

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, факс (0482) 637322
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
«_____» _____ 2023 року

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної
морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного
стану морських регіонів у 2022 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, 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

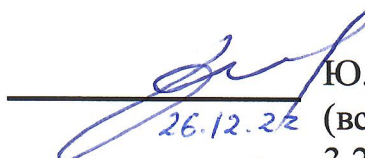
В.В. Український

Рукопис закінчено 26 грудня 2022 р.

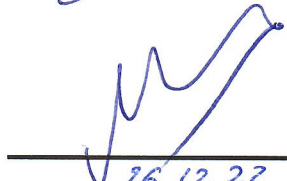
Результати роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ,
протокол № 1 від 19 січня 2023 р.

СПИСОК АВТОРІВ

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


26.12.22 Ю.М. Диханов
(вступ; підрозділ
3.2;3.3 розділ 6;
висновки)

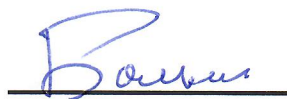
Виконавці:
Завідувач сектором гідрофізичних
досліджень ВФО та ММ


26.12.22 Є.А. Мельник
(графіка, розділ 1)

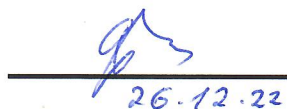
Наук. співроб. ВФО та ММ,
канд. геогр. наук.


26.12.22 Ю.І. Попов
(розділ 2;5)

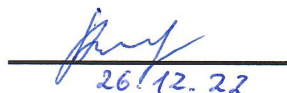
Наук. співроб. ВФО та ММ
канд. геогр. наук


26.12.22 В.М. Большаков
(графіка, розділ 2;
підрозділ 3.1)

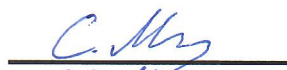
Наук. співроб. ВФО та ММ, завідувач
сектором, канд. геогр. наук


26.12.22 Є.К. Полежаєв
(розділ 4;)

Наук. співроб. ВФО та ММ


26.12.22 В.В. Пономаренко
(графіка)

Мол. наук. співроб. ВФО та ММ


26.12.22 С.В.Мазниця
(супутникова
інформація)

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

РЕФЕРАТ

Звіт про науково-дослідну роботу: 72 с., табл.7, рис.64, джерел 8

ЧОРНЕ МОРЕ, ПІВНІЧНО-ЗАХІДНА ЧАСТИНА, ТЕРМОХАЛИННА СТРУКТУРА, АПВЕЛІНГ

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) уточненої директивою 2017/848 від 17 травня 2017 р., 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. В умовах військового положення основним джерелом інформації про стан морського середовища Чорного моря є супутникові дані Служби моніторингу морського середовища «Копернікус», супутників NASA (Terra, Aqua, Aura) та європейського космічного агентства ESA (ENVISAT). Всього прийнято та проаналізовано понад 3000 супутникових зображень, частину з яких збережено в базі океанографічних даних відділу. У звіті також використовується інформація з усіх 15-ти буїв-профілемерів програми «Argo», які працювали в 2022 році на акваторії Чорного моря. Використовувались дані натурних спостережень, інформація Державної гідрометеорологічної служби України та літературних джерел.

Основним інструментом обробки даних був пакет «Excel». Первинна обробка даних проводилася оригінальними програмами УкрНЦЕМ.

Результати дослідження

Збереглися багаторічні тенденції зростання середньорічних температур повітря і морської води.

Середня температура води за даними гідрометеорологічної станції «Одеса-порт» становила 12,0 °С, температура повітря 12,4 °С. За супутниковими даними для всієї акваторії Чорного моря за період з 2003 по 2022 рр. солоність поверхневого шару зросла. Середня солоність морської води за даними ГМС Одеса порт склала 14,66 опс. при тридцятирічній нормі 13,95 опс.

Приплив прісноводної води у Чорне море зменшився. Сток Дунаю становив 145,2 км³ за норми 203 км³. 2022 р. можна віднести до одного з найбільш посушливих. За рік випало 280 мм при нормі 462 мм. Вітрові умови відповідали рівню середніх значень останніх років; переважали вітри Пн-З, Пн і протилежних Пд-Пд-С напрямків.

У 2022 році середньорічна швидкість вітру становила 4,1 м/с. Загалом, перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі із середньою векторною швидкістю 1,0 м/с.

Кількість прибережних апвелінгів так само зменшилася. Значних апвелінгів (зі зниженням температури води на 5 °С і більше) відзначено два: у липні та серпні в районі Тендрівської коси та Одеської затоки.

За даними буїв програми «Argo» глибини залягання основних гідрологічних структур перебували у межах кліматичних коливань. Середня глибина кисневих вод становила величину близько 80 м, середня температура вод ядра ХПШ за теплий період року підвищилася на 0,13 °С з 8,19 °С до 8,32 °С.

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних позначень і скорочень	6
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 Режим вітру.....	13
2.2 Температура повітря та морської води.....	15
2.3 Атмосферні опади.....	18
2.4 Солоність морської води	19
3 Характеристики мінливості річкового стоку у 2022 році на тлі кліматичних змін у ХХІ столітті.....	21
3.1 Сток Дунаю.....	21
3.1.1 Статистика стоку Дунаю за 1991-2020 роки.	22
3.2 Сток Дніпра.....	26
3.3 Сток Дністра.....	27
4 Особливості розподілу солоності у поверхневому шарі Чорного моря за даними служби моніторингу морського середовища Копернікус за період 2003-2021 років.....	28
5 Гідрологічна структура глибоководної частини Чорного моря за даними буїв Argo у 2022 році.....	52
5.1 Щомісячні характеристики вод холодного проміжного шару за даними буїв Argo під час теплого півріччя 2022 року.....	55
5.2 Оцінка глибини залягання верхньої та нижньої межі субкисневого шару Чорного моря у 2015-2022 роках	58
6 Апвелінги північно-західної частини Чорного моря у 2019-2021 роках...	65
7 Висновки.....	67
8 Перелік джерел посилання.....	69
9 Публікації.....	72

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
ДЕС	– Добрий екологічний стан
ОЗ	– Одеська затока
ОПС	– одиниці практичної солоності
ОЧТ	– основна чорноморська течія
НДР	– науково-дослідна робота
Пд	– південь
ПдЗ	– південний–захід
ПдС	– 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
СГМ	– сектор гідрометеорології моря
СММСК	– Служби моніторингу морського середовища «Коперникус»
Tw	– температура води
Ta	– температура повітря
ТПШ	– температура поверхневого шару
УкрНЦЕМ	– Український науковий центр екології моря
ХПШ	– холодний проміжний шар
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

Наукова дослідна робота є продовження багатолітніх досліджень Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ) гідрологічної та гідродинамічної структури морських вод України. НДР «Оцінка та діагноз стану морських вод за гідрофізичними характеристиками, визначення відповідності доброму екологічному стану (ДЕС), уточнення критеріїв оцінки ДЕС» виконувалась в рамках напрямку наукових досліджень УкрНЦЕМ «Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного стану морських регіонів» 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 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 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 прийняті з однією метою – досягнення «доброго екологічного стану» водного середовища.

У переліку дескрипторів, контрольованих екологічним моніторингом, дескриптор відповідальний за моніторинг гідрологічних умов значиться під номером D-7.

Основним завданням моніторингу є оцінка мінливості основних гідрофізичних параметрів морського середовища таких як: температура, солоність, прозорість, колір моря, течії, хвилювання, апвелінги, процесами перемішування річкових і морських вод, траєкторії руху основних гідродинамічних утворень, льодова обстановка, нагляд за метеоумовами, що викликають зміни гідрологічних умов, які суттєво впливають на екологічний стан вод.

Ці зміни можуть бути особливо важливі, коли вони шкідливо діють на морські екосистеми в більшому масштабі і їх оцінка може забезпечити раннє попередження можливих впливів на екосистему. Крім спостережень за акваторіями, схильних до постійних змін гідрологічних параметрів, в постановах кабінету міністрів України вказується на необхідність регулярного проведення загального екологічного моніторингу морських і прибережних вод Чорного і Азовського морів в межах економічної зони 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

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 приповерхневого шару довгохвильового випромінювання і розподілу хлорофілу-*a*, отриманих з сканерів штучних супутників NASA, NOAA (США).

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

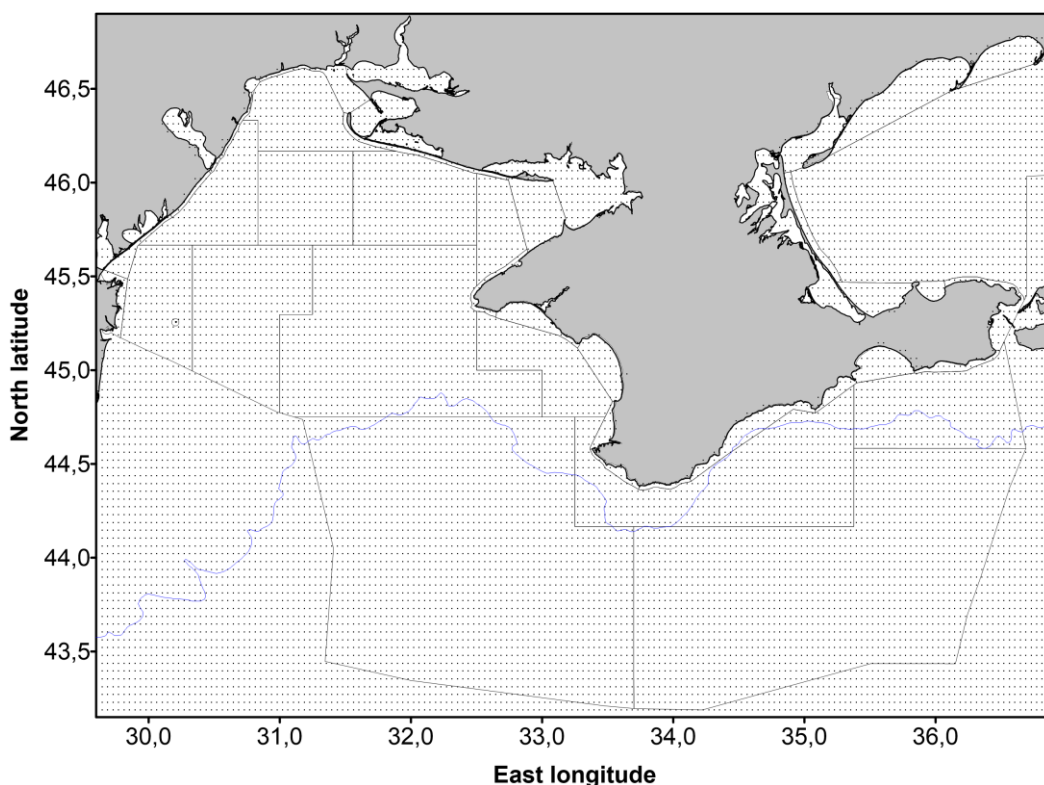


Рисунок 1.1 – Розрахункова сітка спостережень супутників Terra та Aqua

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

Для комплексного аналізу отриманих матеріалів використовувались супутникові дані з дрейфуючих буїв програми «Argo». Інформація з буїв надходила як в графічному, так і в цифровому вигляді з веб-сайту за посиланням: <https://fleetmonitoring.euro-argo.eu/dashboard>

З метою виконання певного комплексу завдань для даного звіту були використані дані програми Європейського Союзу щодо спостереження за Землею «Служби моніторингу морського середовища «COPERNICUS» – «Коперник» (СММСК).

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/>. Приклад показаний на рисунку 1.2.

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

Просторово-часова мінливість солоності морської води оцінювалася з урахуванням районування Чорного і Азовського морів (розділ 4).

Необхідні метеоспостереження вибирались з архівів сайтів gr5.ua; <https://www.wetterzentrale.de/>. Також в звіті використані дані спостережень

ГМС «Одеса-порт», Метеостанції Одеса, Дунайської ГМС та ГП Бендери, літературні джерела.

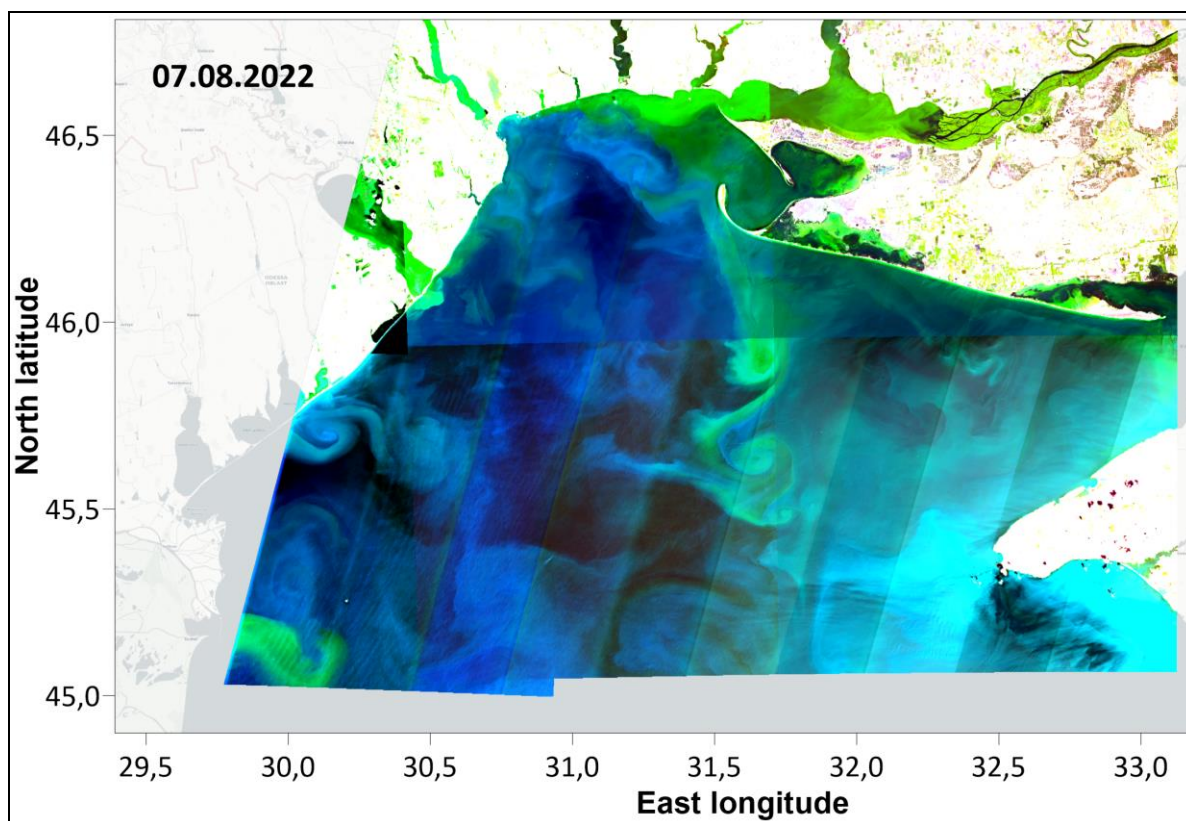


Рисунок 1.2 – Знімок високої якості акваторії північно-західної частини Чорного моря

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

В основу аналізу мінливості метеорологічних і гідрологічних параметрів лягли багаторічні (понад 100 років) дані спостережень ГМС «Одеса-порт». Так само 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 коливалися 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 5опр. до 19 опр. Середня солоність 12-15 опр.

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 знизиться на 10 – 12°C 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 90%) не перевищують 1,0 м. Максимальні висоти хвиль на зовнішньому кордоні затоки можуть досягати 6 м.

2.1 Режим вітру

В цілому генеральне перенесення в приземній атмосфері у 2022 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).

У 2022 році середньорічна швидкість вітру, становила 4,1 м/с. Загалом перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі із середньою векторною швидкістю 1,0 м/с.

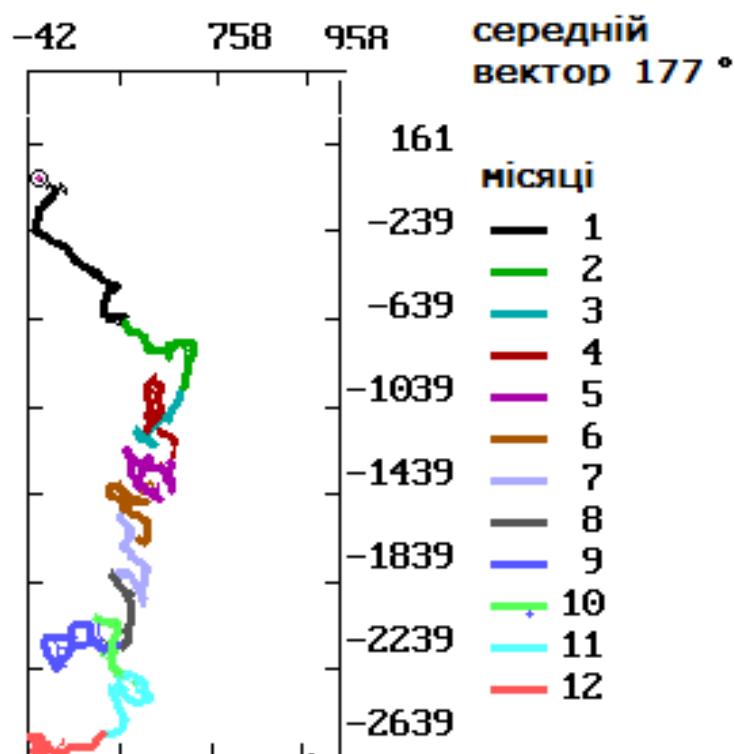


Рисунок 2.2 – Прогресивно-векторна діаграма швидкості та напрямки вітру за даними ГМС «Одеса-порт» у 2022 р.

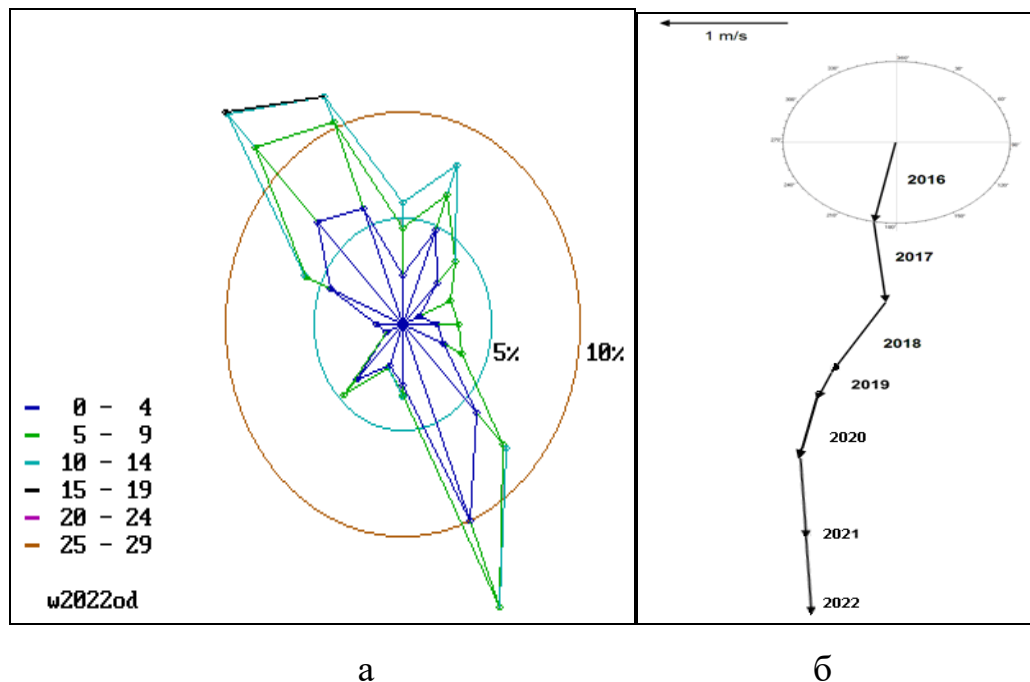


Рисунок 2.3 – Роза вітрів (а) і середньорічна прогресивно-векторна діаграма перенесення повітряних мас (б) за даними ГМС «Одеса-порт» у 2022 р.

2.2 Температура повітря та морської води

На рисунку 2.4 показано зміни середньорічних температур повітря з 2001 по 2022 роки.

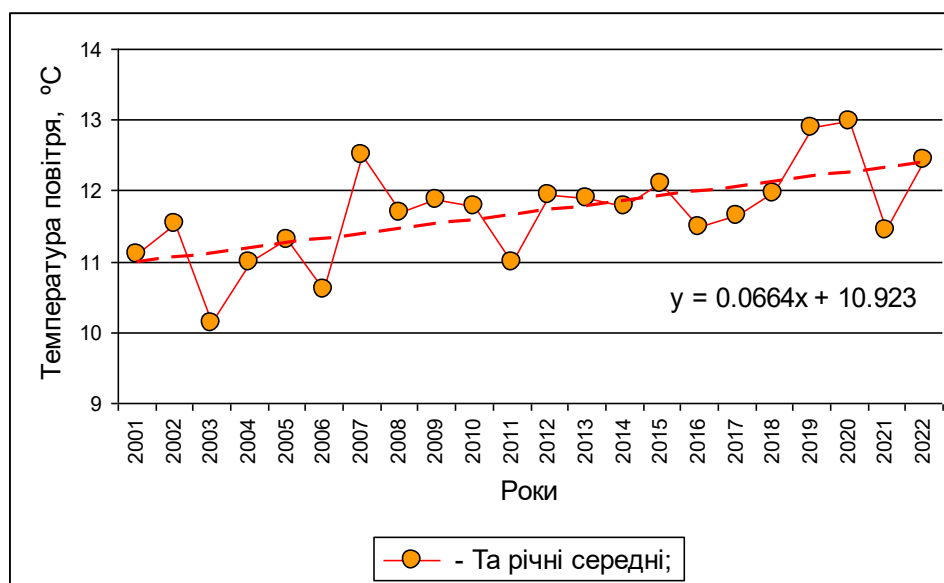


Рисунок 2.4 – Мінливість середньорічних температури повітря у XXI столітті за даними метеостанція Одеса

За своєю середньорічною температурою повітря (12,4 °C) 2022 р. за весь час спостережень з 1840 р. поступається лише 2020, 2019 та 2007 роках із температурами 13,0 °C, 12,9 °C та 12,5 °C, відповідно. На рисунку 2.5 показані зміни середньорічних температур морської води з 2001 до 2022 рр.

За середньорічною температурою морської води (12,3 °C) 2022 р. у списку, впорядкованому за її спаданням, займає 13 рядок, більше градуса поступаючись тому ж рекордному 2020 р. (13,5 °C) та градус другому, 2010 р.

Лінійні тренди обох графіків, поєднаних на рисунку 2.6, показують помітне зростання температури води на 0,5 °C, а повітря на 1,4 °C за 22 роки. Виявилося, проте, що наведені графіки стають більш інформативними, якщо їх зобразити разом на одному рисунку (рис. 2.6).

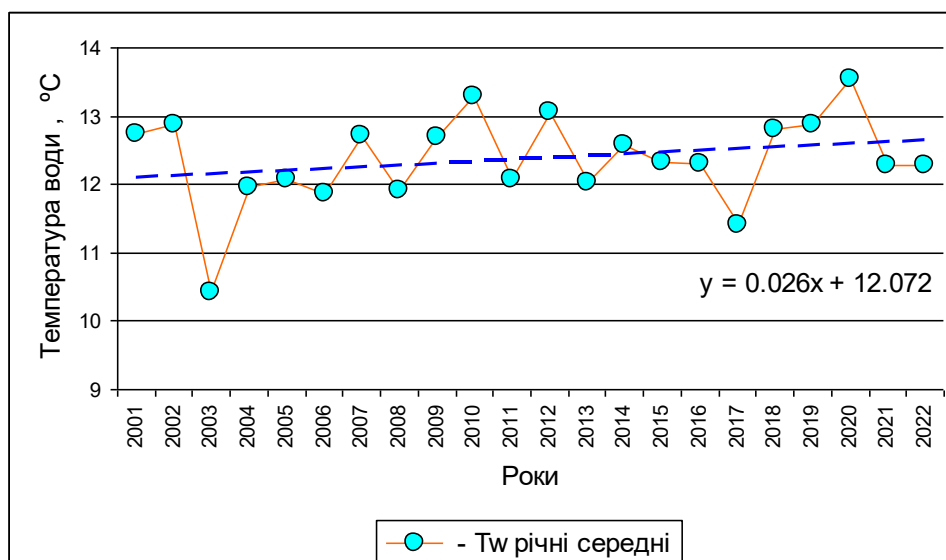


Рисунок 2.5 – Мінливість температури морської води у XXI столітті за даними ГМС «Одеса-порт»

Виявилося, проте, що наведені графіки стають більш інформативними, якщо їх зобразити разом на одному рисунку (рис. 2.6).

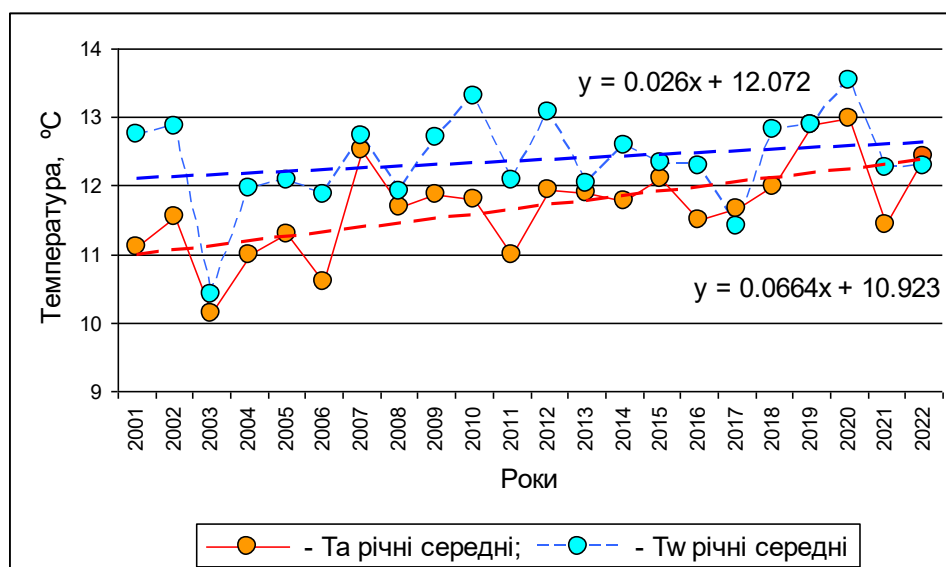


Рисунок 2.6 – Мінливість середньорічних температур повітря та морської води в Одесі з початку XXI століття (Та – температури повітря; Tw – температури води)

З першого погляду на рисунок очевидно, що, по-перше, середньорічні

температури води вищі, ніж температури повітря. По-друге, обидва графіки показують, що потепління як повітря, так і води в ХХІ столітті триває. По-третє, видно, що нижчі температури повітря росли помітно швидше, ніж вищі температури води, саме: на $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 21 рік, відповідно.

Порівнюючи графіки один з одним, важко не звернути увагу на узгоджену зміну температур, що особливо добре помітно в роки їх локальних екстремумів: мінімумів, як у 2003, 2006, 2011 рр., і максимумів, як у 2010, 2020 рр. Цей факт підтверджує і наведений на рисунку коефіцієнт кореляції між рядами, рівний 0,72 і значний на рівні 99%. У 19 випадках із 22 аналізованих тут років середньорічні температури води перевищують середньорічні температури повітря на величини від $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ у 2013 р. до $1,64\text{ }^{\circ}\text{C}$ у 2001 р. Ця закономірність, однак, іноді порушується. Так у 2017 р. середня температура води виявилася нижчою за середню температуру повітря на $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}$, а у 2022 – на $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$. У 2019 р. стався ще більш рідкісний випадок, а саме: обидві температури виявилися рівними. З 1915 р. додатні значення різниці температур $T_w - T_a$ зазначені в 98 випадках зі 105 (93%), і на цій підставі вони вважаються нормальними. Тоді 6 випадків від'ємних значень різниці $T_w - T_p$ та одне нульове слід віднести до аномалій. Перша така аномалія відзначена ще в 1944 р., дві наступні – у 90-х роках, і три – в останні 5 років.

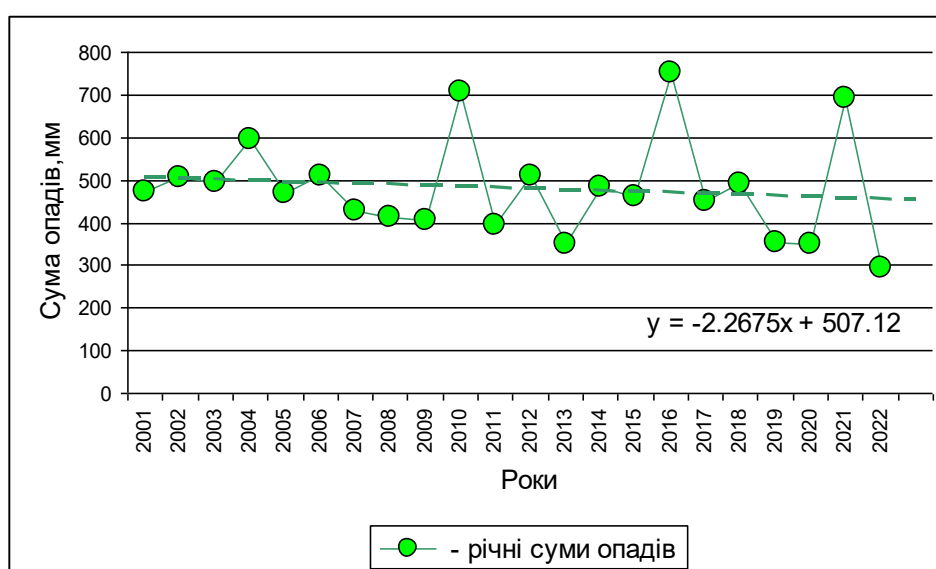
Зазначена закономірність у співвідношенні температур води та повітря легко пояснюється тим, що в зимові місяці температура морської води обмежена знизу температурою її замерзання, біля берегів Одеси це близько $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура повітря при цьому може бути значно нижчою. Можна дійти висновку, що нормальні негативні значення різниці середньорічних температур $T_w - T_a$ закладаються взимку, а аномальні позитивні різниці можливі лише в роки з виключно м'якими зимами.

Очевидно, аномалії різниці температур води та повітря почастишали на тлі загального потепління поверхні планети, головним чином, за рахунок потепління зим.

2.3 Атмосферні опади

На рисунку 2.7 представлені річні суми атмосферних опадів з 2001 по 2022 р. Наведений на рисунку лінійний тренд показує явне зменшення кількості опадів із середньою швидкістю, розрахованої за цим трендом, 2,4 мм/рік. Ця тенденція останніх 22 років виглядає несподіваною і натомість зростання норм річних сум опадів з першого десятиліття XXI століття до поточного третього десятиліття на 23 мм, від 439 до 462 мм.

Значною мірою своїм від'ємним знаком цей тренд завдячує надзвичайно посушливому останньому 2022 року з сумою опадів 293 мм.



Рисунок– 2.7 Мінливість річних сум атмосферних опадів у XXI столітті за даними метеостанція Одеса

Річні суми атмосферних опадів за 157 років спостережень показали, що діапазон їх мінливості нині становить 560 мм, від 192 мм у 1921 до 752 мм у 2016 році. Діапазон 340–500 мм – це найвужчий кратний 20 мм діапазон, в який укладається половина, а точніше 82 (52%) річних сум. З цих двох підстав діапазон 340–500 мм річних сум атмосферних опадів слід вважати

нормальним. Тоді роки із сумами опадів 340 мм і менше слід вважати посушливими, а роки із сумами опадів більше 500 мм – вологими.

За цими критеріями діапазон нормальних років включає 8 піддіапазонів по 20 мм, з кількістю попадання в них від 6 до 14 випадків. Діапазон посушливих років також включає 8 піддіапазонів, але з меншою кількістю попадань від 1 до 8 випадків. Діапазон вологих років набагато ширший, 13 піддіапазонів, але з ще меншою кількістю попадань, від 0 до 6 випадків.

Чотири локальні максимуми на рисунку 2.7 відзначають вологі 2004, 2010, 2021 та рекордний для Одеси 2016 роки. Більшість решти, 17 років, відносяться до нормальних. Виняткове становище посідає поточний 2022 рік, який із сумою опадів 292 мм, став першим посушливим за 77 років, що минули з 1944 року.

2.4 Солоність морської води за даними ГМС «Одеса-порт»

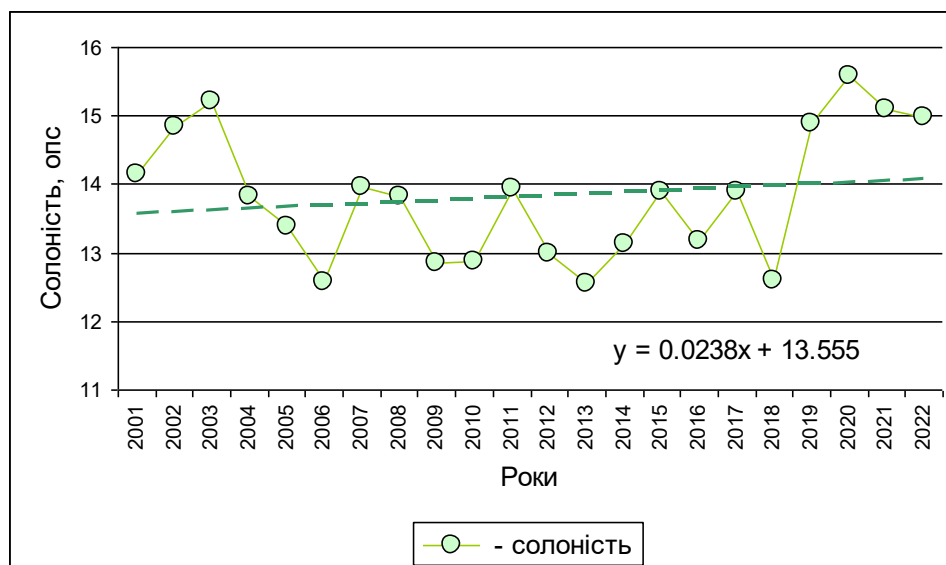
На рисунку 2.8 показані зміни середньорічних значень солоності морської води з 2001 до 2022 року.

Середньорічна солоність біля узбережжя Одеси змінювалася з початку ХХІ століття в діапазоні від 12,6 опс (2006, 2013, 2018 рр.) до 15,6 опс (2020 р.). Незважаючи на значний розкид середньорічних значень солоності в 3 опс, зміни річних норм уклалися в 0,2 опс: 14,16 опс у першому десятилітті, 14,01 опс – у другому та 13,97 опс – у третьому.

Рисунок 2.9 показує, що наявні 9 із 12 середньомісячних значень солоності за 2022 р. сильно розкидані між 11,2 опс у червні та 17,9 опс у вересні.

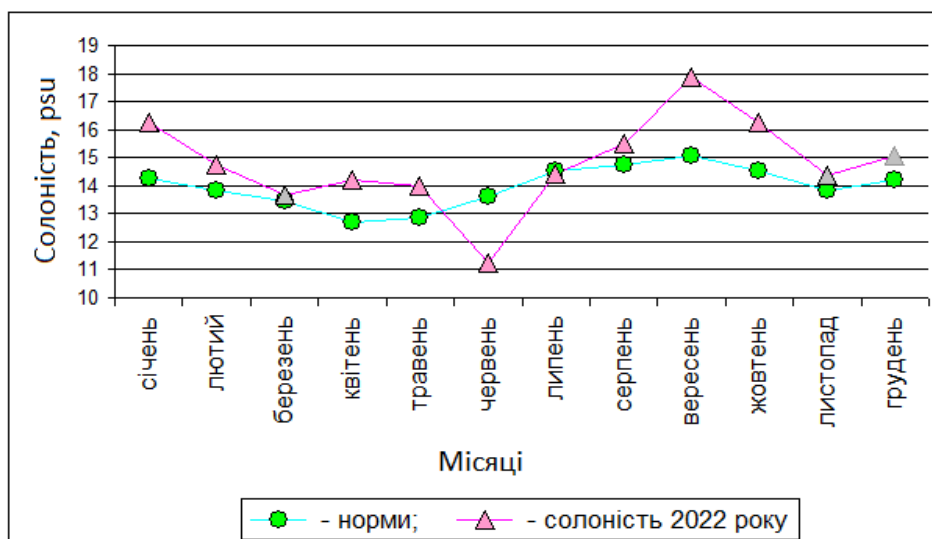
Лінійний тренд рисунку 2.8 відбиває підвищення солоності зі швидкістю 0,02 опс на рік чи 0,4 опс за 22 роки з початку ХХІ століття. Це підвищення солоності може бути пов'язане зі зниженням стоків основних

річок що впадають у ПнЗЧМ Дунаю, Дніпра та Дністра (див. розділ 3).



Примітка: при розрахунку середньої солоності морської води 2022 року відсутня солоність березня замінена нормою.

Рисунок 2.8 Мінливість солоності морської води у XXI столітті
за даними ГМС «Одеса-порт»



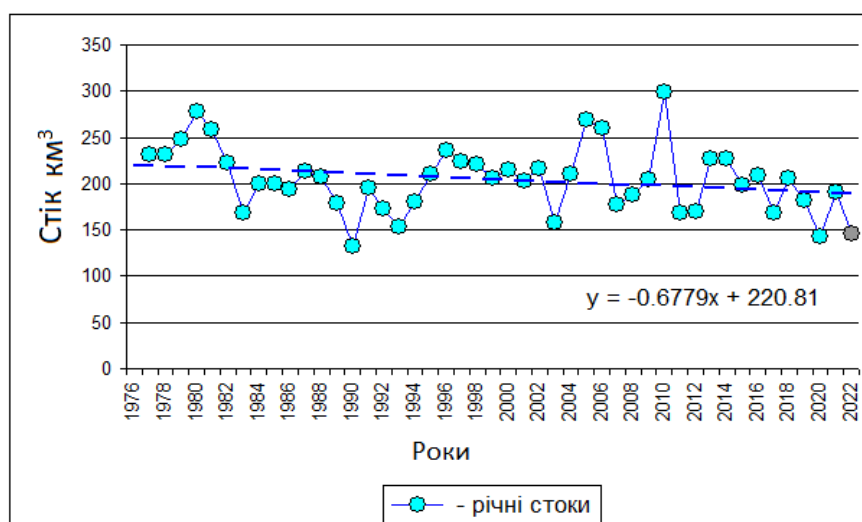
Примітка: відсутні значення солоності березня замінені їх нормами.

Рисунок 2.9 – Місячні норми солоності та її середньомісячні значення
у 2022 р. за даними ГМС «Одеса-порт».

З ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНЛИВОСТІ РІЧКОВОГО СТОКУ У 2022 РОЦІ НА ТЛІ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У ХХІ СТОЛІТТІ

3.1 Сток Дунаю

За даними Дунайської ГМО на рисунках 3.1 та 3.2 зображено річні значення стоку р. Дунай.



Примітка: при розрахунку значення річного стоку Дунаю за 2022 р. відсутні стоки грудня замінені їх нормами.

Рисунок 3.1 – Гідрограф стоку Дунаю за 1976 – 2022 рр.

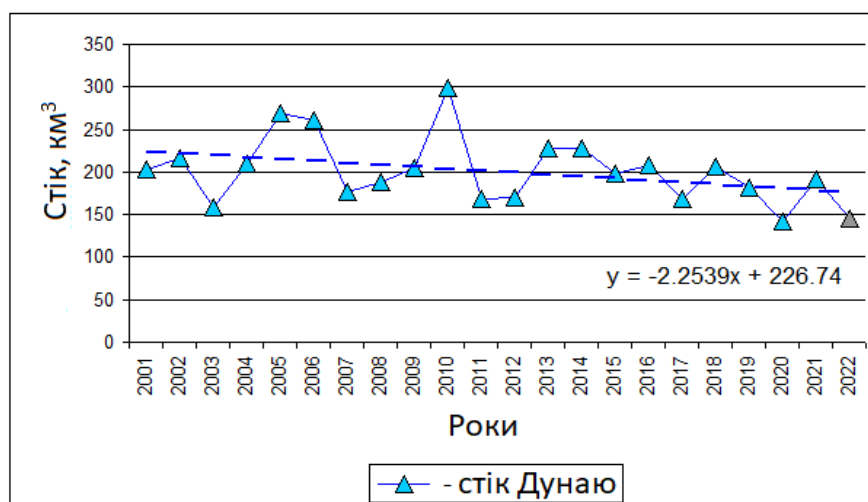


Рисунок 3.2 – Гідрограф стоку Дунаю у ХХІ столітті

Мінливість річних стоків Дунаю показана для двох відрізків часу: для 45 років з 1977 р. і для 22 років з 2001 р. по 2022 р. Лінійні тренди на обох малюнках показують зменшення стоку, причому з середньою швидкістю, що збільшилася втричі: $0,7 \text{ км}^3/\text{рік}$ і $2,1 \text{ км}^3/\text{рік}$.

Сток Дунаю за поточний 2022 р., розрахований із заміною фактичних стоків за листопад та грудень їх місячними нормами. Його значення $145,2 \text{ км}^3/\text{рік}$ поступаються у зазначеному 45-річному відрізку часу лише 1990 та 2020 роки, зі стоками $132,5 \text{ км}^3/\text{рік}$ та $142,4 \text{ км}^3/\text{рік}$, відповідно.

Відмінною особливістю 2022 року в часовому розподілі стоку Дунаю було те, що зимовий паводок перевищував весняну повінь (рис.3.3).

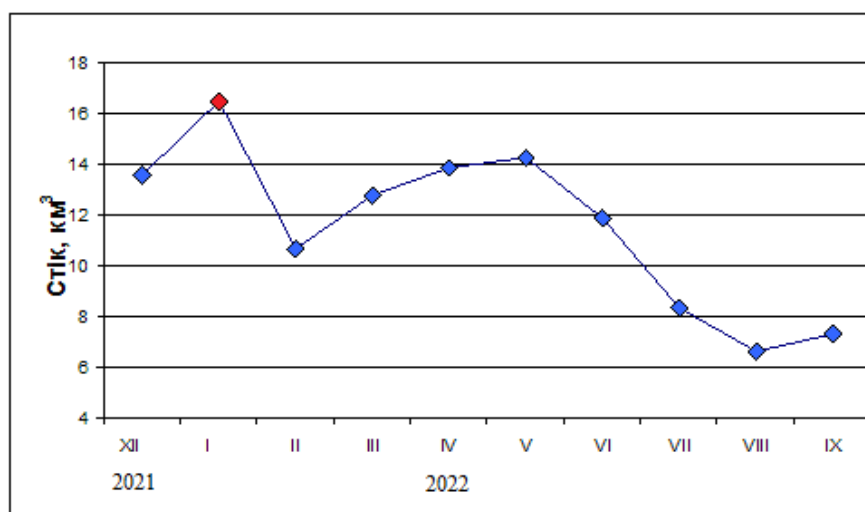


Рисунок 3.3 – Гідрограф стоку Дунаю за грудень 2021 та дев'ять місяців 2022 року

3.2 Статистика стоку Дунаю за 1991-2020 роки

На рисунку 3.1 видно, що річні стоки Дунаю можуть відрізнятися більш ніж удвічі. Такі великі відмінності у стоку такої великої річки не можуть не відбиватися на гідрофізичних характеристиках та екологічних

умовах узмор'я, західної та особливо північно-західної частин моря. А це обов'язково вимагатиме розподілити роки за величиною стоку щонайменше на три класи: нормальні, багатоводні та маловодні.

Для цього був використаний наступний критерій: роки, у які річний стік перевищував норму на величину більшу ніж стандартне відхилення, вважати багатоводними. Відповідно, роки, в які річний стік не досягав норми на величину більшу ніж стандартне відхилення, вважати маловодними. І, нарешті, роки, коли стік був між межами норма $\pm$ стандартне відхилення, розглядаються як нормальні.

Перевага такого підходу полягає в тому, що межі між класами не залежать від дослідника і повністю визначаються статистичними властивостями самого ряду.

Норма стоку Дунаю, яка діє зараз і буде дійсною до 2030 р. включно, це фактичне середнє значення річного стоку за 1991-2020 роки. Воно становить $203,2 \text{ км}^3$ при стандартному відхиленні річних стоків за цей період – $34,8 \text{ км}^3$.

Згідно з запропонованим критерієм, роки зі стоком більше $238,0 \text{ км}^3$ слід віднести до багатоводних, а зі стоком менше $168,4 \text{ км}^3$ – до маловодних. Інші роки зі стоками між цими межами слід вважати нормальними.

Результат поділу на вказані три класи ряду років, ранжованого за спаданням стоку, представлений у таблиці 1. Три роки на початку таблиці, виділені сірим фоном, виявилися багатоводними, а п'ять років на світло-сірому фоні в кінці таблиці – маловодними.

Той самий підхід можна перенести на дослідження кліматичного річного стоку Дунаю. Для цього за даними 360 місячних стоків за 1991-2020 роки розрахуємо 12 місячних норм стоку, а за ними – середній місячний сток та стандартне відхилення. Вони дорівнювали $16,93 \text{ км}^3$ і $3,77 \text{ км}^3$, відповідно. Отже, місяцями кліматичної повені будуть ті місяці, в які місячні норми були більше $16,93 \text{ км}^3 + 3,77 \text{ км}^3 = 20,70 \text{ км}^3$, а місяцями кліматичної межені ті місяці, в які місячні норми були менші $16,93 \text{ км}^3 - 3,77 \text{ км}^3 = 13,16 \text{ км}^3$.

Таблиця 3.1 – Оцінка водності років стоку Дунаю період 1991-2020 рр.

Рік	Сток, км ³	Рік	Сток, км ³	Рік	Сток, км ³
2010	299.4	2004	209.7	2019	181.5
2005	269.4	1995	209.6	1994	180.5
2006	260.1	2016	208.6	2007	176.5
1996	236.5	2018	205.7	1992	172.2
2014	227.3	1999	205.1	2012	169.7
2013	227.0	2009	204.0	2011	168.3
1997	224.5	2001	203.3	2017	167.8
1998	221.3	2015	197.8	2003	158.1
2002	216.9	1991	196.0	1993	153.7
2000	214.1	2008	188.5	2020	142.4

В результаті нормальний або кліматичний річний хід стоку (рис. 3.4) виглядає просто: максимум навесні у квітні-травні (повінь) і мінімум восени у вересні-жовтні (межень). Ці місяці вважатимемо кліматично обумовленими місяцями повені та межені.

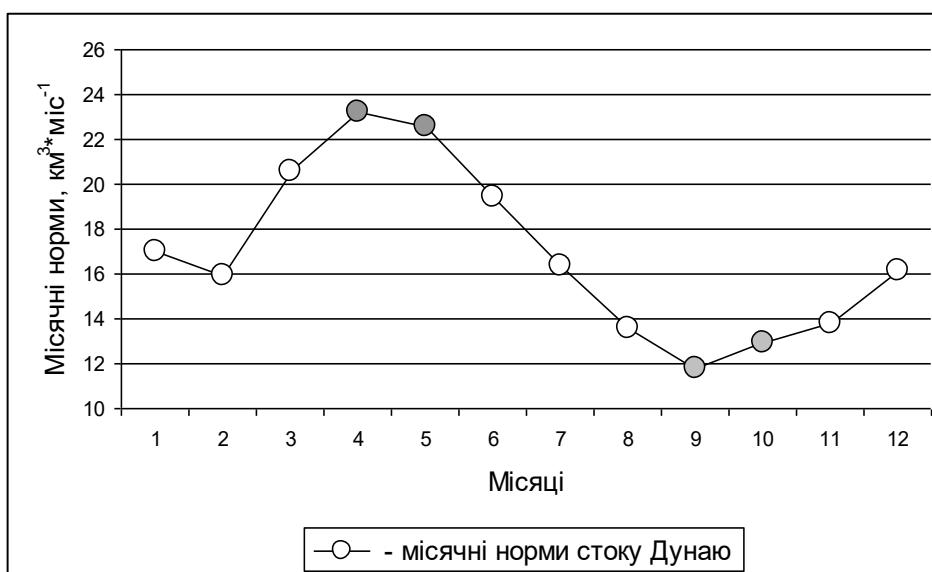


Рисунок 3.4 – Місячні норми стоку Дунаю (км³/міс.):темно сірим кольором виділено місяці кліматичної повені, світло сірим – місяці кліматичної межені

Однак, якщо той же критерій виділення повноводних та маловодних місяців застосувати до кожного року окремо, то картина стане значно складнішою. У таблиці 2 наведено статистику розподілу за календарними місяцями кількості випадків таких високих стоків, що їх слід віднести до

повіні (багатоводні місяці), і таких низьких, що вони відповідають межені (маловодні місяці).

Таблиця 3.2 – Число місяців за 1991-2020 рр., в які фактичний місячний сток Дунаю відрізнявся від середньомісячного за цей рік, значення більш ніж на стандартне відхилення, у більшу чи меншу сторону

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Багатоводні	3	2	8	16	16	6	2	2	0	0	3	2
Маловодні	2	4	0	0	0	0	3	11	15	8	9	2

Із 360 місяців за 1991-2020 рр. 68% відносяться до нормальних, 17% – до багатоводних та 15% – до маловодних. З 60 багатоводних місяців максимальна їхня кількість, по 16, справді потрапили у місяці кліматичної повені (квітень та травень). Крім них було 8 багатоводних (березень), які можна розглядати як ранні повені, а 6 багатоводних (червень) – як повені, що затяглися. На ці 4 календарні місяці, з березня по червень, припадає 78 % багатоводних від їх загальної кількості 60. Жодного випадку високої води не відмічено у двох місяцях кліматичної межені, у вересні та жовтні. Інші 14 багатоводних місяців слід розглядати як паводки, і вони розподілилися в липні-серпні та з листопада до лютого. Паводки – це підвищення стоку та рівня річки, які не прив'язані до сезону та менш тривалі.

З 54 маловодних місяців максимальна кількість – 15 – справді припала на один із двох місяців кліматичної межі, вересень, а ще 11 – на серпень. Жодного низького меженного рівня стоку не відзначено в багатоводну частину року з березня по червень.

Статистика 60 випадків високих місячних стоків за 1991–2020 роки дозволяє зробити такі висновки:

- повені не завжди проходять у кліматично визначені для них місяці, квітень та травень. На них припало по 16 випадків – у сумі 53 %;

- у два календарних місяці високі значення стоку відсутні, і це якраз місяці кліматичної межені (вересень та жовтень);
- на решту 8 місяців припадають 28 випадків високих стоків, що залишилися, які можуть бути ранньою повінню у березні (8 випадків) або пізньою – в червні (6 випадків), а також паводками через інтенсивне випадання дощу або танення снігу на великих ділянках басейну річки.

Статистика 59 низьких місячних стоків за ті ж 30 років свідчить про таке:

- жовтні (16 и 8 випадків малих, меженних стоків) слід додати серпень з 11 випадками малих вод. Ці 3 місяці у сумі дають 34 випадки низького меженного стоку – 63 %;
- жодного випадку низького стоку не було в кліматично визначених місяцях для повені квітні та травні, а також у суміжних з ними березні та червні.

3.3 Сток Дніпра

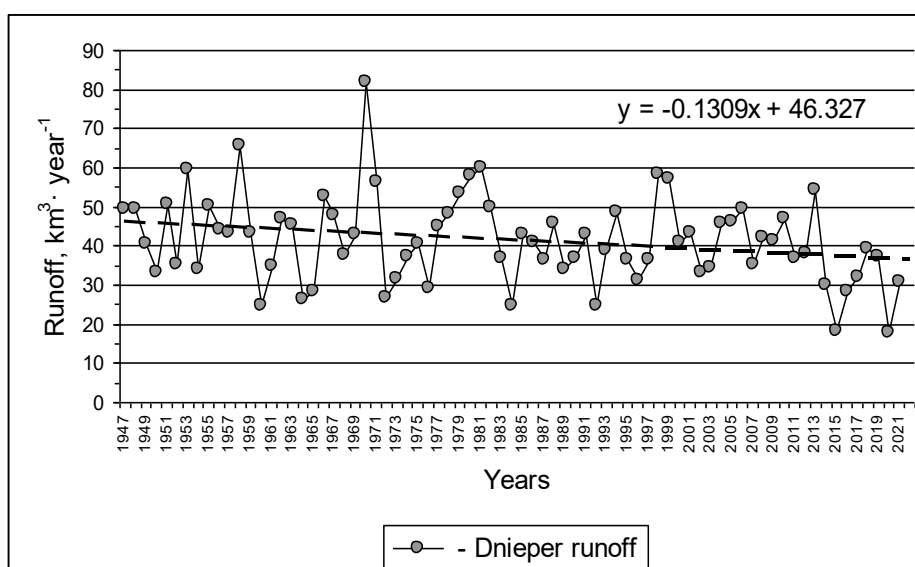


Рисунок 3.5 – Гідрограф стоку Дніпра з 1947 до 2021 р.

Сток Дніпра (рис. 3.5) так само, як і сток Дунаю, має тенденцію до зменшення. Зменшення стоку, розраховане за трендом, становило $9,7 \text{ км}^3$ за 75 років, що дає середню швидкість зниження стоку $0,13 \text{ км}^3/\text{рік}$.

3.4 Сток Дністра

За останні десятиліття річний сток Дністра (рис. 3.6) не досяг величин статистичної "норми", яка визначається в діапазоні $9,2\text{--}10,21 \text{ км}^3$. У 2016 році обсяг стоку на ГП Бендери зменшився до мінімальних значень $5,05 \text{ км}^3$ [2]. За 76 років сток Дністра зменшився на величину порядку одного км^3 . Середня швидкість зменшення стоку Дністра $0,013 \text{ км}^3$ на рік.

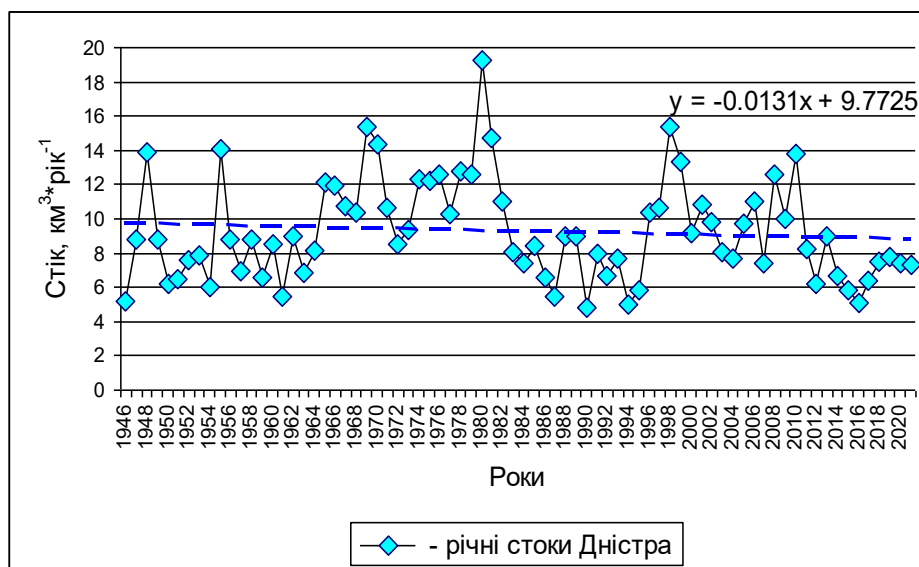


Рисунок 3.6 – Гідрограф стоку Дністра в 1946 – 2021 рр. (м. Бендери)

Таким чином, сумарний обсяг стоку основних річок ПнЗЧ ЧМ за останні двадцять років зменшився на величину порядку $42\text{--}43 \text{ км}^3$.

4 ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ СОЛОНОСТІ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ СММСК ЗА ПЕРІОД 2003-2021 РОКІВ

Для аналізу просторового розподілу та тимчасової мінливості полів солоності Чорного моря були використані дані супутникових спостережень та математичного моделювання гідрофізичних процесів, що надаються СММСК.

Для аналізу розподілу полів солоності Чорного моря було обрано дані з наступними параметрами: просторовий розподіл – 3х3 км, тимчасовий розподіл – середньомісячні дані, по вертикалі – горизонт 2,5 м. Розрахунки проводилися для періоду 2003 – 2021 рр.

На рисунках 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 показано розподіл солоності у ЧМ на горизонті 2,5 м у січні, квітні, липні та жовтні 2021 року.

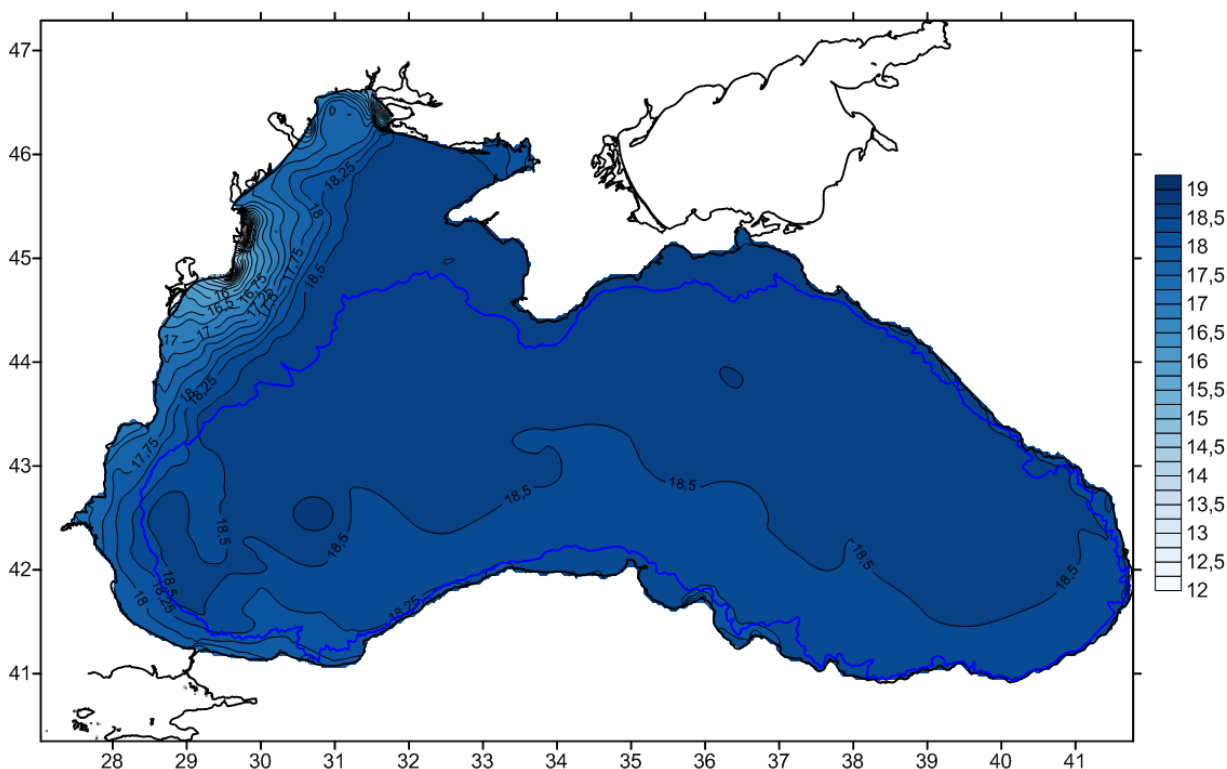


Рисунок 4.1 – Розподіл полів солоності Чорного моря у січні 2021 р.

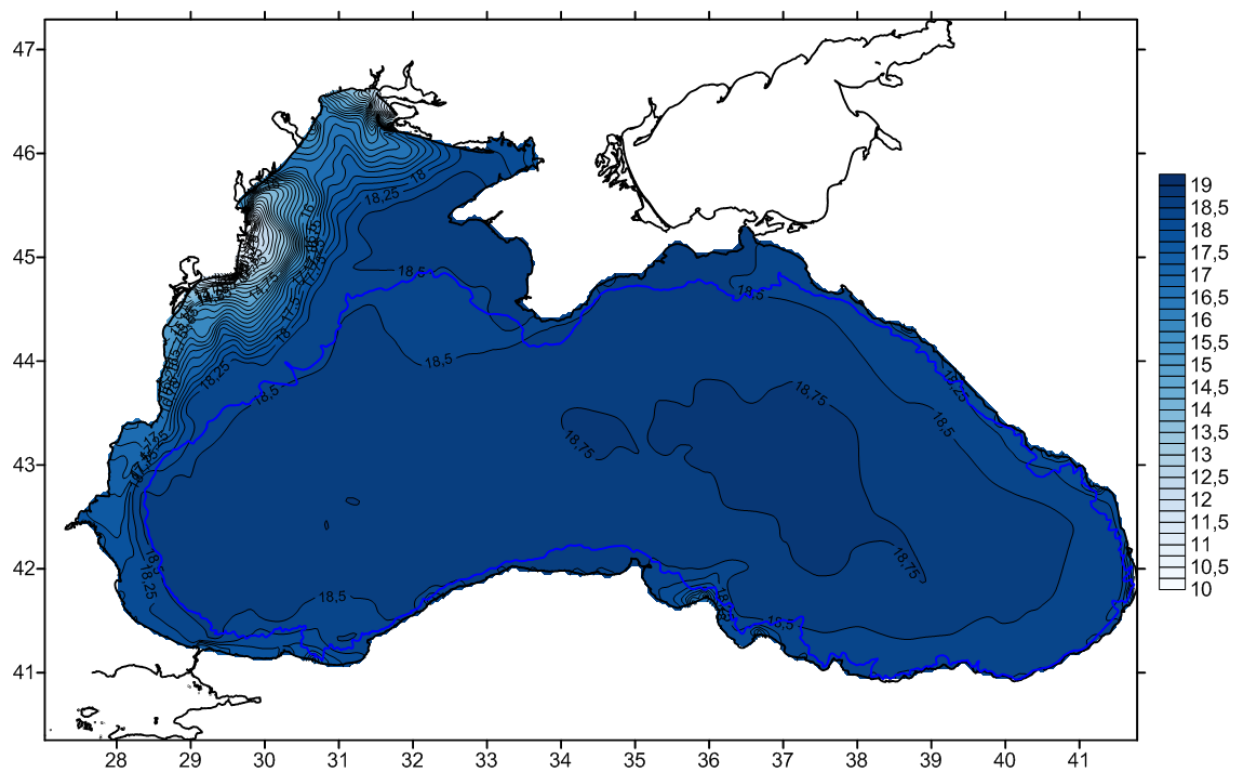


Рисунок 4.2— Розподіл полів солоності Чорного моря у квітні 2021 р.

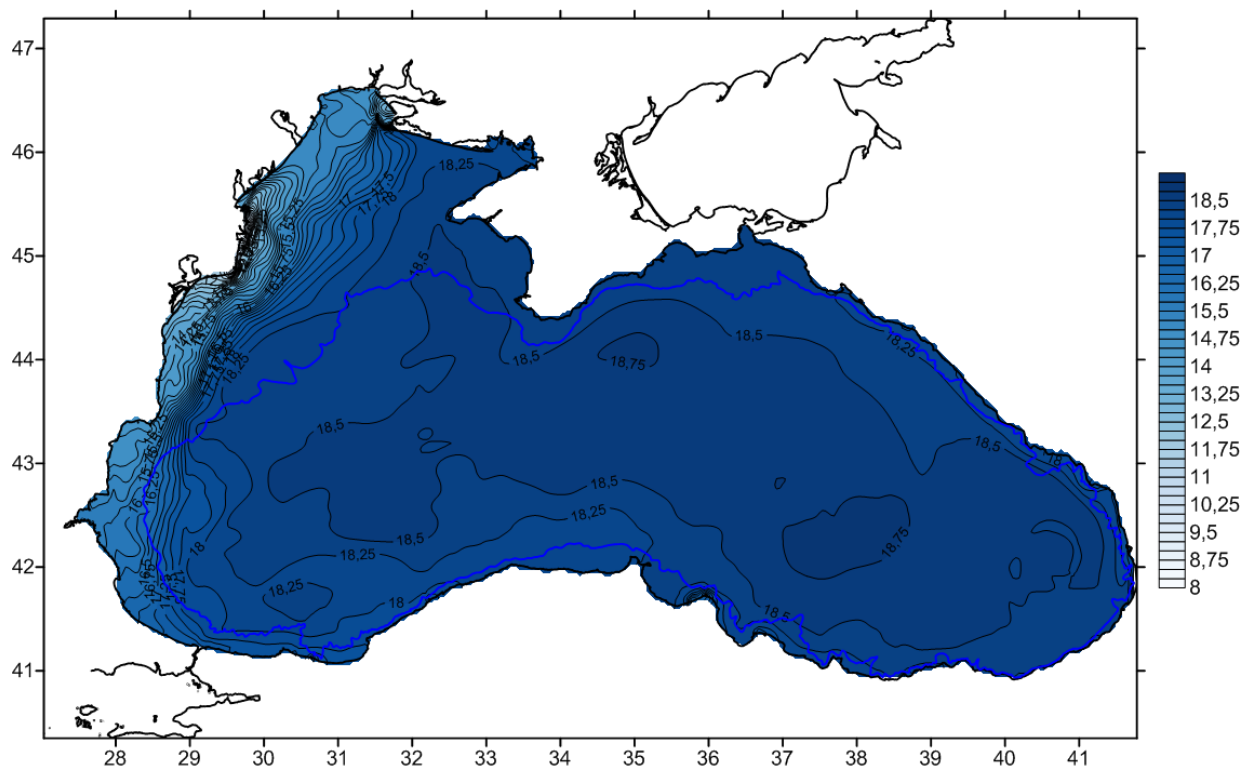


Рисунок 4.3 – Розподіл полів солоності Чорного моря у липні 2021 р.

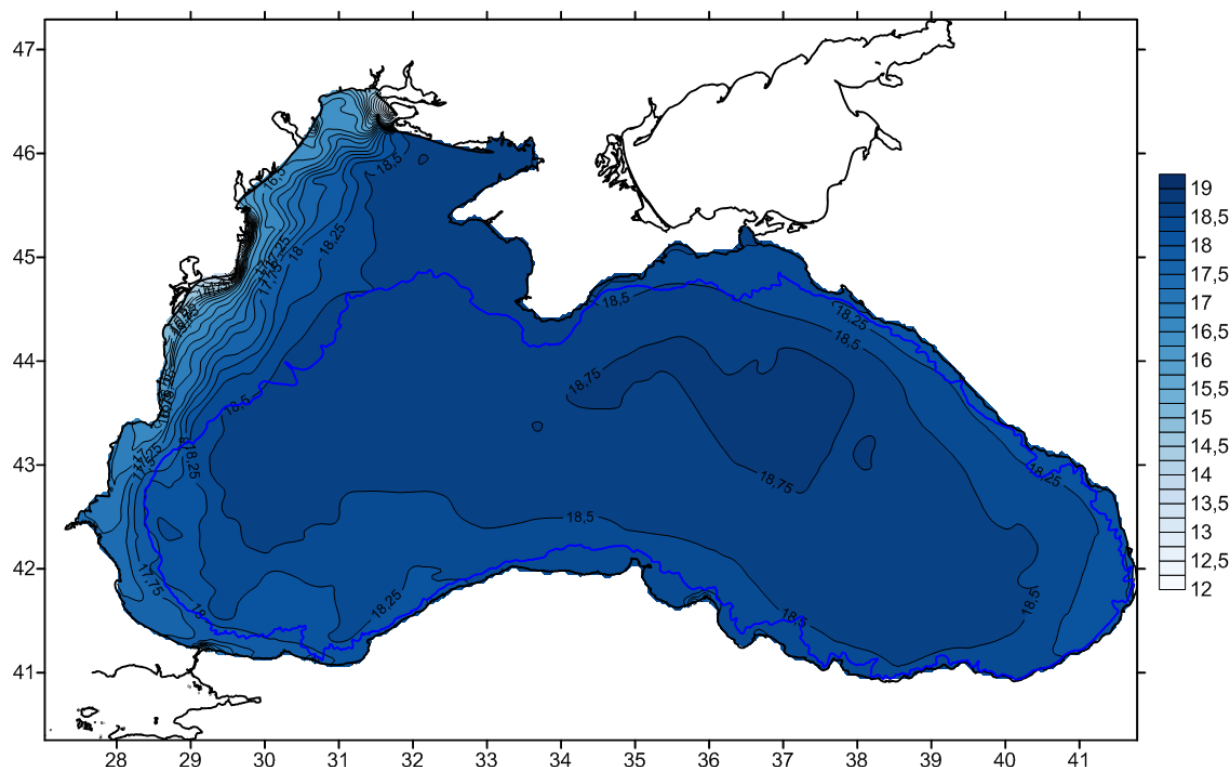


Рисунок 4.4 – Розподіл полів солоності Чорного моря у жовтні 2021 р.

Розглядаючи часову мінливість полів солоності Чорного моря, слід відзначити нерівномірність розподілу для кожного сезону.

У зимовий період вся центральна частина сформована полями солоності понад 18,5 опс (рис. 4.1). Південна частина – від протоки Босфор до Батумі – 18,25–18,5 опс, що пов'язано з посиленням Основної Чорноморської Течії (ОЧТ) в зимовий час. У ПЗЧ ЧМ добре виражена вздовж берегова область зниженої солоності, менше 14,0 опс, обумовлена прісноводними стоками річок.

У весняний період (рис. 4.2) величини солоності для більшості Чорного моря досягають 18,5 опс з областями підвищеної солоності понад 18,75 опс у східній частині моря. У ПЗЧ ЧМ збільшилася область розпріснених вод (менше 13,0 опс) у зв'язку з початком паводку річок – від Дніпро–Бузького лиману до гирла р. Дунай.

У літній період (рис. 4.3) центральна частина Чорного моря характеризується солоністю понад 18,5 опс, більша частина простору сформована водами із солоністю в межах 18,25÷18,50 опс. Уздовж узбережжя

ПЗЧ ЧМ від Дніпро–Бузького лиману до Босфору сформувалася смуга вод зниженої солоності зі значеннями від 15,00 опс і менше.

В осінній період (рис.4.4) центральну частину Чорного моря займає область із солоністю понад 18,5 опс. Уздовж південного узбережжя Чорного моря тягнеться смуга вод із солоністю $18,25 \div 18,50$ опс, обумовлена інтенсифікацією ОЧТ. У ПЗЧ ЧМ від Дніпро-Бузького лиману до узбережжя Болгарії сформовано вузьку смугу зниженої солоності, обумовлену стоком річок.

Отримані результати порівнювалися з кліматичними даними, наведеними в [2] і показали хороший якісний збіг розподілу полів солоності. Цікавим є часова мінливість полів солоності ЧМ за проміжок 2003÷2021 років. Для цього були розраховані різниці значень полів для зимового (рис. 4.5), весняного (рис. 4.6), літнього (рис. 4.7) та осіннього (рис. 4.8) періодів.

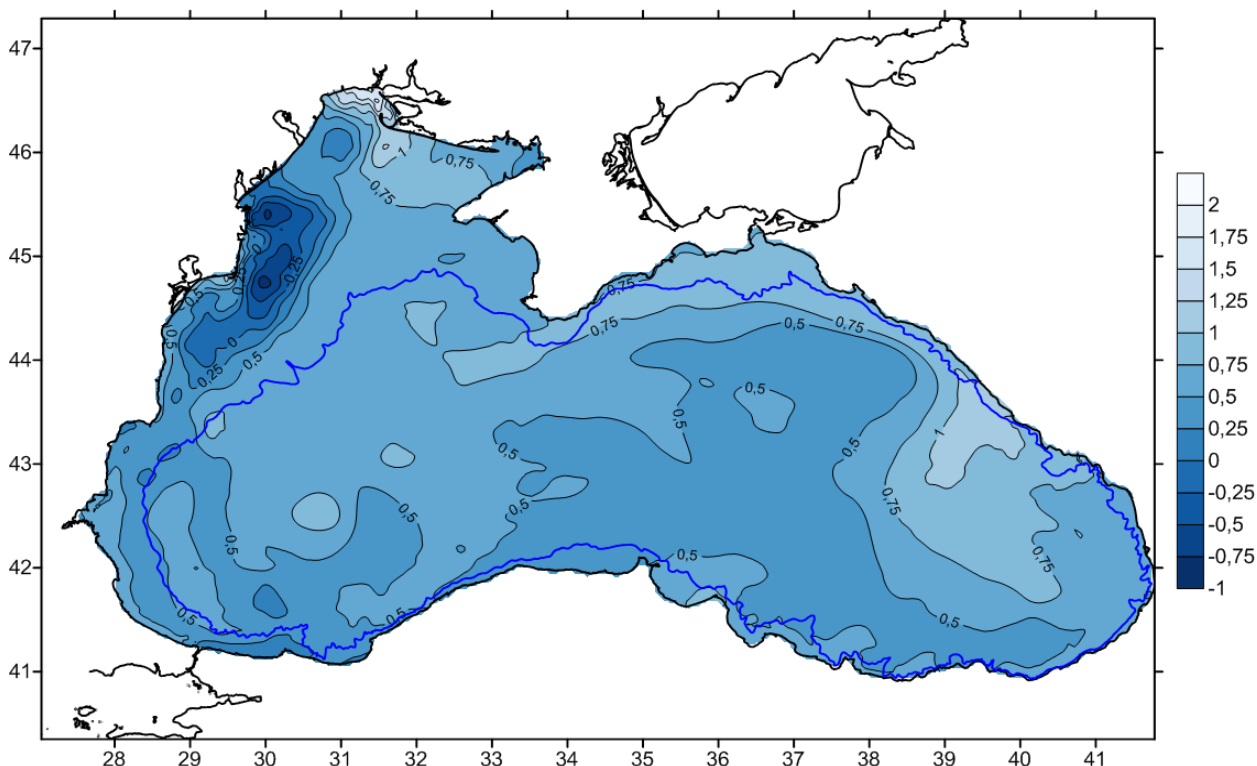


Рисунок 4.5 – Різниця значень полів солоності Чорного моря за січень 2021 та 2003 років

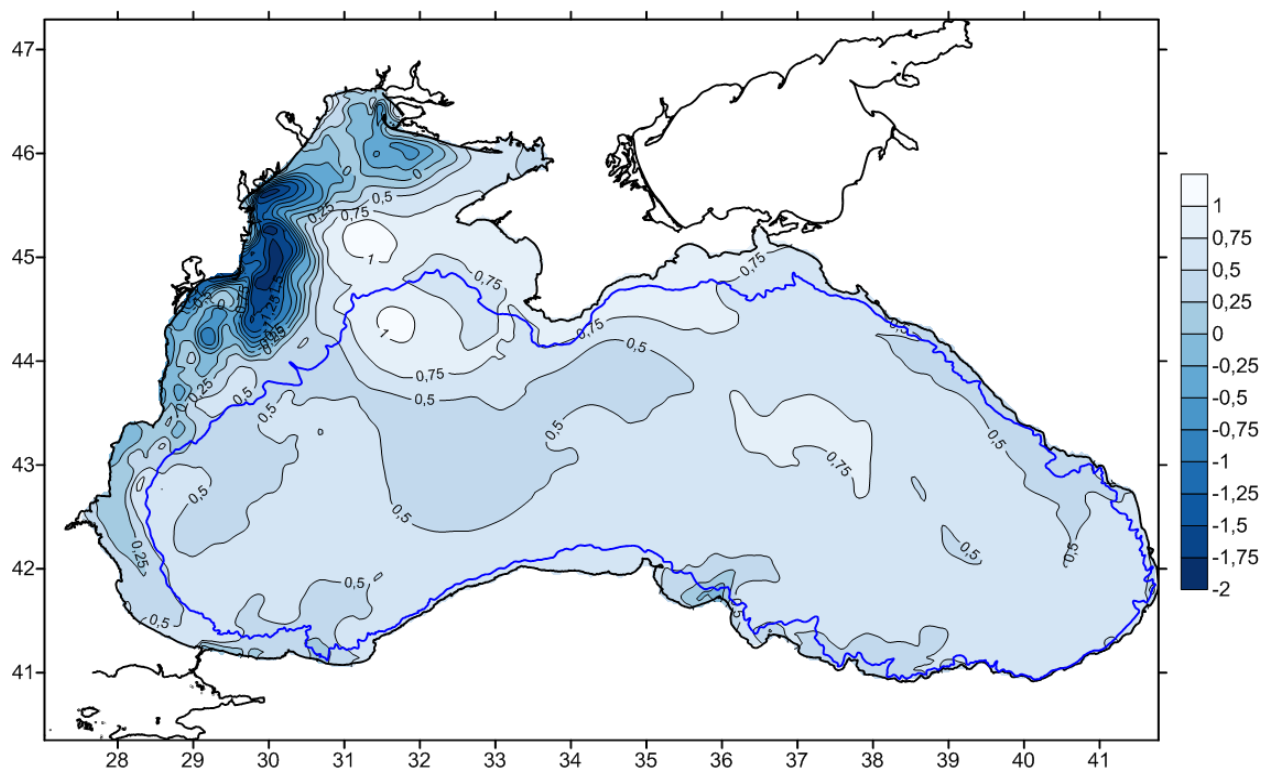


Рисунок 4.6 – Різниця значень полів солоності Чорного моря за квітень 2021
та 2003 років

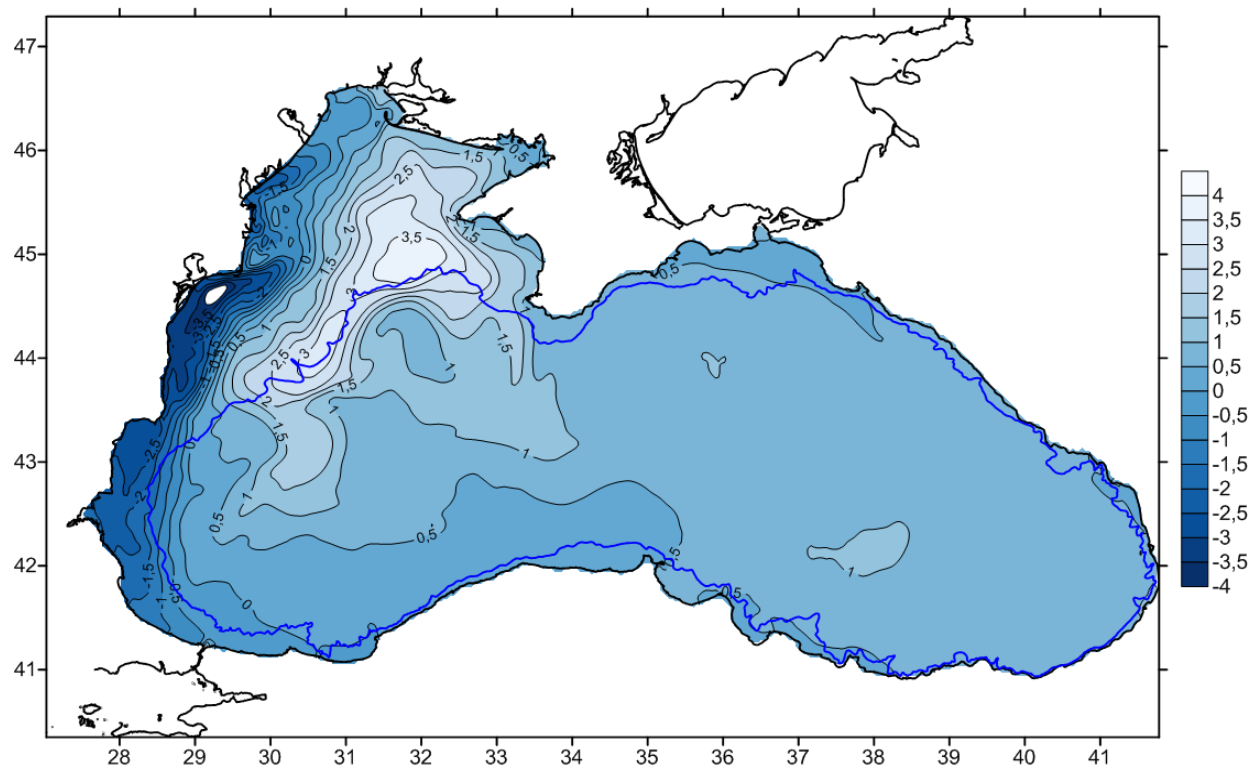


Рисунок 4.7 – Різниця значень полів солоності Чорного моря за липень 2021
та 2003 років

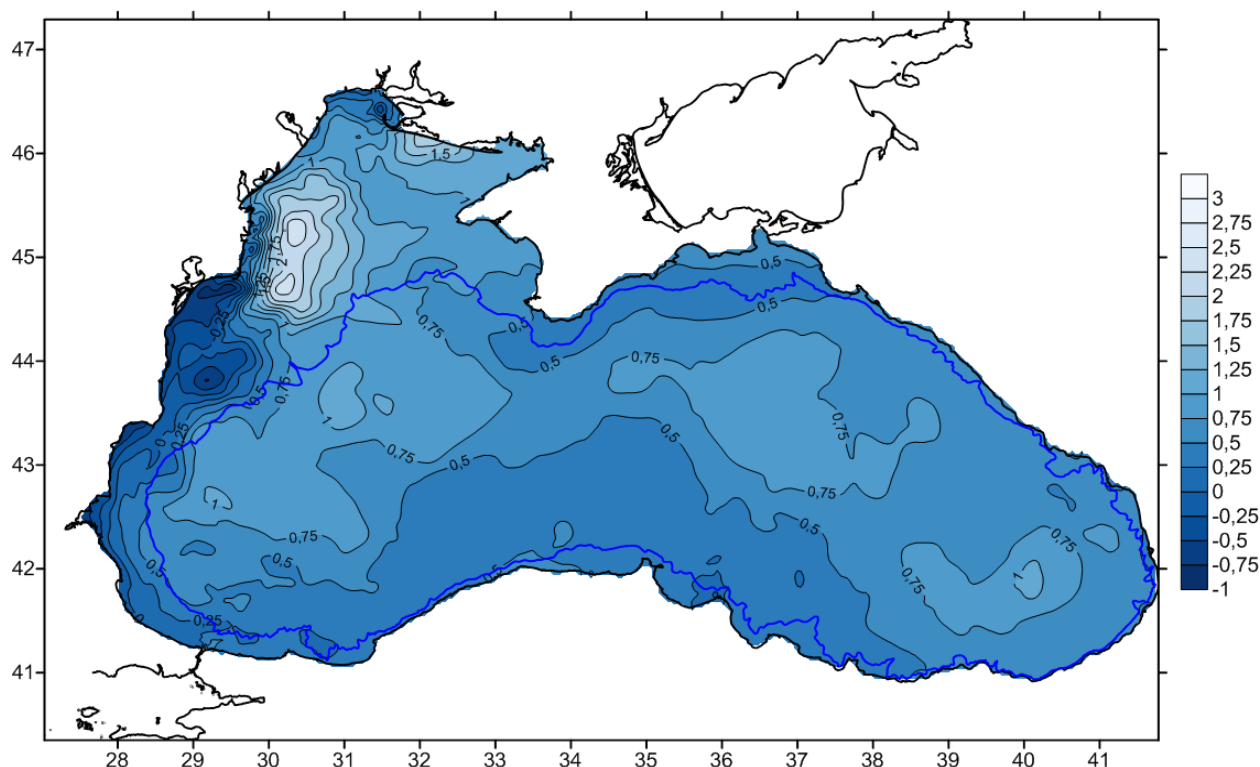


Рисунок 4.8 – Різниця значень полів солоності Чорного моря за жовтень 2021 та 2003 років

Для всіх сезонів загальним є підвищення солоності для всієї акваторії Чорного моря в межах від 0,5 до 0,75 опс. Негативна різниця значень відзначена в області, близькій до гирла Дунаю – до 0,5 опс. Різко відрізняється розподіл різниць солоності для літнього періоду (рис. 4.7) і частково для осіннього (рис. 4.8), де виділяються великі області ПнЗ частини ЧМ, де позитивна різниця значень досягає 3,5 опс.

Для ретельнішого аналізу отриманих значень було виділено райони, де формуються фронтальні зони з високими градієнтами солоності, виділені зони з більш рівномірними показниками гідрофізичних характеристик (рис. 4.9).

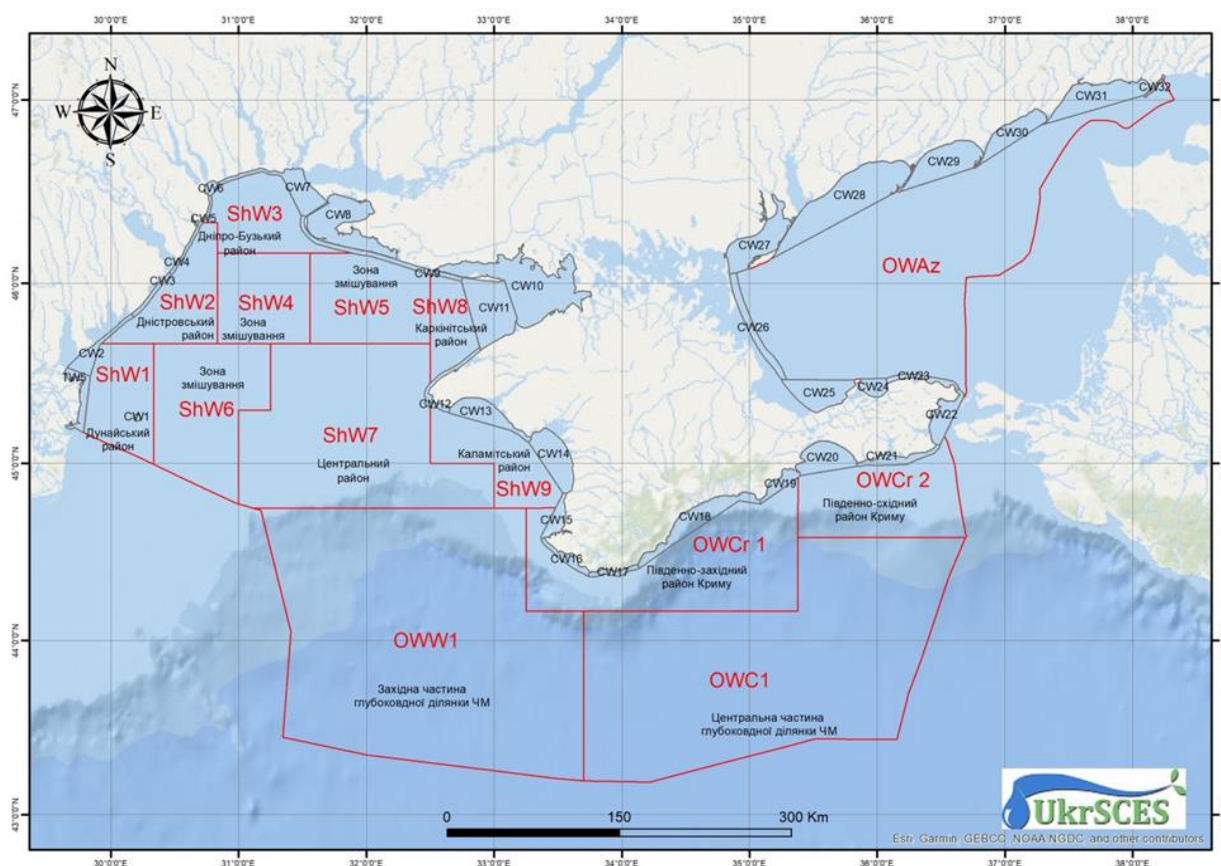


Рисунок 4.9 – Районування Чорного та Азовського морів

CW – (Coastal Waters) прибережні води;

ShW – (Shelf Waters) райони шельфу;

OW – (Open Waters) райони відкритого моря;

TW – (Transit Waters) райони транзитних вод.

Виходячи з даних масиву солоності СММК, аналізувалась мінливість солоності у виділених районах, крім Азовського моря. До кожного виділеного району, враховуючи його конфігурацію, розраховувалося середнє значення солоності. Оскільки просторове дозвіл сітки 3х3 км, у вибрані області попадало від 3–х і більше значень величин. Вибірка проводилася із загального масиву солоності для Чорного моря у період з 2003 по 2021 рр. Розраховувалася як річна мінливість солоності, так і міжрічна, також розраховувалася тенденція мінливості солоності кожного району.

За ступенем впливу прісноводного стоку річок прибережні райони можна поділити на такі групи:

1. TW5, CW1–CW7 – райони з максимальним впливом прісноводного стоку;
2. CW8, CW10, CW11 – райони формування солоності у затоках;
3. CW9 – відкритий район, Тендрівська коса
4. CW12 – CW21 – райони вздовж узбережжя Криму з формуванням солоності за рахунок морських течій;
5. ShW1 – ShW7 – шельфові зони ПнЗЧМ, солоність вод яких формується внаслідок змішування вод річкового стоку та вод відкритого моря
6. OWCr1 – OWCr2 – глибоководні зони, що прилягають до південного узбережжя Криму;
7. OWW1, OWC1 – області відкритого моря.

Розглянемо характерні приклади для цих районів (горизонт 2,5 м).

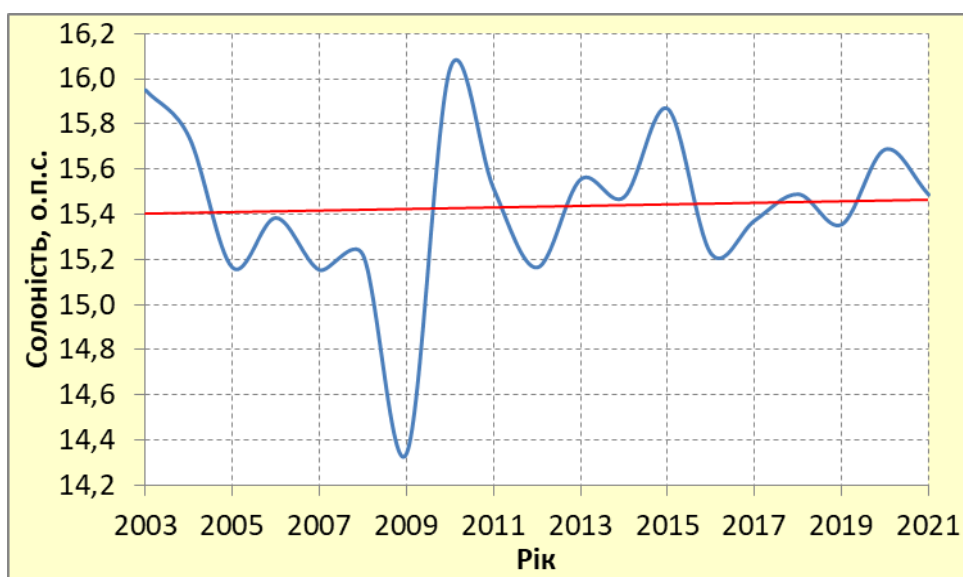


Рисунок 4.10 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району CW2 (Сасик) 2003–2021 рр.

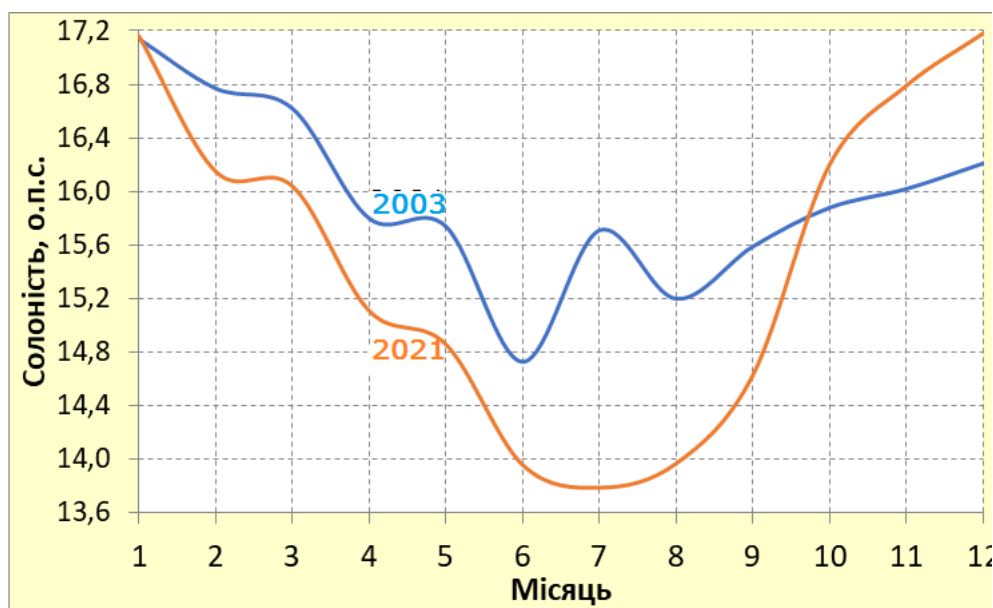


Рисунок 4.11 – Середньомісячні значення солоності у району SW2в 2003 та 2021 рр.

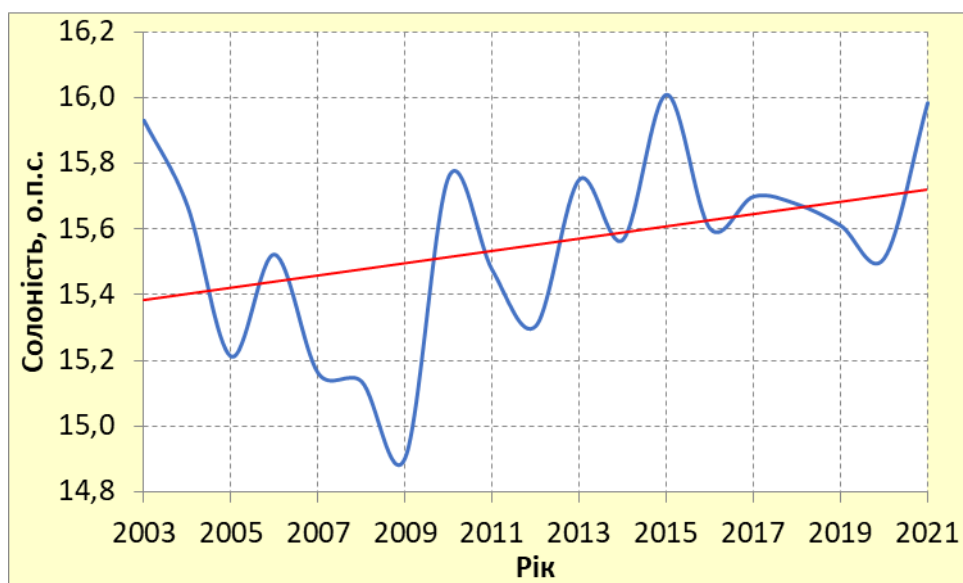


Рисунок 4.12 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району SW4 (Дністровський лиман) 2003–2021 рр.

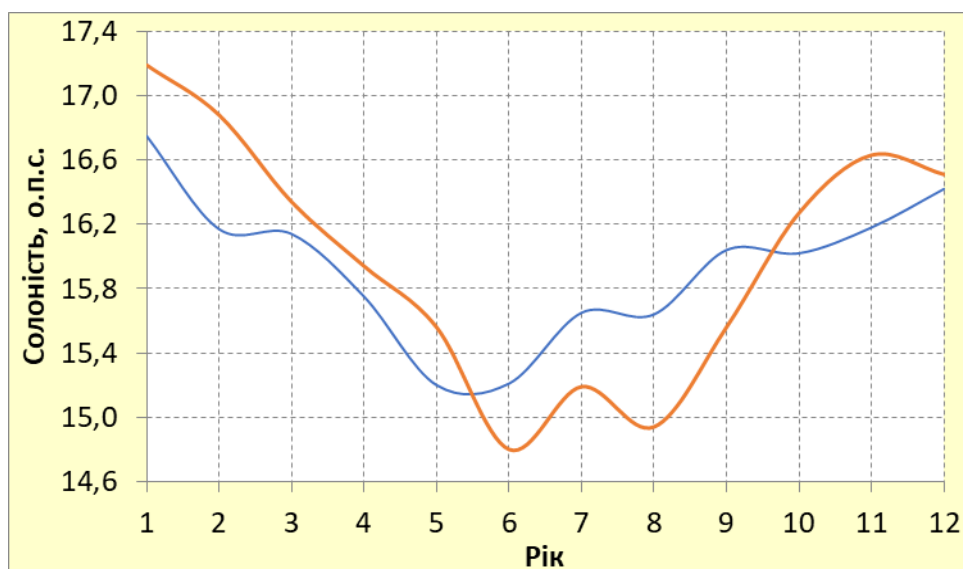


Рисунок 4.13 – Середньомісячні значення солоності в районі CW4, у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

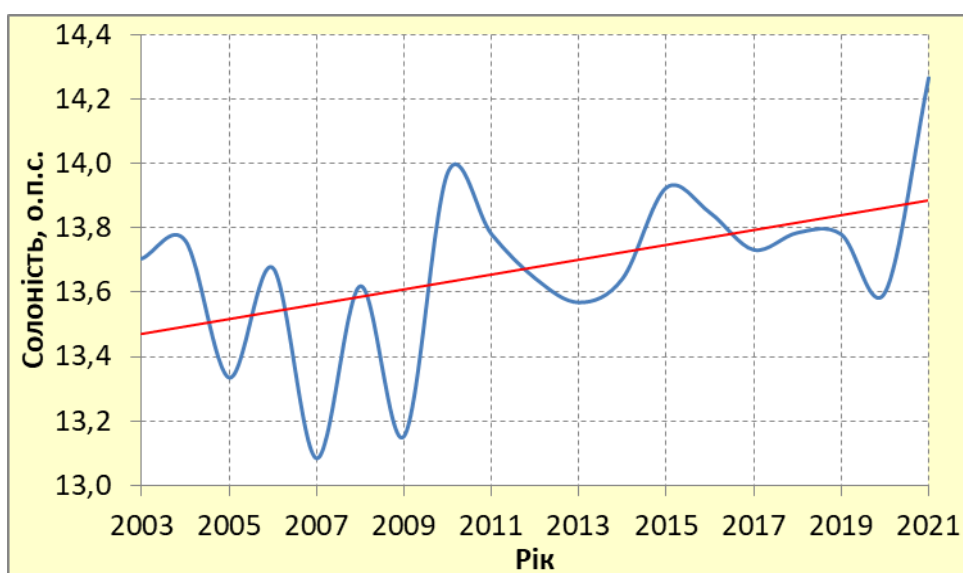


Рисунок 4.14 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району CW7 (Дніпро–Бузький лиман) 2003–2021 рр.

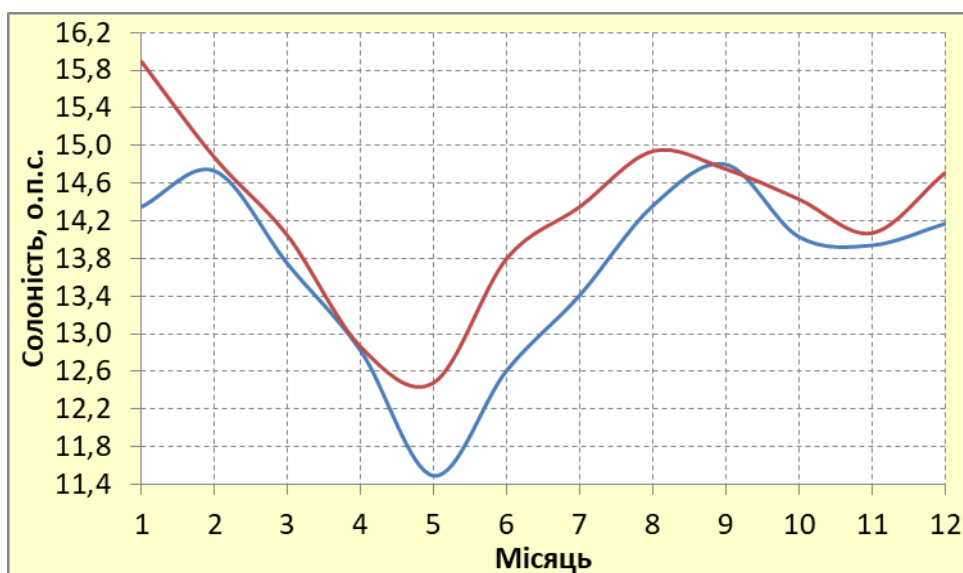


Рисунок 4.15 – Середньомісячні значення солоності в районі CW7у 2021 (помаранчева лінія)та 2003(блакитна лінія) рр.

У районах, що безпосередньо прилягають до річок (рис. 4.10, 4.12, 4.14), де формування полів солоності майже повністю залежить від обсягу стоку, зміна величини солоності (тренд) коливається від практично нульового (гирло Дунаю) до 0,4 опс в районі Дніпро–Бузького лиману. Внутрішньорічний перебіг солоності (рис. 4.13,4.15, 4.17) також вказує на повну залежність формування характеристики від об'ємів стоку. Порівняння внутрішньорічного перебігу солоності 2003 р. з багатоводним 2021 р. підтверджують цю залежність.

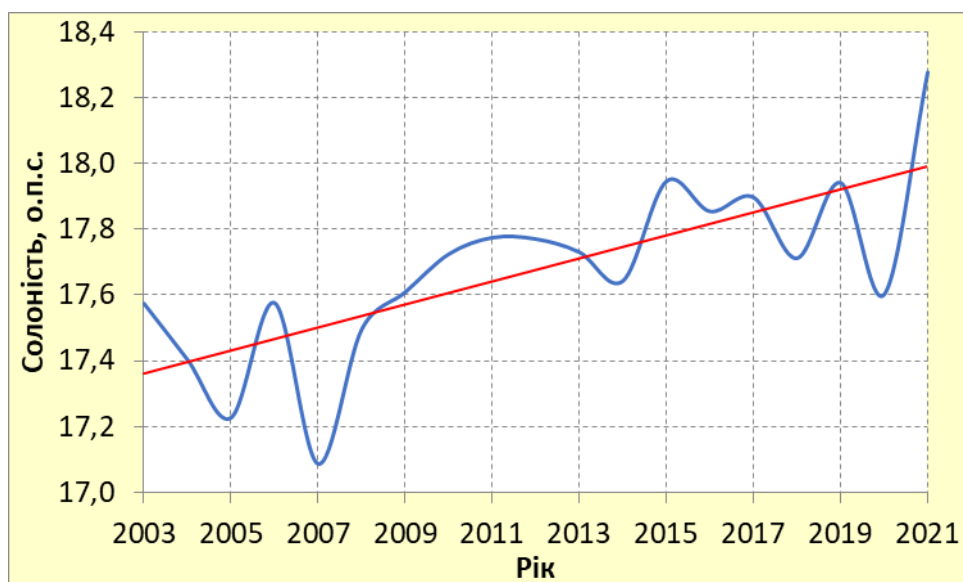


Рисунок 4.16 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району CW10 (Каркінітська затока) 2003–2021 рр.

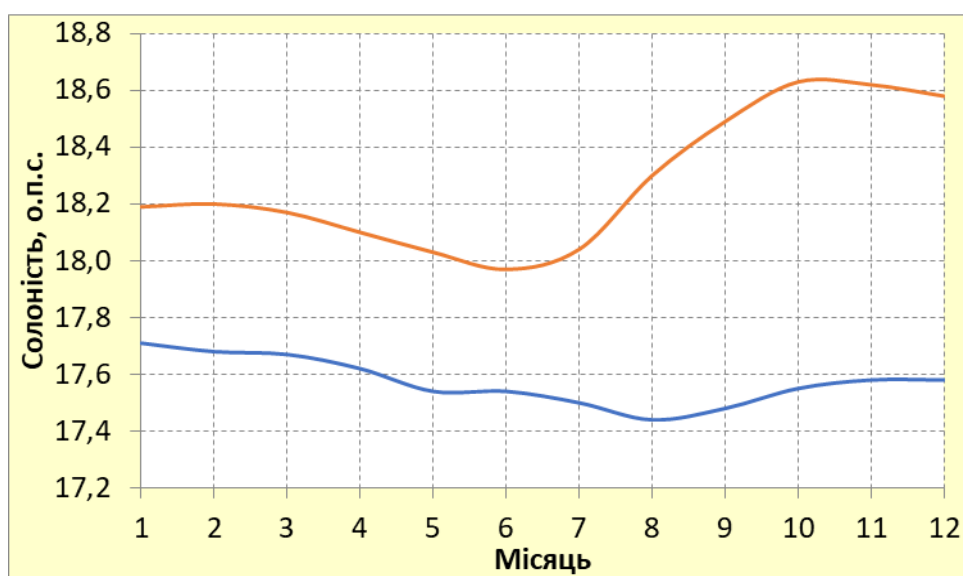


Рисунок 4.17 – Середньомісячні значення солоності в районіCW10, у 2021 (помаранчева лінія)та 2003(блакитна лінія) рр.

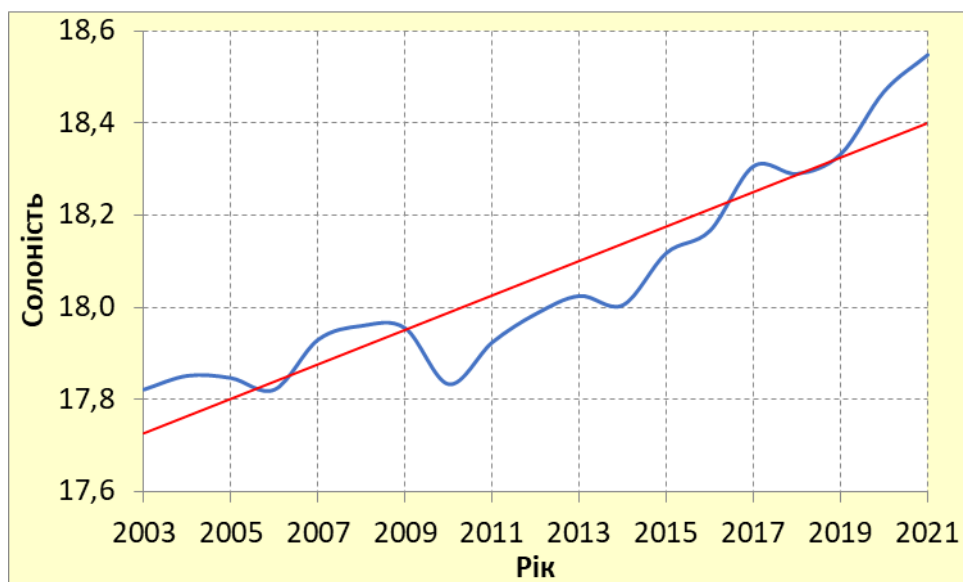


Рисунок 4.18 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району CW16 (південно-західний район Криму) 2003–2021 рр.

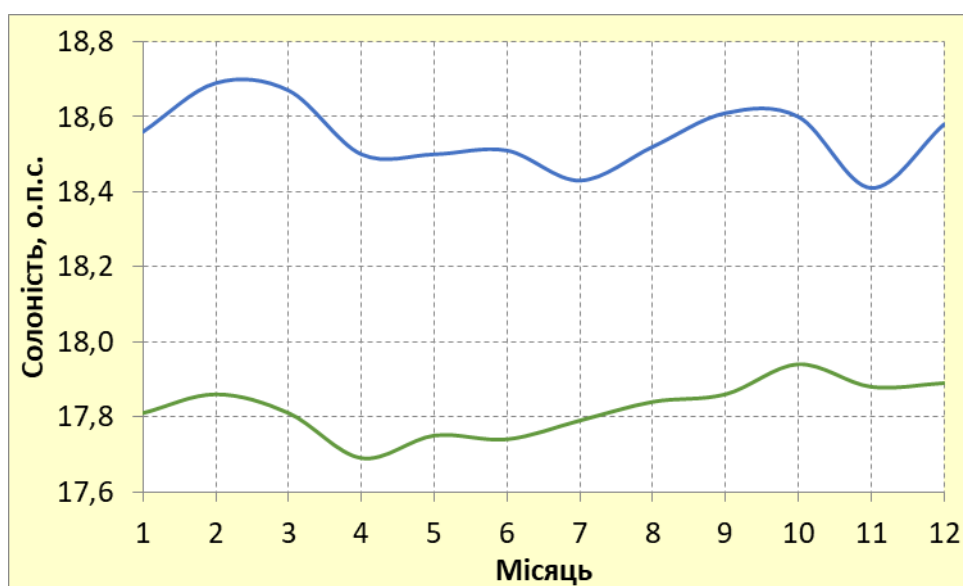


Рисунок 4.19 – Середньомісячні значення солоності в районі CW16 у 2003 (зелена лінія) та 2021 (блакитна лінія) рр.

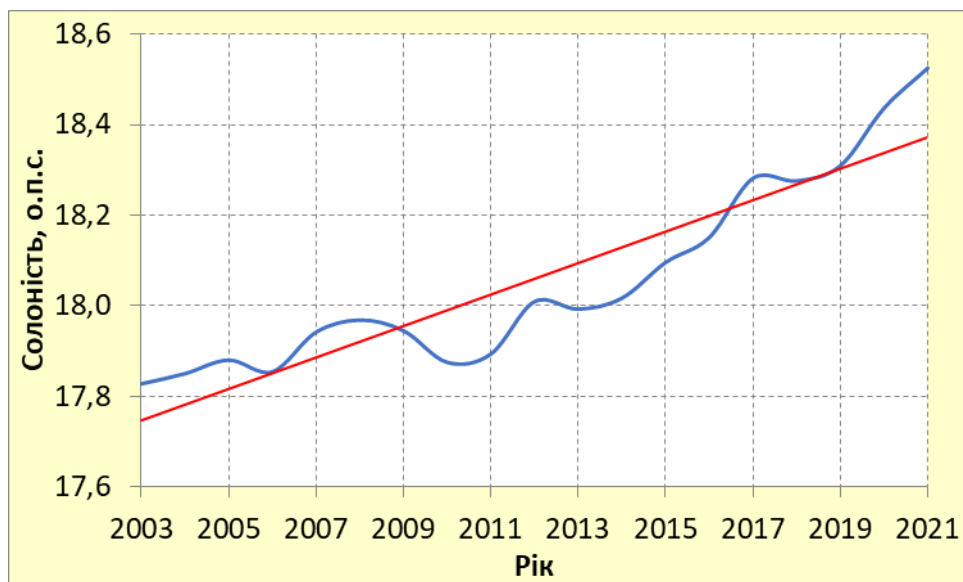


Рисунок 4.20 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району CW22 (район Керченської протоки) 2003–2021 рр.

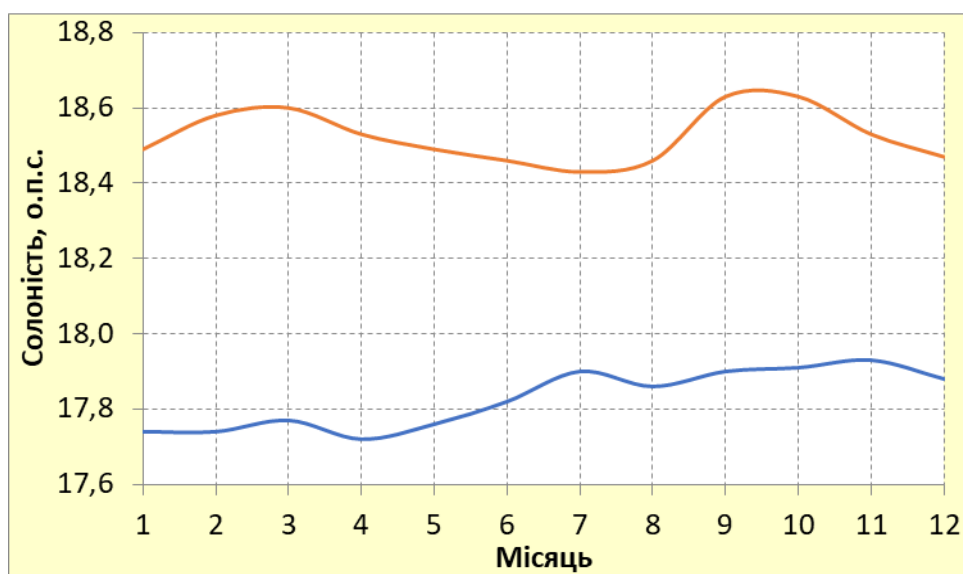


Рисунок 4.21 – Середньомісячні значення солоності в районі CW22, у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

Для районів, прилеглих до узбережжя Криму (рис. 4.17, 4.19, 4.21) характерний позитивний тренд, тобто починаючи з 2003 р. до 2021 р. солоність підвищилась від 0,60пс. до 0,70 пс. Особливо це помітно на рисунках 4.18, 4.20, 4.22, де показаний внутрішньорічний хід солоності за 2003 та 2021 рр.

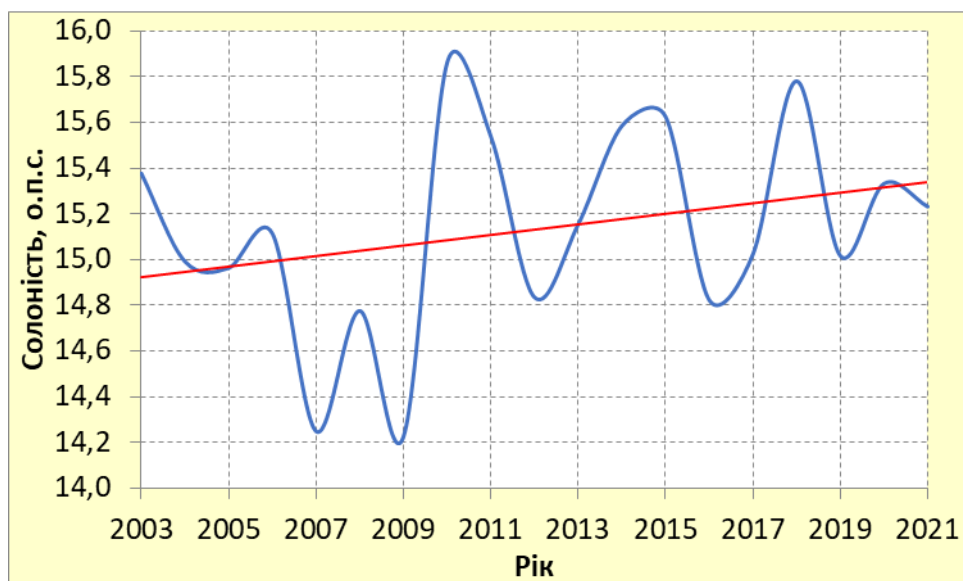


Рисунок 4.22 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району ShW1 (район гирла Дунаю) 2003–2021 рр.

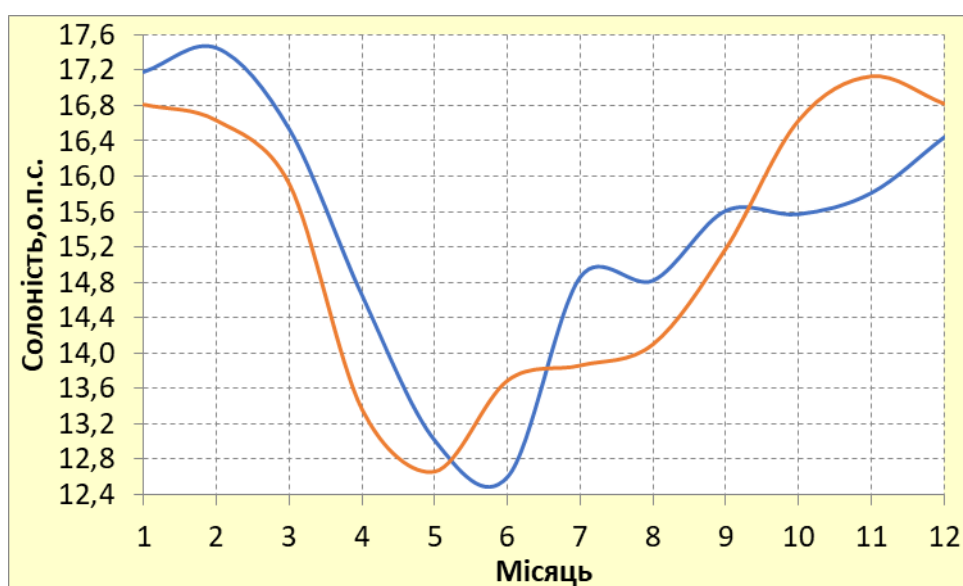


Рисунок 4.23 – Середньомісячні значення солоності в районі ShW1 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

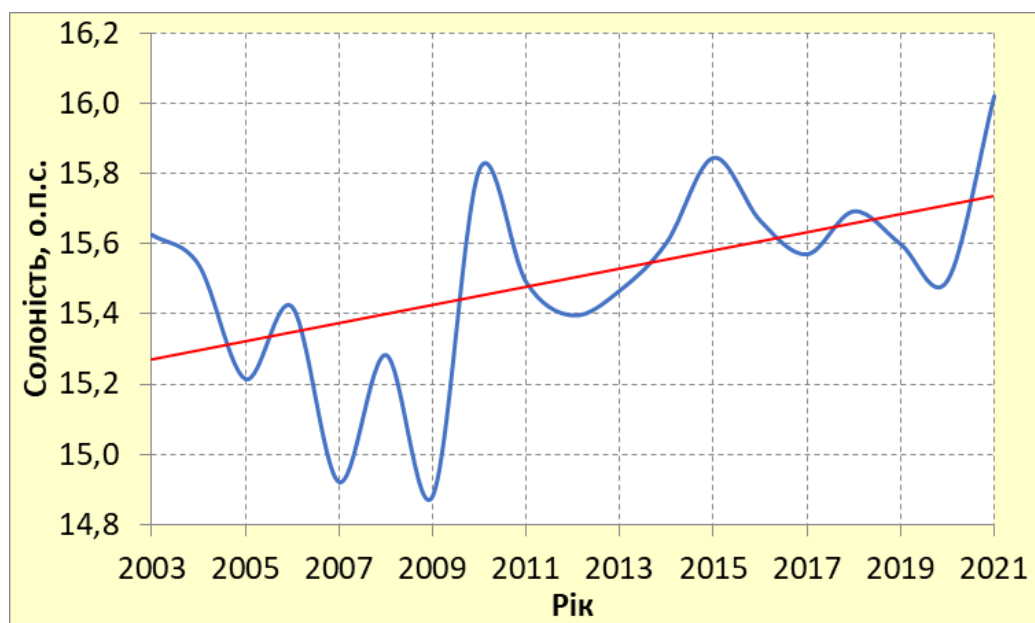


Рисунок 4.24 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району ShW3 (Дніпро–Бузький район) 2003–2021 рр.

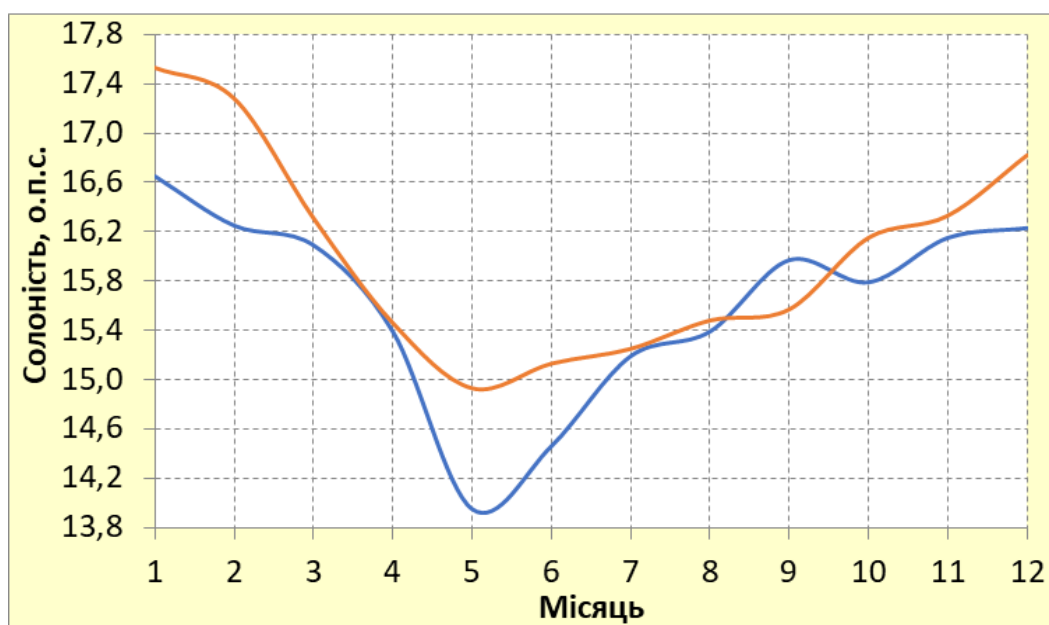


Рисунок 4.25 – Середньомісячні значення солоності в районі ShW3 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

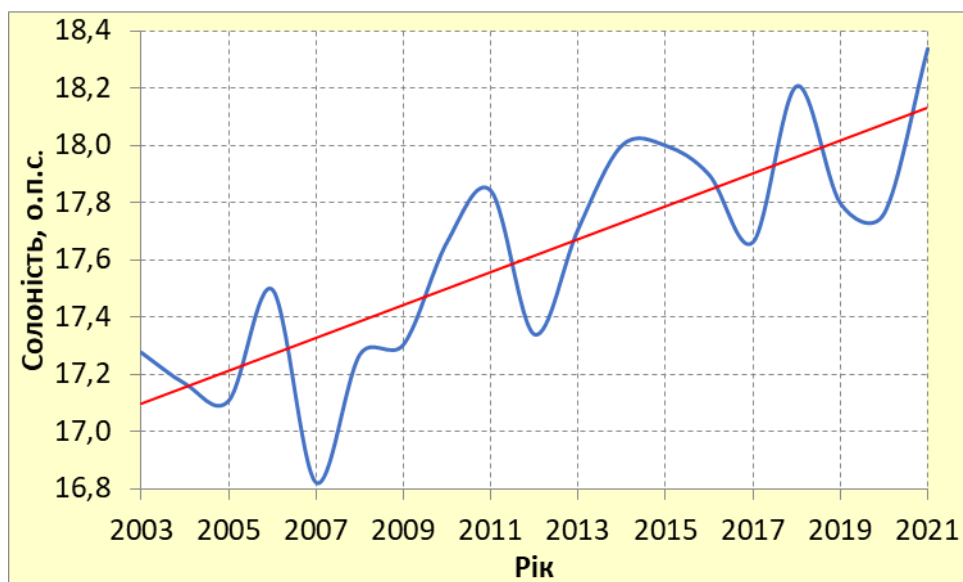


Рисунок 4.26 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району ShW7 (Центральний район) 2003–2021 рр.

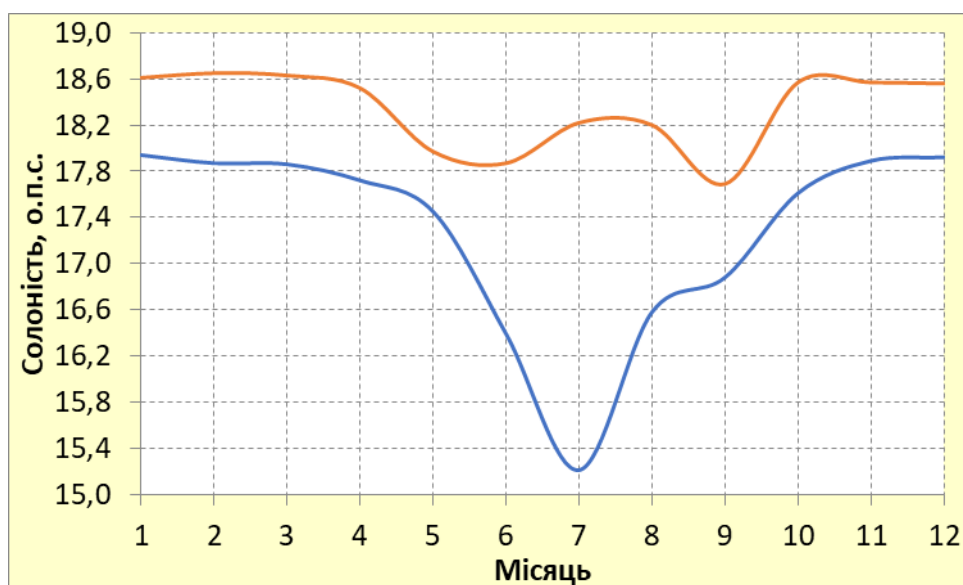


Рисунок 4.27 – Середньомісячні значення солоності в районі ShW7 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

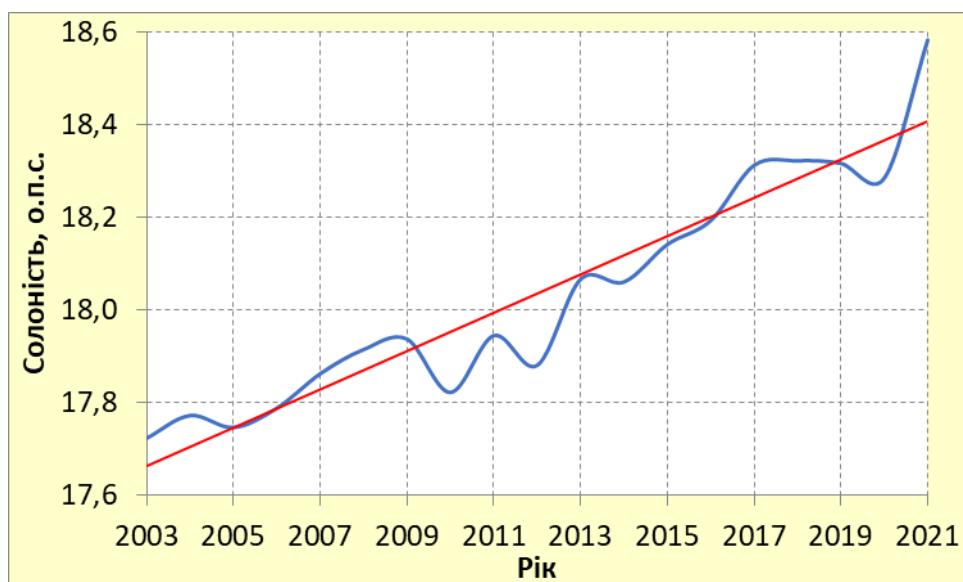


Рисунок 4.28 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району ShW9 (Каламітський район) 2003–2021 рр.

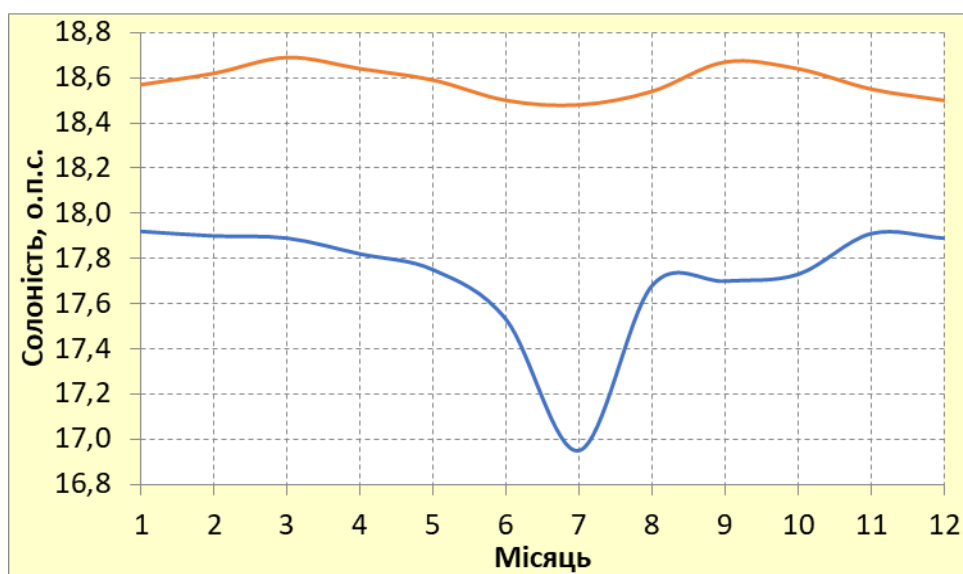


Рисунок 4.29 – Середньомісячні значення солоності в районі ShW9 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

Шельфові райони можна розділити на дві категорії – це ті, що безпосередньо прилягають до гирл річок (рис.4.23, 4.24, 4.25, 4.26) та районів, віддалених від берегів (рис. 4.27, 4.28, 4.29, 4.30). До першої категорії можна віднести райони ShW1 та ShW3, які розташовані поблизу гирла Дунаю та Дніпро-Бузького лиману. До другої – райони ShW7 та ShW9.

У обох випадках спостерігається позитивний тренд величин солоності. Але якщо в районах ShW1 і ShW3 він становить 0,2-0,4 опс, то в районах ShW7 і ShW9 – 0,75-1,00 опс.

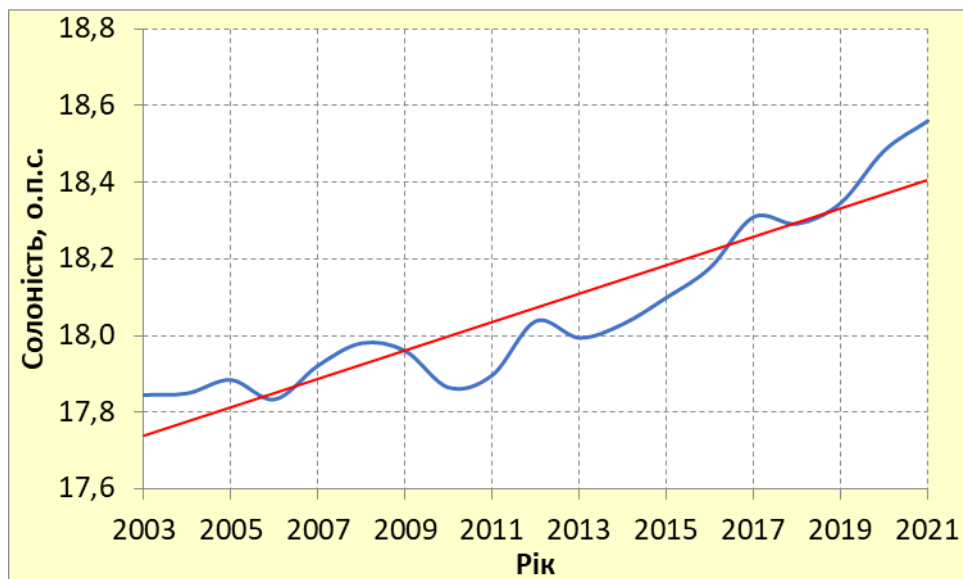


Рисунок 4.30 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району OWCr1 (південно-західний район Криму) 2003–2021 рр.

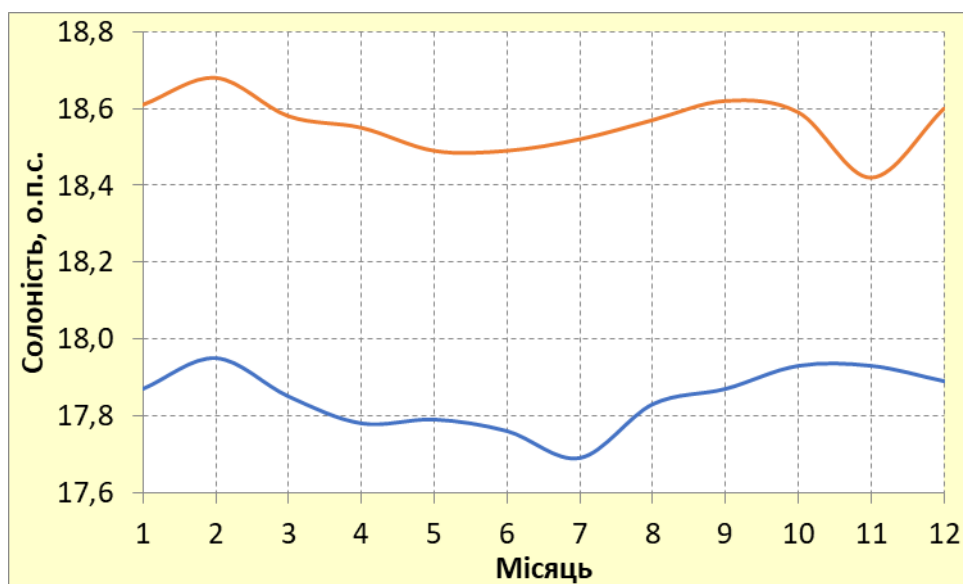


Рисунок 4.31 – Середньомісячні значення солоності в районі OWCr1 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

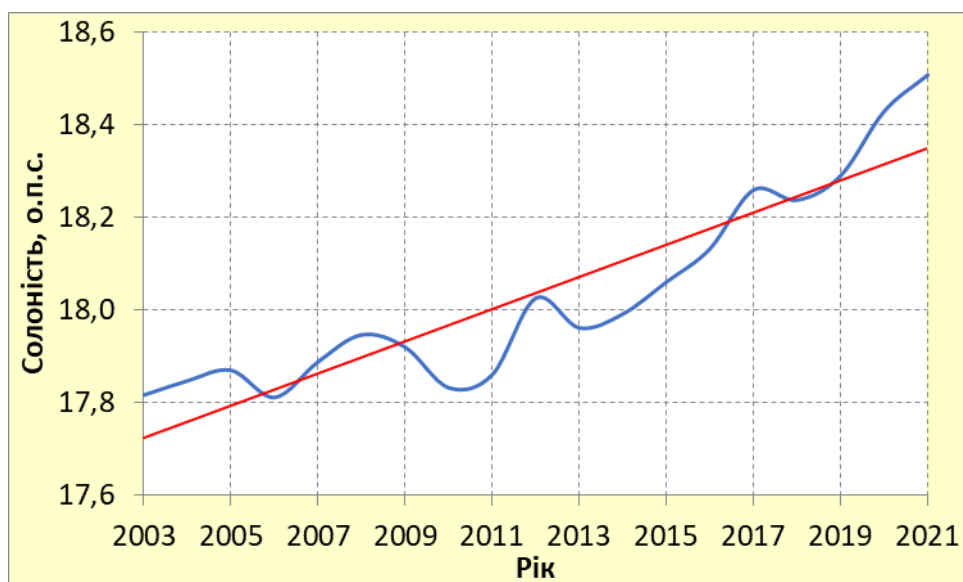


Рисунок 4.32 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району OWCr2 (Південно-східний район Криму) 2003–2021 рр.

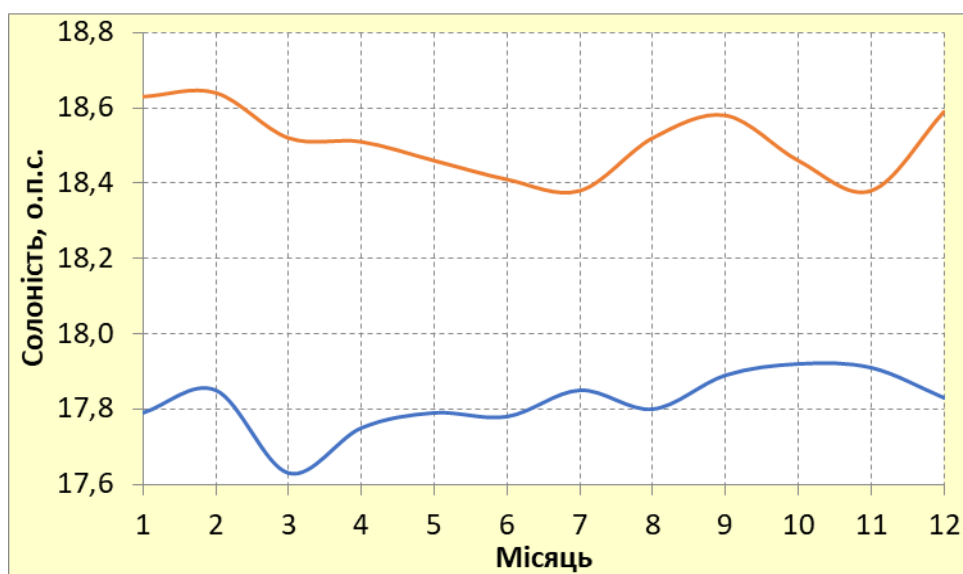


Рисунок 4.33 – Середньомісячні значення солоності в районі OWCr2 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

Для відкритих районів моря вздовж узбережжя Криму (рис. 31–34) характерний стійкий позитивний тренд солоності, який як для OWCr1, так і для OWCr2 складає в середньому 0,65 опс.

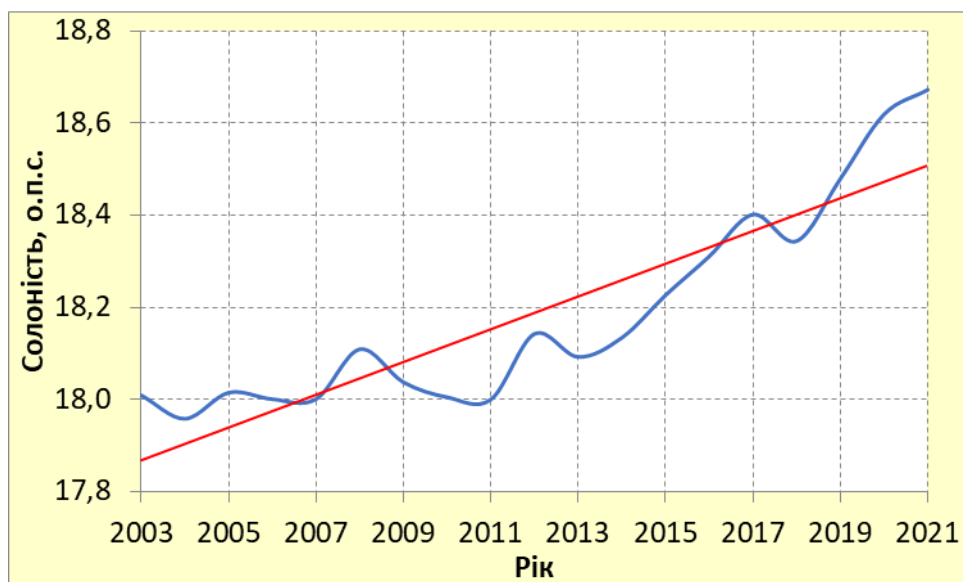


Рисунок 4.34 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району OWC1 (центральна частина глибоководної ділянки ЧМ), 2003–2021 рр.

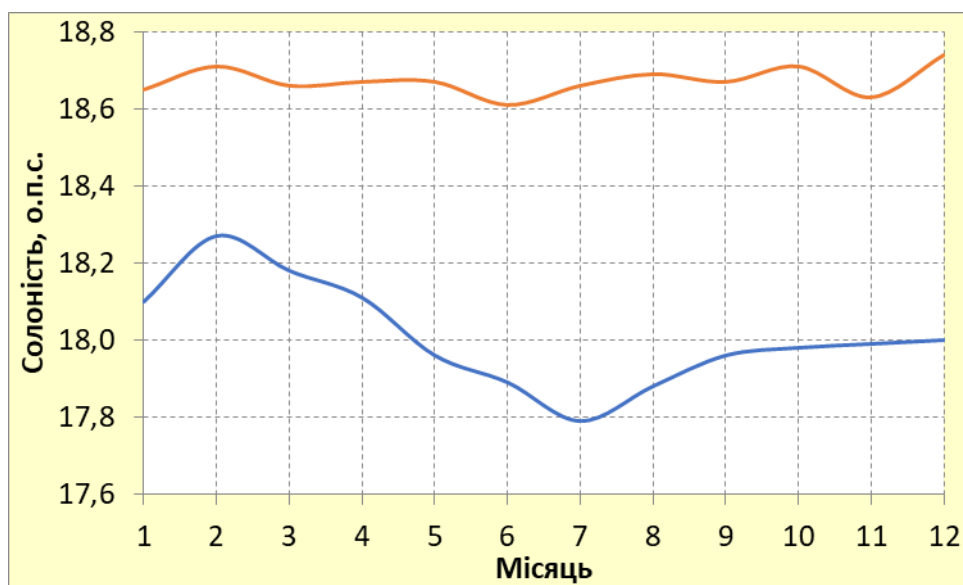


Рисунок 4.35 – Середньомісячні значення солоності в районі OWC1 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

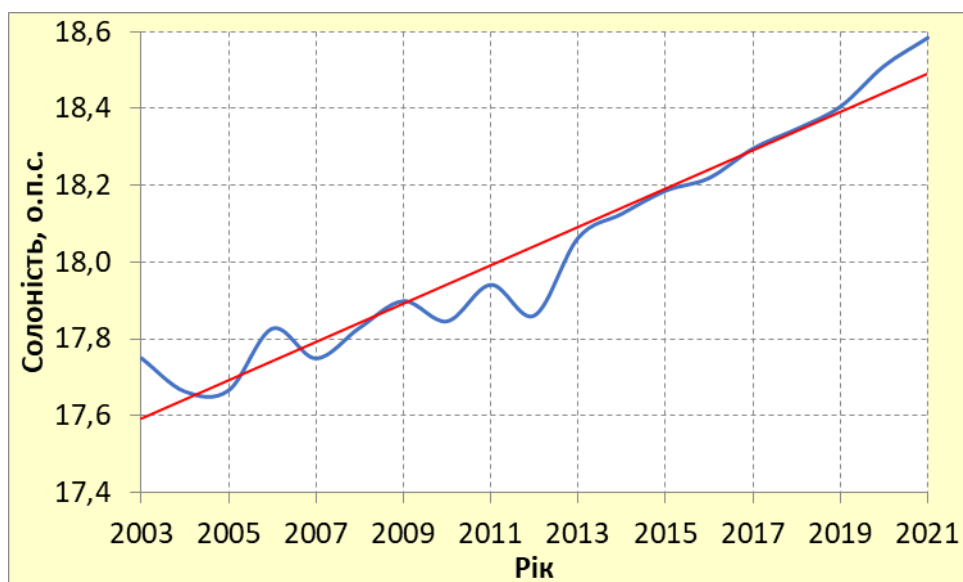


Рисунок 4.36 – Середньорічна солоність та її лінійна апроксимація району OWW1 (західна частина глибоководної ділянки ЧМ), 2003–2021 рр.

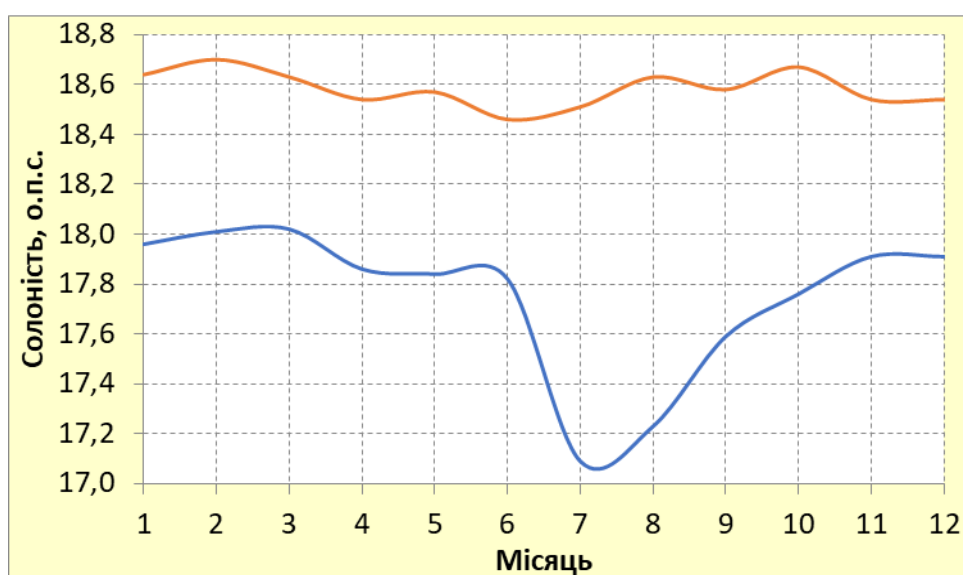


Рисунок 4.37 – Середньомісячні значення солоності в районі OWW1 у 2021 (помаранчева лінія) та 2003 (блакитна лінія) рр.

Для центральних районів ЧМ (рис. 35 – 36) також відзначається позитивний тренд значень солоності, але якщо району OWC1 він становив 0,65 опс, то району OWW1 – 0,9 опс, тобто. з 2003 по 2021 роки. солоність поверхневого шару центральної частини ЧМ збільшилася майже на 0,8 опс.

Таблиця 4.1 – Тенденції мінливості солоності для окремих районів

ЧМ за період 2003–2021 рр., горизонт 2,5 м

Район	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	сер.річна
TW5	0,10	-0,18	-0,15	-0,45	0,05	0,20	-0,90	0,08	-0,38	0,68	0,70	0,72	0,04
CW1	0,40	-0,08	-0,10	0,38	0,14	1,80	-0,01	-0,25	0,50	0,90	1,42	0,90	0,50
CW2	0,52	0,05	-0,12	-0,40	0,10	0,32	-1,00	-0,10	-0,36	0,30	0,70	0,79	0,07
CW3	0,61	0,35	0,00	0,58	0,75	0,02	-0,30	-0,15	-0,03	0,30	0,32	0,60	0,25
CW4	0,62	0,32	0,10	0,75	0,63	-0,08	0,05	0,09	0,10	0,38	0,39	0,65	0,33
CW5	0,62	0,25	0,30	0,90	0,48	-0,25	0,25	0,21	0,20	0,43	0,32	0,75	0,37
CW6	0,80	0,09	0,30	1,20	0,50	-0,40	0,33	0,53	0,15	0,55	0,10	0,72	0,41
CW7	0,82	-0,30	0,00	0,30	0,63	0,48	0,70	0,60	0,00	0,35	0,58	0,75	0,41
CW8	0,49	0,28	0,10	0,15	0,90	0,90	0,45	0,49	-0,10	0,62	1,30	0,74	0,53
CW9	0,40	0,34	0,22	0,39	0,35	0,46	0,81	0,95	0,78	0,78	0,49	0,81	0,57
CW10	0,51	0,52	0,48	0,49	0,48	0,50	0,51	0,81	0,86	0,90	0,80	0,78	0,64
CW11	0,52	0,50	0,44	0,49	0,39	0,35	0,88	1,08	1,20	0,90	0,44	0,69	0,66
CW12	0,60	0,61	0,52	0,59	0,41	0,40	1,10	1,10	0,99	0,70	0,52	0,58	0,68
CW13	0,68	0,63	0,55	0,71	0,62	0,51	0,75	0,92	0,88	0,75	0,60	0,65	0,69
CW14	0,68	0,63	0,64	0,68	0,70	0,60	0,79	0,85	0,86	0,75	0,68	0,37	0,69
CW15	0,66	0,61	0,63	0,70	0,73	0,61	0,89	0,88	0,75	0,63	0,68	0,71	0,71
CW16	0,60	0,55	0,61	0,70	0,72	0,66	0,70	0,73	0,68	0,69	0,65	0,73	0,67
CW17	0,61	0,60	0,61	0,70	0,71	0,65	0,66	0,70	0,68	0,71	0,63	0,73	0,67
CW18	0,60	0,58	0,60	0,68	0,69	0,62	0,68	0,67	0,68	0,69	0,61	0,70	0,65
CW19	0,58	0,59	0,59	0,61	0,65	0,60	0,60	0,65	0,65	0,65	0,64	0,70	0,63
CW20	0,57	0,53	0,60	0,62	0,65	0,59	0,60	0,65	0,65	0,69	0,62	0,69	0,62
CW21	0,59	0,55	0,59	0,61	0,63	0,58	0,60	0,68	0,69	0,65	0,60	0,68	0,62
CW22	0,60	0,58	0,56	0,59	0,60	0,60	0,63	0,68	0,69	0,70	0,68	0,65	0,63
ShW1	0,35	-0,25	-0,20	0,00	-0,55	1,05	0,40	0,90	0,10	0,74	1,30	0,98	0,40
ShW2	0,60	0,15	0,18	0,31	0,40	0,70	-0,10	0,00	0,10	0,28	0,51	0,95	0,34
ShW3	0,65	0,20	0,09	0,57	0,65	0,36	0,39	0,40	0,19	0,52	0,57	0,98	0,46
ShW4	0,39	0,40	0,30	0,22	0,35	1,45	1,10	1,15	1,02	0,65	0,55	0,79	0,70
ShW5	0,44	0,26	0,32	0,15	0,60	1,60	0,52	0,30	0,51	0,35	0,68	0,95	0,56
ShW6	0,68	0,39	0,40	0,90	0,70	1,80	0,95	0,10	0,29	0,60	0,73	0,91	0,70
ShW7	0,70	0,70	0,65	0,83	0,80	1,47	2,20	1,60	1,20	0,90	0,52	0,75	1,03
ShW8	0,61	0,51	0,42	0,48	0,09	0,50	1,24	1,20	1,10	0,72	0,41	0,66	0,66
ShW9	0,65	0,62	0,67	0,73	0,69	0,58	1,05	1,05	0,85	0,72	0,62	0,70	0,74
OWC1	0,53	0,48	0,49	0,52	0,65	0,69	0,78	0,80	0,73	0,70	0,63	0,68	0,64
OWCr1	0,61	0,56	0,59	0,64	0,68	0,68	0,75	0,75	0,71	0,70	0,62	0,70	0,67
OWCr2	0,59	0,55	0,60	0,61	0,62	0,62	0,62	0,70	0,68	0,65	0,60	0,64	0,62
OWW1	0,65	0,66	0,70	0,73	0,79	0,95	1,40	1,48	1,10	0,88	0,70	0,71	0,90

Аналізуючи таблицю тенденцій солоності вкотре можна назвати райони, де формування полів солоності безпосередньо залежить від річкового стоку, це TW5, CW2, CW3, CW4, CW5, CW6 і CW7, де солоність зросла період 2003–2021 рр. від 0,04 опс до 0,41 опс. Наступні райони з тенденцією зростання солоності від 0,58 опс до 0,69 опс – це зони, прилеглі до Каркінитської та Каламітської заток (CW8 – CW14). Інші райони, розташовані вздовж узбережжя Криму, аж до Керченської протоки (CW15 – CW22), показують стійку тенденцію підвищення солоності, але у невеликому діапазоні – від 0,62 опс до 0,69 опс.

Райони змішування шельфових вод також можна розділити на ті, які розташовані поблизу стоку річок (ShW1, ShW2, ShW3, ShW5) з тенденцією збільшення солоності в межах від 0,34 опс до 0,56 опс та райони, що займають центральну область ПнЗЧ ЧМ (ShW4, ShW6 – ShW9). Привертає увагу зростання солоності, з 2003 по 2021 рр. вона зросла з 0,66 опс для району ShW8 до 1,03 опс в районі ShW7.

Глибоководні райони можна розділити на дві категорії. Перша – це райони, прилеглі до Криму (OWCr1 та OWCr2), друга – це західна частина глибоководної ділянки ЧМ (OWW1) та центральна глибоководна частина ЧМ (OWC1). Для глибоководних районів Криму солоність зросла на від 0,67 опс в зоні OWCr1 до 0,62 опс в зоні, що примикає до Керченської протоки (OWCr2). Для глибоководних ділянок відкритої частини ЧМ солоність зросла від 0,64 опс для центральної частини до 0,90 опс для західної.

5 ГІДРОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ГЛИБОКОВОДНОЇ ЧАСТИНИ ЧМ ЗА ДАНИМИ БУЇВ ARGO У 2021 РОЦІ

У 2022 р. у ЧМ працювало 15 буїв проекту Argo, з яких два закінчили свою роботу. Реєстр чорноморських буїв наведено у таблиці 5.1. Загальний вигляд та принципова схема роботи представлені на рисунках 5.1 та 5.2.



Рисунок 5.1 – Один з буїв проекту Argo(animalworld.com.ua/news/)

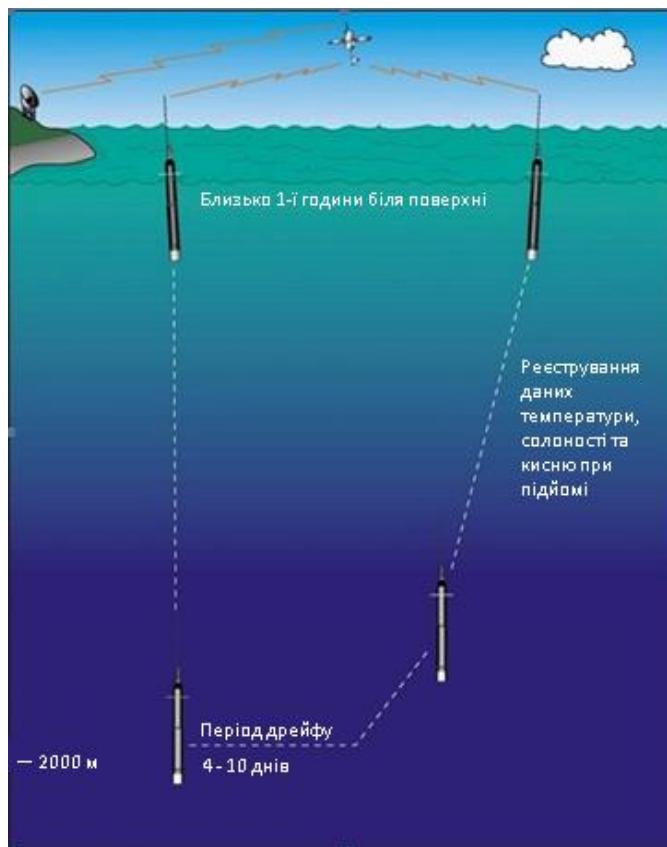


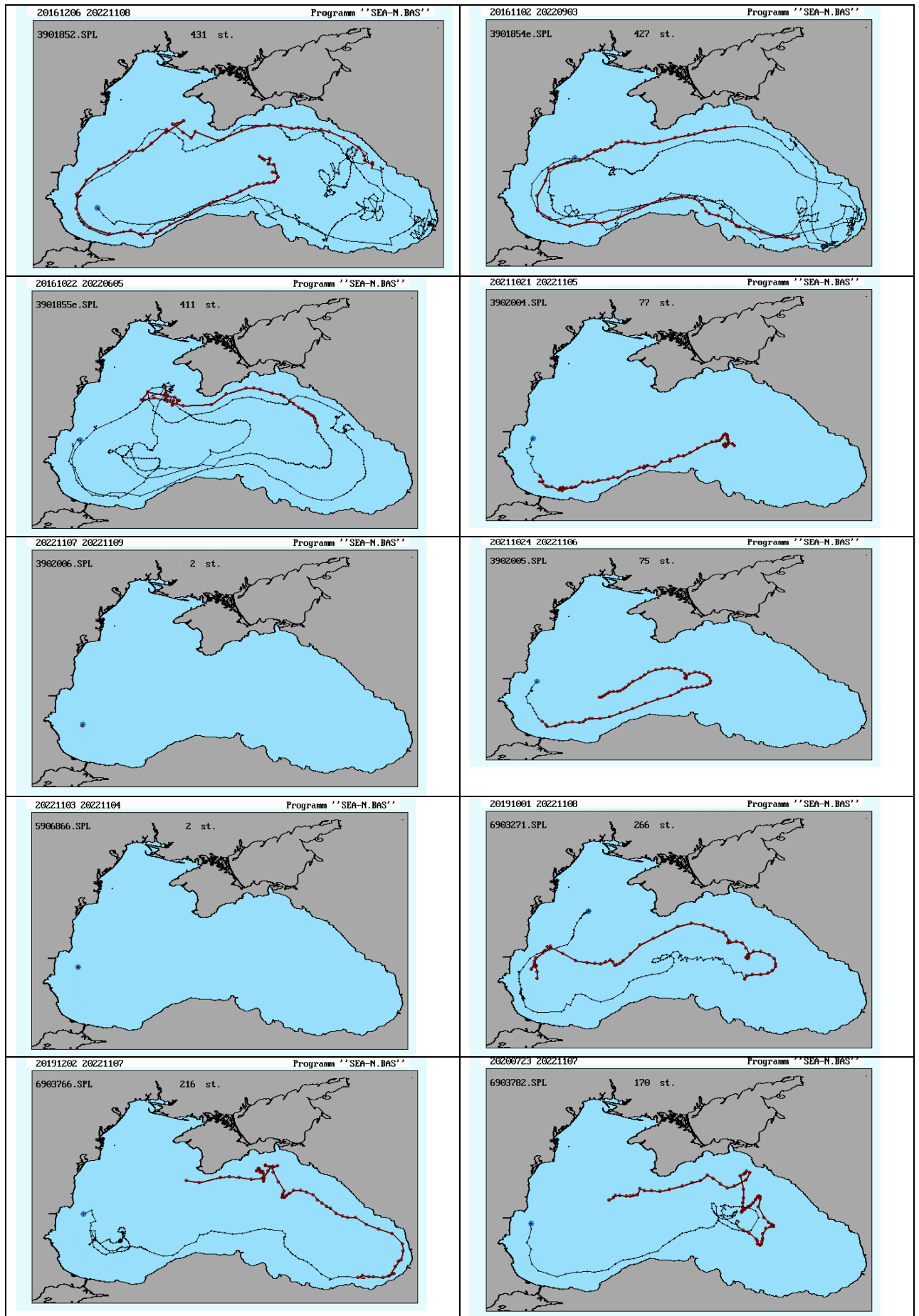
Рисунок 5.2 – Принципова схема роботи буя Argo

Детальна робота пірнаючих буїв проекту «Argo» описана на сайті: <https://argo.ucsd.edu/> та [3].

Таблиця 5.1 – Загальні відомості про буї-профілеміри Argo, які працювали у 2022 році в басейні Чорного моря

№№	Номери буїв Argo	Період роботи		Вимірювані параметри			
		початок	кінець	T	S	O ₂	H ₂ S
1.	3901852	2016.12.06	—	*	*		
2.	3901854	2016.11.02	2022.09.03	*	*		
3.	3901855	2016.10.22	2022.05.06	*	*	*	
4.	6903240	2018.03.13	—	*	*	*	*
5.	7900595	2019.08.10	—	*	*		
6.	6903271	2019.10.01	—	*	*		
7.	6903766	2019.12.02	—	*	*		
8.	7900596	2019.12.06	—	*	*	*	
9.	6903782	2020.07.23	—	*	*		
10.	6903866	2020.12.03	—	*	*		
11.	6903867	2020.11.17	—	*	*		
12.	3902004	2021.10.21	—	*	*	*	
13.	3902005	2021.10.22	—	*	*	*	
14.	5906866	2022.11.03	—(новий)	*	*		
15.	3902006	2022.11.07	—(новий)	*	*		

П'ять буїв, крім датчиків температури і солоності були укомплектовані датчиками кисню, один – датчиком концентрації сірководню, що надавало можливості оцінки визначення глибин и розташування нижньої межі окислювального та початку безкисневої зони і верхньої межі сірководню. Траєкторії руху всіх буїв охоплювали тільки глибоководну частину Чорного моря і в шельфові зони не потрапляли (рис. 5.3).



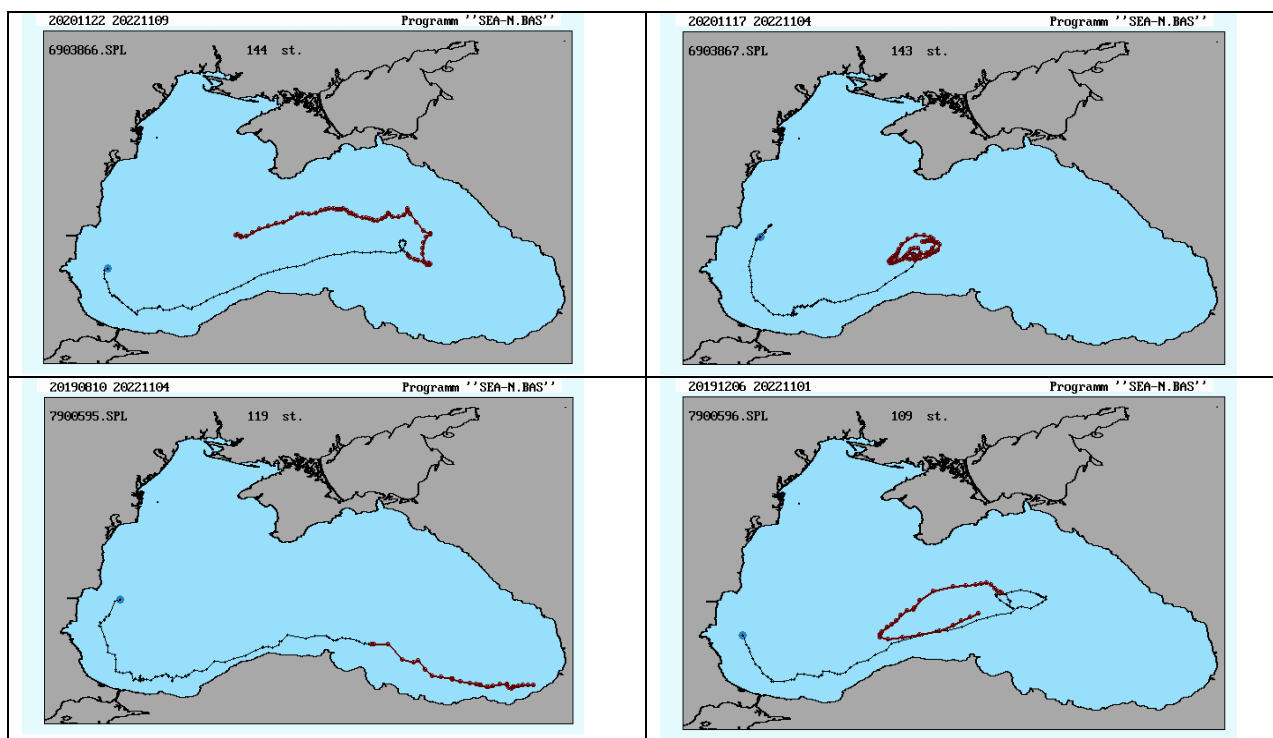


Рисунок 5.3 Траєкторії буїв Argo, які працюють або завершили роботу у 2022 році. Червоним кольором виділено переміщення буїв у 2022 році
Номери буїв вказані у верхньому лівому кутку рисунків

Буї № 3901854 та № 3901855 завершили свої робочі цикли у 2022 році, натомість, виставлені нові буї № 3902006 та № 5906866.

5.1 Щомісячні характеристики вод холодного проміжного шару за даними буїв Argo під час теплого півріччя 2022 року

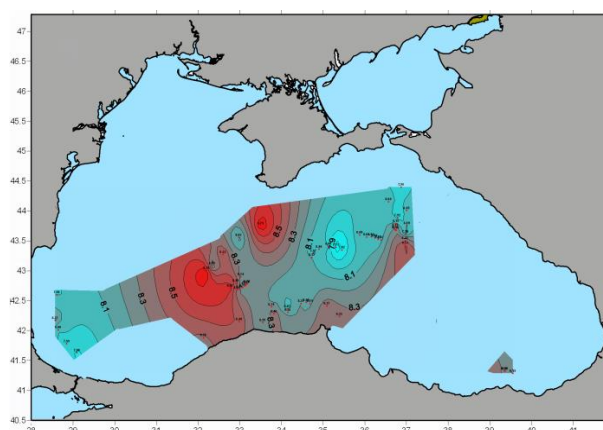
Для побудови карт розподілу екстремальної температури води в ядрі ХПШ Чорного моря, представлених на рисунку 5.4, використано дані всіх буїв-профілемерів Argo, які працювали в тепле півріччя 2022 року на акваторії Чорного моря. Часова дискретність вертикальних сканувань буїв становила 5 діб, що становить 5-6 спостережень на місяць. Таким чином, при побудові кожної з карток щомісячних розподілів параметрів вод ХПШ використовувалися дані в середньому близько 60 океанографічних

зондувань. Вихідна вертикальна дискретність циклів вимірювань у діяльному шарі моря становила 2 м, тому визначення представлених характеристик ХПШ було з максимально можливою точністю.

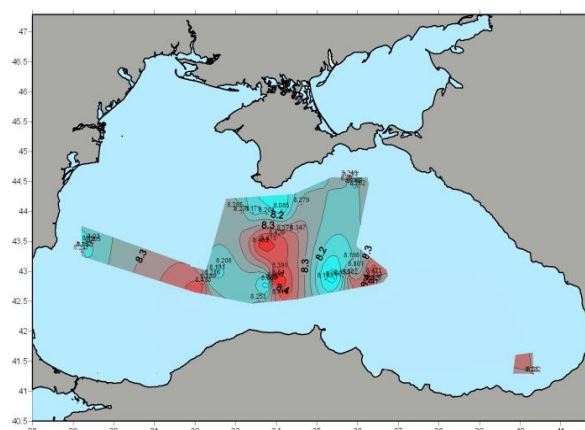
Візуальний аналіз представлених середньомісячних полів екстремально низької температури води в ядрі ХПШ показує, що всі зміни температури в літньо-осінній період 2022 відбувалися в межах одного градуса ($7.71 \div 8.79^{\circ}\text{C}$).

У тепле півріччя цього року буї розташовувалися, як правило, у центральній частині моря і лише дуже незначну, уривчасту інформацію вони давали в крайніх районах західної та східної частин моря. Усі представлені картини розподілів дають наявність двох, а найчастіше трьох областей підвищеної температури води ($8.3\text{--}8.7^{\circ}\text{C}$) у середині моря з розмірами 60 – 90 морських миль. Найбільш ймовірно ці максимуми прив'язані до динамічних утворень і або трохи мігрують з ними в просторі, або води перетікають з одних утворень до інших при активізації одних та дисипації інших.

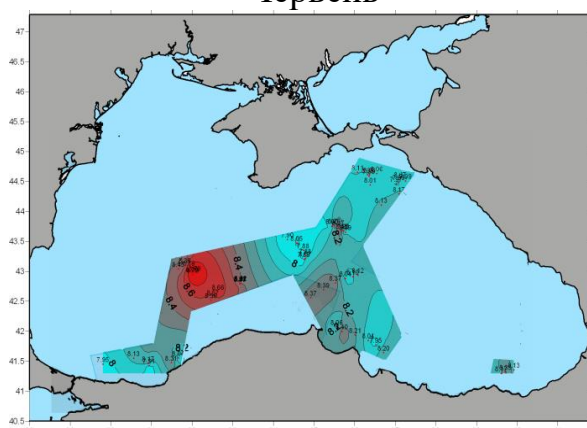
Екстремальні та середні характеристики температури в ядрі шару, а також середні характеристики глибин залягання ядра, його температури, солоності та умовної густини представлені нижче в таблиці 1. Протягом літа–осені мінімальна за полігонами температура води поступово підвищувалася і досягла до жовтня значення 8.15°C , а максимальні температури знизилися приблизно 0.2°C . Середні за полігонами глибини залягання ядер ХПШ за досліджуваний період коливалися в інтервалі 53–65 м і мали помітний часовий тренд. Середня температура вод ядра ХПШ за 4–5 місяців зросла на 0.13°C з 8.19°C до 8.32°C ; середня солоність знизилася на 0.07 опс; середня густина вод знизилася на 0.13 у.о.



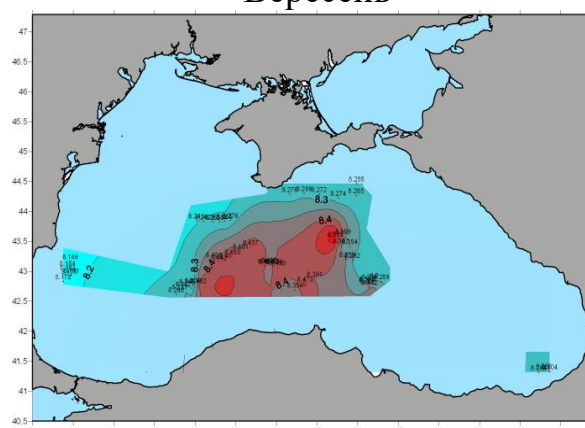
Червень



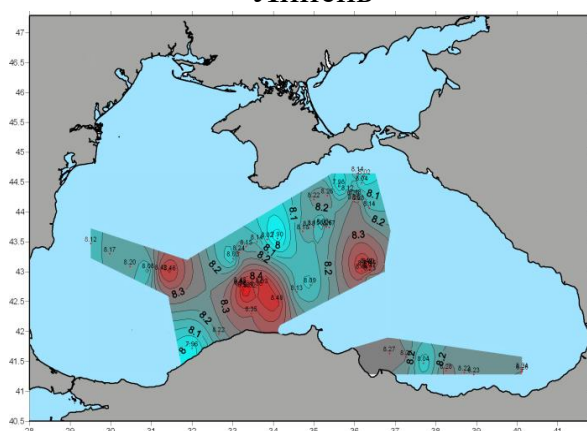
Вересень



Липень



Жовтень



Серпень

Рисунок 5.4 – Розподіл екстремальної температури води у ядрі ХПШЧМ підсумовано за місячні інтервали теплого півріччя 2022 року

Таблиця 5.2 – Основні характеристики вод у ядрі ХПС у різні місяці теплої півріччя 2022 року

Місяць	Температура		Глибина залягання, м	Середня температура, °C	Середня солоність, ‰	Середня густина, у.о.
	Мін. °C	Макс. °C				
06	07.71	08.66	52	08.19	19.20	14.93
07	07.88	08.79	65	08.22	19.27	14.98
08	07.90	08.57	55	08.24	19.12	14.86
09	08.07	08.57	57	08.27	19.11	14.85
10	08.15	08.55	53	08.32	19.13	14.86

5.2 Оцінка глибини залягання верхньої та нижньої межі субкисневого шару Чорного моря у 2015-2022 рр.

Глибини залягання верхньої та нижньої межі субкисневого шару ЧМ та особливо нижньої межі, як початок анаеробної зони представляють безперечний інтерес для вчених океанографів.

Розрахунок цих глибин виконувався за даними дрейфуючих буїв Argo № 6901866 і № 6903240.

Буй № 6901866 був запущений 27 травня 2015 р., а завершив свою роботу в липні 2019 р. Робочий цикл буя становить трохи більше чотирьох років. За годину свого функціонування він виконав півтора обороти навколо західного великомасштабного циклонічного кругообігу і одного разу обійшов по всій периферійній зоні Чорного моря, при цьому суттєво не віддаляючись у його південно-східний сектор. Загалом пройшов 2990 миль та виконав 295 зондувань.

Буй № 6903240 розпочав роботу 13 березня 2018 р. та продовжує функціонувати до теперішнього часу (травень 2022 р.). До березня 2022 року пройшов 1129 миль та виконав 296 циклів зондування. Годинна дискретність робочих спливань буїв становить 10 та 5 діб, відповідно. Траєкторії їх руху показані на малюнку 5а, 5б.

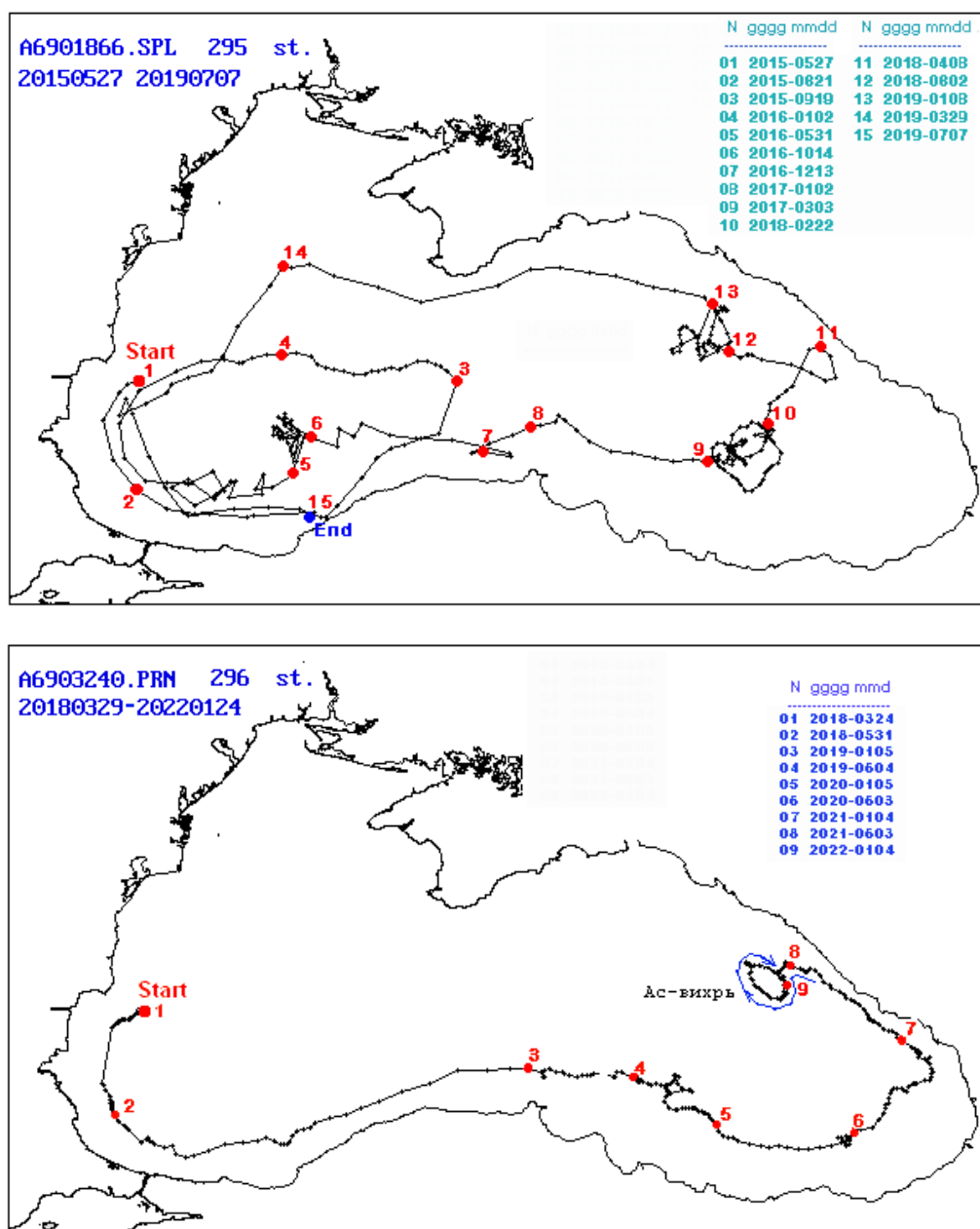


Рисунок 5.5 – Траєкторія руху буїв: а) Argo № 6901866 та б) № 6903240
(дати окремих спливань вказані в таблиці на рисунку)

В деяких наукових роботах[4]показано, що у більшості випадків глибини появи сірководню у водах Чорного моря відповідає величина умовної густини 16,18. Це значення було прийнято для подальшого аналізу.

Критичний контроль якості даних на жаль, показав, що інформація, отримана датчиком солоності буя № 6903240 не коректна і для аналізу не підходить, отже, і дані густини так само помилкові [5]. З показань цього буя використовувалася інформація з датчиків кисню та сірководню.

Просторово-часовий розподіл глибин залягання водних шарів з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ і з ізопікною 16,18 та різниця глибин їх залягання за даними буя № 061866 представлена на рисунку 5.6.

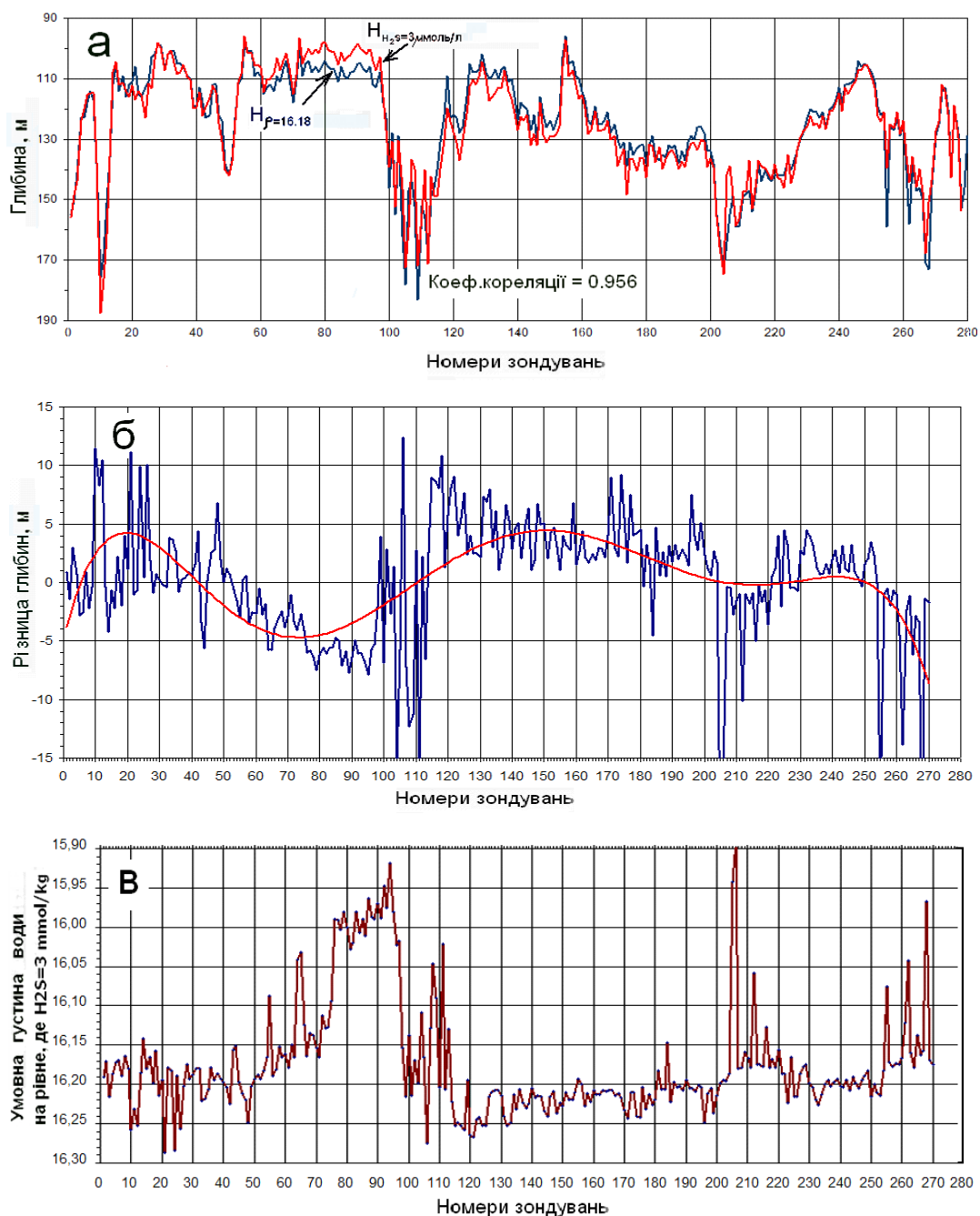


Рисунок 5.6 – Просторово-часовий розподіл: а) глибини залягання шару морської води з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18; б) різниці глибин залягання сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18; в) значення умовної густини води на рівні залягання концентрації сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ (за даними буя Argo № 6901866, 27.05.2015–07.07.2019)

Глибини залягання сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18 дуже синхронно змінювалися протягом 4-річного періоду роботи буя та мали невеликі розбіжності значень різних знаків до 5–10 м в окремі нетривалі періоди часу (рис. 6а). Осереднені за весь період оцінки глибин занурення водного шару з вмістом сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ і шару розташування ізопікни 16,18 склали 125 м та 124,7 м відповідно. Різниця становила 0,3 м. Лінійний коефіцієнт кореляції рядів становив 0,965.

Найбільш суттєві і переважно негативні відхилення у різниці глибин із величиною до 10–15 м мали місце у областях заглиблення шарів, тобто у антициклонічних зонах (рис. 5.6б). Більш детальний сумісний аналіз отриманих профілів показав, що основна маса неузгодженості глибин пов'язана, перш за все, з ситуаціями, коли буй потрапляв у зону впливу вод з порушеними термічними і сірководневими характеристиками. Це зона присутності відносно недавно виявлених вод з протоки Босфор, генерованих, в основному, в період дії дуже сильних південних вітрів (явище «Оркоз»), що замикають і навіть реверсують південний потік чорноморських вод на північ і створюють умови активізації перемішування у протоці поверхневих та придонних вод з абсолютно різними характеристиками. Виходячи в Чорне море в проміжних шарах 100–600 м, інтрузії більш теплих, більш насичених киснем і трохи ослонених вод порушують відносно стійку вертикальну структуру вод, у тому числі позначаються на вертикальному розподілі сірководню. На думку деяких науковців (Falina et al. 2017) ці інтрузії "провітрюють" водний стовп на проміжних глибинах і стримують висхідний потік сірководню з глибших шарів. Є і інші науковці (Konovalov et al. 2006), які теж припускають що окисно-відновний баланс і біогеохімічна структура безкисневої зони сильно залежать від обміну між Чорним морем і протокою Босфор, який, мабуть, є основною причиною існування субкисневої зони, а епізодичне поширення інтрузій середземноморської води є стримуючим фактором підйому вгору потоків сірководню із глибинної аноксигенної області.

Безумовний інтерес представляє собою просторово–часова мінливість субкисневої зони, перехідної зони від аеробних вод до анаеробних. За нижню межу аеробних вод ми вибрали нижню межу оксикліну з концентрацією кисню 20 $\mu\text{моль/л}$, при якій значно падає активність аеробного життя. На рисунку 7 показаний графік просторово-часової мінливості глибини залягання цього параметра, суміщений з положенням верхньої межі сірководневої зони (ВМСЗ).

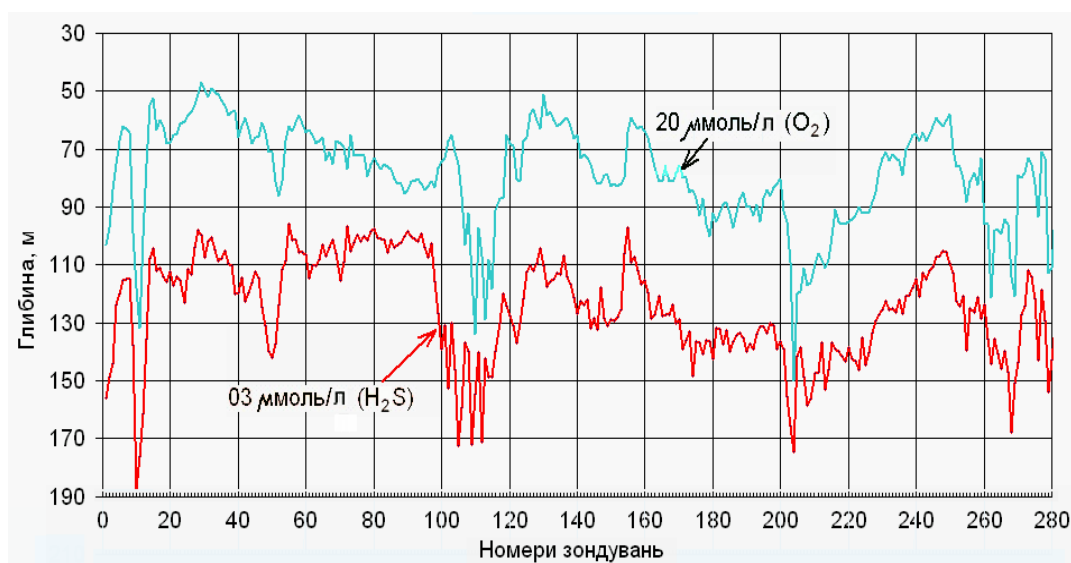


Рисунок 5.7 – Просторово-часовий розподіл: глибини залягання шарів води з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та концентрацією кисню 20 $\mu\text{моль/л}$ за даними буя Argo № 6901866

Візуальний аналіз графіків показує їхню синхронну мінливість за винятком деяких фрагментів. Вертикальні коливання нижнього "кисневого" кордону були більш інтенсивні. Стандартне відхилення ряду становило 28 м, у сірководню – 17 м. Коефіцієнт кореляції між рядами глибин залягання параметрів дорівнював 0,76. Мінімальне заглиблення верхньої межі кисневої зони 47 м, спостерігалось при перетині західного циклонічного круговороту(зонд. 32). Товщина субкисневої зони змінювалася від 13 м до 80 м. Її середнє значення по всьому маршруту буя склало 45 м. Ділянка графіка з підвищеною частотою коливань (зонд. 90 – 110) відображає

ситуацію, описану вище, коли буй багаторазово перетинав периферію і центральну область антициклонічної структури. Тут же відзначені мінімальні значення товщини субкисневого шару 14 – 19 м. Також товщина субкисневого шару зменшувалась в районах знаходження локальних антициклонічних структур біля південного узбережжя до 13,4 м (рис. 5.5а, маркер 7), біля кавказького узбережжя до 19,8 м (рис. 5.5а, маркер 11).

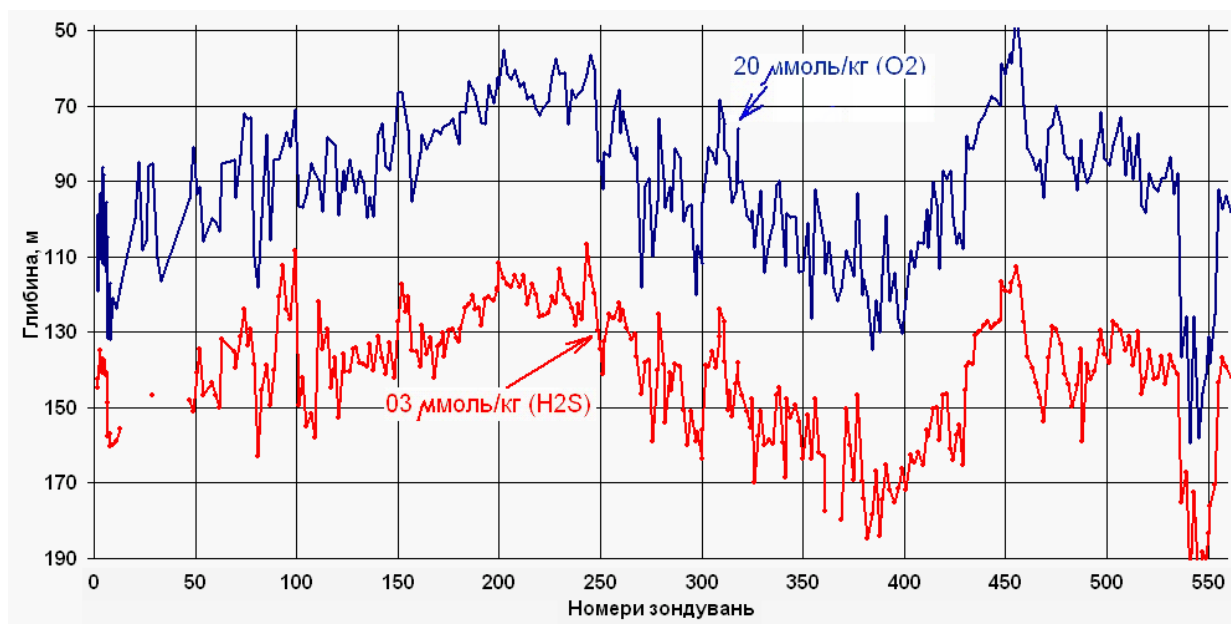


Рисунок 5.8 – Просторово-часовий розподіл: глибини залягання шарів води з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та концентрацією кисню 20 $\mu\text{моль/л}$ за даними буя Argo № 6903240

За даними буя № 6903240 середня глибина нижньої межі СКС становила 142 м, верхньої – 91 м, мінімальні значення товщини СКС 23.4 м відзначалися у районі західного узбережжя (зонд.2), максимальні – 114.9 м (зонд. 56) у районі Босфору. Найбільша глибина залягання СКС у межах 160–195 м (зонд. 545–550) спостерігалось у східній частині ЧМ у районі антициклонічного круговороту. Найближче до поверхні вода з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ піднялася на ділянках вздовж південного узбережжя у районах Амасри та мису Чам (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – Мінімальні глибини розташування вод з концентрацією
3 μмоль/л сірководню за даними буя Argo № 6903240

Широта	Довгота	Глибина (м) O ₂ 20 μмоль/л	Глибина (м) H ₂ S 3 μмоль/л	Номер зондування
31,8993	41,8931	71,0	108,4	99
37,7046	41,9060	61,7	106,7	243

6 АПВЕЛІНГИ ПнЗЧ ЧМ У 2022 РОЦІ

Прибережні апвелінги надають неоднозначно впливають на екологічну структуру морської води прилеглих акваторій. Підйом нижчих вод супроводжується виносом біогенних речовин, що сприяє аерації вод, 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.

Більшість апвелінгів ПнЗЧ ЧМ виникають в прибережній смузі моря під дією вітрів змінних напрямків. Влітку вони добре ідентифікуються в полі температури поверхневого шару води з виникаючих вогнищ більш холодних глибинних вод, які виходять на поверхню. 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.

Для виявлення зон апвелінгів використовувалися супутникові дані, отримані за теплий період з травня по вересень, коли ці зони проявляються найбільш чітко.

Критерієм для їх виділення служили негативні аномалії температури величиною $> 5^{\circ}\text{C}$ (для травня $>3^{\circ}\text{C}$).

У 2022 році значних прибережних апвелінгів відзначено два у травні з 18 до 25 травня, всього 8 днів та з 3 до 5 серпня. Обидва апвелінги спостерігалися у районі Тендрівської коси та в Одеській затоці біля північного узбережжя. У травні також спостерігався потужний апвелінг біля південного узбережжя Криму (рис. 6.1 і 6.2).

У 2022 році кількість діб зі значними прибережними апвелінгами в ПнЗЧ ЧМ була на рівні 2020 і 2021 (табл. 6.1). У районі Дунайського узмор'я за теплий період апвелінги не спостерігалися, що пов'язано зі зниженням інтенсивності вітрів південних напрямків (рис. 2.2).

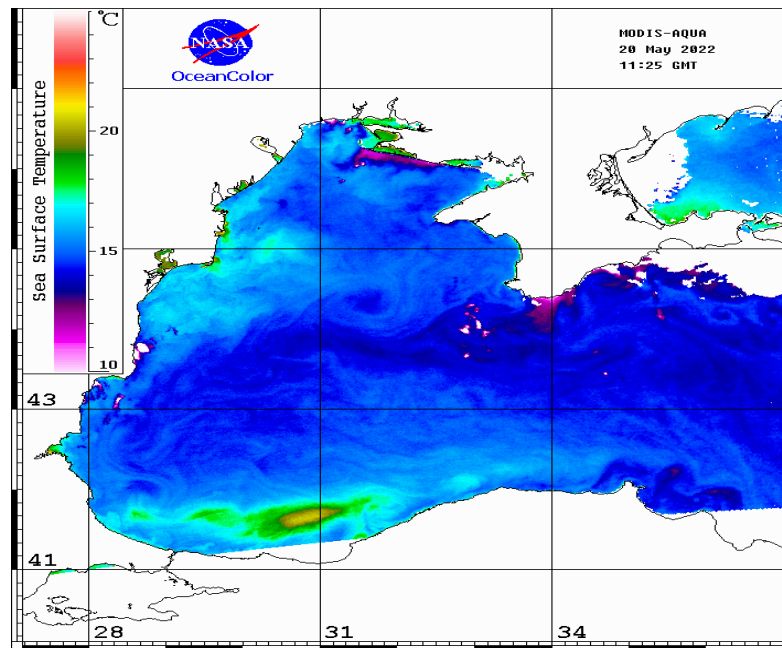


Рисунок 6.1 – Супутникове зображення температури поверхні води ЧМ
20 травня 2022 року

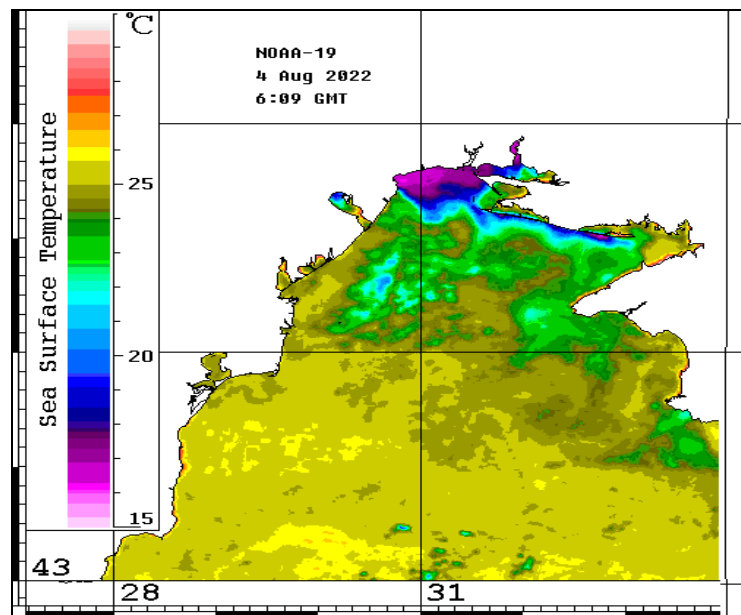


Рисунок 6.2 – Супутникове зображення температури поверхні води
ПнЗЧМ 04 серпня 2022 року

Таблиця 6.1 – Кількість діб з апвелінгами у прибережних водах ПнЗЧ
ЧМ з травня по вересень за останні три роки

Рік	2020	2021	2022
Кількість діб	12	16	11

7 ВИСНОВКИ

У 2022 році середньорічна швидкість вітру становила 4,1 м/с . Загалом перенесення приземних повітряних мас відбувалося з півночі із середньою векторною швидкістю 1,0 м/с.

Середня температура води за даними ГМС «Одеса-порт» становила 12.0 °С, температура повітря 12.4 °С. Збереглися багаторічні тенденції зростання середньорічних температур повітря та морської води.

За супутниковими даними для всіх досліджуваних районів Чорного моря за період з 2003 до 2021р. солоність поверхневого шару зростає.

Мінімальне зростання солоності характерне для районів із впливом прісноводних стоків. Максимальне зростання солоності 1,03 опс відзначено для шельфової зони ShW7 та для західної глибоководної частини OWW1 і склало 0,90 опс.

Середня солоність морської води за даними ГМС Одеса порт склала 14.66 опс при тридцятирічній нормі 13.95опс.

Прихід прісноводної води до Чорного моря зменшився. Сток Дунаю становив 145,2 км³ за норми 203 км³.

Сумарний обсяг стоку основних річок ПнЗЧ ЧС за останні двадцять років зменшився на величину порядку 42–43км³.

В одеському регіоні зменшилась кількість опадів. 2022 рік можна віднести до одного з найбільш посушливих. 2022 рік став першим посушливим за 77 років. За рік випало 293 мм за норми 462мм.

Кількість прибережних апвелінгів так само зменшилася. Значних апвелінгів (зі зниженням температури води на 5 °С і більше) відзначено два у липні та серпні в районі Тендрівської коси та Одеської затоки.

За даними буїв Argo глибини залягання основних гідрологічних структур перебували у межах кліматичних коливань. Середня глибина кисневих вод становила величину близько 80 м, мінімальна – 47 м у зоні західного циклонічного кругообігу. Глибина залягання ядра холодного

проміжного шару коливалася не більше 52-65 м. Середня температура вод ядра ХПС за теплий період року зросла на 0.13 °С з 8.19°С до 8.32 °С; середня солоність знизилася на 0.07опс, що природно призвело до зменшення середньої щільності вод на 0.13 у.о. Верхня межа сірководневої зони Чорного моря за даними буїв Argo в період з 2015 р. по березень 2022 р. знаходилася у межах кліматичних коливань.

8 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. В.А. Иванов, В.Н. Белокопытов. Океанография Черного моря. Морской Гидрофизический Институт Академии Наук Украины. – Севастополь, 2011 – с.212.
3. Онищенко Э. Многолетняя динамика стока реки Днестр в условиях меняющегося климата и влияния водохранилищ // Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів. – № 1(25), 2021/2022. – с.136 –143
4. Базова оцінка та визначення Доброго екологічного стану (ДЕС) морського середовища Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України Том4/УкрНЦЕМ; керівник роботи В.В. Український, відповід. викон. Диханов Ю.М. КП 72.19.15-00.00 Одеса: УкрНЦЕМ, 2019. – 80 с.
5. Безбородов А.А., Еремеев В.Н. Черное море. Зона взаимодействия аэробных и анаэробных вод. Севастополь, 1993 с. 299
6. Попов Ю.І. Деякі зауваження щодо якості буїв-профілометрів ARGO, що працюють у басейні Чорного моря. / Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів/№ 1(25) 2021/2022 с.144 – 151
7. Falina A., Sarafanov A., Özsoy E., Turunoğlu U. Observed basin-wide propagation of Mediterranean water in the Black Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2017. 122. 4. P. 3141–3151.
8. Konovalov S.K., Murray J.W., George W.L., Bradley M.T. Processes controlling the redox budget for the oxic/anoxic water column of the Black Sea. *Deep-Sea Research*. 2006. 53. 17–19. P. 1817–1841.

Електронні ресурси віддаленого доступу:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. The Copernicus Open Access Hub (previously known as Sentinels Scientific Data Hub) 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.
5. Сайт по предоставлению прогнозов погоды, Санкт-Петербург, Россия, 2004 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.rp5.ua>– Название с экрана.
6. 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.
7. Український сайт новин. – Режим доступу: <https://focus.ua/ukraine/488561>– Назва з екрану.

8. Український сайт про навколишнє середовище. – Режим доступу <https://www.animalworld.com.ua/news/> – Назва з екрану.
9. 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.

9 ПУБЛІКАЦІЇ

1. Большаков В.Н. Климат Одессы /Справочник/ Украинский научный центр экологии моря. – Одесса: Астропринт, 2021 – 40с.
2. Полежаев Є.К., Тітяпкин А.С. Просторово-часова мінливість температури поверхневого шару води Чорного та Азовського морів / Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів/№ 1(25) 2021/2022 с.152-161
3. Попов Ю.І. Деякі зауваження щодо якості буїв-профілеметрів «Арго», що працюють у басейні Чорного моря / Вісник Гідрометцентру Чорного та Азовського морів /№ 1(25) 2021/2022 с.144-151
4. Komorin, V., Dikhanov, Yu., Bolshakov, V., Popov, Yu., & Matsokin, L.(2022). Variability of the oceanographic structures of the Southern Ocean by the Ferry Box data. Ukrainian Antarctic Journal, 20(1), 44–54.
<https://doi.org/10.33275/1727-7485.1.2022.688>