

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 0122U201787
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НДУ “УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ МОРЯ” (УКРНЦЕМ)
65009, м. Одеса, Французький бульвар, 89. тел. (0482) 63 66 22
e-mail: accem@te.net.ua, www.sea.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Виконуючий обов'язки директора
УкрНЦЕМ, заступник директора з
науки, канд. геогр. наук, старш. наук.
співроб.



Віктор КОМОРИН
«19» січня 2024 року

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ (НДР)

Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного стану морських регіонів у 2023 р.

ОЦІНКА ТА ДІАГНОЗ СТАНУ МОРСЬКИХ ВОД ЗА ГІДРОФІЗИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, ВИЗНАЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ДЕС, УТОЧНЕННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ДЕС

Том 2

Науковий керівник НДР
Виконуючий обов'язки директора УкрНЦЕМ,
заступник директора з науки,
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.


В.М. Коморін

Рукопис закінчено 26 грудня 2023 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ,
протокол № 6 від 29 грудня 2023 р.

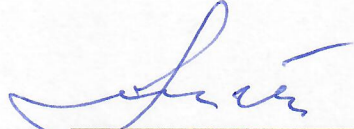
СПИСОК АВТОРІВ

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


26.12.23

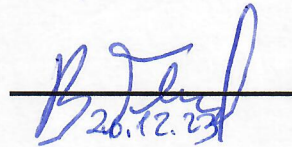
Ю.М. Диханов
(вступ, розділи 1; 4; 6,
висновки)

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


26.12.23

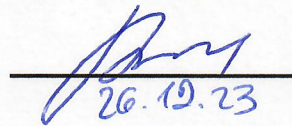
Ю.І. Попов
(графіка, розділи 2.1, 6)

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


26.12.23

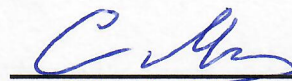
В.М. Большаков
(графіка, розділи 2, 3, 4)

Наук. співроб. ВФО та ММ


26.12.23

В.В. Пономаренко
(графіка, супутникова
інформація)

Мол. наук. співроб. ВФО та ММ


26.12.23

С.В.Мазниця
(супутникова
інформація)

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

РЕФЕРАТ

Звіт про науково-дослідну роботу: 75 с., табл. 6, рис. 51, джерел 22

ЧОРНЕ МОРЕ, ТЕРМОХАЛИННА СТРУКТУРА, АРГО,
КАХОВСЬКА ГЕС

Мета НДР – дослідження сучасного стану та просторово-часової мінливості гідрологічних і гідрофізичних параметрів морської води Чорного моря і їх вплив на екологічний стан морського середовища в межах виключної морської економічної зони України

Методи дослідження – в НДР використовувався порівняльний аналіз та традиційні методи аналітичного узагальнення даних і статистичного аналізу. В умови військового положення основними джерелами інформації про стан морського середовища Чорного моря є супутникові дані, дані Служби моніторингу морського середовища «Копернікус», 13-ти буїв-профілемерів програми «Argo», які працювали в 2023 році у акваторії Чорного моря. Використовувались дані натурних спостережень, інформація Державної гідрометеорологічної служби України та літературних джерел.

Результати дослідження. Збереглися багаторічні тенденції зростання середньорічних температур повітря і морської води. Середньорічна температура вода за даними ГМС «Одеса-порт» склала 14,2 °С. Це найвища середньорічна температура води за всю історію спостережень. На тлі зменшення кількості опадів та річкового стоку зберігається тенденція підвищення середньорічної солоності морської води в Одеській затоці. Внаслідок впливу паводкової хвилі, спричиненої руйнуванням греблі Каховської ГЕС, у пунктах морських спостережень міст Південне, Одеса, Чорноморськ зафіксовано короткочасне падіння значень солоності морської води до 2,2 опс. За супутниковими даними для поверхневого шару морської води всієї акваторії Чорного моря за період 2003-2022 рр. характерні наступні тенденції: температура поверхні моря та солоність порівняно з кліматичними значеннями зросла, насиченість киснем верхнього шару води зменшилась.

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних позначень і скорочень	5
Вступ	7
1 Матеріали та методи дослідження.....	9
2 Багаторічна мінливість гідрометеорологічних умов в північній частині північно-західної частини Чорного моря по даним ГМС «Одеса-порт».....	12
2.1 Вітровий режим приземної атмосфери.....	13
2.2 Температура повітря	17
2.2.1 Гістограми розподілу строкових вимірювань температури повітря 2011 та 2020 рр. за одноградусними діапазонами.....	21
2.3 Температура морської води.....	26
2.4 Солоність морської води.....	30
2.5 Атмосферні опади.....	32
3 Мінливість стоку Дунаю у 2023 році на тлі кліматичних змін у ХХІ столітті.....	35
4 Поширення повені, викликані обрушенням дамби Каховського водосховища, у червні 2023 року.....	38
5 Мінливість океанографічних полів верхнього шару Чорного моря за даними супутникової інформації 2003-2022.....	45
6 Гідрологічна структура глибоководної частини Чорного моря за даними буїв Argo у 2023 році.....	61
Висновки.....	66
Перелік джерел посилань.....	68
Публікації.....	71
Додаток А.....	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВФО та ММ	– відділ фізичної океанографії та математичного моделювання
ГМС	– гідрометеорологічна станція
ГМБ	– гідрометеорологічне бюро
ГМЦ ЧАМ	– Гідрометцентр Чорного та Азовського морів
ДБ	– Дніпровсько-Бузький лиман
ЗПдЗ	– захід-південь-захід
ОЗ	– Одеська затока
ОПС	– одиниці практичної солоності
ОЧТ	– основна чорноморська течія
НДР	– науково-дослідна робота
Пд	– південь
ПдЗ	– південний–захід
ПдС	– південний–схід
ПдПдС	– південно–південний–схід
Пн	– північ
ПнЗ	– північний–захід
ПнЗШ	– північно–західний шельф
ПнЗЧМ	– північно–західна частина Чорного моря
ПнС	– північний–схід
ПнПнС	– північно–північний–схід
СГМ	– сектор гідрометеорології моря
СММСК	– Служби моніторингу морського середовища «Коперникус»
Тw	– температура води
Та	– температура повітря
ТПШ	– температура поверхневого шару

УкрНЦЕМ	– Український науковий центр екології моря
ХПШ	– холодний проміжний шар
ШВ	– шельфові води
ЧМ	– Чорне море
ЄС	– Європейський Союз
С°	– градуси Цельсія
CET	– Central European Time
Chl- <i>a</i>	– Хлорофіл-а
CW	– Coastal Waters
ShW	– Shelf Waters
OW	– Open Waters
TW	– Transit Waters
HPP	– Hydroelectric power plant

ВСТУП

Одним з основних напрямків діяльності державної політики України в сфері охорони навколишнього природного середовища є поліпшення екологічного моніторингу за станом довкілля, в тому числі і охорони природних ресурсів територіальних морських вод.

НДР «Оцінка та діагноз стану морських вод за гідрофізичними характеристиками, визначення відповідності доброго екологічного стану (ДЕС), уточнення критеріїв оцінки ДЕС» виконувалась в рамках напрямку наукових УкрНЦЕМ «Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки ДЕС морських регіонів» згідно «Програми державного моніторингу вод (в частині діагностичного моніторингу прибережних та морських вод Чорного та Азовського морів)» затвердженої Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 2 від 05 січня 2022 року і «Морської природоохоронної стратегії України до 2034 р.» 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».

У рішеннях Європейського Союзу (ЄС) екологічний моніторинг прибережних і морських вод потрапляє під дію двох базових законодавчих документів: Водної рамкової директиви (2000/60/ЄС) і рамкової директиви з морської стратегії (2008/56/ЄС) уточненої директивою 2017/848 от 17 травня 2017 р.

Постановою Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 року затверджено порядок здійснення державного моніторингу вод відповідно Водного кодексу України.

Ці директиви і постанови є законодавчі акти, які прийняті з однією метою – досягнення ДЕС водного середовища.

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

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 (eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/).

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.

Наукова дослідна робота є продовженням багатолітніх досліджень Українського наукового центру екології моря гідрологічної та гідродинамічної структури морських вод України.

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

В умови військового положення основним джерелом інформації про стан морського середовища Чорного моря є супутникові дані.

У звіті використовувалися дані, отримані в результаті асиміляції інформації 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 при поверхневого шару довгохвильового випромінювання і розподілу хлорофілу-*a* отриманих з сканерів штучних супутників NASA, NOAA (США). та європейським космічним агентством ESA (ENVISAT). Всього прийнято та проаналізовано понад 3000 супутникових зображень, частину з яких збережено в базі океанографічних даних відділу.

Крім того, виконувалась первинна обробка цифрової супутникової інформації про стан і мінливість температури води та солоності у поверхневому шарі Чорного моря, використовувалась інформаційна база супутників Terra (рис. 1.1) и Aqua з сайту <http://www.bsmfc.net/MyOcean> по чотирьох хвилинним квадратам з тижневою частотою. Сітка розрахункових точок зображена на рисунку 1.2.

У звіті також використовується інформація з усіх 13-ти буїв-профілемерів програми «Argo», які працювали в 2023 році у акваторії Чорного моря. Інформація з буїв надходила як в графічному, так і в цифровому вигляді з веб-сайту за посиланням: <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>, також використовувались матеріали з архиву IFREMER (URL: <ftp://ftp.ifremer.fr/>). В НДР були використані дані програми Європейського Союзу щодо спостереження за Землею «Служби моніторингу морського середовища Копернікус» (СММСК).



Рисунок 1.1 – Супутник Терра

Автор: NASA JPL - <http://terra.nasa.gov/>

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2450470>

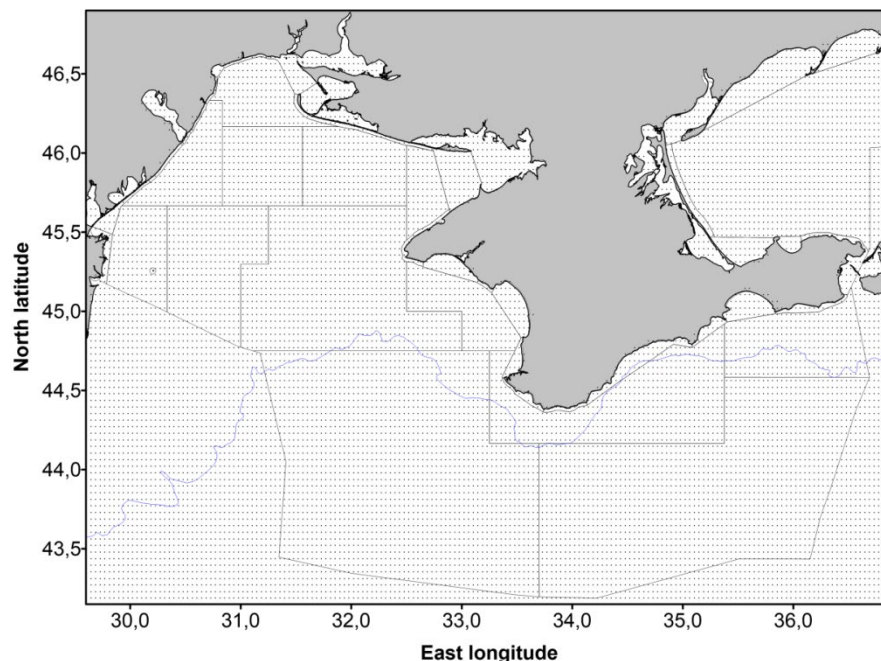


Рисунок 1.2 – Розрахункова сітка спостережень супутників Терра та Аква

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/l3/>

За допомогою СММСК використовувалися дані операційної системи аналізу та прогнозування океану MERCATOR, з наведеного нижче веб-сайту за наступним посиланням:

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. Вихідні файли відображаються з горизонтальною роздільною здатністю $1/12^\circ$ з регулярною рівнопрямокутною проекцією довготи/широти, на 50-ти рівнях по глибині від 0 м до 5500 м.

Супутникові знімки високої якості СММСК отримані з веб-сайту за посиланням: <https://scihub.copernicus.eu/>.

Необхідні метеоспостереження вибирались з архівів сайтів gr5.ua; <https://www.wetterzentrale.de/>. Також в звіті використані дані спостережень ГМС «Одеса-порт», Метеостанції Одеса, Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії м. Ізмаїла, Сектора гідрометеорології моря (СГМ) порту Південний та Гідрометеорологічного бюро (ГМБ) м. Чорноморська.

У звіті використовувався великий архівний матеріал, інформація з літературних джерел, також результати та висновки, зроблені авторами у попередніх роботах з заданої тематики.

Для обробки отриманих даних застосовувалися оригінальні програми, розроблені в УкрНЦЕМ, програмний пакет «Excel», традиційні методи графічного, порівняльного та статистичного аналізу.

Тенденції мінливості океанографічних полів поверхневого шару води для всієї акваторії Чорного моря розраховувалися за супутниковими даними за період 2003-2022 рр.

Результати океанографічного аналізу, осмислення інформації, представлені у вигляді тексту, таблиць, графіків і карт, побудованих із застосуванням програмного пакета наукової графіки Surfer.

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

В основу аналізу мінливості метеорологічних і гідрологічних параметрів лягли багаторічні (понад 100 років) дані спостережень ГМС «Одеса-порт». Також, при необхідності, використовувалися результати спостережень Метеостанції Одеса.

ГМС «Одеса-порт» розташована в Одеській затоці (ОЗ) на території порту в південно-східній його частині біля основи карантинного молу (рис. 2.1). Глибина в районі станції близько 6 м.



Рисунок 2.1– Розташування станції ГМС «Одеса-порт»

Одеська затока знаходиться в північно-західній частині Чорного моря, має підковоподібну форму і розташована між двома мисами – мисом Ланжерон і мисом Північний [1]. ОЗ заглиблена в сушу на відстань до 5 км, ширина затоки 9 км, довжина берегової лінії близько 15,5 км, площа 38 кв. км, середня глибина 9 м. Середньомісячні температури поверхні води протягом року за останні десятиліття коливаються від 2 °С взимку до 22 °С влітку. Максимальні температури поверхні води можуть досягати 30 °С.

Склад води ОЗ залежить від процесів перемішування малосолоних вод Дніпро-Бузького та Дністровського лиманів з більш солоними водами відкритої частини моря. Солоність вод ОЗ коливається від 4 опс. до 19 опс. Середня солоність 12-15 опс.

ОЗ мілководна, тому гідрофізичні процеси багато в чому визначаються вітровим режимом. Середня швидкість течій становить 5-6 см/с.

Розмах коливань рівня при згінно-нагінних штормових вітрах може досягати 3 м. Приливно-відливні коливання рівня не значні і не перевищують 15 см. Так само, при згінних вітрах в теплу пору року температура води прибережної зони може знизитись на 10-12 °С через підйом на поверхню холодних глибинних вод (апвелінг).

Хвильовий режим обумовлений мілководністю затоки і досить рідкісним проходженням середземноморських циклонів, що викликають максимальне хвилювання в цьому регіоні. Переважаючі висоти хвиль в ОЗ – до 1,0 м (90 %). Максимальні висоти хвиль на зовнішньому кордоні затоки можуть досягати 6 м.

2.1 Вітровий режим приземної атмосфери

В цілому генеральне перенесення в приземній атмосфері у 2023 році збереглося в кліматичних межах.

Вітровий режим в північних і західних районах північно-західного шельфу (ПнЗШ), як правило, відзначається високою повторюваністю вітрів ПнЗ, і ПдС чвертей (рис. 2.2; 2.3).

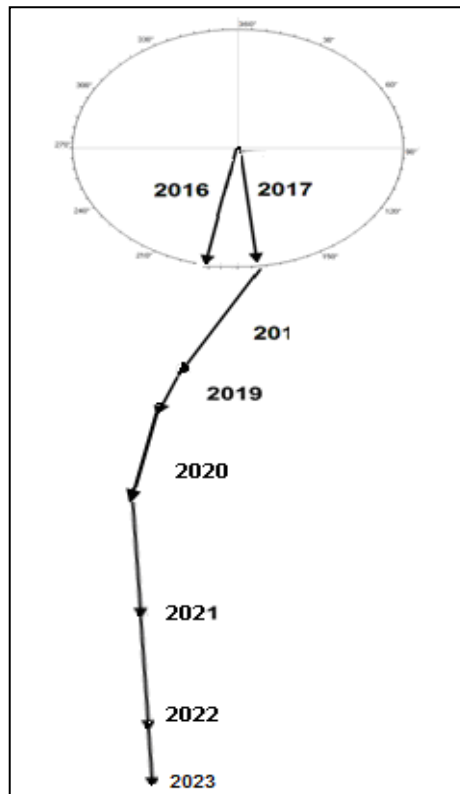


Рисунок 2.2 – Середньорічна прогресивно-векторна діаграма перенесення повітряних мас за даними ГМС «Одеса-порт» 2016-2023 рр.

У 2023 році середньорічна швидкість вітру, як і у 2022 році, становила 3,8 м/с. Загалом перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі із середньою векторною швидкістю 0,5 м/с, що вдвічі менше за минулорічний показник.

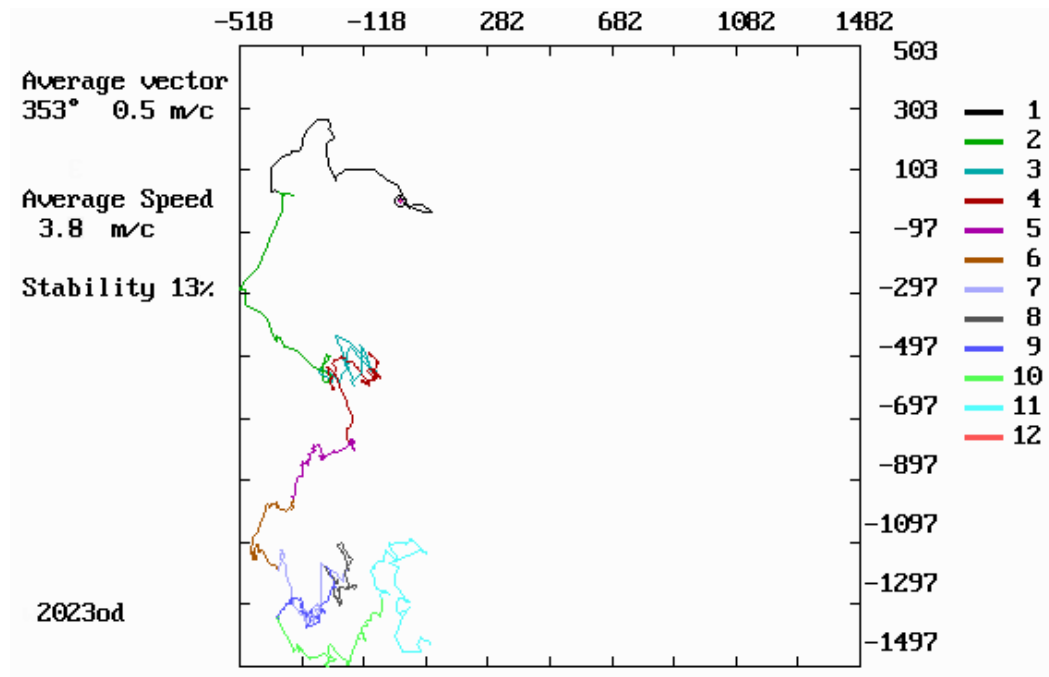


Рисунок 2.3 – Прогресивно-векторна діаграма вітру за даними вимірів на ГМС Одеса-Порт у 2023 році

Повторюваність вітрів по градаціях напрямків і швидкостей (в кількісному співвідношенні) в порту Одеса за період з 01.01 по 30.11.2023 р. приведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Повторюваність напрямків вітру за градаціями швидкості (кільк.) в порту Одеса за період з 01.01 по 30.11.2023 р.

Напр. румби Град. швидк.	Пд.	ПдЗ	З	ПнЗ	Пн	ПнС	С	ПдС	Повто- рюван. (кільк.)
00 < 2	12	21	11	40	113	14	9	8	228
2 < 4	82	69	31	88	37	46	17	38	408
4 < 6	77	31	10	48	33	33	20	21	273
6 < 8	35	4	12	15	22	25	9	6	128
8 < 10	4	4	2	13	14	9	6	1	53
10 < 12	5	1	2	10	9	9	2	2	40
12 < 14	2	0	0	4	10	2	0	2	20
14 < 16	0	0	0	0	2	0	1	0	3
16 < 18	0	0	0	1	0	1	0	0	2
18 < 20	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Сума (кільк.)	217	130	68	219	240	139	65	78	1156

Рози вітрів, представлені на рисунку 2.4б, дають ще одне графічне уявлення про переважаючі вітрові потоки поточного року в північних районах північно-західного шельфу (ПнЗШ). У районі західного узбережжя ПнЗШ областю найбільшої повторюваності вітрів є ПнЗ і Пн напрямку. Далі, за величиною повторюваності, є вузькій сектор протилежного ПдПдС (за 16 румбами) напрямку.

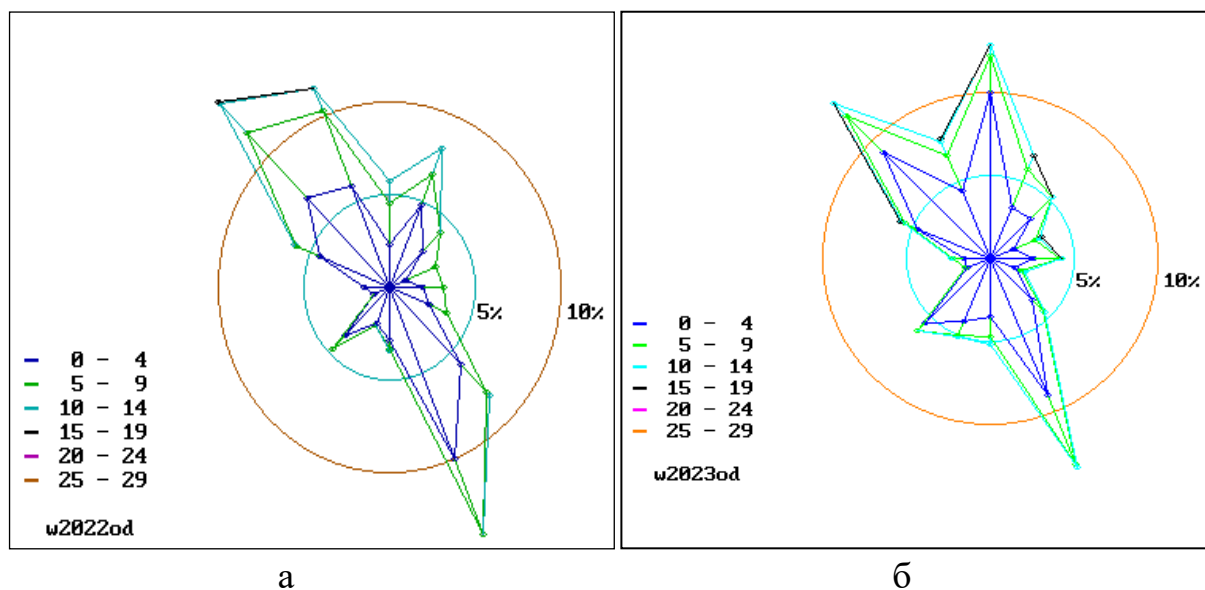


Рисунок 2.4 – Роза вітру за даними ГМС «Одеса-порт» у 2022 р.(а) та 2023(б).

Зазначимо, що роза вітрів 2022 року (рис. 2.4а), ідентична розам вітрів попередніх трьох років, де у північному напрямку виділявся один основний потік [2]. У 2023 році у повторюваності напрямків вітрів північних румбів виявилось два основних напрямки Пн і ПнЗ.

Максимальні швидкості вітру 18 м/с за часовими спостереженнями зареєстровані 18-19 листопада та 26 листопада – 15 м/с з поривами до 26 м/с (рис. 2.5).

Внаслідок потужних штормів, викликаних цими вітрами, прорвало піщані коси Тузловських лиманів. Велика кількість морської води зайшло у всі три лимани, що сприятливо позначилося на екологічній обстановці водного середовища, так само шторми сприяли інтенсивному перемішуванню глибинних шарів морської води ПнЗЧ ЧМ.



Рисунок 2.5 – Одеса Пляж Ланжерон 26 листопада 2023 р.

<https://vesti.ua/odessa/shtorm>

2.2 Температура повітря

Збереглися багаторічні тенденції зростання середньорічних температур повітря. З 1894 року середньорічна температура повітря в Одесі збільшилася щонайменше на 2,5 °С [3].

Середні характеристики термічного атмосферного режиму 2023 року в північно-західної частини Чорного моря розглянемо на підставі нижче приведених інтегральних показників температури повітря теплого і холодного півріч (рис. 2.6). Оцінка інтегральної зимової температури повітря представляє собою суму температур всього холодного півріччя нижче значення + 5 °С, а аналогічна річна оцінка теплого півріччя означає суму температур вище величини + 10 °С.

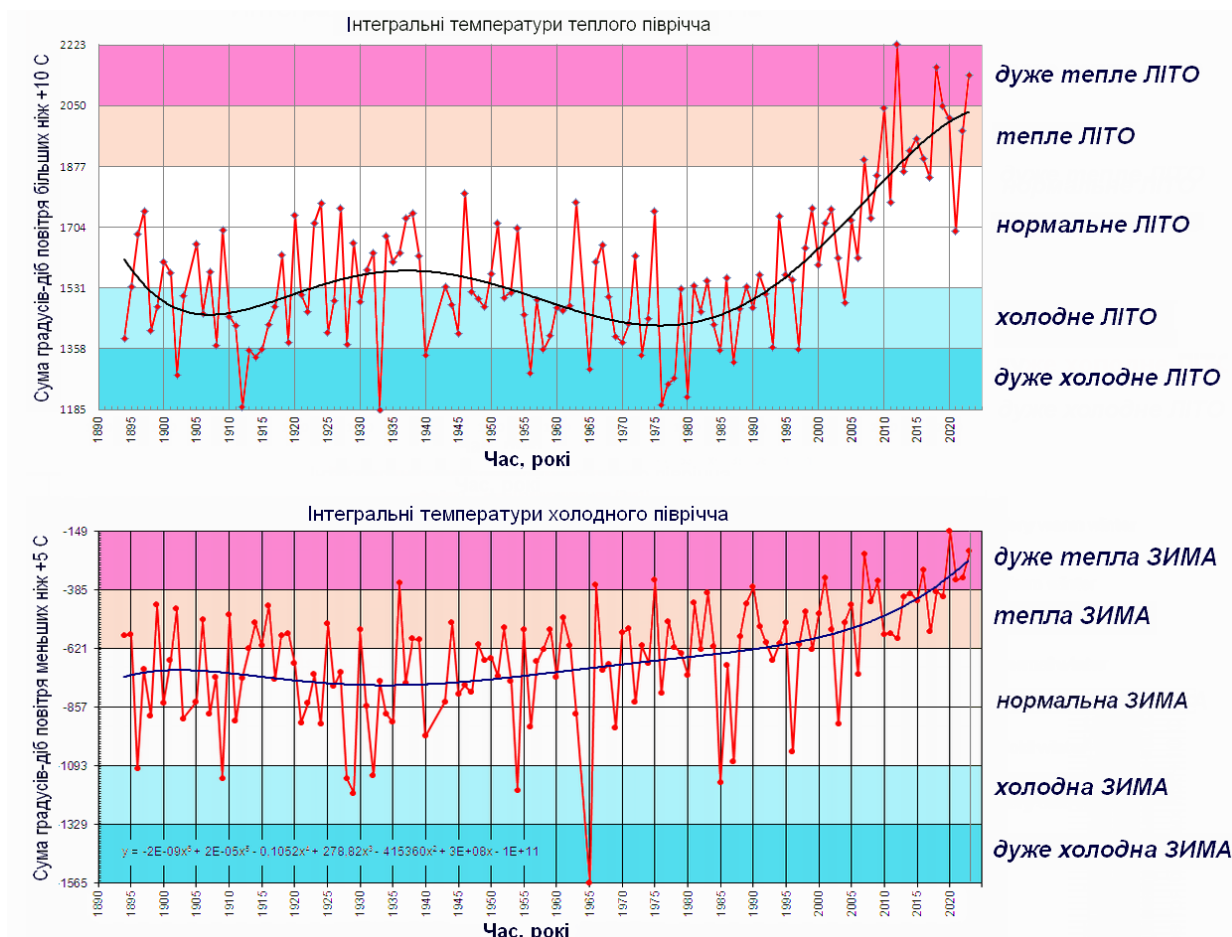


Рисунок 2.6 – Часова мінливість інтегральних температур повітря в холодне і тепле півріччя за період з 1894 по 2023 рр. за даними ГМС «Одеса-порт»

Сумарна оцінка теплового стану північного регіону Чорного моря в літнім півріччі 2023 р. була на рівні самих теплих літніх умов и займала третє місце за весь час інструментальних спостережень в Одесі після 2012 р. (екстремум) і 2018 р. (рис. 2.6). Холодне півріччя 2023 р. на півдні України, згідно з представленою оцінкою, було на рівні дуже теплих зим, як і три попередніх зими. Інтегральна температурна оцінка повітря зими 2023 р. також була дуже високою і займала, як і літня оцінка, третє місце після екстремальної теплої зими 2020 р. и дуже теплої у 2007 р.

Для візуалізації внутрішньорічного ходу середньодобових температур повітря в Одесі представлено графік поточного року (рис. 2.7). Графік побудовано для періоду з жовтня по листопад для того, щоб показати повний зимовий і літній періоди року.

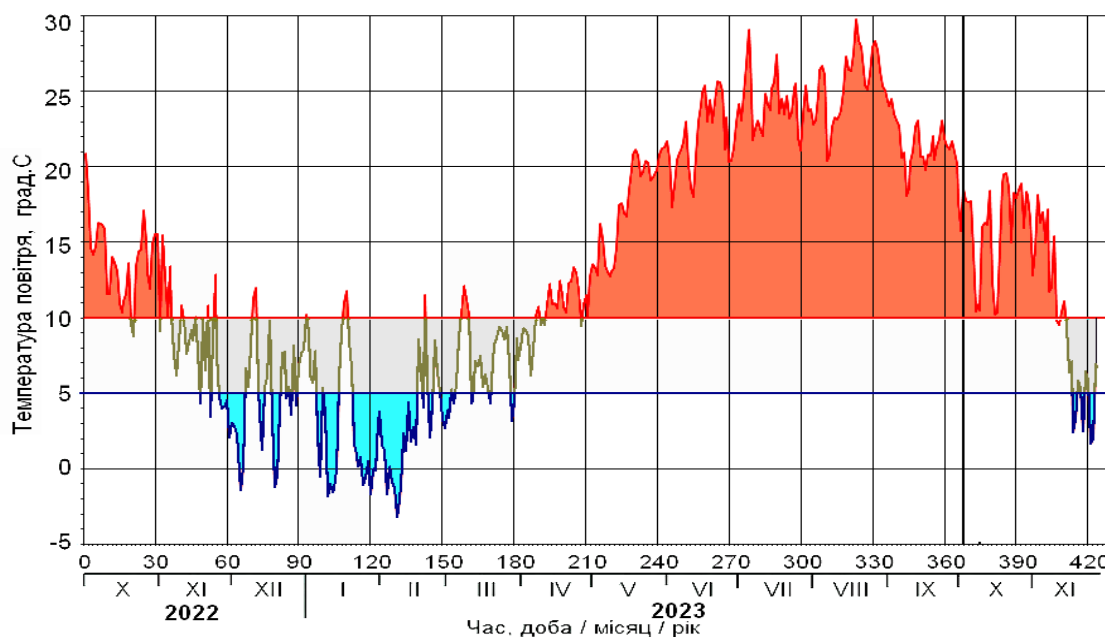


Рисунок 2.7 – Графіки внутрішньорічного ходу середньодобових температур повітря в Одесі в період X.2022-XI.2023 р.

Екстремальна тепла зима поточного року проявилася лише чотирма нетривалими випадками слабо від’ємних середньодобових ($-1 \div -3^{\circ}\text{C}$) температур повітря. Термічний режим теплового півріччя в цілому був на 1,5 місяця більш тривалим.

2023 рік, слідом за 2020 р., став рекордним відразу і за температурою повітря, і за температурою морської води. З 2020 р. по 2023 р. рекордна температура повітря збільшилася на $0,3^{\circ}\text{C}$ з $13,0^{\circ}\text{C}$ до $13,3^{\circ}\text{C}$, а рекордна температура води, збільшилася одразу на $0,7^{\circ}\text{C}$, з $13,5^{\circ}\text{C}$ на $14,2^{\circ}\text{C}$.

На рисунку 2.8 показано зміну температури повітря з початку XXI століття.

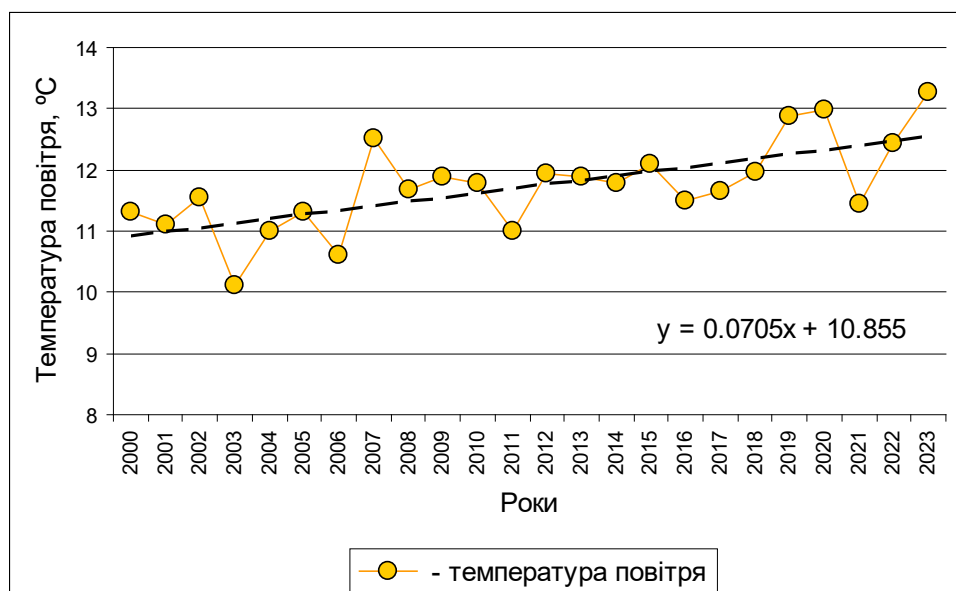


Рисунок 2.8 – Середньорічні температури повітря в Одесі у XXI столітті
(за даними ГМС «Одеса-порт» з 2001 по листопад 2023 р.
Температура грудня 2023 р. замінена її нормою)

Крім цього, слід зазначити, що в річному списку з 366 добових максимумів температури повітря в 2023 році з'явилися 16 нових рекордів. Якщо врахувати, що середній рік народження колишніх 16 рекордів, 1956, а трьох найстаріших із них – 1894, то, швидше за все, пройде не одне десятиліття, перш ніж згадки 2023 будуть витіснені зі списку чинних рекордів.

У вересні 2023 р. відбувся ще один більш рідкісний рекорд – рекорд середньомісячної температури. Новий рекорд вересня 21,4 °C змінив колишній 20,8 °C від вересня 1892 року.

Порівняння екстремального теплого 2023 р. з діючими нормами (рис. 2.9) показує, що середні температури перших трьох і п'яти завершальних рік місяців помітно перевищують свої норми, у тому числі у січні, вересні та грудні більш ніж на 3 °C, а в жовтні на 4,2 °C .

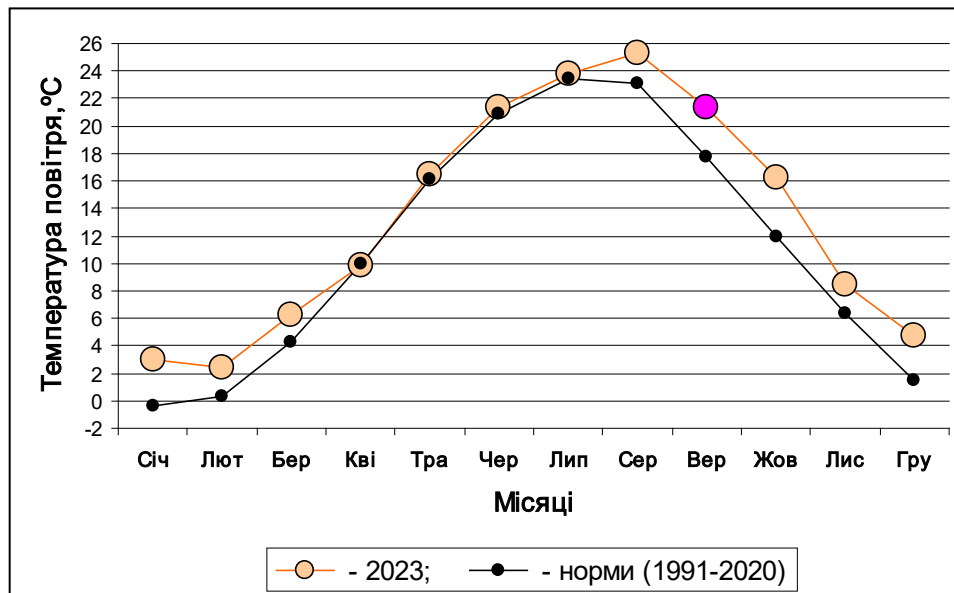


Рисунок 2.9 – Середньомісячні температури повітря 2023 року та діючі норми (за даними «ГМС Одеса»)

2.2.1 Гістограми розподілу строкових вимірювань температури повітря 2011 та 2020 рр. за одноградусними діапазонами за даними МГС «Одеса-порт»

Для початку було обрано температуру повітря, причому за даними МГС «Одеса-порт», з тим, щоб у разі отримання цікавих результатів мати можливість порівняти їх із розподілом, вимірюваної також тут, температури води. Для досліджень було визначено період у 10 років, з 2011 по 2020 рр. Для обстеження було вирішено використовувати дані найхолоднішого (2011) та найтеплішого (2020) років. На рисунках 2.10 та 2.11 представлено гістограму розподілу термінових вимірювань температури повітря за 2011 рік. При чотирьох строкових спостереженнях номінальна кількість вимірів за рік складає 1460.



Рисунок 2.10 – Гістограма розподілу 1459 термінових значень температури повітря у 2011 р. – найхолоднішому році за період 2011-2020 рр.

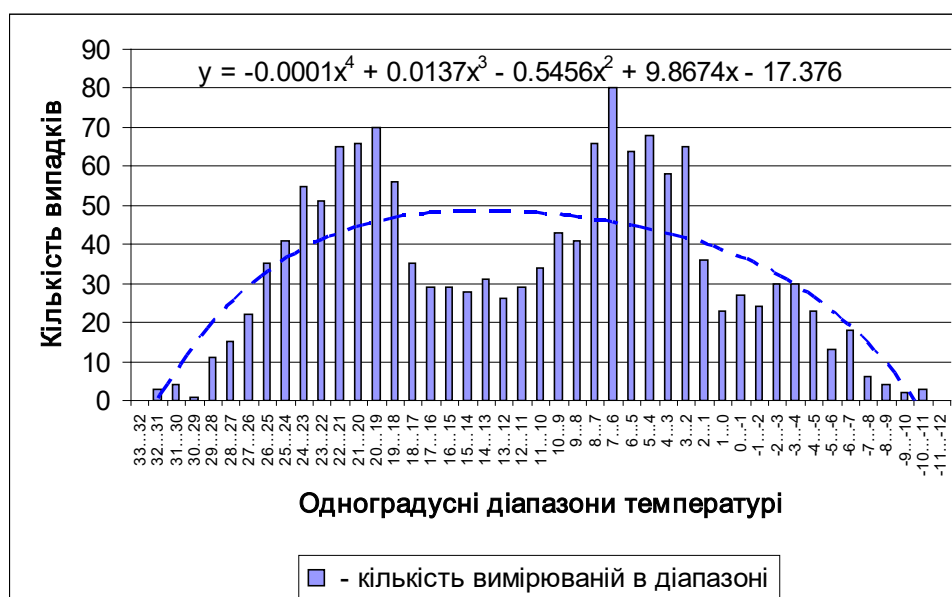


Рисунок 2.11 – Те саме, що і на рисунку 2.10, з додаванням поліноміального тренду 4-го ступеня

За сукупністю всіх вимірювань температури повітря було знайдено середнє для 2011 р. значення 11,4 °С, а за впорядкованим у порядку зменшення ряду тих же значень було визначено його медіану 10,2 °С.

Положення медіани ряду праворуч від середнього значення (медіана

менше середнього) вказує на лівий скіс розподілу, що видно на рисунку та відображено у від'ємному значенні коефіцієнта асиметрії (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Деякі статистичні характеристики рядів термінових значень температури повітря за 2011 та 2020 роки

Роки	Середнє значення ряду, °C	Стандартне відхилення, °C	Медіана ряду, °C	Коефіцієнт асиметрії	Коефіцієнт ексцесу
2011	11,4	9,5	10,2	- 0,043	-1,08
2020	13,5	8,4	13,0	0,099	-1,19

Визначено і коефіцієнт ексцесу як міра порівняння гостроти піку випадкової величини з піком нормального розподілу. Цей коефіцієнт визначено, можна сказати, формально, оскільки у нашому двовершинному розподілі та піку для порівняння немає. Зрозуміло, що ексцес за величиною буде далеким від нуля та від'ємним за знаком, що також відображено у таблиці 2.2.

Дугоподібна крива, що представлена на рисунку, як емпіричний розподіл, повинна мати, крім кінців, три екстремуми. Тому найменший ступінь полінома, який, у принципі, може змоделювати таку криву, це поліном 4-го ступеня. Поліноми 2-го та 3-го ступеня дають меншу величину показника достовірності апроксимації R^2 .

На рисунку 2.12 представлена аналогічна гістограма розподілу результатів вимірів температури повітря за 2020 рік. При чотирисрокових вимірах номінальна кількість вимірів у високосному році мала бути 1464. Фактично, за вирахуванням забракованих спостерігачами, їх виявило 1455.

Емпіричний розподіл, як і в 2011 р., виявився дво-modalним, але на відміну від нього мав правий скіс і, відповідно, додатний коефіцієнт асиметрії. Цей та інші параметри розподілу можна порівняти за допомогою таблиці 2.2.



Рисунок 2.12 – Гістограма розподілу 1455 термінових значень температури повітря, у найтеплішому з 1840 р., 2020 році.

На рисунку 2.13 представлена гістограма усереднених за два роки чисел строкових спостережень щодо кожного одноградусного осередку. Вона найвиразніше демонструє двомодальний характер розподілу.

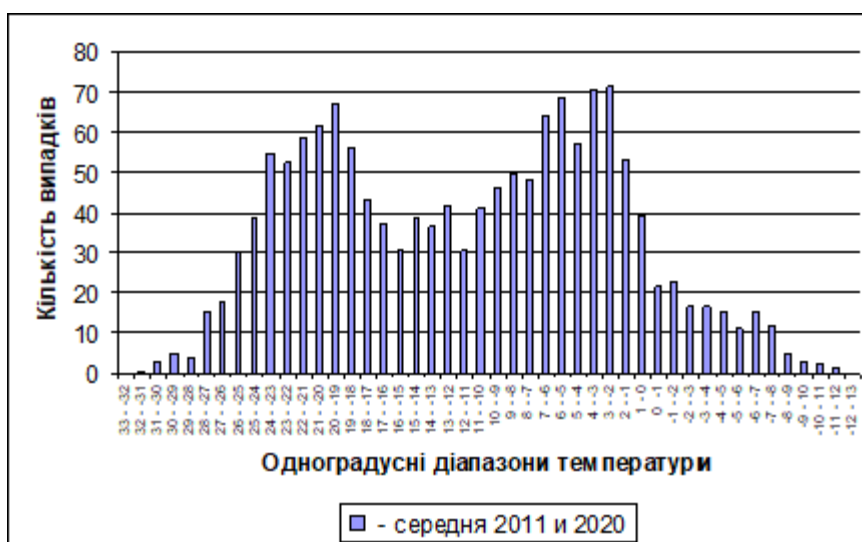


Рисунок 2.13 – Узагальнена гістограма спостережень температури повітря у 2011 та 2020 роках

Далі на рисунках 2.14 та 2.15 показані гістограми по рядах, які згладжені по 3 і 5 значень.

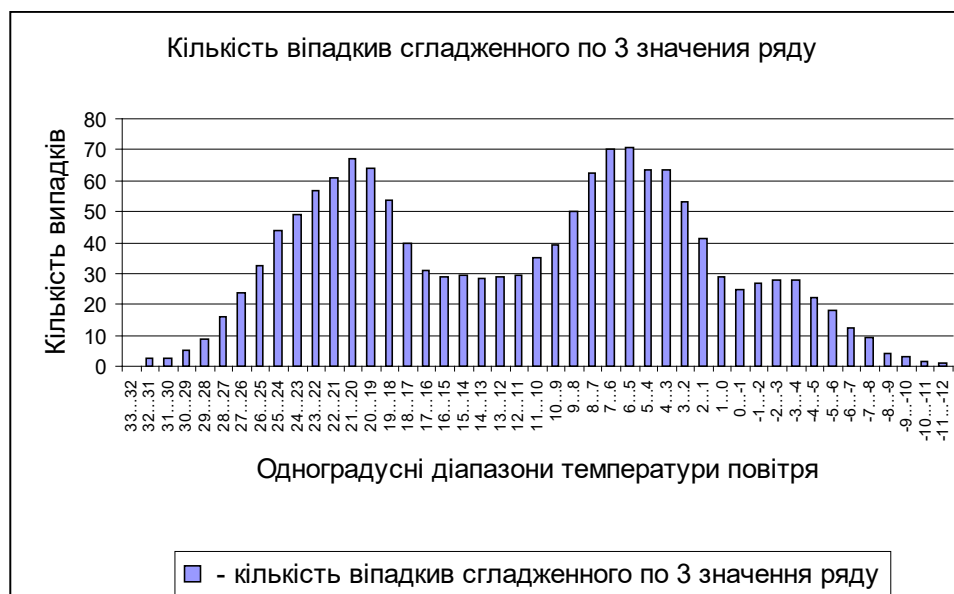


Рисунок 2.14 – Гістограма ряду спостережень згладженого по 3 значення

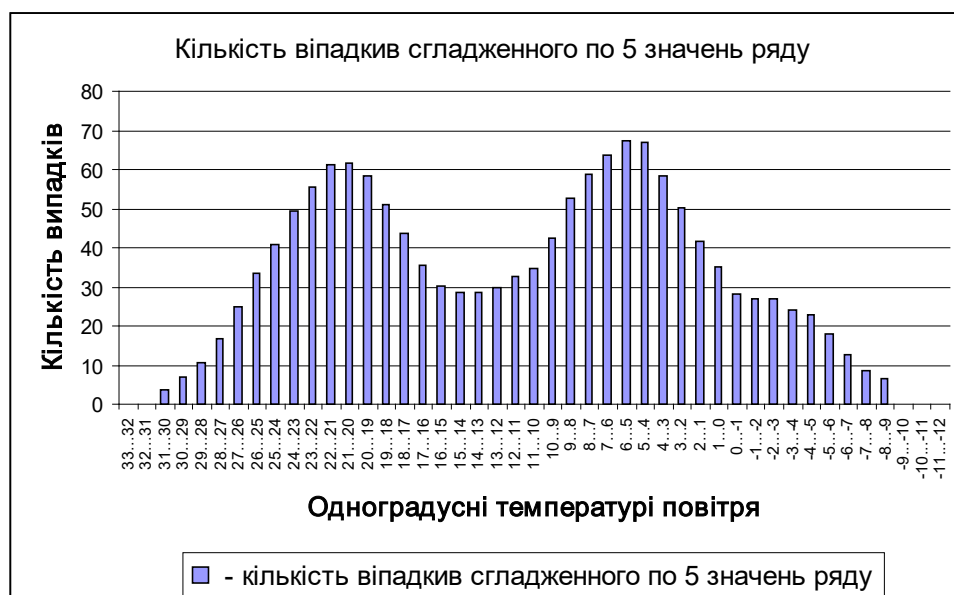


Рисунок 2.15 – Гістограма ряду спостережень згладженого по 5 значень

Після згладжування по 3 значення вихідної гістограми розподілу числа термінових вимірювань температури води за одноградусними діапазонами однозначно виявилися 3 моди статистичного розподілу.

Перша мода знаходиться в діапазоні температур 6 – 5 °С, 71 випадок (згладжені значення 80, 64 та 68).

Друга мода знаходиться в діапазоні температур 21 – 20 °С, 67 випадків (згладжені значення 65, 66 і 70).

Третя мода знаходиться в діапазоні температур -2 – -3 °С, 28 випадків (згладжені значення 24, 30 та 30).

Після згладжування ряду по 5-ть значень у гістограмі розподілу вимірювань температури повітря за одноградусними діапазонами третя мода попереднього рисунка зникла. Дві моди, що залишилися, знаходяться в тих же одноградусних діапазонних температурах, що і на рисунку 2.12 і мають наступні характеристики:

Перша мода знаходиться в діапазоні температур 6–5 °С, 67 випадків (згладжені значення 66, 80, 64, 68 та 58).

Друга мода знаходиться в діапазоні температур 21–20 °С, 62 випадки (згладжені значення 51, 65, 66, 70 та 56).

2.3 Температура морської води

Ряд середньорічних температур морської води з 1962 по 2023 рік представлений на рисунку 2.16. Його головна примітність полягає в тому, що середньорічна температура води за 2023 р. 14,2 °С виходить на перший рядок у списку найтепліших років.

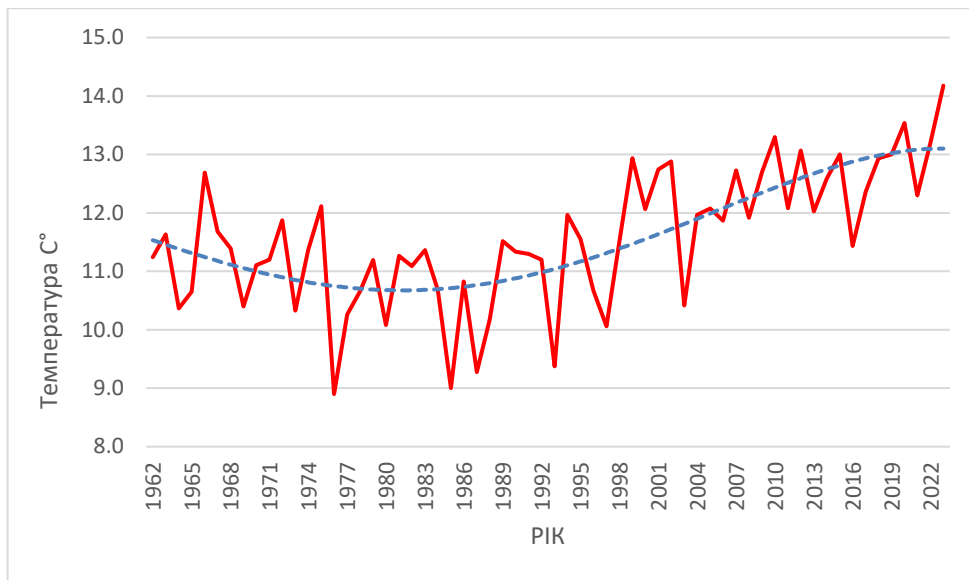


Рисунок 2.16 – Мінливість середньорічних температур морської води
(за даними ГМС «Одеса-порт»)

Аналіз архівних даних дозволяє стверджувати, що середньорічна температура води 2023 року найвища за всі роки спостережень в Одеському порту з 1915 року. На рисунку 2.17 наведено мінливість середньорічних температур морської води у 2001-2023 рр.

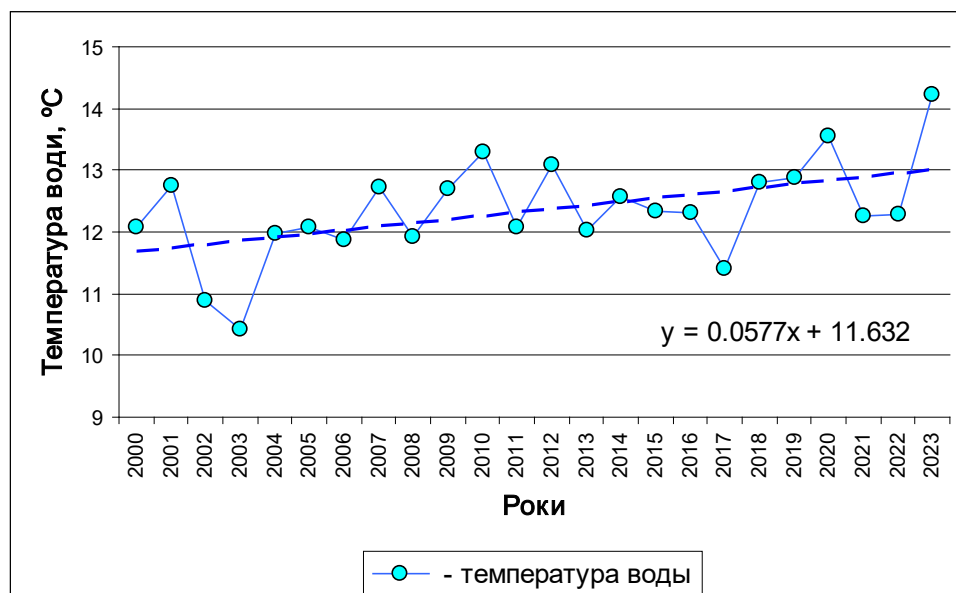


Рисунок 2.17 – Мінливість середньорічних температур морської води у
2001-2023 рр. (за даними ГМС «Одеса-порт»)

Порівняння рисунку 2.17 з рисунком 2.8 ряду показують зростання температури температури води та повітря практично з однаковою середньою швидкістю: для повітря $0,06 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$ та для води $0,07 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$. Окрім тенденцій до підвищення, досить узгоджено проходили й міжрічні зміни температури: принаймні найпрохолодніший 2003 та два найтепліші, 2023 та 2020 рр., однакові як для повітря, так і для води. Коефіцієнт кореляції з-поміж них – $0,78$, що з 24 пар значень робить його нульовим з ймовірністю $99,99 \%$.

Рисунок 2.18 для температури морської води в Одеському порту дає ще яскравішу ілюстрацію аномальності 2023 року. Тут лише у липні середня температура води близька до норми. У восьми випадках середньомісячні температури води перевищують свої норми більш ніж на $2 \text{ }^\circ\text{C}$, у вересні-листопаді – більш ніж на $3 \text{ }^\circ\text{C}$, у тому числі у вересні – на $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

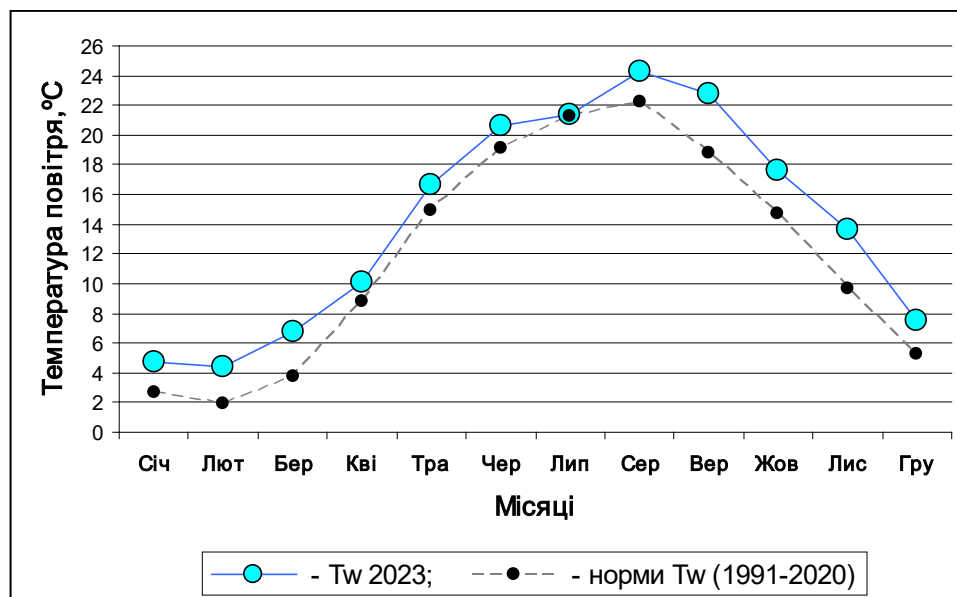


Рисунок 2.18 – Середньомісячні температури води 2023 року та діючі норми (за даними ГМС «Одеса-порт»)

Якщо об'єднати рисунки 2.8 і 2.17, то стає очевидним, що середньорічні температури морської води (T_w), як правило, вищі за температуру повітря (T_a) (рис. 2.19).

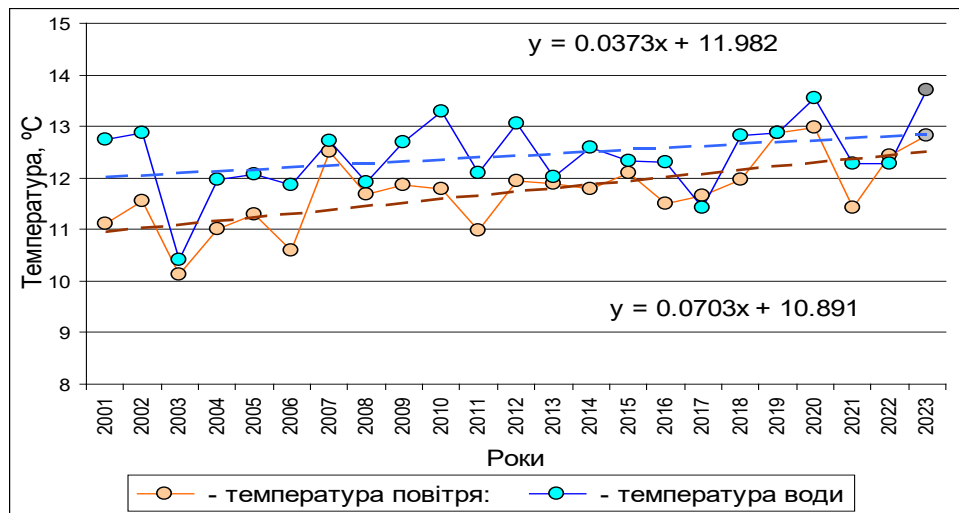


Рисунок 2.19 – Мінливість середньорічних температур повітря та води з початку поточного століття (за даними ГМС Одеса та МГС «Одеса-порт»)

За 23 роки додатні значення їхньої різниці, $T_w - T_a$, відзначені 20 разів, від'ємні – двічі і одна різниця виявилася нульовою. Середнє значення позитивних різниць дорівнює $0,81\text{ }^{\circ}\text{C}$, при максимумі $1,64\text{ }^{\circ}\text{C}$, а середнє значення трьох інших різниць всього $-0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Така явна асиметрія легко пояснюється зимовими значеннями температур, які для води обмежені знизу температурою замерзання $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для температури повітря такого обмеження немає.

Для порушення зазначеної закономірності треба, щоб в один рік зійшлися прохолодне літо, яке не дасть сильно піднятися T_w , та тепла зима, яка не дасть сильно опуститись T_a . Подивимося за рахунок чого виникли аномальні за знаком і величиною різниці температур в Одесі: $-0,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ у 2017 р., $-0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ у 2022 р. та нульова у 2019 р.

У 2017 р. середньорічна температура повітря, $11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, точно дорівнювала середній температурі з 2001 по 2023 рр. Не дивно тому, що в ранжованому за спаданням середньорічних температур списку 2017 р. знаходиться в самій його серединці на 14-му місці. Можна сказати, що внесок температури повітря в різницю $T_w - T_a$ є нейтральним. Проте середня за рік температура води, $11,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, в аналогічному списку знаходиться на передостанньому 22-му місці, і саме низька температура води визначила

рідкісний для різниці температур «вода-повітря» знак «мінус».

У 2022 р. середня температура повітря була високою, 12,4 °С, що на 0,7 °С вище за середню (високе 5-е місце в зазначеному списку). Головним чином саме через температуру повітря різниця температур $T_w - T_a$ виявилася від'ємною. Температура води, 12,3 °С, що всього на 0,1 °С нижче за середню, не заважала появі від'ємного статусу в різниці температур «вода-повітря», але й мало сприяла цьому.

У 2019 середня температура повітря була 12,9 °С на 1,2 °С вище за середню (2 місце в зазначеному списку). Температури води, 12,9 °С, будучи на 0,5 °С вище за середню, впливала в протилежному напрямку. Тому можна стверджувати, що саме висока температура повітря компенсувала роль температури води і тим самим привела їхню різницю до нуля.

2.4 Солоність морської води

Середньорічні значення солоності з початку століття змінювалися у діапазоні від 12,6 опс у 2006, 2013 та 2018 рр. до 15,6 опс у 2020 р. при середньому значенні 13,77 опс (рис. 2.20).

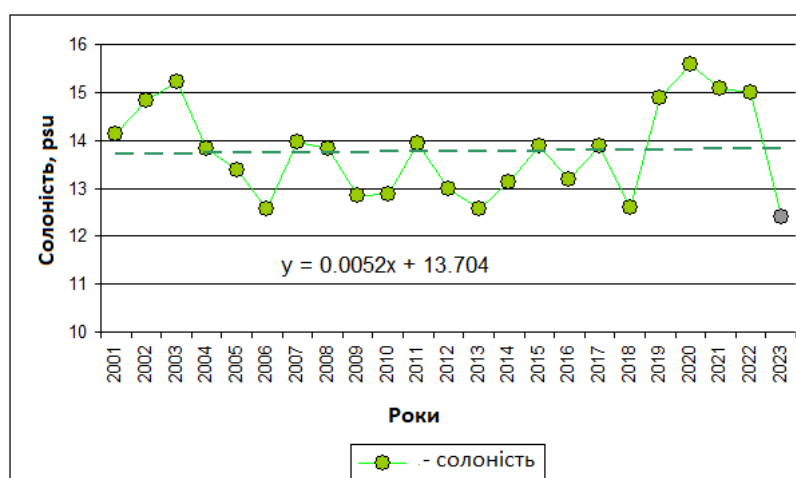


Рисунок 2.20 – Середньорічні значення солоності морської води у ХХІ столітті (за даними ГМС «Одеса-порт»)

Лінійний тренд та його рівняння, наведені малюнку, вказують на відсутність, у середньому, тенденції у змінах солоності в перші 23 роки поточного століття.

На рисунку 2.21 показані суміщені графіки місячних норм та середньомісячні значення солоності за 2023 рік.

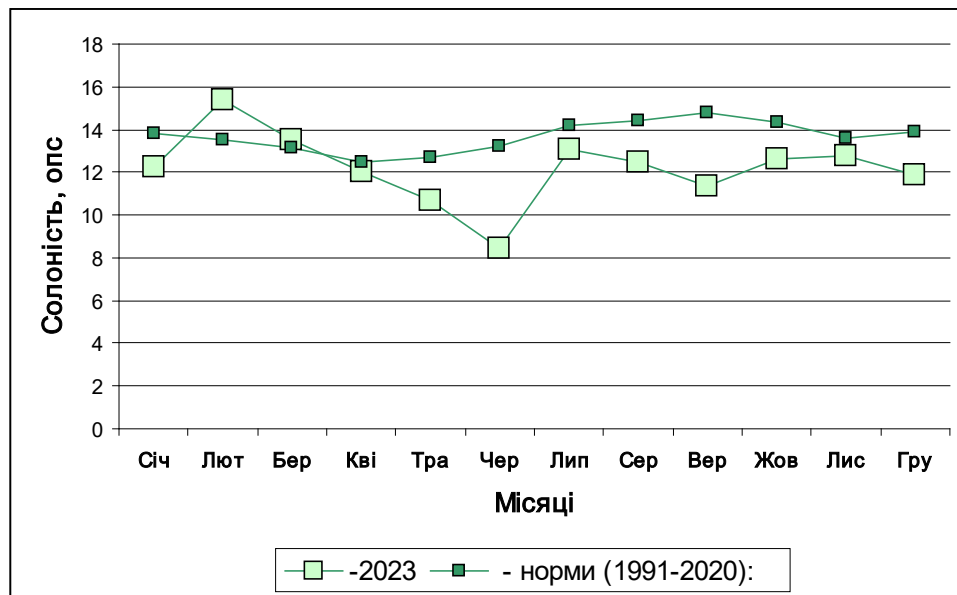


Рисунок 2.21 – Місячні норми солоності морської води та її середньомісячні значення за 2023 рік (за даними ГМС «Одеса-порт»). Середньомісячні значення двох останніх місяців замінені їх місячними нормами

Середнє за 2023 р. значення солоності, дорівнює 12,2 опс, що помітно менше річної норми 13,97 опс. Значна частина цієї відмінності в 1,6 опс зобов'язана мінімуму солоності в червні, а поява цього мінімуму, на жаль, пов'язана з підривом греблі Каховської ГЕС.

Середньомісячна солоність червня 2023 р. була 8,4 опс, при місячній нормі 13,6 опс. Після прориву греблі Каховського водосховища на чотири дні солоність, виміряна за добовими спостереженнями, опускалася до мінімуму 4,16 опс 13 червня. Про те, наскільки значним було це зниження солоності, говорить наступний факт: за 360 місяців 1991-2020 рр., за якими розраховані нині діючі норми, і за наступні 34 місяці 2021-2023 рр. середньомісячні

значення солоності нижче 8,4 опс траплялися лише двічі у січні 1999 р. та у березні 2018 р. Дуже ймовірно, що ці два мінімуми солоності пов'язані зі стоком Дніпра. Принаймні за обсягом стоку за січень-березень за 30 років з 1990 р. на першому місці знаходиться 1999, а на третьому 2018 р.

Поєднані щомісячні графіки часових змін основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів ГМС «Одеса-Порт» у 2023 році наведені у Додатку А.

2.5 Атмосферні опади

Перша в ХХІ столітті норма річної суми опадів була обчислена середнім 30 річних сум опадів з 1971 по 2000 рік. Вона діяла з 2001 по 2010 рік і дорівнювала 439 мм, друга норма, з 2011 року, дорівнювала 450 мм, а третя, що діє в поточному десятилітті, – 462 мм. Графік із 53 річних сум опадів із 1971 року (рис. 2.22) відбиває цю тенденцію поступового зростання кількості опадів.

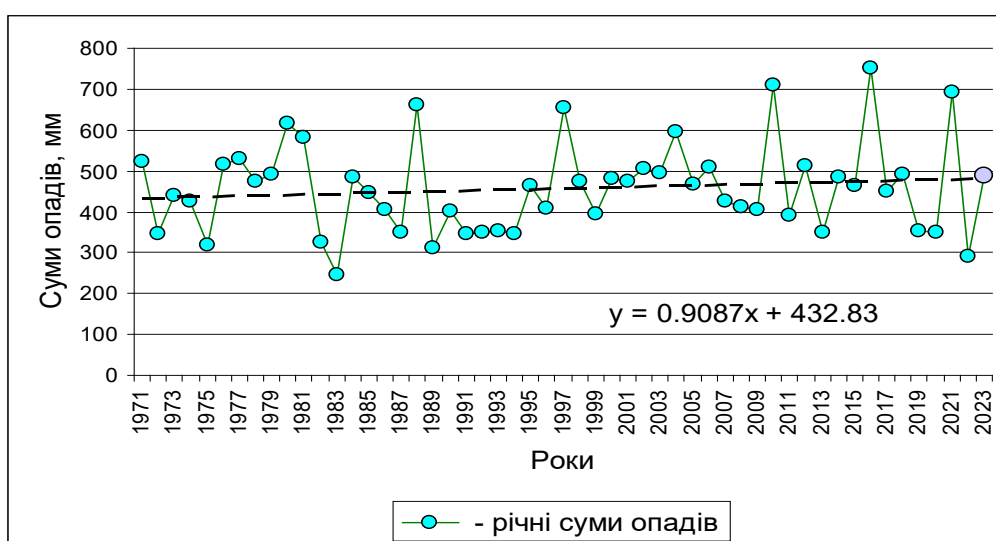


Рисунок 2.22 – Річні суми опадів за 1971-2023 рр. (за даними ГМС Одеса)

Цій тенденції зростання кількості опадів сприяли рекордний за весь час спостережень в Одесі 2016 р. (753 мм) та сильно вологі 2010 та 2021 рр., (709 мм та 693 мм, відповідно).

Відповідно до рівняння лінійної апроксимації на рисунку 2.22, кількість опадів збільшувалася, загалом, на 0,9 мм на рік, а в результаті за 53 роки збільшилась на 47 мм.

Однак останні кілька років намітився перелом у бік зменшення опадів, викликаний трьома роками з великим дефіцитом опадів. Їхні річні суми розташовані в безпосередній близькості від верхньої межі посушливих років, 340 мм, визначеної нами за 157-річним рядом спостережень з 1967 року. Це 2019 р. із сумою опадів 354 мм (78 % від чинної норми), 2020 р. – 349 мм (77 % від норми) і розташований вже серед посушливих років 2022 р. – 293 мм (63 % від норми).

Якщо, виходячи з рисунка 2.22, як рік перелому взяти, наприклад, 2002 р. (рис. 2.23), то частина ряду з 1971 по 2002 р. має майже нульову тенденцію зміни кількості опадів: за 32 роки річна сума опадів збільшилася, в середньому, лише на 2 мм.

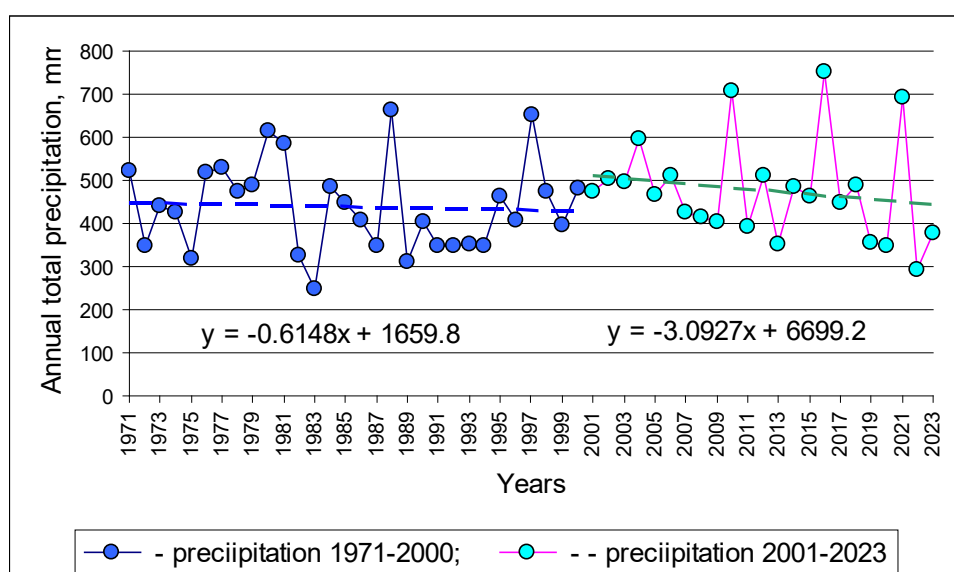


Рисунок 2.23 – Річні суми опадів за 1971-2002 рр. і 2002-2023 рр.

Друга частина ряду, з 2002 по 2023 рік, має явну тенденцію до зменшення кількості опадів: їх річні суми зменшувалися, в середньому, на 2,3 мм на рік і зменшилися за 22 роки на 47 мм.

На всіх рисунках останній підзвітний 2023 рік виділений кружком сірого кольору і попереджає про те, що фактична сума опадів грудня, останнього місяця, що ще не закінчився, не відома і замінена діючою грудневою нормою 35 мм.

З цією поправкою річна сума опадів у 2023 р. дорівнює 489 мм, і він знаходиться у верхній частині списку нормальних за вологістю років. Щоб 2023 рік перейшов у розряд вологих треба, щоб у грудні випало щонайменше 12 мм опадів, тобто на третину більше за норму. Така перспектива виглядає цілком імовірною, якщо врахувати, що у листопаді 2023 р. опадів випало 395 %, а у квітні 415 % від своїх місячних норм.

3. МІНЛИВОСТІ СТОКУ ДУНАЮ У 2023 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 [4], [5]. Моніторинг стоку Дунаю (рис. 3.1) можливо найважливіша частина екологічного моніторингу ПнЗЧ ЧМ. За останнє десятиліття відмічається деяке зниження стоку Дунаю відносно попередніх років.

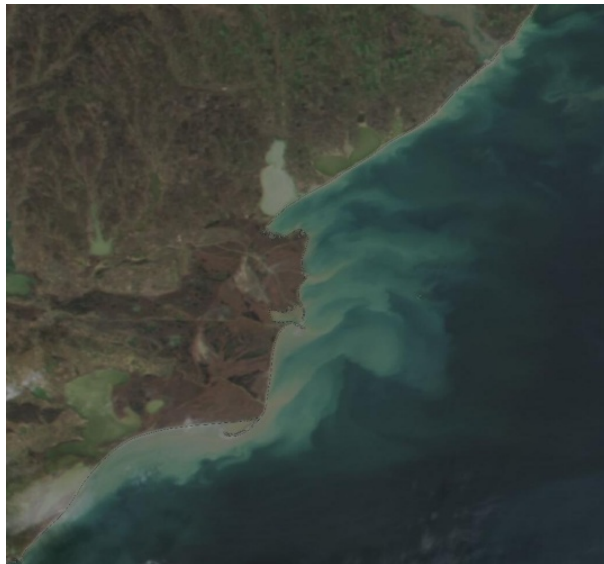


Рисунок 3.1 – Супутникове зображення дельти Дунаю 19 січня 2023 р.

На рисунку 3.2 представлено низку річних витрат Дунаю за 47 років, з 1977 по 2023 рік. Лінійний тренд показує, що витрати води в річці за цей час у середньому зменшувалися. Розрахунки за формулою лінійного тренду показали, що витрати зменшувалися зі швидкістю $0,6 \text{ км}^3/\text{рік}$ і взагалі зменшились на $28,7 \text{ км}^3$.

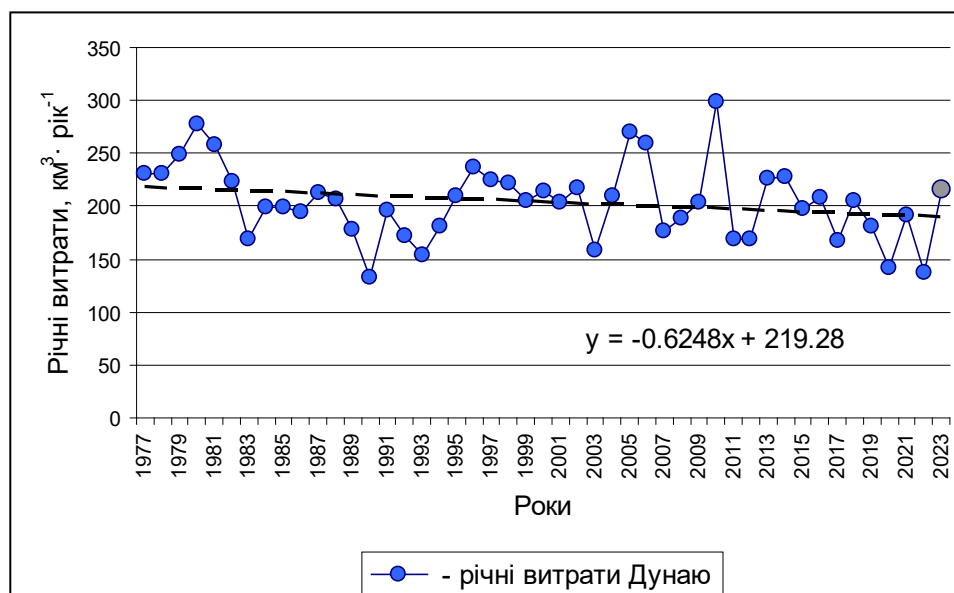


Рисунок 3.2 – Річні витрати води Дунаю з 1977 по 2023 р. (за даними Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії, м. Ізмаїл)

Для того, щоб виділити зміни витрат Дунаю в ХХІ столітті, ряд, представлений на рисунку 3.2, був розділений на два (рис. 3.3): 1977–2000 (24 роки) і 2001-2023 (23 роки). Цей рисунок теж підтверджує зниження, в середньому, витрат Дунаю на обох частинах ряду, причому приблизно з однаковими швидкостями 1,6 і 1,9 км³ на рік.

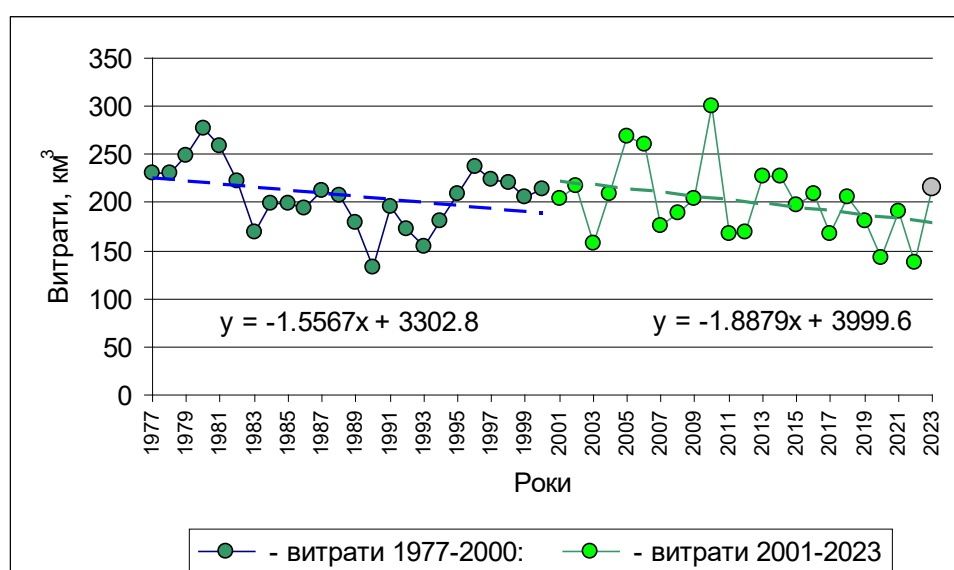


Рисунок 3.3 – Річні витрати води Дунаю з 1977 по 2023 рр. (за даними Дунайської гідрометеорологічної обсерваторії, м. Ізмаїл)

Однак ці швидкості не виглядають реалістичними, якщо їх порівняти зі зміною фактичних середніх, для зазначених часових відрізків, витрат, а саме: 207,3 та 201,1 км³ на рік.

На жаль, даних по витраті Дунаю за грудень 2023 р., поки немає і оцінка його витрати отримана за допомогою заміни грудневою нормою. Поки що, отримана в такий спосіб поточна оцінка витрати води у 2023 році, 215 км³, ненабагато, на 6 % вища за норму.

На відміну від попередніх двох років, коли максимальний стік Дунаю припадав на зимові місяці, в 2023 році максимум обсягу виходу річкових вод був в червні (рис.3.4).

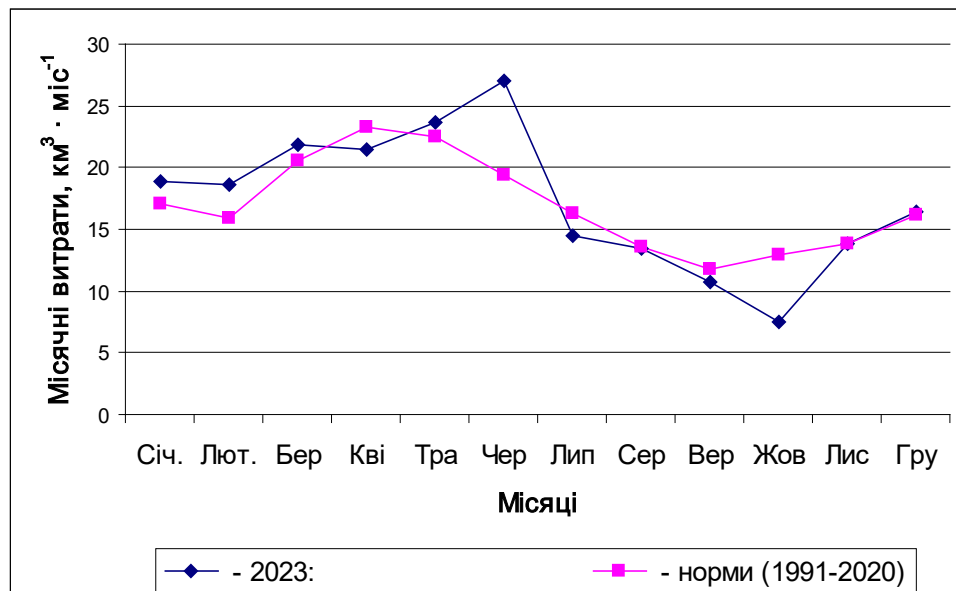


Рисунок 3.4 – Годограф середньомісячного стоку Дунаю за 2023 р. поєднаний з графіком середньомісячних норм.

4 ПОШИРЕННЯ ПОВЕНІ, ВИКЛИКАНОЇ ОБРУШЕННЯМ ДАМБИ КАХОВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА, У ЧЕРВНІ 2023 РОКУ

6 червня 2023 року в результаті підриву дамби Каховського водосховища відбулося обвальне скидання води в річку Дніпро (рис. 4.1), далі повенева хвиля досягла Дніпровсько-Бузького лиману (ДБ) і потім вийшла в акваторію ПнЗЧМ.



Рисунок 4.1 – Каховська ГЕС після вибуху 6 червня 2023 року

Фото: Інсайдер UA / Telegram

В результаті інтенсивного витoku води з резервуару Каховського водосховища через отвір у греблі, станом на 12.06.2023 р. у пониззя Дніпра надійшло 14,4 км³ води, що становило 72 % від об'єму вод накопичених у водосховищі до моменту руйнування греблі [6]. Гідродинамічні умови поширення повеневого потоку поверхнею ПнЗЧМ аналізувалися на підставі супутникової інформації та даних спостережень на прибережних станціях.

Супутникова інформація (супутник Sentinel-3) приймалася з порталу <https://wvs.earthdata.nasa.gov/>, а також були використані дані ГМС «Одеса-порт», СГМ порту Південний та ГМБ порту Чорноморськ. За рідкісними винятками, супутникові зображення не коригувалися.

Великий вплив, а часто і визначальний, на динаміку поверхневих вод ПнЗЧМ, має вітровий режим. На рисунку 4.2 наведено ПВД у порту Південний за червень 2023 року. З ПВД видно, що в період з 6 по 12 червня напрям вітру був нестабільним і швидкість його була незначною. На поширення повеневої хвилі в початковий період вітровий потік не міг суттєво впливати.

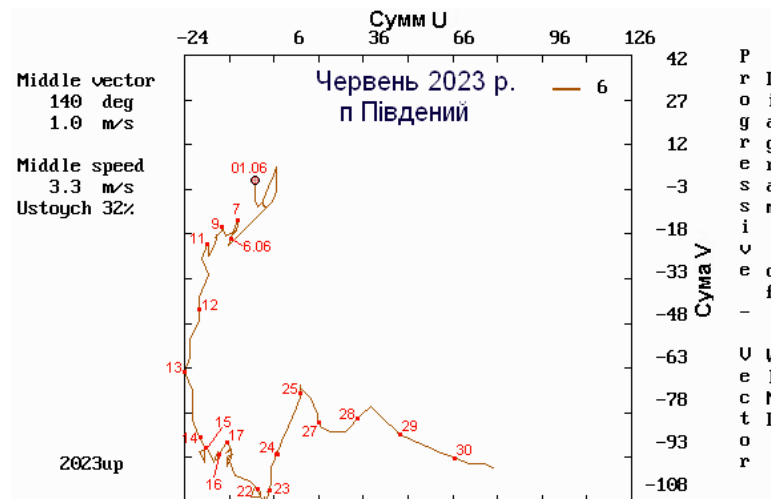


Рисунок 4.2 – Середньодобова прогресивно-векторна діаграма перенесення повітряних мас у червні 2023р. (за даними СГМ порту Південний)

Повеневі води ідентифікуються на знімках за кольором поверхні води. Для подальшого порівняння наведемо знімок, отриманий до катастрофи від 5 червня (рис. 4.3).

5 червня колір водної поверхні ДБ та ПнЗЧМ візуально рівномірний, темно-синій, заплава Дніпра зеленого кольору.

06 червня знімок зроблено о 8:30 за центрально-європейським часом (Central European Time, CET) (рис.4.3).

Обвалення греблі сталося о 2:54 за місцевим часом (1:54 CET), отже, за 6,5 годин повенева вода пройшла, із середньою швидкістю 4 м/с, відстань близько 95 км і досягла гирла Дніпра.

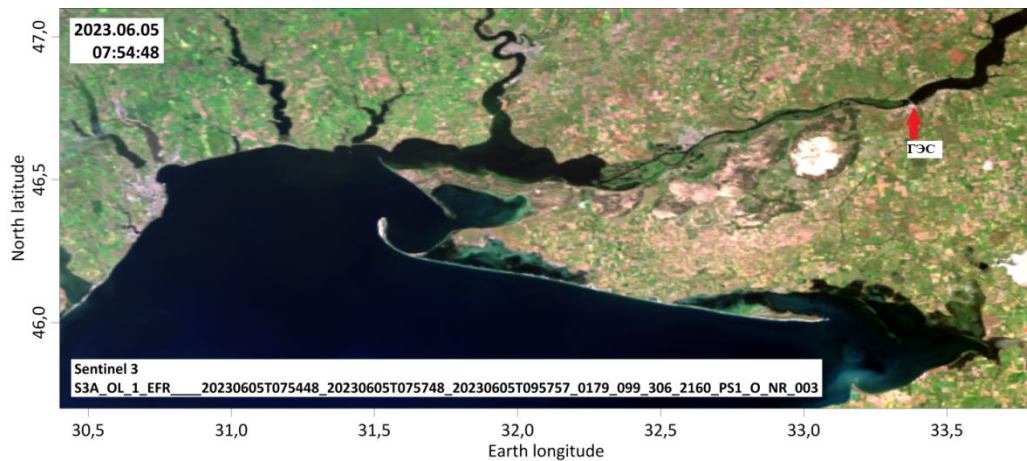


Рисунок 4.3 – Супутникове зображення ПнЗЧМ та р. Дніпро 05.06.2023 р.
Положення Каховської ГЕС показано червоною стрілкою.

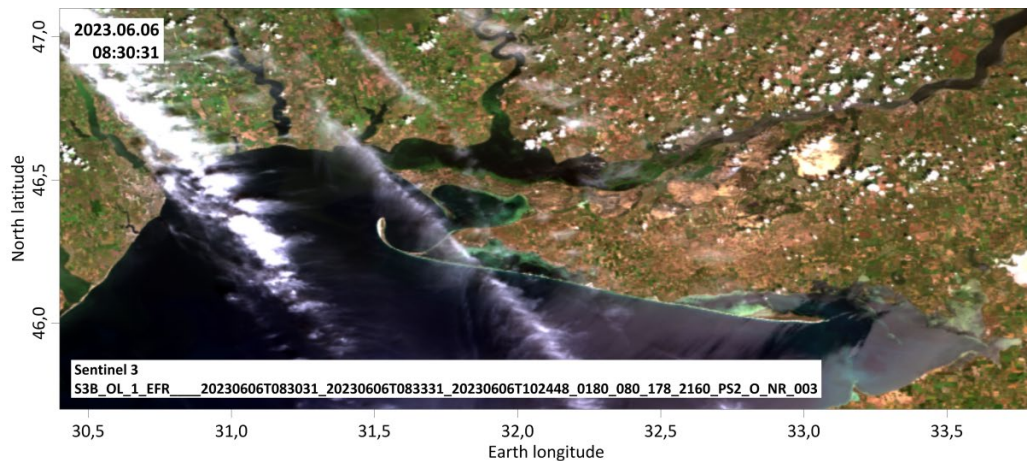


Рисунок 4.4 – Супутникове зображення ПнЗЧМ та р. Дніпро 06.06.2023 р

Через добу, 7 червня, видимий каламутний потік бурого кольору вже займав велику площу поверхні БД і, пройшовши ще 82 км, досяг порту Очаків (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 – Супутникове зображення ПнЗЧМ та р. Дніпро 07.06.2023 р.

На жаль, через хмарність знімок від 8 червня малоінформативний для цього району. За цю добу каламутний потік вийшов у відкрите море і, пройшовши відстань близько 55 км із середньою швидкістю 6 см/с, був відзначений спостерігачами в ОЗ.

На знімку за 9 червня добре видно, що при виході з ДБ лиману потік поширюється в південно-західному напрямку, відхиляючись від північного узбережжя, і потім потрапляє в антициклональний кругообіг (рис. 4.6). Швидкість поширення потоку у західному напрямку ослабла. Ширина потоку збільшилася, відстань від берега до мористого кордону загалом становила 23 км.

10 червня потік досяг порту Чорноморськ, площа поширення його поверхнею становила порядок 1280 км² (рис. 4.7).



Рисунок 4.6 – Супутникове зображення ПнЗЧМ та р. Дніпро 09.06.2023 р.



Рисунок 4.7– Супутникове зображення ПнЗЧМ та р. Дніпро 10.06.2023 р.

Солоність

Різке падіння солоності морської води на станції ГМС «Одеса-порт» спостерігалось 8 червня. Значення знизилися із 11,3 опс до 6,76 опс. Мінімальне значення солоності зафіксовано 13 червня – 4,16 опс (рис. 4.8).

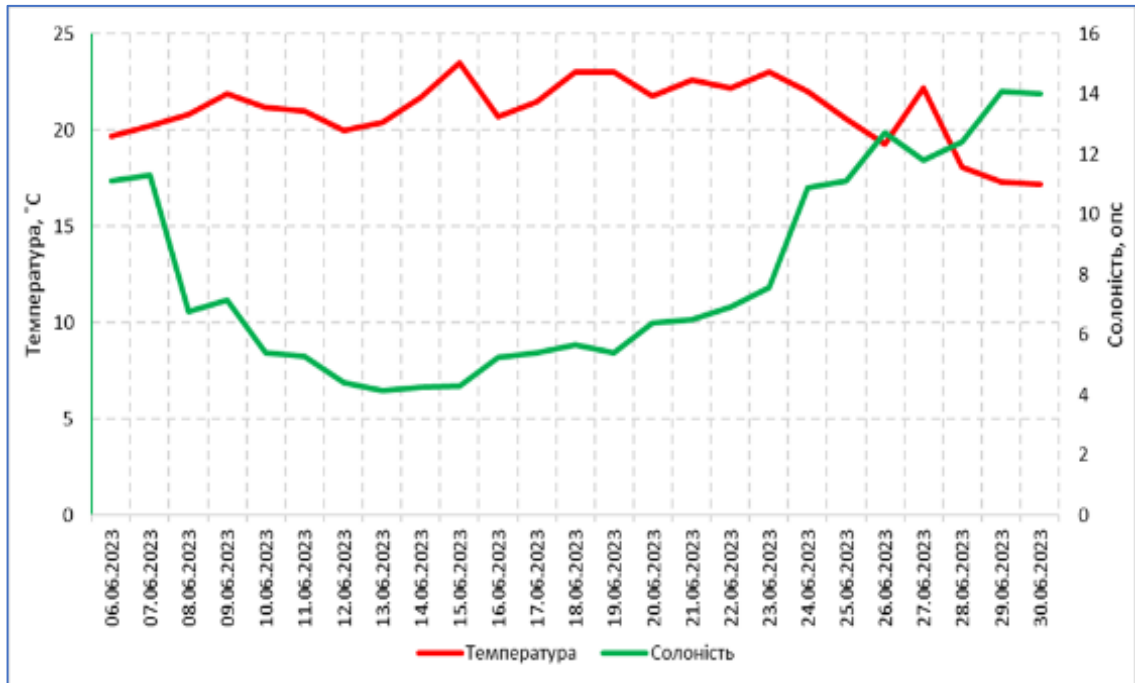


Рисунок 4.8 – Середньодобові значення температури та солоності морської води з 06.06.2023 по 30.06.23 за даними ГМС «Одеса порт»

За допомогою рисунка 4.8 відновимо хронологію деяких гідрологічних подій після першого, а це:

1. 06.06.23 2:54 – вибух на греблі. Солоність в Одеському порту 11,3 опс.
2. 07.06.23 – солоність в Одеському порту 10,2 опс.
3. 08.06.23 12:00 – солоність в Одеському порту понизилась до 6,76 опс.
4. 13.06.23 12:00 – досягнуто мінімум солоності – 4,16 опс.
5. 24.06.23 06:00 – солоність піднялася до 10,2 опс, а за годину до 10,9 опс і, таким чином, повернулася до рівня перед початком зниження.
6. Від вибуху до початку зниження солоності пройшла 1 доба та 14 годин (38 годин).

7. Від початку зниження солоності до мінімуму пройшло 4 діб та 18 годин (114 годин).
8. Від мінімуму солоності до повернення до значення 10,2 опс – 10 діб та 18 годин (258 годин).
9. Загальна тривалість зниження та підйому солоності – 16 діб 12 годин (310 годин).
10. Потім шлейф почав поширюватись уздовж західного узбережжя і 14 червня 2023р. досяг району розташування Тузловських лиманів.

Слід зазначити, що за останні двадцять років за даними ГМС «Одеса-порт» були зафіксовані і більш нижчі значення солоності морської води. Так 21.04.2006 р. значення солоності було 4,15 опс, 14.04.2013 р. – 3,25 опс.

Різке падіння солоності морської води на початку червня також було зазначено у пунктах спостережень міст Південне та Чорноморськ (рис. 4.9; табл. 4.1).



Рисунок 4.9 – Добовий перебіг значень солоності морської води у пунктах спостережень Одеси, Південного та Чорноморська у червні 2023 року о 12:00

Таблиця 4.1 – Солоність морської води

Місце спостереження	Дата	Значення солоності, опс		ΔS опс	Мін. значення	
		До	Після		Дата	Солоність, опс
Одеса	08.06	11,30	6,76	4,54	13.06	4,16
Південний	09.06	10,32	2,72	7,58	10.06	2,64
Чорноморск	10.06	7,50	5,60	1,90	13.06	2,81

З аналізу представленого матеріалу випливає, що повеневий потік, викликаний обваленням греблі Каховського водосховища, поширювався до ПнЗЧМ у західному напрямку та у перші дві доби відхилявся від північного узбережжя. Зниження значень солоності морської води в Одеському порту відбулося раніше, ніж у Південному, який розташований ближче до ДБ лиману на 20 км, це пов'язано з вихороподібною формою потоку.

Аварія на Каховській ГЕС значною мірою вплинула на екологічну обстановку морського середовища Північно-західного шельфу ЧМ [6]-[7].

Зазначимо, що у червні збіглися дві гідрологічні події: максимальний стік Дунаю (розд. 3, рис. 3.3) та вихід потужної аварійної повені з ДБ лиману, що згодом викликало процеси інтенсивного цвітіння. На рисунку 4.10 показано супутникове зображення розподілу Chl-*a* в поверхневому шарі ПдЗЧМ 24 червня 2023 року.

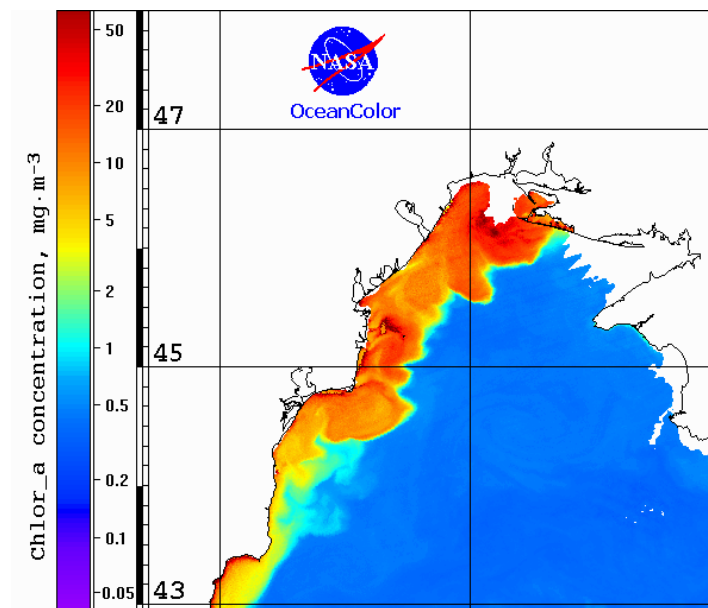


Рисунок 4.10 – Розподіл концентрації Chl-*a* в ПнЗЧМ 24.06.2023 р.

**5 МІНЛИВІСТЬ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ ПОЛІВ ВЕРХНЬОГО ШАРУ
ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ
2003-2022 РР.**

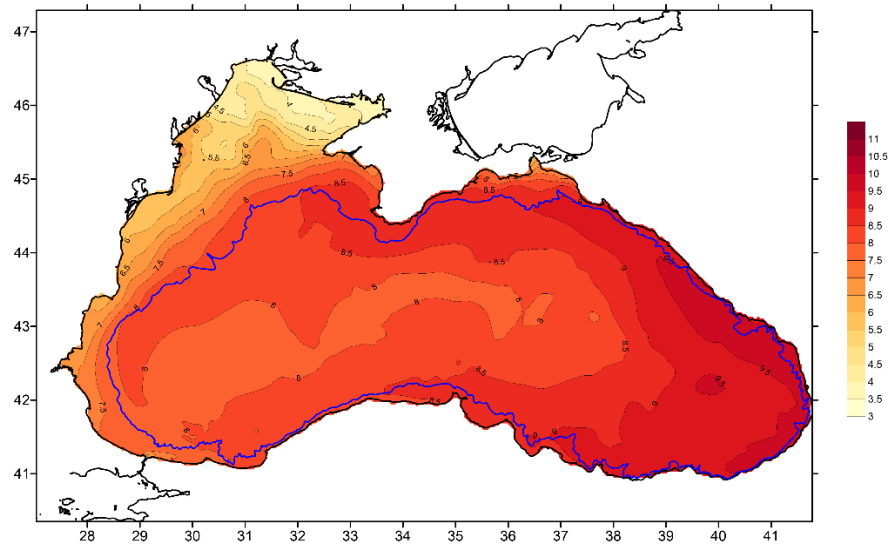
Для аналізу просторового розподілу та часової мінливості полів температури поверхні моря (ТПМ), солоності та кисню ЧМ були використані дані супутникових спостережень та математичного моделювання гідрофізичних процесів, що надаються Європейським космічним агентством СММСК з наступними параметрами: просторовий розподіл – 3x3 км, часовий розподіл – середньомісячні дані, по вертикалі – горизонт 2,5 м.

Розглянемо особливості просторового-часового розподілу основних параметрів (ТПМ, солоність, кисень) на прикладі даних для всіх сезонів. Вибірка проводилася для найбільш характерних місяців сезону (табл. 5.1).

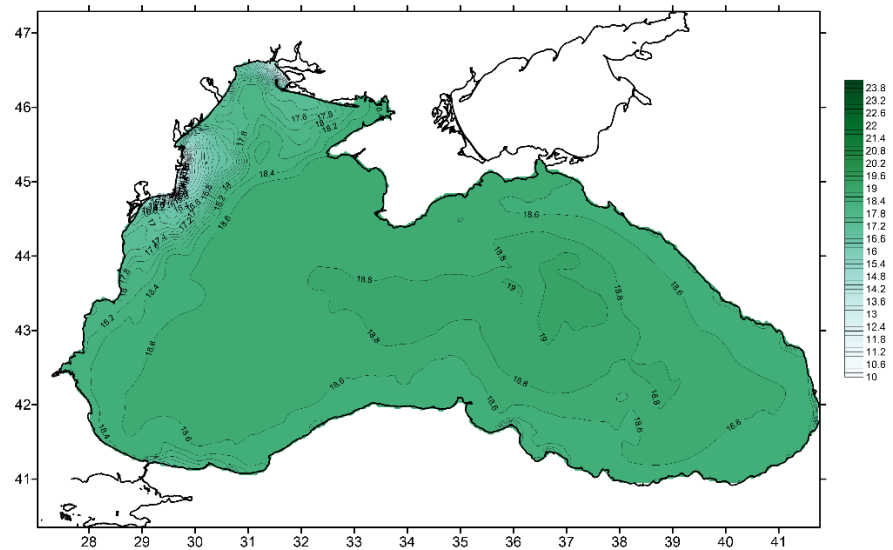
Таблиця 5.1 – Максимальні та мінімальні значення деяких
гідрологічних параметрів поверхні Чорного моря 2022 р.

Місяці	Т-ра води °С		Солоність опс		Кисень мл/л	
	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.
грудень	14.7	8.1	19.1	12.1	11.2	8.8
січень	11.1	4.7	19.1	11.7	10.9	9.6
лютий	9.7	3.6	19.1	12.8	11.3	9.9
березень	9.2	3.9	19.0	11.6	12.4	10.3
квітень	10.6	7.2	19.0	9.7	12.0	10.0
травень	15.8	13.8	19.0	9.3	12.2	9.3
червень	23.1	20.4	18.9	8.6	11.8	8.4
липень	25.2	21.5	18.9	9.6	11.2	7.9
серпень	28.4	23.7	19.0	9.9	10.7	7.6
вересень	26.2	20.7	19.1	11.6	9.5	7.8
жовтень	22.3	16.3	19.0	13.1	10.3	8.1
листопад	18.2	12.2	19.0	11.7	10.9	8.5

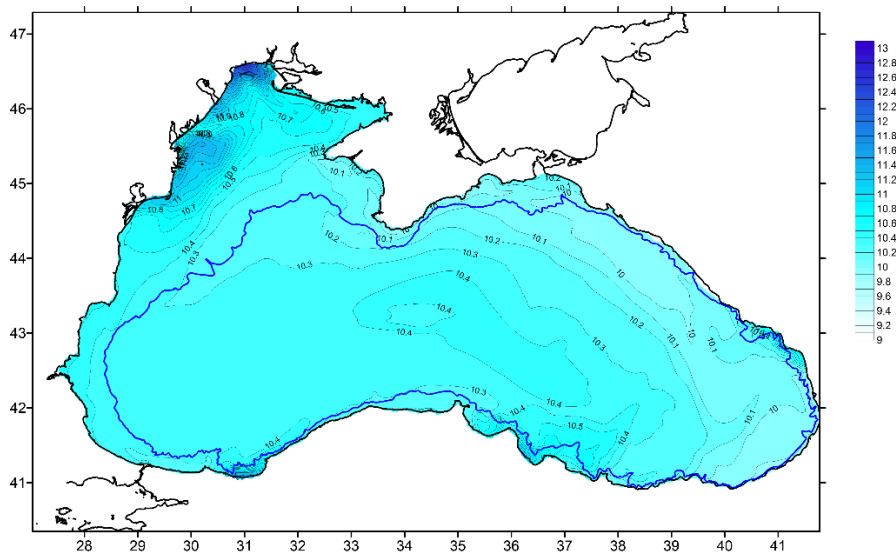
Для зимового періоду найбільш показовим виявився лютий (рис. 5.1), для весняного – квітень (рис. 5.2), для літнього – серпень (рис. 5.3), для осіннього – жовтень (рис. 5.4).



а)



б)



в)

Рисунок 5.1 – Просторовий розподіл температури (а), солоності(б), кисню (в)
на поверхні Чорного моря, лютий 2022 р.

Для ТПМ в зимовий період (рис. 5.1а) максимальна температура відзначається в східній частині моря (9,7 °С), мінімальна – в ПнЗЧМ, що є мілководною, яка легко вихолоджується, знаходиться під впливом холодного стоку річок – 3,6 °С. Центральна частина моря зайнята водами з температурою 9,5-9,7 °С.

Для розподілу солоності (рис. 5.1б) характерний мінімум в ПнЗЧМ (12,8 опс), обумовлений стоком річок (район Дніпровсько-Бузького лиману, Дністровського лиману, стоку р. Дунай). Максимальні значення солоності відмічені в центральній частині Чорного моря з величинами – 19,1 опс.

У просторовому розподілі полів кисню (рис. 5.1в) максимум значень (11,3 мг/л) розташовується в ПнЗЧМ і обумовлений стоком річок. Мінімальні значення (9,9 мг/л) відзначаються в східній частині моря вздовж Кавказького узбережжя. В основному, для всієї акваторії моря, значення кисню на поверхні становлять від 10,2 до 10,4 мг/л.

Для ТПМ у весняний період (рис. 5.2а) діапазон температури коливається в середньому для всього моря від 9,5 °С до 10,0 °С. Але при цьому, розподіл такий: максимальна температура відзначається в східній частині моря вздовж Кавказького узбережжя (10,6°С), мінімальна – в ПнЗЧМ в районі Кіркінітської затоки – 7,2°С. Ще один відносний мінімум з ТПМ 9,5-9,6 °С розташований в центральній частині моря.

Для розподілу солоності (рис. 2б) характерний мінімум в ПнЗЧМ (9,7 опс), обумовлений стоком річок (район Дніпровсько-Бузького лиману, Дністровського лиману, і, особливо, стоку р. Дунай). Максимальні значення солоності приурочені до центральної частини Чорного моря з величинами – 19,0 опс. У середньому солоність для всієї акваторії моря коливається в межах 18,6-18,8 опс.

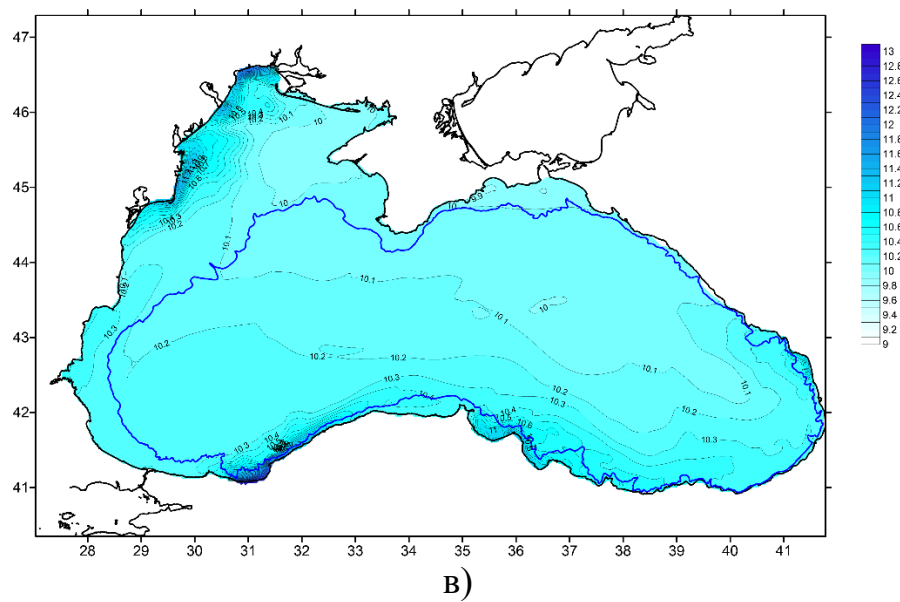
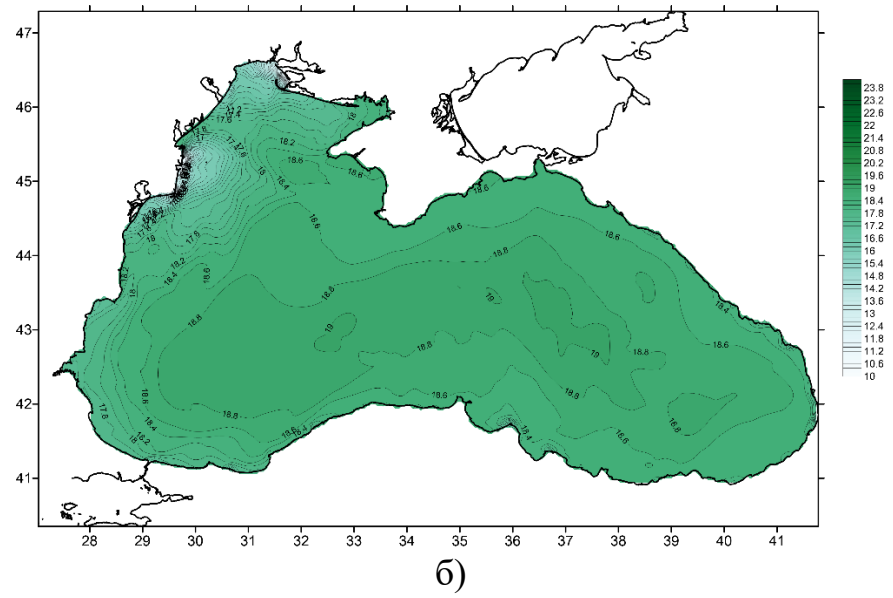
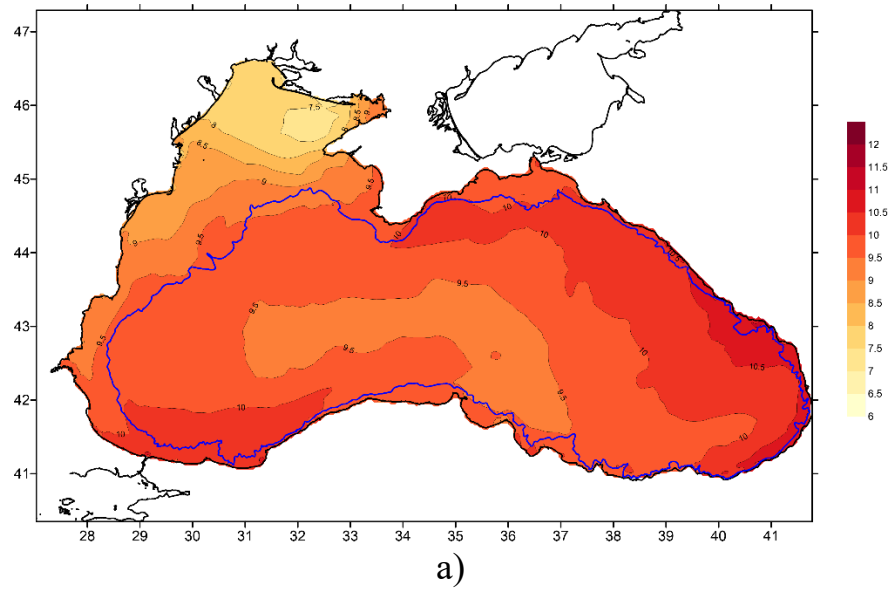


Рисунок 5.2 – Просторовий розподіл температури (а), солоності (б), кисню (в) на поверхні Чорного моря, квітень 2022 р.

У просторовому розподілі полів кисню (рис. 5.2в) максимум значень (11,3 мг/л) розташовується в ПнЗЧМ і обумовлений стоком річок. Окремі максимуми значень кисню, також обумовлені стоком річок, розташовуються вздовж південного узбережжя моря (Туреччина) – до 11,0 мг/л і вздовж Кавказького узбережжя – до 10,6 мг/л у місцях впадіння річок у море. Мінімальні значення (9,9 мг/л) позначаються в східній частині моря. В основному, для всієї акваторії моря, значення кисню становлять від 10,2 мг/л до 10,4 мг/л.

Для літнього сезону (рис. 5.3а) розподіл ТПМ наступний: три чверті водного простору займають водні маси з температурою від 26,0 °С і вище з максимальними значеннями понад 28,0 °С у східній частині моря. Мінімальні значення від 26,0 °С до 23,7 °С – у ПнЗЧМ в районі Дніпровсько-Бузького лиману та Каркінітської затоки.

У літній період (рис. 5.3б) центральна частина Чорного моря характеризується солоністю понад 18,6 опс, з максимальними значеннями 19,0 опс. Більша частина простору сформована водами із солоністю в межах 18,4÷18,6 опс. Звертає увагу високий рівень солоності 18,0 опс у Каркінітській затоці. Райони з пониженою солоністю спостерігаються поблизу Дніпровсько-Бузького лиману зі значеннями від 15 опс до 10 опс. Також вздовж узбережжя від Дністровського лиману до Болгарії сформувалася смуга вод зниженої солоності зі значеннями від 15 опс і менше (мінімум 9,3 опс).

По розподілу кисню (рис. 5.3в), акваторія Чорного моря поділяється на дві частини – центральна і Північно-Західну, також смуги узбережжя Криму. Три чверті вод мають насиченість киснем в діапазоні 7,9-8,1 мг/л і займають центральну частину Чорного моря. В Пн-ЗЧМ та вздовж берегів Криму, в районах витоку вод насиченість киснем росте від 8,2 мг/л до 10,7 мг/л. Окрема полоса вод насичених киснем від 8,2 мг/л до 9,0 мг/л спостерігається вздовж узбережжя Туреччини і пов'язана зі стоком гірських річок.

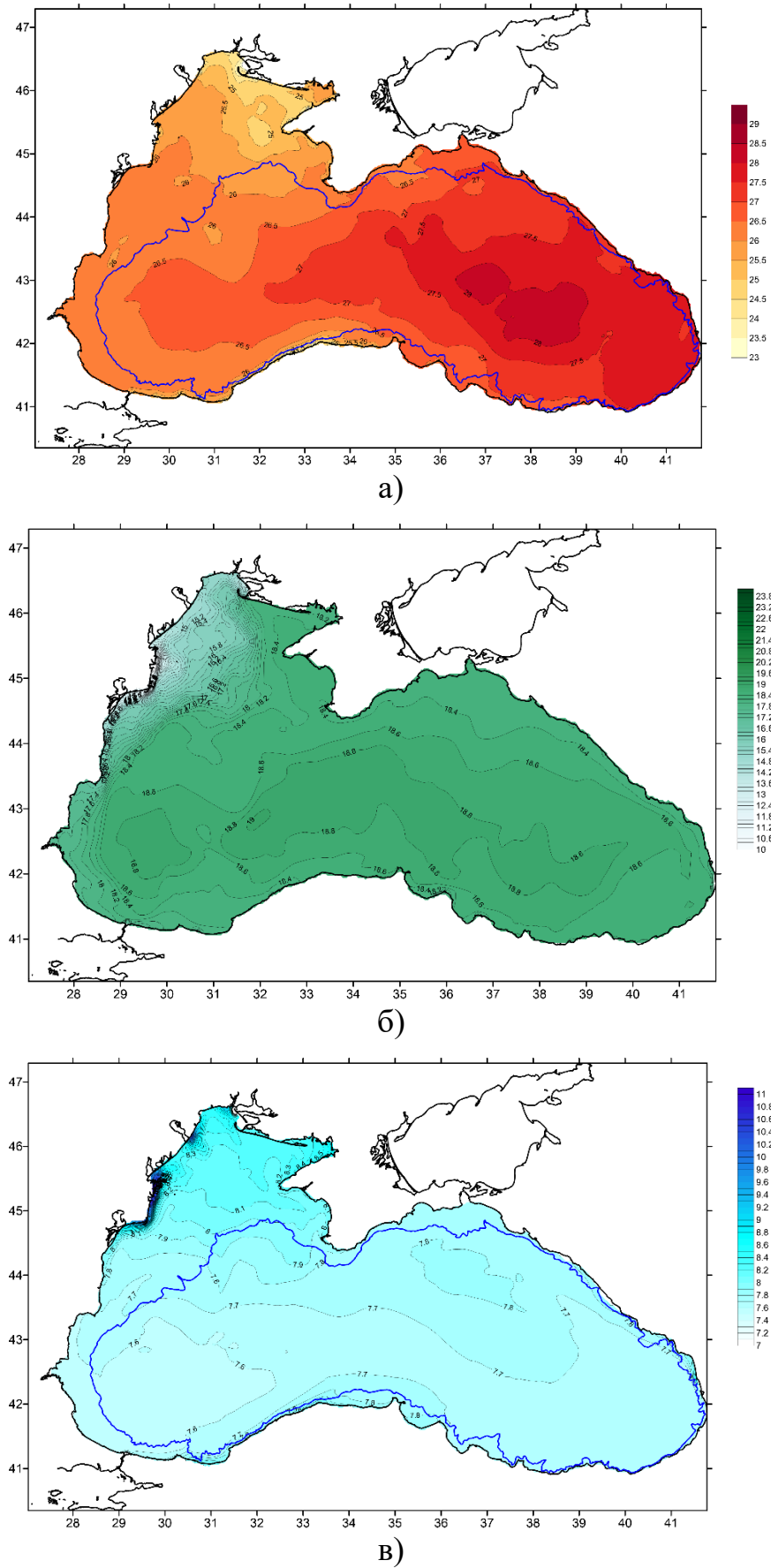


Рисунок 5.3 – Просторовий розподіл температури (а), солоності (б), кисню (в) на поверхні Чорного моря, серпень 2022 р

Просторовий розподіл ТПМ в осінній період (рис. 5.4а) визначається високою температурою в східній частині моря – область окреслюється ізотермами від 20,0 °С до 21,5 °С (максимум 22,3 °С). Центральна частина моря окреслюється ізотермами 18,5-19,5 °С (мінімум 18,4 °С). Мінімальна температура поверхні моря спостерігається в ПнЗЧМ і зовнішня границя окреслена ізотермою 18,0 °С з мінімальними значеннями в районі Дніпровсько-Бузького лиману – до 16,3 °С.

В осінній період (рис. 5.4б) центральну частину Чорного моря займає область із солоністю 18,6-18,8 опс, з максимумом більш, ніж 19,0 опс. Уздовж південного узбережжя Чорного моря тягнеться смуга вод із солоністю нижче 18,4 опс, обумовлена інтенсифікацією ОЧТ і переносом менш солоних вод від Босфору та стоком гірських річок. У ПнЗЧМ від Дніпровсько-Бузького лиману до узбережжя Болгарії сформувалась велика область зниженої солоності, обумовлена збільшеним стоком річок, пов'язаного з осінньою повіню. Просторово простежуються два райони з низькою солоністю: Дніпровсько-Бузький лиман, солоність від 16,4 опс до 12,0 опс, і великий район, обумовлений стоком р. Дунай з солоністю від 16,8 опс до 11, 7 опс.

По розподілу кисню (рис. 5.4в), акваторія Чорного моря поділяється на частини з середньою, низькою та великою концентрацією. ПнЗЧМ характеризується максимальним розподілом кисню в місцях витоку річок: Дніпровсько-Бузький і Дністровський лимани та р. Дунай. Також є локальні максимуми у місцях витоку річок уздовж берегів Туреччини та Кавказу. Максимальні значення досягають 10,9 мг/л в дельті р. Дунай. В цілому треба підкреслити ще локальні максимуми, пов'язані з динамічними структурами – Батумським та Севастопольським антициклональними вихорами, де максимуми кисню збігаються з центрами динамічних структур і досягають значень більш, ніж 8,3 мг/л для Батумського вихора і більш, ніж 8,8 мг/л, для Севастопольського. Основна частина поверхневих вод Чорного моря має насиченість киснем 8,3-8,6 мг/л і займає центральну частину моря. Мінімум насиченості кисню – 8,1 мг/л розташований в східній частині моря.

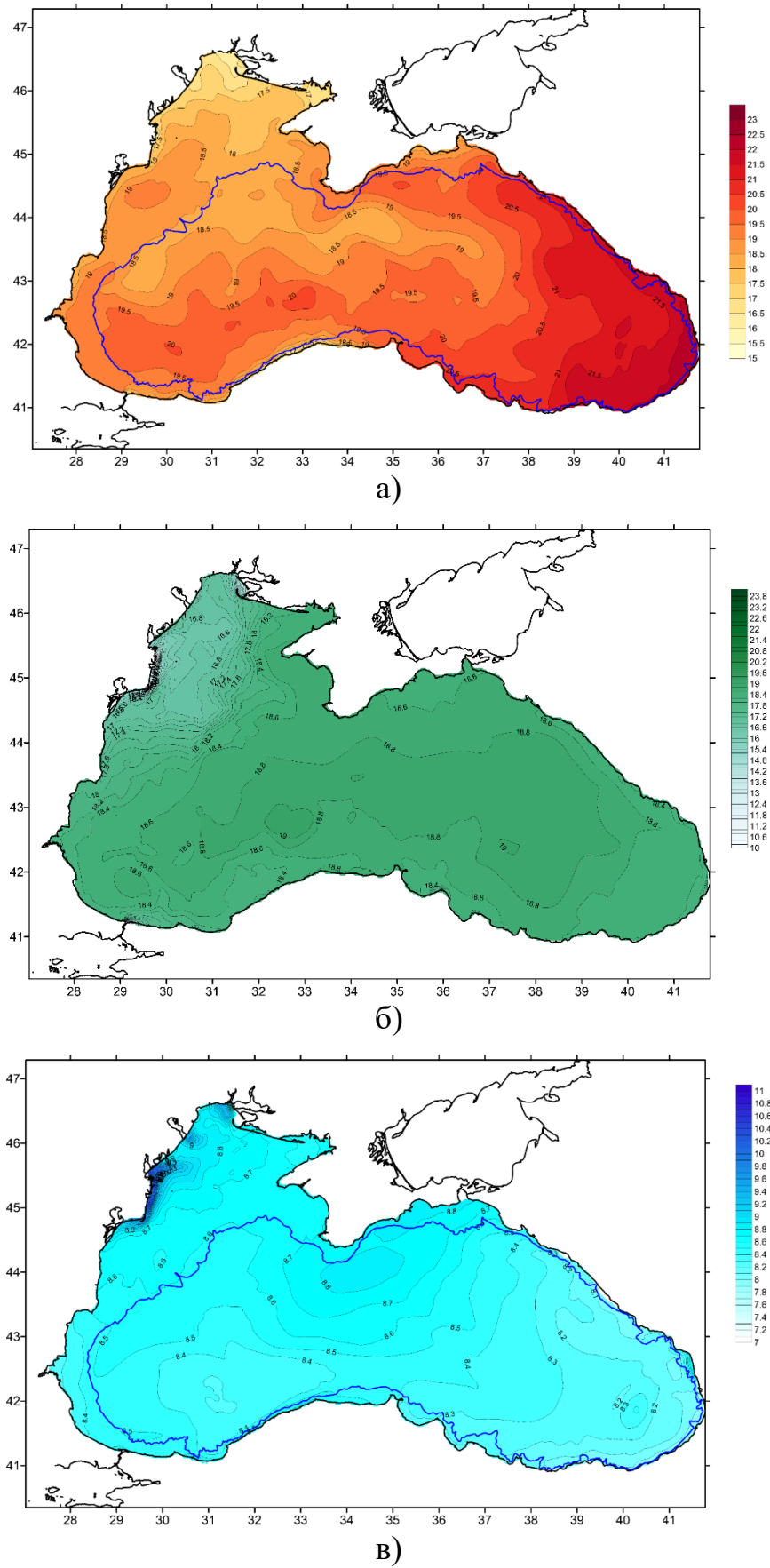


Рисунок 5.4 – Просторовий розподіл температури (а), солоності (б), кисню (в) на поверхні Чорного моря, жовтень 2022 р.

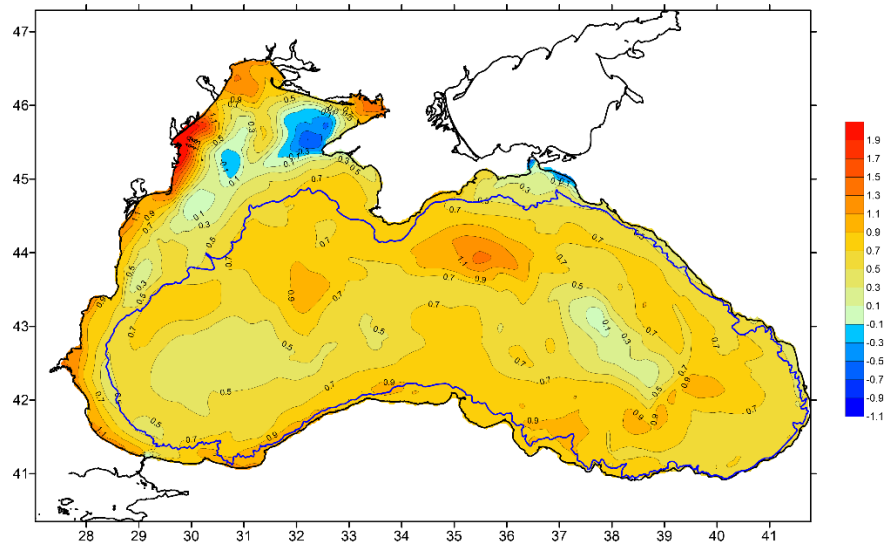
Аналіз величин відхилень від кліматичних полів ТПМ, солоності та кисню за 2022 рік.

За кліматичні дані було прийнято середні значення параметрів для кожного місяця за період з 1993 по 2022 роки.

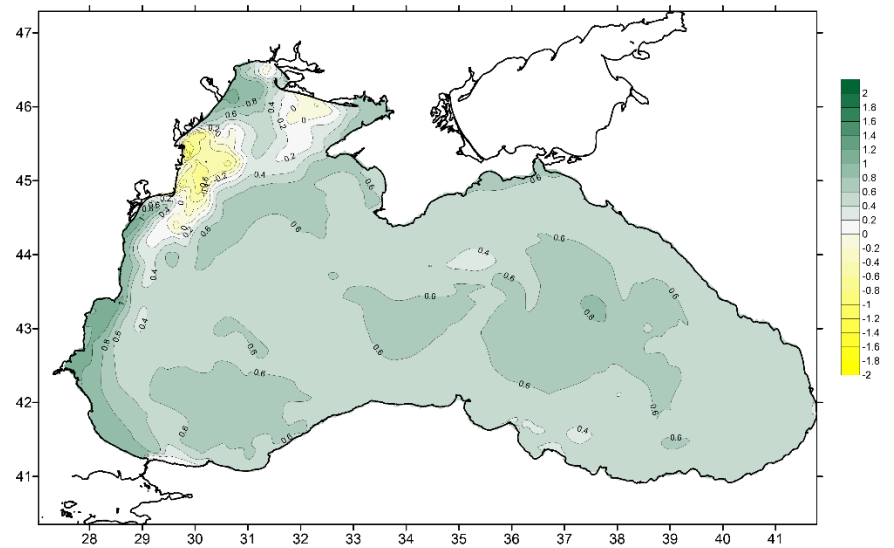
Для зимового періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень (рис. 5.5а) мають додатній характер з максимальними значеннями у районах стоку річок (Дніпровсько-Бузький лиман, Дністровський лиман, р. Дунай) та район Кіркінітської затоки. В цілому для всього Чорного моря температура поверхні водив зимовий період була вище від кліматичної.

Відхилення солоності від кліматичних значень для зимового періоду (рис. 5.5б) теж має додатній характер для всієї акваторії Чорного моря. Винятком є області Дніпровсько-Бузького лиману і, особливо, району стоку р. Дунай, де відхилення носять від'ємні значення, обумовлені стоком річок. Максимум додатних відхилень простягається уздовж узбережжя Болгарії до Босфору і перевищує 1,0 опс. Максимум від'ємних значень (до -1,0 опс) прив'язаний до району стоку р. Дунай.

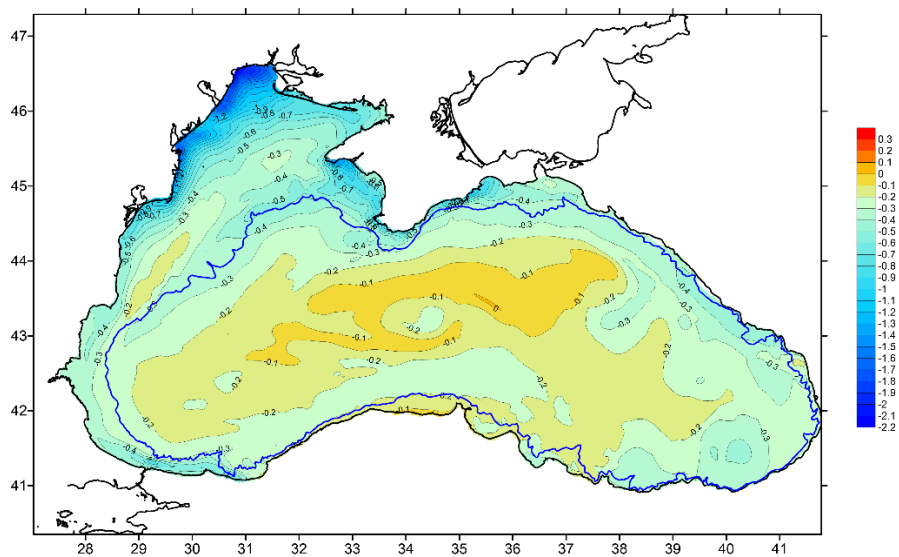
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для зимового періоду (рис. 5.5в) має від'ємний характер для всього Чорного моря. Максимальні значення характерні для всієї ПнЗЧМ і обумовлені зменшеним стоком річок регіону. Уся центральна частина Чорного моря має від'ємний характер вмісту кисню в діапазоні 0,1-0,3 мг/л. Додатних значень вмісту кисню для зимового періоду не має.



а)



б)



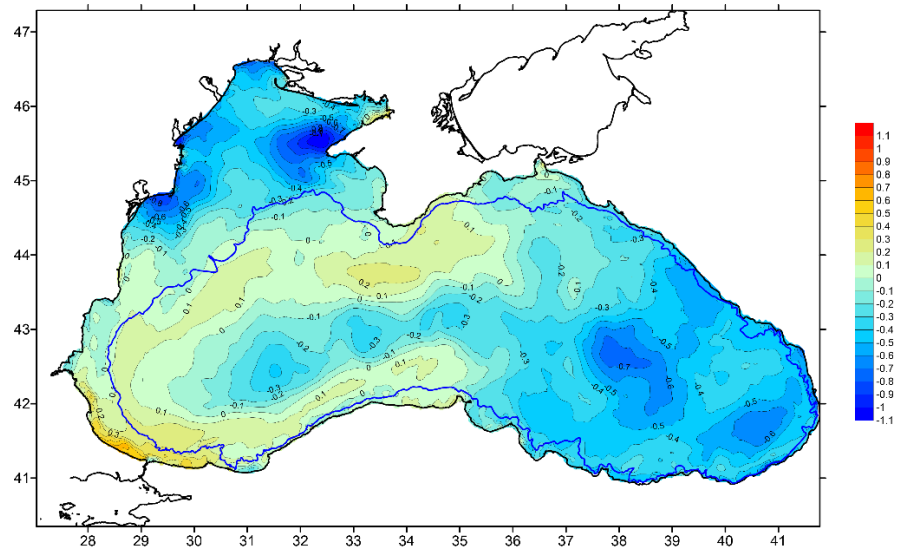
в)

Рисунок 5.5 – Відхилення від кліматичних значень температури (а), солоності (б), кисню (в) у лютому 2022 р.

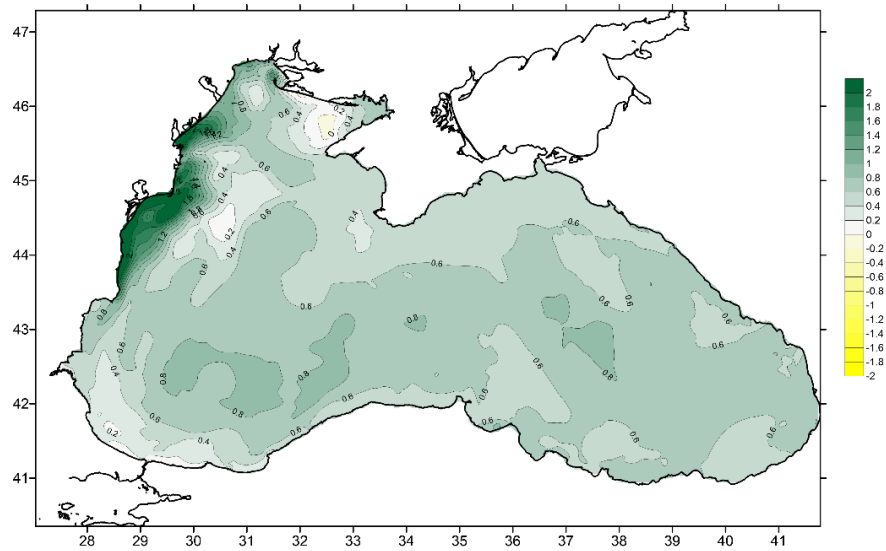
Для весняного періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень мають від'ємний характер майже для всього Чорного моря (рис. 5.6а) з максимальними значеннями у районах стоку річок (Дніпровсько-Бузький лиман, Дністровський лиман, р. Дунай), в районі Кіркінітської затоки, в східній частині моря і частково центральної. Додатній характер відхилення ТПМ від кліматичних значень розташовуються південніше Криму та частково вздовж узбережжя Туреччини. В цілому для всього Чорного моря температура поверхні води в весняний період 2022 р. була нижче від кліматичної.

Відхилення солоності від кліматичних значень для весняного періоду (рис. 5.6б) має додатній характер для всієї акваторії Чорного моря. Особливо великі відхилення спостерігаються в районах Дніпровсько-Бузького лиману і, особливо, стоку р. Дунай, де додатні відхилення носять максимальний характер, що вказує на падіння стоку річок відносно кліматичних значень. Максимум додатних відхилень досягає 2,0 опс і займає велику площу напроти дельти р. Дунай. Максимум від'ємних значень (до -1,0 опс) розташований в районі Кіркінітської затоки.

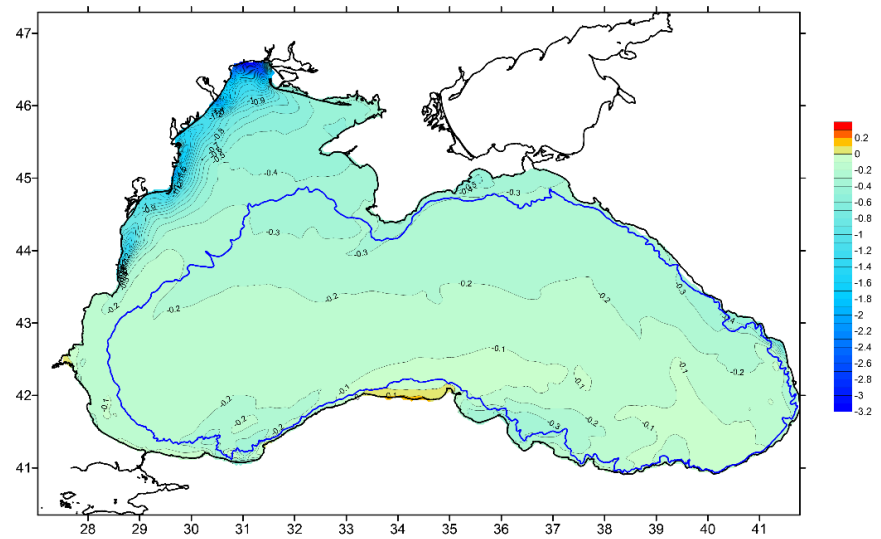
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для весняного періоду (рис. 5.6в) має від'ємний характер для всього Чорного моря. Максимальні значення характерні для всієї ПнЗЧМ і обумовлені зменшеним стоком річок регіону. Уся центральна частина Чорного моря має від'ємний характер вмісту кисню в діапазоні 0,1-0,3 мг/л. Додатних значень вмісту кисню для весняного періоду не має.



а)



б)



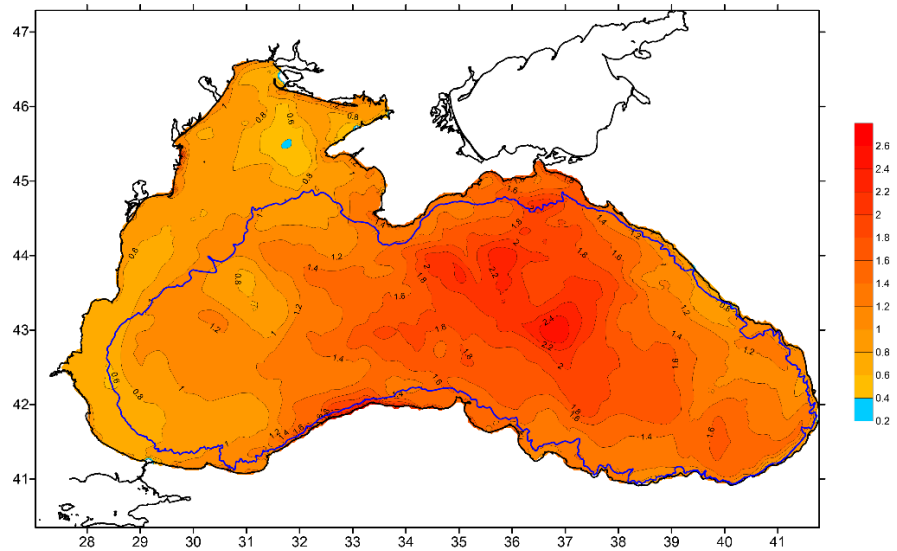
в)

Рисунок 5.6 – Відхилення від кліматичних значень температури (а), солоності (б), кисню (в) у квітні 2022 р.

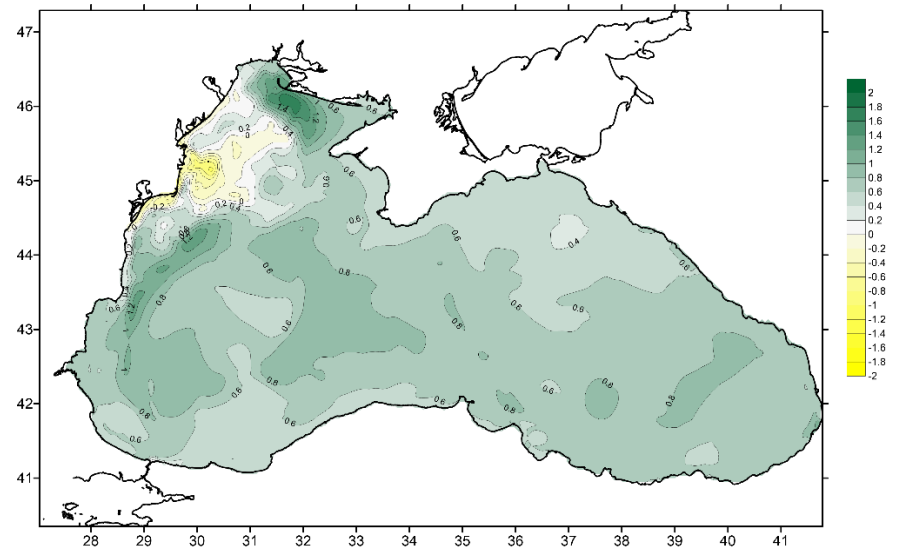
Для літнього періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень мають додатній характер майже для всього Чорного моря (рис. 5.7а) з максимальними значеннями у східній частині моря. В цілому для всього Чорного моря температура поверхні води в літній період 2022 р. була вище від кліматичної. Від'ємних значень відхилення ТПМ від кліматичних для літнього періоду не має.

Відхилення солоності від кліматичних значень для літнього періоду (рис. 5.7б) має додатній характер для всієї акваторії Чорного моря за винятком району стоку р. Дунай та всієї акваторії ПнЗЧМ. Особливо великі від'ємні відхилення спостерігаються в районі стоку р. Дунай, де від'ємні відхилення мають максимальні значення і досягають 1,0 опс, що вказує на підвищення стоку річки відносно кліматичних значень. Максимум додатних відхилень досягає 0,9 опс і займає південну частину Чорного моря та частину уздовж берегів Болгарії.

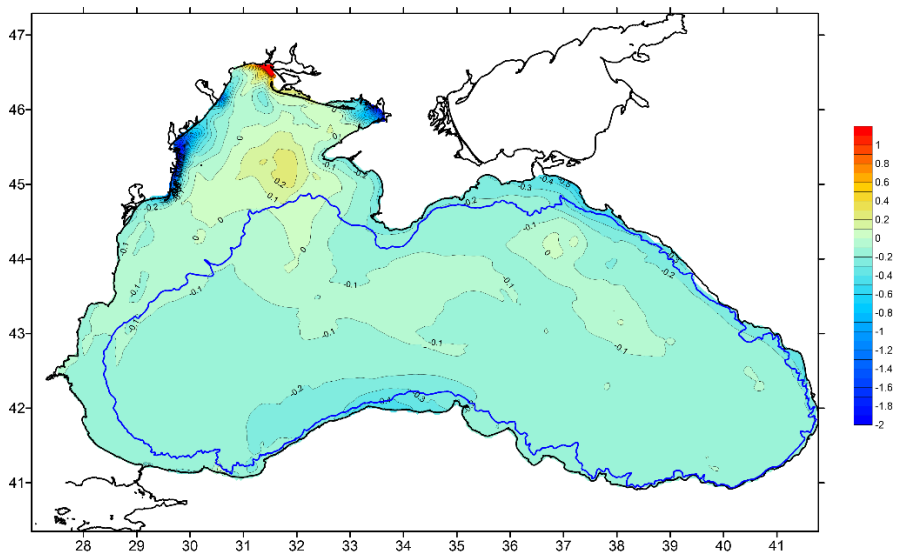
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для літнього періоду (рис. 5.7в) має від'ємний характер для всього Чорного моря. Максимальні значення характерні для всієї ПнЗЧМ і Кіркінітської затоки. Уся центральна частина Чорного моря має від'ємний характер вмісту кисню в діапазоні 0,1-0,2 мг/л. Додатні значення вмісту кисню для літнього періоду відмічаються в районі Дніпровсько-Бузького лиману і досягають 1,0 мг/л.



а)



б)



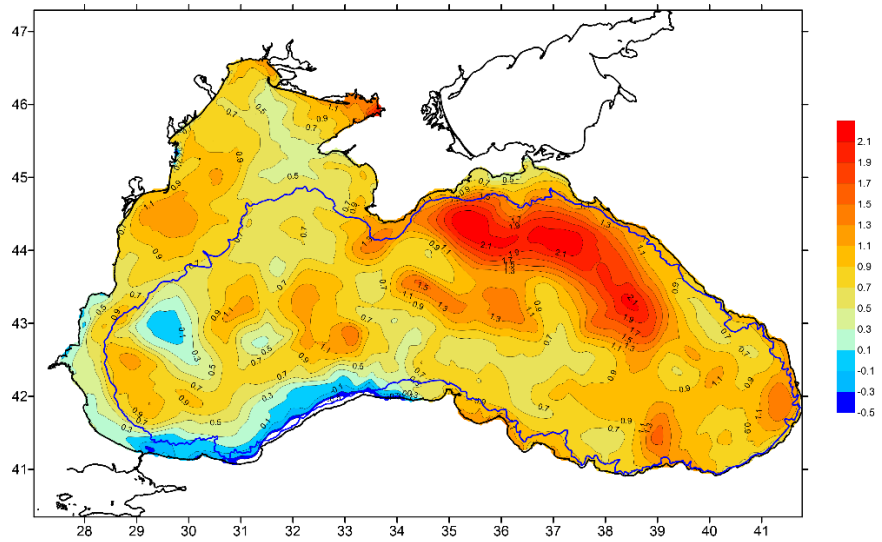
в)

Рисунок. 5.7 – Відхилення від кліматичних значень температури (а), солоності (б), кисню (в) у серпні 2022 р.

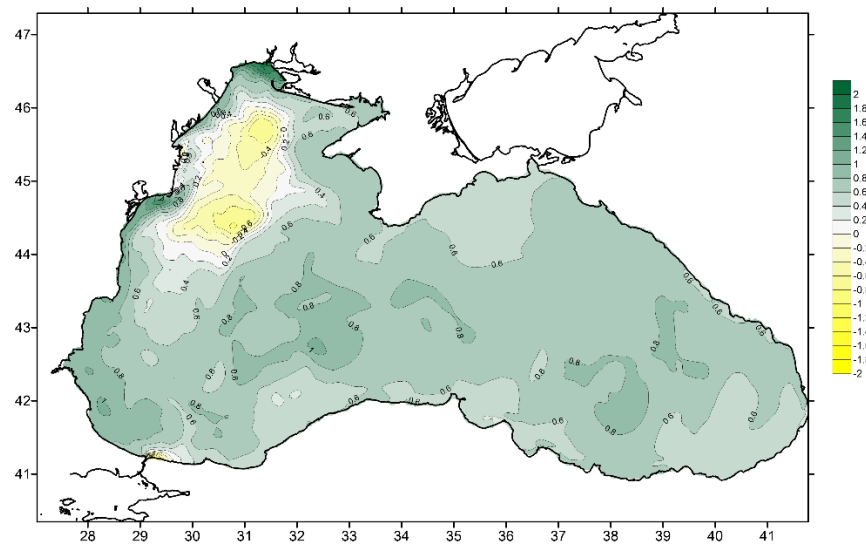
Для осіннього періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень мають додатній характер майже для всього Чорного моря (рис. 5.8а) з максимальними значеннями у ПнС частині Чорного моря та Кіркінітський затоці, де перевищення над кліматичними значеннями досягає 2,1 °С. Від'ємний характер відхилення ТПМ від кліматичних значень розташовуються у вигляді ядра у західній частині моря та уздовж узбережжя Туреччини і досягають 0,1 °С. В цілому для всього Чорного моря температура поверхні води в осінній період 2022 р. була вище від кліматичної.

Відхилення солоності від кліматичних значень для осіннього періоду (рис. 5.8б) має додатній характер для всієї акваторії Чорного моря за винятком великої зони в ПнЗЧМ. Зона від'ємних значень відхилень солоності займає велику область по центру ПнЗЧМ і досягає 1,0 опс. Основну частину Чорного моря займають води з додатними відхиленнями від кліматичних 0,5-0,7 опс, максимумами спостерігаються в області Дніпровсько-Бузького лиману, Дністровського лиману та р. Дунай і досягають 1,7 опс. Додатні відхилення для всього моря вказують на підвищення солоності від кліматичних значень для осіннього періоду 2022 р.

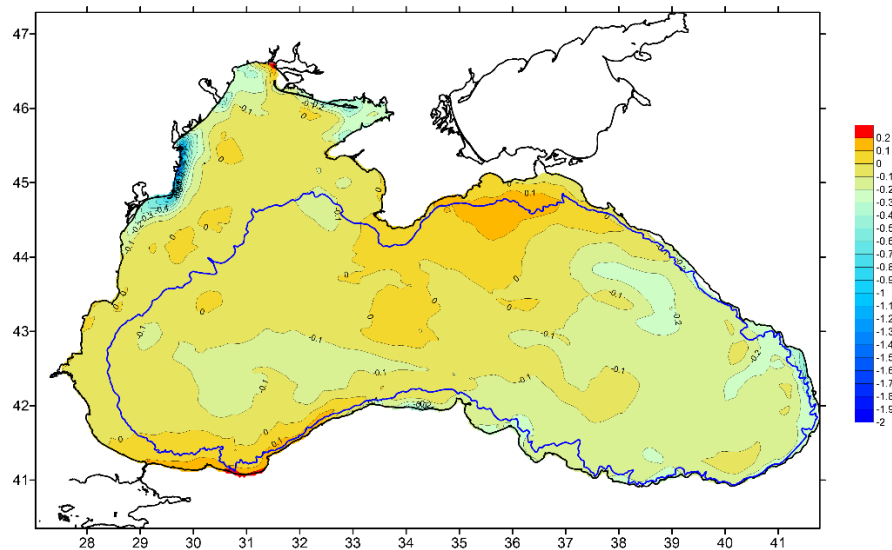
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для осіннього періоду (рис. 5.8в) має від'ємний характер для всього Чорного моря. Максимальні значення характерні для всієї ПнЗЧМ і обумовлені зменшеним стоком річок регіону. Максимальні значення відхилень пов'язані з районами Кіркінітської затоки, Дніпровсько-Бузького лиману, Дністровського лиману та р. Дунай і досягають 1,9 мг/л. Уся центральна частина Чорного моря має від'ємний характер вмісту кисню в діапазоні 0,0-0,2 мг/л. Додатні значення вмісту кисню для осіннього періоду відзначаються напроти Керченської протоки і досягають 0,1 мг/л.



а)



б)



в)

Рисунок 5.8 – Відхилення від кліматичних значень температури (а), солоності (б), кисню (в) у жовтень 2022 р.

6 ГІДРОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ГЛИБОКОВОДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ БУЇВ ARGO У 2022 РОЦІ

Всього за період з 2005 по 2023 рр. на акваторії Чорного моря було запущено 45 буїв. У 2023 р. у ЧМ працювало 13 буїв проекту Argo. Один із буїв закінчив свою роботу 10.04.2023 р. (№ 7900596) та був замінений 12 травня новим (№ 4903711). Повний період занурення-спливання у шести буїв становив п'ять діб, у семи буїв – десять діб. Реєстр чорноморських буїв які працювали у 2023 році наведено у таблиці 6.1. Загальний вигляд та принципова схема роботи представлені на рисунках 6.1 та 6.2.

Таблиця 6.1 – Реєстр активних буїв проекту «Argo» в Чорному морі протягом 2023р.

№ з\п	№ Буя	Дата начала роботи	Дата завершення роботи	Періодичність циклов	T, °C S, опс	O, $\mu\text{m}/\text{m}^3$
1	3902004	21.10.2021	продовжує	5 днів	* -	*
2	3902005	24.10.2021	продовжує	5 днів	* -	*
3	3902006	07.11.2021	продовжує	10 днів	**	
4	4903711	11.05.2023	продовжує	10 днів	* *	
5	5906866	03.11.2022	продовжує	10 днів	* *	
6	6903271	01.10.2019	продовжує	5 днів	**	
7	6903766	02.12.2019	продовжує	5 днів	**	
8	6903782	23.07.2020	продовжує	5 днів	* *	
9	6903866	22.11.2020	продовжує	10 днів	**	
10	6903867	17.11.2020	продовжує	10 днів	* *	
11	7900595	01.09.2019	продовжує	10 днів	* *	
12	7900596	06.12.2019	10.04.2023	5 днів	* *	
13	7901095	15.05.2023	продовжує	10 днів	* *	

Примітка : * відповідає визначенню вказаного параметру морського середовища,



Рисунок 6.1 – Один з буїв проекту Argo (animalworld.com.ua/news/).

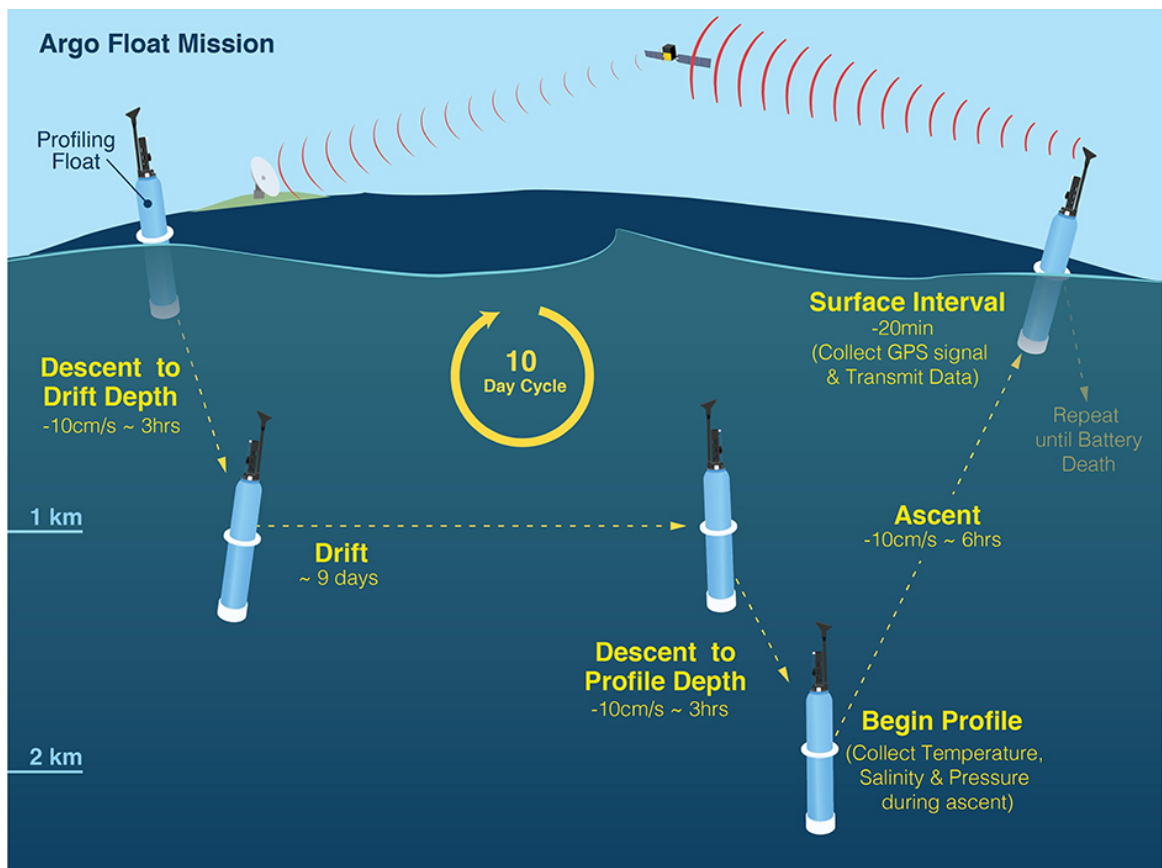


Рисунок 6.2 – Принципова схема роботи буя Argo [8].

Детальна робота пірнаючих буїв проекту «Argo» описана на сайті: <https://argo.ucsd.edu/>.

Два буя із тринадцяти, що знаходились в ЧМ, крім датчиків температури були укомплектовані датчиками кисню, що надавало

можливості оцінки визначення глибини розташування нижньої межі окисліну, і початку субкисневої зони, яка визначалась по глибині вод, де концентрація розчиненого кисню зменшувалася до 20 $\mu\text{моль/л}$. Траєкторії руху всіх 13-ти буїв охоплювали тільки глибоководну частину Чорного моря (рис. 6.3).

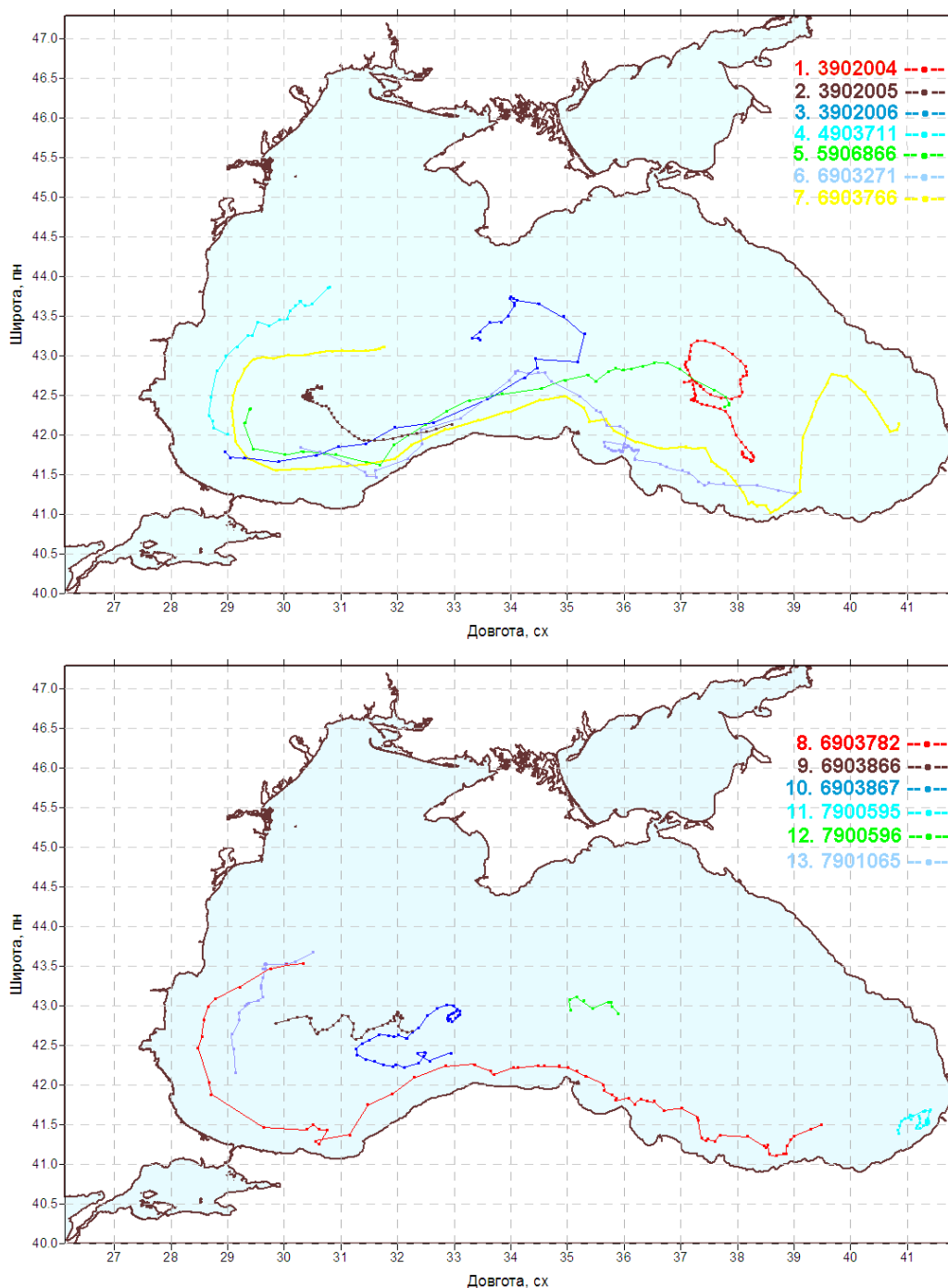


Рисунок 6.3 – Траєкторії буїв Argo, які працювали у Чорному морі у 2023 р.

Номери буїв вказані у верхньому лівому кутку рисунків

У Чорному морі виділяються два великі центральні циклонічні круговороти у східній та західній його частинах. Така гідродинамічна структура визначає глибини залягання основних океанографічних параметрів, які збільшуються від центру кругообігу до периферії.[9].

Аналіз отриманих матеріалів показав, що вертикальні положення ядер вод ХПШ змінювалися в межах 30-186 метрів, на великих куполах циклонічних кругообігів переважно в шарі глибин 30-45 м, а в прибережній периферійній зоні на глибинах 100-115 м. Мінімальна температура 7,89 °С (буї 7900596) зареєстрована 21 березня в районі східного круговороту (табл. 6.2). Середня глибина залягання ядра ХПШ становила 61 м. Середні за рік значення температури, солоності та щільності води в ядрі холодного шару перебувала на рівні значень – 8,444 °С, 19,253 опс та 14,973 у.о., відповідно. Середньорічна температура вод ядра ХПШ у 2023 р. була на 0,2 °С нижче, ніж у 2020 та 2021 рр., але на 0,2 °С вище, ніж у попередній рік.

Таблиця 6.2 – Максимальні та мінімальні значення температури (°С) ядра ХПШ за даними буїв Argo у 2023 р.

п/п	T_min	Дата_min	T_max	Дата_max	T_sr	Long-Min	Lat-Min	буї	цикл
1	7.956	20230420	8.551	20231019	8.407	38.27884	41.71750	3902004	47
2	8.060	20230317	8.691	20231020	8.400	31.74632	41.94185	3902005	61
3	8.301	20230129	8.900	20231012	8.454	33.45808	43.19958	3902006	25
4	8.274	20230511	8.567	20230924	8.495	28.96807	42.99744	4903711	19
5	8.117	20230507	8.575	20231007	8.403	37.26932	42.66187	5906866	30
6	8.250	20230225	8.699	20230205	8.523	31.61933	41.46717	6903271	57
7	8.103	20230428	8.645	20230912	8.458	38.49950	41.11669	6903766	61
8	8.179	20230428	8.652	20231013	8.493	38.53732	41.24295	6903782	61
9	7.890	20230403	8.605	20230207	8.315	31.98470	42.89272	6903866	41
10	8.114	20230408	8.719	20231030	8.406	32.47442	42.40827	6903867	41
11	8.303	20230103	8.670	20230314	8.572	41.05165	41.62197	7900595	29
12	7.865	20230321	8.799	20230209	8.428	35.05878	42.94417	7900596	10
13	8.432	20230808	8.597	20230621	8.501	29.65413	43.52390	7901065	18

Положення нижньої межі оксикліну багато в чому залежить від гідродинамічних характеристик району [10]. На рисунку 6.4 наведено графік глибини залягання шару води з концентрацією кисню 20 $\mu\text{моль/л}$ за даними

буя 3902005. Дані наведені на рисунку охоплюють період з 22 березня до 30 жовтня 2023 року. В основному буй дрейфував у районі західного циклонічного круговороту (рис. 6.3). Глибина шару 20 $\mu\text{моль/л}$ у цьому районі коливалася в межах 50-70 метрів.

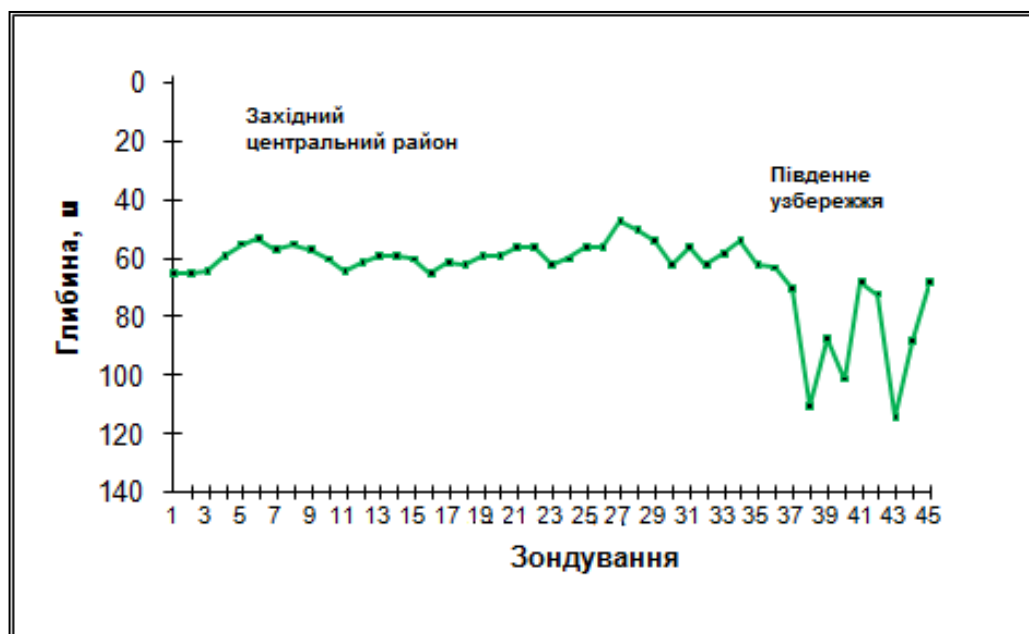


Рисунок 6.4 – Глибина залягання шару води з концентрацією кисню 20 $\mu\text{моль/л}$ у Чорному морі у 2023 р. за даними буя Argo 3902005.

У липні 2023 р. буй почав зміщуватися на південь до Антильського узбережжя і далі, в потоці ОЧТ, продовжив дрейф на схід (рис. 6.3). У цьому районі середня глибина залягання шару 20 $\mu\text{моль/л}$ помітно збільшилася. Максимальна позначка становила 114,5 м. 20-го жовтня (рис.6.4). Загалом нижня межа кисневої зони ЧМ за даними буя 3902005 в період березень – жовтень 2023 р. знаходилася в межах кліматичних коливань [10].

ВИСНОВКИ

При завершенні роботи за звітом не всі дані за грудень були отримані та оброблені. У цьому випадку дані за грудень замінювалися їхньою багаторічною нормою.

Мінливість деяких гідрометеорологічних параметрів в північно-західній частині Чорного моря у 2023 році значно виходили за межі кліматичних норм.

Збереглися тенденції зростання середньорічних температур повітря і морської води.

Середньорічна температура води за даними ГМС «Одеса-порт» може скласти 14,2 °С. Це найвища середньорічна температура води за всю історію спостережень. Середньорічна температура повітря, з урахуванням грудневої норми може досягати значення 13,0 °С. З такою температурою 2023 р. зрівняється з найтеплішим за 180-річну історію метеоспостережень в Одесі 2020 роком.

Сумарна оцінка теплового стану повітря північного регіону Чорного моря в літнє півріччя 2023 р. була на рівні самих теплих літніх умов і займала третє місце за весь час інструментальних спостережень в Одесі після 2012 р. (екстремум) і 2018 р.

Теплова оцінка повітря зими 2023 р. була також дуже великою і займала, як і літня оцінка, третє місце після екстремальної теплої зими 2020 р. і дуже теплої у 2007 р.

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

У 2023 році середньорічна швидкість вітру, за перші одинадцять місяців, становила 3,8 м/с. Загалом перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі із середньою векторною швидкістю 0,5 м/с.

Приплив річкової води до Чорного моря був близький до норми. Стік

Дунаю в 2023 р. за 11 місяців плюс норма за грудень склала 208,1 км³. Це на 2 % вище за норму. В Одеському регіоні за 2023 р. випало 488,8 мм опадів, що на 6 % вище норми 462 мм. В цілому з 2002 по 2023 рр., маємо явну тенденцію до зменшення кількості опадів.

На тлі зменшення кількості опадів та річкового стоку зберігається тенденція підвищення середньорічної солоності морської води в Одеській затоці. У 2023 році величина середньорічної солоності склала 14,66 опс при нормі 13,97 опс.

Внаслідок впливу паводкової хвилі, спричиненої руйнуванням греблі Каховської ГЕС 06 червня, у пунктах морських спостережень міст Південне, Одеса, Чорноморськ зафіксовано короткочасне падіння значень солоності морської води до 2,2 опс.

За даними 13 буїв «Argo», що працювали в Чорному морі в 2023 р., глибини залягання основних гідрологічних структур знаходились в межах кліматичних коливань. В залежності від гідродинамічних умов нижня межа кисневої зони коливалася в межах 55-114 м. Середня глибина залягання ядра ХПШ становила 61 м. Середні за рік значення температури, солоності та щільності води в ядрі холодного шару знаходилися на рівні значень – 8,444 °С, 19,253 опс та 14,973 у.о., відповідно. Середньорічна температура вод ядра ХПШ у 2023 р. була на 0,2 °С нижче, ніж у 2020 та 2021 рр., але на 0,2 °С вище, ніж у попередній 2022 рік.

За супутниковими даними для поверхневого шару морської води всієї акваторії Чорного моря за період 2003-2022 рр. характерні наступні тенденції: температура поверхні моря порівняно з кліматичними значеннями в 2022 році, за винятком весняного сезону, зросла; солоність верхнього шару води; порівняно з кліматичними значеннями зросла, насиченість киснем верхнього шару води порівняно з кліматичними значеннями зменшилась

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Лоція Чорного та Азовського морів вод України. – Київ, 2004. – Міністерство транспорту України державний департамент морського і річкового транспорту державна установа «Держгідрографія».
2. Оцінка та діагноз екологічного стану довкілля Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України /Том 2 УкрНЦЕМ; керівник роботи Український В.В., відповід. викон. Диханов Ю.М. – КП 87.19.03 Одеса: УкрНЦЕМ, 2021. – 92 с.
3. V. Vyshnevskiy, A. Matygin, V. Komorin / Thermal regime of the northwestern part of the Black Sea. *Geographia Technica*, Vol. 18, Issue 1, 2023, pp. 29-38. doi: 10.21163/GT_2023.181.03
4. Большаков В.Н., Сытов В.Н. Обзор изменений климата Одессы в первые десятилетия XXI века // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2023.– № X (УУ). – с. (прийнято до друку).
5. 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
6. Ю.С. Тучковенко, Д.В. Кушнір, В.А. Овчарук, А.В. Соколов, В.М. Коморін / Особливості розповсюдження в Чорному морі розпріснених і забруднених перехідних вод з Дніпровсько-Бузького лиману після руйнування греблі каховського водосховища // *Ukrainian hydrometeorological journal*, 2023, 32, pp. 95-114 doi: 10.31481/uhmj.32.2023.07 ISSN 2311-0902 (print), 2616-7271 (online)
7. Коморін В.М., Олейнік Ю.В., Диханов Ю.М., Лепьошкін О.В., Тітяпкін А.С. Вплив аварійної ситуації, яка склалася після підриву греблі каховської ГЕС, на морське довкілля // Матеріали П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євроінтеграція екологічної політики України» м. Одеса 25-26 жовтня 2023 р. <http://eprints.library.odku.edu.ua/>

8. Argo Data 1999–2019: Two Million Temperature-Salinity Profiles and review Review Subsurface Velocity Observations from a Global Array of Profiling Floats Front. Mar. Sci., 15 September 2020 editor Johannes Carstensen Sec. Ocean Observation Vol. 7, 2020, <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00700>
9. Океанографічний Атлас Чорного та Азовського морів. / Еремеев В.М. – Київ: ДУ «Держгідрографія», 2009. – 365 с.
10. Ю.І Попов, Ю.М Диханов, В.М. Коморін / Оцінка глибин залягання верхньої межі сірководневої зони Чорного моря за даними буїв 2015-2022 рр. // Морський екологічний журнал, № 1-2. 2022, Doi 10.47143/1684-1557/2022.1-2.6

Електронні ресурси віддаленого доступу:

1. Сайт НАСА <http://terra.nasa.gov/>
2. Вікіпедія <https://uk.wikipedia.org/wiki>
3. The electronic report of the MFC state of progress in predictions / simulations/analysis. – Access mode <http://www.bsmfc.net/MyOcean> –Title from screen.
4. 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. – Access mode <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard> – Title from screen.
5. 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. – Access mode https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results – Title from screen.
6. 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). – Access mode <https://scihub.copernicus.eu/> – Title from screen.
7. Сайт ЕС <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?X%3A32017D0848> – Title from screen.
 8. One of the first weather websites in Europe that is updated regularly and offered weather maps based on model data. – Access mode <https://www.wetterzentrale.de/> – Title from screen.
 9. Украинский сайт новостей <https://vesti.ua/odessa/shtorm>
 10. <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/13/>
 11. <https://wvs.earthdata.nasa.gov/>
 12. 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. – Access mode <https://argo.ucsd.edu/> – Title from screen.

ПУБЛІКАЦІЇ

1. Матеріали П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Євроінтеграція екологічної політики України» м. Одеса 25-26 жовтня 2023 р. <http://eprints.library.odku.edu.ua/> Олейнік Ю.В., Диханов Ю.М., Лепьошкін О.В., Тітяпкін А.С.
2. Тези доповіді на XI Міжнародній антарктичній конференції (Київ, 10-12 травня 2023 р.). Автори: Коморін В.М., Попов Ю.І., Диханов Ю.М., Большаков В.М, Матвеев А.В. http://uac.gov.ua/wp-content/uploads/2023/05/Book-of-Abstracts_IAC-11_2023_.pdf
3. Большаков В.Н., Сытов В.Н. Обзор изменений климата Одессы в первые десятилетия XXI века // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2023.– № X (УУ). – с. (подана на публікацію)
4. Полежаев Э.К, А.С. Титяпкин А.С, Диханов Ю.М. "Просторова-часова змінність температури поверхневого шару води Чорного та Азовського морів" Є.К.Полежаев, А.С. Титяпкин, Ю.М. Диханов "Океанографічний журнал" (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану) 5(16) 2023. М.Київ Національна Академія Наук України. DOI: [https://doi.org/10.37629/2709-3972.5\(16\).2023.49-59](https://doi.org/10.37629/2709-3972.5(16).2023.49-59)
5. Звіт про НДР (за Договором з ДУ НАНЦ від 18.08.2023 № Н/04-2023) Тенденції кліматичної мінливості океанографічних полів Південного океану в районах економічних інтересів України за даними вимірювань 2022-2023 рр. керівник роботи В.М. Коморін, відповід. викон. Ю.М. Диханов Одеса: УкрНЦЕМ, 2023. – 141 с.

Подані заявки на реєстрацію авторського права:

1. Твір науково-практичного характеру «Алгоритм контролю якості даних океанографічних спостережень (Algorithm for quality control of oceanographic observation data)» Автори: Коморін В.М., Мацокін Л.В., Диханов Ю.М., Тітяпкин А.С.

Рисунок 1А – Щомісячні графіки часових змін основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів МГС «Одеса-Порт» в 2023 році.

Умовні позначення:

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

