

УДК 504.45:058; 504.4.054; 504.064

КП 87.19.03

№ дер. жреєстрації 0119U103483

Інв. №

Міністерство енергетики та захисту довкілля України

НДУ «Український науковий центр екології моря»

(УкрНЦЕМ)

65009, м.Одеса, вул. Французький бульвар, 89;

тел.(0482) 431262, факс (0572) 431263, e-mail: accem@te.net.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор УкрНЦЕМ

канд. геогр. наук,

старш. наук. співроб.

В.М. Коморін Коморін В.М.

«23» січня 2020 року

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ (НДР)

**Оцінка та діагноз екологічного стану довкілля Чорного моря в межах
виключної морської економічної зони України у 2019 р.**

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

ТОМ 4

Науковий керівник НДР

Заст. директора – начальник морського

інформаційно-аналітичного центру,

канд. геогр. наук.



В.В. Український

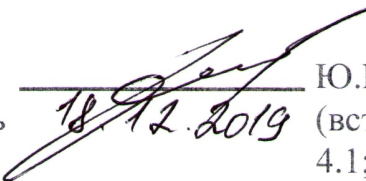
2019

Рукопис закінчено 20 грудня 2019 р.

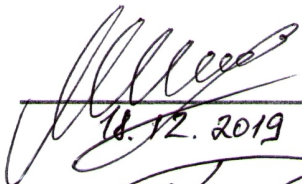
Результати цієї роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ, протокол
від 23 січня 2020 р. № 1

СПИСОК АВТОРІВ

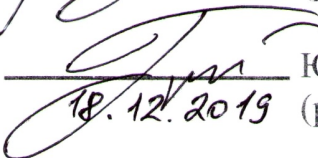
Відповідальний виконавець,
Начальник відділу наукових досліджень
морського середовища
(ВНДМС)


18.12.2019 Ю.М. Диханов
(вступ; підрозділ
4.1; розділ
5; 7 висновки)

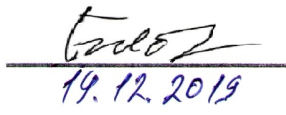
Виконавці:
завідувач сектором гідрофізичних
досліджень ВНДМС


18.12.2019 Є.А. Мельник
(розділ 1, 3)

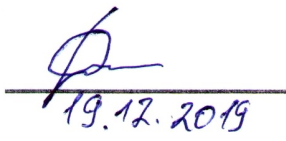
Наук. співроб. ВНДМС,
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.


18.12.2019 Ю.І. Попов
(розділ 6)

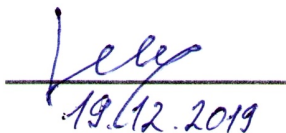
Наук. співроб. ВНДМС


19.12.2019 В.М. Большаков
(розділ 4)

Наук. співроб. ВНДМС


19.12.2019 Д.І. Катернюк
(розділ 7)

Наук. співроб. ВАДОМ


19.12.2019 В.В. Пономаренко
(розділ 2)

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

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 77 с., 11 табл., 49 рис., 7 джерел.

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

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

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 відповідно до імплементації Директив ЄС (2008/56/ЄС) і (2008/105/ЄС) згідно з Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом.

Методи дослідження – в НДР використовувався порівняльний аналіз та традиційні методи аналітичного узагальнення даних та статистичного аналізу, з залученням супутникової інформації та даних експедиційних робіт, використовувалась інформація Державної гідрометеорологічної служби України та літературних джерел.

Результати дослідження

Мінливість гідрометеорологічних умов в 2019 році в північно-західній частині Чорного моря в деяких аспектах значно виходили за межі кліматичних норм.

Середня річна температура повітря в Одесі за 2019 рік була 12,9°C. Ця величина на 2,2°C вище нині діючої норми, що дозволило 2019 року стати найтеплішим за майже два століття метеорологічних спостережень в Одесі.

Середня за 2019 р температура морської води дорівнює 12,9 °C, при нормі 11,4 °C. За цим показником він поступився тільки 2010 і 2012 рр. з їх

температурами 13,3 і 13,1°C, відповідно.

Дата переходу температури морської води через позначку 10°C: в 2019 році була 13 квітня, що на п'ять днів раніше середньої дати поточного десятиліття і на сім попереднього.

На початку вересня у прибережних районах ПЗЧЧМ від поверхні до дна спостерігалася термічна квазіоднорідність від 24 °C до 25 °C, при середньобоготорічний від 21 °C до 22 °C.

У відкритій частині моря середня температура холодного проміжного шару (ХПШ) підвищилася до 8,4 °C, що пов'язано з попередньою теплою зимою. Температура ядра ХПШ склала 8,194°C на глибині 64 метри.

За останні роки на станції Одеса-порт тривалість льодового періоду знизилася на 1,5 - 3 декади.

ЗМІСТ

	<u>С.</u>
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП.....	7
1 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
2 БУЇ ПРОЕКТУ «ARGO» В ЧОРНОМУ МОРІ.....	12
3 ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ В ПІВНІЧНИХ РАЙОНАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ В 2019 РОЦІ.....	16
3.1 Вітровий режим атмосфери.....	16
3.2 Термічний режим атмосфери.....	21
3.3 Атмосферні опади.....	26
4 МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ.....	28
4.1 Температурний режим.....	28
4.1.1 Температура морської води за даними гідрометеостанції Одеса-порт з 1981 по 2019 рр.....	31
4.2 Солоність морської води.....	36
4.2.1 Солоність морської води за даними гідрометеостанції Одесса-Порт з 1970 по 2019 рр.....	42
4.3 Багаторічна мінливість річкового стоку в північно-західній частині Чорного моря.....	43
4.3.1 Водний стік Дуная.....	45
5 ОСОБЛИВОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЇ ВОД ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ І ЇЇ ВПЛИВ НА ЕКОЛОГІЧНУ СТРУКТУРУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА.....	49
5.1 Апвелінгова циркуляція північно-західної частини Чорного моря.....	49
6 ГІДРОФІЗИЧНІ УМОВИ В ЧОРНОМУ МОРІ В ЛИПНІ-СЕРПНІ 2019 Р	56
6.1 Спостереження в області Північно-західного шельфу і континентального схилу Чорного моря (розріз №1).....	56
6.2 Спостереження в області відкритого моря (розріз №2).....	62
6.3 Спостереження в області Батумського вихору (розріз №3).....	67
7 ЛЬОДОВІ УМОВИ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ОСТАННІ РОКИ.....	68
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВНДМС	- Відділ наукових досліджень морського середовища
ВРД	- Водна Рамкова Директива
ГМС	- гідрометеорологічна станція
ГМБ	- гідрометеорологічне бюро
ГП	- гідропост
ДЕС	- добрий екологічний стан
ЗПдЗ	- захід-південь-захід
КМ	- кабінету міністрів
МС	- метеорологічна станція
НДР	- науково-дослідна робота
ПВД	- прогресивно-векторна діаграма
Пд	- південь
ПдЗ	- південний-захід
ПдС	- південний-схід
ПдПдС	- південно-південно-схід
Пн	- північ
ПнЗ	- північний-захід
ПнПнЗ	- північно-північний-захід
ПнЗШ	- північно-західний шельф
ПнЗШ ЧМ	- північно-західний шельф Чорного моря
ПнЗЧ ЧМ	- північно-західна частина Чорного моря
ПнС	- північний-схід
ПнПнС	- північно-північний-схід
СВ	- Севастопольський вихор
ТПШ	- температура поверхневого шару
УкрНЦЕМ	- Український науковий центр екології моря
ХПШ	- холодний проміжний шар

ВСТУП

У рішеннях ЄС екологічний моніторинг прибережних і морських вод потрапляє під дію двох базових законодавчих документів: Водної рамкової директиви (2000/60/ЄС) (ВРД) і рамкової директиви з морської стратегії (2008/56/ЄС) (РДМС), уточненої директивою (2017/845/ЄС).

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» (ДЕС) водного середовища.

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

У Рішенні Комісії 2010/477/ЄС за критеріями і методологічними стандартами про добрий екологічний статус морських вод були опубліковані два показника для дескриптора D-7 Рамкової директиви з морської стратегії 2008/56/ЄС (MSFD). Це: 7.1 – просторова характеристика постійних змін; 7.2 – вплив постійних гідрологічних змін.

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.

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

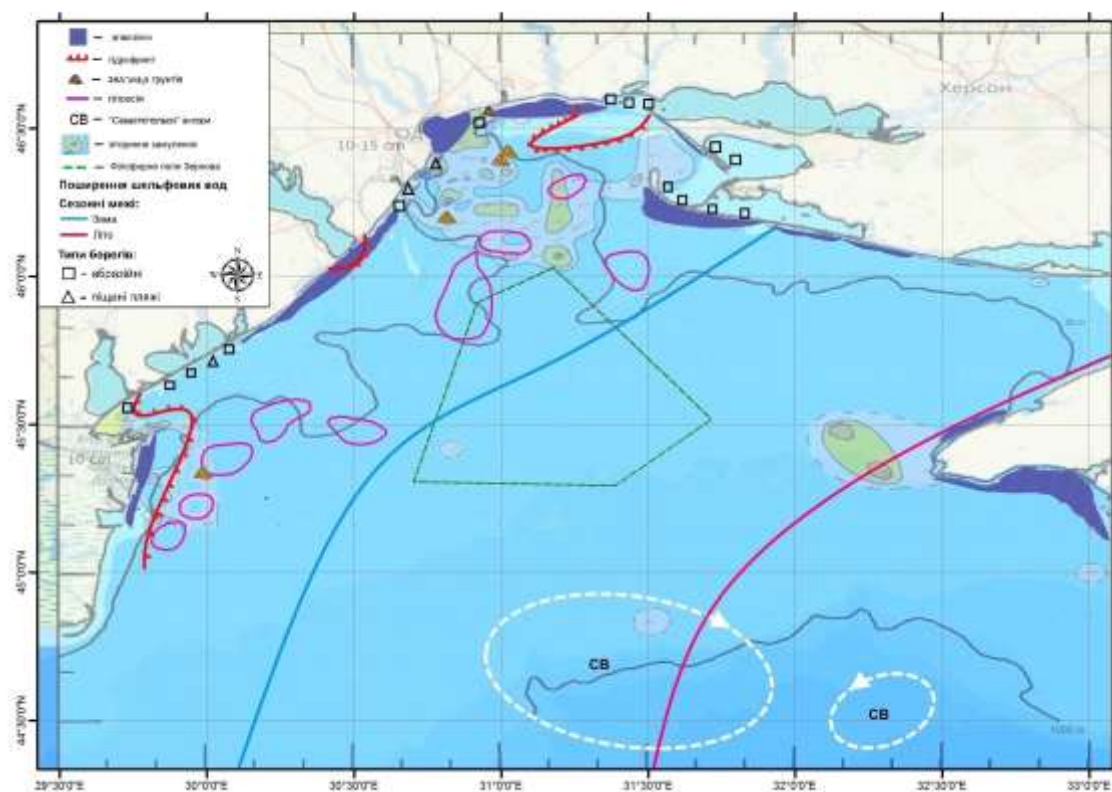


Рисунок 1 – Ділянки акваторії північно-західної частини чорного моря схильних до різких змін гідродинамічних параметрів морського середовища



Рисунок 2 – Умовне позначення рисунка 1

Крім спостережень за акваторіями, схильних до постійних змін гідрологічних параметрів, в постановах кабінету міністрів (КМ) України вказується про необхідність регулярного проведення загального екологічного моніторингу морських і прибережних вод Чорного і Азовського морів в межах економічної зони України.

Наукова дослідна робота (НДР) є продовження багатолітніх досліджень Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ) гідрологічної та гідродинамічної структури морських вод України.

НДР «Аналіз гідрофізичних характеристик українських вод Чорного моря та їх ролі у формуванні екологічного стану моря» виконувалась в рамках напрямку наукових досліджень УкрНЦЕМ «Базова оцінка та визначення Доброго екологічного стану морського середовища Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України» згідно Закону України «Про Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2020 року» від 21 грудня 2010 р. № 2818-VI та міжнародних зобов'язань України щодо захисту Чорного моря від забруднення відповідно до «Стратегічного Плану Дій до відновлювання і охорони Чорного моря» згідно виконання завдань «Загальнодержавної програми охорони та відтворення довкілля Азовського і Чорного морів»

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

1 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 (ТПШ), добові модельні картини динаміки вод приповерхневого шару довгохвильового випромінювання і розподілу хлорофілу-*a* отриманих з сканерів штучних супутників NASA, NOAA (США).

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

Візуальні зображення поверхні морської води Чорного та Азовського морів приймалися за системою «AERONET», супутниками «Aqua MODIS» і «Terra MODIS» два рази на добу. Для комплексного аналізу отриманих матеріалів використовувались супутникові дані з дрейфуючих буїв програми «Argo» <http://www.argodatamgt.org/Access-to-data/Argo-data-selection>.

Геострофічні течії відновлювались за даними супутникової альтиметрії з використанням регіонального масиву аномалій рівня і середньої динамічної топографії з сайту <http://www.aviso.oceanobs.com/>.

Усього було архівовано 2632 карт температурних полів, отриманих з січня по грудень 2019 року, карт поверхневих течій – 721; геострофічних течій, реконструйованих по даним супутникової альтиметрії – 322. Одержано та опрацьовано 2160 карт розподілу хлорофілу-*a*. Знімків «AERONET» – 365, 36 профілей зондування с буїв «Argo».

Так само використовувалися дані, отримані з веб-сайту Copernicus. <http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>

При обробці інформації використовувалися стандартні методи

математичної статистики та оригінальні програми УкрНЦЕМ. Побудова карт і графіків виконувалися за допомогою програмного забезпечення «Гідролог», GS SURFER, MS EXCEL та ACDSsee Pro



Рисунок 1.1 – Фрагмент роботи з вимірювальним комплексом «INDROMAR»

Необхідні метеоспостереження вибирались з архівів сайтів gr5.ua; <https://www.wetterzentrale.de/>.

У звіті використані дані спостережень гідрометеостанції (ГМС) Одеса-порт.

В період проведення експедицій відбір проб морської води з горизонтів виконувався 3 літровими батометрами Нискіна. Вертикальні профілі температури і солоності реєструвалися датчиками зондуючого комплексу «INDROMAR» (Італія). Прозорість води визначалася з допомогою диска Секі.

Обробка метеоданих виконувалася за оригінальними програмами УкрНЦЕМ.

2 БУЇ ПРОЕКТУ «ARGO» В ЧОРНОМУ МОРІ

З 2005 року почалася нова епоха контактних спостережень в області відкритого моря. Вперше стали використовуватися високоточні дані скануючих по вертикалі і вільно переміщаються по акваторії моря профілемірів «Argo». Всього за період з 2005 по 2019 рр. на акваторії Чорного моря було запущено 39 буїв, з них дев'ять відпрацювали рік або менше, 13 буїв проіснували 2-3 роки,

6 - від 3 до 4 років. В даний час працює 11 буїв, запущених в період 2013-2019 рр.,(табл.2.1) Два з них працюють вже більше п'яти років. Буї, що проіснували не більше року, очевидно, були викинуті на берег, а, можливо, пошкоджені або зняті проходять судами. Інформація від кожного буя надходить після виконання чергового зондування. Рис.2.1.

Таблиця 2.1 – Реєстр активних буїв проекту «Argo» в Чорному морі в грудні 2019р.

№ п\п	№ Буя	Дата першої станції	Періодичність спливання буя	T °C	S ‰	O μм/м ³
1	7900591	16.12.2013	кожні 10 днів	*	*	*
2	6901832	18.09.2014	кожні 5 днів	*	*	
3	6901834	25.11.2015	кожні 6 днів	*	*	
4	6901833	02.06.2016	кожні 5 днів	*	*	
5	3901855	22.10.2016	кожні 5 днів	*	*	
6	3901854	02.11.2016	кожні 5 днів	*	*	
7	3901852	06.12.2016	кожні 5 днів	*	*	
8	6903240	29.03.2018	кожні 5 днів	*	*	*
9	6903271	01.10.2019	кожні 4 дня	*	*	
10	6903766	02.12.2019	кожні 5 днів	*	*	
11	7900596	06.12.2019	кожні 10 днів	*	*	*

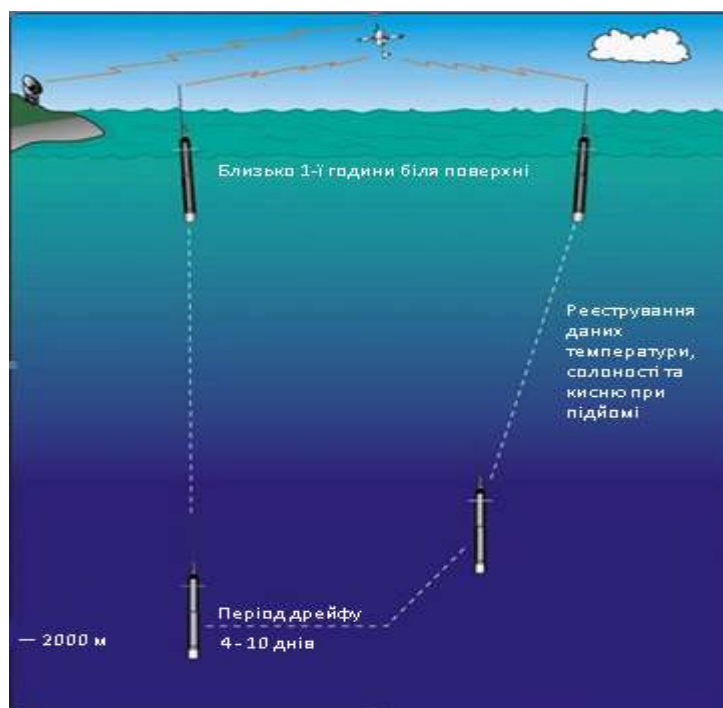


Рисунок 2.1 – Схема роботи буя «Argo»

Буї Арго невеликі і являють собою алюмінієві циліндри, довжиною 1,3 м, діаметром 16,5 см і вагою 26 кг. Вони легко ініціюються за допомогою магнітного пускача і настільки міцні, що їх установку можна виробляти на ходу з попутних судів або навіть з низьколетящих літаків.

Цикл роботи буя включає наступні етапи. Потрапивши у воду, буй кілька годин вимірює температуру і солоність у при поверхневому шарі. Потім, під керівництвом свого комп'ютера, електронасос всмоктує з зовнішнього еластичного резервуара рідину всередину корпусу. В результаті, загальний обсяг буя і діюча на нього архімедова сила зменшуються. Буй починає тонути і занурюється зі швидкістю 0,1 м/с на задану глибину. Стандартна глибина 2000 м і на занурення йде близько 6 годин. На цій глибині буй пасивно переноситься течіями протягом 4- 9 днів, після чого знову включається електронасос, обсяг буя збільшується, і він за 6 годин піднімається на поверхню.

Занурення і поява супроводжуються вимірами температури і солоності. Отримання цих профілів в випадкових точках і є головна мета проекту.

Крім того, координати точок занурення і спливання дають уявлення про середній напрямок і середню швидкість перенесення вод на глибині 2000 м за 4-9 діб. Ці оцінки, однак, трохи спотворені в шарах вище глибини дрейфу течіями, під впливом яких деякі буї перебувають два рази по 6 годин. Буй знаходиться на поверхні половину доби. За цей час буй передає зібрані дані на два супутника Argo System, а вони визначають місце розташування передавача з точністю 150-1000 м. Цю роботу і буй, і супутники встигають зробити з гарантією оскільки супутник за добу проходять над будь-якою точкою земної поверхні від 6-7 раз на екваторі до 28 разів над полюсами.

Один цикл вимірювань, таким чином, продовжується 5-10 діб. Під час пасивного дрейфу буй практично не витрачає енергію. Тому запасу енергії в батареях, які складають основну масу буя, вистачає мінімум на 4 роки, а за цей час буй робить мінімум 150 циклів вимірювань. Інформація з буїв надходить, як в графічному, так і в цифровому вигляді. Нижче наводяться зразки даних спостережень з буя «Argo» 7900591, отримані через сайт argodatamgt.org.

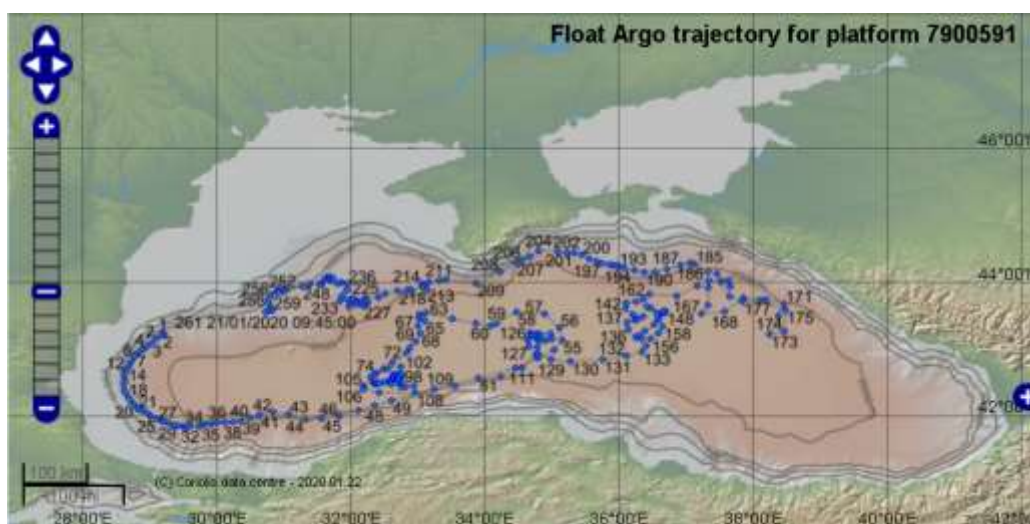


Рисунок 2.2 – Траєкторія буя 7900591 з 16.12.2013 по 12.12.2019

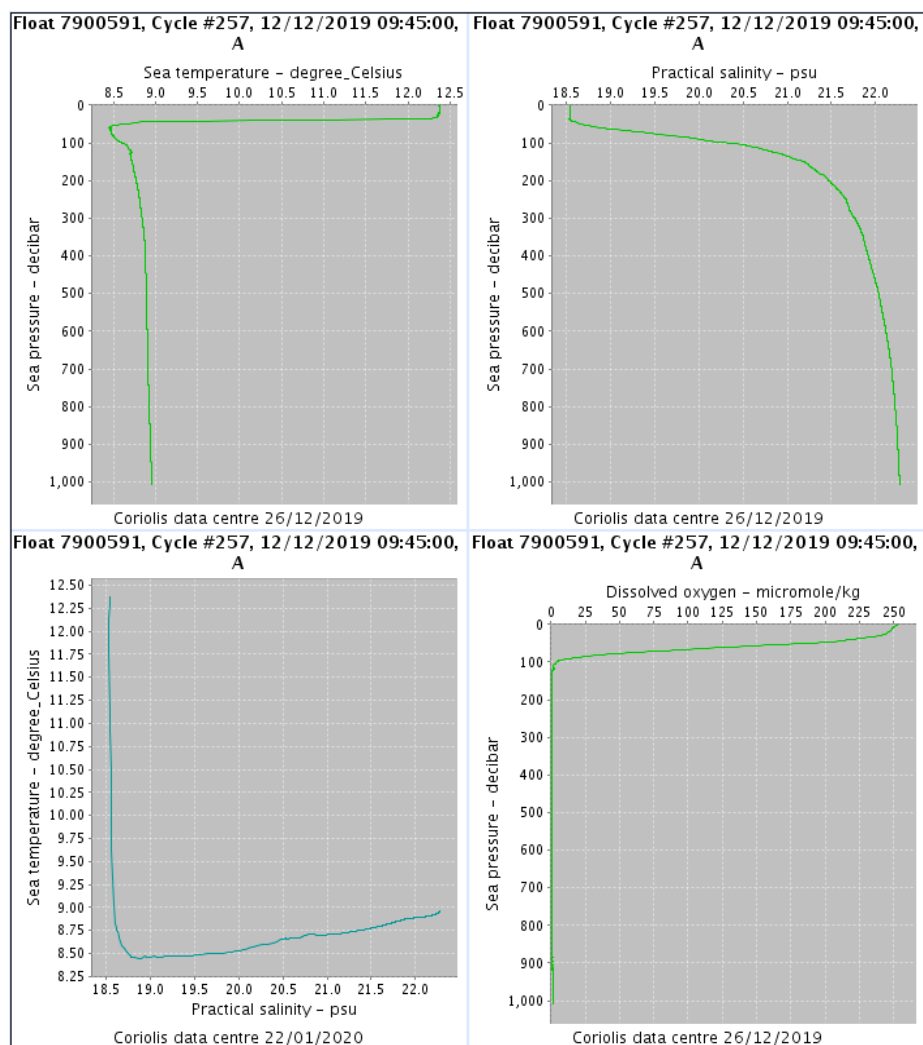


Рисунок 2.3 – Профілі температури води, солоності, кисню і T, S-діаграма, побудовані автоматично за даними зондування 257 з буя «Argo» 7900591

3. ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ В ПІВНІЧНИХ РАЙОНАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ В 2019 РОЦІ

3.1 Вітровий режим атмосфери

Статистика напрямків вітру за минулі роки склала уявлення про те, що повторюваність вітрів від північної половини горизонту переважає над вітрами від південного, а повторюваність вітрів від східної половини горизонту - над вітрами від західної.

Конкретно, в 2018 р. сумарна повторюваність вітрів від трьох румбів з центром Пн - 48,9% сильно переважала над повторюваністю вітрів від трьох румбів з центром Пд - 29,5%. Аналогічно, хоча і не так яскраво, сумарна повторюваність вітрів від трьох румбів з центром С - 26,5% переважала над трьома румбами з центром З - 24,7%.

Останній, 2019 р. як буде показано нижче, відзначився, по-перше, максимальної за майже 200 років метеоспостережень в Одесі температурою повітря, по-друге, однією з найвищих середньорічною температурою води і аномально високою в червні і, по-третє, істотно меншим норми кількістю опадів.

За вітром 2019 р. теж виявився не цілком звичайним. Розподіл 1460 термінових спостережень за рік за напрямками і швидкостям вітру, перекладене в відсотки, представлено в таблиці 3.1. Максимальні повторюваності, причому однакові, по 22%, відзначені як для північно-західних, так і для південних вітрів. Наступні за ними за величиною повторюваності румби виявилися суміжними зі згаданими: північ (15%) і південний схід (14%).

Попарні суми повторюваність вітрів від суміжних румбів з північного заходу і південного сходу помітно перевершують всі інші, а між собою вони

практично однакові, 37 і 36%, відповідно. У цьому полягає основна особливість вітрового режиму, а, можливо, і причина інших аномалій 2019 року.

Таблиця 3.1 – Повторюваність вітру по градаціях швидкості і напрямку вітру по даним МС Одеса- Порт за 2019 р.

Напрямок, румби	Швидкість вітру, м·с ⁻¹									Повторюван. по румбам, %
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	
Пн	3	3	3	3	2	1	0	0	0	15
ПнС	2	3	2	1	0	0	0	0	0	9
С	1	2	2	1	0	0	0	0	0	6
ПдС	3	5	3	2	0	0	0	0	0	14
Пд	3	6	8	3	1	0	0	0	0	22
ПдЗ	3	4	1	1	0	0	0	0	0	9
З	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
ПнЗ	4	8	5	2	1	1	0	0	0	22
Повторюваність за швидкістю, %	19	33	26	13	4	4	0	0	0	100
Нарасщ.суми %	19,4	52,3	78,0	91,4	95,9	99,5	99,9	99,9	99,9	100

У нижньому рядку таблиці наведені наростаючі суми повторюваність швидкостей вітру, починаючи з найменших. Видно, що в 52% випадків швидкості були менше 4 м·с⁻¹, в 78% випадків - менше 6 м·с⁻¹, в 91% випадків - менше 8 м·с⁻¹ та в 99,9% випадків - менше 14 м·с⁻¹.

Помічена і обговорюється в науковій літературі тенденція до зменшення середньої швидкості вітру в другій половині ХХ століття. Докладне розгляд цієї проблеми на даних 10 метеостанцій, розташованих на узбережжі ПЗЧМ від Усть-Дунайська до Євпаторії проведено в роботі Репетина и Белокопытова [2008].

В основному в цій роботі використовувалися дані за вітром післявоєнного періоду до 2005 р. З тих пір додалося ще 15 років спостережень. На рисунку 3.1(а) і 3.1(б) представлені дані по станції Одеса-порт за останні 40 років. Добре видно, що зазначена тенденція зниження середньої швидкості вітру триває аж до 2019 р. Якщо судити по лінії тренда, то за цей час середня швидкість вітру зменшилася з 5,2 до 4,0 м·с⁻¹. Особливо звернемо увагу на те, що в останні три роки 2017, 2018 і 2019, зазначена тенденція зменшення модуля середньої річної швидкості вітру триває.

Але одночасно виявлялася ще одна цікава тенденція, а саме: до останніх трьох років поряд зі зменшенням модуля середньої швидкості вітру зростала швидкість добових максимумів вітру рисунок 3.1, причому з 1980 по 2016 р. величина цього зростання, з $8,5$ до $10,2 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, перевищила $1,5 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

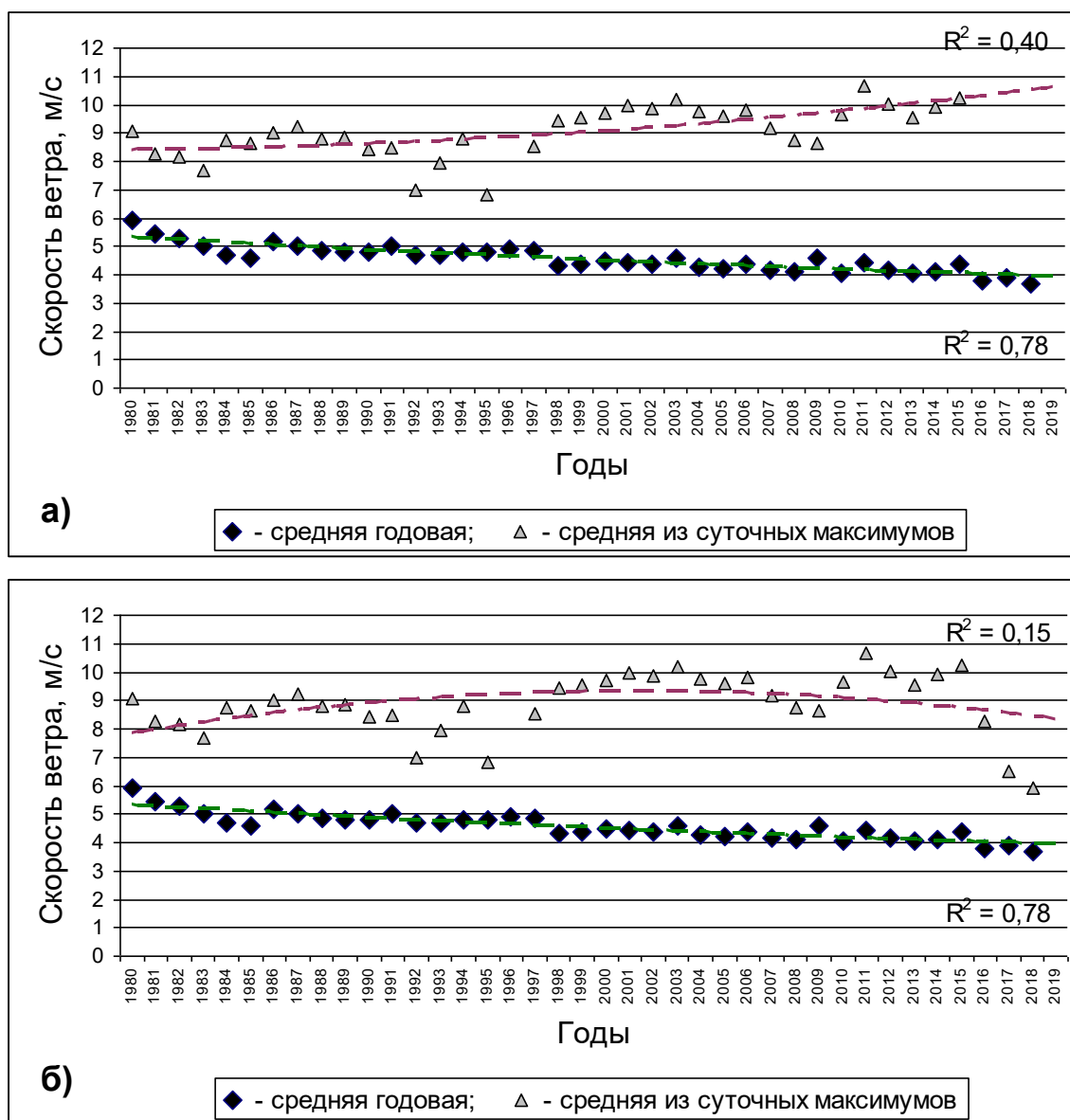


Рисунок 3.1 – Середньорічні модулі швидкості вітру з усіх термінових спостережень і середні річні з добових максимумів (а) без 2017-2019 рр. і (б) з ними.

Однак, ті ж останні три роки (рисунок 3.1 (б)) з їх зменшуються середніми річними швидкостями добових максимумів $8,2$, $6,5$ і $5,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, відповідно, цю тенденцію ставлять під серйозний сумнів.

Наглядне уявлення про перенесення повітряних мас дають прогресивно-векторні діаграми (ПВД), які включають в себе сумарні візуальні уявлення як про напрямки, так і про швидкості переносів повітряних мас (рисунок 3.2).

В районі Одеси середній за 2019 рік переніс повітряних мас здійснювався з ПнПнС напрямку (21°) із середньою векторною швидкістю $0,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

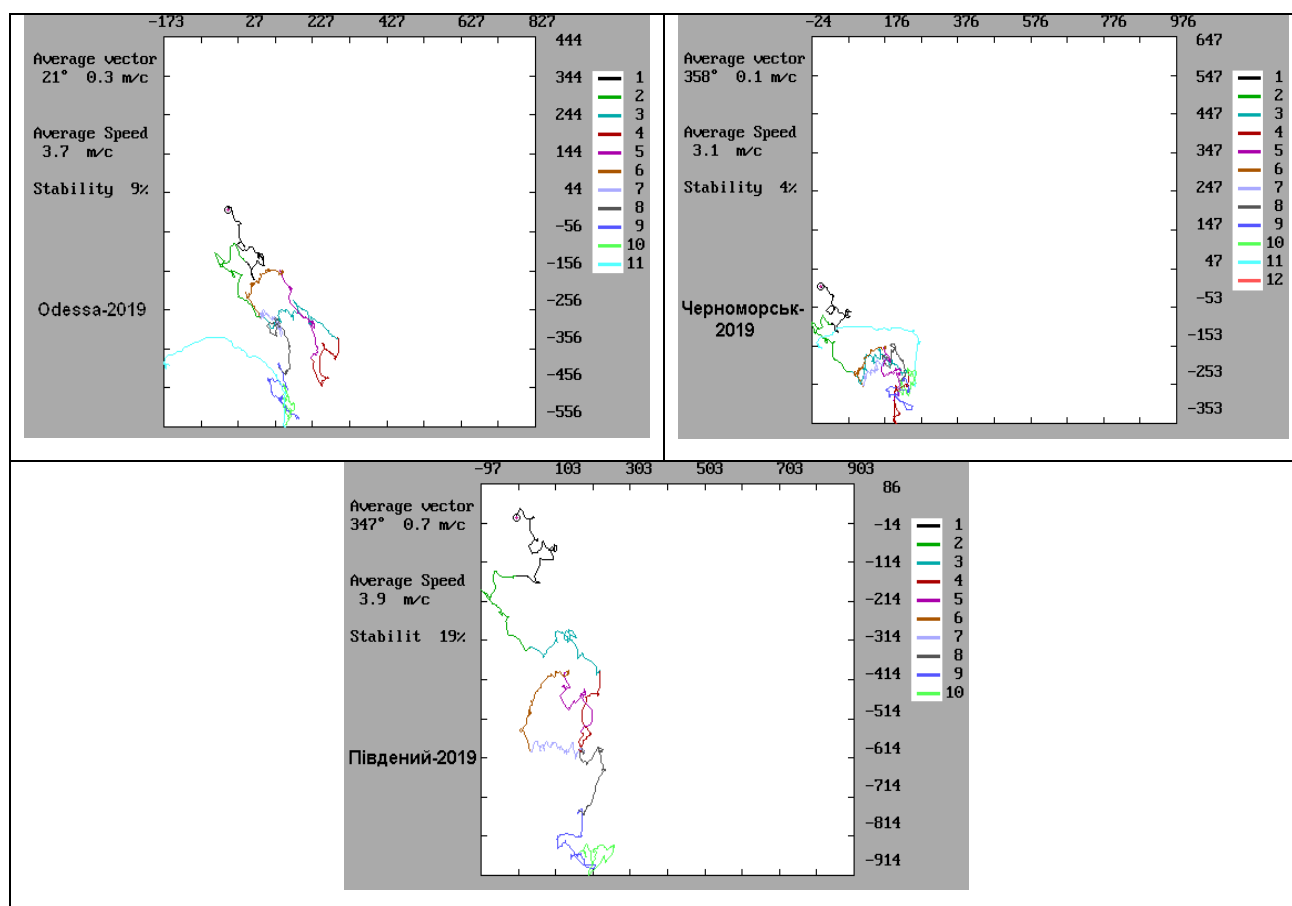


Рисунок 3.2 – Прогресивно-векторні діаграми вітру в 2019 р. за даними спостережень: МС Одеса-Порт, ГМБ п. Чорноморськ і ГП п. Південний.

Це дуже низький показник середньої векторної швидкості вітру за річний період і пов'язаний він з надзвичайно великою перевагою протилежно спрямованих ПнЗ і ПдС вітрів. Як і раніше найбільш слабкі вітри відзначалися в порту Чорноморськ, а найбільш сильні і більш стійкі в порту Південний.

В Одесі (рисунок 3.3) середній за 2016 рік переніс повітряних мас

здійснювався з ПнПнС напрямку (11°) із середньою векторною швидкістю $0,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, в 2017 році – з Пн напрямку (354°) з середньою векторною швидкістю також $0,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, а в 2018 році посилилася повторюваність вітрів східних секторів, в результаті чого середньорічний перенос повітряних мас склав: у напрямку 29° ; зі швидкістю, як і в попередні роки, $0,9 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Сильно випадає з цього ряду по швидкості середній перенесення за 2019 р.: $0,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ ПнПнС напрямку (21°).

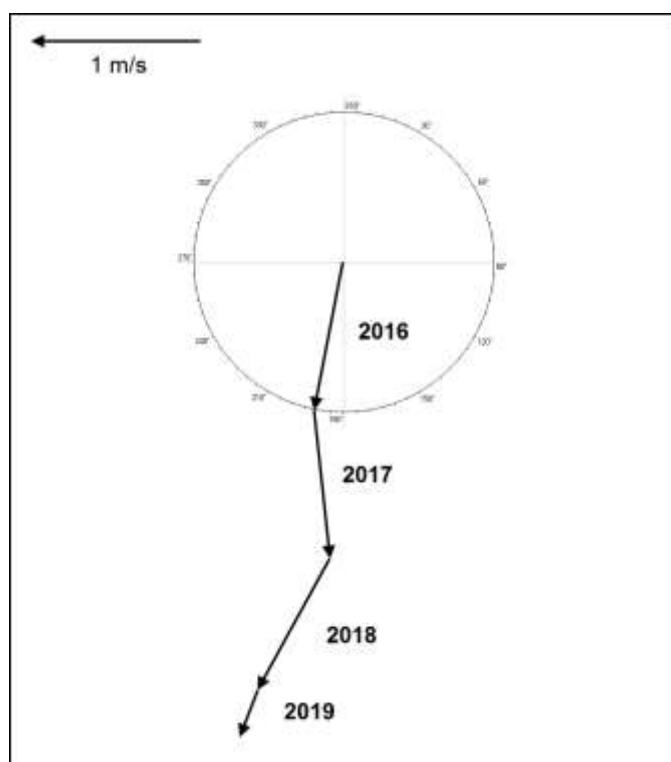


Рисунок 3.3 – Середньорічна прогресивно - векторна діаграма перенесення повітряних мас за даними ГМС Одеса-порт в 2016 – 2019 рр.

Наступний рисунок 3.4 частково пояснює чому середня за рік векторна швидкість перенесення повітряних мас за даними ГМС Одеса-порт в 2019 р. виявилася втричі менше, ніж у попередні.

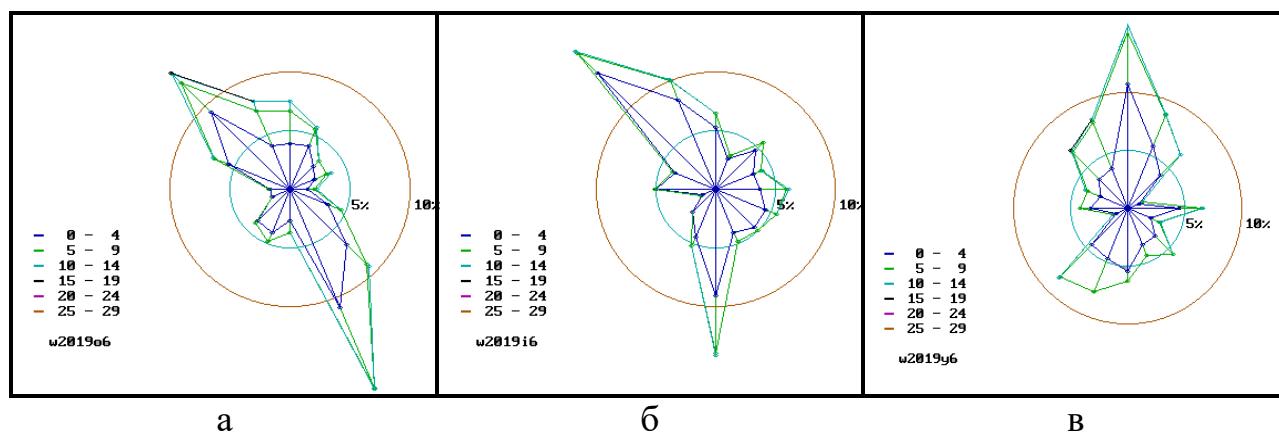


Рисунок 3.4 – Рози повторюваності вітрів в 2019 р. в портах : а) Одеса, б) Чорноморськ і в) Южний

Характерна асиметрія рози вітрів в бік більшої повторюваності вітрів з північного складової, як показано на рисунку і відображено в таблиці 3.1, за напрямками з північного заходу і з південного сходу, а це головні напрямки перенесення повітряних мас, сильно зменшилася.

3.2. Термічний режим атмосфери

Головна особливість термічного режиму атмосфери в Одесі в 2019 році полягає в тому, що середня річна температура повітря була 12,9 °С. Ця величина на 2,2 °С вище нині діючої норми, завдяки чому 2019 рік став найтеплішим за майже два століття метеоспостережень в Одесі (рисунок 3.5). По цій характеристиці, 2019 р причому відразу на 0,4 °С, перевершив 2007 р який до цього був найтеплішим протягом 12 років.

У 2019 р два середньомісячних значення температури повітря, в червні і грудні, перевищили місячні норми більш ніж на 4 °С. Особливо великої аномалією виділився червень. Його середня температура, 24,8 °С, перевершила свою місячну норму на 4,8 °С. Червню поступилися навіть, в кліматичному

відношенні більш теплі, липень і серпень, хоча їх середні температури в 2019 р. теж були на градус вище норми.

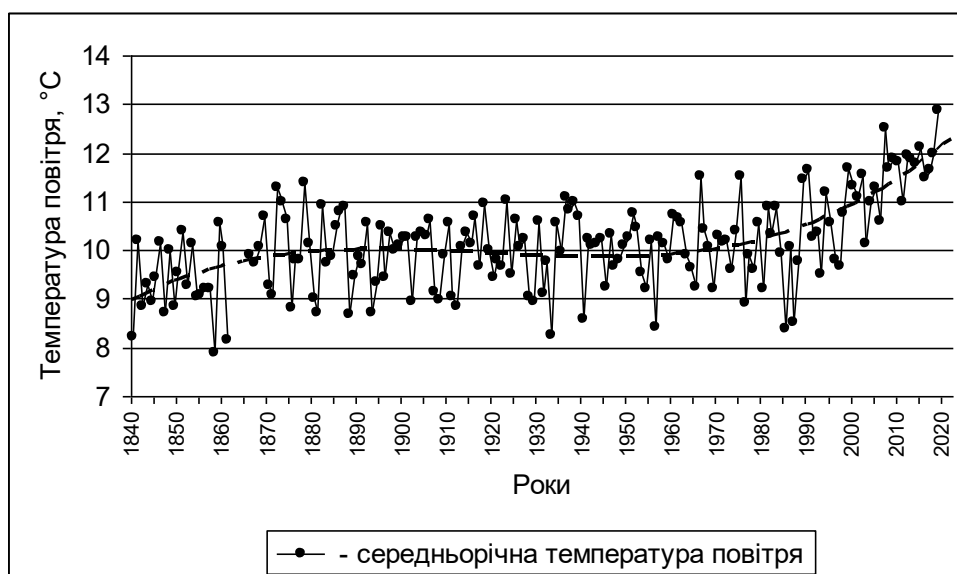


Рисунок 3.5 – Середньорічні температури повітря в Одесі.

У 2019 р. зафіксовано чотири добових рекорду температури повітря: два в уже зазначеному червні і по одному в лютому і грудні. Це не багато в порівнянні, наприклад, з 2018 року (12 рекордів) або з 2012 р. (17 рекордів).

Інтегральний термічний стан холодного і теплого півріччя 2018-2019 рр. розглянемо за даними МС Одеса-порт. На рисунок 3.6 представлені багаторічні зміни (1894-2019 рр.) інтегральних характеристик: для зимового півріччя – суми градусів-днів нижче $+5^{\circ}$; для літнього півріччя – сума градусів-днів вище $+10^{\circ}\text{C}$.

Умови холодного півріччя 2018-2019 рр. відповідали межі між теплими і дуже теплими умовами. Кумулятивне значення температури склало близько - 400 градусів-днів.

Термічні умови теплого півріччя 2019 р. перебували за інтегральним термічним станом на 100 градусів нижче ніж у екстремальні 2012 і 2018 роки (рисунок 3.6), але рівень інтегральних температур був все ж дуже високим. Екстремальні середньодобові температури вище $27-28^{\circ}\text{C}$ спостерігалися в

декількох одиничних випадках. Однак, на високий сумарний тепловий стан теплового півріччя 2019 року сплинула його висока тривалість – 215 діб.

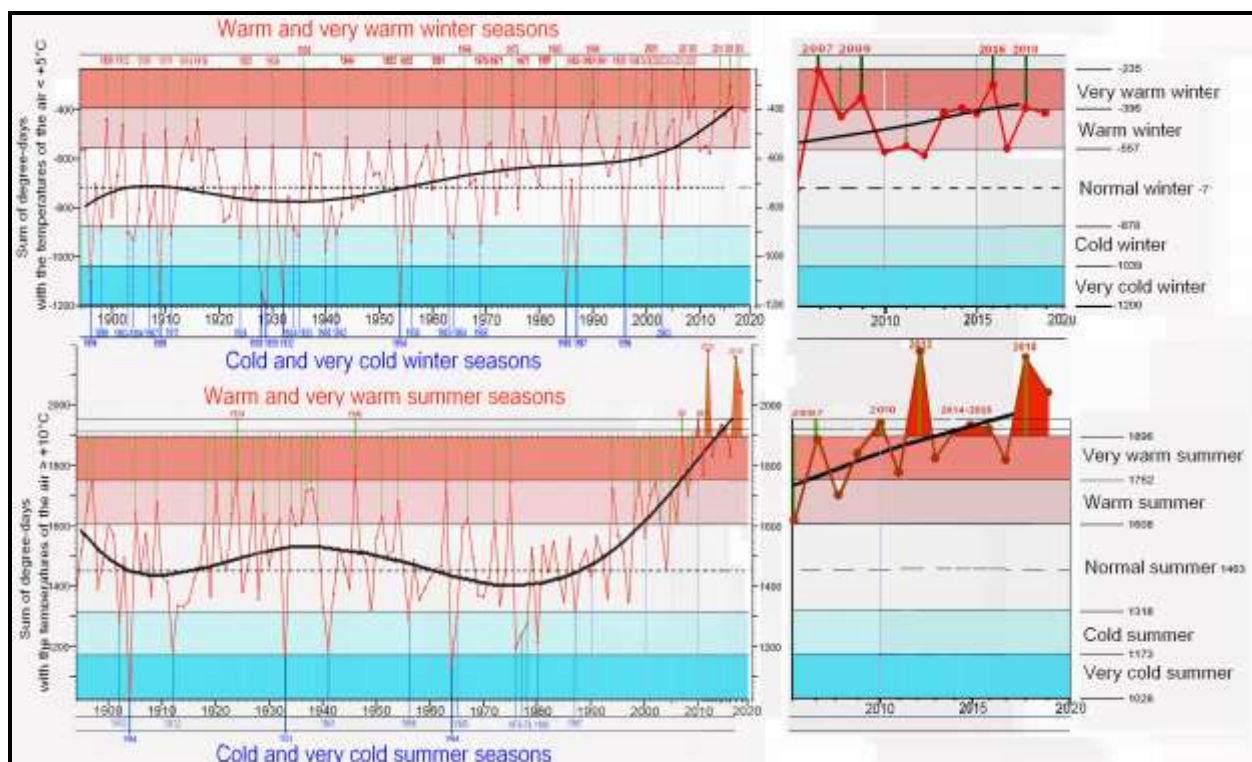


Рисунок 3.6 – Багаторічні зміни інтегральних характеристик термічного стану атмосфери в приземному шарі в зимовий (вгорі) і в літній (внизу) півріччя за даними МС Одеса-порт.

Мінливість добових значень температури повітря річного циклу 2019 р. представлена на рисунок 3.7. Тільки у двох випадках мали місце зниження середніх добових зимових температур до значень нижче ніж -5°C . Вони відзначалися в січні та лютні місяці. Решта періодів зимового півріччя характеризувалися, в основному, позитивними значеннями температур приземного повітря. Найбільш теплим місяцем в річному циклі 2019 р. був червень місяць.

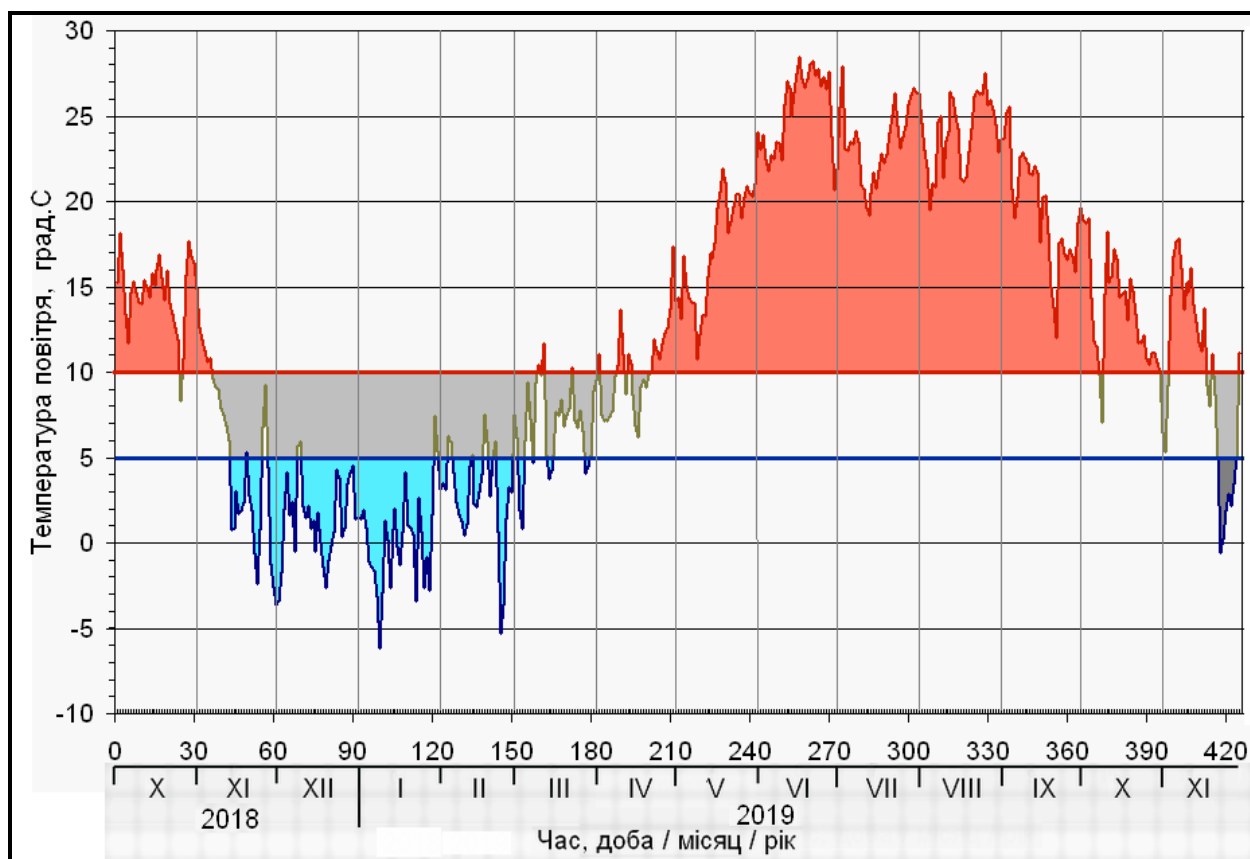


Рисунок 3.7 – Мінливість добових даних приземної температури повітря по МС Одеса-порт с 01.10.2018 р. по 30.11.2019 р.

На рисунку 3.8 представлені щомісячні графіки часової мінливості основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів МС Одеса-порт в 2019 році. Ці дані в іншому поданні суттєво доповнюють частину вище представлених даних про вітрові умови, зокрема прогресивно-векторних діаграм і роз вітрів.



Примітка: Вітер
 Рівень моря
 Температура повітря
 Температура води
 Солоність води

- вектора бірюзового кольору;
 - сині лінії;
 - червоні лінії;
 - зелені лінії;
 - рожеві еліпси.

Рисунок 3.8 – Щомісячні графіки тимчасових змін основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів МС Одеса-порт в 2019 р.

Графічні дані, представлені в цьому розділі звіту будуть епізодично залучатися при аналізі океанографічних даних .

3.3 Атмосферні опади

Як випливає з рисунку 3.9, на якому представлені річні суми опадів і їх норми з 1867 р, в 20-х, 30-х роках минулого століття спостерігався мінімум, коли норми річних сум дорівнювали 348-350 мм.

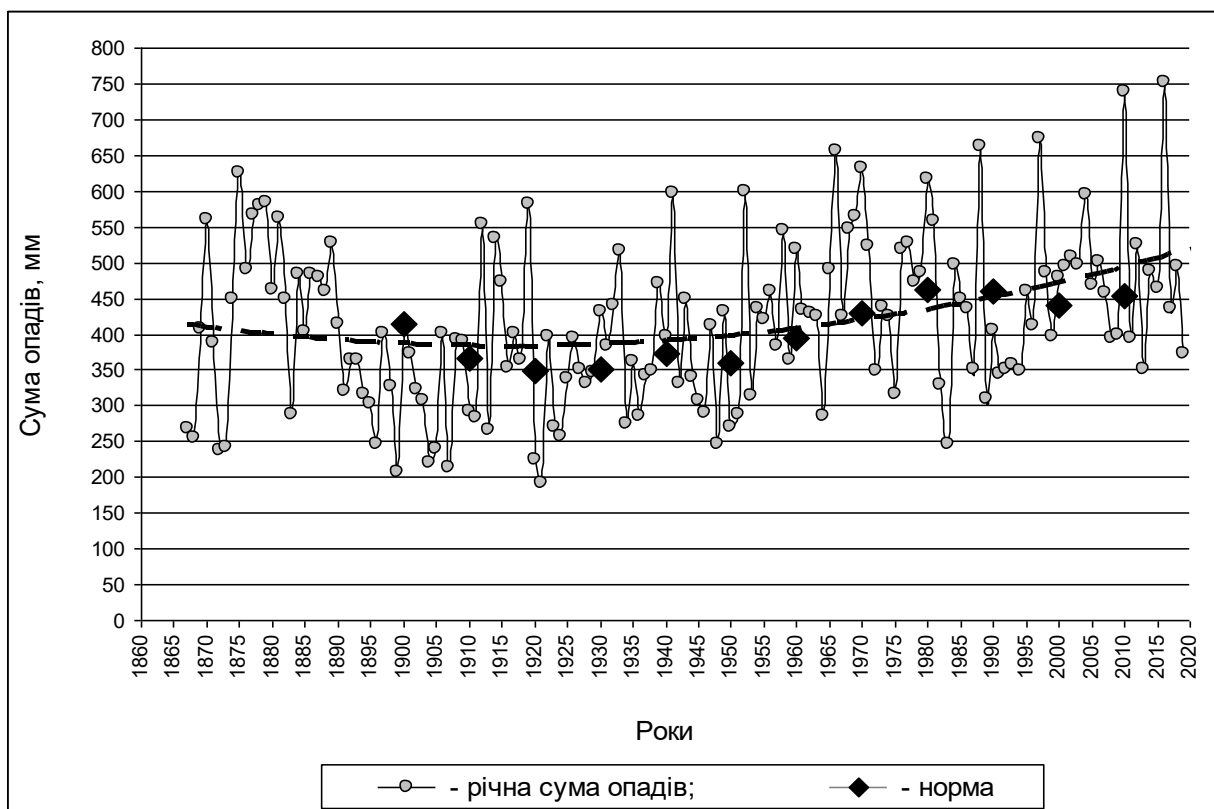


Рисунок 3.9 – Річні суми опадів за даними в Одесі з 1867 р.

Зараз, з 2011 року по 2020 рік діє норма річної суми опадів 453 мм. Вона обчислена як середньорічна сума опадів за 30 років з 1981 по 2010 рік за спостереженнями на метеостанції Одеса-обсерваторія. Ця величина більше, ніж

попередня норма опадів (1971-2000 рр.), яка дорівнювала 441 мм. Зараз ми знаходимося на висхідній гілці тренда опадів, і дві останні норми на 25 - 30% більше зазначених мінімумів минулого століття.

Що стосується 2019 року, то його річна сума опадів була 372 мм – 82 % від норми (рисунок 3.10). У поточному десятилітті меншу суму опадів мав тільки 2013 (351 мм – 77 %). Решта сім років, отже, мали великі суми опадів, і вони включають найвологіший за всю історію метеоспостережень в Одесі 2016 рік, 752 мм – 166 % від норми.

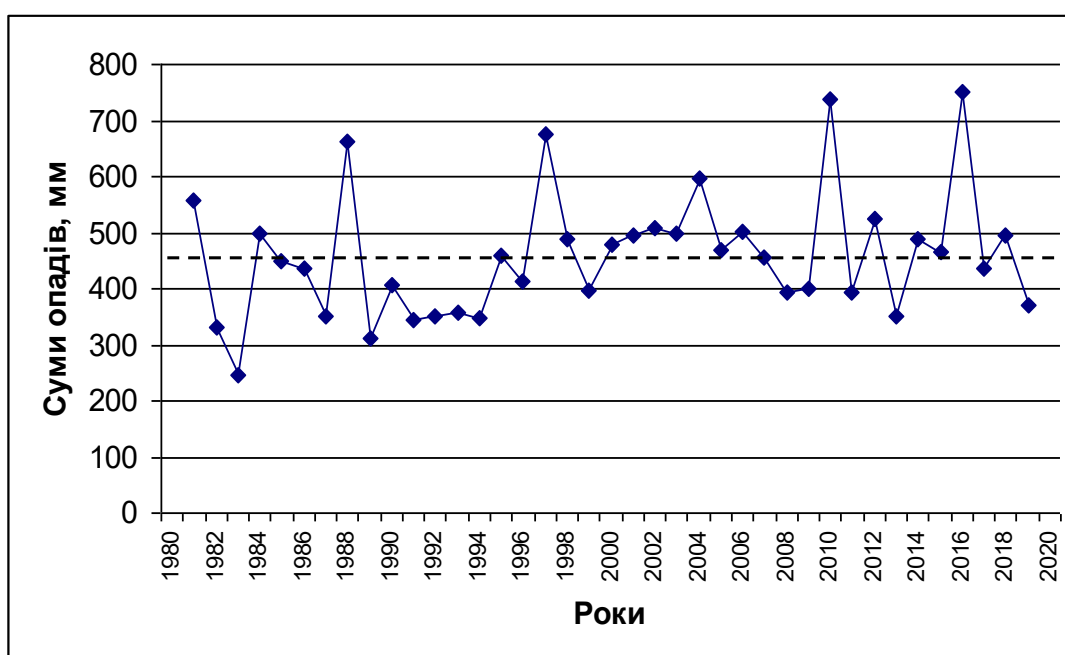


Рисунок 3.10 – Річні суми опадів за даними станції Одеса-обсерваторія з 1981 року. Пунктирна лінія відзначає діючу в даний час норму опадів.

Проте, 2019 р. укладається в діапазон нормальних років, 340-500 мм. Цей діапазон був визначений як найменший за кількістю років відрізок в центрі ранжируваного спаданням річних сум опадів ряду, що включає 50% з 153 його членів.

4. МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

4.1 Температурний режим

Температурний режим вод ПЗШ і глибоководної частини Чорного моря в силу природних процесів помітно відрізняються. У мілководній шельфовій зоні процеси прогрівання и охолодження вод протікають значно інтенсивніше.

На нього більше впливають швидкість і напрям вітру, річковий стік, апвелінгова циркуляція. Максимальні амплітуди коливань температури води в цій частині моря значно вище ніж в глибоководній. Таблиці максимальні і мінімальні значення температури води за календарними сезонами в районах згідно карти районування Чорного моря, приведені в звіті за 2018 рік.[1].

Нижче наведена таблиця 4.1 середньомісячних багаторічних значень температури морської води по кожному водному масиву згідно з класифікацією прибережних водних масивів рис. 4.1



Рисунок 4.1 – Розмежування прибережних водних масивів в Україні

Вибірка проводилася з Атласу [2]. Температура водного масиву CW6 показана за даними ГМС Одеса-порт.

Таблиця 4.1 – Середньомісячні значення температури морської води водних масивів української частини прибережної зони Чорного та Азовського морів.

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TW5	3,5	3,5	4,5	4,5	15,5	20	22,5	23	20	15	10,5	7
CW1	4,5	4	5,5	9	15,5	20	23	23,5	20,5	16,5	11,5	8,5
	5,5	4,5	5,5	5,5	7	8	9,5	12,5	14,5	14,5	11,5	8,5
CW2	2,5	2,5	4	8	15,5	20	22,5	22,5	19,5	14,5	10	6,5
CW3	2,5	2,5	3,5	7,5	15,5	20	22	22,5	19,5	14,5	10	6,5
CW4	2,5	2,5	3,5	7,5	15,5	20	21,5	22	19	14,5	10	6,5
CW5	2,5	1,5	3	7,5	15,5	20	21,5	21,5	19	14	10	6,5
CW6	2,5	1,5	2,5	7,5	15	19	21	22	18,5	14	9,5	6
CW7	2,5	1,5	2,5	7,5	15	20	21,5	21,5	19	14	9,5	6
CW8	3	2	3	8	15	20	22	22	19,5	14,5	9,5	6
CW9	3,5	2	3,5	8,5	15	19,5	22,5	22	19,5	15,5	10	6,5
CW10	3,5	2	4	9	15	19,5	22,5	22,5	19,5	15	10,5	7
CW11	3,5	2,5	4	9	15	19,5	22,5	22,5	19,5	15	10,5	7
CW12	5	4	5	9	15	19,5	22,5	22,5	20	15,5	11,5	8,5
CW13	5,5	5,5	5,5	9,3	14,5	19	22	22,5	20	16,5	12,5	9,5
CW14	6,5	6,5	6,5	9,3	14,5	19	22	22,5	20	16,5	12,5	9,5
CW15	7	6,5	7	9,3	14,5	19	21,5	23	20,5	17	13	10,5
CW16	7,5	7	7,2	9,3	14,5	19	21,5	23	20,5	17	13,5	10,5
CW17	8	7,5	7,2	9,3	14,5	19	22	23	20,5	17	13	10
CW18	7,5	7	7	9	14,5	19	22,5	23	20,5	16,5	13	10,5
CW19	7	7	6,5	9,3	14,5	19	22	23	20,5	17	12,5	10,5
CW20	7	7	6,5	9,5	14,5	19	22	23	20,5	17,5	12,5	11
CW21	7,5	7,5	7	9,5	14,5	19,5	22,8	23	21	17	13	11,5
CW22				7,5	15	19,5	23,7	24,6	20,2	15,2	10,5	
CW23				7,5	15	19,5	23,7	24,6	20,2	15,2	10,5	
CW24				8,5	16	21	23,9	24,8	20,4	15,2	10,5	
CW25				8	16	21	23,9	24,8	20,4	15	10	
CW26				9,5	16	21,5	23,7	24	19,8	13	7,5	
CW27				9,5	17	22	23,7	23,6	19,6	12,5	7,5	
CW28				9	16	21,5	23,7	24,2	19,6	12,6	7,5	
CW29				10	17,5	21,5	23	24	19,4	12,8	6,5	
CW30				9,5	17,5	21,5	24,3	23,8	18,6	12	5,5	
CW31				9,5	17,5	21,5	24,3	23,8	18,6	12	5,5	
CW32				9,8	17,5	21	24,3	23,6	18,4	12	5	

За результатами спостережень, що отримані під час проведення прибережного моніторингу у серпні – вересні та жовтні 2019 року представилась можливість порівняти поточні значення температури води із середніми багаторічними значеннями, що отримані з різних джерел. Результати наведені у табл. 4.2

Таблиця 4.2 – Порівняння значень температури поверхневого шару води прибережних водних масивів ПЗЧЧМ за даними спостережень 2019 року з значеннями з довідкових матеріалів.

Водні Масиви (код)	2019	Атлас [2]		Довідник [3]			
	T °C	ТА	T - ТА	T _c	T - T _c	Макс.	Мін.
	серпень/вересень						
CW1_	25	22	3	21,80	3,20	27,3	6,28
CW2_	24,5	21,50	3	21,7	2,80		,
CW3_	24,2	21	3,2	21,7	2,50		
CW4_	24	20,5	3,5	20,80	3,20	28,4	6,64
CW8_	23,2	21,30	1,9	20,35	2,85		
CW9_	23,5	21,3	2,2	20,35	3,15		
	жовтень						
CW5_	16,85	13,8	3,05	10,9	5,95	21,3	2,94
CW6_	17	14	3	11,4	5,60		
CW7_	16,50	14	2,5	11,4	5,10	21,86	0,56
Примітка. T – температура поверхні води у 2019 р. ТА – температура поверхні води згідно Атласа[2] T _c – температура поверхні води згідно Довідника [3]							

Температура поверхневого шару води влітку і восени 2019 року була помітно вище середньомісячних багаторічних значень взятих з [2] в середньому на 3 °C, а в жовтні на 5.8 °C порівняно з [3], де наведені середні значення по сезонах і районам більшою площею, ніж прибережні водні масиви, не перевищували максимальних величин.

4.1.1 Температура морської води за даними ГМС Одеса-порт з 1981 по 2019 рр.

Середня за 2019 р. температура морської води, за даними ГМС Одеса-порт, дорівнює 12,9 °С, при нормі 11,4 °С. У списку років з 1915 року, ранжируваному спаданням середньорічних температур, 2019 р. знаходяться в самій верхній його частині. Разом з 2018, 2002 і 1999 рр. він ділить 3 - 6 рядки цього списку, поступаючись тільки 2010 і 2012 рр. з їх температурами 13,3 і 13,1 °С, відповідно.

З особливостей 2019 р. слід виділити надзвичайно високу температуру морської води в червні, 23,7 °С при нормі 17,8 °С, а в серпні, пов'язане зі згоном зниження температури більш ніж на 9 °С (рисунок 4.2). Величезна позитивна аномалія температури води в червні, + 5,9 °С, тим більше помітна, що в серпні – місяці, з самої по нормі теплою водою – фактична температура в точності дорівнювала нормі, а в липні вона була навіть нижче, на 0,8 °С (рисунок 4.3).

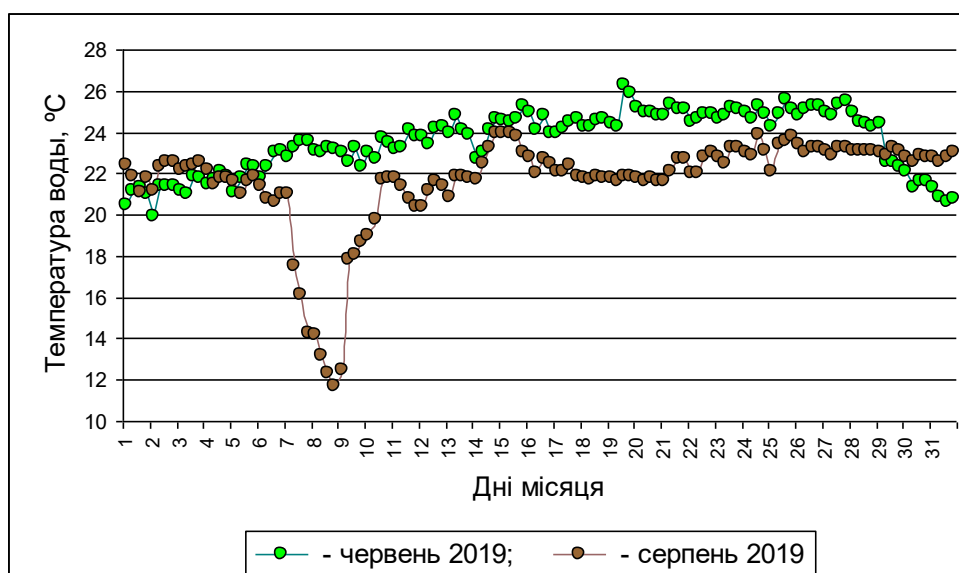


Рисунок 4.2 – МС Одеса-порт. Середньодобові температури морської води в червні і серпні 2019 р.:

Середня температура в червні була 23,7 °С та максимумом 26,3 °С

(19.06.2019); середня температура в серпні 21,6 °С та мінімумом 11,7 °С (8.08.2019).

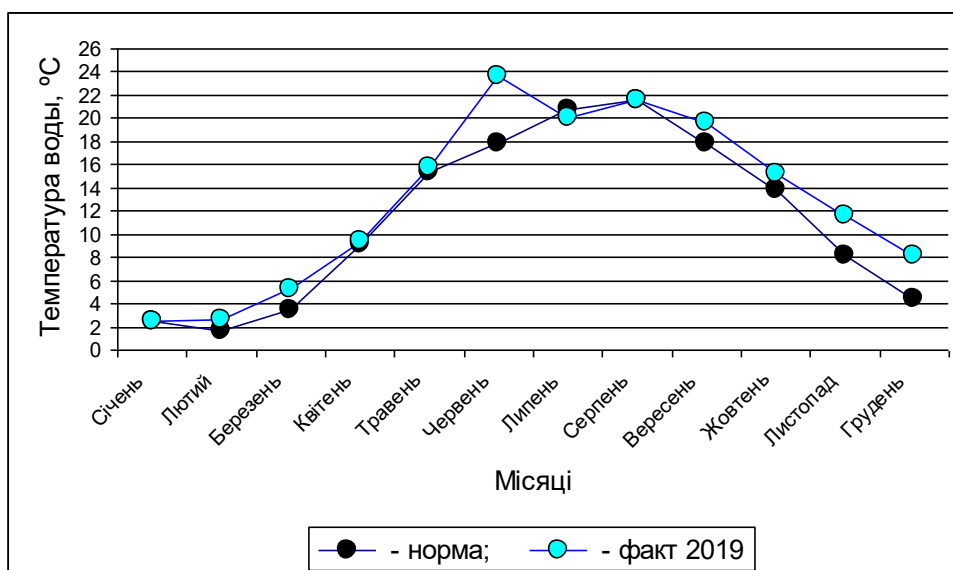


Рисунок 4.3 — Місячні норми і фактичні середньомісячні температури морської води в 2019 р. за даними МС Одеса-порт.

Судячи з чинним річним нормам, температура повітря, в зв'язку з її негативними зимовими значеннями, повинна бути в середньому за рік на 0,7 °С нижче температури води. Так що рівність середньорічних температур повітря і води, та й інша 12,9 °С, слід вважати ще однією, при тому рідкісною, особливістю 2019 року.

Норма температури морської води за даними ГМС Одеса-Порт за 1981-2010 рр. дорівнює 11,4 °С. На рисунку 4.4 показані аномалії середньорічних температур, обчислені щодо зазначеної норми, за цей період і за наступні 9 років.

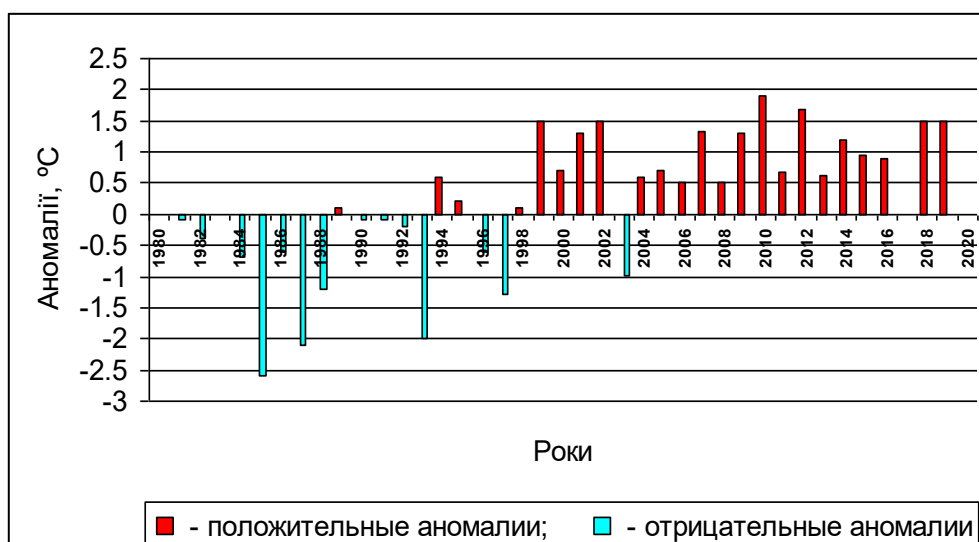


Рисунок 4.4 – Аномалії середньорічних температур морської води за даними МС Одеса-порт щодо норми за 1981-2010 рр., 11,4 °C.

Видно, що 1997 р. ділить вказаний відрізок часу довжиною в 39 років майже навпіл: у першій частині – всього три невеликих позитивних аномалії, а в другій за все – одна негативна. Серед холодних років з негативними аномаліями виділяються три роки (1985, 1987 і 1993) з температурами 8,8 °C, 9,3 °C і 9,4 °C, відповідно. А серед найтепліших років другої половини відрізка особливо виділяються два роки: найтепліший за температурою морської води за весь час спостережень 2010 рік (13,3 °C) і трохи поступився йому 2012 рік (13,1 °C). Наступного, нижчою сходинці стоять чотири роки, в число яких входить і тільки що закінчився 2019 р.

Вже скоро, згідно з правилами Всесвітньої метеорологічної організації, повинна пройти заміна нині діючих норм метеорологічних параметрів на нові, обчислені за спостереженнями за 1991-2020 рр.

Така, досить консервативна характеристика, як середньорічна температура води, та ще при 30-літньому осередненні, навряд чи сильно зміниться за останній рік. Тому середня величина за 1990-2019 рр. є гарною оцінкою майбутньої норми. Вона дорівнює 11,9 °C, що на пів градуса вище нині діючої норми.

Подивимося, як зміниться рисунок 4.4, якщо з далекого кінця часового ряду, по якому він побудований, видалити 9 в основному холодних років, а до ближнього додати 9 тепліших (рисунок 4.5).

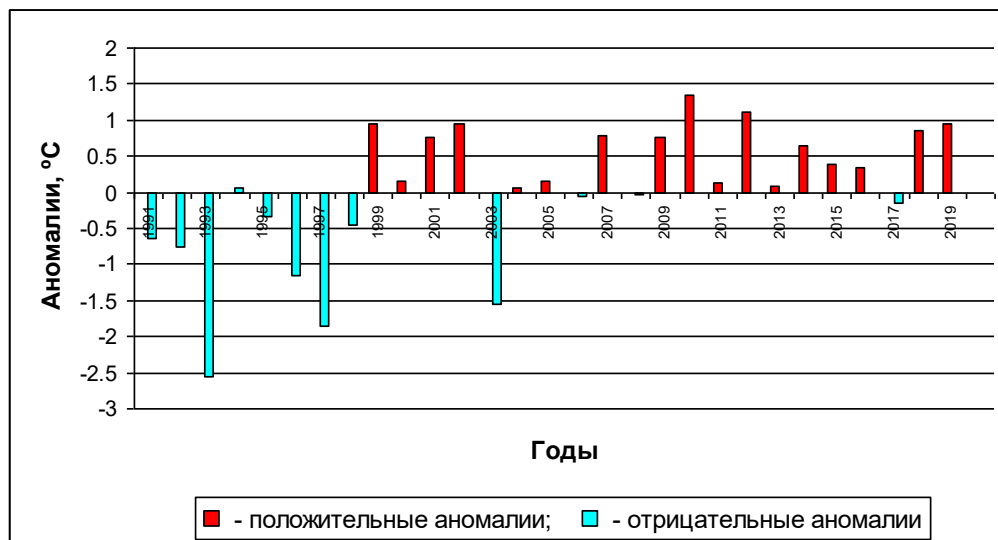


Рисунок 4.5 – Аномалії середніх річних температур морської води за даними ГМС Одеса-Порт щодо середньої температури за 1990-2019 рр., 11,9°C.

Позитивні відхилення від цього ймовірного значення нової норми повинні, природно, на пів градуса зменшитися, а негативні, за абсолютною величиною, на стільки ж збільшитися. З колишніх трьох великих негативних аномалій залишилася одна, 1993 рік (-2,5°C). Крім неї стали помітні аномалії 1997 рік (-1,8°C) і 2003 року (-1,5°C). Всі позитивні аномалії, хоча і зменшилися, збереглися в колишньому складі. Прояви глобального потепління на цьому рисунку, в порівнянні з попереднім не настільки очевидні.

Цілком очевидно, що взимку добре себе почуває один комплекс автотрофної ланки морських організмів, а влітку інший. Природно припустити, що головною причиною цієї зміни може бути тільки температура води. Тільки вона протягом кожного річного циклу змінюється в таких широких межах, з якими не зрівняються зміни ні солоності, ні стоку річок, ні вмісту кисню, і ніякого іншого абіотичного показника стану водного середовища. Величина,

біологічних та гідрофізичних, процесів, їх регулярність і фазова узгодженість говорять про їх тісний взаємозв'язок.

По даним гідробіологічного моніторингу [4 Том Отчет биологов за этот год] біля узбережжя Одеси, навесні, радикальна перебудова зимового автотрофного та гетеротрофного комплексу на весінній відбувається при досягненні морською водою температури близько 10 °С. Саме ця величина була прийнята для вирішення декількох завдань. Перша: на які дати стійкого переходу температури води через цей рубіж навесні і восени слід орієнтуватися в даний час. Друга: змінюються ці дати в умовах поточної зміни клімату, і як? Третя: надати біологам деякі інтегральні характеристики змін температури за конкретні роки, що дозволило хоча б частково пояснити особливості перебігу біологічних процесів в різні роки, якщо такі будуть виявлені. В якості такої інтегральної характеристики була обрана накопичена сума градусів-днів між весняним і осіннім переходами температури води через 10°С.

Для вирішення цих завдань використані середньодобові температури морської води за даними спостережень ГМС Одеса-порт з 1915 року. Результати представлені на рисунку 4.6. і в таблиці 4.2

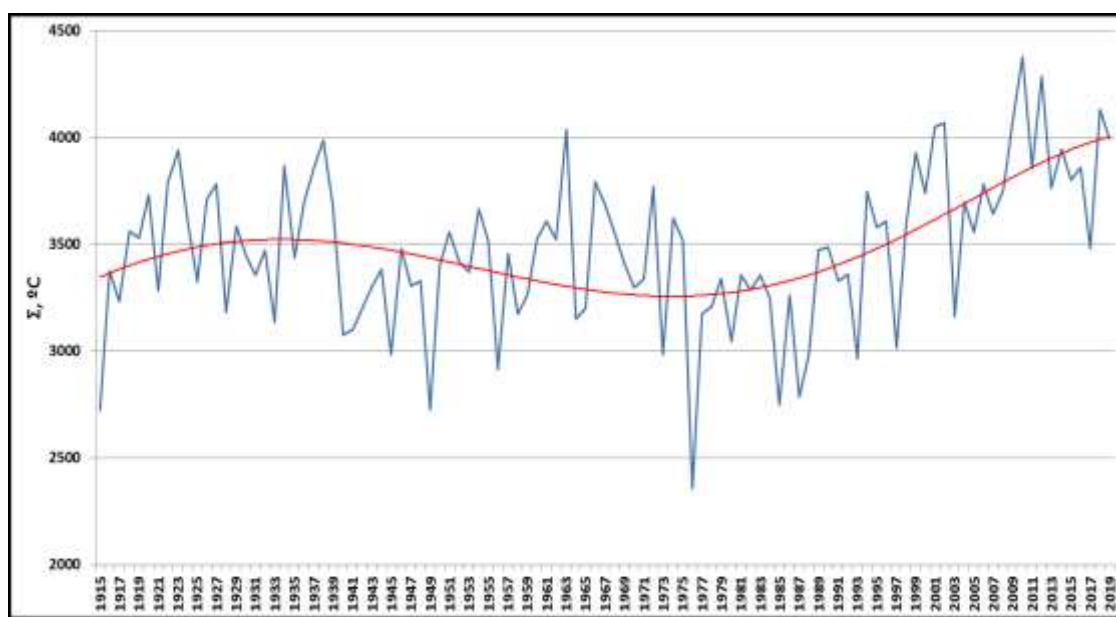


Рисунок 4.6 – Сума градусів-днів температури води між весняним і осіннім переходами температури води через 10°С.

На рисунку 4.6 представлені багаторічні зміни (1915-2019 рр.) інтегральної характеристики температури води по даним МС Одеса порт – сума градусів-днів тепла вище $+10^{\circ}\text{C}$. Графік в цілому ідентичний з аналогічним графіком побудованим для температури повітря рис.3.6 і відображає стійкий позитивний тренд сумарних температур в весняно-літній період, починаючи з 1988 року.

Таблиця 4.2 – Середні десятирічні дати переходу температури води через позначку 10°C за 1919-2019 роки.

Роки	Дата переходу	Дата переходу
2010-2019	18 квітня	22 листопада
2000-2009	20 квітня	18 листопада
1999-2008	21 квітня	16 листопада
1989-1998	22 квітня	11 листопада
1979-1988	3 травня	4 листопада
1969-1978	2 травня	10 листопада
1959-1968	26 квітня	16 листопада
1949-1958	28 квітня	24 листопада
1939-1948	22 квітня	2 листопада
1929-1938	26 квітня	17 листопада
1919-1928	21 квітня	15 листопада

В 2019 році вода з температурою 10°C спостерігалася з 13 квітня, що на п'ять днів раніше середньої дати поточного десятиліття і на сім попереднього.

4.2 Солоність морської води

Рисунок 4.7 показує, що солоність морської води в районі Одеси знизилася за останні майже 50 років приблизно на 0,6 проміле, що може бути пов'язано з встановленим фактом збільшення в цей період кількості атмосферних опадів (розділ 3.3).

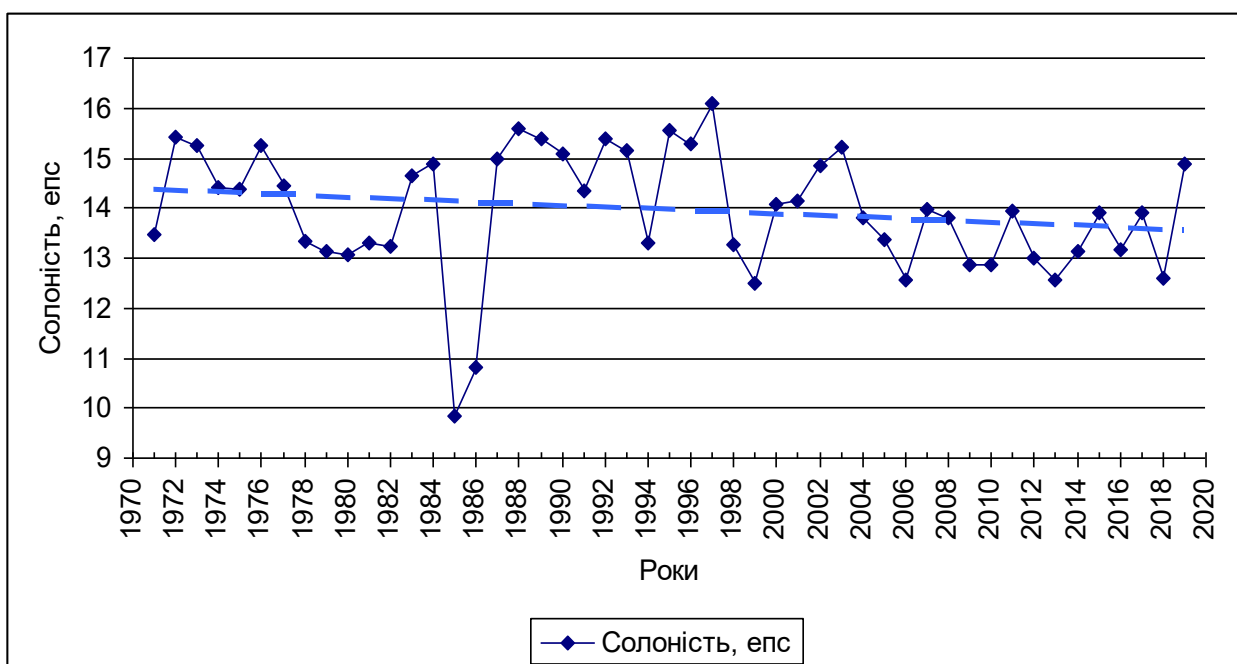


Рисунок 4.7 – Зміни солоності морської води за даними ГМС Одеса-порт з 1971 по 2019 р.

З рисунка слід, що середня за 2019 р. солоність морської води, за даними МС Одеса-порт виявилася найвищою з 2004 р. Вона дорівнює 14,88 проміле, при річній нормі 14,01.

Кліматичний річний хід солоності в порту Одеси, побудований за місячним нормам, тобто за середніми за 1981-2010 рр. значенням, і окремо по середньомісячним значенням за 2019 р. представлений на рисунок 4.8.

Кліматичний річний хід солоності в порту Одеси, судячи з рисунку, простий і, мабуть, регулюється двома факторами, стоком з Дніпро-Бузького лиману і випаровуванням.

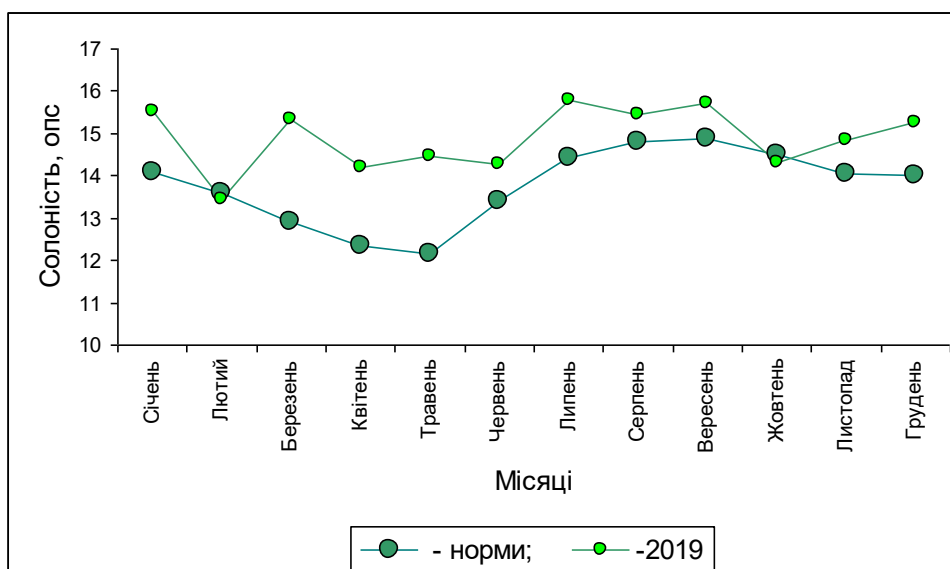


Рисунок 4.8 – Річний хід солоності, кліматичний і в 2019 році, за даними ГМС Одеса-порт.

У першій половині року в зв'язку з таненням снігу в басейнах Дніпра і Південного Бугу, а також у зв'язку з випаданням опадів при слабкому зимово-весняному випаровуванні стік розпріснених вод з Дніпро-Бузького лиману збільшується. При відсутності зустрічних вітрів західних румбів і віджимних (від берега) вітрів північних румбів ці води за 4-5 доби долають 60 км шляху до Одеси і знижують соленосний фон у її узбережжя. Попутні східні і притискні південні вітри концентрують розпріснені води в прибережній смузі і прискорюють їх доставку до Одеси.

У другій половині року після повені стік річок зменшується, а випаровування, навпаки, збільшується, що біля берегів Одеси проявляється збільшенням солоності. Діапазон кліматичного річного ходу солоності між травневим мінімумом і максимумом кінця літа - початку осені вельми помітний, так як перевищує 2,6 проміле.

За браком даних про стік Дніпра і відсутністю таких по Південному Бугу викладене вище припущення було перевірено на дуже обмежений і не дуже сучасному матеріалі (рисунок 4.9). Дані по стоку Дніпра знайшлися тільки за 24 роки, з 1977 по 2000 р.

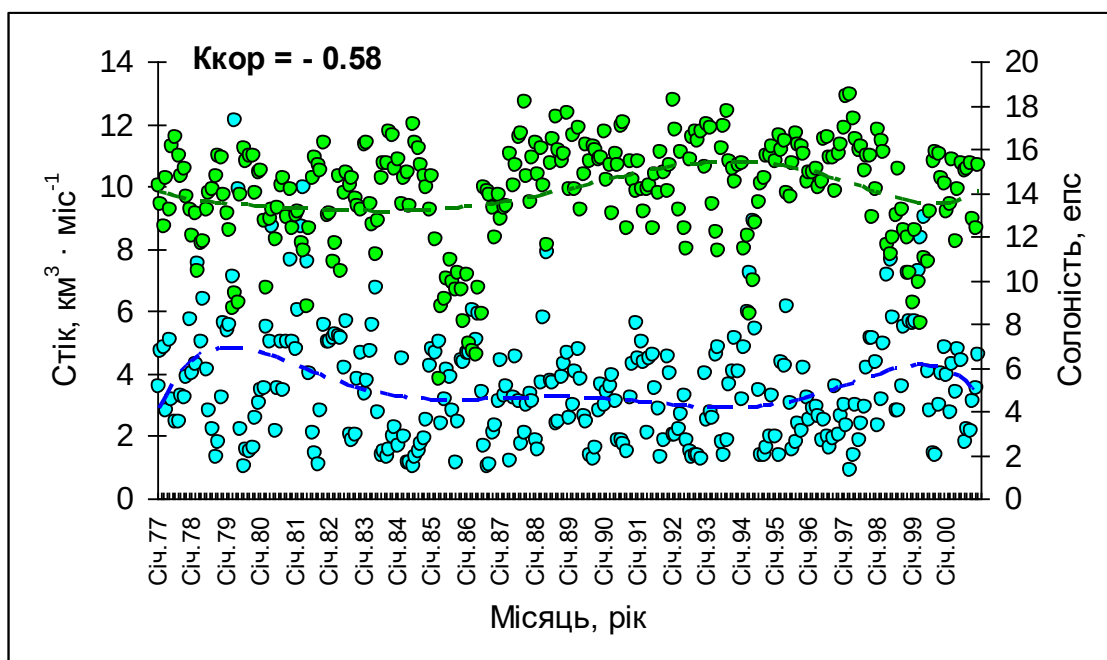


Рисунок 4.9 – Середньомісячні значення стоку Дніпра(блакитний) і солоності морської води в районі Одеси.(зелений)

За справедливості запропонованої гіпотези про причини зміни солоності води в порту Одеси кажуть кілька фактів.

По-перше, негативне значення коефіцієнта кореляції означає логічно обґрунтовану зв'язок, а саме: чим більше стік Дніпра, тим нижче солоність води у Одеси.

По-друге, коефіцієнт кореляції за абсолютною величиною досить великий, легко проходить критерій Стюдента і підтверджує гіпотезу на 99-відсотковому рівні значущості.

По-третє, оскільки зміни стоку Дніпра (сигнал) може позначатися на зміні солоності у Одеси (відгук) не миттєво, а з запізненням, було перевірено вплив на коефіцієнт кореляції зсуву рядів відносно один одного. Зрушення ряду солоності щодо ряду стоків річки назад імітує затримку слідства по відношенню до причини. В цьому випадку зрушення на один, два і три місяці приводили до збільшення коефіцієнта кореляції, а понад три місяці - до зменшення. Правда, ці збільшення були незначними - по 0,001 на місяць зсуву.

Солоність морської води в глибоководній частині Чорного моря мало

змінна і коливається в верхньому шарі від 18,6 ‰ до 17,5 ‰ далі з глибиною збільшується до 22,4 ‰ на дні.

У ПнЗЧМ солоність води в основному визначається результатом перемішування прісних річкових вод з поверхневими водами відкритої частини моря, що відбувається при активному впливі приводного вітру.

У таблиці 4.3 наведені середньомісячні значення солоності морської води водних масивів української частини прибережної зони Чорного та Азовського морів. Вибірка проводилася аналогічно як і для таблиці 4.1.

Таблиця 4.3 – Середньомісячні значення солоності морської води водних масивів української частини прибережної зони Чорного та Азовського морів.

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
TW5	13,8	15	12,2	12,2	10,2	10,2	12,6	13,6	14,4	13,8	14,2	13,8
CW1	15,6	16,2	15,6	14	12,6	11,8	13,8	14,6	15,4	15,2	15,8	14,6
	15,6	15,6	16	15,6	17,6	17,7	17,6	17,6	17,5	17,3	17,6	17,3
CW2	14,8	15,2	12,8	12,8	10,8	12,6	12,8	13,4	13,8	14,4	14,2	14,2
CW3	15,4	16	15	14,2	12,4	13,4	14	14,6	15,4	15,4	15	15,8
CW4	16	16,2	15,4	13,8	13,6	14,8	14,2	15,6	15,8	15,4	15,2	16
CW5	16	15,8	15,6	14,2	12,8	13,8	14,2	14,6	15	15	14,8	15,4
CW6	16	15,6	14	12,8	11,6	11,6	12,4	14,6	14,6	14	13,6	15,2
CW7	16,4	16,4	14	12,2	13,2	12	12	13,6	13	12	12,6	15
CW8	16,8	16,8	15	14,2	14,8	14	14	15	15	15,2	15	16
CW9	17,2	17,2	16,8	16	16,2	15,8	16	15,8	16,4	16,4	16,6	16,4
CW10	17,4	17,4	17,4	16,4	17,6	17,4	16,8	16,8	16,8	16,6	16,8	17,2
CW11	17,4	17,4	17,4	16,4	17,6	17,4	16,8	16,8	16,8	16,6	16,8	17,2
CW12	17,8	17,8	17,8	17,6	17,8	17,6	17,4	17,2	17,2	17,2	17,6	17,8
CW13	17,8	18	18	17,8	18	17,8	17,6	17,4	17,6	17,6	17,8	17,8
CW14	17,8	18	18	17,8	18	17,8	17,6	17,6	17,8	17,8	17,8	18
CW15	18	18	18	17,8	17,8	17,8	17,8	17,6	17,8	17,8	18	18
CW16	18	18	18	18	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	18	18,1	18
CW17	18	18	18	17,8	17,8	17,8	17,8	17,6	17,8	17,8	18,1	18
CW18	18	18	18	17,8	18	17,8	17,8	17,8	17,8	18	18	18
CW19	17,8	18	17,8	17,6	17,8	17,6	17,6	17,6	17,8	17,8	17,8	18
CW20	17,8	17,8	17,8	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,6	17,8	17,8	17,8
CW21	17,8	17,8	17,8	17,4	17,4	17,4	17,2	17,4	17,6	17,8	17,8	17,8
CW22	17,8	17,8	17,6	17,2	17,2	17,2	17	17,4	17,4	17,8	17,6	17,8
CW23				12,5	12,5	12	12	12	11,75	13	13	

Продовження таблиці 4.3

Район	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CW24				12	12	11,5	12	11,5	11,5	12,5	12	
CW25				11,5	12	11	12	11	11,5	12	12	
CW26				11,75	12	11,5	11,75	11,5	11,75	12	12	
CW27				12	11,5	11,5	11,75	11,5	12	12	13	
CW28				11,5	11,5	11	11,75	11,5	11,5	12	11,5	
CW29				11	10	10,5	11,25	11,5	11,5	11	11	
CW30				10	9	9,5	10	10,5	10	9,5	10	
CW31				9	7,5	7,5	8,5	8,5	8,5	8	8,5	
CW32				7	6	6	6	6	6	6	6	

Води з найнижчим середньомісячними значеннями солоності в ПнЗЧЧМ з'являються в районах CW2, TW5, що знаходяться під значним впливом річкового стоку Дунаю в весняно-літній період під час паводків.

В цілому під час спостережень 2019 для всього узбережжя характерне загальне підвищення значень солоності, по винятком району Затоки (код CW-4), де можливий вихід з Білгород-Дністровського лиману менш солоних вод в момент проведення спостережень. (Табл. 4.4)

Таблиця 4.4 – Порівняння значень солоності поверхневого шару води прибережних водних масивів ПЗЧЧМ за даними спостережень 2019 року з значеннями з довідкових матеріалів.

Водні масиви	2019	Атлас [2]		Довідник [3]			
	S	S _A	S - S _A	S _c	S - S _c	Макс.	Мін.
	серпень/вересень						
CW1_	16,50	15	1,50	14,9	1,60	18,25	3,22
CW2_	16,17	14,10	2,07	14,9	1,27		
CW3_	16,26	15	1,26	14,9	1,36		
CW4_	14,96	15,7	-0,74	15,8	-0,84	17,96	11,39
CW8_	16,45	15	1,45	14,9	1,55		
CW9_	17,17	16,2	0,93	15,8	1,37		

Продовження таблиці 4.4

Водні масиви	2019	Атлас [2]		Довідник [3]			
	S	S _A	S - S _A	S _c	S - S _c	Макс.	Мін.
	жовтень						
CW5_	16,50	15	1,50	15,8	0,70	17,96	11,09
CW6_	16,48	14	2,48	15,40	1,08		
CW7_	16,31	12	4,31	15,40	0,91	18,07	7,91
Примітка. S – солоність ПШ в 2019 р. S _A - солоність ПШ згідно Атласу [2] S _c - солоність ПШ згідно Довідника [3]							

4.2.1 Солоність морської води за даними МС Одесса-порт з 1970 по 2019 рр.

З урахуванням того, що відстань між Одесою і виходом з Дніпро-Бузького лиману всього 60 км, перевіримо гіпотезу про те, що за спостереженнями на ГМС Одеса-порт солоність морської води пов'язана зі стоком Дніпра. Для перевірки вдалося підібрати 38 пар паралельних середньорічних значень солоності і стоку Дніпра з 1971 по 2008 рр. (рис. 4.10).

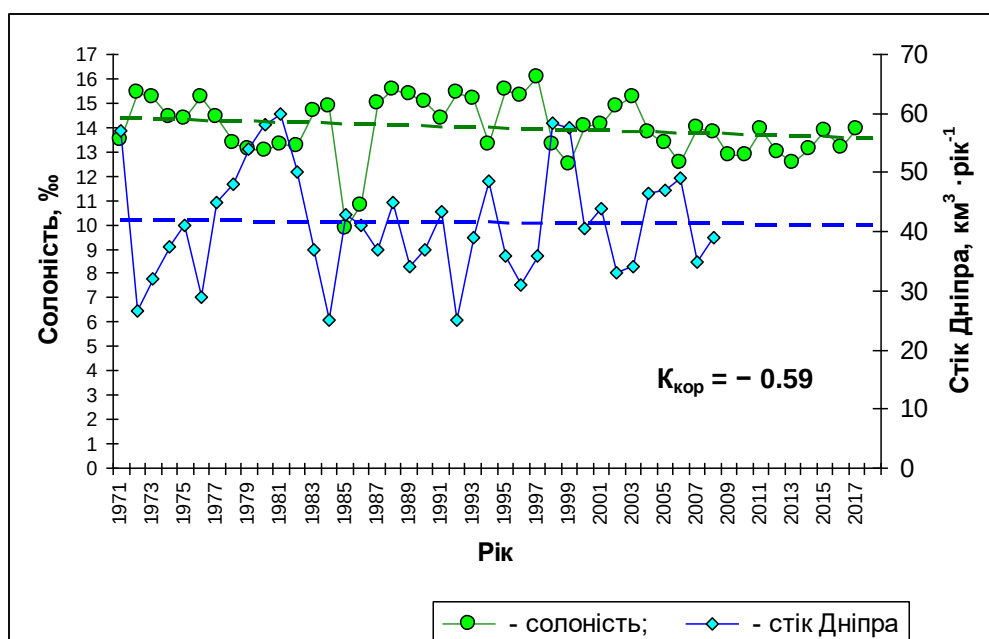


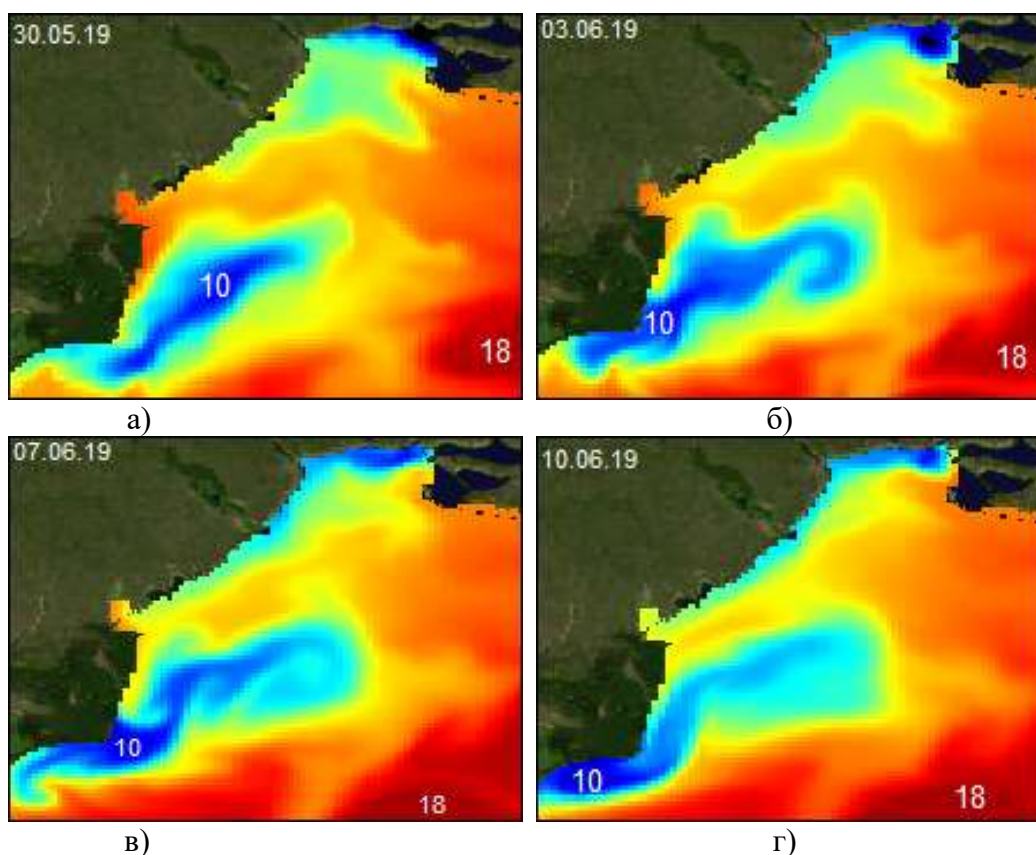
Рисунок 4.10 – Зміни середньорічної солоності за даними МГС Одеса-порт і водного стоку Дніпра.

При практично незмінному за цей період середньому стоці Дніпра солоність морської води в Одесі за зазначені 38 років знизилася майже на 1 ‰. На перший погляд, зв'язок між солоністю морської води і стоком Дніпра відсутній. А ось між річні зміни зазначених характеристик виявилися, проте, взаємопов'язаними. Негативний знак коефіцієнта кореляції між ними має фізичний сенс: при збільшених стоках Дніпра річкова вода розбавляє морську біля узбережжя Одеси. Одночасно, величина коефіцієнта кореляції впевнено з імовірністю перевищує 99 % вказує на невипадковий характер зв'язку з цим.

4.3 Багаторічна мінливість річкового стоку в північно-західній частини Чорного моря

Річковий стік має значний вплив на екологічну структуру вод ПЗШ. Одним з визначальних періодів гідрологічного року для ПЗШ можна вважати

період паводку – величину, час його настання, а так само швидкість і напрямок поверхневого течії визначають генеральний напрямок поширення паводкових вод. Це добре видно на зображеннях поля солоності поверхневого шару води ПЗШ в травні і червні 2019 року. З 30 травня дунайська паводкова хвиля поширювалася в північно-східному напрямку, а до 10 червня внаслідок зміни напрямку дії вітру вже повернула на протилежний – уздовж західного узбережжя.



а) 30 травня, б) 3 червня, в) 7 червня, г) 10 червня 2019 р.

Рисунок 4.11 – Поширення дунайської паводкової хвилі в 2019 році
(За розподілом солоності в ПЗШ <http://marine.copernicus.eu/>)

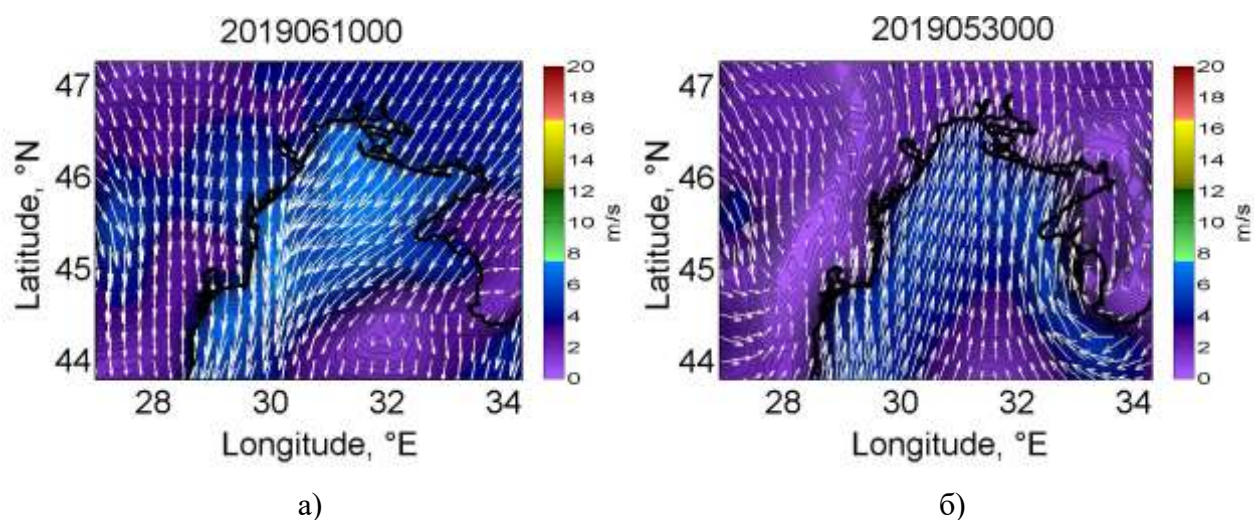


Рисунок 4.12 – Вітровий стан під час дунайського паводку у 2019 році

а) 30 травня, б) 10 червня.

4.3.1 Водний стік Дунаю

Зміни водного стоку Дунаю за останні 39 років представлені на рисунку 4.13. Зеленими крапками відзначені стоки 30 років, з 1981 по 2010, за якими обчислені нині діючі місячні норми і річна, складає 205,8 км³.

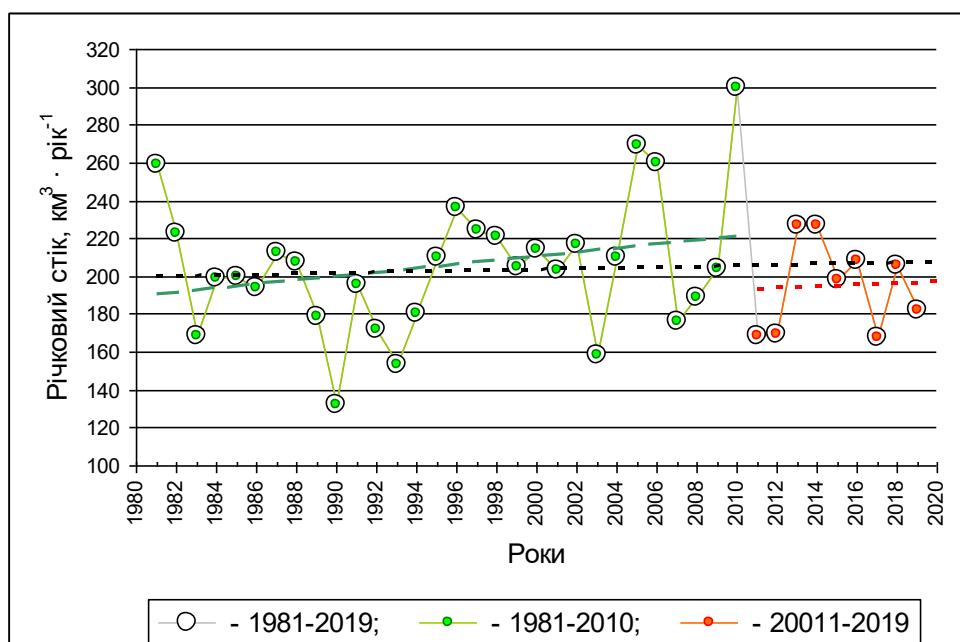


Рисунок 4.13 – Водний стік Дунаю за 1981-2019 рр.

Якщо прийняти єдине припущення, а саме: «роки, стоки яких укладаються в коридор «середнє значення $\pm$ стандартне відхилення» вважаються нормальними», то поділ ряду на багатоводні, нормальні і маловодні визначається статистичною структурою самого ряду. Оскільки стандартне відхилення 30-річного (1981-2010) ряду $35,4 \text{ км}^3$, середнє рівно $205,8 \text{ км}^3$ нижня межа стоку багатоводних років буде $241,2 \text{ км}^3$, а верхня межа маловодних - $170,4 \text{ км}^3$.

В таблиці 4.5 виділені сірою заливкою 4 багатоводних року, з аномаліями (відхиленнями від норми) від +45 до +26%, і 4 маловодних – з аномаліями від -18 до -36%.

Таблиця 4.5 – Багатоводні і маловодні роки по водному стоку Дунаю за період 1981-2010 рр.

Роки	2010	2005	2006	1981	1983	2003	1993	1990
Стік, км^3	299,4	269,4	260,1	258,7	168,8	158,1	153,7	132,5
Аномалія, %	+45	+31	+26	+26	-18	-23	-25	-36

Повінь і межень це поняття, які, здавалося б, не вимагають особливих пояснень: навесні сніг розтанув - повінь, до осені вісь зимовий запас вологи стек, усе підсохнуло за літо - настає межень. Однак, міжрічна і внутрішньорічна мінливість можуть такі уявлення ускладнити. Один приклад: Дунай в дуже багатоводному 2010 р. мав мінімальний місячний стік в листопаді, $16,12 \text{ км}^3$, і цей стік був більше максимального грудневого стоку, 16 км^3 , в дуже маловодному 1990 році. З цього прикладу видно, що призначити універсальні межі повені і межені неможливо.

Вихід може бути таким: межі повені і межені визначаються за тим же принципом для кожного року окремо, виходячи з обсягу його річного стоку і величини стандартного відхилення обчисленого по дванадцяти фактичних місячних стоків. Далі, ті місячні стоки, які відхиляються від середньомісячного за цей рік значення стоку вгору більше ніж на стандартне відхилення, вважати високою водою, а ті, які вниз - низькою. Повторюваність високих і низьких вод, обраних за цим принципом з 360 місячних стоків за 1981-2010 рр.,

представлена в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Число випадків за 1981-2010 рр., Коли фактичний місячний

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ср.+ ст.відх.	4	1	4	21	19	7	2	2	–	–	2	2
Ср.– ст.відх.	2	4	–	–	–	–	2	8	15	11	14	3

Стік Дунаю відрізнявся від середньомісячного за цей рік значення більш ніж на стандартне відхилення в більшу і в меншу сторону.

Звертають на себе увагу кілька фактів, а саме: по-перше, сума повторюваність високої води в квітні і травні (40 випадків) значно, на 67%, перевищує суму повторюваність (24 випадки) за інші 10 місяців.

По-друге, сума повторюваність низькою води у вересні, жовтні і листопаді (теж 40 випадків) більш ніж в два рази перевищує суму повторюваність низькою води (19 випадків) за решту 9 місяців.

По-третє, зрозуміло, що квітень і травень логічно вважати місяцями кліматичного повені, а три осінніх місяця – місяцями кліматичної межені.

По-четверте, в місяці кліматичних повеней, і навіть у прилеглих до них березні і червні, не було жодного випадку низької води.

По-п'яте, у вересні і жовтні, як в місцях кліматичної межені, не було жодного випадку високої води, і тільки в листопаді двічі траплялися виключення

По-шосте, навіть якщо вважати 4 випадки високої води в березні раннім, а 7 випадків в червні тривалим повинню, то залишається ще 13 випадків, які логічно вважати паводками, пов'язаними з погодними аномаліями.

Розглянемо стоки останніх 9 років, з 2011 по 2019, на тлі норми річного стоку попереднього 30-річчя (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Річні стоки Дунаю (км³) після 2010 р.

Роки	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Стік	168,3	169,7	227,0	227,3	197,8	208,4	167,9	211,8	181,5	
Відхилення від норми, %	-18	-18	+10	+10	-4	+1	-18	+8	-7	

Запозичуючи з попереднього 30-річчя межу між маловодними і нормальними по стоку Дунаю роками, $170,4 \text{ км}^3$, можна бачити, що 2011, 2012 та 2017 рр. слід вважати маловодними, а решта 6 років нормальними, в тому числі 2019 р. зі стоком $184,5 \text{ км}^3$.

Середньорічне значення стоку за ці 9 років дорівнює $195,0 \text{ км}^3$, що на 5,2 % менше діючої норми. Останні 9 років не змінюють тенденцію до збільшення стоку Дунаю, добре помітну в попередні 30 років (рисунки 4.12), але сильно зменшують її величину.

Що стосується місячних стоків Дунаю, то із їхньої загальної кількості 108 за 2011-2019 рр. 17 по своїй величині можуть претендувати на статус повені або паводку. З них тільки 7 відбулися в місяці кліматичного паводку, що визначені за даними попередніх 30 років (3 в квітні і 4 в травні). З одного боку максимум, 5 випадків, припав на березень, і, здавалося б, час повені стало відбуватися раніше. З іншого боку, 3 випадки, в тому числі і в 2019 р паводок розтягувався на червень.

Ось інші випадки з високою водою, які звертають на себе увагу:

- в 2011 р. відзначений тільки один випадок високої води ($28,1 \text{ км}^3$), і це був січневий паводок;

- в 2014 р. також відзначений тільки один місяць, червень, з високою водою ($25,3 \text{ км}^3$) і його в порівнянні зі стоком травня теж слід вважати паводком;

- в 2015 р. повінь почалося рано, в лютому ($23,8 \text{ км}^3$), тривало три місяці, мало максимум в березні ($26,7 \text{ км}^3$) і закінчилося теж рано, в квітні;

- в 2019 р. повінь почалося в травні ($21,90 \text{ км}^3$), а пік припав на червень ($31,10 \text{ км}^3$).

Серед меженних стоків, а їх було 18, на три кліматично обумовлених місяця, вересень, жовтень, листопад припала 11 ($6 + 4 + 1$, відповідно). З 7 решта випадків 3 припали на вересень, 2 на січень і жодного на березень-червень.

5 ОСОБЛИВОСТІ ЦИРКУЛЯЦІЇ ВОД ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ І ЇЇ ВПЛИВ НА ЕКОЛОГІЧНУ СТРУКТУРУ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Апвелінгова циркуляція північно-західної частини Чорного моря

Детально про механізм виникнення апвелінгів (підняття глибинних вод) і їх вплив на екологічний статус морського середовища ПнЗЧМ було сказано [1] У цьому розділі представлені результати і аналіз спостережень за апвелінгу з червня по серпень 2019 року.

Реєстрація апвелінгів виконувалася візуально по картах розподілу ТПО, отриманими із супутників NOAA. Відзначалися випадки при падінні температури на 3 і більше °C. Всього було оброблено 440 зображень.

В цілому «апвелінгова» інтенсивність в 2019 році була вище, ніж за попередні два роки. Результати спостережень представлені на рисунку.

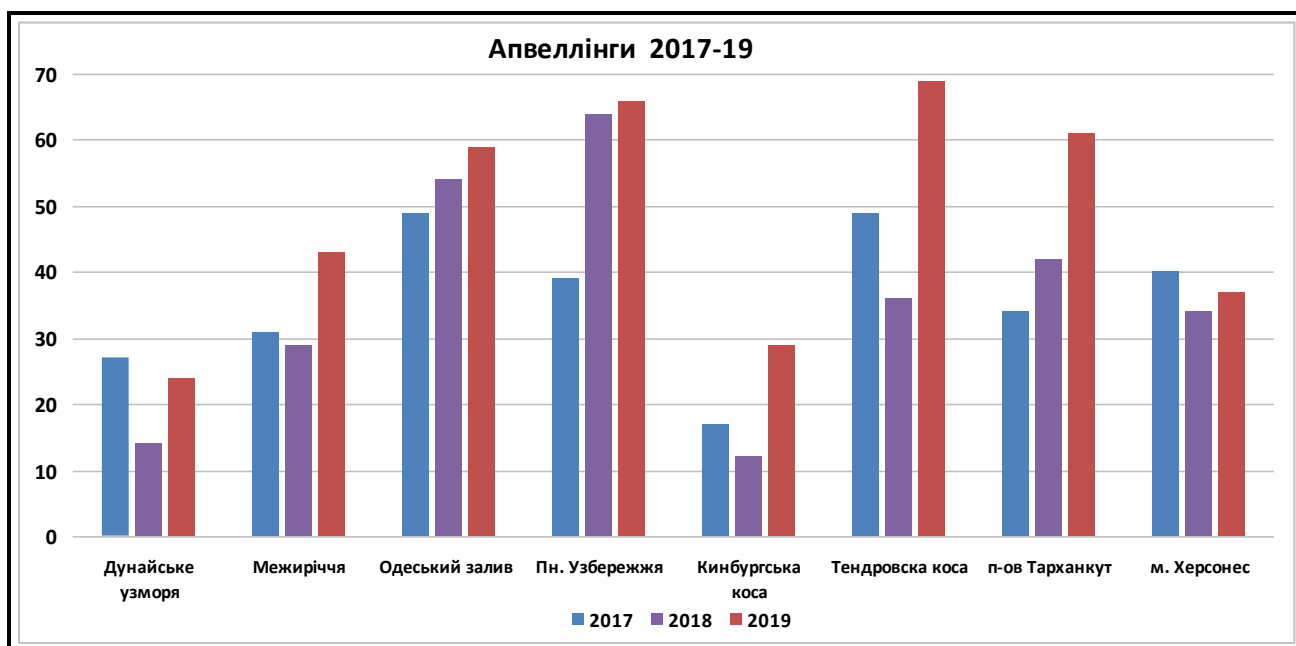


Рисунок 5.1 – Кількість апвелінгів у період з 2017 по 2019 роки

Так само як і в попередні роки найбільш часто апвелінгу відзначалися в районі Тендрівської коси, Північного узбережжя і Одеської затоки. Мінімальна кількість діб апвелінгів – в районі Кінбурської коси.

Оскільки прибережні апвелінгу безпосередньо залежать від швидкості, напрямки і часу дії вітру, ми наводимо літні рози вітрів за даними спостережень ГМС Одеса-порт (рисунок). Ці спостереження можуть цілком характеризувати вітрову обстановку акваторій прилеглих до Одеського затоки. Берегова лінія Одеської затоки розташовується таким чином, що при певних умовах вітру практично всіх напрямків, за винятком південно-східного можуть викликати апвелінгу.

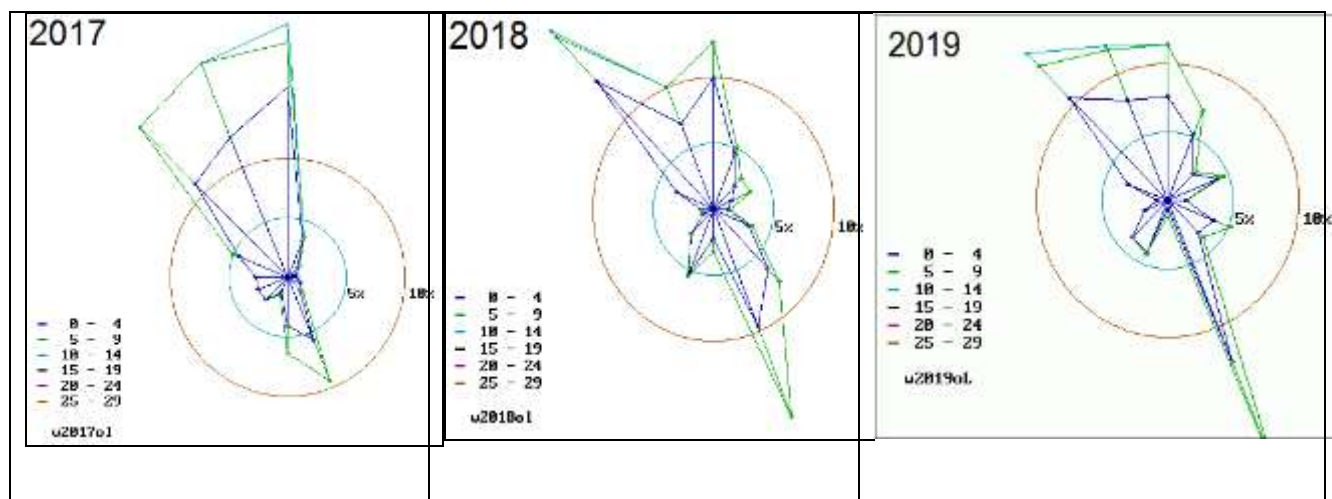


Рисунок 5.2 – Рози вітрів за літній період 2017, 2018 та 2019рр.

Відзначимо, що при посиленні південній складової в розподілі напрямку вітру тривалість періоду апвелінгів в Одеській затоці та біля північного узбережжя (порт Південний - Коблево) збільшилася.

Найбільш потужний апвелінг який захопив всю прибережну частину північного заходу спостерігався на початку серпня. Фази його розвитку представлені на рисунку.

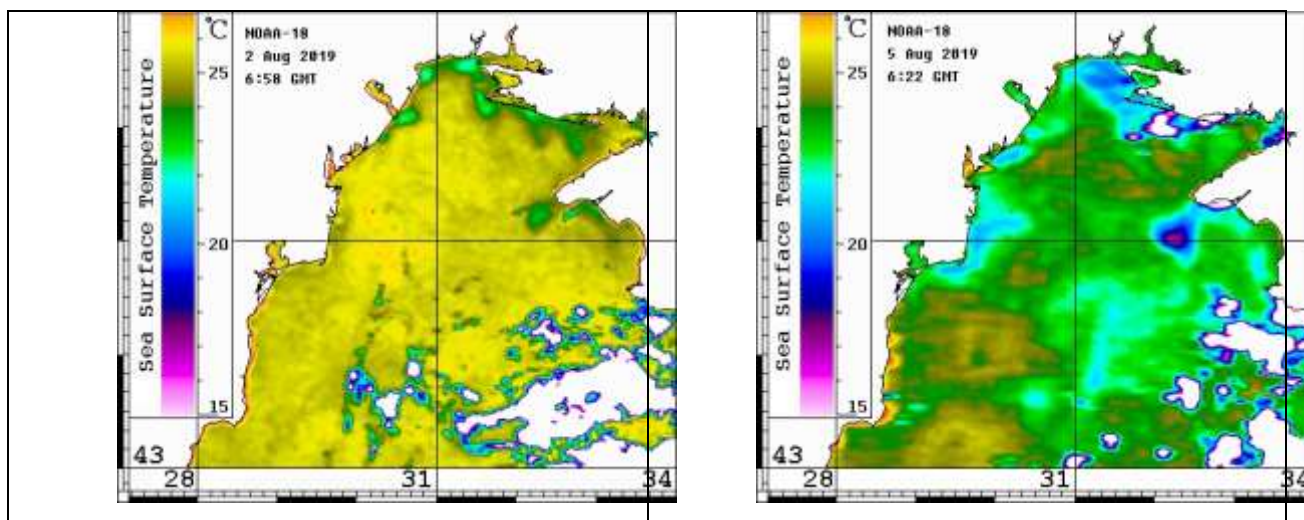


Рисунок 5.3 – Супутникове зображення температури поверхні води ПнЗЧЧМ 2-го і 5 серпня 2019 року.

2-го серпня в поле поверхневої температури виявлялися виходи на поверхню холодних вод в районах Білгород-Дністровського лиману, Фонтана і північно-східного узбережжя. (Рис.)

5-го серпня під дією вітрів північних румбів холодна вода з'явилася на мористих ділянках поблизу лиману Шагани і Дунайського морського узбережжя (рисунок).

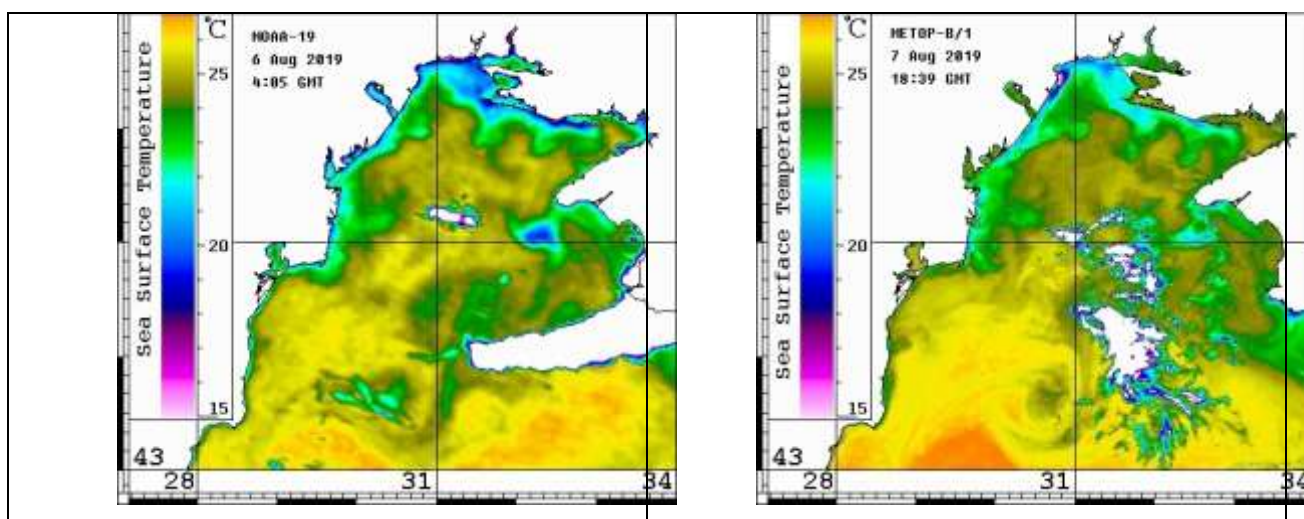


Рисунок 5.4 – Супутникове зображення температури поверхні води ПнЗЧЧМ (а) і розрахункова карта швидкості і напрямку приводного вітру (б) 6-го і 7-го серпня 2019 року.

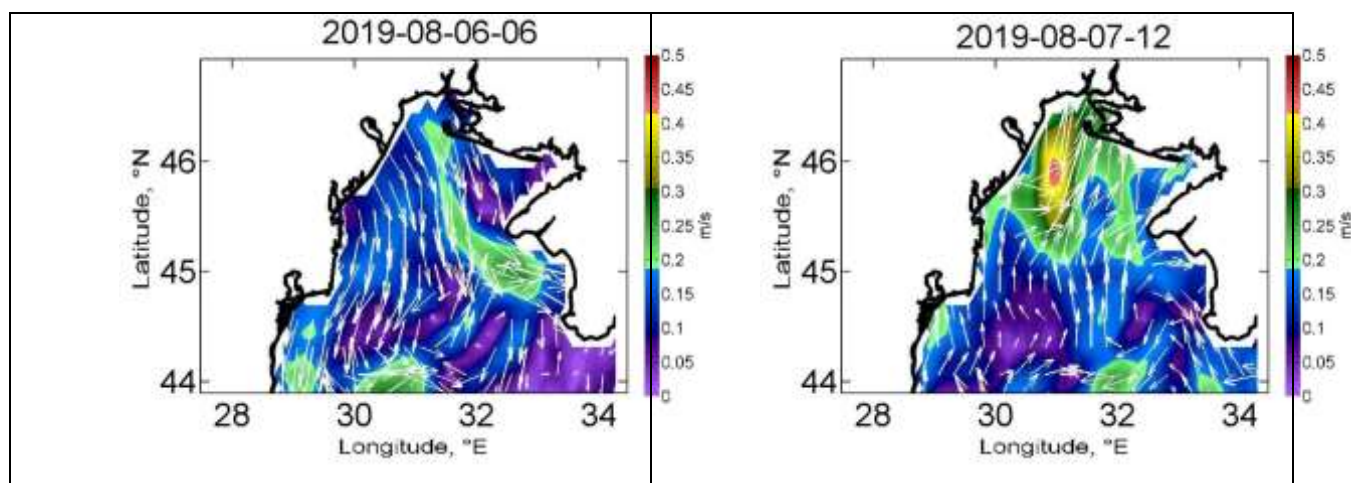


Рисунок 5.4, аркуш 2

6-го під дією зганяючі північних вітрів відбулося посилення процесів апвелінгу біля північного і північно-східного узбережжя. За супутниковими даними в районі Південного порту температура на поверхні впала до 15 °С (мінімальна температура супутникової реєстрації).

7-го вітрова обстановка змінилася на протилежну над акваторією панували вітру південних напрямків. Вони як би пригасили поверхневе прояв апвелінгу біля північного узбережжя і стимулювали вихід холодних вод біля берегів Одеси в районі Фонтану. Температура води на поверхні у Малого фонтану супутниковими даними була нижче 15 °С., що відповідало нашим прямим спостереженнями, виконаними в той же період (дивись нижче).

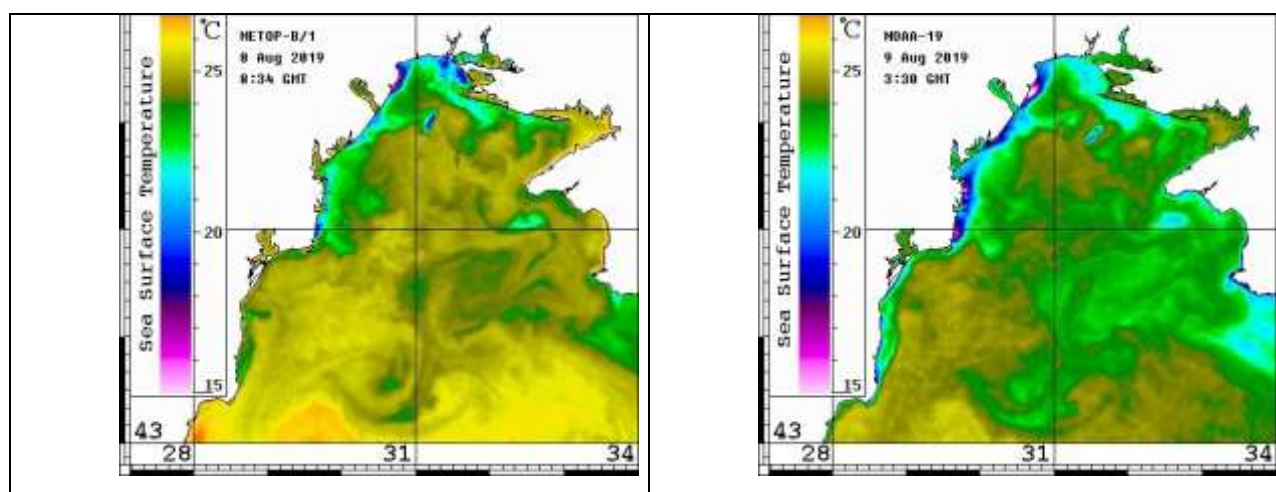


Рисунок 5.5 – Супутникове зображення температури поверхні води ПнЗЧМ (а) і розрахункова карта швидкості і напрямку приводного вітру (б) 8-го і 9-го серпня 2019 року.

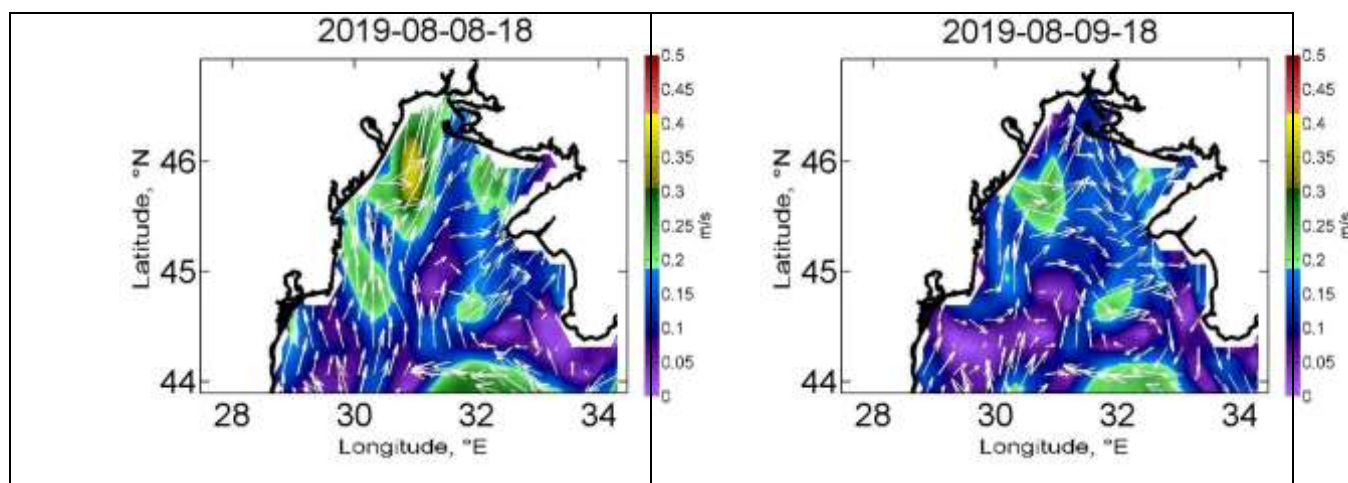


Рисунок 5.5, аркуш 2

8-го серпня збереглися вітру південних румбів. Температура в прибережних районах уздовж всього узбережжя від дельти Дунаю до східного краю Тендрівської коси знизилася в середньому на 3-4 °С.

9-го серпня вітер дещо послабився але загальна вітрова ситуація не змінилася. В поле температури поверхневого шару води з'явилися додаткові ядра більш холодних вод на акваторіях дельти Дунаю і найсильніший поблизу Сухого лиману.

Незважаючи на те, що південний вітер сприяв перенесенню поверхневих тепліших вод з відкритої частини моря до північного узбережжя (ріс від 7 серпня) до 9-му загальний температурний фон акваторії вище 44° північної широти знизився (рис. Від 9) під вплив хододних «апвелінгових» вод і виникла антициклонної циркуляції.

У липні-серпні нами проводилися щоденні спостереження за температурою морської води в районі мису Малий фонтан. Спостереження виконувалися з кінця молу на відстані близько 20 метрів від берега в поверхневому і придонному шарі води. Глибина в місці вимірювання становила 2.5 метра. Результати показані на рис.

За час спостережень зареєстровано два випадки апвелінгу з 27 липня по 31 липня і з 2 серпня по 12 серпня.

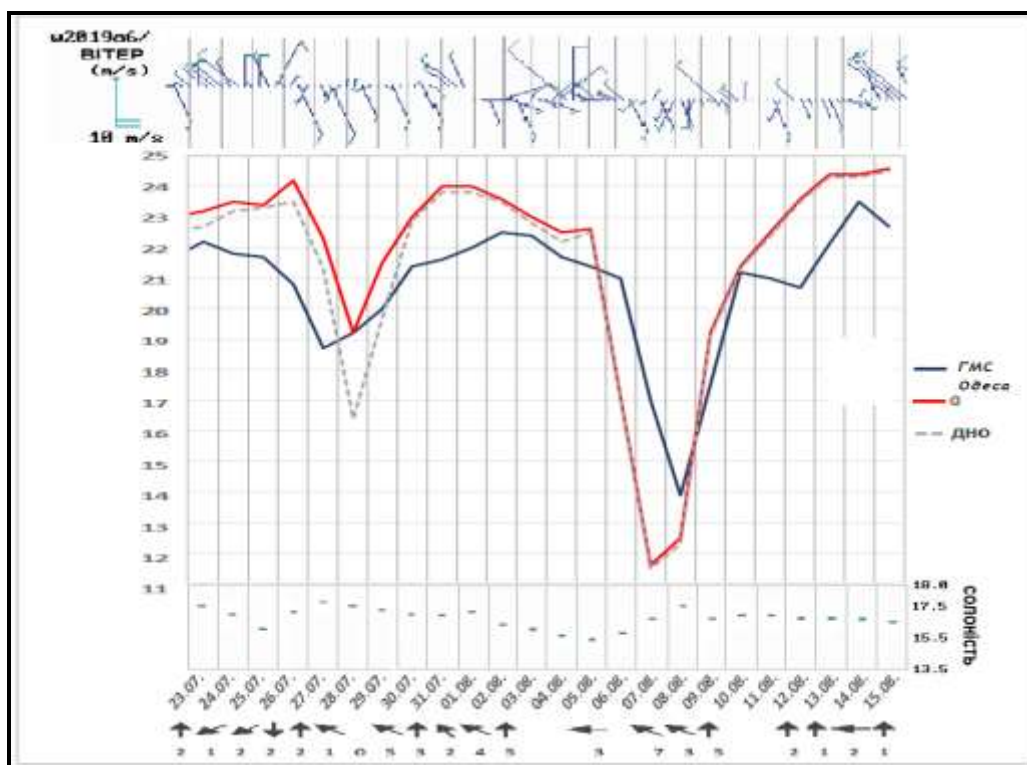


Рисунок 5.6 – Час спостережень, солоність та вітровий стан в період апвелінгів 2019 році

Найбільш різке падіння температури води було відзначено з 6 - 7 серпня, коли температура поверхневого шару знизилася на 9.6 °C з 22.6 до 13.0°C, а на дні на 11°C з 22.5 до 11.5°C 8 серпня за рахунок хвильового перемішування температура поверхні і придонна вирівнялися. Відзначимо так само природне підвищення солоності в період виходу на поверхню більш солоних глибинних вод.

У верхній частині рисунка приведена діаграма швидкості і напрямку вітру за даними термінових спостережень на ГМС Одеса порт. У нижній частині показані результати вимірювання вітру ручним анемометром виконані під час відбору проб на Малому Фонтані. Зрозуміло, що порівнювати результати цих двох спостережень некоректно, але відзначимо хороший якісний збіг.

Очевидно, що в нашому випадку апвелінгу в обох пунктах спостерігалися при південних вітрах.

Берегова лінія в точках вимірювання має різну орієнтацію щодо частин світу. Для ГМС Одеса порт південний вітер є змінним, у м. Малий Фонтан він спрямований уздовж берегової лінії, що підтверджує припущення про те, що при слабких вітрах в районі Малиго Фонтану механізм апвелінгу запускається по екмановському типу.

За даними гідобіологіческі дослідження, в результаті дії найбільш потужного апвелінгу, в пробах морської води зазначалося максимальне число видів морського генезису від 19 видів (8.08), до 26 (9.08). В цей же період відзначали найбільше біорізноманіття за весь теплий період року - від 28 до 35 видів в пробах. Частина видів приурочені виключно до відкритих водах північного заходу Чорного моря і рідко, або вкрай рідко відзначаються у прибережжя.

6 ГІДРОФІЗИЧНІ УМОВИ В ЧОРНОМУ МОРІ В ЛИПНІ-СЕРПНІ 2019 Р. ЗА ДАНИМИ ЕКСПЕДИЦИОННИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Основними цілями експедиційних робіт були:

1) Відпрацювання методології морського екологічного моніторингу відповідно до європейських норм і стандартів;

2) Оцінка стану морської екосистеми північно-західного шельфу і глибоководної частини Чорного моря в сучасних умовах антропогенного впливу і кліматичних змін.

- виходячи з поставлених цілей, в ході експедиційних досліджень, зокрема, вирішувалися такі наукові завдання: проведення моніторингових досліджень по фізичних, хімічних і біологічних індикаторів стану морського середовища відповідно до MSFD і WFD;

- оцінка інтенсивності попередньої зимової вертикальної конвекції і характеристик холодного проміжного шару (ХПШ);

- оцінка проникнення шельфових вод в область холодного проміжного шару;

- оцінка забрудненості компонентів екосистеми, стану морських біоценозів з визначенням наявності і ролі місцевих видів, тестування нових для України методик хіміко-біологічного моніторингу

- поповнення бази даних екологічного моніторингу.

6.1 Спостереження в області Північно-західного шельфу і континентального схилу Чорного моря (розріз №1)

На рисунку 6.1 представлена схема розташування виконаних станцій і маршрут рейсового переходу. Всі станції представлених розрізів були виконані

в період з 28 липня по 03 серпень 2019 року. Станції розрізу №1 були проведені в період з 29 по 31 липня.

Для ідентифікації поверхневих структур, які перетинали виконані розрізи, на рисунку 2 представлено поєднання виконаних станцій з картинами деяких океанографічних і біологічних поверхневих розподілів. Частина районів, що перетинаються епізодично перебувала в областях суцільного хмарного покриву і не може бути ідентифікована за структурами поверхневих полів (зокрема на розрізі №3).

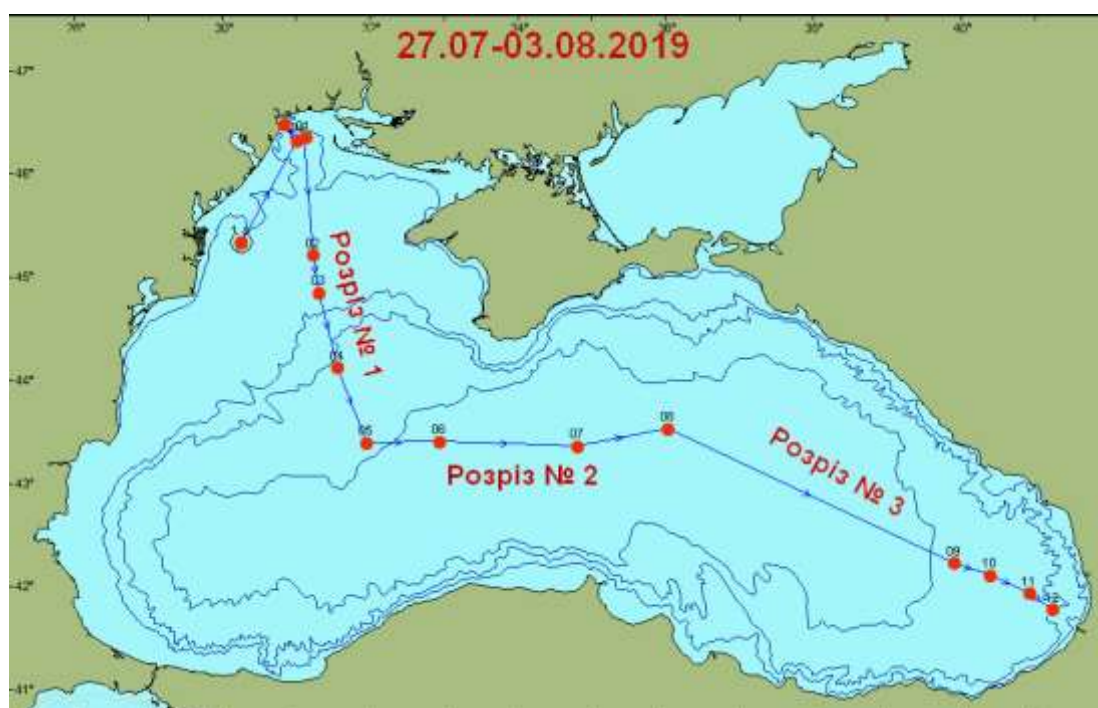
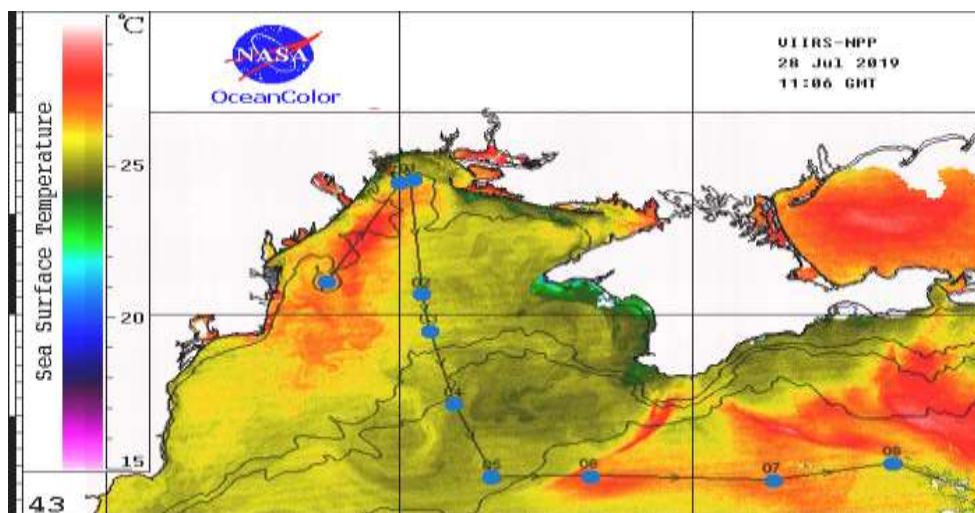
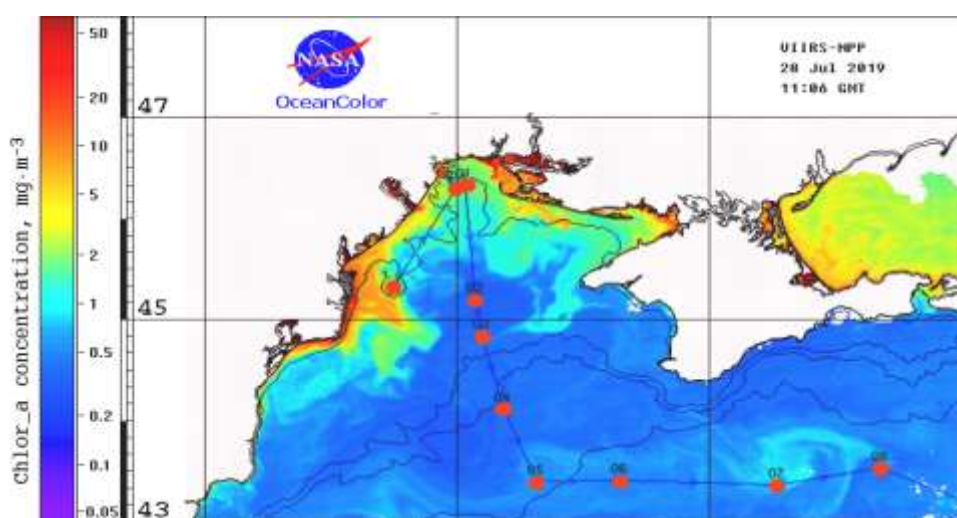


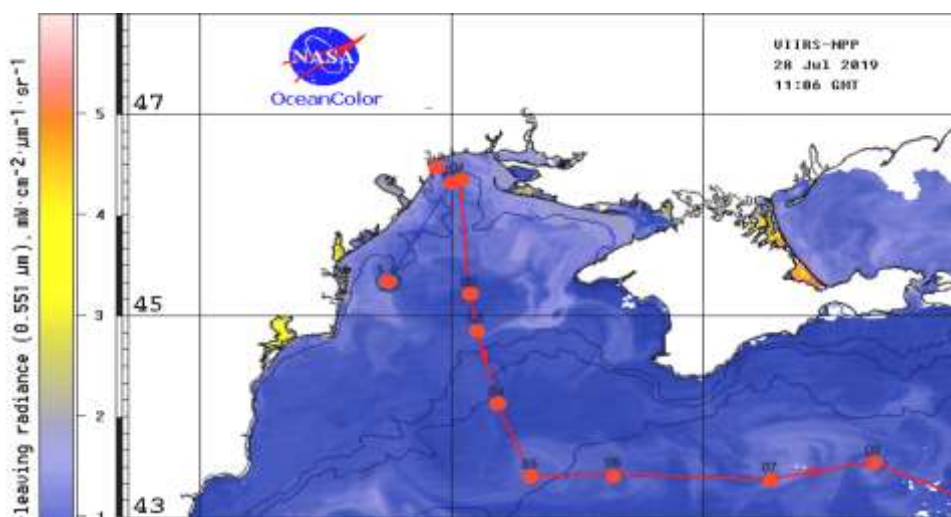
Рисунок 6.1 – Схема розташування екологічних станцій



a



б



в

Рисунок 6.2 – Положення розрізів, накладених на супутникові карти поверхневих розподілів від 28.07.2017 р.: а) температури, б) хлорофілу - а і в) випромінювання водної поверхні.

Розріз №1 в своїй серединній частині (станції № 2 і 3) перетинав шельфову зону антициклонічної завихореності, що розташовувалася в південній частині Північно-західного шельфу (ПЗШ) в інтервалі глибин 50-100 м (рисунок 6.2, (б), (в)). Середній прогин ізотерм сезонного термокліна в ядрі антициклонічної зони за даними вертикального розрізу склав близько 8 метрів (рисунок 6.3). Південна частина розрізу (ст. №4 та №5) розташовувалася в тилівій частині масштабного Севастопольського вихору з центром у від 20 до 30 милях на північний захід від станції № 4 (рисунок 2).

На рисунку від 6.3 до 6.7 представлені вертикальні розподіли температури, солоності, умовної щільності морської води, розчиненого кисню і водневого показника на розрізі №1. Область антициклонічної завихореності добре проявляється на розподілах густини (рисунок 6.5), кисню (рисунок 6.6) і рН (рисунок 6.7), і зовсім не виражена в розподілі солоності води (рисунок 6.4).

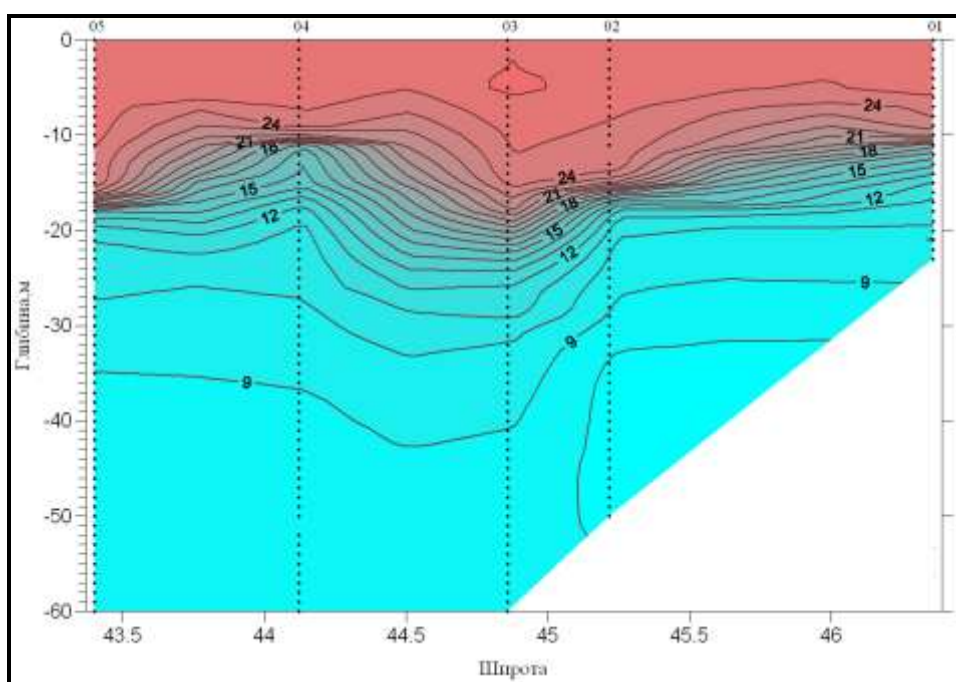


Рисунок 6.3 – Розподіл температури води на вертикальному розрізі через ПЗШ і прилеглу ділянку континентального схилу Чорного моря (розріз №1).

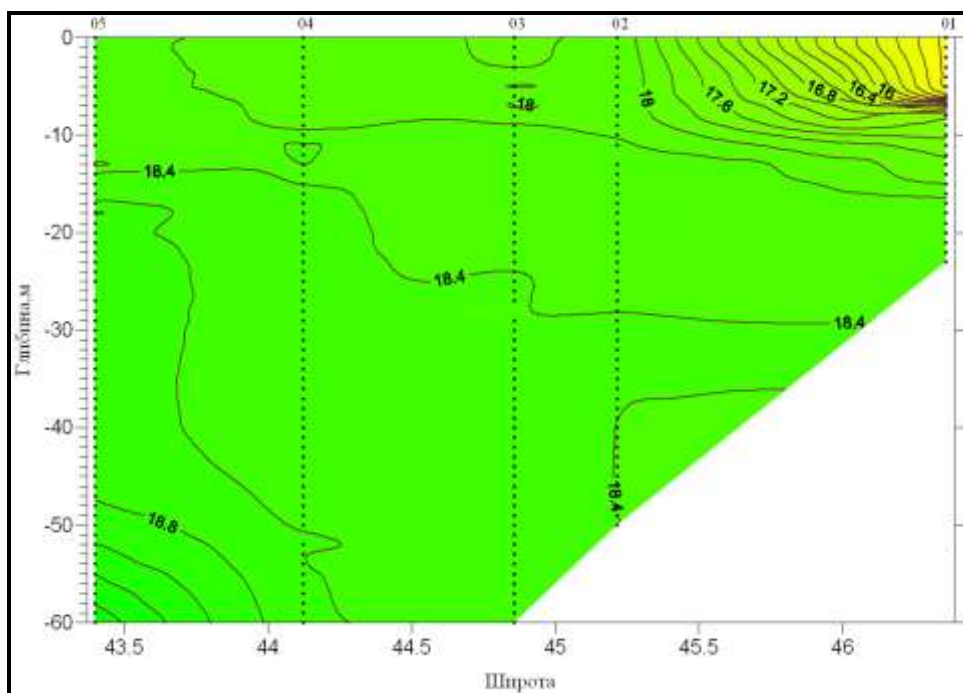


Рисунок 6.4 – Розподіл солоності води на вертикальному розрізі через ПЗШ і прилеглу ділянку континентального схилу Чорного моря.

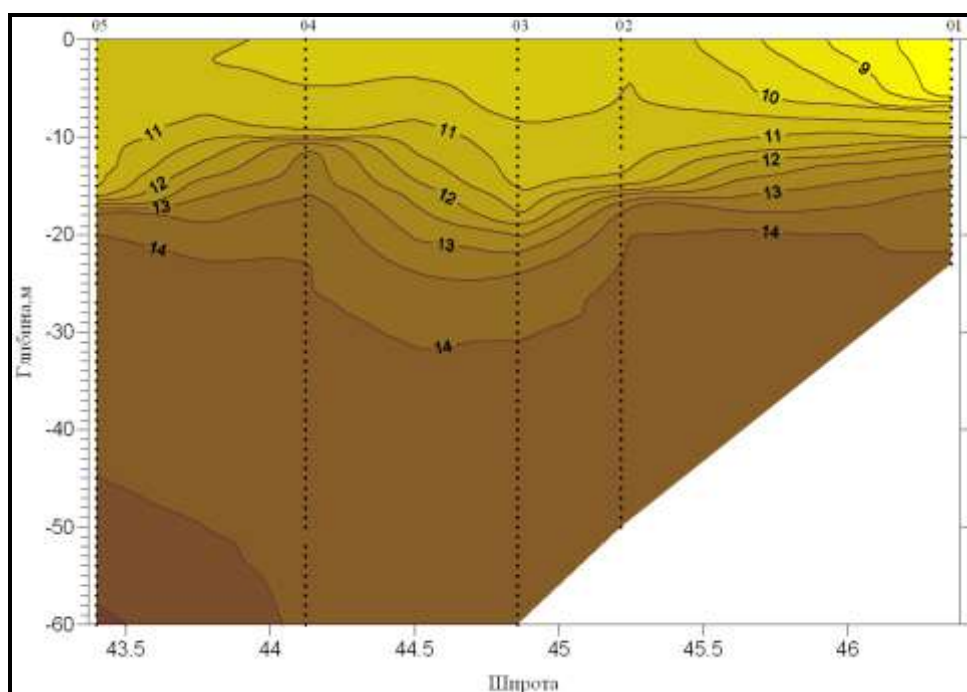


Рисунок 6.5 – Розподіл умовної щільності води на вертикальному розрізі через ПЗШ і прилеглу ділянку континентального схилу Чорного моря.

Вертикальний розподіл розчиненого кисню проявляє наявність вираженого ядра максимального вмісту ($>340 \text{ } \mu\text{M}/\text{M}^3$) в нижній частині сезонного термокліна (на глибинах від 17 до 25 м) в області вище зазначеної антициклонічної зони. Більш інтенсивний під поверхневий максимум кисню ($>440 \text{ } \mu\text{M}/\text{M}^3$) спостерігався в найпівденнішій частини розрізу (ст. №5) в невеликому локальному антициклоні відкритого моря, по всій видимості супутнику Севастопольського вихору.

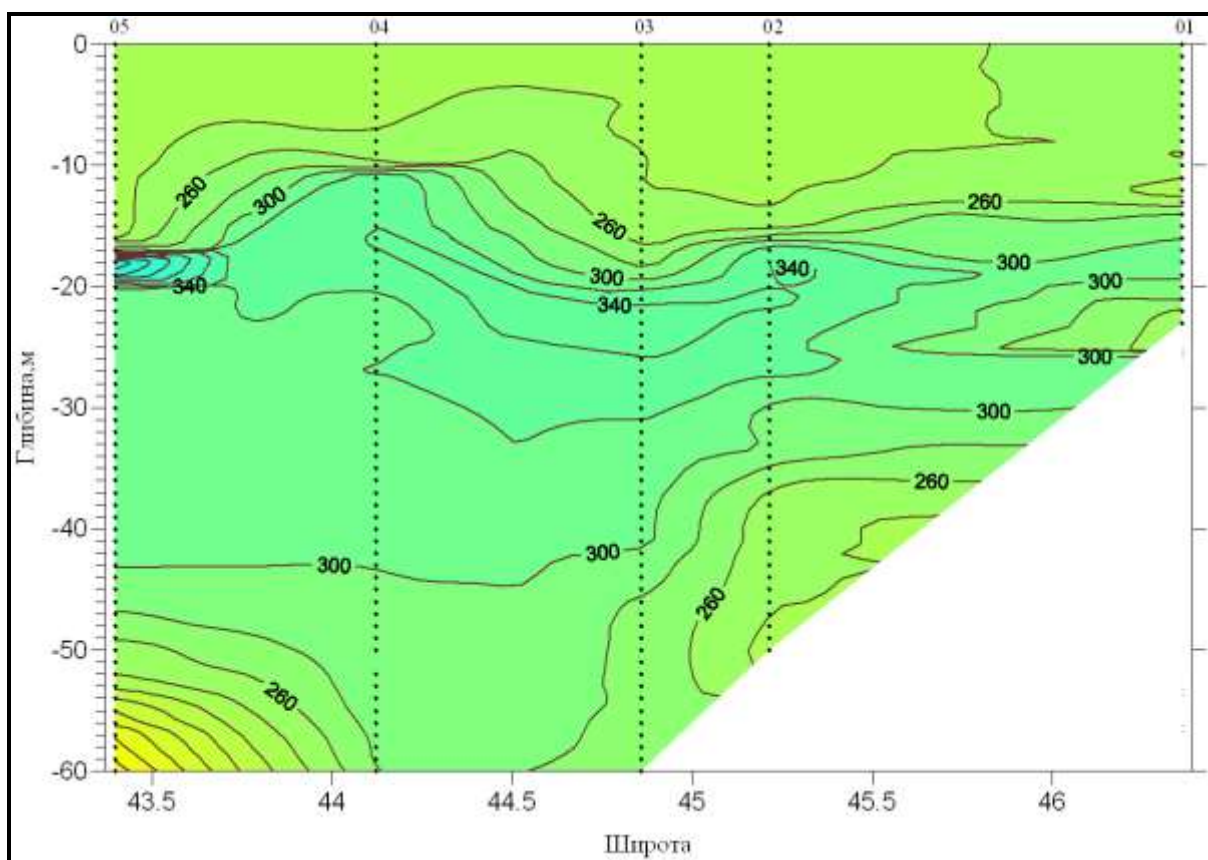


Рисунок 6.6 – Розподіл розчиненого у воді кисню (у $\mu\text{M}/\text{M}^3$) на вертикальному розрізі через ПЗШ і прилеглій ділянці континентального схилу Чорного моря.

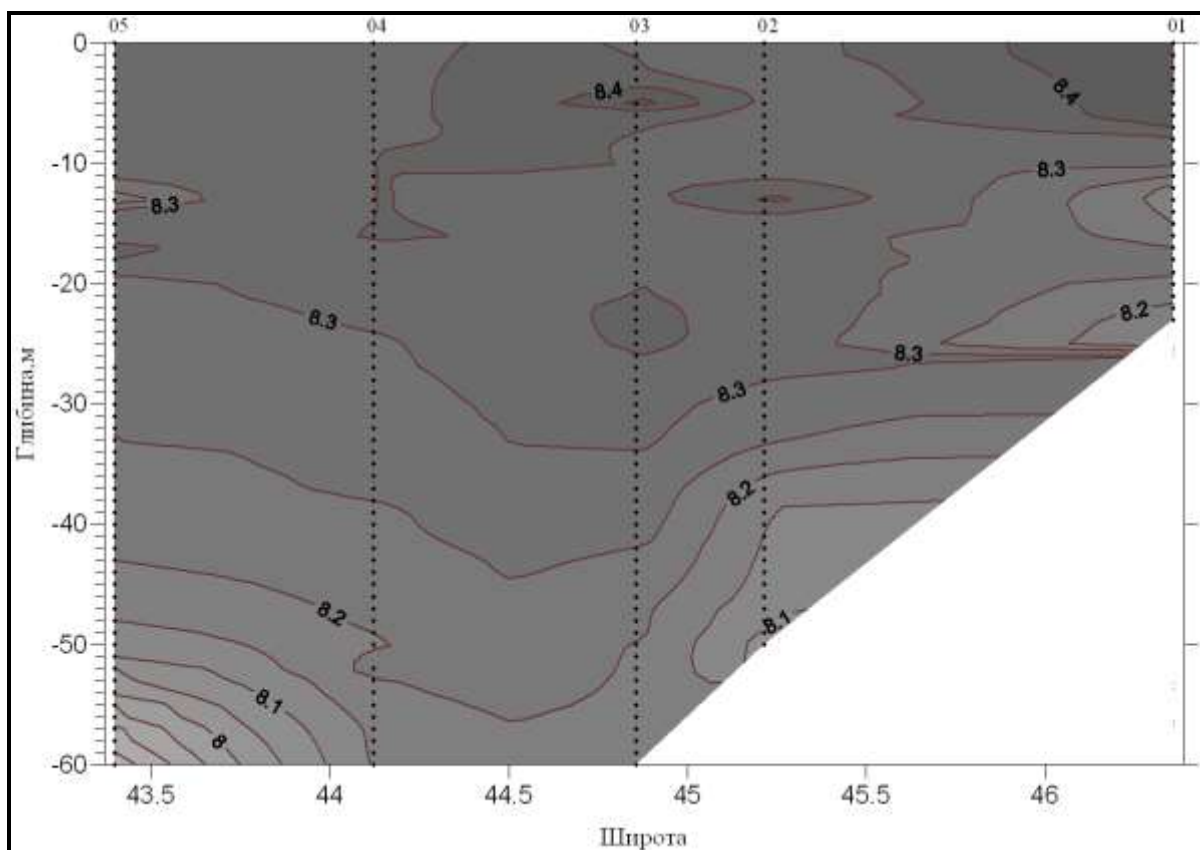


Рисунок 6.7 – Розподіл водневого показника (рН, умов. од.) на вертикальному розрізі через ПЗШ і прилеглу ділянку континентального схилу Чорного моря.

6.2 Спостереження в області відкритого моря (розріз №2)

Розподіл океанографічних характеристик в серединній частині моря представлено вертикальними розрізами температури, солоності, умовної щільності і розчиненого кисню (рисунок 6.8 (г)).

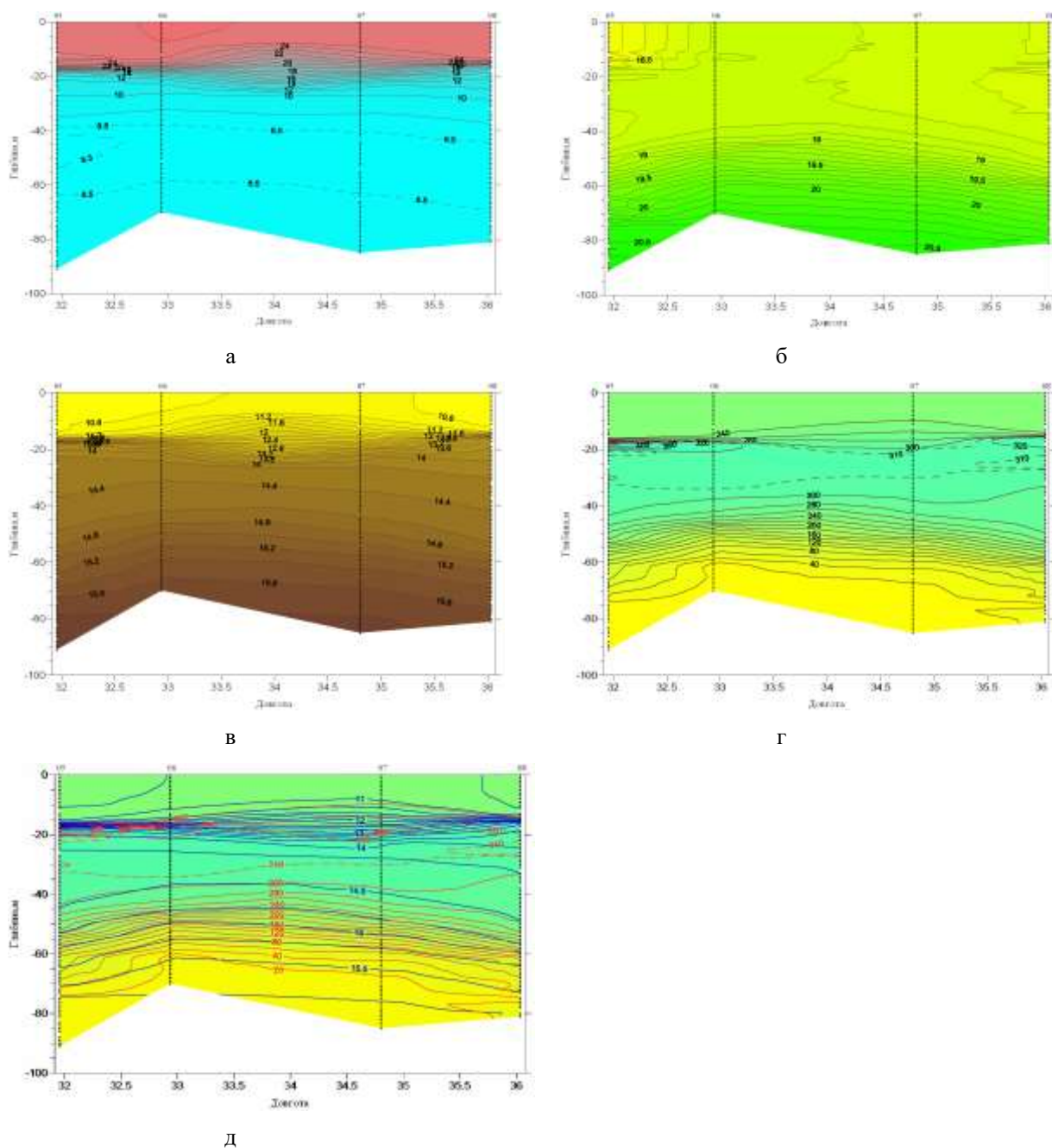


Рисунок 6.8 – Розподіл а) температури, б) солоності, в) щільності води, г) розчиненого кисню і д) розчиненого кисню поєднаного з розподілом умовної щільності води на вертикальному розрізі через середню частину відкритого моря

Термічний стан вод поверхневого від 70 до 90 метрового шару не проявляло, певних значних просторових змін в структурі вод. Гострий сезонний термоклін розташовувався в діапазоні глибин від 15 до 20 метрів. Деяке його

розшарування (ослаблення вертикальних градієнтів) в серединній частині розрізу, хоча і частково підтверджується даними станції №7,

Розподіл солоності води у верхньому від 40 до 45 метровому шарі було квазіоднорідно майже протягом усього розрізу (від 18.6 до 18.9 ‰). В західній частині розрізу (станція №5) спостерігалось слабе зниження солоності у верхньому 15 метровому шарі до 18.3 ‰.

Нижче шару однорідних по солоності вод розташовувався основний галоклін Чорного моря. Неглибоке виконання океанографічних станцій все ж, дозволило майже повністю оконтурити його нижню межу (приблизно ізохаліна 20.4 ‰).

В цілому галоклін проявляє єдиний купол з положенням верхньої межі в західній частині розрізу на глибині 47 метрів, в східній - на 50 метрах, а в центрі він піднятий, приблизно до горизонту 37 метрів. Така тенденція відзначається на всіх ізолініях вертикальної протяжності основного галокліну.

Шар максимуму вмісту розчиненого кисню розташовувався у верхній частині холодного проміжного шару, безпосередньо під сезонним термокліном на глибині від 18 до 40 метрів. Екстремальні величини вмісту кисню становили понад 310 $\mu\text{м}/\text{м}^3$, а в крайній західній частині розрізу (кліматичний центр західного циклонічного кругообігу) - понад 400 $\mu\text{м}/\text{м}^3$, у верхній частині області максимуму.

Картина спільного розподілу умовної щільності і розчиненого кисню (рисунок 6.8 (д)) показує, що становище кисневого максимуму відповідає змінам умовної щільності морської води по вертикалі в діапазоні величин від 12 до 14.25 ум. од. Більш детально цей факт можна простежити на рисунку 6.9, де представлені сумарні діаграми відповідності концентрацій розчиненого кисню ($\mu\text{м}/\text{м}^3$) і умовної щільності морської води на океанографічних станціях відкритого моря, в періоди всіх трьох експедицій рейсів 2016, 2017 і 2019 роки (рисунок 6.9). Абсолютні максимуми процентного вмісту розчиненого кисню в липні-серпні 2019 року склали в окремих випадках величини більш 120-130% насичення. Якщо розглядати весь чотирьох річний ряд річних спостережень, то

можна відзначити поступове збільшення процентного вмісту кисню в області під поверхневого максимуму з 100% насичення в 2016 р, до 130% і більше - в 2019 г. Однак, тут слід враховувати і тимчасові рамки спостережень: рейс 2016 року було виконано в травні-червні, 2018 г. - в серпні-вересні, 2019 г. - в липні-серпні.

.

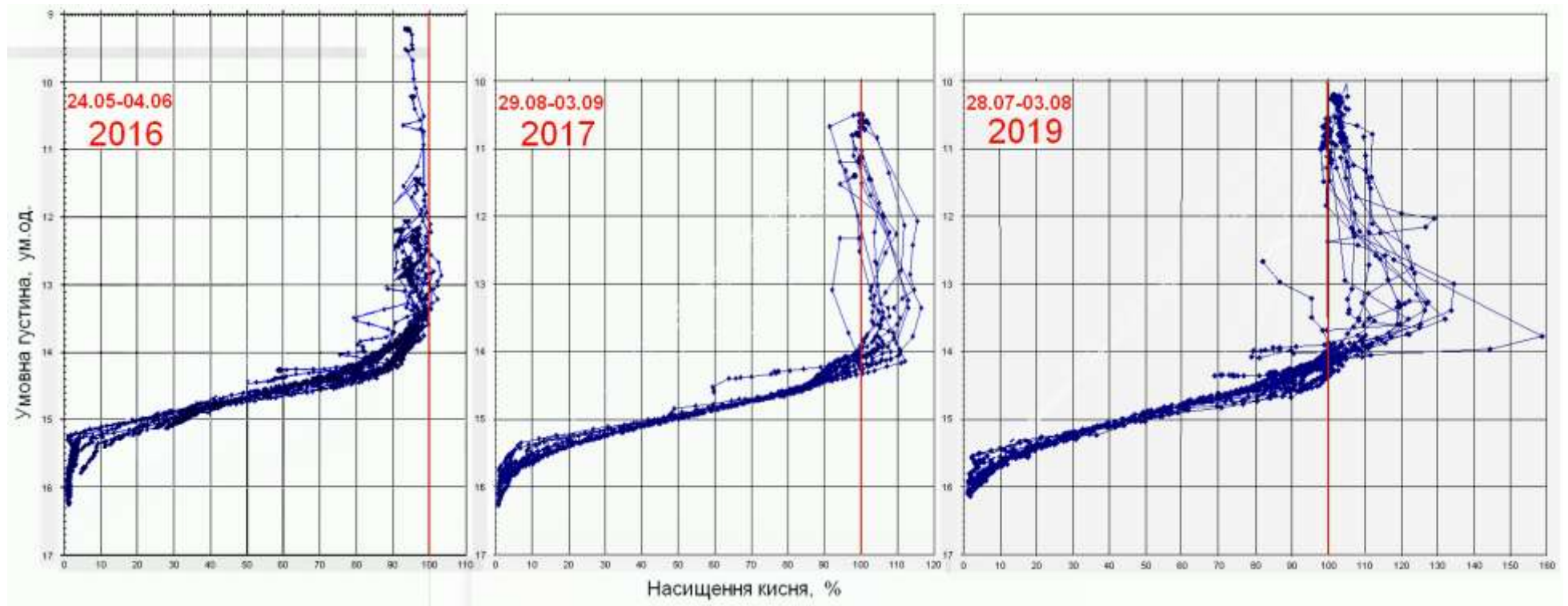
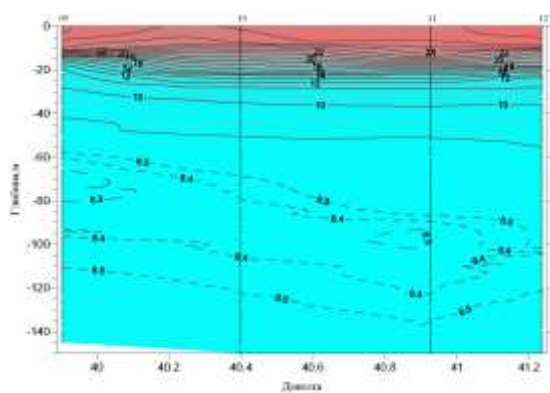


Рисунок 6.9 – Сумарні діаграми відповідності насичення розчиненого кисню (%) і умовної щільності морської води (умов. од.) на океанографічних станціях відкритого моря, в періоди експедиційних рейсів 2016 2017 і 2019 роки.

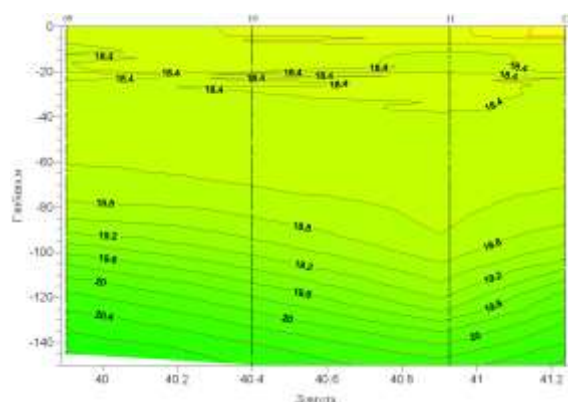
6.3 Спостереження в області Батумського вихору (розріз №3)

В цілому відзначаються незначні відмінності від термічного режиму вод приповерхневого 30-метрового шару відкритого моря - сезонний стрибок температури розташовувався на глибинах від 13 до 25 м, двошарова структура стрибка була виражена тільки на станції № 10 (рисунок 6.10). Ядро ХПШ на північній периферії розрізу розташовувалося на глибині 70 м і опускалося до 100 м в центрі зони Батумський антициклонічною завихореності.

Щодо розпріснення води (солоність менше 18.4 ‰) спостерігались в верхньому 30-метровому шарі (рисунок 6.10 (б)). Верхня межа основного галокліна зменшувалась від 80 метрів на північній периферії до 100 метрів в зоні антициклонічної завихореності (станція № 11), а нижня, відповідно, опускалася з 125 до 150 метрів.



а



б

Рисунок 6.10 – Розподіл а) температури і б) солоності води на вертикальному розрізі №3 через область Батумської антициклонічної завихореності.

7 ЛЬОДОВІ УМОВИ В ПІВНІЧНО-ЗАХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ОСТАННІ РОКИ

Основними факторами, що визначають льодові умови Чорного моря, є: географічне положення (внутріконтинентальне, в південній частині помірного кліматичного пояса), характер і інтенсивність зимових атмосферних процесів, відносно низька солоність води, орографія берегів та мілководність ПЗШ.

Зими на Чорному морі прийнято поділяти, відповідно до класифікації [4, 5], на три типи: м'які - сума негативних середньодобових температур до -200°C помірні - в межах від -200°C до -400°C і суворі (від -400°C)

По даних спостережень (1925-2012 рр.) на льодових пунктах, в середньому перша поява льоду в ПЗЧ спостерігається в опріснених Дністровському і Дніпро-Бузькому лиманах в першій-другій декадах грудня. В кінці грудня відзначається поява льоду в районі Очакова і в глибині Каркінітської затоки (Хорли, Sterегущє). На західному узбережжі (Приморське), в Одеській затоці та на півдні Каркінітської затоки (Чорноморське) лід місцевого походження або той, що приноситься, з'являється приблизно в середині січня. Таблиця 7.1.

Таблиця 7.1 – Показники льодового режиму північно-західній частині Чорного за ступенем суворості зим та весь період спостережень (1), в суворі (2), помірні (3) і м'які (4) зими(1925-2012 рр.)

Пункт	Перше льодоутворення				Остаточне очищення			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Приморське	16.01	26.12	18.01	18.01	17.02	23.03	21.02	04.02
Одеса (затока)	13.01	29.12	14.01	21.01	25.02	19.03	23.02	15.02
Очаків (море)	25.12	14.12	19.12	01.01	08.03	23.03	13.03	26.02
Хорли	19.12	03.12	11.12	26.12	03.03	25.03	08.03	22.02
Стерегущє	22.12	09.12	17.12	29.12	28.02	23.03	03.03	21.02
Чорноморське (бухта)	14.01	02.01	13.01	29.01	20.02	07.03	18.02	10.02
Євпаторія	16.01	14.01	18.01	23.01	14.02	25.02	11.02	02.02
Білгород-Дністровський	07.12	30.11	04.12	11.12	11.03	30.03	17.03	04.03

В цілому, льодовий сезон в ПЗЧ характеризується значною нестійкістю, можливо кількаразове явище і зникнення льоду. Кількість очищення за сезон становить в середньому 2-4 рази, іноді доходить до 10 випадків [6]. Через це число днів з льодом на всіх пунктах узбережжя завжди менше, ніж тривалість льодового сезону.

На узбережжі поблизу відкритого моря (Євпаторія, Чорноморське, Приморське і Одеса) тривалість льодового сезону в м'якій зими складає 10-25 днів, з яких лід спостерігається тільки протягом 5-12 діб. У суворій зими цей показник зростає до 42-88 днів (число днів, коли спостерігається лід, змінюється в межах 24-71 діб).

Від типу зими, в основному, залежить тривалість льодового сезону, товщина льоду, а також межа поширення льоду в південному і західному напрямку.

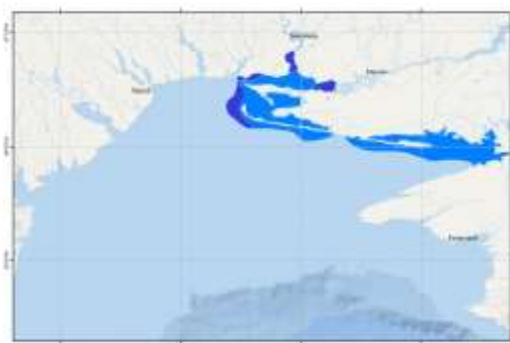
У м'якій зими, як правило, спостерігаються первинні форми не перешкоджає судноплавству. Льодовитість північно-західній частині моря в такі зими лежить в діапазоні 0-4000 км². На узбережжі між Одесою і Очаковом на кілька днів може з'явитися припай, товщина якого не перевищує 10 см [7]. У закритих районах (бухтах і затоках) припай утримується понад тривалий час і товщина його більше. Число днів з льодом в м'якій зими біля берегів відкритого моря незначно. У аномально м'якій зими (1965-1966, 1974-1975, 1980-1981, 1989-1990, 2000-2001 2006-2007 рр.2018-2019). Лід біля відкритого узбережжя повністю був відсутній.

В помірній зими в грудні з'являються первинні форми льоду, а в січні-лютому переважає плавучий крупно і дрібно-битий білий, сіро-білий лід густотою 3-8 балів. Плавучий лід може поширюватися досить далеко (40-50 миль від берега) [5]. Припай в лиманах тримається 1-4 місяці, і його товщина може досягати 45 см. На підходах до Одеси і Очакова припай спостерігається не тривалий час (менше двох декад), а товщина льоду не перевищує 20-30 см.

У суворій зими найбільш складні умови відзначаються в січні і лютому. За смугою припаю (5-10 миль) уздовж узбережжя спостерігається дуже згуртований битий сірий і сіро-білий лід, а також великі льодові поля цих форм

льоду (рисунок 7.1).

грудень



а)



б)

січень



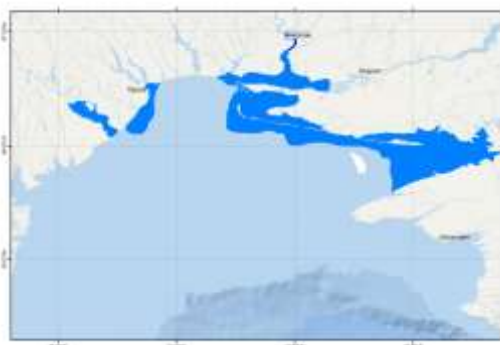
а)



б)

Рисунок 7.1 – Згуртованість плавучого льоду (а) і максимальне поширення кромки припаю (б) в балах в ПЗЧ в суворі зими.

лютий

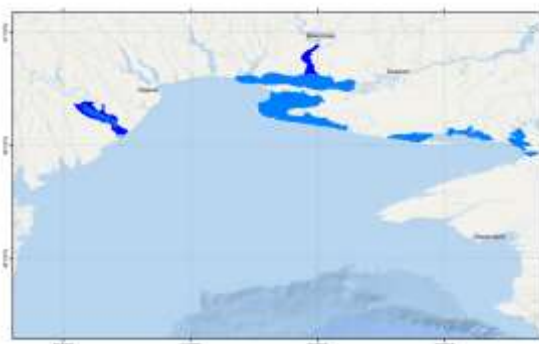


а)

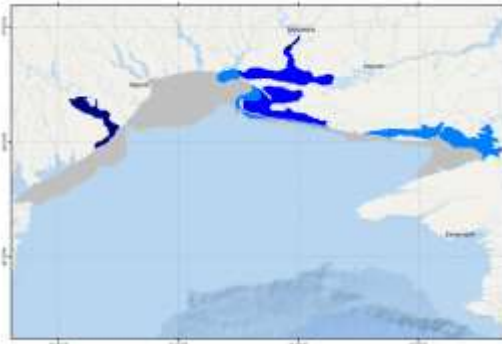


б)

березень



а)



б)

Рисунок 7.1, аркуш 2

У лиманах і Джарилгацькій затоці товщина припайного льоду досягає 50-71 см. Льодовитість північно-західній частині моря в суворі зими в січні-лютому зазвичай становить 7000-16000 км² але в екстремально суворі зими може досягати 19000 км² (лютий 1954 р). Максимальне поширення припайного льоду може перевищувати межі ПЗЧ і спостерігатися на південь від Констанци (Румунія).

Зазвичай в суворі зими в третій декаді лютого площа покриття льодом на більшій частині акваторії північно-західній частині Чорного моря зменшується. Переважає битий сірий і сіро-білий лід, можливо плавання суден без використання криголамного флоту. Разом з тим, в деякі роки збільшення льодовитості моря зазначалося ще і в першій декаді березня. У таких випадках терміни початку плавання без криголамів можуть зрушити на другу-третю

декаду березня. Середній період льодового плавання судів в районі відкритого моря поблизу Очакова становить 70 діб, з них близько місяця необхідна проводка суден.

Переважний винос льоду з Дніпро-Бузького лиману, наявність банок і мілководь біля входу в лиман також створює сприятливі умови для початку утворення підсовування, нашарувань, торосів і гряд торосів. Неодноразові розтину і замерзання підвищують торосистими у берегової лінії. У зв'язку з незначною повторюваністю екстремально суворих зим, такі льодові процеси відзначаються не часто.

Як показав аналіз, за багаторічний період по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря з 1999-2016 рр. (рисунок 7.2) максимальне значення з тимчасового ходу тривалості льодового періоду (в днях) склало - 126 днів, мінімальне - 33 днів, і можна відмітити наявність негативного тренду в багаторічних коливаннях, особливо помітного в останні роки.

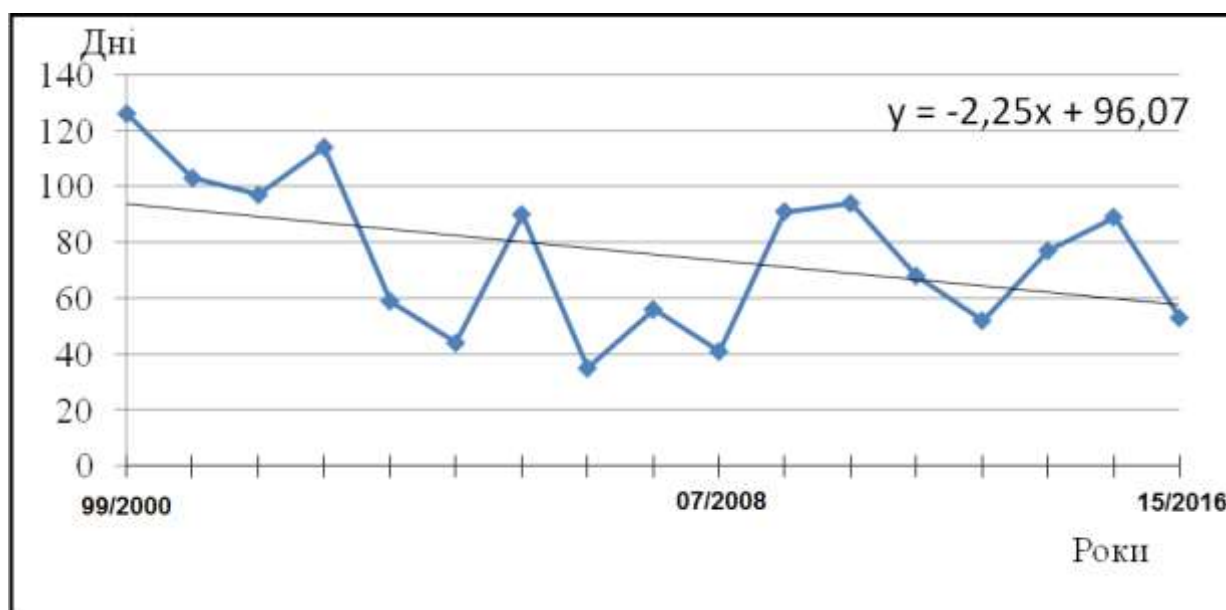


Рисунок 7.2 – Тимчасовий хід тривалості льодового періоду (в днях) по всіх станціях північно-західній частині Чорного моря за 1999-2016 роки.

Для станції Одеса також за останні роки перша поява льоду спостерігається на 1-2 декади пізніше норми, а дати очищення моря від льоду можуть бути як пізніше так і раніше норми. За останні роки на станції Одеса тривалість льодового періоду знизилася на 1,5 - 3 декади, за винятком 2002-2003 року.

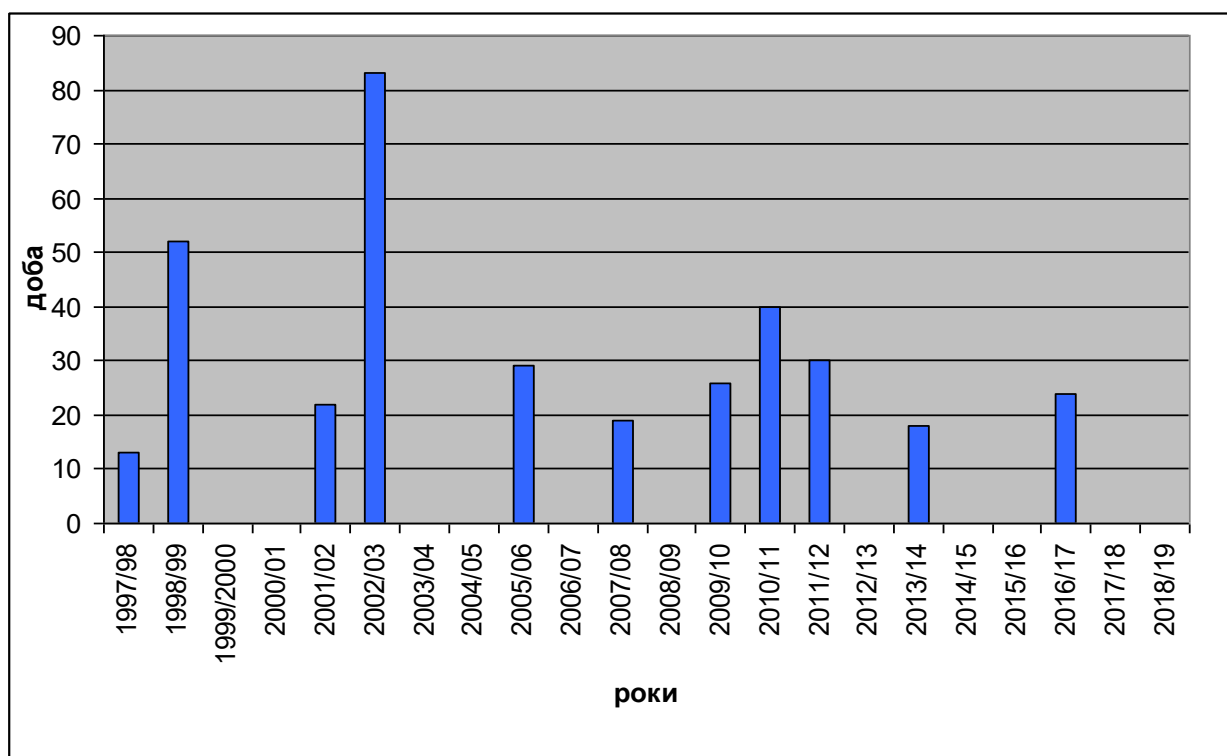


Рисунок 7.3 – Тривалість льодового періоду в Одесі

В останній раз лід біля берегів Одеси спостерігався в січні-лютому 2017 року.



Рисунок 7.4 – Льодова обстановка біля берегів Одеси 9.02.17 року (Автор Наталя Вересюк)

ВИСНОВКИ

1. Мінливість гідрометеорологічних умов в 2019 році в північно-західній частині Чорного моря в деяких аспектах значно виходили за межі кліматичних норм.

2. Середня річна температура повітря в Одесі за 2019 рік була 12,9°C. Ця величина на 2,2°C вище нині діючої норми, що дозволило 2019 року стати найтеплішим за майже два століття метеорологічних спостережень в Одесі.

3. Два з середньомісячних значень температури повітря, в червні і грудні, перевищили свої місячні норми більш ніж на 4 °C. Особливо великої аномалією виділився червень. Його середня температура, 24,8 °C, поступилася рекордною для цього місяця за все 0,2 °C, але перевершила середні температури кліматично більш теплих липня, і серпня, які теж були на градус вище норми.

4. Добових рекордів температури повітря в 2019 р зафіксовано всього чотири: два в червні і по одному в лютому і грудні. Це не багато в порівнянні, наприклад, з 12 рекордами в 2018 р або з 17 рекордами в 2012 р.

5. По річній сумі опадів 2019 р., хоча його сума опадів була відносно невелика, 372 мм (82% від норми), вклався в діапазон нормальних років. У поточному десятилітті йому поступився тільки 2013 р.

6. Середня за 2019 р температура морської води дорівнює 12,9 °C, при нормі 11,4 °C. За цим показником він поступився тільки 2010 і 2012 рр. з їх температурами 13,3 і 13,1°C, відповідно.

З особливостей 2019 р. слід виділити надзвичайно високу середню температуру морської води в червні, 23,7 °C при нормі 17,8 °C, пов'язане зі згоном зниження температури більш ніж на 9 °C в серпні і рівність середньорічних температур повітря і води, та й інша 12,9 °C, хоча за кліматичними даними перша повинна бути на 0,7 °C нижче другої.

7. Середня за 2019 р. солоність морської води, за даними ГМС Одеса-порт виявилася рівною 14,88 проміле. Це єдиний в поточному десятилітті випадок, коли, середньорічна солоність перевищили річну норму 14.01 проміле.

8. Статистика напрямків вітру за даними ГМС Одеса-порт показала, що в 2019 р. повторюваності вітрів з північної та південної складової практично однакові, 46 і 45 %, а повторюваність вітрів від західної половини горизонту помітно переважала над вітрами від східної, 36 і 29 %, відповідно.

За швидкістю, вітри в 52% випадків були $4 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і менше, а в 91% випадків $8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і менше. Збереглася тенденція зниження середньорічної швидкості віра: у 2019 році вона була $3,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ проти $5,3 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ на початку 80-х рр.

9. Стік Дунаю в 2019 році по оцінки (відсутнє грудневе значення замінено його нормою) становитиме близько 185 км^3 , що на 10% нижче норми. Особливістю річного ходу стоку було те, що в звичайному для розпалу повені травні воно тільки почалося ($21,90 \text{ км}^3$), а пік повені припав на червень ($31,10 \text{ км}^3$).

10. На початку вересня у відкритій частині моря відзначено, загальне підвищення температури води в порівнянні з середньобагаторічними. У прибережних районах від поверхні до дна спостерігалася термічна квазіоднорідність $24 - 25^\circ\text{C}$, при середньобагаторічній $21 - 22^\circ\text{C}$.

У відкритій частині моря гострий сезонний термоклін розташовувався в діапазоні глибин 15-20 метрів. Середня температура холодного проміжного шару (ХПШ) підвищилася до $8,4^\circ\text{C}$, що пов'язано з попередньою теплою зимою. Температура ядра ХПШ склала $8,2^\circ\text{C}$ на глибині 44 метри.

В зв'язи з загальним потеплінням, в прибережній зоні відзначено поступове зміщення на більш ранні терміни дата переходу температури морської води через важливу для гідробіологічних і гідрофізичних процесів позначку 10°C : в 2019 році вона була 13 квітня, що на п'ять днів раніше середньої дати поточного десятиліття і на сім попереднього.

11. На початку серпня під дією апвелінгів перебувала більша частина прибережних вод ПЗЧМ. Найбільш різке падіння температури води було відзначено з 6 - 7 серпня, коли температура поверхневого шару в районі Малеого Фонтану знизилася на $9,4^\circ\text{C}$ з $22,6$ до $13,0^\circ\text{C}$, а на дні на 11°C з $22,5$ до $11,5^\circ\text{C}$.

12. В прибережній частині моря солоність морської води коливалася в

межах 17,17 - 6,84 проміле, солоність в глибоководній частині була мало змінна та коливалась в верхньому шарі від 18,6 до 17,5 проміле, а з глибиною збільшувалась до 22,4 проміле.

13. Верхня межа редокс-зони в глибоководній частині моря розташовувалася на глибинах 65-80 м і збільшувалася у напрямку до берега.

14. Максимальна прозорість відзначена у о. Зміїний – 13 м, мінімальна в районах виходу річкових вод: на дунайському узбережжі – 1,2 м і поблизу Очакова – 1,5 м.

15. З початку століття між річна мінливості тривалості льодового періоду за усіма стаціями сумарно спостерігається значний негативний тренд. При цьому в ХХІ столітті тривалість льодового періоду зменшувалась з більшою швидкістю ніж в другій половині ХХ століття.

За останні роки на станції Одеса-порт тривалість льодового періоду знизилася на 1,5 - 3 декади.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Аналіз гідрофізичних характеристик українських вод Чорного моря та їх ролі у формуванні екологічного стану моря: том 4 звіт про НДР / УкрНЦЕМ керівник роботи В.В. Український ; викон. : Ю.М.Диханов [та ін.]. — Одеса : УкрНЦЕМ, 2018. — 60 с.
2. Океанографічний атлас Чорного та Азовського морів. — Державна установа «Держгідрографія».—Київ, 2009. — 356 с.
3. Гідрологічні та гідрохімічні показники стану північно-західного шельфу Чорного моря : довідковий посібник / І.Г. Орлова, М.Ю. Павленко, В.В. Український, Ю.І. Попов [та ін.]; відп.ред. І.Д. Лоева ; НДУ «УкрНЦЕМ». — К. : КНТ, 2008. — 616 с.
4. Крындин А.Н. Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и положения кромки льда в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Тр. ГОИН. -1964. -Вып. 76. - С. 7-79.
5. Сироткина А.И. К вопросу об оценке суровости зим на южных морях // Тр. НИИАК.- 1959. - Вып.8
6. Тютнев Я.А. О Тяжелых ледовых условиях на Черном, Азовском и Каспийском морях зимой 1971/72 гг. Тр. ГМЦ.-1971. - Вып. 119.-С.47-53.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 4. Черное море. - Л: Гидрометеиздат, 1991-428 с.