

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра океанології та
морського природокористування

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Згінно – нагінні коливання рівня моря в районі порту Южний

Виконала студентка 2 курсу групи МО-61
Котнева Ольга Анатоліївна

Керівник д.геогр.н., проф.
Гаврилюк Раїса Володимирівна

Консультант _____

Рецензент к.геогр.н., проф.
Івус Галина Петрівна

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра Океанології та морського природокористування
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 8.04010502 «Океанологія»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“01” 11 2016 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Котневій Ользі Анатоліївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Згінно – нагінні коливання рівня моря в районі порту Южний
Керівник роботи Гаврилюк Раїса Володимирівна к.геогр.н, доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14”09 2016 року №270 –С

2. Строк подання студентом роботи 1.02.2017 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)_

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 1.11.2016 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Огляд літературних джерел з дослідження мінливості рівня чорного моря	01.11.2016-10.11.2016р.	94	Відмінно
2	Згінно-нагінні коливання рівня моря в районі порту южний	11.11.2016-28.11.2016 р.	94	Відмінно
3	Висновки	29.11.2016-04.12.2016 р.	90	Відмінно
4	Рубіжна атестація	05.12.2016-09.12.2016 р.	75	Добре
5	Підготовка тексту магістерської роботи, її оформлення.	10.12.2016-15.01.2017 р.	90	Відмінно
6	Кінцевий етап оформлення роботи	16.01.2017-31.01.2017 р.	90	Відмінно
8	Попередній захист роботи	06.02.2017 р.	90	Відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	Відмінно

Студент _____ Котнева О.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Гаврилюк Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: « Згінно-нагінні коливання рівня моря в районі порту Южний».

Актуальність роботи: Згінно-нагінні коливання рівня впливають на господарську діяльність в прибережній зоні моря, а також в акваторіях морських портів. Нагони рівня моря призводять до затоплення прибережних акваторій, а згони створюють загрозу посадки суден на мілину. 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 акваторії порту Южний, встановлення зв'язків між змінами рівня та дією вітру, а також визначення рівнянь для прогнозу згонів та нагонів.

Об'єкт дослідження: Згінно-нагінні коливання рівня моря в районі порту Южний.

Методи дослідження: стандартні методи математичної статистики, прийняті в гідрометеорології та океанографії – статистичний, кореляційний, регресійний аналізи.

Магістерська робота містить 74 сторінок, 27 рисунків, 19 таблиць, 31 літературних джерел.

Ключові слова: РІВЕНЬ МОРЯ, ЗГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ, ВІТЕР, ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА ЧОРНОГО МОРЯ.

SUMMARY

Topic of the Paper: «Wind-Surge Fluctuations in the Sea Level at the Port of Yuzhnyi».

Relevance of the Paper: Wind-surge level fluctuations affect economic activity in the coastal zone and in the water areas of the sea ports. The surge of sea levels results in flooding of the coastal water areas and risk of running of ships aground. Therefore, the study of these processes and an attempt to develop methods of their forecasting are of great practical interest, that indicates topicality of the accomplished research.

Research objective: Analysis of wind-surge fluctuations in the sea level within the waters of the port of Yuzhnyi, identification of links between changes in the level and the wind effect, and determination of equations for forecasting of winds and surges.

Object of study: wind-surge fluctuations in the sea level at the port of Yuzhnyi.

Research methods: standard methods of mathematical statistics applied in Meteorology and Oceanography - statistical, correlation, and regression analysis.

Master of Science thesis contains 74 pages, 27 figures, 19 tables, 31 references.

Keywords: sea level, wind-surge fluctuations in the sea level, wind, north-western part of the Black Sea.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ РІВНЯ ЧОРНОГО МОРЯ	9
1.1.Фактори, що впливають на зміни рівня моря	9
1.2. Згінно-нагінні коливання рівня моря	24
2. ЗГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ В РАЙОНІ ПОРТУ ЮЖНИЙ	40
2.1. Коротка характеристика району досліджень	40
2.2. Матеріали спостережень і методи їх обробки	43
2.3. Статистичні характеристики мінливості згінно-нагінних коливань рівня моря в районі порту Южний.....	44
2.4. Взаємозв'язки між характеристиками вітру та згінно-нагінними коливаннями рівня моря в районі порту Южний	56
ВИСНОВКИ	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	72

ВСТУП

Протягом року у прибережній частині моря відчуваються неперіодичні коливання рівня води, 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 на господарську діяльність в прибережній зоні моря – в акваторіях портів, де при підвищенні рівня створюється загроза затоплення прилеглих територій, а при пониженні – загроза посадки суден на мілину.

У мілководних частинах моря, в заливах і бухтах найбільші згони й нагони формуються під дією вітру, направлено перпендикулярно до лінії берега. Навпроти, біля приглубих берегів максимальний розвиток згінно-нагінної циркуляції настає при вітрах, які дмуть паралельно береговій лінії.

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 розмахи згінно-нагінних коливань рівня на різних станціях, навіть близько розташованих одна від одною, можуть суттєво відрізнятись.

Визначення показників штормової активності в останні роки привертає увагу багатьох вчених, зокрема в зв'язку зі змінами клімату в Чорному морі. Для північно-західної частини моря такі дослідження не виконувались. В той же час в цьому районі розташовані найважливіші морські порти, і вплив згінно-нагінних коливань рівня на їх роботу є суттєвим [1].

Порт «Южний» - самий глибоководний незамерзаючий порт в місті Южне, на чорноморському узбережжі, в акваторії Малого Аджалицького лиману, найбільший і найприбутковіший порт України. Максимальна осадка

суден досягає 18,5 метрів. Тут розташовано 29 причалів, сумарна довжина яких становить 5,5 км.

Для порту Южний повторюваність нагінних коливань інтенсивністю менш 30 см від середнього значення складає 76,3 %, а більше 30 см – 23,7 %. Повторюваність згінних коливань інтенсивністю менш 30 см від середнього рівня складає 65,4 %, а більше 30 см – 34,4 %.

На станції Южний сумарно за рік ймовірності небезпечних нагонів та згонів приблизно однакові, та складають 3.7 - 2.9 % [2].

В магістерській роботі виконано аналіз згінно-нагінних коливань рівня моря в акваторії порту Южний, встановлені зв'язки між змінами рівня та дією вітру, а також визначенні рівняння для прогнозу згонів та нагонів.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ДОСЛІДЖЕННЯ МІНЛИВОСТІ РІВНЯ ЧОРНОГО МОРЯ

Дослідження мінливості хвилювання моря і характеристик вітру 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 Южний розташований в північно-західній частині Чорного моря та є одним із великих морських портів України. В основі безпеки виробничих операцій в порту та експлуатації берегової інфраструктури необхідні знання про виникнення екстремальних погодних умов, зокрема, сильних штормів, здатних привести до значних економічних втрат. Враховуючи вище сказане, можна відмітити, що вітер і хвилювання є одними з найбільш важливих елементів, що визначають безпеку мореплавства і берегової інфраструктури [2].

1.1 Фактори, що впливають на зміни рівня моря

Рівневий режим Чорного моря формується як під впливом евстатичних чинників, які призводять до зміни обсягу вод і обсягу чаші моря, так і деформаційних, при яких відбувається перерозподіл маси води по акваторії при незмінному його обсязі. Евстатичні фактори в Чорному морі - це річковий стік, випаровування, опади, що випадають над морем, водообмін з Мармуровим і Азовським морями, підземний та антропогенний стік, зміни щільності морської води (стеричний ефект), осідання і ущільнення опадів. Зміни обсягу чаші моря під дією тектонічних рухів, мабуть, невеликі і ними в першому наближенні можна знехтувати. Деформаційні фактори, що діють в

Чорному морі - це вітер, просторово-часові зміни атмосферного тиску (статична реакція), припливні і сейсмічні явища[3].

Дія сильних вітрів призводить до згінно-нагінних коливань рівня, пов'язаних з циркуляцією вод, яка виникає в результаті тангенціального тертя між повітряним потоком і водною поверхнею, обмеженою береговою лінією. У Чорному морі основні коливання рівня вітрового походження збігаються зі змінами рівня, зумовленими змінами атмосферного тиску і щільності води. Це можна пояснити тим, що зниження атмосферного тиску над сушею і підвищення тиску над морем поєднуються з нагінними по відношенню до берега витрами. Отже, рівень підвищується одночасно під дією двох факторів - вітру та атмосферного тиску. У зворотному випадку, коли тиск над сушею підвищується, а над морем знижується, відбувається зниження рівня моря біля берега під впливом обох факторів. Крім цього, при нагінному процесі легші поверхневі води переміщуються в прибережну область, утворюючи значний шар, і, отже, є додатковим чинником, що призводить до підвищення рівня. При згінах відбувається зворотний процес - при цьому рівень знижується як через відтік вод, так і за рахунок їх заміщення більш щільними глибинними водами.

Зміни рівня внаслідок зміни тиску (статична реакція) значно менше змін, обумовлених дією вітрів і течій, як уздовж берегової лінії, так і у відкритому морі (динамічна реакція). Крім зазначених процесів певний вплив на перерозподіл обсягу вод надають хвильові процеси різного походження і сейші.

Окремо можна виділити геодинамічні сили, що призводять до вікових коливань рівня. Вони обумовлені повільними вертикальними рухами земної кори (підняттям або опусканням). Однак ці коливання є удаваними, так як відбуваються не від змін рівня, а від підняття або опускання берега, на якому розташовані реєстратори рівня. Разом з тим, для господарської діяльності людини вони важливі і їх слід враховувати. На чорноморському узбережжі - це, перш за все, район Одеси і Колхидська низовина, які відчувають значні

сучасні вертикальні рухи земної кори (опускання). В інших районах узбережжя вони істотно менше. Крім того, різкі тектонічні коливання земної кори, що призводять до землетрусів, викликають цунамі, які також реєструвалися в Чорному морі [4].

Річковий стік. У термінах збільшення рівня моря, внесок річкового стоку за період 1923 - 2005 рр. складає в середньому $79 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ при найбільшому і найменшому значеннях 120 і 56 см (151 і 70 % від норми) [5]. Середньобогаторічний розмах сезонних коливань стоку склав близько 6 см, максимальний 12 см, мінімальний близько 4 см. Аналіз особливостей сезонного ходу стоку показав кліматичні зміни їх характеру [6]. Так за 30-тирічний період (рекомендований Всесвітньою метеорологічною організацією, як кліматичний) з 1976 по 2005 рр. розмах сезонного сигналу зменшився по відношенню до попереднього періоду (1946 - 1975 рр.). З рис. 1.1 видно збільшення стоку в півріччя, в яке спостерігаються його мінімальні значення (вересень - лютий).



Рис. 1.1. Річний хід вкладу стоку річок в зміни рівня Чорного моря за 1946 - 1975 рр. (суцільна лінія), за 1976 - 2005 рр. (пунктир) [7]

Навпаки, в півріччя максимального стоку спостерігається зменшення водності. Порівняння різниці величин стоку за ці періоди показало

зменшення розмаху сезонного сигналу на 23 %. Виражений в попередній період максимум у травні став більш «розмитим». Аналіз конкретних кривих сезонного ходу показує, що в цей період, на відміну від попереднього, кількість випадків максимуму в квітні і травні було однаковим (по 40 % всіх випадків). В цей же період, в порівнянні з попереднім, межинь змістилася з жовтня на вересень. Більш вираженою стала піврічна гармоніка. У багаторічних змінах, на фоні міжрічних коливань, спостерігається невеликий негативний тренд. У перерахунку на період спостережень (1923-2005 рр.) розмах тренда становить 3,4 см. Хоча коефіцієнт кореляції між стоком і рівнем відносно невисокий (0,7), проте, практично кожному екстремуму в стоці річок відповідає екстремум рівня. Взаємні спектри коливань рівня і сумарного річкового стоку показують наявність піків в періоди з відповідними високими значення функції когерентності.

В цілому материковий стік має суттєвий вплив на формування режиму рівня Чорного моря на масштаби сезонних і міжрічних коливань. Разом з тим, знак і величина тренда не можуть пояснити факт, що спостерігається підвищення рівня Чорного моря. В останні роки відзначається тенденція до зменшення вкладу річкового стоку в зміни рівня.

Атмосферні опади. У термінах збільшення рівня моря внесок атмосферних опадів за період 1923 - 2005 рр. складає в середньому $58 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ при найбільшому і найменшому значеннях 94 і 65 см (160 і 65 % від норми), середньобагаторічний розмах сезонних коливань опадів склав близько 5 см, максимальний 9 см, мінімальний близько 1 см. Аналіз особливостей сезонного ходу атмосферних опадів показав кліматичні зміни їх характеру. За 30 - річний період (з 1976 по 2005 рр.) розмах сезонного сигналу практично не змінився по відношенню до попереднього періоду (1946 - 1975 рр.). Однак, як, в усі без винятку місяці відбулося зростання кількості опадів. По відношенню до норми за 1946 - 1975 рр. кількість опадів, що випадають над акваторією Чорного моря в 1976 - 2005 рр. зросла на 84 мм. У багаторічних змінах (1923-2005 рр.), на фоні міжрічних коливань

атмосферних опадів помітний значний позитивний тренд з розмахом 17,6 см (підвищення рівня моря за цей же період склало 14,0 см). Коефіцієнт кореляції між атмосферними опадами і коливаннями рівня Чорного моря становить для середньорічних величин 0,7. Розрахунок взаємних спектрів коливань рівня і атмосферних опадів показав наявність достовірних піків на періодах [8].

Незважаючи на те, що обсяг атмосферних опадів і розмах їх міжрічних змін менше материкового стоку, внесок перших в зміни рівня значний. Так, в осінньо-зимовий період їх внесок у формування рівня перевищує материковий стік. Крім того, величина і знак тренда міжрічних змін близькі (рис.1.2).

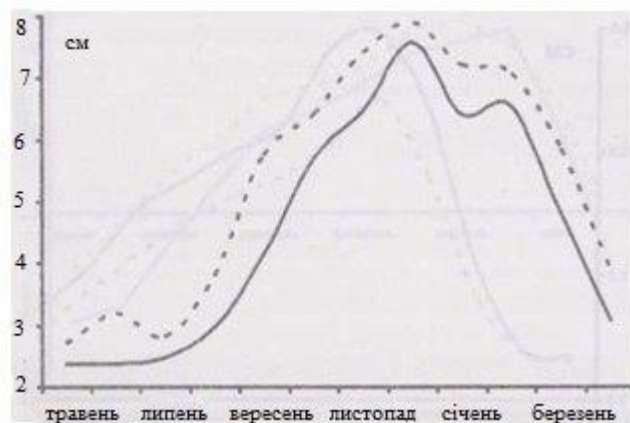


Рис.1.2. Річний хід вкладу атмосферних опадів в зміни рівня Чорного моря за 1946-1975 рр. (суцільна лінія), за 1976-2005 рр. (пунктир) [7]

Випаровування з поверхні моря. Внесок випаровування в зменшення рівня Чорного моря становить у середньому $89 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, при найбільшому і найменшому значеннях 114 і 62 см (127 і 69 % від норми) [7]. У змінах рівня моря, пов'язаних з випаровуванням, відзначається виражений річний хід. Практично в усі місяці в останні 30 років відбулося зменшення випаровування, крім того, зменшився розмах сезонного сигналу. Якщо в 1946 - 1976 рр. в середньому він становив 12 см, то в 1976 - 2005 рр. - 10 см. Найбільше зменшення випаровування (на 3-4 см) відзначається в період його

максимальних значень. Величина річної норми випаровування за 1976 - 2005 рр. зменшилася по відношенню до попереднього періоду на 21 см або на 22 %. Починаючи з 50-х рр. і практично до кінця ХХ століття спостерігалось зменшення випаровування, особливо помітне з початку 70-х. В цілому для періоду 1923 - 2005 рр. це дало значний негативний тренд розмахом 28,9 см.

Коефіцієнт кореляції між коливаннями рівня моря, пов'язаними з випаровуванням, і спостережуваним рівнем Чорного моря становить для середньорічних значень величину, що лежить нижче довірчого інтервалу. Взаємний спектральний аналіз рівня та випаровування виділяє тільки один пік з відповідно високим рівнем когерентності (рис.1.3).

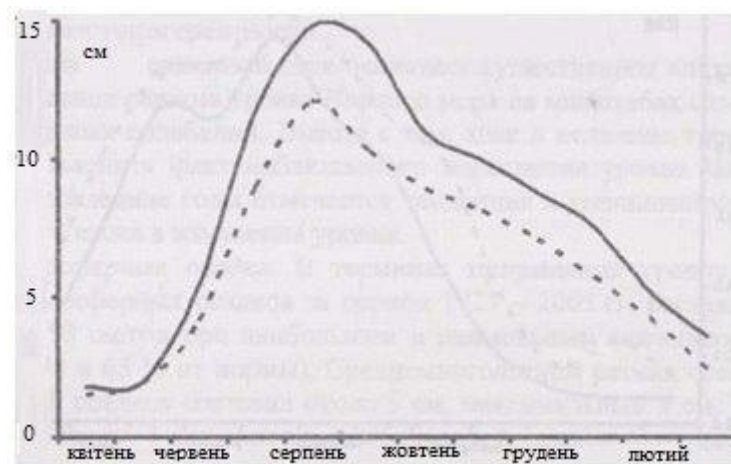


Рис. 1.3. Річний хід вкладу випаровування в зміни рівня Чорного моря за 1946 - 1975 рр. (суцільна лінія), за 1976 - 2005 рр. (пунктир) [7]

Вплив випаровування на зміни рівня моря в масштабах міжрічних варіацій, очевидно незначний. Разом з тим, негативний тренд випаровування, який спостерігався в другій половині ХХ століття, вносив істотний внесок в зміни рівня моря (як чинник, що призводить до його підвищення).

Баланс прісних вод. Середньобагаторічний баланс прісних вод (1923 - 2005 рр.) становить 49 см в збільшеннях рівня моря при максимальних і мінімальних значеннях 104 і -0,2 см (212 і 1 % від норми) [7]. Розкид

екстремальних середніх багаторічних величин істотно більший, ніж для окремих компонентів балансу. Середньобагаторічний хід прибуткової частини можна розділити на два півріччя. З вересня по лютий більшу частину вкладу вносять опади, з березня по серпень - стік річок. В цілому за рік внесок перших становить 45 %, других 55 % прибуткової частини. Середньобагаторічний розмах сезонного сигналу становить близько 17 см. В даний час відзначається багаторічна тенденція зміни сезонного ходу, пов'язана зі зменшенням часу існування негативного балансу і загальним збільшенням величин позитивного балансу (рис.1.4).

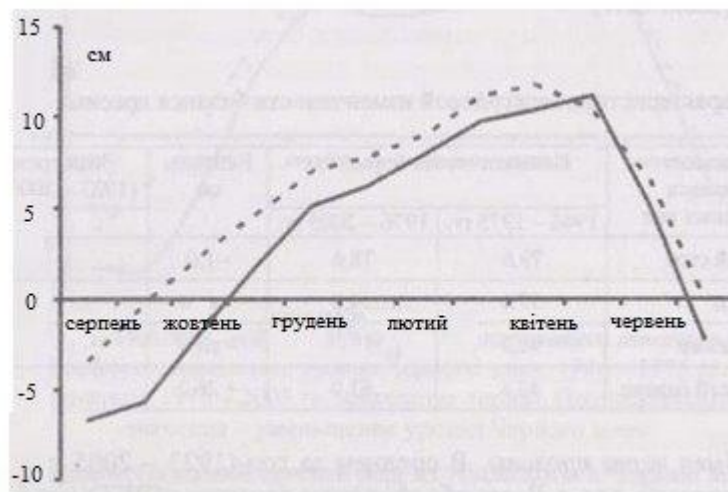


Рис. 1.4. Річний хід вкладу балансу прісних вод в зміни рівня Чорного моря за 1946-1975 рр. (суцільна лінія), за 1976 -2005 рр. (пунктир) [7]

У період 1976 - 2005 рр. практично в усі місяці відбулося зростання величини прісних вод, а негативний баланс спостерігається в середньому практично тільки в серпні; в липні і вересні він близький до нуля . До 15 см зменшився розмах сезонного сигналу. В цілому такий характер змін привів до збільшення норми більш ніж на 60 %, з 41 см (1946 - 1975 рр.) до 67 см (1976 - 2005 рр.). Практично в усі роки, за винятком 1950 року (аномально маловодного), вклад балансу прісних вод в зміни рівня був позитивний. На фоні досить значних міжрічних коливань балансу прісних вод (15 - 45 см)

виділяється позитивний тренд з розмахом 45 см. Нагадаємо, що приріст рівня моря за цей період склав близько 14 см. Такий розподіл величин повинен привести до значних змін в водообміні через Босфор, а саме, до збільшення відтоку вод з Чорного моря в Мармурове. Коефіцієнт кореляції для середньорічних значень рівня моря і збільшень, пов'язаних зі змінами балансу прісних вод, дорівнює 0,7. Взаємний спектральний аналіз рівня та балансу прісних вод виділяє піки на періодах 22,1; 9,3; 4,9. У більш високочастотній області функція когерентності різко зменшується. Таким чином, в останні 30 років відбулися значні кліматичні зміни, як окремих елементів балансу прісних вод, так і його в цілому (табл.1.1)

Табл. 1.1 - Характеристики міжрічної мінливості балансу прісних вод [7]

Елемент балансу прісних вод	Кліматична норма,		Різниця, см	Знак тренда (1923 - 2005 рр.)
	1946-975 рр.	1976-2005 рр.		
Річний стік	79,6	78,6	-1,0	-
Опади	57,4	64,0	+ 6,6	+
Випаровування	96,2	75,6	-20,6	-
Прісний баланс	40,8	67,0	+ 26,2	4-

Обмін через протоки. В середньому за рік (1923 - 2005 рр.) відтік чорноморських вод з Верхнебосфорською течією (ВБТ) дає зниження рівня в Чорному морі на 95 см при максимумі 128 і мінімумі 59 см. Відповідні величини для Нижнебосфорської течії (НБТ) складають 37, 65 і 23 см. Таким

чином, різниця між негативним внеском у рівень Чорного моря ВБТ і позитивним внеском НБТ (результуючий обмін) становить в середньому 58 см. Разом з тим, в останні 30 років відбулися певні зміни. У більшості місяців відзначається загальне збільшення результуючого обміну (тобто відтоку вод з Чорного моря) через збільшення витрат ВБТ і зменшення витрати НБТ. Максимум обміну (як і для балансу прісних вод) змістився на квітень.

В цілому відтік зріс на 23 % (з 83 до 102 см·рік⁻¹), а приплив зменшився на 25 % (з 44 до 33 см·рік⁻¹).

У багаторічній мінливості відзначається позитивний тренд витрати ВБТ (в термінах зміни рівня 0,32 см·рік⁻¹) і негативний тренд витрати НБТ (0,18 см·рік⁻¹). В сумі це дає величину кутового коефіцієнта тренда результуючого обміну 0,50 см·рік⁻¹ (рис.1. 5).

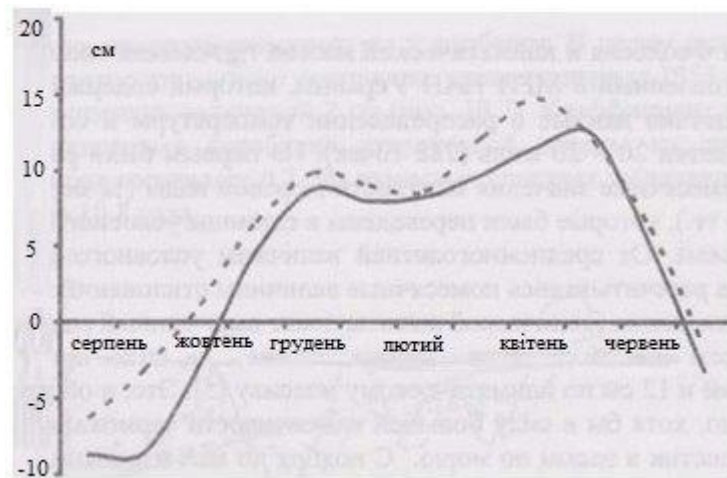


Рис.1.5. Річний хід вкладу результуючого обміну в Босфорі в зміни рівня Чорного моря за 1946 - 1975 рр. (пунктир), за 1976-2005 рр. (суцільна лінія). Позитивні значення - зменшення рівня Чорного моря [7]

Середньобагаторічний приплив вод з Азовського в Чорне море дає підвищення рівня останнього на 11 см при максимумі 17 см і мінімумі 8 см. Величина зниження рівня Чорного моря внаслідок відтоку вод з Чорного в Азовське море становить в середньому 8 см при максимумі 11 см і мінімумі

5 см . Таким чином, в середньому за рік перенесення вод з Азовського моря в Чорне позитивний, але дає дуже маленьку величину в зміну рівня (близько 4 см) при максимумі 11 см і мінімумі близько нуля. Міжрічна мінливість вкладу обміну в Керченській протоці в зміну рівня Чорного моря виявляє негативну тенденцію. Незважаючи на малу величину кутового коефіцієнта тренда , вклад припливу з Азовського моря в рівень Чорного моря зменшився на 2 см [9].

Стеричні ефекти. До змін обсягу вод в Чорному морі призводить і стеричний ефект, який пов'язаний зі змінами температури і солоності вод, а, отже, і їх щільності [10]. Для оцінки сезонних змін рівня моря, пов'язаних зі стеричним ефектом, використовувалися дані щоденних прибережних спостережень за температурою і солоністю на станціях Севастополь, Ялта і Феодосія, а кліматичний масив гідрологічних даних, підготовлений в Морському гідрофізичному інституту НАН України, який містить середньо-багаторічні дані про розподіл температури і солоності в вузлах сітки 20 x 20 міль (288 точок). Першими були розраховані середньомісячні значення щільності морської води (за період 1951 - 2005 рр.), які були переведені в одиниці умовного питомого обсягу. Від середньобагаторічної величини умовного питомого обсягу розраховувалися помісячні величини відхилень.

Зміни стеричної висоти носять виражений річний хід, при цьому його розмах становить близько 9 см за даними прибережних станцій і 12 см по кліматичному масиву [11]. Це, загалом, природньо, хоча б в силу більшої мінливості термохалінних характеристик в цілому по морю. З листопада по травень зміни щільності призводять до зниження середнього рівня, а з червня по жовтень до підвищення. Максимальний внесок змін щільності в підвищення рівня спостерігається в серпні, а в зниження в лютому. Найбільший внесок в зміни щільності вносить термічна складова.

Для визначення довгострокових тенденцій зміни щільності води були розраховані лінійні тренди міжрічних змін температури і солоності за даними

берегових станцій, розташованих на Кримському півострові (Ялта, Феодосія, Севастополь) і в північно-західній частині моря (Одеса, Очаків, Южне), за 1957 - 2005 рр. На всіх станціях виявляється негативний тренд по солоності (в середньому зменшення на 0,35 ‰) і невеликий позитивний по температурі (збільшення на 0,1 °С) [7]. Таким чином, і для температури, і для солоності спостерігається позитивна тенденція вкладу в багаторічне зменшення щільності (збільшення рівня). Оцінка зміни щільності показує її зменшення на 0,3 умовних одиниць в поверхневому шарі моря протягом 1951 - 2005 рр., при цьому внесок змін солоності становить близько 90 %. За останні 30 років (1975 - 2005 рр.) величина кутового коефіцієнта тренда і по солоності, і по температурі вище, відповідно, вона вище і по щільності.

Необхідно зауважити, що особливо значно солоність стала зменшуватися з середини 70-х років, що можна пов'язати з помітним зростанням в цей час позитивної складової балансу прісних вод. У міжрічних коливаннях збільшенню солоності відповідає зменшення температури і навпаки. В цілому внесок змін щільності в загальне збільшення рівня в період 1957 - 2005 рр. можна оцінити величиною 2 см. Коефіцієнт кореляції міжрічних коливань стеричної висоти із середнім рівнем моря становить 0,7. На взаємних спектрах виділяється пік на періоді 10,8 (рис.1.6).

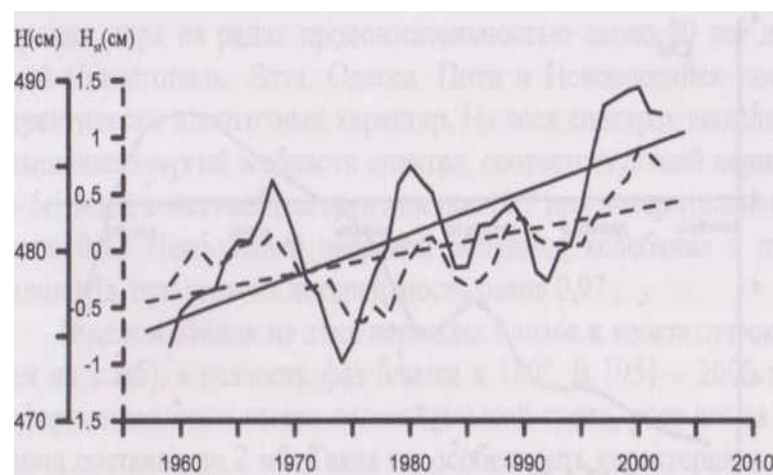


Рис.1.6. Міжрічна мінливість рівня моря (суцільна) і стерична висота (пунктир). осереднення по 5-ти років [11]

Атмосферний тиск. Розрахунки середніх багаторічних змін рівня за рахунок статичної реакції на річний хід атмосферного тиску, виконані за даними МР України.

Необхідно відзначити, що середньобагаторічний атмосферний тиск на прибережних станціях і акваторії Чорного моря приблизно на 2 мб вище нормального, однак, при розрахунках аномалій нами використовувалася величина 1013,3 мб, як загальноприйнята. Крім того, така процедура дозволяє простежити зміни кліматичної норми. Як видно, в річному ході розмах аномалій становить близько 8 см. Середньобагаторічний максимум атмосферного тиску відзначається в жовтні, відповідно в цей місяць воно максимально знижує рівень. Мінімум тиску характерний для літа, в цей час воно діє як фактор підвищення рівня. В останні 30 років в усі місяці відзначається підвищення тиску, особливо помітне в холодний період року. В середньому за рік вона збільшилася в 1976 - 2005 рр. в порівнянні з попереднім 30-ти літнім періодом на 1,4 мб. Оцінка сезонного ходу була виконана з припущення дії механізму зворотного барометра. Разом з тим, Чорне море є безприливним басейном, розміри якого можна порівняти з характерними просторовими масштабами атмосферних утворень. Підстроювання середнього рівня в цьому випадку, на відміну від умов відкритого океану, може відрізнитися від ефекту механізму зворотнього барометра (рис.1.7).

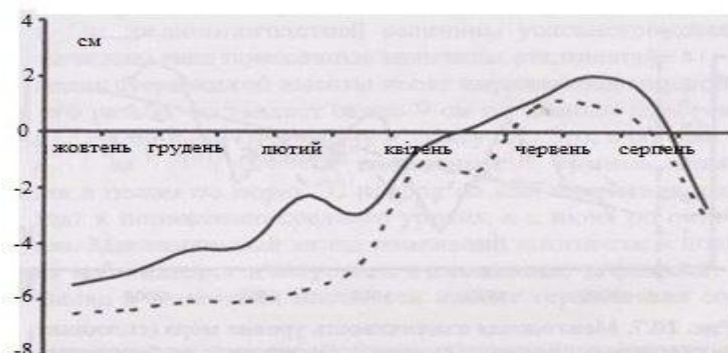


Рис.1.7. Річний хід змін рівня моря, обумовлений коливаннями атмосферного тиску, за 1946 - 1975 рр. (суцільна), за 1976-2005 рр. (пунктир) [11]

Відгук рівня моря на вплив атмосферного тиску відрізняється від ефекту, як за величиною, так і за фазою; крім того, він різний для різних часових масштабів впливу. Цей ефект проявляється в локальному відгуку в прибережній зоні і у відгуку середнього рівня моря. Більш докладно локальний відгук рівня Чорного моря на мінливість атмосферного тиску в прибережній і глибоководній частині Чорного моря розглянуто в [12]. Величина відгуку близька до механізму зворотнього барометру лише на періодах $T \sim 3 - 4$ дні і $T > 50$ днів, менше ізостатичного в основному на періодах від 4 до 50 діб і перевершує рівноважний відгук в високочастотній області спектра на періодах менше 2,5 днів. Аналіз складових відгуку рівня моря, пов'язаних з мінливістю атмосферного тиску і вітру, а також їх спектрів, показав, що для умов Чорного моря вони корелюють в протифазі. Це призводить до заниження амплітуди характеристичної функції для оцінки відгуку рівня на тиск до 50 % в квазіізостатичному режимі в діапазоні частот 0,02 - 0,12 цикл на добу. Тимчасовий масштаб виходу відгуку середнього рівня на квазіізостатичний режим дорівнює 45 - 50 діб. Таким чином, для адекватного опису відгуку рівня необхідно враховувати особливості низькочастотної мінливості полів вітру і тиску над Чорним морем.

Розрахунок взаємних спектрів коливань атмосферного тиску і рівня моря на лавах тривалістю близько 80 років для станцій Севастополь, Ялта, Одеса, Поті і Новоросійськ показав їх практично ідентичний характер. На всіх спектрах виділяється підвищення енергії в області спектра, що відповідає періодам 1,8 - 5,1 з високою когерентністю (0,7 при довірчому інтервалі 0,4). Найбільшою енергією володіють коливання з періодом один рік, при цьому їх когерентність дорівнює 0,97.

В цілому відгук на цих періодах близький до ізостатичних (0,8 см на 1 мб), а різниця фаз близька до 180° . У 1951 - 2005 рр. атмосферний тиск мав позитивний тренд, зростання його за цей період склав до 2 мб [13]. Така ж особливість характерна і для Східного Середземномор'я, більш того,

характер міжрічної мінливості був близький. Таким чином, можна сказати, що в багаторічній тенденції тиск діяв як фактор, що зменшує рівень Чорного моря. Виходячи з вищевикладених міркувань, внесок тиску в зміну рівня в зазначений період можна оцінити величиною близько 1,6 см. На масштабах міжрічних змін тенденції річного ходу трендів тиску добре згоджуються з тенденціями трендів індексу Північно-Атлантичного коливання (ПАК), розрахованими для синхронного періоду часу. Протягом більшої частини року (за винятком літніх місяців) статистично значущі величини кутових коефіцієнтів трендів змінюються синфазно, що може свідчити про вплив глобальних процесів в системі океан - атмосфера на кліматичні умови Азово-Чорноморського басейну. Відзначимо, що зміни значущих коефіцієнтів трендів опадів і прісного балансу відбуваються синфазно і в протифазі до тиску.

Сучасні тектонічні рухи. Крім коливань, обумовлених вище розглянутими факторами, вимірювані висоти рівня містять сигнал, пов'язаний з геодинамікою узбережжя, на якому розташовані пости спостережень. Цей сигнал є удаваним, так як відбувається не від змін рівня, а від підняття або опускання берега, на якому розташований пост.

Детально це питання розглянуто в [11]. Виконані там оцінки показують, що північне узбережжя Чорного моря відчуває сучасне занурення, проте, за винятком району Одеси і Колхидської низовини, швидкості вертикальних рухів невеликі і варіюють навколо величини $0,1 - 0,2 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Для ще однієї оцінки швидкості вертикальних рухів скористаємося даними альтиметричних вимірювань з 1993 по 2010 рр. У цих даних явно відсутній сигнал, пов'язаний з тектонічними рухами. Тому, віднімаючи з тренда даних спостережень на станціях тренд супутникових даних, можна отримати величину вертикальних рухів. В якості вихідних використовувалися дані про повну загальну середньоальтиметричну, рівні Чорного моря з дискретністю близько 10 діб. Для кращої порівнянності

вибиралися значення з ряду спостережень на станціях узбережжя Криму. В цілому по знаку і величині вони близькі до отриманих раніше (середнє відхилення близько $0,05 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$) [11].

Подальші перспективи вирішення питання про вертикальні рухи земної кори на узбережжі Чорного моря пов'язані із застосуванням нових методів їх визначення. До таких методів, перш за все, необхідно віднести використання системи глобального супутникового позиціонування (GPS). Досягнута до теперішнього часу з її допомогою точність визначення вертикальних рухів становить $1 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$ на ряді довжиною близько 10 років. Для порівняння, вимірювання на мареографі дають стандартну похибку визначення тренда приблизно $0,5 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$ на ряді в 30 - 40 років.

Інший сучасний спосіб - абсолютна гравіметрія (визначення прискорення сили тяжіння в вакуумі). Він базується на уявленні про те, що відповідно до закону Ньютона зміна вертикального положення земної поверхні в 1 см еквівалентно зміни сили тяжіння в $3108 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} 2$ або 3 мікрогала. Використання методик вимірювання сили тяжіння із застосуванням гелій-неонових лазерів нового покоління і атомних рубідієвих годин дозволило досягти точності визначення в 3 - 4 мікрогала. Таким чином, обидва способи мають практично еквівалентну точність. Немає сумнівів в тому, що точність визначення в майбутньому буде зростати.

Твердий стік (стік зважених часток, що містяться в річковій воді), витісняючи обсяг води, піднімає рівень моря. До теперішнього часу вклад цієї складової не враховувався.

Стік зважених часток в Чорне море оцінюється величиною 68 т на рік. З них 80 % припадає на 4 річки: Дунай (51 200 000 т на рік), Дністер (1 730 000 т на рік), Дніпро (800 000 т на рік), Південний Буг (200 000 т на рік). Приймавши середню щільність частинок рівней 2,75 [11], щорічний обсяг опадів, що відкладаються на дні, можна оцінити величиною 0,025 км, що в перерахунку на зміну рівня дає величину приблизно 6 мм за 100 років (без урахування зміни площі басейну), що на два порядки перевищує оцінку,

зроблену для Світового океану в цілому. У разі якщо вага опадів викликає ізостатичне опускання дна, ця величина буде менше. Оцінка кількості твердого матеріалу, що потрапляє в море за рахунок абразії берегів дає величину більш ніж на порядок меншу, в порівнянні з твердим стоком річок.

1.2 Згінно-нагінні коливання рівня моря

Колівання в часі океанологічних полів (швидкості течії , температури та солоності, щільності, швидкості звуку, льодовитості, хвилювання та рівня моря) обумовлені різноманітними фізичними процесами в океані та атмосфері . Згідно з класифікацією, наведеною в роботі [12], весь спектр періодів коливань можна представити у вигляді семи інтервалів.

1. Мілкомасштабні явища (періоди від часток секунди до десятків хвилин) - поверхневі і внутрішні хвилі, турбулентність і процеси еволюції вертикальної мікроструктури океану, які визначаються явищами більших масштабів і в той же час служать внутрішнім механізмом формування великомасштабної мінливості океану.

2. Мезомасштабні явища (періоди від годин до доби) - приливні і інерційні коливання, що виникають (через власного обертання землі) під дією сил гравітаційного тяжіння Місяця, Сонця і сил інерції при обертальному русі планети. Сюди ж можна віднести і добові коливання термічного походження, тобто викликаються добовими змінами сонячної радіації.

3. Синоптична мінливість (періоди від декількох діб до місяців), яка полягає, насамперед, у неперіодичному формуванні в океані вихорів з масштабами порядку ~ 100 км (значною мірою аналогічних атмосферних вихорів - циклонів і антициклонів, але мають набагато більші часи життя і набагато менші швидкості рухів), накопичується завдяки ефекту атмосферних впливів (в першу чергу дії змінного вітру на поверхні океану, а

також теплових впливів атмосфери) і процесам гідродинамічної нестійкості великомасштабних океанських течій.

4. Сезонні коливання (річний період і його гармоніки), найбільш різко виражені у високих широтах, а також в мусонній зоні Індійського океану.

5. Міжрічна мінливість, тобто узгоджені зміни стану великих акваторій океану і всієї атмосфери від року до року, прикладами яких можуть служити автоколивання північної гілки Гольфстріму з періодом близько 3,5, Шулейкіним, і квазідвухрічні явища «Ель-Ніньо» в східній частині екваторіальної зони Тихого океану, вивчені Бьєркнесом .

6. Внутрішньовікова мінливість (періоди в десятки років), взаємопов'язана з внутрішньовіковими коливаннями клімату, прикладом якої є вивчена Мітчеллом зміна стану світового океану (потепління до декількох градусів в Арктиці й деякі похолодання в низьких широтах) під час кліматичного потепління в першій половині ХХ ст. Найбільш помітно потеплішали в цей період зими у високих широтах північної півкулі.

7. Міжвікова мінливість (періоди в сотні років і більше), взаємопов'язана з віковими межами і коливаннями клімату.

Впродовж року на узбережжі моря відчувуються неперіодичні коливання рівня води, викликані місцевим вітром та вітрами, які охоплюють площу моря у цілому [14].

У мілководних частинах моря, в заливах і бухтах найбільші згони й нагони формуються під дією вітру, направлено перпендикулярно до лінії берега. Навпроти, біля приглубих берегів максимальний розвиток згінно-нагінної циркуляції настає при вітрах, які дмуть паралельно береговій лінії. У виникнутих при цьому дрейфових потоках під дією сили Коріоліса виникає поперечна циркуляція вод, спрямована в сторону берега чи від нього. У першому випадку виникає нагін поверхневих вод до берега, у другому – їх згін. Нормальна складова течії в придонному слої має напрям, протилежний на відміну з поверхневим слоєм, при нагоні вона напрямлена у сторону моря, при згоні – у сторону берега. Виникнена глибинна

компенсаційна течія (у сторону берега) безперервно відновлює втрату поверхневих згінних вод, у результаті чого у приглубих берегів при згонах спостерігається швидке пониження температури води і відносно невеликі коливання рівня [15].

По даним А.К.Богданової [16], при сильних згонах у приглубих берегів можна спостерігати вихід на поверхню вод холодної прослойки, який знаходиться у Чорному морі на глибині 50-75 м. При цьому поверхневі більш теплі води відгоняються від берегів в море на декілька км. Богдановою були визначені значення згінно-нагінних складових течії в поверхневому і придонному слої.

Доведено, що при швидкості дрейфової течії, яка дорівнює $40-60 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, швидкість нормальних складових течії на поверхні моря коливається від 3 до $10 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$. Дальність розповсюдження згонів у приглубих берегів в горизонтальному напрямку у весняно-літній і осінній період складає 7-8 миль. В зимній період вона збільшується до 15-20 миль. Підйоми й опускання вод у берегів розвитку згінно-нагінних течій сприяє вертикальному обміну у верхньому 150-200-метровому шарі, що має важливе значення для біологічного життя моря [17].

Кількісні оцінки відносно ролі вітру і тиску у формуванні згінно-нагінних коливань рівня в районі західного і північно-західного узбережжя Чорного моря наведені в роботах [18,19].

У дослідженні особливостей формування рівня біля болгарського узбережжя [18] використовувалися методи спектрального аналізу лінійних систем з трьома входами (атмосферний тиск і два компонента вітрового навантаження) й одним виходом (коливання рівня моря з отфільтрованими припливними і сезонними коливаннями). Розглядалися 7-місячні ряди спостережень за квітень-жовтень 1979 р. З'ясувалось, що найважливішу роль у формуванні рівня даного району відіграє вздовж береговий компонент вітрового навантаження.

Когерентність між рівнем й цим компонентом в діапазоні частот 0-0,5 цикл на добу має наступні значення для різних станцій: Варна – 0,5; Ираклі – 0,45; Бургас – 0,25 (у літній період) і 0,40 (у зимній); Ахтопол – 0,25 (літом); 0,45 (зимою).

Другим компонентом, який впливає на коливання рівня, є нормальна складова вітрового навантаження. Атмосферний тиск відіграє дуже малу роль у створенні згінно-нагінних коливань.

Аналогічні методи аналізу [19] були використані для дослідження коливання рівня моря, обумовлених метеорологічними факторами, в порту Іллічівськ. Використовувалися ряди спостережень за рівнем моря, вітром й атмосферним тиском за 1977 р. Основний внесок в коливання рівня вносить вітер, тиск надає менше значення. Значення регресивних коефіцієнтів для системи складової вітру – рівень, розраховані по осередненим значення модулів відповідних частотних характеристик, 1,377 см ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) для зонального компонента й 1,561 см ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) для меридіанального (рис.1.8).

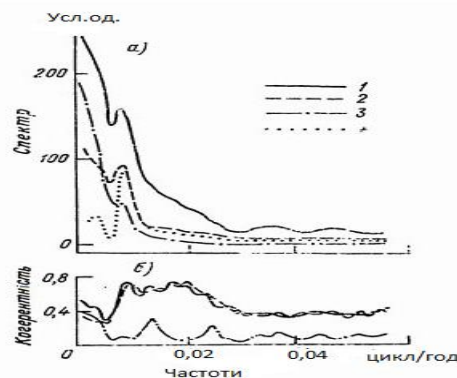


Рис.1.8. Спектральні характеристики лінійної системи двома входами (атмосферний тиск, модуль швидкості вітру) й одним входом (рівень моря) для станції Іллічівськ :

а) спектри кінетичної енергії вітру (1), атмосферного тиску (2), рівня моря (3), й передрозрахованого рівня (4)

б) частотні когерентності швидкості вітру (1) й атмосферного тиску (3) з рівнем моря, множинна когерентність (2) [19]

На коливання рівня також здійснюють вплив конфігурація берегової лінії, рельєф дна та гідрологічні умови прибережної зони моря.

Сумарний вплив всіх факторів приводить до різноманіття згінно-нагінних коливань в прибережній зоні моря [16]. Деякі уявлення про межі мінливості рівня, обумовлених згонами-нагонами, в різних районах моря дають розмахи рівня по екстремальних його значеннях за багаторічний період (рис. 1.9).

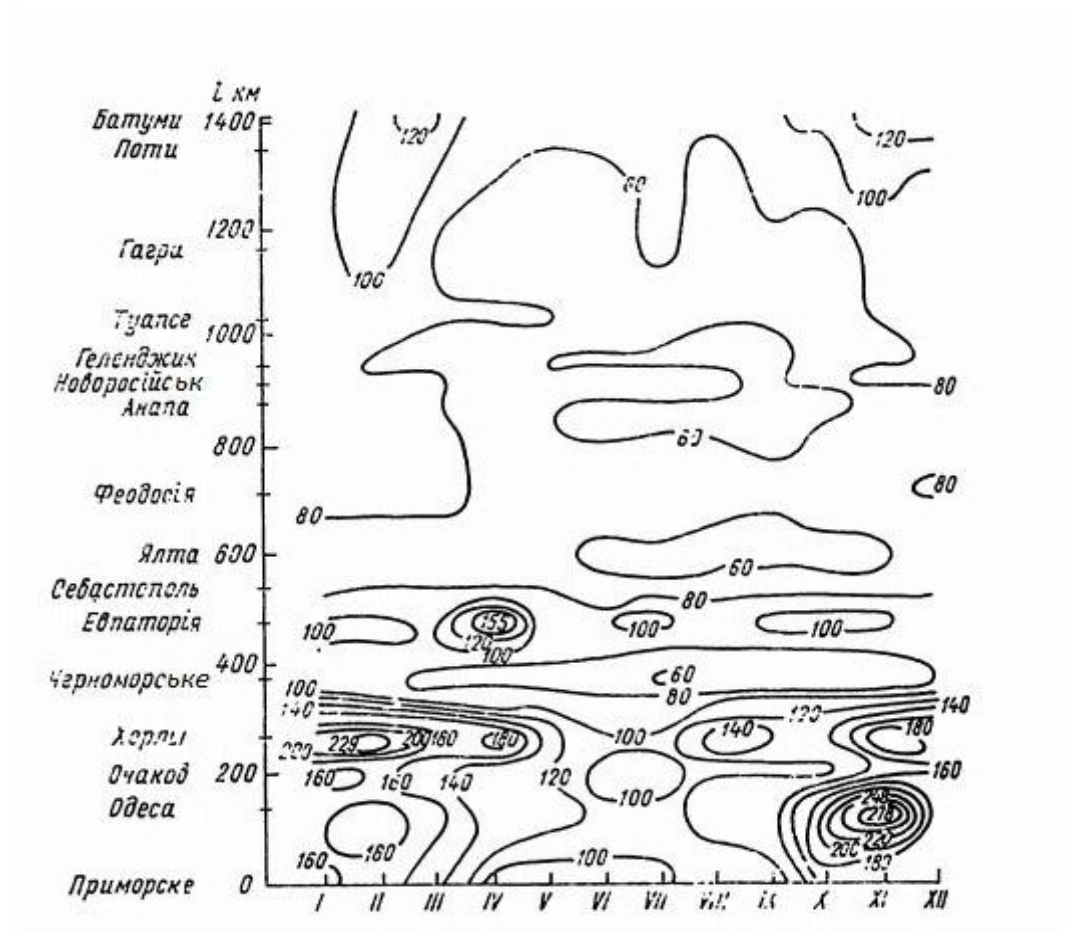


Рис. 1.9. Екстремальні місячні розмахи рівня моря в прибережній зоні, в сантиметрах[15]

Вирішуючим фактором згінно-нагінної циркуляції є вітер – його швидкість і напрямок.

Протягом року над Чорним морем переважають вітри північно-східної чверті, які складають 35-40 % річної повторюваності усіх напрямків; у зимові і осінні місяці їх повторюваність в певних районах збільшується до 40-50 %.

Шторми цього напрямку спостерігаються рідко над усім морем, частіше вони охоплюють північно-східний район і північні берега.

На південно-східному і південному узбережжі Криму, які знаходяться під захистом Кримських гір, повторюваність північно-східних вітрів значно менше, а в південно-східній частині моря, захищеної з північного сходу Кавказькими горами, сильних вітрів цих напрямків майже зовсім не буває [17].

Наступне місце по повторюваності на узбережжі Чорного моря займають вітри південно-східної і східної чверті. Повторюваність їх протягом року 25-30 %, а в окремі літні місяці вона збільшується до 35-40 %.

Під впливом північно-східних штормових вітрів в Чорному морі виникають стійкі дрейфові течії, спрямовані на захід з нагонною складовою поперечної циркуляції, обумовлюючою підйом глибинних вод в центральних районах моря. Ці вітри викликають нагін води біля північного і західного берега моря і створюють підпор води на Дністрі і Дунаї [20].

Західні та південно-західні вітри викликають згони в західній половині Чорного моря та Південного берега Криму. Особливо великі та тривалі згони спостерігаються у тих випадках, коли південні штормові вітри змінюються західними. При цьому виникають поверхневі течії, спрямовані вздовж північного узбережжя моря з заходу на схід. Інколи згони розповсюджуються на значні відстані вздовж узбережжя, досягаючи берегів Криму, а деколи й Кавказа.

Розглянемо приклади дуже великих згінно-нагінних коливань рівня при штормових вітрах різних напрямків. В якості відлікового горизонту при визначенні згонів-нагонів прийнятий середній місячний рівень.

В період з 7-10 березня 1970 р. над Чорним морем спостерігався сильний шторм північно-східного і східного напрямків, обумовлений взаємодією обширного антициклону, що розташовувався над Європейською територією Союзу і Середземним морем (рис.1.10).

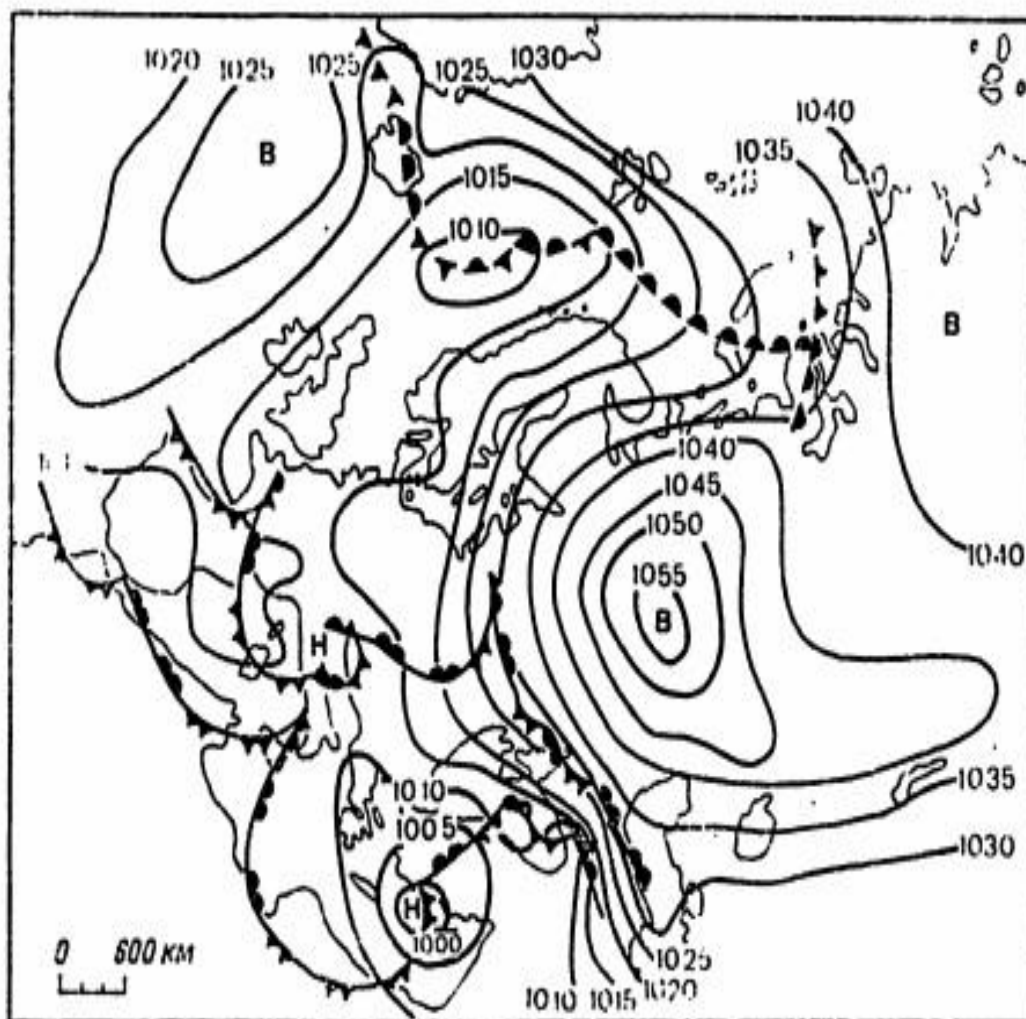


Рис.1.10. Синоптична карта за 15 годин 9 березня 1970 р. [15]

Південно-східний вітер, що спостерігався ввечері 7 березня і який поступово підсилювався 8 березня до $10-12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, змінив напрямок на східний і північно-східний і досяг 9 березня максимальної швидкості $18-25 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. На ряді станцій пориви вітру досягали $30-35 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а в Чорноморському - $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Сильний вітер, що тривав протягом 2 діб, викликав підйом рівня в Одеській та Феодосійській затоках і спад рівня в Каркінітській затоці і у берегів Кавказу. Коливання рівня моря в цей період простежується на графіку ходу часових рівнів моря і вітру (рис.1.11).

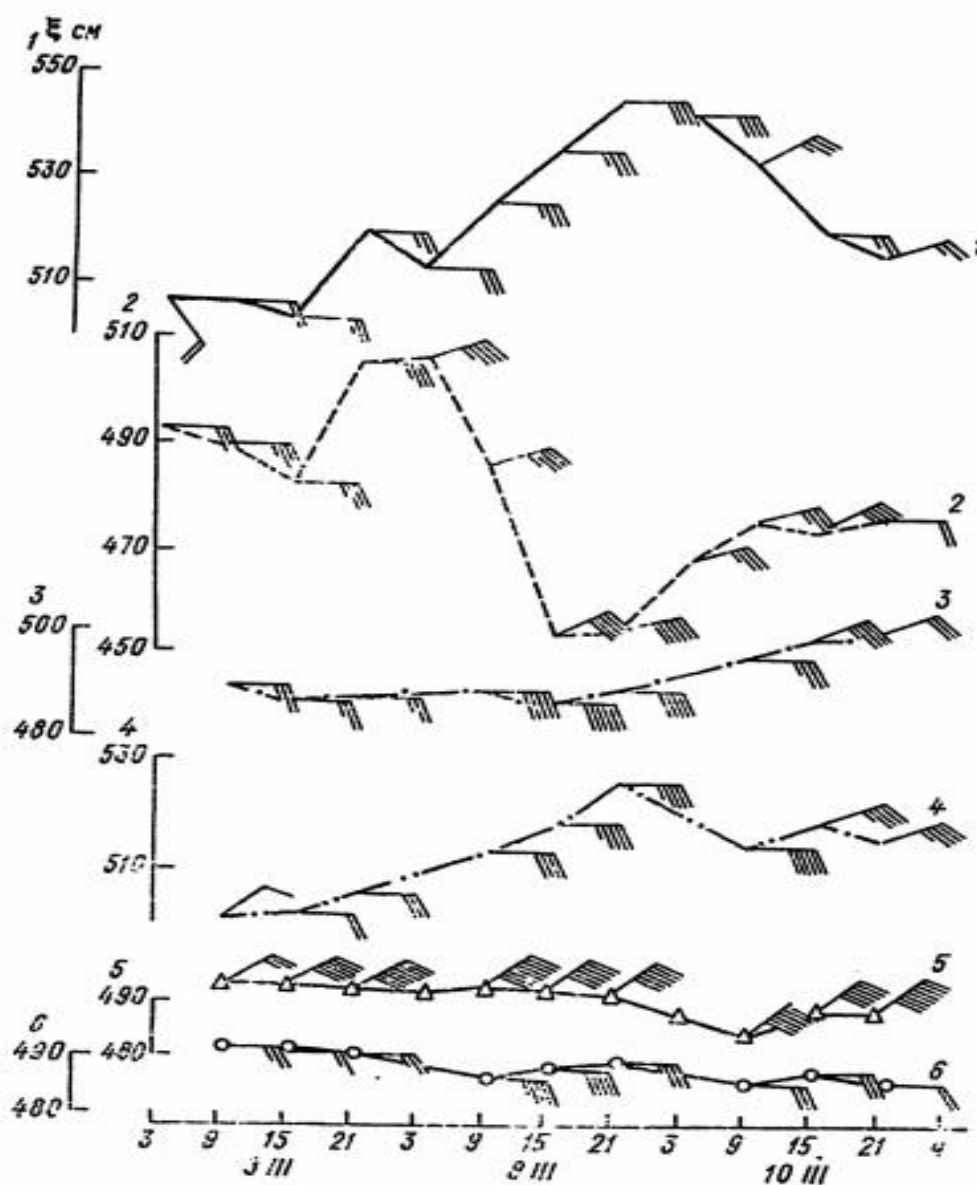


Рис.1.11. Хід рівня в прибережній зоні у березні 1970 р по даним строкових спостережень: 1 – Одеса, 2 – Хорли, 3 – Чорноморське, 4 – Феодосія, 5 – Новоросійськ, 6 – Поті [15]

Тривалість підйому і спаду рівня склала за даними рівневих постів близько 1,5 діб [15]. Найбільші коливання рівня відзначалися в північно-західному районі моря. Максимальне за годину нагону перевищення рівня над середнім місячним значенням склало в Приморському 81 см, Одесі 46 см, у Феодосії 27 см.

В період з 25-27 листопада 1964 року спостерігався шторм північно-західного напрямку. Шторм виник при проходженні через Чорне море

циклону, розташованому над Ботнічної затокою. Циклон зміщувався на південний схід зі швидкістю $40 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$. Швидкість вітру в північно-західному районі моря досягала $16-24 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, в Кримському і Керч-Туапсінську - $20-30 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ (рис.1.12).

Викликані штормом згони послідовно поширюються з півночі на південь і охоплюють усе узбережжя Чорного моря (рис. 1.13).

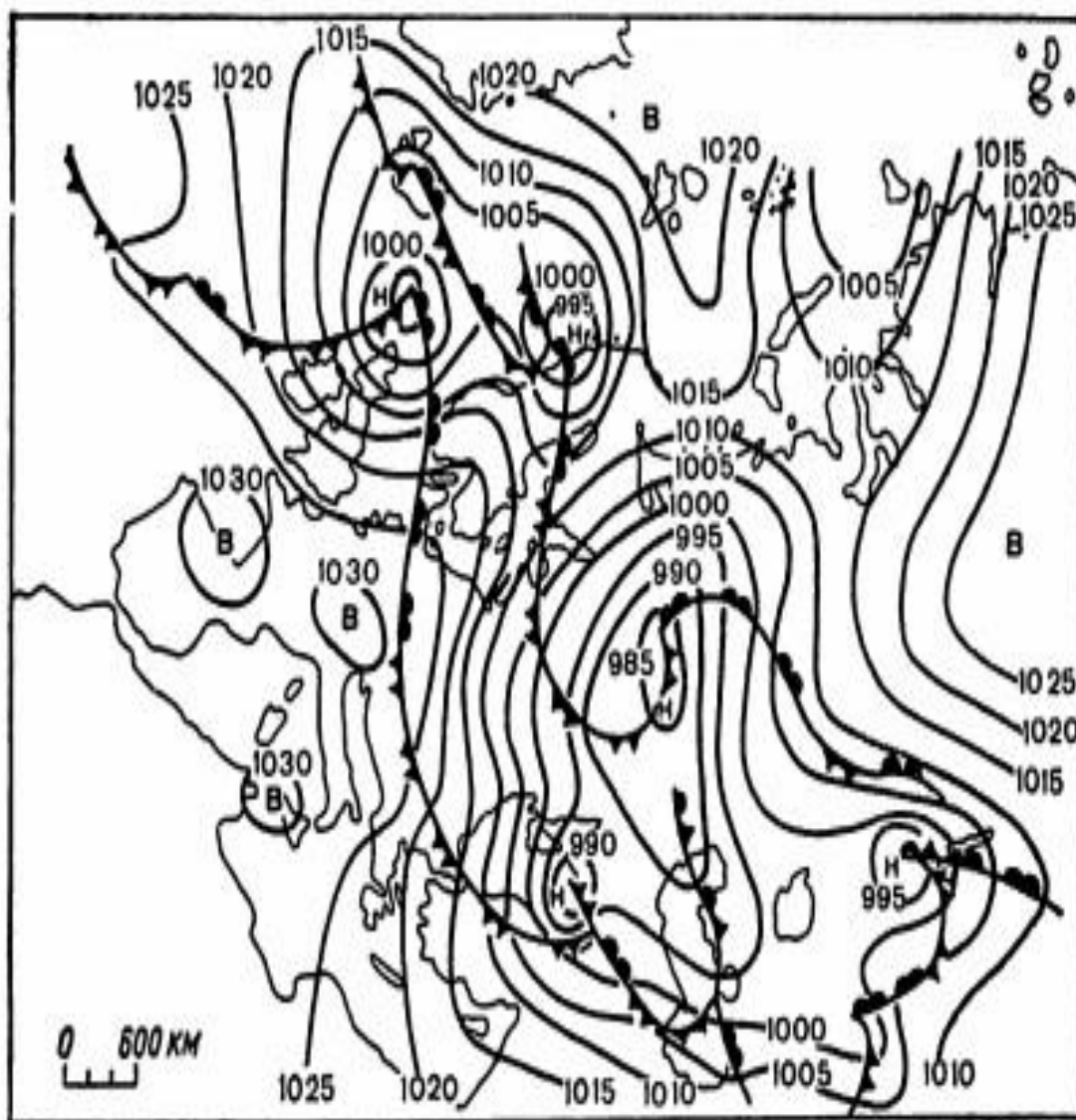


Рис.1.12. Синоптична карта за 15 годин 26 листопада 1964 р. [15]

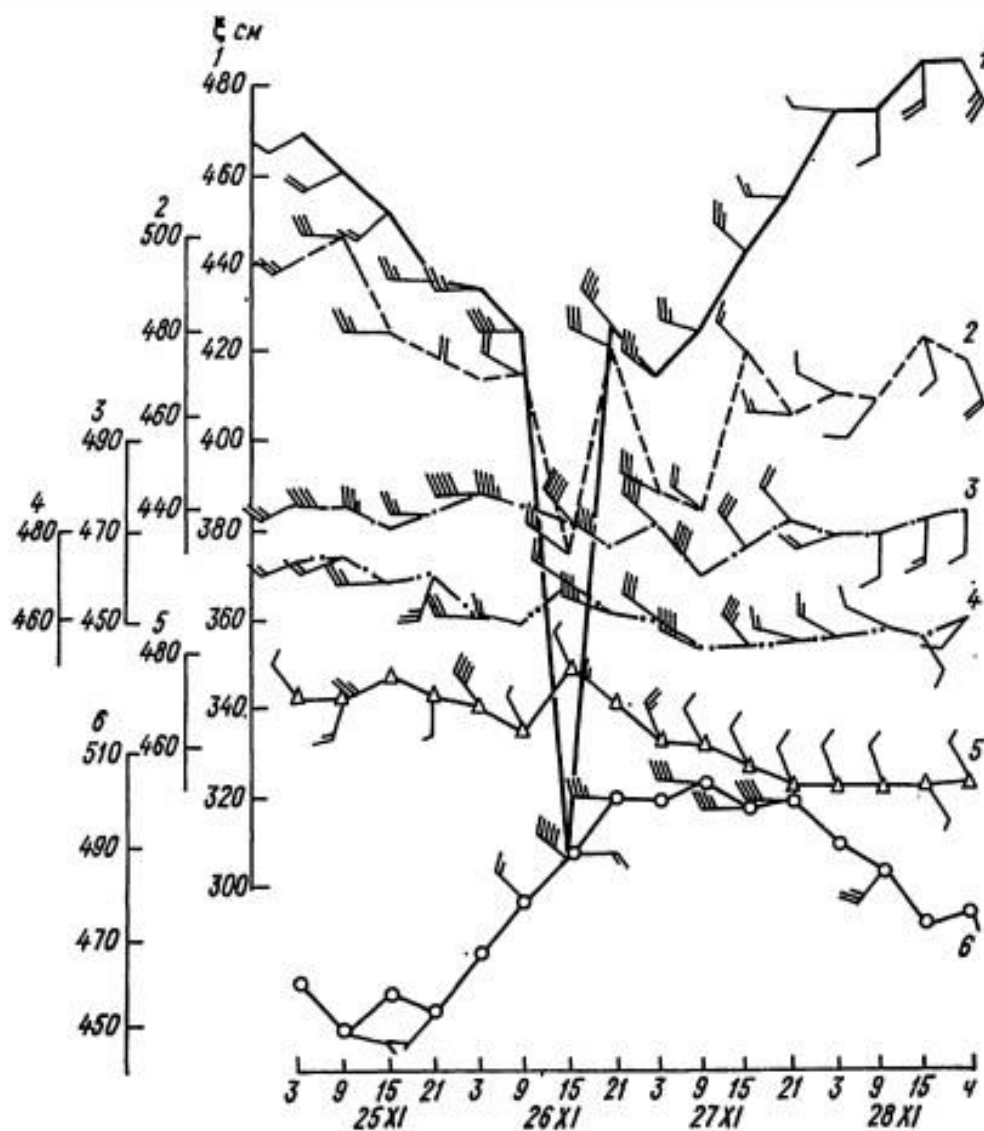


Рис. 1.13. Хід рівня в прибережній зоні в листопаді 1964 р по даним строкових спостережень: 1 – Одеса, 2 – Хорли, 3 – Чорноморське, 4 – Феодосія, 5 – Новоросійськ, 6 – Поти [15]

Шторм спостерігався - 25 листопада біля північного узбережжя моря, південно-західний вітер швидкістю до $9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ у другій половині дня змінив напрямок на західний. У ніч на 26 листопада вітер став посилюватися і на ранок 26 листопада його швидкість на ряді станцій досягала вже $14-16 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Продовжуючи посилюватися, вітер перейшов до північно-північно-західного і північно-західного напрямку. Максимальної швидкості він досяг в 11 год 26 листопада. Під дією вітру 25 листопада відбулося зниження рівня біля

західного і північно-західного узбережжя моря. В Одесі протягом 6 годин рівень знизився на 42 см. При незначному послабленні вітру (до $8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) почалося компенсаційне підвищення рівня, яке в 5 год 40 хв 26 листопада під час наростаючій швидкості західного вітру в проміжку між 9 год 30 хв і 13 ч змінилося швидким падінням рівня, що тривало протягом 7 годин. За цей час рівень впав на 175 см. Інтенсивність падіння склала близько $25 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$. Мінімальний рівень (282 см) в Одесі був зафіксований в 12 год 30 хв. Стояння рівня моря на мінімальній позначці тривало протягом 2 годин. У Кавказського узбережжя в цей час спостерігалось підвищення рівня. Воно було викликане підпором води, обумовленим вітрами, що дмуть назустріч переважної течії. Максимального розвитку згін досяг тут на 47 годин пізніше, ніж у північно-західному районі. Величини згону не перевищили 10-12 см, що пояснюється швидкою компенсацією поверхневих вод глибинними, що виявилася також у зниженні температури, хоча не настільки різкому, як це буває влітку, але все ж добре вираженому у всій прибережній зоні від Вилково до Батумі [18].

Згадаємо такий факт, що над Чорним морем 17 жовтня 1958 р. спостерігався шторм південно-східного напрямку, виникший при проходженні передній частині поглиблюючого циклону, який швидко рухився з півдня Балканського півострова в північно-східному напрямку. При цьому швидкість південно-східного вітру місцями сягала $20\text{-}24 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Посилення вітру почалося вночі 17 жовтня і тривало протягом 10-12 годин. У північно-західній частині моря вітер досяг максимальної швидкості в 13 годин, в східній частині - на 6-8 годин пізніше .

Південно-східні та південні вітри викликали згони води у Кавказького узбережжя і біля східного узбережжя Криму і нагони біля західного і північного узбережжя моря і біля західного узбережжя Криму (рис. 1.14).

Максимальне значення рівня 571 см було досягнуто в Одесі. При переході в кінці дня вітру від південно-східного до південно-західного напрямку почалося підвищення рівня у Кавказького і Кримського узбережжя

і падіння його біля західного і північно-західного узбережжя моря. Таким чином, під час штормів на всіх станціях спостерігалися цілком узгоджені зміни рівня моря. Коливання, відмічені на станціях в північно-західній частині моря, простежувались і на станціях у Кримського і Кавказького узбережжя, але на заході моря вони наступали раніше і розмахи їх були більше, ніж на сході.

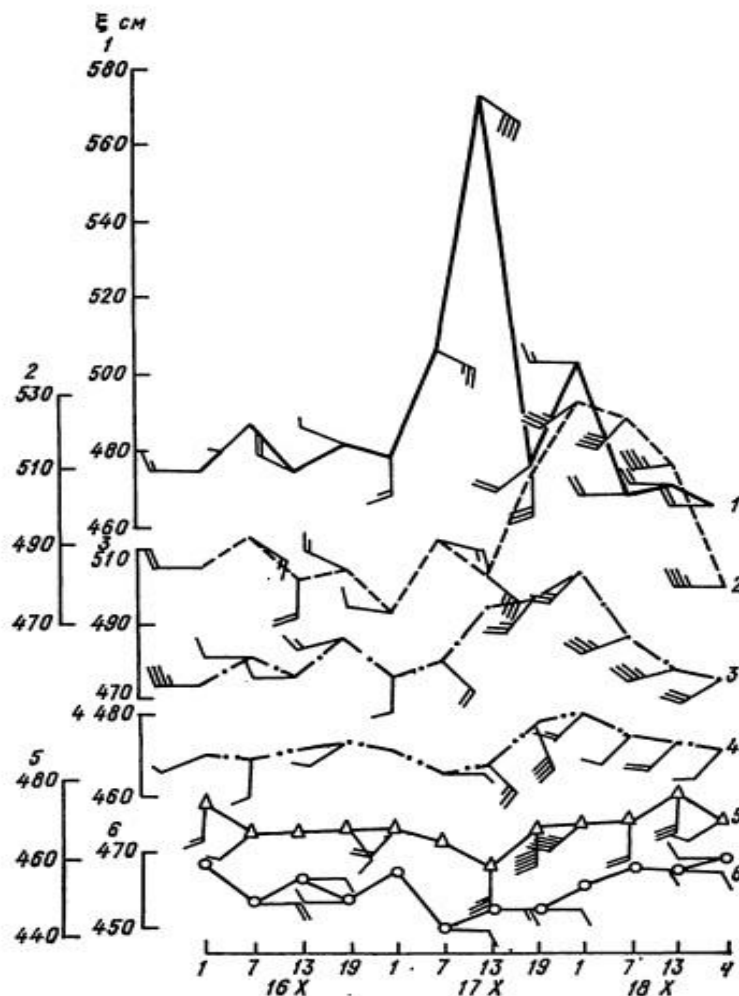


Рис. 1.14. Хід рівня моря в прибережній зоні у жовтні 1958 р по даним строкових спостережень : 1 – Одеса , 2 – Хорли , 3 – Чорноморське, 4 – Феодосія, 5 – Новоросійськ, 6 – Поти [15]

В роботі [15] для узагальнення матеріалів спостережень за рівнем моря при згінно-нагінних коливань були використані фактичні спостереження прибережних гідрологічних станцій за багаторічний період. Проаналізувавши велику кількість матеріалу чотирьохстрокових

спостережень за рівнем моря за період з 1948 по 1980 було показано, що в західному районі моря (Приморське) найбільш сильні нагони обумовлюють східно-північно-східні та північно-східні вітри, у північно-західній частині моря (Одеса, Очаків) - південно-східні вітри, в Каркінітській затоці (Хорли, Чорноморське) - південні і південно-західні вітри.

Найбільш сильні згони в західній та північно-західній частинах моря (виключаючи Каркінітську затоку) обумовлені західно-північно-західні і північно-західні вітри.

У Каркінітській затоці (за даними ст. Хорли) згони викликані діями вітрів північно-північно-східних і північно-східних напрямів. У Кримського та Кавказького узбережжів, де згінно-нагінні коливання рівня виражене значно слабше, різниця у впливі вітрів різних напрямків згладжується. На станціях, розташованих у цих районах, при деяких напрямках вітру спостерігаються і згони, і нагони. Це пов'язано з тим, що на формування згонів і нагонів в глибоководних частинах моря найчастіше впливають не місцеві вітри, а вітри, що діють над відкритим водним простором, які в більшості випадків не фіксуються береговими спостереженнями, так як гори значно змінюють швидкість і напрямок вітрового потоку [15].

Найбільш значні нагони та згони коливання рівня (більш 30 см) відзначалися в осінньо-зимовий період в західному і північно-західному районах моря. Максимальний нагон в Приморському зафіксований у лютому (115 см), а максимальний згон - у жовтні (76 см). В Одесі максимальний нагон відзначений у жовтні (100 см), а максимальний згон - в листопаді (182 см). У Хорлах максимальний нагон був зареєстрований в лютому (112 см), а максимальний згон - у січні (93 см).

У північно-західному і західному районах моря найбільша кількість згонів-нагонів за даними 4-строкових спостережень становить 30-40 см. Такі згони і нагони в Приморському та Очакові спостерігаються восени, взимку і навесні. В Одесі і в Хорлах вони бувають протягом усього року, але в літній час їх повторюваність незначна. Коливання, які перевищують 40 см,

спостерігаються рідко і тільки восени і взимку. У Приморському за період з 1952 по 1963 р. нагони більше 40 см склали 3,9 %, а згони 2,0 % всіх випадків, в Одесі за період з 1948 по 1980 р. повторюваність нагонів склала 1,6 % , а згонів - 7,0 %, у Хорлах нагін та згін спостерігалися в 4,0 і 6,1 % випадків відповідно. Сильні згони і нагони, що перевищують 50 см, спостерігалися ще рідше. Повторюваність нагонів більше 50 см у Приморському, Одесі, Очакові і Хорлах склала відповідно 1,9; 0,5; 0,2; 1,8 %, згонів - 0,4; 3,2; 0,7; 2,0 % всіх випадків.

Таким чином, в районі Приморського за багаторічний період виявляється переважання сильних нагонів над згонами, в районі Одеси і Очакова - переважання сильних згонів над нагонами, в районі п. Хорли співвідношення між кількістю сильних згонів і нагонів приблизно однаково. Згони і нагони, що перевищують 60 см, бувають дуже рідко.

Біля Кримського узбережжя згони і нагони невеликі і рідко перевищують 20 см. Однак в одиничних випадках в окремих пунктах узбережжя спостерігаються згони і нагони 30-40 см.

У Кавказького узбережжя згони і нагони рідко перевищують 20 см і ще рідше 30 см.

Дані натурних спостережень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками М. Енгеля. Використовуючи свій метод, Енгель розрахував вітрові нагони для акваторії Чорного моря при вітрах різних напрямків. Так, східний вітер силою $20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ нагон близько 55 см в районі Вилково і 44 см в районі Одеси, а південний вітер відповідно 70 см і 66 см. Максимальний нагон (79 см) в районі Одеси відзначається при південно-південно-східному вітрі [15].

Значний інтерес для практичних цілей представляє знання тривалості та інтенсивності спадів рівня при згонах і підйомах при нагонах.

За початок спаду при згоні приймалася найвища точка в положенні рівня моря до початку явища, а за початок підйому при нагоні - найнижча. Величина спаду (підйому) рівня визначалася як різниця між рівнем на

початку явища і в момент досягнення нею мінімального (максимального) значення. Проміжок часу між початком і закінченням спаду (або підйому) вважався тривалістю (табл.1.2).

Табл. 1.2 -Характеристики значних (більш 30 см) підйомів (1-а строка) та спадів (2-а строка) рівня моря на ст. Одеса та Феодосія з роботи [15]

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Одеса (1958-1980)												
Кількість випадків за всі роки	23 30	9 23	11 11	5 3	2 7	— 10	4 7	2 9	3 10	7 21	11 25	20 23
Середня тривалість, год	16,5 19,2	19,6 17,7	23,4 15,5	13,9 12,9	8,2 11,5	— 10,0	9,1 10,5	30,3 13,8	10,1 13,2	20,4 13,9	11,4 15,0	15,4 15,2
Середня інтенсивність, см/год	3,5 4,0	2,2 5,0	4,7 4,8	3,2 3,8	5,1 5,1	— 6,0	5,2 5,8	3,6 5,6	6,8 4,6	4,2 4,9	5,1 6,5	3,6 4,9
Феодосія (1958-1970)												
Кількість випадків за всі роки	9 5	5 —	5 —	1 1	1 —	— —	— —	— —	1 1	1 3	1 4	5 4
Середня тривалість, год	25,9 9,0	22,9 —	23,9 —	15,8 20,8	13,6 —	— —	— —	— —	29,4 4,4	8,4 28,3	13,0 11,4	30,1 21,3
Середня інтенсивність, см/год	1,1 1,4	0,7 —	0,9 —	1,7 1,0	1,3 —	— —	— —	— —	0,7 4,5	2,3 0,8	1,6 2,0	1,1 1,3

Аналіз тривалості підйомів і спадів рівня моря в північно-західній частині моря показав, що вона змінюється в широких межах (2-57 год) і залежать від швидкості вітру, його тривалості і стійкості в напрямку. Підйоми і спади однакової величини часто мають різну тривалість. Так, спади в межах 70-80 см, що спостерігаються в Одесі, мали тривалість 7-57 годин. Найбільший спад, склавший 175 см, мав тривалість 6 год 50 хв, а найбільший підйом (100 см) тривав 13 год 10 хв. Характерним для Каркінітської затоки (за даними ст. Хорли) є невелика тривалість підйомів і спадів. У 30-40 % всіх випадків підйоми і спади були тут впродовж 5-10 год, в 20 % випадків - впродовж до 5 год.

У Кримського узбережжя підйоми і спади більш тривалі, ніж у північно-західному районі. У районі Феодосії підйоми тривалістю 20-25 год складають 31%, а спади тривалістю 10-15 год - 55,5 %. Нетривалі спади і підйоми (5-10 год) відзначалися дуже рідко - 3-5 % всіх випадків.

У Кавказького узбережжя в 40 % випадків підйоми і спади рівня тривали 15-20 год. Повторюваність підйомів і спадів тривалістю 5-10 годин дуже незначна [18].

Таким чином, в мілководній північно-західній частині моря підйоми і спади протікають швидше, ніж у приглубих кримських і кавказьких берегів.

Середня швидкість зміни рівня моря при його підйому та спаду становить в Одесі та Очакові 2-6, в Хорлах 4-8, у Феодосії, Новоросійську, Туапсе, Поті, Батумі 1-2 см·год⁻¹. Максимальна швидкість при підйомі і спаді в пунктах північно-західного узбережжя моря досягає 20-25 см·год⁻¹, в інших пунктах узбережжя - 3-6 см·год⁻¹.

Підйоми і спади рівня екстремальної тривалості відбуваються восени і взимку, тоді саме відзначається і їх найбільша інтенсивність. Найвищі і найнижчі рівні спостерігалися під час згонів і нагонів (табл.1.3).

Табл.1.3 - Характерні значення рівня Чорного моря за даними багаторічних спостережень з роботи [15]

Рівневий пост	Період спостережень	Рівень моря за період спостережень від одиниці нуля поста				
		середній см	найвищі		найнижчі	
			см	дата	см	дата
Приморське	1051—1085	485	613	19 II 1070	386	28 X 1060
Одеса	1875—1940	477	571	17 X 1958	282	29 XI 1964
Очаків	1944—1985 1874—1885, 1887—1895, 1899—1914, 1929—1940, 1944—1985	472	555	2 V 1978	375	5, 6 II 1932
Хорли	1923—1941, 1943—1983	474	620	10 XI 1981	364	21 I 1937
Чорноморськ	1927—1941, 1944—1985	484	536	22 V 1970	440	10 XII 1963
Евпаторія	1917—1941, 1945—1983	479	549	6 VI 1923	388	1 IV 1938
Севастопіль	1875—1876, 1878—1879, 1882—1888, 1890—1911, 1944—1985	472	529	17 VII 1941	428	13 XI 1920
Ялта	1927—1985	476	616	22 V 1970 13 I 1982	437	30 XII 1953
Феодосія	1912—1941, 1946—1985	476	532	9 III 1970	416	26 I 1921
Анапа	1923—1940, 1943—1985	477	526	18 III 1970	439	6 II 1925
Новоросійськ	1924—1941, 1947—1985	475	526	26 XI 1965	427	24 I 1925
Геленджик	1944—1985	473	531	6 I 1975	432	14, 15 XII 1918, 3 II 1964, 21, 22 XI 1968
Туапсе	1917—1953	475	520	17 V 1941	422	29 XII 1924
Сухуми	1926—1985	477	555	20 IV 1968	433	12 III 1930
Поті	1874—1914, 1923—1985	473	535	XII 1882	413	XI 1874
Батумі	1882—1914, 1925—1985	476	574	XII 1910	424	II 1884

2 ЗГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ В РАЙОНІ ПОРТУ ЮЖНИЙ

Дія сильних вітрів над морем призводить до появи згінно-нагінних коливань рівня моря. Ці коливання впливають на морегосподарську діяльність в прибережній зоні моря - в акваторіях портів, де при підвищенні рівня створюється загроза затоплення прилеглих територій, а при зниженні - загроза посадки судів на мілину. Тому дослідженню мінливості згінно-нагінних коливань рівня моря приділяється велике значення. Особливо важливі ці дослідження на фоні загального підвищення рівня Чорного моря. У літературних джерелах наводяться деякі оцінки по мінливості характеристик згінно-нагінних коливань в північно-західній частині Чорного моря, зокрема такі дані є для порту Одеса.

Порт Южний є одним з великих морських портів північно-західної частини моря, де згінно-нагінні коливання також впливають на морегосподарську діяльність, тому вивчення характеру згінно-нагінних коливань рівня моря за останні роки має велике практичне значення.

2.1 Коротка характеристика району досліджень

У північно-західній частині Чорного моря розташовані найбільш великі торгові морські порти – Одеський, Іллічівський , Южний , Білгород-Дністровський . Ці порти займають вигідне географічне розташування на морських торгових шляхах ,мають велике значення для перевозу вантажів з південно-західної та центральної України. На частку портів Одеса,Іллічівськ та Южний припадає близько 60 % усього вантажообігу українських морських портів. Ці порти мають найкращі морські підходи і здатні приймати судна з осадкою від 11,5 до 18,5 м .

Порт «Южний» - один з наймолодших українських портів (рис.2.1). Його будівництво почалося в 1973 році і йшло паралельно з будівництвом

поселення часів бронзового століття (II тисячоліття до н.е.). А при в'їзді в порт знайшли древній курган з 34 шарами поховань, на самому дні якого була кам'яна гробниця [21].

Порт «Южний» - самий глибоководний незамерзаючий порт в місті Южне, на чорноморському узбережжі, в акваторії Малого Аджалицького лиману, найбільший і найприбутковіший порт України. Максимальна осадка суден досягає 18,5 метрів. Тут розташовано 29 причалів, сумарна довжина яких становить 5,5 км.

«Южний» є портом з підвищеною небезпекою у зв'язку з переробкою тут зрідженого газу і хімічних вантажів, зокрема, аміаку. Однак завдяки особливій увазі до питань безпеки за роки існування підприємства ніякої серйозної загрози він не становив ні місту Южне, ні Одесі, розташованій всього в 50 км від порту [22].

Незважаючи на великі обсяги перевалки вантажів, а також їх високу хімічну небезпеку, екологічна ситуація на території порту (Аджалицького лиману) залишається однією з кращих в світі. В акваторії гніздяться різні види птахів, в тому числі лебеді і сірі чаплі, ходять косяки риб і регулярно заходять чорноморські дельфіни - афаліни.

У 2011 році порт досяг свого найвищого вантажообігу - 22 млн. 639,1 тис. тон. До порту примикають залізничні станції «Берегова», «Хімічна» і «Промислова» Одеської залізниці. На теперішній час він виконує завантажувальні, розвантажувальні, допоміжні, переробні і транспортні функції. Крім того, порт надає послуги з відпочинку в санаторії-профілакторії «Портовик» та літній база відпочинку «Лагуна» [23].

Основні напрямки вантажопотоків: Чорноморський і Середземноморський басейн, США, Латинська Америка, Близький Схід, Південно-східна Азія. Наразі порт знаходиться в державній власності України; підприємство, яке управляє портом, підпорядковане міністерству транспорту та зв'язку [24].

2.2 Матеріали спостережень і методи їх обробки

Для моніторингу гідрометеорологічних умов прибережної зони Чорного моря створена і функціонує морська мережа гідрометеорологічних станцій і постів. Зокрема в порту Южний гідрометеорологічні спостереження проводяться на морській гідрометеорологічній станції другого розряду (МГ-2) і включають такі спостереження: температура води (чотири рази на добу), рівень моря по футштоку (чотири рази на добу) , хвилювання моря - в 00, 06, 12 і 18 годин , солоність води – один раз на добу, льодові спостереження – один раз на добу. Крім перерахованих вище морських гідрологічних спостережень , проводяться також стандартні метеорологічні спостереження – швидкість і напрям вітру , температура і вологість повітря, атмосферні опади та явища.

Для дослідження використовувалися дані строкових спостережень (00, 06,12,18 годин) за рівнем моря, напрямком і швидкістю вітру на станції порт Южний за період 2000-2011рр.

Використовувалася методика візуального виділення згонів і нагонів за графіками змін рівня для кожного місяця року. Типовий графік зміни рівня показано на рис 2.2 [25]. На цьому графіку наведена лінія середнього місячного рівня моря в лютому 2005 р, а також 2 лінії перевищення (зниження) середнього рівня на 15 см.

Як критерій виділення згонів - нагонів використовувався розмах коливань в 15 см і більше щодо середнього місячного значення рівня в кожному місяці. Аналізувалися окремо випадки нагонів і випадки згонів.

З візуального аналізу визначалися такі характеристики: дати і строки початку і закінчення згонів або нагонів, величина згону або нагону (в см), тривалість згону або нагона (в годинах), напрям і швидкість вітру (середні і максимальні значення) за період згонів і нагонів. За цими характеристиками складалися таблиці і проводився їх аналіз. За отриманими даними виконано статистичний аналіз характеристик згонів-нагонів.

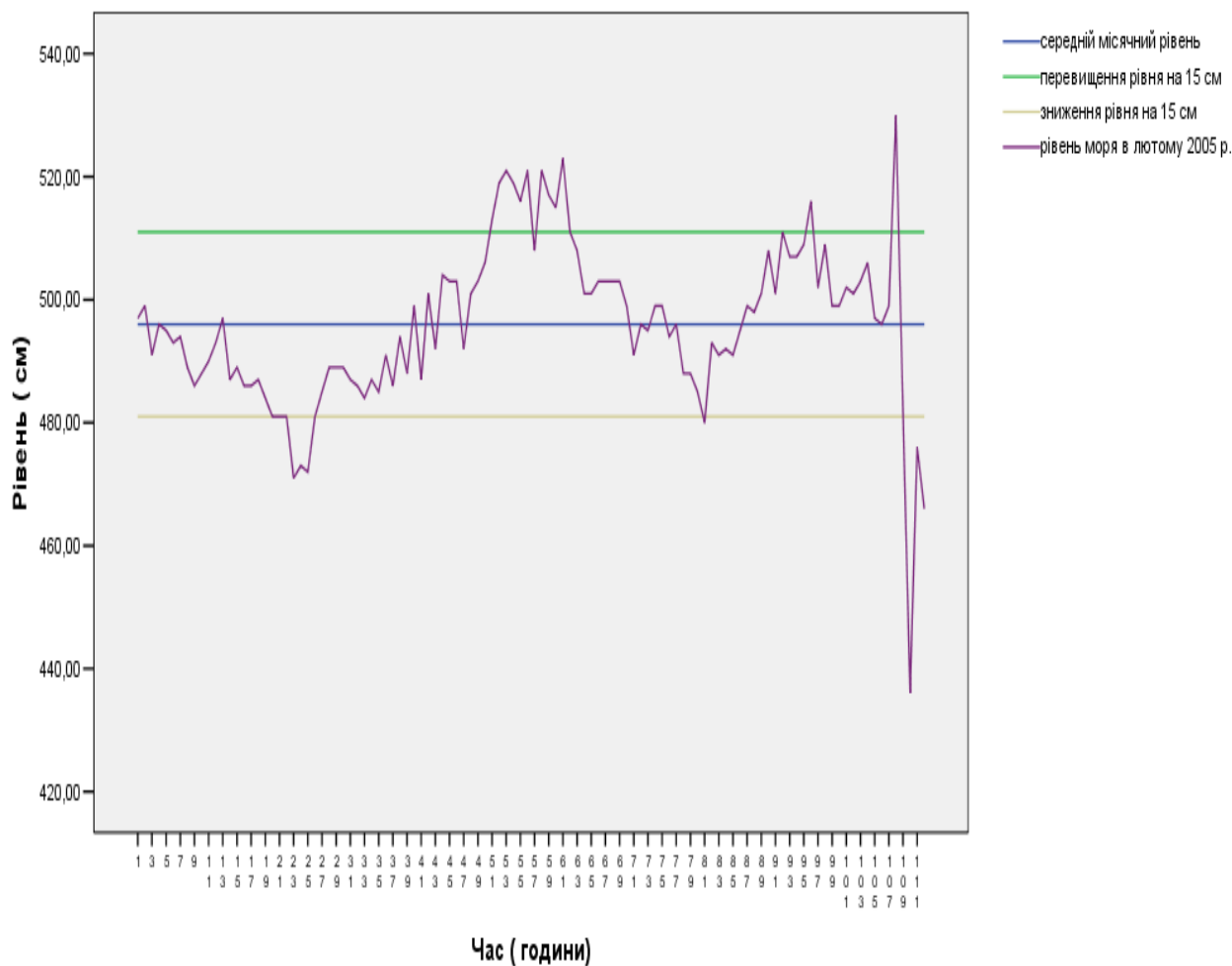


Рис.2.2. Типова крива зміни рівня в лютому 2005 р. на станції порт Южний

2.3. Статистичні характеристики мінливості згінно-нагінних коливань рівня в районі порту Южний

Розраховувались статистичні характеристики мінливості згінно-нагінних коливань рівня в районі порту Южний, результати цього аналізу наведені та пояснені в таблицях.

Статистичні характеристики кількості згонів-нагонів – (середнє, максимальне, мінімальне) за всі місяці року та за рік, за період 2000-2011 рр. наведено в табл. 2.1.

Табл.2.1- Кількість нагонів і згонів рівня на станції порт Южний за період
2000-2011рр.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Зарік
Характеристики													
				н а г о н и									
Середнє	3	3	2	2	1	1	2	1	2	2,4	3	3	2
Максим.	5	5	5	3	2	2	3	2	3	5	6	4	6
Мінім.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
СУМА	34	33	24	14	10	8	12	5	14	24	34	34	246
				з г о н и									
Середнє	3	3	3	1	2	1	2	2	2	2	3	3	2
Максим.	5	5	5	2	3	3	4	3	4	4	5	4	5
Мінім.	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
СУМА	35	30	28	9	9	14	14	18	21	27	35	30	270

За період 2000-2011 рр. спостерігалось 270 випадків згонів і 246 випадків нагонів, тобто кількість згонів трохи вище, ніж кількість нагонів. В середньому за рік спостерігається по 2 випадки нагонів і 2 випадки згонів в місяць.

В осінньо-зимовий період їх кількість зростає до 3, а у весняно-літній період знижується до 1-2 випадків на місяць.

Повторюваність згонів-нагонів в різні роки не однакова : максимальна їх кількість в осінньо-зимові місяці може досягати 4-6 випадків, а мінімальна - 1 випадок, або згінно-нагінні коливання взагалі не спостерігаються.

На рис. 2.3 показано сезонний хід кількості згонів-нагонів на станції порт Южний за період 2000-2011 рр.

Поглянувши на цей графік можна з впевненістю сказати, що максимальна кількість спадів і підйомів припадає на зимні місяці, а в літку їх кількість значно знижується.

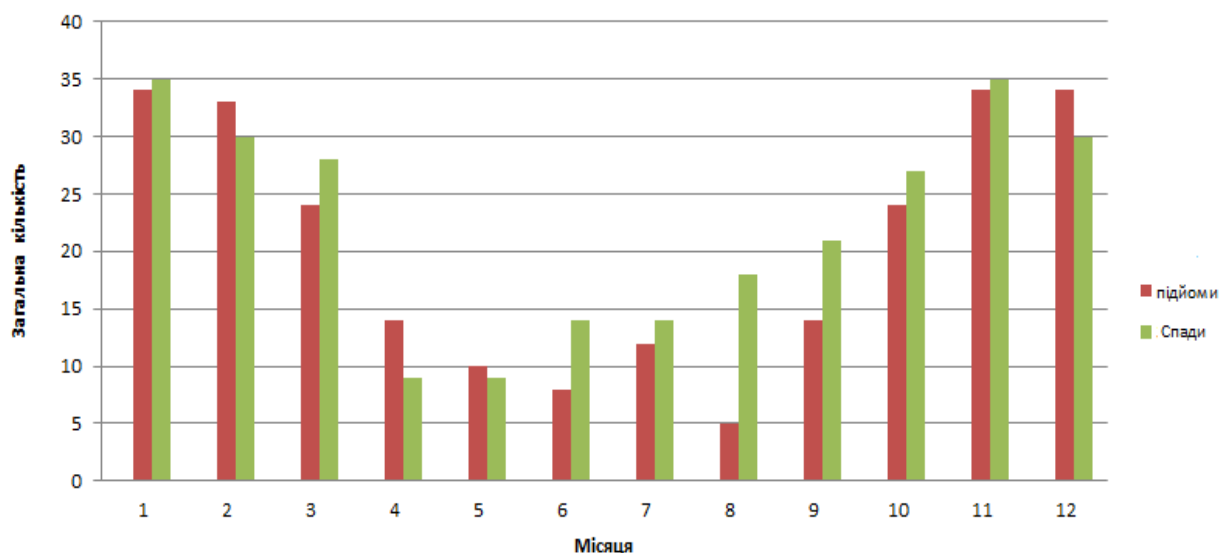


Рис.2.3. Сезонний хід кількості випадків сгонів та нагонів рівня на станції порт Южний за період 2000-2011 рр.

Важливою характеристикою мінливості згінно-нагінних коливань є розмах змін рівня. У таблиці 2.2 наведені статистичні характеристики розмаху (в см) зміни рівня при нагонах та згонах.

Табл.2.2- Статистичні характеристики розмаху (в см) змін рівня моря при згонах та нагонах на станції порт Южний за період 2000-2011 рр.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Характеристики													
	н а г о н и												
середнє (см)	35	37	31	29	26	22	26	22	28	30	38	30	30
Максим.	87	85	75	48	50	38	58	28	60	67	91	71	91
Мінім.	12	8	10	17	8	15	13	17	9	11	10	13	8
	з г о н и												
середнє (см)	40	45	34	34	32	31	34	26	34	35	39	30	34
Максим.	85	97	64	55	60	47	67	38	63	70	98	60	98
Мінім.	9	7	14	10	15	17	17	12	12	15	9	9	7

В середньому за рік розмах нагону рівня становить 30 см, а розмах згону - 34. Тобто величина згону дещо більше, ніж величина нагону. Протягом року, величини нагону і згону рівня сильно змінюються. В осінньо-зимові місяці з листопада по березень розмах нагому становить 30-38 см в середньому, а максимальні значення - 67-91 см.

Розмах згону в середньому за рік становить 34-45 см, а максимальні 60-98 см. Таким чином величина згону рівня більше, ніж величина нагону як за середнім значенням, так і за максимальними.

Важливою характеристикою є також тривалість нагонів і згонів рівня моря. За початок нагону рівня приймалася найнижча точка в положенні рівня моря в тому випадку, якщо він перевищував середнє значення більш ніж на 15 см. За початок згону приймалася найвища точка в положенні рівня, що перевищує середнє значення на 15 см. Проміжок часу від початку до закінчення нагону або згону вважається тривалістю явища.

Статистичні характеристики тривалості нагонів і згонів рівня (в годинах) наведені в табл. 2.3.

Табл.2.3 - Тривалість (в годинах) нагонів і згонів рівня на станції порт Южний за період 2000-2011 рр.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Характеристики													
	н а г о н и												
Серед.	42	43	33	27	35	23	22	22	31	33	45	41	33,2
Максим.	106	96	108	72	84	42	54	66	66	84	120	120	120
Мінім.	12	6	6	6	12	6	6	6	6	6	12	12	6
	з г о н и												
Серед.	37	43	30	31	49	38	36	30	38	33	32	38	36,3
Максим.	114	102	84	96	132	96	96	60	66	84	90	84	132
Мінім.	6	12	6	6	12	12	6	6	6	6	6	6	6

В середньому за рік за досліджуваний період тривалість нагону рівня склала 33,2 години, а тривалість згонів - 36,3 години. Тобто тривалість згонів трохи вище, ніж тривалість нагонів. Внутрішньорічна мінливість тривалості нагонів і згонів демонструє сезонний хід цієї характеристики. За середніми місячними значеннями найбільша тривалість нагонів спостерігається з листопада по березень і становить 35-43 години, а також в травні 35 годин. Найбільша тривалість згонів рівня відзначається в травні - 49 годин, і в лютому - 43 години. Максимальні значення тривалості нагонів становить 120 годин, а згонів - 132 години. Тобто, за максимальними значеннями тривалість згонів більше, ніж тривалість нагонів.

Були розраховані також величини інтенсивності зміни рівня при нагонах та згонах шляхом ділення величини зміни на тривалість. Результати наведено в табл.2.4.

Табл. 2.4 - Статистичні характеристики інтенсивності змін рівня ($\text{см}\cdot\text{год}^{-1}$) при нагонах та згонах на станції порт Южний за період 2000-2011 рр.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
Характеристики													
	н а г о н и												
Серед.	0,95	1,07	1,16	1,74	0,89	1,31	1,73	2,25	1,18	1,31	1,02	0,86	1,29
Максим.	2,42	3,33	4,33	7,67	2,08	3,17	3,67	4	3	5,5	2,33	1,92	7,67
Мінім.	0,42	0,29	0,42	0,48	0,33	0,52	0,39	0,42	0,43	0,29	0,37	0,4	0,29
	з г о н и												
Серед.	1,54	1,45	1,77	2,13	0,95	1,08	2,02	1,29	1,19	1,73	2,18	1,10	1,54
Максим.	8	7,83	5,67	7,17	2,92	2,92	10,5	4,67	4,67	6,83	9,17	2,83	10,5
Мінім.	0,37	0,33	0,45	0,33	0,38	0,37	0,3	0,38	0,4	0,36	0,25	0,26	0,25

Середня багаторічна величина інтенсивності змін рівня при згонах становить $1,54 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$, а при нагонах - $1,29 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$. Максимальні величини інтенсивності нагону рівня становлять - $5,5 - 7,7 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$, а згону рівня - $7,0 - 10,5 \text{ см}\cdot\text{год}^{-1}$. Таким чином при згонах інтенсивність змін рівня вище ніж інтенсивність при нагонах.

Було виконано також аналіз напрямків і швидкості вітру при нагоні та згоні рівня. Напрямок та максимальні швидкості вітру виписувалися за все терміни тривалості нагону і згону, після чого розраховувалась повторюваність напрямків вітру у відсотках. Результати розрахунку наведено в табл.2.5.

Табл.2.5 - Переважаючі напрямки вітру при нагонах та згонах рівня, сумарна повторюваність вітру (%), середні, мінімальні та максимальні швидкості вітру ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) під час нагонів та згонів на станції порт Южний за період 2000-2011рр.

Місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Зарік
Характеристики													
н а г о н и													
Напрям, румб	ПнС,ПдС	ПдС,ПдС	ПдС,Пд	ПдС,Пд	ПдС,Пд	ПдС,Пд	ПдС,Пд	ПдС	ПдС,ПнС	ПдС,Пд	ПдС,Пд,ПнС,ПдЗ	ПдС,Пд,ПдЗ	
Повторюв.	82	70	71	79	100	63	83	60	93	71	68	79	
Серед. швид.	14,09	14,7	14,5	14	14	12	13	13	15	14	15	14	13,95
Максим.швид.	27	20	28	17	18	16	22	17	19	18	23	19	28
Мінім.швид.	6	10	8	9	11	8	8	10	8	8	9	10	6
з г о н и													
Напрям, румб	ПнЗ	ПнЗ, Пн	ПнЗ, Пн	ПнЗ,З	ПнЗ,Пн,ПдЗ	ПнЗ,Пн	ПнЗ,Пн	ПнЗ,Пн	ПнЗ,Пн	ПнЗ,Пн	ПнЗ	ПнЗ,З,Пн	
Повторюв.	71	93	89	78	89	100	93	94	95	93	71	93	
Серед. Швид.	16	17	15	15	17	17	15,2	15	15,1	15	16	15	15,75
Максим.швид.	27	24	24	23	24	29	20	18	20	26	23	20	29
Мінім.швид.	10	7	11	8	13	10	11	11	11	11	7	9	7

З таблиці видно, що підйоми рівня моря спостерігаються при південних, південно-східних, східних вітрах, сумарна повторюваність яких

протягом року становить 60-100 %. Середні швидкості таких вітрів складають $12-15 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальні досягають $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$.

Згони рівня на станції Южний спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах, сумарна повторюваність яких протягом року становить 70-100 %, середня швидкість $15-17 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, а максимальна - $20-28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Таким чином, вітри згінних напрямків сильніші, що є причиною більшого розмаху згонів, в порівнянні з розмахом нагонів.

Проаналізовано також випадки досягнення рівнем критичних позначок. Такими позначками для порту Южний є - 421см при спаді і 550 см при нагоні. Розглядалися випадки, коли рівень моря був близький до критичних позначок не менше ніж на 10 см.

За досліджуваній період спостерігалось 8 випадків небезпечного нагону рівня і 6 випадків небезпечного згону рівня. Всі небезпечні згони рівня спостерігалися в осінньо-зимовий період року (вересень - січень). Небезпечні нагони рівня спостерігалися як в осінні-зимові місяці (листопад-лютий) так і навесні - в травні, що свідчить про те, що такі нагони викликані дією вітру на фоні високого середньомісячного і середньорічного рівня моря.

Так, в 2010 році, спостерігалось 3 випадки небезпечних нагонів рівня - в лютому, травні та листопаді. Відомо з літературних джерел [7] , що в 2010 році рівень Чорного моря досяг свого абсолютного максимуму за більш ніж 150-річну історію спостережень. На фоні високого середнього рівня моря інтенсивна вітрова діяльність призводить до небезпечних нагонів рівня.

На рис.2.4 показана синоптична ситуація над Чорним морем за 00 години 11 листопада 2007 року, коли в порту Южний спостерігався небезпечний згон рівня. За 18 годин - з 12 годині 10 листопада до 6 години 11 листопада рівень моря знизився з позначки 528 см до позначки 430 см, тобто на 92 см . При цьому вітер північно-західного напрямку досягав $17-23 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Така ситуація була обумовлена глибоким циклоном над північно-західною частиною Чорного моря, який в подальшому

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 мілину, 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. Цей циклон викликав небезпечний згон рівня в порту Южний.

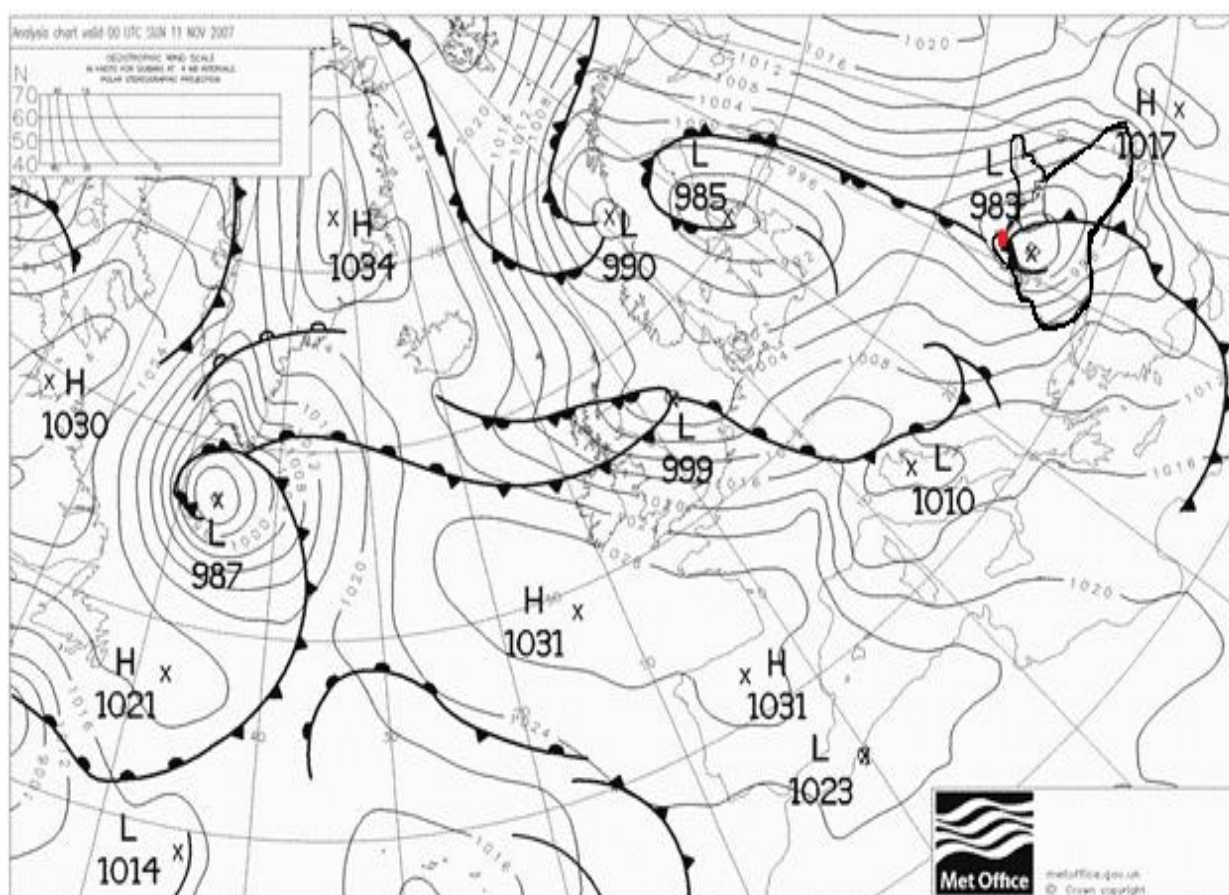


Рис.2.4. Синоптична ситуація над Чорним морем за 00 години
11 листопада 2007 року [26]

На рис.2.5 показано синоптична ситуація над Чорним морем за 00 годин 25 листопада 2005 року, яка зумовила небезпечний нагон рівня в порту Южний в 12 годині 25 листопада до позначки 552 см. Як видно з рисунку, Чорне море знаходиться в зоні взаємодії між антициклоном з центром на сході Азовського моря і депресією над Балканами. Над західною

частиною Чорного моря спостерігалися вітри східного, південно-східного напрямку зі швидкістю $18-20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Тривалість нагону рівня склала 120 годин.

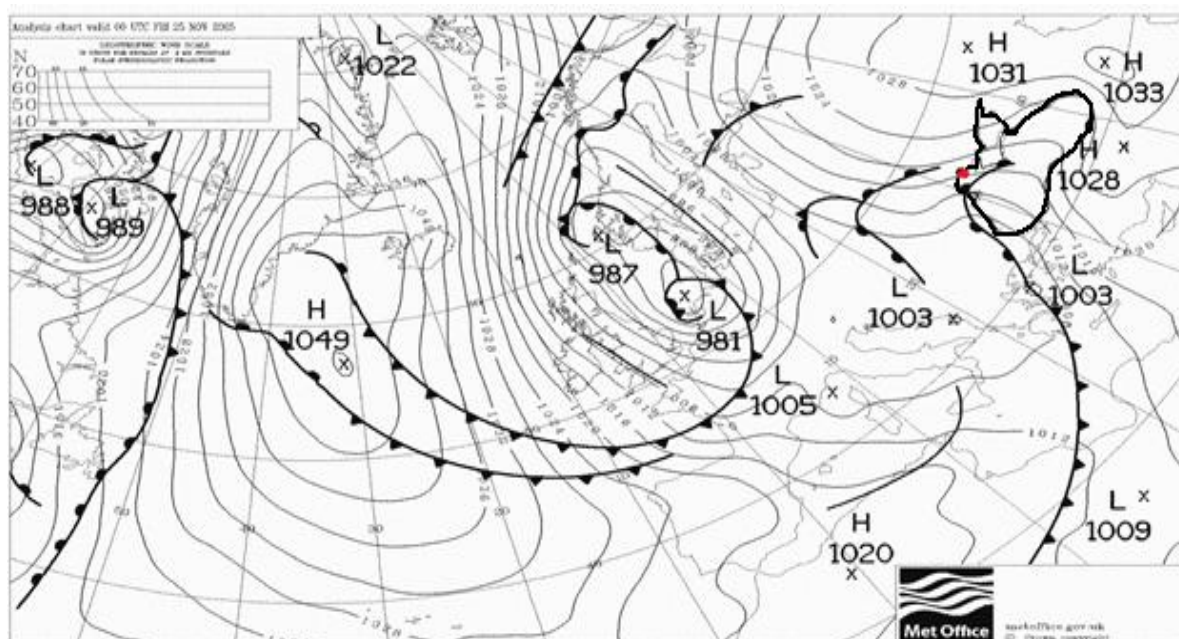


Рис.2.5. Синоптична ситуація над Чорним морем за 00 години
25 листопада 2005 року [26]

На рис. 2.6 показано хід рівня моря за період з 12 годин 10-го по 06 годину 11-го листопада 2007 року, з міні рівня склали з 528 см по 430 см, тобто 98 см за 18 годин. За 12-18 годин 10 листопада швидкість південного та південно-східного вітру досягала $20 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, в 00 години 11 листопада вітер змінився на північно-східний його швидкість сягала $18 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, в 06 годин 11 листопада швидкість північно-західного вітру сягала $17-23 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

На рисунку 2.7 показано хід рівня моря за період з 00 годин 22-го по 06 годину 24-го січня 2000 р. Підвищення рівня склала з 440 см по 515 см, тобто 75 см за 54 години. При цьому протягом 36 годин спостерігався північно-західний вітер швидкістю $10-15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

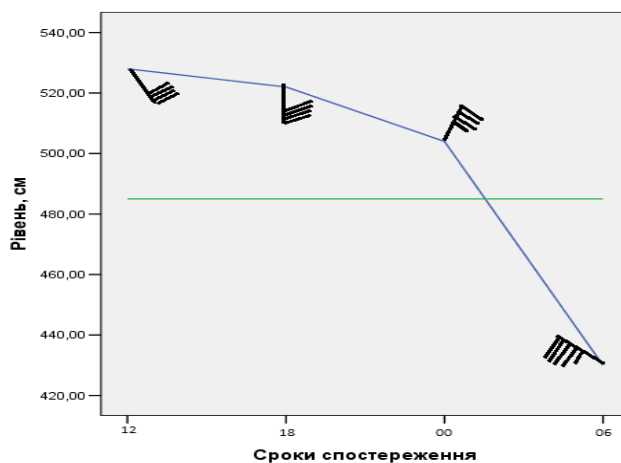


Рис.2.6. Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Южный за період з 12 годин 10-го по 06 годин 11-го листопада 2007 р. по даним строкових спостережень [25]

Примітка : зеленим кольором показано середній місячний рівень моря.

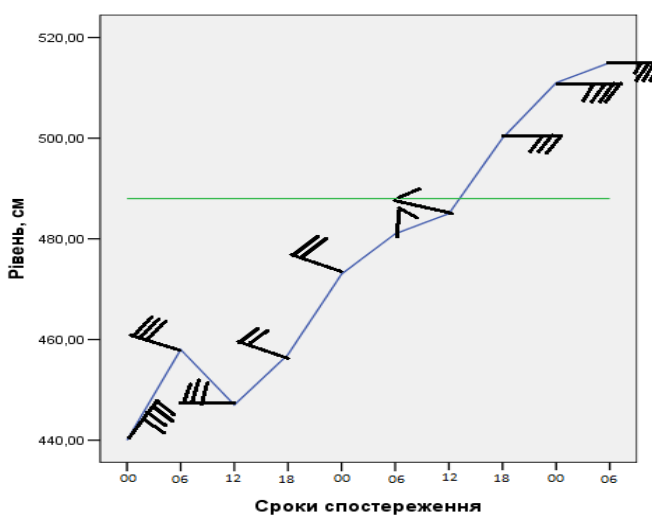


Рис.2.7. Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Южный за період з 00 годин 22-го по 06 годин 24-го січня 2000 р. по даним строкових спостережень [25]

Примітка : зеленим кольором показано середній місячний рівень моря.

На рис. 2.8 показано хід рівня моря з 06 годин 23-го по 18 годин 24-го січня 2004 р. Підвищення рівня склало з 434 см по 521 см, тобто 87 см за 36 годин. При цьому швидкість східного та північно-східного вітру сягала $10-18 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

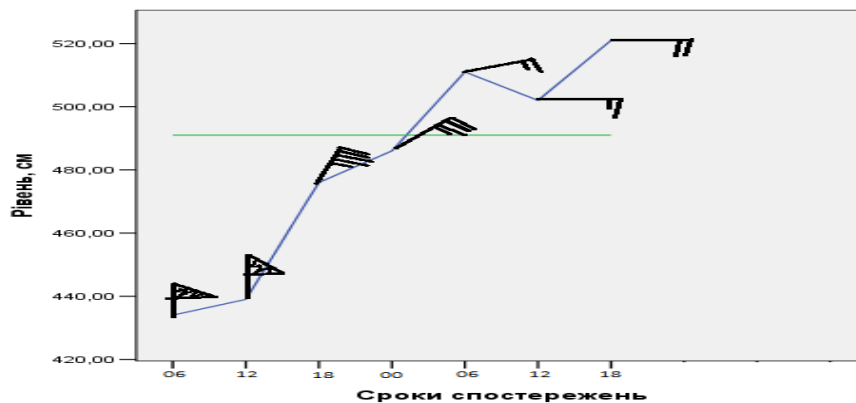


Рис.2.8. Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Южний за період з 06 годин 23-го по 18 годин 24-го січня 2004 р. по даним строкових спостережень[25]

Примітка : зеленим кольором показано середній місячний рівень моря.

На рис. 2.9 показано спад рівня моря з період з 12 годин 23-го по 12 годину 24-го листопада 2004 р. з 510 см по 461 см, тобто 49 см за 24 години. При цьому швидкість північно-західного вітру $12-15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

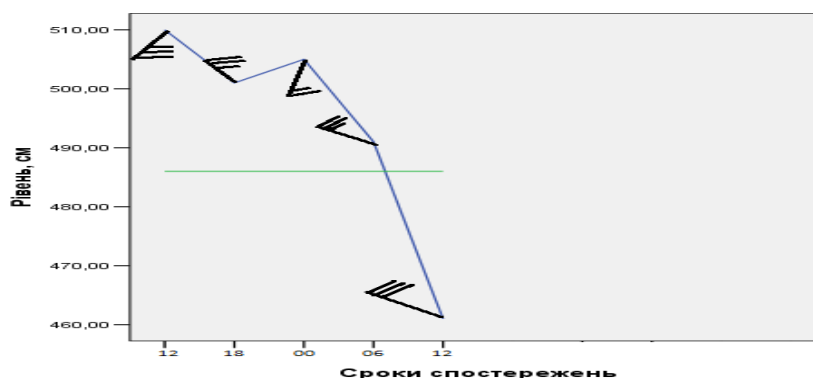
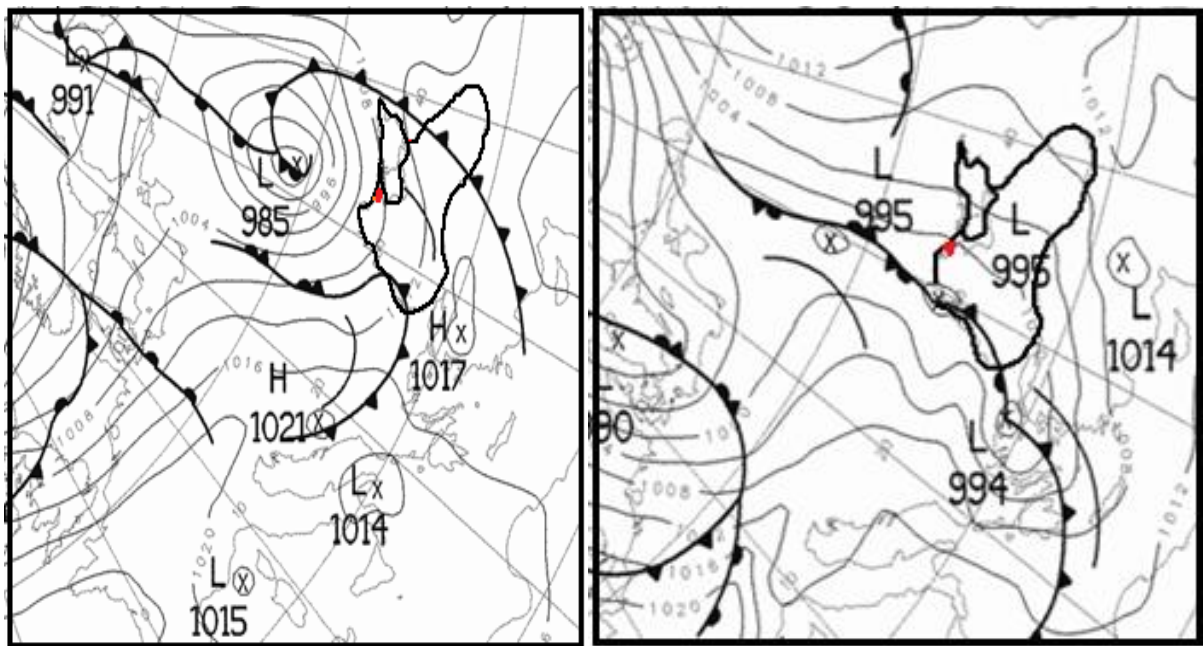


Рис.2.9. Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Южний за період з 12 годин 23-го по 12 годин 24-го листопада 2004 р. по даним строкових спостережень[25]

Примітка : зеленим кольором показано середній місячний рівень моря.

На рис.2.10 показана синоптична ситуація над Чорним морем за 00 год 9 жовтня 2003 р. та 00 год 10 жовтня 2003 р., коли в порту Южний спостерігався згон рівня. За 12 год (з 06:00 до 18:00 9 жовтня) рівень моря знизився з позначки 501 см до позначки 450 см, тобто на 51 см. Можна бачити, що зниження рівня обумовлено виходом на Чорне море південного циклону з Балкан , яке сприяло посиленню північно-західного і західного вітру до $14-26 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.



а)

б)

Рис. 2.10. Синоптична ситуація над Чорним морем за 00 годин 9 жовтня (а), та 00 годин 10 жовтня 2003 р. (б) [26]

По середнім багаторічним даним (табл. 2.6) [27] напрямку і швидкості вітру, та за період спостереження за 1980 - 2011 рр., були побудовані рози вітрів , які наведені на рис 2.11. За середньо багаторічними даними найбільша повторюваність припадає на південний та північний вітер – 20,2 % і 32,8 % відповідно.

Табл.2.6 - Повторюваність (%) вітру по румбах і градаціям за даними середніх багаторічних спостережень (1980 – 2011 рр) [27]

	1-5	6-10	11-16	16-20	Σ
Пн	20,27	31,35	32,72	32,76	32,8
ПнС	3,74	5,83	5,99	5,99	6
С	8,1	11,58	11,75	11,75	11,8
ПдС	3,14	4,41	4,48	4,48	4,5
Пд	13,65	19,91	20,22	20,23	20,2
ПдЗ	3,83	5,52	5,63	5,63	5,6
З	7,14	10,25	10,43	10,43	10,4
ПнЗ	2,81	3,36	6,72	6,72	6,8

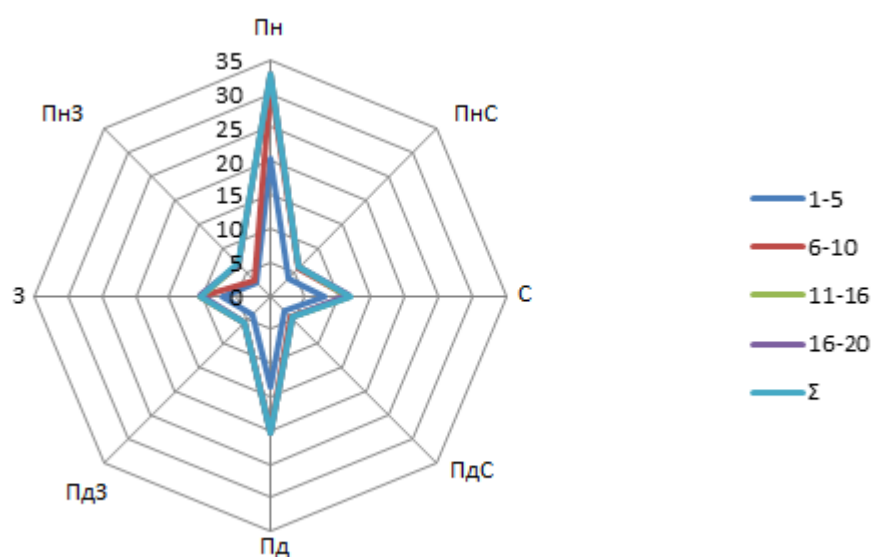


Рис. 2.11. Роза вітрів, побудована за даними спостереження за 1980 – 2011 рр.

2.4 Взаємозв'язки між характеристиками вітру та згінно-нагінними коливаннями рівня моря в районі порту Южний

Оскільки аналіз показав, що ефективними напрямками для нагонів і згонів рівня моря для порту Южний є напрямки північ-південь, розраховувалися проекції вітру на ці напрямки [28]. Для їх розрахунку користувалися таблицею 2.7.

Табл. 2.7 - Проекція напрямків вітру порту Южний

Напрямок вітру	Коефіцієнт	Напрямок вітру	Коефіцієнт
Пн	1	Пд	-1
ПнПнС	0,924	ПдПдЗ	-0,924
ПнС	0,707	ПдЗ	-0,707
СПнС	0,383	ЗПдЗ	-0,383
С	0	З	0
СПдС	-0,383	ЗПнЗ	0,383
ПдС	-0,707	ПнЗ	0,707
ПдПдС	-0,924	ПнПнЗ	0,924

З таблиці видно, що нагінні вітри враховують з від'ємним знаком, а згінні – з додатнім. Потім з наших даних окремо по згонах і окремо по нагонах обрали випадки при яких зміни рівня перевищують 30 см відносно середнього. Для цих випадків формувався ряд спостережень, для якого розраховувалось рівняння регресії [29,30]. Рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta H = a \sum V + b H_{\text{поч.}} + c, \quad (2.1)$$

де ΔH – зміна рівня при згонах чи нагонах;

$\sum V$ – сума проєкцій векторів вітру на ефективний напрямок за 5 попередніх строків;

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

a, b, c – коефіцієнти рівняння регресії.

Розглянемо результати розрахунків: для згонів розглядалося 148 випадків. Рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta H = -0,430 * \sum V + 0,572 * H_{\text{поч.}} + 203,924 \quad (2.2)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R=0,713$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 84 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (18см) [31].

Потім з цього ряду обирались випадки спаду рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 96 випадків) , для яких також розраховувалось рівняння регресії , що має вигляд :

$$\Delta H = -0,527 * \sum V + 0,607 * H_{\text{поч}} + 185,955 \quad (2.3)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,720$ [25].

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 86 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (20см) .

Аналогічно розглянули випадки спаду рівня ≥ 50 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 19 випадків) , для яких також розраховувалось рівняння регресії , що має вигляд :

$$\Delta H = -0,891 * \sum V + 1,024 * H_{\text{поч}} - 29,776 \quad (2.4)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,734$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 91 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (24см) .

Таким чином, за наведених рівнянь видно , що множинний коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,71 до 0,73 , тобто є значущим та доволі високим.

Для нагонів виконувався аналогічний аналіз . По перше розглядався ряд з 82 випадками нагонів. Для цього ряду рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta H = -0,354 * \sum V + 0,663 * H_{\text{поч}} + 172,075 \quad (2.5)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,742$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 87 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (15см) .

Потім з цього ряду обирались випадки нагону рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 45 випадків) , для яких також розраховувалось рівняння регресії , що має вигляд :

$$\Delta H = -0,545 * \sum V + 0,639 * H_{\text{поч}} + 184,921 \quad (2.6)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,812$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 94 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (18см) .

Таким чином , з наведених рівнянь видно , що множинний коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,74 до 0,81, тобто є значущим та доволі високим, та декілька перевищує коефіцієнт кореляції для випадків згонів.

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня , результати яких наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозні	Різниця	Фактичні	Прогнозні	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	26,99	11,21	15,78	32,16	13,95	18,21
Максимальне (см)	51	21,59	29,41	94	39,56	54,44
Мінімальне (см)	11	0	11	11	0,43	10,57

З цієї таблиці видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня в середньому складає при нагонах 15,78 см , при згонах-

18,21см. Максимальні значення різниці складають при нагонах 29,41см, при згонах- 54,44 см, мінімальні значення різниці при нагонах – 11 см, а при згонах-10,57см.

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів (≥ 25 см від початкового рівня) виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня ,результати яких наведено у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах (випадки нагонів та згонів рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня)

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозн	Різниця	Фактичні	Прогнозн	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	34,5	10,78	23,72	40,48	14,37	26,11
Максимальне (см)	51	18,76	32,34	94	39,56	54,44
Мінімальне (см)	25	0	25	25	3,44	21,56

З таблиці 2.9 видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня в середньому складає при нагонах 23,72 см , при згонах- 26,11 см. Максимальні значення різниці складають при нагонах 32,34 см, при згонах- 54,44см, мінімальні значення різниці при нагонах – 25см, а при згонах-21,56 см.

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів (≥ 50 см від початкового рівня) виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня ,результати яких наведено у таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах (випадки нагонів та згонів рівня ≥ 50 см відносно початкового рівня)

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозні	Різниця	Фактичні	Прогнозні	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	–	–	–	58,9	16	42,9
Максимальне (см)	–	–	–	94	32,7	61,3
Мінімальне (см)	–	–	–	50	5,6	44,4

З цієї таблиці видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня при згонах складає 42,9 см, максимальне значення різниці – 61,3 см, мінімальні значення різниці – 44,4 см. Випадків нагонів ≥ 50 см не спостерігалось.

Попередні дослідження показали, що максимальна кількість спадів і підйомів припадає на зимні місяці, а в літку їх кількість значно знижується, тому представляє інтерес розрахувати прогностичні рівняння окремо для цих сезонів. Зимовий період включає місяці з жовтня по березень, а літній – з квітня по вересень.

Для зимового періоду згонів розглядалось 109 випадків. Рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta H = -0,429 * \sum V + 0,520 * H_{\text{поч}} + 228,502 \quad (2.7)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R=0,690$

Розрахунки за цим рівнянням показали, що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 85 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (19см).

Потім з цього ряду обирались випадки спаду рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 75 випадків), для яких також розраховувалось рівняння регресії, що має вигляд:

$$\Delta H = -0,541 * \sum V + 0,599 * H_{\text{поч}} + 188,482 \quad (2.8)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,700$.

Розрахунки за цим рівнянням показали, що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 86 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (20 см).

Аналогічно розглянули випадки спаду рівня ≥ 50 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 20 випадків), для яких також розраховувалось рівняння регресії, що має вигляд:

$$\Delta H = -0,784 * \sum V + 0,924 * H_{\text{поч}} + 20,477 \quad (2.9)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,708$

Розрахунки за цим рівнянням показали, що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 87 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (24 см).

Таким чином, за наведених рівнянь видно, що множинний коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,69 до 0,71, тобто є значущим та доволі високим.

Для нагонів виконувався аналогічний аналіз. По перше розглядався ряд з 71 випадками нагонів. Для цього ряду рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta H = -0,325 * \sum V + 0,633 * H_{\text{поч}} + 186,919 \quad (2.10)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,722$

Розрахунки за цим рівнянням показали, що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 88 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (15 см).

Потім з цього ряду обирались випадки нагону рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 35 випадків) , для яких також розраховувалось рівняння регресії , що має вигляд :

$$\Delta H = -0,546 * \sum V + 0,684 * H_{\text{поч}} + 163,158 \quad (2.11)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,815$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 95 % , якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (19см) .

Таким чином , за наведених рівнянь видно , що множинний коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,72 до 0,82, тобто є значущим та доволі високим, та декілька перевищує коефіцієнт кореляції для випадків згонів.

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів у зимовий період виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня , результати яких наведено у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах в зимовий період

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозні	Різниця	Фактичні	Прогнозні	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	26,25	10,76	15,49	33,79	14,44	19,35
Максимальне (см)	51	19,82	31,18	94	39,47	54,53
Мінімальне (см)	11	0	11	12	1,29	10,71

З цієї таблиці видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня в середньому складає при нагонах 15,49 см , при згонах- 19,35 см. Максимальні значення різниці складають при нагонах 31,18 см,

при згонах- 54,53 см, мінімальні значення різниці при нагонах – 11см, а при згонах-10,71см.

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів (≥ 25 см відносно початкового рівня) у зимовий період виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня, результати яких наведено у таблиці 2.12

Таблиця 2.12 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах в зимовий період (випадки нагонів та згонів рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня)

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозн	Різниця	Фактичні	Прогнозн	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	35,74	10,75	25	41,23	14,25	26,98
Максимальне (см)	51	18,95	32,05	94	39,47	54,56
Мінімальне (см)	20	0	20	25	3,43	21,57

З цієї таблиці видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня в середньому складає при нагонах 25 см , при згонах- 26,98 см. Максимальні значення різниці складають при нагонах 32,05 см, при згонах- 54,56см, мінімальні значення різниці при нагонах – 20см, а при згонах-21,57 см .

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів (≥ 50 см відносно початкового рівня) у зимовий період виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня, результати яких наведено у таблиці 2.13.

З таблиці 2.13 видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня складає при згонах 41,4 см , максимальне значення різниці – 61,4 см, мінімальне значення різниці – 44см см . Випадків нагонів ≥ 50 см не спостерігалось.

Таблиця 2.13 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах в зимовий період (випадки нагонів та згонів рівня ≥ 50 см відносно початкового рівня)

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозні	Різниця	Фактичні	Прогнозні	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	–	–	–	58,7	17,3	41,4
Максимальне (см)	–	–	–	94	32,6	61,4
Мінімальне (см)	–	–	–	50	6	44

Для літнього періоду згонів розглядалося 39 випадків . Рівняння регресії має вигляд :

$$\Delta H = -0,412 * \sum V + 0,795 * H_{\text{поч}} + 96,996 \quad (2.12)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R=0,823$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 91 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (16 см) .

Потім з цього ряду обирались випадки спаду рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 25 випадків) , для яких також розраховувалось рівняння регресії , що має вигляд :

$$\Delta H = -0,449 * \sum V + 0,739 * H_{\text{поч}} + 123,645 \quad (2.13)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R= 0,824$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 91 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (17см) .

Таким чином, за наведених рівнянь видно , що множинний коефіцієнт кореляції майже однаковий 0,82 , він є значущим та доволі високим.

Для нагонів виконувався аналогічний аналіз . По перше розглядався ряд з 15 випадками нагонів. Для цього ряду рівняння регресії має вигляд:

$$\Delta H = -0,470 * \sum V + 0,675 * H_{\text{поч}} + 165,594 \quad (2.14)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,833$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 97 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (16 см) .

Потім з цього ряду обирались випадки нагону рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня (тривалість ряду складає 10 випадків) , для яких також розраховувалось рівняння регресії , що має вигляд :

$$\Delta H = -0,587 * \sum V + 0,310 * H_{\text{поч}} + 345,996 \quad (2.15)$$

Множинний коефіцієнт кореляції цього рівняння дорівнює $R = 0,790$

Розрахунки за цим рівнянням показали , що забезпеченість прогнозу спаду рівня складає 93 %, якщо допустима помилка дорівнює середньоквадратичному відхиленню (14 см) .

Таким чином , за наведених рівнянь видно , що множинний коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0,79 до 0,83, тобто є значущим та доволі високим, та декілька перевищує коефіцієнт кореляції для випадків згонів.

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів у літній період виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня , результати яких наведено у таблиці 2.14.

З таблиці 2.14 видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня в середньому складає при нагонах 16,8 см , при згонах- 14,14 см. Максимальні значення різниці складають при нагонах 20,62 см,

при згонах- 15,75 см, мінімальні значення різниці при нагонах – 14,12 см, а при згонах-10,59 см.

Таблиця 2.14– Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах в літній період

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозні	Різниця	Фактичні	Прогнозні	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	30,93	14,13	16,8	27,49	15,21	14,14
Максимальне (см)	46	25,38	20,62	38	22,25	15,75
Мінімальне (см)	16	1,88	14,12	11	0,41	10,59

За наведеними рівняннями для фази згонів та нагонів у літній період (≥ 25 см відносно початкового рівня) виконувались розрахунки та порівняльний аналіз характеристик фактичних та прогностичних змін рівня ,результати яких наведено у таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Порівняльні характеристики фактичних та прогностичних змін рівня моря при нагонах та згонах у літній період (випадки нагонів та згонів рівня ≥ 25 см відносно початкового рівня)

Фази змін	Нагони			Згони		
	Фактичні	Прогнозні	Різниця	Фактичні	Прогнозні	Різниця
Розмах зміни рівня (см)	32,5	13,82	18,68	32,56	12,76	19,8
Максимальне (см)	46	23,03	22,97	38	22,25	15,75
Мінімальне (см)	25	1,88	23,12	24	0,86	23,14

З цієї таблиці видно, що різниця між фактичними та прогностичними значеннями рівня в середньому складає при нагонах 18,68 см , при згонах- 19,8 см. Максимальні значення різниці складають при нагонах 22,97 см, при згонах- 15,75 см, мінімальні значення різниці при нагонах – 23,12см, а при згонах-23,14 см .

Виконавши розрахунки змін рівня для фаз нагонів та згонів за весь період спостережень, для зимового та літнього сезонів окремо, а також для випадків різної інтенсивності змін рівня, розраховували забезпеченість у відсотках. Результати цих розрахунків занесено в табл. 2.16

Табл.2.16- Забезпеченість (%) розрахунків згінно-нагінних коливань рівня моря за весь період спостережень, за зимовий та літній сезони, за різною інтенсивністю та довжина рядів.

Фаза змін рівня	Нагони	Згони
Характеристика ряду		
Загальний ряд	87%	84%
Довжина ряду	82	148
Зміни рівня ≥ 25 см	94%	86%
Довжина ряду	45	96
Зміни рівня ≥ 50 см	—	91%
Довжина ряду	—	19
Зимовий період	88%	85%
Довжина ряду	71	109
Зимовий період ≥ 25 см	95%	86%
Довжина ряду	35	75
Зимовий період ≥ 50 см	97%	87%
Довжина ряду	15	20
Літній період	97%	91%
Довжина ряду	15	39
Літній період ≥ 25 см	93%	91%
Довжина ряду	10	25

Забезпеченість розрахунків рівня за отриманими рівняннями перевищує 84%.

На рис.2.12 наведено зміни фактичного та прогностичного лінії нагону рівня моря з 00:00 17січня по 12:00 21січня 2005 р., на рис.2.13 фактичного та прогностичного лінії нагону рівня моря з 06:00 16 листопада по 12:00 17листопада 2001 р.

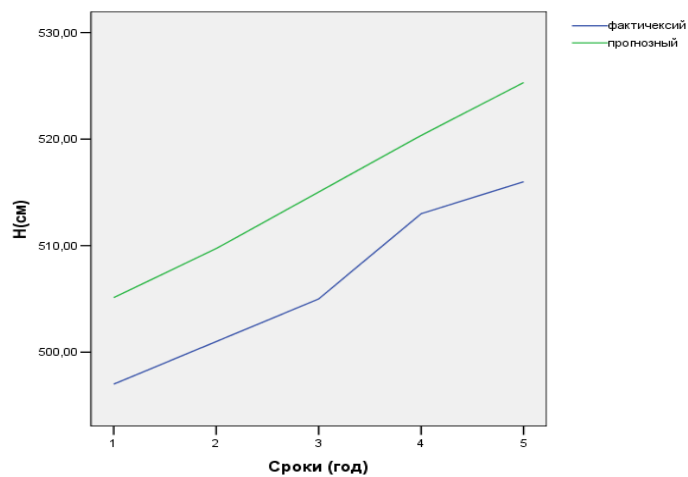


Рис.2.12. Фактичні (синя) та прогностична (зелена) лінії нагонурівня моря з 00:00 17січня по 12:00 21січня 2005 р. [25]

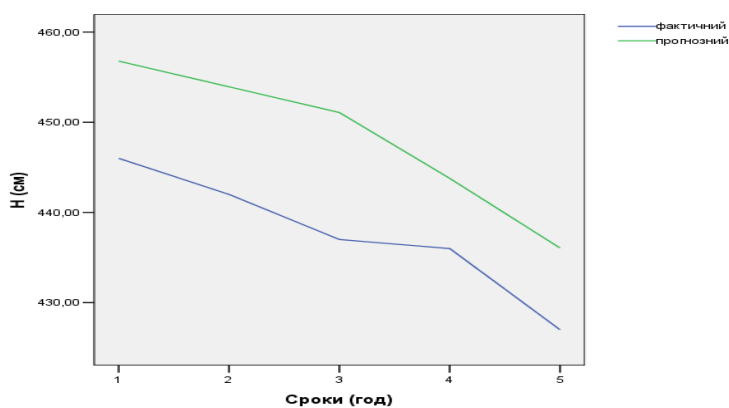


Рис.2.13. Фактичні (синя) та прогностична (зелена) лінії нагонурівня моря з 06:00 16листопада по 12:00 17листопада 2001 р. [25]

ВИСНОВКИ

1. За досліджуваний період 2000-2011 рр. в порту Южний спостерігалось 270 випадків спадів рівня і 246 підйомів рівня. В середньому за місяць спостерігається по 2 випадки підйому, і по 2 випадки спаду. Максимальна кількість підйомів і спадів в місяць досягає 4-6 випадків і припадає на осінньо-зимовий період року.
2. В середньому за місяць розмах підйому рівня становить 30 см, а розмах спаду 34 см, тобто розмах спаду трохи вище, ніж розмах підйому. В осінньо-зимовий період розмах підйому становить 30-38 см, а максимальні значення - 67-91 см. Розмах спадів за цей же період року становить 24-35 см, а максимальні значення - 60-98 см.
3. Середня тривалість нагону рівня за досліджуваний період склала 33,2 години, а тривалість спаду рівня - 36,3 години. Максимальні тривалості нагонів досягають 120 годин, а спадів 132 години.
4. Середня величина інтенсивності змін рівня при нагонах становить $1,29 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$, а при спадах - $1,54 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$. Максимальні значення при нагонах досягають $5,5-7,7 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$, а при спадах - $7,0-10,5 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$.
5. Нагони рівня на станції порт Южний спостерігаються при південних, південно-східних і східних вітрах сумарна повторюваність яких становить 60-100%, при цьому середні швидкості вітрів складають $12-15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а максимальні $20-28 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Спади рівня спостерігаються при західних, північно-західних і північних вітрах. Їх сумарна повторюваність складає 70-100 %, середня швидкість $15-17 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а максимальна $20-28 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.
6. Отримано рівняння регресії для розрахунків змін рівня окремо для фази нагонів та фази згонів. 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.

7. Виконано розрахунки змін рівня для фаз нагонів та згонів за весь період спостережень, для зимового та літнього сезонів окремо, а також для випадків різної інтенсивності змін рівня. За допустиму помилку при оцінках розрахунків приймалась величина, яка дорівнює середньоквадратичному відхиленню. Забезпеченість розрахунків рівня за отриманими рівняннями перевищує 84 %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Справочник по климату Черного моря.–М.: Гидрометеоиздат, 1974.– 405 с.
2. Гаврилюк Р.В., Корнилов С.В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря // Вісник Одеського Державного Екологічного університету. 2016. №20.- С.69 – 77.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том 2 Черное море. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012.- 421 с.
4. Лобзовский Н.А. Непериодические колебания уровня моря. Л., Гидрометиздат, 1971.- 238 с.
5. Белинский Н.А., Глаголева М.Г. Метод изучения и расчета неперидических течений в море. – Метеорология и гидрология, 1960., №3, С. 18-25.
6. Репетин Л.Н. О влиянии климатических изменений ветровой активности на температурный режим и экологическое состояние Черноморского региона // Материалы научной конференции «Ломоносовское чтение». – Севастополь, 2008. – С.35-36.
7. Горячкин Ю.Н. Связано ли повышение уровня Черного моря с повышением уровня Мирового океана // Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления: II Международная научно-практическая конференция, Туапсе, 4-8 окт. 2011 г.: сборник научных статей. - Краснодар, 2011. - С. 253-256.
8. Лемешко Е.М., Иванов В.А., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н. Сравнительный анализ отклика уровня Черного моря на атмосферное воздействие в прибрежной и глубоководной зонах // Глобальная система наблюдений Черного моря. Фундаментальные и прикладне аспекты.—Севастополь,2000.—С.56-70.
9. Горячкин Ю.Н. Основные тенденции многолетней изменчивости сгонно-нагонных колебаний уровня Черного моря// Экологическая

- безопасность прибрежной шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.- Севастополь, 2007. - Вып.15. – С. 28-32.
10. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. //Черное море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия.- СПб.: Гидрометиздат, 1991.-С.329-354.
11. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. - Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. - 210с.
12. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Современные тенденции изменений уровня Черного моря // Водные ресурсы. - 1996. - 23, № 2. - С. 246- 248.
13. Рева Ю.А. Межгодовые колебания уровня Черного моря // Океанология.—1997.—37,№2.—С.211-219.
14. Подпругина Т.М. К вопросу об изменчивости средних уровней в Черном море // Сборник работ ЛЮМ ГОИН.—1972.—Вып.9.—С.136-141.
15. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. //Черное море. 1991.- 340с.
16. Солаков Д., Филипов А. Исследование непериодических колебаний уровня в порту Ильичевск. 1981. - С. 47 – 53.
17. Влияние ветра на формирование непериодических колебаний моря//Гидрология и метеорология. ,1981.- С.39 – 49
18. Богданова А.К., Кропачев Л.Н. Сгонно-нагонная циркуляция и ее роль в гидрологическом режиме Черного моря. 1959. - С. 26 – 33
19. Монин А.С, Каменкович В.М., Корт В.Г. –Изменчивость мирового океана. - Л.: Гидрометиздат ,1974. -С.16-19.
20. Шуйский Ю.Д. Некоторые черты современного развития Северо-западных берегов Черного моря / / Океанология (Москва). – 1970. – Т. 10. – Вып.1. – С. 117 – 125.

21. URL: <http://odessa-life.od.ua/article/6177-10-interesnyh-faktov-o-porte-Yuzhnyu>(история) (дата останнього звернення)
22. URL : <http://www.port-yuzhny.com.ua/> (дата останнього звернення 15.11.2016 р.)
23. URL: <http://www.sifservice.com/index.php/informatsiya/porty-ukrainy/morskie-porty/item/35-yuzhny-morskoj-port> (дата останнього звернення 28.12.2016 р.)
24. URL: <http://uspa.gov.ua/yuz/> (дата останнього звернення 22.01.2017 р.)
25. Бююль А., Цефел П., SPSS: Искусство обработки информации. – М., СПб., К: Изд. Diasoft, 2005. - 305 с.
26. URL: <http://meteoweb.ru/> (дата останнього звернення 25.01.2017 р.).
27. Гидрометеорологические условия морей Украины .Т.2. Черное море/Ю.П.Ильин, Л.Н.Репетин, В.Н.Белокопытов, Ю.Н.Горячкин, Н.Н. Дьяков, А.А. Кубряков, С.В. Станичный.- Севастополь, 2012.-420с.
28. Морские прогнозы(под.ред. Абузярова З.К.) Л.: Гидрометеоздат, 1987.- 297 с.
29. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. СПб, Гидрометиздат, 1994. - 521 с
30. Абузяров З.К., Думанская И.О, Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание // Москва, Обнинск: ИГ-СОЦИН.-- 2009.—275с.
31. Наставление по службепрогнозов. Раздел 3, ч. III, Гидрометиздат, 1975. - 305 с.