

УДК 551.46

КП 72.19.19-00.00

№ держреєстрації 0117U007149

Інв.№

**Міністерство екології та природних ресурсів України**  
НДУ «Український науковий центр екології моря»  
(УкрНЦЕМ)  
65009, м.Одеса, вул. Французький бульвар, 89;  
тел.(0482) 431262, факс (0572) 431263, e-mail: acsem@te.net.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор УкрНЦЕМ  
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.  
\_\_\_\_\_ Коморін В. М.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 року

ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ  
ОЦІНКА ГІДРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОРСЬКИХ ВОД  
УКРАЇНИ У 2017 РОЦІ.

Науковий керівник НДР  
начальник відділу  
наукових досліджень  
морського середовища

Ю.М. Диханов

2017

Рукопис закінчено 26 грудня 2017 р.

Результати роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ, протокол  
від 15 січня 2018 р. № 1

**СПИСОК АВТОРІВ**

Науковий керівник НДР, начальник ВНДМС	_____	Ю.М. Диханов (вступ; розділи 1, 2, 4, 6; висновки)
Відповідальний виконавець, завідувач сектором гідрофізичних досліджень ВНДМС	_____	Є. А. Мельник (підрозділ 6.1, 6.3; розділ 3)
Виконавці: Наук. співроб. ВНДМС, канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.	_____	Ю.І. Попов (підрозділ 6.2; розділ 5)
Наук. співроб. ВНДМС	_____	А.В. Матвєєв (підрозділ 4.1)
Наук. співроб. ВНДМС	_____	Г.О. Єрофєєв (підрозділ 4.2)
Наук. співроб. ВАД та ОМ	_____	Т. В. Сібєлева (нормоконтроль)

Технічні виконавці: Г. Г. Золотарьов, В. В. Писаренко.

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 88 с., 63 рис., 8 табл., 8 джерел

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

Об'єкт дослідження – морські води Чорного моря.

Мета НДР – дослідження сучасного стану та просторово-часової мінливості гідрологічних і гідрофізичних параметрів морської води Чорного моря и вплив їх на концентрацію і розподіл продуктивних (розподілу хлорофілу - *a*) показників морського середовища у 2017 році.

Методи дослідження – в НДР використовувалися традиційні методи аналітичного узагальнення даних та статистичного аналізу, з залученням супутникової інформації, математичного моделювання та даних експедиційних робіт, використовувалась інформація Державної гідрометеорологічної служби України та інших джерел.

У звіті наведені результати спостережень за кліматичну та частково біологічну складові екосистем морського середовища за 2017 рік, а також задіяні дані історичного масиву даних, починаючи з 1955 року. Отримана наукова інформація про стан кліматичних змін в приповерхневій атмосфері і морському середовищі, виявлена гідрофізична структура приустьєвої зони, в районах мілководного шельфу, області материкового, схилу і глибоководної частини Чорного моря.

Проаналізовані ситуації істотного впливу гідрофізичних факторів на розподіл і концентрацію гідробіологічних та гідрохімічних характеристик морського середовища. Робиться висновок, про те що у ПнЗЧМ на концентрацію і межі розповсюдження хлорофілу - *a* в значній мірі впливає гідродинамічна обстановка. Штормове перемішування може зменшити концентрації хлорофілу - *a* в п'ять разів.

Показано, що найбільший вплив апвеллінгів у літній період 2017 року були підвержені райони Одеської затоки та Кімбурзької коси. Час дії апвеллінгів склав більше 50 % від усього терміну спостережень.

## ЗМІСТ

	с.
Перелік скорочень та умовних позначок.....	<u>7</u>
Вступ.....	<u>9</u>
1 Методи дослідження.....	<u>10</u>
2 Атмосферні умови над акваторією північно-західного шельфу Чорного моря у 2017 році.....	<u>12</u>
2.1 Вітрової режим.....	<u>12</u>
2.2 Термічний режим.....	<u>17</u>
3 Просторово-часова мінливість вмісту хлорофілу - <i>a</i> в поверхневому шарі вод Чорного моря у 2017 році.....	<u>21</u>
3.1 Міжрічна мінливість концентрації хлорофілу - <i>a</i> в північно-західній частині Чорного моря.....	<u>21</u>
3.2 Сезонна мінливість концентрації хлорофілу - <i>a</i> в північно-західній частині Чорного моря.....	<u>25</u>
4 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря у 2017 році.....	<u>32</u>
4.1 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря в квітні 2017 року.....	<u>33</u>
4.2 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря в липні 2017 року.....	<u>37</u>
4.3 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря в серпні 2017 року.....	<u>40</u>
4.4 Гідрофізична ситуація на полігоні «Дунайський», в період з 07 по 11 листопада 2017 року.....	<u>51</u>
5 Гідрофізичні умови в Чорному морі в серпні-вересні 2017 року за даними супутникових і експедиційних спостережень.....	<u>55</u>
5.1 Спостереження в області континентального схилу північно-західного шельфу.....	<u>59</u>

5.2 Спостереження у центральній частині Чорного моря у вересні 2017 року.....	<u>62</u>
6 Деякі факти цвітіння фітопланктону у Чорному морі .....	<u>65</u>
6.1 Цвітіння фітопланктону Нодулярія пінонароджена.....	<u>65</u>
6.2 Цвітіння фітопланктону Кокколітофоріди .....	<u>66</u>
7 Просторово-часова мінливість величини модуля поверхневих геострофічних течій Чорного моря з 2012 по 2016 роки .....	<u>72</u>
Висновки .....	<u>78</u>
Перелік джерел посилання .....	<u>80</u>
Додаток А Карти розподілу значень концентрації хлорофілу - <i>a</i> у поверхневому шарі ПнЗЧМ за даними супутника MODIS 2017 року .....	<u>82</u>
Додаток Б Публікації за період 2017 року.....	<u>88</u>

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК**

ГМС –	гідрометеорологічна станція
ДТ –	динамічна топографія
ЕВ –	ефототрофні води
З –	західний
ЗПдЗ –	захід-південь-захід
МГІ –	Морський Гідрофізичний Інститут
НДР –	науково-дослідна робота
ПВД –	прогресивно - векторна діаграма
Пд –	південний
ПдЗ –	південно-західний
ПдС –	південно-східний
ПдПдС –	південно-південно-східний
Пн –	північ
ПнЗ –	північно-західний
ПнПнЗ –	північно-північно-західний
ПнЗШ –	північно-західний шельф
ПнЗШЧМ –	північно-західний шельф Чорного моря
ПнЗЧМ –	північно-західна частина Чорного моря
ПнС –	північно-східний
ПнПнС –	північно-північно-східний
С –	східний
СВ –	Севастопольський вихор
ТПШ –	температура поверхневого шару
УкрНЦЕМ –	Український науковий центр екології моря
ФПЗ –	Філофорне поле Зернова
ХПШ –	холодний проміжний шар
ШГТ –	швидкість геострофічних течії

ШВ – шельфові води  
ШСЗ – штучні супутників Землі



## ВСТУП

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

Актуальність роботи обумовлюється програмами Мінприроди України і спрямована на імплементацію правових актів ЄС щодо управління довкіллям. До числа першочергових завдань щодо морського довкілля входить імплементація Директив про морську стратегію та Водна Рамкова Директива.

Спостереження за гідрологічними параметрами входять у список обов'язкових спостережень для повноцінного уявлення про стан екосистеми Чорного моря. У звіті проведено дослідження просторово-часової мінливості гідрологічних і гідродинамічних процесів та їх вплив на розподіл гідробіологічних та гідрохімічних параметрів водного середовища Чорноморського басейна в загалі та особисто північно-західної (ПнЗ) його частини в 2017 році.

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

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

## 1 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В НДР використовуються традиційні методи аналітичного узагальнення та статистичного аналізу згідно даних супутникової інформації.

Відповідно вимогам NOAA для спостереження за температурою поверхні моря використовуються канали: інфрачервоний радіометр AVHRR по кольору океану, довгохвильове випромінювання водної поверхні та візуальні дані системи AERONET, які отримуємо зі сканерів супутників SeaWiFS, Aqua і Terra MODIS.

Отримані супутникові усереднені дані за 8 днів по розподілу поверхневої температури води, конвертуємо у формат «ASCII» з просторовим дозволом 4 км x 4 км.

Тижневі, місячні і сезонні цифрові дані про розподіл температури води і хлорофілу - *a* над акваторією Чорного та Азовського морів, у форматі «HDF» з дозволом 4 км x 4 км, отримані зі супутника Aqua MODIS;

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

Візуальні супутникові зображення системи AERONET:

- отримання двох знімків на добу з бази даних швидкого реагування AERONET;

- побудова картин діаграм, графіків виконувалась в прикладному пакеті «SURFER» за допомогою програм «Гидролог», EXCEL та редактор ACDSee Pro.

Обробка метеоданих виконувалась за оригінальними програмами УкрНЦЕМ.

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 Секкі.

## 2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ АТМОСФЕРНІ УМОВИ НАД АКВАТОРІЄЮ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ В 2017 РОЦІ

### 2.1 Вітровий режим атмосфери

Вітровий режим в північних і західних районах північно-західного шельфу (ПнЗШ), як правило, визначається високою повторюваністю вітрів ПнЗ і північно-східної (ПнС) чверті. В 2016 році найбільша повторюваність вітрів ПнЗ напрямку по даним гідрометеорологічної станції (ГМС) Одеса-Порт відмічалась у серпні та грудні місяцях. У сумі за рік вона склала 53 % від загальної повторюваності вітрів. У 2017 році вітри ПнЗ чверті по трьох станцій одеського регіону в портах Одеса, Чорноморськ і Южний переважали в січні, протягом усього літнього періоду з липня по серпень і, нарешті, в жовтні місяці (таблиці 2.1, 2.2, рисунки 2.1, 2.2 і 2.3). Стійкі і тривалі літні ПнЗ вітри викликали тривалі та інтенсивні згінні явища і апвелінги. Загальна повторюваність вітрів з напрямками ПнЗ сектора в 2017 році склала 59 %.

Таблиця 2.1 – Повторюваність вітру по градаціях швидкості і напрямку  
вітру ГМС Одеса-Порт, з 01.01.2017 по 02.11.2017

Напрямок румби\ Градації швидкості	Пд (південь)	ПдЗ (південно- західний)	З (захід)	ПнЗ	Пн (північ)	ПнС	С (схід)	ПдС (південно- східний)	Повторю- ваність (кількість)
від 0 до 2	54	18	77	67	257	9	31	13	526
від 2 до 4	223	43	153	111	169	26	59	37	821
від 4 до 6	165	10	34	81	159	39	51	26	565
від 6 до 8	68	1	12	50	107	8	31	3	280
від 8 до 10	12	1	13	34	40	13	22	1	136
від 10 до 12	4	0	4	13	28	9	19	1	78
від 12 до 14	1	0	1	6	13	0	2	0	23
від 14 до 16	1	0	0	1	8	0	0	0	10
від 16 до 18	1	0	0	0	2	0	0	0	3
від 18 до 20	0	0	0	0	3	0	0	0	3
<b>Сума</b>	<b>529</b>	<b>73</b>	<b>294</b>	<b>363</b>	<b>786</b>	<b>104</b>	<b>215</b>	<b>81</b>	<b>2445</b>

Основний внесок в повторюваність внесли Пн і північно-північно-західний (ПнПнЗ) вітри (31 %).

Таблиця 2.2 – Повторюваність вітру по градаціях швидкості і напрямку вітру ГМС Одесса-Порт, з 01.01.2017 по 02.11.2017

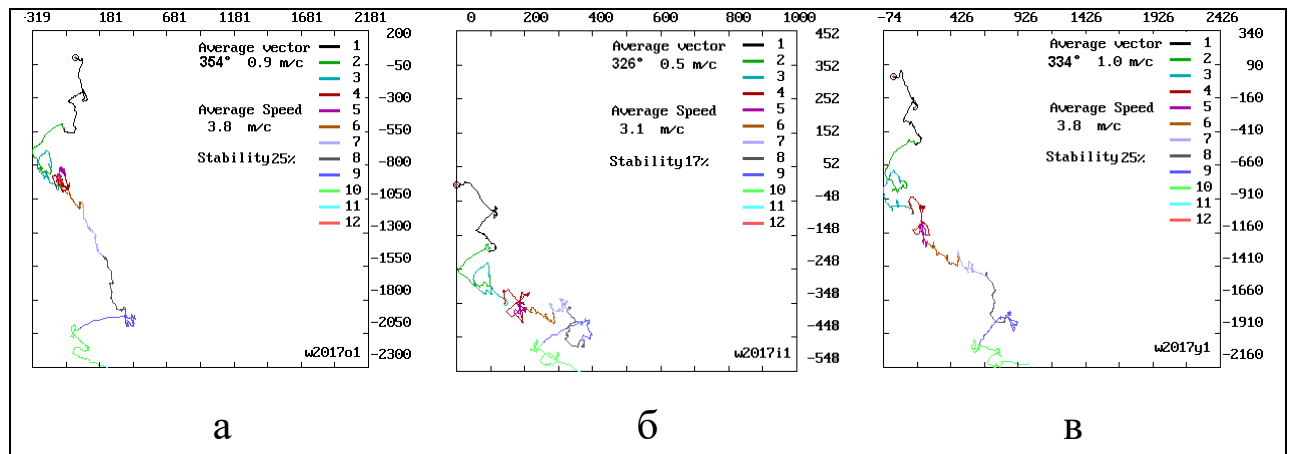
Напрямок румби\ Градації швидкості	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	Пн	ПнС	С	ПдС	Повторюваність, %
від 0 до 2	2,2	0,7	3,1	2,7	10,5	0,4	1,3	0,5	21,5
–	1,0	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0	–
від 2 до 4	9,1	1,8	6,3	4,5	6,9	1,1	2,4	1,5	33,6
–	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	–
від 4 до 6	6,7	0,4	1,4	3,3	6,5	1,6	2,1	1,1	23,1
–	4,5	4,2	4,3	4,5	4,5	4,5	4,6	4,3	–
від 6 до 8	2,8	0,0	0,5	2,0	4,4	0,3	1,3	0,1	11,5
–	6,3	6,0	6,5	6,6	6,4	6,4	6,4	6,0	–
від 8 до 10	0,5	0,0	0,5	1,4	1,6	0,5	0,9	0,0	5,6
–	8,4	9,0	8,7	8,3	8,4	8,5	8,5	8,0	–
від 10 до 12	0,2	0,0	0,2	0,5	1,1	0,4	0,8	0,0	3,2
–	10,5	0,0	10,0	10,2	10,3	10,1	10,4	10,0	–
від 12 до 14	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	0,1	0,0	0,9
–	12,0	0,0	12,0	12,7	12,4	0,0	12,0	0,0	–
від 14 до 16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,4
–	14,0	0,0	0,0	14,0	14,5	0,0	0,0	0,0	–
від 16 до 18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
–	16,0	0,0	0,0	0,0	16,5	0,0	0,0	0,0	–
від 18 до 20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
–	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3	0,0	0,0	0,0	–
<b>Сума (%)</b>	<b>21,6</b>	<b>3,0</b>	<b>12,0</b>	<b>14,8</b>	<b>32,1</b>	<b>4,3</b>	<b>8,8</b>	<b>3,3</b>	<b>100</b>

Якісну оцінку переносу повітряних мас дає прогресивно-векторні діаграми (ПВД), які включають в себе підсумкове візуальне уявлення як про напрямки, так і швидкостях перенесення повітряних мас.

В Одесі 2016 року середній за рік переніс повітряних мас відбувався з північно-північно-східного (ПнПнС) - 11 ° напрямку, а у 2017 році - з Пн 354 ° напрямку із середньою векторною швидкістю 0,9 м/с (рисунок 2.1 (а)).

Порівняння ПВД трьох представлених портів (рисунок 2.1) показує загальну узгодженість даних вітрових умов, але найбільш гарну відповідність швидкостей і напрямків вітру можна відзначити між спостереженнями в Одеському порту і порту «Южний».

Ті ж висновки можна зробити і при аналізі рози вітрів по даним трьох зазначених станцій (рисунок 2.3).



а) ГМС Одеса-Порт;

б) Чорноморській порт;

в) порт «Южний».

Рисунок 2.1 – ПВД вітру 2017 року по даним спостережень в портах

За даними ГМС Одеса-Порт повторюваність тільки Пд і південно-південно-східних (ПдПдС) вітрів у 2017 році склала 25 %. Вітри ПнС, С і ПдПдС напрямків, а також протилежні по напрямку вітри в 2017 році мали дуже слабку повторюваність.

За даними цього ж пункту спостережень дії штормових вітрів від 15 м/с до 20 м/с відзначалися тільки для напрямків північних румбів, за годинниковою стрілкою від ПнПнЗ до ПнС.

Для більш детального аналізу вітрового режиму розглянемо таблицю 1.3 де представлені узагальнені середні місячні характеристики вітрових умов по ГМС Одеса-Порт. Як вже відмічалось, вітри з Пн та ПнЗ складовою володіли найбільшою повторюваністю і швидкістю. Природно, що і стійкість їх в усі сезони була максимальна від 36 % до 41 % в умовах зимового посилення і від 37 % до 61 % в теплий період року.

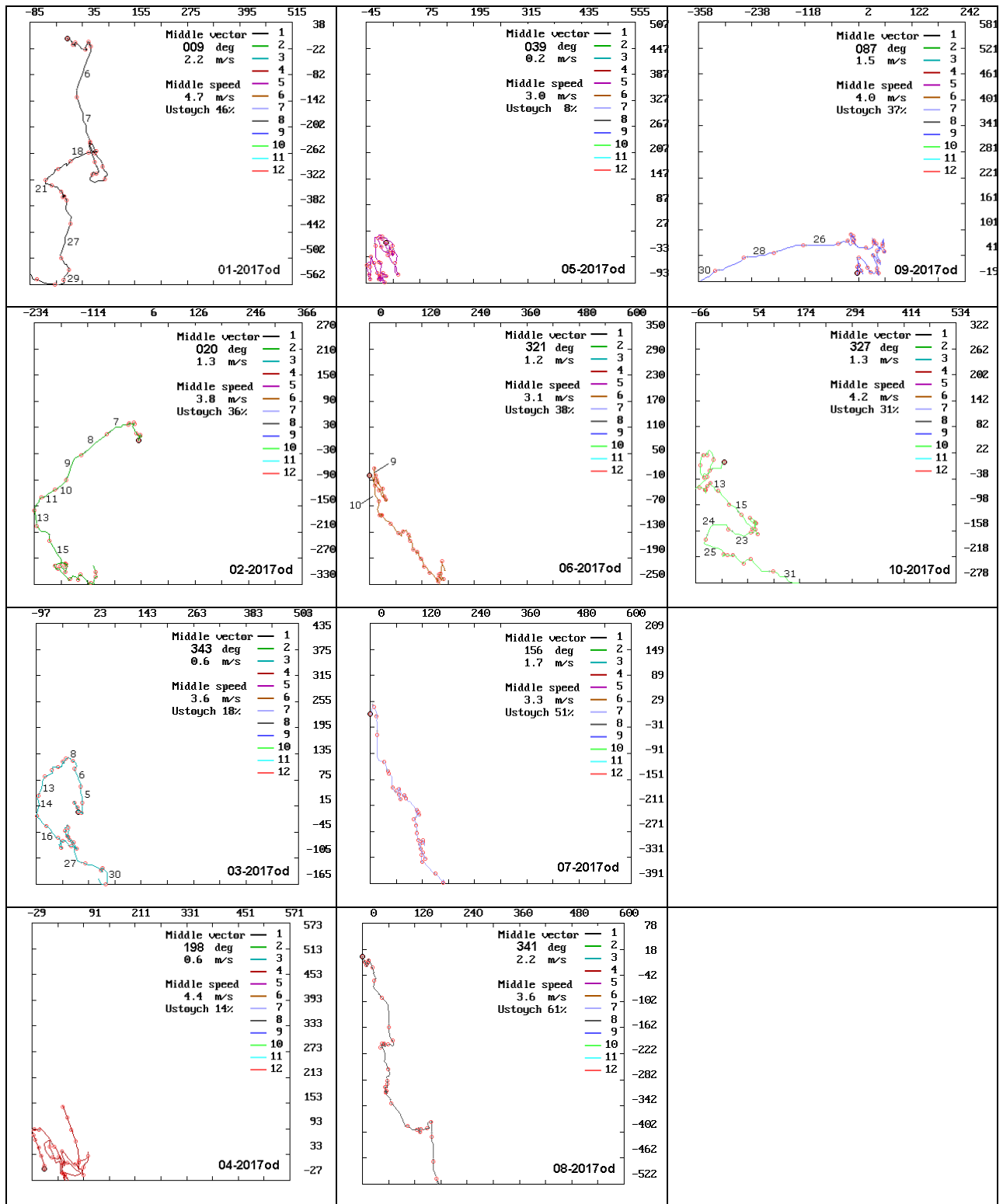


Рисунок 2.2 – Щомісячні ПВД вітру у 2017 році за даними ГМС Одеса-Порт

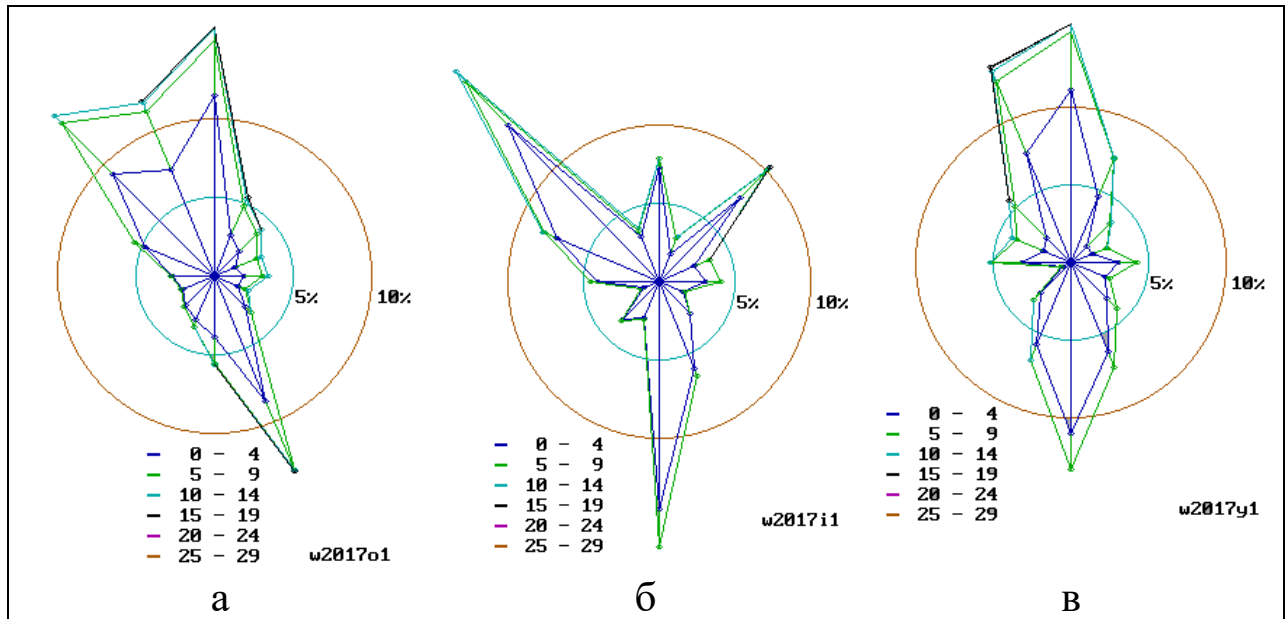


Рисунок 2.3 – Рози повторюваності вітрів в 2017 році в портах

Таблиця 2.3 – Щомісячні дані середніх характеристик вітрових умов за даними ГМС Одеса-Порт з січня по жовтень у 2017 році

Місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Модуль напрямку	009	020	343	198	38	321	336	341	87	327
Модуль швидкості	2,2	1,3	0,6	0,6	0,2	1,2	1,7	2,2	1,5	1,3
Ср.арифм. швидкість, м/с	4,7	3,8	3,6	4,4	3,0	3,1	3,3	3,6	4,0	4,2
Стійкість, %	46	36	18	14	8	38	51	61	37	31

## 2.2. Термічний режим атмосфери

Інтегрований термічний стан холодного і теплого півріч з 2016 по 2017 роки розглянемо по даним ГМС Одеса-Порт. На рисунку 2.4 представлені



багаторічні зміни (1894-2016 рр.) інтегральних характеристик: для зимового півріччя – суми градусо-днів нижче 5,0 °С; для літнього півріччя – сума градусо-днів вище 10,0 °С.

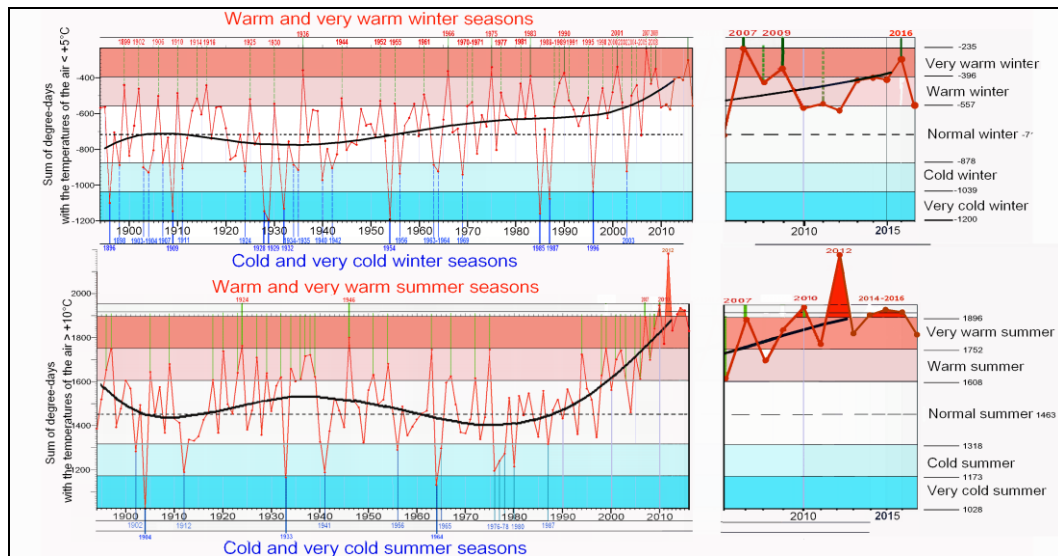


Рисунок 2.4 – Багаторічні зміни інтегральних характеристик термічного стану атмосфери в приземному шарі в зимовий і літній півріччя, за даними ГМС Одеса-Порт

Умови холодного півріччя 2016-2017 рр. було на середньому рівні між теплими і дуже теплими умовами. Акумулятивне значення температури склало 553 градусів-днів.

Термічні умови теплового півріччя 2017 р. перебували за інтегральному термічному стану за вищими межами дуже теплих умов, але трошки нижче, ніж в теплі півріччя останніх п'яти років. Тем не менш акумулятивне значення температури у 1 834 градусів-днів спотворювало ходу інтенсивного позитивного тренда, котрий, як і в зимовий період, має місце в останній 20-річний період (параболічні тренди 5 порядку представлені товстими суцільними лініями для зими та літа на рисунку 2.4).

Мінливість добових значень температури повітря з жовтня 2016 по вересень 2017 року представлена на рисунку 2.5. Істотні зимові зниження температури до діапазону від мінус 3,0 °С до плюс 12,0 °С відзначалися лише

в календарний зимовий період до другої половини лютого. Решта періоди зимового півріччя характеризувалися, в основному, позитивними значеннями температур приземного повітря.

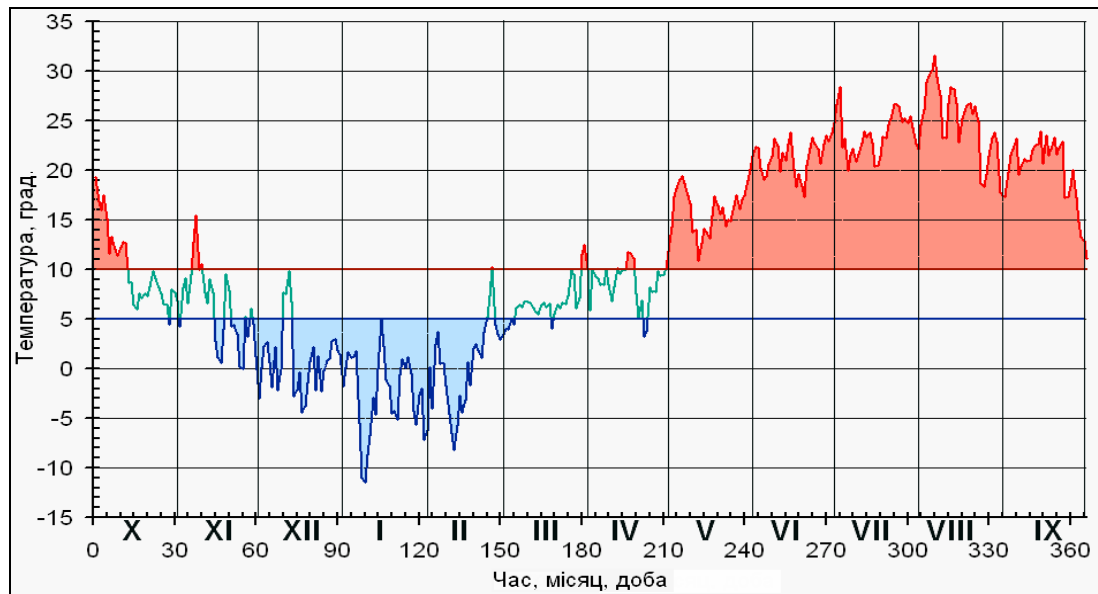


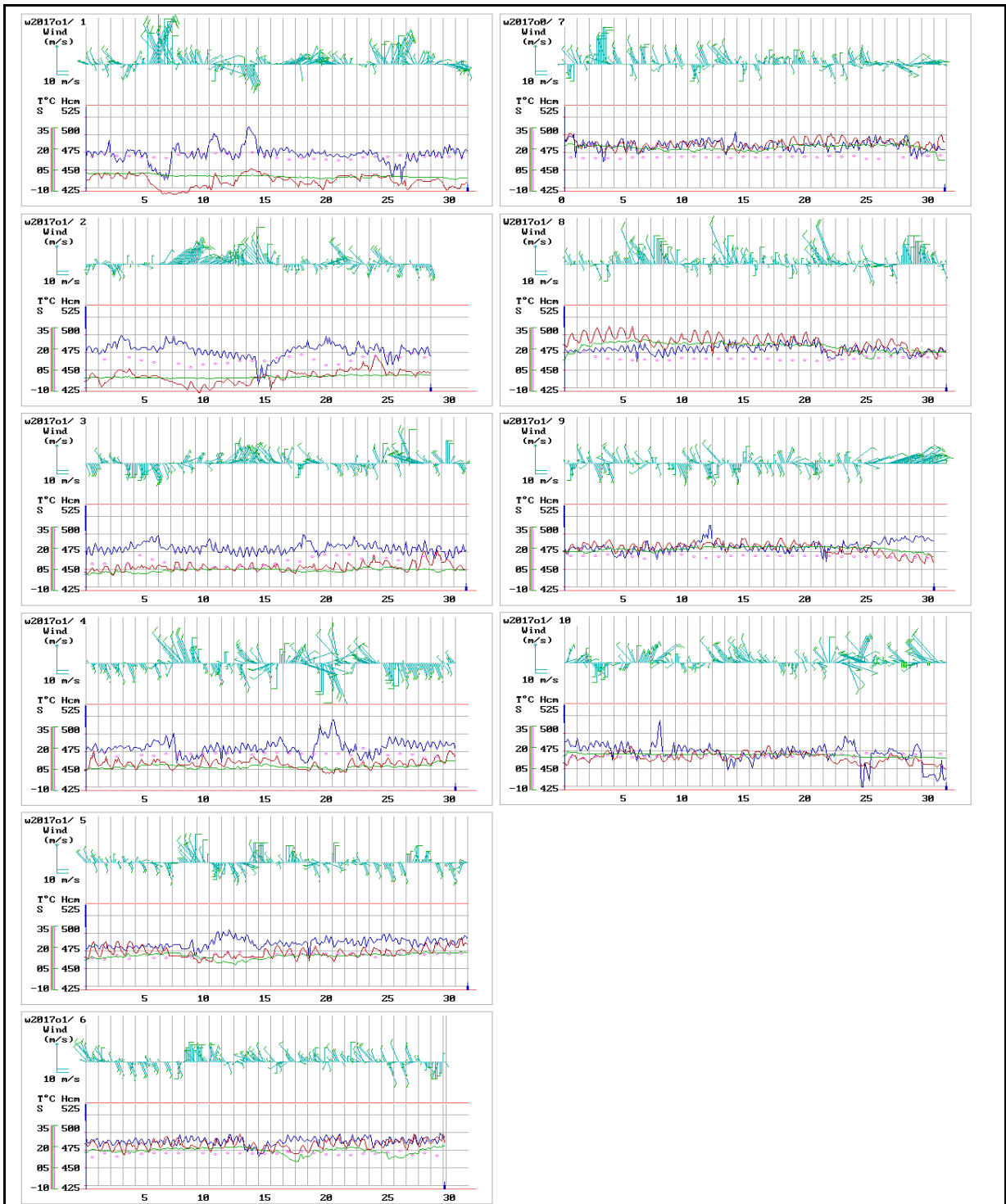
Рисунок 2.5 – Мінливість добових даних приземної температури повітря по ГМС Одеса-Порт з 01.10.2016 по 30.09.2017

З кінця березня розпочалося деяке зростання температури, а в кінці квітня-початку травня її різке підвищення до діапазону від 15,0 °С до 18,0 °С. Найбільш теплим місяцем влітку 2017 року був серпень.

Теплі, а часом дуже теплі умови літнього періоду 2017 року тривали до кінця вересня.

На рисунку 2.6 представлені щомісячні графіки часової мінливості основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів ГМС Одеса-Порт в 2017 році. Ці дані в іншому поданні суттєво доповнюють частину вище представлених даних про вітрові умови, зокрема прогресивно-векторних діаграм і рози вітрів.

Не всі графічні дані, представлені в цьому розділі звіту детально описані, але вони будуть епізодично залучатися при аналізі глибоководних океанографічних даних в наступних розділах звіту.



*Примітка 1.* Вітер - вектора бірюзового кольору.

*Примітка 2.* Рівень моря- сині лінії.

*Примітка 3.* Температура повітря - червоні лінії.

*Примітка 4.* Температура води - зелені лінії.

*Примітка 5.* Солоність води- рожеві еліпси.

Рисунок 2.6 – Щомісячні графіки тимчасових змін основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів ГМС Одеса-Порт в 2017 році

### 3 ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ ВМІСТУ ХЛОРОФІЛУ - А В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ВОД ЧОРНОГО МОРЯ У 2017 РОЦІ

#### 3.1 Міжрічна мінливість концентрації хлорофілу - *a* в північно-західній частині Чорного моря

В цілому загальний розподіл концентрації хлорофілу - *a* на акваторії Чорного моря у 2017 році мало відрізнялися від попередніх років. Максимальні значення концентрацій хлорофілу - *a* фіксувалися в районах прилеглих до зон акумуляції річкових вод і Каркініцької затоки. У міру віддалення від гирлових ділянок в бік відкритого моря його концентрація зменшувалася (рисунок 3.1).

У зонах змішування вод середні значення концентрацій хлорофілу - *a* в 2017 році, за супутниковими даними, коливалися в межі від 5,0 мг/м<sup>3</sup> до 10,0 мг/м<sup>3</sup>, а у відкритій частині моря – взимку від 1,0 мг/м<sup>3</sup> до 2,0 мг/м<sup>3</sup> та літом від 0,2 мг/м<sup>3</sup> до 0,5 мг/м<sup>3</sup>. Мінімальні значення у відкритій частині моря припали на початок серпня. Середньорічні концентрації хлорофілу - *a* у відкритій частині моря були трохи вище ніж в 2015 та 2016 роках (рисунок 3.2).

Середньорічні концентрації хлорофілу - *a* у відкритій частині моря були трохи вище ніж у 2015 та 2016 роках (рисунок 3.2).

Великий вплив на просторово-часову мінливість концентрацій хлорофілу - *a* надає річковий стік, особливо в період паводку.

На відміну від попередніх двох років, навесні 2017 року в розподілі стоку Дунаю відзначено дві паводкові хвилі у березні 21,4 км<sup>3</sup> і у травні 19,7 км<sup>3</sup> (рисунок 3.3). Швидше за все це пов'язано з затяжною і прохолодною весною.

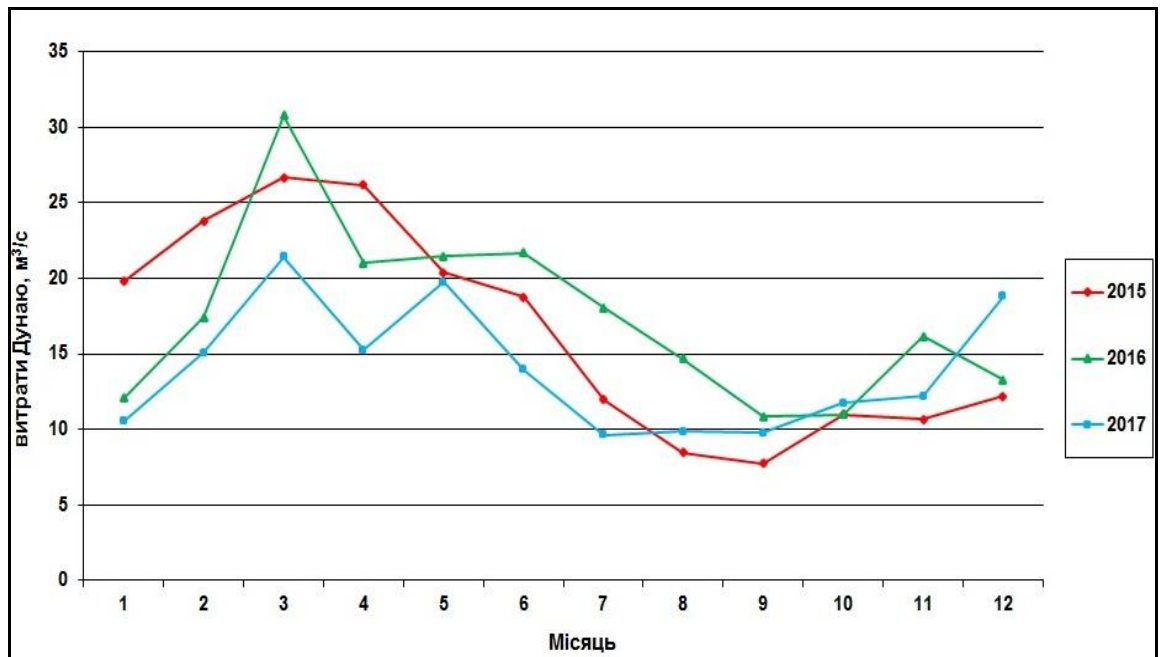


Рисунок 3.1 – Щомісячні витрати (км<sup>3</sup>) р. Дунай у 2015, 2016 і 2017 рр.

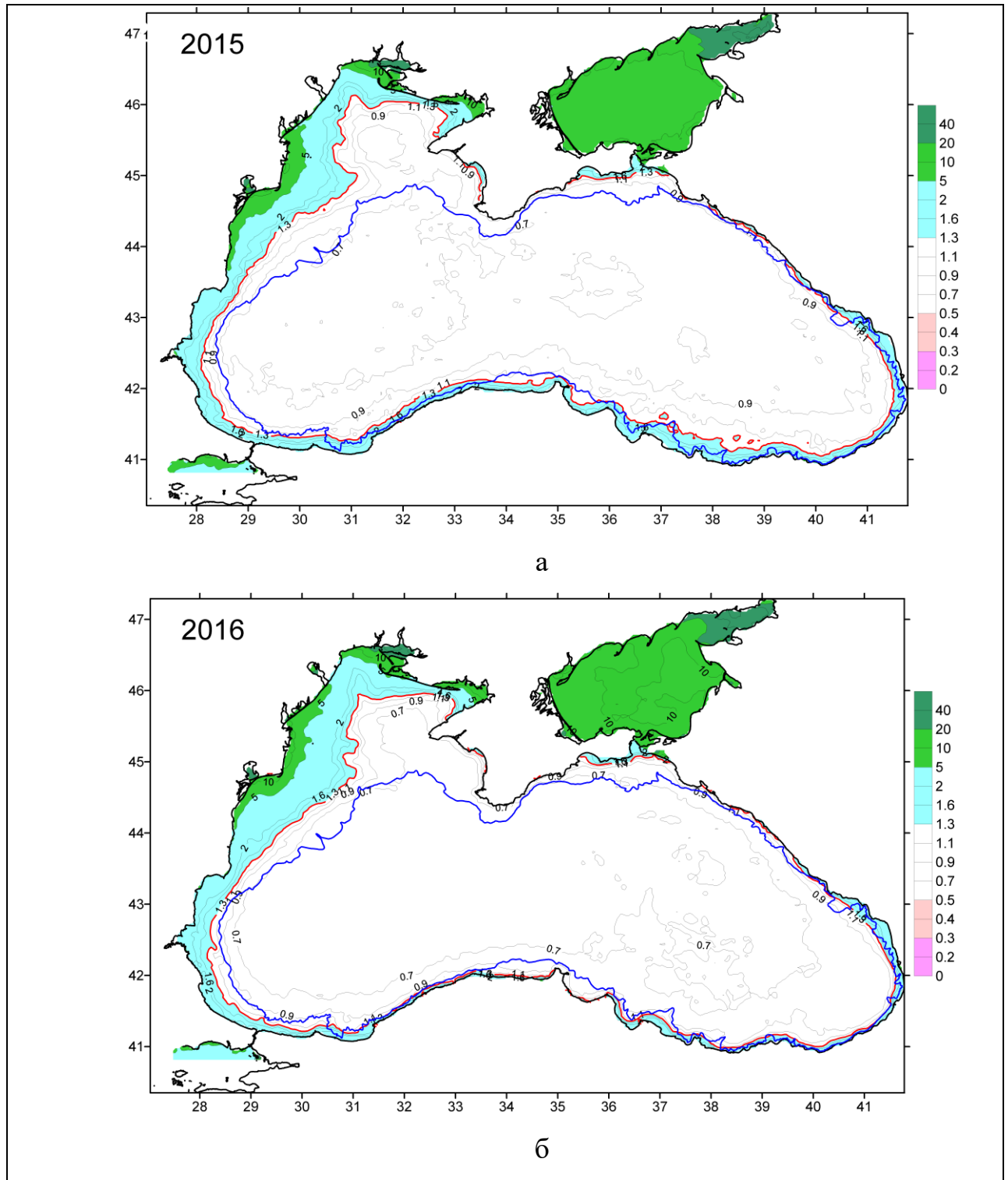
Помітне підвищення витрати Дунаю спостерігалось так само взимку у грудні 18,8 км<sup>3</sup>.

Максимальні значення концентрацій хлорофілу - *a* фіксувалися в період паводка в пригирлових зонах до 85,0 мг/м<sup>3</sup> (р. Дунай).

В цілому 2017 рік можна віднести до безводних років. Витрата річного стоку за 2017 рік склав 168,0 км<sup>3</sup>, що помітно нижче ніж в попередніх роках.

Треба відзначити, що інформація отримана з сканерів не завжди дає нам повне уявлення про процеси, що відбуваються. Причиною тому, є періодична хмарність, перешкоджає якісному проходженню сигналу.

У 2017 році зимової вегетаційний період, пов'язаний з вихолодженням верхнього шару води і конвективними процесами, по всій акваторії Чорного моря, спостерігався так само, як і в 2016 році з середини лютого до середини березня. До цього, велике зимове цвітіння довелось на грудень 2014 і січень 2015 років. Осіннє цвітіння в 2017 відбувалося в жовтні, на місяць раніше, ніж 2016 році. 2015 року осіннє цвітіння у відкритій частині моря практично не спостерігалось.

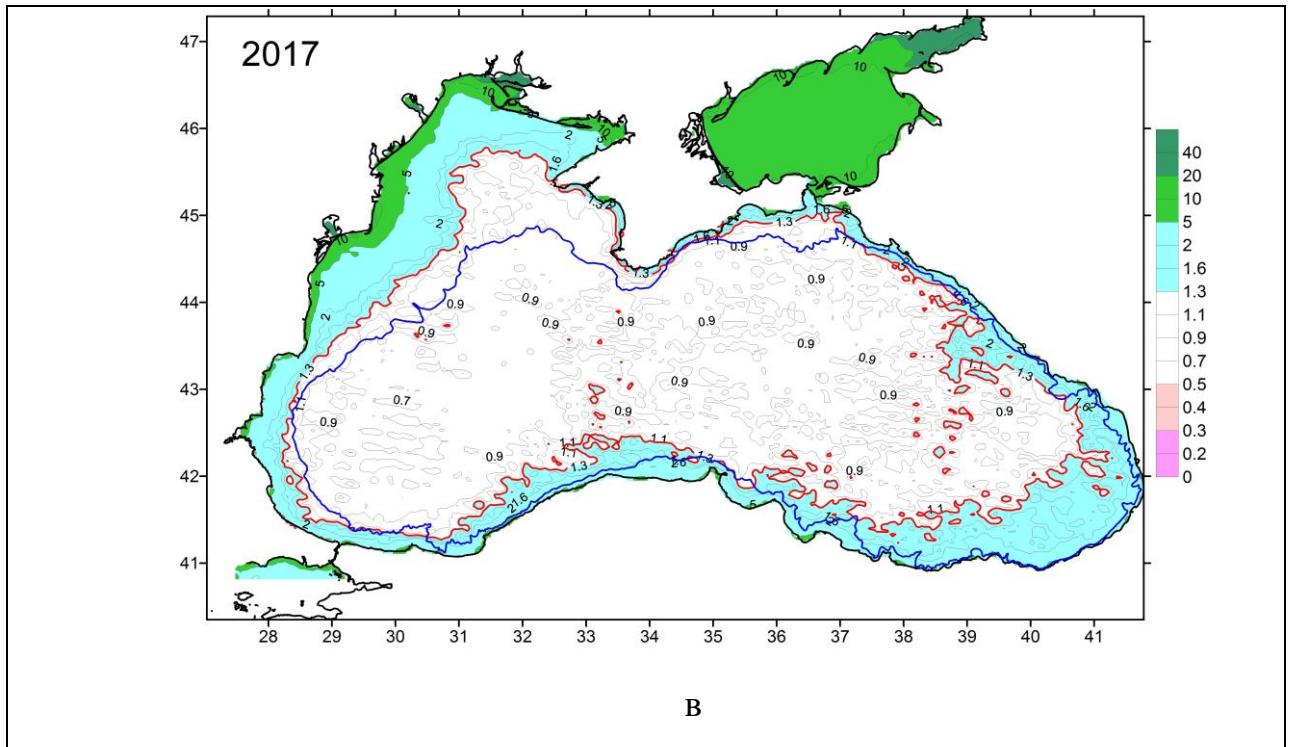


а) 2015 рік;

б) 2016 рік;

Рисунок – 3.2 Середнє розподілення концентрацій хлорофілу -  $a$  ( $\text{mg/m}^3$ ) у 2015 , 2016 та 2017 роках у поверхневому шарі Чорного моря за даними вимірювача MODIS (NASA, USA)





в) 2017 рік.

Рисунок 3.2, аркуш 2

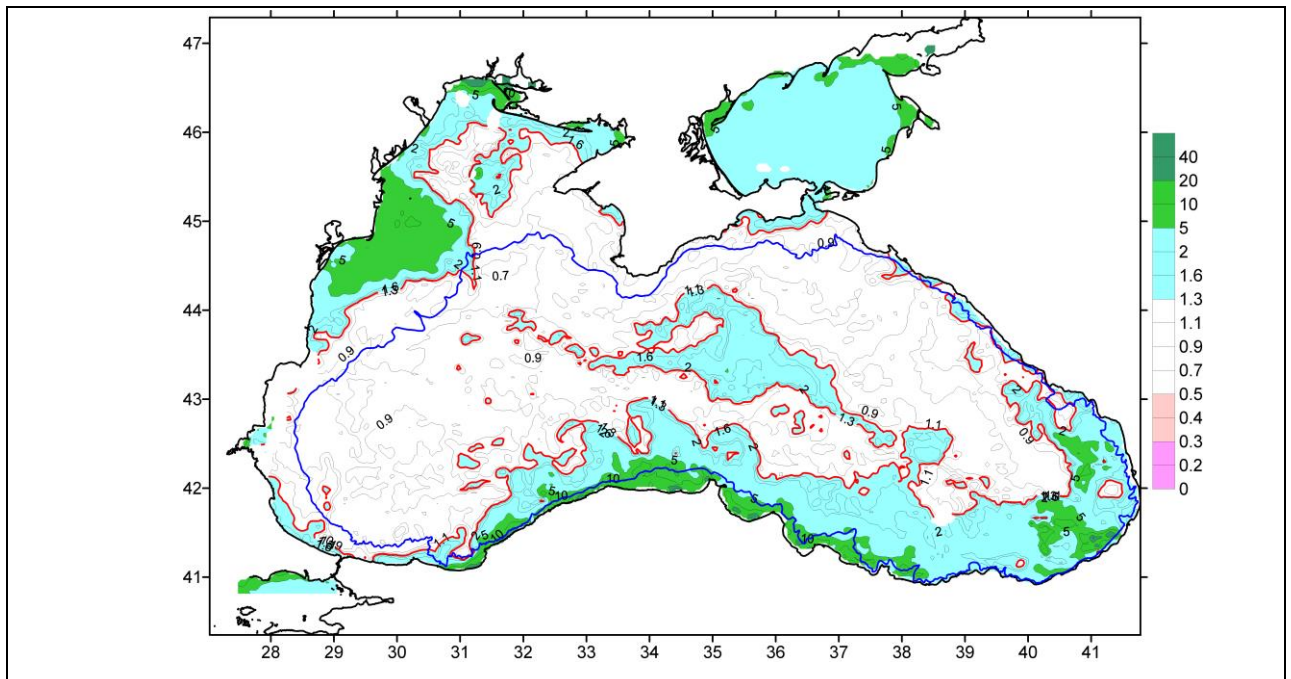


Рисунок – 3.3 Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* в Чорному морі в період зимового цвітіння. Осереднено з 26.02.2017 по 05.03.2017

Карти розподілу значень концентрації хлорофілу - *a* в Чорному морі за минулими сезонами 2017 року приведені у додатку А.

### **3.2 Сезонна мінливість концентрації хлорофілу - *a* в північно-західній частині Чорного моря**

Найбільший інтерес для нас представляє вплив на просторово-часову мінливість розподілу хлорофілу - *a* у північно-західній частині Чорного моря (ПнЗЧМ) гідродинамічних характеристик водного середовища.

В результаті аналізу багаторічних даних по розподілу хлорофілу - *a* в ПнЗЧМ спеціалістами УкрНЦЕМ було встановлено, що концентрація хлорофілу - *a* рівна  $1,3 \text{ мг/м}^3$  з великим ступенем точності може характеризувати кордон поширення шельфових вод [1]. Це ж значення характеризує перехід від мезотрофних вод з концентрацією менше  $1,3 \text{ мг/м}^3$  до ефототрофних вод (ЕВ) для цього району.

Загальним для всіх сезонів було те, що протягом усього року у прибережній від 15 до 20 мильній зоні ПнЗЧМ концентрації хлорофілу - *a* не падали нижче позначки  $2,0 \text{ мг/м}^3$ .

Далі в просторово-часовій мінливості концентрацій хлорофілу - *a* відзначимо ряд значущих подій.

Так зимовий період характеризувався вище згаданим активним цвітінням. У лютому, березні максимальні величини концентрацій становили до  $25,0 \text{ мг/м}^3$  в районах виходу Дунайських і Дніпробузьких вод.

Частина «Дунайських» вод потрапляло в систему Севастопольських віхорів (СВ) і транспортувалася у відкриті ділянки моря (рисунк 3.4).



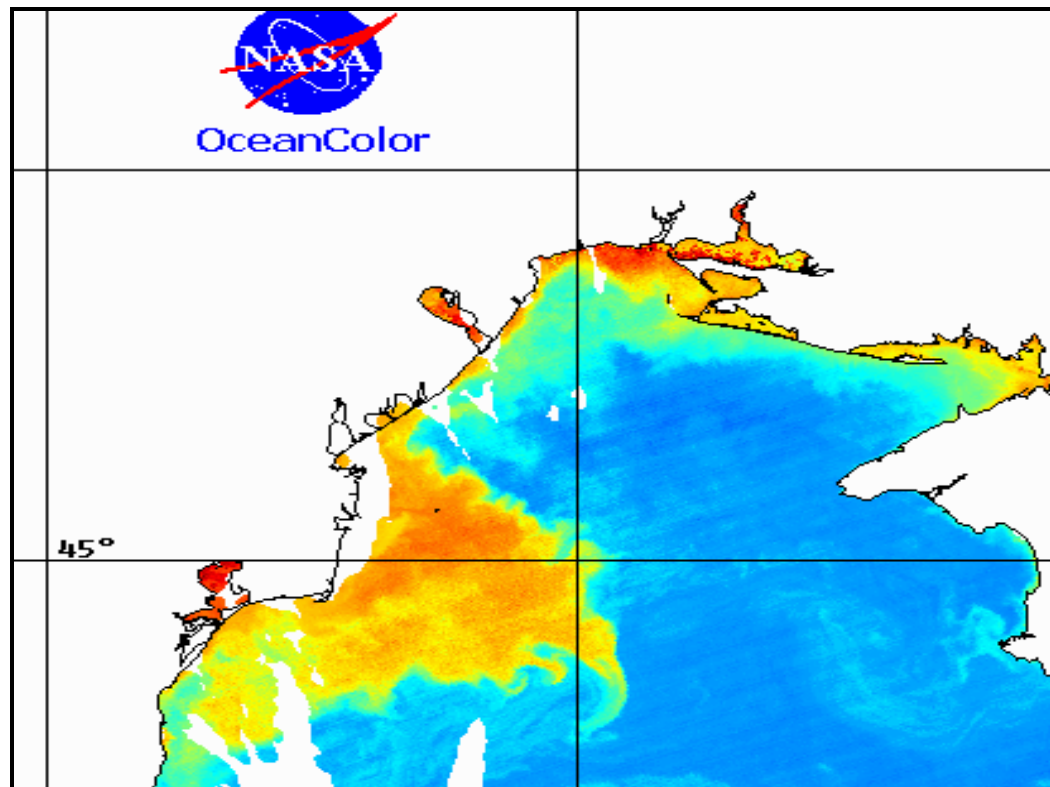


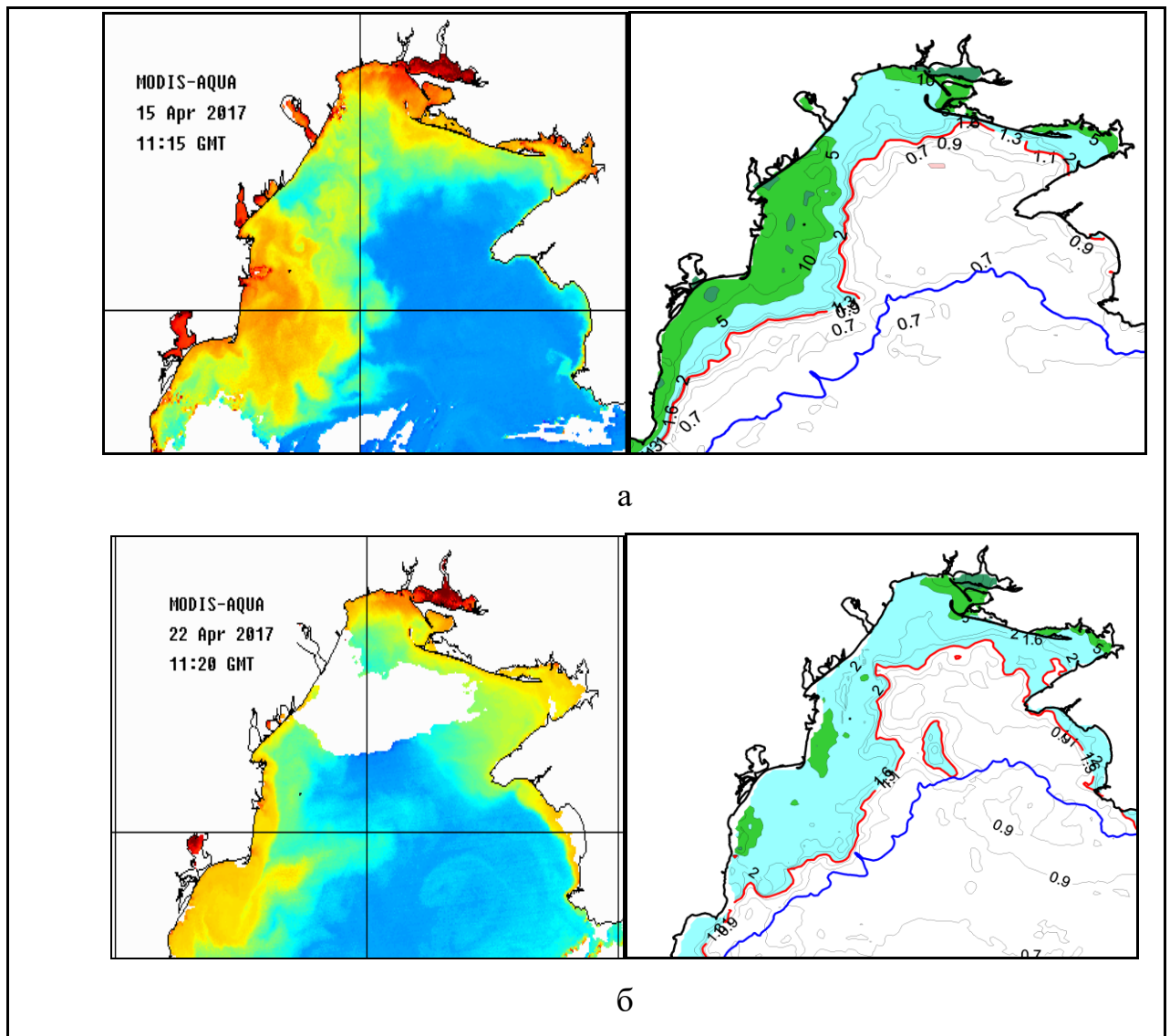
Рисунок 3.4 – Розповсюдження хлорофілу - *a* у період зимового цвітіння 4 березня 2017 року

На початку квітня підвищення концентрацій пов'язано з весняним паводковим стоком річок.

У західній частині середні восьмиденні значення становили на гирловій ділянці Дунаю і на північному сході в районі виходу Дніпробузьких вод і Каркініцьком затоці. від  $5,0 \text{ мг/м}^3$  до  $10,0 \text{ мг/м}^3$  Границі і площа поширення евтрофних шельфових вод визначалася інтенсивністю процесів цвітіння, і існуючої на той період циркуляцією поверхневих течій, викликаних впливом приводного вітру.

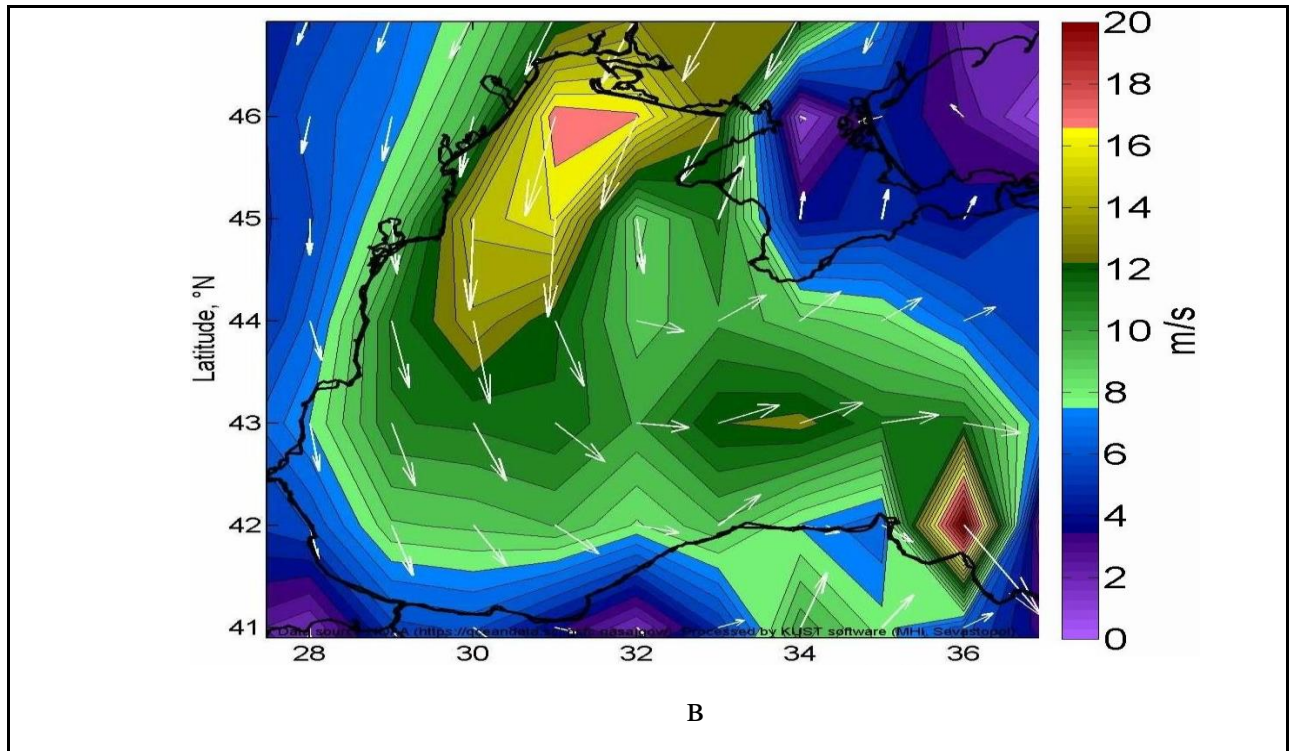
На рисунку 3.5 (а) показана ситуація яка виникла після першого дунайського паводку 15 квітня. Незважаючи на С вітер ЕВ почали інтенсивно поширюватися на ПдС у бік відкритого моря, але вже через тиждень з 16 по 23 квітня під впливом штормового Пн, ПнС вітру (до  $20 \text{ м/с}$  ГМС Суліна) кордони їх поширення у ПдС напрямку помітно скоротилися і загальний

потік був перенаправлений на ПдЗ (рисунок 3.5). У результаті інтенсивного хвильового перемішування в цих водах знизилися концентрації вмісту хлорофілу - *a* з 10,0 мг/м<sup>3</sup> до діапазону від 2,0 мг/м<sup>3</sup> до 5,0 мг/м<sup>3</sup> (рисунок 3.5).



- а) до шторму викликаного ПнПНС вітром;  
 б) після шторму викликаного ПнПНС вітром.

Рисунок 3.5 – Поширення хлорофілу - *a* в ПнЗЧМ до і після шторму викликаного ПнПНС вітром. За даними супутникового сканування і цифрової обробки



в) карта вітру моделі Морського Гідрофізичного Інституту (МГІ) в 3 частині Чорного моря 18 квітня 2017 року о 12 годині

Рисунок 3.5, аркуш 2

Влітку у липні і серпні площа ЕВ західної частини зменшилася (рисунок 3.6). Активізувалися процеси у ПнС узбережжя. За супутниковими знімками в серпні абсолютно чітко простежується вихід трансформованих Дніпробузькому вод уздовж східного узбережжя аж до областей континентального схилу.

Там вони втягувалися в систему СВ подібної траєкторії їх поширення сприяли панівні у серпні вітри ПнС напрямку (стійкість 61 %). Під впливом цих вітрів у північного узбережжя, а так само у Кінбурської і Тендровської кіс апвелінги, що сприяють винос додаткових біогенів з глибших горизонтів і тим самим більшою мірою стимулюють процеси цвітіння.

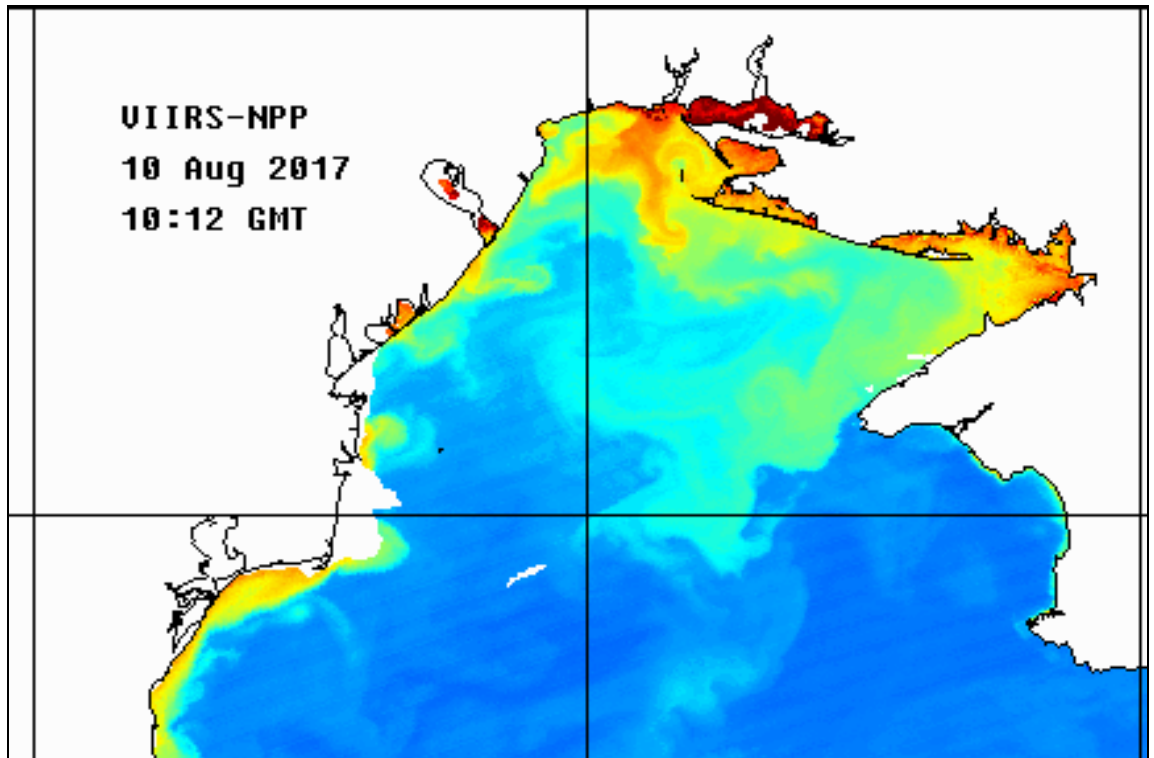


Рисунок 3.6 – Поширення хлорофілу – *a* і вихід Дніпробузських вод у серпні 2017р.

Води ПдС району перебували під домінуючим впливом вод відкритої частини моря. Концентрація хлорофілу – *a* характеризувалися слабкою мінливістю, малими значеннями і окремими весняно-зимовими спалахами.

У 2017 році фахівцями УкрЦЕМ були продовжені спостереження за екологічним станом водного середовища ботанічного заповідника «Філофорне поле Зернова» (ФПЗ). Здійснювався постійний супутниковий моніторинг, а так само в весняно-літній період проводилися еспедиційні зйомки. Оброблені супутникові дані наведені на рисунку 3.7.

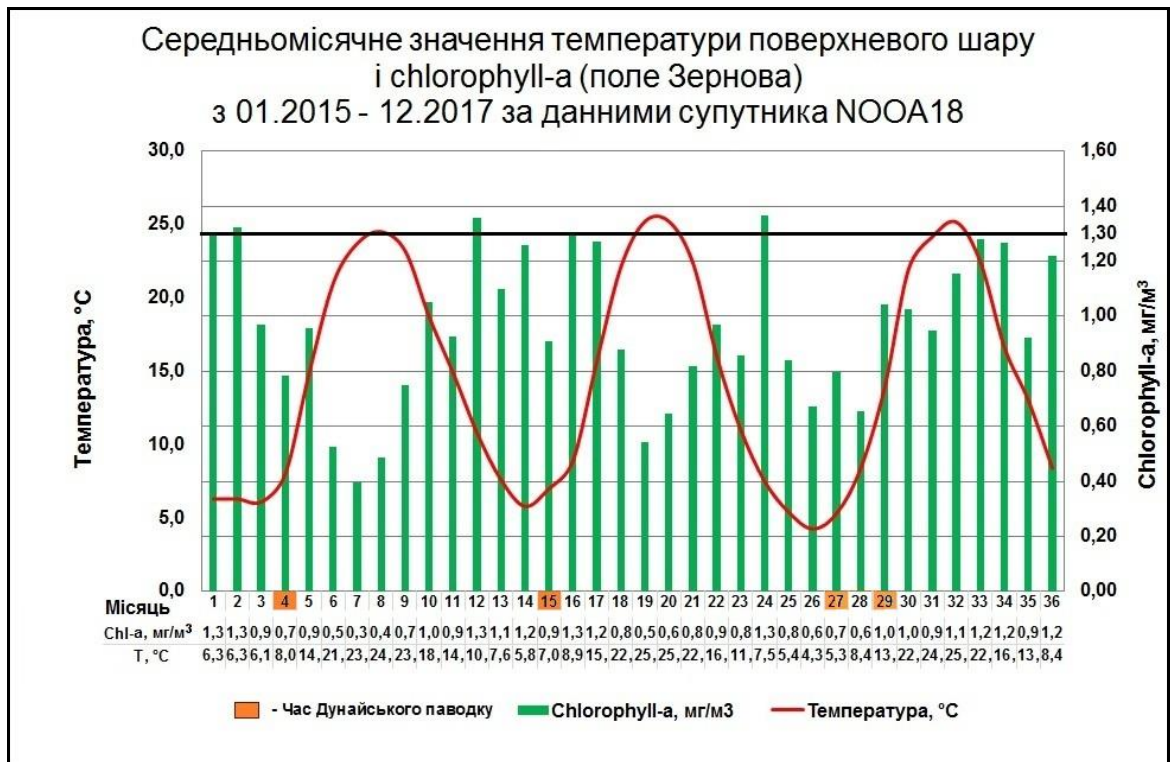


Рисунок 3.7 – Середньомісячне значення температури поверхневого шару і концентрацій хлорофілу - *a* в районі ФПЗ з січня 2015 року по грудень 2017 року

За представленими графіками видно, що сезонна мінливість хлорофілу - *a* у 2017 році помітно відрізнявся від 2015 і 2016 років. Якщо у ці два роки міжрічна мінливість концентрації хлорофілу - *a* носила характер властивий водам відкритої частини моря, то у 2017 році річний хід концентрацій мав характер властивий шельфовим водам.

Підвищені значення концентрацій у 2017 році спостерігалися влітку, на відміну від попередніх років, коли влітку спостерігалися мінімальні значення концентрацій. Цей факт свідчить про те, що період представництва шельфових вод в загальному водному балансі поля Зернова у 2017 році був більше ніж 2015 і 2016 роках. Проміжні максимуми концентрацій хлорофілу - *a* в усі роки фіксуються для після паводкових місяців.

Травень для 2015 року, квітень та травень для 2016 року. Травень та червень для 2017 року

З графіка випливає, що води поля Зернова можна віднести до мезотрофний, так як середньомісячні концентрації хлорофілу - *a* незначно перевищують позначку  $1,3 \text{ мг /м}^3$  тільки в зимові місяці.

В Азовському морі концентрації хлорофілу - *a* трималися на рівні попередніх років. Постійно високими значення хлорофілу - *a* були у районі Таганроцької затоки.



## 4 ГІДРОФІЗИЧНІ УМОВИ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ У 2017 РОЦІ

У 2017 році експедиційні роботи в ПнЗЧМ проводилися в три етапи. Перший етап проходив у період з 11 по 14 квітня. На цьому етапі, було виконано спостережень на шести комплексних екологічних станціях. Другий з 9 по 11 липня, виконано спостережень на чотирьох станціях. Третій з 16 по 20 серпня, виконано спостережень на 13 станціях.

Роботи на перших двох етапах проходили за програмою ФЗП. Нумерація станцій на першому і другому етапі зберіглася згідно експедиції 2016 року. У програму робіт третього етапу, по мимо станцій програми ФПЗ, увійшли станції розташовані в прибережних водних масивах ПнЗЧМ. Нумерація станцій на третьому етапі була послідовною у міру їх виконання. До номерів станцій виконаних додатково по програмам додані літери (рисунок 4.1). Дослідження проводилися на спеціалізованому судні типу катамаран "Augusto Picard", після поставлення судна на якір.

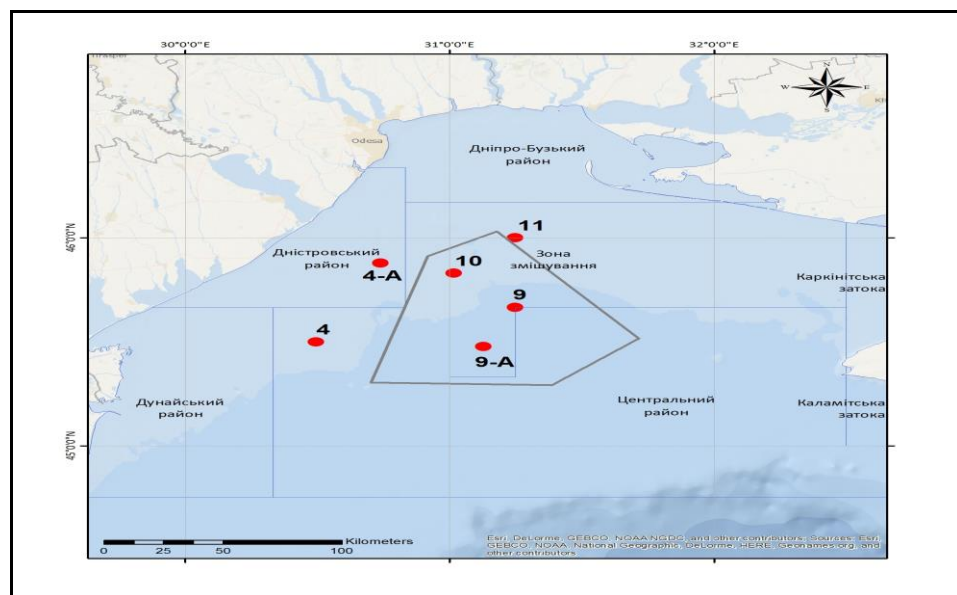


Рисунок – 4.1 Сема розташування комплексних екологічних станцій у квітні і липні 2017 року

Згідно районування ПнЗШ акваторії Чорного моря, проведеним фахівцями УкрНЦЕМ, [2] район ФЗП, розташований в зоні змішання пригирлових водних мас зі солоністю менше ніж 16,3 ‰, шельфові водні маси зі солоністю від 16,3 ‰ до 17,5 ‰ та поверхневої водної маси відкритого моря зі солоністю вище 17,5 ‰. Надалі під терміном шельфові води (ШВ), ми будемо розуміти воду яка відноситься до перших двох водних мас.

#### 4.1 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря в квітні 2017 року

Динаміка приводної атмосфери у попередній період проведення експедиційних робіт визначалася впливом локального циклону розташованого над східним районом ПнЗЧМ. З 08.04.2017 по 10.04.2017 швидкість вітру північного напрямку періодично досягала штормових позначок. До моменту початку робіт 11 квітня напрямок вітру змінився на південний. Швидкість вітру становила вдень від 3,0 м/с до 4,0 м/с, з 18 годин зазначалося посилення вітру з поривами до 10,0 м/с. Надалі спостерігався слабкий вітер швидкість якого становила від 2,0 м/с до 4,0 м/с, і змінюється напрямком від ПнЗ до західного.

Таблиця 4.1 – Результати суднових метеоспостережень у квітні 2017 року

Дата	№ ст.	Час, год.	Вітер		Хмарність, бал	Хвилювання, бал
			Напрямок, °	Швидкість, м/с		
11.04	11	08.00	150	2,7	1;2	1
11.04	10	18.00	160	8,5	1;2	3
12.04	9	08.00	170	3,5	2;3	2
12.04	9-А	17.00	320	2,0	2;3	1
13.04	4	08.00	260	2,0	3;4	1
13.04	4-А	17.00	260	4,0	3;4	2



Перший етап робіт збігся з початком гідрологічної весни і отже з початком інтенсифікації процесів пов'язаних з прогріванням верхнього водного шару. Так, за даними супутникових спостережень температура поверхневого шару (ТПШ) води району в кінці березня в середньому становила 5,0 °С. За першу декаду квітня ТПШ в цілому збільшилася на три градуси. ТПШ виміряна під час експедиції перебувала в межах від 7,2 °С до 8,0 °С, що збігається з супутниковими даними.

На розрізі вертикального розподілу температури видно, що під впливом попередніх штормів відбулося перемішування більш теплих верхніх шарів з нижніми до глибини порядку від 5,0 м до 6,0 м. Далі з глибиною температура монотонно знижувалася. На більш мілководних станціях у придонному консервативному шарі товщиною від 2,0 м до 5,0 м. Збереглася зимова температура від 4,9 °С до 5,4 °С.

Реально виділити горизонт стрибка можна було тільки на ст.4, розташованій у самій західній частині полігону.

У горизонтальному розподілі температури води, найбільша мінливість спостерігалася на горизонті 15,0 м. Так на ПдС районі розрізу температура води була вище на 1,4 °С, ніж на ПнЗ (рисунок 4.2).

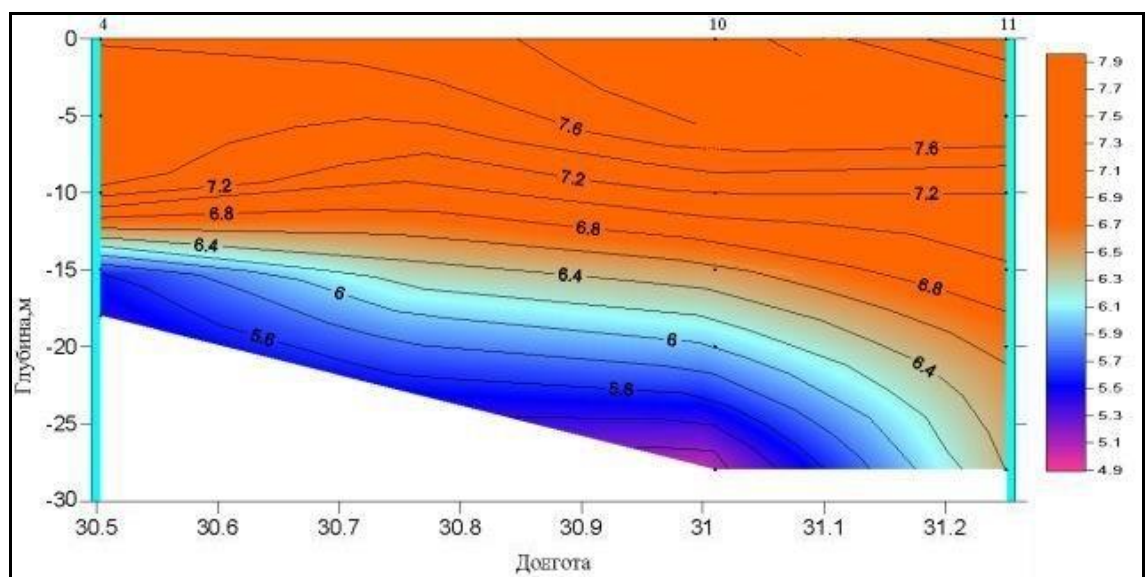
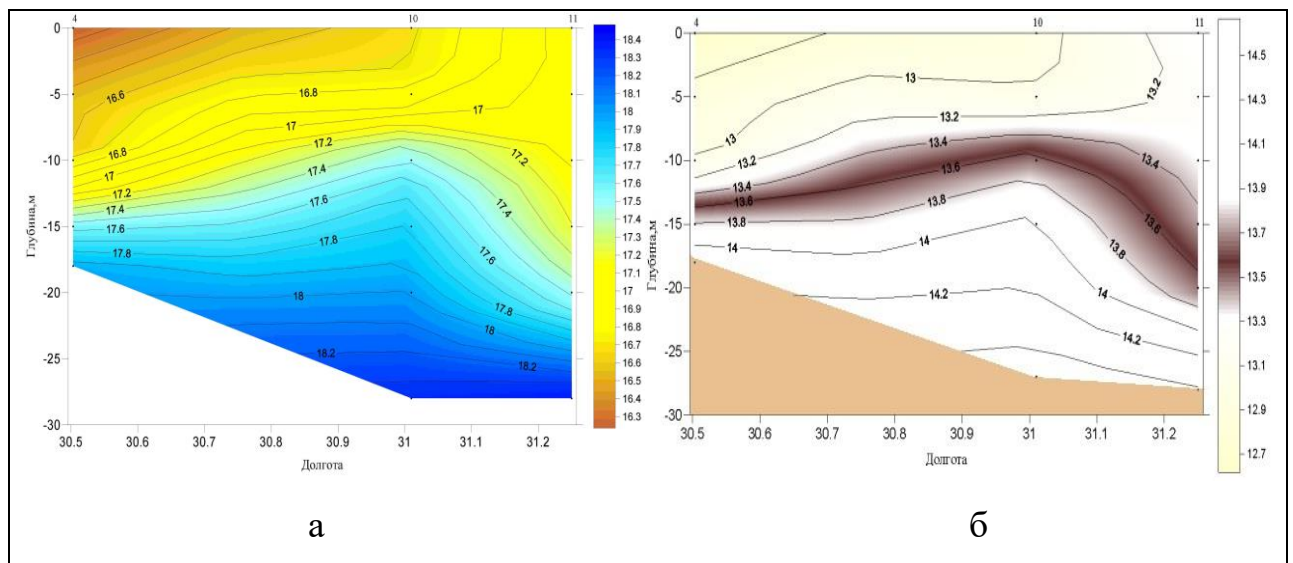


Рисунок 4.2 – Розподіл температури води на розрізі ст. № 4, № 10, № 11

Значення солоності морської води в період проведення робіт на нашому полігоні коливалися в межах від 16,2 ‰ до 18,6 ‰. На розподіл солоності, як по вертикалі так і по горизонталі в першу чергу впливає процес перемішування більш прісних ШВ з водами відкритої частини моря. Дослідження фахівців УкрНЦЕМ показали, що прикордонний район їх взаємодії можна ідентифікувати по ізогаліні 17,5 ‰ [3].

Саме вертикальний розподіл халлиної складової в цей період року робить основний вплив на розподіл щільності води тому, що вертикальні градієнти температури ще незначні.

Аналіз даних показав, що верхній шар моря в районі виконання робіт займають ШВ розтікаючись по більш щільним морських вод. У міру віддалення ШВ від гирла Дунаю на С, солоність їх підвищується і відповідно зменшується вертикальний градієнт щільності (рисунок 4.3).



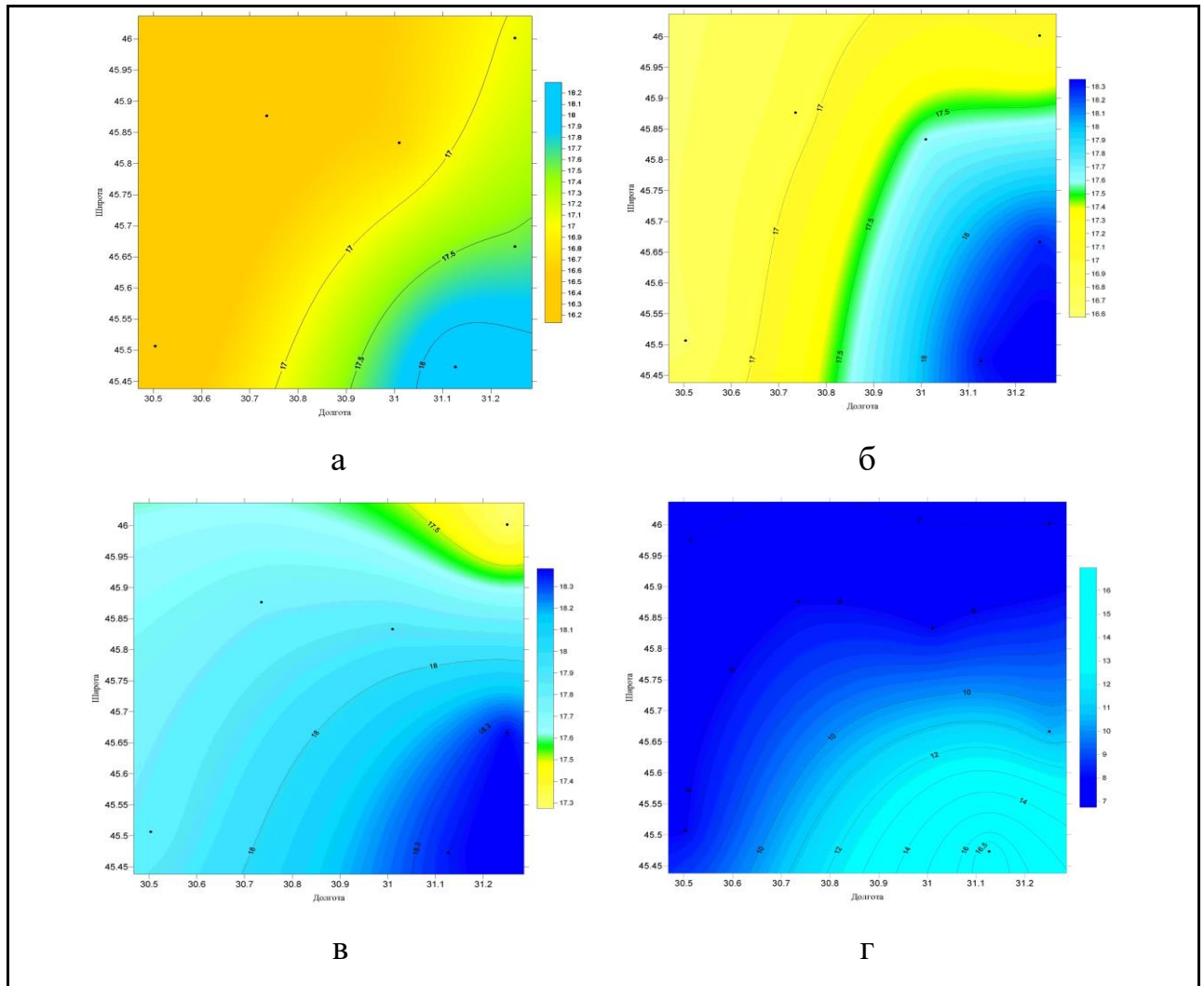
а) солоність морської води;

б) щільність морської води.

Рисунок 4.3 – Розподіл солоності води і щільності на розрізі по ст. № 4, № 10,  
№ 11

Загальне уявлення про межі поширення ШВ можна скласти по рисунку 4.4. На яких представлені карти розподілу солоності на горизонтах 0 м, 10,0 м і у придонному шарі.

Зона ШВ виділена жовтим кольором. Аналіз показує, що внесок ШВ в загальний баланс вод зменшується з глибиною. На горизонті 20,0 м, вони займають лише незначну частину С периферії (Ст. 11).



- а) поверхневий шар;
- б) на горизонті 10 м;
- в) на горизонті 20 м;
- г) прозорість у квітні 2017 року.

Рисунок 4.4 – Розподіл солоності морської води у поверхневому шарі, на горизонті 10 м та 20 м. та прозорість квітень 2017 року

Розподіл прозорості в основних своїх рисах повторює розподіл солоності в поверхневому шарі. Особливо треба відзначити, що 12 квітня на ст. 9-А з координатами 45°28,4' пн.ш і 31°07,3' сх.д. була виміряна максимальна величина прозорості морської води за всю історію спостережень судами УкрНЦЕМ в ПнЗЧМ. Вона склала 17,0 м. У міру наближення до берега прозорість води зменшувалася до 7,0 м (див. рисунок 4.4).

#### 4.2 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря в липні 2017 року

З 6 по 9 липня 2017 року штормову погоду на Азово-Чорноморська басейні зумовлювало проходження у полі підвищеного тиску холодного фронту, пов'язаного з улоговиною циклону з центром над північними районами європейської Росії з мінімальним тиск 995 гПа. У період попередній робіт з 6 по 9 липня у ПнЗ районі Чорного моря спостерігалась грозова діяльність зі зливовими дощами, подекуди з посиленням південного вітру від 12,0 м/с до 15,0 м/с. Висота хвиль на Чорному морі від 10,0 дм до 15,0 дм.

Таблиця 4.2 – Результати суднових метеоспостережень у квітні 2017 року

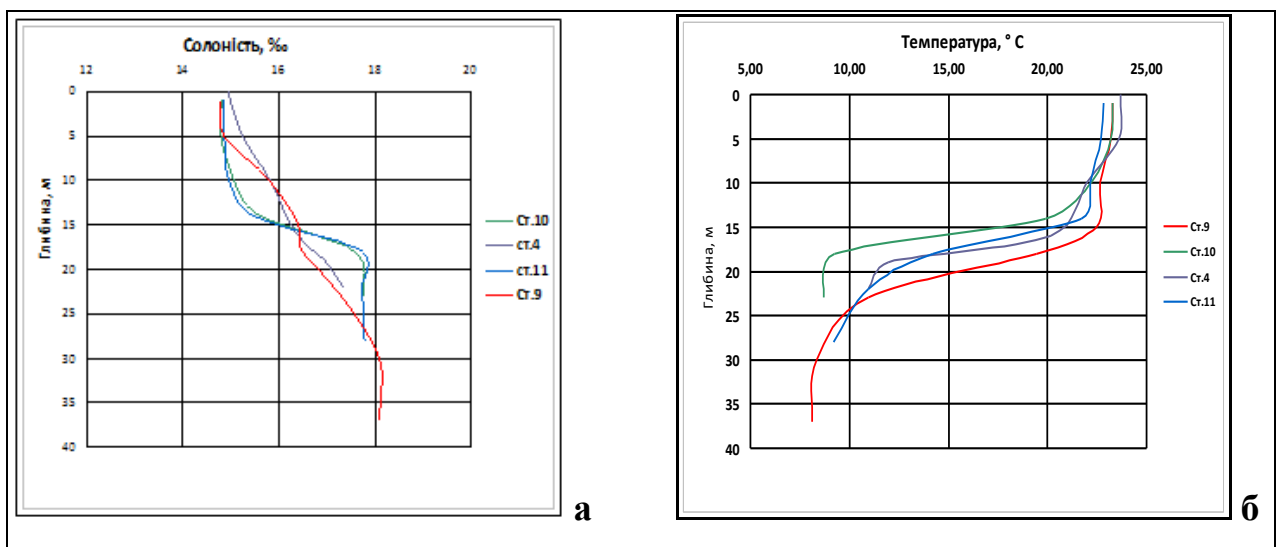
Дата	№ ст.	Час, год.	Вітер		Хмарність, бал	Хвилювання, бал
			Напрямок, °	Швидкість, м/с		
10.07	11	10.00	160	2,0	0	1
10.07	10	17.00	120	5,5	0	2
11.07	9	07.00	180	2,0	0	1
11.07	4	18.00	210	2,0	4	1

У період проведення робіт з 10 по 12 липня не штормову погоду зумовлювало малоградієнтне поле відносно підвищеного тиску. Висота хвиля на ПнЗЧМ від 2,5 дм до 5,0 дм.

У районі робіт панували не сильні вітри південних румбів.

Літній період, для вод ПнЗЧМ характерний інтенсивним прогріванням верхнього шару води і формуванням термокліна.

На рисунок 4.5 Представлені графіки вертикального розподілу температури на всіх чотирьох станціях другого етапу. Незважаючи на те, що кожен графік окремо має свої особливості, у загальному вигляді, вони добре відображають термічну структуру вод полігону. Верхній однорідний шар з температурами від 22,0 °С до 23,0 °С поширився до глибин від 10,0 м до 12,0 м.



а) температура води;

б) солоність води.

Рисунок 4.5 – Вертикальне розподілення температури та солоності морської води за спостереженнями на станціях полігону ФПЗ у липні 2017 року

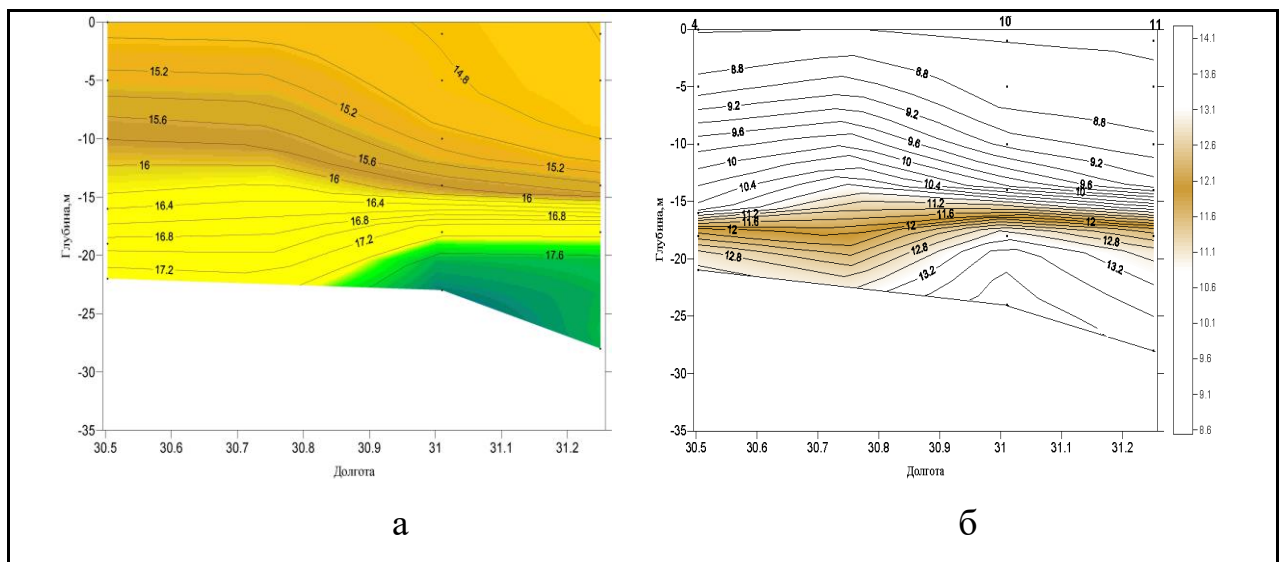
В середньому верхня межа термокліна розташовувалася на глибинах від 13,0 м до 15,0 м з температурою від 21,0 °С до 22,0 °С. Нижня межа з діапазоном температур від 9,0 °С до 11,0 °С розташовувалася на глибинах від 18,0 м до 20,0 м. Потужність термокліна коливалася в межах від 5,0 м до 6,0 м. За винятком самої мористої станції № 9 де нижня межа термокліна

опустилася до 25,0 м, а товщина шару збільшилася до 10,0 м. Максимальне значення вертикального градієнта температури відзначено на ст. 10 і склало від 3,0 °С до 4,0 °С на 1 м. На трьох станціях, виділяється придонний однорідний шар потужністю від 2,0 м до 5,0 м. На ст.11 він виражений не так чітко.

Подібний розподіл температури з глибиною характерно для літнього гідрологічного сезону ПнЗЧМ.

Аналіз розподілення солоності морської води показує, що у західній частині розрізу від поверхні до дна домінували ШВ з солоністю від 14,8 ‰ до 17,3 ‰. Далі на схід їх розповсюдження з глибиною обмежувалося шаром термоклину. Максимальне значення солоності 18,09 ‰, відмічене у придонному шарі на ст. 9 (див. рисунок 4.5 (б)).

У верхньому десятиметровому шарі солоність води у напрямку з заходу на С зменшувалась. Мінімальна солоність 14,80 ‰ відмічена на горизонті 5,0 м ст.10.



а) солоність морської води;

б) щільність морської води.

Рисунок 4.6 – Розподілення солоності та щільність морської води за спостереженнями на станицях полігону ФПЗ у липні 2017 року



Горизонт стрибка солоності знаходився на глибинах від 15,0 м до 20,0 м, у районі східних станцій № 10 та № 11. та по своєму розташуванню співпадав з термоклинном. Самі високі вертикальні градієнти, солоності (0,41 ‰ на метр глибини) спостерігався на ст.11 у шарі від 14,0 м до 18,0 м.

У вертикальному розподіленні солоності морської води, так само, як і у температурному, простежується придонний однорідний шар.

Прозорість морської води на всіх станціях складала 4,0 м., крім станції № 10, де прозорість була 6,0 м.

#### 4.3 Гідрофізичні умови північно-західного шельфу Чорного моря в серпні 2017 року

Для аналізу просторового розподілу гідрологічних параметрів було залучено дані отримані під час експедиційних робіт в районі ПнЗЧМ на судні «Мари Нігрит» з 27 по 30 серпня 2017 року.

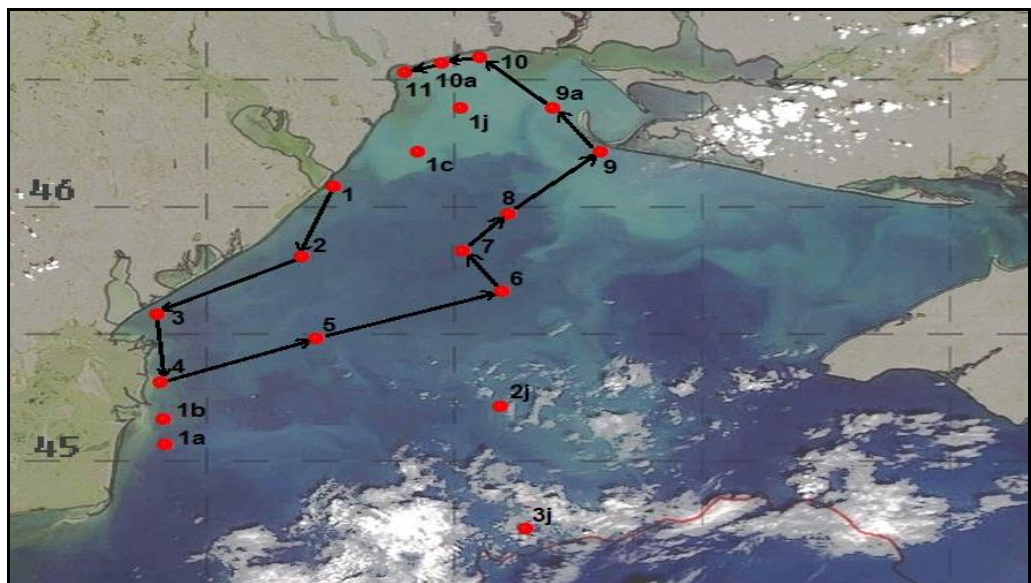


Рисунок 4.7 – Знімок AERONET 19.08.2017 суміщений з схемою розташування станцій

Таблиця 4.3 – Результати суднових метеоспостережень у серпні 2017 року

Дата	№ ст.	Час, год.	Вітер		Хмарність, бал	Хвилювання, бал
			Напрямок, °	Швидкість, м/с		
16.08	1	06.00	310	5,0	1	1
16.08	2	12.30	320	9,0	1	2
16.08	3	18.00	30	2,2	2	1
16.08	4	18.00	0	3,0	2	1
17.08	5	09.00	10	2,0	3	1
17.08	6	18.20	5	2,0	3	1
18.08	7	06.00	10	7,0	2	2
18.08	8	12.45	10	5,0	1	2
19.08	9	11.00	0	5,0	1	2
19.08	9-A	18.30	30	7,0	1	2
20.08	10	06.30	30	7,0	1	2
20.08	10-A	11.00	0	7,0	2	2
20.08	11	12.00	10	5,0	2	2

В першу чергу, для порівняння з результатами попередніх етапів, розглянемо гідрологічну ситуацію на станціях ФЗП. На рисунку 4.8 показано розподіл температури на розрізі через ФПЗ доповненого однією станцією № 9, розташованої біля північного закінчення Кімбургської коси.

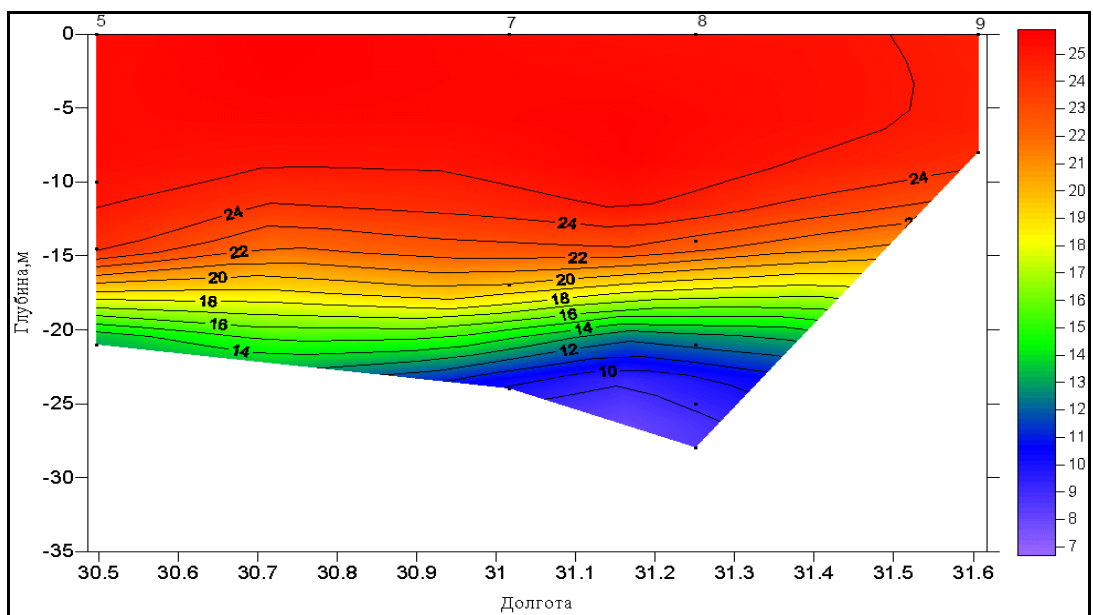


Рисунок 4.8 – Розподіл температури по гідрологічному розрізі через ФПЗ з 17 по 19 серпня 2017 року



Діапазон коливань температури морської води на полігоні ФЗП у серпні 2017 року перебував в межах від 25,4 °С до 8,6 °С. Верхній квазіоднородний шар із середньою температурою 25,0 °С спостерігався до глибин від 12,0 м до 13,0 м. Відзначимо, що температура верхнього шару була на два градуси вище липневої. На більш глибоководних станціях № 6 і № 8 зберігся придонний однорідний шар товщиною 8,0 м та 15,0 м, відповідно.

Відразу під верхнім однорідним по температурі шаром води розташовувався шар термокліна. Верхня межа якого фіксувалося при проходженні зондом шару води з температурою 24,0 °С. Максимальний вертикальний градієнт температури відзначений на ст. 5 і склав 3,4 °С на метр. Нижня межа термокліна опустилася до глибин від 22,0 м до 23,0 м. На станції 5, глибина якої менше зазначених, нижня межа термокліна перебувала у самого дна. Подібна ситуація може активувати процеси утворення придонного гіпоксії у вересні. Мінімальне значення кисню 4,38 мл/л відзначено на станції № 7 в придонному шарі.

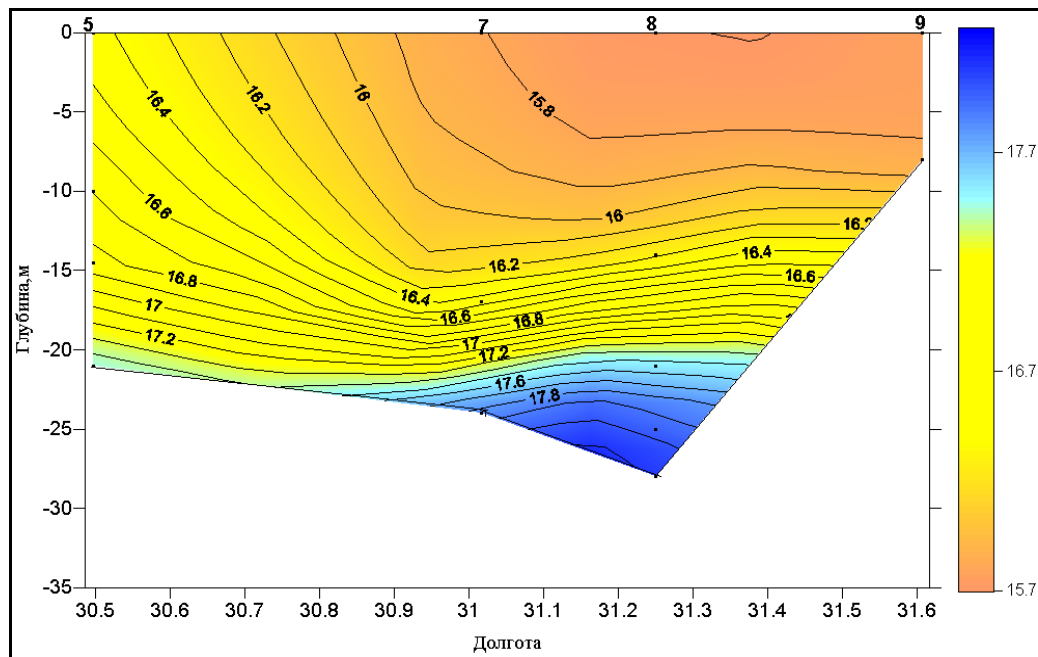


Рисунок 4.9 – Розподіл солоності морської води по гідрологічному розрізу через ФПЗ з 17 по 19 серпня 2017 року

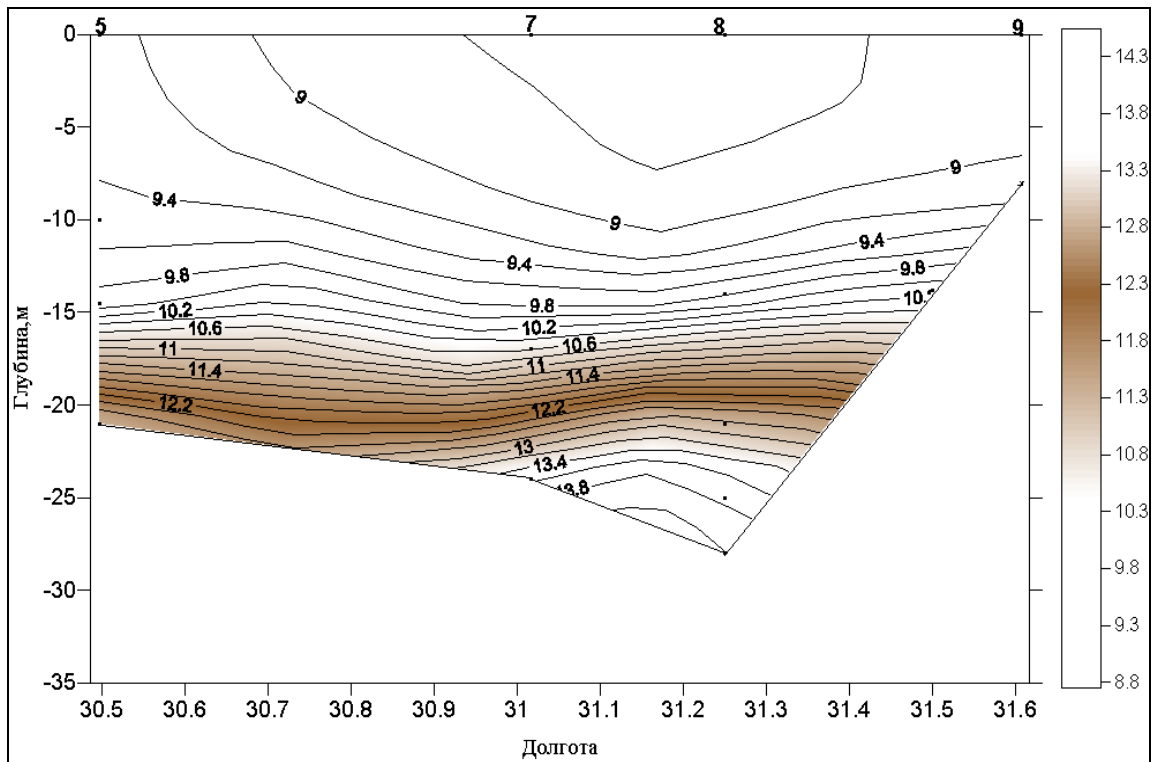


Рисунок 4.10 – Розподіл щільності морської води по гідрологічному розрізу через ФПЗ з 17 по 19 серпня 2017 року

Солоність морської води на робочому полігоні змінювалася в межах від 15,8 ‰ до 18,1 ‰. Верхній 20 метровий шар води, традиційно для літнього сезону, займали шельфові води з солоністю до 17,5 ‰. Верхня межа шару галакліну залягала глибше ніж верхня межа шару термокліна і коливалася на п'ятнадцяти метровій глибині. На більш глибоких станціях № 6 і № 8 зберігався придонний однорідний шар (рисунок 4.9). Максимальне значення вертикального градієнта солоності 0,36 ‰ на метр глибини відзначено на ст. 7 в придонному шарі. Очевидно, що морська вода, розташована на глибинах нижче від 22,0 м до 23,0 м належить до поверхневої водної маси відкритого моря.

Розподіл солоності в верхньому шарі не настільки однорідно, як по температурі. Це пов'язано з тим, що на величину солоності впливає процес взаємодії двох водних мас (річковий і морський) мають різний генезис і різні стартові характеристики. На рисунку 4.13 представлено розподіл солоності в

поверхневому шарі. Чітко видно вихід трансформованих дунайських вод на ст. 4 з солоністю 11,5 ‰ і Дніпробузькому вод на ст. 10 з солоністю 13,2 ‰.

Температура верхнього шару води, в центральній частині ПнЗШ Чорного моря, в основному формується під впливом одного джерела, а саме від величини сонячної радіації, яка забезпечує досить рівномірне прогрівання по всій водній поверхні. В масштабах ПнЗЧМ енергія тепла, що надходить в море від сонячної радіації, розподіляється по всій акваторії практично рівномірно і цим пояснюється рівномірний прогрівання верхнього шару води на ФПЗ.

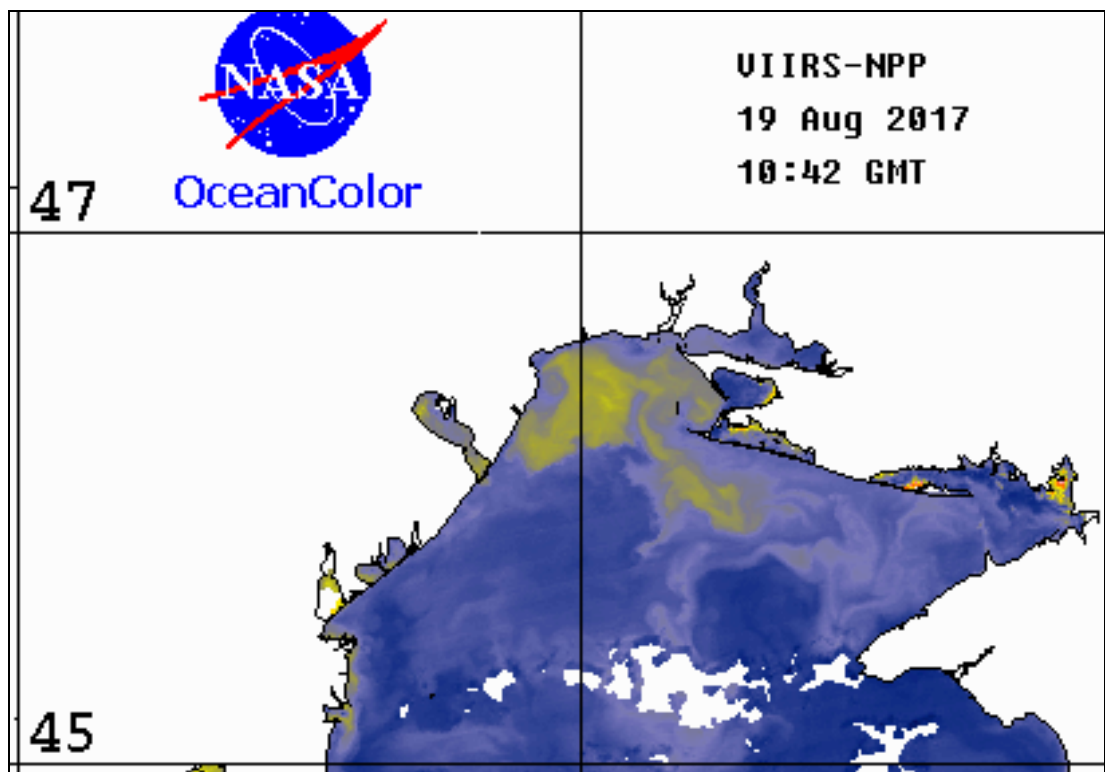


Рисунок 4.11 – Цвітіння і основні циркуляційні процеси перемішування вод верхнього шару отриманому в системі AERONET 19 серпня 2017 року

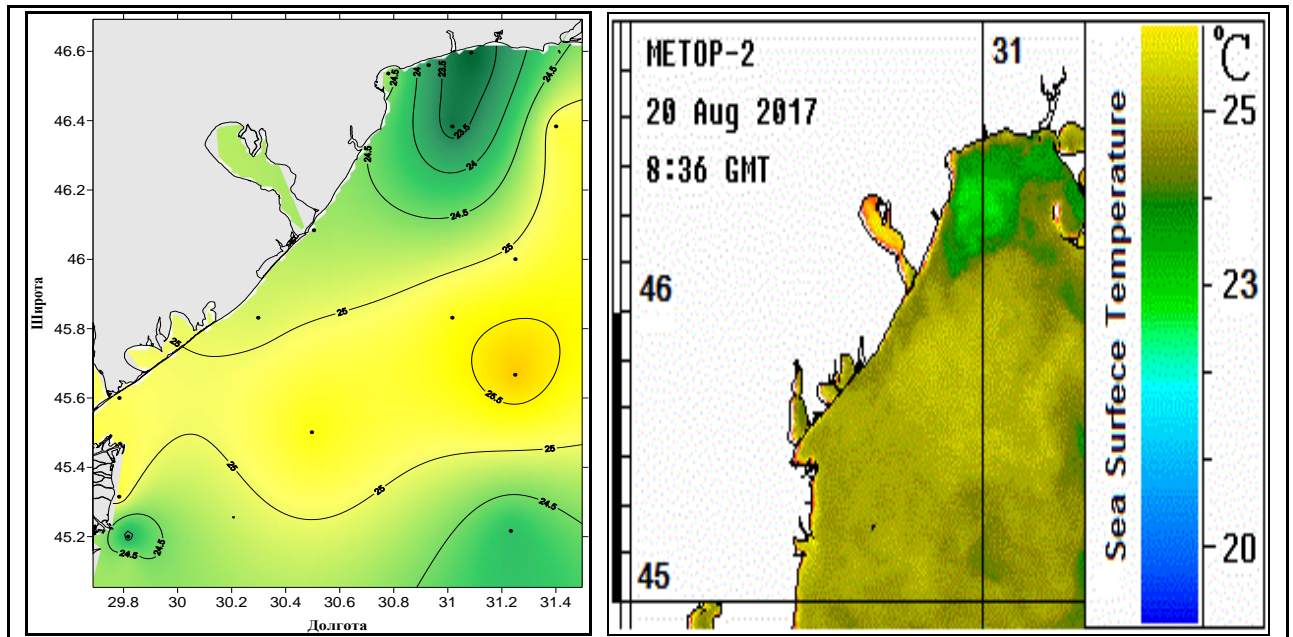
Площа цвітіння і основні циркуляційні процеси перемішування вод верхнього шару можна оцінити по візуальному знімку, отриманому в системі

AERONET 19 серпня 2017 року (див. рисунок 4.7). Динамічні потоки добре видно так само в полі системи RRS\_555 (рисунок 4.11). За розподілом коколідофорід з діатомових і синьо-зелених водоростей. Чітко простежується їх вихід в південному напрямку в район континентального схилу, де вони залучаються до системи кругообігів. Справа проглядається зона у вигляді грибовидного течії з поніженим значенням яскравості пов'язана з затоком вод відкритого моря з меншими концентраціями коколітофорід. Добрими індикаторами динамічних процесів на знімках, так само є потоки Дунайський вод, що виходять з рукавів дельти. За рахунок більшої кількості зваження часток смороду за кольори відрізняються від морської води, и однозначно ідентифікуються на знімках и сканованих збережених. На знімку видно, що стічні води Дунаю поширювалися в південному напрямку вздовж узбережжя Румунії. Це пояснюється тим, що в період попередній виконання робіт і під час їх проведення реєструють постійні вітри ПнПнС румбів. Вони і сформували вітрові дрейфові течії південного напрямлення.

Здалось цікавим зіставити карту розподілу температури води на поверхні, побудовану за результатами судових спостережень, з зображеннями, отриманими в результаті обробки інформації від сканерів штучні супутників землі (ШСЗ). На рис представлені карти розподілу температури і солоності морської води в період проведення робіт.

Незважаючи на те, що кількість станцій було невеликим, і виконувалися вони в період з 16 по 30 серпня, а супутникове зображення формується протягом двох годин, порівняння їх показує якісний збіг. Для ілюстрації цього нами вибрано супутникове зображення поля температури від 20 серпня (рисунок 4.12). Полевою карта виконана з використанням шкали кольоровості супутника. В цей час експедиційні роботи проводилися в районі північного узбережжя і Одеській затоці. Вихід на поверхню щодо холодних вод (апвелінг) в ПнС частині добре видно на обох малюнках.

У центральній частині ТПШ в цей період практично була однорідною.



- а) розподіл температури на поверхні води північно-західного шельфу Чорного моря (ПнЗШЧМ);  
 б) відскановане зображення поля температури води ПнЗШЧМ.

Рисунок 4.12 – Гідрологічні зйомки з 16 по 30 серпня 2017 року та відскановане зображення поля температури води ПнЗШЧМ 20 серпня 2017 року, отримане з ШСЗ

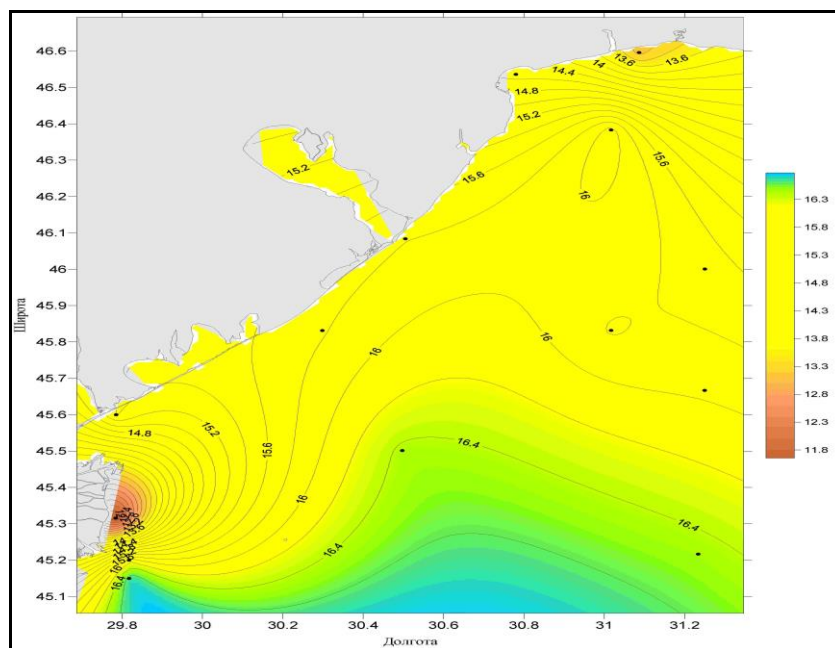
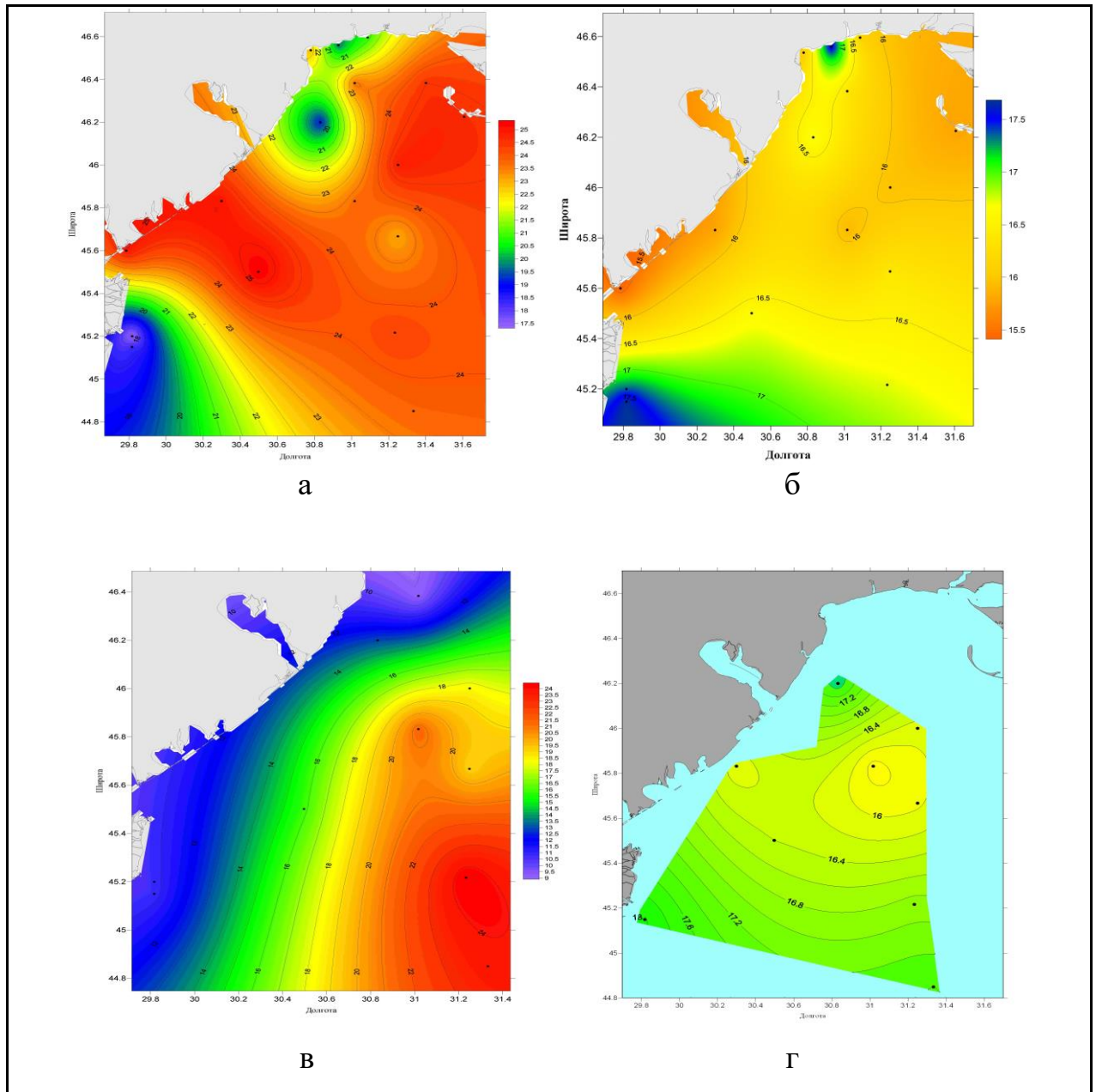


Рисунок 4.13 – Карта розподілу солоності морської води у поверхневому шарі



- а) температура води на горизонті 7 м;  
 б) солоність морської води на горизонті 7 м;  
 в) температура води на горизонті 20 м;  
 г) солоність морської води на горизонті 20 м.

Рисунок 4.14 – Карти розподілу температури та солоності морської води на горизонтах 7 м та 20 м

Розподіл температури на горизонті 7 м показує, що як і на поверхні в центральній частині вода прогрілася рівномірно, за винятком придунайського



і ПнС району, де в результаті дії апвеллінгов сталося підняття щодо холодних вод.

Горизонт сім метрів обраний нами з метою збереження інформації отриманої на мілководних (глибина до 8,0 м) станціях і таким чином забезпечити більш повну картину просторового розподілу температури і солоності води. На горизонті 20,0 м під шаром термоклину чітко простежується розпріснений і відносно теплий шар з поступовим зниження температури і зростанням солоності у бік берега.

При такому розподілі термохалиної структури поле щільності формується характерним для циклональної циркуляції (рисунок 4.14).

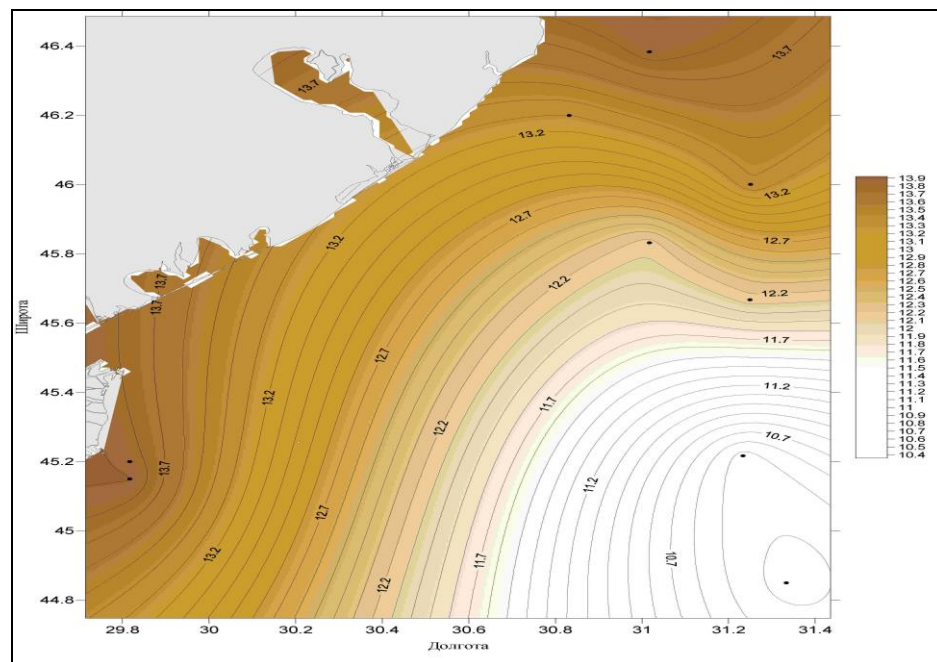


Рисунок 4.15 – Карта розподілу щільності на горизонті 20 м

Програма експедиційних робіт в серпні передбачала так само проведення комплексних спостережень на станціях розташованих в прибережній зоні ПнЗШЧМ. Практично всі станції знаходилися в одномільній зоні на глибина близько від 8 м до 10 м і в різні водних прибережних масивах.

Температура і солоність води на прибережних станціях №№ 1, 2, 3 розташованих в районі межиріччя і ст. 9 біля Кімбурской коси, не змінювалася від поверхні до дна. В результаті інтенсивного перемішування, термогалінная структура вод на цих станціях носила однорідний характер.

На станціях біля північного узбережжя №№ 10, 10-А, 11 термогалінная структура формувалася під впливом распресненних вод Дніпро-Бузького лиману і більш солених і менш обогщенних киснем вод, що піднялися з нижніх горизонтів, в результаті дії апвеллінга (див. рисунок 4.17). Треба відзначити що за супутникової інформації з 30 серпня апвелінгу відзначені в районі Дворіччя і гирла Дунаю. Отже можна припустити про перебудову термогалінной структури в цих районах. Ще раз ми отримали підтвердження, про те що роль апвелінг в формування гідрологічної структури вод прибережної зони ПнЗШЧМ дуже значна. Апвелінг, вздовж усього узбережжя ПнЗШЧМ, відбуваються регулярно з року в рік. Місця їх виникнення та "час життя" залежать, перш за все від напрямку, швидкості і часу дії приводного вітру, а так само від конфігурації берегової лінії і особливостей рельєфу дна.

У таблиці представлені кількість днів дії апвелінг в різних районах ПнЗЧМ за період з 01 червня по 31 серпня 2017, які виявили себе в поле ТПШ. З таблиці видно, що найбільший вплив апвеллінгів в літній період 2017 року були не схильні до райони Одеської затоки і Кімбурской коси. Апвелінги були викликані дією вітрів Пн, ПнС румбів, що мають перевагу в цей період року.

Таблиця 4.4 – Кількість днів життя апвелінгу в районах ПнЗЧМ за період з 1 червня по 31 серпня 2017 року за даними ШСЗ

Тендровский	Кинбургський	Пн. Узбережжя	Одеський залив	Межиріччя	Дунайський
49	17	39	49	31	27



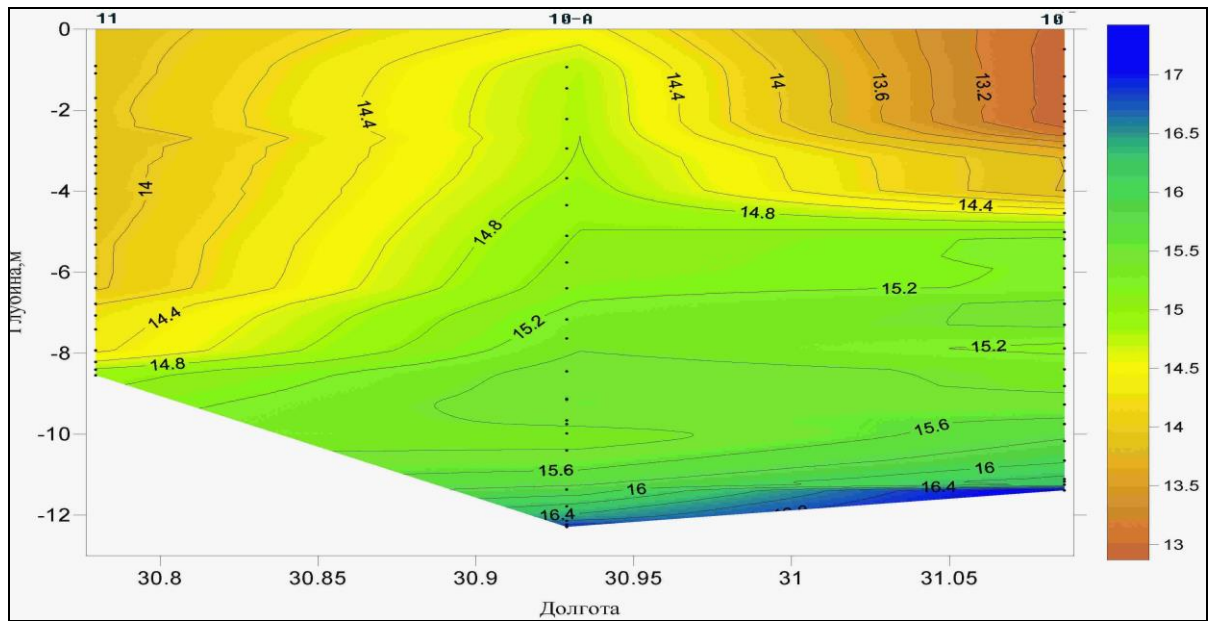
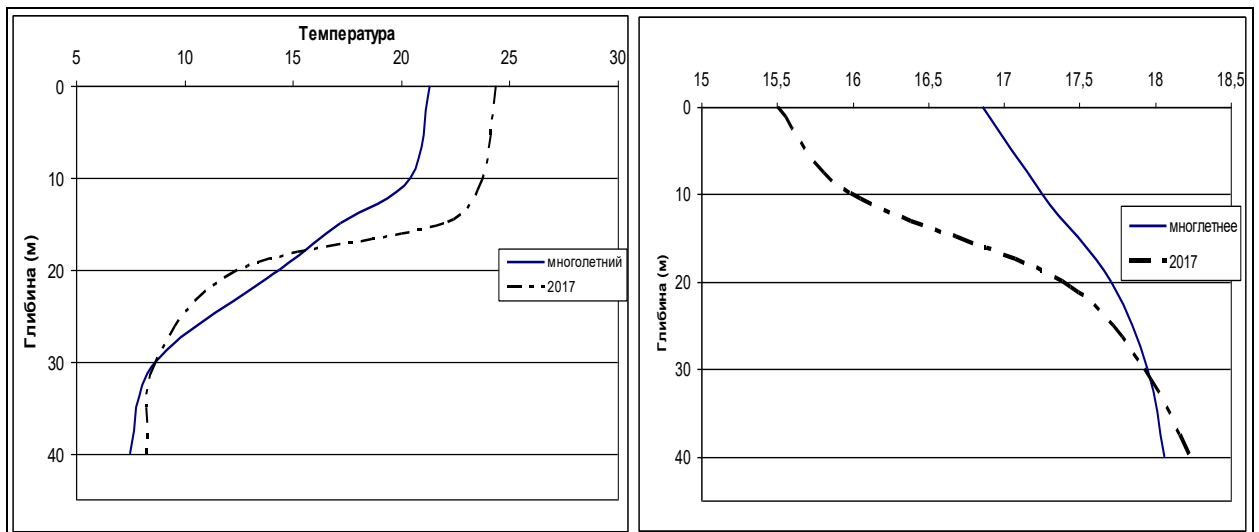


Рисунок 4.16 – Розподіл солоності на розрізі уздовж північного узбережжя ПнЗШЧМ 20.08.2017 за даними гідрологічного зонду



- а) температура води;  
б) солоність морської води.

Рисунок 4.17 – Вертикальний розподіл температури і солоності морської води в зоні змішання ПнЗЧМ осередненніе за річний період з 1990 по 2005 роки (суцільна лінія) і за даними експедицій (липень-серпень) за 2017 рік (пунктирна лінія)

За графіками представленим на рисунку 4.17 можна, охарактеризувати особливості гідрологічної структури 2017 року порівняно з багаторічними даними отриманими на судах УкрНЦЕМ з 1990 по 2005. роки і зоні змішання.

Для розподілу температури характерно підвищення в верхньому 15 метровому шарі на 3,0 °C у порівнянні з багаторічними даними. Відсутність суднових експедиційних спостережень за останні десять років не дозволяють зробити остаточних висновків з цього факту, але можна припустити, що підвищення температури поверхневого шару води в літній період пов'язане зі стійким позитивним трендом температури повітря зазначеного за останні десятиліття (див. рисунок 4.17).

Солоність морської води в верхньому 25 метровому шарі була нижче, ніж багаторічна.

Очевидно, що в 2017 році в зоні змішання ПнЗЧМ в період проведення робіт домінували ШВ.

#### **4.4 Гідрофізична ситуація на полігоні «Дунайський», в період з 07 по 11 листопада 2017 року**

Зйомка полігону «Дунайський» проводилася на завершальній стадії календарної осені, але при відносно теплих погодних умовах. Через несприятливі вітрових умов роботи виконувалися в два етапи з 07 по 11 листопада. На першому етапі були виконані 4 станції (№№ 10-1, 7-2, 7-1 і 7) (див. рисунок 4.18). Розподіл елементів побудовані без урахування зсуву у часі.

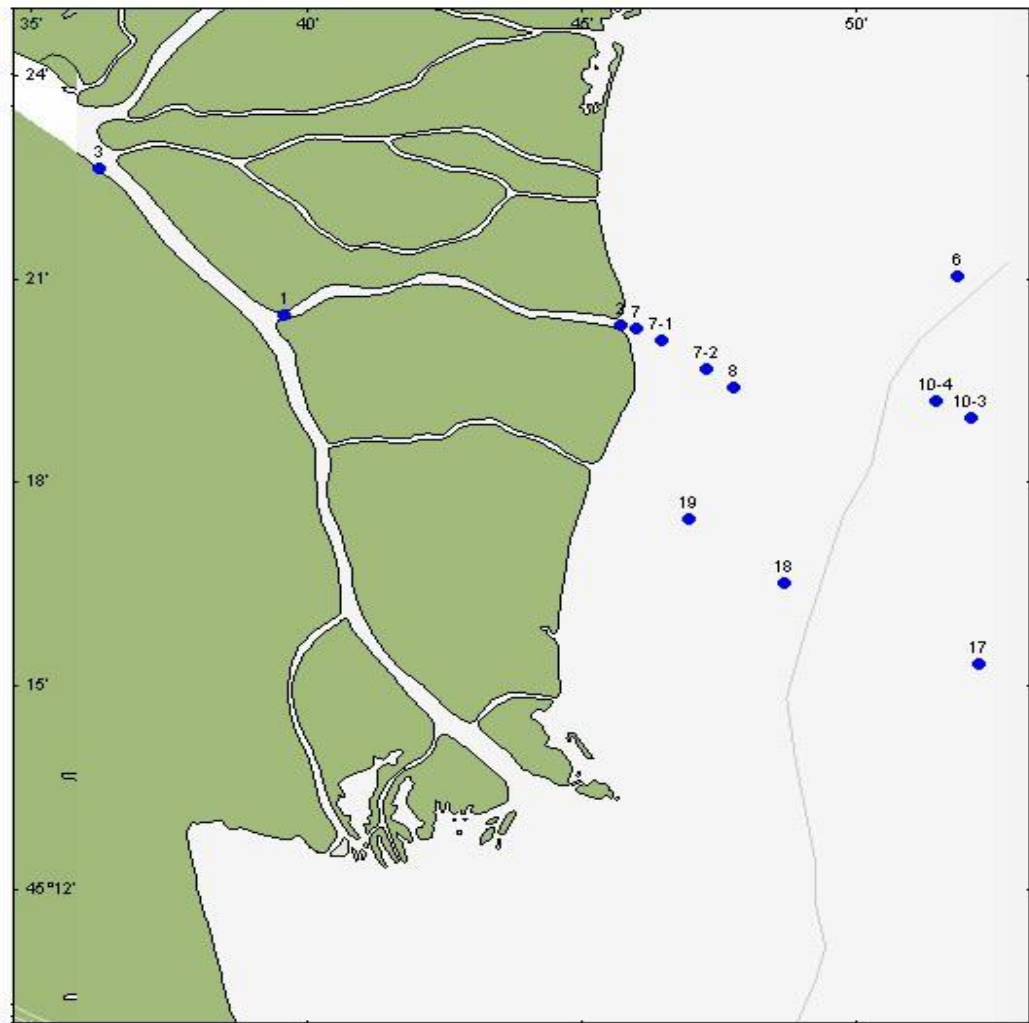
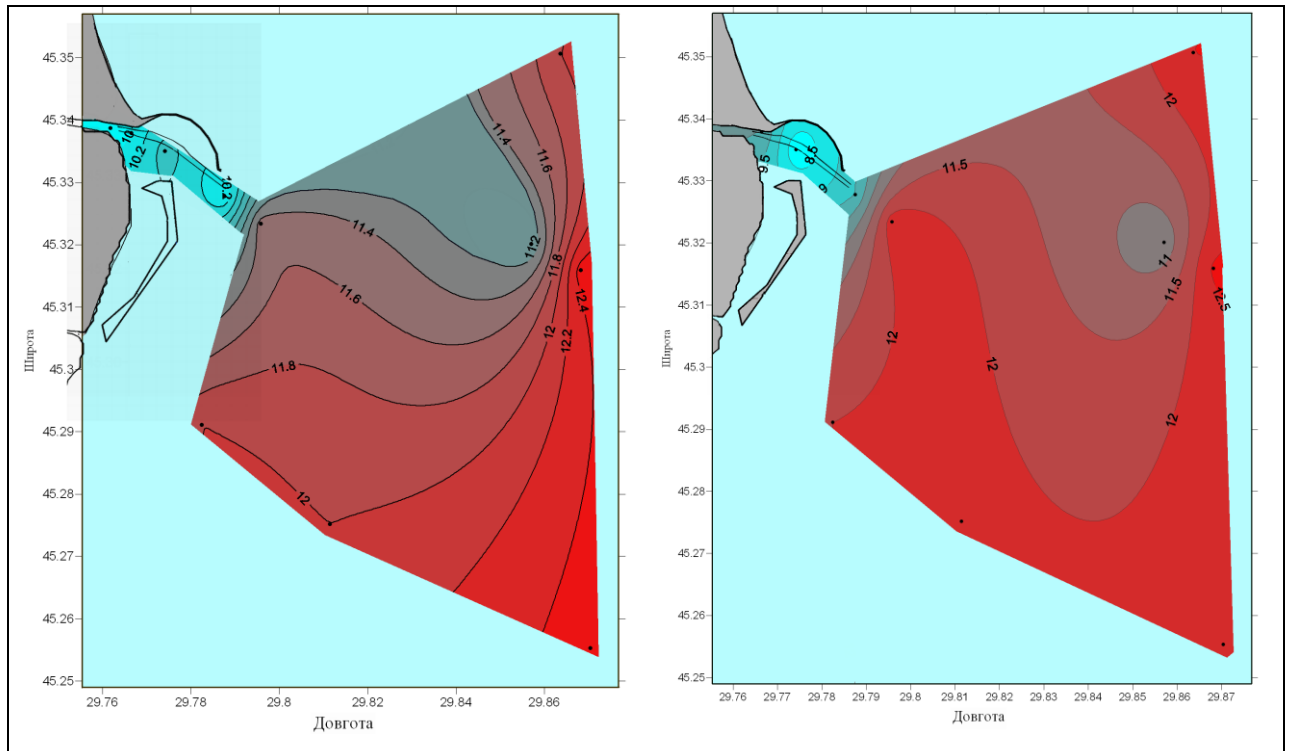


Рисунок 4.18 – Схема робіт на полігоні «Дунайський» з 7 по 10 листопада 2017 року

Термічний режим області полігону визначався відносно низькою температурою вод річкового стоку від 10,0 °С до 10,2 °С, що займали всю барову частина і трохи більше теплих вод у відкритій частині полігону від 11,2 °С до 12,4 °С (див. рисунок 4.19). З півночі у область полігону впроваджувалися води з температурою нижче 11,2 °С.

Температура придонних вод в баровій частині рукава Швидкий виявилася на 1,5 °С холоднішою, ніж на поверхні від 8,5 °С до 9,5 °С (див. рисунок 4.19 (б)). Це свідчить про відсутність в період виконання робіт глибинного протитечії, бо прилеглі води відкритого моря на поверхні і у дна на від 1,0 °С до 2,0 °С вище, ніж в мілководній прибережній зоні.

Відзначається вторгнення більш холодних ( $< 11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) вод з півночі в тому ж районі, що і на поверхневому горизонті.



а

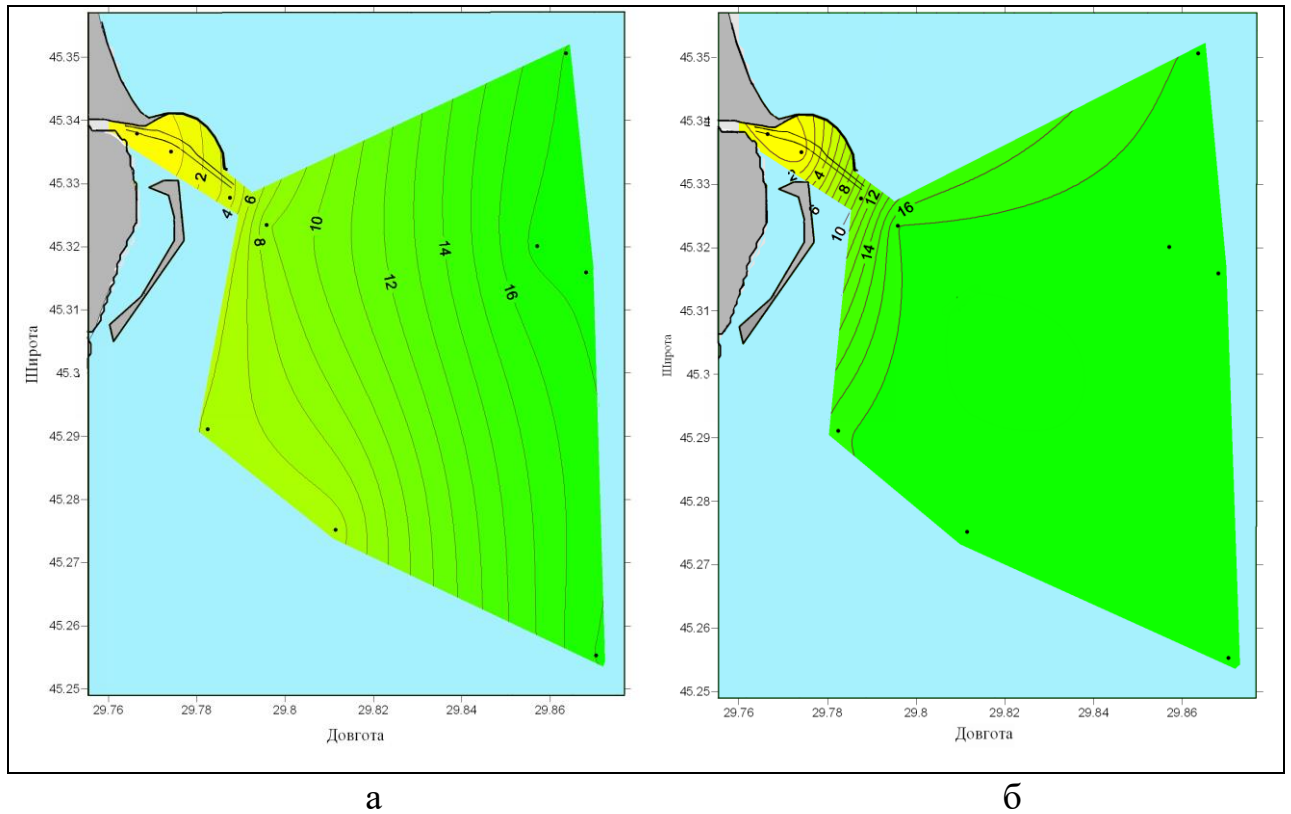
б

а) поверхневий;

б) придонний.

Рисунок 4.19 – Розподіл температури води на горизонтах поверхневий та придонний на полігоні «Дунайський» з 07 по 10 листопада 2017 року

Солоність вод поверхневого шару не проявляє жодних адвективних особливостей і рівномірно збільшується від витoku в гирлі Бистромu до східних кордонів полігону від 17,0 ‰ до 17,3 ‰ (рисунок 4.20). У придонному шарі (рисунок 4.20 (б)) солоність швидко зростає на баровій ділянці і практично однорідна на більшій частині полігону відкритого моря від 17,0 ‰ до 17,3 ‰.



а) поверхневий;

б) придонний.

Рисунок 4.20 – Розподіл солоності води на горизонтах поверхневий та придонний на полігоні «Дунайський» з 07 по 10 листопада 2017 року

Спостерігається повна термохалинна однорідність вод по вертикалі в крайніх східних районах полігону, характерна для пізнього осіннього періоду року в районах зі слабкою адвекцією річкових вод.

## **5 ГІДРОФІЗИЧНІ УМОВИ В ЧОРНОМУ МОРІ В СЕРПНІ- ВЕРЕСНІ 2017 РОКУ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВИХ І ЕКСПЕДИЦІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

Відповідно до Директиви ЄС по морській стратегії, в 2017 році співробітниками УкрНЦЕМ були продовжені експедиційні роботи щодо поліпшення моніторингу навколишнього середовища в Чорному морі.

Основними цілями експедиційних робіт були:

- а) Відпрацювання методології морського екологічного моніторингу відповідно до європейських норм і стандартів;
- б) Оцінка стану морської екосистеми ПнЗШ і глибоководної частини Чорного моря в сучасних умовах антропогенного впливу і кліматичних змін.

Виходячи з поставлених цілей, визначених науковою тематикою, в ході експедиційних досліджень, зокрема, вирішувалися такі наукові завдання:

- 1) Проведення моніторингових досліджень по фізичним, хімічним і біологічним індикаторів стану морського середовища відповідно до MSFD і WFD;
- 2) Оцінка інтенсивності попередньої зимової вертикальної конвекції і характеристик холодного проміжного шару (ХПШ);
- 3) Оцінка проникнення шельфових вод в область холодного проміжного шару;
- 4) Вплив гідродинамічних факторів на розподіл гідрологічних, гідрохімічних і гідробіологічних характеристик водного середовища;
- 5) Поповнення бази даних екологічного моніторингу.

На рисунок 5.1 представлена схема розташування виконаних станцій і маршрут рейсового переходу. Всі станції представлених розрізів були виконані послідовно на прямому переході від Одеського порту (Україна) до Батумського порту (Грузія) в період з 29 серпня по 03 вересень 2017 року. Станції першого з розглянутих розрізів були виконані у період з 29 по 30

серпня.

Для ідентифікації поверхневих структур, які перетинали виконані розрізи, на рисунок 5.2 представлені їх суміщені схеми з деякими океанографічними і біологічними поверхневими розподілами. Частина перетинаються районів епізодично перебувала в областях суцільного хмарного покриву і не може бути ідентифікована за структурам поверхневих полів.

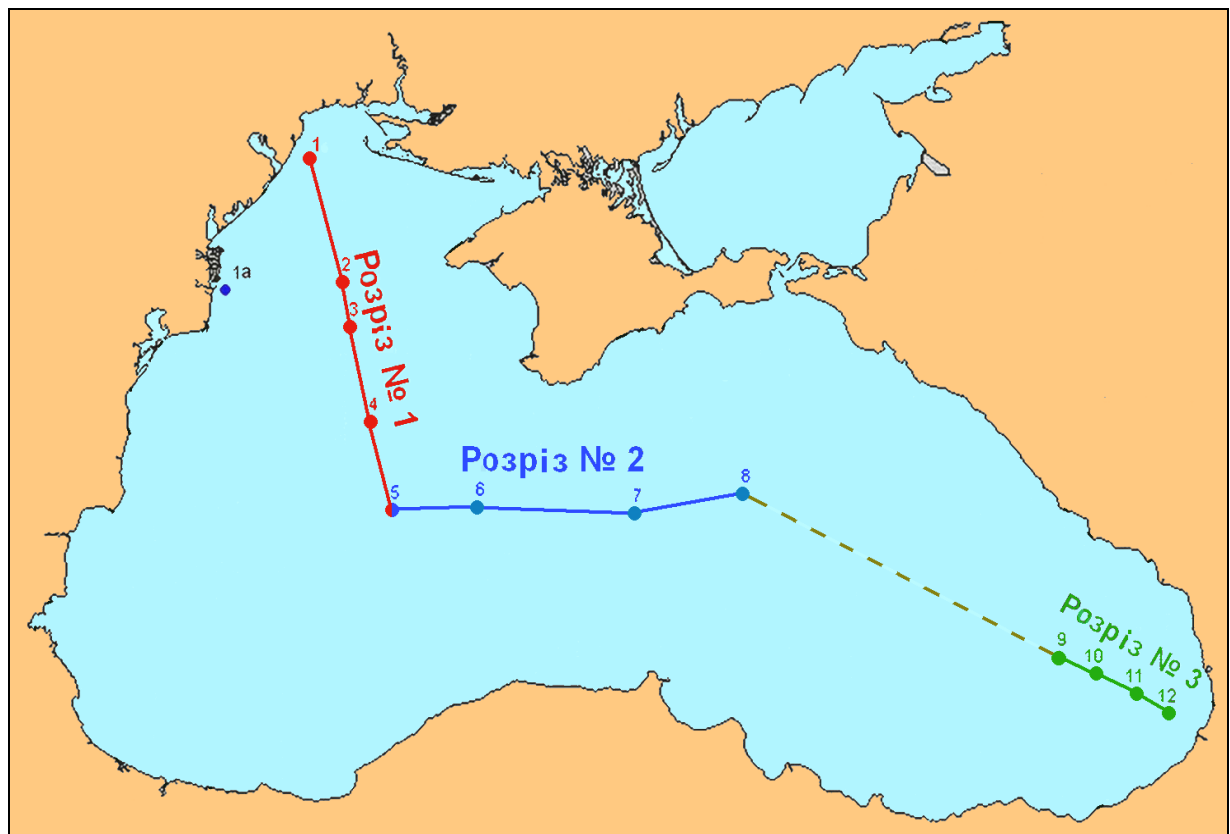


Рисунок 5.1 – Схема розташування станцій гідродинамічної обстановки району проведення робіт з 29.08.2017 по 01.09.2017

Оскільки гідродинамічні характеристики водного середовища можуть координально вплинути на концентрації і межі розповсюдження того чи іншого гідрохімічного або гідробіологічного параметра, ми вважали за необхідне на початку описати за супутниковими даними гідродинамічну ситуацію району в період проведення робіт.

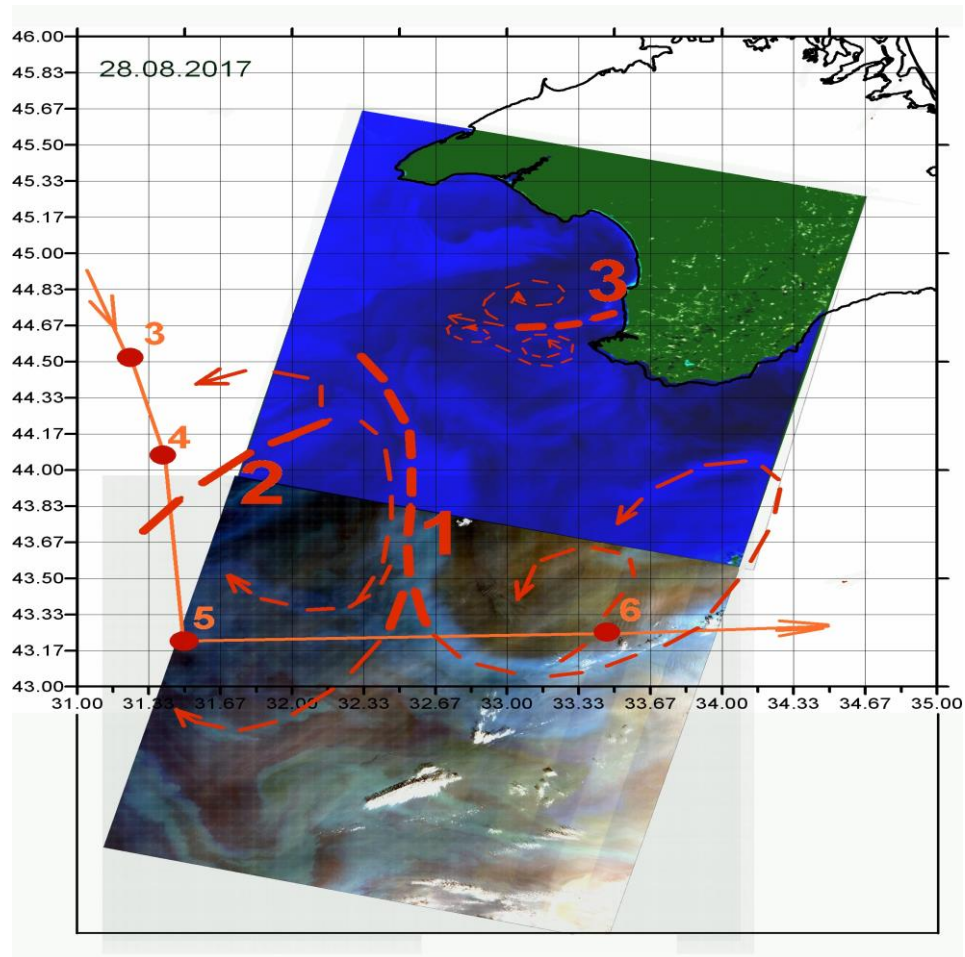
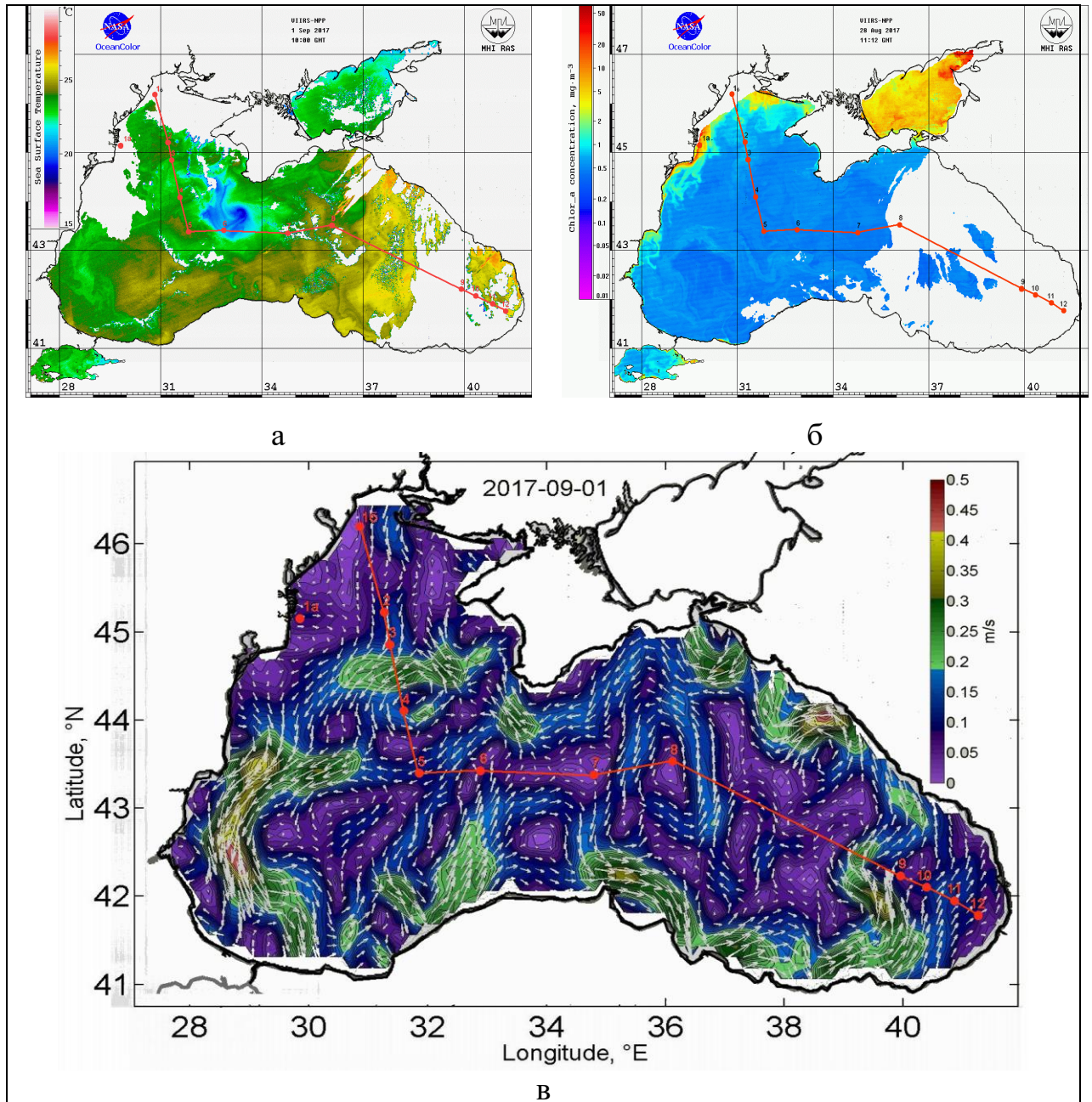


Рисунок 5.2 – Поєднані супутникові знімки в області  
Континентального схилу на ПнЗ від півострова Крим

Найбільш складна термічна і динамічна обстановка в період робіт відзначалася в області континентального схилу на ПнЗ від півострова Крим, (в Пд частині розрізу №1 і в З - розрізу № 2). Поєднані супутникові знімки дають можливість (рисунок 5.2) виділити в цьому районі три взаємопов'язаних грибоподібних утворень: С з осовою лінією стрижня від ПнПнС і західного з віссю стрижня від захід-південо-захід (ЗПдЗ) напрямки. Уздовж «ніжки» першого грибовидного освіти виносяться в центральні області моря холодні води (менше 20,0 °С), які були утворені в районі мису Херсонес в попередній період сильного апвеллінга у ПдЗ берегів Криму. Третє, меншого масштабу, з віссю спрямованою на З і підставою на півдні Каламітської затоки.





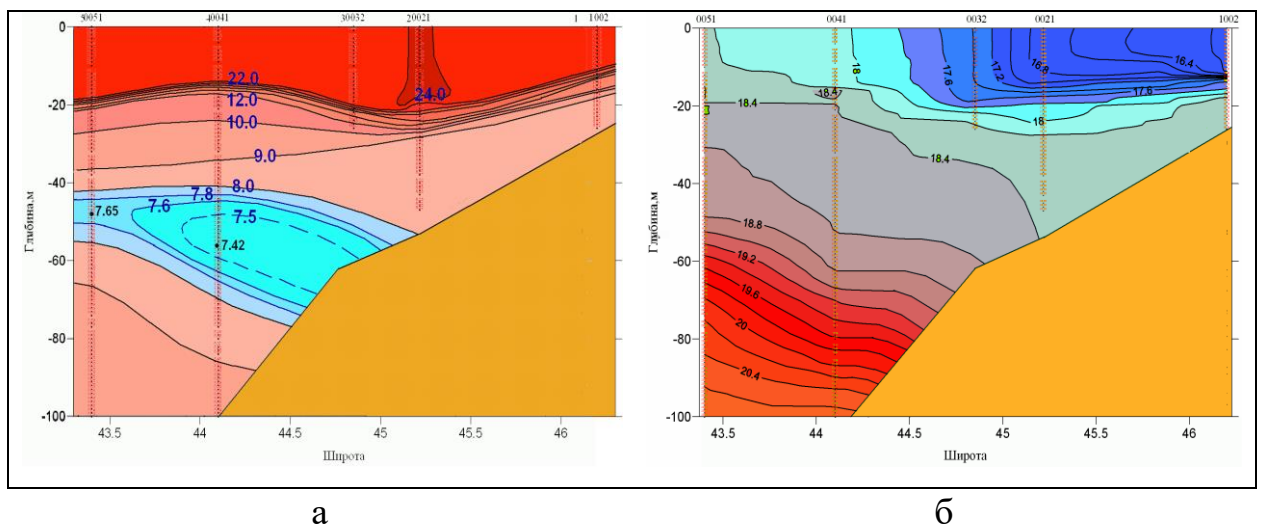
- а) температура води;  
 б) хлорофіл – *a*;  
 в) геострофічні поверхневі течії.

Рисунок 5.3 – Положення розрізів, накладених на супутникові карти поверхневих розподілів 28.08.2017 і 01.09.2017. За даними МГІ

## 5.1. Спостереження в області континентального схилу північно-західного шельфу

Станція № 4 (розріз № 1) була розташована в циклонічній, а станція №5 в антициклонічній гілці шапки західного грибовидного утворення. При цьому наявність Севастопольського вихору, не відзначалося. У місці його звичайного місця розташування в період робіт встановився розглянута вище циклонічна структура.

На рисунку 5.4 представлені вертикальні розподілу температури (рисунок 5.3) і солоності (рисунок 5.3 (б)) води до глибин 100 м на розрізі №1



а) розподіл температура води;

б) розподіл солоність морської води.

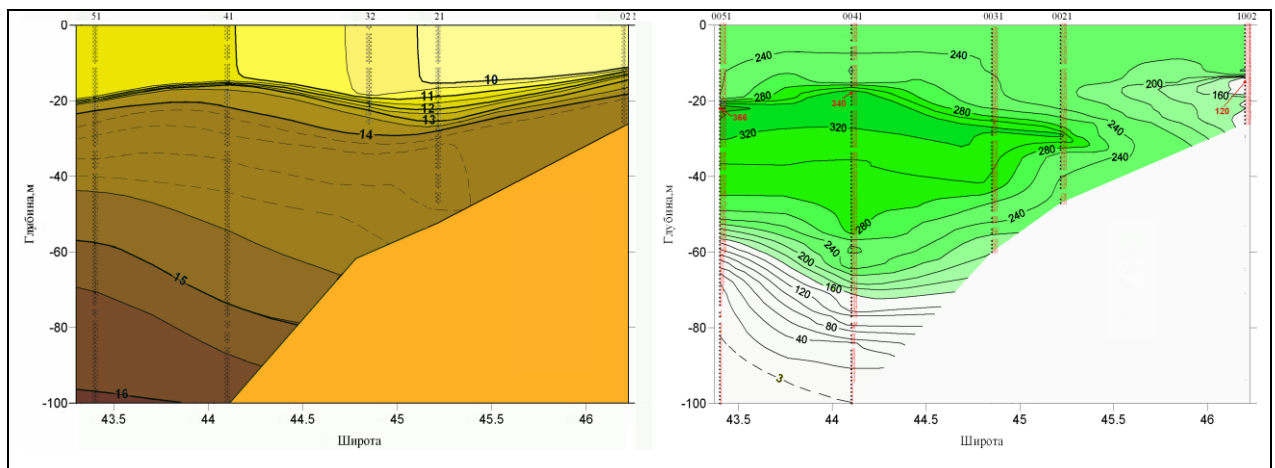
Рисунок 5.4 – Вертикальний розріз через континентальний схил на ділянці ПнЗШЧМ відкрита частина моря (розріз № 1)

Розподіл солоності вказує на те, що верхній 20 метровий шар до континентального схилу займали шельфові води, з солоністю нижче 17,5 ‰ і

мінімальним значенням 16,2 ‰ на ст.1. Глибина їх поширення обмежувалася верхнім шаром пікноклину.

З розподілу температури стає очевидним, що за наявності поверхневих проявів динамічних утворень відповідальна тільки термічна складова верхнього 40 метрового шару води. Нижче ізолінії обох параметрів опускаються на північ і впираються у континентальний схил, ідентифікуючи тим самим наявність підповерхневого струменя Основна Чорноморська течія з напрямку.

Попередня зима 2016-2017 рр. за значенням інтегральної суми температур нижче 5,0 °С була на рівні кордону між нормальними і м'якими зимами, але холодніше, ніж 4 попередні зими. І, якщо, в літній період 2016 року температура вод ХПШ не опускалася нижче значення 8,27 °С, то зимовий формування вод ХПШ в попередню зиму привело до опускання температури вод проміжного шару майже на 1,0 °С (за даними розглянутого розрізу до мінімального значення 7,42 °С).



а

б

а) розподіл щільності води;

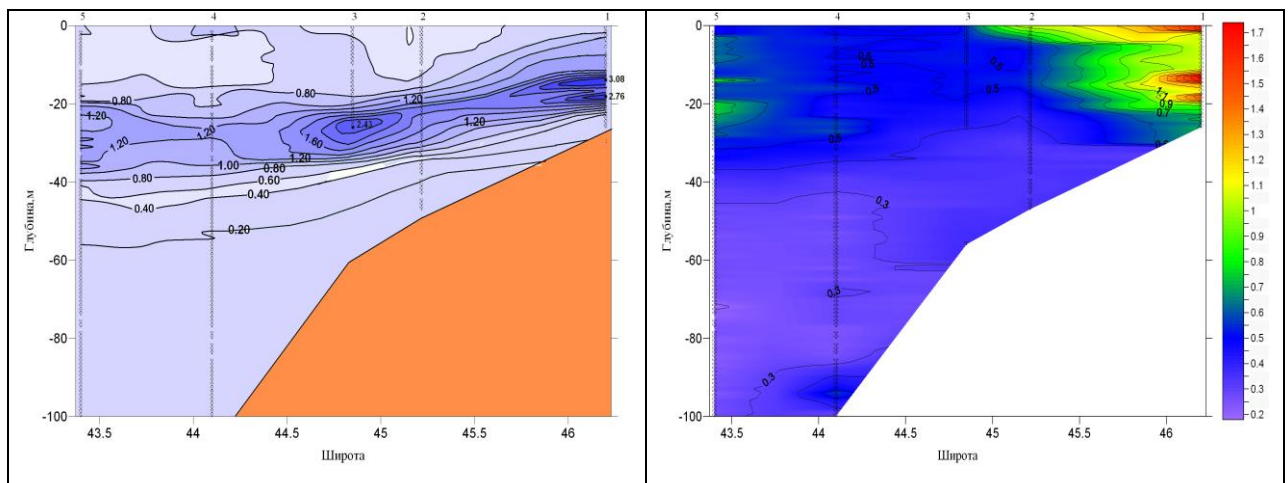
б) розподіл розчиненого у воді кисню.

Рисунок 5.5 – Вертикальний розріз через ділянку континентального схилу від ПнЗШ до центру західної половини Чорного моря (розріз № 1)

Сезонний термоклин щільності (див. рисунок 5.4 (а)) розташовувався на глибині від 15,0 м до 30,0 м і обумовлювався як термічною (на всьому розрізі, див. рисунок 5.3 (а)), так і халинною складовою (тільки в Пн мілководній половині розрізу, рисунок 5.3 (б)).

У нижній частині стрибка щільності і безпосередньо під ним, у шарі від 20,0 м до 50,0 м розташовувався шар кисневого максимуму (див. рисунок 5.4 (б)) з екстремальними значеннями на двох Пд станціях 340,0  $\mu\text{м/л}$  та 366,0  $\mu\text{м/л}$ .

Зворотна картина спостерігається на ст.1 у ПдЗ секторі Одеської улоговини, розташованій в районі помітного впливу, розпріснених вод Дніпробузького лиману. Характерною особливістю вертикального розподілу кисню, на якій є наявність добре вираженого кисневого мінімуму, розташованого під шаром сезонного пікнокліну. Тут значення розчиненого кисню склали 120  $\mu\text{м/л}$  або 41% насичення. Це свідчить про початок предгіпоксійних процесів в проміжному шарі. [4]



а

б

а) хлорофіл – *a*;

б) каламутність.

Рисунок 5.6 – Розподіл хлорофілу - *a*,  $\text{мг/м}^3$  та каламутності на розрізі № 1

Там же на ст. 1 зазначено максимальне значення концентрації хлорофілу - *a* 3,08 мг/м<sup>3</sup>. Шар з підвищеними концентраціями змісту хлорофілу - *a* простежується під пікноклину протягом усього розрізу.

У розподілі значень показника каламутності, так само позначаються зони впливу Дніпробузькому вод і вод відкритої частини моря. Максимальні значення припадають на ст.1

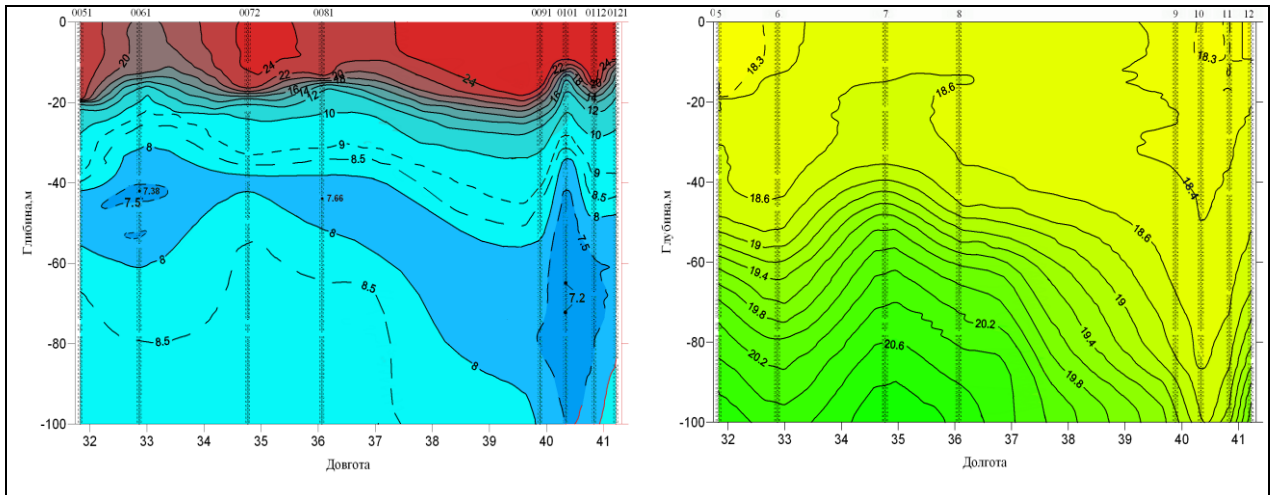
## 5.2. Спостереження у центральній частині Чорного моря у вересні 2017 року

Океанографічні спостереження в області відкритого моря виконувалися в період з 30 серпня по 3 вересня.

Термічне стан вод верхнього квазіоднородного шару характеризувався значним просторовим перепадом температур. Найнижча температура води відзначалася на станції № 6, розташованій в області шапки раніше описаного східного грибовидного утворення. У центральному стрижні утворення течіями південного напрямку виносилися дуже холодні, для даного сезону і району, води. За даними вимірів, температура води на цій станції в верхньому шарі склала  $19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рисунок 5.7 (а)), а глибина їх поширення склала 20,0 м., Горизонтальна протяжність потоку на південь становила порядку 70 миль саме ж грибоподібне утворення простежувалося за супутниковими даними протягом десяти діб до 5 вересня, потім трансформувалося в циклонний вихор.

Екстремум найнижчої температури води в області ХПШ відкритого моря знаходився в центральній частині західної його половини і становив мінус  $7,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Далі на схід у відкритому морі виражених осередків накопичення холодних вод не відзначалося. І тільки в області інтенсивного Батумського антициклонічного вихору (станція № 10) виявлялося саме велике ядро, де відбувалося накопичення вод ХПШ. Значення температури в центрі ядра було мінімальним для всієї галузі дослідження за маршрутом переходу мінус  $7,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .





а

б

а) температура;

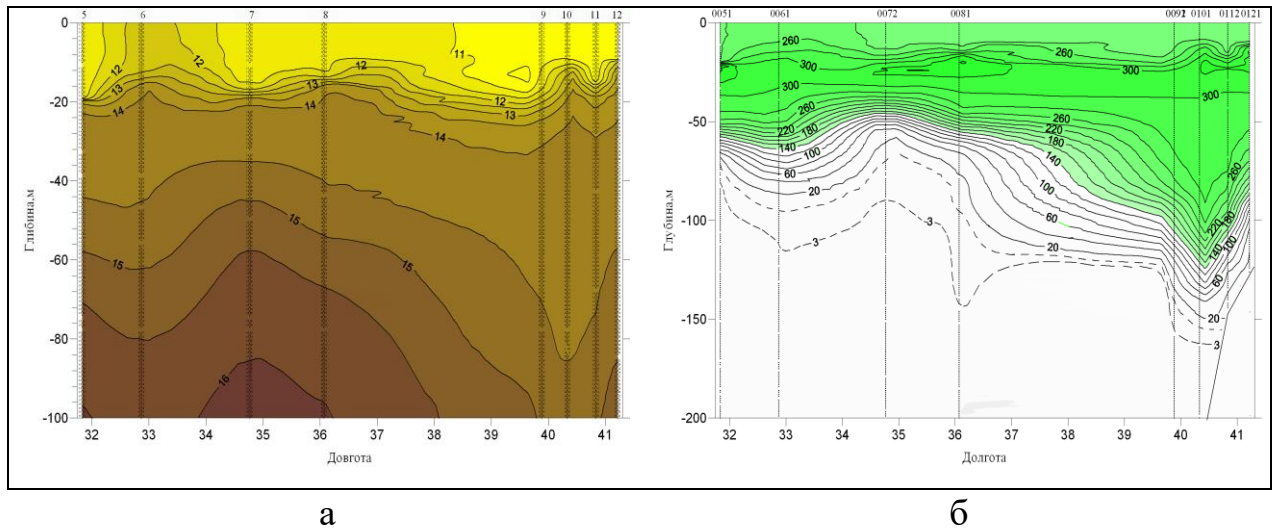
б) солоність води.

Рисунок 5.7 – Розподіл температури, солоності морської води на вертикальному розрізі через середину частина Чорного моря (розріз № 2 та 3)

За термічними даними динамічна система вихору на горизонті приблизно 70,0 м, як би поділялася по вертикалі на дві структурні області: перша область була глибинна антициклонічною, друга область була приповерхнево - циклонічною. У першій структурі води ядра ХПШ опускалися до глибин від 100,0 м до 105,0 м, а у другій 8 градусна ізотерма піднімалася до горизонту від 30,0 м до 35,0 м. Таким чином, вертикальна протяжність ХПШ в області Батумського вихору становила 70,0 м. Слід зазначити, що у верхній динамічній структурі було висловлено і значне підняття розташованого вище сезонного термокліну, зокрема, середньої його частини в середньому з 20,0 м до 10,0 м. Це говорить про енергетичну значущість і цього процесу, імовірно, динамічно компенсуючого антициклонічних глибинну завихореність.

Розподіл розчиненого кисню представлено на рисунку 5.6 (б). Максимуми вмісту розчиненого кисню відзначалися у крайній 3 частині

розрізу 2 (ст. 5) і великий в С від 340,0  $\mu\text{м/л}$  до 360,0  $\mu\text{м/л}$ , ст. 7, 8. При цьому сліди кисню виявлялися на горизонтах від 90,0 м до 110,0 м. В області Батумського вихору нижня межа виявлення кисню була істотно заглиблена і становила від 160,0 м до 170,0 м (ст. №10).



а) щільності води;

б) розчинений у воді кисень.

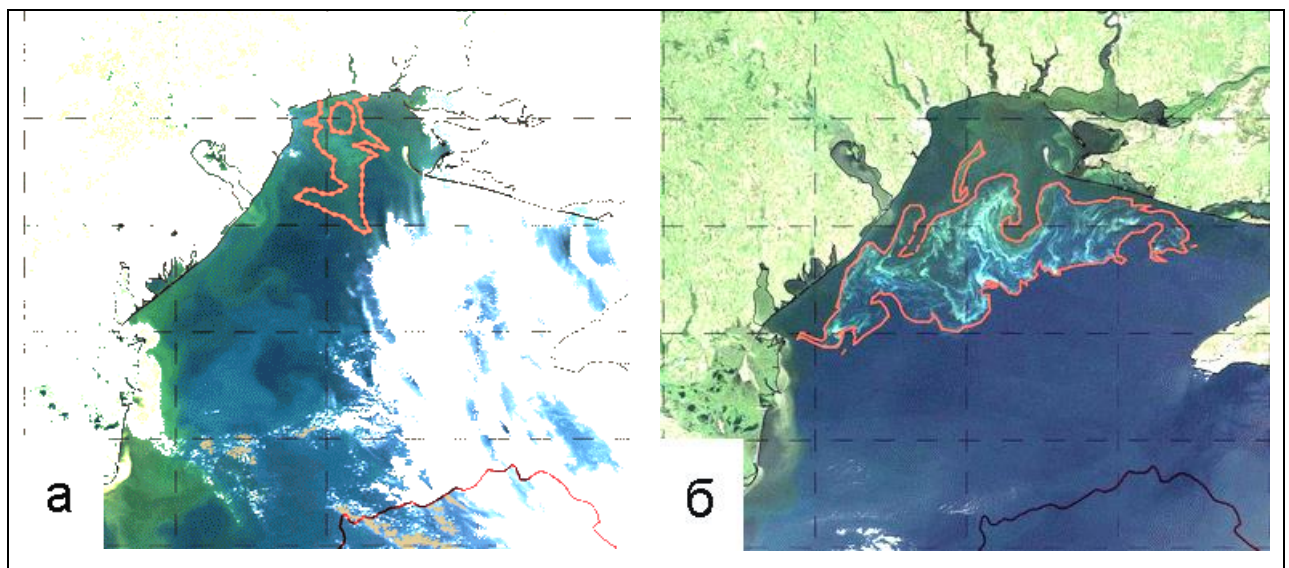
Рисунок 5.8 – Розподіл: щільності води і розчиненого у воді кисню на вертикальному розрізі через центральну частину Чорного моря (розрізи № 2 и 3)



## РОЗДІЛ 6. ДЕЯКІ ФАКТИ ЦВІТІННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ У ЧОРНОМУ МОРІ

У минулі роки зони евтрофікації і цвітіння вод примикали до гирл річок і промислових мегаполісів. В останні роки на значній території відкритих районів Чорного моря відзначалися окремі факти аномального розвитку фітопланктонних спільнот, в тому числі і на акваторії північно-західного шельфу. У наступних підрозділах коротко розглянемо найбільш значимі з них.

### 6.1. Цвітіння фітопланктону *Нодулярія пінонароджена*



а) 29.06.2010;

б) 16.07.2010.

*Примітка 1.* Червоною лінією оконтурени візуально певні області поширення водоростей.

Рисунок 6.1 – Ареали просторового поширення фітопланктону *Nodularia spumigena* на початку сплеску цвітіння - 29.06.2010 і в період максимального поширення по ПнЗШ 16.07.2010. AERONET

В період потужного екстремального прогрівання водної поверхні Чорного моря в літній період 2010 року на ПнЗШ був відмічений випадок розвитку нового виду токсичного фітопланктону *Nodularia spumigena*, який раніше тут не спостерігався. Просторові ареали поширення фітопланктону в періоди двох етапів його розвитку показані на рисунку 6.1.

На основі регулярного моніторингу прибережної зони вод Одеського регіону, який виконується Українським науковим центром екології моря, було встановлено, що в період цвітіння водоростей концентрації Нодулярії приближалися до відмітки від 1 млн. екз/л до 2 млн. екз/л при довжині ниток до 4 мм (до 1000 кл. у одній нитці), біомаса нодулярії складала від 200 мг/л до 400 мг/л, а в окремих точках до 900 мг/л.

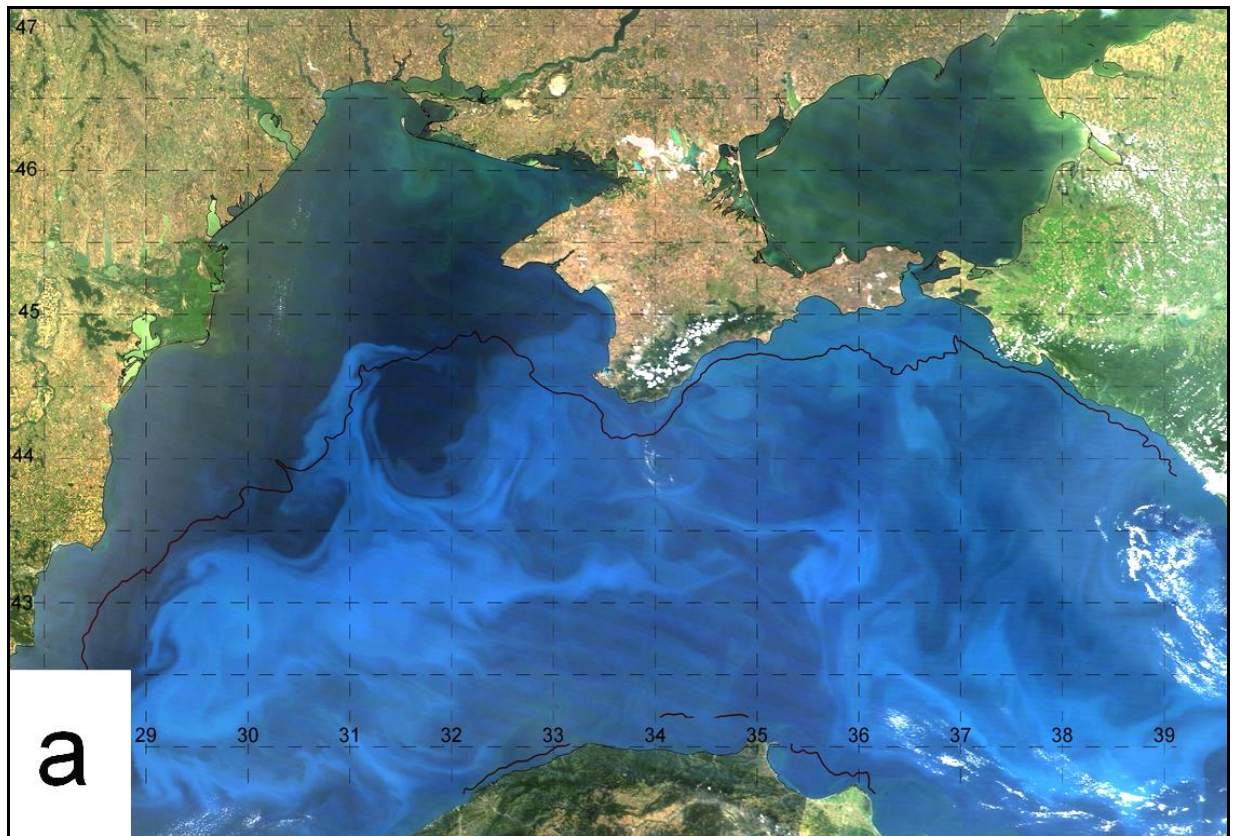
Перші відомості про наявність незвичайного цвітіння були отримані на півночі ПнЗШ по візуальним зображенням супутників Aqua і Terra MODIS у кінці червня 2010 року. Останні сліди цвітіння спостерігалися в Жебриянській бухті і на узмор'ї Кілійської дельти Дунаю в перших числах серпня. Таким чином, загальний період цвітіння фітопланктону, визначений за щодобовими супутниковими спостереженнями візуального діапазону, склав 30-33 днів.

Великомасштабне цвітіння цього виду фітопланктону і високий рівень інтенсивності процесу є новим станом екосистеми.

## **6.2 Цвітіння фітопланктону Кокколітофоріди**

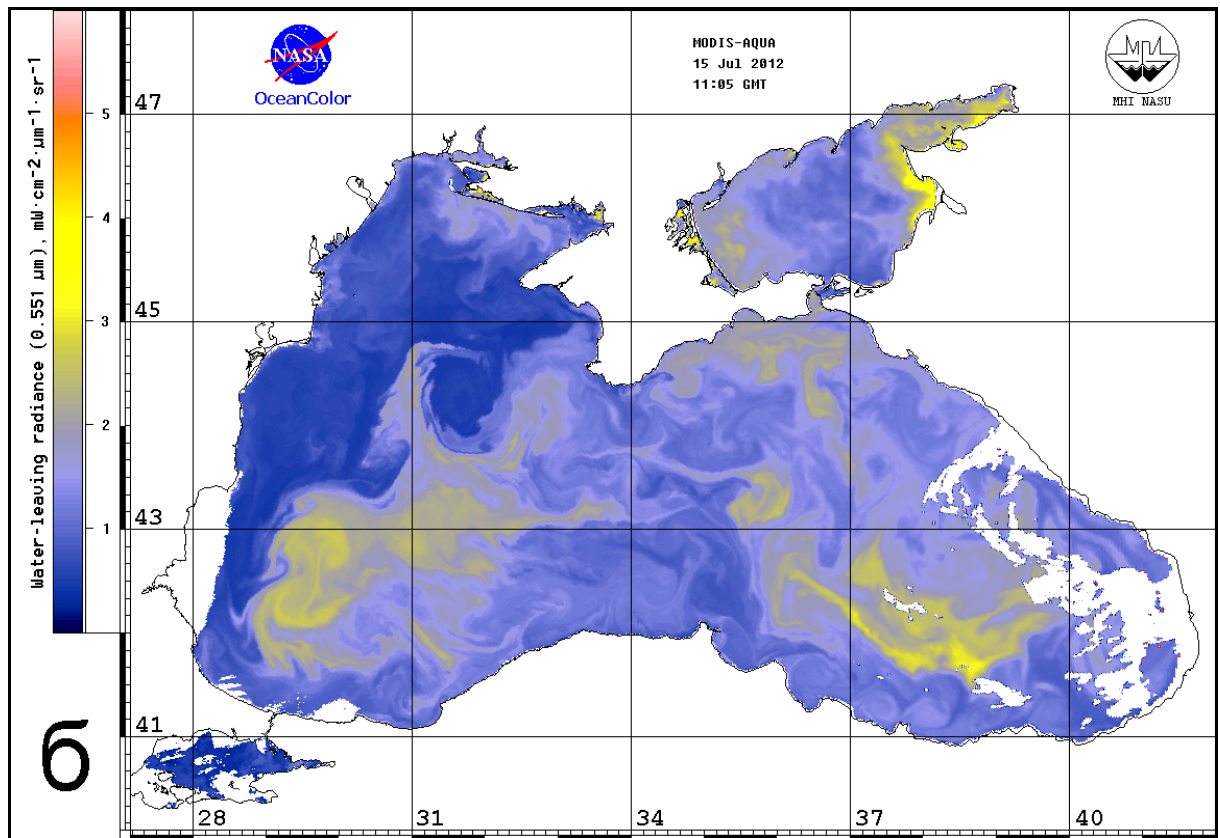
Кокколітофориди (*Coccolithales*) є золотистими одноклітинними водоростями (діаметром не більше 30 мкм), покритими дрібними вапняними пластинками (коколітами). За даними супутникових спостережень (візуальні знімки AERONET доступні з 2005 року, розподілу хлорофілу - *a* і

довгохвильового випромінювання - з 2006 року) перші відомості про активне, але не тривале цвітіння кокколітофориди у відкритому морі, були отримані в травні 2006 року. Менш активне цвітіння кокколітофориди спостерігалось в червні 2008 року. В 2012 році початок аномально активного цвітіння фітопланктону (кокколітофорид) в південній прибережній зоні і в східній половині Чорного моря за даними космічних спостережень водної поверхні почалося з другої декади травня. Вже з 15 травня відзначався початок перенесення фітопланктону в західну половину моря. На рисунку 6.2 представлені супутникові знімки, отримані в період активної фази цвітіння вод Чорного моря у 2012 році.



а) візуальний діапазон (AERONET, супутник Aqua);

Рисунок 6.2 – Цвітіння фітопланктону (кокколітофорід) в З і С половинах Чорного моря за даними космічних знімків. 15 липня 2012 року



б) довгохвильове випромінювання водної поверхні (супутник MODIS).

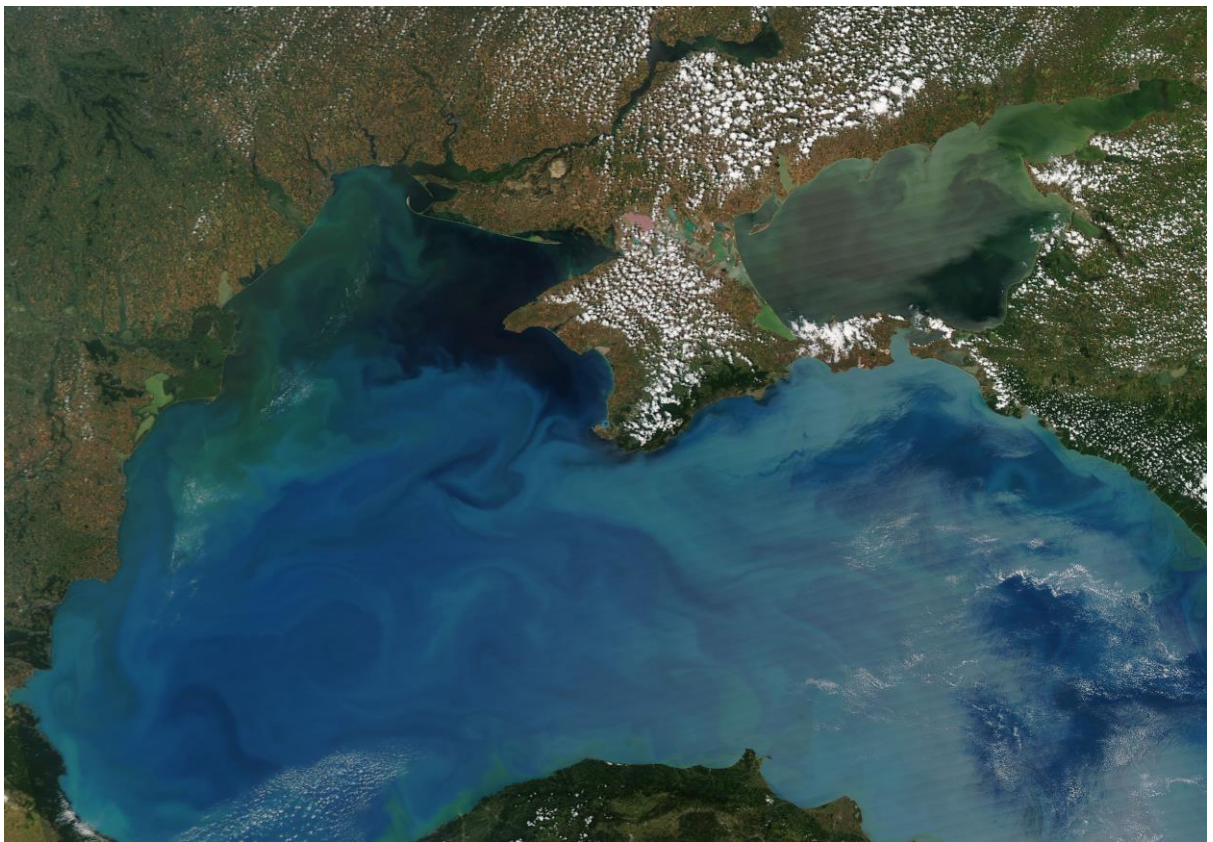
Рисунок 6.2, аркуш 2

Загасання процесу цвітіння кокколітофорід сталося у кінці другої декади липня. Тобто загальна тривалість активного розвитку цих водоростей в 2012 році була найбільшою (близько 70 діб) і інтенсивніша за попередній 7 річний період.

Наступним літнім сезоном активного розвитку даного виду фітопланктону виявився сезон поточного 2017 року. При цьому проявилися і деякі важливі особливості розвитку в цвітінні водоростей. Виникнення цього процесу на цей раз було вперше відзначено в ПдЗ і на Пд центральній області ПнЗШ в кінці першої декади травня. Через кілька днів цвітіння кокколітофорид проявилось в східних і південних прибережних районах моря, а до кінця травня охопило всю його відкриту частину. Активні процеси



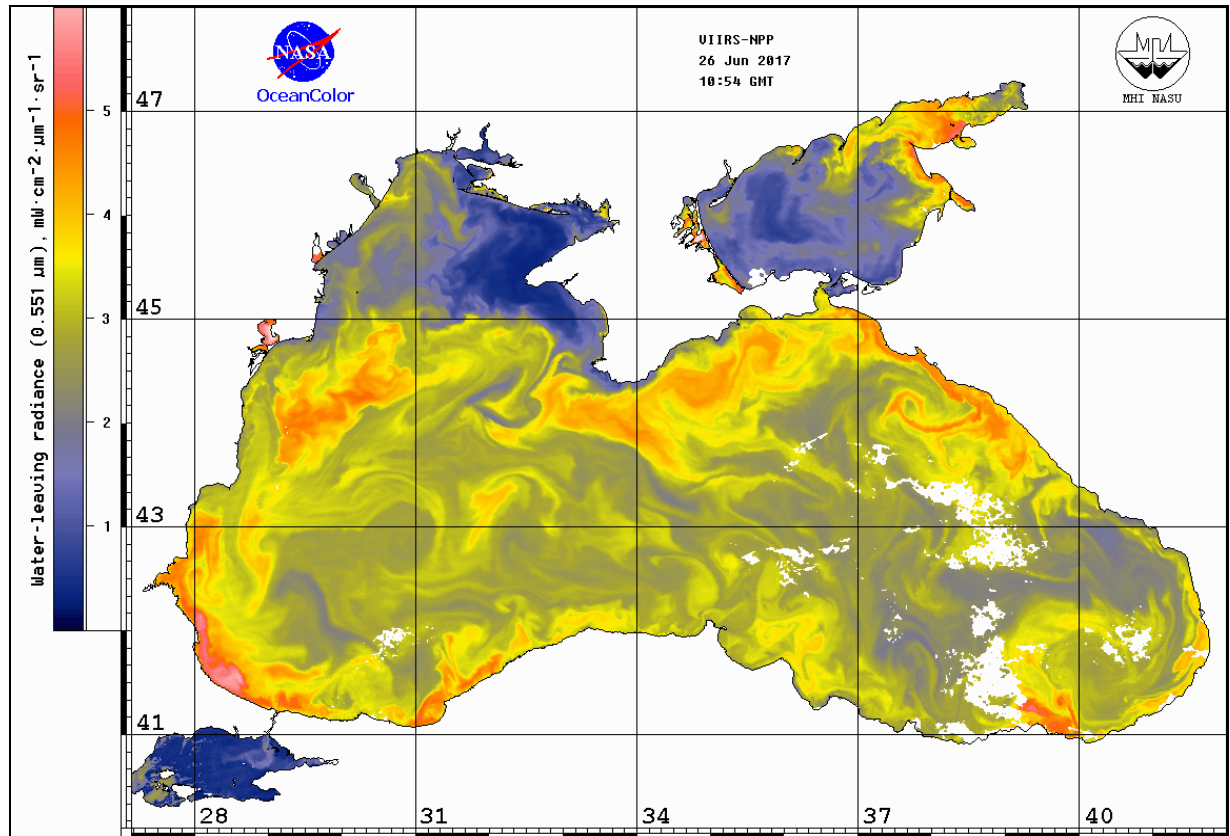
прибережного апвелінга в червні-липні поточного року, що відзначаються за супутниковими даними, привели до розвитку інтенсивного перенесення вод дунайського скидання в північні райони ПнЗШ. Праворуч від потоку, майже не проникаючи в трансформовані річкові води Дунаю, в тому ж напрямку поширювалися води насичені кокколітофорідами. Бірюзовий відтінок морських вод в районі Одеського пору був тривалий час помітний при виконанні судових океанографічних спостережень.



**а**

- а) візуальний діапазон (AERONET, супутник Aqua);
- б) довгохвильове випромінювання водної поверхні (супутник MODIS).

Рисунок 6.3 – Цвітіння фітопланктону Кокколітофоріди в Чорному морі за даними космічних знімків. 26 червня 2017 року



**б**

б) довгохвильове випромінювання водної поверхні (супутник MODIS).

Рисунок 6.3, аркуш 2

Надалі, в липні-серпні, струмись вод насичених кокколитофорідами поширювалася уздовж півострова Тендра в район Каркінітської затоки і на південь в область розвитку СВ. Зазначений вид водоростей ще раз наочно підтвердив свої чудові властивості пасивного трасера при дослідженні циркуляційного режиму акваторії моря. Результати візуального моніторингу за переміщенням аномально квітучих вод підтвердили припущення про часту зміну в літній період року великомасштабного і традиційно циклонічного перенесення вод ПнЗШ - на антициклонічне. Припущення ці були раніше зроблені за результатами модельних [5] і геострофічних [6] розрахунків за кліматичними даними.

Цвітіння кокколитофорид на ПнЗШ тривало до середини першої декади вересня, в той час, як у відкритому морі активна фаза завершилася до середини серпня. Повний період цвітіння даного виду водоростей на ПнЗШ склав близько 120 діб.

Слід зазначити і факт можливого впливу зміни кольору води (на світліший) на радіаційний баланс водної поверхні. Дуже ймовірно, що відбивна здатність вод насичених даним видом водоростей на якусь величину більше, а отже, менше теплової енергії проникає вглиб моря. Оскільки в даний час ми маємо матеріали масових океанографічних спостережень тільки одного року, то немає можливості провести порівняльний аналіз з іншими, більш типовими ситуаціями.

Таким чином, польові спостереження і аналіз супутникових даних, дозволили виявити аномалію в протіканні відносно рідкісного явища - активного розвитку фітопланктону Кокколитофориди на акваторії ПнЗШЧМ, визначити механізм перенесення водоростей в північні райони ПнЗШ, а також виявити його просторову трансформацію і тривалість розвитку.

Короткий ряд супутникових спостережень не дозволяє говорити про тісноту зв'язку попередніх зимових умов над морем і пов'язаних з ними процесів вертикального перемішування вод з характеристиками даного явища. Зима 2005-2006 року була суворою, 2007-2008 - теплою, 2011-2012 нормальною, з коротким, але інтенсивним періодом вихолодження в двох перших декадах лютого, а остання зима 2016-2017 рр. була на рівні між нормальними і м'якими зимами. Не спостерігається зв'язку і з процесами, що характеризують термічний стан вод в безпосередньо попередній явищу і в наступний період весняного прогріву водної товщі, перш за все з їх інтенсивністю і термінами протікання.

## 7 ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ ВЕЛИЧИНИ МОДУЛЯ ПОВЕРХНЕВИХ ГЕОСТРОФІЧНИХ ТЕЧІЙ ЧОРНОГО МОРЯ З 2012 ПО 2016 РОКИ

Асиміляція даних супутникової альтиметрії дає можливість розрахувати по градієнтам рівня моря швидкості поверхневих геострофічних течій, оцінити просторово-часову мінливість динамічної топографії (ДТ) Чорного моря. Для чисельного аналізу гідродинамічних процесів, пов'язаних з ДТ, були використані масиви даних зональної і меридіональної складових швидкості геострофічних течій (ШГТ) з 2012 по 2016 року отриманих по 4 кілометрової розрахункової сітці від ШСЗ. Інформація оброблялася за програмами МГІ [7] і представлена на сайті - <http://www.dvs.net.ru/>. Модуль швидкості розраховувався за формулою:

$$C = \sqrt{U^2 + V^2} , \quad (1)$$

де:  $C$  – модуль швидкості геострофічного течії;

$U, V$  – зональна і меридіональна складова.

Для візуального виділення ділянок найбільшою динамічної активності геострофічних потоків була побудована карта повторюваності модуля ШГТ перевищуючого 39 см/с. Всього ми виділили п'ять районів. В ядрах районів були виділені вісім рівних по площі квадратів зі стороною 180 км. (див. рисунок 7.1, таблиця 7.1)



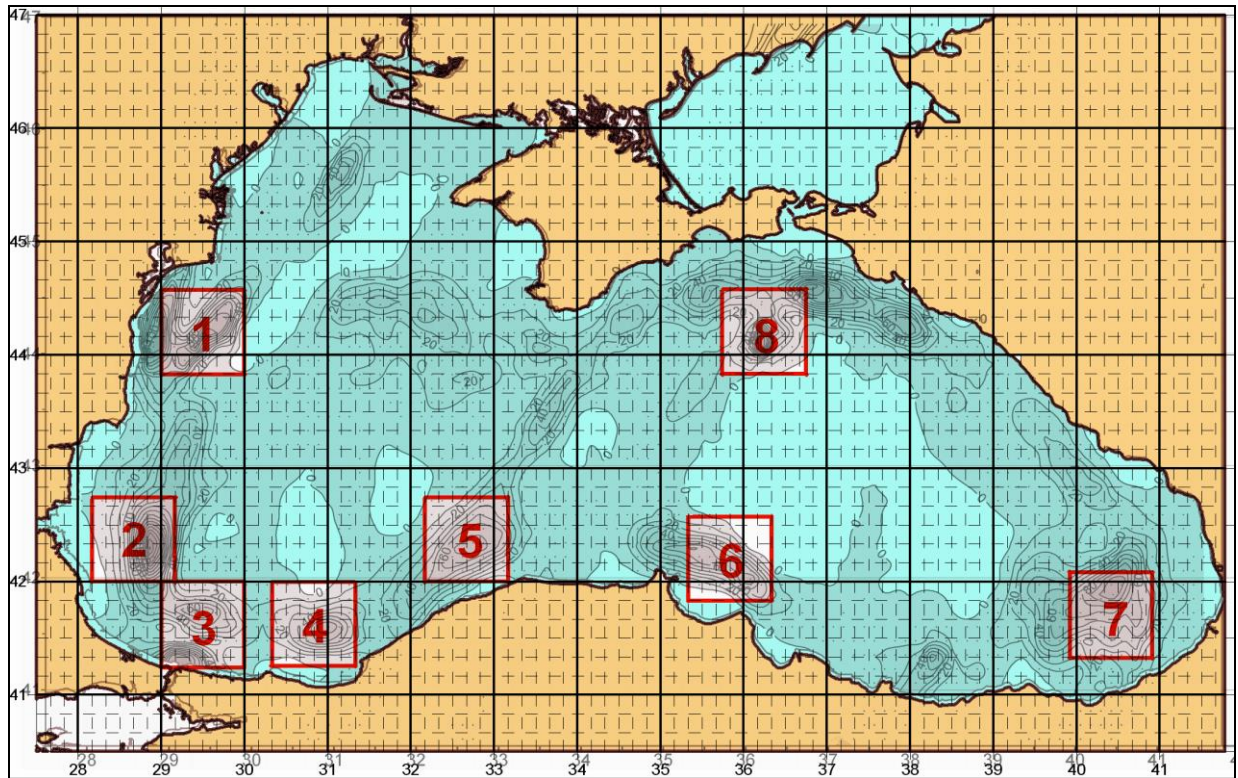


Рисунок 7.1 – Карта повторюваності модуля поверхнісі геострофічні швидкості течій більше 39 см/с за період з 2012 по 2016 роки, поєднана з розрахунковими квадратами.

Таблиця 7.1 – Найбільш активні райони в полі модуля геострофічних швидкостей

№ району	Назва району	№ квадрата
1	Західне узбережжя	1
2	Босфорський	2,3,4
3	Північний берег Турції	5, 6
4	Батумський	7
5	Керченський	8

По кожному з розрахункових квадратів отримані середньомісячні ряди значень модуля ШГТ за аналізований період.

На рисунку 7.2 представлена діаграма сумарних значень середньомісячних величин модуля ШГТ по кожному квадрату.

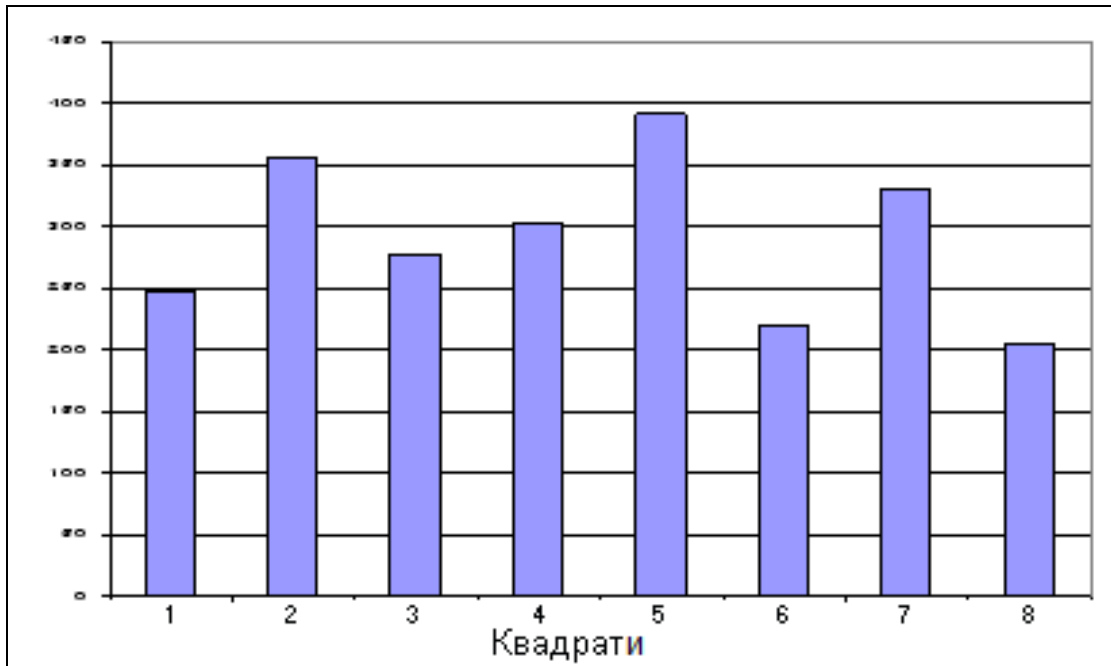


Рисунок 7.2 – Діаграма сумарних значень середньомісячних величин модуля ШГТ по кожному квадрату за 2012-2016 роки

Оскільки, квадрати рівні по площі, то динамічні процеси районів, які вони покривають, цілком сопостовіми в енергетичному аспекті. З діаграми видно, що найбільший енергетичний внесок в динамічному полі Чорного моря вносить ділянку розташованій біля північного берега Туреччини в районі Амасра (квадрат 5). Слід зазначити, що середні глибини першого квадрата (Західне узбережжя) складають величини від 70,0 м до 100,0 м. В той час, як інші розташовані на ділянках з глибинами перевищують 1 000 м. Що може вплинути на загальну енергетичний оцінку.

На рисунку 7.3 представлений тимчасової хід сумарного модуля ШГТ усередненого по всьому квадратах.

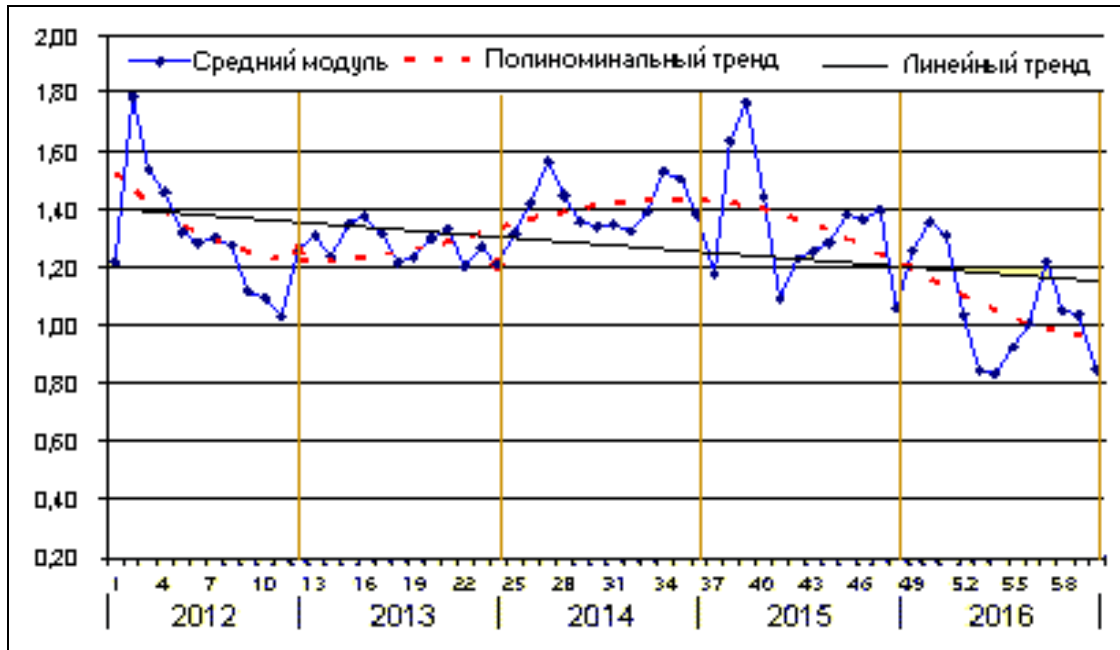


Рисунок 7.3 – Графік багаторічна мінливість величини модуля ШГТ усередненого відносно всього квадратах за період 2012-2016 роки

Відразу помітний від'ємний лінійний тренд. Окремі значущі піки (точки 2; 27) припадають на лютий і березень. Так само проявляється і осінній пік. За винятком 2012 року. Відзначимо так само, що в 2013 році амплітуда коливань модуля швидкості була помітно нижче, ніж в усі інші роки. Зниження загального модуля швидкості можна пов'язати з зниженням середньої швидкості приводного вітру зазначеного за останнім часом багатьма авторами [8]. На діаграмі середньомісячного розподілу значень модуля швидкості за 2012-2016 роки підсумованого по всіх розрахункових квадратах (рисунок 7.4), так само чітко видно сезонний хід загальної геострофічних динаміки з максимумами в березні і проміжним максимумом у вересні.

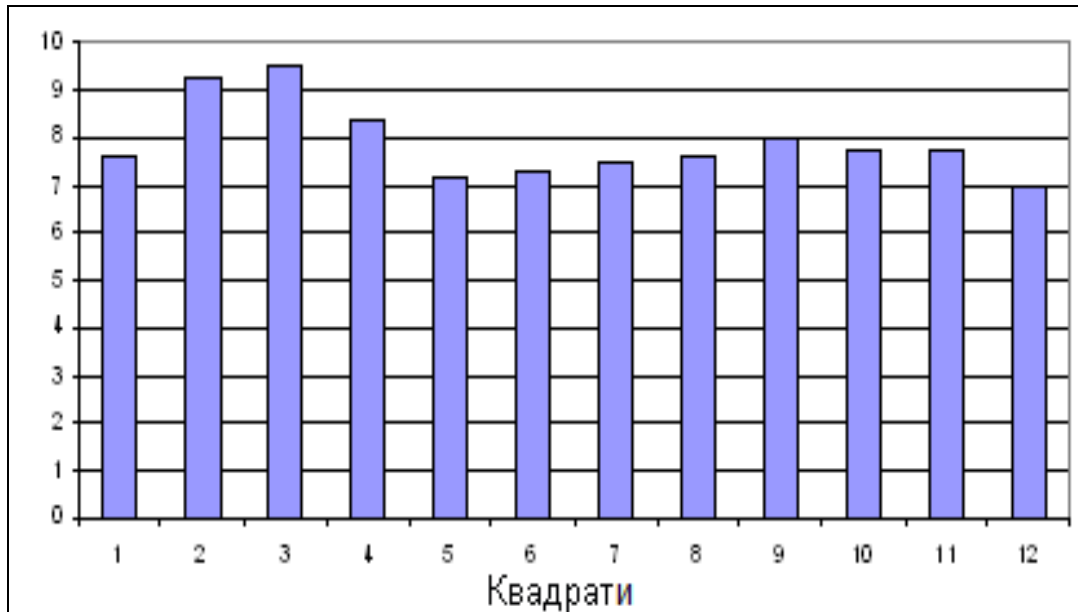


Рисунок 7.4 – Сумарні середньомісячні значення модуля ШГТ за 2012-2016 роки

Проведений аналіз поведінки трендів по кожному району дозволив виявити деякі їх особливості. Негативний лінійний тренд відзначався на всіх ділянках, крім батумського району (рисунок 7.5, 7.6).

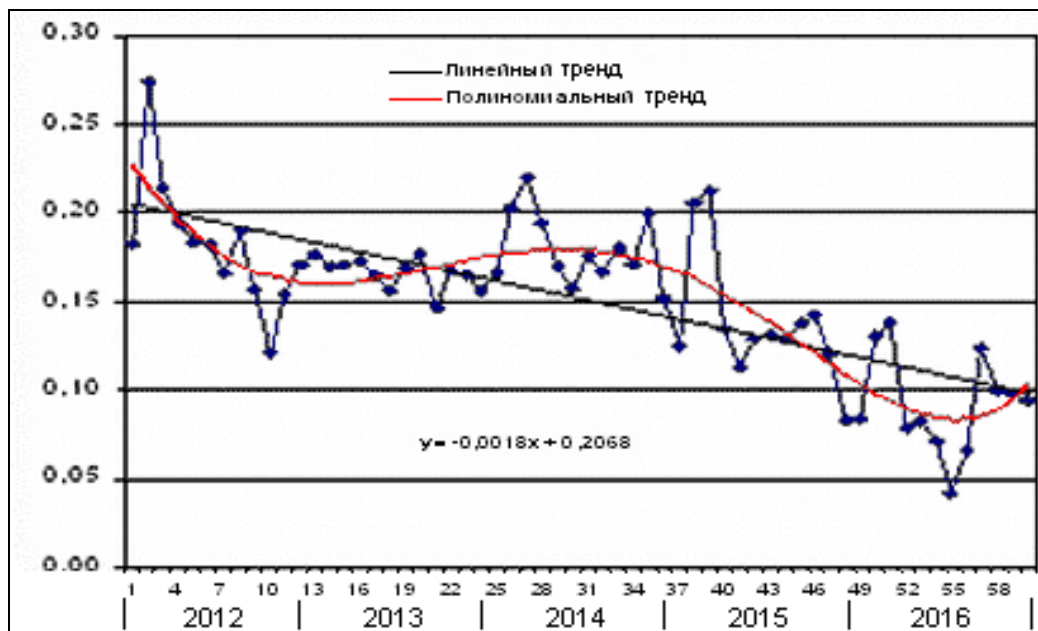


Рисунок 7.5 – Середньомісячна багаторічна мінливість величини модуля ШГТ в районі Босфору, квадрат № 3, за період 2012-2016 роки

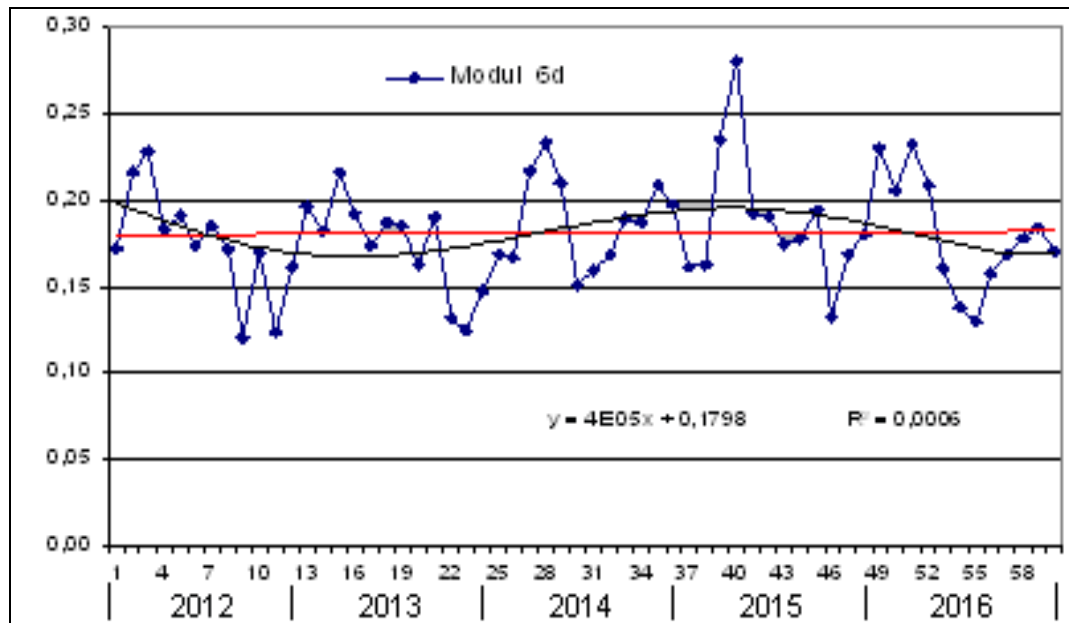


Рисунок 7.6 – Середньомісячна багаторічна мінливість величини модуля ШГТ в батумському районі, квадрат № 7, за період 2012-2016 роки

Поліноміальний тренд п'ятого порядку виявляє якусь дворічну циклічність процесу на всіх ділянках моря.

## ВИСНОВКИ

На підставі аналізу даних отриманих за допомогою ШСЗ, експедиційних спостережень, інформації Державної гідрометеорологічної служби України та літературних джерел в 2017 році отримані наступні результати:

- зимові умови холодного півріччя 2016-2017 року та літні умови 2017 р. характеризуються як м'які.

- мінливість термохалінної структури вод ПнЗ частині Чорного моря в 2017 році знаходилася у межах кліматичних норм.

У районі «Філофорне поле Зернова» концентрація хлорофілу - *a* у 2017 році була вище ніж у попередні два роки.

- у ПнЗЧМ на концентрацію и межі розповсюдження хлорофілу - *a* в значній мірі впливає гідродінамічна обстановка. Штормове перемішування може зменшити концентрації хлорофілу - *a* в п'ять разів.

- у квітні була виміряна максимальна величина прозорості морської води за всю історію спостережень судами УкрНЦЕМ в ПнЗЧМ. Вона склала 17,0 м.

- в серпні в шарі нижче термокліна, поле щільності формується характерним для циклональної циркуляції.

- найбільший вплив апвеллінгов в літній період 2017 року були підвержені райони Одеської затоки і Кімбургської коси. Час дії апвелінгів склало більше 50 % від усього терміну спостережень.

- середня температура верхнього 15 метрового шару води в зоні змішування, влітку, була вище на 3,0 °С в порівнянні з багаторічними даними і становила 25,0 °С

- наприкінці серпня в районі Одеської улоговини зафіксовано початок предгіпоксійних процесів в проміжному шарі.

Не типова для цього району, антициклонічна циркуляція поверхневих течій, яка виникла в результаті дії апвеленгів північного узбережжя, уперше викликало проникнення водоростей Кокколітофориді (Coccolithales) у акваторію Одеської затоки.

- мінімальні значення температури води ХПШ в 2017 році були нижче на градус у порівнянні з 2016 роком. Найнижча температура зафіксована в південній частині Чорного моря, склала 7,2 °С.

- за опрацьованими даними спутникових спостережень, найбільш енергетично значимим районом в динаміці геострофічних потоків Чорного моря є ділянка північного узбережжя Туреччини.

- у тимчасовому ході мінливості модуля швидкості геострофічних течій Чорного моря за останні п'ять років відзначається тенденції до зменшення, за винятком ПдС акваторії.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Дослідження мінливості гідрофізичних характеристик та хлорофілу «а» у Азово-Чорноморському басейні за даними супутникових спостережень : звіт про НДР (проміжний) / УкрНЦЕМ ; керівник роботи Ю.І. Попов ; викон. : А.В. Матвєєв [та ін.]. – П. 0112U000981 ; Інв. № 7139. – Одеса : УкрНЦЕМ, 2012. – 247 с.

2 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. Лоєва ; НДУ «УкрНЦЕМ». – К. : КНТ, 2008. – 616 с.

3 Попов Ю.І Поля солоності північно-західної частини чорного моря (1955-2005 рр.) : довідковий посібник / Ю.І. Попов, І.Г. Рубан. – Одеса : ОДЕКУ, 2015. – 114 с

4 Попов Ю.И. Результаты исследования механизма образования гипоксии на северо-западном шельфе Черного моря с помощью безмембранного кислородного датчика / Ю.И. Попов, И.Г. Орлова, П.А. Стунжас, В.В. Украинский // Системы контроля окружающей среды : сб. науч. тр. – Севастополь : МГИ НАН Украины, 2002. – Вып. 2 (18). – С. 96-101

5 Иванов В.А. Анализ течений на северо-западном шельфе Черного моря / В.А. Иванов, Ю.Н. Рябцев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. – Севастополь : МГИ, 2002. – Вып. 1 (16). – С. 8-21

6 Попов Ю.І. Аналіз кліматичних геострофічних течій та їх витрат на зональному та меридіональному розрізах у районі материкового схилу північно-західної частини Чорного моря / Ю. І. Попов, Г.О. Єрофєєв // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – Вип. 11. – С. 234-240



7 Кубряков А.А. Восстановление средней динамической топографии Черного моря для альтиметрических измерений / А.А. Кубряков, С.В. Станичный // ИЗК. - 2011. - №. 4. - С. 1-7

8 Репетин Л.Н. Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения / Л.Н. Репетин, В.Н. Белокопытов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. - Вып. 17. – С. 225-243

## ДОДАТОК А

Карти розподілу значень концентрації хлорофілу - а у поверхневому шарі ПнЗЧМ за даними супутника MODIS 2017 року

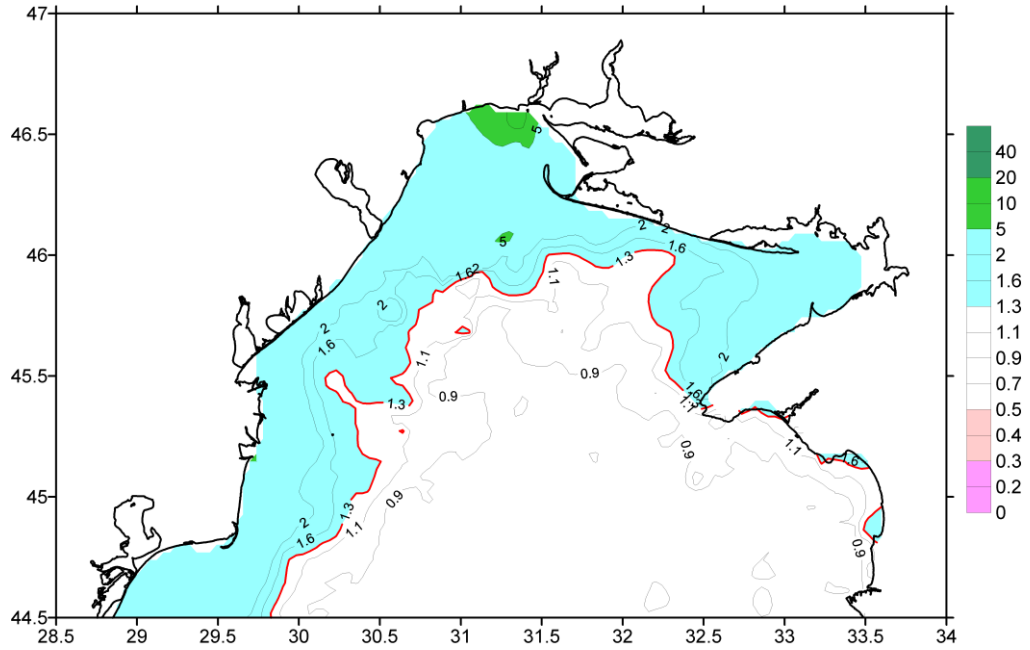


Рисунок А.1– Розподіл концентрацій хлорофілу - а ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) у січні

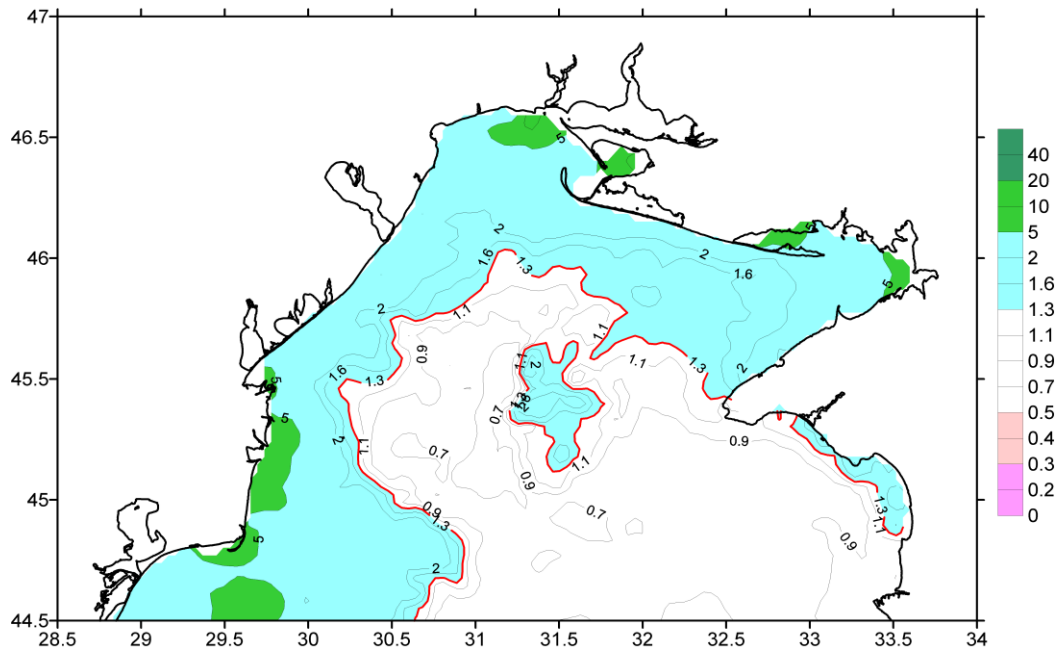


Рисунок А.2 – Розподіл концентрацій хлорофілу - а ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) у лютому

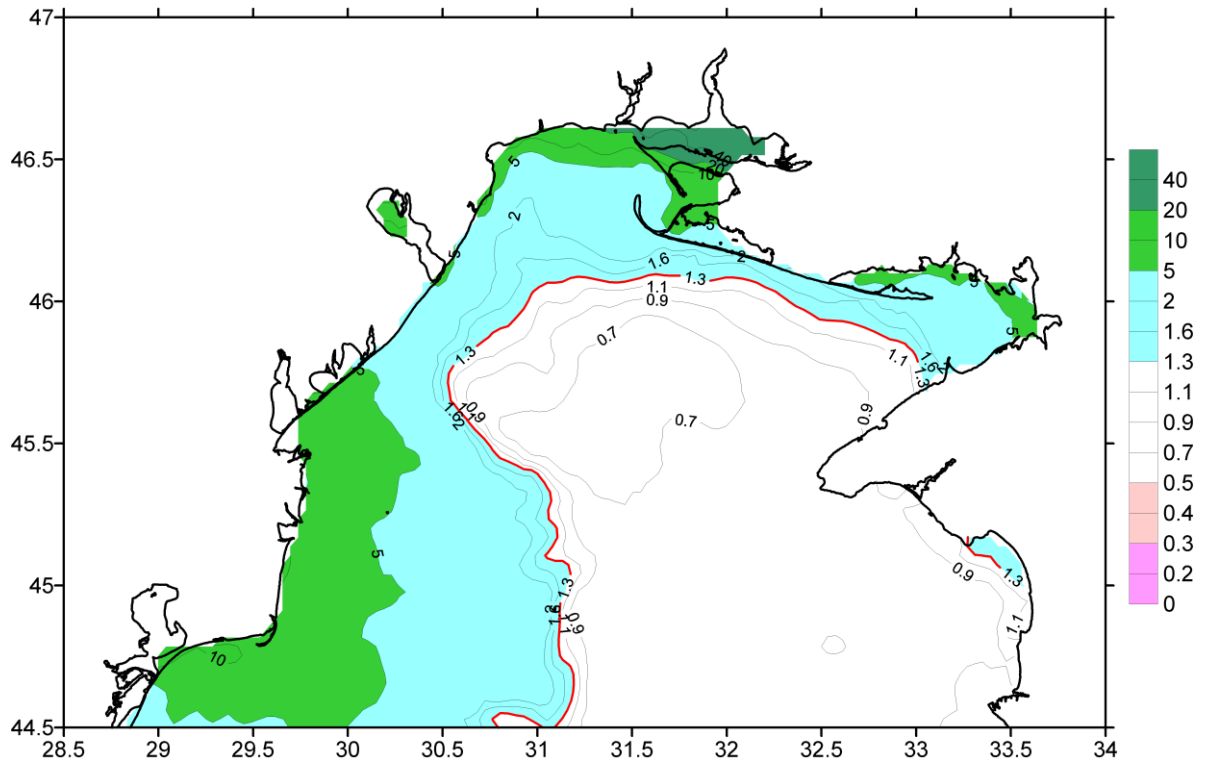


Рисунок А.3 – Розподіл концентрацій хлорофілу -  $a$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) у березні

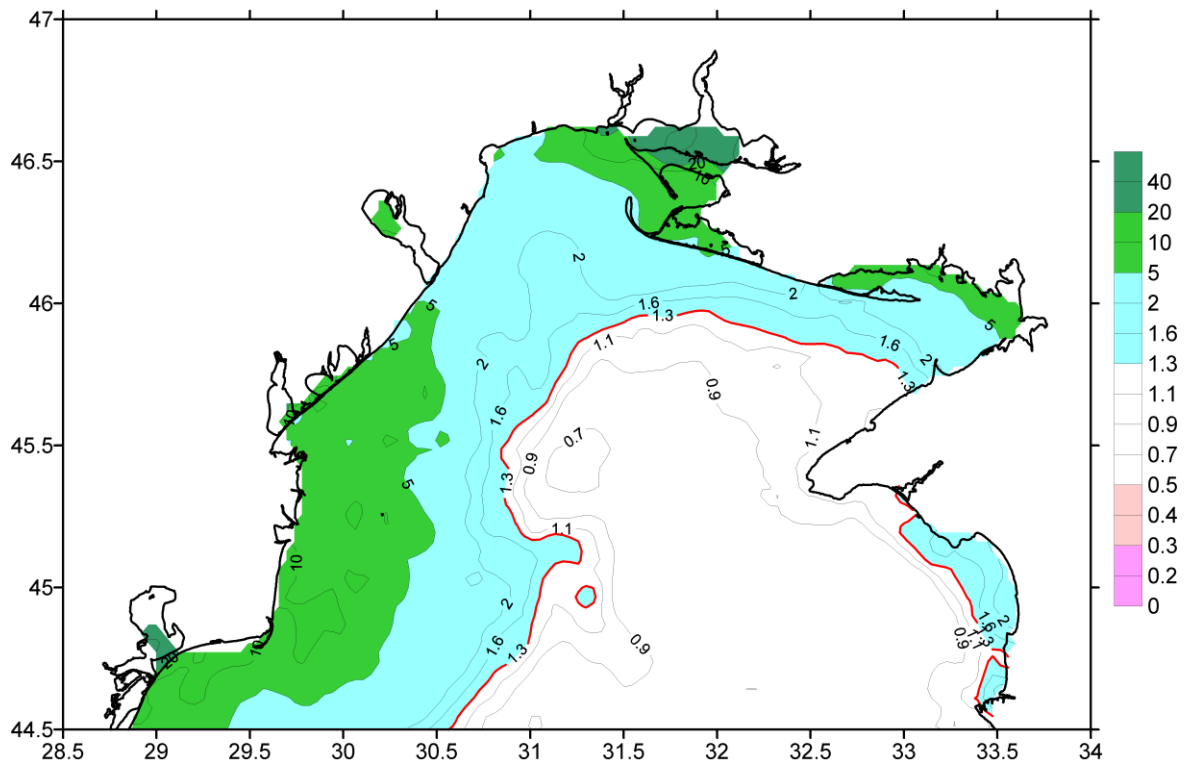


Рисунок А.4 – Розподіл концентрацій хлорофілу -  $a$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) у квітні

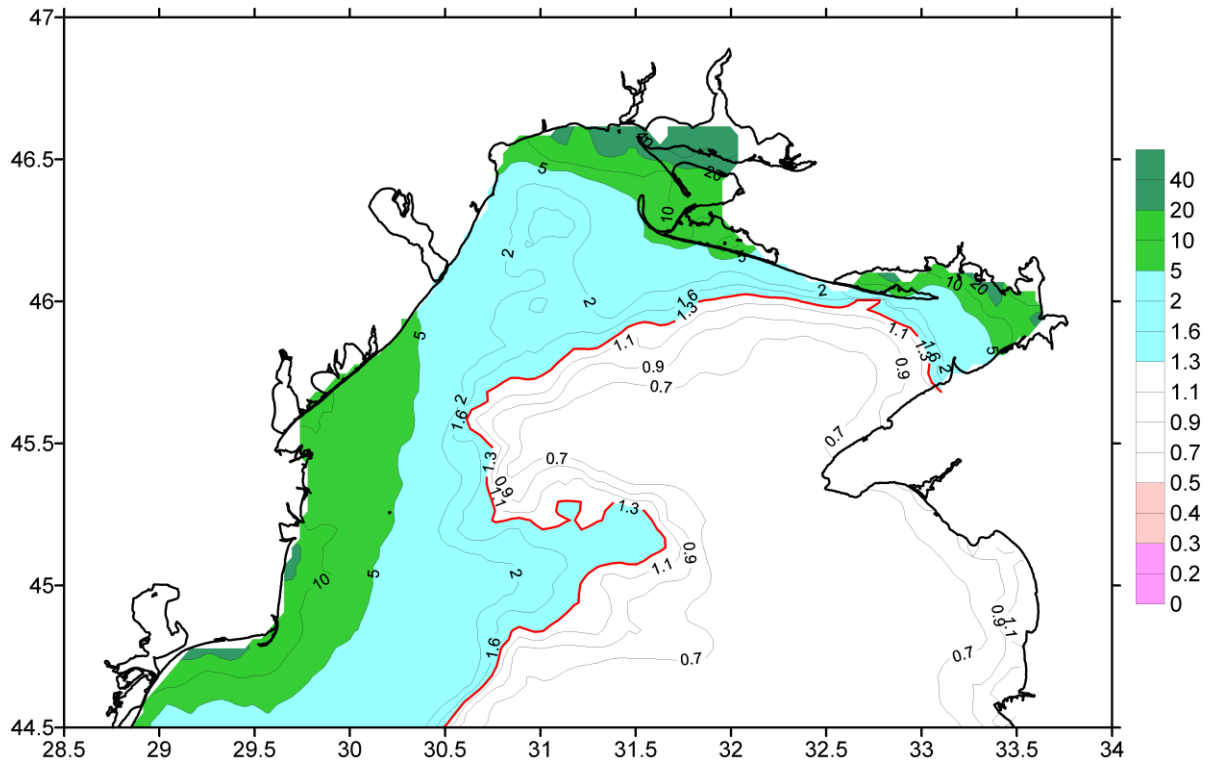


Рисунок А.5 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у травні

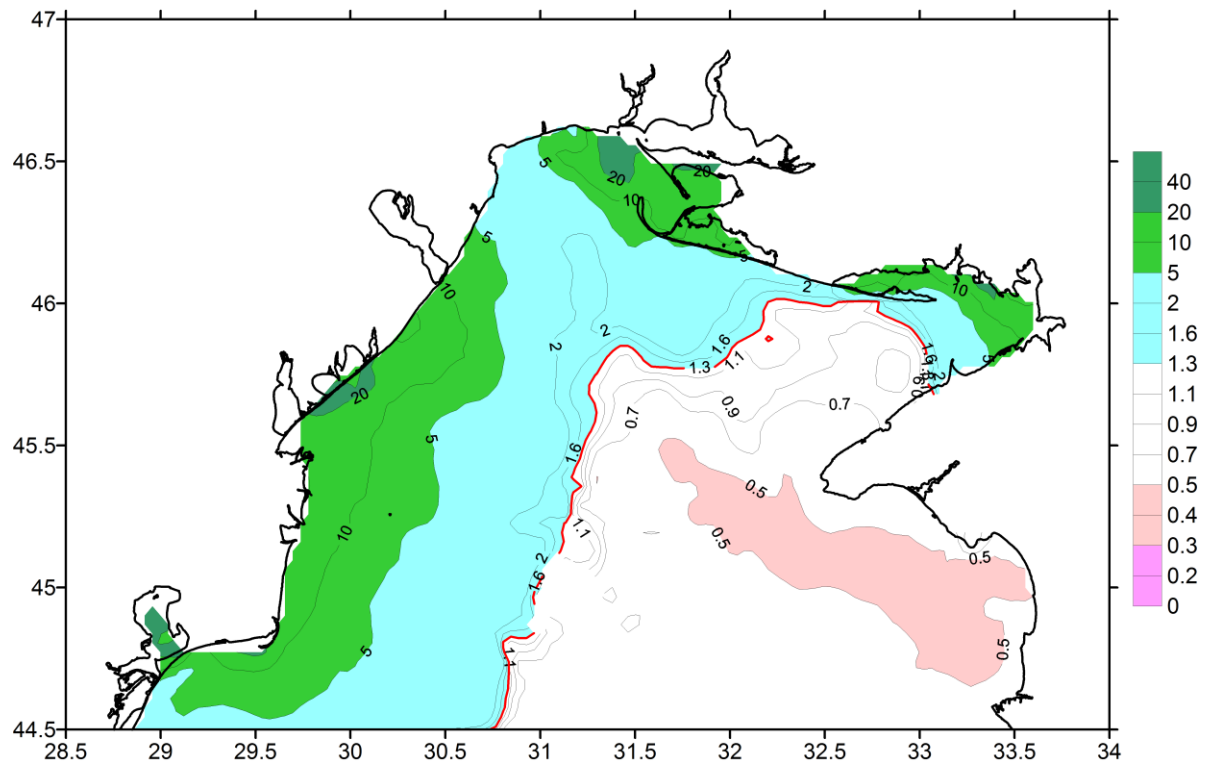


Рисунок А.6 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у червні

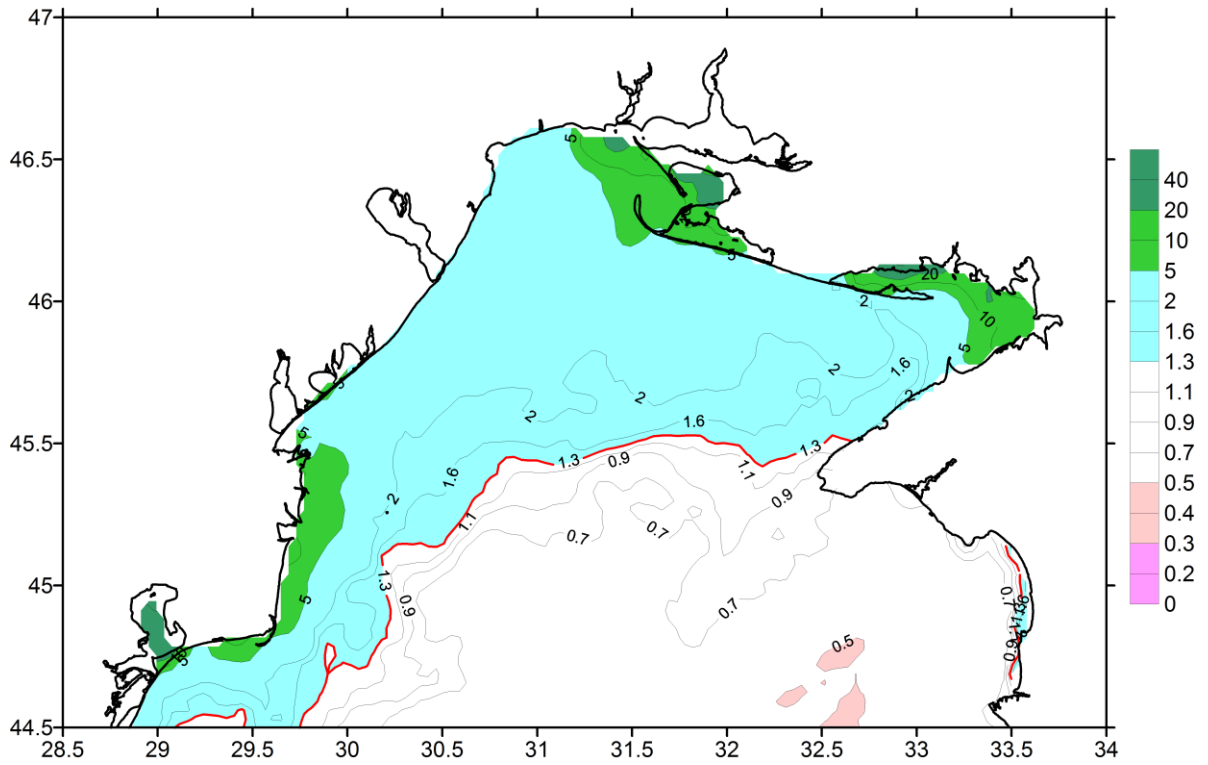


Рисунок А.7 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у липні

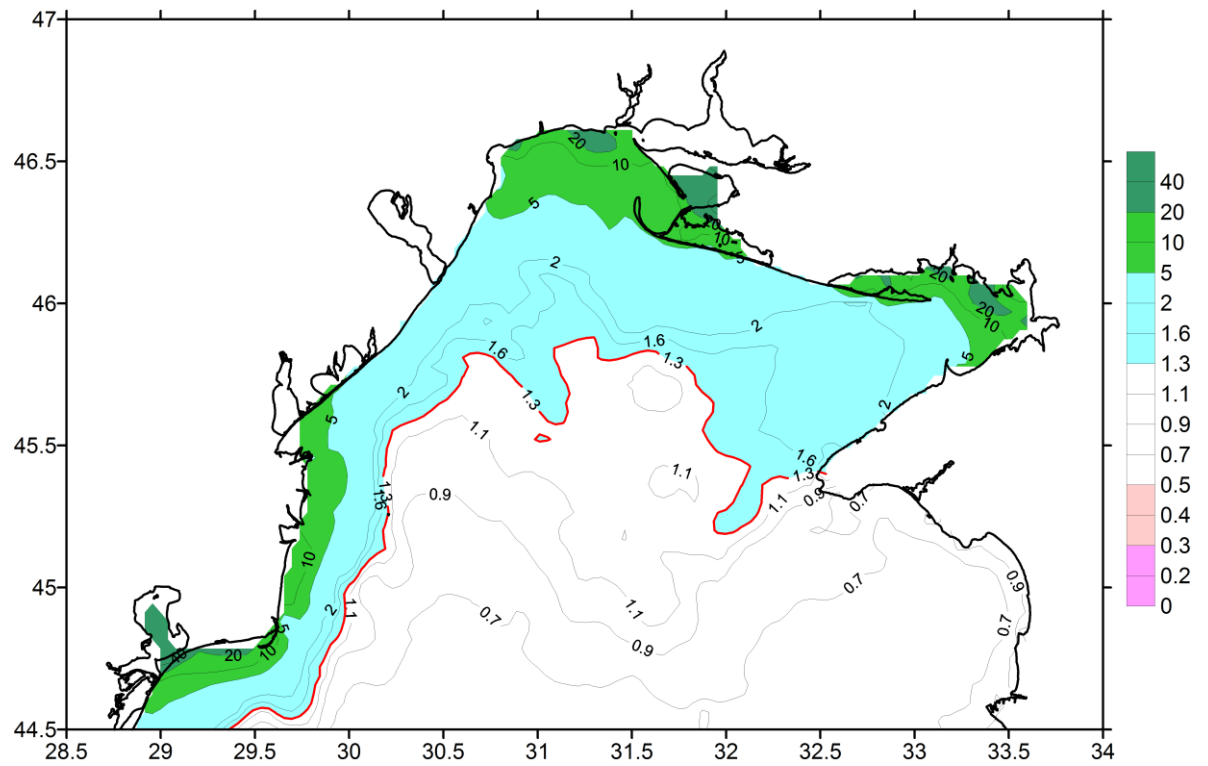


Рисунок А.8 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у серпні

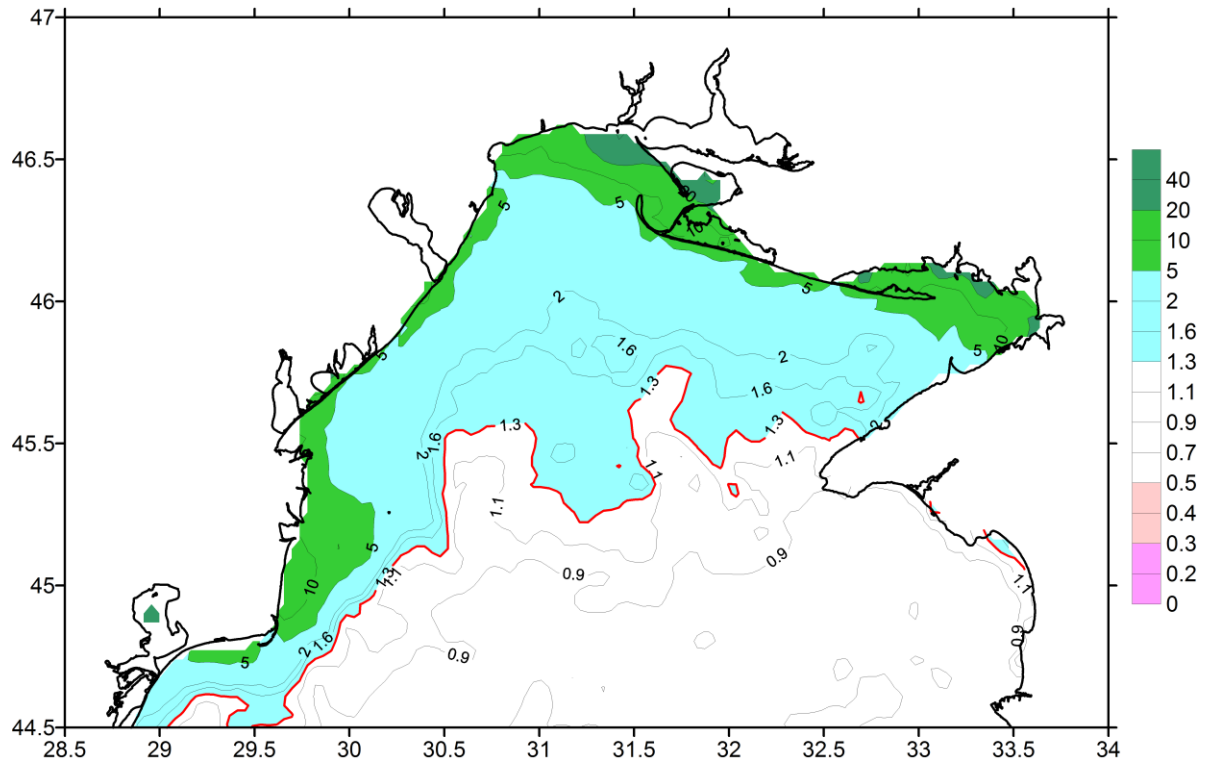


Рисунок А.9 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у вересні

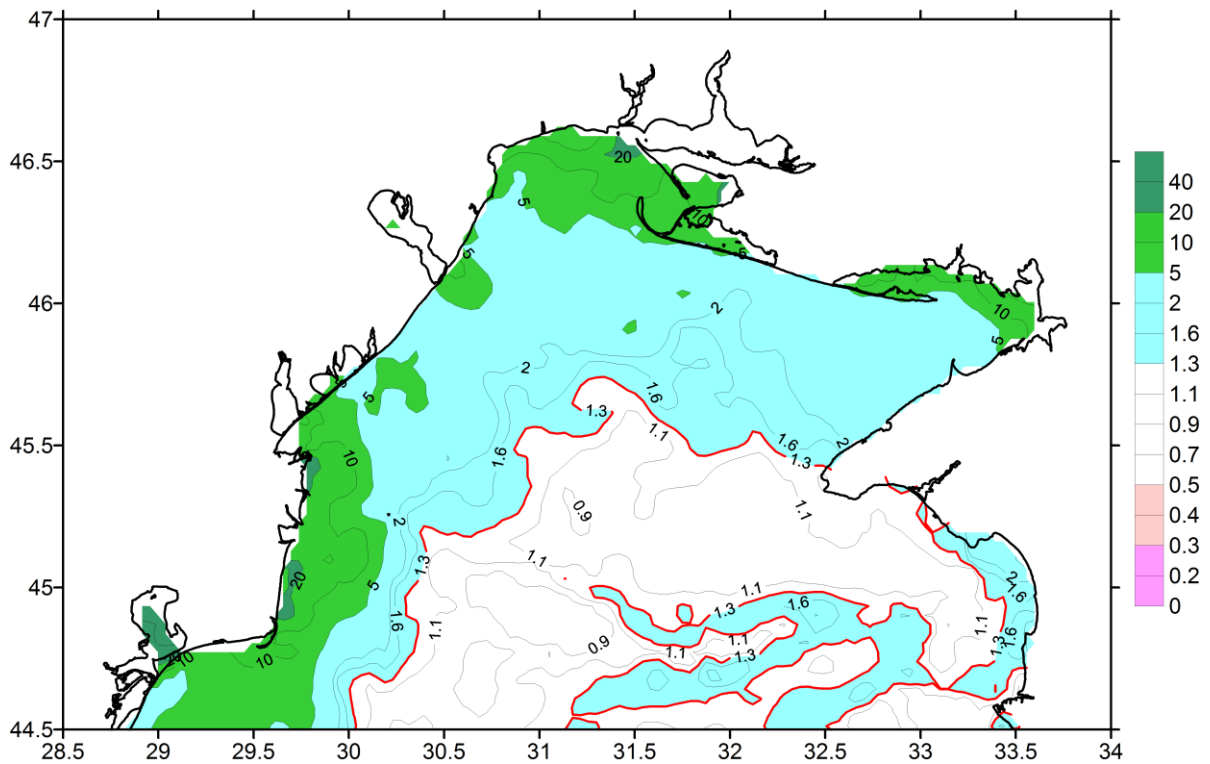


Рисунок А.10 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у жовтні

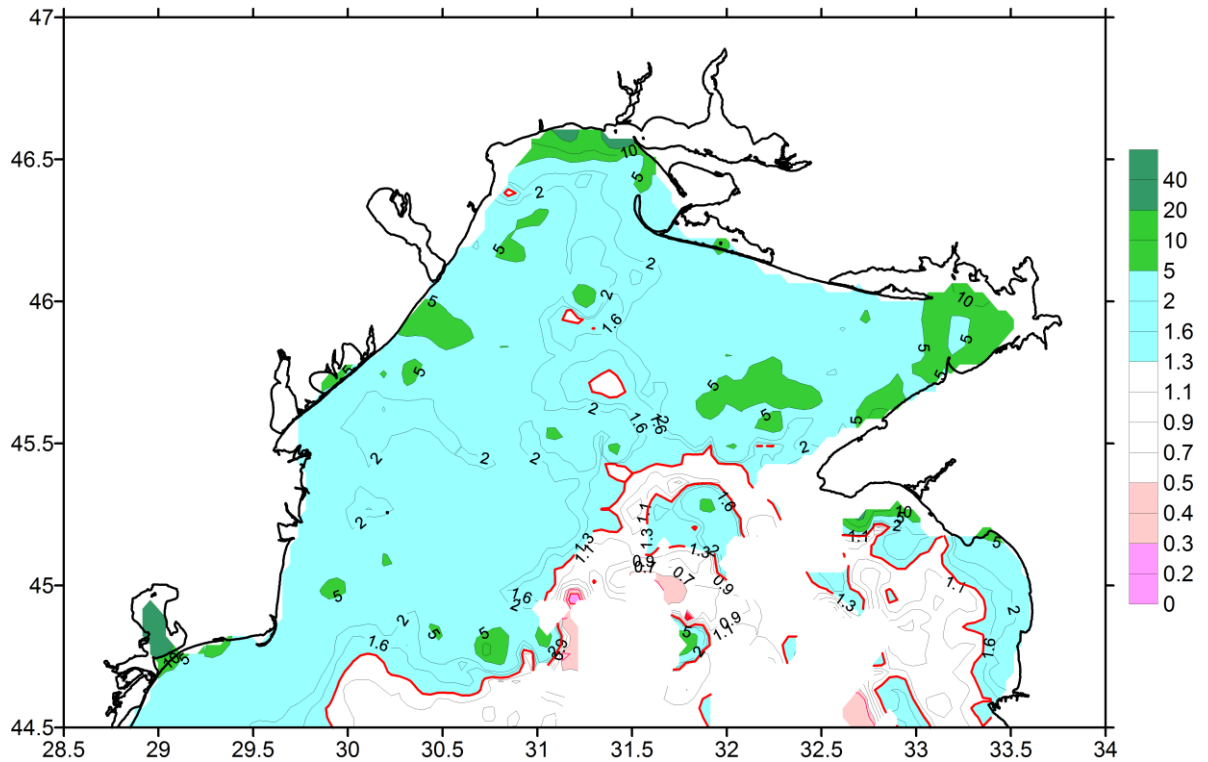


Рисунок А.11 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у листопаді

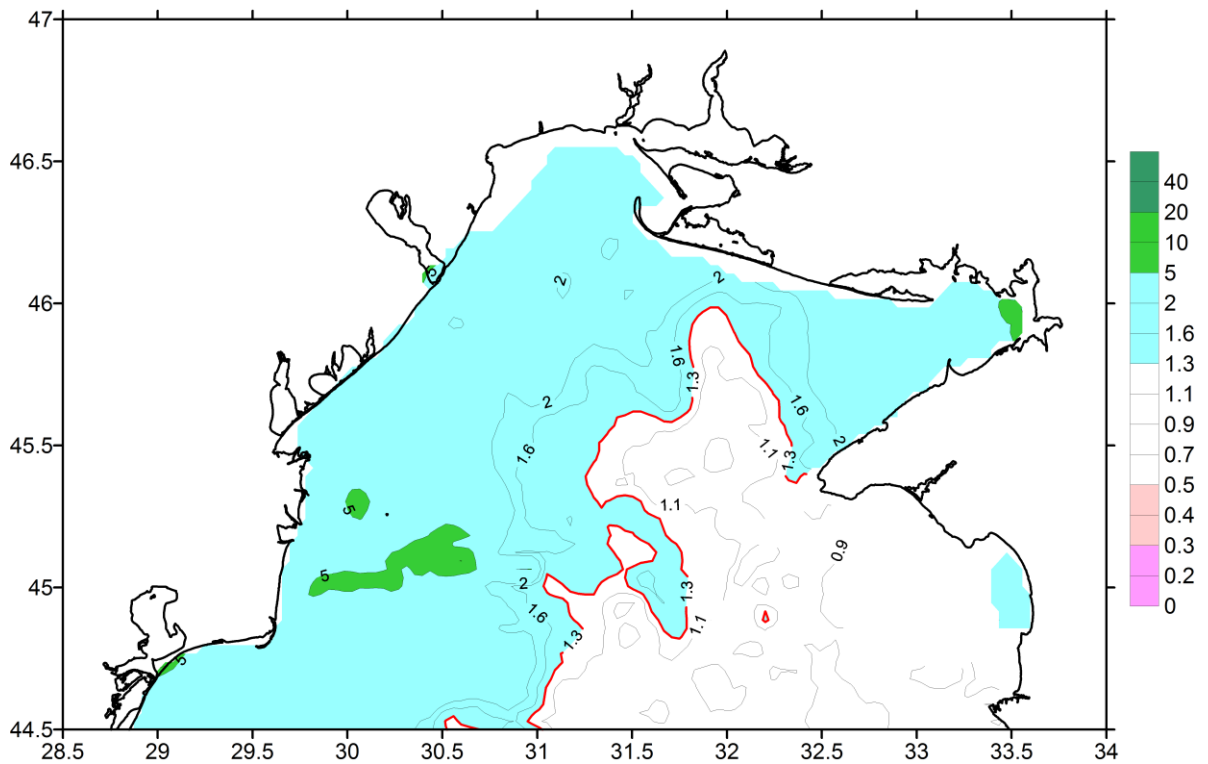


Рисунок А.12 – Розподіл концентрацій хлорофілу - *a* (мг/м<sup>3</sup>) у грудні



**ДОДАТОК Б****Публікації за період 2017 року.**

1 Попов Ю.И. Гидрофизические условия Черного моря в мае-июне 2016 года по данным наблюдений полевой фазы международного проекта EMBLAS II / Ю.И. Попов, Ю.М. Дыханов, Е.А. Мельник // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – Вып.1(20). – Одесса : ФОП Попова, 2017. – С. 14-29

2 Коморин В.Н. Расчет горизонтальной циркуляции движения вод Северо-западного шельфа Черного моря по данным экспедиции EMBLAS II / В.Н. Коморин, Ю.И. Попов, Ю.М. Дыханов, Г.А. Ерофеев // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – Вып.1(20). – Одесса : ФОП Попова, 2017. – С. 30-33

3 Тучковенко Ю.С. Одеський науковий кластер океанографічних досліджень: сучасний стан та перспективи / Ю.С. Тучковенко, О.Р. Андріанова, М.Ф. Голодов, В.М. Коморін, О.С. Матигін, Ю.І. Попов // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2017. – № 21. – С.17-19