

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра океанології та морського природокористування

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

ВІДГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ

SEA LEVEL UPSURGES AND DOWNSURGES IN THE NORTH-WESTERN PART OF BLACK SEA

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітньо-професійна програма Гідрометеорологія

Лещенко Данило Юрійович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к. геогр. н., доц. Гаврилюк Р.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к. геогр. н., доц. Бурлуцька М.Е.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
океанології та морського
природокористування
№ ____ від ____ . ____ . 2025 р.

Захищено на засіданні ЕК № 2
протокол № __ від ____ . ____ . 2025 р.

Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

Завідувач кафедри

Микола БЕРЛІНСЬКИЙ

(підпис)

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Валерія ОВЧАРУК

(прізвище, ім'я)

Одеса 2025

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 3 |
| 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ВИВЧЕНОСТІ ВІДГІННО-НАГІННИХ КОЛИВАНЬ РІВНЯ ЧОРНОГО МОРЯ | 5 |
| 1.1 Характеристика коливань та причини утворення..... | 5 |
| 1.2 Екстремальні характеристики відгінно-нагінних коливань рівня Чорного моря. | 7 |
| 1.3 Фактори та компоненти, що впливають на коливання рівня | 13 |
| 1.4 Приклади великих відгінно-нагінних коливань рівня моря | 17 |
| 2 МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ..... | 27 |
| 3 ВІДГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ В РАЙОНІ ПОРТУ ЧОРНОМОРСЬК, ОДЕСА, ЮЖНИЙ І ЦАРЕГРАДСЬКЕ ГИРЛО..... | 30 |
| 3.1 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Цареградське гирло | 30 |
| 3.2 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Южний | 36 |
| 3.3 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Чорноморськ..... | 41 |
| 3.4 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Одеса | 53 |
| ВИСНОВОК..... | 64 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 67 |

ВСТУП

Мінливість рівня моря може викликати суттєвий, а іноді й катастрофічний вплив на прибережні території, що зумовлює високу значущість цієї тематики в межах сучасної океанології. Вивчення динаміки рівня моря та Світового океану традиційно вважається одним із провідних напрямів наукових досліджень у цій галузі. Упродовж останніх десятиліть інтерес до цієї проблематики суттєво зріс, що пов'язано як з глобальним трендом підвищення рівня Світового океану, так і з інтенсифікацією господарського використання прибережних зон.

Актуальність досліджень підтверджується як наземними, так і дистанційними методами спостереження, які свідчать про стабільну тенденцію до зростання рівня океану, що пов'язується переважно з кліматичними змінами. Згідно із супутниковими альтиметричними вимірюваннями, за період 1993–2002 років середньорічне підвищення рівня становило 2,1 мм, тоді як у 2013–2021 роках воно досягло 4,4 мм на рік, що свідчить про подвоєння темпів зростання. Основним чинником такого прискорення є інтенсивне танення льодовиків та льодових щитів.

Подібні процеси спостерігаються і в акваторії Чорного моря, де, зокрема, у 2010 році зафіксовано найвищий рівень за всю історію спостережень, яка налічує понад 150 років. Наслідками таких змін є затоплення прибережних низин, підвищення рівня ґрунтових вод, а також руйнування берегової лінії. Варто зазначити, що в умовах активної забудови українських чорноморських узбережь ці процеси створюють додаткові екологічні та інженерні ризики. При цьому рівень вивченості змін гідрологічних параметрів залишається недостатнім для повноцінного забезпечення потреб морської інфраструктури. Найбільш виражені зміни рівня фіксуються у північно-західній частині Чорного моря, що зумовлено поєднанням незначних глибин, впливу річкового стоку та активних тектонічних рухів. У цьому регіоні розміщені ключові морські порти та інші важливі об'єкти морського господарського комплексу, які зазнають впливу змін рівня

моря. Коливання рівня моря в прибережних і мілководних районах суттєво впливають на діяльність багатьох галузей господарства : судноплавство, видобуток корисних копалин на шельфі, гідротехнічне будівництво , відпочинок в рекреаційних зонах та ін. Штормові нагони представляють велику загрозу для прибережних міст і селищ. Вони завдають матеріальних збитків, а іноді призводять до людських жертв. В акваторіях портів при підвищенні рівня моря створюється загроза затоплення прилеглих територій, а при пониженні – загроза посадки суден на мілину.

У межах даної бакалаврської роботи досліджуються відгінно-нагінні коливання рівня моря за даними спостережень на довготривалих рядах на гідрометеорологічних станціях північно-західної акваторії Чорного моря: Цареградське гирло, Чорноморськ, Одеса та Южний.

Основною метою роботи є кількісне оцінювання відгінно-нагінних коливань рівня моря в зазначеному регіоні, а також виявлення характерних тенденцій, з урахуванням останніх даних спостережень. Отримані результати можуть бути використані як у подальших наукових дослідженнях, що стосуються впливу кліматичних змін на гідрометеорологічний режим Чорного моря, так і в практичних цілях, зокрема у судноплавстві, проектуванні та експлуатації гідротехнічних споруд у прибережній зоні.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ВИВЧЕНОСТІ ВІДГІННО-НАГІННИХ КОЛИВАНЬ РІВНЯ ЧОРНОГО МОРЯ

1.1 Характеристика коливань та причини утворення

Коливання рівня Чорного та Азовського моря охоплюють періоди від кількох хвилин до тисячі та більше років [1].

Довгоперіодичні коливання рівня морів з характерними періодами геологічного масштабу (тисячі та мільйони років) обумовлені як змінами маси води в Світовому океані, так і повільними рухами літосфери Землі. Розмах таких коливань сягає десятків метрів.

Між річні коливання рівня відбивають мінливість полів в атмосфері на таких самих тимчасових масштабах. Вони виявляються в зміні сумарного стоку рік. Розмах таких коливань сягає 30 см.

Протягом року рівень моря зазнає сезонних змін, що пов'язано зі зміною об'єму водної маси в акваторії, її щільності, а також із періодичними змінами атмосферного тиску. Найвищі показники рівня моря зазвичай фіксуються в літній період. Це обумовлено комплексною дією чинників, серед яких: зниження атмосферного тиску, підвищення температури морської води та весняне танення снігу, що спричиняє паводок у річках. У зимовий час ці ж фактори, діючи в протилежному напрямку, спричиняють зниження рівня моря. Амплітуда сезонних змін, як правило, становить від 20 до 30 сантиметрів.

Атмосферні процеси викликають синоптичні коливання рівня, які проявляються у відгінно-нагінних процесах. Розмах таких коливань у Чорному морі може сягати 1 м і більше. Відгінно-нагінні коливання рівня пов'язані з переміщенням мас морської води, при цьому середній рівень моря не змінюється. Те ж саме стосується і мезомасштабних коливань, до яких можна віднести сейші, припливи та інерційні коливання. Розмах сейш може досягати перших десятків сантиметрів.

Приливні коливання рівня в замкнутому Чорному морі переважно не перевищують 10 см. Інерційні коливання рівня моря, як правило, невеликі: вони оцінюються в кілька сантиметрів.

Найбільш характерними причинами, що призводять до утворення відгінно-нагінних коливань рівня в Чорному та Азовському морях, є циклони, бризи та сезонні циклони, що проходять над регіоном, зміни поля вітру. Сезонні відгінно-нагінні коливання рівня визначаються річним ходом вітрів різних напрямів і, залежно від географічного положення району, набувають досить стійкого, проте повсюдно різного характеру. Бризові відгінно-нагінні коливання зазвичай мають невеликий (до 3 см) розмах і відзначаються у серпні – вересні (місяця найбільшого розвитку бризів). Амплітуда сезонних відгінно-нагінних коливань перевищує амплітуду бризових коливань.

Максимальні відгінно-нагінні підняття та зниження рівня на узбережжі Чорного моря викликають циклони, що проходять над морем. Для Чорноморського регіону виділено такі характерні типи циклонів:

- циклони, що пірнають, та приходять з північної Європи та що рухаються над морем у південно-східному напрямку;
- північні циклони, що зароджуються над північно-західним узбережжям Росії та зміщуються потім у південному напрямку;
- південні циклони, що проходять над морем у північно-східному чи північному напрямках.

Для зазначених циклонів характерні наступні діапазони зміни їх параметрів: радіус 300-600 км, швидкість переміщення 5-15 м/с, перепад тиску між центром і периферією 5-20 гПа.

З погляду можливих природних катастроф найбільший інтерес становлять екстремальні характеристики відгінно-нагінних коливань рівня Чорного [1] та Азовського [2] морей.

1.2 Екстремальні характеристики відгінно-нагінних коливань рівня Чорного моря.

Для визначення екстремальних показників рівня як вихідних використані термінові дані спостережень у період 1923 – 1995 рр. на постах, перерахованих у табл. 1. Дані отримані в пунктах, розташованих не тільки на узбережжях, а й у гирлах річок, оскільки такі дані мають практичне значення. Уявлення про абсолютні екстремуми рівня, що будь-коли спостерігалися в Чорному морі, та їх просторовий розподіл дає рис. 1.1, на якому представлені дані термінових спостережень на гідрометеорологічних постах, перерахованих у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Список постів, дані яких використані для отримання екстремальних термінових значень рівня Чорного моря.

| № | Гідромет.пост | № | Гідромет.пост | № | Гідромет.пост |
|----|----------------------------|----|---------------|----|---------------|
| 1 | Вилкове | 12 | Миколаїв | 23 | Судак |
| 2 | Прорва | 13 | Станіслав | 24 | Феодосія |
| 3 | Приморське | 14 | Касперівка | 25 | Анапа |
| 4 | Цареградське гирло | 15 | Прогнойськ | 26 | Новоросійськ |
| 5 | Білгород- Дністровський | 16 | Хорли | 27 | Геленджик |
| 6 | Чорноморськ | 17 | Чорноморське | 28 | Туапсе |
| 7 | Одеса-порт | 18 | Євпаторія | 29 | Сухумі |
| 8 | Лимани | 19 | Севастополь | 30 | Поті |
| 9 | Очаків | 20 | Балаклава | 31 | Батумі |
| 10 | Аджіголь | 21 | Ялта | | |
| 11 | Парутино | 22 | Алушта | | |

Судячи з даних, наведених на рис. 1 виділяється район північно-західного шельфу, де відзначаються як найбільш високі, так і найнижчі положення рівня, що дає розмах коливань до 2,75 м. Особливо великий розмах коливань у районі Одеси, що у поєднанні з процесом тектонічного осідання суші ускладнює господарську діяльність у цій зоні.

Різниця екстремальних значень зменшується у східному напрямі. Біля берегів Криму вона становить 1 м і менше, біля кавказького узбережжя вона зростає до 1,5-2 м. Як правило, процес згін-нагін - короточасний, що робить його небезпечним для господарської діяльності в зоні берегової межі.

Так, в Одесі 26 листопада 1964 р. рівень моря протягом 7 год. впав на 1,75 м. Такі випадки бувають нечасто, але підйоми чи опускання рівня моря на 1 м – звичайні події для північно-західної частини Чорного моря. Найбільш значні відгінно-нагінні коливання рівня Чорного моря відзначаються восени та взимку на західному та північно-західних ділянках морського узбережжя.

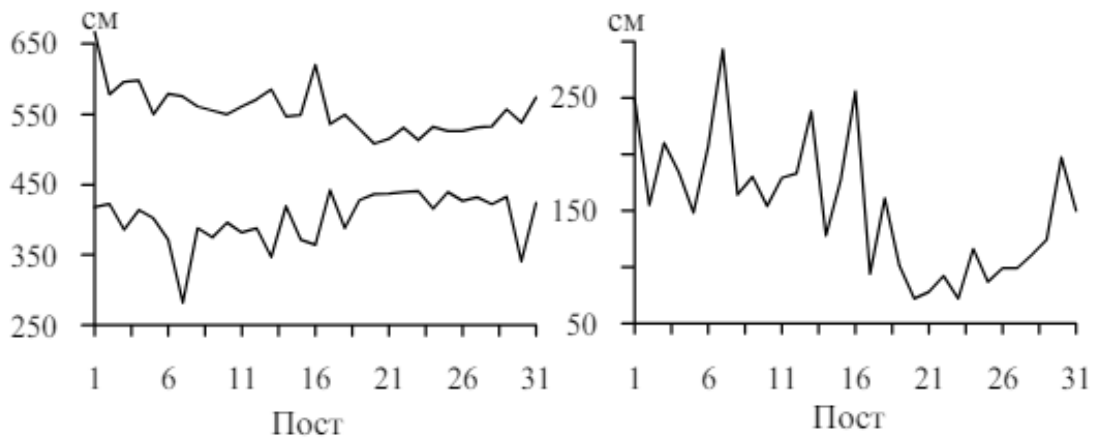


Рисунок 1.1 – Максимальні та мінімальні значення рівня Чорного моря (ліворуч) та їх різниця (праворуч) для різних гідрометеорологічних постів за даними термінових спостережень [1]

Розподіл максимальних та мінімальних термінових значень рівня виявляє такі закономірності. Для максимальних термінових значень найбільші величини характерні для першої половини року в районі Вилкове – Білгород-Дністровський, при цьому особливо великі величини відзначаються у листопаді-грудні у районі Одеси. У цей же період згущення ізолій виділяється в районі Поті. Взимку підвищені значення зсувів рівня притаманні району Хорли.

Найменші мінімальні значення рівня типові для районів Одеса – Очаків, Станіслав – Хорли та Поті в зимовий період.

За характером розподілу різниці між екстремумами термінових значень рівня північне узбережжя моря досить чітко поділяється на дві частини (рис. 1.2). Максимальні значення рівня протягом усього року спостерігаються у західній частині чорноморського басейну (Вилкове – Чорноморське), мінімальні – у центральній та східній частині (Євпаторія – Поті). При цьому, з жовтня до квітня у західній частині моря різниця значень рівня становить 120 - 160 см. Вона мало змінюється по простору, а з травня по вересень дорівнює 80-120 см. У східній та центральній частинах басейну зміни рівня як за простором, так і згодом відносно невеликі і становлять 60-80 см. Вищі значення рівня характерні для Поті.

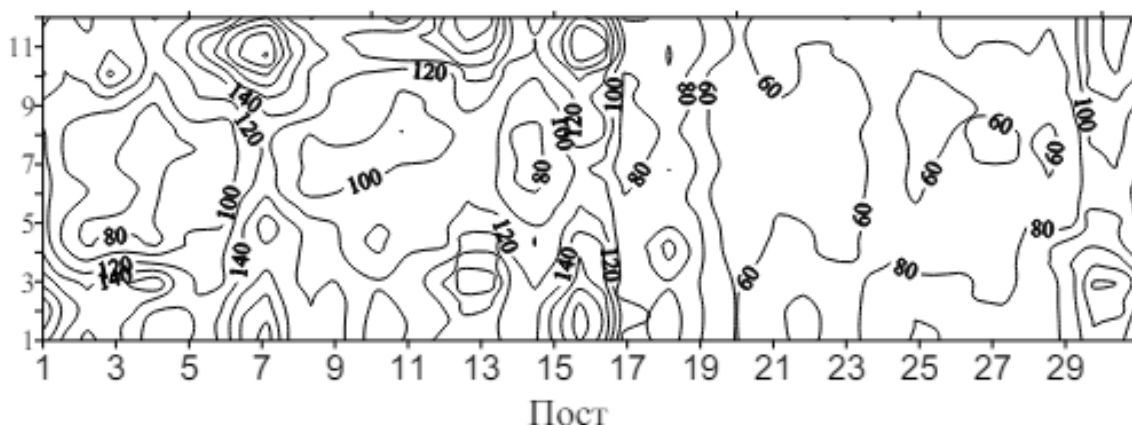


Рисунок 1.2 – Різниця (см) між максимальними та мінімальними терміновими значеннями рівня у різних пунктах узбережжя Чорного моря [1]

Відгінно-нагінні коливання можуть супроводжуватися підйомом з глибини холодної води моря. У рекреаційних зонах Чорноморського узбережжя такі події мають вкрай негативні економічні наслідки. Яскравий приклад - це коливання рівня Чорного моря, що наздоганяються, наприкінці серпня - початку вересня. 1947 р., що охопили узбережжя від Одеси до Батумі. Температура води в Одесі знизилася за цей час із 19,5 до 10,9°, у Кацівелі - з 22,3 до 8,8 ° С, у Ялті - з 22,3 до 9,4 ° С, у Феодосії - з 18,3 до 11,4 ° С, в Сочі - з 26,3 до 19,7 ° С, в Батумі - з 27,5 до 22,1 ° С.

Коливання рівня моря в прибережних акваторіях і на мілководдях чинять вагомий вплив на різні галузі господарської діяльності: морське транспортування, освоєння шельфових родовищ, проектування та зведення гідротехнічних об'єктів, а також організацію відпочинку на узбережжі. Особливу небезпеку становлять штормові підняття води, які несуть ризик для приморських населених пунктів, спричиняючи економічні збитки та іноді навіть призводячи до загибелі людей. У межах портових водозбірних територій підвищення рівня моря загрожує підтопленням прилеглих ділянок, тоді як його зниження створює ризик посадки суден на мілину.

Такі явища мають нерегулярний, несезонний характер і належать до категорії анемобаричних процесів, тобто спричинених вітром і атмосферним тиском, і розгортаються в межах синоптичних частот. У практичній діяльності їх поділяють на відгінно-нагінні (викликані вітровим тиском) та барометричні (пов'язані зі змінами тиску в атмосфері). Штормові нагони — це різкі зміни рівня моря, які виникають унаслідок швидкого пересування зон низького або високого тиску над водною поверхнею.

Формування анемобаричних коливань зумовлюється комбінацією двох основних чинників — тиску повітря та сили вітру. Барометричні зміни рівня описуються згідно з принципом «зворотного барометра»: при зниженні або підвищенні атмосферного тиску на 1,3 гПа, рівень моря змінюється на 13 мм. У природних умовах тиск супроводжується виникненням вітрового поля, що призводить до появи дрейфових течій, які спрямовані перпендикулярно до напрямку вітру. У мілководних зонах кут відхилення течій залежить від співвідношення глибини води (H) до глибини тертя (D): коли $H/D < 0,1$, напрямок течії збігається з вітром. Відповідно, у відкритому морі підняття рівня буде найбільшим при вітрі, що дме вздовж берега, а в прибережних ділянках — коли вітер спрямований перпендикулярно до узбережжя.

Окрім прямого вітрового та барометричного впливу, баричні системи, що рухаються над морською поверхнею, можуть спричиняти появу довгих хвиль (тривалістю близько 10 хв), вплив яких часто перевищує ефект від тиску й вітру.

Найбільш виражене підняття рівня відбувається під впливом швидкорухомих циклонів. Якщо хвиля великої довжини є основним джерелом підйому, то спочатку відбувається короткочасне зниження рівня, зумовлене подошвою хвилі, після чого настає стрімке зростання — через проходження гребеня.

У випадку відгінно-нагінних коливань механізм дещо інший. У результаті дії дрейфових і градієнтних течій поблизу берегової лінії виникає особливий тип циркуляції. На мілководді сила Коріоліса втрачає свій вплив, тоді як донне тертя посилюється. Щоб компенсувати дрейфовий приплив до берега, потрібне суттєве збільшення ухилу рівня, а отже, зі зменшенням глибини амплітуда таких коливань збільшується.

На початковому етапі відбувається накопичення води поблизу берега завдяки дрейфовому потоку. Зростання рівня утворює градієнт тиску, який стимулює зворотний відтік. Таким чином, формується стійке підвищення рівня, яке триватиме доти, поки не зміниться сила, що його зумовила. Якщо інтенсивність вітру змінюється, після короткої адаптації знову встановлюється новий рівень рівноваги при іншому нахилі водної поверхні.

Розвиток і масштабність відгінно-нагінних коливань залежать від напрямку вітру стосовно берегової лінії. Причому амплітуда цих змін на різних гідрометеостанціях, навіть розташованих поруч, може значно варіюватися [1,3,4].

У роботі [1] наведено результати чисельного моделювання змін рівня, спричинених переміщенням циклонів над Чорним морем, а також проведено порівняння отриманих даних з фактичними спостереженнями для низки прибережних пунктів. Ідентифіковано кілька основних траєкторій руху атмосферних утворень, що викликають екстремальні підйоми або спади рівня. Наприклад, у зонах Чорноморська та Одеси зафіксовано, що найбільше зниження спричиняють циклони із західним напрямком, а найбільші підняття — при русі циклонів з південного заходу.

Під час аналізованого періоду спостерігались небезпечні рівневі явища одночасно на гідрометеостанціях «Чорноморськ» та «Південний». На рис. 1.3

наведено карти атмосферного тиску станом на 00 годин 10 та 11 листопада 2007 року [5], які ілюструють рух південного циклону, що сформувався на Балканах і переміщувався над акваторією Чорного моря. Вранці 10 листопада на північному заході моря був південний і південно-східний вітер зі швидкістю 13–18 м/с, що викликало підйом рівня: у Чорноморську — на 37 см, у Південному — на 48 см, а в Одеському порту — на 27 см. Надвечір того ж дня і вранці наступного вітровий потік змінився на західний і північно-західний, посилившись до 17–23 м/с. Внаслідок цього рівень води в Чорноморську впав за 18 годин з 518 см до 417 см (на 101 см), у Південному — з 528 см до 430 см (98 см), а в Одесі — з 507 см до 420 см (87 см). Таким чином, було зафіксовано одночасне критичне зниження рівня у всіх портах. Це свідчить, що навіть під час потужного шторму падіння рівня може переважати над його підйомом у північно-західній частині Чорного моря.

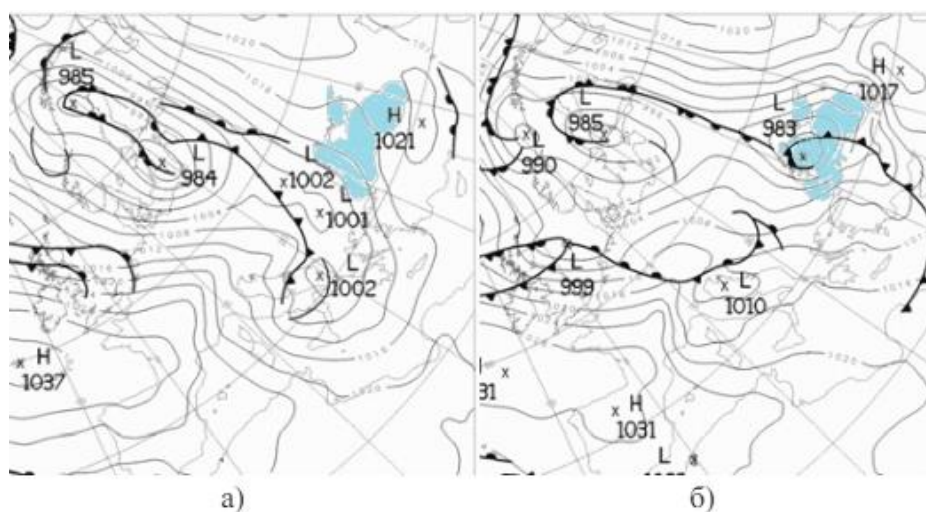


Рисунок 1.3 – Синоптичні умови над Чорним морем станом на 00:00 10 листопада (а) та 00:00 11 листопада (б) 2007 року [5]

Згідно з інформацією з опублікованих праць [4, 6], циклон згодом перемістився в акваторію Азовського моря, де спричинив хвилі висотою від 3,5 до 4,0 метрів у Керченській протоці. Внаслідок штормової стихії в протоці зазнали лиха загалом чотири судна, шість опинилися на мілководді, а на двох

танкерах було зафіксовано пробоїни, що призвело до вилиття в море приблизно 3 тисяч тон мазуту та близько 6 тисяч тон сірки. Загальні економічні втрати оцінюються приблизно в 900 мільйонів доларів США [7].

1.3 Фактори та компоненти, що впливають на коливання рівня

Оцінювання ступеня впливу вітрових явищ та змін атмосферного тиску на виникнення відгінно-нагінних коливань рівня води в прибережних зонах західного й північно-західного узбережжя Чорного моря здійснювалося за допомогою низки аналітичних методів, викладених у роботах [8, 9].

Так, у дослідженні, присвяченому аналізу гідродинамічних процесів у прибережній зоні Болгарії, було застосовано спектральний підхід до вивчення лінійних систем із трьома вхідними змінними (атмосферний тиск і дві компоненти сили вітру) та одним вихідним — варіаціями рівня моря, очищеними від сезонних та припливних збурень. У роботі розглядалися дані, зібрані протягом семи місяців — з квітня по жовтень 1979 року. Отримані результати продемонстрували, що ключовим фактором, який впливає на зміну рівня води у вказаному регіоні, є вітрова компонента, орієнтована уздовж берегової лінії.

У діапазоні частот від 0 до 0,5 циклів на добу, було встановлено високий ступінь когерентності між цією складовою вітру та рівнем моря, що виявилось у таких значеннях для окремих гідрологічних станцій: у Варні — 0,5 цикл/доба, у Іраклі — 0,45 цикл/доба, для Бургаса — 0,25 цикл/доба влітку і 0,40 цикл/доба взимку, а для Ахтополя — відповідно 0,25 та 0,45 цикл/доба в теплий та холодний періоди року.

Поперечна складова вітрового поля, орієнтована перпендикулярно до берегової лінії, не виявила суттєвого впливу на формування змін рівня моря. Аналогічно, зміни атмосферного тиску мали мінімальне значення в загальній картині коливань рівня.

Схожий підхід до аналізу було використано для оцінки ролі метеофакторів у зміні рівня води в районі порту Іллічівськ (нині Чорноморськ). У цьому

випадку було проаналізовано часові ряди спостережень за рівнем моря, атмосферним тиском та вітровим режимом за 1977 рік. Встановлено, що домінуючим чинником, який визначає коливання рівня, є вітер, тоді як барометричні зміни мають другорядне значення. Розраховані коефіцієнти регресії для зв'язку між компонентами вітру та рівнем води, що базуються на середніх значеннях модулів відповідних характеристик, склали $1,377 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ для західно-східної (зональної) компоненти та $1,561 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ для північно-південної (меридіональної), що відображено на рис. 1.4.

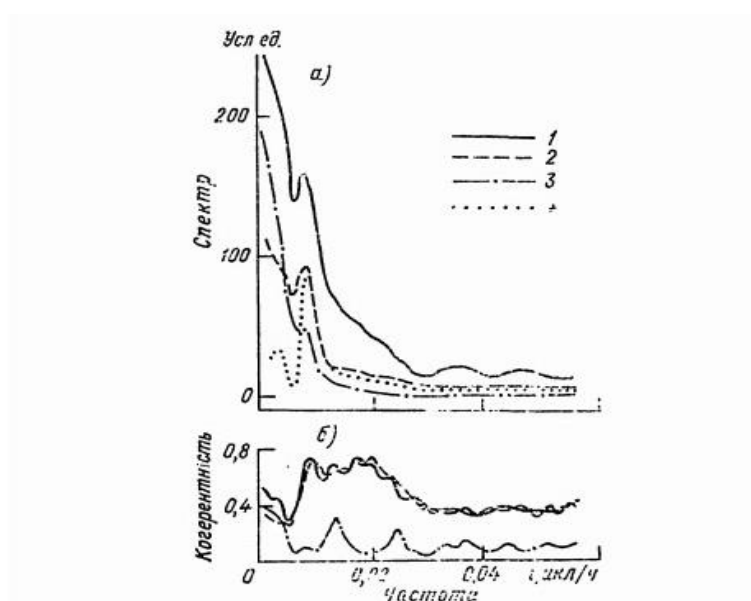


Рисунок 1.4 – Спектральні властивості лінійної системи з двома вхідними параметрами (атмосферний тиск і модуль швидкості вітру) та одним вихідним (рівень моря) для гідрологічного поста Іллічівськ:

- а) енергетичні спектри вітрової швидкості (1), атмосферного тиску (2), рівня моря (3) та обчисленого рівня (4);
 б) когерентність за частотами: між швидкістю вітру (1) й атмосферним тиском (3) із рівнем моря, а також множинна когерентність (2)

На зміни рівня води в прибережній зоні також істотно впливають форма берегової лінії, характер морського дна та особливості гідрологічного режиму

узбережжя. Сукупна дія цих факторів зумовлює різноманітність проявів відгінно-нагінних процесів у прибережних ділянках акваторії [3].

Орієнтовне уявлення про масштаб змін рівня, спричинених цими явищами в різних частинах моря, можна отримати на основі багаторічних спостережень за екстремальними значеннями рівня. Відповідні амплітуди представлені на рис. 1.5.

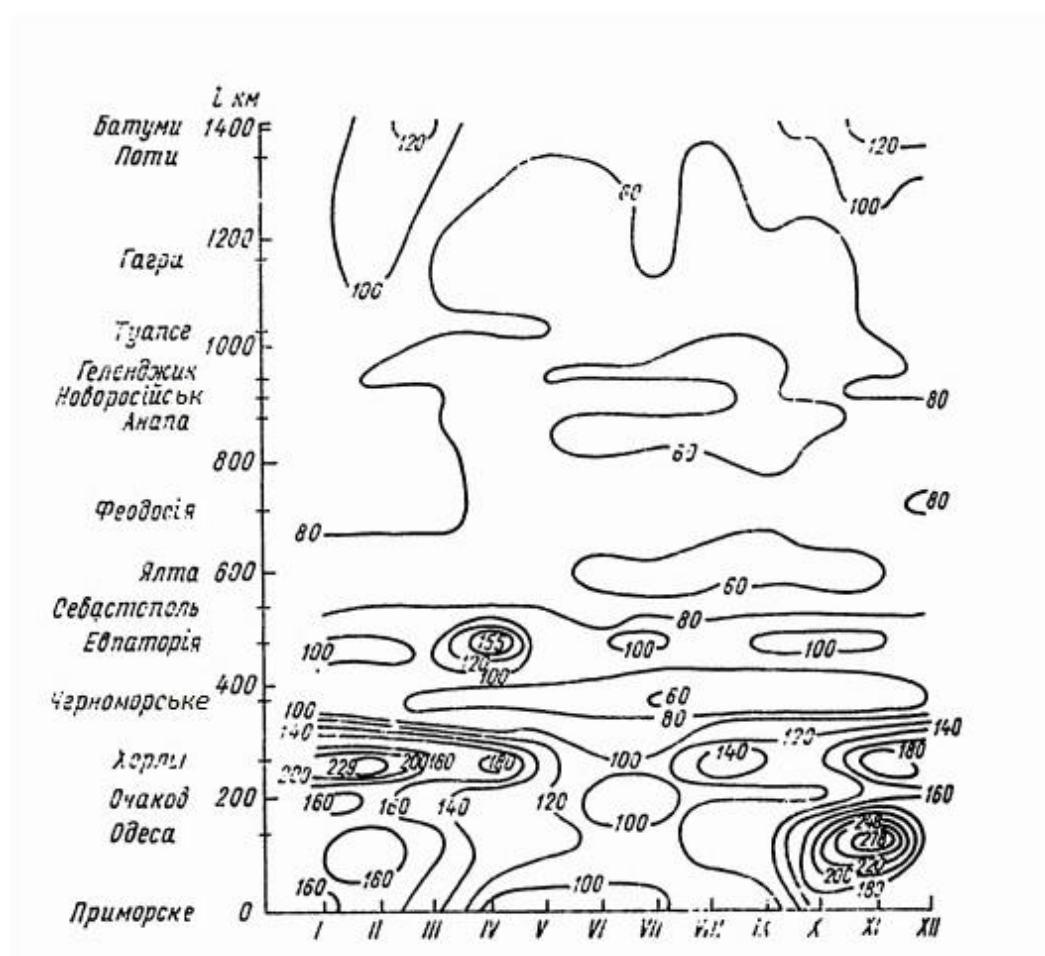


Рисунок 1.5 – Максимальні місячні коливання рівня моря в прибережній смузі, см [3]

Головним фактором, що спричиняє відгінно-нагінну циркуляцію, виступає вітер, зокрема його інтенсивність та напрям.

Напротязі календарного року в акваторії Чорного моря переважають повітряні потоки з північно-східної чверті — на їх частку припадає близько 35–

40% усіх напрямків. У холодний сезон, особливо восени та взимку, в окремих регіонах ця частка може сягати 40–50%. Штормові вітри з цього напрямку хоч і рідко охоплюють усю акваторію, однак найчастіше їх фіксують у північно-східній частині моря та вздовж північного узбережжя [10].

Водночас на південному та південно-східному узбережжі Кримського півострова, яке природно захищене Кримськими горами, така вітрова активність виражена значно слабше. Ще меншою є частота потужних північно-східних вітрів у південно-східній частині моря, де захист забезпечують Кавказькі гори [8].

Другу позицію за частотою займають вітри східного та південно-східного напрямків, які в середньому спостерігаються у 25–30% випадків протягом року, а в окремі місяці влітку їх повторюваність зростає до 35–40%.

Штормові вітри північно-східного напрямку формують у Чорному морі тривалі дрейфові течії, які прямують у західному напрямку і є складовою поперечної циркуляції. Такі потоки спричиняють підйом вод глибинного шару в центральній частині моря. Ці ж вітри викликають нагін води до північного та західного узбережжя, формуючи гідравлічний підпір у гирлах річок Дністер та Дунай.

Західні та південно-західні вітри, навпаки, обумовлюють відгінні явища у західній частині акваторії та поблизу Південного узбережжя Криму. Особливо інтенсивні згони спостерігаються, коли сильні південні вітри раптово змінюються на західні. У таких випадках утворюються поверхневі потоки, які переміщуються вздовж північного узбережжя в напрямку зі заходу на схід. Іноді згони поширюються на значну відстань, досягаючи не лише кримського, але й кавказького узбережжя. Найбільш значні коливання рівня (як відгінні, так і нагінні) спостерігаються під впливом тривалих вітрів одного напрямку, швидкість яких перевищує 6 балів за шкалою Бофорта та охоплює велику частину морської поверхні.

1.4 Приклади великих відгінно-нагінних коливань рівня моря

Розглянемо приклади екстремальних згонів і нагонів рівня води, що виникали під час штормів із різними напрямками вітру. За базову позначку для аналізу коливань приймається середній рівень моря за місяць.

У період із 7 по 10 березня 1970 року над акваторією Чорного моря пронісся сильний шторм зі східним і північно-східним напрямком вітру. Його поява була зумовлена взаємодією потужного антициклону, що знаходився над територією Європейської частини СРСР, з областю пониженого тиску над Туреччиною і Середземномор'ям (рис. 1.6).

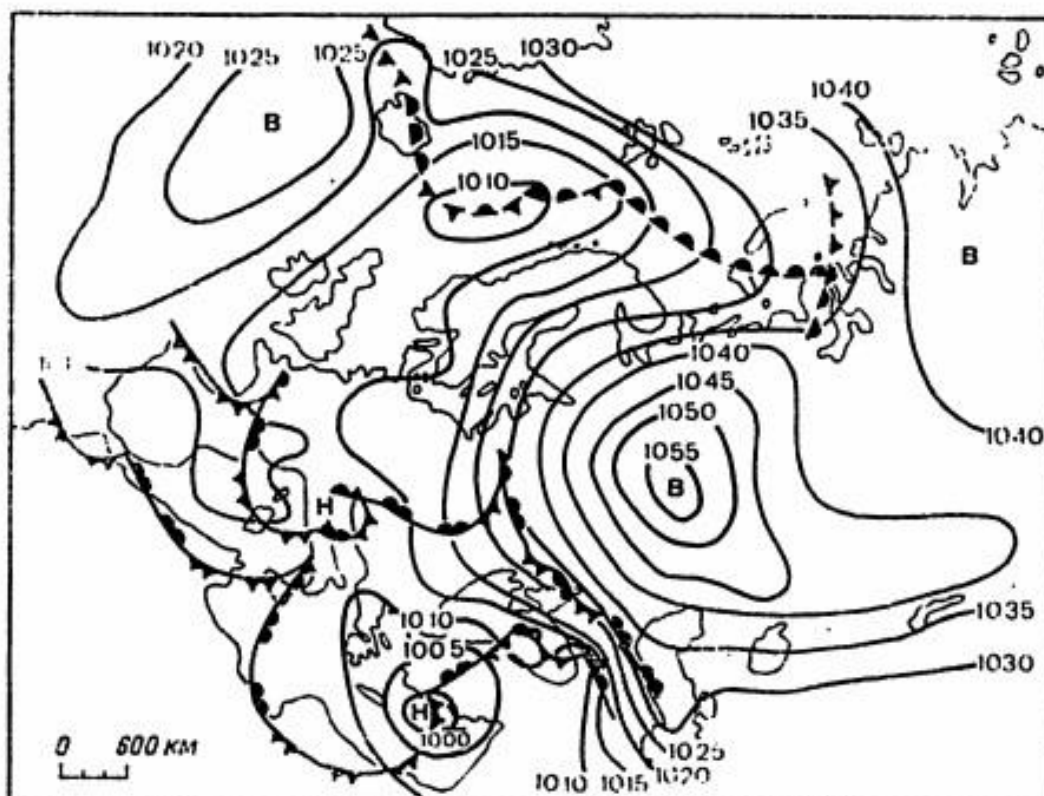


Рисунок 1.6 – Синоптична карта 9 березня 1970 р 15 год 00 хв [10]

Увечері 7 березня почав дути південно-східний вітер, який поступово посилювався протягом наступної доби до 10–12 м/с. Згодом напрямок змінився на східний і північно-східний, а 9 березня швидкість повітряного потоку сягала

вже 18–25 м/с. На окремих метеостанціях були зафіксовані пориви до 30–35 м/с, а в окремих районах Чорного моря — до 40 м/с.

Тривале штормове вітрове навантаження стало причиною підняття рівня води в акваторіях Одеської та Феодосійської заток, водночас спостерігалось зниження рівня в Каркінітській затоці та поблизу кавказького узбережжя. Динаміку змін рівня моря у цей період ілюструють графіки строкових показників рівня та сили вітру (рис. 1.7).

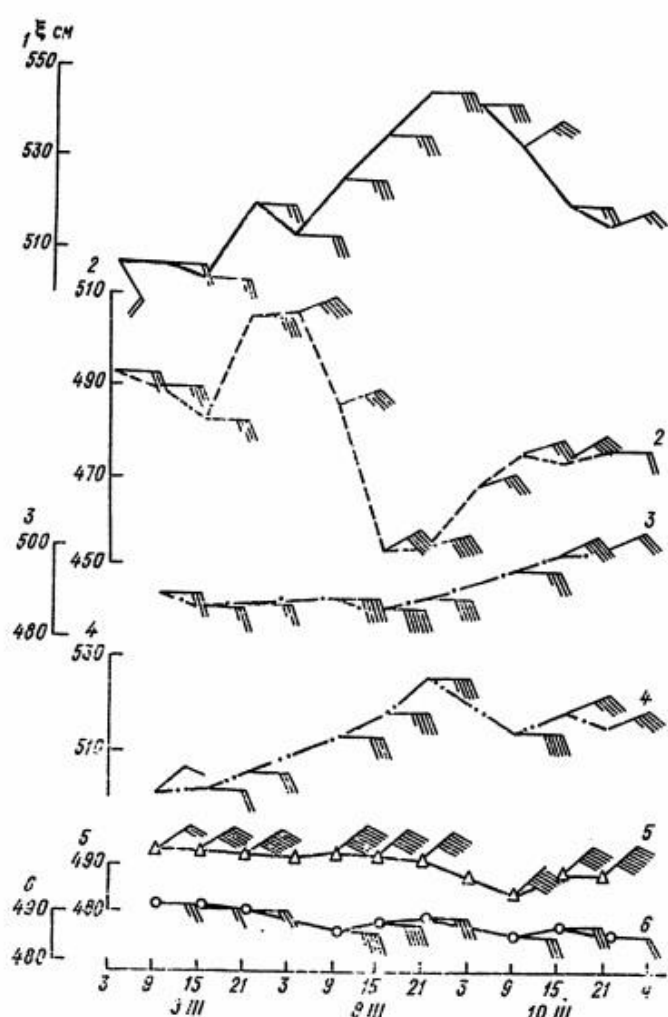


Рисунок 1.7 – Хід рівня в прибережній зоні у березні 1970 р по даним строкових спостережень: 1 – Одеса; 2 – Хорли; 3 – Чорноморське; 4 – Феодосія; 5 – Новоросійськ; 6 – Поті [10]

Згідно з даними гідрологічних постів, кожна фаза — як нагону, так і зниження — тривала орієнтовно 1,5 доби [5]. Найінтенсивніші коливання відзначались у північно-західному секторі моря. Найбільше підвищення рівня за годину, відносно середньомісячного значення, було зафіксовано у Приморському — 81 см, в Одесі — 46 см, у Феодосії — 27 см.

Інший значущий епізод мав місце з 25 по 27 листопада 1964 року, коли над морем бушував шторм із північно-західним напрямком вітру. Його причиною став циклон, центр якого на момент розвитку знаходився над Ботнічною затокою, а далі він рухався на південний схід зі швидкістю близько 40 м/с. У північно-західній частині акваторії вітер досягав швидкості 16–24 м/с, а в районі Криму та лінії Керч–Туапсе — до 20–30 м/с. Картина розподілу тиску повітря подана на рис. 1.8.

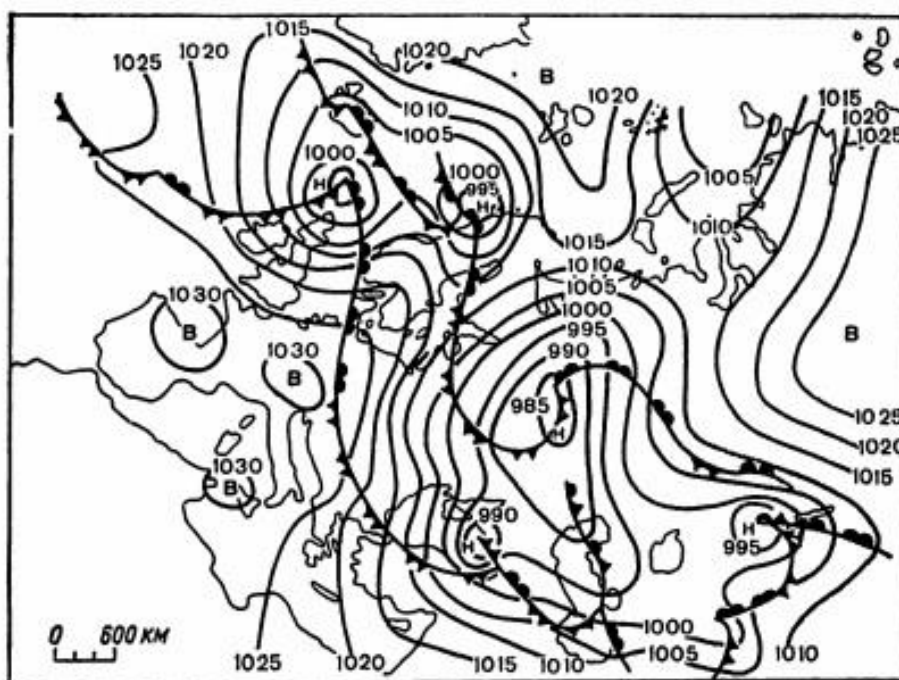


Рисунок 1.8 – Синоптична карта 26 листопада 1964 р 15 год 00 хв [10]

Викликаний штормом згін послідовно поширювався з півночі на південь і охопив усе узбережжя Чорного моря (рис. 1.9).

позначка, 282 см, була зафіксована о 12:30, і цей рівень утримувався близько двох годин.

У районі Кавказу, навпаки, у цей період відмічалось підвищення рівня моря, яке виникло через нагін води вітром, що був спрямований проти основної течії. Згін тут досяг максимуму із запізненням приблизно на 47 годин порівняно з північно-західною частиною моря. Проте висота коливань не перевищила 10–12 см, що пояснюється активною компенсацією поверхневих вод за рахунок глибинних мас. Це також проявилось у зниженні температури води у прибережних районах від Вилкового до Батумі, хоч і не настільки різко, як зазвичай влітку.

Ще один характерний випадок спостерігався 17 жовтня 1958 року під час шторму південно-східного напрямку, який виник унаслідок проходження переднього фронту поглиблюючого циклону. Циклон швидко переміщувався з південного заходу Балкан у північно-східному напрямку. Швидкість вітру подекуди досягала 20–24 м/с. Посилення почалося вночі й тривало близько 10–12 годин. Найвищої швидкості вітер набрав у північно-західному секторі моря о 13:00, а в східній частині — на 6–8 годин пізніше (рис. 1.10).

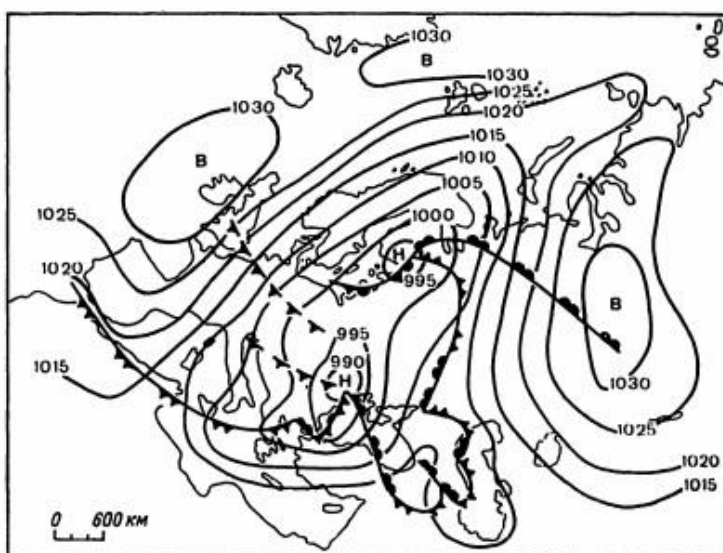


Рисунок 1.10 – Синоптична карта за 15 год 17 жовтня 1958 р. [10]

Вітри південно-східного та південного напрямків викликали згін води від кавказького та східного узбережжя Криму, а також нагін у північних і західних районах моря, включно з західним узбережжям Криму (рис. 1.11).

У результаті рівень моря в Одесі піднявся до 571 см. Із переходом вітру до південно-західного напрямку наприкінці дня зі швидкістю 10 м/с відбулося підвищення рівня поблизу берегів Криму та Кавказу, у той час як у західній і північно-західній частині моря фіксувалося зниження.

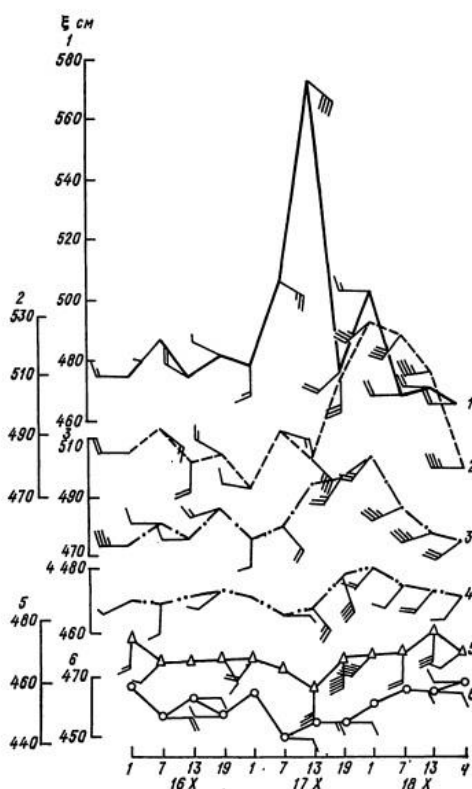


Рисунок 1.11 – Хід рівня моря в прибережній зоні у жовтні 1958 р по даним строкових спостережень: 1 – Одеса; 2 – Хорли; 3 – Чорноморське; 4 – Феодосія; 5 – Новоросійськ; 6 – Поті [10]

З метою систематизації знань про змінність рівня моря, зумовлену відгінно-нагінними явищами, були опрацьовані довгострокові результати гідрометеорологічних спостережень, проведених на прибережних постах. Аналіз базувався на чотирикратних щоденних вимірах рівня за період 1948–1980 рр.

Виявлено, що у західній частині акваторії (район Приморського) інтенсивні підйоми рівня пов'язані переважно з вітрами північно-східного, східного та східно-північного напрямків. У північно-західній зоні (Одеса, Очаків) ключову роль відіграють південно-східні вітри. У межах Каркінітської затоки (Хорли, Чорноморське) зростання рівня викликається впливом південного й південно-західного вітрового потоку.

Найбільш значущі відгони у західній та північно-західній частинах моря (за винятком Каркінітської затоки) пов'язані із впливом вітрів західного та північно-західного походження. У Каркінітській затоці (за показниками зі станції Хорли) найбільш виразну згінну дію мають північно-північно-східні та північно-східні вітри. В прибережних районах Криму та Кавказу амплітуди змін рівня води, викликані цими процесами, менш помітні, а залежність коливань від напрямку вітру значно згладжена. Тут, на гідропостах, можна одночасно спостерігати як згони, так і нагони за схожих вітрових умов. Це зумовлено тим, що в глибоководній частині моря, на відміну від прибережної зони, вирішальну роль відіграють не місцеві вітри, а ті, що панують над відкритими водами. Ці вітри часто не фіксуються береговими приладами через спотворення їх характеристик складним гірським рельєфом [10].

Найбільші амплітуди відгінно-нагінних змін (понад 30 см) зазвичай спостерігаються у північно-західному та західному секторах у холодну пору року – восени та взимку. Так, у Приморському максимальний нагін (115 см) припав на лютий, а згін (76 см) – на жовтень. В Одесі найвищий нагін (100 см) зафіксовано у жовтні, а найбільший згін (182 см) – у листопаді. В Хорлах нагін досягав 112 см у лютому, а згін – 93 см у січні)

На основі аналізу даних про чотириразові вимірювання встановлено, що типові амплітуди відгінно-нагінних явищ у північно-західній частині Чорного моря становлять 30–40 см. У регіонах Приморського та Очакова такі коливання спостерігаються переважно у холодні місяці – з осені до весни. В Одесі й Хорлах вони можуть виникати упродовж усього року, хоча в літній період трапляються рідко. Коливання рівня понад 40 см зазвичай мають сезонний характер і

переважно виникають восени та взимку. У Приморському в період з 1952 по 1963 роки кількість випадків з підвищенням рівня понад 40 см становила 3,9%, а зі зниженням – 2,0%. Для Одеси (1948–1980 рр.) ці значення склали 1,6% і 7,0% відповідно, а для Хорлів – 4,0% і 6,1%. Щодо більш інтенсивних коливань, тобто понад 50 см, то їх повторюваність була ще меншою: у

Приморському – 1,9%, в Одесі – 0,5%, в Очакові – 0,2%, у Хорлах – 1,8% для нагонів; та 0,4%, 3,2%, 0,7% і 2,0% відповідно для згонів.

Отже, багаторічні дані свідчать, що в Приморському частіше трапляються сильні нагони, ніж згони; в Одесі та Очакові – навпаки, переважають згони; а в Хорлах обидва типи коливань спостерігаються з приблизно однаковою частотою. Згони та нагони понад 60 см – явище виняткове. На узбережжі Криму амплітуди здебільшого не перевищують 20 см, хоча в окремі дні можливі значення 30–40 см. На узбережжі Кавказу зміни рівня моря зазвичай обмежуються 20 см, рідше – 30 см.

Результати спостережень добре узгоджуються з теоретичними розрахунками М. Енгеля [10], який за допомогою НН-методу виконав оцінку величини вітрових нагонів для різних напрямів вітру. Наприклад, східний вітер зі швидкістю 20 м/с зумовлює нагін близько 55 см в районі Вилкового та 44 см в районі Одеси, а при південному напрямі – відповідно 70 см і 66 см. Максимальний нагін (79 см) в Одесі був обумовлений вітром південно-південно-східного напрямку.

Для практичного застосування важливо також розуміти тривалість і темпи зниження або підвищення рівня води. Початком згону вважалось найвище положення рівня перед падінням, а для нагону – найнижче перед підйомом. Різниця між цими значеннями і є величиною явища, а проміжок часу – його тривалістю (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Характеристики значних (більш 30 см) підйомів (1-й рядок) та спадів (2-й рядок) рівня моря на ст. Одеса та Феодосія з [10]

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

У північно-західному районі тривалість таких процесів зазвичай коливається від 2 до 57 годин, залежить від сили, тривалості та напрямку вітру. Спади на 70–80 см в Одесі фіксувалися протягом 7–57 годин. Найглибший спад – 175 см – фіксувався 6 год 50 хв, а максимальний підйом – 100 см – фіксувався 13 год 10 хв. У Каркінітській затоці (за даними з Хорлів) відзначаються коротші тривалості: у 30–40% випадків явища тривали 5–10 год, у 20% – менш ніж 5 годин.

На кримському узбережжі тривалість коливань дещо більша. Наприклад, у районі Феодосії підйоми тривалістю 20–25 год трапляються у 31% випадків, а спади тривалістю 10–15 год – у 55,5%. Короткі коливання (5–10 год) – рідкість (лише 3–5%).

На ділянках Кавказького узбережжя у 40% випадків підйоми та зниження рівня тривають 15–20 год, тоді як швидкі (до 10 год) – спостерігаються дуже рідко.

Таким чином, у мілководних північно-західних районах підйоми та спади води відбуваються значно швидше, ніж у глибоководних прибережних зонах Криму та Кавказу. Середня швидкість зміни рівня становить: в Одесі та Очакові – 2–6 см·год⁻¹, у Хорлах – 4–8 см·год⁻¹, а в районах Феодосії, Новоросійська, Туапсе, Поті та Батумі – 1–2 см·год⁻¹. Максимальні значення швидкості в північно-західних районах досягають 20–25 см·год⁻¹, в інших регіонах – 3–6 см·год⁻¹.

2 МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ

В бакалаврській роботі використовувались максимальні, мінімальні строкові і середні місячні значення рівня моря а також характеристики вітру (напрями і швидкості) на станціях Цареградське гирло, Чорноморськ, Одеса та Южний. Вихідні дані містяться в таблицях ТГМ. Положення станцій показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Положення станцій Цареградське гирло, Чорноморськ, Одеса та Южний [11]

Ряди спостережень за рівнем моря мають наступну тривалість: для гідрометеорологічної станції Цареградське гирло дані охоплюють період з 1975 по 2016 роки, тоді як для станцій Чорноморськ і Южний спостереження проводились з 1986 по 2016 роки, Одеса – з 2018 по 2023 роки.

Гідрометеорологічна станція Цареградське гирло розміщена поблизу Дністровського лиману в мілководній прибережній зоні, де середні глибини не перевищують 10 м, а ізобата 20 м проходить на відстані до 50 км від урізу води. Усі гідрологічні характеристики цього району залежать від річкового стоку

Дністра та особливостей мілководного рельєфу [12]. Цареградське гирло є штучно поглибленою, вузькою судноплавною протокою, що з'єднує Чорне море з Дністровським лиманом. Глибина в самій протоці в середньому сягає 10 м, тоді як на порозі, що розділяє її з лиманом, – близько 6 м. Після порогу дно стрімко знижується до моря. У напрямку від гирла до моря простежується видовжене заглиблення, сформоване течією, довжиною до 0,5 км, після чого глибини поступово зменшуються. Характерна будова вузької та короткої протоки з різким перепадом глибин і стрімкими береговими схилами, сформованими землесосами, обумовлює специфічний режим водообміну – поперечні течії тут практично відсутні, а потік, лиманний або морський, зберігає прямолінійність від поверхні до дна вздовж осі протоки, незалежно від його первинного напрямку. Рівень у Дністровському лимані формується під дією декількох факторів: вітрових нагінно-відгінних процесів, припливу річкових вод і обміну з морем. Середні багаторічні значення рівнів води по акваторії лиману практично не відрізняються – у його середній частині рівень перевищує показник біля гирла лише на 2 см. Протягом року рівень води зазвичай підвищується з листопада по червень, а влітку та восени повільно знижується.

Гідрометеорологічна станція Чорноморськ розміщується в межах акваторії Сухого лиману, де функціонує однойменний морський торговельний порт. Завдяки розташуванню в захищеному лимані, який через вхідний канал сполучається з морем, створюються сприятливі умови для захисту порту від дії хвиль і течій, що забезпечує можливість судноплавства протягом усього року. Наявність значних глибин в підхідних каналах та акваторії дозволяє обслуговувати судна великого тоннажу.

Станція Южний розташована в межах Григорівського лиману, де функціонує однойменний морський порт. Григорівський лиман, що є порівняно невеликим прибережним водоймищем [13], знаходиться на схід від Одеси на відстані близько 30 км. Його довжина сягає 7,3 км, ширина — до 1,2 км (у середньому близько 0,8 км), площа водної поверхні складає близько 6,0 км². У сучасному вигляді лиман має штучне сполучення з морем. Його формування

пов'язане із затопленням гирла річки Малий Аджалик та наступним відокремленням від моря пересипом. Після прориву пересипу й утворення протоки (близько 500 м завширшки), а також після побудови у 1978 році судноплавного каналу та виконання днопоглиблювальних робіт для організації причалів порту Южний та Одеського припортового заводу, лиман набув властивостей морської затоки з характерним гідрологічним та гідрохімічним режимом.

Для аналізу використовувались стандартні методи статистичної обробки інформації, прийняті в гідрометеорології [14]. Розраховувались повторюваності відгінно-нагінних коливань різної інтенсивності, тривалість підйомів та спадів рівня, повторюваності напрямів та швидкості вітру, при яких розвиваються відгінно-нагінні коливання рівня моря. Також виконувався аналіз тенденцій багаторічних змін відгінно-нагінних коливань рівня моря в північно-західній частині Чорного моря.

3 ВІДГІННО-НАГІННІ КОЛИВАННЯ РІВНЯ МОРЯ В РАЙОНІ ПОРТУ ЧОРНОМОРСЬК, ОДЕСА, ЮЖНИЙ І ЦАРЕГРАДСЬКЕ ГИРЛО

Сильні вітрові дії над акваторією Чорного моря викликають виникнення відгінно-нагінних змін рівня води, які значною мірою впливають на морськогосподарську діяльність у прибережних районах. [15]. Зокрема, в портах підйом рівня води може спричинити затоплення прибережних територій, а спад – загрозу осідання суден на мілину. Саме тому вивченню варіацій таких коливань рівня надається особлива увага, особливо в контексті загального тренду підвищення рівня Чорного моря. У наукових публікаціях вже містяться деякі оцінки щодо просторової та часової змінності характеристик відгінно-нагінних явищ у північно-західній частині моря, зокрема для акваторії Одеського порту.

Порти Южний, Чорноморськ, район Цареградського гирла та Одеса відіграють ключову роль у морському господарстві північно-західного узбережжя Чорного моря, тому аналіз характеру відгінно-нагінних змін рівня води протягом останніх років має велике прикладне значення. [16]

3.1 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Цареградське гирло

У синоптичному часовому діапазоні основними чинниками, що формують режим змін рівня, виступають атмосферний тиск і, передусім, вітер. Саме вітер зумовлює розвиток відгінно-нагінних процесів, характер і амплітуда яких залежать від напряму повітряного потоку і геоморфологічних особливостей берегової лінії. Через це навіть на сусідніх гідрологічних постах розмах коливань рівня може істотно різнитися.

У зв'язку зі зміною кліматичних умов на Чорному морі, останнім часом зросла наукова зацікавленість у вивченні штормової динаміки. Проте для північно-західного сектора моря такі комплексні дослідження ще не проводилися, хоча саме тут зосереджено стратегічно важливі порти, діяльність яких суттєво залежить від проявів відгінно-нагінних процесів [1, 3].

Для аналізу змінності цих коливань були використані дані щодо крайніх (максимальних і мінімальних) термінових вимірів рівня води на посту Цареградське гирло. При цьому важливо зауважити, що екстремальні значення не завжди відповідають окремим відгінно-нагінним подіям, оскільки протягом місяця може спостерігатися кілька таких епізодів. Однак багаторічний аналіз екстремальних показників дозволяє оцінити граничний діапазон зміни рівня. Ця інформація є ключовою для оцінки ризиків затоплення узбережжя, забезпечення безпеки судноплавства та інженерного захисту берегової зони.

З метою встановлення впливу екстремальних рівнів на середньомісячні значення було проведено кореляційний аналіз. Результати дослідження показали, що кореляційний зв'язок між цими показниками є значним (коефіцієнт 0,6–0,8), причому сильнішим є зв'язок із максимальними значеннями. Це свідчить про домінування нагінних явищ над відгінними.

Для глибшого розуміння інтенсивності відгінно-нагінних коливань виконано розрахунки частоти відхилень екстремальних значень від середнього рівня за місяць. Для цього на станції Цареградське гирло було визначено градації відхилень по 10 см (0–10, 11–20, 21–30 і т. д.), а потім згруповано за трьома категоріями: до 30 см – незначні коливання; понад 30 см – помітні; понад 50 см – дуже значні, близькі до критичних рівнів.

Таблиця 3.1 - Повторювальність (%) відгінних та нагінних коливань рівня моря різної інтенсивності для станції Цареградське гирло.

| Градація см | Відгін | Нагін |
|-------------|--------|-------|
| < 30 | 79,07 | 81,63 |
| ≥ 30 | 20,93 | 18,37 |
| ≥ 50 | 1,39 | 1,86 |

Як показують дані таблиці 3, більшість відгінно-нагінних коливань не перевищують 30 см і спостерігаються з частотою 75–82 %. Нагінні коливання мають дещо вищу повторюваність у цьому діапазоні (на 1,5 % більше за згінні). У діапазоні понад 30 см, навпаки, частіше трапляються згони. При дуже значних коливаннях (понад 50 см) частота згонів і нагонів приблизно однакова.

Для ефективного планування морськогосподарської діяльності важливо враховувати частоту небезпечних змін рівня, тобто таких, що перевищують або не досягають критичних позначок. Саме ці явища можуть призводити до затоплень, обмілінь, пошкоджень інфраструктури та аварій. У таблиці 3.2 наведені критичні рівні для станції Цареградське гирло.

Таблиця 3.2 – Позначки небезпечного підйому та спаду рівня на станції Цареградське гирло.

| Станція | Тенденція зміни рівня | Небезпечна позначка (см) |
|-----------|-----------------------|--------------------------|
| Цар.гирло | Підйом | 541 |
| | Спад | 426 |

Відповідно до встановлених критичних значень було визначено місячну та річну повторюваність небезпечних згонів і нагонів (табл. 3.3). Небезпечні згони тут виявлялися дуже рідко (0,7 %) і лише у листопаді. Водночас небезпечні нагони найчастіше спостерігались у холодний період року – з листопада по березень (0,7–0,9 % щомісяця), а їх сумарна річна частота досягала 4 %.

Таблиця 3.3 – Повторювальність (%) по місяцях та сумарно за рік небезпечних коливань рівня моря на станції Цареградське гирло.

| Місяць | Нагін | Згін |
|-------------|-------|------|
| I | 0,9 | – |
| II | 0,9 | – |
| III | 0,5 | – |
| IV | – | – |
| V | 0,2 | – |
| VI | – | – |
| VII | – | – |
| VIII | – | – |
| IX | – | – |
| X | 0,2 | – |
| XI | 0,7 | 0,7 |
| XII | 0,7 | – |
| Сума за рік | 4,1 | 0,7 |

Для вивчення тенденцій багаторічної мінливості інтенсивності відгінно-нагінних коливань рівня моря було проведено аналіз варіацій екстремальних річних значень рівня та їх різниць на основі даних термінових досліджень. Було розраховано характеристики лінійних трендів для рядів максимальних і мінімальних значень, а також їх різниць. Результати розрахунків представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики лінійних трендів рядів екстремальних значень рівня та їх різниці на станції Цареградське гирло.

| Рівень | Характеристика | Цареградське гирло 1975 – 2010 рр. |
|---------------|----------------|---------------------------------------|
| Максимальний | T | 0,51 |
| | R ² | 0,22 |
| | Δ | 18,36 |
| Мінімальний | T | 0,85 |
| | R ² | 0,39* |
| | Δ | 30,6 |
| Різниця рівня | T | -0,33 |
| | R ² | 0,06 |
| | Δ | 0,51 |

Примітка: T – кутовий коефіцієнт тренду, R² – коефіцієнт детермінації, Δ – загальна зміна величини, різниця між першим та останнім значенням тренду, * – значущі тренди.

З метою виявлення довгострокових змін інтенсивності цих процесів також було досліджено тренди щорічних екстремальних значень і розмаху між ними. Результати, представлені в таблиці 8, свідчать про наявність позитивних трендів як у мінімальних, так і у максимальних рівнях. Проте темп зростання мінімальних значень був вищим, ніж максимальних.

Як наслідок, амплітуда між ними зменшувалася, що проявилось у негативному тренді різниці рівнів і свідчить про поступове згасання інтенсивності відгінно-нагінних процесів у 1975–2010 рр. (рис. 3.1).

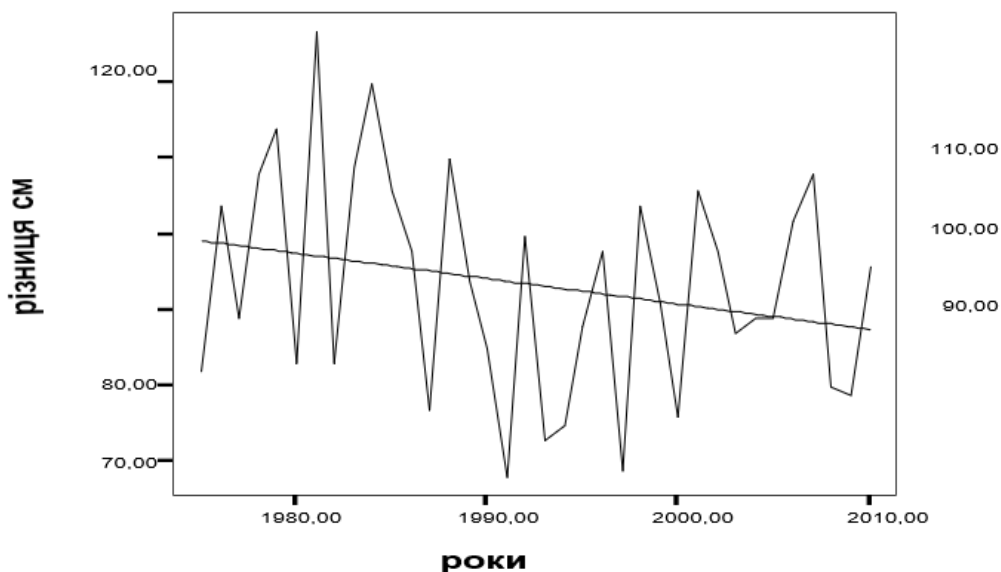


Рисунок 3.1 – Міжрічні коливання різниці максимального та мінімального рівня (по даним термінових досліджень) на станції Цареградське гирло за 1975 – 2010 рр. та лінійний тренд

Таким чином, основним фактором, що обумовив зниження амплітуди відгінно-нагінних коливань на станції Цареградське гирло, стало зростання мінімального рівня. Це призвело до скорочення розмаху згонів на 20 см. Отриманий результат має велике практичне значення для розробки днопоглиблювальних заходів, оскільки саме мілководдя, спричинене відгінними явищами, становить загрозу безпеці судноплавства.

На підставі проведеного аналізу встановлено, що більшість коливань мають низьку амплітуду – до 30 см, з повторюваністю 79 % для згонів і 81 % для нагонів. Небезпечні згони фіксувались лише раз на рік, у листопаді, тоді як небезпечні нагони мали сезонний характер і зустрічались частіше. Виявлено високий ступінь кореляції між середнім і максимальним рівнями, що свідчить про перевагу нагонів. З 1975 по 2010 роки спостерігалось зростання як мінімальних ($T = 0,85$), так і максимальних ($T = 0,51$) рівнів, що зумовило зменшення амплітуди коливань ($T = -0,33$) і, відповідно, інтенсивності відгінно-нагінних процесів. Найбільший внесок у це зниження зробив ріст мінімального

рівня води, що підтверджує зменшення розмаху згонів на 20 см.

3.2 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Южний

До основних чинників, що зумовлюють коливання рівня моря в синоптичному діапазоні частот, належать вітер і атмосферний тиск. Водночас саме вітер є головним рушієм цих процесів, спричиняючи явища відгінно-нагінного характеру. Формування таких коливань значною мірою залежить від напряму вітру та геометричних особливостей берегової лінії. Через це навіть на станціях, які знаходяться на близькій відстані одна від одної, амплітуда рівневих коливань може суттєво відрізнятись.

Проблема вивчення показників штормової активності останнім часом викликає підвищений інтерес у науковців, що пов'язано зі змінами клімату, які спостерігаються в акваторії Чорного моря. Проте північно-західна його частина поки що лишається малодослідженою у цьому контексті. Між тим, саме тут розташовані ключові морські порти, чутливі до впливу відгінно-нагінних явищ, які суттєво впливають на функціонування портової інфраструктури [16].

Щоб оцінити характер мінливості відгону і нагону, було проаналізовано екстремальні (тобто найвищі й найнижчі) миттєві значення рівня моря, зафіксовані на станції Южний.

Варто зауважити, що зафіксовані екстремальні рівні не обов'язково відображають конкретне відгінне або нагінне явище, оскільки протягом одного місяця може відбуватися кілька таких епізодів. Проте, використовуючи багаторічні ряди спостережень, можна здійснити наближену кількісну оцінку амплітуди змін рівня моря. Це має велике значення з позиції безпеки судноплавства, ризику затоплення прибережних територій і планування інженерних заходів захисту узбережжя.

З метою визначення впливу екстремальних значень рівня на середні показники, здійснено аналіз кореляції між місячними максимумами, мінімумами та середнім рівнем. Результати обчислень вказують на досить сильний

кореляційний зв'язок (коефіцієнт у межах 0,6–0,8), причому середній рівень демонструє тісніший зв'язок із максимальними значеннями, що підтверджує переважання нагонів над відгонами.

Для глибшого вивчення інтенсивності відгінно-нагінних процесів було здійснено аналіз частоти екстремальних відхилень від середнього місячного рівня. На станції Южний визначалися частоти відхилень за інтервалами по 10 см (0–10, 11–20, 21–30 тощо), після чого вони були згруповані у три основні категорії: незначні (до 30 см), значні (понад 30 см) і дуже значні (понад 50 см), останні з яких можуть наближатися до критичних рівнів, що фіксуються в північно-західній частині Чорного моря. Підсумкові дані представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Повторювальність (%) відгінних та нагінних коливань рівня моря різної інтенсивності для станції Южний

| Градація | Згін | Нагін |
|----------|-------|-------|
| < 30 | 65,37 | 76,28 |
| ≥ 30 | 34,36 | 23,72 |
| ≥ 50 | 6,73 | 0,96 |

Як показано в таблиці, коливання рівня в межах 30 см від середнього місячного значення трапляються найчастіше — від 65 % до 77 % випадків. Причому кількість нагонів такої інтенсивності переважає кількість згонів — на 10 %.

У категорії значних коливань (більше 30 см) частота згонів, навпаки, вища, ніж нагонів — перевага складає ті ж 10 %. Щодо дуже значних коливань (понад 50 см), найбільша різниця в частоті фіксується на станції Южний — 6,73 % згонів проти лише 0,96 % нагонів.

Під час господарської діяльності в прибережних зонах особливо важливо враховувати випадки екстремального підйому чи спаду рівня, що перевищують критичні позначки. Саме ці процеси створюють ризик виникнення аварійних ситуацій на судах, можуть призводити до осушення або затоплення портових зон, прибережних підприємств і населених пунктів. У табл. 3.6 наведено критичні рівні для станції Южний.

Таблиця 3.6 – Позначки небезпечного підйому та спаду рівня на станції Южний.

| Станція | Тенденція зміни рівня | Небезпечна позначка, (см) |
|---------|-----------------------|---------------------------|
| Южний | Підйом | 540 |
| | Спад | 421 |

Згідно з цими критичними позначками визначалась частота виникнення небезпечних коливань рівня моря — як для кожного окремого місяця, так і в середньому за рік. Підсумки обчислень наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Повторювальність (%) по місяцях та сумарно за рік небезпечних коливань рівня моря на станції Южний.

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Сума за рік |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|----|---|-----|-----|-------------|
| Характеристика | | | | | | | | | | | | | |
| Нагін | 0,6 | 0,6 | 0,6 | – | 1,0 | – | – | – | – | – | 0,6 | 0,3 | 3,7 |
| Згін | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | – | – | – | – | – | – | 1,0 | 0,6 | 2,8 |

Максимальна кількість випадків небезпечного нагону спостерігається в травні, листопаді та впродовж зимово-весняного періоду (з січня по березень), тоді як згони найчастіше фіксуються в листопаді й грудні. В середньорічному

вимірі ймовірності виникнення нагонів і згонів на станції Южний є порівнянними — 3,7 % і 2,8 % відповідно.

Для оцінки змін у довгостроковій динаміці відгінно-нагінних явищ було проаналізовано екстремальні значення рівня моря впродовж року та їхні різниці за даними термінових спостережень. Визначено характеристики лінійних трендів для рядів максимумів, мінімумів і їх розмаху. Всі розрахунки наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Характеристики лінійних трендів рядів екстремальних значень рівня та їх різниці на станції Южний.

| Рівень | Хар-ка | Южний 1986-2011рр. |
|---------------|-----------------------|--------------------|
| Максимальний | a | 1,07 |
| | R ² | 0,46* |
| | Δ | 27,82 |
| Мінімальний | a | 1,07 |
| | R ² | 0,29* |
| | Δ | 27,82 |
| Різниця рівня | a, R ² , Δ | 0,00 |

Примітка: a – кутовий коефіцієнт тренду, R² – коефіцієнт детермінації, Δ - загальна зміна величини, різниця між першим та останнім значенням тренду, * - значущі тренди.

На основі аналізу даних за 1986–2011 рр. встановлено, що як максимальні, так і мінімальні рівні демонстрували однакову тенденцію до зростання, причому з однаковим нахилом трендової лінії. У результаті різниця між цими екстремумами залишалась стабільною, що свідчить про загальне підвищення рівня моря без зміни амплітуди коливань. Періодичність коливань оцінюється в межах 2–5 років (рис. 3.2).

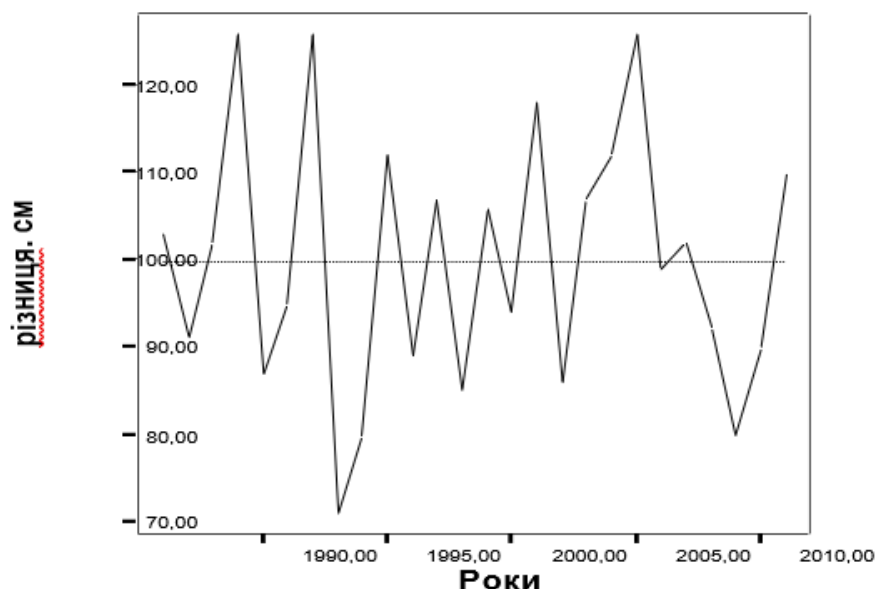


Рисунок 3.2 – Мінливість різниці максимального та мінімального строкового рівня на ст. Южний за 1986-2011 рр. та лінійний тренд

Таким чином, основний вклад у зменшення інтенсивності відгінно-нагінних коливань на станції Южний вносить зростання мінімального рівня, що призводить до зменшення амплітуди згонів на 20–30 см. Це має практичне значення для розробки проєктів днопоглиблювальних робіт, оскільки саме найменші рівні створюють загрозу осушення акваторій і ускладнення проходження суден.

Більшість відгінно-нагінних коливань на станції Южний мають амплітуду менше 30 см: 65,4 % згонів і 76,3 % нагонів. Коливання понад 30 см фіксуються рідше, частіше у випадку згонів (34,4 %) порівняно з нагонами (23,7 %), причому значні відхилення понад 50 см спостерігаються лише у 6,7 % згонів і 1,0 % нагонів. Небезпечні зміни рівня повторюються в середньому щороку з частотою 3,7 % для підйомів і 2,8 % для спадів, найчастіше взимку та навесні. У 1986–2011 рр. мінімальні й максимальні рівні підвищувались однаково (кут тренду $a = 1,07$), тож амплітуда коливань не змінювалась, що зменшувало ризик обміління портів.

3.3 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Чорноморськ

У районі морського порту Чорноморськ було здійснено статистичну обробку даних щодо динаміки відгінно-нагінних коливань рівня моря. Узагальнені результати цього аналізу представлені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Кількість підйомів і спадів рівня на станції порту Чорноморськ за період 2006 - 2013 рр.

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За рік |
|--------|----|----|-----|----|---------|----|-----|------|----|---|----|-----|--------|
| Хар-ки | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Підйоми | | | | | | | | |
| Сер. | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Макс. | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| Мін. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Сума | 18 | 15 | 12 | 2 | 5 | 2 | 2 | 4 | 7 | 6 | 12 | 16 | 101 |
| | | | | | Спади | | | | | | | | |
| Сер. | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Макс. | 6 | 3 | 4 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 6 |
| Мін. | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Сума | 18 | 12 | 14 | 2 | 4 | 2 | 2 | 7 | 10 | 9 | 10 | 17 | 107 |

Упродовж 2006–2013 років зафіксовано 101 випадок підвищення рівня моря та 107 випадків його зниження, тобто спостерігається певна перевага кількості спадів над підйомами. У середньому за рік реєструвалося по одному випадку підйому та одному спаду щомісяця. В холодну пору року (осінь–зима) частота таких явищ зростає до шести випадків на місяць, тоді як у весняно-літній період кількість подібних явищ зменшується до одного або взагалі не фіксується.

На рис. 3.3 подано сезонний розподіл частоти відгінних і нагінних подій на гідропості порту Чорноморськ за розглянутий часовий інтервал.

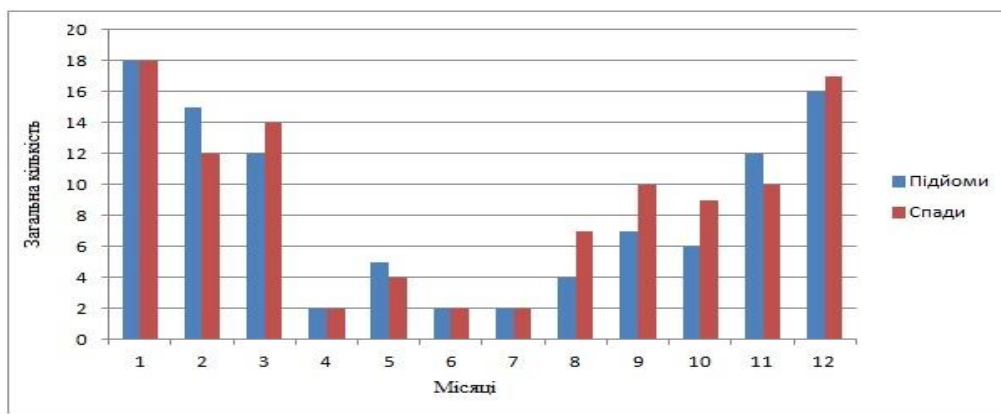


Рисунок 3.3 – Сезонний хід кількості випадків відгонів та нагонів рівня на станції порт Чорноморськ за період 2006 - 2013 рр.

Одним із ключових параметрів, що характеризують коливання рівня, є амплітуда зміни. У табл. 3.10 наведено статистичні показники розмаху змін рівня моря при його підйомах і спадах (у см).

Таблиця 3.10 – Статистичні характеристики розмаху (в см) зміни рівня моря при підйомах й спадах на станції порту Чорноморськ за період 2006 - 2013 рр.

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За рік |
|--------|----|----|-----|------|---------|----|-----|------|----|----|-----|-----|--------|
| Хар-ки | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Підйоми | | | | | | | | |
| Сер. | 40 | 39 | 45 | 36 | 27 | 18 | 19 | 24 | 39 | 39 | 41 | 40 | 34 |
| Макс. | 78 | 97 | 92 | 36 | 55 | 21 | 19 | 30 | 62 | 52 | 96 | 61 | 97 |
| Мін. | 21 | 13 | 21 | 36 | 12 | 14 | 18 | 17 | 10 | 26 | 19 | 8 | 8 |
| | | | | | Спади | | | | | | | | |
| Сер. | 41 | 47 | 39 | 40,5 | 32 | 45 | 27 | 27 | 40 | 31 | 46 | 39 | 38 |
| Макс. | 80 | 86 | 86 | 49 | 50 | 49 | 37 | 38 | 81 | 48 | 101 | 69 | 101 |
| Мін. | 18 | 20 | 14 | 32 | 24 | 41 | 16 | 12 | 26 | 22 | 18 | 9 | 9 |

Розрахунки показали, що середньорічна амплітуда підйомів становить 34 см, тоді як середній розмах спадів сягає 38 см, тобто спади мають дещо більшу амплітуду. Упродовж року ці значення зазнають помітних коливань [17]. 3

листопада по березень розмах підйомів варіює у межах 39–45 см, а максимальні значення досягають 96–97 см. Для спадів середньорічні показники перебувають у межах 40–47 см, а максимальні – 86–101 см. Таким чином, як за середніми, так і за граничними значеннями спади виявляються інтенсивнішими за підйоми..

Ще однією важливою характеристикою є тривалість відгінних та нагінних явищ. За початковий момент підйому приймався мінімальний рівень, за умови, що наступне перевищення середнього рівня становило понад 15 см. Аналогічно, початок спаду визначався за максимумом рівня, що перевищував середнє значення на ті самі 15 см. Часовий інтервал між початком і завершенням явища визначає його тривалість. У табл. 3.11 представлено відповідні статистичні характеристики тривалості (в годинах).

Таблиця 3.11 – Тривалість (в годинах) підйомів й спадів рівня на станції порт Чорноморськ за період 2006 - 2013 рр.

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За рік |
|--------|----|-------|-------|----|---------|----|------|------|----|----|-------|-----|--------|
| Хар-ки | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Підйоми | | | | | | | | |
| Сер. | 40 | 39 | 45,16 | 36 | 27 | 18 | 18,5 | 24 | 39 | 39 | 41,38 | 37 | 33,6 |
| Макс. | 78 | 97 | 92 | 36 | 55 | 21 | 19 | 30 | 62 | 52 | 96 | 61 | 97 |
| Мін. | 21 | 13 | 21 | 36 | 12 | 14 | 18 | 17 | 10 | 26 | 19 | 8 | 8 |
| | | | | | Спади | | | | | | | | |
| Сер. | 41 | 46,75 | 39 | 41 | 32 | 45 | 27 | 27 | 40 | 32 | 46 | 39 | 37,8 |
| Макс. | 80 | 86 | 86 | 49 | 50 | 49 | 37 | 38 | 81 | 48 | 101 | 69 | 101 |
| Мін. | 18 | 20 | 14 | 32 | 24 | 41 | 16 | 12 | 26 | 22 | 18 | 9 | 9 |

У середньому за рік (2006–2013 рр.) тривалість підйомів становила 33,6 год, тоді як спадів — 37,8 год, тобто спади тривали довше. Найбільша тривалість спадів припадає на листопад (46 год) та лютий (46,75 год). Максимальна тривалість підйомів сягала 97 год, тоді як спадів — до 101 год. Отже, спади переважають не лише за частотою, а й за тривалістю.

Для оцінки інтенсивності зміни рівня під час підйомів і спадів було виконано розрахунок шляхом поділу амплітуди на тривалість. Підсумкові дані наведено у табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Статистичні характеристики інтенсивності мінливості рівня ($\text{см}\cdot\text{год}^{-1}$) при підйомах і спадах на станції порту Чорноморськ за період 2006 - 2013 рр.

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За рік |
|--------|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------|
| Хар-ки | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Підйоми | | | | | | | | |
| Сер. | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,2 | 1,1 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | 0,8 |
| Макс. | 2,3 | 1,5 | 1,9 | 1,2 | 0,9 | 0,3 | 1,6 | 1,0 | 1,3 | 2,9 | 1,0 | 1,8 | 2,9 |
| Мін. | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,1 | 0,1 |
| | | | | | Спади | | | | | | | | |
| Сер. | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 1,1 | 1,4 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,2 |
| Макс. | 4,4 | 2,4 | 2,4 | 1,2 | 2,8 | 0,9 | 1,3 | 3,5 | 1,7 | 4,0 | 4,2 | 4,4 | 4,4 |
| Мін. | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,3 |

За багаторічними спостереженнями, середня інтенсивність спаду дорівнювала $1,17 \text{ см/год}$, тоді як підйомів — $0,78 \text{ см/год}$. Максимальні значення інтенсивності підйому варіювалися в межах $2,27\text{--}2,89 \text{ см/год}$, а для спадів — $4,2\text{--}4,44 \text{ см/год}$. Це свідчить про те, що процеси зниження рівня відбуваються швидше та інтенсивніше, ніж підвищення.

Крім того, було проаналізовано вітрові умови, що супроводжували коливання рівня. Протягом усієї тривалості кожного епізоду фіксувалися напрямки та граничні швидкості вітру, після чого визначалася частота повторюваності напрямків у відсотках. Підсумки розрахунків наведено в табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Переважні напрямки вітру та їх сумарна повторюваність (%), середня, максимальна та мінімальна швидкість ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) при підйомах та спадах рівня на станції порт Чорноморськ за період 2006 - 2013 рр.

| Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII |
|---------|-------|--------|------|----------------------|---------|-------|--------------|
| Хар-ки | | | | | | | |
| | | | | | Підйоми | | |
| Напр. | ПнЗ | С, Пд | Пд | ПдПдЗ,ЗПдЗ,ПнЗ,ПнПнЗ | Пд | Пд | Пд,Пд ПдС |
| Повтор. | 19,4 | 40,1 | 46,3 | 50,1 | 37,5 | 75,0 | 100,0 |
| Сер.шв. | 8,8 | 7,1 | 8,8 | 7,0 | 6,0 | 4,5 | 4,5 |
| Макс.шв | 17,0 | 15,0 | 15,0 | 13,0 | 9,0 | 6,0 | 6,0 |
| Мін.шв | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 |
| | | | | | Спади | | |
| Напр. | З,ПнЗ | Пн,ПнЗ | ПнЗ | З,ПнЗ | ПнЗ | ПнПнЗ | З |
| Повтор. | 46,7 | 42,2 | 49,0 | 74,4 | 50,0 | 66,5 | 50,0 |
| Сер.шв. | 10,5 | 10,0 | 9,0 | 7,8 | 10,0 | 9,0 | 7,0 |
| Макс.шв | 17,0 | 22,0 | 17,0 | 13,0 | 13,0 | 15,0 | 10,0 |
| Мін.шв | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 4,0 |

Продовження табл.3.13

| Місяць | VIII | IX | X | XI | XII | За рік |
|---------|-----------------|----------------|--------------|-------|----------------|--------|
| Хар-ки | | | | | | |
| Напр. | ПнПнС С,ЗПнЗ | Пн, ПнС | ПнЗ, ЗПнЗ | З,ПдС | Пд | |
| Повтор. | 83,3 | 31,3 | 33,1 | 36,8 | 25,0 | |
| Сер.шв. | 5,0 | 8,0 | 7,0 | 9,0 | 7,0 | 6,9 |
| Макс.шв | 8,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 15,0 | 17,0 |
| Мін.шв | 2,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | | | | | | |
| Напр. | ПнЗ,Пн, ЗПнЗ | З,ПнЗ, ЗПнЗ | Пн, ПнЗ | З,ПнЗ | З,ПнЗ, ЗПнЗ | |
| Повтор. | 71,3 | 82,3 | 55,5 | 72,1 | 48,9 | |
| Сер.шв. | 8,0 | 7,9 | 9,0 | 10,0 | 8,0 | 8,8 |
| Макс.шв | 12,0 | 11,0 | 15,0 | 19,0 | 17,0 | 22,0 |
| Мін.шв | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 |

Як свідчать дані, підвищення рівня моря зазвичай виникає при південних і південно-східних вітрах, які повторюються з частотою 75–100 % і мають середню швидкість 8–9 м/с, а максимальну — до 15–17 м/с. Натомість спади рівня найчастіше пов'язані з північно-західними та західними потоками, з річною повторюваністю 74–82 %, середньою швидкістю 9–10 м/с і максимумами до 19–22 м/с. Отже, згінні вітри мають вищу швидкість, що пояснює більш значну амплітуду згонів порівняно з нагонами.

Окрему увагу було приділено випадкам досягнення критичних рівнів. Для порту Чорноморськ такими вважаються: 427 см — при зниженні рівня, та 550 см — при підйомі. Також враховувалися ситуації, коли рівень підходив до цих меж ближче ніж на 10 см. За аналізований період зареєстровано п'ять випадків небезпечного спаду, тоді як критично високих підйомів не фіксувалося.

На рис. 3.4 показано синоптичну ситуацію над акваторією Чорного моря станом на 00 год 10 листопада 2007 р. (а) та на 00 год 11 листопада 2007 р. (б), коли в Чорноморську спостерігався різкий спад рівня. Протягом 16 год (з 12:00 10 листопада до 06:00 11 листопада) рівень зменшився зі 518 см до 417 см, тобто на 101 см. Така зміна пов'язана з виходом південного циклону з Балкан на Чорне море, який 10 листопада спричинив вітер південно-східного напрямку зі швидкістю 13–18 м/с, що змінився 11 листопада на північно-західний із піками до 20–23 м/с.

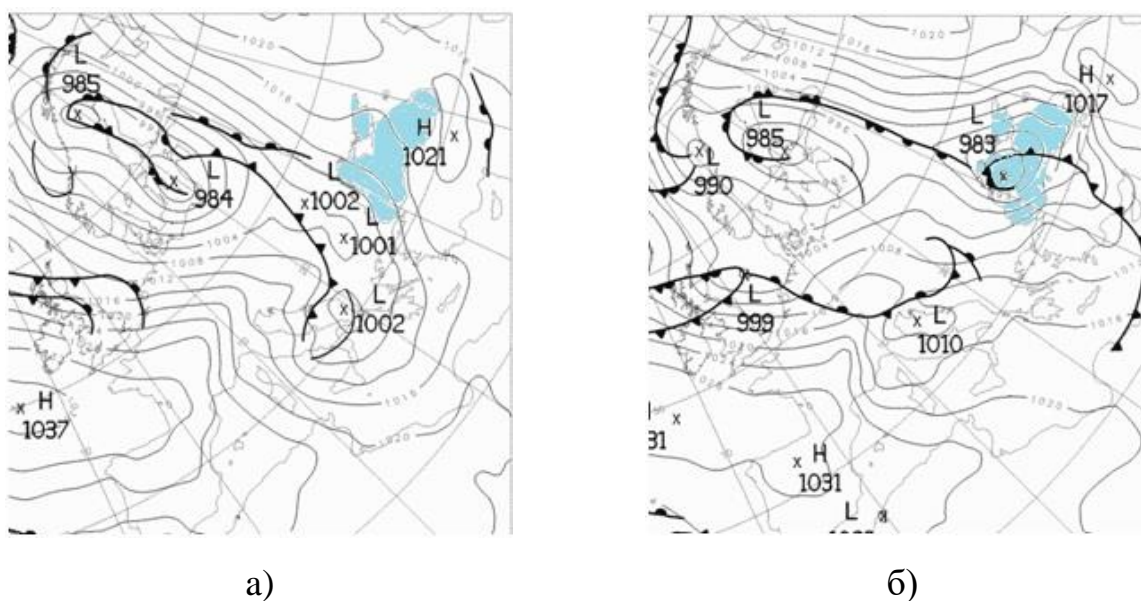


Рисунок 3.4 – Синоптична ситуація над Чорним морем за 00 годин 10 листопада (а) та 00 годин 11 листопада (б) 2007 р. [18]

Рисунок 3.5 ілюструє ситуацію 10–11 лютого 2010 року, коли відбувся небезпечний підйом. Протягом 16 год (з 18:00 10 лютого до 12:00 11 лютого) рівень моря підвищився з 513 см до 550 см, тобто на 37 см. Упродовж 10 лютого переважав південно-східний вітер зі швидкістю 4–5 м/с, який наступного дня змінився на східний зі сталою швидкістю близько 15 м/с.

На рисунку 3.7 показано хід рівня моря (спад) за період з 12:00 год 10 листопада по 06:00 год 11 листопада 2007 року, зміни рівня склали 101 см за 18 год. Швидкість північно-західного вітру сягала $18 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

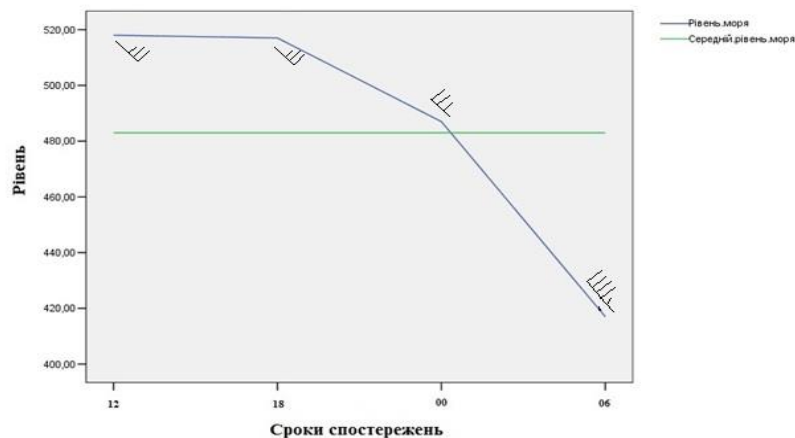


Рисунок 3.7 – Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Чорноморськ за період з 12:00 годин 10 листопада по 06:00 годин 11 листопада 2007 року по даним строкових спостережень

На рисунку 3.8 ілюструється підйом рівня з 06:00 14 вересня до 06:00 16 вересня 2008 року — 60 см за 48 год при швидкості вітру 13 м/с .

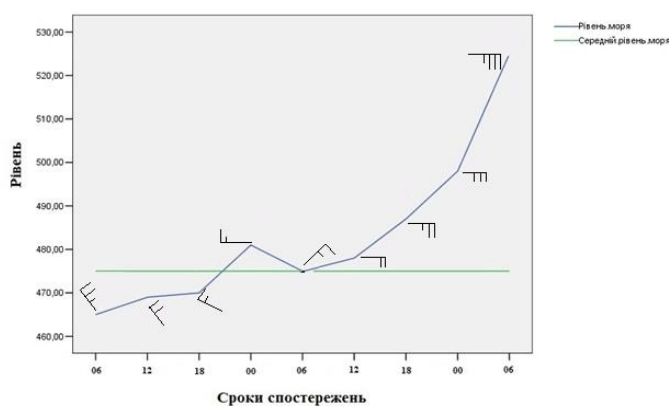


Рисунок 3.8 – Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Чорноморськ за період з 06:00 год 14 вересня по 06:00 год 16 вересня 2008 року по даним строкових спостережень .

На рисунку 3.9 показано ще один підйом — 52 см за 12 год 9 жовтня 2010 р., з південним вітром 14 м/с.

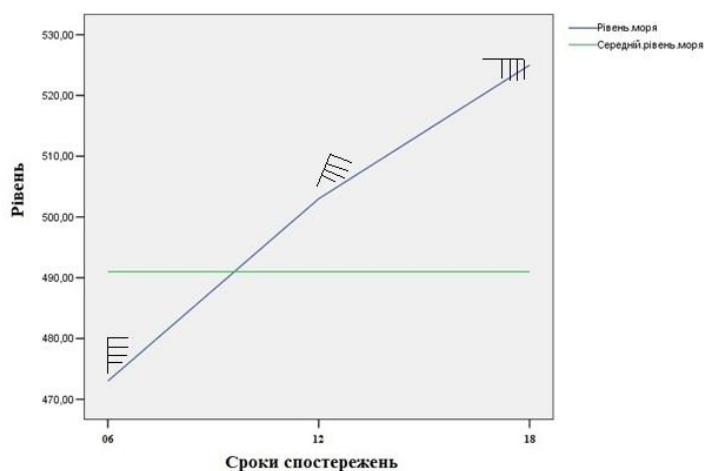


Рисунок 3.9 – Хід рівня моря та характеристики вітру на станції порт Чорноморськ за період з 06:00 год по 18:00 год 9 жовтня 2010 року по даним строкових спостережень .

На підставі багаторічних середніх показників напрямку та швидкості вітру (табл. 3.14), а також за даними 2006–2013 рр. (табл. 3.15) були побудовані рози вітрів (рис. 3.10, 3.11). За багаторічною статистикою найчастіше спостерігалися південні (21,8 %) та північні (19,2 %) вітри. У період 2006–2013 рр. структура дещо змінилася: частота південних зросла до 23,22 %, західних — до 17,36 %, а північно-західних — до 16,12 %, що свідчить про збільшення частоти згінних вітрів і, відповідно, зростання амплітуди та тривалості спадів рівня моря.

Таблиця 3.14 – Повторюваність (%) напрямів вітру за основними румбами на станції Чорноморськ за період 1944 – 2011 рр. [3]

| Град.шв. Румб | 1-5 | 6-10 | 11-16 | 16-20 | Σ |
|------------------|------|-------|-------|-------|----------|
| Пн | 12,8 | 18,33 | 19,04 | 19,14 | 19,2 |
| ПнС | 3,4 | 5,18 | 5,5 | 5,54 | 5,5 |
| С | 6,9 | 9,68 | 10,07 | 10,13 | 10,1 |
| ПдС | 3,3 | 4,06 | 4,16 | 4,17 | 4,1 |
| Пд | 17,9 | 21,57 | 21,73 | 21,75 | 21,8 |
| ПдЗ | 3,4 | 3,71 | 3,75 | 3,75 | 3,7 |
| З | 15,7 | 17,67 | 17,81 | 17,83 | 17,8 |
| ПнЗ | 10,9 | 14 | 14,38 | 14,44 | 14,4 |

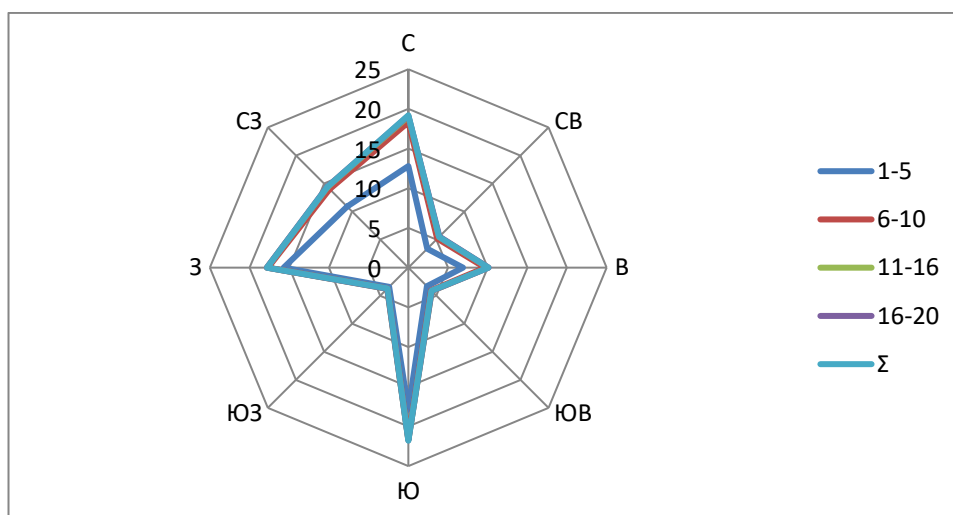


Рисунок 3.10 – Роза вітрів, побудована за даними спостереження за 1944 – 2011 рр.

Таблиця 3.15– Повторюваність (%) напрямів вітру за основними румбами на станції Чорноморськ за період 2006-2013 рр. [3]

| Град.шв. Румб | 1-5 | 6-10 | 11-16 | 16-20 | Σ |
|------------------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Пн | 11,83 | 14,56 | 15,05 | 15,09 | 15,09 |
| ПнС | 4,1 | 5,01 | 5,33 | 5,34 | 5,34 |
| С | 9,28 | 10,71 | 10,84 | 10,88 | 10,88 |
| ПдС | 3,28 | 3,59 | 3,63 | 3,63 | 3,63 |
| Пд | 21,43 | 23,18 | 23,27 | 23,27 | 23,27 |
| ПдЗ | 3 | 3,19 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| З | 16,2 | 17,18 | 17,32 | 17,36 | 17,36 |
| ПнЗ | 13,4 | 15,62 | 16,07 | 16,12 | 16,12 |

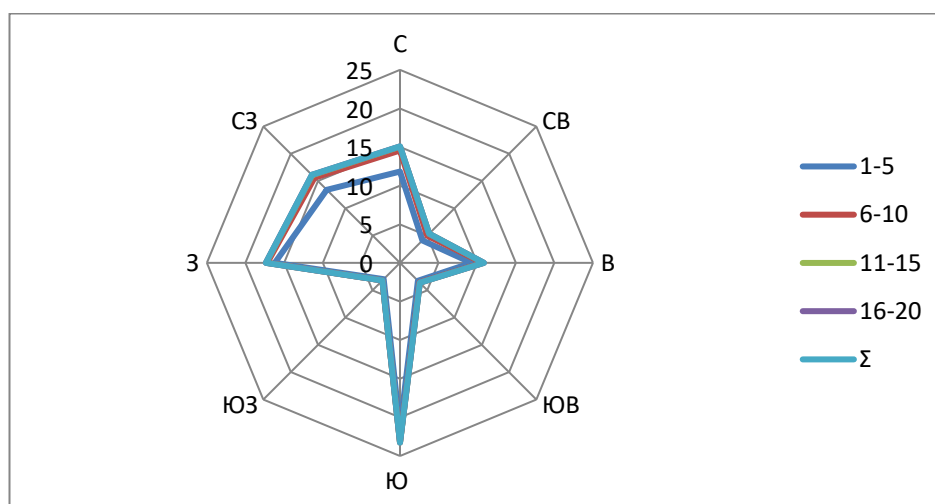


Рисунок 3.11 – Роза вітрів, побудована за даними спостереження за 2006 – 2013 рр.

У Чорноморську протягом 2006–2013 рр. зафіксовано 101 підйом і 107 спадів рівня моря, при цьому спади мали вищу середню амплітуду — 38 см проти 34 см. У холодний сезон максимальні коливання сягали 96–97 см для підйомів і до 101 см для спадів. Відгони тривали довше — в середньому 37,8 год, тоді як підйоми — 33,6 год; максимальні тривалості становили 101 і 97 год відповідно.

Також спад рівня відбувався інтенсивніше ($1,17 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$ — $0,78 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$). Нагінні явища пов'язані з південними та південно-східними вітрами, згони — з північно-західними та західними, які досягають швидкості до $22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Виявлено 5 випадків небезпечного спаду, підйоми такого рівня не зафіксовані. Зростання повторюваності згінного вітру зумовлює більшу амплітуду та тривалість спадів.

3.4 Відгінно-нагінні коливання рівня на станції Одеса

Для аналізу відгінно-нагінних коливань рівня моря з таблиць ТГМ для станції Одеса виписувались данні про максимальні та мінімальні строкові значення а також середні місячні значення рівня моря за період 2018-2023 роки. Ці данні наведено в табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Максимальні, мінімальні строкові та середні місячні значення рівня моря по місяцям та абсолютні значення на станції Одеса за період 2018 - 2023рр.

| | Місяць | I | II | III | IV | V | VI |
|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Рік | | | | | | | |
| 2018 | Hmax | 533 | 520 | 532 | 539 | 518 | 515 |
| | Hmin | 469 | 460 | 444 | 491 | 487 | 477 |
| | Hcp | 494 | 495 | 500 | 505 | 503 | 500 |
| 2019 | Hmax | 513 | 508 | 511 | 495 | 505 | 502 |
| | Hmin | 459 | 462 | 460 | 464 | 477 | 471 |
| | Hcp | 483 | 485 | 484 | 482 | 491 | 490 |
| 2020 | Hmax | 496 | 521 | 511 | 494 | 497 | 497 |
| | Hmin | 434 | 440 | 455 | 442 | 441 | 458 |
| | Hcp | 474 | 482 | 483 | 476 | 479 | 486 |
| 2021 | Hmax | 519 | 521 | 512 | 502 | 510 | 513 |
| | Hmin | 459 | 454 | 467 | 471 | 472 | 462 |
| | Hcp | 486 | 489 | 486 | 488 | 489 | 494 |

Продовження таблиці 3.16

| | | | | | | | | |
|------|--------|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------------|
| 2023 | Hmax | 523 | 503 | 528 | 522 | 516 | 519 | |
| | Hmin | 462 | 464 | 462 | 481 | 492 | 487 | |
| | Hcp | 494 | 484 | 490 | 499 | 502 | 506 | |
| | Місяць | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Абс. |
| Рік | | | | | | | | |
| 2018 | Hmax | 500 | 503 | 501 | 492 | 519 | 494 | 539(01.04) |
| | Hmin | 478 | 473 | 452 | 438 | 448 | 431 | 431(25.12) |
| | Hcp | 491 | 492 | 481 | 472 | 474 | 473 | |
| 2019 | Hmax | 501 | 493 | 503 | 514 | 503 | 505 | 514(31.10) |
| | Hmin | 473 | 458 | 444 | 457 | 462 | 450 | 444(19.09) |
| | Hcp | 484 | 479 | 477 | 470 | 481 | 481 | |
| 2020 | Hmax | 496 | 491 | 504 | 505 | 491 | 506 | 521(5,10.02) |
| | Hmin | 449 | 470 | 454 | 463 | 458 | 456 | 434(23.01) |
| | Hcp | 484 | 483 | 476 | 483 | 473 | 482 | |
| 2021 | Hmax | 506 | 506 | 499 | 502 | 520 | 520 | 521(08.02) |
| | Hmin | 469 | 473 | 447 | 463 | 445 | 450 | 445(10.11) |
| | Hcp | 494 | 491 | 481 | 483 | 478 | 483 | |
| 2022 | Hmax | 501 | 492 | 495 | 487 | 504 | 527 | 528(21.01) |
| | Hmin | 470 | 461 | 462 | 446 | 463 | 463 | 425(18.01) |
| | Hcp | 483 | 481 | 479 | 478 | 478 | 491 | |
| 2023 | Hmax | 520 | 514 | 499 | 511 | 578 | 535 | 578(29.11) |
| | Hmin | 467 | 477 | 474 | 439 | 454 | 473 | 439(16.10) |
| | Hcp | 501 | 494 | 488 | 479 | 490 | 504 | |

Як можна бачити з таблиці 19, екстремальні (як мінімальні так і максимальні) значення рівня моря спостерігаються в осінньо-зимовий період року, що обумовлено штормовими вітрами. За період 2018-2023 рр. на станції Одеса абсолютний максимум (578 см) був зафіксований 29 листопада 2023 р., а абсолютний мінімум(425 см) – 18 січня 2022 р. Розмах відгінно-нагінних коливань за цей період становить 153 см, що збігається з оцінками за попередні роки спостережень. Для аналізу амплітуди нагонів та відгонів були розраховані

відхилення екстремальних значень рівня від середнього місячного значення (вище або нижче) так само для кожного місяця та за всі роки взятих даних спостережень. Результати наведено в табл. 3.17.

Таблиця 3.17 – Амплітуди нагонів та відгонів (в см) на станції Одеса за період 2018 - 2023рр.

| | Місяць | I | II | III | IV | V | VI |
|------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Рік | | | | | | | |
| 2018 | Нагін | 39 | 25 | 32 | 34 | 15 | 15 |
| | відгін | -25 | -35 | -56 | -14 | -16 | -23 |
| 2019 | Нагін | 30 | 23 | 27 | 13 | 14 | 12 |
| | відгін | -24 | -23 | -24 | -18 | -14 | -19 |
| 2020 | Нагін | 22 | 39 | 28 | 18 | 18 | 11 |
| | відгін | -40 | -42 | -28 | -34 | -38 | -28 |
| 2021 | нагін | 33 | 32 | 26 | 14 | 21 | 19 |
| | відгін | -27 | -35 | -19 | -17 | -17 | -32 |
| 2022 | нагін | 46 | 24 | 11 | 18 | 11 | 15 |
| | відгін | -57 | -25 | -32 | -22 | -18 | -19 |
| 2023 | нагін | 29 | 19 | 38 | 23 | 14 | 13 |
| | відгін | -32 | -20 | -28 | -18 | -10 | -19 |

Продовження табл.3.17

| | Місяць | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Рік | | | | | | | |
| 2018 | Нагін | 9 | 11 | 20 | 20 | 45 | 21 |
| | відгін | -13 | -19 | -29 | -34 | -26 | -42 |
| 2019 | Нагін | 17 | 14 | 26 | 44 | 22 | 24 |
| | відгін | -11 | -21 | -33 | -13 | -19 | -31 |
| 2020 | Нагін | 12 | 8 | 28 | 22 | 18 | 24 |
| | відгін | -35 | -13 | -22 | -20 | -15 | -26 |
| 2021 | Нагін | 12 | 15 | 18 | 19 | 42 | 37 |
| | відгін | -25 | -18 | -34 | -20 | -33 | -33 |
| 2022 | нагін | 18 | 11 | 16 | 9 | 26 | 36 |
| | відгін | -13 | -20 | -17 | -32 | -15 | -28 |
| 2023 | Нагін | 19 | 20 | 11 | 32 | 88 | 31 |
| | відгін | -34 | -17 | -14 | -40 | -36 | -31 |

В табл. 3.18 чорним кольором показано найбільші значення амплітуд нагонів і відгонів в см. Найбільша амплітуда нагону склала 88 см і спостерігалась 29 листопада 2023 року. Найбільша амплітуда відгону спостерігалась 18 січня 2022 року і склала 57 см.

Для аналізу синоптичної ситуації, яка викликала значні нагони та відгони ми скористалися архівом карт розподілу атмосферного тиску з [18]. На рис.3.12 показано поле атмосферного тиску над Чорним морем (обведено червоною лінією, станція Одеса – жовтим кружечком) та прилеглою сушею за 29 листопада 2023 року, коли амплітуда нагону була максимальною і досягала 88

см відносно середнього місячного рівня моря. Над північно-західною частиною Чорного моря розташовано циклон з тиском в центрі 991 гПа. В районі Одеси спостерігається вітер південно-східного, південно-західного напрямків швидкістю 18-24 м·с⁻¹. За 18 годин (з 06 годин 28 листопада до 00 годин 29 листопада) рівень моря підвищився на 76 см.

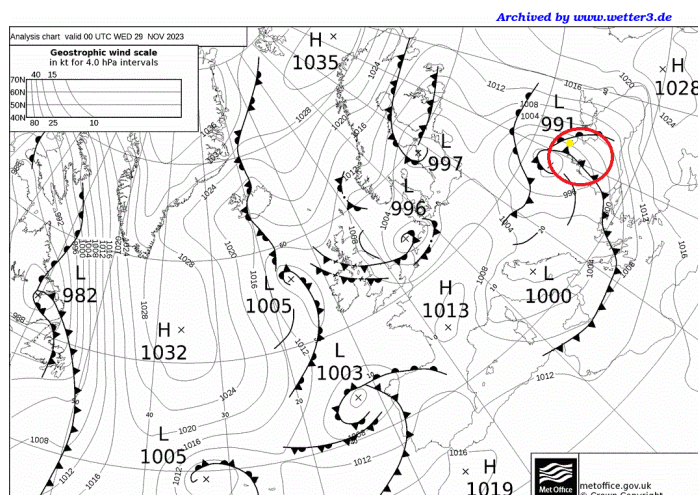


Рисунок 3.12 – Поле атмосферного тиску за 00 годин 29 листопада 2023 р. з [18]

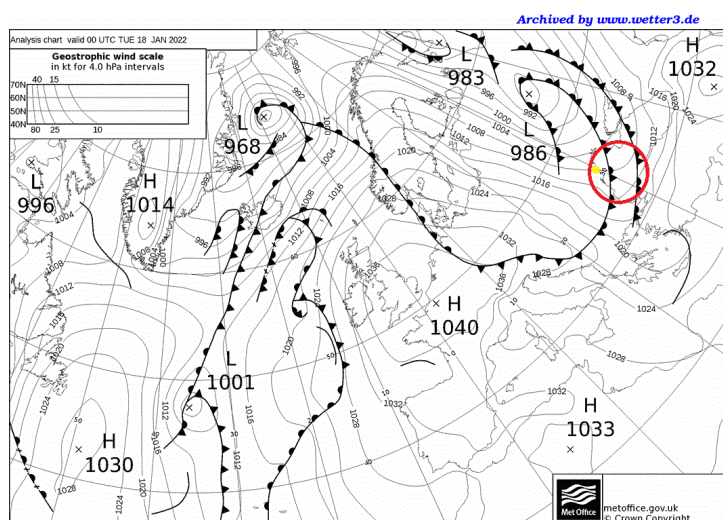


Рисунок 3.13 – Поле атмосферного тиску за 00 годин 18 січня 2022 р. з [18]

На рис. 3.13 показано поле атмосферного тиску за 00 годин 18 січня 2022 р., коли амплітуда відгону була максимальною і склала 57 см. Чорне море знаходиться під впливом великого циклону з центром над Європейською територією Росії, а північно-західна частина Чорного моря – в тиловій області циклону. В районі Одеси переважали вітри північно-західного напрямку швидкістю 14-23 м·с⁻¹. З 06 годин 17 січня по 12 годин 18 січня рівень знизився з 485 см до 425 см - на 60 см.

Для здійснення морської господарської діяльності в прибережній зоні необхідно враховувати частоту виникнення небезпечних підвищень і знижень рівня моря, тобто таких коливань, що перевищують або опускаються нижче за критичні значення. Саме ці зміни рівня здатні спричинити аварійні ситуації для флоту, призвести до обміління або затоплення акваторій, інфраструктурних об'єктів і населених пунктів. Критичне значення опускання рівня моря на досліджуваній станції за розглянутий період – 440 см.

Відповідно з небезпечною позначкою рівня для станції та мінімальними значеннями представленими в табл.19 можна зробити висновки що небезпечні явища спостерігалися у наступні роки та місяці представлені в табл.3.18.

Таблиця 3.18 – Дати випадків по місяцях та сумарна кількість за рік небезпечних спадів рівня моря на станції Одеса за період 2018-2023рр.

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | За рік |
|------|-------|----------|-----|----|---|----|-----|------|----|-------|----|-------|--------|
| 2018 | | | | | | | | | | 25.10 | | 25.12 | 2 |
| 2019 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 2020 | 23.01 | 24,25.02 | | | | | | | | | | | 2 |
| 2021 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| 2022 | 18.01 | | | | | | | | | | | | 1 |
| 2023 | | | | | | | | | | 16.10 | | | 1 |

Найбільше небезпечних відгонів зафіксовано у 2018 і 2020 роках – по 2 випадки, у 2019 та 2021 роках їх не було. У 2022 і 2023 роках спостерігався по одному випадку. Усі явища припадають на період з жовтня по лютий, що свідчить про їх сезонний, зимово-осінній характер. Найчастіше вони траплялися в січні та жовтні – по 2 випадки.

Важливою характеристикою мінливості відгінно-нагінних коливань є розмах зміни рівня. В табл.3.19 приведені статистичні характеристики розмаху (в см) зміни рівня на станції Одеса

Таблиця 3.19 – Статистичні характеристики розмаху (в см) зміни рівня моря при підйомах й спадах на станції порту Одеса за період 2018 - 2023 рр.

| | Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------|--------|-----|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|-----|-----|
| Рік | | | | | | | | | | | | | |
| 2018 | ΔН | 64 | 80 | 88 | 48 | 31 | 48 | 22 | 30 | 49 | 54 | 71 | 63 |
| 2019 | ΔН | 54 | 46 | 51 | 31 | 28 | 31 | 28 | 35 | 59 | 57 | 41 | 55 |
| 2020 | ΔН | 62 | 81 | 56 | 52 | 56 | 39 | 47 | 21 | 50 | 42 | 33 | 50 |
| 2021 | ΔН | 60 | 67 | 45 | 31 | 38 | 51 | 38 | 33 | 52 | 39 | 75 | 70 |
| 2022 | ΔН | 103 | 49 | 43 | 40 | 29 | 34 | 31 | 31 | 32 | 40 | 41 | 64 |
| 2023 | ΔН | 61 | 39 | 66 | 41 | 23 | 32 | 53 | 37 | 25 | 72 | 124 | 62 |

Максимальний розмах рівня моря – 124 см – зафіксовано в листопаді 2023 року (від 454 до 578 см), а мінімальний зафіксовано у серпні 2020 року (від 470 до 491 см). Найвище середнє значення розмаху спостерігалось у 2018 році (54 см), найнижче – у 2019 році (43 см).

Також був виконаний аналіз напрямків і швидкості вітру при підйомах і спадах рівня. Напрямок і максимальні швидкості вітру виписувалися за всі строки тривалості підйому й спаду, після чого розраховувалася повторюваність напрямків вітру у відсотках (%). Результати приведені в табл.3.20.

Таблиця 3.20 – Переважні напрямки вітру, їх швидкість ($\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$) при нагонах і відгонах на станції Одеса за період 2018- 2023 рр.

| Рік | Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------|-----------|-----------|--------------|---------------|---------------|-------------------|--------------|-----------|-----------|-------------|--------|---------------|----------|
| | | | | | | Вітер при нагонах | | | | | | | |
| 2018 | Напрямок | ПнС-ПнС | ПдС-СПдС | ПдПдС | Пд | ПдПд-ПдС | ПдПдС | ПдС | ПдПдС | ПдПдС | Пд | СПдС | СПдС, С |
| | Швидкість | 17 13 | 10 13 | 8 14 | 17 | 11 8 | 10 | 11 | 9 8 | 5 8 | 9 | 19 | 14 |
| 2019 | Напрямок | СПдС, ПдС | ПдПдС | Пд | Пд,ПдПдС | ПдС,ПдПдС | ПнПнС, ПдПдС | Пд, ПдПдЗ | СПдС | С, СПдС | ПнС | СПнС | ПдПдС,Пд |
| | Швидкість | 11 18 | 11 | 11 | 9 10 | 8 13 | 10 11 | 11 | 8 | 9 12 | 7 | 18 19 | 10 11 |
| 2020 | Напрямок | ПдСх | ПнПнСх | ПдПдСх | ПдПдСх-ПдПдЗх | Пд | ПнПнСх | СхПдСх | Пд,ПдПдСх | ПдСх | ПдПдСх | СхПдСх,СхПдСх | ПдПдСх |
| | Швидкість | 6 | 19 | 12 | 9 8 14 | 12 | 13 | 6 | 9 8 | 5 10 | 10 11 | 9 11, 16 17 | 7 8 |
| 2021 | Напрямок | ПдПдСхПд | СхПдСх, ПдСх | СхПдСх-ПдПдСх | ПдПдСх | Пд,ПдПдСх | СхПнСх | ПнПнСх | ПдПдСх | ПдПдСх,ПдЗх | Сх | ПдЗх | СхПдСх |
| | Швидкість | 13 14 | 11 | 10 14 | 12 | 8 11 | 7 | 13 | 8 13 | 11 10 | 14 17 | 7 11 | 14 |

Продовження табл.3.20

| Рік | Місяць | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------|-----------|--------------|--------------|----------------|----------------|-------------------|-------|---------|------------------|--------|-----|----------------|------------|
| | | | | | | Вітер при нагонах | | | | | | | |
| 2022 | Напрямок | | ПдСх, Пд, Пд | ПдСх, Пд, ПдСх | ПдПдСх | ПдПдСх | | ПнПнСх | СхПдСх, ПдПдСхПд | ПдСх | | Сх-Пд | ПдСхСхПдСх |
| | Швидкість | | 9 10 | 12, 8 | 8 | 8 | | 8 | 7 5 5 10 | 10 | | 11 9 | 6 18 |
| 2023 | Напрямок | СхПдСхПдПдСх | СхПдСхПд | | ПдПдСхПдСхПдСх | ПдПдСхПнСх | ПдПд3 | ПдПд | Пд, ПдПдСхПдСх | ПдПдСх | Пд | ПдПдСх - ПдПд3 | ПдПд3 |
| | Швидкість | 12 14 16 | 7 11 | | 7 11, 8 10 | 8 17 | 10 | 7 14 18 | 9 8 6 10 | 12 24 | 1 1 | 18 24 | 14 |

З таблиці видно, що підйоми рівня моря спостерігаються при південному та південно-східному вітрах. Середні швидкості таких вітрів складають 8-9 м/с, а максимальні досягають 15-17 м/с. Спади рівня на станції Одеса спостерігаються при північно-західному та західному вітрах. Середня швидкість – 9-10 м/с, а максимальна – 19-22 м/с. Таким чином, вітри згінного напрямку більш сильні, що є причиною більшого розмаху згонів в порівнянні з розмахом нагонів.

За період спостереження за 2018-2023 рр. (табл. 3.21) була побудована роза вітрів, яка наведена на рис 3.14. За період 2018-2023 рр. розподіл повторюваності найбільші значення має при північно-західному вітру – 34,17 %, на південно-східний вітер припадає 28,11 %, а на південний – 10,23 %.

Таблиця 3.21– Повторюваність (%) напрямів вітру при яких спостерігаються нагони і відгони на станції Одеса за період 2018-2023 рр.

| Град.швидкості(м/с) | від 1 до 5 | від 6 до 10 | від 11 до 16 | від 16 до 20 | Абс |
|---------------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Румб | | | | | |
| Пн | 4,46 | 5,12 | 5,14 | 4,54 | 5,14 |
| ПнС | 6,41 | 7,69 | 7,54 | 6,89 | 7,69 |
| С | 6,33 | 6,54 | 6,47 | 6,21 | 6,54 |
| ПдС | 29,16 | 30,76 | 30,12 | 28,11 | 30,76 |
| Пд | 9,98 | 10,25 | 10,74 | 10,23 | 10,74 |
| Пдз | 6,16 | 6,42 | 6,54 | 6,23 | 6,54 |
| З | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Пнз | 28,27 | 33,44 | 35,48 | 34,17 | 35,48 |

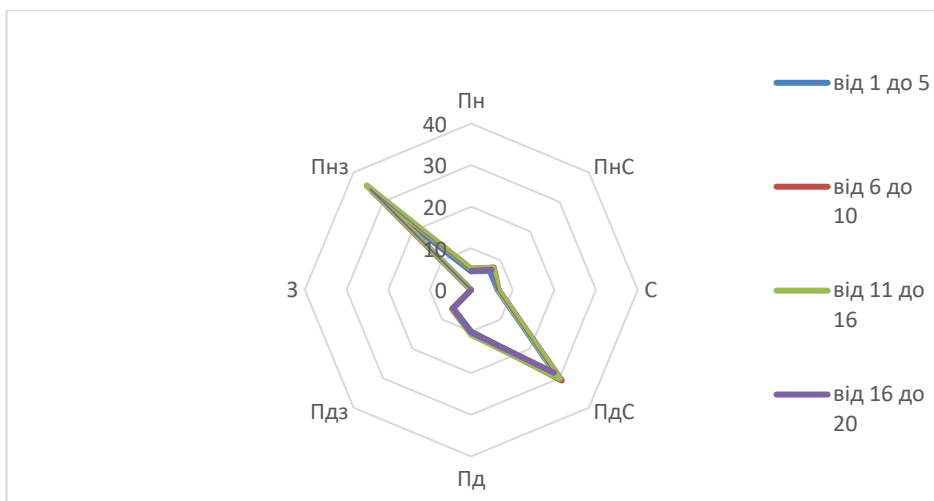


Рисунок 3.14 – Напрями вітру, при яких на станції Одеса спостерігаються підйоми і спади рівня моря .

Таким чином, на станції Одеса за період 2018–2023 рр. відгінно-нагінні коливання рівня моря характеризуються високою амплітудою, максимальний підйом сягав 578 см (29.11.2023), а мінімум – 425 см (18.01.2022), що відповідає розмаху 153 см. Найбільша амплітуда нагону склала 88 см, а відгону – 57 см, причому обидва випадки припадають на осінньо-зимовий період. Найбільші середні розмахи рівня фіксувалися у 2018 році (54 см), найменші – у 2019 році (43 см). Підйоми рівня пов’язані з вітрами південного та південно-східного напрямків зі швидкістю до 17 м/с, тоді як згони – з північно-західними та західними вітрами зі швидкістю до 22 м/с. Небезпечні відгони рівня, нижчі за критичну позначку 440 см, зафіксовані у 2018, 2020, 2022 та 2023 роках, загалом шість випадків. Підвищення рівня на 76 см за 18 годин (28–29.11.2023) підтверджує значний вплив штормових циклонів на рівневий режим. Повторюваність вітрів, що викликають згони, досягає 34,2 %, що пояснює їх вищу інтенсивність порівняно з нагонами.

ВИСНОВОК

Дослідження відгінно-нагінних коливань рівня моря в північно-західній частині Чорного моря є надзвичайно актуальним з огляду на постійне зростання інтенсивності прибережної інфраструктури, включаючи морські порти, а також з огляду на зростаючу мінливість кліматичних умов, які прямо впливають на гідрометеорологічну ситуацію в регіоні. Саме ці коливання рівня можуть бути критичними для судноплавства, гідротехнічного будівництва та попередження надзвичайних ситуацій у прибережних зонах. Враховуючи складність і багатофакторність цього явища, в рамках роботи було виконано серію статистичних і кореляційних розрахунків, аналіз динаміки екстремальних рівнів, визначення трендів та встановлення зв'язку між метеорологічними умовами та рівневим режимом на чотирьох гідрологічних станціях: Цареградське гирло, Южний, Чорноморськ та Одеса.

На станції Цареградське гирло результати аналізу вказують на загальну тенденцію до зниження інтенсивності відгінно-нагінних коливань. Основним чинником цього є зростання мінімального рівня моря, що призводить до зменшення амплітуди згонів на 20 см. Це зменшення є важливим з практичної точки зору, адже саме мілководдя, викликане згонами, є загрозою для проходу суден. Переважна більшість коливань мала амплітуду до 30 см, що свідчить про їхню малу інтенсивність. Проте, небезпечні згони хоч і рідкісні, були зафіксовані у листопаді. Нагони мали більшу повторюваність, з річною частотою небезпечних явищ до 4 %, особливо у зимовий період. Позитивні тренди як мінімальних, так і максимальних рівнів моря, з більш вираженим зростанням мінімумів, формують загальне зменшення діапазону коливань, що підтверджує зниження їхньої інтенсивності.

Для станції Южний також характерна перевага слабких коливань (до 30 см), що становили більшість випадків. Разом з тим, більш значні згони траплялися частіше, ніж нагони. Це вказує на асиметрію у гідродинамічній

відповіді моря на метеорологічні умови. У річному розрізі небезпечні коливання не перевищували 4 %, з максимумами в зимово-весняний період. За результатами трендового аналізу встановлено, що і максимальні, і мінімальні рівні моря зростають однаково швидко, а отже, амплітуда коливань не змінюється суттєво. Водночас, зменшення розмаху згонів на 20–30 см також пов'язане з підвищенням мінімального рівня, що знижує ризик обміління портових вод.

На станції Чорноморськ аналіз охопив період з 2006 по 2013 рік, упродовж якого було виявлено 208 випадків коливань, майже рівномірно розподілених між підйомами та спадами рівня. Водночас, спад рівня відзначався як більш амплітудний (у середньому 38 см) та триваліший у часі (до 101 год), що пов'язано з вітрами північно-західного та західного напрямків. Нагінні явища, навпаки, були менш інтенсивними, хоча й частішими. Повторюваність вітрових умов, сприятливих для згонів, мала тенденцію до зростання, що пояснює підвищення амплітуд та тривалості таких коливань. У п'яти випадках було зафіксовано небезпечне зниження рівня, що підтверджує необхідність системного моніторингу цього явища.

Найбільші амплітуди були зафіксовані на станції Одеса, де спостерігався максимальний розмах рівня до 153 см, що є найвищим серед усіх проаналізованих ділянок. Це свідчить про особливу гідродинамічну чутливість цієї акваторії до атмосферного впливу, особливо у періоди сильних штормів. Нагінні явища мали максимум у листопаді 2023 року з амплітудою 88 см, тоді як згони досягали 57 см. Вплив вітрового режиму проявлявся чітко: південні вітри сприяли нагонам, а північно-західні – згонам, причому останні мали більшу швидкість і частоту. Це підтверджує висновки інших станцій щодо превалювання згінного потенціалу в умовах північно-західних циркуляцій. Небезпечні згони, що опускали рівень нижче критичної позначки, фіксувалися майже щороку впродовж досліджуваного періоду.

Загалом результати дипломного дослідження показали наявність регіональних особливостей у динаміці відгінно-нагінних коливань. Спільною тенденцією для всіх станцій є зростання мінімальних рівнів моря, що зумовлює

зниження амплітуди згонів та загальної інтенсивності коливань. Найбільш небезпечними залишаються зимові періоди, коли під впливом потужних вітрових потоків відбуваються значні зміни рівня. Одержані результати можуть бути використані при плануванні гідротехнічних споруд, розробці рекомендацій для безпеки навігації та оцінці ризиків, пов'язаних зі зміною клімату у прибережних зонах Чорного моря.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Горячкін Ю. М., Іванов В. А. Рівень Чорного моря: минуле, сучасне і майбутнє / за ред. В. М. Єремєєва. Севастополь: МДІ НАН України, 2006. 210 с.
2. Гідрометеорологічні умови морів України. Том 1: Азовське море. Ільїн Ю.П., Фомін В.В., Дьяков М.М., Горбач С.Б.; МНС І НАН України, Морське відділення Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Севастополь, 2009. 409с.
3. Гідрометеорологічні умови морів України. Том 2: Чорне море. Ільїн Ю.П., Репетін Л.Н., Белоекопитов В.М., Горячкін Ю.М., Дьяков М.М., Кубряков А.О., Станичний С.В., С.В.; МНС І НАН України, Морське відділення Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Севастополь, 2012. 421с.
4. Абузьяров З. К., Думанська І. А., Нестеров Є. С. Оперативне океанографічне обслуговування. Москва, 2009. 275 с.
5. Meteoweb, інтернет-журнал: веб-сайт. URL: <http://meteoweb.ru/>
6. Oil spill accident in the Kerch Strait in November 2007. Report of the commission for the protection of the Black Sea Against Pollution / Plyin Y., Fomin V., Diakov N., Repetin L. et all. Moscow, 2011. 284 p
7. Тучковенко Ю.С., Гаврилюк Р.В., Кушнір Д.В., Прогнозування океанографічних характеристик в українській частині Азово-Чорноморського басейну: монографія / Одеський державний екологічний університет. Житомир: ТОВ «505», 2022. 300с.
8. Казаков А. Л. Про використання різної інформації про вітер у прикладних дослідженнях. Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2005. № 49. С. 190–203.
9. Tsimplis M.N., Josey S.A., Rixen M., Stanev E.V. On the forcing of sea level in the Black Sea // J.Geophys.Res. 2004. V 109, P.185-189.
10. Горячкін Ю. М. Основні тенденції багаторічної мінливості згінно-нагінних коливань рівня в Чорному морі // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон і комплексне використання ресурсів шельфу. – Севастополь, 2007. – Вип. 15. – С. 28–31.

11. <https://ukrport.org.ua/> (Дата останнього звернення 15.05.2025)
12. Ільїн Ю. П. Кліматичні зміни гідрометеорологічних умов Чорного моря. Глобальні та регіональні зміни клімату: монографія. Київ, 2011. С. 322–333.
13. Екосистема Григор'ївського (Малого Аджалицького) лиману / за ред. А. К. Виноградова. Одеса: Астропринт, 2008. 264 с. (Монографія; Е40).
14. Бююль А., Цефел П. SPSS: Мистецтво обробки інформації. М., СПб., К.: Видавництво Diasoft, 2005. 305 с.
15. Stanev E.V., Peneva E.L., Regional sea level response to global climatic change: Black Sea examples // Global and Planetary Changes. 2002. P.33-47.
16. Гаврилюк Р. В., Ювченко Н. М. Згінно-нагінні коливання рівня моря в портах Южний і Чорноморськ та оцінка можливості їх прогнозування. Український гідрометеорологічний журнал. 2018. №22. С. 100-106.
17. Лемешко Є. М., Іванов В. А., Белокопитов В. М., Горячкін Ю. М. Порівняльний аналіз відгуку рівня Чорного моря на атмосферний вплив у прибережній і глибоководній зонах // Глобальна система спостережень Чорного моря. Фундаментальні та прикладні аспекти. Севастополь, 2000. С. 56–70.
18. <https://www.wetter3.de> (дата останнього звернення 26.05.2024)