва, Обнинск: ИГ-СОЦИН.-- 2009.—275с.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2, Черное море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.- 421 с.
4. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. - Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. -210с.
5. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. СПб, Гидрометиздат, 1994. - 521 с.
6. Гаврилюк Р.В., Корнилов С.В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря // Вісник Одеського Державного Екологічного університету. 2016. №20.- С.69 – 77.
7. URL:<http://meteoweb.ru/>

Резюме

В роботі виконано статистичний аналіз згінно-нагінних коливань рівня моря в акваторіях портів Южний та Чорноморськ за період 2000-2013 р.р.

Встановлені зв'язки між змінами рівня та дією вітру. На основі регресійного аналізу запропоновано рівняння для розрахунку змін рівня під час спаду та підйому по характеристиках вітру. Виконано розрахунки та оцінено їх забезпеченість.