

УДК 504.4.054.001.5; 504.4.06.001.5, 504.4.054.001.5; 504.4.06.001.5, 504.45.058;
504.4.054; 504.064

КП 87.19.03

№ держреєстрації 0119U103483

Інв. №

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
УКРАЇНИ**

НДУ «Український науковий центр екології моря»
(УкрНЦЕМ)

65009, м.Одеса, вул. Французький бульвар, 89;
тел.(0482) 431262, факс (0572) 431263, e-mail: accem@te.net.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор УкрНЦЕМ

канд. геогр. наук,
старш. наук. співроб.

В.М. Коморін Коморін В. М.

«03» лютого 2022 року

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Оцінка та діагноз екологічного стану довкілля Чорного моря в межах виключної
морської економічної зони України

**АНАЛІЗ ГІДРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УКРАЇНСЬКИХ ВОД
ЧОРНОГО МОРЯ ТА ЇХ РОЛІ У ФОРМУВАННІ
ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МОРЯ**

ТОМ 3

Науковий керівник НДР
Директор УкрНЦЕМ,
к.геогр.н., с.н.с.

В.М. Коморін

В.М. Коморін

Начальник відділу аналізу морських екосистем
та антропогенного навантаження (ВАМЕ та АН)
– начальник морського інформаційно-
аналітичного центру (МІАЦ), к.геогр.н.

В.В. Український

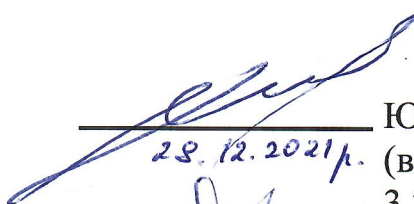
В.В. Український

Рукопис закінчено 28 грудня 2021 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ, протокол
від 03 лютого 2022 р. №

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальний виконавець,
Начальник відділу фізичної
океанографії та математичного
моделювання (ВФО та ММ)


28.12.2021р.

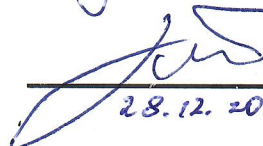
Ю.М. Диханов
(вступ; підрозділ
3.2; розділ 5;9
висновки)

Виконавці:
завідувач сектором гідрофізичних
досліджень (ВФО та ММ)


28.12.2021р.

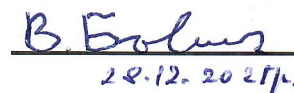
Є.А. Мельник
(графіка, розділ 3)

Наук. співроб. (ВФО та ММ),
канд. геогр. наук.


28.12.2021р.

Ю.І. Попов
(розділ 2; 8)

Наук. співроб. ВФО та ММ
канд. геогр. наук


28.12.2021р.

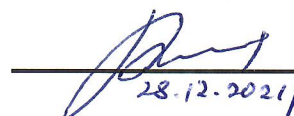
В.М. Большаков
(графіка, розділ
2;3; 4)

Наук. співроб. ВФО та ММ,
канд. геогр. наук


28.12.2021р.

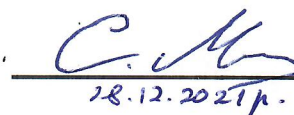
Є.К. Полежаєв
(розділ 6, 7;)

Наук. співроб. ВФО та ММ


28.12.2021р.

В.В. Пономаренко
(графіка, розділ 1)

Мл.наук. співроб. ВФО та ММ


28.12.2021р.

С.В.Мазниця
(графіка, підрозділ
2.3)

Технічні виконавці: А.В.Домрачов, А.С. Тітяпкин, Г.Г. Золотарьов.

РЕФЕРАТ

Звіт про науково-дослідну роботу 91 с., табл.13, рис.46, джерел 15

ЧОРНЕ МОРЕ, ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА, ТЕРМОХАЛИННА СТРУКТУРА, ЦИРКУЛЯЦІЯ, АПВЕЛЛІНГ, ХЛОРОФІЛ, ЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ

Об'єкт дослідження – морські води і екосистема Чорного моря(ЧМ) в межах виключної морської економічної зони України.

Мета НДР – дослідження сучасного стану та просторово-часової мінливості гідрологічних і гідрофізичних параметрів морської води ЧМ і їх вплив на екологічний стан морського середовища в межах виключної морської економічної зони України відповідно до імплементації Директив Європейського Союзу (ЄС) (2008/56/ЄС) і (2008/105/ЄС) згідно з Угодою про асоціацію між Україною та ЄС.

Методи дослідження – в НДР використовувався порівняльний аналіз та традиційні методи аналітичного узагальнення даних та статистичного аналізу, з широким залученням супутникової інформації, Основним інструментом обробки даних був пакет «Excel» Первинна обробка даних проводилася оригінальними програмами УкрНЦЕМ. Для комплексного аналізу отриманих матеріалів використовувалися дані Служби моніторингу морського середовища Коперникус, та з дрейфуючих буїв програми «Арго», супутників NASA (Terra, Aqua, Aura) та європейським космічним агентством ESA (ENVISAT).

Розрахунок кліматичних термогалинних полів Чорного моря здійснено за період з 1921 по 2020 рік .

Використовувалась дані експедиційних спостережень, інформація Державної гідрометеорологічної служби України та літературних джерел.

Результати дослідження

Мінливість гідрометеорологічних умов в 2019-2021 роках в північно-західній частині Чорного моря (ПнЗЧ ЧМ) в деяких аспектах значно виходили за межі кліматичних норм.

Збереглися тенденції зростання середньорічних температур повітря і морської

води.

2020-й рік за даними середніх річних значень гідрометеорологічної станції ГМС «Одеса-Порт» виявився двічі рекордним: по температурі повітря $13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ та по температурі морської води $13,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ і став найтеплішим за майже два століття метеорологічних спостережень в Одесі.

2021 рік, з його середньорічною температурою близько $11,4^{\circ}\text{C}$, зайняв у списку найтепліших років двадцяте місце. За даними ГМС «Одеса-Порт» мінімальна температура повітря $-13,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ відзначена 19.01.21, максимальна $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 16.07.21. 2021 р., за річною кількістю суми опадів 693 мм, займає третє місце в ряду їх найбільшої річної суми, поступаючись лише 2016 та 2010 рр. із сумами 753 та 709 мм, відповідно.

Максимальна кількість опадів у 2021 році за добу випала 22 липня і склала 60 мм, що майже на третину перевищує місячну норму.

За середньою річною температурою морської води $11,3^{\circ}\text{C}$, 2021 р. займав 25 місце з 40 найбільш теплих років стану поверхневого шару моря. Мінімальна температура води в 2021 році склала $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 23 лютого, а максимальна $26,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 19-го липня.

По солоності морської води за останні 40 років, 2021 р. з середньорічною солоністю 15,1 опс став другим в ряду найбільш високих значень середніх річних показників солоності води, поступившись лише 1997 р. з солоністю 16,08 опс. Максимальна солоність води в поверхневому шарі моря 17,54 опс за даними спостережень станції ГМС «Одеса-Порт» спостерігалася 05 березня, а мінімальна 9,05 опс – 17 червня.

Рівень моря у 2021 році коливався у кліматичних межах, максимальний рівень досяг позначки 521 см 08.02. Мінімальний рівень 445 см відмічався 10 листопада.

Вітрові умови відповідали рівню середніх значень останніх років; переважали вітри Пн-З, Пн і протилежних Пд-Пд-С напрямків.

У 2021 році середньорічна швидкість вітру, як і попередні п'ять років, становила $3,8\text{ м/с}$. Загалом перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі із середньою векторною швидкістю $0,8\text{ м/с}$.

За останні п'ять років збільшилася кількість випадків штилів зі 100 до 200 випадків за даними термінових спостережень.

В північно-західній частині Чорного моря середнє підвищення поверхневого шару температури води становило $1,5^{\circ}\text{C}$ у прибережних районах і $1,4^{\circ}\text{C}$ в районах шельфу та $1,3^{\circ}\text{C}$ в відкритих глибоководних районах моря і знижувалась до $1,2^{\circ}\text{C}$ в прилеглих районах моря до Південного Криму.

Узагальнені оцінки термогалинних характеристик поверхневого шару 0-500 м Чорного моря вказують на підвищення, кліматичних характеристик, температури води на $0,111^{\circ}\text{C}$ і солоності води на $0,079$ опс.

.

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
2 БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ В ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ ПНЗЧ ЧМ ПО ДАНИМ ГМС «ОДЕСА-ПОРТ».....	14
2.1 ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ.....	14
2.2 РЕЖИМ ВІТРУ.....	18
2.3 АТМОСФЕРНІ ОПАДИ.....	23
3 БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ УМОВ У ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ ПНЗЧ ЧМ ПО ДАНИМ ГМС «ОДЕСА- ПОРТ».....	26
3.1 ТЕМПЕРАТУРА МОРСЬКОЇ ВОДИ.....	26
3.2 СОЛОНІСТЬ МОРСЬКОЇ ВОДИ.....	33
4 ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНЛИВОСТІ СТОКУ ДУНАЮ У 2021 РОЦІ НА ТЛІ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У ХХІ СТОЛІТТІ.....	36
5 ПОШИРЕННЯ ШЕЛЬФОВИХ ВОД В ПНЗЧ ЧМ У 2019-2021 РОКАХ.....	39
6 АПВЕЛІНГИ ПНЗЧ ЧМ У 2019-2021 РОКАХ.....	46
7 ТЕНДЕНЦІЇ МІНЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВОДИ В РАЙОНІ ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРІВ У 2003-2020 РОКАХ.....	52
7.1 СЕРЕДНЬОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ ВОДИ РАЙОНІВ ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРІВ ЗА ПЕРІОД 2003-2020 РР....	56
7.2 ТЕНДЕНЦІЇ МІНЛИВОСТІ СЕРЕДНІХ МІСЯЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВОДИ ВОДНИХ МАСИВАХ ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРІВ ЗА ПЕРІОД 2003-2020 РР.....	58
7.3 ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА ДАНИХ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНІ ВОДИ ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРІВ ЗА ПЕРІОД 2003 – 2020 РР.....	60
8 КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТЕРМОХАЛІННИХ ПОЛІВ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРІОД 1921-2020 РОКІВ.....	62
9 ГІДРОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ГЛИБОКОВОДНОЇ ЧАСТИНИ ЧМ ЗА ДАНИМИ БУЇВ АРГО У 2021 РОЦІ.....	72
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	83
ДОДАТОК А.....	86

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВФО та ММ	- відділ фізичної океанографії та математичного моделювання
ГМС	- гідрометеорологічна станція
ГМБ	- гідрометеорологічне бюро
ГМЦ ЧАМ	- Гідрометцентр Чорного та Азовського морів
ЗПдЗ	- захід-південь-захід
КМ	- кабінет міністрів
ОПС	- одиниці практичної солоності
ОЧТ	- основна чорноморська течія
НДР	- науково-дослідна робота
ПВД	- прогресивно-векторна діаграма
Пд	- південь
ПдЗ	- південний-захід
ПдС	- південний-схід
ПдПдС	- південно-південний-схід
Пн	- північ
ПнЗ	- північний-захід
ПнПнЗ	- північно-північний-захід
ПнЗШ	- північно-західний шельф
ПнЗЧ	- північно-західна частина
ПнС	- північний-схід
ПнПнС	- північно-північний-схід
СВ	- Севастопольський вихор
СГМ	- сектор гідрометеорології моря
СММСК	- Служби моніторингу морського середовища – «Коперникус»
ТПО	- температура поверхні океану
ТПШ	- температура поверхневого шару
УкрНЦЕМ	- Український науковий центр екології моря
ХПШ	- холодний проміжний шар
ШВ	- шельфові води
ЧМ	- Чорне море
ЄС	- Європейський Союз
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
CW	- Coastal Waters
ShW	- Shelf Waters
OW	- Open Waters
TW	- Transit Waters

ВСТУП

У рішеннях ЄС екологічний моніторинг прибережних і морських вод обумовлюється двома базовими детективами: Водної рамкової директиви (2000/60/ЄС) (ВРД) і рамкової директиви з морської стратегії (2008/56/ЄС) (РДМС), уточненою директивою (2017/848/ЄС).

Постановою Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 року затверджено порядок здійснення Державного моніторингу вод відповідно Водного кодексу України та Морської природоохоронної стратегії України Схваленої Кабінетом Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1240-р.

Ці директиви і постанови є законодавчі акти прийняті з однією метою – досягнення «доброго екологічного стану» (ДЕС) водного середовища.

У переліку дескрипторів, контрольованих екологічним моніторингом, дескриптор відповідальний за моніторинг гідрологічних умов значиться під номером D7 і до досягнення стану ДЕС обумовлює, що постійні зміни гідрографічних умов не викликають негативного впливу на морські екосистеми.

Відповідні навантаження: фізичні втрати (із-за постійних змін субстрату або морфології морського дна або вилучення субстрату морського дна); Змінення гідрологічних умов.

У Рішенні Комісії 2017/848/ЄС за методологічними стандартами про добрий екологічний статус морських водних масивів були визначені наступні вторинні критерії:

D7C1 - Вторинний: Просторова довжина та поширення постійних змін гідрографічних умов (наприклад, зміни хвильового впливу, течій, солоності, температури) на морське дно та товщу води, пов'язаних, зокрема, з фізичною втратою природного морського дна;

D7C2 - Вторинний: Територіальна протяжність кожного типу бентосного довкілля зазнала несприятливого впливу (фізичні та гідрографічні характеристики та пов'язані з ними біологічні спільноти) через постійну зміну гідрографічних умов.

Головне завдання в цьому напрямку є встановлення порогових значень для несприятливих наслідків постійних гідрографічних змін умов на рівні регіонального чи субрегіонального рівнів.

Результати оцінки критерію D7C1 (розподіл та оцінка ступеня гідрографічних змін) повинні використовуватись для оцінки критерію D7C2.

Оцінка і визначення цих змін може бути дуже важливою при забезпеченні раннього попередження можливих впливів на екосистему та можливості її захисту, зокрема, бентосних екосистем.

На рис.1 представлена схема на якій позначені ділянки найбільшого впливу гідродинамічних факторів, які призводять до зміни біорізноманіття морського середовища і нерідко до його пригнічення (гіпоксія, звалища ґрунту, області гідрофронтів та апвелінгів, зони вторинного замулення).

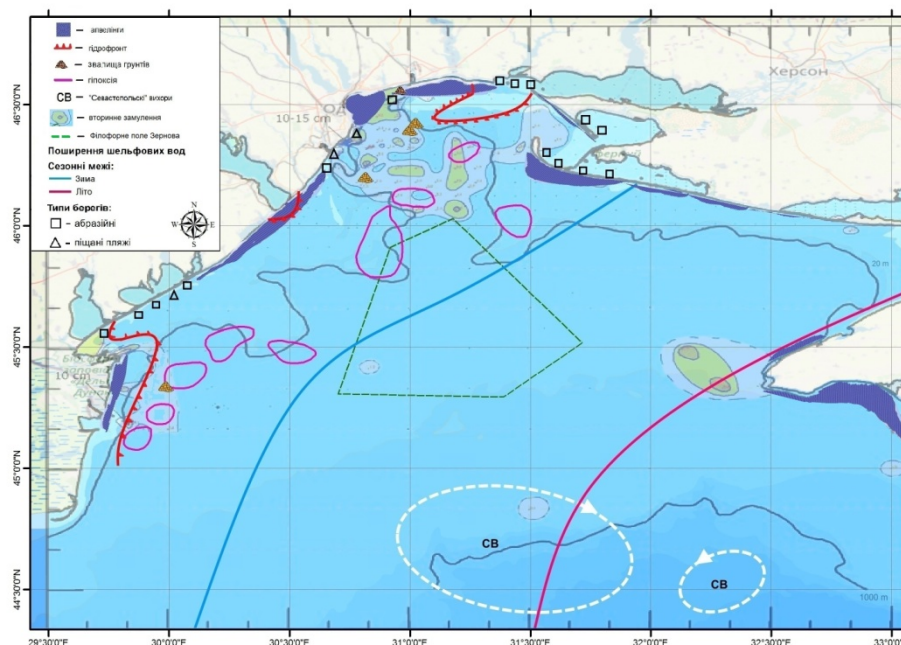


Рисунок 1 – Ділянки акваторії північно-західної частини чорного моря схильних до різких змін гідродинамічних параметрів морського середовища.

Крім спостережень за акваторіями, схильних до постійних змін гідрологічних параметрів, в постановах кабінету міністрів (КМ) України вказується про необхідність регулярного проведення загального екологічного моніторингу

морських і прибережних вод Чорного і Азовського морів в межах економічної зони України.

Наукова дослідна робота є продовження багатолітніх досліджень Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ) гідрологічної та гідродинамічної структури морських вод України. НДР «Аналіз гідрофізичних характеристик українських вод Чорного моря та їх ролі у формуванні екологічного стану моря» виконувалась в рамках напрямку наукових досліджень УкрНЦЕМ «Оцінка та діагноз екологічного стану довкілля Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України» згідно «Програми державного моніторингу вод (в частині діагностичного моніторингу прибережних та морських вод Чорного та Азовського морів» затвердженої Наказом Міністерства захисту довкілля № 410, 31 грудня 2020 року і «Морської природоохоронної стратегії України» Схваленої Кабінетом Міністрів України від 11 жовтня 2021 р. № 1240-рта міжнародних зобов'язань України щодо захисту Чорного моря від забруднення відповідно до «Стратегічного Плану Дій до відновлювання і охорони Чорного моря».

Результати досліджень будуть використані при складанні Національної доповіді про стан довкілля України, міжнародних і державних програм екологічного моніторингу, у звітах для міської адміністрації.

1 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При аналізі спостережень в НДР використовувався порівняльний аналіз за традиційними методи аналітичного узагальнення даних та статистичного аналізу, основним інструментом обробки даних був пакет «Excel», з його можливостями графічного представлення рядів спостережень і статистичного аналізу інформації. Первинна обробка даних проводилася розробленими програмами в УкрНЦЕМ. Результати первинного аналізу, представлені у вигляді тексту, таблиць, графіків і карт. Побудова карт виконувалася за допомогою програмного забезпечення «Гідролог», GS SURFER, та ACDSeePro.

У звіті використовувалися дані отримані в результаті асиміляції даних космічного дистанційного зондування, в тому числі: аномалій поверхні рівня моря, що забезпечуються в режимі реального часу AVISO, скановані зображення розподілу температури води в поверхневому шарі моря, добові модельні картини динаміки вод поверхневого шару довгохвильового випромінювання і розподілу хлорофілу-*a* отриманих з сканерів штучних супутників NASA, NOAA (США).

Крім того, виконувалася первинна обробка цифрової супутникової інформації про стан і мінливість температури води та розподілу хлорофілу-*a* в північно-західній частині Чорного моря, з сайту <http://www.bsmfc.net/MyOcean> по чотирьох хвилинним квадратам з тижневою частотою.

Візуальні зображення поверхні морської води Чорного та Азовського морів приймалися за системою «AERONET», супутниками «Aqua MODIS» і «Terra MODIS». Усього було отримано та проаналізовано понад 400 знімків. Для комплексного аналізу отриманих матеріалів використовувались супутникові дані з дрейфуючих буїв програми «Арго» з веб-сайту за посиланням: <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>.

Таблиця 1.1 – Реєстр активних буїв проекту «Argo» в Чорному морі протягом 2021р.

№ з\п	№ Буя	Дата першої станції	Періодичність спливання буя	T, °C	S, ‰	O, $\mu\text{m}/\text{m}^3$
1	3901855	22.10.2016	кожні 5 днів	*	*	
2	3901854	02.11.2016	кожні 5 днів	*	*	
3	3901852	06.12.2016	кожні 5 днів	*	*	
4	6903240	29.03.2018	кожні 5 днів	*	*	*
5	6903271	01.10.2019	кожні 4 дня	*	*	
6	6903766	02.12.2019	кожні 5 днів	*	*	
7	7900596	06.12.2019	кожні 10 днів	*	*	*
8	7900595	10.08.2019	кожні 10 днів	*	*	
9	6903866	22.11.2020	кожні 5 днів	*	*	
10	6903782	23.07.2020	кожні 5 днів	*	*	
11	6903867	17.11.2020	кожні 5 днів	*	*	*

Примітка : – * відповідає визначенню вказаного параметру морського середовища,

Інформація з буїв надходила, як в графічному, так і в цифровому вигляді.

При виконанні НДР використовувались також дані програми Європейського Союзу щодо спостереження за Землею «Служби моніторингу морського середовища «COPERNICUS» – «Коперникус»(СММСК).

При аналізі стану довкілля морів використовувалися також дані операційної системи аналізу та прогнозування океану MERCATOR, за допомогою системи СММСК служби моніторингу морського середовища з веб-сайту:

https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results.

Операційна система аналізу та прогнозування океану MERCATOR забезпечує щоденне оновлення тривимірних прогнозів стану глобального океану. Характеристики стану глобального океану надаються в вихідних файлах які включають середні щоденні та щомісячні значення температури, солоності, течій, рівня моря, глибини змішаного шару та параметрів льоду. Дані відображаються з горизонтальною роздільною здатністю 1/12 градуса з регулярною рівно прямокутною проекцією довготи/широти, на 50-типо глибині горизонтах від 0 до 5500 метрів.

Крім цього, завдяки програмі спостереження «Коберникус» була можливість отримання супутникових знімків високої якості з веб-сайту за таким посиланням: <https://scihub.copernicus.eu/>.

Просторово-часова мінливість температури морської води оцінювалася з урахуванням районування Чорного і Азовського морів.

Розрахунок кліматичних термохалінних полів Чорного моря здійснювався за двома часовими інтервалами. Дані першого інтервалу включали виміри, отримані за період з 1921 по 1990 рік (тобто це історичний 70-річний масив даних) які складаються з 76747 океанографічних станцій. Дані другого періоду включали вимірювання наступного 30-річного періоду до 2020 року і містили 32014 океанографічних станцій.

Розрахунок виконаний із місячною часовою дискретністю на стандартних горизонтах у шарі 0-500 метрів. Побудовано 316 щомісячних кліматичних карт температури та солоності.

Необхідні дані метеоспостережень вибирались з архівів сайтів gr5.ua: <https://www.wetterzentrale.de/>. При аналізі в НДР також використовувались дані спостережень гідрометеорологічної станції (ГМС) розташованої в Одеській затоці в районі «Одеса-Порт» і дані Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (ГМС ЧАМ), а також експедиційні спостереження.

2 БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ В ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ ПІНЗЧ ЧМ ПО ДАНИМ ГМС «ОДЕСА-ПОРТ»

В основу аналізу мінливості метеорологічних і гідрологічних параметрів лягли багаторічні (понад 100 років) данні спостережень ГМС «Одеса-Порт». Так само при необхідності використовувалися результати спостережень ГМБ Чорноморськ і СГМ порту Південний.

ГМС «Одеса-Порт» розташована на території порту в південно-східній його частині біля основи карантинного молу (рис. 2.1). Глибина в районі станції становить (проектна = 6,5 м; фактична = 5,8 м).

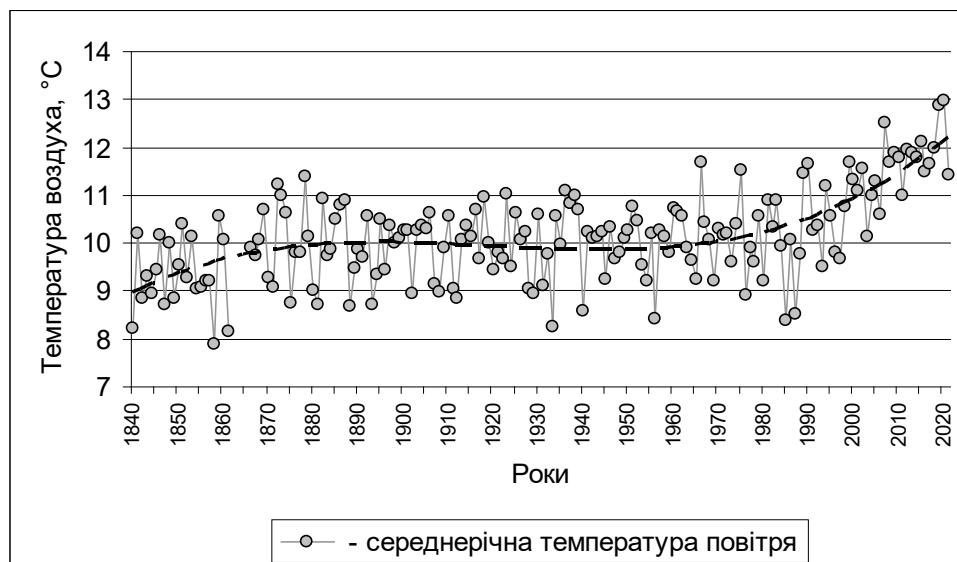


Рисунок 2.1– Розташування станції ГМС «Одеса-Порт».

Далі надаються основні характеристики стану приземної атмосфери і стану поверхні моря та їх мінливості в районі м. Одеси з 2011 р. по 2021 р. з визначенням найбільш помітних аномалій.

2.1 Температура повітря

Після рекордних за температурою повітря 2019, а слідом за ним 2020 р., із середньорічними значеннями 12,9 і 13,0°C, відповідно, 2021 р., з його середньорічною температурою близько 11,4°C, зайняв у списку найтепліших років двадцяте місце (рис. 2.2). За даними ГМС «Одеса-Порт» мінімальна температура повітря -13,7 °C, відзначена 19.01.21, а максимальна 32,8 °C – 16.07.2021 р.



Примітка: –пунктирна лінія характеризує апроксимацію мінливості температури поліномом третього ступеня.

Рисунок 2.2 – Середньорічні температури повітря в Одесі з 1840 року.

Результати аналізу вказують, що основна тенденція зростання середньої річної температури повітря у розглянуті останні три роки зберігається.

Середні місячні значення температури повітря в 2021 р. були близькими до норми (рис. 2.3), у шести місяцях температури 2021 року перевищували норму, а в шести їй поступалися. Максимальна додатня аномалія зазначена в листопаді і складала 2,1°C, а максимальна від'ємна -1,5 °C спостерігалась у квітні. Тому не дивно, що середньорічна температура 2021 р. перевищує річну норму температури

лише на $0,1^{\circ}\text{C}$ (при нормі $11,3^{\circ}\text{C}$).

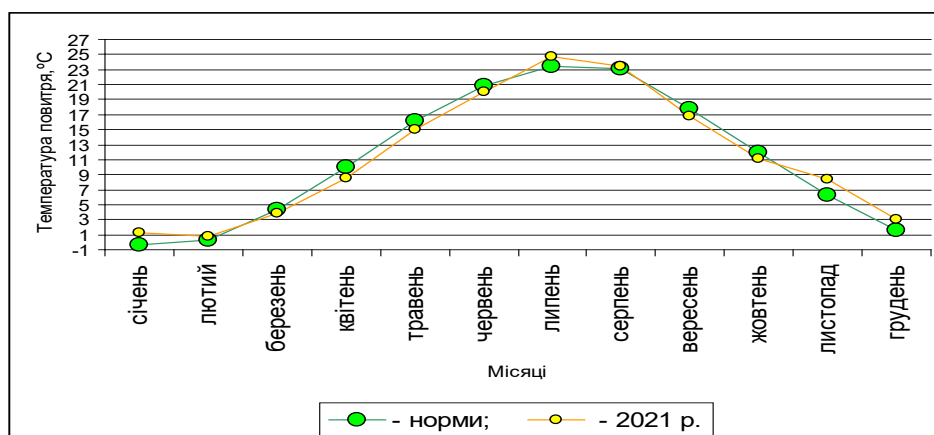


Рисунок 2.3 – Місячні норми температури повітря в Одесі та середньомісячні значення за 2021 рік.

За даними інтегральної суми показників температури приземного повітря (рис. 2.4) холодного півріччя (з температурами менш $+5^{\circ}\text{C}$) і теплого півріччя

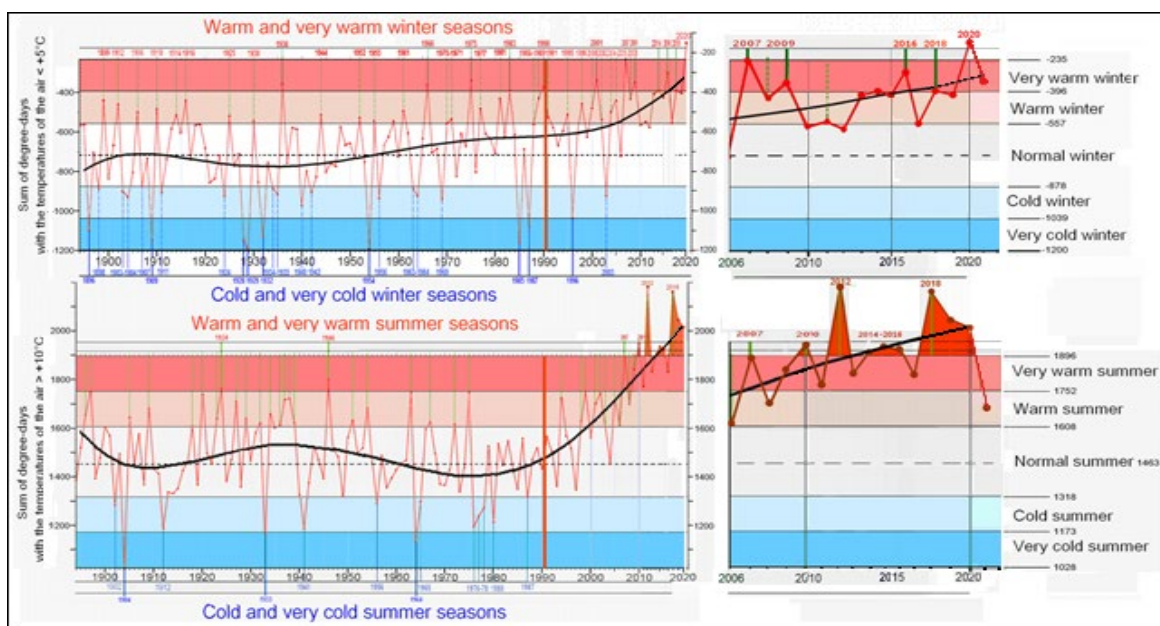
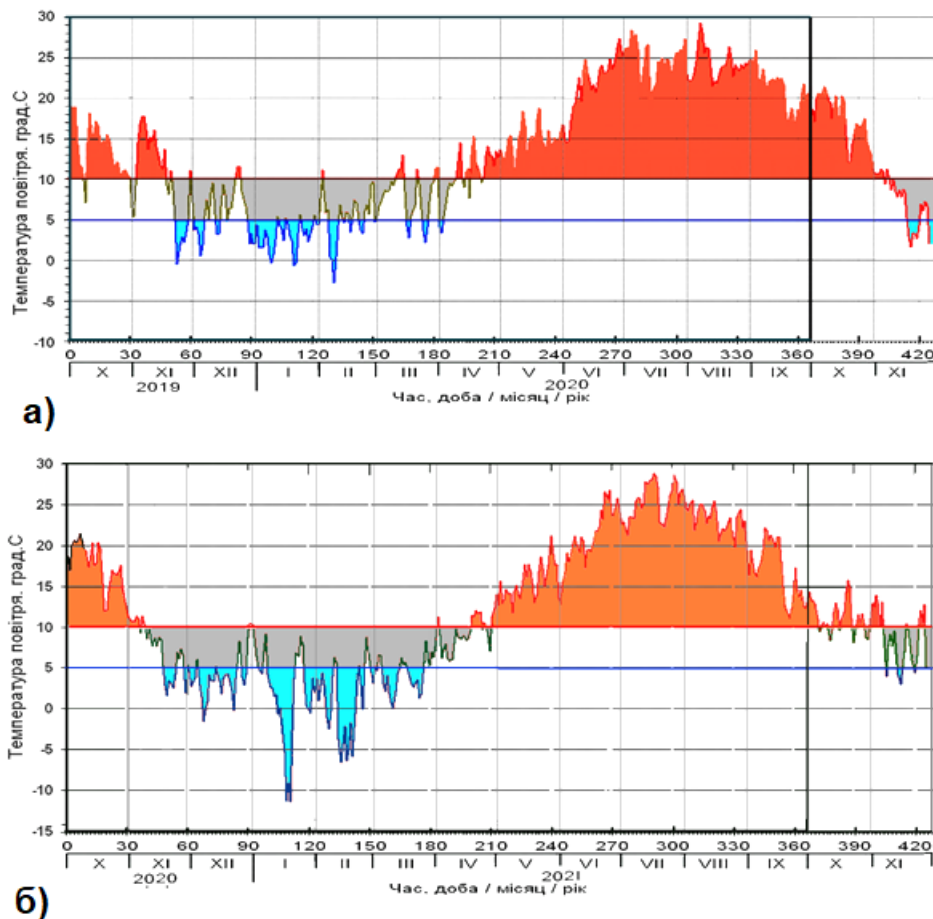


Рисунок 2.4 – Часовий хід інтегральних температур повітря в холодне і тепле півріччя за період з 1894 по 2021 рр. за даними ГМС «Одеса-Порт»

(з температурами більш $+10^{\circ}\text{C}$) у 2021р. холодне півріччя на півдні України, згідно з представленою оцінкою, було на рівні дуже теплих зим, але холодніше, ніж

аномальна зима 2019-2020 рр., тепле півріччя 2021 року було значно холодним відносно останніх 10-15 років.

Екстремальне тепла зима попереднього року проявилася лише чотирма нетривалими випадками слабо від’ємних негативних середньодобових температур ($-1 \div -3^{\circ}\text{C}$) повітря, у той час як в зимовий сезон 2020-2021 рр. їх було значно більше (рис. 2.5)



Примітка: –а)X.2019-XI.2020 р.; –б)X.2020-XI.2021 р.

Рисунок 2.5 – Графіки внутрішньорічного ходу середньодобових температур повітря в Одесі.

Тепле півріччя у 20201 р., за показником температурі повітря більш $+10^{\circ}\text{C}$, було на місяць коротшим, а період холодного півріччя був на місяць більш тривалішим ніж у попередньому році.

2.2 Режим вітру

В цілому генеральне перенесення в приземній атмосфері зберіглося в кліматичних межах. В районі Одеси середній за 2021 рік переніс повітряних мас здійснювався з ПнПнЗ на південь з напрямком 174° з середньою швидкістю вектору переносу повітряних мас $0,8 \text{ м/с}$ (рис.2.6).

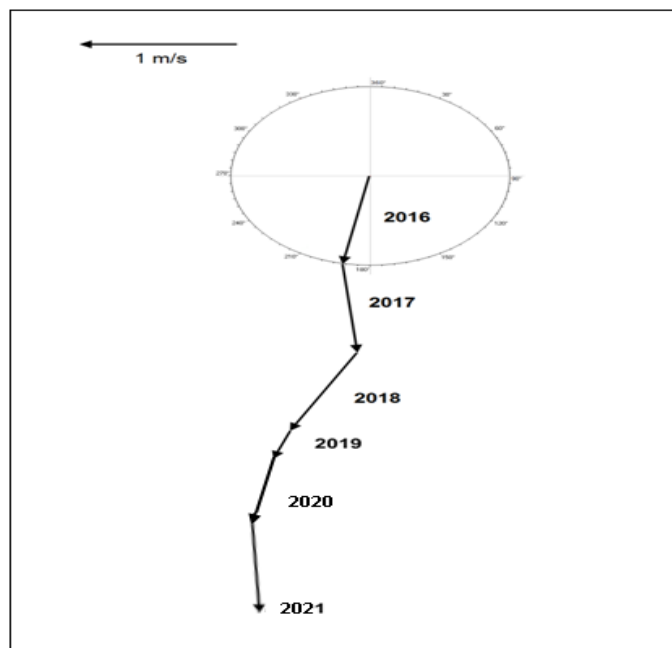


Рисунок 2.6 – Середньорічна прогресивно-векторна діаграма перенесення повітряних мас за даними ГМС «Одеса-Порт» в 2016 – 2021 рр.

Графік прогресивно-векторної діаграми переносу повітряних мас за даними спостережень напрямку і швидкості вітру ГМС «Одеса-Порт» (рис.2.7) показує, що середня арифметична швидкість вітру за 2021 рік склала $3,8 \text{ м/с}$.

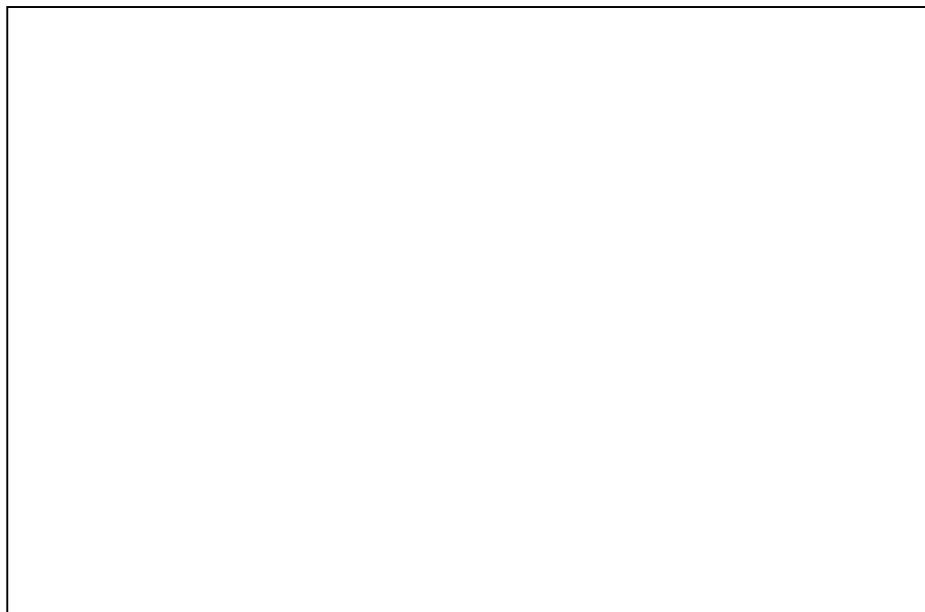


Рисунок 2.7 – Прогресивно-векторна діаграма вітру за даними вимірів на ГМС«Одеса-Порт» у 2021 році.

Виконане виділення екстремальної повторюваності по кожному напрямку градації швидкості вітру вказує, що екстремальними, за кількістю повторюваності випадків в порту Одеса за період 2021 р., є вітри від північно-західного до північного напрямків. Другим за кількістю переважної повторюваності вітру був південно-південно-західний напрямок (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Повторюваність напрямків вітру за градаціями швидкості (кількість) в порту Одеса за період з 01.01 по 30.11.2020 р.

Градація швидкості	Напрямок, румби								Повторюваність (кількість)
	Пд.	ПдЗ	З	ПнЗ	Пн	ПнС	С	ПдС	
0 – <2	55	28	18	65	34	20	5	21	246
2 – <4	100	96	30	133	77	46	23	59	564
4 – <6	79	18	9	62	58	38	24	27	315
6 – <8	28	2	1	34	62	24	20	22	193
8 – <10	9	1	3	12	38	4	6	6	79
10 – <12	2	2	0	16	16	7	7	5	55
12 – <14	0	0	0	0	6	0	0	0	6
14 – <16	0	0	0	1	1	0	0	0	6
Сума (кількість)	273	147	61	323	292	139	85	85	1460

Рози вітрів дають ще одне графічне уявлення про переважаючі вітрові потоки у 2021 р. в північних районах ПнЗШ. У районі західного узбережжя ПнЗШ (в районі портів «Одеса» та «Чорноморськ») найбільшої повторюваності відповідають вітри ПнЗ і ПнПнЗ напрямку, також за значною величиною повторюваності спостерігаються і вітри в вузькому сектору протилежного ПдПдС напрямку (рис. 2.8).

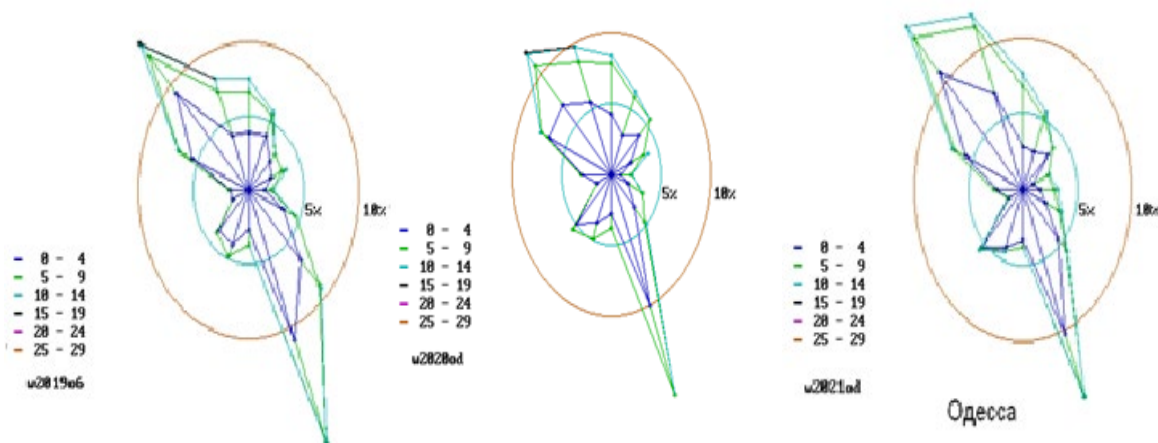


Рисунок 2.8 – Рози вітрів за даними ГМС «Одеса-Порт» У2019, 2020 та 2021 роках.

У переважній більшості випадків за 40-річний період 8-строкових спостережень на ГМС «Одеса-Порт» повторюваність штилів коливалася в кількості 50-150 випадків. Винятковими за високою повторюваністю штилів були 1985 та 1986 роки з повторюваністю близько 400 випадків. У 2019 та 2020 рр. повторюваність штилів трохи перевищувала 200 випадків (рис. 2.9), а в 2021 році зменшилась до 186 випадків.

Слабкі вітри (1-2 м/с), як правило, супроводжують періоди штилів, але мають суттєво інший характер повторюваності. У першій половині 80-х років мав місце період підвищеної повторюваності (550-680 випадків за рік). З 1986 р. при мінімумі повторюваності слабких вітрів (400 випадків у рік), їх кількість поступово підвищувалась і в 2008 та в 2015 роках досягала 1000 випадків на рік. В останні п'ять років повторюваність слабких вітрів зменшилась і в період досліджень 2019-2020 рр. повторюваність складала 830-870 випадків у рік.

Повторюваність штормових вітрів мала абсолютний максимум 1981 року на рівні 110 випадків. Після 1985 р. повторюваність штормових вітрів зменшилась і коливалася в інтервалі 5-30 випадків на рік. Екстремально низькою була повторюваність штормових вітрів у 2019 році – 2 випадки.

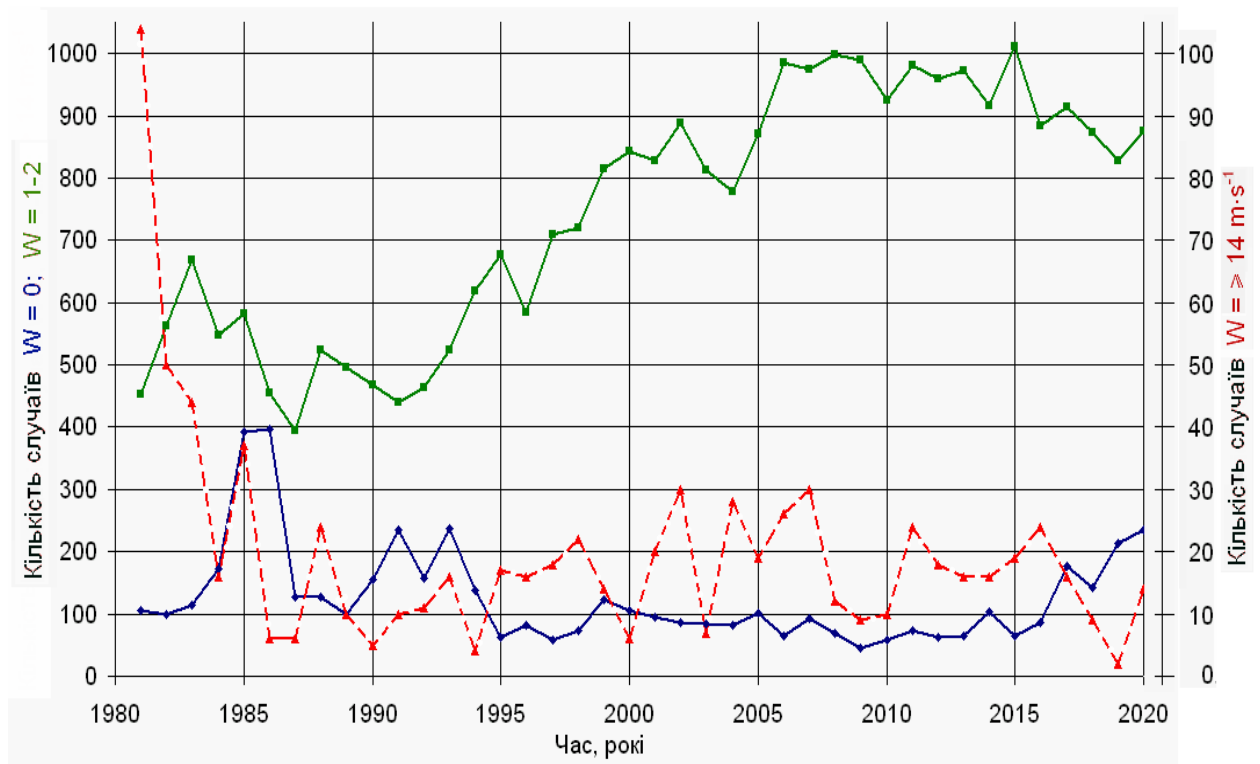
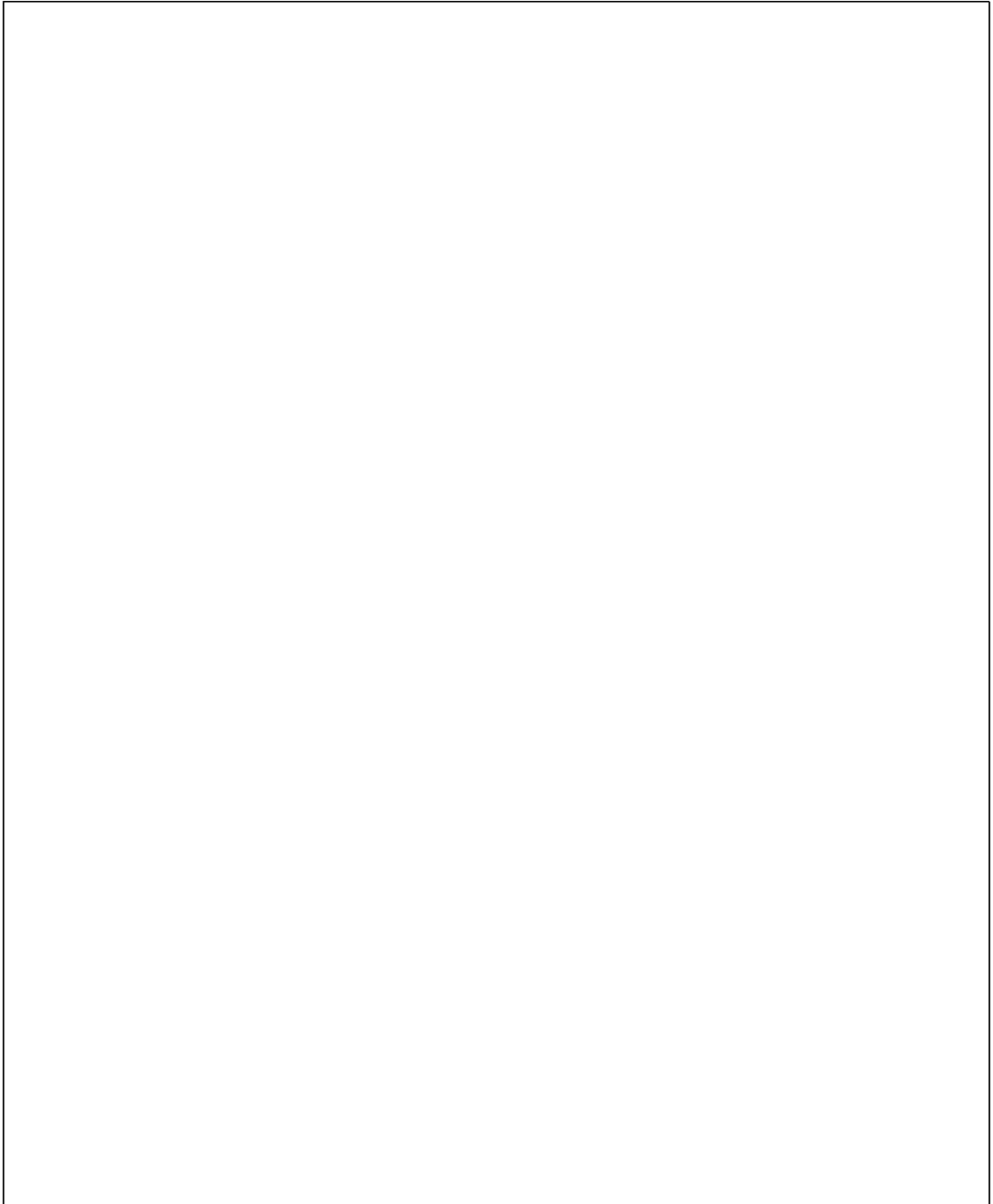


Рисунок 2.9 – Графіки річної повторюваності швидкостей вітру за трьома градаціями: 0 м/с (штиль); 1-2 м/с (слабкий вітер); та ≥ 14 м/с (штормовий вітер, пунктир).

Узагальнюючи вищесказане, можна констатувати, що умови холодного півріччя 2021 року були в Північному Причорномор'ї на середньому рівні останнього десятиріччя (рис.2.10), а інтегральний зимовий термічний режим був на рівні двохтисячних років, що значно нижче, ніж в останні роки.

Вітрові умови відповідали рівню середніх значень останніх років; переважали вітри ПнЗ, Пн і протилежних ПдПдС напрямків.



Умовні позначення:

вітер - вектори бірюзового кольору;
рівень моря - сині лінії;
температура повітря- червоні лінії;
температура води - зелені лінії;
солоність води - рожеві еліпси.

Рисунок 2.10 – Щомісячні графіки змін основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів ГМС «Одеса-Порт» в 2021 році.

2.3 Атмосферні опади

2021-й рік виділяється у ряді річних сум атмосферних опадів. За вмістом найбільшої кількості атмосферних опадів в Одеському регіоні західної частини ПЗШ ЧМ річна сума опадів 693 мм 2021 р., поступилася тільки значенням суми опадів 753мм та 709 мм, що спостерігались, відповідно, в 2016 та 2010 рр.

Максимальна кількість опадів у 2021 році за добу випала 22 липня і склала 60 мм, що майже у півтора рази перевищує місячну норму (рис.2.11).

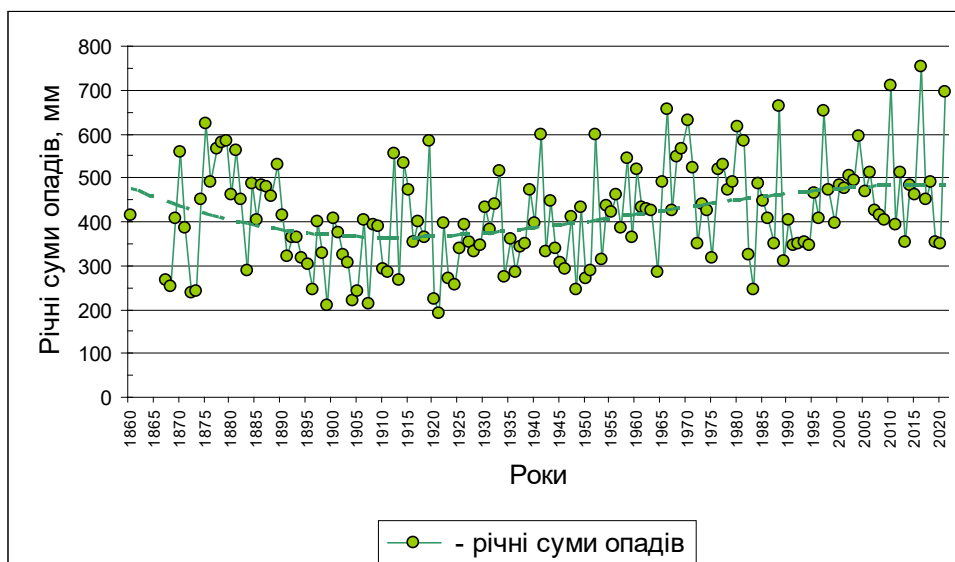


<https://focus.ua/ukraine/488561>

Рисунок 2.11 – Злива в Одесі 22 липня 2021 року (вулиця Дерибасівська).

За даними спостережень з 1867 р. тривалий мінімум річних сум атмосферних опадів в Одесі припадав на 1890-1930 рр. У подальші роки кліматична сума річних опадів зростала і в сучасний період підвищилась майже на 30% відносно періоду 1890-1930 рр. (рис. 2.12).

Середня сума річних атмосферних опадів у 2011-2020 рр. дорівнювала 453 мм і на 13 мм перевищувала середню суму опадів попереднього десятиріччя 2001–2010 рр.



Примітка: – пунктирна лінія характеризує апроксимацію мінливості суми атмосферних опадів поліномом третього ступеня

Рисунок 2.12 –Річні суми атмосферних опадів в Одесі з 1860 року

В 2021 р. за даними ГМЦ ЧАМ великі суми місячних опадів спостерігались в січні, червні, липні і грудні з перевищенням норми опадів в ці місяці понад в два рази, складаючи 222-270% відносно норми (рис. 2.13). Сумарний внесок опадів цих місяців до загальної їх суми у 2021 р. відповідав 60%.

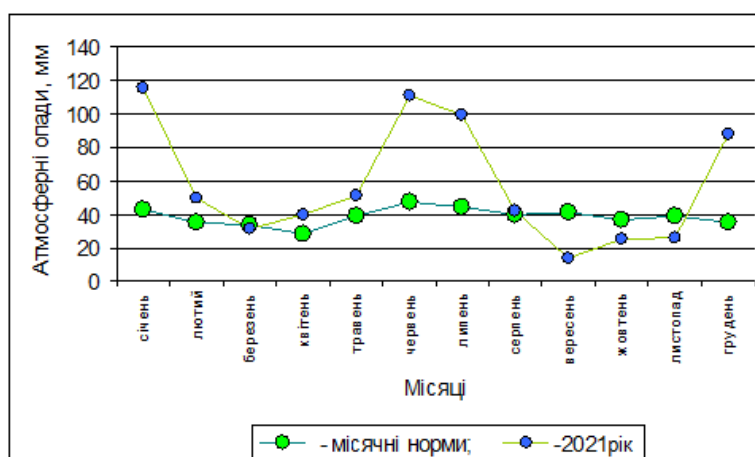


Рисунок 2.13 – Норми місячної суми атмосферних опадів в Одесі та їх суми місячної кількості опадів у 2021 році.

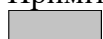
За останні два десятиріччя в північно-західній частині ПЗШЧМ середні

показники кількості атмосферних опадів сучасного десятиліття (2011-2020 рр.) відносно попереднього десятиліття (2001-2010 рр.) зросли, які відповідні показники температури повітря. Кількість опадів в більшій мірі в середньому зросла на 9 мм в січні, а зменшилося на 2 мм в лютому та листопаді. В багаторічному плані статусу найвологішого місяця відповідає червень з нормою суми опадів 47 мм, а най сухішого місяця– квітень з нормою суми опадів 28 мм (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристики атмосферних опадів у 2021 р. в Одесі на тлі кліматичних змін у ХХІ столітті

Норми, роки	МІСЯЦІ												Середня
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
I (1981-2010)	34	37	32	28	35	48	46	39	41	34	41	35	450
II (1991-2020)	43	35	34	28	39	47	45	40	42	37	39	35	462
Різниця:	9	-2	2	0	4	-1	-1	1	1	3	-2	0	12
2021	115	50	31	40	51	111	99	42	14	26	26	88	693
2016	101	20	36	68	50	56	4	75	114	180	38	11	753
$\Delta(2016-2021)$	-14	-30	5	28	-1	-55	-95	33	100	154	12	-77	60

Примітка:



– виділені малі суми опадів менші за норму (від 33 до 92%);



– виділені великі суми опадів значно більші за норму (від 220 до 270 %).

За багаторічними даними максимальна місячна сума атмосферних опадів 198 мм в Одесі була зареєстрована в жовтні 1939 року.

3 БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ УМОВ У ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ ПНЗЧ ЧМ ПО ДАНИМ ГМС «ОДЕСА-ПОРТ»

3.1 Температура води

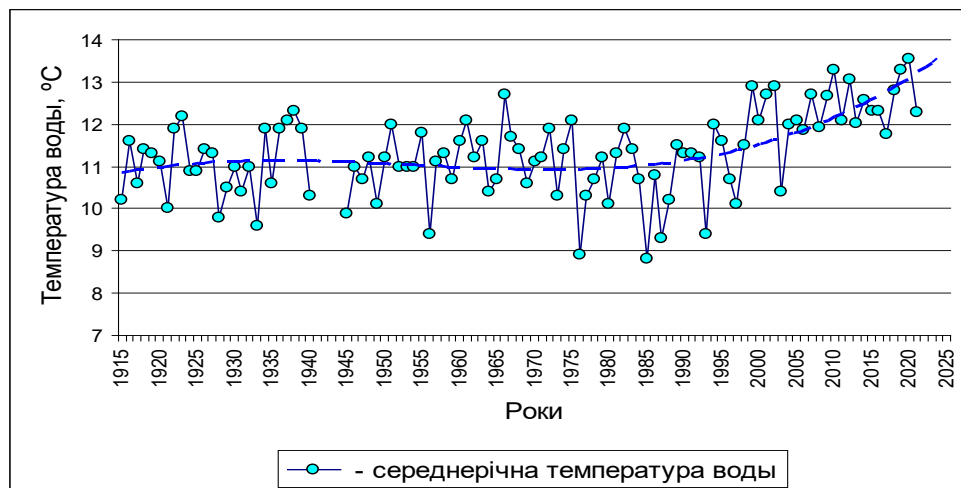
За десятиліття сучасного періоду (2011-2020 рр.) відносно попереднього десятиліття (2001-2010 рр.) середня річна температура води в Одеському регіоні зросла, як і температура повітря, на 0,6 °C і в середньому складала 12,0°C (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Характеристики мінливості температури морської води біля узбережжя Одеси у 2021 р. на тлі кліматичних змін у ХХІ столітті.

Норми, роки	МІСЯЦІ												Середня
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
I (1981-2010)	2.4	1.7	3.4	8.4	14.4	18.2	20.4	21.1	18.2	14.4	9.2	4.7	11.4
II (1991-2020)	2.6	2.0	3.9	8.8	15.0	19.2	21.5	22.4	18.9	14.7	9.7	5.2	12.0
Різниця:	0,2	0,3	0,5	0,4	0,6	1,0	1,1	1,3	0,7	0,3	0,5	0,5	0,6
2021	4.4	3.2	4.0	8.1	13.5	18.9	23.2	22.6	18.7	13.3	9.7	7,7	12,3
2020	5.4	5.2	6.9	8.8	13.3	19.9	22.4	22.9	21.5	18.7	12.1	5.4	13.5
$\Delta(2020-2021)$	1.0	2.0	2.9	0.7	-0.2	1.0	-0.8	0.3	2.8	5.4	2.4	-2.3	1,2

Це зростання температури складається з середньої десятирічної температури води всіх місяців, але в більшій мірі за рахунок зростання температури літнього періоду. Середнярічна температура води в 2021 р. дорівнює 12,3°C і займає 14-те місце в ряду найбільш високих середніх річних температур морської води за даними спостережень ГМС «Одеса–Порт » (рис.3.1).

Результати вказують , що основна тенденція зростання середньої річної температури води, як і температури повітря, в роки виконаних досліджень відносно попередніх років в цілому зберігаються.



Примітка : – пунктирна лінія відповідає апроксимації середньої річної температури води поліномом третього ступеня.

Рисунок 3.1 – Середньорічні температури морської води з 1915 року за даними ГМС «Одеса-Порт»

Середні місячні значення температури водив в 2021 р. були достатньо близькими до показників багаторічної норми температури води в річному циклі її мінливості (рис. 3.2).

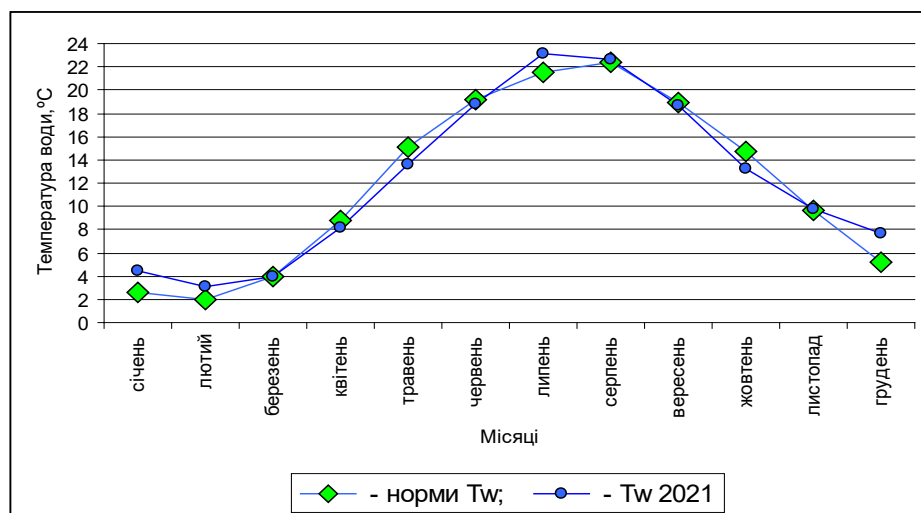


Рисунок 3.2 – Місячні норми температури морської води в Одесі та її середньомісячні значення за 2021 рік.

Максимальна додатня аномалія, тобто відхилення від норми,

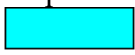
2,5°C, зазначено у грудні, а максимальна від'ємна аномалія -1,5°C спостерігалась у березні і у листопаді. Середня річна температура морської води в Одеській затоці у 2021 р. перевищує річну норму(12,0 °C)на 0,3°C і складає 12,3°C.

За оцінками даних середньої місячної температури морської води (2003-2021 рр.) отриманих з архіву СММСК біля острова «Зміїний» були визначені холодні і теплі сезони року за даними трьох місяців найбільш холодних та трьох найбільш теплих температур води в цьому районі відкритого шельфу водного масиву CW1(таблиця 3.2), для подальшого визначення сезону з найбільшим впливом на формування підвищеної середньої річної температури морської води.

Таблиця 3.2 – Середньомісячні значення ТПШ води на акваторії біля острова «Зміїний» (CW1)

Роки	Січ.	Лют.	Берез.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Верес.	Жовт.	Лист.	Груд.	Сер. Річна
2003	3.6	4.7	4.7	6.2	15.0	21.2	23.0	24.8	19.7	17.3	10.8	8.0	13.2
2004	5.8	4.6	5.5	7.9	14.2	19.7	22.2	23.8	21.1	18.1	13.7	8.3	13.7
2005	6.3	4.6	5.4	8.5	15.8	20.3	24.2	26.0	23.2	19.3	12.8	9.3	14.6
2006	6.2	3.2	5.4	10.5	14.3	21.3	23.3	25.5	20.8	18.2	11.7	8.4	14.1
2007	7.3	5.8	6.3	10.1	16.2	23.2	23.8	25.8	21.2	18.3	11.7	8.8	14.9
2008	6.0	4.5	6.7	10.6	15.9	20.7	24.2	25.6	23.2	16.8	12.6	10.1	14.7
2009	6.4	5.3	5.8	10.8	16.4	21.4	24.8	24.6	21.6	18.2	12.8	9.5	14.8
2010	6.6	5.5	6.3	5.8	10.6	16.5	21.6	25.3	27.7	20.8	16.1	9.1	14.3
2011	6.6	5.9	5.2	7.3	14.7	20.4	23.9	23.8	22.4	18.6	11.5	9.0	14.1
2012	6.8	3.4	4.7	9.9	17.9	22.8	26.2	25.0	21.7	19.9	13.7	8.5	15.0
2013	5.5	5.1	6.2	10.3	18.2	22.8	23.7	25.2	20.6	14.4	13.1	8.1	14.4
2014	6.7	5.3	7.7	11.3	17.6	20.4	24.1	25.8	22.7	18.7	12.8	8.6	15.2
2015	6.6	5.8	6.0	8.4	16.0	21.3	23.9	25.0	23.3	17.4	14.9	9.8	14.9
2016	6.7	5.2	6.3	11.2	15.9	22.3	25.2	25.3	23.1	19.2	11.7	7.9	15.0
2017	5.1	3.3	6.9	8.6	15.4	22.0	23.4	25.0	22.7	16.6	12.8	8.5	14.2
2018	7.5	5.0	5.5	13.9	19.0	21.8	25.3	26.1	23.0	18.3	12.2	9.4	15.6
2019	5.5	5.7	7.7	9.7	15.7	24.7	24.7	24.2	22.3	18.5	16.0	10.9	15.5
2020	8.2	6.3	8.4	9.6	14.2	20.9	23.9	25.1	23.4	20.6	15.9	9.6	15.5
2021	7.1	4.8	5.9	9.2	15.4	20.0	25.2	25.4	22.0	15.3	12.8	9.0	14.3
Сер. міс.	6.3	4.9	6.1	9.5	15.7	21.2	24.0	25.1	22.4	18.1	13.1	9.0	14.7

Примітка:

 – мінімальні середні місячні температури води;

 – низькі середні місячні температури води;

 – максимальні середні місячні температури води;;

 – високі середні місячні температури води.

Отримано, що зимовий, чи холодний сезон з найбільш низькими температурами морської води відповідає січню, лютому, та березню. Найбільш

холодні середні місячні температури води в більшості відповідають лютому. Цей місяць, як показник мінімальної температури води на поверхні, використовується не тільки для морів, але і для океанів [1]. Літній чи теплий сезон за найбільшою повторюваністю найбільш теплих середніх місячних температур води відповідає липню, серпню та вересню. В установлених межах середня температура холодного сезону за період 2003-2021 років дорівнює $5,8^{\circ}\text{C}$, а теплого сезону $23,9^{\circ}\text{C}$.

Виконані за період 2003-2021 років оцінки тренду вказують, що середня річна морська температура води збільшилась на $1,3^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.3).

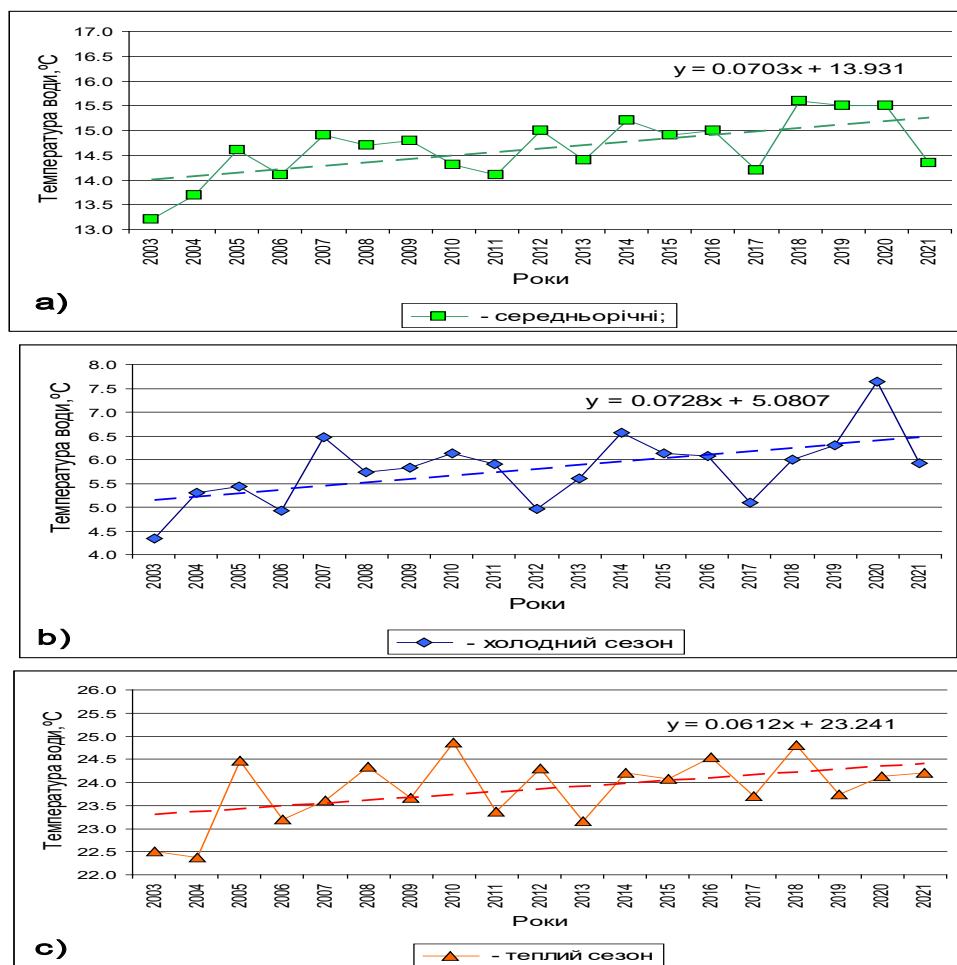


Рисунок 3.3 – Мінливість середньої річної ТПШ води (а) та середньої ТПШ води холодного сезону (б) і середньої ТПШ води теплого сезону (с) у 2003-2021рр. біля острова «Зміїний».

На таку ж величину, в середньому, підвищилася температура в холодний період року, січень-березень, та на $1,1^{\circ}\text{C}$ у теплий період, липень-вересень.

Таким чином однозначно стверджувати, що температура води на акваторії навколо острова Зміїний зростала за рахунок холодного або, навпаки, теплого періоду року, неможливо.

Виконана оцінка за даними регулярних 4-х строкових спостережень температури води ГМС «Одеса-Порт» 2003-2021 років вказує на підвищення як середньої річної температури води даного району досліджень так і середніх температур холодного і теплого періоду років також відмічається відносно більша мінливість температури морської води в Одеській затоці відносно визначеної її мінливості навколо острова «Зміїний» (рис. 3.4) .

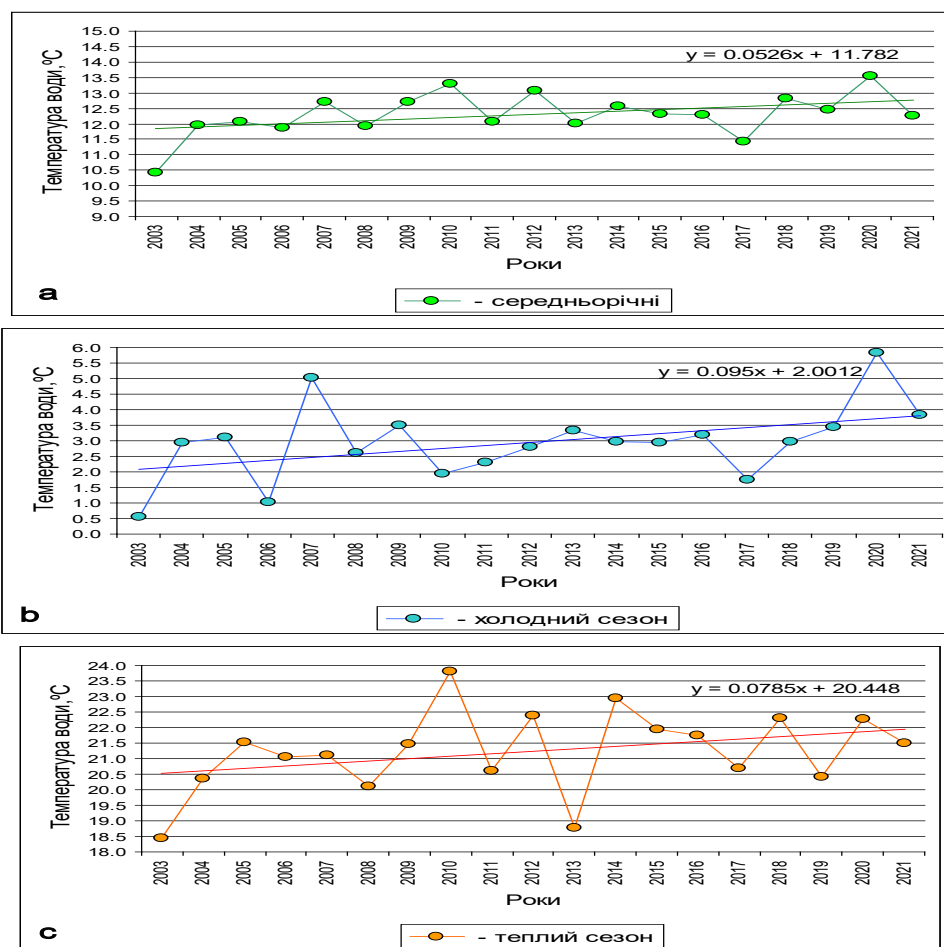


Рисунок 3.4 –Мінливість середньої річної ТПШ води (а) та середньої ТПШ води холодного сезону січень-березень (б) і середньої ТПШ води теплого сезону липень-вересень (в) у 2003-2021рр.в Одеській затоці.

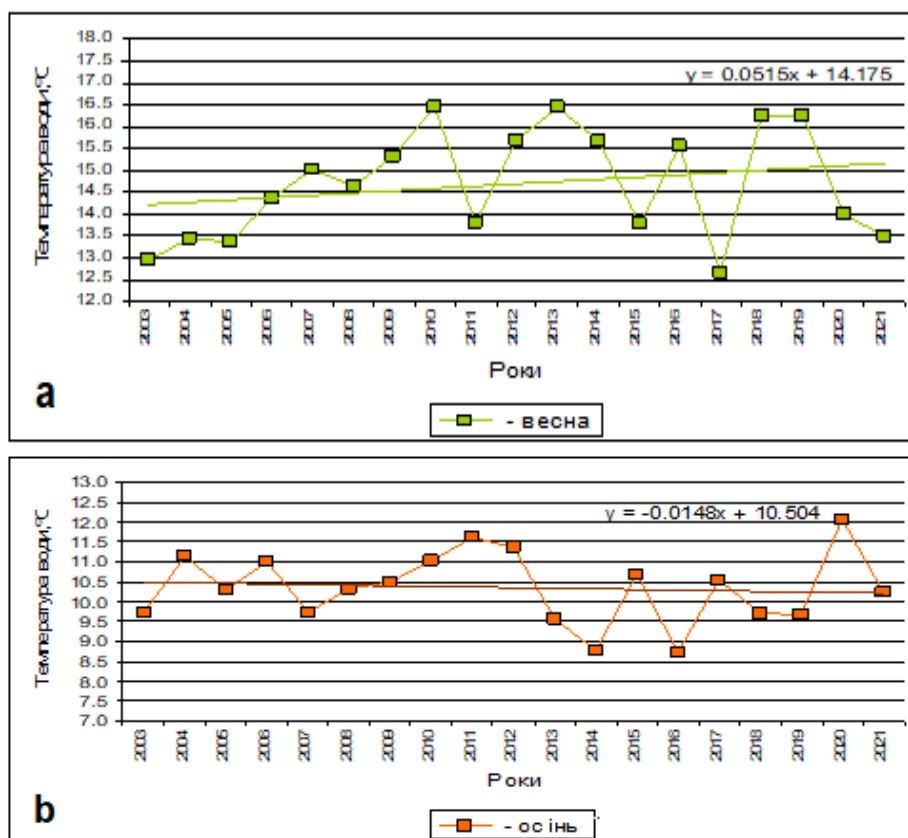
Виконані оцінки мінливості температури поверхневого шару води в районі відкритого шельфу водного масиву CW1 та в районі Одеської затоки водного масиву CW6 можливо визначити наступне (таблиця 3.3):

- температура води біля острова «Зміїний» вища, ніж у порту «Одеса», на 2-3°C;
- температура води в обох районах підвищилася як у холодний та у теплий сезони, так і за рік у цілому;
- величина підвищення температури в обох районах у холодну частину року на 13-16% більше, ніж у теплу;
- біля острова «Зміїний» величина підвищення температури в холодну частину року така ж як і для року в цілому, а в теплу на 15% менше;
- у порту Одеси: температура води в обидва сезони підвищується значно сильніше, ніж за рік загалом, майже на 90% більше у холодний та на 65% у теплий.

Таблиця 3.3 – Характеристики лінійного тренду, що апроксимує кліматичні зміни ТПШ води за 2003-2021 рр. на акваторіях біля острова «Зміїний» та в порту «Одеса»

Район	Острів «Зміїний»			Порт «Одеса»		
Характеристика	Температура по тренду 2003-2021			Температура по тренду 2003-2021		
Частини року:	початок	кінець	Δ	початок	кінець	Δ
Весь (січень-грудень)	14.0	15.3	1.3	11.9	12.8	0.9
Холодна (січень-березень)	5.2	6.5	1.3	2.1	3.8	1.7
Тепла (липень-вересень)	23.3	24.4	1.1	20.5	22.0	1.5

Виконані оцінки мінливості середньої температури морської води у весняний (квітень-червень) та в осінній (жовтень-грудень) сезони в районі порту «Одеса» 2003-2021 рр. вказують, що середня температура води весняного сезону підвищилася на 0,9°C, а середня температура води осіннього сезону навпаки знизилася на 0,3°C (рис. 3.5).



Примітка: –а)квітень-червень;б)жовтень-грудень

Рисунок 3.5 – Мінливість середніх сезонних ТПШ води весняного та осіннього сезону 2003 – 2021 рр. в порту «Одеса».

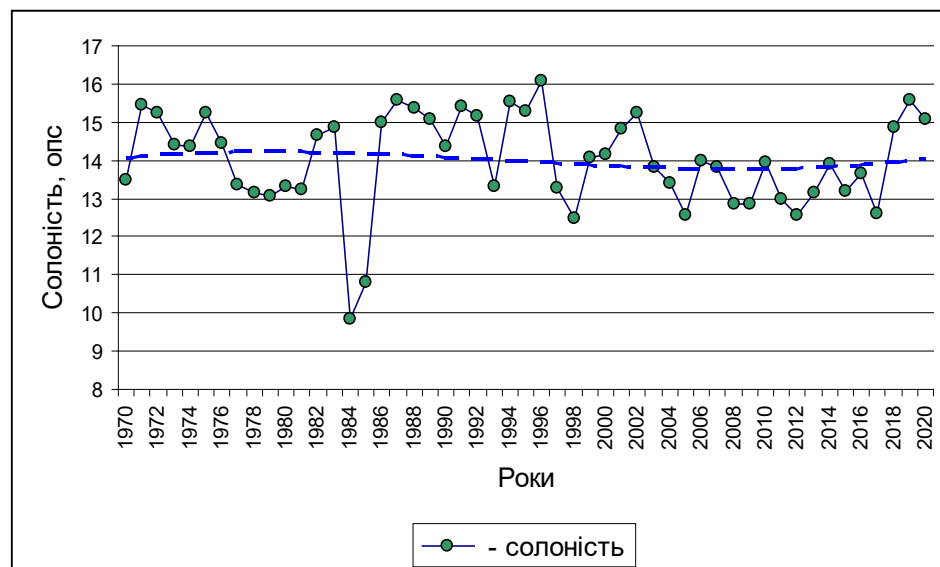
Оцінки тренду температури приземного повітря, що виконані за даними 2001-2021 років обсерваторії ГМЦ ЧАМ, розташованої в 6 км від ГМС «Одеса-Порт», показали присутність додатного тренду як за показниками середньої річної температури, так і середньої температури приземного повітря всіх чотирьох сезонів року (таблиця 3.4). Найбільше підвищення температури повітря на 2,3°C в цей період відмічається в холодний період року.

Таблиця 3.4 – Характеристики лінійного тренду, що апроксимує кліматичні зміни температури повітря за 2001-2021 роки. за даними обсерваторії ГМЦ ЧАМ

Температура:	Рік	Зима	Весна	Літо	Осінь
початку тренду	11	-0,3	10,2	22,2	11,9
кінця тренду	12,3	2	10,8	23,5	13
Зміні за 19 років	1,3	2,3	0,6	1,3	1,1

3.2 Солоність морської води

Коливання солоності прибережних вод акваторії порту «Одеса» за останні 50 років, на відміну від розглянутих вище параметрів, не виявляють чітко вираженої тенденції змін(рис.3.6). Середні річні значення солоності води змінюються в діапазоні від 10 до 16 опс і в середньому за багаторічний період складають біля 14 опс. Середня річна солоність води в 2021 р. дорівнює 15,03опс і займає 13-те місце в ряду найбільш високих середніх річних значень солоності морської води за даними спостережень ГМС «Одеса–Порт » (таблиця 3.5). Середня річна солоність 2020 р. значно вище і займає друге місце в ряду найбільш високих середніх річних значень солоності морської водив Одеській затоки і відзначається багатьма яскравими аномаліями солоності води.



Примітка: – пунктирна лінія визначає апроксимацію мінливості середніх річних значень солоності води поліномом третього ступеня.

Рисунок 3.6 – Середні річні значення солоності прибережних вод Одеси з 1971 року за даними ГМС «Одеса-Порт».

Таблиця 3.5 – Характеристики мінливості солоності морської води (опс) біля узбережжя Одеси у 2021 р. на тлі кліматичних змін у ХХІ столітті

Норми, роки	МІСЯЦІ												Середня Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
I (1981-2010)	14,5	14,0	13,3	12,6	12,4	13,7	14,7	15,0	15,1	14,6	14,2	14,1	14,02
II (1991-2020)	14,3	13,8	13,5	12,7	12,8	13,6	14,5	14,8	15,1	14,6	13,8	14,2	13,98
Різниця:	-0,2	-0,2	0,2	0,1	0,4	-0,1	-0,2	-0,2	0,0	0,0	-0,4	0,1	-0,04
2021	16,3	16,0	15,4	15,4	14,1	13,6	14,0	15,6	15,9	15,4	14,4	15,1	15,10
1997	16,9	18,4	18,5	17,4	16,5	15,9	16,1	15,0	15,7	15,6	12,9	14,1	16,08
$\Delta(2021-1997)$	-0,6	-2,4	-3,1	-2,0	-2,4	-2,3	-2,1	0,6	0,2	-0,2	1,5	1,0	-0,98

Норми солоності води за різні тридцятирічні роки значно не відрізняються і складають в цілому 14,0 опс. Головна загальна особливість двох періодів середніх місячних норм – це добре виражений мінімум солоності у квітні та травні, який, швидше за все, відображає факт впливу на район Одеської затоки вод весняної повені з Дніпро-Бузького лиману. Середні місячні норми солоності води в указані періоди в значній мірі відрізняються до 0,4 опс в травні і листопаді.

Максимальна середня річна солоність вод за даними ГМС «Одеса-Порт» досягала 16,08 опс в 1997 році. За середньою річною солоністю води 15,10опс, 2021р.поступається максимуму середньої річної солоності 1997 р. біля 1,0опс.

Середня місячна солоність води за даними спостережень ГМС «Одеса-Порт» в 2021 році в значній мірі перевищувала багаторічну норму середньої місячної солоності води практично в усі місяці зокрема червня, та липня. Максимальне додатне відхилення 2,70 опс середньої місячної солоності води від норми відмічене в квітні. Значні відхилення середньої місячної солоності води 1,30-2,20 опс від норми спостерігались в першій половині 2021 року з січня по травень (рис.3.7)

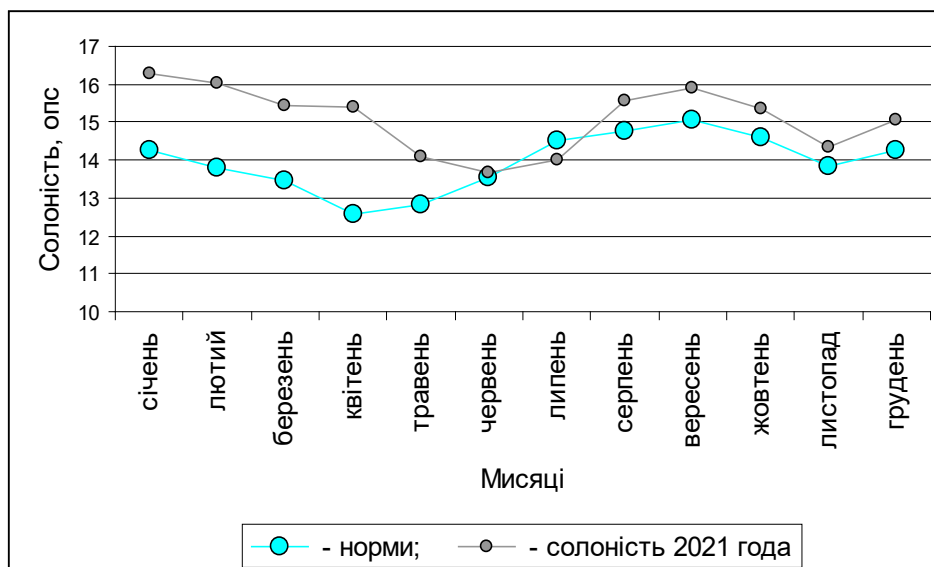
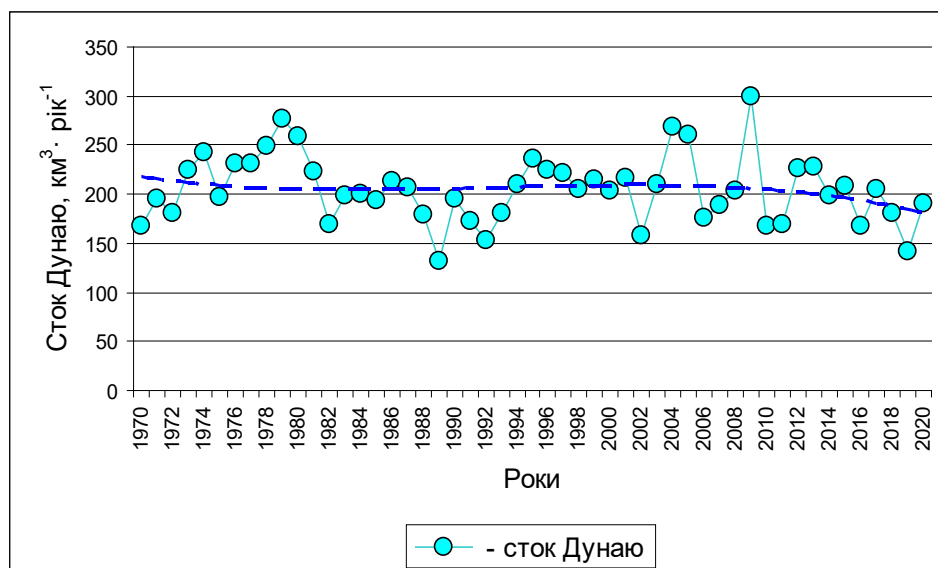


Рисунок 3.7 –Багаторічні середні місячні норми солоності морської води в Одесі та середні місячні значення солоності води за даними спостережень ГМС «Одеса-Порт» 2021 року.

4 ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНЛИВОСТІ СТОКУ ДУНАЮ У 2021 РОЦІ НА ТЛІ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У ХХІ СТОЛІТТІ

Багаторічна практика гідробіологічних досліджень ПнЗЧ ЧМ показала, що життя в морі тісно пов'язане з гідрологічними умовами, а ті, своєю чергою, сильно залежать від річкового стоку і, насамперед, від стоку Дунаю[2,3]. Моніторинг стоку Дунаю можлива найважливіша частина екологічного моніторингу ПнЗЧ ЧМ. За останнє десятиліття відмічається деяке зниження стоку Дунаю відносно попередніх років (рис. 4.1). У 2019, 2020 та 2021 роках стік вод Дунаю був меншим за визначені його норми сумарного річного стоку. В 2021 р. сума річного стоку Дунаю складала $190,9 \text{ км}^3$ і була меншою на $12,27 \text{ км}^3$ відносно визначеної норми за даними 1991-2020рр. (таблиця 4.1).



Примітка: – пунктирна лінія визначає апроксимацію мінливості річного стоку вод Дунаю поліномом третього ступеня.

Рисунок 4.1 – Мінливість річного стоку вод Дунаю з 1971 року.

Таблиця 4.1 – Характеристики мінливості місячного та річного стоку Дунаю (км³) у 2021 р. на тлі кліматичних змін у XXI столітті

Норми, роки	МІСЯЦІ												Середня
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
I (1981-2010)	17,4	15,2	19,8	24,8	23,9	19,8	17,0	13,8	12,0	12,9	13,2	16,1	205,78
II (1991-2020)	17,0	15,9	20,5	23,2	22,6	19,4	16,4	13,5	11,8	12,9	13,8	16,1	203,18
Різниця:	-0,4	0,7	0,7	-1,5	-1,3	-0,4	-0,7	-0,2	-0,2	0,0	0,6	0,0	-2,60
2021	19,0	23,5	21,1	18,3	19,0	21,2	13,9	12,7	10,2	9,2	9,2	13,6	190,9
Δ(2021-норма II)	2,0	7,6	0,6	-4,9	-3,6	1,8	-2,4	-0,8	-1,6	-3,8	-4,5	-2,5	-12,27

Річна норма стоку 203,2 км³, що набула чинності з 2021 р. поступається попередній 205,8 км³.

У 2020 р. річний обсяг стоку вод Дунаю досягав мінімальних значень 146,5 км³і за мінімальними значеннями стоку вод Дунаю поступався тільки 1990 р. з річною сумою стоку вод 132,3 км³.

В період 2021р. підвищені значення стоку вод Дунаю відносно норми відмічались на початку року в січні – березні та в червні з максимальним додатнім відхиленням 7,6 км³в лютому. У всі інші місяці цього року спостерігались відхилення від норми стоку від'ємні з максимумом -4,9 км³в квітні (рис. 4.2).

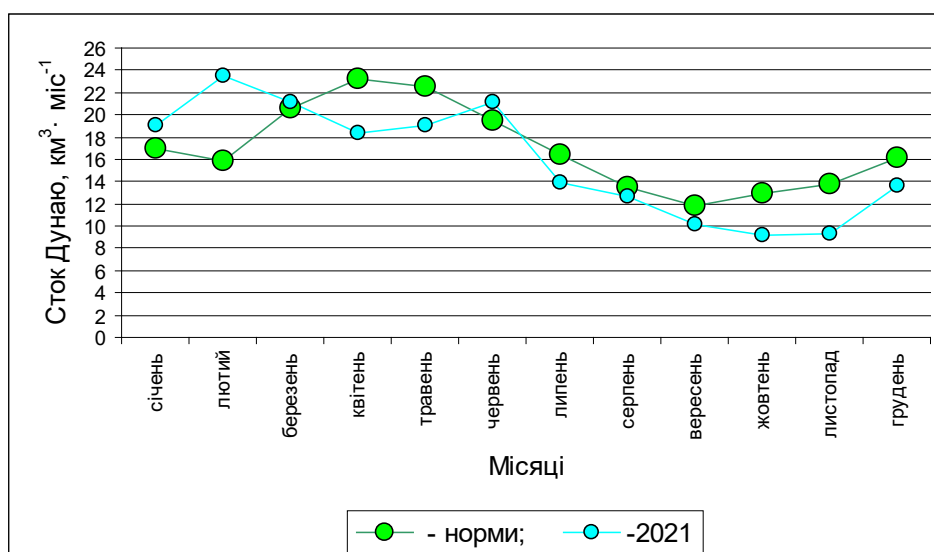


Рисунок 4.2–Мінливість місячної суми стоку вод Дунаю у 2021 році та місячної норми стоку за 1991-2020 рр.

Місячні норми стоку Дунаю демонструють закономірний і плавний річний хід з весняною повінню в березні-травні та осінньою, вересень-жовтень, меженню. Стік 2021 погано вписується в цю схему. В основні місяці повені, квітень і травень, навпаки відзначався спад стоку, а обсяги стоку, що нагадують повінь, були в лютому та червні. Загальний обсяг стоку був не набагато, на 6%, нижче за норму.

Таким чином річний стік 2021 року відрізняється раннім і не яскраво вираженою повінню у лютому і березні та нормальною меженню в осінні місяці.

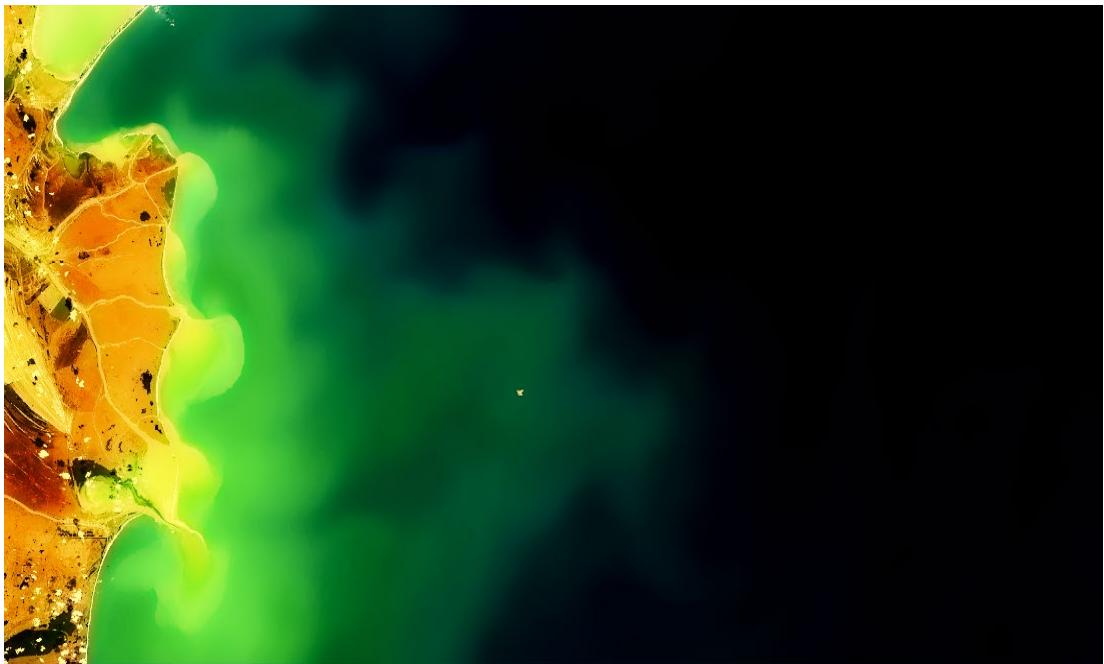


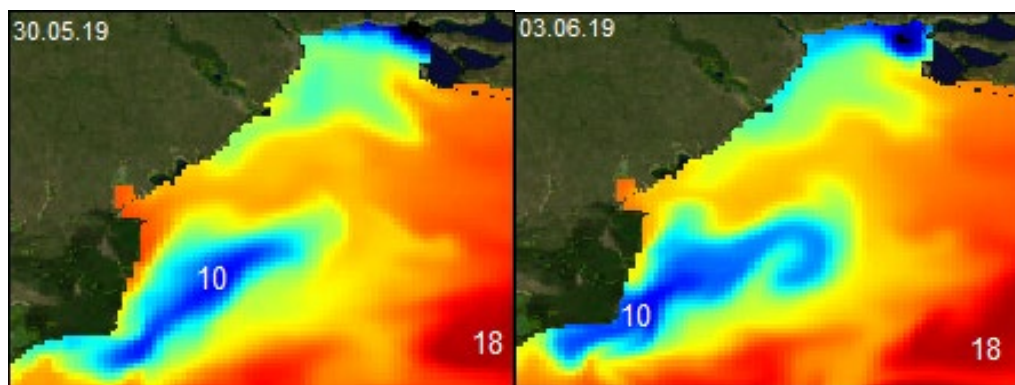
Рисунок 4.3– Знімок дельти Дунаю за 03.03.2021 року, який зроблено зі супутника Sentinel-2 програми «Copernicus».

5 ПОШИРЕННЯ ШЕЛЬФОВИХ ВОД В ПНЗЧ ЧМ У 2019- 2021 РОКАХ

Знання механізмів просторового поширення ШВ та їх трансформації є основоположним щодо екологічного стану великого і мілководного північно-західного шельфу. Якщо розглядати вплив цих вод на екологічний стан регіону, то слід зазначити, що в області їх поширення розвивається ряд найбільш несприятливих процесів, таких як евтрофікація вод поверхневого шару, дефіцит кисню та місцеве сірководневе зараження глибинних шарів шельфу та інші.

Одним із найбільш несприятливих факторів є гіпоксія глибинних вод шельфу, та загибель донних біоценозів. Початок її сезонного розвитку відзначається, як правило, у червні в умовах інтенсивного фотосинтезу фітопланктону та «цвітіння» морських вод, з подальшим розвитком дефіциту кисню в термокліні і в придонних шарах під сезонним термокліном за рахунок біохімічного окислення накопиченого фітопланктону в умовах слабого вертикального обміну вод і відповідно кисню. З заглибленням термокліну в літні та осінні місяці гіпоксія та аноксія в більшій частині спостерігається у придонному шарі на глибинах 30-50 метрів.

Площі поширення ШВ дають просторову оцінку підвищеної трофності шельфових вод та областей розвитку можливих процесів евтрофікації прибережних і шельфових водних масивів (рис. 5.1 та 5.2).



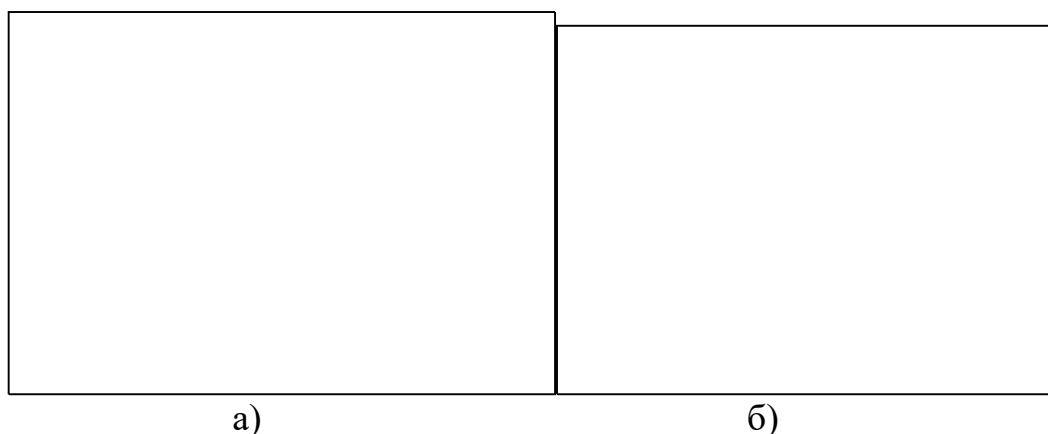
а) б)

Примітка: – цифрами позначено вміст солоності (опс) у поверхневому шарі моря.

– а) 30 травня 2019 р.;

– б) 03 червня 2019 р.

Рисунок 5.1 – Поширення дунайської паводкової хвилі за даними (СММСК)

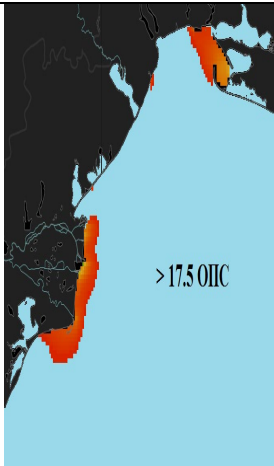
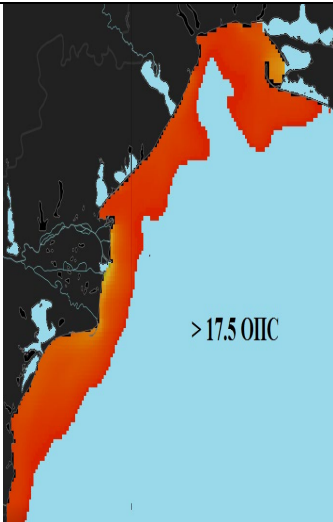
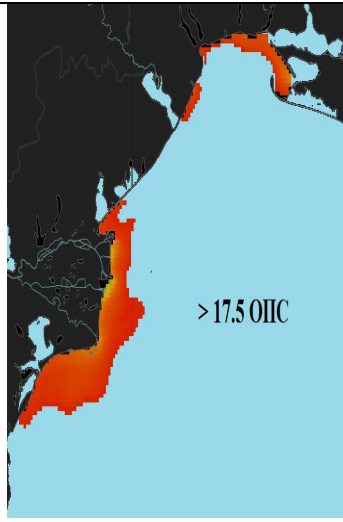


Примітка: – буро-зелений і бірюзовий кольори води виділяють різні види фіто та зоопланктону;
 – а) 04 червня 2020 р.;
 – б) 26 червня 2020 р.

Рисунок 5.2 – Знімки «AERONET» поверхні ПнЗЧ ЧМ .

За знімками «AERONET» виділяється поширення вод з району Дунаю до Тендрівської коси, а також в напрямку відкритого моря та в зону дії – Севастопольського вихорю (СВ). Каламутні потоки, що виходять з дунайських гирл, 04 червня були спрямовані на північ, а 26 червня під впливом зміни напрямку приводного вітру, змінили напрямок на південь.

Середньомісячна межа поширення ШВ в поверхневому шарі 2019-2021 років визначалася за даними системи морського моніторингу Copernicus по розташуванню ізогаліни 17,5 опс. Її конфігурація в основному визначається процесами перемішування морських вод із трансформованими водами Дунаю, Дніпро-Бузького та Дністровського лиманів, а також напрямком та інтенсивністю поверхневих течій, які у свою чергу залежать від швидкості напрямку та часу дії приводного вітру. Загальний режим вітру в аналізовані роки був ідентичним, середньорічна швидкість вітру складала 3,8 м/с, напрямок Пн-ПнС, а середня векторна швидкість вітру була на рівні 0,9 м/с. Стік 2020 року був один з найменш водних 146.5 км³ (див. розділ 4). Протягом року величина стоку мала хвилеподібний характер. У 2019 році паводок припав на кінець травня-початок червня. У 2020 невеликий паводок спостерігався в березні. Внутрішньорічна динаміка поширення ШВ за 2019-2020 має сезонний характер (рис. 5.3).

Місяць/Рік	2019	2020	2021
Січень			
Лютий			
Березень			

Примітка:– червоним кольором виділені води з солоністю менше 17,5 опс.

Рисунок 5.3, аркуш 1 – Середньомісячне поширення ШВ на ПнЗЧ ЧМ у 2019,2020 та 2021 роках.

Місяць/Рік	2019	2020	2021
Квітень			
Травень			
Червень			

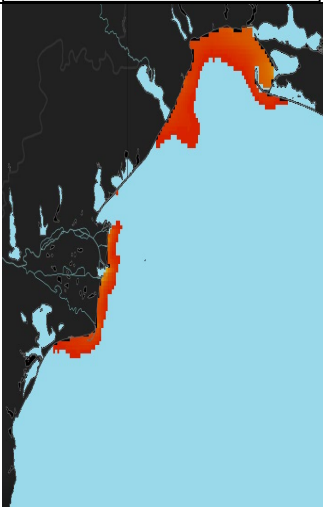
Примітка: – червоним кольором виділені води з солоністю менше 17,5 опс.

Рисунок 5.3, аркуш 2

Місяць/Рік	2019	2020	2021
Липень			
Серпень			
Вересень			

Примітка:– червоним кольором виділені води з солоністю менше 17,5 опс.

Рисунок 5.3, аркуш 3

Місяць/Рік	2019	2020	2021
Жовтень			
Листопад			
Грудень			

Примітка: – червоним кольором виділені води з солоністю менше 17,5 опс.

Рисунок 5.3, аркуш 4

У лютому ШВ займають два райони приурочених до виходу Дунайських, Дніпро-Бузьких вод, а також помітна невелика ділянка в районі Сухого лиману, до квітня ця ситуація зберігається зазначимо, у квітні ШВ сформовані під впливом вод

Дніпро-Бузького лиману в прибережній смузі розповсюдження на ПдЗ і досягають району міжріччя.

У травні формується у водах ПнЗЧ ЧМ формується стійкий сезонний термоклін, що значно ускладнює вертикальне перемішування вод і відносно легкі поверхневі ШВ, розтікаючись по ньому, займають велику площу. Відбувається злиття «дунайських» та «дніпровських» ШВ.

Максимальну площу ШВ займали у літній період. Починаючи з листопада їхня площа помітно зменшилася, але залишалася в рамках єдиного поля.

Надалі центральну прибережну частину зайняли морські води. ШВ розташувалися на ділянках узмор'я Дунаю та виходу вод Дніпро-Бузького лиману.

6 АПВЕЛІНГИ ПНЗЧ ЧМ У 2019-2021 РОКАХ

Прибережні апвелінги надають неоднозначний вплив на екологічну структуру морської води прилеглих акваторій. Підйом нижчих вод супроводжується виносом біогенних речовин, що сприяє розвитку фіто і зоопланктону формування рибних пасовищ. У той же час, ці ж процеси збільшують евтрофікацію вод, а тривале і інтенсивне зниження температури води призводить до обмеження нересту теплолюбних видів риб.

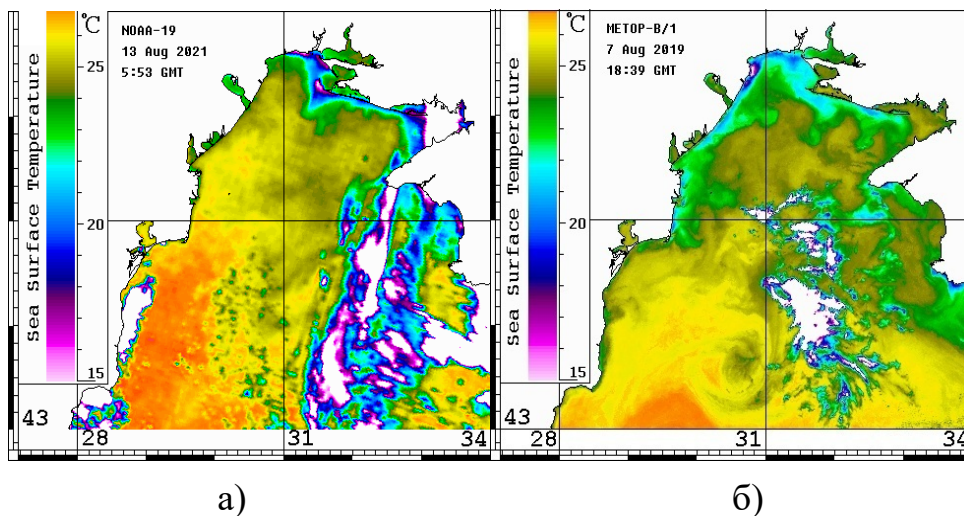
Вихід на поверхню в прибережних районах вод підвищеної густини і їх подальша адвекція викликає в приповерхневих шарах значну горизонтальну неоднорідність густини і генерує інтенсивні течії вздовж берега. Апвелінги можуть кардинально змінити уздовж берегову циркуляцію вод. У 2017 року активні процеси прибережного апвелінгу, викликані аномально тривалими за часом (понад місяць) вітрами північно-західного напрямку, привели до зміни річної циклональної циркуляції на антициклональну уздовж всього західного узбережжя ПнЗШ[4].

З точки зору рекреаційного потенціалу морських курортів апвелінги скоріше за все відносяться до складу негативних факторів, тобто виражене охолодження прибережних вод знижує їх привабливість для відпочиваючих. Більшість апвелінгів ПнЗЧ ЧМ виникають в прибережній смузі моря під дією вітрів згінних напрямків. Влітку вони добре ідентифікуються в полі температури поверхневого шару води по плямах холодної глибинної води, що піднялася до поверхні. Як правило, спочатку вони проявляються в прибережній зоні, а потім, розширюються від берега в бік відкритого моря, як фронтально, так і в формі вузьких струменів (філаментів) [5]. Довжина окремих струменів може перевищувати 50 км.

Велике значення у формуванні апвелінгів має топографія морського дна. У ПнЗЧ ЧМ ухил дна відносно невеликий. Десяти метрова ізобата в основному знаходиться на відстані від 1,5 км до 2 км від берега. При таких умовах мілководдя вплив сили Коріоліса незначний: глибина менше екманівського шару. Тому апвелінги ПнЗЧ ЧМ в основному виникають при згінних вітрах спрямованих по

квазіномальної траєкторії до берега. На при глибинних прибережних ділянках, де ізобата 20 м розташована близько до берега апвелінги можуть виникати за змішаним механізмом, близькому до екмановської моделі. Прикладом можуть бути апвелінги які виникають в районі м.Малий Фонтан та на дунайському узмор'ї при південних (уздовж берега) вітрах.

Реєстрація апвелінгів виконувалась візуально за картами розподілу поверхневої температури, отриманої зі супутників NOAA в літній період, коли ці зони проявляються найбільш чітко. До уваги бралися випадки під час падіння температури води на 5 °C і більше, та в цілому було оброблено понад 1000 зображень. Сильні апвелінги в 2021 році спостерігались 21 серпня в районі Тендрівської коси і північного узбережжя ПнЗЧЧМ в водних масивах CW7-CW10 та в 2019 році 7 серпня в районі мису Малого Фонтану водного масиву CW5 і масиву CW6 в Одеської затоки (рис. 6.1).



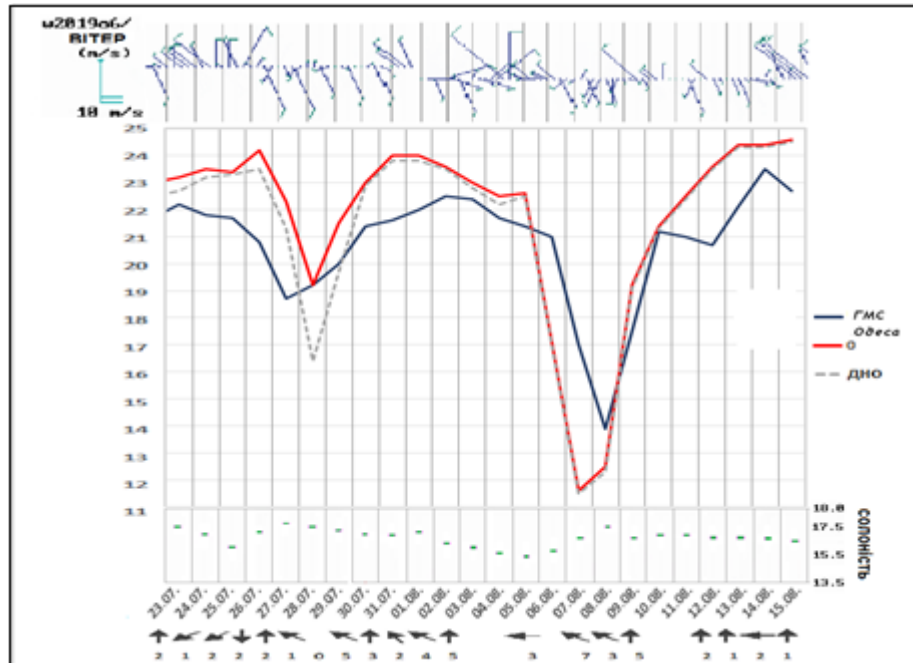
Примітка:— а) 21 серпня 2021 р.;— б) 07 серпня 2019 р.

Рисунок 6.1 –Супутникове зображення температури поверхні води ПнЗЧ ЧМ

Апвелінг 21 серпня 2021 р. був викликаний вітрами ПнПнС напрямку зі швидкістю до 9 м/с. Апвелінг 07 серпня 2019 р. обумовлювався вітрами південного напрямку.

У липні-серпні 2019 року у період проведення щоденних спостережень за основними океанографічними параметрами морської води в районі мису Малий Фонтан було зареєстровано два випадки апвелінгу з 27 по 31 липня та з 02 по 12

серпня (рис. 6.2). Спостереження виконувались на відстані приблизно 20 метрів від берега в кінці хвилелому в поверхневому та придонному шарах при глибині моря в місті відбору проб 2,5 м.



Примітка: – в верхній частині рисунка наведені швидкість та напрямок вітру за даними строкових спостережень ГМС «Одеса-Порт», а в нижній частині рисунка надані результати вимірювань швидкості вітру ручним анемометром під час відбору проб в районі мису Малий Фонтан.

Рисунок 6.2 – Мінливість характеристик вітру, температури та солоності морської води під час апвелінгів в червні-липні 2019 року.

В цілому показники вітру в пунктах порт «Одеса» та в зоні мису Малий Фонтан збігаються в достатній мірі, а апвелінги, не зважаючи на різницю в орієнтації берегової смуги, виявляються в цих районах при однакових південних вітрах. В районі мису Малий Фонтан південні вітри відповідають уздовж береговій орієнтації, тобто апвелінги тут формуються за екманівським типом.

Найбільш різке падіння температури води було відзначено з 06 по 07 серпня, коли температура поверхневого шару знизилася на 9,4 °С з 22,6 до 13,0 °С, а біля дна 08 серпня знизилася на 11 °С з 22,5 до 11,5 °С за рахунок підйому вод з більш глибоких шарів, що знаходяться під сезонним термокліном, і винесення їх до

берегу. Відзначимо також природне підвищення солоності в період виходу на поверхню більш солоних глибинних вод. В період апвелінгу змінюються також в деякій мірі і гідрохімічні показники поверхневих вод (рис. 6.3).

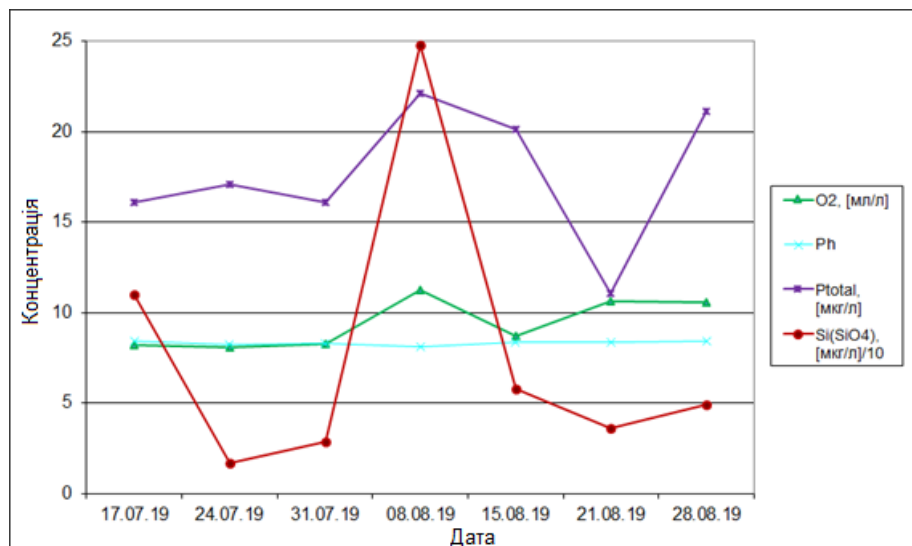


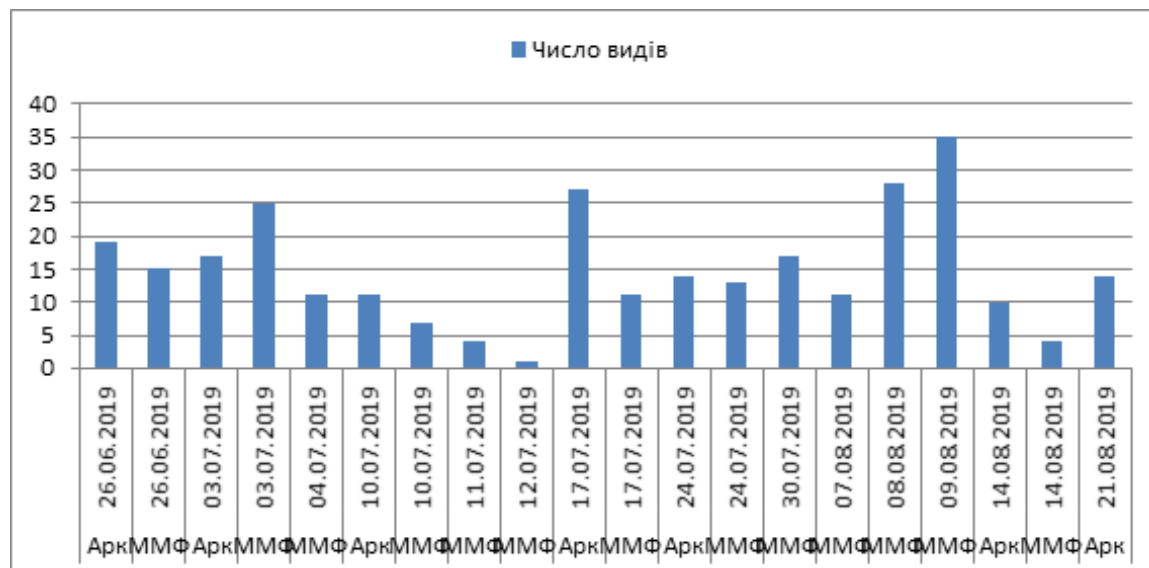
Рисунок 6.3 – Мінливість значень гідрохімічних параметрів поверхневого шару морської води у районі мису Малий Фонтан під час апвелінгу у липні-серпні 2019 р.

У період апвелінгу спостерігалось підвищення фосфору загального, кремнію, та не характерне підвищення кисню, що можливо обумовлювалось інтенсифікацією процесів фотосинтезу.

Так само відбулися зміни й у гідробіологічній структурі прибережних вод. Напередодні (04.07-12.07), число видів фітопланктону у відібраних пробах становило від 1 до 11. В результаті найбільш потужного апвелінгу, у пробах морської води відзначалася максимальна кількість видів мікроводоростей морської генези. У цей період (08.08-09.08) у пробах відзначали найбільше біорізноманіття за весь теплий період року – від 28 до 35 видів фітопланктону (рис. 6.4).

Серед найчастіших представників морського комплексу видів були *Prorocentrum cordata*, *P. micans*, *Tryblionella compressa*, *Mesoporus perforates*, *Katodinium fungiforme*, *Protoperidinium knipowichii*, *Diplopsales lenticula*, *Leptocylindrus minima*, *L. danicus*, *Dinophysis acuminata*, *Goniaulax minima*, *Gyrodinium fusiforme*, *Linguladinium poliedrum*, *Ceratium tripos*, *Tripos furca*,

Probosciasaalata, *Plagioselmisprolonga*. Частина видів приурочена виключно до відкритих вод північного заходу Чорного моря і рідко, або вкрай рідко відзначається у прибережжі.



Примітка: – ММФ-мис Малий Фонтан; – Арк-пляж «Аркадія».

Рисунок 6.4 – Число видів фітопланктону у прибережних морських водах біля мису Малого Фонтану та пляжу «Аркадія» у період з 26.06.19 р. по 21.08.2019 р.

Загалом кількість діб із сильними апвелінгами за останні два роки зменшилася порівняно з 2019 роком (табл.6.1, рис.6.5). Високі показники кількості апвелінгів у 2019 році спостерігались в серпні і складали 24 доби при загальній їх кількості за весь рік 32 доби. Причому в основному вони спостерігалися при південно-східних вітрах у прибережних районах Одеського регіону водних масивів CW4-CW6.

Таблиця 6.1 – Кількість діб з апвелінгом у прибережних водах ПнЗЧ ЧМ у літній період 2019, 2020 та 2021 року

Рік	2019	2020	2021
Кількість діб	32	12	16

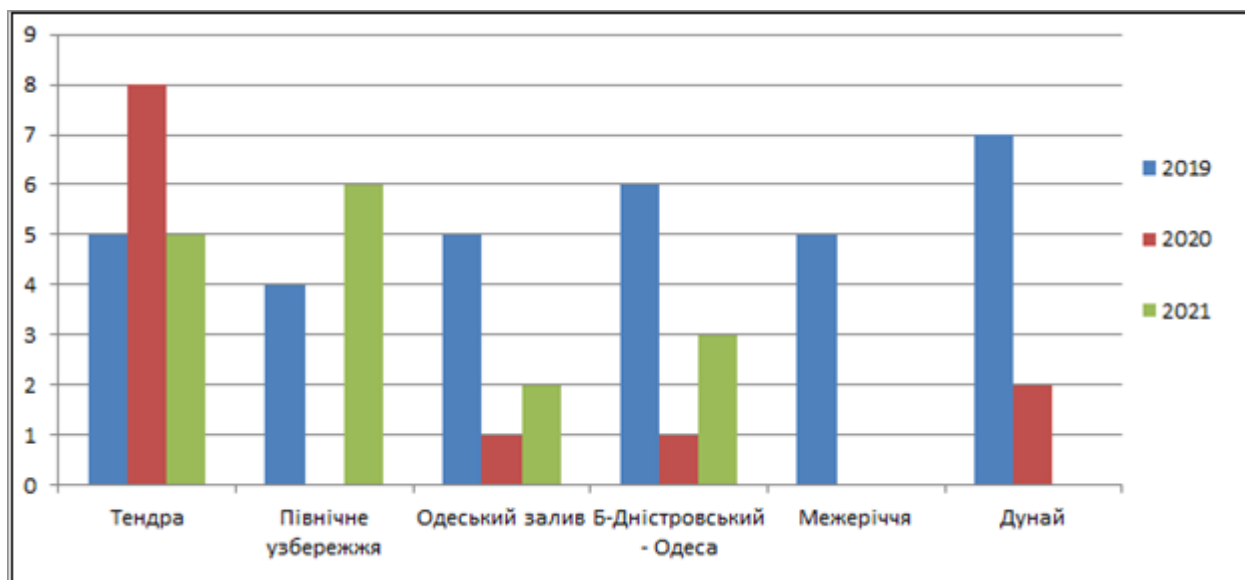


Рисунок 6.5–Кількість апвелінгів у прибережних районах ПнЗЧ ЧМ у період з 2019 по 2021 роки.

Найбільша кількість апвелінгів з перепадом температур 5°C і більше, спостерігається в районі Тендрівської коси, вздовж північного узбережжя ПнЗЧЧМ їх кількість зменшується досить рівномірно і найменша кількість спостерігалася в районі межеріччя. За останні три роки найбільша кількість значних апвелінгів у ПнЗЧ ЧМ спостерігалася в районі Тендрівської коси. В Одеській затоці найпотужніший апвелінг 2021 року спостерігався з 28 червня до 02 липня, коли температура поверхні води знизилася на $8,8^{\circ}\text{C}$ з $22,6^{\circ}\text{C}$ до $13,8^{\circ}\text{C}$.

7 ТЕНДЕНЦІЇ МІНЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВОДИ РАЙОНІВ ЧОРНОГО ТА АЗОВСЬКОГО МОРІВ

За геоморфологічними ознаками Чорне море розділяють на східну, західну і північно-західну (шельфову) частину. Північно-західна частина Чорного моря перебуває під впливом стоку трьох великих річок Дунаю, Дніпра і Дністра, стік яких складає біля 260 км³ і значно впливає на формування поверхневих водних мас та формування біохімічного режиму вод як морського шельфу, так і моря в цілому.

У зоні контакту прісної і солоної води формуються фронтальні зони з високими градієнтами солоності та значною зміною за іншими показниками морського середовища; однак, виділяються також і зони з відносно рівномірними характеристиками. Такі відносно рівномірні зони об'єднані в морські водні масиви різної типології для 1) прибережних вод, 2) ділянок морського шельфу та 3) ділянок відкритого моря (рис. 7.1).

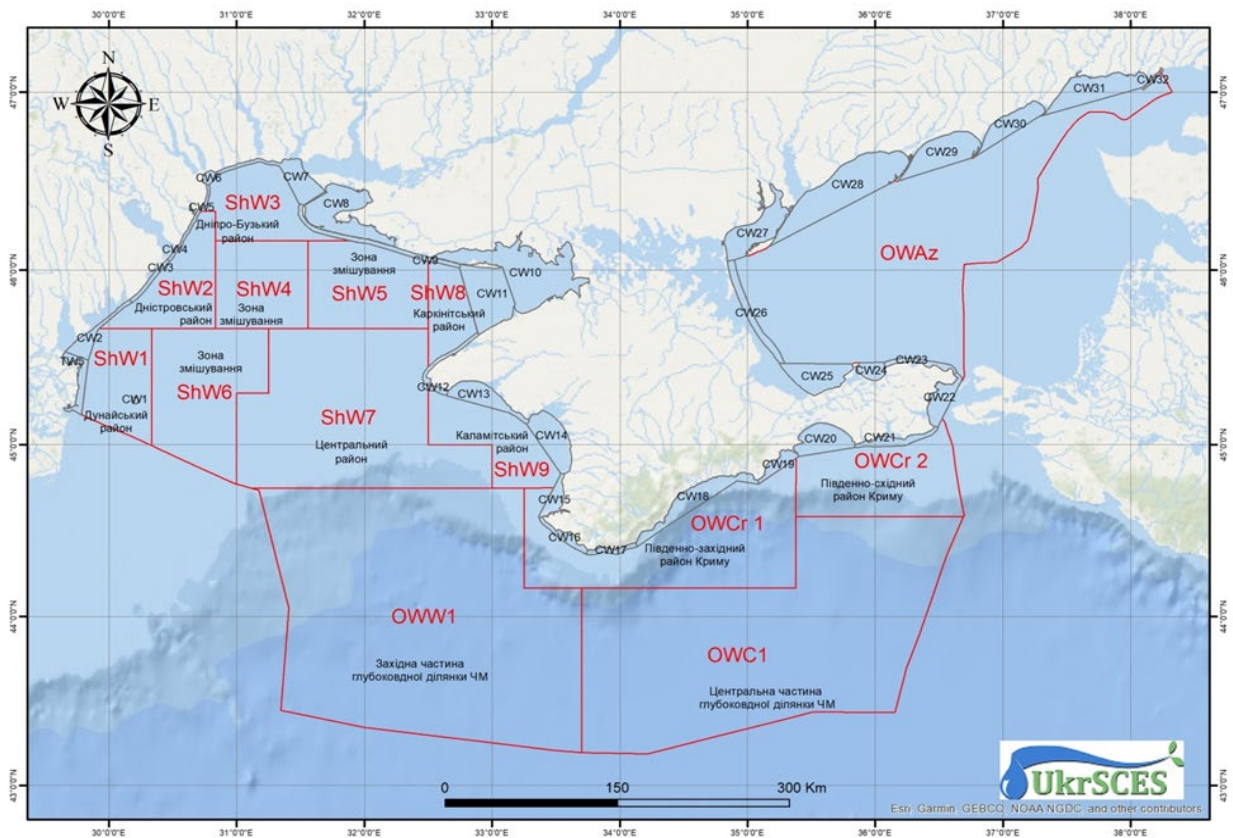


Рисунок 7.1 – Районування Чорного та Азовського морів.

Сучасні супутникові інструменти дають можливість визначати основні параметри океану та атмосфери над ним у різних часових та просторових масштабах.

Супутникові вимірювання дозволяють здійснювати довготривалі квазінеперервні спостереження, що охоплюють весь Світовий океан.

В даний час на орбіті Землі працюють чотири великі супутникові системи, що здійснюють моніторинг океанічної та земної поверхні, а також атмосфери. Це супутники, запущені NASA (Terra, Aqua, Aura) та європейським космічним агентством ESA (ENVISAT).

Супутники Terra і Aqua оснащені спектро-радіометром MODIS, що дозволяє вимірювати 36 спектральних смуг в діапазоні від 0,405 до 14,385 мкм і отримувати дані з трьома просторовими розділеннями, із здатністю - 250 м, 500 м та 1 000 м. Ширина смуги огляду становить 2330 км. Орбіта Terra навколо Землі побудована таким чином, що супутник проходить із півночі на південь через екватор вранці, а Aqua проходить із півдня на північ через екватор у другій половині дня. Terra MODIS та Aqua MODIS охоплюють всю поверхню Землі кожні один-два дні.

Для аналізу мінливості температурного режиму поверхневого шару води у виділених районах Чорного та Азовського морів використовувалася інформаційна база, побудована на даних вимірів супутників Terra та Aqua. Виходячи з супутникової інформації, що надається на сайті OceanColour, було проведено наступне: вибірка з масиву для всієї Земної кулі, регіону Чорного та Азовського морів, перетворення формату даних у зручний для користування та подальшого аналізу, вибірка просторового та часового розподілу, що дозволяє аналізувати просторово-часову мінливість температури поверхні води, як акваторій Чорного та Азовського морів, так і виділених районів.

Значення температури води визначалося як середнє всіх точок супутникових спостережень, які попали у координати виділеного району. Аналіз мінливості температурного режиму виконувався на підставі середніх місячних значень температури за період 2003 - 2020 рр.

Верифікація даних

Для верифікації даних супутникових спостережень використовувалися вимірювання температури води ГМС «острів Зміїний», ГМС «Одеса-Порт», ГМС «Хорли» та гідрометеорологічного буя.

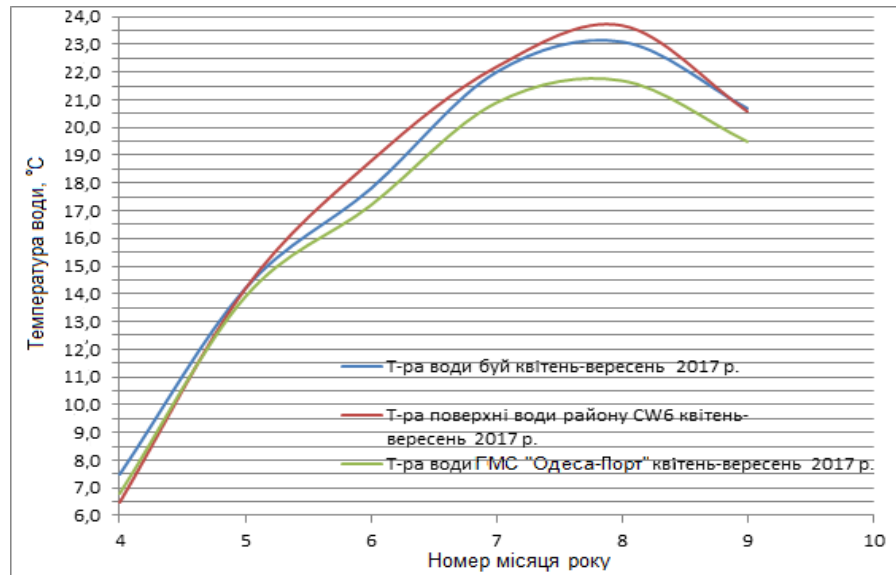


Рисунок 7.2 – Порівняння часового ходу температури поверхні води ГМС «Одеса-Порт», гідрометеорологічного буя та даних супутника.

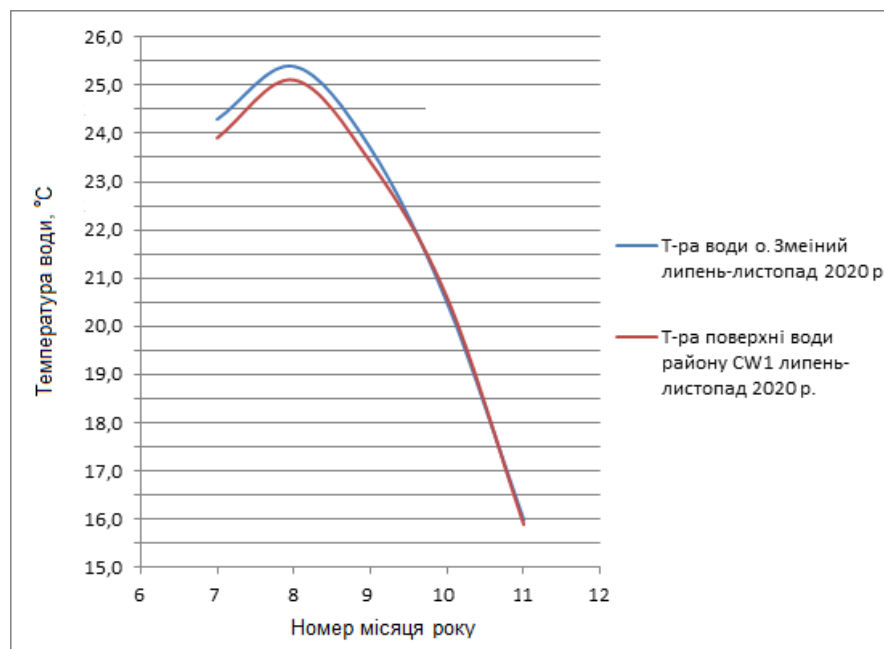


Рисунок 7.3 – Порівняння часового ходу температури поверхні води ГМС «острів Зміїний» та даних супутника.

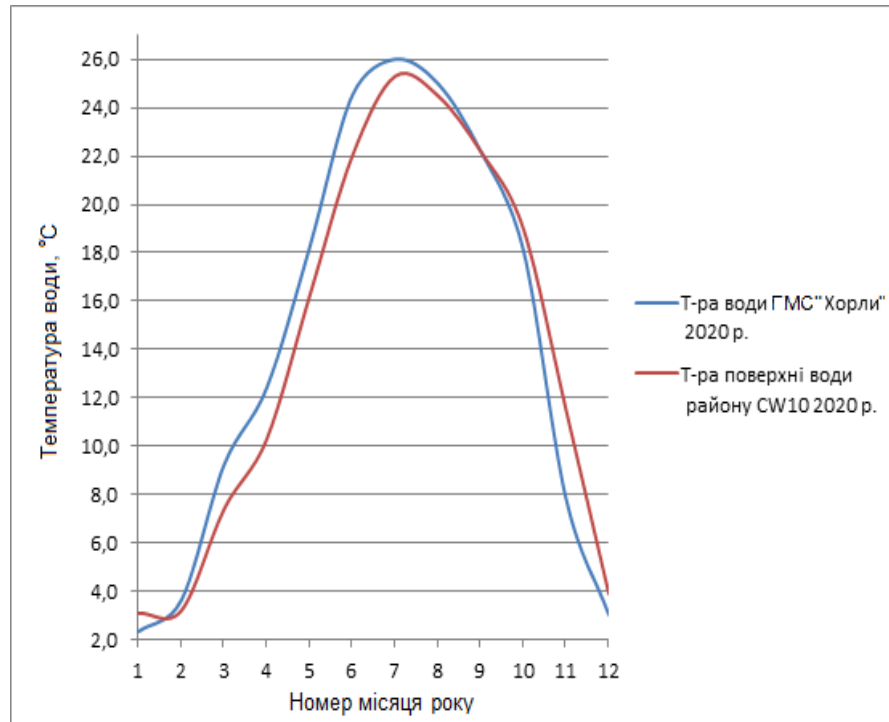


Рисунок 7.4 – Порівняння часового ходу температури поверхні води ГМС «Хорли» та даних супутника

Результати порівняння даних температури води, отримані інструментальним шляхом на станціях із супутниковими, дають відхилення, що не перевищують 0,5 °C. Слід зазначити, що мінімальні відхилення супутникових даних відзначені в порівнянні зі станцією відкритого моря о.Зміїний та за даними гідрометеорологічного бую, розташованого за милю від берега (з різницею температур від 0,0 °C до 0,2°C). Максимальні відхилення супутникових значень температури води спостерігаються в порівнянні з даними ГМС «Хорли», яка розташована на ПнС Каркінітської затоки, але в часовій мінливості супутникові дані температури води повністю зберігають всі основні особливості. Різницю в даних вимірювань можливо пояснити тим, що на станції температура води вимірюється *in-situ* поблизу берега, а супутник надає інформацію, середню по площі.

7.1 Середньорічна мінливість температури поверхні води районів Чорного та Азовського морів за період 2003 – 2020 рр.

Виконаний аналіз за даними супутникових спостережень тенденції змін середньої річної температури поверхневого шару води по районах всіх виділених водних масивів вказує на те, що середньорічна температура поверхневого шару води Чорного та Азовського морів у період 2003 – 2020 рр. підвищилася (табл.7.1).

Таблиця 7.1 –Тенденції середньої річної температури поверхні води по районах за період 2003 – 2020 рр.

Район	CW1	CW2	CW3	CW4	CW5	CW6	CW7	CW8	CW9
Температура, °C	1,5	1,6	1,8	1,5	1,7	1,4	1,3	1,3	1,4
Район	CW10	CW11	CW12	CW13	CW14	CW15	CW16	CW17	CW18
Температура, °C	1,3	1,5	1,3	1,3	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1
Район	CW19	CW20	CW21	CW21	CW23	CW24	CW25	CW26	CW27
Температура, °C	1,3	1,4	1,0	1,2	0,9	0,8	0,9	1,0	1,1
Район	CW28	CW29	CW30	CW31	CW32	TW5			
Температура, °C	1,3	1,0	1,0	0,8	0,5	1,5			
Район	ShW1	ShW2	ShW3	ShW4	ShW5	ShW6	ShW7	ShW8	ShW9
Температура, °C	1,6	1,5	1,5	1,4	1,5	1,4	1,2	1,5	1,3
Район	OWW1	OWC1	OWCr1	OWCr2	OWAz				
Температура, °C	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2				

Максимальне підвищення середньої річної температури води на 1,4 °C і до 1,8 °C характерне для прибережних районів північно-західної частини Чорного моря (максимальне підвищення на 1,8 °C спостерігалось в районі водного масиву CW3). Мінімальні підвищення середньої річної температури води на 0,8 – 0,9 °C відзначені в прибережжі Азовського моря в водних масивах CW23, CW24, CW25. В зони транзитних вод TW5 ПнЗЧ ЧМпідвищеннястановило1,5°C. В шельфових районах підвищення середньої річної температури води характеризувалось значеннями 1,2–1,6°C. В районах відкритого моря середня річна температура поверхневого шару

відносно 2003 р. зросла на 1,2–1,5°C (рис.7.5).

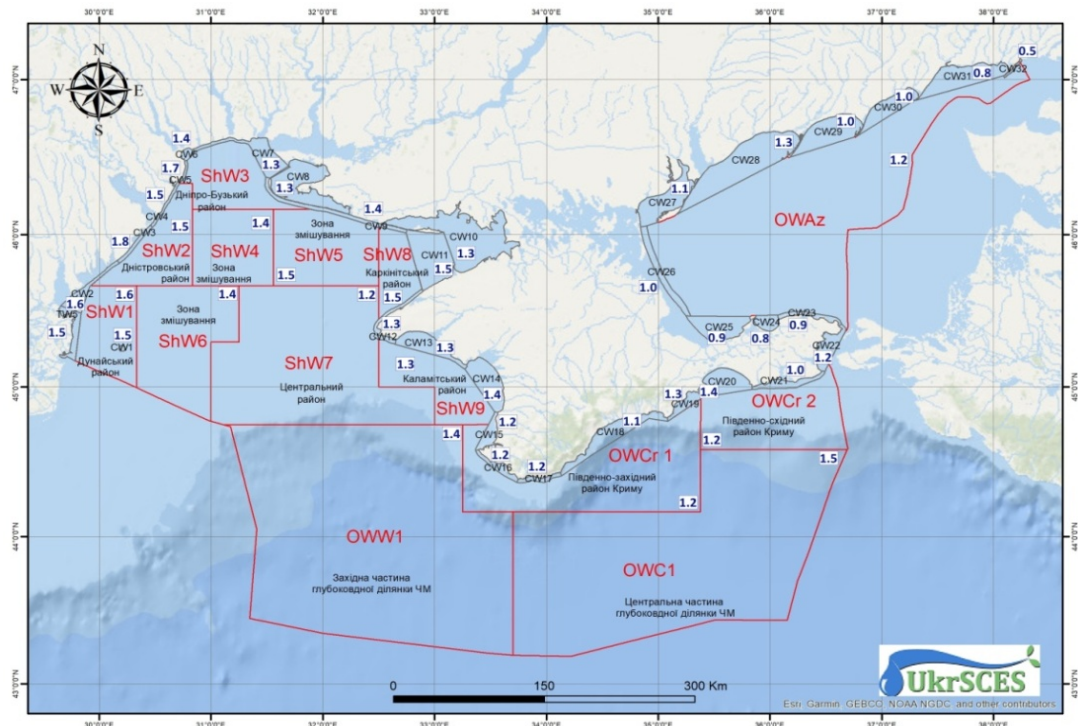


Рисунок 7.5 – Підвищення середньої річної температури поверхневого шару води за період 2003–2020 рр. у виділених водних масивах Чорного та Азовського морів.

Таким чином підвищення середньої річної температури води поверхневого шару в середньому становило: – в прибережних районах ПнЗЧМ 1,5°C; – в районах шельфу ПнЗЧМ 1,4°C; – в районах відкритого Чорного моря та в Азовському морі 1,3°C; – в районах (водних масивів WCr1, WCr2) прилеглих до півострову Крим 1,2°C.

Тобто, слід зазначити превалювання підвищення температури поверхневого шару води в ПнЗЧ Чорного моря над іншими районами. Температура поверхневого шару Чорного та Азовського морів у досліджуваних районах за період з 2003 по 2020 рр. підвищилася в середньому на 1,3°C.

Тенденція зростання температури зберігається.

7.2 Тенденції мінливості середніх місячних значень температури поверхневого шару води водних масивів Чорного та Азовського морів за період 2003 – 2020 рр.

Результати визначених по районах тенденцій середньої місячної температури поверхневого шару води усіх дванадцяти місяців за даними супутникових спостережень показали, що максимальне зростання температури практично у всіх районах припадає на березень, а також і на вересень (табл. 7.2).

Таблиця 7.2 – Тенденції середніх місячних температур поверхні моря по районах за період 2003-2020 рр.

	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
Район/місця	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TW5	0,5	1,8	3,3	2,4	-0,3	3,3	1,1	1,1	2,4	0,2	1,1	0,6
Cw1	1,3	0,9	2,0	2,5	1,5	2,0	1,4	0,1	1,8	0,5	2,4	1,0
CW2	1,3	1,7	3,6	1,6	-0,5	3,0	2,0	1,4	2,5	0,8	2,4	1,0
CW3	-0,2	1,8	3,2	2,0	3,2	2,8	2,2	2,6	3,0	0,8	1,3	0,0
CW4	0,2	1,6	3,0	2,6	-0,2	3,2	1,5	0,8	3,5	1,0	1,0	-0,5
CW5	2,0	1,5	3,3	2,3	-0,5	2,9	2,1	1,0	3,0	1,0	2,5	0,0
CW6	0,9	1,9	2,6	1,4	0,0	3,0	1,1	1,6	2,3	0,6	1,9	0,8
CW7	0,5	1,4	3,0	2,5	1,0	1,3	0,5	0,4	2,7	0,0	2,8	-1,4
CW8	-0,1	1,8	3,5	2,2	0,5	1,7	1,4	0,5	2,3	-1,1	3,6	-0,5
CW9	0,5	2,0	2,6	1,7	0,8	2,6	0,9	0,4	2,5	0,5	2,3	0,0
CW10	0,7	1,5	3,5	2,4	2,3	2,0	1,3	0,1	1,4	-0,8	2,5	-1,6
CW11	1,2	1,8	2,9	2,5	2,5	0,7	0,6	0,4	2,0	0,5	2,0	-1,4
CW12	0,0	1,2	2,3	2,2	3,0	1,5	1,0	0,3	2,5	0,5	1,7	0,0
CW13	1,1	1,8	2,2	1,4	1,4	2,5	1,6	0,5	2,3	0,0	1,5	-0,5
CW14	0,8	2,0	2,2	1,6	2,5	1,5	1,0	0,5	1,7	0,1	1,3	1,0
CW15	0,6	1,7	1,7	1,8	1,8	2,0	1,7	0,4	1,8	-0,1	1,0	0,2
CW16	0,8	1,7	2,0	1,5	1,4	2,7	1,3	0,5	2,0	-0,4	0,8	0,4
CW17	0,5	1,3	2,0	1,4	1,2	1,5	1,8	0,3	1,2	-0,4	0,6	1,1
CW18	0,9	1,3	2,5	1,4	1,4	2,0	2,2	0,1	1,8	0,1	1,0	-0,4
CW19	0,8	1,5	2,4	1,4	0,2	2,0	1,5	0,4	2,5	0,0	1,0	0,5
CW20	1,1	2,2	2,1	2,4	0,8	1,7	1,4	0,5	2,8	-0,5	1,3	0,6
CW21	0,7	0,8	1,7	1,6	1,4	3,0	1,6	0,3	3,0	-0,9	0,0	-0,2
CW22	1,5	2,5	3,0	1,5	1,0	2,0	2,5	0,4	2,1	-1,0	-0,5	0,0
CW23	0,0	0,9	2,9	2,0	1,7	1,8	2,0	0,5	2,5	-1,5	0,8	-1,8
CW24	0,0	0,0	1,6	2,4	1,6	1,0	1,9	1,4	1,4	-1,4	1,6	-1,3
CW25	0,5	-0,1	1,6	2,3	1,3	1,5	1,9	0,5	1,5	-1,1	1,5	-0,5
CW26	0,9	-0,1	2,5	2,8	0,4	1,6	2,0	0,6	1,9	-0,6	1,5	-1,1
CW27	-0,1	0,3	3,0	2,3	1,4	2,0	1,9	0,5	1,8	-0,7	1,7	-1,0
CW28	0,3	1,1	3,9	2,2	2,0	2,4	2,3	0,7	0,8	-1,2	1,7	-1,0
CW29	0,8	0,9	3,0	2,5	2,2	2,2	1,9	0,8	0,4	-2,1	1,9	-1,9
CW30	0,7	0,4	2,7	2,4	2,1	2,5	1,9	0,6	0,0	-0,6	2,3	-1,9
CW31	-0,2	0,0	2,9	1,5	1,0	2,4	1,6	0,5	0,2	-1,5	1,1	-1,0
CW32	-0,8	0,0	2,6	1,3	1,1	1,9	1,8	0,3	0,1	-1,7	1,5	-2,3
Shw1	0,9	1,0	2,2	2,5	1,4	2,2	1,5	0,3	1,8	0,5	2,2	1,3
Shw2	0,8	1,3	2,6	2,0	0,0	2,8	2,0	0,7	2,8	0,8	2,3	0,6
Shw3	1,0	1,3	3,0	1,8	0,5	2,4	1,7	0,9	3,0	1,1	2,5	0,5
Shw4	0,9	1,4	2,3	2,5	1,4	1,9	1,7	1,0	2,2	0,5	2,3	-0,8
Shw5	1,2	1,0	2,1	2,2	1,0	1,7	1,1	0,4	2,3	0,3	3,2	0,8
Shw6	1,3	1,4	1,6	1,6	1,0	2,4	0,7	0,0	1,6	0,4	3,1	1,0
Shw7	1,0	1,5	1,7	1,8	1,0	2,5	0,9	0,5	1,0	0,4	2,0	0,5
Shw8	0,3	1,4	2,5	2,8	2,9	2,1	1,3	0,9	2,3	1,0	2,0	-1,2
Shw9	0,8	1,5	1,9	1,6	2,0	2,1	1,7	0,4	1,7	0,0	0,9	0,7
OWAz	0,8	1,5	2,9	2,3	2,1	1,9	2,2	0,4	1,3	-1,2	0,9	-0,5
OWC1	1,1	1,6	1,5	1,7	2,0	2,3	1,8	0,5	1,2	-0,5	1,4	1,0
OWC1	1,1	0,9	1,8	1,7	1,3	2,0	1,9	0,0	1,2	0,5	1,1	0,0
OWC2	1,0	1,4	1,5	1,6	1,6	2,5	1,6	2,0	2,0	-0,6	1,2	1,0
OWW1	0,6	1,0	1,5	1,5	1,4	2,4	1,7	0,8	2,0	0,1	1,7	0,5

Примітка: – червоним кольором виділені високі значення додатної тенденції ТПШ.

В районах Азовського моря, в шельфових зонах та в районах відкритого Чорного моря значне зростання середньої місячної ТПШ води також відзначається і у червні. Ще відмічається і підвищене зростання середньої місячної температури поверхневого шару води також і в листопаді.

Від’ємні та мінімальні додатні тенденції за 2003-2020 рр. в мінливості середніх місячних температур поверхневого шару води відзначаються у жовтні.

Виходячи з отриманих результатів, маємо, що за період вимірювань з 2003 по 2020 рр. поверхневий шар води максимально прогрівається в березні, червні, вересні та листопаді. У жовтні спостерігається від’ємна тенденція, тобто відбувається вихолодження поверхневого шару води. Також варто відзначити додатну

тенденцію зростання температури у всіх районах Чорного та Азовського морів, незалежно від місяця спостережень, за винятком жовтня, а в Азовському морі і за винятком грудня в районах CW21-CW32. У розподілі дисперсії температури поверхневого шару води у всіх районах Чорного та Азовського морів виділяються два максимуми – у березні та жовтні.

В районах TW5, CW1 – CW7 великі значення підвищення температури поверхневого шару води в березні можуть бути обумовлені паводковим стоком прісних та тепліших вод з Дніпро-Бузького лиману, Дністровського лиману та Дунаю. Підвищення температури поверхневих вод для деяких інших районів обумовлені їх географічними особливостями: район CW8 – це район зі слабким циркуляційним обміном вод, відділений від моря Тендрівською косою, CW10 – CW11 розташовані в Каркінітській затоці, CW22 – CW23 відносяться до Керченської протоки, а CW27 – CW32 вдовж узбережжя Азовського моря, обмежені косами, тобто з невеликим водообміном з центральною частиною моря.

Для цих районів також характерно підвищення температури води у вересні та листопаді.

7.3 Інформаційна база даних температури поверхні води Чорного та Азовського морів за період 2003 – 2020 рр.

При формуванні бази даних була проведена вибірка інформації, що до температури поверхневого шару води (SST) для басейнів Чорного та Азовського морів, з масиву даних для всього Світового океану Просторова роздільна здатність 4x4 км, часова роздільна здатність відповідає середньомісячному та сезонному розподілу температури.

Окремо розраховувалися середньомісячні денні та середньомісячні нічні данні температури поверхневого шару моря. Часовий ряд вимірів відповідає 2003 – 2020 рр. Для зручності розрахунків та економії файлового простору дані температури води були перебудовані з формату .ncu формат .dat.

Загальна кількість квадратів 4x4 км басейнів Чорного та Азовського морів, по яких проводилися розрахунки становила понад 31 000.

Структура бази даних:

Рік – денна середня температура поверхні води по місяцях (січень – грудень);

Рік – нічна середня температура поверхні води по місяцях(січень – грудень);

Рік – сезонна середня температура поверхні води (чотири сезони).

Інформація надається у вигляді:

33.937504 47.270832 20.654999

33.979176 47.270832 20.654999

38.979176 47.270832 26.500000

.....

де, перше значення – довгота, друге значення – широта, третє – температура поверхні води в °С. Також представлені рисунки температури поверхневого шару води у форматі .png.

Інформація міститься у файлі «База супутникових даних температури поверхні води Чорного моря за 2003 – 2020 рр.»розміром 836 Мб.

При формуванні бази даних по районах була проведена вибірка інформації щодо температури поверхневого шару води згідно з заданими координатами, що

описують межі акваторій. Значення температури води визначалося як середнє для всіх точок супутникових. вимірювань, що потрапили у межі координат виділеного району, часова роздільна здатність відповідає середньомісячним значення температури за період 2003 - 2020 рр. Результати розрахунків представлені у вигляді таблиць кожного району в форматі таблиці Excel:

CW1 / рік	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	сер. річна т-ра
2003	3,6	4,7	4,7	6,2	15,0	21,2	23,0	24,8	19,7	17,3	10,8	8,0	13,2
2004	5,8	4,6	5,5	7,9	14,2	19,7	22,2	23,8	21,1	18,1	13,7	8,3	13,7
2005	6,3	4,6	5,4	8,5	15,8	20,3	24,2	26,0	23,2	19,3	12,8	9,3	14,6
2006	6,2	3,2	5,4	10,5	14,3	21,3	23,3	25,5	20,8	18,2	11,7	8,4	14,1
2007	7,3	5,8	6,3	10,1	16,2	23,2	23,8	25,8	21,2	18,3	11,7	8,8	14,9
2008	6,0	4,5	6,7	10,6	15,9	20,7	24,2	25,6	23,2	16,8	12,6	10,1	14,7
2009	6,4	5,3	5,8	10,8	16,4	21,4	24,8	24,6	21,6	18,2	12,8	9,5	14,8
2010	6,6	5,5	6,3	5,8	10,6	16,5	21,6	25,3	27,7	20,8	16,1	9,1	14,3
2011	6,6	5,9	5,2	7,3	14,7	20,4	23,9	23,8	22,4	18,6	11,5	9,0	14,1
2012	6,8	3,4	4,7	9,9	17,9	22,8	26,2	25,0	21,7	19,9	13,7	8,5	15,0
2013	5,5	5,1	6,2	10,3	18,2	22,8	23,7	25,2	20,6	14,4	13,1	8,1	14,4
2014	6,7	5,3	7,7	11,3	17,6	20,4	24,1	25,8	22,7	18,7	12,8	8,6	15,2
2015	6,6	5,8	6,0	8,4	16,0	21,3	23,9	25,0	23,3	17,4	14,9	9,8	14,9
2016	6,7	5,2	6,3	11,2	15,9	22,3	25,2	25,3	23,1	19,2	11,7	7,9	15,0
2017	5,1	3,3	6,9	8,6	15,4	22,0	23,4	25,0	22,7	16,6	12,8	8,5	14,2
2018	7,5	5,0	5,5	13,9	19,0	21,8	25,3	26,1	23,0	18,3	12,2	9,4	15,6
2019	5,5	5,7	7,7	9,7	15,7	24,7	24,7	24,2	22,3	18,5	16,0	10,9	15,5
2020	8,2	6,3	8,4	9,6	14,2	20,9	23,9	25,1	23,4	20,6	15,9	9,6	15,5
середнє	6,3	4,9	6,2	9,5	15,7	21,3	24,0	25,1	22,4	18,3	13,2	9,0	
сер. відх.	0,7	0,7	0,8	1,5	1,3	1,2	0,8	0,5	1,2	1,0	1,3	0,6	
дісперсія	1,0	0,8	1,1	3,9	3,6	2,9	1,2	0,5	2,9	2,3	2,6	0,7	

з розміром табличної частини бази даних – 2,09 Мб.

Розширена версія бази даних включає, крім таблиць, рисунки внутрішньорічного ходу температури поверхні води по виділених районах Чорного і Азовського морів з розміром графічної частини бази – 4,18 Мб.

Вся інформація розташована во внутрішній інформаційно-аналітичній комп'ютерній мережі УкрНЦЕМ.

8 КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТЕРМОХАЛІННИХ ПОЛІВ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ПЕРІОД 1921-2020 РОКІВ

Розрахунок кліматичних полів Чорного моря проводився для температури та солоності за двома часовими інтервалами. Дані першого інтервалу включали виміри, отримані у період з 1921 по 1990 рік, тобто історичний 70-річний масив даних, що складається з 76747 океанографічних станцій (рис. 8.1) . Дані другого періоду включали вимірювання, отримані в завершальний 30-річний період (на даний момент з 1991 по 2020 рік) і мали в складі 32014 океанографічних станцій (рис.8.2). Це дані суднових спостережень, виконаних переважно з використанням зондувальних комплексів та дані зондів-профілемерів ARGO. В даний час "новий" масив продовжує поповнюватися даними профілемерів ARGO, спостереженнями з суднів ДУ «Держгідрографії» України, даними Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ) та поки що недоступними даними морських організацій Криму, Туреччини, Румунії та Болгарії.

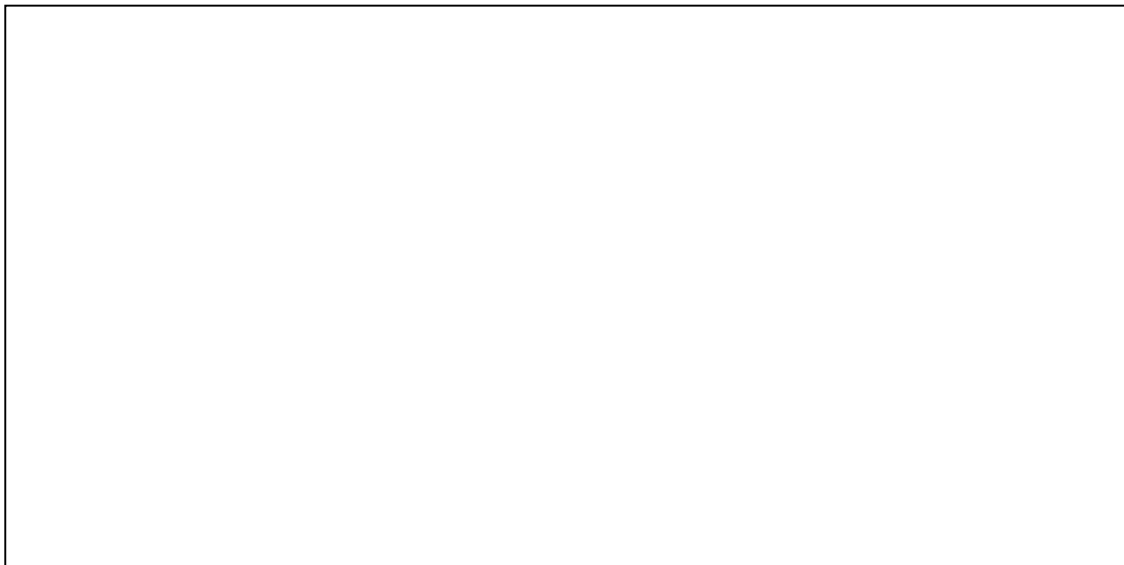


Рисунок 8.1 – Сумарний розподіл океанографічних станцій, отриманих усіма дослідницькими організаціями причорноморських країн у період із 1922 по 1990 рр.

Історичний кліматичний масив 1922 – 1990 рр. має істотно більшу кількість даних в області Північно-західного шельфу (ПЗШ), а в області відкритого моря значною мірою зосереджені на розрізах загальнодержавної системи спостереження і контролю (ЗДССК), що активно працювали в системі гідрометеорологічної служби СРСР з 60-х років минулого століття.

Сучасний масив шельфових даних добре насичений океанографічними станціями прибережних районів придунайського, одеського та кримського регіонів, а у відкритому морі більша частина спостережень зосереджена в зоні Основної чорноморської течії (ОЧТ) і є високоточними даними вільно дрейфуючих буїв - профілемерів АРГО.

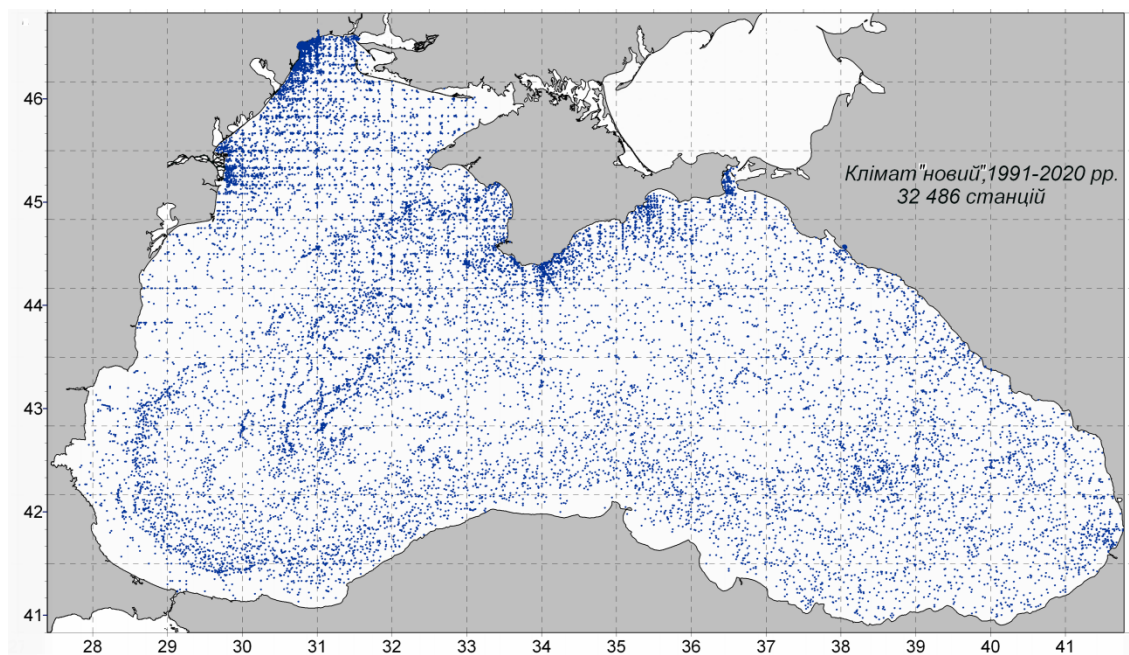


Рисунок 8.2 – Сумарний розподіл океанографічних станцій, отримані морськими організаціями причорноморських країн у період із 1991 по 2020 рр.

Кліматичне поле температури та солоності Чорного моря в період з початку 1990-х по теперішній час є станом початкового, інтенсивного періоду різкого підвищення як регіонального температурного клімату чорноморського регіону (див. рис. 2.4) так і в цілому всієї планети.

Представлені річні оцінки суми температур за даними ГМС «Одеса-Порт» (1894-2021 рр.) для зимового та літнього півріччя являють собою значення, що виходять за рамки мінливості попереднього столітнього періоду інструментальних вимірювань. Оскільки перевищення межі мінливості середньорічних сум температур попереднього періоду спостерігаються в період починаючи з 2000 р. і повторюються в сучасний період, тому отримані оцінки кліматичного стану вод Чорного моря можна вважати першим та попереднім оцінюванням.

Слід зазначити, що значний обсяг шельфових даних у сучасний період був отриманий у 90-х роках минулого століття та в розрахунок клімату за даними 30-річного періоду, наприклад, у 2030 році, ці спостереження вже не потраплять до розрахунків кліматичних характеристик. Але при продовженні роботи буїв АРГО істотно поліпшиться оцінка у відкритому морі.

Як було зазначено, основним джерелом океанографічних станцій, що увійшли до розрахунку сучасного клімату для відкритих глибоководних районів моря, з'явилися дані спостережень буїв АРГО. Вони почали працювати із 2005 року, тобто лише у другій половині «нового» кліматичного періоду. Навпаки, в шельфових районах, в основному використовувалися дані морських експедиційних робіт, виконаних у 90-х роках минулого століття і на початку першого десятиліття нового століття, тобто в першій половині періоду, що аналізується, коли мінливість тепловмісту вод ще перевищувала межу попередніх його змін. Буї АРГО, що реєструють більш високі значення тепломістку вод, не потрапляли до району шельфу через неможливість подолання струменя ОЧТ.У зв'язку з цим суттєвого накопичення шельфових даних ЧМ без суднових експедиційних досліджень не передбачається.

Детальні за глибиною матеріали спостережень останніх десятиліть та застосування алгоритму оптимальної сплайн – інтерполяції до кліматичних даних минулих років, виконаних переважно на стандартних горизонтах, дозволяють зробити оцінки кліматичних змін з десятиметровою вертикальною дискретністю у всьому 500-метровому шарі моря.

Як найбільш узагальнені оцінки змін кліматичного стану термохалінних полів

Чорного моря можна представити наступні: середня річна зміна температури та солоності верхнього 500-метрового шару вод склала $+0.111^{\circ}\text{C}$ і $+0.079\text{‰}$, відповідно, (рис. 8.3).

Найбільш значні додатні зміни термічного стану у лютому простежуються у шарі 0-100 метрів і в середньому зростають на $0.4\text{--}0.6^{\circ}\text{C}$.

На глибинах більш 150 м, підвищення не перевищують $0.02\text{--}0.03^{\circ}\text{C}$. Різниця кліматичних оцінок температури води у шарі 70-500 м у лютому близька до похибки їх розрахунків.

Розподілені за глибиною різниці лютневих кліматичних оцінок солемісту відкритого моря суттєво відрізняється від температурних оцінок. До глибин 50 м вони не перевищують додатного значення 0.1‰ . Глибше, на горизонтах до 350 м існують два локальних максимуми на глибинах 60-90 м з додатнім на горизонті 80 м максимумом 0.22‰ і на глибинах 150-300 м з максимумом 0.185‰ на горизонті 250 м. Значне підвищення лютневої температури в поверхневому 50-метровому шарі пов'язане з кліматичними змінами температурного режиму на межі море-атмосфера, а підвищення солоності в шарі основного галокліну може бути наслідком нерівномірних вертикальних підйомів різних його шарів.

Літні кліматичні характеристики температури води в серпні не виявляють суттєвих змін у глибинних шарах 70-500 м, але зміни суттєво значимі визначаються у при поверхневому шарі. Екстремальне зростання температури спостерігається в шарі 0-10 м і на поверхні досягає $+1.4^{\circ}\text{C}$. Нижче, в шарі 20-40 м спостерігається зменшення температури води і на глибині 20 м вона знизилась на -1.25°C . Літнє зниження температури води однозначно пов'язане з кліматичним підняттям на декілька метрів сезонного термокліну. Причиною цього може бути послаблення в останні десятиліття вітрового режиму в регіоні, на що вказує підвищена повторюваність слабких вітрів ($1\text{--}2\text{ м/с}$) з початку 21-го століття (див. рис. 2.9).

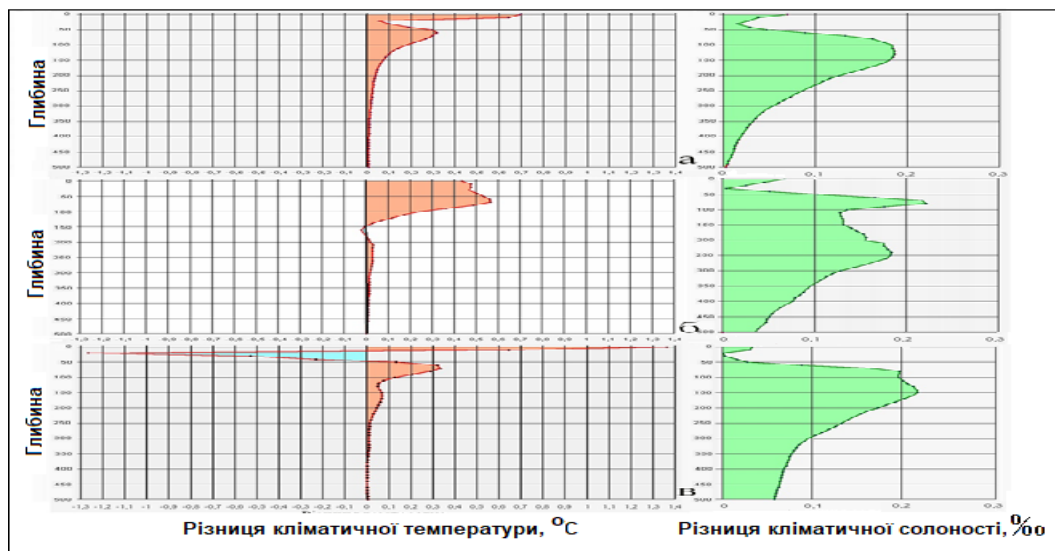
Розподілені за глибиною різниці серпневих кліматичних оцінок солемісту відкритого моря значно простіше. Розподілення кліматичних значень вмісту солоності води в поверхневому шарі 0-50 м подібний до їх розподілення в зимовий період. Два максимуми підвищення кліматичної солоності, що відмічались на

проміжних глибинах, в літній період були об'єднані і їх екстремум розташовується на горизонті 250 м, з підвищенням кліматичної солоності на 0.22‰.

Природно, що середні за всі періоди оцінки різниці кліматичних характеристик по окремих горизонтах включають описані особливості теплого і холодного періодів року в згладженому вигляді.

Ці підвищення температурного стану приводної атмосфери та діяльного шару моря, як вже відмічались, скоріше за все було обумовлено підвищенням к поверхні основного галокліну і сезонного та основного інверсійного термокліну. Причиною подібних рухів може бути ослаблення середнього вітрового режиму та змін прісного стоку вод до акваторії Чорного моря. Області від'ємних значень різниці тепломістку, зазвичай, прив'язані до мілководних шельфових районів моря.

Для порівняльного аналізу показників клімату ЧМ за (1922 – 1990 рр.) та за (1991-2020рр.)були розраховані помісячно різниці значень інтегрального тепломістку вод у шарі 0-500 метрів (або в шарі 0-дно, за меншої глибини місця) для кожної з ~ 40-мильних трапецій. У цілому нині відзначається істотне переважання додатної різниці теплоутримання у всі місяці переважно центральних і південних областей акваторії моря (рис. 8.4).



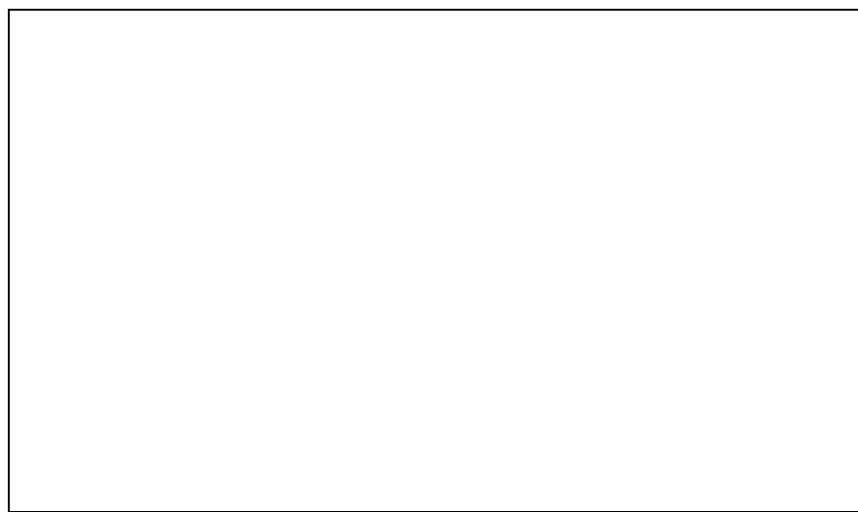
Примітка:

- а)-річні характеристики;
- б)-місячні характеристики лютого;
- в)-місячні характеристики серпня.

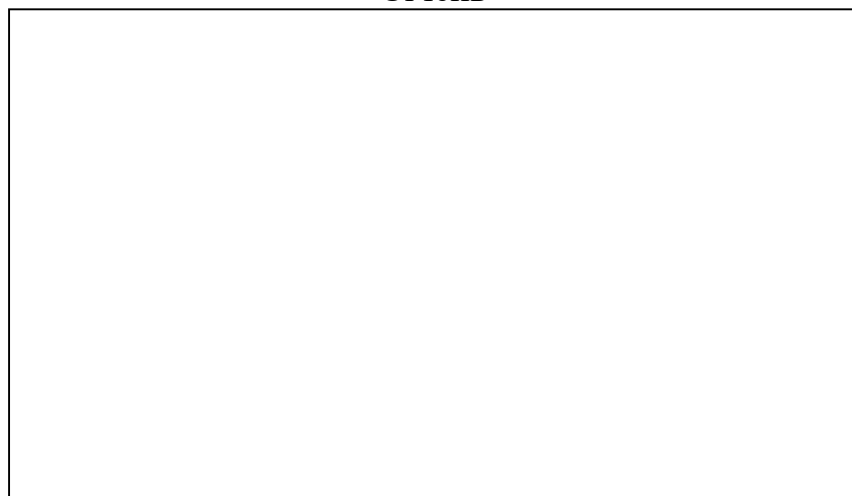
Рисунок 8.3 – Розподіл різниці середньої по акваторії відкритого моря кліматичної температури та кліматичної солоності між (1922 – 1990) та (1991-2020)роками.



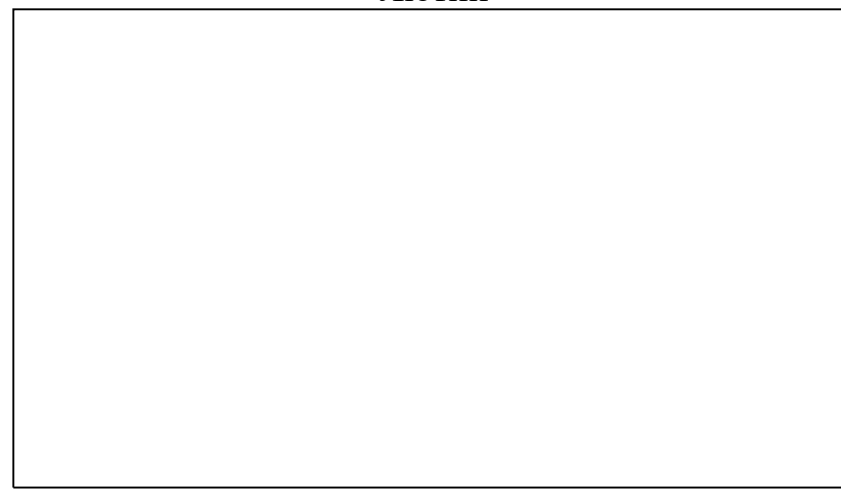
Січень



Лютий



Березень



Квітень

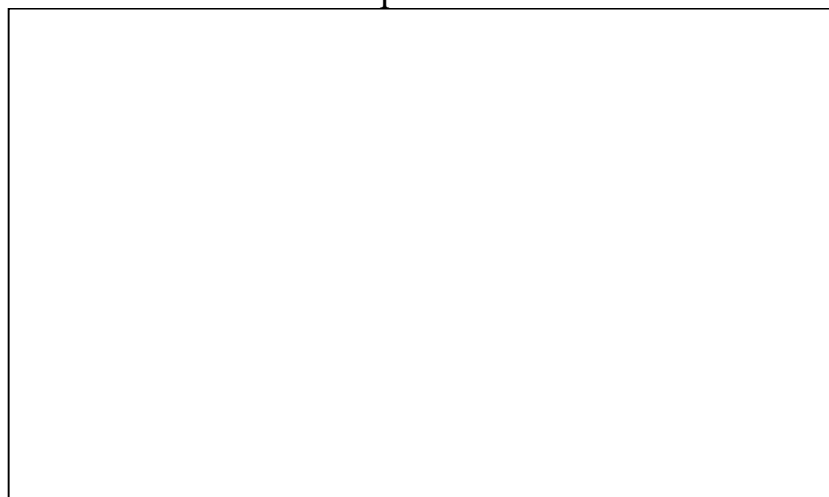
Рисунок 8.4, аркуш 1 – Розподіл щомісячної різниці теплоутримання вод (ГДж) за квадратами 40'x40' між кліматом визначеним за минулі роки (1910-1989) та кліматом визначеним за роки сучасного періоду (1990-2020).



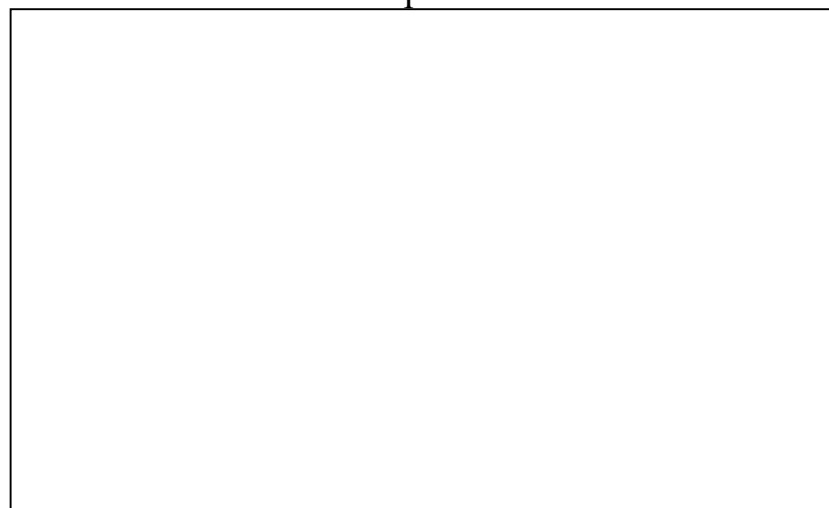
Травень



Червень



Липень

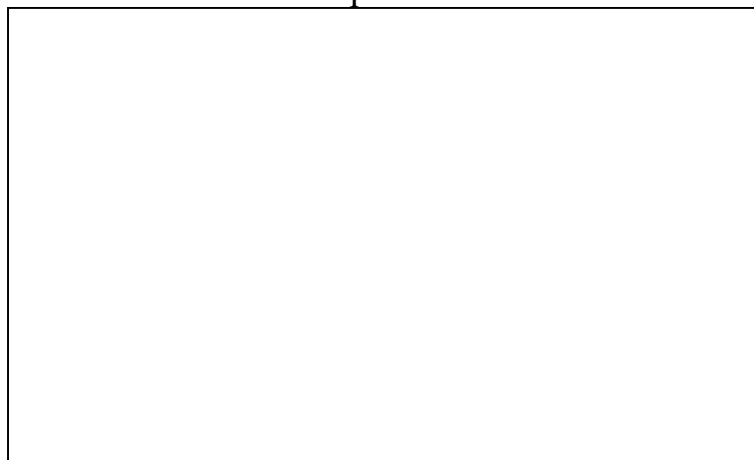


Серпень

Рисунок 8.4, аркуш 2



Вересень



Листопад



Жовтень



Грудень

Деяка мозаїчність представлених рисунків, а також картованих даних сучасного клімату свідчить про ще недостатнє накопичення океанографічних даних для отримання статистично достовірних оцінок навіть для 40-мильних трапецій. Більш надійний клімат очевидно можна буде отримати подалі, коли процеси кліматичних змін, можливо, стабілізуються, а кількість вихідних даних істотно збільшиться. Однак, і на цьому етапі досліджень найбільш складного перехідного періоду є необхідність використання оцінок сучасного температурного і солоного клімату.

Таким чином кліматичні поля температури та солоності вод Чорного моря в період з початку 1990-х років до теперішнього часу характеризують стан початкового, інтенсивного періоду різкого підвищення клімату температури, які в порівнянні з історичними даними дають перші регіональні оцінки кліматичних змін стану вод басейну Чорного моря.

Як найбільш узагальнені оцінки змін кліматичного стану термохалінних полів Чорного моря є наступні: середня зміна температури вод верхнього 500-метрового шару вод склала $+0,111^{\circ}\text{C}$, а зміна солоності води характеризувалась додатною величиною $+0,079\text{‰}$.

Найбільші додатні зміни термічного стану в зимові місяці простежуються в шарі 0-100 метрів (у лютому $0,4 - 0,6^{\circ}\text{C}$). Нижче глибини 150 м, вони не перевищують $0,02-0,03^{\circ}\text{C}$.

Суттєвих змін літніх кліматичних характеристик температури води у глибинних шарах 200-500 м не спостерігається. Екстремальне зростання температури відмічається в поверхневому шарі 0-10 м з максимумом зростання температури води $1,4^{\circ}\text{C}$ у серпні на поверхні моря. В шарі 20-40 м, спостерігається значне зниження температури у серпні на $-1,25^{\circ}\text{C}$. На більших глибинах в шарі 50-100 м, як і на поверхні моря в серпні, визначається підвищення кліматичної температури сучасного періоду з максимумом на $+0,43^{\circ}\text{C}$.

Різниці люневих кліматичних оцінок солемісту відкритого моря за характером вертикальних змін мало відрізняється від температурних оцінок. Підвищення кліматичної солоності вод в поверхневому шарі до 50 м відповідало

значенню $+0,1\text{‰}$. Глибше, в шарі до 350 м існує два локальних максимуми підвищення кліматичної солоності на глибинах 60-90 м з максимумом підвищення на $0,22\text{‰}$ на горизонті 80 м і на глибинах 150-300 м з максимумом підвищення на $0,185\text{‰}$ на горизонті 250 м.

Розподілені різниці серпневих кліматичних оцінок солевмісту відкритого моря дещо простіше; в поверхневому шарі 0-50 м підвищення кліматичної солоності вод подібні до зимового періоду лютого; два максимуми що відмічені в лютому на проміжних глибинах, в області основного галокліну в серпні були об'єднані і максимальне підвищення кліматичної солоності на $0,22 \text{ ‰}$ спостерігалось на горизонті 250 м.

Відмічені кліматичні зміни термогалінного стану, однозначно свідчать про кліматичне ослаблення загально-циркуляційної системи вод Чорного моря в умовах суттєвих змін як регіонального клімату так і в цілому на нашій планеті.

9 ГІДРОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ГЛИБОКОВОДНОЇ ЧАСТИНИ ЧМ ЗА ДАНИМИ БУЇВ АРГО У 2021 РОЦІ

У 2021 році в ЧМ працювало 11 буїв проекту «Арго», реєстр їх наведено в таблиці 1.1, а загальний вид та принципова схема роботи представлені на рис. 9.1 та на рис 9.2.



Рисунок 9.1 – Один з буїв проекту «Арго» (animalworld.com.ua/news/).

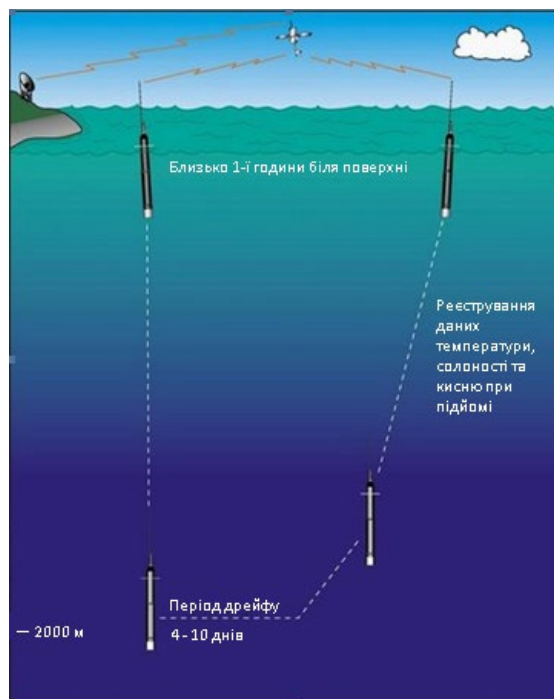


Рисунок 9.2 – Принципова схема роботи буя «Арго».

Детальна робота пірнаючих буїв проекту «Арго» описана на сайті: <https://argo.ucsd.edu/>. та [6].

Три буя із одинадцяти ,що знаходились в ЧМ, крім датчиків температури і солоності були укомплектовані датчиками кисню, що надавало можливості оцінки визначення глибини розташування нижньої межі оксикліну, і початку безкисневої зони, яка визначалась по глибині вод де концентрація розчиненого кисню зменшувалася до ≤ 20 $\mu\text{моль/л}$. Траєкторії руху всіх 11-ти буїв охоплювали тільки глибоководну частину Чорного моря і в шельфові зони не потрапляли (рис. 9.3).

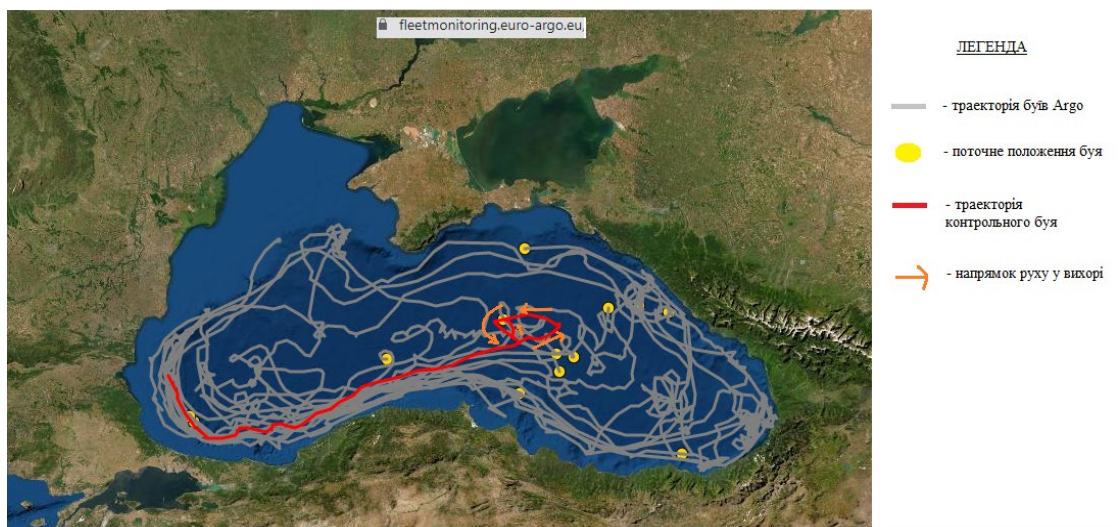


Рисунок 9.3 – Траєкторія руху нині діючих буїв «Арго» в ЧМ за весь період роботи до 31.12.2021 року.

Загальний напрямок руху буїв відповідає напрямку потоку ОЧТ із заходу на схід уздовж південного узбережжя ЧМ і далі зі сходу на захід уздовж північного узбережжя. Траєкторії руху кожного буя за 2021 рік показані у Додатку.

Контрольний буй № 7900596, по якому оброблялася інформація температури, солоності та кисню, у 2019 та 2020 рр. рухався у струмені ОЧТ, але у 2021 р. перемістився у східну циркуляційну систему, де продовжив рух циклонічною траєкторією, в відносно невеликому по площі районі (рис. 9.4).

Траєкторія руху буя мала еліпсоподібну форму з поперечним діаметром 42 км, поздовжнім діаметром 115 км. Усього за 2021 рік цей буй пройшов відстань близько 440 км.



Рисунок 9.4 – Траєкторія руху буя № 7900596 проекту «Арго» у 2021 році.

Характерною особливістю в русі буя була різка зміна напрямку на 180° після 70 циклу. Далі він почав дрейфувати у північно-західному напрямку.

Аналіз вертикального розподілу температури води за даними спостережень буя № 7900596 у 2021р. дозволяє виконати оцінку глибини залягання холодного проміжного шару (ХПШ). Фактично дані контрольного буя описують характеристики ХПШ у східному Чорноморському вихорі.

Маркером глибини залягання ХПШ в зимовий сезон є температура води в діапазоні $8,69-8,82^\circ\text{C}$. В середньому верхня межа глибини залягання ХПШ в зимовий сезон складала 61 м, нижня межа знаходилась в середньому на глибині 83 м, а товщина ХПШ в середньому охоплювала шар в 22 м. Екстремальні положення верхньої і нижньої межі ХПШ в зимовий період, спостерігались на глибинах 56 м і 86 м, відповідно, при максимальній товщині ХПШ 30 м (таблиця 9.1).

Таблиця 9.1 – Розподіл глибини залягання ХПШ, буй «Арго» № 7900596

Дата	Глибина, м	Т-ра, °С	Широта	Довгота
10.01.2021	65 - 85	8,70 – 8,82	42,85	35,42
20.01.2021	56 - 75	8,69 – 8,69	42,90	35,68
30.01.2021	56 - 86	8,71 – 8,72	42,95	36,08
09.02.2021	66 - 85	8,69 – 8,74	43,05	36,27
01.03.2021	35 - 46	8,02 – 7,93	43,05	36,61
21.03.2021	25 - 36	8,32 – 8,29	43,18	36,91
31.03.2021	36 - 46	8,20 – 8,31	43,26	37,03
10.04.2021	45 - 65	8,64 – 8,71	43,29	37,05
20.04.2021	35 - 45	8,55 – 8,70	43,28	37,02
30.04.2021	56 - 65	8,70 – 8,71	43,28	36,98
10.05.2021	45 - 65	8,70 – 8,72	43,29	36,92
20.05.2021	45 - 55	8,60 – 8,73	43,30	36,91
30.05.2021	45 - 65	8,64 – 8,71	43,30	36,89
09.06.2021	55 - 75	8,72 – 8,74	43,33	36,85
19.06.2021	45 - 75	8,73 – 8,74	43,34	36,83
29.06.2021	75 - 96	8,73 – 8,74	43,366	36,764
09.07.2021	45 - 75	8,65 – 8,74	43,388	36,613
19.07.2021	36 - 45	8,63 – 8,73	43,430	36,358
29.07.2021	36 - 45	8,66 – 8,70	43,403	36,091
08.08.2021	36 - 45	8,77 – 8,67	43,350	35,883
18.08.2021	36 - 45	8,72 – 8,69	43,334	35,764
28.08.2021	35 - 45	8,73 – 8,73	43,340	35,699
17.09.2021	36 - 56	8,76 – 8,75	43,303	35,681
07.10.2021	35 - 46	8,71 – 8,77	43,127	35,986
27.10.2021	76 - 95	8,77 – 8,77	43,043	36,155
16.11.2021	65 - 86	8,76 – 8,76	43,179	36,052
06.12.2021	65 - 86	8,75 – 8,77	43,248	36,006
26.12.2021	75 - 96	8,76 – 8,78	43,362	35,848

Маркером глибини залягання ХПШ в весняний сезон є температура води достатньо знижена в березні 7,93-8,32°С і трохи підвищена в квітні-травні 8,55-8,73°С. Верхня межа глибини залягання ХПШ в весняний сезон в середньому була на глибині 41 м, при цьому нижня межа знаходилась в середньому на глибині 54 м, при товщині ХПС в середньому 13 м. Екстремальні положення верхньої і нижньої

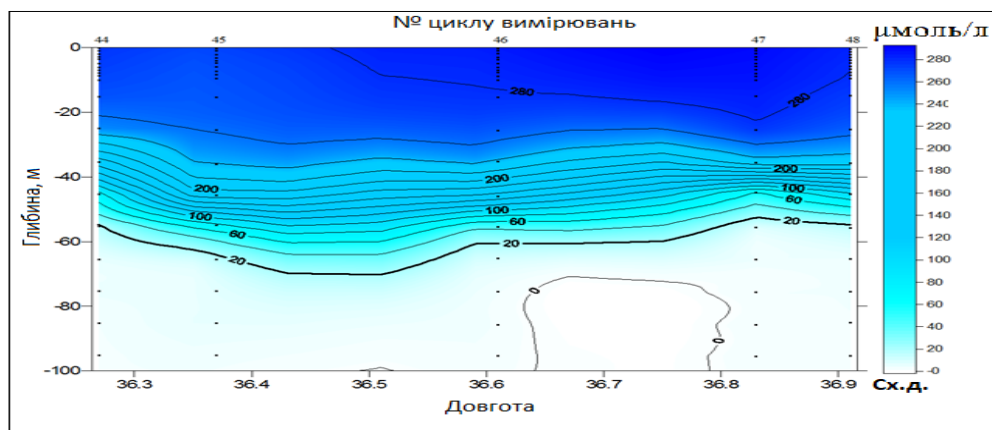
межи ХПШ в весняний період, спостерігались на глибинах 25 м і 65 м, відповідно, при максимальній товщині ХПШ всього тільки 20 м.

В літній сезон маркером глибини залягання ХПШє температура води в діапазоні 8,63 - 8,74 °С, що значно не відрізняється від весняного періоду квітні-травня. В середньому верхня межа залягання ХПШ в літній сезон розташовувалась на глибині 44 м, а нижня межа знаходилась в середньому на глибині 61 м, при цьому середня товщина ХПШ дорівнювала 16 м. В літній період екстремальні положення верхньої і нижньої межі ХПШ відмічались на глибинах 35 м і 96 м, відповідно, а максимально товщина ХПШ дорівнювала 30 м.

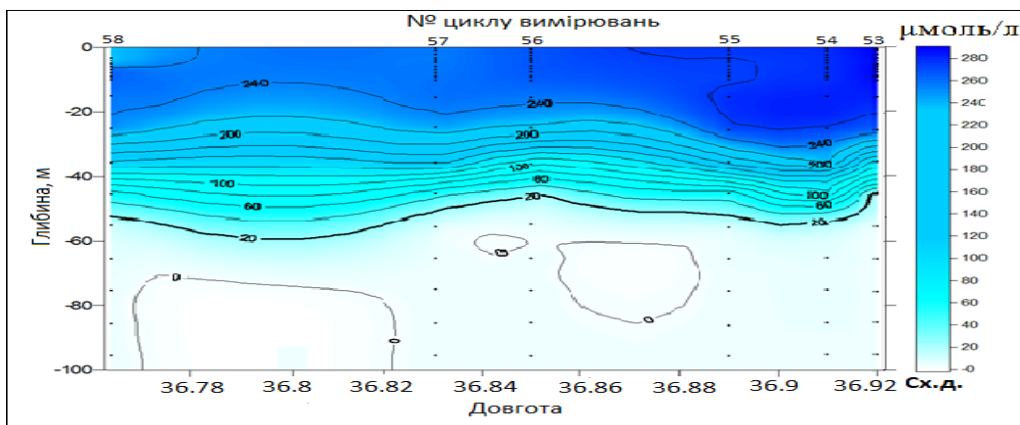
В осінній сезон маркером глибини залягання ХПШє температура води, що відповідає діапазону 8,71 - 8,77 °С і наближається до значень зимового періоду. Верхня межа залягання ХПШ в осінній сезон в середньому відповідає глибині 55 м, а нижня межа в середньому знаходиться на глибині 78 м, при середній товщині ХПШ

18 м. Екстремальні положення верхньої і нижньої межі ХПШ спостерігались на глибинах 35 м і 95 м, відповідно, а максимальна товщина ХПШ складала 21 м.

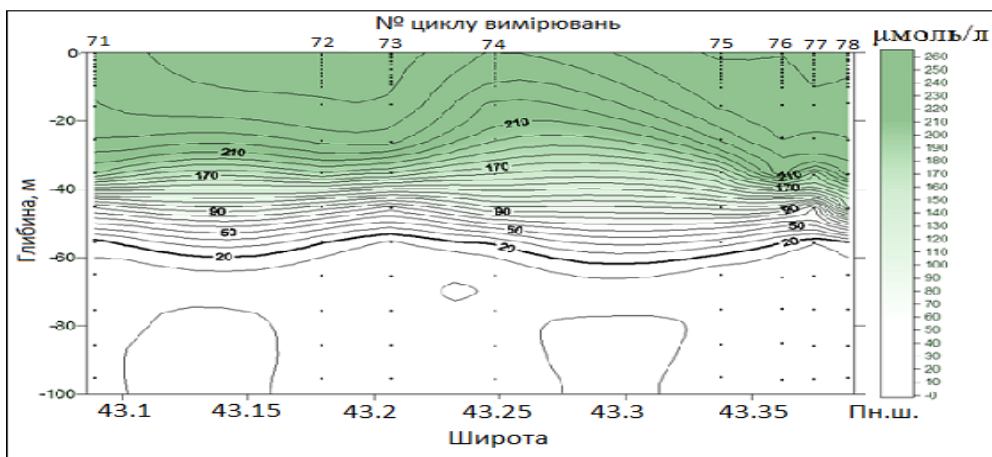
За даними спостережень вертикального розподілу вмісту розчиненого кисню у 2021 р. було встановлено, що межа(безкисневої зони) зменшення вмісту кисню до ≤ 20 $\mu\text{моль/л}$ розташовувалась в південній частині траєкторії руху буя в лютому-березні (розріз №1) на глибинах 55-65 м та на північній частині траєкторії в травні-червні(розріз №2) на глибинах 48-60 м і на західній частині траєкторії в листопаді-грудні (розріз №3) на глибинах 50-60 м (рис. 9. 5) Отримані результати досліджень вказують, що глибина розташування нижньої межі оксикліну на розрізах №2 і №3 відповідає кліматичному діапазону 50-60 м даного регіону ЧМ. Мінімальна глибина нижньої межі оксикліну 48 м була визначена в координатах 43,33°Пн.ш. 36,85°Сх.д. при 56 циклі вимірювань буєм «Арго» № 7900596.



а)



б)



в)

Примітка:

а) – розріз №1 по 43.05°-43.18° пн.ш.

б) – розріз №2 по 43.29°-43.37° пн.ш.

в) – розріз №3 по 35.76°-36.77° сх.д.

Рисунок 9.5 – Розподіл концентрації кисню в морській воді
за даними буя«Арго» 7900596 у шарі 0-100 метрів.

ВИСНОВКИ

Мінливість гідрометеорологічних умов в 2019-2021 роках в північно-західній частині Чорного моря (ПнЗЧ ЧМ) в деяких аспектах значно виходили за межі кліматичних норм.

Після рекордних за температурою повітря 2019 р., а слідом за ним 2020 р., із середньорічними значеннями 12,9°C і 13,0°C, відповідно, 2021 р., з його середньорічною температурою близько 11,4°C, зайняв у списку найтепліших років двадцяте місце. За даними ГМС «Одеса-Порт» мінімальна температура повітря відзначена 19.01.2021 р. (-13,7 °C), максимальна (32,8 °C) – 16.07.2021 р.

У списку зі 155 років сума опадів у 2021 р., з річною сумою 693 мм, займає третє місце, поступаючись лише 2016 та 2010 рр. із сумами 753 та 709 мм, відповідно.

Максимальна кількість опадів у 2021 році за добу випала 22 липня і склала 60 мм, що майже на третину перевищує місячну норму.

Після рекордного, за температурою води, 2020 року, із середньорічним значенням 13,5°C, 2021 р., з його середньорічною температурою морської води 11,3°C, у списку з 40 найтепліших років займає місце у середині другого десятка. Мінімальна температура води в 2021 році склала 23 лютого 1,7 °C, максимальна температура води 19 липня досягала 26,7 °C.

По солоності морської води за останні 40 років, 2021 р. з середньорічною солоністю 15,1опс став другим, поступившись лише 1997 р. з солоністю 16,08 опс. Максимальна солоність на станції ГМС «Одеса-Порт» спостерігалася 05 березня і складала 17,54 опс, а мінімальна відмічалась 17 червня і знижалась до 9,05 опс.

Рівень моря 2021 року коливався у кліматичних межах. Максимальний рівень спостерігався 08.02.2021 р. досяг позначки 521 см при південно-східному вітрі 7 м/с. Мінімальний рівень – 445 см спостерігався 10 листопада при північному (згінному) вітрі 8 м/с.

Вітрові умови відповідали рівню середніх значень останніх років; переважали

вітри ПнЗ, Пн і протилежних ПдПдС напрямків.

Середньорічна швидкість вітру, як і попередні п'ять років, у 2021 року становила 3,8 м/с. Загалом перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі на південь із середньою векторною швидкістю 0,8 м/с.

За останні п'ять років збільшилася кількість випадків строкових спостережень штилів зі 100 до 200 випадків. За останні три роки найбільша кількість значних апвелінгів у ПнЗЧМ спостерігалася в районі Тендрівської коси та Одеської затоки. В Одеській затоці найпотужніший апвелінг 2021 року спостерігався з 28 червня до 02 липня, коли температура поверхні води знизилася на 8,8 °С з 22,6 °С до 13,8 °С.

Дані стоку Дунаю не виявляють класичної повені в квітні-травні 2021 року. Навпаки, у ці місяці відзначений локальний мінімум 18-19 км³/місяць, Максимальний стік вод Дунаю відмічався в лютому і складав 23,5 км³/місяць, підвищений стік до 21,2 км³/місяць спостерігався також в червні.

За останні десять років за даними спостережень ГМС «Одеса-Порт» тривалість льодового періоду зменшилася на 1,5-3 декади. Востаннє лід біля берегів Одеси спостерігався у лютому 2018 року.

Мінімальна температура ХПШ зареєстрована у березні і становить 7,93°С, максимальна у грудні – 8,78°С.

Мінімальна товщина ХПШ зареєстрована навесні (березень, квітень) і склала 10 м, максимальна товщина ХПШ 30 м спостерігалась в січні та грудні.

Глибина залягання нижньої межі оксикліну в центральній частині ЧМ розташовувалась у своєму кліматичному діапазоні 50-60 м.

2. Результати порівняння даних температури води, отриманих інструментальним шляхом на станціях із супутниковими, дають відхилення, що не перевищують 0,5 °С. Слід зазначити, що мінімальні відхилення (від 0,0°С до 0,2°С) відзначені по даним станції відкритого моря о.Зміїний та по даними гідрометеорологічного бую, розташованого за милю від берега. Максимальні відхилення температури води відмічаються в порівнянні с даними МГС «Хорли», розташованої на півночі Каркінітської затоки, однак основні особливості в часовій мінливості температури води отриманої з супутників повністю зберігаються.

3. За даними супутникових спостережень(2003-2020 рр.) визначена тенденція підвищення температури води: -так в ПнЗ частини Чорного моря середнє підвищення поверхневого шару температури води становило для прибережних районів $1,5^{\circ}\text{C}$, для районів шельфу $1,4^{\circ}\text{C}$; - в районах відкритого ЧМ, включаючи і Азовське море, підвищення становило $1,3^{\circ}\text{C}$: - в районах , прилеглих до півострова Крим (водні масиви WCr1 та WCr2) підвищення спостерігалось на рівні $1,2^{\circ}\text{C}$. Тобто, слід зазначити превалювання підвищення температури поверхневого шару води ПнЗ частини Чорного моря над іншими районами.

Температура поверхневого шару Чорного та Азовського морів у досліджуваних районах за період з 2003 по 2020 рік підвищилася в середньому на $1,3^{\circ}\text{C}$.

Тенденція зростання температури поверхневого шару води зберігається.

Результати визначених по районах тенденцій середньої місячної температури поверхневого шару води усіх дванадцяти місяців за даними супутникових спостережень показали, що максимальне зростання температури практично у всіх районах припадає на березень, а також і на вересень. Мінімальний додатній, нульовий чи від'ємний внесок формування температури поверхневого шару води всіх районів спостерігається в жовтні.

Дисперсія внутрішньорічного ходу температури поверхневого шару води для всіх районів має два максимуми – у березні та жовтні, в решту місяців внесок у формування мінливості температури води незначний.

4. Кліматичні поля температури та солоності вод Чорного моря в період з початку 1990-х років до теперішнього часу характеризують стан початкового, інтенсивного періоду різкого підвищення клімату температури, які в порівнянні з історичними даними дають перші регіональні оцінки кліматичних змін стану вод басейну Чорного моря.

Як найбільш узагальнені оцінки змін кліматичного стану термохалінних полів Чорного моря можна представити наступні: середня річна зміна температури та солоності верхнього 500-метрового шару вод склала $+0.111^{\circ}\text{C}$ і $+0.079\%$, відповідно,

Найбільш значні додатні зміни термічного стану у лютому простежуються у шарі 0-100 метрів і в середньому зростають на 0.4-0.6 °C.

На глибинах більш 150 м, підвищення не перевищують 0,02-0,03 °C. Різниця кліматичних оцінок температури води у шарі 70-500 м у лютому близька до похибки їх розрахунків.

Літні кліматичні характеристики температури води в серпні не виявляють суттєвих змін у глибинних шарах 70-500 м, але зміни суттєво значимі визначаються у при поверхневому шарі. Екстремальне зростання температури спостерігається в шарі 0-10 м і на поверхні досягає +1.4 °C. Нижче, в шарі 20-40 м спостерігається зменшення температури води і на глибині 20 м вона знизилась на -1.25°C. Літнє зниження температури води однозначно пов'язане з кліматичним підняттям на декілька метрів сезонного термокліну. Причиною цього може бути послаблення в останні десятиліття вітрового режиму в регіоні, на що вказує підвищена повторюваність слабких вітрів (1-2 м/с) з початку 21-го століття

У цілому нині відзначається істотне переважання додатної різниці теплоутримання у всі місяці переважно центральних і південних областей акваторії ЧМ.

Відмічені кліматичні зміни термогалінного стану, однозначно свідчать про кліматичне ослаблення загально-циркуляційної системи вод Чорного моря в умовах суттєвих змін як регіонального клімату так і в цілому на нашій планеті.

5. Верхня межа глибини залягання ХПШ в середньому в зимовий сезон складала 61 м, нижня межа знаходилась на глибині 83 м, а товщина ХПШ в середньому охоплювала шар в 22 м. Екстремальні положення верхньої і нижньої межі ХПШ в зимовий період, спостерігались на глибинах 56 м і 86 м, відповідно, при максимальній товщині ХПШ 30 м.

Глибини залягання верхньої межі ХПШ в весняний сезон в середньому була на глибині 41 м, при цьому нижня межа знаходилась в середньому на глибині 54 м, при товщині ХПС в середньому 13 м.

В літку і восени як верхня так і нижня межа ХПШ заглиблювались і в середньому верхня межа знаходились на глибинах 44-55 м, а нижня спостерігалась

в середньому на глибинах 61-78 м. Відносно весняного періоду в середньому зростала і товщина ХПШ, та в середньому складала 16 і 18 м відповідно влітку і восени.

В 2021 р. за даними спостережень спливаючого бую «Арго» було встановлено, що межа, (безкисневої зони) зменшення вмісту кисню до ≤ 20 $\mu\text{моль/л}$, розташовувалась у східному Чорноморському вихорі на глибинах 48-65 м, при кліматичному нормальному розташуванні цієї межі в даному регіону ЧМ в діапазоні глибин 50-60 м.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Атлас океанов. Министерство обороны СССР. Главное управление навигации и океанографии, 1977.
2. Большаков В.Н., Сытов В.Н. Обзор изменений климата Одессы в первые десятилетия XXI века // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей.– 2021.– № X (УУ).– с. .(в печати).
3. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / Отв. ред. Ю.П. Зайцев, Б.Г. Александров, Г.Г. Миничева.–Киев: Наукова думка, 2006.– 703 с.
4. Иванов В.А., Апвеллинг в Черном море / В.А. Иванов, Є.Н. Михайлова// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 91с.
5. Попов Ю. И. , Матвеев А. В. Апвеллинги и циркуляція вод северо-западного шельфа Черного моря в летний период 2017 года.// Украинский гидрометеорологический журнал 2019 № 23 с. 31-42.
6. Базова оцінка та визначення Доброго екологічного стану (ДЕС) морського середовища Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України Том 4/УкрНЦЕМ; керівник роботи Український В.В., відповід. викон. Диханов Ю.М.– КП 72.19.15-00.00 Одеса: УкрНЦЕМ, 2019. – 80 с.
7. The electronic report of the MFC state of progress in predictions / simulations/analysis. [Electronic resource] – Access mode <http://www.bsmfc.net/MyOcean>–Title from screen.
8. An international program that measures water properties across the world's ocean using a fleet of robotic instruments that drift with the ocean currents and move up and down between the surface and a mid-water level.[Electronic resource] – Access mode <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>–Title from screen.
9. The Copernicus Marine Service (or Copernicus Marine Environment Monitoring Service) is the marine component of the Copernicus Programme of the European Union. It

provides free, regular and systematic authoritative information on the state of the Blue (physical), White (sea ice) and Green (biogeochemical) ocean, on a global and regional scale. [Electronic resource] – Access

mode https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results – Title from screen.

10. The Copernicus Open Access Hub previously known as Sentinels Scientific DataHub) (provides complete, free and open access to Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 and Sentinel-5P user products, starting from the In-Orbit Commissioning Review (IOCR). [Electronic resource] – Access mode <https://scihub.copernicus.eu/> – Title from screen.

11. Сайт по предоставлению прогнозов погоды, Санкт-Петербург, Россия, 2004 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.rp5.ua> – Название с экрана.

12. One of the first weather websites in Europe that is updated regularly and offered weather maps based on model data. [Electronic resource] – Access mode <https://www.wetterzentrale.de/> – Title from screen.

13. Український сайт новин. – Режим доступу <https://focus.ua/ukraine/488561> – Назва з екрану.

14. Український сайт про навколишнє середовище. – Режим доступу <https://www.animalworld.com.ua/news/> – Назва з екрану.

15. An international program that measures water properties across the world's ocean using a fleet of robotic instruments that drift with the ocean currents and move up and down between the surface and a mid-water level. [Electronic resource] – Access mode <https://argo.ucsd.edu/> – Title from screen.

ДОДАТОК А

Рух буїв АРГО у Чорному морі у 2021 році

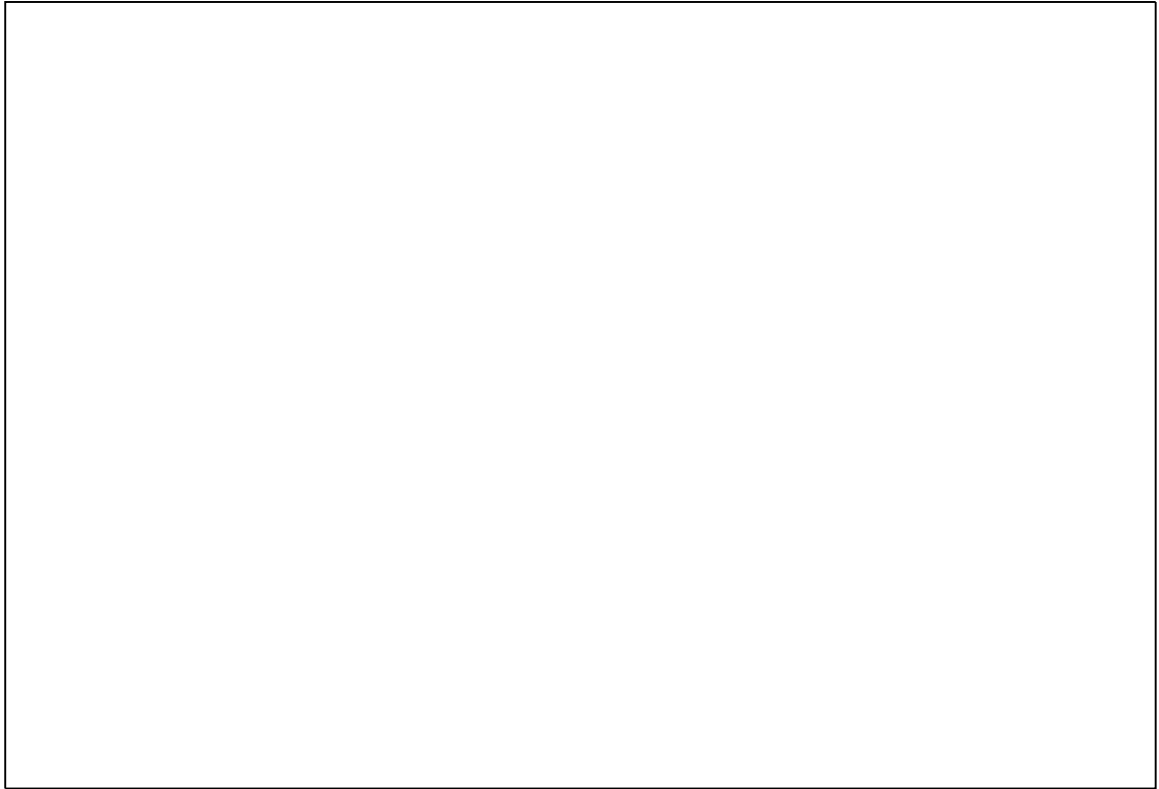


Рисунок А.1 – Траєкторія руху буя № 3901852.



Рисунок А.2– Траєкторія руху буя № 3901855.

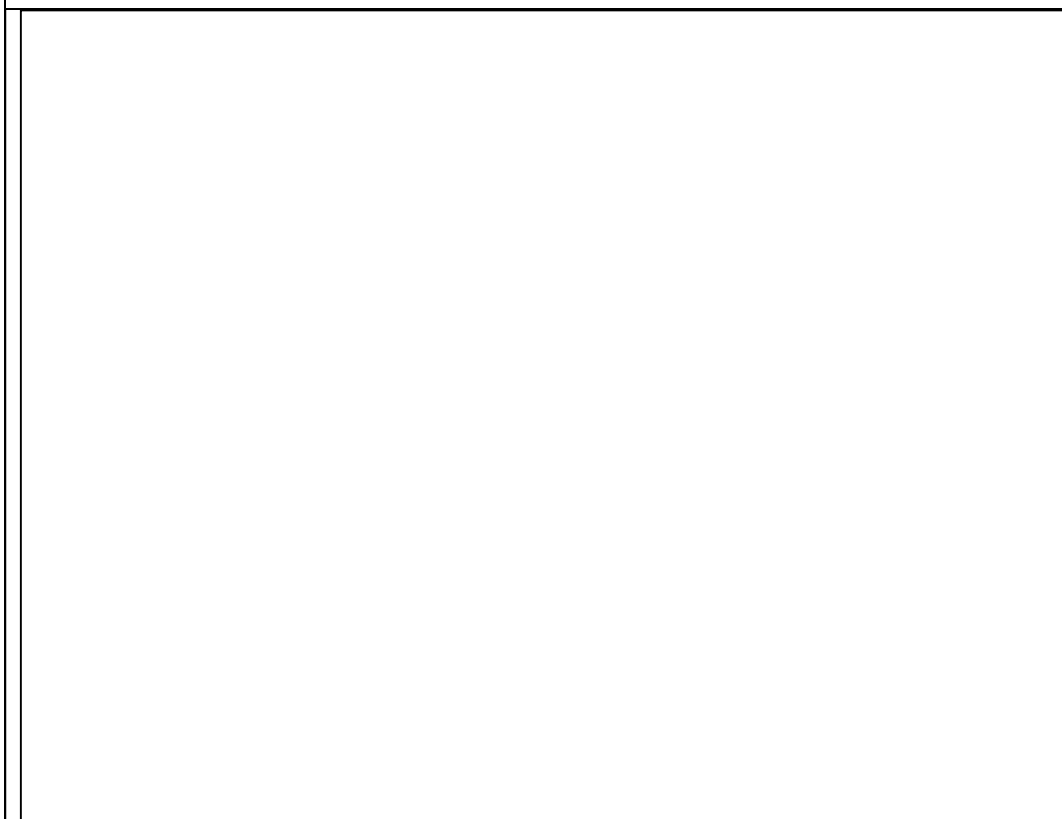


Рисунок А.3– Траєкторія руху буя № 3901854.



Рисунок А.4– Траєкторія руху буя №6983240.

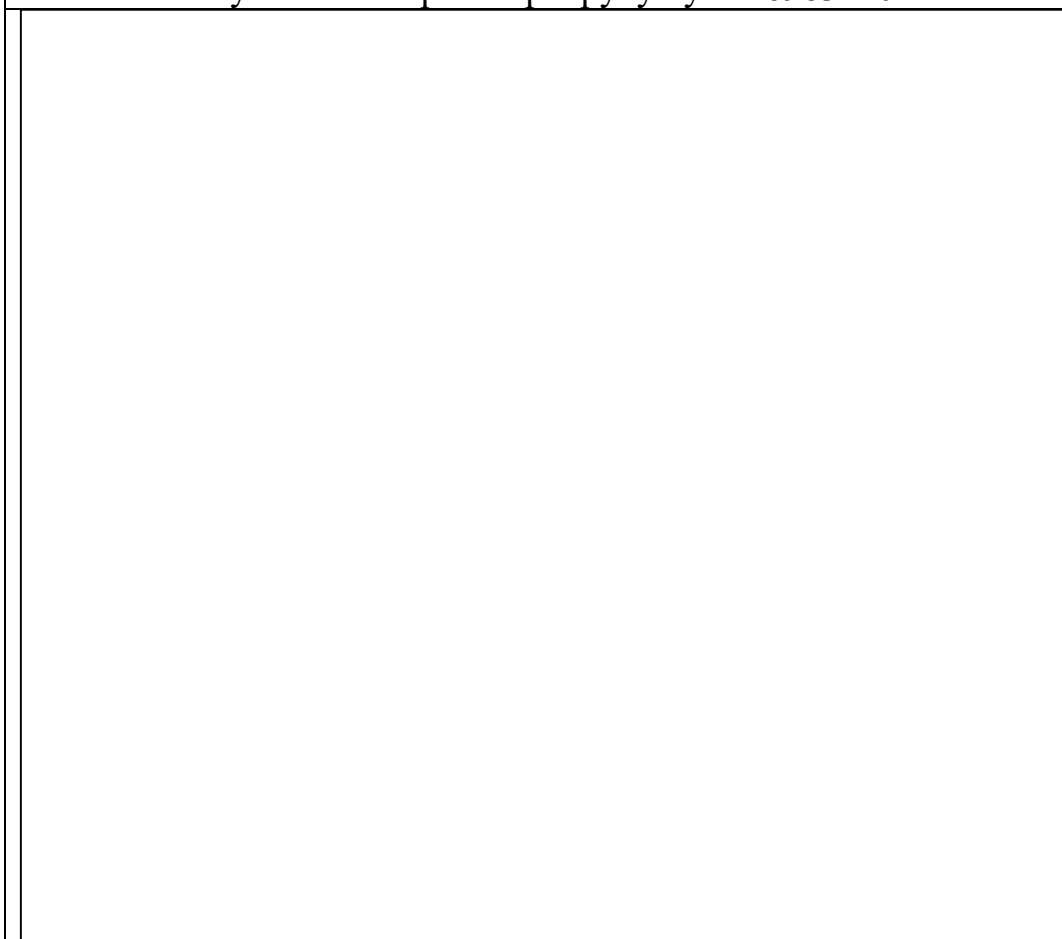


Рисунок А.5– Траєкторія руху буя №6903271.

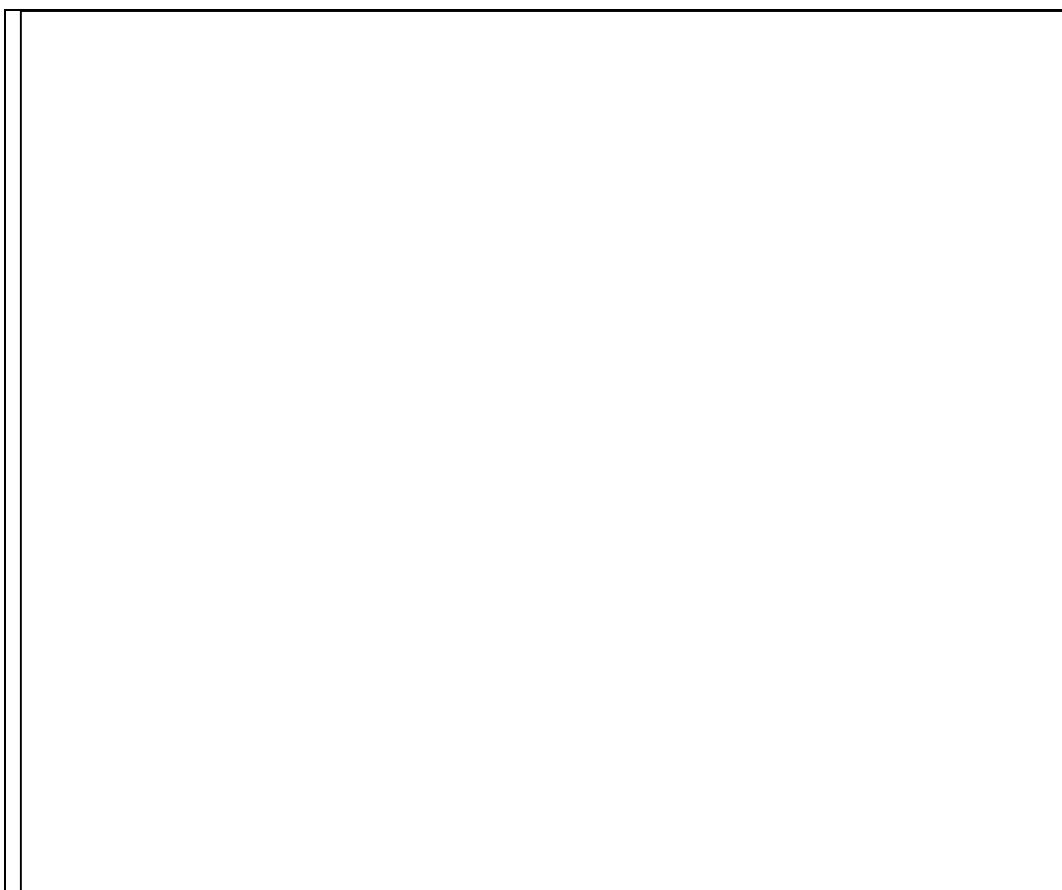


Рисунок А.6– Траєкторія руху буя №6903766.



Рисунок А.7– Траєкторія руху буя №6903782.

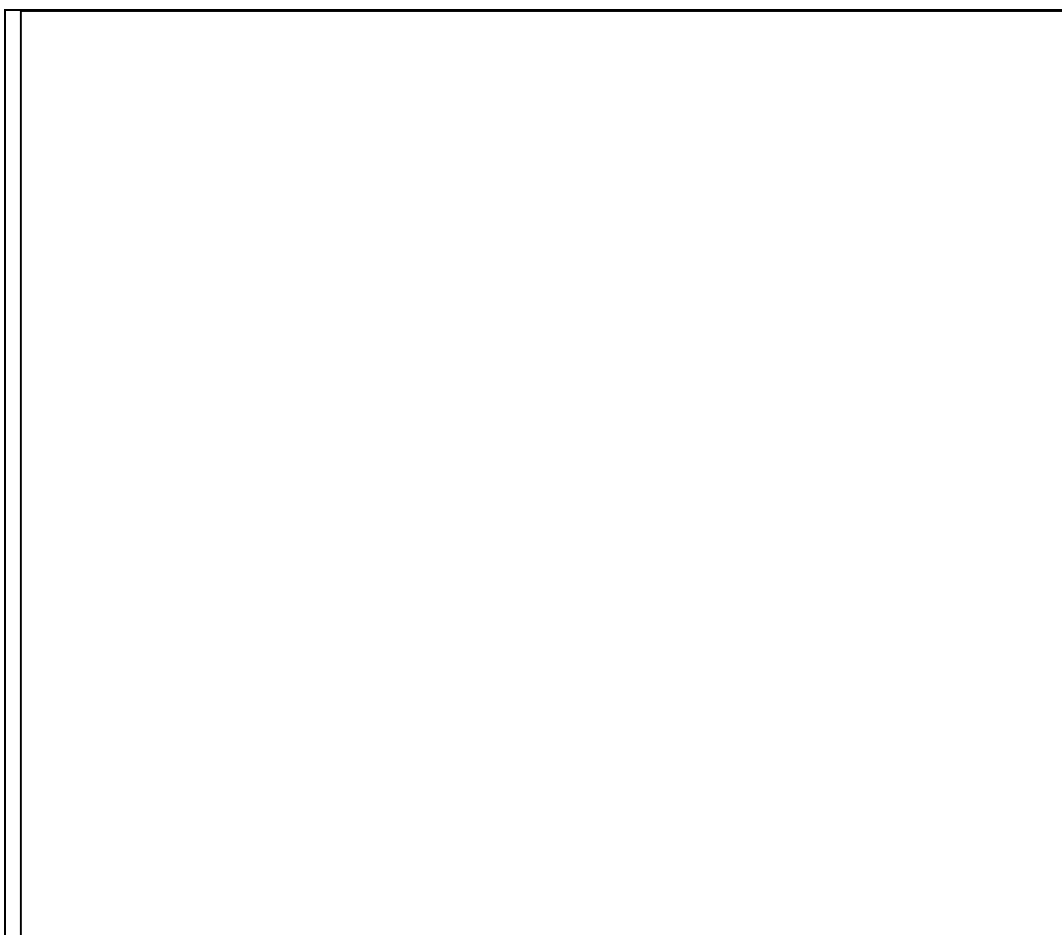


Рисунок А.8– Траєкторія руху буя №6903866.

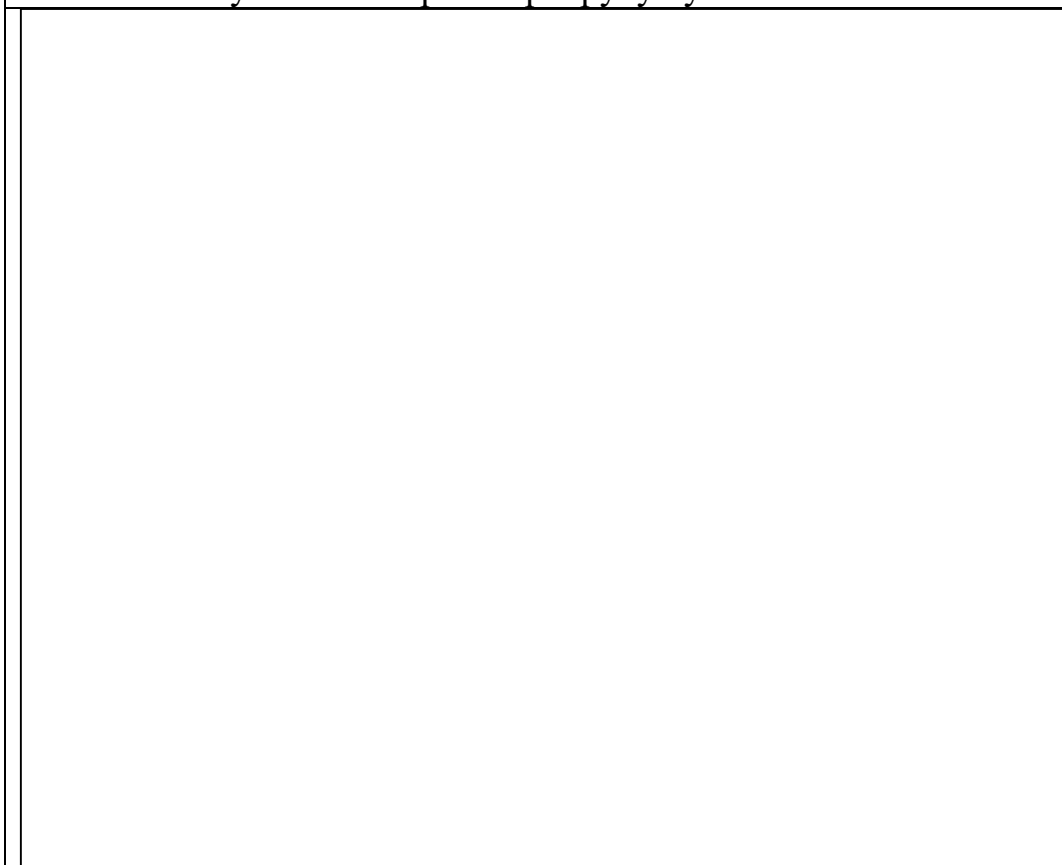


Рисунок А.9– Траєкторія руху буя №6903867.



Рисунок А.10– Траєкторія руху буя №7900595.

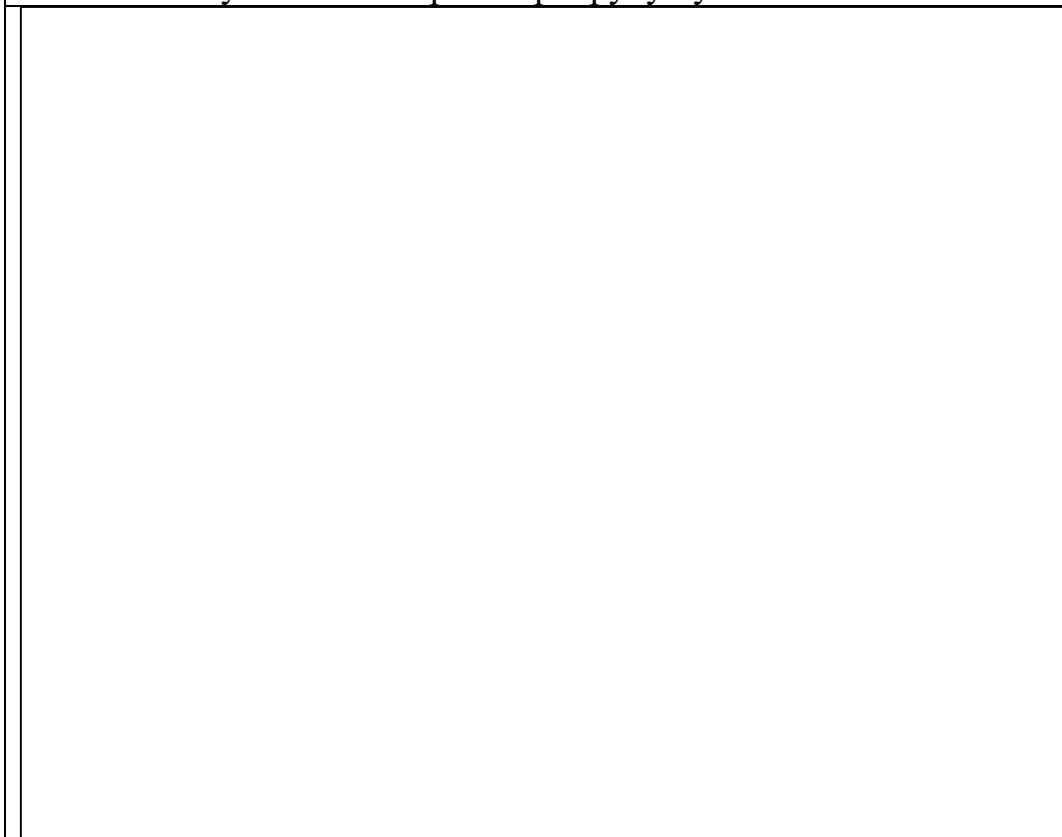


Рисунок А.11– Траєкторія руху буя №7900596.