

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний
інститут

Кафедра океанології та
морського природокористування

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Зміни рівня в північно-західній частині Чорного моря

Виконав студент 2 курсу групи МЗО-20
спеціальність 103 «Науки про Землю»
Мунтян Віталій Ігорович

Керівник к.геогр.н., доцент
Гаврилюк Раїса Володимирівна

Консультант _____

Рецензент д.г.н., професор
Хохлов Валерій Миколайович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Океанології та морського природокористування
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма «Океанологія і гідрографія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
“___” _____ 2021 року

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

Мунтян Віталію Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Зміни рівня в північно-західній частині Чорного моря

керівник роботи Гаврилюк Раїса Володимирівна к.геогр.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “18”10” 2021 року
№216 С П.П.-09

2. Строк подання студентом роботи 09. 12. 2021

3. Вихідні дані до роботи

Літературні джерела з мінливості рівня моря .

Дані стандартних спостережень за рівнем моря на станціях Приморське, Цареградське гирло, Одеса, Чорноморськ, Южний

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

Аналіз за літературними джерелами та даними спостережень на станціях північно-західної частини моря змін рівня . Кількісні оцінки сезонної і між річної мінливості рівня.

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

Графіки тимчасової сезонної мінливості рівня моря. Графіки між річної мінливості рівня з визначенням тренду на станціях північно-західної частини Чорного моря.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Огляд літератури з мінливості рівневого режиму Чорного моря	26.10-5.11.21	90	відм
2	Розрахунки характеристик сезонної мінливості і їх аналіз за матеріалами спостережень за останні роки.	6.11-25.11.21.	90	відм
3	Розрахунки характеристик між річної мінливості рівня моря і їх аналіз.	26.11-30.11.21.	90	відм
4	Підготовка тексту магістерської роботи	25.11-7.012.21.	90	відм
5	Рубіжна атестація	16-21.11.21.	90	відм
6	Попередній захист роботи	9.12.21.	90	відм
7	Здача роботи на кафедрі	8.12.21.	90	відм
8	Перевірка на плагіат	12.12.21.	90	відм
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	відм

Студент _____
(підпис)

Мунтян В.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Гаврилюк Р.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

На магістерську роботу по темі “Зміни рівня в північно-західній частині Чорного моря” магістра групи МЗО-20 Мунтяна Віталія Ігоровича

Актуальність обраної теми

Зміни рівня моря можуть суттєво впливати, а в окремих випадках катастрофічно впливати на прибережну зону. Тому, проблеми зміни рівня моря та Світового океану завжди відносились до пріоритетних напрямків океанології. В останні десятиліття актуальність цих проблем значно зросла, що обумовлено значною мірою сучасним глобальним підвищенням рівня Світового океану та активним освоєнням берегової зони.

Підвищення рівня спостерігається і в Чорному морі. Результатом підйому рівня є затоплення і підтоплення низовинних прибережних територій, а також активне переформування берегів з негативними наслідками. В теперішній час на чорноморських берегах України розгорнуте масштабне будівництво. В цей же час берегова зона моря знаходиться в незадовільному стані, а ступінь її вивченості не відповідає сучасним вимогам. В північно-західній частині Чорного моря зміни рівня найбільш суттєві тому, що цей район характеризується малими глибинами, значним впливом річкового стоку та помітними тектонічними рухами. В північно-західній частині розташовані морські порти та інші об'єкти морського господарського комплексу, які відчують зміни рівня моря. Кількісні оцінки змін рівня використовуються в практичному обслуговуванні морських галузей господарства - судноплавства, гідротехнічного будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд в прибережній зоні моря, що обумовлює актуальність обраної теми.

Мета роботи

Оцінити зміни рівня моря в північно-західній частині Чорного моря як за літературними джерелами так і за матеріалами спостережень останніх років.

Об'єкт дослідження

Рівневий режим в північно-західній частині Чорного моря.

Предмет дослідження

Характеристики сезонної та між річної мінливості рівня моря в північно-західній частині Чорного моря.

Методи дослідження

При виконанні роботи використовуються традиційні методи досліджень – порівняльний та ретроспективний методи та методи статистичної обробки інформації – кореляційний, регресійний аналізи.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення

Отримано кількісні оцінки сезонної та між річної мінливості рівня моря за даними спостережень на станціях Приморське, Цареградське гирло, Чорноморск, Одеса та Южний. Новизна магістерської роботи полягає в тому, що кількісні оцінки мінливості отримано за матеріалами спостережень останніх років, і уточнюють оцінки, отримані раніш, що визначає їх теоретичне та практичне значення.

Рекомендації щодо використання результатів роботи за значенням галузі застосування

Магістерська робота докладалась на конференції молодих вчених в 2021 р. Кількісні оцінки сезонної та між річної мінливості рівня можна використовувати в наукових дослідженнях з мінливості гідрометеорологічного режиму Чорного моря, а також в практичному обслуговуванні галузей морського господарства - судноплавства, гідротехнічного будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд в прибережній зоні моря.

Структура, обсяг роботи

Робота складається з 70 сторінок, вступу, чотирьох розділів, висновку, 18 рисунків, 10 таблиць, 35 літературних джерел.

Ключові слова

Чорне море, північно-західна частина моря, рівень моря, сезонна та між річнамінливість.

SUMMARY

SUMMARY

For a master's thesis on "Changes in the level of the north-western part of the Black Sea" Master of the group MZO-20 Muntyan Vitaly Igorevich.

Relevance of the chosen topic

Changes in sea level can have a significant impact, and in some cases a catastrophic impact on the coastal zone. Therefore, the problems of sea level and the oceans have always been among the priority areas of oceanography. In recent decades, the urgency of these problems has increased significantly, largely due to the current global rise in ocean levels and the active development of the coastal zone.

Rising levels are also observed in the Black Sea. The result of rising levels is flooding and inundation of lowland coastal areas, as well as active reshaping of shores with negative consequences. At present, large-scale construction is underway on the Black Sea coast of Ukraine. At the same time, the coastal zone of the sea is in unsatisfactory condition, and the degree of its study does not meet modern requirements. In the north-western part of the Black Sea, changes in level are most significant because the area is characterized by shallow depths, significant effects of river runoff and significant tectonic movements. In the north-western part there are seaports and other objects of the sea of the economic complex, which are experiencing changes in sea level. Quantitative estimates of changes in the level are used in the practical maintenance of maritime industries - shipping, hydraulic engineering and operation of hydraulic structures in the coastal zone of the sea, which determines the relevance of the chosen topic.

The purpose of the work

Assess changes in sea level in the north-western part of the Black Sea, both from literature sources and from observations of recent years.

Object of study

Level regime in the northwestern part of the Black Sea.

Subject of study

Characteristics of seasonal and inter-annual sea level variability in the northwestern part of the Black Sea.

Research methods

The work uses traditional research methods - comparative and retrospective methods and methods of statistical information processing - correlation, regression analysis.

Results, their novelty, theoretical and practical significance

Quantitative estimates of seasonal and inter-annual sea level variability were obtained from observations at the Primorskoye, Tsaregradskoye Gorlo, Chernomorsk, Odesa, and Yuzhny stations. The novelty of the master's thesis is that quantitative estimates of variability are obtained from observations of recent years, and refine the estimates obtained earlier, which determines their theoretical and practical significance.

Recommendations for the use of results of work on the importance of the field of application

The master's thesis was presented at the conference of young scientists in 2021. Quantitative estimates of seasonal and inter-annual variability can be used in research on the variability of the hydrometeorological regime of the Black Sea, as well as in practical services of maritime industries - shipping, hydraulic engineering and hydraulic engineering sea area.

Structure, scope of work

The work consists of 70 pages, introduction, four chapters, conclusion, 18 figures, 10 tables, 35 references.

Keywords

Black Sea, northwestern part of the sea, sea level, seasonal and inter-annual variability.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗМІНИ РІВНЯ У ЧОРНОМУ МОРІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ).....	11
1.1 Річковий стік.....	13
1.2 Атмосферні опади, що випадають над морем.....	15
1.3 Випаровування з поверхні моря.....	17
1.4 Сумарний баланс прісних вод.....	18
1.5 Просторовий розподіл річного стоку, опадів та випаровування.....	20
1.6 Водообмін через протоки.....	21
1.7 Атмосферний тиск.....	23
1.8 Стеричні ефекти.....	25
1.9 Твердий стік.....	27
1.10 Сучасні тектонічні рухи.....	27
1.11 Внесок змін балансу прісних вод Чорного моря в зміни рівня	28
2 МАТЕРІАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ.....	30
3 СЕЗОННІ ЗМІНИ РІВНЯ МОРЯ НА СТАНЦІЯХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ	33
4 БАГАТОРІЧНІ ЗМІНИ РІВНЯ МОРЯ НА СТАНЦІЯХ ПІВНІЧНО- ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ	50
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	67

ВСТУП

Зміни рівня моря можуть суттєво впливати, а в окремих випадках катастрофічно впливати на прибережну зону. Тому, проблеми зміни рівня моря та Світового океану завжди відносились до пріоритетних напрямків океанології. В останні десятиліття актуальність цих проблем значно зросла, що обумовлено значною мірою сучасним глобальним підвищенням рівня Світового океану та активним освоєнням берегової зони.

Рівень Світового океану зростає, що підтверджується контактними та дистанційними його вимірюваннями і пояснюється кліматичними змінами. В прес-релізі Всесвітньої Метеорологічної Організації «State of global climate 2021, WMO Provisional report» опублікованому 31 жовтня 2021 р. наведено графік змін глобального середнього рівня моря з січня 1993 року по вересень 2021 року. Виміряний з початку 1990-х років за допомогою високоточних супутникових альтиметрів, глобальний середній рівень моря зростав на 2.1 мм за рік за період з 1993 по 2002 роки і на 4.4 мм за рік за період з 2013 по 2021 роки. Тобто за останні роки спостерігається дворазове зростання темпу підвищення рівня. Це відбулось в основному через прискорену втрату маси льоду з льодовиків і льодових щитів.

Підвищення рівня постерігається і в Чорному морі, а в 2010 році він досягнув свого абсолютного максимуму за всю 150-річну історію спостережень. Результатом підйому рівня являється затоплення і підтоплення низовинних прибережних територій, а також активне переформування берегів з негативними наслідками. В теперішній час на чорноморських берегах України розгорнуте масштабне будівництво. В цей же час берегова зона моря знаходиться в незадовільному стані, а ступінь її вивченості не відповідає сучасним вимогам. В північно-західній частині Чорного моря зміни рівня найбільш суттєві тому, що цей район характеризується малими глибинами, значним впливом річкового стоку та помітними тектонічними

рухами. В північно-західній частині розташовані морські порти та інші об'єкти морського господарського комплексу, які відчувають зміни рівня моря.

В магістерській роботі розглядаються зміни рівня на станціях північно-західної частини Чорного моря: Цареградське гирло, Приморське, Чорноморськ, Одеса та Южний за матеріалами спостережень на тривалих рядах.

Метою магістерської роботи є отримання кількісних оцінок сезонних та багаторічних змін рівня в північно-західній частині Чорного моря, їх аналіз та виявлення тенденцій, які спостерігаються на рядах, доповнених спостереженнями останніх років. Отримані результати можна використовувати в наукових дослідженнях, які присвячені кліматичним змінам гідрометеорологічних умов в Чорному морі, а також в практичному обслуговуванні галузей морського господарства - судноплавства, гідротехнічного будівництва та експлуатації гідротехнічних споруд в прибережній зоні моря.

1 ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗМІНИ РІВНЯ У ЧОРНОМУ МОРІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ)

Як відомо, рівень моря - це поверхня, яка співпадає з напрямком сили тяжіння в будь-якій її точці. Така поверхня в першому наближенні співпадає з середньо-багаторічним рівнем Світового океану і приймається за поверхню геоїда. В реальності рівень не залишається в стані спокою, а знаходиться в непереривної зміні під впливом різних сил, відхиляючись від поверхні геоїда. Режим рівня Чорного моря формується під впливом чинників, які призводять до зміни обсягу вод, так і перерозподілу його по простору.

Евстатичні фактори (тобто фактори, що призводять до зміни об'єму вод і об'єму чаші моря) в Чорному морі, це - річковий стік, випаровування, опади, що випадають над морем, водообмін з Мармуровим і Азовським морями, антропогенний стік, осідання і ущільнення матеріалу, що осідає на дно. Зміни об'єму чаші моря під дією тектонічних рухів, мабуть, незначні і ними, у першому приближенні, можна знехтувати. Вплив цих факторів на рівень в Чорному морі в даний час має різну ступінь вивченості. Головною перешкодою є відсутність достатньо надійних, тривалих спостережень за випаровуванням і опадами над відкритим морем і водообміном в протоках. Це призводить до необхідності використовувати непрямі методи оцінки. Інші фактори (антропогенний і твердий стік) до цього часу взагалі не розглядалися.

Основні фактори, що перерозподіляють воду у просторі і часі, що діють в Чорному морі, це - вітер, зміни атмосферного тиску (статична реакція) і щільності морської води (стеричний ефект), відгінно-нагінні коливання, пов'язані з циркуляцією вод, що виникає в результаті тангенціального тертя між повітряним потоком і водною поверхнею, Ці фактори суттєво мінливі у просторі і часі.

В Чорному морі основні коливання рівня вітрового походження збігаються зі змінами рівня, зумовленими змінами атмосферного тиску і

щільності води. Це можна пояснити тим, що зниження атмосферного тиску над сушею і підвищення тиску над морем поєднуються з нагінними по відношенню до берега вітрами. Отже, рівень підвищується одночасно під дією двох факторів - вітру і атмосферного тиску. У зворотному випадку, коли тиск над сушею підвищується, а над морем знижується, відбувається зниження рівня моря біля берега під впливом обох факторів. Крім цього, при нагінному процесі більш легкі поверхневі води переміщуються в прибережну область, утворюючи значний шар, і, отже, є додатковим чинником, що призводить до підвищення рівня. При відгонах відбувається зворотний процес, при цьому рівень знижується як через відтік води, так і за рахунок їх заміщення більш щільними глибинними водами.

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

Окремо можна виділити геодинамічні сили, що призводять до вікових коливань рівня. Вони обумовлені повільними вертикальними рухами земної кори - підняттям або опусканням. Проте ці коливання є удаваними, так як відбуваються не від змін рівня, а від підняття або опускання берега, на якому розташовані реєстратори рівня. Разом з тим, для господарської діяльності людини вони важливі і їх слід враховувати. На чорноморському узбережжі - це, насамперед, район Одеси і Колхідської низовини, які відчувають значні сучасні вертикальні рухи земної кори, а саме опускання. В інших районах узбережжя вони істотно менші. Кількісні оцінки вертикальних рухів, опубліковані в сучасних літературних джерелах, представлено в розділі 4 магістерської роботи. Нижче більш докладно розглядаються вклади окремих факторів у формування рівня Чорного моря.

1.1 Річковий стік

Багаторічні й сезонні зміни рівня Чорного моря значною мірою пов'язані з річковим стоком. Вперше це було опубліковано ще в кінці XIX століття. Найбільш обґрунтовані оцінки, що спираються на фактичний матеріал і охоплюють весь період спостережень за рівнем Чорного моря представлено в [1 - 7]. Відзначається, що основною причиною сезонних і річних коливань рівня Чорного моря є коливання річкового стоку, і особливо стоку Дунаю. Визначено коефіцієнти кореляції річних значень середнього рівня Чорного моря зі стоком Дунаю, з сумарним стоком у північно-західному районі Чорного моря і сумарним стоком в Чорне море, а також розглянуті деякі інші статистичні характеристики. Для оцінки багаторічних і сезонних змін рівня, пов'язаних з річковим стоком в роботі [3], використовувалися середньомісячні дані про сумарний річковий стік за період 1923 -1998 рр. Для цього об'єм стоку (км^3) було переведено до зміни рівня, виходячи з площі моря $423\,000\text{ км}^2$.

Середній багаторічний річковий стік в Чорне море за цей період склав 336 км^3 , при цьому на частку трьох річок, що впадають в північно-західну частину моря, Дунаю, Дніпра і Дністра доводилося близько 80 % сумарного стоку. В термінах збільшення рівня моря внесок материкового стоку становить в середньому $79\text{ см}\cdot\text{рік}^{-1}$ при найбільшому і найменшому значеннях 120 і $56\text{ см}\cdot\text{рік}^{-1}$, відповідно (151 і 70 % від норми). Зміни рівня моря, пов'язані з річковим стоком, мають виражений річний хід. Починаючи з жовтня, стік зростає; особливо істотні прирости спостерігаються від лютого до березня і від березня до квітня, а середньо-багаторічний максимум стоку спостерігається в травні. За 75 років максимум спостерігався в травні (59 % випадків), квітні (25 %), березні (5 %), червні (4 %), листопаді (3 %), в січні і жовтні (по 1 %).

Починаючи з червня стік досить значно зменшується і досягає середньо-багаторічного мінімуму в вересні. На відміну від максимуму, мінімум стоку має більший розкид у часі. За вище зазначений період у вересні він

спостерігався в 36 % випадків, в жовтні в 23 %, у листопаді 15 %, серпні 11 %, січні 7 %, липні 4 %, грудні 3 % і 1 % у лютому і березні. Наявність мінімумів у грудні - березні не означає, що не відзначалося різке зниження стоку в осінній період. Просто в ці роки спостерігалися два мінімуми, які несуттєво відрізнялися за абсолютними величинами. В цілому річний хід виражений добре і відносно стабільний у часі. Разом з тим відзначаються періоди збільшення й зменшення стоку. У вихідному ряді виділяються коливання з періодичністю 3- 5 років і розмахом 15-25 см (в окремі періоди до 40-60 см).

При осередненні ряду ковзним середнім по п'яти рокам виділяються коливання з періодом 11 і 15 років. Апроксимація поліномом 7-го ступеня дозволяє виділити періоди, коли внесок стоку в зміни рівня був максимальний (1935 - 1945рр. і 1970 - 1980 рр.) і мінімальний (1950 -1960 рр. і 1985 - 1995 рр.)

На фоні між річних коливань відзначається невеликий від'ємний тренд, кутовий коефіцієнт якого становить $0,0435 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ що в перерахунку на період спостережень дає розмах 3,2 см.

В цілому тренд за весь період відносно невеликий. Помітно, що в період з березня по липень, коли материковий стік найбільший, величина тренду негативна, з максимумом у травні ($0,04 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$) і, навпаки, у місяці з мінімальним стоком кутові коефіцієнти трендів позитивні, проте величина їх незначна ($0,01-0,02 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$). В роботі [1] робиться висновок, що за весь період спостережень з 1923 по 1997 рр. внесок стоку річок в підвищенням рівня був негативним, але величина кутового коефіцієнта була вкрай мала.

Що стосується коефіцієнта кореляцій між коливаннями стоку річок і спостережуваним рівнем Чорного моря, то він розподіляється наступним чином. Для середньомісячних величин в період 1923 – 1997 рр. (виключаючи 1942—1943 рр. та січень-серпень 1944 р.) він становить 0,65; для середньорічних величин за цей же період він дорівнює 0,69. Ці значення дещо нижчі, ніж наведені в [2].

Так як визначальною для сумарного стоку річок є стік Дунаю, тому корисно привести зв'язок його стоку з рівнем. Для середньорічних величин коефіцієнт кореляції становить 0,60, а для середньомісячних 0,71. При цьому коефіцієнт кореляції між сумарним стоком і стоком Дунаю за цей же період дорівнює 0,82 і 0,90 відповідно. Підводячи підсумок, автори [1] стверджують, що материковий стік має істотний вплив на формування режиму рівня Чорного моря на масштабах сезонних і між річних флуктуацій. Разом з тим, знак і величина тренду не може пояснити факт підвищення рівня Чорного моря.

1.2 Атмосферні опади, що випадають над морем

На відміну від стоку річок, величина якого визначається за результатом інструментальних спостережень, кількість атмосферних опадів, що випадають над акваторією Чорного моря, визначають непрямим способом, використовуючи в основному дані спостережень на берегових станціях. Середня багаторічна кількість атмосферних опадів, що випадають над акваторією Чорного моря, за період 1923-1998 рр. склало 570 мм або 241 км^3 в одиницях об'єму. У термінах збільшення рівня моря внесок атмосферних опадів становить в середньому $57 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ при найбільшому і найменшому значеннях 84 і $38 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ відповідно (147 і 67 % від норми). У змінах рівня моря, пов'язаних з атмосферними опадами, добре виражений річний хід .

Найбільша кількість опадів випадає в осінньо-зимовий період - з вересня по лютий; в цей період приріст рівня складає в середньому $5\text{-}8 \text{ см} \cdot \text{міс}^{-1}$ при максимальних і мінімальних значеннях 17 і 2 см, що більше відповідних значень для материкового стоку. Середньорічний максимум атмосферних опадів спостерігається в грудні. За 71 рік максимум відзначався в грудні в 32 % випадків, в січні – в 18 %, в листопаді -17 %, в лютому - 15 %, в вересні- 8 %, в жовтні- 7% і 1% - у березні. Найменша кількість опадів випадає у весняно-літній період, з абсолютним максимумом у травні, однак розкид

мінімальних значень за часом істотно більше, ніж максимальних. Мінімум у травні спостерігався у 21 % випадків, в серпні у 20 %, в липні у 18 %, в квітні -13 %, червні - 13 %, вересні -7 %, лютому- 4 % і 1 % у березні та жовтні.

Внесок атмосферних опадів в зміни рівня у весняно - літній період вкрай незначний, в середньому не більше 3 см, максимальний не більше 7см. В окремі роки у період з травня по серпень опади взагалі не спостерігаються.

В між річних коливаннях опадів над Чорним морем виділяються коливання з періодом 2-5 років і розмахом 15-20 см, максимально до 35 см. У період з 60-х по 90-ті роки виділяються коливання з періодом близьким до 11 років і розмахом до 10 см. Мінімальна кількість опадів відзначено в 40-х роках ХХ століття. На фоні між річних коливань помітний значний позитивний тренд з кутовим коефіцієнтом $0,167 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, що в перерахунку на період спостережень дає розмах 12,5 см (підвищення рівня за цей же період склало 10,9 см).

У всі місяці, за винятком лютого та жовтня, спостерігається позитивний тренд: його величина особливо суттєва в осінньо-зимовий період, коли випадає найбільша кількість опадів (до $0,03 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$). В весняно-літній період величини трендів значно менші, але теж доволі значимі. Коефіцієнт кореляції між коливаннями рівня моря та атмосферними опадами складає для середньорічних величин - 0,6, а для середньомісячних значень є незначущим.

Отже, незважаючи на те, що об'єм атмосферних опадів, що випадають над Чорним морем, менше материкового стоку і їх між річні зміни менш істотні, внесок опадів у формування рівня в окремі роки і сезони варіює досить значно. Так, навіть за середньорічними даними в осінньо-зимовий період їх внесок у формування рівня перевищує внесок материкового стоку. Крім того, величина і знак тренду між річних змін близькі до відповідних величин для рівня Чорного моря.

1.3 Випаровування з поверхні моря

Визначення випаровування з поверхні Чорного моря представляє собою до теперішнього часу невирішену задачу, на відміну від величини материкового стоку і атмосферних опадів, які можна визначити за даними вимірювань або напів інструментальними методами. Для отримання кількісних значень застосовують непрямі методи оцінки з використанням теоретичних і емпіричних формул. Незважаючи на всю спірність методики та окремих її припущень, на даному етапі це, мабуть, найкращий з можливих підходів до проблеми.

Середня багаторічна кількість випаровування з акваторії Чорного моря за період з 1923 по 1998 рр. (крім 1941 -1944 рр.) склала 379 км³. У термінах збільшення рівня моря внесок випаровування складає в середньому 90 см·рік⁻¹, при найбільшому і найменшому значеннях 114 і 62 см рік⁻¹ (127 і 69% від норми). В змінах рівня моря, пов'язаних з випаровуванням, відмічається виражений річний хід.

Найбільші величини випаровування відзначаються в літній і осінній період - з липня по листопад, що пов'язано як зі збільшенням сонячної радіації, так і з збільшенням швидкості вітру в осінній період. В цей час зміни рівня, пов'язані з випаровуванням, складають в середньому 10 -14 см·міс⁻¹, при максимальних і мінімальних значеннях 22 см·міс⁻¹ і 5 см·міс⁻¹, що більше відповідних значень для материкового стоку і атмосферних опадів в цей період. Середньо-багаторічний максимум випаровування відзначається в серпні. Порівняно з материковим стоком і атмосферними опадами максимум досить стабільний в часі. Так, за 71 рік максимум відзначався в серпні в 61 % випадків, у вересні - в 27 %, у жовтні - 8 % і липні - 4 %.

Найменша величина випаровування характерна для зимово-весняного періоду з абсолютним мінімумом в квітні, коли його внесок у зміни рівня становить всього близько 2 см, а максимальний - не більше 5 см. Як і максимум, мінімум досить стабільний в часі. У квітні він відзначався у 51 % випадків, у травні 31 %, березні 11 % та 1 % у лютому і червні. Два сезони виражені досить добре і їх існування стабільно в часі. Разом з тим, абсолютні величини відчувають істотну між річну зміну.

Виділяються коливання з періодом 2-5 років і розмахом 5 - 15 см. При апроксимації ковзним середнім по 5-ти рокам у період з 50-х по 70-ті роки ХХ століття виділяються два коливання з періодом близько 12 років і розмахом 5-10 см. Максимальним величинам випаровуваності, зазначеним в кінці 40-х - початку 50-х роках ХХ століття, передував період мінімуму. Починаючи з

50-х роках ХХ століття, спостерігалось зменшення випаровування, особливо помітне з початку 70-х, що в цілому дало значний негативний тренд, кутовий коефіцієнт якого становить $0,397 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, при розмаху 28,2 см.

Помітно, що у всі місяці року тренд має негативну величину, В зимово-весняний період (час мінімального випаровування) його значення складають $0,02-0,03 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$. У період збільшення випаровуваності влітку і восени помісячні тренди зростають до $0,04-0,06 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Коефіцієнт кореляції між коливаннями рівня моря, пов'язаними з випаровуванням, і рівнем Чорного моря становить для середньорічних значень величину, що лежить нижче довірчого інтервалу.

Вплив випаровування на зміни рівня моря в масштабах між річних варіацій незначний. Разом з тим, негативний тренд випаровування, який особливо збільшився за останні 50 років, повинен вносити істотний внесок у зміни рівня моря (як фактор, що приводить до його підвищення) на масштабах вікових варіацій.

1.4 Сумарний баланс прісних вод

Сумарний вплив балансу прісних вод в зміни рівня моря визначається як зміни, пов'язані зі стоком річок, з атмосферними опадами і випаровуванням.

В роботах [3,4,7] наведено оцінки внеску балансу прісних вод в зміни рівня Чорного моря. Показано, що практично у всі роки, за винятком 1950 р. (аномально маловодного), внесок балансу прісних вод в зміни рівня був позитивний. Середньо-багаторічний баланс прісних вод становить 196 км^3 або 46 см у прирості рівня моря при максимальних і мінімальних значеннях 104 і 0,2 см (226 і 1 % від норми), тобто різниця екстремальних середньо-багаторічних величин істотно більша, ніж для окремих компонентів балансу.

Середньо-багаторічний річний хід приростів рівня, пов'язаних з сумарним балансом прісних вод, більшу частину року позитивний. Особливо високі значення відзначаються в період з березня по травень. Це пов'язано з тим, що в цей період відзначається значний стік, атмосферні опади ще значиміші, а випаровування мінімально.

Середньо-багаторічний максимум відзначається в квітні (10 см) і в цьому місяці він спостерігається у 45 % випадків. По інших місяцях розподіл є таким: у травні - в 31 %, в березні - в 15 %, в лютому – в 6 %, у січні та червні по 1 %. Середньо-багаторічний мінімум, який відзначається в серпні, більш стійкий у часі. Так в серпні він фіксувався в 61 % випадків, в вересні - в 27 %, в червні в 7 %, жовтні в 6 % і в грудні - в 1 %.

На фоні значних між річних коливань з періодом 2-5 років і розмахом до 80 см, а також коливань з 11-річним періодом і розмахом 15-30 см виділяється значимий позитивний тренд з кутовим коефіцієнтом $0,544 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, що в перерахуванні на зміну рівня дає величину 39 см.

Величина приросту рівня моря за досліджуваний період склала близько 11 см. На думку авторів [1] такий розподіл величин має призвести до значних змін у водообміні через Босфор, а саме, до збільшення відтоку вод з Чорного моря в Мармурове.

Помісячні кутові коефіцієнти трендів свідчать про те, що практично у всі місяці (крім травня) спостерігаються позитивні значення, причому особливо високі (до $0,08 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$) в липні - вересні, тобто в період максимуму випаровування. Коефіцієнт кореляції для середньорічних значень рівня моря і приростів, пов'язаних із змінами водного балансу, дорівнює $0,71$, а для середньомісячних величин він від'ємний.

1.5 Просторовий розподіл річкового стоку, опадів і випаровування

Як зазначалося вище, річковий стік у середньому за рік дає 79 см приросту рівня. Однак специфіка Чорного моря полягає в тому, що 80% стоку (63 см в термінах збільшення рівня) зосереджено в північно-західній частині моря. Це призводить до поширення хвилі підвищення рівня, пов'язаної з весняним водопіллям, з заходу на схід. Басейни інших районів дають незначний внесок у підвищення рівня: річки Кавказу дають близько 13% , Анатолійського узбережжя Туреччини – менше 8% . Вклад річок Криму незначний.

На протязі року південні та східні райони відрізняються найбільшою кількістю опадів, що пов'язано з переважаючими траєкторіями циклонів, які здебільшого проходять із заходу на схід над південними районами моря. У зв'язку з цим з півночі на південь кількість опадів зростає від 300 до $700 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$

У східній частині наявність гірських хребтів Кавказу на шляху повітряних мас приводить до великої кількості опадів (до 1500 мм). В протилежність опадів випаровування зростає від півдня до півночі і досягає максимуму на північ від паралелі 44° північної широти, що пов'язано з максимальними швидкостями вітру в цьому у районі.

Просторовий розподіл різниці випаровування та опадів показує, що випаровування переважає над опадами у західній та північній частині моря. Нульова ізолінія проходить приблизно по 42° північної широти, на 36° східної довготи, різко зміщується на північ, відокремлюючи область зі

значним переважанням опадів над випаровуванням у східній частині моря. Друга локальна пляма з переважанням опадів над випаровуванням розташована поблизу Південного берега Криму (ПБК) та пов'язана із збільшенням кількості опадів у районі головного хребта Кримських гір.

1.6 Водообмін через протоки

Як відомо, Чорне море через протоки Босфор і Керченський здійснює безперервний водообмін, що зумовлює особливості гідрологічного і рівневого режиму моря. По характеру обміну протоки істотно відрізняються одна від одної.

Протока Босфор являє собою протоку з стійкою стратифікацією вод, в якому водообмін відбувається у вертикальній площині і грає виключно важливу роль у формуванні гідрологічного режиму Чорного моря. У відсутності водообміну, при наявності позитивної прісної складової водного балансу, рівень Чорного моря безперервно б підвищувався. Босфор є свого роду клапаном, через який, внаслідок наявності різниці в рівні на обох кінцях протоки, надлишок вод переливається з верхньою босфорською течією в Мармурове море. Разом з тим, із-за наявності різниці в щільності вод двох морів, з нижньою босфорською течією відбувається приплив води з Мармурового моря. Вперше цей факт підтверджено більш 100 років тому дослідженнями С. О. Макарова.

В даний час не підлягає сумніву, що основна причина, що створює різницю в поздовжньому рівні в Босфорі, пов'язана з різницею прісних складових водного балансу Чорного й Мармурового морів. Збільшення позитивної складової балансу прісних вод в Чорному морі супроводжується збільшенням різниці рівня між двома басейнами і посиленням верхньої босфорської течії, що, в свою чергу, збільшує потужність прісного шару і

послаблює нижню босфорську течію. При зменшенні позитивної складової балансу прісних вод верхня босфорська течія послаблюється, і потужність прісного шару зменшується, при цьому різниця в щільності на обох кінцях протоки зростає, що призводить до посилення нижньою босфорської течії.

Кількісні оцінки водообміну через Босфор виконувалися багатьма авторами. Методики оцінок і результати, досить докладно викладені в [2]. Згідно з розрахунками у середньому за рік відтік чорноморських вод з верхньою босфорською течією дає зниження рівня в Чорному морі на 91 см при максимумі 128 і мінімумі 59 см. Відповідні величини для нижньої босфорської течії складають 65 і 23 см. Таким чином, різниця негативного внеску в баланс рівня верхньої босфорської течії і позитивного вкладу нижньої босфорської течії становить у середньому 51 см. В багаторічній мінливості відзначається позитивний тренд витрат верхньої босфорської течії

($0,34 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$) і негативний тренд витрат нижньої босфорської течії ($0,19 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$). В багаторічній мінливості виділяються періоди 11 років і 6 років.

Керченська протока, що сполучає Чорне і Азовське моря, на відміну від Босфору, являє собою мілководну не стратифіковану протоку, в якій обмін відбувається, головним чином, поперемінно з одного моря в інше. Основна роль у водообміні належить вітру, дія якого зумовлює відгінно-нагінні коливання рівня на кінцях протоки, що визначають перенос води через Керченську протоку. Крім цього, певну роль відіграє внутрішньорічний хід річкового стоку в Азовське море. Середньо-багаторічний приплив вод з Азовського в Чорне море дає підвищення рівня на 11,7 см при максимумі 16,8 см і мінімумі 8,3 см. Величина пониження рівня Чорного моря внаслідок відтоку вод з Чорного моря в Азовське становить у середньому 7,9 см при максимумі 10,9 см і мінімумі 4,9 см. Таким чином, в середньому за рік перенесення води з Азовського моря в Чорне позитивний, але дає дуже маленьку величину в зміні рівня - 3,8 см, при максимумі 11,5 см і мінімумі близько 0 см. У середньо-багаторічному річному ході більше перенесення

спостерігається в період весняного паводку, разом з тим річна амплітуда вкрай мала. В максимумі середньомісячного перенесення може давати внесок у збільшення рівня Чорного моря на 2,5 см, а в мінімумі може зменшувати його до 1,5 см. Між річна мінливість вкладу обміну в Керченській протоці в зміни рівня Чорного моря виявляє негативну тенденцію. Незважаючи на малу величину кутового коефіцієнта тренду, за 1923-1998 рр. внесок надходження вод з Азовського моря в рівень Чорного моря зменшився на 2 см. Можливою причиною цього є зменшення стоку річок в Азовське море через вилучення води для господарських цілей протягом ХХ століття. У багаторічній мінливості переважають коливання з періодом в 2-3 роки.

1.7 Атмосферний тиск

У відкритому океані відгук рівня моря на атмосферний тиском відомий як ефект зворотного барометра: зміна атмосферного тиску на 1 мб призводить до зміни рівня моря на 1 см, причому в проті фазі. У замкнених водоймах середній атмосферний тиск над океаном має дорівнювати середньому тиску над басейном. У цьому випадку (так, як маса води повинна зберігатися) середній рівень збігається з ізостатичним, і можливе тільки локальне підстроювання рівня, пов'язане з просторовою неоднорідністю поля тиску над басейном. У відкритих водоймах рівень моря буде відчувати також відгук на мінливість середнього тиску над морем з урахуванням підстроювання рівня моря до змін водообміну через протоки. Крім того, коливання атмосферного тиску викликають власні коливання рівня в бухтах і затоках, причому періоди коливань рівня визначаються конфігурацією водойм.

Розрахунки середніх багаторічних змін рівня за рахунок статистичної реакції на річний хід атмосферного тиску, виконані за даними 13 гідрометеостанцій на узбережжі колишнього СРСР і 3 станцій турецького узбережжя.

Розмах середньорічних аномалій становить близько 8 см. З квітня по серпень атмосферний тиск підвищує середній рівень, але з вересня по березень зменшує. Максимум позитивного вкладу спостерігається в липні, негативного - в листопаді. Разом з тим, Чорне море є без припливним басейном, розміри якого можна порівняти з характерними просторовими масштабами атмосферних систем. Підстроювання середнього рівня у цьому випадку, на відміну від умов відкритого океану, може відрізнитися від ефекту зворотного барометру.

Для перевірки цієї гіпотези в [6] обрані дві станції для двох різних типів шельфу у Чорному морі: Одеса (широкий і мілководний шельф) і Севастополь (поблизу заглибленого шельфу). Для аналізу використовувалися середньодобові дані, отримані осередненням строкових спостережень рівня моря h , атмосферного тиску P і компонент приземної швидкості вітру U , V за період 1993-1995 рр. Порівняння аномалій рівня моря, приземного тиску і вітру для берегових постів дозволило простежити загальну тенденцію атмосферного впливу на мінливість рівня моря. Аномалії розраховувалися як відхилення від середньорічного значення. Часовий хід рівня моря протягом року відповідав своєму багаторічному сезонному циклу: мінімум рівня спостерігався в лютому, максимум - у червні, що узгоджується з сезонним ходом водного балансу Чорного моря. Мінливість величин аномалій атмосферного тиску і вітру також відповідала своїм сезонним циклам. На синоптичних часових масштабах вдалося простежити вплив аномалій тиску і виділити періоди, коли амплітуди аномалій рівня моря і тиску знаходяться в проті фазі.

Було встановлено, що відгук рівня моря на вплив атмосферного тиску принципово відрізняється від ефекту зворотного барометру, як по величині, так і по фазі. Крім того, він різний для різних часових масштабів впливу. Цей ефект проявляється в локальному відгуку в прибережній зоні й у відгуку середнього рівня моря. Величина відгуку близька до зворотного барометру лише на періодах 3 - 4 дні і більш 50 днів, менше ізостатичного в основному

на періодах від 4 до 50 діб і перевершує ізостатичний відгук у високочастотній області спектра на періодах менше 2,5 днів. Аналіз складових відгуку рівня моря, пов'язаних з мінливістю атмосферного тиску і вітру, а також їх спектрів, показав, що для умов Чорного моря вони корелюють в проти фазі. Це призводить до зниження амплітуди характеристичної функції для оцінки відгуку рівня на тиск до 50 % в близько ізостатичному режимі в діапазоні частот 0,02 - 0,12 цикл на добу. Часовий масштаб відгуку середнього рівня на близько ізостатичний режим дорівнює 45-50 днів. Таким чином, для адекватного опису відгуку рівня необхідно враховувати особливості низькочастотної мінливості полів вітру і тиску над Чорним морем.

Для між річної мінливості атмосферного тиску над Чорним морем характерні періоди в 2-4 роки, з розмахом близько 2 мб. З середини і до кінця ХХ століття відзначалася тенденція до його підвищення. Таким чином, в багаторічній тенденції в ХХ столітті тиск діяв як фактор, що зменшує рівень Чорного моря.

1.8 Стеричні ефекти

Рівень моря залежить від змін густини водної товщі, оскільки вода намагається прийти до ізостатичній та динамічній рівновазі. Поверхня моря не є плоскою, оскільки на неї впливають ізостатичні процеси, гравітаційне тяжіння та динамічні процеси. Наприклад, в океані, в районі течій Гольфстрім і Куросіо, існує різниця в середній величині рівня моря приблизно на 1 м. Уздовж атлантичного узбережжя США зміни густини стають причиною щорічних коливань з розмахом 20-30 см. У Китаї, вздовж узбережжя Жовтого моря подібні зміни можуть складати більш 50 см.

Стеричний ефект в океані є відповіддю на зміни температури та солоності його вод. Коли океан приходить до гравітаційної рівноваги, висота водяного стовпа над незмінним рівнем тиску в будь-якому місці залежить від густини

вод. Води з меншою густиною розташовуються у верхніх шарах, тоді як з більшою густиною - нижче. Більш теплі і більше прісні води менш щільні, при цьому температура і солоність спільно впливають на рівень моря. Збільшення тиску з глибиною також впливає на густину води.

Вплив сезонних змін густини на рівень моря досліджувалося в [3]. Обробивши дані про сезонні зміни густини за 1923 -1966 рр. проаналізувавши отримані результати робиться висновок, що зміни рівня носять виражений річний хід, при цьому їх розмах становить близько 9 см. Підвищення рівня спостерігається з червня по жовтень з максимумом у серпні (5 см), зниження - з листопада по травень з максимумом у лютому - березні (близько 4 см). Зміни густини пояснюються річним ходом температури, при цьому наголошується, що в північно-західній частині моря коливання густини рівня виражені меншою мірою.

У [1,4] на основі обробки масиву даних, що включав 65 000 станцій, проаналізовано особливості просторово - часових стеричних коливань рівня Чорного моря, а також внесок температури і солоності в сумарний сигнал. Середньорічний рівень в центральних районах моря найнижчий і підвищується у напрямку до берегів - просторові відмінності досягають 12 см. Взимку вони зростають до 20 см, при цьому різко виражена улоговина займає більшу частину акваторії моря. Влітку стеричний рівень повсюдно підвищується відносно середньорічного, максимальне збільшення зазначається між півостровом Крим і Анатолійським узбережжям Туреччини. Найбільший річний розмах стеричних коливань рівня спостерігається в центральному та південно-східному районах і досягає 16-20 см, а найменший - у центрі східного району і становить 6 см.

Просторову структуру середньорічного стеричного рівня визначає, головним чином, солоність, внесок її в більшості випадків становить 70 -90 %. Амплітуда річної гармоніки термічної складової дорівнює 3- 4 см, причому максимум настає майже одночасно (у серпні) через розташування Чорного моря в одній кліматичній зоні. Амплітуда сольової складової

змінюється від 1 до 5 см. Різниця фаз настання максимуму соленосної складової досягає 7 - 8 місяців. Так, у прибережних районах максимум амплітуди, пов'язаний зі зміною солоності, спостерігається у весняний період а у центральних районах - у серпні.

Для визначення довготривалих тенденцій зміни густини води були розраховані лінійні тренди між річних змін температури і солоності за даними берегових станцій, розташованих на Кримському півострові (Ялта, Феодосія, Севастополь) та у північно-західній частині моря (Одеса, Очаків, Південний), за 1950-2000 рр. На всіх станціях виявляється негативний тренд по солоності і позитивний по температурі. Таким чином, для температури і солоності спостерігається позитивна тенденція вкладу у багаторічні зменшення густини (збільшення рівня). Оцінка зміни густини показує її зменшення на 0,44 у.о. у поверхневому шарі моря за останні 50 років ХХ століття, при цьому внесок солоності становить близько 90 %. На жаль, дані берегових станцій не дозволяють оцінити величину абсолютного збільшення рівня, пов'язаного з стеричним ефектом.

1.9 Твердий стік

Твердий стік (стік зважених частинок, що містяться в річковій воді), витісняючи обсяг води, піднімає рівень моря. В роботі [3] наведено оцінки впливу твердого стоку в зміни рівня Чорного моря.

Стік зважених частинок в Чорне море оцінюється величиною 68 млн. тон на рік . З них 80 % припадає на 4 річки: Дунай (51,2 млн. т· рік⁻¹), Дністер (1,73 млн. т· рік⁻¹), Дніпро (800 000 т· рік⁻¹), Південний Буг (200 000 т· рік⁻¹). Приймавши середню густину частинок 2,75 г· см⁻³, щорічний обсяг осадів, що відкладаються на дні, можна оцінити величиною 0,025 км³, що в перерахунку на зміну рівня дає величину приблизно 6 мм за 100 років (без урахування збільшення площі басейну), насправді, ця оцінка дає меншу величину, якщо вага осадів викликає ізостатичне опускання дна. Як бачимо,

оцінка дає досить значну величину, яка на два порядки перевищує оцінку, зроблену для Світового океану в цілому [1].

1.10. Сучасні тектонічні рухи.

Крім коливань рівня, обумовлених вище розглянутими чинниками, вимірювані висоти рівня містять сигнал, пов'язаний з геодинамікою узбережжя, на якому розташовані пости спостережень. Цей сигнал є відносним, так як відбувається не від змін рівня, а від підняття або опускання берега, на якому розташований пост. Зазвичай вертикальні рухи земної кори неотектонічного етапу підрозділяють на новітні, які почалися в пліоцені (9 ± 3 млн. років тому), молоді - охоплюють останні 10 тисяч років, і сучасні, які відбуваються в останнє сторіччя. В [1,3] наведено оцінки про сучасні вертикальні рухи земної кори.

В сучасний час існують кілька способів отримання даних про швидкість і напрямок рухів земної кори. Перший - проведення точного геодезичного нівелювання, другий пов'язаний з аналізом безпосередньо даних про рівень моря. Останнім часом також з'явилися космічні геодезичні методи та метод абсолютної гравіметрії. Наприклад, у Криму створено замкнений нівелірний полігон, на якому встановлені репери і щорічно проводиться повторне прецизійне нівелювання. Отримані дані показали, що узбережжя Криму занурюється зі швидкістю в окремих точках до $0,2 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ (Чорноморське - $0,1 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, Євпаторія - $0,07 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, Алушта - $0,14 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$) [4]. Вони ж виявили, що вертикальні рухи відчувають мікро ритми, період яких визначається декількома роками. Повторні нівелювання показали, що середня швидкість опускання реперів в Одесі становить $0,51 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, а в районі Поті до $0,65 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ [3].

1.11 Внесок змін балансу прісних вод Чорного моря в зміни рівня

Аналізуючи всі фактори, що впливають на зміни рівня Чорного моря можна констатувати, що основні з них це, елементи балансу прісних вод. Інші фактори впливають на зміни рівня моря значно менше. В роботі [1] внесок елементів прісного балансу аналізуються за 2 кліматичні періоди: з 1946 по 1975 роки і з 1976 по 2005 роки. Кількісні оцінки внеску елементів балансу прісних вод в зміни рівня Чорного моря можна побачити з табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Режимно -статистичні характеристики вкладу елементів балансу прісних вод Чорного моря в зміни його рівня, [1]

Елемент балансу прісних вод	Кліматична норма, см		Різниця, см	Знак тренду (1923-2005pp.)
	1946-1975 pp.	1976-2005 pp.		
Річковий стік	79,6	78,6	-1	-
Опади	57,4	64	+6,6	+
Випаровування	96,2	75,6	-20,6	-
Прісний баланс	40,8	67	+26,2	+

Як видно, внесок річкового стоку в зміни рівня моря за обидва кліматичні періоди змінився не суттєво. В цей же час внесок випарування з поверхні моря зменшився приблизно на 21% , а внесок опадів навпаки збільшився на 11% за період з 1976 по 2005 роки в порівнянні з періодом з 1946 по 1976 роки. Внесок прісного балансу в зміни рівня Чорного моря, таким чином, збільшився майже на 64 % за рахунок в основному збільшення опадів на поверхню моря та зменшення випаровування.

2. МАТЕРАЛИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА МЕТОДИ ЇХ ОБРОБКИ

В магістерській роботі використовувалися середньомісячні та середньорічні дані рівня моря на станціях Цареградське гирло, Приморське, Чорноморськ, Одеса і Южний. Вихідні дані містяться в таблицях ТГМ, а також в [8]. Положення станцій показано на рис. 2.1.

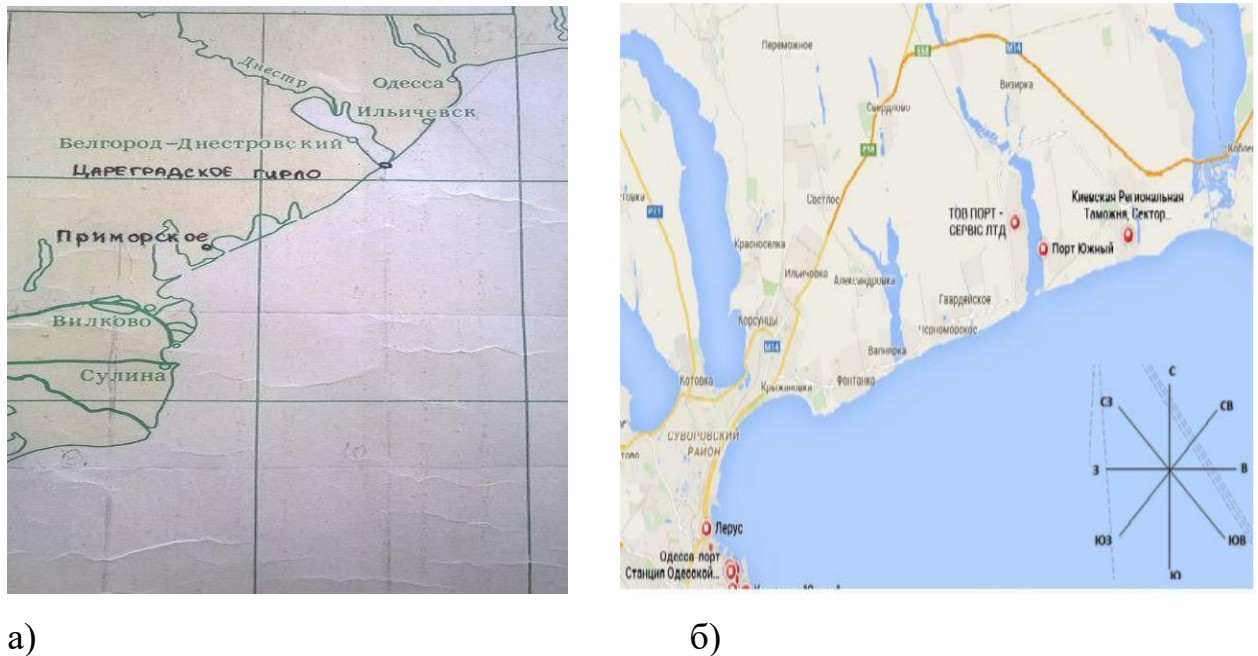


Рис. 2.1 Положення станцій Цареградське гирло, Приморське, Чорноморськ, Одеса (а) та Южний (б).

Ряди спостережень за рівнем моря є такими: для станцій Одеса і Цареградське гирло – з 1975 по 2016 рр., для станцій Чорноморськ і Южний – з 1986 по 2016 рр., для станції Приморське – з 1975 по 2010 рр.

Станція Цареградське гирло знаходиться поблизу Дністровського лиману в мілководній зоні морського узбережжя, де середні глибини не перевищують 10 м, а ізобата 20 м проходить від берега на відстані приблизно 50 км. Мінливість всіх гідрологічних характеристик в цьому районі пов'язана з річковим стоком Дністра та з мілководністю району [9]. Цареградське гирло – вузька суднохідна, штучно поглиблена протока, що

з'єднує Дністровський лиман і Чорне море. Середня глибина протоки сягає 10 м. Середня глибина на порозі, що відокремлює лиман від протоки становить 6 м. Дно тут різко опускається до моря. Глибока улоговина, вирита потоком з гирла, простежується на відстані до 0,5 км від нього в бік моря, після чого глибина зменшуються. Своєрідний рельєф вузької і невеликої за довжиною протоки, що виражається різким перепадом глибин у міру просування від лиману до моря, стрімкими береговими схилами, виробленими земле насосами, створює специфічну картину водообміну – зокрема в протоці майже немає поперечних течій і, як правило, лиманний або морський потік від поверхні до дна випрямлені за напрямом його осі незалежно від первинного напрямку течії. Рівневий режим Дністровського лиману визначається взаємодією ряду факторів, основними з яких є вітрові відгінно-нагінні явища, приплив річкових вод і водообмін з морем. Середні багаторічні значення оцінок рівня води у водоймі практично однакові на різних його ділянках – у середній частині водойми вона всього лише на 2 см вище, ніж в районі протоки. Протягом року хід рівня характеризується незначним підйомом з листопада по червень і плавним спадом в літній і осінній період.

Станція Приморське знаходиться поблизу гирла Дунаю, в Жебріяньській бухті. Глибини поблизу станції не перевищують 10 м, а на відстані 50 км від станції глибини не перевищують 20-25 м. На мінливість характеристик гідрологічного режиму впливає як мілководність району та вплив стоку Дунаю.

Станція Чорноморськ знаходиться в Сухому лимані, де розташовано однойменний морській торговий порт. Розташування порту в глибоководному лимані, якій з'єднується з морем вхідним каналом, створює природну захищеність акваторії від хвиль та течій, а також сприяє цілорічній навігації. Достатні глибини на водних підходах і в акваторії сприяють навігації великотоннажного флоту.

Станція Южний знаходиться в акваторії Григорівського лиману де розташовано однойменний морській торговий порт. Григорівський лиман відноситься до числа порівняно невеликих приморських водоймищ [10], який розташований за 30 км на сході від Одеси. Довжина лиману близько 7,3 км, ширина - до 1,2 км (середня ширина близько 0,8 км), площа водного дзеркала близько 6,0 км². В даний час Григорівський лиман являє собою штучно відкриту водойму. Виник Григорівський лиман в результаті затоплення морем гирла річки малий Аджалик та утворення пересипу і відокремлення його від моря. Після розкриття пересипу та утворення протоки шириною близько 500 м, будівництва в 1978 р. судноплавного каналу і днопоглиблювальних робіт по влаштуванню причалів порту Южний і Одеського припортового заводу, лиман перетворився на морську затоку з своєрідним гідролого-гідрохімічними режимом.

Тривалість спостережень на станціях Цареградське гирло і Одеса складає 42 роки, на станціях Чорноморськ і Южний - 36 років, а на станції Приморське - 31 рік, що дозволяє виконати оцінки як сезонних так і багаторічних змін рівня, для чого використовувались стандартні методи статистичної обробки -

програма SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) [11]. Розраховувались такі характеристики мінливості рівня - середнє, середньоквадратичне відхилення, розмах коливань, максимум та мінімум. Для аналізу впливу річкового стоку на сезонні коливання рівня моря на прикладі станції Приморське використовувались дані по стоку Дунаю. Виконувався кореляційний аналіз взаємозв'язків між ними. Для оцінки багаторічних змін розраховувались лінійні тренди [11].

Ряди спостережень містять дані за останні роки, що дозволяє оцінити тенденції, які відбуваються в змінах рівня в північно-західній частині Чорного моря на фоні кліматичних змін. Виконувалось також порівняння характеристик мінливості між всіма станціями.

3 СЕЗОННІ ЗМІНИ РІВНЯ МОРЯ НА СТАНЦІЯХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ

Сезонна мінливість рівня є, мабуть, найбільш вивченою, хоча розглядається у відносно невеликій кількості робіт. Власне, перші дослідження мінливості рівня в Чорному морі і були присвячені його сезонним коливанням. У них вперше було встановлено, що сезонні флуктуації є наслідком коливань у вступі річкового стоку в море. Пізніше, зазначалося, що основною причиною сезонних коливань рівня в Чорному морі є стік Дунаю. Деякі статистичні характеристики сезонних коливань наводяться в [1, 2].

Сезонна мінливість рівня у Чорному морі в цілому визначається співвідношенням складових водного балансу протягом року, в яких головним фактором є річковий стік. Внесок кожного з факторів на зміни рівня докладно розглянуто в розділі 1. Якщо говорити точніше, то сезонні зміни залежать не тільки від співвідношення компонентів водного балансу в конкретний рік, але також і від його особливостей в попередній період.

Найбільші рівні води спостерігаються в літній і весняний сезони, Цьому періоду року відповідає і максимум стоку річок, який є визначальним для режиму рівня Чорного моря. Найбільші середньомісячні величини рівня в конкретному році спостерігалися в різні сезони, за винятком періоду вересень – листопад. Інтенсивні атмосферні опади восени можуть призводити до появи другого максимуму. Наприклад, це спостерігалось в грудні 1997 р., аномального за кількістю опадів за останні 50 років. Мінімуми середньомісячних значень рівня моря в різні роки також відзначалися в різні сезони, за винятком періоду травень - липень. На відміну від максимальних значень, тимчасові зміни мінімуму рівня менш стійкі до своєї нормі. Найбільш часто мінімальні значення спостерігаються в жовтні і листопаді, причому, якщо абсолютний мінімум відзначається в листопаді, то найбільш

часто він відзначається і в жовтні. Відмінності в сезонному ході для окремих районів моря незначні і стосуються, головним чином, абсолютних величин. Аномальний сезонний хід рівня моря в основному пов'язаний з аномаліями річкового стоку.

В роботі [1] за матеріалами спостережень за річковим стоком аналізуються зміни рівня всього Чорного моря. Показано, що внесок річкового стоку за період 1923 - 2005 рр. в термінах збільшення рівня складає в середньому $79 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$ при найбільшому і найменшому значеннях 120 і 56 см (151 і 70 % від норми) . Середній багаторічний розмах сезонних коливань стоку склав близько 6 см, максимальний 12 см, мінімальний близько 4 см. Аналіз особливостей сезонного ходу стоку показав кліматичні зміни їх характеру. Так за 30-ти річний період (рекомендований Всесвітньою метеорологічною організацією, як кліматичний) з 1976 по 2005 рр. розмах сезонного сигналу зменшився по відношенню до попереднього періоду (1946 - 1975 рр.). З рис. 3.1 видно збільшення стоку в півріччя, в яке спостерігаються його мінімальні значення (вересень - лютий).



Рис. 3.1. Річний хід вкладу стоку річок в зміни рівня Чорного моря за 1946 - 1975 рр. (суцільна лінія), за 1976 - 2005 рр. (пунктир), з [1]

Навпаки, в півріччя максимального стоку спостерігається зменшення водності. Порівняння різниці величин стоку за ці періоди показало зменшення розмаху сезонного сигналу на 23 %. Виражений в попередній період максимум у травні став більш «розмитим». Аналіз конкретних кривих сезонного ходу показує, що в цей період, на відміну від попереднього, кількість випадків максимуму в квітні і травні було однаковим (по 40 % всіх випадків). В цей же період, в порівнянні з попереднім, межі змістилися з жовтня на вересень. Більш вираженою стала піврічна гармоніка.

В роботі [1] аналізуються також сезонні коливання рівня Чорного моря. Показано, що за останні 30 років (1976-2005 рр.) в порівнянні з попереднім періодом (1946-1975 рр.) відбулись кліматичні зміни сезонного ходу рівня Чорного моря. Ці зміни полягають в наступному. Розмах сезонних коливань зменшився на 25%, максимум сезонного ходу спостерігається в травні і червні (в попередній період – лише в червні) , а в осінньо-зимовий період рівень моря значно підвищився в порівнянні з попереднім періодом. Такі зміни відповідають особливостям кліматичних змін балансу прісних вод і тісно пов'язані з ними.

Аналіз сезонних коливань рівня моря в північно-західній частині Чорного моря наведено також в роботі [12], При цьому для станції Одеса порівнювались два кліматичних періоди – 1947-1979 рр. і 1980-2012 рр. Показано, що амплітуда сезонних коливань рівня на станціях Одеса, Чорноморськ і Южний складає 14-15 см. Максимум в річному ході спостерігається в травні-червні, а мінімум – в вересні-жовтні. На станції Цареградське гирло амплітуда сезонних коливань вище, ніж на інших станціях приблизно на 25% і складає 19 см, що обумовлено впливом стоку річки Дністер.

При порівнянні двох кліматичних періодів для станції Одеса виявилось, що за період 1980-2012 рр. амплітуда сезонних коливань знизилась з 21 см до 15 см - на 25% . В жовтні і листопаді за період 1980-2012 рр. рівень моря

підвищився на 11- 12 см, а травні - лише на 5-6 см в порівнянні з періодом 1947-1979 рр. Таким чином, зменшення амплітуди сезонних коливань відбулось за рахунок підвищення мінімального в сезонному ході рівня моря.

Причиною таких змін сезонних коливань є кліматичні зміни складових водного балансу Чорного моря. Найбільший внесок атмосферних опадів в зміни рівня припадає на період з листопада по лютий. В багаторічних коливаннях внеску атмосферних опадів над Чорним морем за останні 30 років спостерігається позитивний тренд, тобто кількість опадів в зимовий період збільшилась [1]. Іншою причиною змін сезонних коливань рівня є зміни характеру стоку річок. Підвищення рівня осінню обумовлено зростанням стоку річок в півріччя, коли спостерігаються його мінімальні значення

(вересень- лютий) та зменшення стоку в півріччя максимального стоку (березень- липень). Мінімальні значення стоку річок спостерігаються в вересні, що і є причиною росту мінімального рівня моря в вересні і жовтні.

Складові водного балансу моря в кожному конкретному році суттєво відрізняються від середніх багаторічних значень, що обумовлює різноманітний характер кривих сезонного ходу рівня моря. Розрахунки, наведені в роботі [12], показали, що максимальні в сезонному ході значення рівня на станціях північно-західної частини моря частіше за все спостерігаються з квітня по червень (в 60%- 70% випадків) і ніколи не спостерігаються в вересні. Інтенсивні опади осінню і зимою можуть бути причиною максимуму рівня і в ці місяці. В деякі роки зимовий максимум рівня може бути однаковим з весняним максимумом і навіть перевищувати його. Повторюваність зимового максимуму сезонного ходу рівня змінюється від 20% до 28%.

Мінімальні в сезонних коливаннях середні місячні значення рівня моря спостерігаються в різні місяці року, за виключенням періоду з квітня по липень В 50% випадків мінімальний рівень на станціях північно-західної частини моря спостерігається в вересні і листопаді.

Для оцінки сезонного ходу рівня на станціях північно-західної частини Чорного моря за рядами спостережень з 1975 по 2016 рр. розраховувались середні, максимальні і мінімальні значення, а також розмах коливань і значення середнього квадратичного відхилення (СКВ) для кожного місяця року.

Розглянемо докладно результати розрахунків для кожної станції окремо. Тривалість рядів спостережень на станції Цареградське гирло і Одеса складає 42 роки, а на станціях Чорноморськ і Южний – 31 рік, а на станції Приморське – 36 років.

Характеристики сезонного ходу рівня моря на станції Цареградське гирло за період 1975-2016 рр. представлено в табл. 3.1 і на рис. 3.2.

Таблиця 3.1 Статистичні характеристики рівня моря за станції Цареградське гирло за період 1975-2016 рр., в см

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
Нср	493	496	496	501	504	502	497	492	487	487	487	489	494
Нмакс рік	519 2010	528 2010	524 2010	525 2013	519 2010	522 2010	525 2010	515 2010	505 1999	503 2014	509 2010	516 2010	518
Нмін, Рік	470 1976	474 1985	478 1976	486 1993	483 1976	477 1976	472 1976	467 1976	470 1985	464 1985	462 1983	466 1983	472
Розмах	49	54	46	39	36	45	53	48	35	39	47	50	36

СКВ	10.0	10,4	8.9	8.0	7.8	8,9	10.4	8.9	7,6	8.0	10,0	10,0	
-----	------	------	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	------	--

Примітка: H_{cp} – середній місячний рівень моря, см; H_{max} – максимальний рівень моря, см; H_{min} – мінімальний рівень моря, см; Розмах – різниця між максимальним і мінімальним рівнем моря, см;

СКВ – середнє квадратичне відхилення, см.

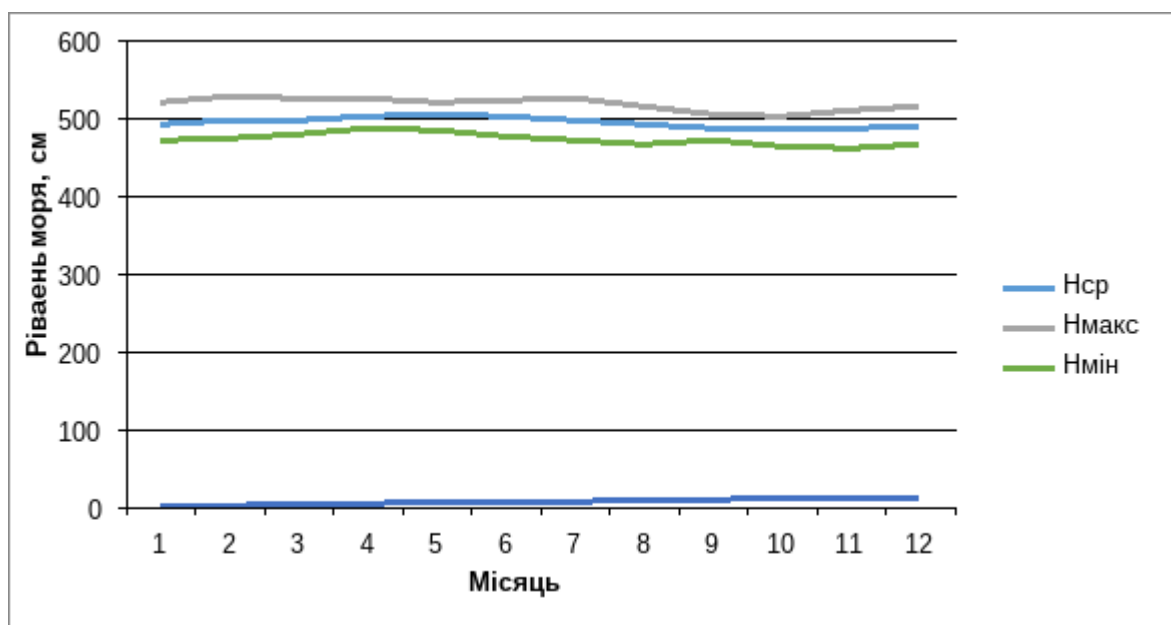


Рис.3.2 Сезонний хід середнього, максимального та мінімального рівня моря на станції Цареградське гирло за період 1975-2016 рр., в см

Мінімальний в сезонному ході рівень моря на станції Цареградське гирло спостерігається в вересні -листопаді і складає 487 см. Максимальний рівень спостерігається в травні та досягає 501- 504 см, що цілком обумовлено сезонним ходом складових водного балансу. Амплітуда сезонних коливань в середньому за багаторічними даними становить 17 см. За екстремальними значеннями амплітуда сезонних коливань досягає 64 см - максимальне значення в лютому 2010 р досягало 528 см, а мінімальне в листопаді 1983 р.

становило 462 см. Між річна мінливість розмаху середніх місячних значень рівня моря знаходиться в межах від 35 см в вересні до 54 см в лютому. Найбільші значення середнього місячного рівня моря на станції Цареградське гирло відмічаються в 2010 і 2013 роках, а найменші – в 1983-1985 роках. Середній багаторічний рівень Чорного моря на станції дорівнює 494 см.

Характеристики сезонного ходу рівня моря на станції Одеса за період 1975-2016 рр. представлено в табл. 3.2 і на рис. 3.3.

Таблиця 3.2 Статистичні характеристики рівня моря за станції Одеса за період 1975-2016 рр., в см

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
Нср	485	488	488	493	495	495	488	486	480	480	480	481	487
Нмакс рік	508	512	510	513	510	507	507	502	495	493	500	503	505
	1996	2010	2010	2013	2013	2013	2010	2010	2002	2002	2002	1981	
Нмін, рік	466	469	470	473	477	478	476	472	465	461	465	461	469
	1976	1985	1976	1976	1976	1976	1976	1976	2007	1986	1983	1986	
Розмах	42	43	40	40	33	29	31	30	30	32	35	42	36
СКВ	8.4	8,4	8.0	8.0	6.6	5.4	6.4	6.0	6.0	6.4	7.2	8.4	

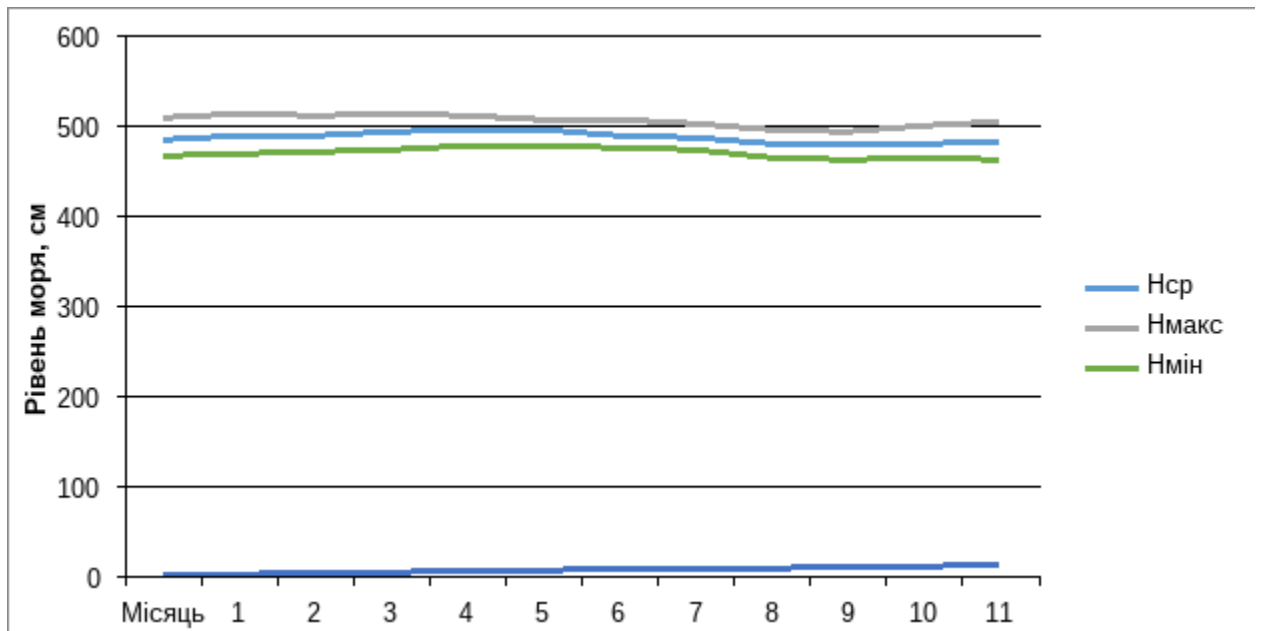


Рис. 3.3 Сезонний хід середнього, максимального та мінімального рівня моря на станції Одеса за період 1975-2016 рр., в см

Середній багаторічний рівень моря на станції Одеса дорівнює 487 см, що на 7 см нижче, ніж на станції Цареградське гирло. Амплітуда сезонних коливань в середньому за багаторічними даними становить 15 см. Максимальний в сезонному ході рівень спостерігається в травні-червні – 495 см, а мінімальний - з вересня по листопад і дорівнює 480 см. За екстремальними значеннями амплітуда сезонних коливань досягає 51 см - максимальне значення в лютому 2010 р. досягало 512 см, а мінімальне - в жовтні і грудні 1986 р. становило 461 см. Міжрічна мінливість середніх місячних значень розмаху рівня моря знаходиться в межах від 30 см в серпні- вересні до 43 см в лютому. Значення розмаху між річних коливань рівня моря в Одесі нижче, ніж на станції Цареградське гирло, що пояснюється більш значним впливом річкового стоку. Найбільші значення середнього місячного рівня моря на станції Одеса відмічаються в 2010 і 2013 роках, а найменші – в 1986 році.

Характеристики сезонного ходу рівня моря на станції Чорноморськ за період 1986-2016 рр. представлено в табл. 3.3 і на рис. 3.4.

Середній багаторічний рівень моря на станції Іллічівськ становить 490 см. Максимальний в сезонному ході рівень спостерігається в травні - 498 см, а мінімальний – в вересні-жовтні – 483 см. Амплітуда сезонного ходу становить 16 см. За екстремальними значеннями амплітуда сезонних коливань досягає 55 см - максимальне значення в лютому 2010 р. досягало 517 см, а мінімальне - в грудні 1993 р. становило 462 см.

Таблиця 3.3 Статистичні характеристики рівня моря за станції Чорноморськ за період 1986-2016 рр., в см

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
Нср	488	491	491	495	498	497	492	489	483	483	484	487	490
Нмакс рік	510 2010	517 2010	516 2010	516 2013	514 2013	512 2013	513 2010	507 2010	499 1998	495 2005	500 2002	505 2010	509
Нмін, Рік	463 1992	463 1992	466 1996	473 1994	472 1992	477 1992	472 1993	470 1993	467 1993	464 1986	465 1986	462 1993	467
Розмах	47	52	50	43	42	35	41	37	32	31	35	43	42
СКВ	9.2	10,4	10.0	8.8	8.8	6.8	8.0	7.2	6.4	6.4	6.8	8.8	

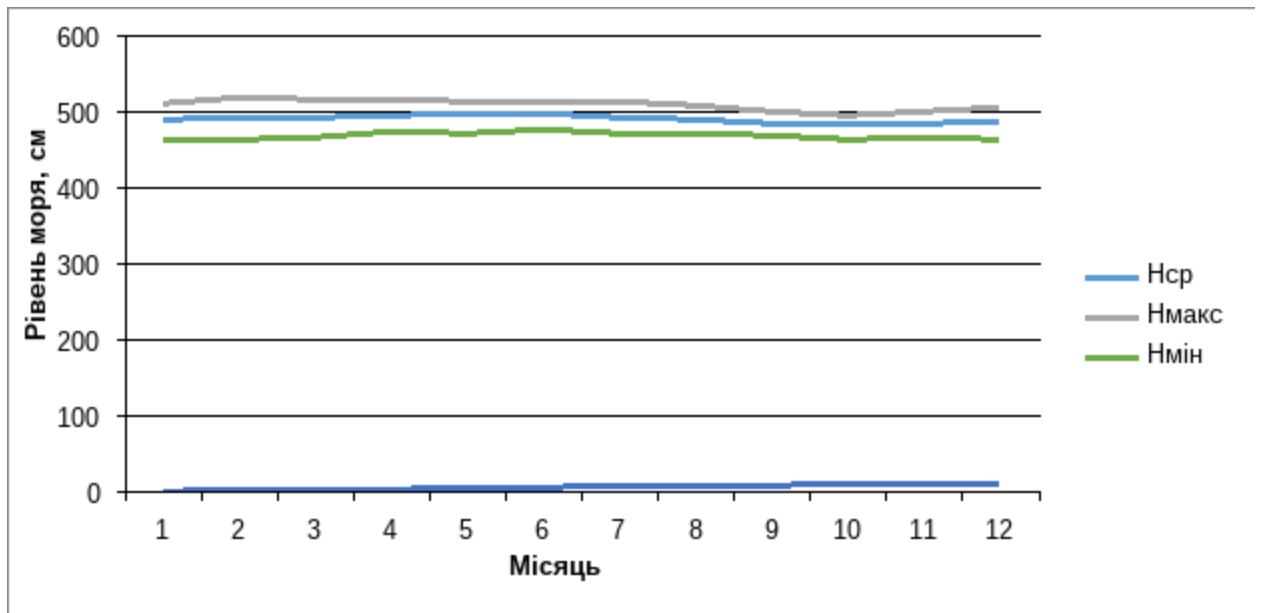


Рис.3.4 Сезонний хід середнього, максимального та мінімального рівня моря на станції Чорноморськ за період 1986-2016 рр., в см

Розмах між річних коливань впродовж року змінюється від 31 см в жовтні до 52 см в лютому. Найбільші значення середньомісячного рівня моря на станції відмічаються в 2010-2013 роках, а найменші – в 1986 році, і ці характеристики є такими, як і на станціях Одеса і Цареградське гирло.

Характеристики сезонного ходу рівня моря на станції Южний за період 1986-2016 рр. представлено в табл. 3.4 і на рис. 3.5.

Таблиця 3.4 Статистичні характеристики рівня моря за станції Южний за період 1986-2016 рр., в см

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
Нср	488	490	491	495	498	497	493	487	483	483	485	485	490
Нмакс рік	506 2011	514 2010	513 2010	515 2013	513 2013	512 2016	512 2010	507 2010	496 1999	494 2002	503 2010	504 2010	505
Нмін, Рік	463 1987	470 1992	470 1987	475 1991	477 1986	482 1986	474 1986	467 1986	458 1986	451 1986	453 1986	451 1986	466
Розмах	42	44	43	40	36	30	38	40	38	43	50	53	39
СКВ	8.4	8.6	8.4	8.0	7.2	6.0	7.4	8.0	7.4	8.4	10.0	10.4	

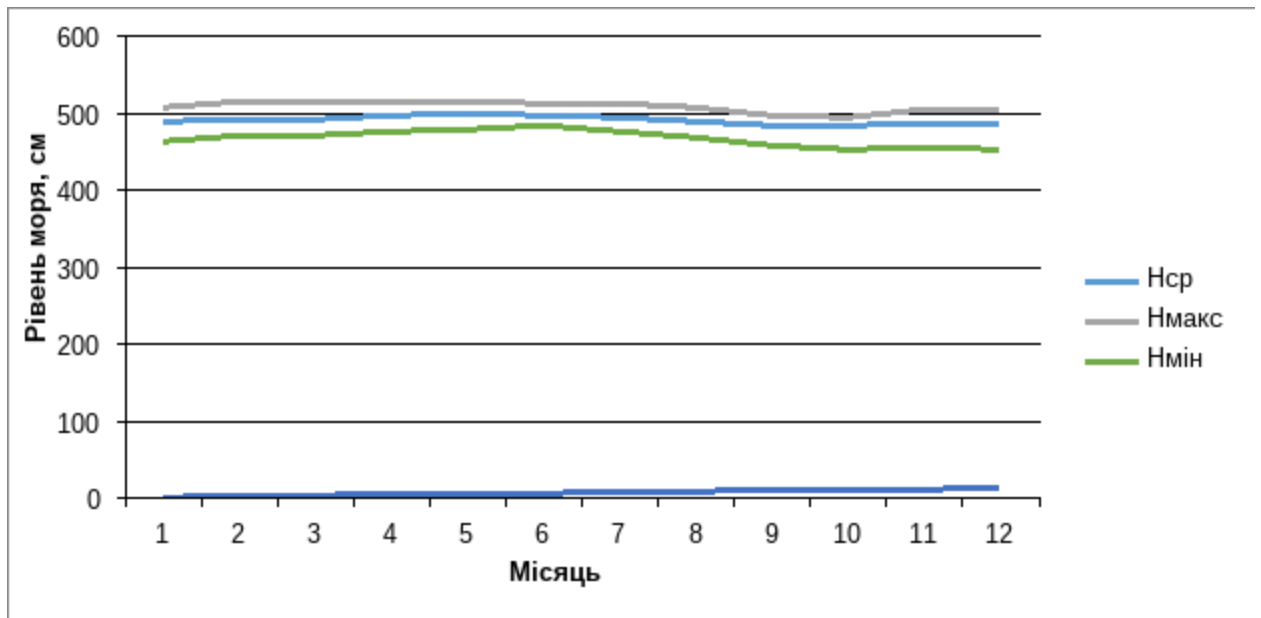


Рис.3.5 Сезонний хід середнього, максимального та мінімального рівня моря на станції Южний за період 1986-2016 рр., в см

Середній багаторічний рівень моря на станції Южний становить 490 см, що співпадає з середнім багаторічним рівнем на станції Чорноморськ. Максимальний в сезонному ході рівень досягається травні і становить 498 см, а мінімальний – жовтні-листопаді і становить 483 см. Амплітуда сезонного ходу становить 16 см, що також співпадає з амплітудою сезонного ходу на станції Чорноморськ. За екстремальними значеннями амплітуда сезонних коливань досягає 64 см - максимальне значення в квітні 2013 р. досягало 515 см, а мінімальне - в грудні і жовтні 1986 р. становило 451 см. Розмах між річних коливань рівня моря змінюється впродовж року від 30 см в червні до 53 см в грудні. Найбільші значення середньомісячного рівня моря на станції відмічаються в 2010-2013 роках, а найменші – в 1986 році.

Для порівняння наведемо статистичні характеристики і сезонний хід рівня моря на станції Приморське за період 1975-2010 рр. (табл. 3.5 і рис.3.6)

На станції Приморське мінімальний в сезонному ході спостерігається в жовтні листопаді, а максимальний в травні.

Таблиця 3.5 Статистичні характеристики рівня моря за станції Приморське за період 1975-2010 рр., см

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	За рік
Нср	486	488	490	491	494	493	490	488	483	481	481	483	487
Нмакс, рік	527 2010	529 2010	521 2010	520 2010	514 2010	516 2010	515 2010	513 2010	512 2005	506 2005	508 2005	515 2010	516
Нмін, Рік	466 1976	468 1985	472 1976	476 1976	478 1976	478 1976	476 1976	477 1976	472 1990	467 1986	463 1983	463 1986	471
Розмах	61	61	49	46	36	38	39	36	40	39	45	52	45
СКВ	9,3	8,4	7,9	7,8	7,1	6,7	8,2	7,3	8,6	8,3	9,6	10,1	

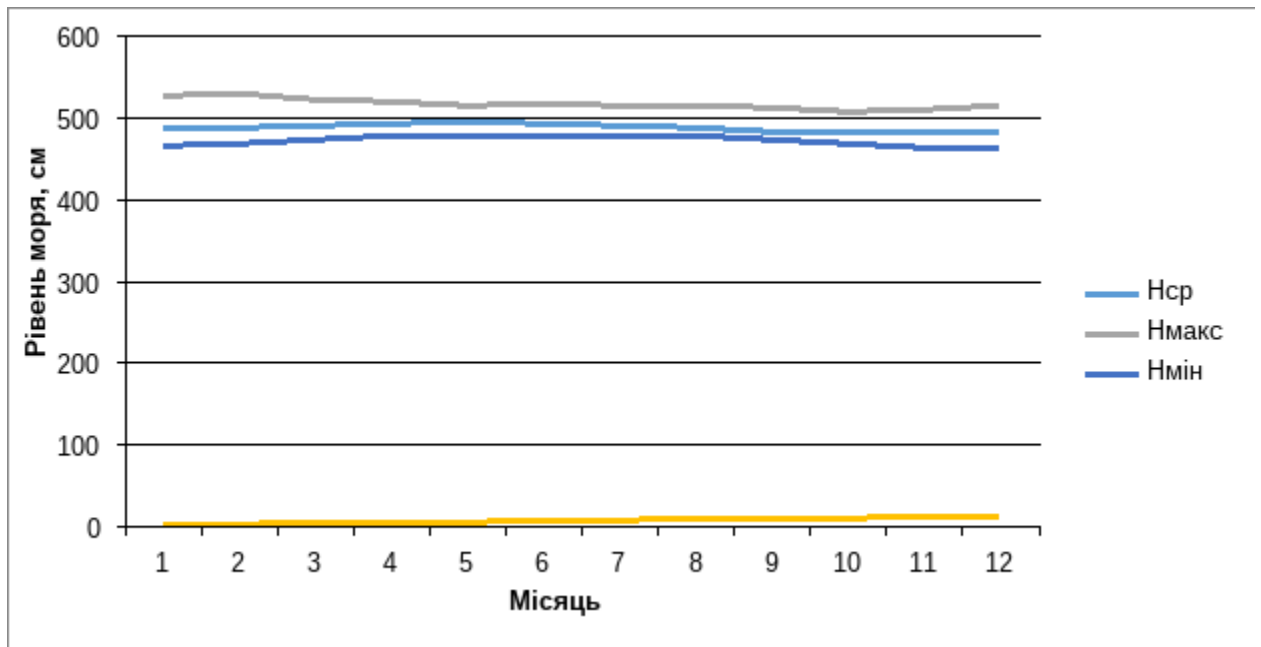


Рис. 3.6 Сезонний хід середнього, максимального та мінімального рівня моря на станції Приморське за період 1975-2010 рр., в см

Станція Приморське розташована поблизу гирлової зони Дунаю і знаходиться під впливом річкового стоку. За досліджуваний період середній багаторічний рівень моря дорівнював 487 см. Максимальне в сезонному ході значення рівня спостерігалось в травні і становило 494 см, а мінімальне – в жовтні-листопаді становило 481 см. Амплітуда сезонного ходу рівня досягає 13 см. За екстремальними значеннями амплітуда сезонних коливань досягає 66 см - максимальне значення в лютому 2010 р. досягало 529 см, а мінімальне - в грудні 1986 р. і листопаді 1983 р. становило 463 см. Розмах між річних коливань рівня впродовж року змінюється від 36 см в серпні до 61 см в січні і лютому.

В роботі [13] представлено деякі результати аналізу сезонної мінливості рівня моря на станції Приморське. На рис. 3.7 наведено графік між річної мінливості розмаху сезонних коливань і лінійного тренду за період 1975-2010 рр. на станції Приморське.

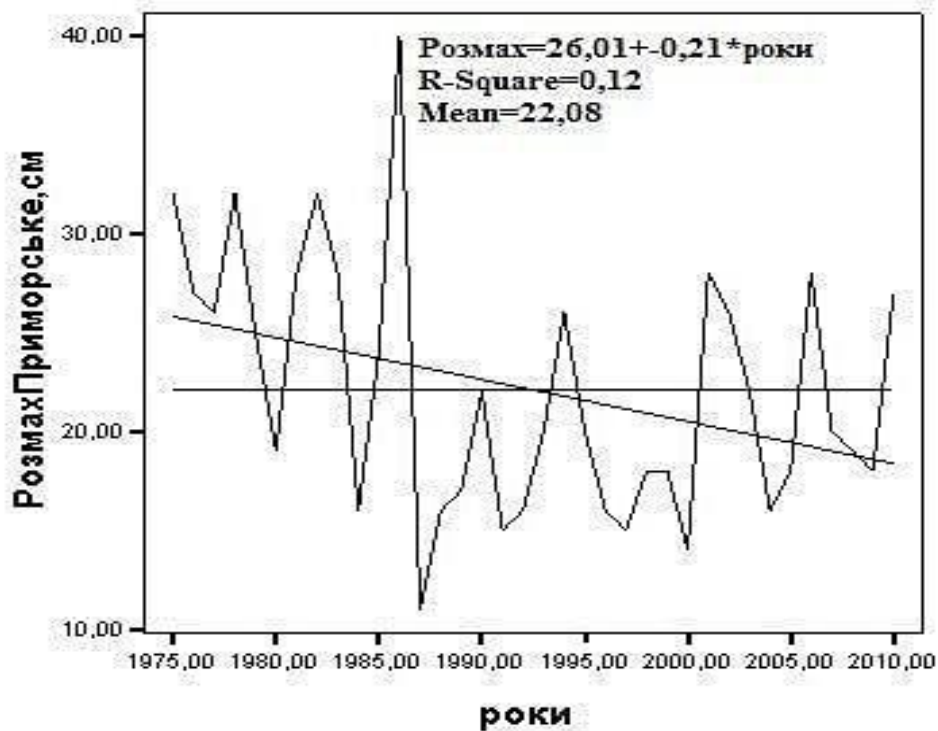


Рис. 3.7 Багаторічна мінливість розмаху сезонних коливань рівня моря на станції Приморське за період 1975-2010 рр. [13]

Як видно з графіку в багаторічних змінах розмаху сезонних коливань спостерігається від'ємний тренд, але ж статистично не значущий. Коефіцієнти детермінації дорівнює 0,12. Зменшення розмаху коливань за трендом становить 8 см, тобто розмах коливань зменшився приблизно на 30 %. В роботі [5] вказано, що за період 1946—1975 рр. розмах сезонних коливань по всьому Чорному морю знизився на 25 %. Слід також відмітити, що перехід розмаху сезонних коливань нижче середнього значення припадає на 1992 рік. В багаторічній мінливості розмаху сезонних коливань можна також спостерігати цикли від 4 до 8 років. На думку автора [3] причиною

зменшення розмаху сезонних коливань є підвищення мінімального в сезонному ході рівня моря.

Аналіз кривих сезонного ходу рівня моря на різних станціях показує, що вони мають однаковий вигляд і відрізняються лише амплітудами. Характер сезонних коливань рівня моря залежить від складових водного балансу моря, а саме від річкового стоку, атмосферних опадів та випаровування з поверхні моря. Для більш детального аналізу впливу складових водного балансу на сезонні коливання проводилась попередня обробка кривих сезонних змін.

Як відомо, зручною формою представлення кривих океанологічних елементів є розкладання їх в ряди поліномів Чебишова [14,15]. Коефіцієнти розкладання показують внесок парабол різного порядку в реальні криві, та змінюються в часі. Тому для аналізу часових змін кривих сезонного ходу рівня моря можна аналізувати лише коефіцієнти розкладання.

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

$$H(x) = A_0 + A_1 * \varphi_1(x) + A_2 * \varphi_2(x) + A_3 * \varphi_3(x) + A_1 \varphi_1(x) \quad (3.1)$$

де: φ_i - поліноми різного порядку, які взяті з [15];

x - нумерація точок $x=1\dots 12$ (номер місяця);

A_i - коефіцієнти розкладання розраховуються за формулою:

$$A_i = \sum H(x) \cdot \varphi_i(x) / \sum \varphi_i^2(x) \quad (3.2)$$

Коефіцієнти розкладання мають певний фізичний сенс: A_0 - середній за рік рівень моря; $A_1 * \varphi_1(x)$ - пряма лінія, при A_1 зі знаком «+» в сезонному ході рівня спостерігається підвищення рівня від січня до грудня, а при A_1 зі знаком «-» в сезонному ході спостерігається зниження рівня від січня до грудня. Для ілюстрації фізичного сенсу коефіцієнту A_1 розраховувались

коефіцієнти кореляції між ним та розмахом сезонних коливань рівня на станції Приморське. Результати розрахунків представлено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 Коефіцієнти кореляції між розмахом сезонних коливань рівня та коефіцієнтами розкладу кривих сезонного ходу рівня на станції Приморське за період з 1975-2010 рр.

Коефіцієнти	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
Чебишова					
Коефіцієнти кореляції	-0,060	-0,596**	-0,236	0,032	0,085

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

З таблиці видно, що найтісніший зв'язок спостерігається між розмахом коливань та коефіцієнтом A_1 , тобто цей коефіцієнт відображає розмах сезонних коливань рівня моря. Коефіцієнти більш високого порядку мають формальний сенс і практично не зв'язані з розмахом сезонних коливань.

Так, як сезонні коливання рівня моря обумовлені сезонним змінами складових водного балансу моря можна очікувати статистичні взаємозалежності між характеристиками сезонного ходу (коефіцієнтами розкладання) та характеристиками водного балансу. Дані по багаторічним значенням складових водного балансу Чорного моря за період з 1975 по 1998 рр. взяті з [3]. Розраховувались коефіцієнти кореляції між цими характеристиками, які представлено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 Коефіцієнти кореляції між складовими водного балансу Чорного моря і коефіцієнтами розкладу кривих сезонного ходу рівня на станції Приморське за період 1975-1998 рр.

Коефіцієнти розкладу кривих сезонного ходу	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
Складові водного балансу					
Сумарний баланс прісних вод	0,625**	0,085	0,209	0,165	0,215
Річковий стік	0,518**	-0,548**	0,083	0,106	-0,019
Атмосферні опади	0,521**	0,127	-0,003	0,115	0,409*
Випаровування	-0,044	-0,538**	-0,360	-0,165	0,025

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

Як видно з таблиці, коефіцієнт A_0 (середній за рік рівень моря на станції) тісно зв'язан з сумарним балансом прісних вод, а також з річковим стоком і атмосферними опадами та не зв'язан з випаровуванням з поверхні моря. Коефіцієнт A_1 , що відображає розмах сезонних коливань рівня моря, пов'язаний як з річковим стоком, так і з випаровуванням. Інші коефіцієнти розкладання з складовими водного балансу статистично слабо пов'язані.

Ці результати отримано на матеріалах спостережень для станції Приморське за період з 1975 по 1998 роки. Так як характер сезонних коливань рівня моря на всіх інших станціях є однаковим, можна припустити, що результати взаємозв'язків будуть такими ж.

4. БАГАТОРІЧНІ ЗМІНИ РІВНЯ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ

Рівень Світового океану зростає, що підтверджується контактними та дистанційними його вимірюваннями і пояснюється кліматичними змінами. На думку вчених зміни середнього глобального рівня моря відбуваються в основному в результаті потепління океану за рахунок теплового розширення морської води і танення льоду суходолу.

В прес-релізі Всесвітньої Метеорологічної Організації «State of global climate 2021, WMO Provisional report» опублікованому 31 жовтня 2021 р. наведено графік змін глобального середнього рівня моря з січня 1993 року по вересень 2021 року [16], який представлений на рис. 4.1.

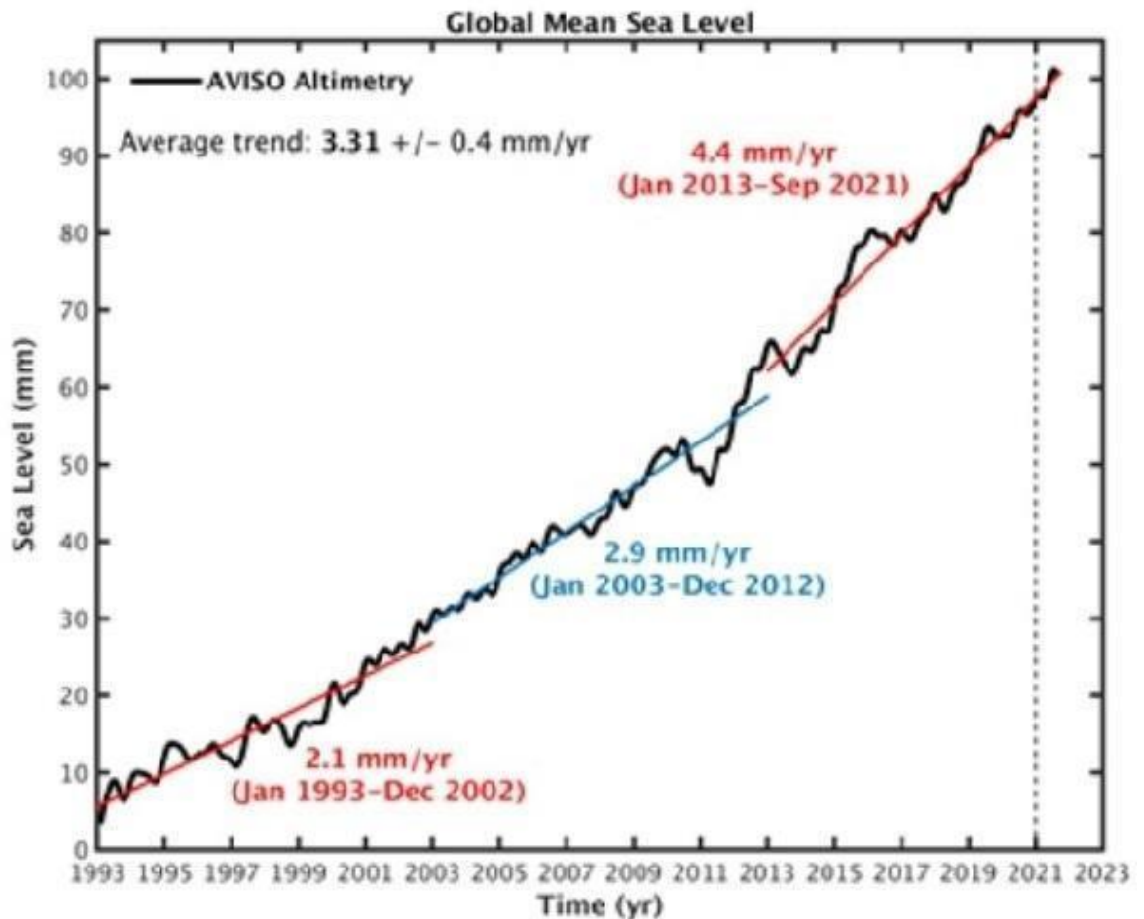


Рис. 4.1 Динаміка глобального середнього рівня моря з січня 1993 року по вересень 2021 року. Джерело даних: альтиметрія AVISO (<https://www.aviso.altimetry.fr>) [16].

Виміряний з початку 1990-х років за допомогою високоточних супутникових альтиметрів, глобальний середній рівень моря зростав на 2.1 мм за рік за період з 1993 по 2002 рік і на 4.4 мм за рік за період з 2013 по 2021 рік. Тобто за останні роки спостерігається дворазове зростання темпу підвищення рівня. Це відбулось в основному через прискорену втрату маси льоду з льодовиків і льодових щитів.

Зростання рівня спостерігається і в Чорному морі. Зростаючий інтерес до регіональних проявів глобальних кліматичних змін визначається необхідністю оцінки стану прибережних районів, які є категорією природних контактних зон: з одного боку – суша, з другого – дно і шар води морів і океанів. Інтерес до оцінки інтенсивності коливань рівня та стану прибережної суші пов'язаний із питанням прогнозування змін берегової зони та виділення районів потенційного затоплення.

Вивчення багаторічних змін рівня моря необхідно враховувати при будівництві портів і берегозахисних споруд, експлуатації та освоєнні курортних зон, тому це питання привертає увагу багатьох дослідників. В повній мірі це стосується і північно-західної частини Чорного моря, підвищення рівня в якій, поряд з іншими факторами вже зараз призводить до деградації узбереж'я в районі Одеси.

В багаточисельній науковій літературі [1- 7,17-22] представлено кількісні оцінки змін рівня Чорного моря і аналізуються тенденції багаторічних коливань. Найбільш детальний аналіз багаторічних змін рівня в північно-західній частині Чорного моря представлено в роботі [1]. Наведемо деякі результати цих досліджень.

З початку спостережень у Чорному морі (1875 р.) до середини 20-х років ХХ століття рівень був відносно стабільним, з невеликою тенденцією до зниження, при цьому значення тренду були порівнянні з помилкою його визначення. З середини 20-х років ХХ століття по теперішній час виразно проявляється тенденція до підвищення рівня. В [1] аналізувались кутові

коефіцієнти трендів для всіх пунктів вимірювань рівня Чорного моря. Було показано, що за період 1946 -1985 рр. в середньому для Чорного моря тренд становить $2,7 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$. За вирахуванням швидкості вертикальних рухів земної кори, підвищення рівня за рахунок евстатичних факторів було визначено величиною $1,7 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$. Про величину тренду в Чорному морі, яка дорівнює $1,7 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$ вказується і в [23]. В роботах [24 -29] інтенсивність загального підйому рівня Чорного моря оцінюють величиною $1,83 \pm 0,7 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$, що на думку авторів, добре узгоджується з інтенсивністю підйому рівня Атлантичного океану. За даними 20 пунктів в Середземному морі був знайдений середній кутовий коефіцієнт тренду. Без урахування вертикальних рухів земної кори він склав $2,9 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$. В [30, 31] середній тренд в Середземному морі за 1960-1990 рр. оцінюється величиною меншою $2,2 \text{ мм} \cdot \text{рік}^{-1}$. У [7] встановлено, що постійне зростання рівня в останні десятиліття не залежить від змін водного балансу річок басейну Чорного моря.

Підсумовуючи, можна сказати, що багаторічні коливання рівня значною мірою визначаються коливаннями балансу прісних вод, а тренд обумовлений як загальним підвищенням рівня Світового океану, так і певною мірою позитивною тенденцією зміни балансу прісних вод.

Особливої уваги заслуговують спроби пов'язати зміни рівня з глобальними атмосферними процесами [6,24,29,32] північного атлантичного коливання (ПАК), в [6] зазначається, що хоча кореляція між ними невисока (0,47), проте майже кожен екстремум в річковому стоці (і рівень) збігається з відповідним екстремумом в індексі ПАК із зворотним знаком. Крім цього, багато в чому схожі і багаторічні тенденції змін. Спектри мінливості рівня моря та індексу ПАК містять піки на періодах 8 і 4 — 5 років. Зв'язок рівня з індексом краще проявляється в східній частині моря, гірше - у західній. Цей висновок здається цілком зрозумілим, оскільки вище вже вказувалося, що багаторічні зміни для різних пунктів добре корельовано між собою. Порівняння рівня Чорного моря з індексом південної осциляції (ENSO) дало

набагато менш значущий зв'язок. В [24] показано, що є зворотній кореляційний зв'язок коливань індексу ПАК і T,S- характеристик верхнього 30-метрового шару Чорного моря. Для температури коефіцієнт кореляції з 95 % рівнем значущості становить - 0,57, для солоності - 0,42. Розрахунок цих зв'язків важливий, оскільки зміни термохалінних властивостей верхнього шару дають свій внесок у стержні коливання рівня. Розрахунок коефіцієнтів кореляції між індексом ПАК та рівнем моря лише у весняний період дав величину 0,45.

В [7] на рядах тривалістю близько 100 років було показано, що індекс північно-атлантичного коливання, стік Дунаю і рівень Чорного моря виявляють тенденцію змінюватися близько двадцяти-двох-річному циклі. У між річної мінливості цих характеристик існує тенденція зміни знаку аномалій відповідно з позитивного (негативного) в роки спаду непарного циклу на негативний (позитивний) у ці ж роки парного циклу.

Ретельний аналіз динаміки суші та рівня західного узбережжя Чорного моря у XX-му та XXI –му століттях представлено в роботах [33,34,35]. Наведемо оцінки змін рівня моря і суші для станцій Одеса-порт, Чорноморськ і Южний з [35].

За результатами досліджень на станції Одеса-порт за період спостережень з 1875 по 2015 рр., тобто за 141 рік, рівень моря, хвилеподібно змінюючись, зріс на 65 см, інтенсивність його зростання становила 0.46 см на рік, а обчислена трендова інтенсивність склала 0.42 см на рік . Хвилеподібний зріст рівня моря на ст. Одеса-порт спостерігався лише до середини 90-х років XX століття, після чого він почав повільно, але, як і раніше, хвилеподібно, опускатися до кінця періоду спостережень (до 2015 р.) і це опускання становило 12 см. Разом з тим, обчислене трендове опускання рівня за цей самий період (1995-2015 рр.) становило лише 5 см. Аналіз зростання рівня моря на станції Одеса-порт за період із початку спостережень і до середини 90-х років XX століття показав, що в цей період він також не був рівномірним, а характеризувався двома етапами з різним

характером інтенсивності зростання: з 1875 року і до середини 60-х років інтенсивність зростання рівня по тренду дорівнювала 0.55 см на рік, з середини 60-х років і до середини 90-х років ХХ століття - лише 0.28 см на рік. Слід зазначити, що у розглянутому 141-річному часовому ряду середньорічних висот рівня моря було виявлено 14 випадків різких "сплесків". Вони спостерігалися в 1881, 1888, 1897, 1915-1919, 1941, 1955-1958, 1966-1970, 1981, 1988, 1996, 2010 рр., що свідчить про цикли, близькі до десяти років.

В роботах [33,34,35] наведено також оцінки величин та інтенсивності опускання прибережної суші на станції Одеса-порт за період спостережень з 1875 по 2015 роки, які отримані з використанням методу водного нівелювання (як різниця рівнів між репером та аналізованою станцією). Встановлено, що опускання суші становило приблизно 50 см, а інтенсивність становить 0,35 см за рік. При цьому чітко простежувалося два етапи з різною інтенсивністю опускання суші: з 1875 по 1962 рр. та з 1962 по 2015 рр. І якщо протягом першого етапу інтенсивність опускання прибережної суші становила приблизно 0.5 см на рік, то протягом другого вона була в 2.5 рази слабше і становила всього 0.18 см на рік. За аналогією з рівнем моря можна відзначити, що у обчисленому часовому ряду середньорічних величин опускання суші було виявлено 11 випадків різких "провалів" прибережної суші.

Оцінюючи коливання рівня моря на станції Чорноморськ за період 56 років (з 1960 по 2015 рр.), можна констатувати хвилеподібний характер його зростання (7 см за 56 років) з інтенсивністю 0.125 см на рік та трендовою інтенсивністю 0.25 см на рік. В часовому ряді середньорічних висот рівня моря виділяються чотири етапи з різними знаками змін рівня: перший етап складає 21 рік (з 1960 по 1980 рр.) зі зростанням рівня 0.24 см на рік, другий етап дорівнює 11 років (з 1980 по 1990 рр.) зі зниженням рівня на 1.11 см на рік, третій етап - 8 років (з 1990 по 1997 рр.) із зростанням рівня на 2.10 см на рік та останній етап - 18 років (з 1998 по 2015 рр.) мав майже мінімальну

інтенсивність $+0.21$ см на рік. У розглянутому 56-річному часовому ряду середньорічних висот рівня моря на станції Чорноморськ було виявлено 7 різких “сплесків” рівня.

Опускання прибережної суші на станції Чорноморськ за досліджуваний період становило 7 см з інтенсивністю -0.127 см на рік та трендовою інтенсивністю -0.076 см на рік. У між річному ході коливань прибережної суші можна виділити 5 етапів різної інтенсивності. Протягом першого та другого етапів з 1960 по 1978 рр. та з 1978 по 1982 рр. трендова інтенсивність опускання прибережної суші була негативною та протягом перших 19 років слабкою -0.22 см на рік, а на другому етапі (протягом 5 років) значною -6.0 см на рік. З 1982 по 1992 рр. змінився знак тренду - спостерігався підйом суші, а інтенсивність склала $+1.51$ см на рік. Останні два етапи тривалістю 6 та 19 років (відповідно з 1992 по 1997 рр. та з 1997 по 2015 рр.) характеризувалися опусканням прибережної суші - з інтенсивністю -2.81 см на рік та -0.03 см на рік відповідно. Серед середньорічних величин опускання прибережної суші за 56 років було виявлено 5 випадків різких провалів.

Динаміка рівня моря на станції Южний, спостереження над яким велися протягом 39 років (з 1977 по 2015 рр.) характеризувалася його підвищенням за цей час на 21 см з інтенсивністю $+0.36$ см на рік та трендовою інтенсивністю приблизно $+0.538$ см на рік. У між річній мінливості коливань рівня моря за весь час спостережень можна виділити 6 коротких етапів з різними знаками тренду: з 1977 по 1981 рік - зростання з інтенсивністю $+4.2$ см на рік, з 1981 по 1986 рік - опускання рівня з інтенсивністю 2.81 см на рік, з 1986 по 1988 рік - зростання з максимальною інтенсивністю $+8.62$ см на рік, з 1988 по 1993 рік - опускання з трендовою інтенсивністю -1.94 см на рік, з 1993 по 1999 рік – зростання рівня $+2.77$ см на рік, з 1999 по 2015 рік – найбільш тривалий етап (17 років) із незначним зростанням $+0.16$ см на рік. Різкі "сплески" рівня на станції Южний спостерігалися у 5 випадках.

Оцінюючи динаміку прибережної суші на станції Южний можна констатувати опускання її на 14 см з інтенсивністю -0.36 см на рік та трендовою інтенсивністю -0.32 см на рік. У між річній мінливості коливань прибережної суші можна виділити чотири етапи різної трендової інтенсивності, що чергуються за знаком: перший (1977-1981pp.) характеризувався негативною трендовою інтенсивністю -4.96 см на рік, наступний (1981-1985 pp.) мав позитивний тренд $+4.92$ см на рік, третій (1985-1989 pp.) знову негативний тренд -2.87 см на рік, та останній, тривалістю 27 років (1989-2015 pp.) характеризувався невеликою інтенсивністю опускання суші -0.25 см на рік. Також виявлено 5 різких "провалів" суші.

Узагальнені оцінки величин динаміки рівня моря і суші на станціях північно-західній частини Чорного моря з роботи [35] представлено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Величини і інтенсивність динаміки рівня моря і суші на станціях північно- західної частини Чорного моря, з [35].

Станція, період спостережень , тривалість	Зростання рівня моря			Опускання суші		
	Зростання рівня за весь період, см	Інтенсивн . росту, см на рік	Трендова інтенсив. см на рік	Величина опусканн я за весь період, см	Інтенсивн. опускання , см на рік	Трендова Інтенсив. см на рік
Одеса, 1875-2015 141 рік	65	0,46	0,42	-50	-0,35	-0,36
Чорноморськ, 1960-2015 36 років	7	0,13	0,25	-7	-0,13	-0,08

Южний 1977-2015 39 років	21	0,36	0,54	-14	-0,36	-0,32
--------------------------------	----	------	------	-----	-------	-------

Як видно з таблиці, оцінки динаміки рівня моря і суші отримані за різними по тривалості рядам спостережень, тому не можна їх порівнювати між собою. За найбільш тривалим рядом спостережень на станції Одеса підвищення рівня Чорного моря за 141-річний період склало 15 см, що співпадає з оцінками, наведеними в [1]. На станції Южний, тривалість ряду спостережень дорівнює 39 років і підвищення рівня моря склало 7 см, а на станції Чорноморськ за 56 років рівень моря майже не змінився, так як величина зростання рівня і величина опускання суші співпадають. Все це свідчить про те, ще на різних інтервалах часу швидкість і тенденції в змінах як рівня моря так і прибережної суші є різними.

Оцінки багаторічної мінливості рівня в північно-західній частині Чорного моря наведено також в роботі [12]. Було показано, що на станціях Чорноморськ, Южний і Цареградське гирло за період 1986-2013 рр. підвищення рівня моря склало від 16 до 21 см. На станції Одеса за період 1947 -1979 рр. підвищення рівня склало 11 см, а за період 1980-2012 рр. рівень відчував хвиле подібні коливання зі слабким негативним трендом. За весь досліджуваний період (1947-2012 рр.) рівень моря на станції Одеса підвищився на 14 см. Ці оцінки не враховують вертикальних рухів, інтенсивність яких на різних ділянках морського узбережжя різна.

В магістерській роботі для аналізу багаторічної мінливості рівня моря використовувались середні річні дані на п'яти станціях північно-західної частини Чорного моря: станції Одеса та Цареградське гирло – за період з 1975 по 2016 рр., станції Чорноморськ і Южний – за період з 1986 по 2016 рр., станція Приморське – за період з 1975 по 2010 рр. Статистичні характеристики між річної мінливості середніх річних значень рівня моря на

всіх станціях представлено в табл. 4. 2. Середній багаторічний рівень моря на станції Одеса за досліджуваний період -1975-2016 рр. - складає 487 см, що мало відрізняється від середнього багаторічного рівня за період 1980-2012 рр. з [12], яке дорівнює 489 см. На станції Цареградське гирло за той самий період середній багаторічний рівень моря складає 494 см, що також співпадає з середнім багаторічним значенням за період 1975-2010 рр. з [12]. На станціях Южний і Чорноморськ середній багаторічний рівень моря досягає 490 см, що незначно (на 1-3 см) перевищує аналогічні оцінки на цих станціях за період 1986-2013 рр. з [12]. На всіх станціях максимальний річний рівень моря спостерігався в 2010 році, і як вказано в [1], це значення є історичним максимумом за 150 -річну історію спостережень. Мінімальні річні значення рівня моря на всіх станціях припадають на кінець 70-х,80-х і початок 90-х років двадцятого століття. На станціях Одеса, Цареградське гирло і Приморське відхилення максимальних річних значень від середнього рівня є вищими, ніж відхилення мінімальних значень, а на станціях Южний і Чорноморськ відхилення максимальних і мінімальних значень від середнього рівня практично є однаковими. Це свідчить про збереження тенденцій до підвищення рівня моря і хвиле подібного характеру між річних коливань.

Таблиця 4.2 Статистичні характеристики мінливості середньорічного рівня моря на станціях північно-західної частини Чорного моря

Характеристики	Середнє, см	Максиму м, см, рік	Вище серед., см	Мінімум, см, рік	Нижче серед., см	Розмах см
Станція, період, тривалість						
Одеса 1975-2016 рр., 42 роки	487	502 2010	15	476 1976	11	26

Цареградське гірло 1975-2016 рр., 42 роки	494	516 2010	22	479 1976	15	37
Южний 1986-2016рр., 31 рік	490	506 2010	16	474 1987	16	32
Чорноморськ 1986-2016 рр., 31 рік	490	507 2010	17	471 1993	19	36
Приморське 1975-2010 рр., 36 років	490	515 2010	25	478 1976	12	37

На рис. 4.2 наведено графік між річних змін рівня моря на станції Одеса за період 1975-2016 рр., побудований за середніми річними даними, і рівняння лінійного тренду. Кутівий коефіцієнт тренду дорівнює $-0,0063$, що свідчить про відсутність тренду і наявність хвилевих коливань відносно середнього значення, що співпадає з оцінками з роботи [12].

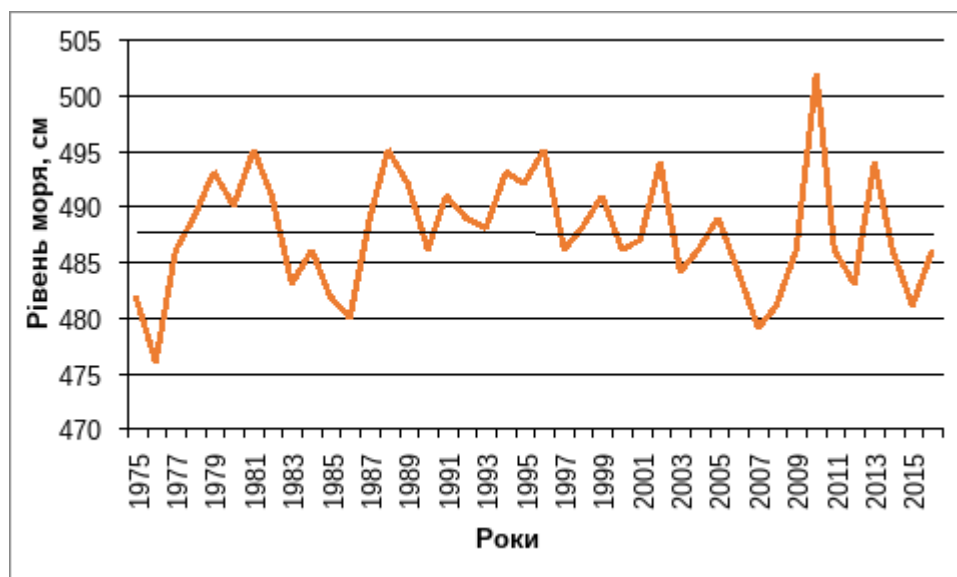


Рис. 4.2 Між річний хід рівня моря на станції Одеса за 1975-2016 рр.

Між річний хід рівня моря на станції Цареградське гирло і лінія тренду показано на рис. 4.3. Кутовий коефіцієнт тренду дорівнює 0,38, тобто інтенсивність зростання рівня досягала з 0,38 см на рік і підвищення рівня на 16 см за досліджуваний період.

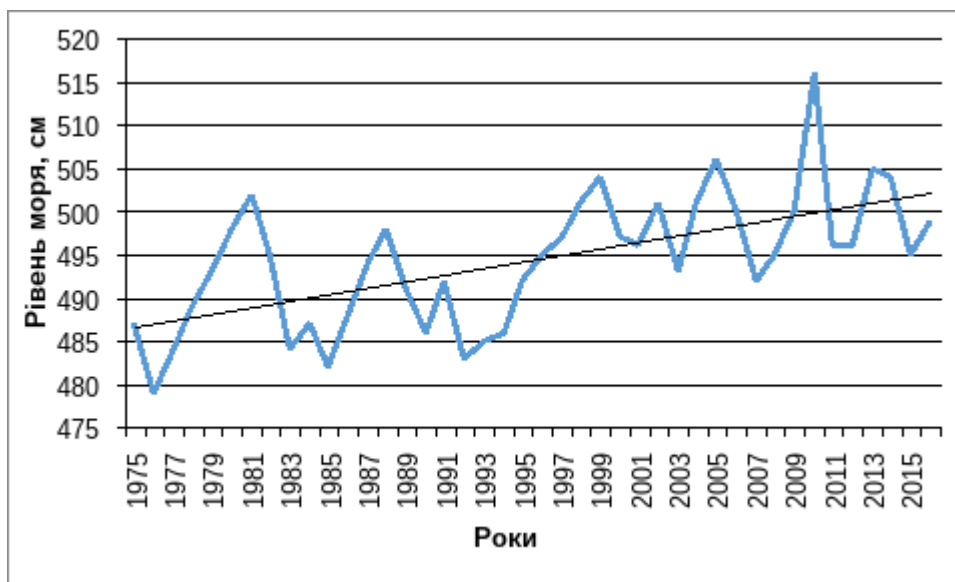


Рис. 4.3 Між річний хід рівня моря на станції Цареградське гирло за 1975-2016 рр.

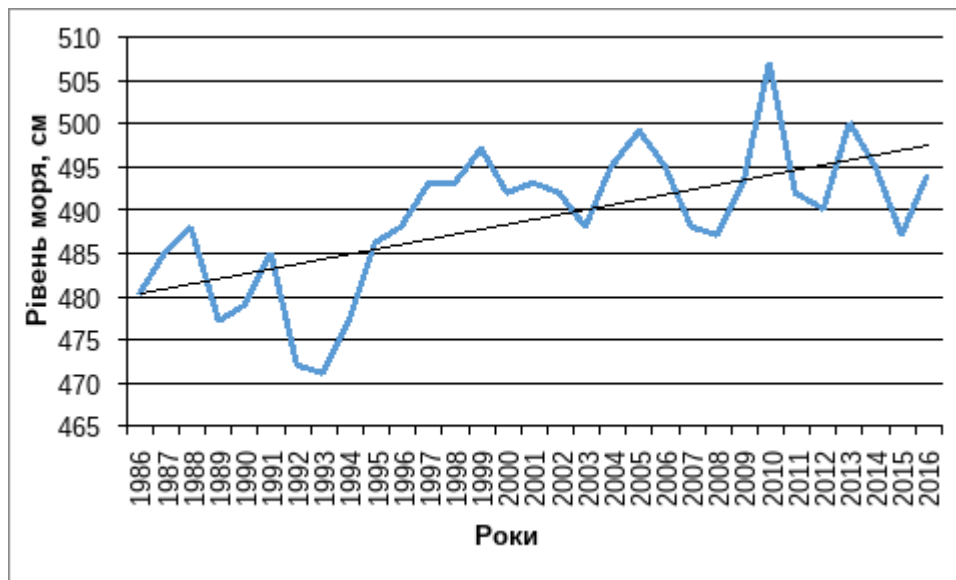


Рис. 4.4 Між річний хід рівня моря на станції Чорноморськ за 1986-2016 рр.

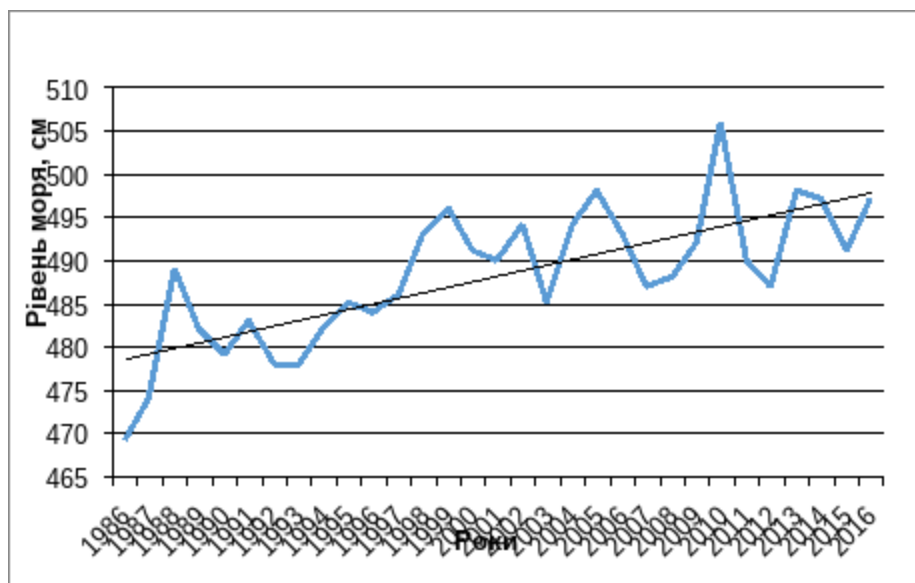


Рис. 4.5 Між річний хід рівня моря на станції Южний за 1986-2016 рр.

На рис. 4.4 і 4.5 показані графіки між річного ходу рівня моря на станціях Чорноморськ і Южний за період 1986-2016 рр. Кутові коефіцієнти дорівнюють 0,57 і 0,65, а підвищення рівня за досліджуваний період складають 17 і 20 см відповідно. Слід також відмітити, що на всіх чотирьох станціях після 2010 року спостерігається тенденція спаду рівня.

Для визначення того, в які місяці року рівень моря відчував найбільш значні зміни, були побудовані графіки між річного ходу рівня в ті місяці року, коли в сезонному ході спостерігається мінімальний і максимальний рівень – в жовтні і травні. На рис. 4.7 і 4.8 показано графік між річного ходу рівня моря в травні і жовтні для станції Цареградське гирло, а на рис. 4.9 і 4.10 – на станції Южний.

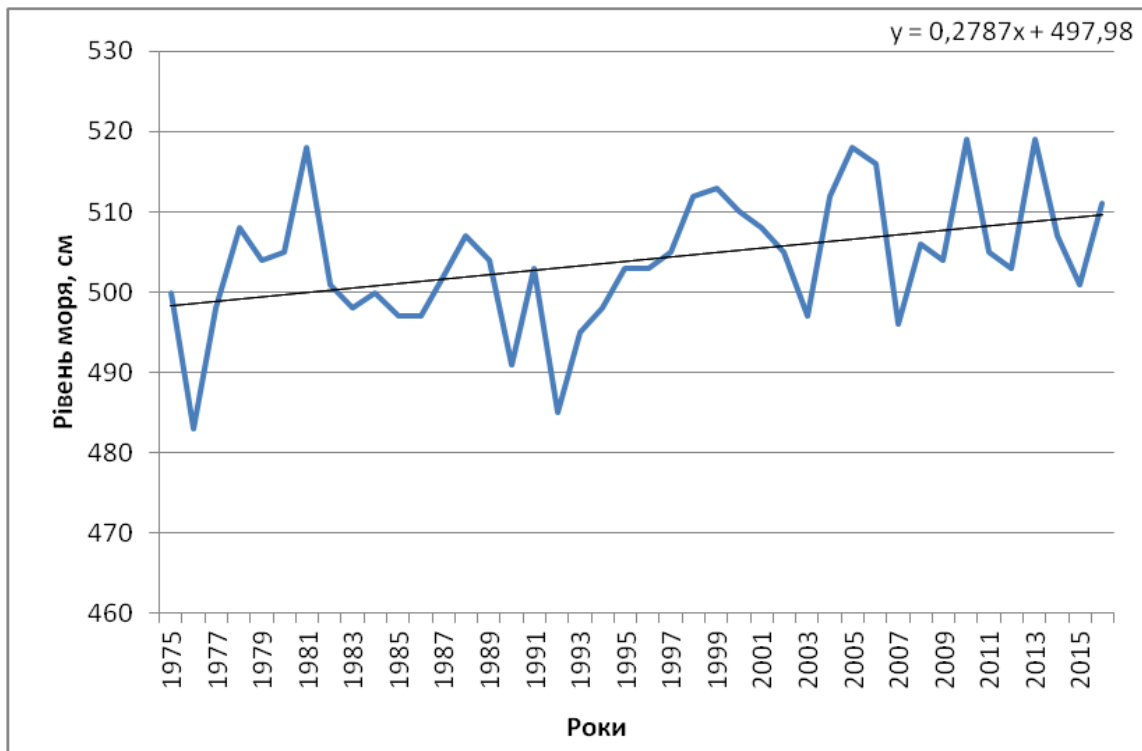


Рис. 4.7 Між річний хід рівня моря в травні на станції Цареградське гирло за 1975-2016 рр.

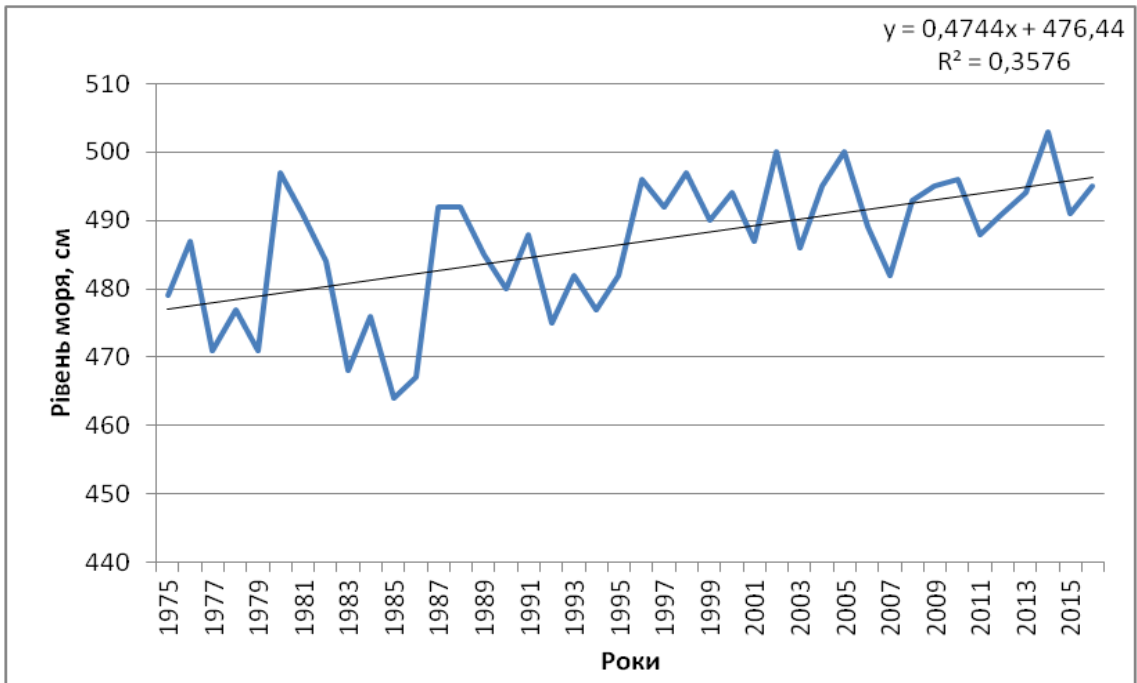


Рис. 4.8 Між річний хід рівня моря в жовтні на станції Цареградське гирло за 1975-2016 рр.

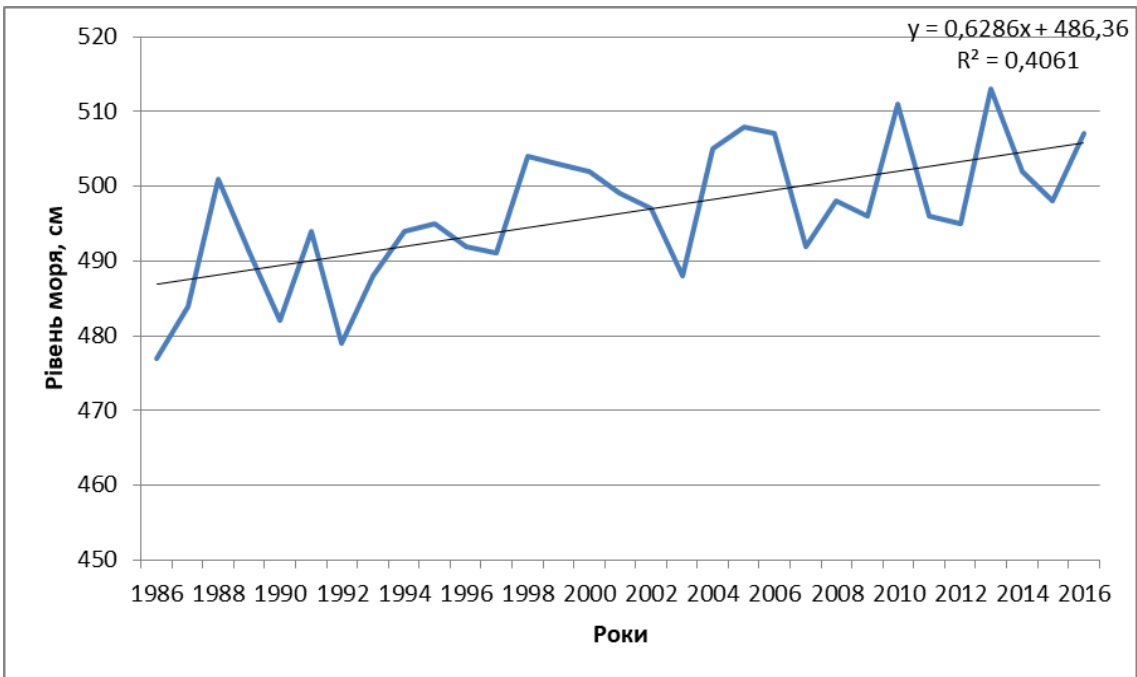


Рис. 4.9 Між річний хід рівня моря в травні на станції Южний за 1986-2016 рр.

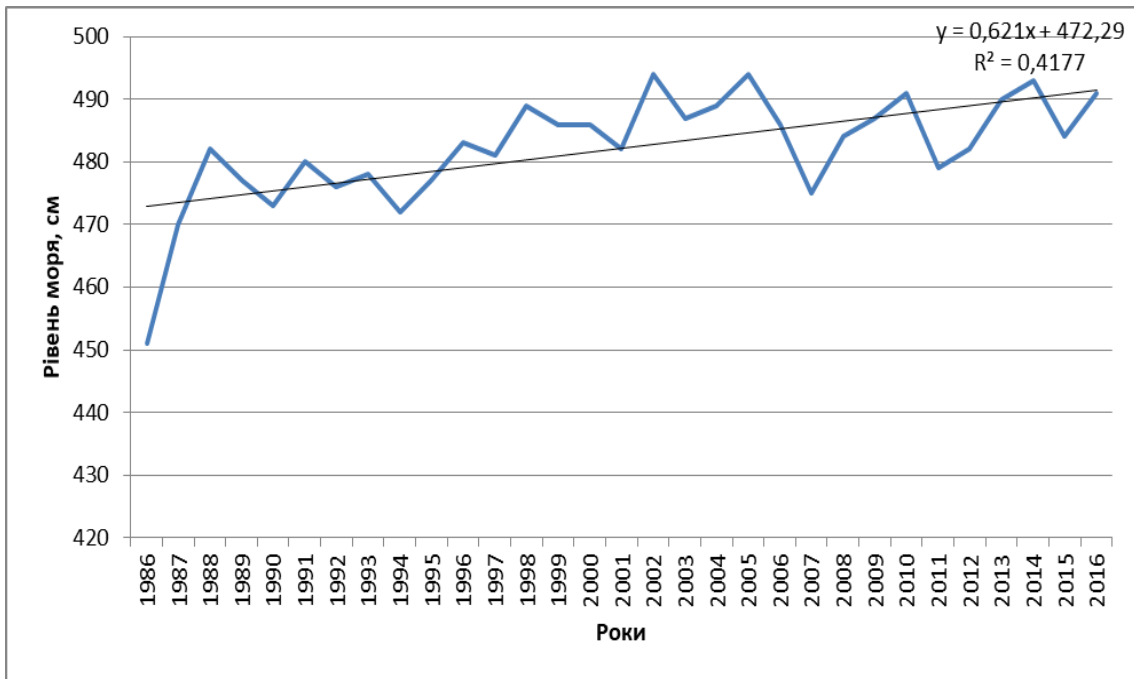


Рис. 4.10 Між річний хід рівня моря в жовтні на станції Южний за 1986-2016 рр.

На станції Цареградське гирло підвищення рівня моря в травні відбувалось зі швидкістю 0,28 см за рік, а в жовтні зі швидкістю 0,47 см за рік, тобто майже в два рази швидше. Якщо порівнювати кутові коефіцієнти за окремі місяці з кутовим коефіцієнтом за річними даними (0,38), можна бачити, що підвищення рівня моря відбулося за рахунок більш значного підвищення мінімального в сезонному ході рівня (в жовтні), що співпадає з оцінками з [1].

На станції Южний швидкість зростання рівня моря в травні і жовтні практично однакова: кутові коефіцієнти дорівнюють 0,63 см на рік і є однаковими з коефіцієнтом за річними даними.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз сезонних коливань рівня моря на станціях північно-західної частини Чорного моря показав, що амплітуда сезонного ходу знаходиться в межах від 13 до 17 см. Мінімальний рівень моря спостерігається в вересні-жовтні, максимальний – в квітні, травні, червні. Між річна мінливість розмаху середніх місячних значень рівня моря знаходиться в межах від 35 см до 54 см. За багаторічний період амплітуда сезонних коливань зменшилась приблизно на 30%, причиною якого стало підвищення мінімального в сезонному ході рівня моря.
2. Розкладання кривих сезонного ходу рівня на станції Приморське в ряд поліномів Чебишева показав, що коефіцієнти розкладання добре відображають цей процес. Коефіцієнт A_0 відображає середній рівень, коефіцієнт A_1 - розмах сезонних коливань, коефіцієнти більш високого порядку - особливості внутрішньо річних коливань рівня. Встановлені статистично значущі зв'язки між розмахом сезонних коливань рівня моря та коефіцієнтом A_1 .
3. Аналіз взаємозалежності між коефіцієнтами Чебишева та змінами рівня моря на станції Приморське за рахунок складових водного балансу показав, що коефіцієнт A_0 (середній за рік рівень моря на станції) тісно зв'язано з сумарним балансом прісних вод, а також з річковим стоком і атмосферними опадами та не зв'язано з випаровуванням з поверхні моря. Коефіцієнт A_1 , що відображає розмах сезонних коливань рівня моря, пов'язаний як з річковим стоком, так і з випаровуванням. Інші коефіцієнти розкладання з складовими водного балансу статистично слабо пов'язані. Так як характер сезонних коливань рівня моря на всіх інших станціях є однаковим, можна припустити, що результати взаємозв'язків будуть такими ж.

4. За період 1975-2016 рр. середній багаторічний рівень моря на станції Одеса складає 487 см, а на станції Цареградське гирло - 494 см. За період 1986-2016 рр. на станціях Южний і Чорноморськ середній багаторічний рівень моря досягає 490 см,. На всіх станціях максимальний річний рівень моря спостерігався в 2010 році, а мінімальні річні значення рівня моря припадають на кінець 70-х,80-х і початок 90-х років двадцятого століття. На станціях Одеса, Цареградське гирло і Приморське відхилення максимальних річних значень від середнього рівня є вищими, ніж відхилення мінімальних значень, а на станціях Южний і Чорноморськ відхилення максимальних і мінімальних значень від середнього практично є однаковими. Це свідчить про збереження тенденцій до підвищення рівня Чорного моря.
5. Підвищення рівня в північно-західній частині моря відбувається разом з опусканням суші. В між річних змінах рівня моря на станції Одеса за період 1975-2016 рр. спостерігаються хвилеві коливання відносно середнього значення і відсутність тренду (кутовий коефіцієнт тренду дорівнює $-0,0063$). В між річному ході рівня моря на станції Цареградське гирло за той самий період інтенсивність зростання рівня досягала $0,38$ см на рік, а підвищення рівня склало 16 см. В між річному ході рівня моря на станціях Чорноморськ і Южний за період 1986-2016 рр. спостерігалось підвищення рівня з кутовими коефіцієнтами $0,57$ і $0,65$ відповідно, а підвищення рівня за досліджуваний період склало 17 см і 20 см відповідно. Слід також відмітити, що на всіх чотирьох станціях після 2010 року спостерігається тенденція спаду рівня.
6. Відмінність оцінок між річних змін рівня в північно-західній частині Чорного моря обумовлена різною інтенсивністю опускання суші на різних станціях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильин Ю.П, Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н, Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Том2 Черное море // Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт. Севастополь, 2012. С. 341-367.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. I V Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат,1991. С. 329-354.
3. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 210 с.
4. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Современные тенденции изменений уровня Черного моря // Водные ресурсы. 1996. № 2. С. 246-248.
5. Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н., Фомичева Л.А. Особенности изменчивости уровня моря в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Труды УкрНИГМИ. Вып. 249. Киев, 2001. С. 236-245.
6. Лемешко Е.М., Иванов В.А., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н. Сравнительный анализ отклика уровня Черного моря на атмосферное воздействие в прибрежной и глубоководной зонах // Глобальная система наблюдений Черного моря. Фундаментальные и прикладные аспекты. Севастополь, 2000. С.56-70.
7. Goryachkin Y.N., V.A. Ivanov. Changes of sea level and balance of fresh waters in The Black sea // Black Sea Ecosystem 2005 and Beyond : 1st Biannual Scientific Conference 8-10 May 2006. Istanbul, 2006. P.187-188.
8. Каталог наблюдений над уровнем Черного и Азовского морей. Государственный комитет по гидрометеорологии / Государственный океанографический институт. Севастопольское отделение. Севастополь. 1990. 269 с.

9. Тимченко В.М. Эколого-гидрологические исследования водоемов Северо-Западного Причерноморья; АН УССР. Ин-т гидробиологии. Киев: Наукова Думка, 1990. 240 с.
10. Экосистема Григорьевского (Малого Аджалыкского) лимана ; Под ред. А. К. Виноградова. Э40, Монография, Одесса: Астропринт, 2008. 264 с.
11. Ахим Бююль, Петер Цефель SPSS: искусство обработки информации. Platinum Edition. Москва, Санкт-Петербург, Киев. 2005. 602 с.
12. Гаврилюк Р.В., Корнилов С.В. Изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря. Вісник ОДЕКУ, вип.20, 2016. С. 69-76
13. Гаврилюк Р.В., Снісар А.Ю. Сезонні та між річні зміни рівня моря на станціях Цареградське гирло та Приморське. Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей, № 1(19), 2016. с.148-156.
14. Абузьяров З.К., Думанская И.О, Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание . Москва, Обнинск: ИГ-СОЦИН. 2009.С.275.
15. Аналітичне уявлення розподілу гідрометеоелементів. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Морські прогнози», укладач Гаврилюк Р.В., Одеса. 2003. С.3-16.
16. [www. Meteoinfo.ru](http://www.Meteoinfo.ru) (дата звернення 7.11.21р.)
17. Беренбейм Д.Я. Многолетние колебания уровня Черного моря и речной сток // Метеорология и гидрология. 1959. № 1. С. 41-44.
18. Беренбейм Д.Я. Водный баланс и колебания среднегодового уровня Черного моря // Гидрофизические и гидрохимические исследования в Черном море. М., 1967. С. 42-45.
19. Фомичева Л.А. Многолетние колебания среднего уровня Черного моря // Тр. Гос. океаногр. ин-та.1986. № 176. С. 25-30.
20. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Межгодовая изменчивость уровня в северо-западной части Черного моря // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. Севастополь : МГИ НАНУ,1995. С. 18-21.

21. Горячкин Ю.Н. Связано ли повышение уровня Черного моря с повышением уровня Мирового океана? // Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления: I I Международная научно-практическая конференция, Туапсе, 4-8 окт. 2011г. : сборник научных статей. Краснодар, 2011. С. 253-256.
22. Иванов В.А., Ястреб В.П. О колебаниях уровня Черного моря // Водные ресурсы. 1989. С. 97-104.
23. Лаппо С.С., Рева Ю.А.. Сравнительный анализ долгопериодной изменчивости уровней Черного и Каспийских морей // Метеорология и гидрология. 1997. №12. С. 63-75.
24. Полонский А.Б., Бардин М.Ю., Воскресенская Е.Н. Статистические характеристики циклонов и антициклонов над Черным морем во второй половине XX века // МГЖ. 2007. №6. С.47-58.
25. Рева Ю.А. Мпжгодовые колебания уровня Черного моря // Океанология. 1997. 37,№2. С.211-219.
26. Bacon S., J. Carte. Wave climate changes in the North Atlantic and North sea // Int.J.Climatol. 2002. №11. P. 545-553.
27. Bondar С. Trends in the evolution of the mean Black Sea level // Метеорология и гидрология. 1989. 19,№2. С. 23-28.
28. Ozsoy E. ,Y. Goryachkin , H. Sur, M. Latif Sea level variations in the Black Sea // Sensitivity of North sea, Baltic sea and Black sea to antropogenic and climatic changes : NATO advanced research school. 1996. P.34-37.
29. Stanev E.V.,Peneva E.L. Regional sea level response to global climatic change : Black Sea examples // Global and Planetary Changes. 2002. 32. P.33-47.
30. Tsimplis M. N., Alvazer-Fanjul E., Gomis D., Fenoglio-Marc L., Perez B. Mediterranean sea level trends: atmospheric pressure and wind contribution // Geophysical Research Letters. 2005. 32(20). P.1211-1218.
31. Tsimplis M.N., Baker T.F. Sea level drop in the Mediterranean Sea: An indicator of deep water salinity and temperature changes? // Geophys. Res. Let.2000. 27(12).P. 1731-1734.

32. 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. 185-198.
33. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И. Динамика суши и уровня побережья Одесского региона Черного моря. Геофиз. журнал. 2005. 27. № 3. С. 463–469.
34. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И. Динамика суши и уровня западного побережья Черного моря. Геофиз. журнал. 2007. 29. №1. С.160–166.
35. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Пейчев В., Скипа М.И. Динамика суши и уровня побережья Черного моря в XX и XXI столетиях. Геофиз. журнал. 2017. 39, № 3. С.3-14. DOI: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i3.2017.104027>