

УДК 504.45.058; 504.4.054; 504.064

КП 87.19.03

№ держреєстрації 0118U006641

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.

15 січня 2019 року

ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ(НДР)

Базова оцінка та визначення Доброго екологічного стану (ДЕС) морського середовища
Чорного моря в межах виключної морської економічної зони України

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

ТОМ 4

Науковий керівник НДР

Заст. директора – начальник морського
інформаційно-аналітичного центру, к.г.н.

В.В. Український

2018

Рукопис закінчено 28 грудня 2018 р.

Результати цієї роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ, протокол
від 15 січня 2019 р. № 1



СПИСОК АВТОРІВ

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


20.12.2018 року

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

Виконавці:
завідувач сектором гідрофізичних
досліджень ВНДМС


20.12.2018 року

Є. А. Мельник
(розділ 1)

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



Ю. І. Попов
(підрозділи 2.1,
4.2)

Наук. співроб. ВНДМС


20.12.2018 року

В. М. Большаков
(підрозділи 2.2,
3.1, 3.2)

Технічні виконавці: О.С. Братченко, А.С. Тітяпкин, Г. Г. Золотарьов, В. В.
Писаренко

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 57 с., 10 табл., 39 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 використовувалися 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

Показано, що мінливість термохалинної структури вод північно-західної частини Чорного моря в 2018 році знаходилася у межах кліматичних норм.

За останні 37 років середня швидкість вітру за даними ГМС Одеса-порт знизилася мінімум на 1 м/с, а середня з максимальних добових швидкостей зросла більш ніж на 1.5 м/с.

Кількість випадків прибережних апвелінгів в ПнЗЧ ЧМ в літній період 2018 року був значно менше, ніж в 2017 році. Найбільш часто випадки апвелінгу спостерігалися в районі Гендрівської коси.

У 2018 році знизилася динаміка «Севастопольських» вихорів.

Відмінною особливістю 2018 року стало те, що вперше за 12 років спостережень протягом усього року не було зареєстровано жодного випадку проникнення вод з підвищеним вмістом хлорофілу-*a* з Дунайського і Дніпровського районів в зону кордонів континентального схилу.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВНДМС	- Відділ наукових досліджень морського середовища
ВРД	- Водна Рамкова Директива
ГМС	- гідрометеорологічна станція
ДЕС	- добрий екологічний стан
ДПЕ	- доступна потенційна енергія
ЗПдЗ	- захід-південь-захід
КМ	- кабінету міністрів
НДР	- науково-дослідна робота
ПВД	- прогресивно-векторна діаграма
Пд	- південний
ПдЗ	- південно-західний
ПдС	- південно-східний
ПдПдС	- південно-південно-східний
Пн	- північний
ПнЗ	- північно-західний
ПнПнЗ	- північно-північно-західний
ПнЗШ	- північно-західний шельф
ПнЗШ ЧМ	- північно-західний шельф Чорного моря
ПнЗЧ ЧМ	- північно-західна частина Чорного моря
ПнС	- північно-східний
ПнПнС	- північно-північно-східний
СВ	- Севастопольський вихор
ТПШ	- температура поверхневого шару
УкрНЦЕМ	- Український науковий центр екології моря
ЧМ	- Чорне море
ШСЗ	- штучні супутники Землі

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних позначень і скорочень.....	5
Вступ.....	7
1 Методи дослідження.....	9
2 Гідрометеорологічні умови в північних районах північно-західного шельфу Чорного моря в 2018.....	11
2.1 Вітровий режим атмосфери.....	11
2.2 Термічний режим атмосфери.....	16
2.3 Атмосферні опади.....	20
3 Мінливість гідрологічних параметрів морського середовища північно-західної частини Чорного моря.....	21
3.1 Температурний режим морських та прибережних вод.....	21
3.1.1 Температура морської води за даними гідрометеостанції Одеса-Порт з 1981-2018 рр.....	22
3.2 Солоність морських та прибережних вод.....	26
3.2.1 Солоність морської води за даними гідрометеостанції Одеса-Порт з 1970 по 2018 рр.....	28
3.3 Багаторічна мінливість річкового стоку в північно-західній частині Чорного моря.....	30
4 Особливості циркуляції вод північно-західної частини Чорного моря і її вплив на екологічну структуру морського середовища.....	37
4.1 Апвелінгова циркуляція.....	37
4.2 Структурно-динамічні особливості антициклонічних вихорів материкового схилу північно-західної частини Чорного моря в період 2005-2018 рр.....	43
4.3 Факт перенесення холодних вод із східної половини Чорного моря у середні області північно-західного шельфу.....	49
5 Ділянки акваторії північно-західної частини Чорного моря схильних до постійних змін гідродинамічних параметрів морського середовища.....	53
Висновки.....	55
Перелік посилань.....	57

ВСТУП

Зовнішнім середовищем проживання морських організмів є морська вода. Саме тому гідрологічні характеристики морської та прибережної води, мають важливе, часом визначальне значення для розвитку в ній життя.

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;
- 7.1.1 – розмір території, що постраждала від постійних змін;
- 7.2 – вплив постійних гідрологічних змін;
- 7.2.1 – просторова протяжність місць існування, які постраждали від постійної зміни.

Ці зміни можуть бути особливо важливі, коли вони шкідливо діють на морські екосистеми в більшому масштабі і їх оцінка може забезпечити раннє

попередження можливих впливів на екосистему. Крім спостережень за акваторіями, схильних до постійних змін гідрологічних параметрів, в постановах кабінету міністрів (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.

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 архівовані 2712 карт температурних полів, отриманих з січня по грудень 2018 року, карт поверхневих течій – 1428; геострофічних течій, реконструйованих по даним супутникової альтиметрії – 330. Одержано та опрацьовано 2230 карт розподілу хлорофілу-*a*. Знімків «AERONET» – 680.

Так само використовувалися дані, отримані з веб-сайту Copernicus.

При обробці інформації використовувалися стандартні методи математичної статистики та оригінальні програми УкрНЦЕМ. Побудова карт і графіків виконувалися за допомогою програмного забезпечення GS SURFER, MS EXCEL та ACDSee Pro.

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

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

Обробка метеоданих виконувалася за оригінальними програмами УкрНЦЕМ.

2. ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ В ПІВНІЧНИХ РАЙОНАХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ШЕЛЬФУ ЧОРНОГО МОРЯ В 2018 РОЦІ

2.1 Вітровий режим атмосфери

Вітровий режим в північних і західних районах північно-західного шельфу (ПнЗШ), як правило, відзначається високою повторюваністю вітрів північно-західних (ПнЗ), північно-східних (ПнС) і південно-східних (ПдС) чвертей. У попередньому 2017 році вітри ПнЗ чверті по трьох станціях одеського регіону (в портах Одеса, Чорноморськ і Южний) переважали в січні, протягом усього літнього періоду з липня по серпень і в жовтні місяці. Стійкі і тривалі літні ПнЗ вітри викликали тривалі й інтенсивні згинні явища і апвелінг. Загальна повторюваність вітрів з напрямками ПнЗ чверті в 2017 році склала 59 %. Основний внесок в повторюваність внесли північні (Пн) і північно-північно-західні (ПнПнЗ) вітри – 31 %.

Загальна повторюваність вітрів з напрямками ПнЗ сектора в 2018 році склала 52 %, тобто на 7 % менше, ніж в 2017 році. Основний внесок в повторюваність як і раніше вносили Пн і ПнПнЗ вітри – 43 %.

Таблиця 2.1 – Повторюваність вітру по градаціях швидкості і напрямку вітру (кілк.) ГМС Одеса- Порт, 01 / 01-30 / 11/2018

Напр.румби \ Градац. Скор.	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	Пн	ПнС	С	ПдС	Повторю- ваність (кіл.)
+< 2	47	21	60	62	219	11	38	29	487
2-< 4	205	33	96	142	170	49	85	72	852
4-< 6	172	5	47	89	170	47	118	66	714
6-< 8	70	2	11	34	119	17	73	31	357
8-< 10	14	0	3	23	62	11	17	10	140
10-< 12	6	0	2	15	32	4	15	2	76
12-< 14	0	0	0	9	8	1	8	0	26
14-< 16	0	0	1	2	2	0	0	0	5
16-< 18	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Сума (кіл.)	514	61	220	376	783	140	354	210	2658

Таблиця 2.2 – Повторюваність вітру по градаціях швидкості і напрямку вітру (%) ГМС Одеса - Порт, 01/01-30/11/2018

Напр. румби\ Градац. скор.	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	Пн	ПнС	С	ПдС	Повторю- ваність (%)
0-< 2	1.8	0.8	2.3	2.3	8.2	0.4	1.4	1.1	18.3
2-< 4	7.7	1.2	3.6	5.3	6.4	1.8	3.2	2.7	32.1
4-< 6	6.5	0.2	1.8	3.3	6.4	1.8	4.4	2.5	26.9
6-< 8	2.6	0.1	0.4	1.3	4.5	0.6	2.7	1.2	13.4
8-< 10	0.5	0.0	0.1	0.9	2.3	0.4	0.6	0.4	5.3
10-< 12	0.2	0.0	0.1	0.6	1.2	0.2	0.6	0.1	10.5
12-< 14	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.0	1.0
14-< 16	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
16-< 18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Сума (%)	19.3	2.3	8.3	14.1	29.5	5.3	13.3	7.9	100 %

Якісну оцінку 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. В Одесі середній за 2016 рік переніс повітряних мас здійснювався з ПнПнС напрямку (11°) із середньою векторною швидкістю 0,9 м/с, в 2017 році – з Пн напрямку (354°) з середньою векторною швидкістю також 0,9 м/с (рисунок 2.1), 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 м/с.

Порівняння ПВД 2018 року трьох представлених портів (рисунок 2.2) показує хорошу узгодженість даних вітрових умов, але найбільш добру відповідність швидкостей і напрямків вітру можна відзначити між спостереженнями в портах Одеса і Южний.

Ті ж висновки можна зробити і при аналізі роз вітрів за даними трьох зазначених станцій (рисунок 2.3).

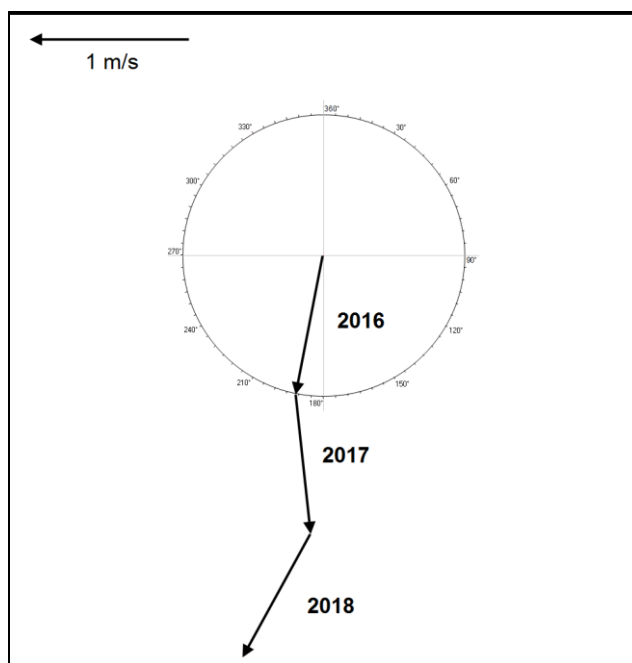


Рисунок 2.1 – Середньорічна ПВД перенесення повітряних мас за даними ГМС Одеса-порт в 2016 – 2018 рр.

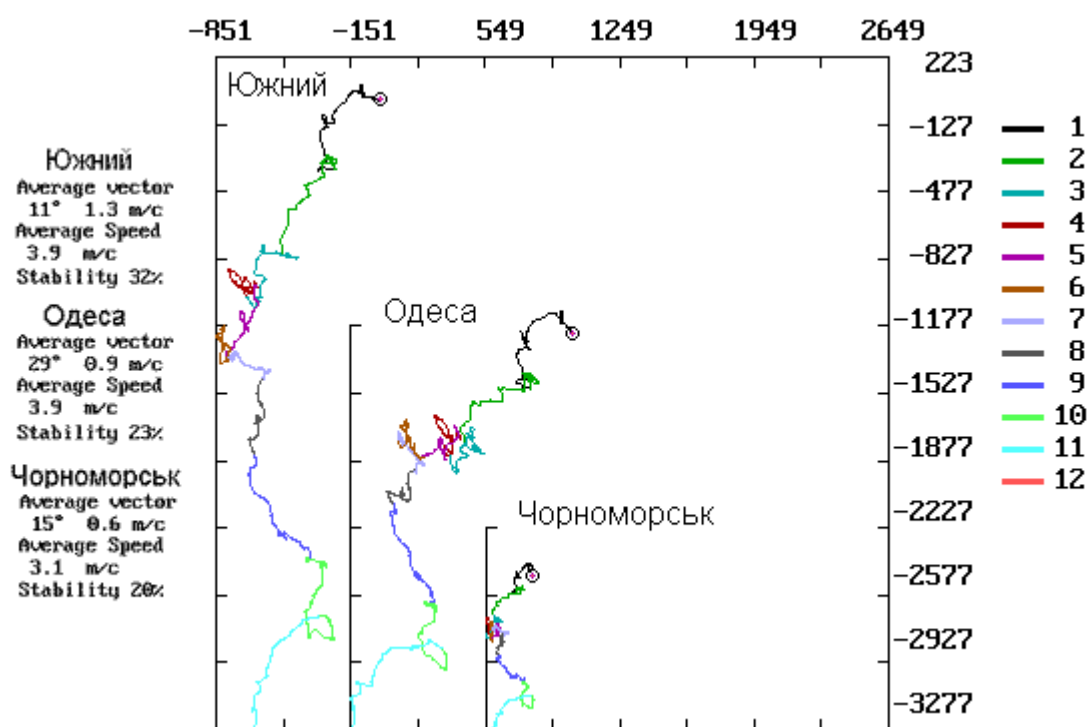
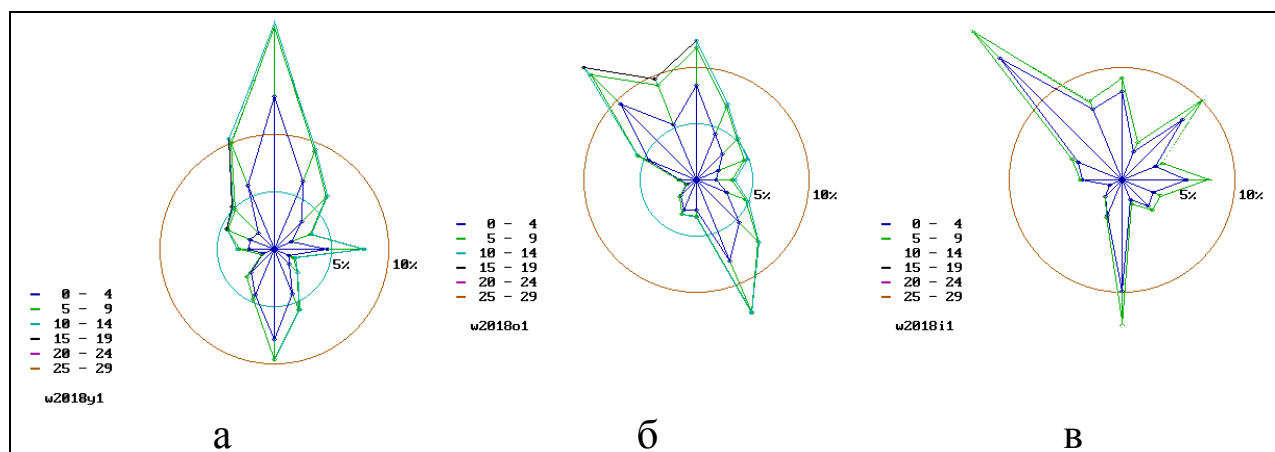


Рисунок 2.2 – Прогресивно-векторні діаграми вітру в 2018 році за даними спостережень: ГМС Одеса-Порт, ГМБ п. Чорноморськ і ДП п. Южний



а) порт Южний, б) порт Одеса і в) порт Чорноморськ

Рисунок 2.3 – Рози повторюваності вітрів в 2018 році в портах

За даними ГМС Одеса-Порт повторюваність і південно-південно-східних (ПдПдС) вітрів в 2018 році склала 27,2 %. За даними цього ж пункту 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 повного аналізу вітрового режиму розглянемо таблицю 2.3, де представлені узагальнені середні місячні характеристики вітрових умов по ГМС Одеса-Порт. Найбільша стійкість вітрів спостерігалася в лютому, вересні та листопаді. У більшості випадків найбільша повторюваність відзначалася для Пн і ПнС вітрів. Як правило, за ці ж періоди часу отримані і найвищі середні арифметичні і векторні швидкості вітру.

Таблиця 2.3 – Щомісячні дані середніх характеристик вітрових умов за даними ГМС Одеса-Порт в 2018 році

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Модуль Напрямок	37	49	62	199	52	125	335	31	341	344	48	-
Модуль швидкості	1.4	2.0	0.4	0.6	0.9	0.6	0.7	0.8	2.3	1.0	2.8	-
Серед.арифм. швидкість	4.7	4.9	4.4	3.7	3.2	3.4	3.0	3.2	3.9	3.4	4.7	-
Стійкість, (%)	30	41	10	16	28	19	24	25	58	29	58	-

На рисунку 2.4 відображені дані ГМС Одеса-порт про вітер за 37 років, з 1981 року. Судячи з наведених на рисунку трендам, за цей відрізок часу середня швидкість вітру знизилася мінімум на 1 м/с, а середня з максимальних добових швидкостей зросла більш ніж на 1,5 м/с.

Осереднення за 30-річний проміжок часу з 1981 по 2010 роки всіх термінових спостережень швидкості вітру на ГМС Одеса-Порт і, окремо, максимальних за кожну добу, дало відповідно 4,7 м/с і 8,9 м/с.

Порівняння цих величин з аналогічними, що обчислені за сім років з 1911 по 2017 роки, показує, що середня швидкість зменшилася на 0,6 м/с до 4,1 м/с, а середня з максимальних добових збільшилася на 0,9 м/с, до 9,8 м/с.

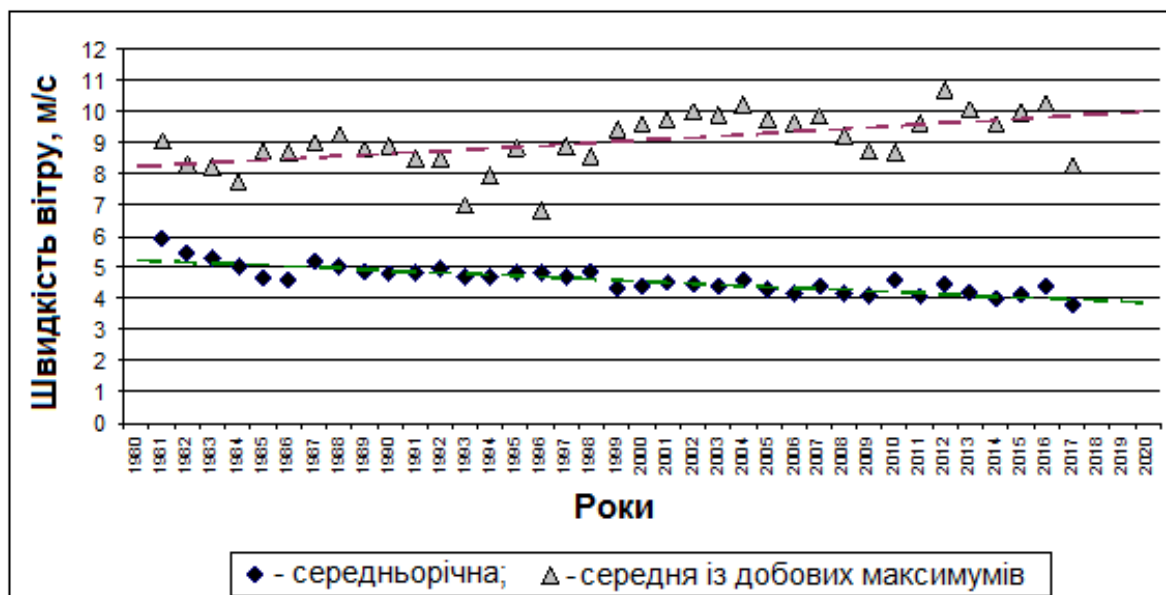


Рисунок 2.4 – Середньорічні швидкості вітру і усереднені по роках максимальні добові швидкості вітру за даними ГМС Одеса-Порт

Той же висновок на рівні середньомісячних значень характеристик вітру підтверджує рисунок 2.5. На ньому немає жодного випадку, щоб середньомісячне значення швидкості вітру за 2001-2017 рр. було більше, а середньомісячне з добових максимумів за цей же період було менше тих же показників за реперний період 1981-2010 рр.

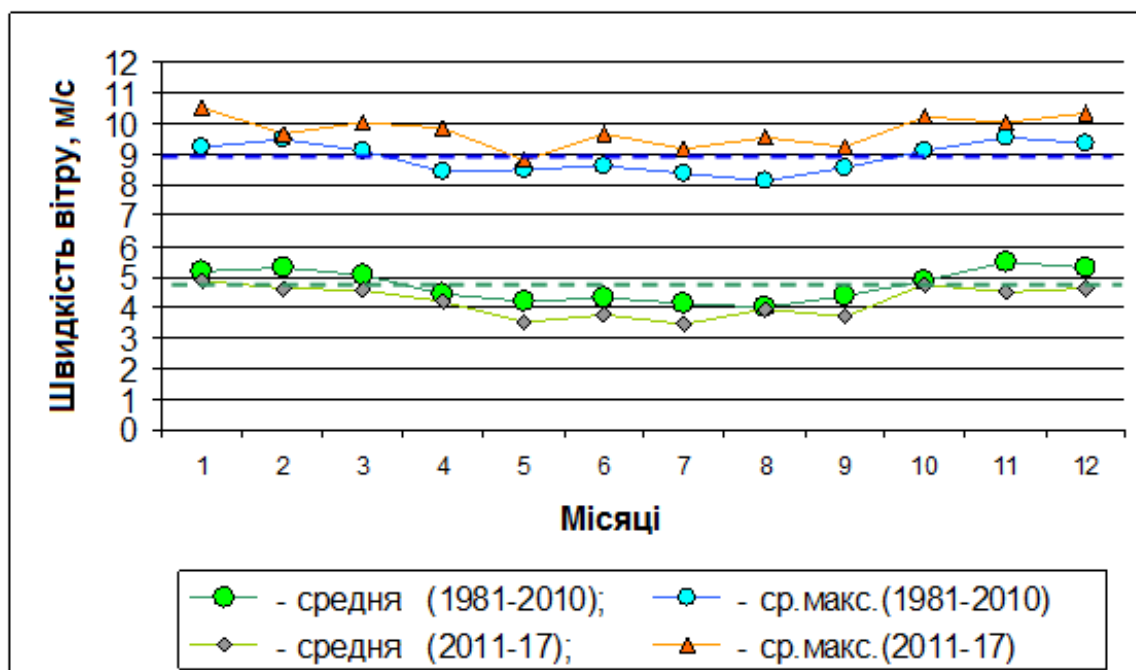


Рисунок 2.5 – Середньомісячні і осереднені по місяцях максимальні добові швидкості вітру за 1981-2010 рр. і за 2011-2017 рр. Пунктирні лінії – середні багаторічні значення зазначених швидкостей вітру

Очевидно, що «коридор» між середньомісячними значеннями середніх і максимальних швидкостей вітру в останньому семирічному проміжку часу порівняно з попереднім 30-річним розширився.

2.2 Термічний режим атмосфери

Інтегральний термічний стан холодного і теплого півріч 2017-2018 рр. розглянемо за даними ГМС Одеса-Порт. На рисунку 2.6 представлені багаторічні зміни (1894-2018 рр.) інтегральних характеристик: для зимового періоду суми градусо-днів нижче $+5^{\circ}\text{C}$; для літнього періоду сума градусо-днів вище $+10^{\circ}\text{C}$.

Умови холодного періоду 2017-2018 рр. відповідали межі між теплими і дуже теплими умовами. Акумулятивне значення температури склало -400 градусо-днів.

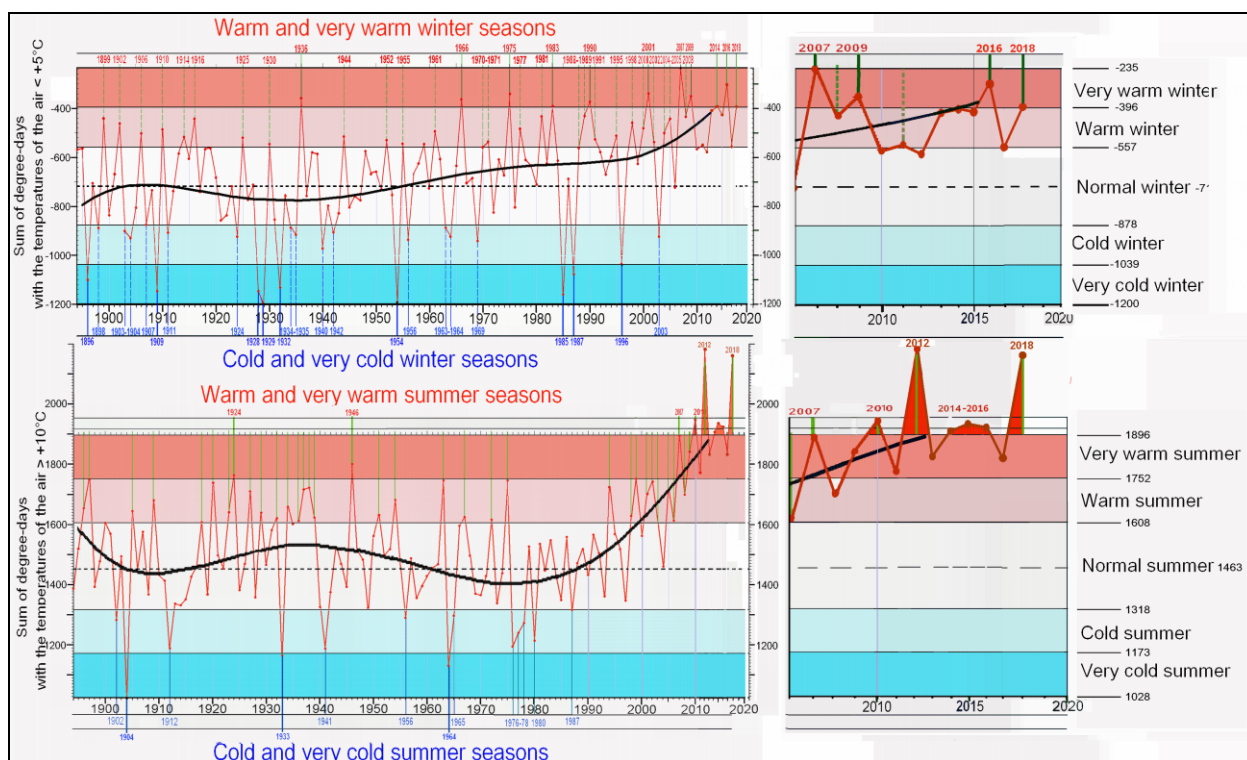


Рисунок 2.6 – Багаторічні зміни інтегральних характеристик термічного стану атмосфери в приземному шарі в зимовий (верхній рис.) і в літній (нижній рис.) півріччя за даними ГМС Одеса-Порт

Термічні умови теплового півріччя 2018 р. перебували за інтегральним термічним станом на рівні екстремуму 2012 року (рисунок 2.6). Екстремальні середньодобові температури вище від 27 °С до 28 °С спостерігалися в декількох одиничних випадках. Однак, на високий сумарний тепловий стан теплового півріччя 2018 року вплила його тривалість з істотною температурною аномалією в жовтні місяці.

Мінливість добових значень температури повітря річного циклу 2018 року представлена на рисунку 1.7. Чотири випадки зниження зимових температур до значень -6°C ÷ -9 °C відзначалися в період з другої декади січня по середину березня. Решта періодів зимового півріччя

характеризувалися, в основному, позитивними значеннями температур приземного повітря. Найбільш теплим місяцем в річному циклі 2018 року був серпень.

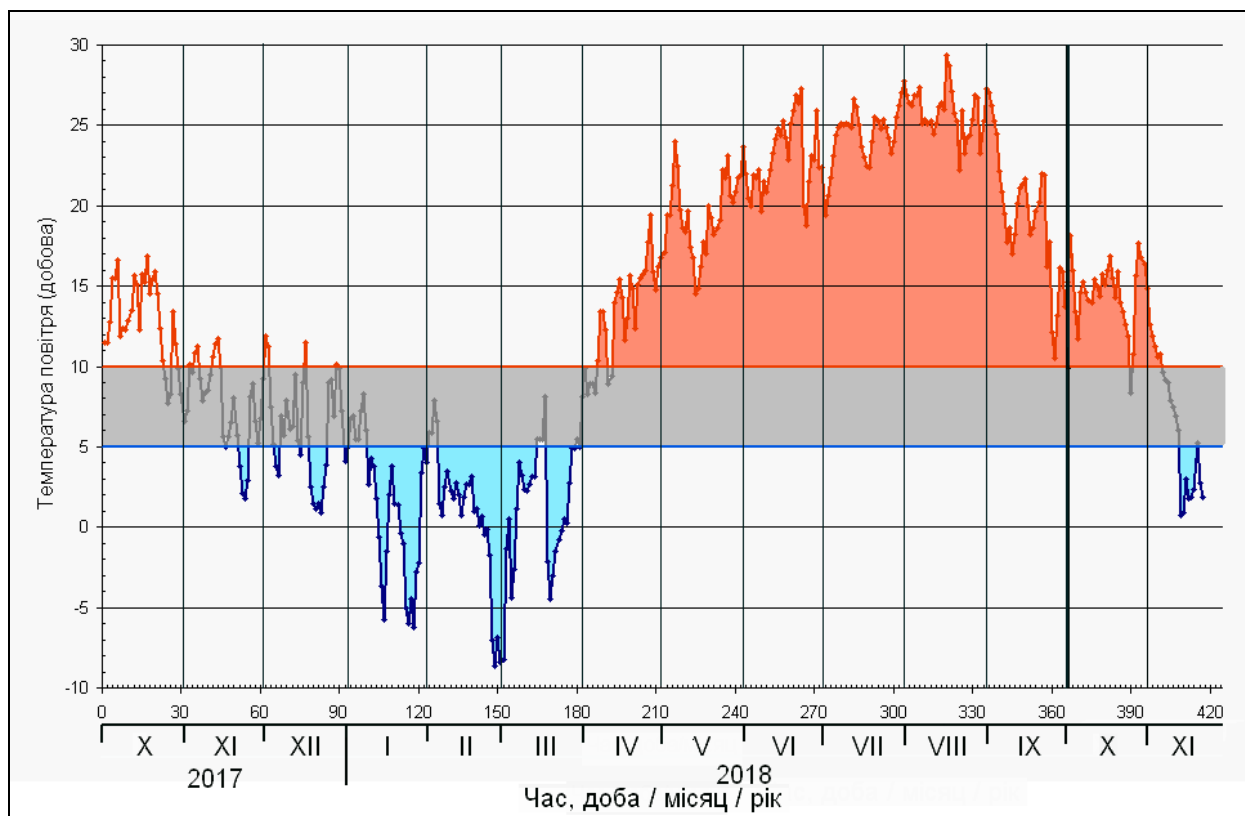


Рисунок 2.7 – Мінливість добових даних приземної температури повітря по ГМС Одеса-Порт з 01.10.2017 по 30.11.2018

На рисунку 2.8 представлені щомісячні графіки часової мінливості основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів ГМС Одеса-Порт в 2018 році. Ці дані в іншому поданні суттєво доповнюють частину вище представлених даних про вітрові умови, зокрема прогресивно-векторних діаграм і роз вітрів.



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 2.8 – Щомісячні графіки тимчасових змін основних гідрометеорологічних параметрів за даними вимірів ГМС Одеса-Порт в 2018 році

2.3 Атмосферні опади

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 року по 2010 рік за спостереженнями на метеостанції Одеса-обсерваторія. Ця величина більше, ніж попередня норма опадів (1971-2000рр.), яка дорівнювала 441 мм, і значно більше середнього річного кількості опадів, 348-350 мм, що спостерігався, в мінімумі 1891-1930 рр. (рисунок 2.9).

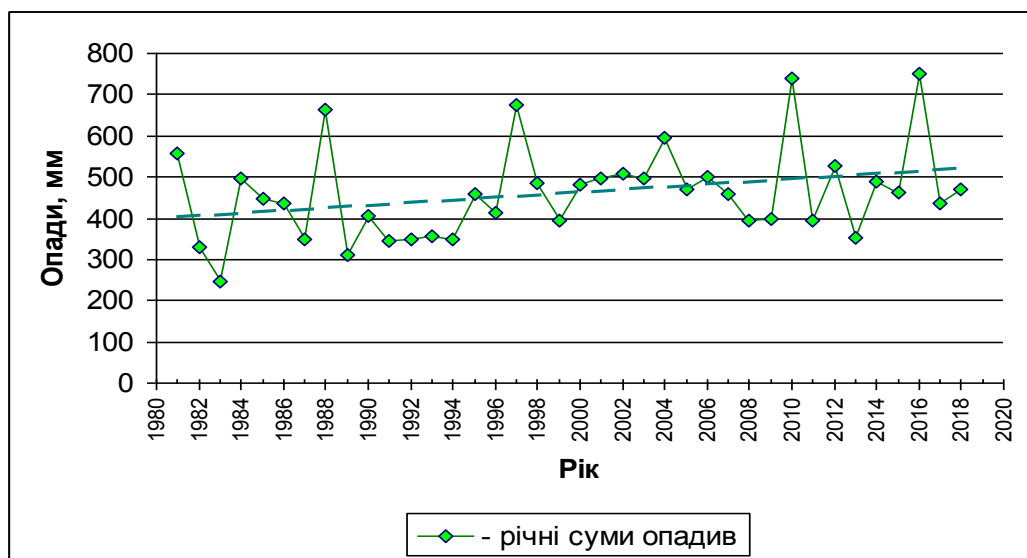


Рисунок 2.9 – Річні суми опадів за даними станції Одеса-обсерваторія з 1981 року

На рисунку видно, що кількість опадів в поточному десятилітті продовжує збільшуватися. У п'яти з восьми уже останніх років річна норма опадів була перевищена, причому в 2016 році відзначена найбільша за 200 років метеоспостережень в Одесі сума опадів 752 мм.

Що стосується поточного 2018 року, то місячні норми опадів були перевищені в 5 календарних місяцях, причому в січні і березні більш ніж в 2 рази. В результаті, незважаючи на посушливі квітень, серпень і жовтень (відповідно 3 мм, 0 мм і 5 мм опадів), річна сума опадів склала 495 мм, що перевищило річну норму на 9 %.

3. МІНЛИВІСТЬ ГІДРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

3.1 Температурний режим

Температурний режим ПЗШ і глибоководної частини Чорного моря в силу природних процесів помітно відрізняються. У мілководній шельфовій зоні процеси прогрівання і охолодження вод протікають значно інтенсивніше. На нього більше впливають швидкість і напрям вітру, річковий стік, апвеллінгова циркуляція. Максимальні амплітуди коливань температури води в цій частині моря значно вище ніж в глибоководній. У таблиці 3.1 приведені максимальні і мінімальні значення температури води за календарними сезонами в районах згідно карти районування Чорного моря, Том 1.

Вибірка проводилася до глибини 50 м. за період з 1990 по 2005 рр. [2]. Значення в глибоководній частині брались з Атласу [3]

Таблиця 3.1 – Максимальні і мінімальні значення температури води за календарними сезонами в районах згідно карти районування Чорного моря (ЧМ)

Район	Водні масиви	Період, сезони							
		Зима		Весна		Літо		Осінь	
		Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.
Дунайський	CW1, CW2, TW5	-0,79	9,61	5,14	24,41	6,28	27,3	5,98	21,79
Дністровський	CW2, CW3, CW4, CW5	-0,9	6,84	3,97	25,32	6,64	28,4	2,94	21,3
Дніпровський	CW6, CW7, CW8, CW9	-0,9	7,33	3,87	27,47	6,5	28,5	0,56	21,86

Кінець таблиці 3.1

Район	Водні масиви	Період, сезони							
		Зима		Весна		Літо		Осінь	
		Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.
Каркінітський	CW9, CW10, CW11, CW12	-0,76	7,62	3,57	18,02	8,17	23	4,48	9,11
Каламітський	CW12, CW13, CW14, CW15	5,73	8,77	6,5	21,05	6,42	25,4	6,61	16,97
Змішування		-0,86	9,56	4,25	24,58	6,32	26,2	3,11	22,53
Центральний		0,46	9,61	4,48	21,98	6,21	25,7	5,76	23,18
Пів.-західний Криму	CW16, CW17, CW18, CW19	7,1	10,5	7	14,8	7,4	23,3	8	20,9
Пів.-східний Криму	CW20, CW21,	6,9	11,5	7,1	14,7	7,1	23,2	7,9	21
Зах. частина глибоководної ділянки ЧМ		6,8	10,2	7,1	14,7	7,5	23,2	7,6	20,7
Сх. частина глибоководної ділянки ЧМ		7	10,8	7,3	14,6	7,4	23,3	7,8	20,7

Найбільша різниця між максимальними та мінімальними температурами води 22 °С спостерігалася в літній період на самих мілководних ділянках Дніпровського і Дністровського районів.

3.1.1 Температура морської води за даними гідрометеостанції Одеса-Порт з 1981 по 2018 рр.

Норма температури морської води за даними ГМС Одеса-Порт за 1981-2010 рр. дорівнює 11,4 °С. На рисунку 3.1 показані аномалії середньорічних температур, обчислені щодо зазначеної норми, за цей період і за наступні 8 років.

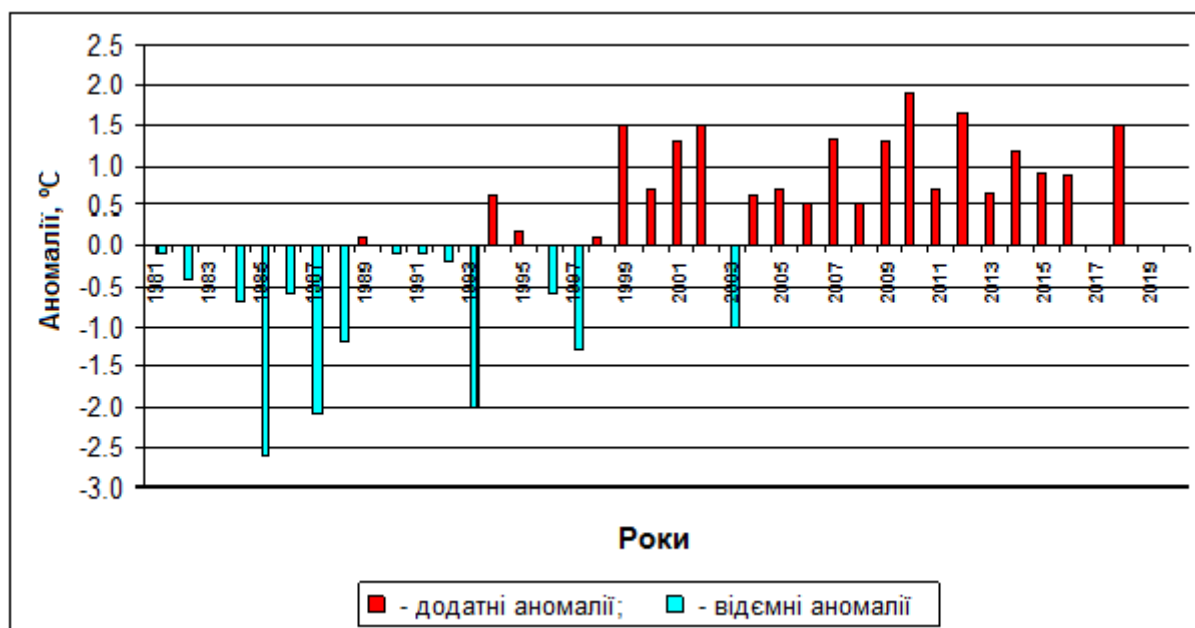


Рисунок 3.1 – Аномалії середньорічних температур морської води за даними ГМС Одеса-порт щодо норми за 1981-2010 рр., що дорівнює 11,4 °C

Видно, що вказаний відрізок часу довжиною в 38 років ділиться майже навпіл 1998 року: у першій половині – всього чотири 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).

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, за два роки, що навряд чи зміниться більш ніж на одну-дві десяті частки градуса. Тому середня величина за 28 років з 1991 року буде гарною оцінкою майбутньої норми. Подивимося, як зміниться рисунок 3.1, якщо з далекого кінця часового ряду, по якому він побудований,

видалити 10 в основному холодних років, а до ближнього додати 8 тепліших (рисунок 3.2).

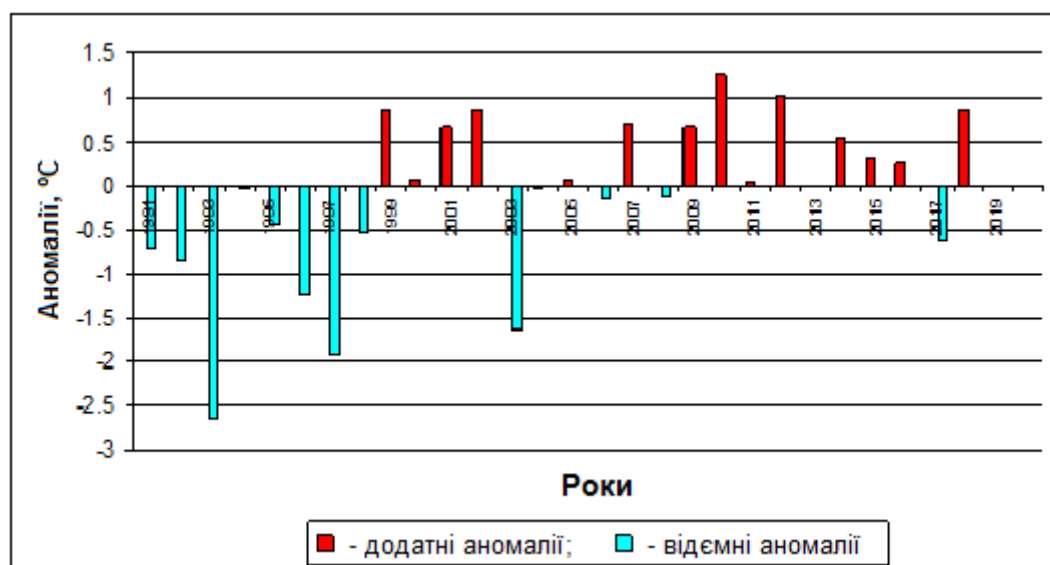


Рисунок 3.2 – Аномалії середніх річних температур морської води за даними ГМС Одеса-Порт щодо середньої температури за 1991-2018 рр., дорівнює 11,9 °C

Середня температура морської води за спостереженнями ГМС Одеса-Порт за останні 28 років виявилася рівною 11,9 °C, що на пів градуса вище нині діючої норми. Позитивні відхилення від цього нового значення повинні, природно, на пів градуса зменшитися, а негативні, за абсолютною величиною, 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 малюнку, в порівнянні з попереднім не настільки очевидні.

Рисунок 3.3 повторює рисунок 3.2, але до нього додані середньорічні значення температури води з центральної частини ПнЗЧ ЧМ за супутниковими даними.

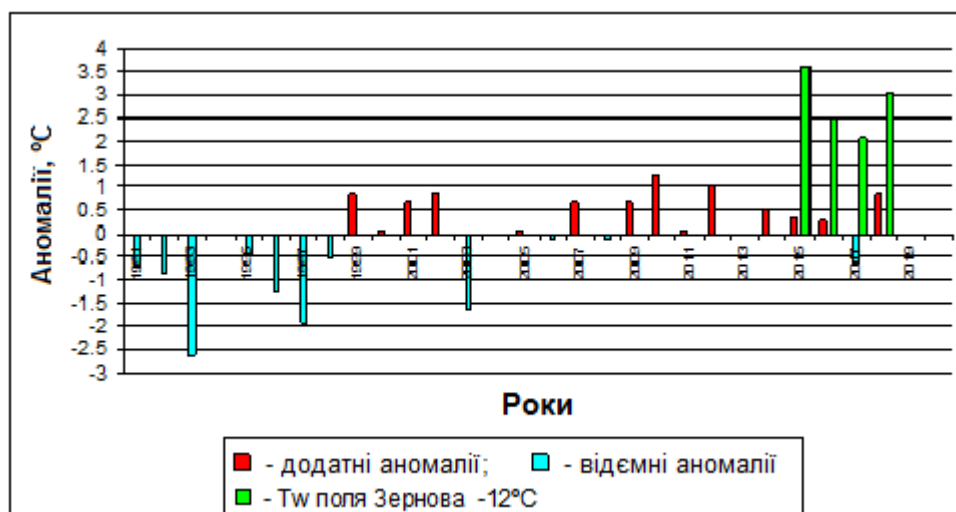


Рисунок 3.3 – Аномалії середніх річних температур морської води за даними ГМС Одеса-порт за 1991-2018 рр. і в районі філофорного поля Зернова за 2016-2018 рр., щодо середньої температури, що дорівнює 11,9 °C

Літні температури води у відкритій частині моря від 24 °C до 25 °C, тобто не сильно поступаються прибережним. Зате зимові не опускаються нижче 4 °C, а в окремі роки і нижче 6 °C, що значно вище температур прибережних вод. Саме ці факти відображає рисунок 3.3. На рисунку 3.4 наведено графік часового ходу середньодобової температури води за 2017 р. та 2018 р. Якщо умовно розділити рік на теплий період з температурою води п'ять і вище градусів і відповідно холодний, то з графіка видно, що температурний режим моря в Одеській затоці в 2017 р. відрізнявся від 2018 р. Так кількість «теплих» днів у 2017 р. була більше ніж в 2018 р. на 26. (таблиця 3.2), а сумарна температура теплого періоду навпаки була вище в 2018 р. Середня середньодобова температура теплого періоду також в 2018 р. була вище на 2.7 °C. Почасти подібну картину можна пояснити тим, що кількість апвеллінгів в 2017 р. була менше ніж в 2018 р., але в основному така картина відповідає загальному температурному режиму атмосфери. Як вже зазначалося вище 2018 рік був одним із найтепліших за останній період.

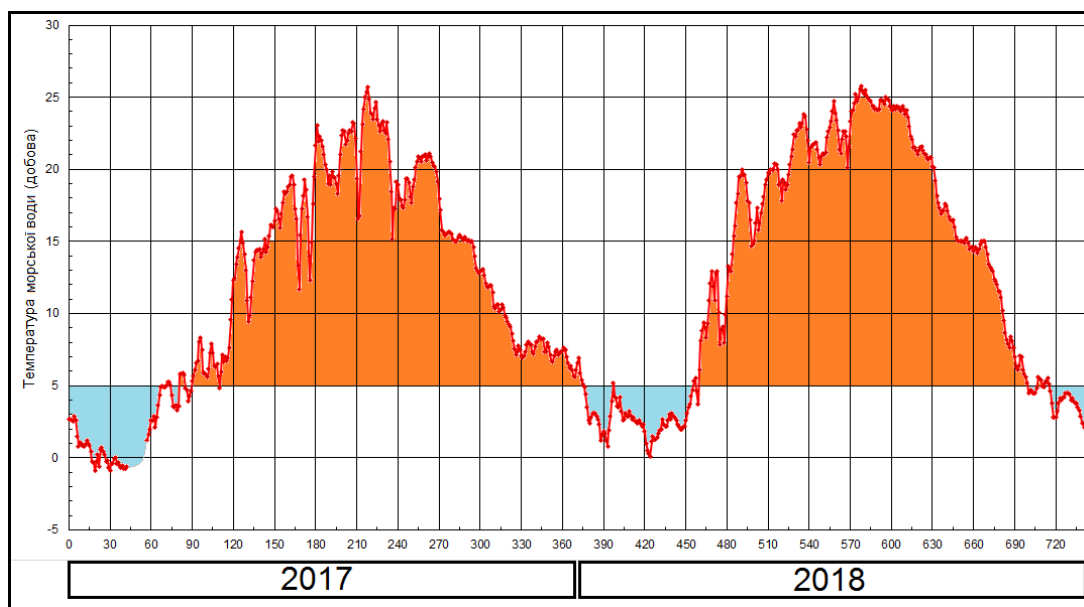


Рисунок 3.4 – Середньодобові значення температури морської води в Одесі за 2017-2018 рр. <http://rp5.ua>

Таблиця 3.2

Роки	Кількість діб зі значенням > +5 °C	Сумма	Максимум, °C	Середнє, °C	Середнє за рік, °C
2017	286	4100,7	25,7	14,3	11,5
2018	260	4417,0	25,8	17,0	13,0

3.2 Солоність морської води

Солоність морської води в глибоководній частині Чорного моря малозмінна і коливаються в верхньому шарі від 18,6 ‰ до 17,5 ‰ далі з глибиною збільшується до 22,4 ‰ на дні.

У ПнЗЧ ЧМ 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 3.3 наведені максимальні і мінімальні значення солоності води за обраними районам.

Таблиця 3.3 – Максимальні і мінімальні значення солоності води за обраними районами

Район	Водні масиви	Період, сезони							
		Зима		Весна		Літо		Осінь	
		Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.	Мін.	Макс.
Дунайський	CW1, CW2, TW5	9,85	18,63	2,98	18,25	3,22	18,25	8,69	18,08
Дністровський	CW2, CW3, CW4, CW5	13,45	18,23	6,41	18,27	11,39	18,26	11,09	17,96
Дніпровський	CW6, CW7, CW8, CW9	7,72	18,30	3,20	18,16	8,53	18,32	7,91	18,07
Каркінітський	CW9, CW10, CW11, CW12	17,36	18,12	16,04	18,24	16,47	18,38	17,21	17,76
Каламітський	CW13, CW14, CW15	18,09	18,92	17,66	19,58	17,55	19,48	17,57	19,00
Змішування		15,31	18,35	11,18	18,28	12,65	18,35	14,34	18,19
Центральний		14,92	18,74	14,02	18,66	15,47	18,74	17,39	19,30
Пів.-західний Криму	CW16, CW17, CW18, CW19	18,0	18,4	17,7	18,3	17,6	18,1	17,9	18,5
Пів.-східний Криму	CW20, CW21, CW22	17,8	18,2	17,5	18,2	17,5	18,0	17,8	18,4
Зах. частина глибоководної ділянки ЧМ		18,0	18,5	18,0	18,7	17,9	18,2	17,9	18,6
Сх. частина глибоководної ділянки ЧМ		18,1	18,5	17,8	18,4	17,8	18,1	18,0	18,6

Води з найнижчим значенням солоності з'являються в районах річкових розгрузок в весняно-літній період під час паводків. Тоді ж і

спостерігається максимальна різниця між максимальною і мінімальною солоністю районів: Дунайський – 15,27 ‰, Дніпровський – 14,96 ‰, Дністровський – 11,86 ‰.

3.2.1 Солоність морської води за даними гідрометеостанції Одеса-Порт з 1970 по 2018 рр.

Рисунок 3.5 (а) показує, що солоність морської води в районі Одеси знизилася за останні майже 50 років приблизно на 1 ‰, що може бути пов'язано з встановленим фактом збільшення в цей період кількості атмосферних опадів (розділ 2.3), а також зі збільшенням стоку опріснених вод з Дніпро-Бузького лиману. Рисунок 3.5 (б) уточнює, що зниження солоності відбувалося нерівномірно: спочатку повільно, а потім значно прискорилося. Перелом доводиться на 2001-2003 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. 3.6).

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 міжрічні 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 не випадковий характер зв'язку з цим.

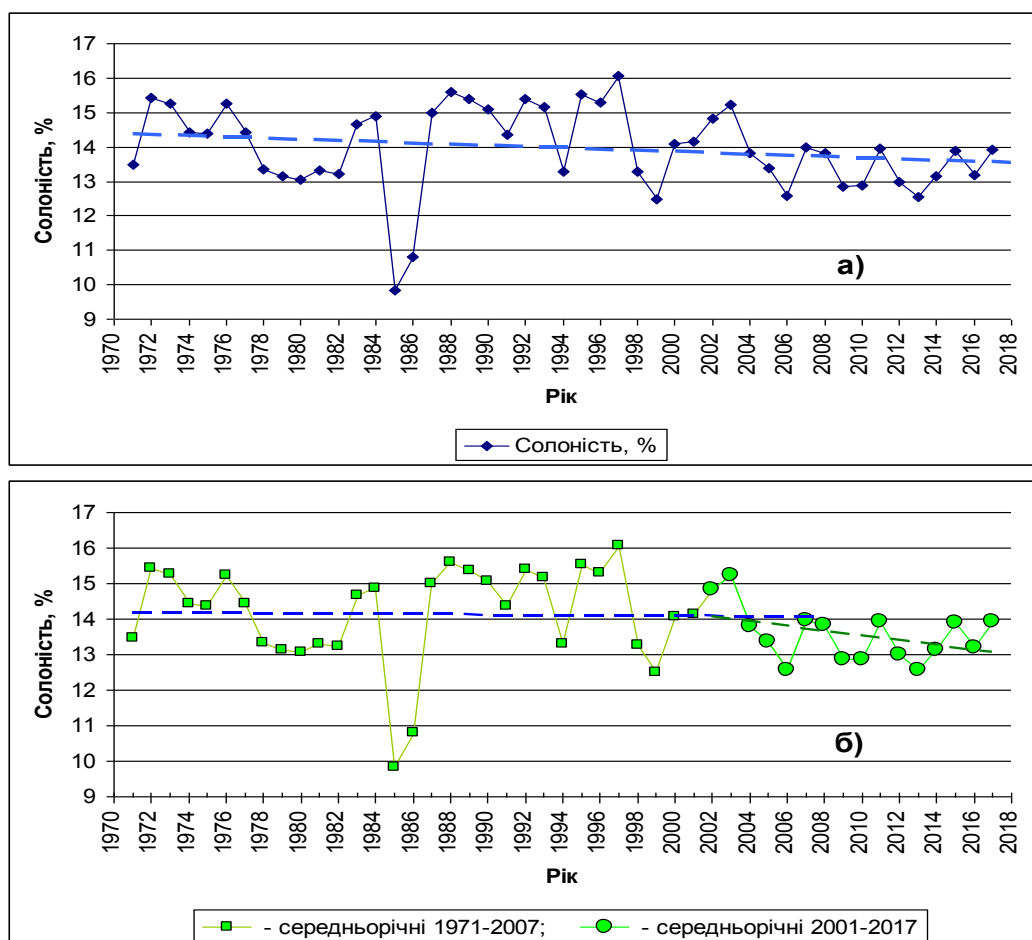


Рисунок 3.5 – Зміни солоності морської води за даними ГМС Одеса-Порт з 1971 року, а) в середньому за весь період, б) з поділом на два періоди

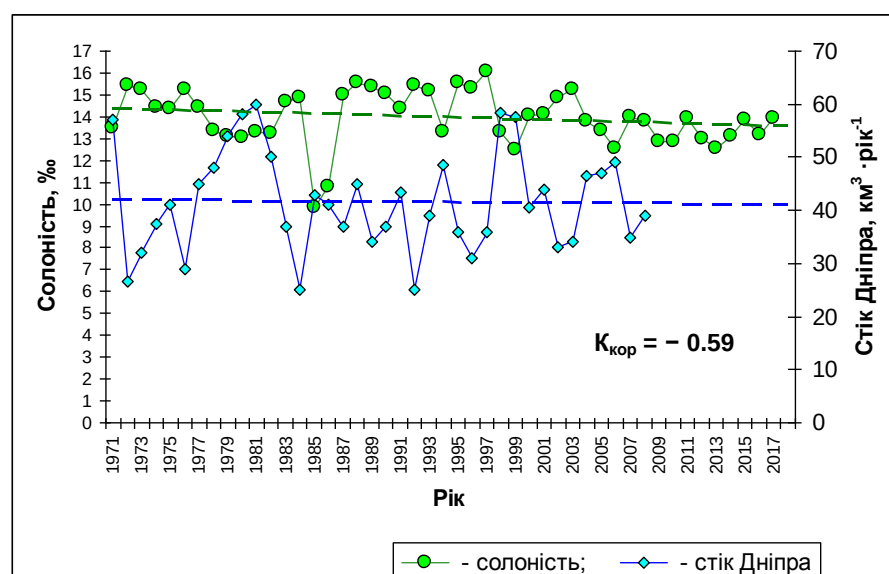


Рисунок 3.6 – Зміни середньорічної солоності за даними МГС Одеса-порт і водного стоку Дніпра

3.3 Баготорічна мінливість річкового стоку в північно-західної частини Чорного моря

Річковий стік має значний вплив на екологічну структуру вод ПЗШ. Західна частина шельфу в основному перебувати під впливом дунайських вод, східна – під впливом вод Дніпро-Бузького лиману. Розпріснені води Дністровського лиману поширюються, як правило, на південний схід і вплив їх не такий значний.

У районах виходу річкових вод постійно формуються гідрофронти здатні за певних умов просуватися на значні відстані. Нижче представлені фотографії гідрофронтів. На рисунку 3.7 зображено інтенсивний гідрофронт в районі мису Малий фонтан 16 січня 2014 року. На ньому чітко видно межу між сірими мало прозорими річковими водами Дніпро-Бузького лиману і морськими. На рисунку 3.8 зображено "звичайний" гідрофронт на Дунайському узмор'ї, що виник в результаті утворення лінзи з більш розпрісненою водою 25 листопада 2018 року, градієнт солоності склав 3,89.



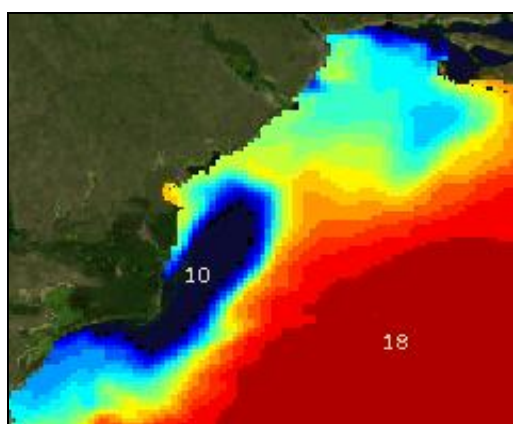
Рисунок 3.7 – Гідрофронт в районі Малого Фонтану 16 січня 2014 р.

(Фото Ю.І. Попова)

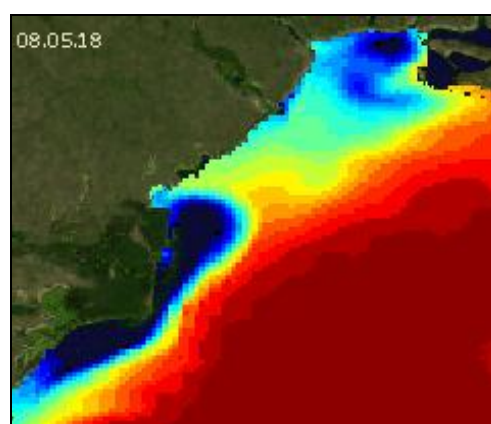


Рисунок 3.8 – Гідрофронт на Дунайському узмор'ї 25 листопада 2018 р.
(Фото Ю.М. Диханова)

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 2018 року. 1 травня дунайська паводкова хвиля поширювалася в північно-східному напрямку, а до 8 травня внаслідок зміни напрямку дії вітра вже повернула на протилежний – уздовж західного узбережжя.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Поширення дунайської паводкової хвилі в 2018 році

(За розподілом солоності в ПШ) <http://marine.copernicus.eu/>

а) 1 травня 2018 р.

б) 8 травня 2018 р.

У момент дунайського паводку спостерігається підвищення концентрацій хлорофілу-*a* до 98 мг/м.куб., рис.3.10.

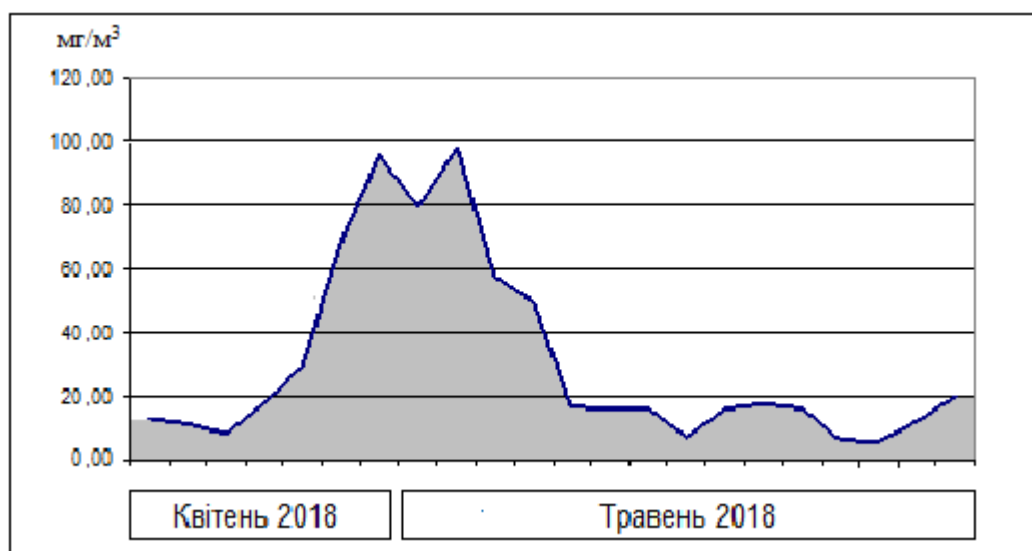


Рисунок 3.10 – Тимчасова мінливість максимумів концентрації хлорофілу-*a* на дунайському узбережжі під час паводку 2018 року

Стік Дунаю з 1981 р доцільно розділити на три частини:

- перша (1981-2000 рр.) – 30-річний відрізок, за яким обчислені нині діючі річна і місячні норми стоку;
- друга (2011-2018 рр.) – характеризує сучасні тенденції змін;
- третя – стан в звітному 2018 році.

Всі три відрізка показують збільшення стоку (рис. 3.11). Судячи з лінійних трендів, швидше за все стік збільшувався з 1981 по 2010 рр. – за 30 років на 30 км³.

Для виділення багатоводних і маловодних років, а також для виділення місяців з високим стоком (повені або паводки) і з низьким меженний стоком використовувався універсальний і простий підхід.

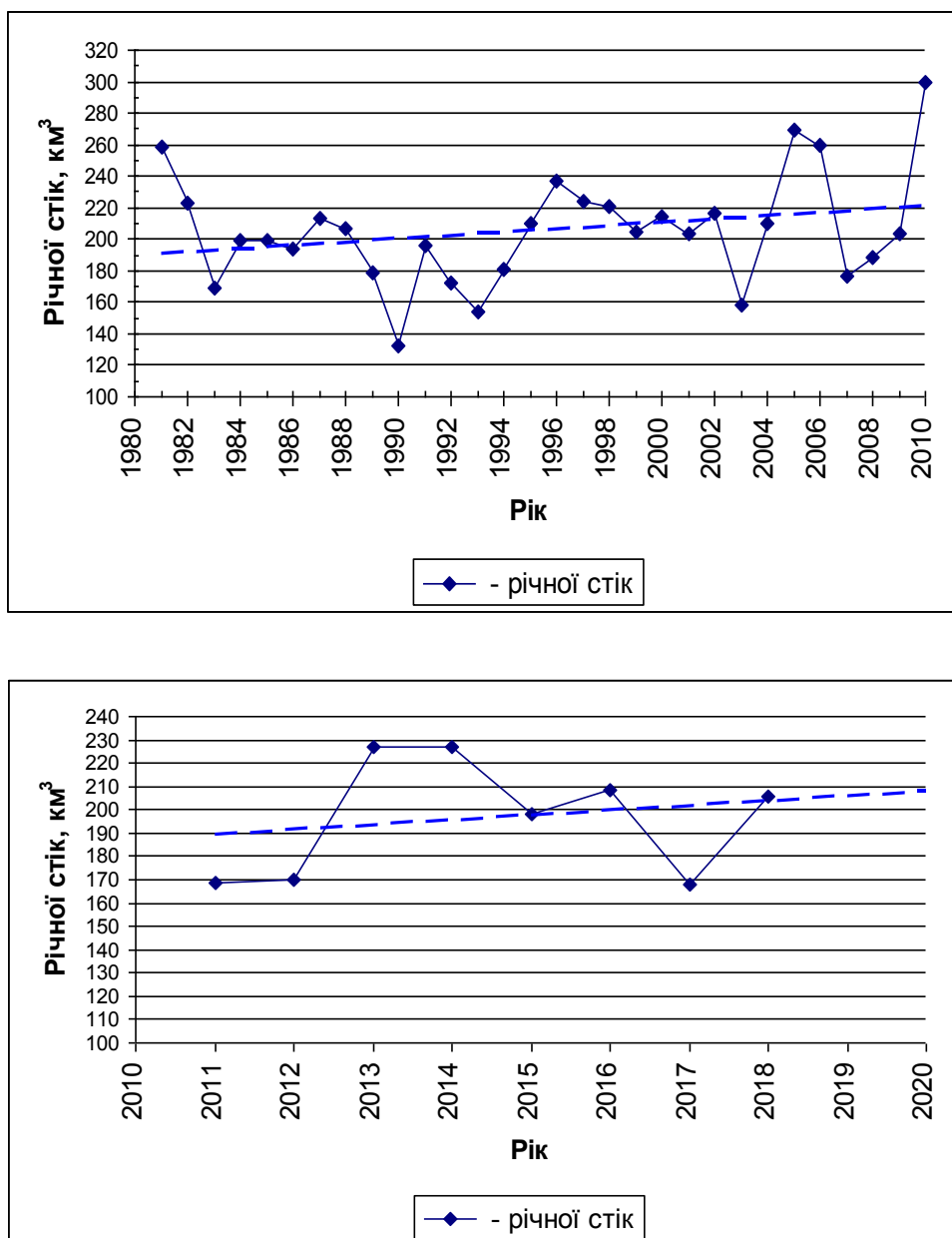


Рисунок 3.11 – Річні стоки річки Дунай, км³, в створі р Ізмаїл за різні періоди: а) 1981-2018 pp.; б) 1981-2010 pp.; в) 2011-2018 pp.

По кожному з розглянутих часових рядів, від 12 місячних значень за кожен рік і до 30 значень за реперний 30-річний відрізок часу, визначалися його середнє значення і стандартне відхилення. Потім величини, що представляють собою суму і різницю середнього значення і стандартного відхилення, розглядалися як кордони нормального стоку. А ті значення, які виходили за вказані межі, визначалися за змістом як стоки в багатоводні,

маловодні роки, або як стоки в місяці повені, паводку, межені.

Оцінки водності Дунаю по роках представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Оцінка водності років по стоку Дунаю
в період 1981-2010 рр.

Рік	Стік, км ³	Рік	Стік, км ³	Рік	Стік, км ³
2010	299,4	1987	212,7	1986	194,0
2005	269,4	2004	209,7	2008	188,5
2006	260,1	1995	209,6	1994	180,5
1981	258,7	1988	207,2	1989	178,4
1996	236,5	1999	205,1	2007	176,5
1997	224,5	2009	204,0	1992	172,2
1982	222,8	2001	203,3	1983	168,8
1998	221,3	1985	199,6	2003	158,1
2002	216,9	1984	199,3	1993	153,7
2000	214,1	1991	196,0	1990	132,5

Згідно із запропонованою методикою 4 роки на початку таблиці по стоку перевищують верхню межу 241 (206+35) км³, а 4 останні роки не дотягують до нижньої межі 171 (206-35) км³.

На рисунку 3.12 представлені три варіанти річного ходу стоку Дунаю: середньомісячні значення за 30 років (1981-2010рр.) або норми, середньомісячні значення за останні 8 років і місячні значення стоку без усереднення за 2018 рік.

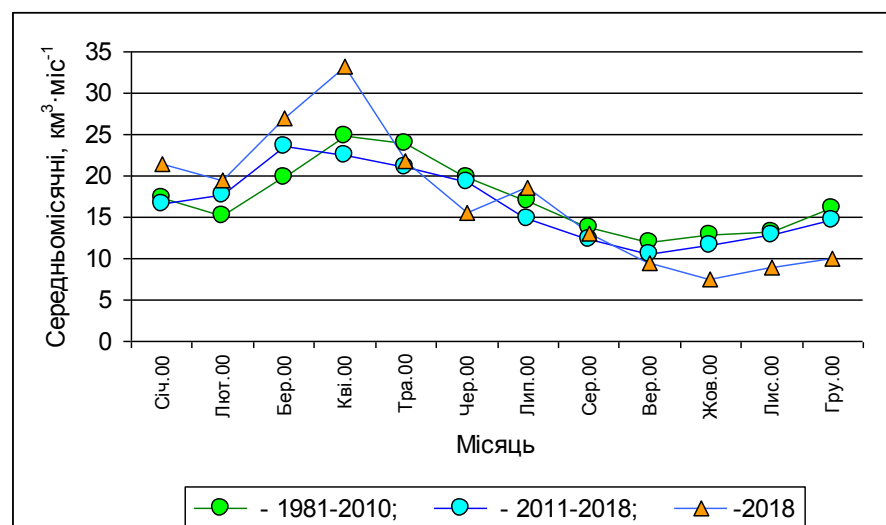


Рисунок 3.12 – Місячні норми стоку р. Дунай, середньомісячні значення за 2011-2018 рр. і місячні стоки за 2018 р.

При аналогічному, як у випадку з річними середніми, підході до місячних норм стоку з'ясувалося, що в кліматичному сенсі квітень і травень, що перевершують по стоку верхню межу 21 (17+4) км³/міс, слід вважати місяцями повені, а вересень і жовтень, які не дотягують до нижньої межі 13 (17-35) км³/міс слід вважати меженними.

Таблиця 3.4 – Число випадків відмінності місячного стоку за конкретний рік від середнього за цей же рік значення більш ніж на стандартне відхилення за даними 30 років з 1981 по 2010 рр.

Місяці	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ср.+ст. відх.	4	1	4	20	19	7	2	2	—	—	2	5
Ср.-ст. відх.	2	4	—	—	—	—	2	9	15	11	13	3

Представлені в таблиці 3.4 помісячні за 1981-2010 рр. числа випадків, коли фактичний місячний стік Дунаю відрізнявся від середньомісячного за цей же рік значення в більшу або в меншу сторону більш ніж на стандартне відхилення дозволяє зробити наступні висновки.

Всього за 30 років є 360 місячних стоків. З них 59, відповідно до таблиці 3.4, слід віднести до високих, ще 59 – до низьких, а решта 242 – до середніх (16,4 %, 16,4 % і 67,2 %, відповідно).

З 59 випадків високих стоків 39 (66 %) припадають на місяці повеней, квітень і травень, а решта 20 випадків слід віднести на рахунок інтенсивних і тривалих атмосферних опадів в басейні Дунаю, тобто вважати паводками.

Мінливість стоків під час повеней вельми висока: при середньому значенні 27,1 км³/міс величини стоків розрізнялися вдвічі, від 18,3 км³ в маловодному 1993 році до 36,7 км³ в маловодному 2006 році.

Звертає увагу, що з 59 випадків низьких стоків також 39 (66 %) припадають на місяці межені, а їх три, вересень, жовтень, листопад. З решти 20 випадків низьких стоків 11 припадають на липень, серпень і їх, звичайно, слід віднести на рахунок тривалих періодів посухи в басейні Дунаю. Ще 9

випадків низьких стоків приходяться на три зимові місяці. Вони можуть бути пов'язані, як і влітку, з недоліком опадів, а можуть і з випаданням опадів у твердій фазі і не можливістю їх танення в холодні зими.

Ще більша, ніж в разі повеней, мінливість спостерігається серед межових стоків. У вересні-жовтні, при їх середньому значенні $9,9 \text{ км}^3/\text{міс}$, величини стоків розрізнялися майже втричі, від $6,0 \text{ км}^3$ в самому маловодному за 30 років 1990 р. до $17,2 \text{ км}^3$ в самому багатоводному 2010 р.

Наведені статистичні дані за 30-річний період з 1981 по 2010 рр., які визначають нинішні норми, можуть служити основою для оцінки стоку Дунаю в наступні 10 років, тобто до того часу, поки після закінчення 2020 року не відбудеться оновлення норм.

З таблиці 3.5 видно, що з 8 років, починаючи з 2011 р., 3 роки були маловодними, а інші ставляться до розряду нормальних. Середнє річне значення стоку за ці 8 років одне – $196,5 \text{ км}^3$, що на 4,5 % менше норми. Цей результат не узгоджується з тенденцією до збільшення стоку Дунаю, відображеної на рисунку 3.5.

Таблиця 3.5 – Річні стоки Дунаю(км^3) після 2010 року

Роки	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Стік	168,3	169,7	227,0	227,3	197,8	208,4	167,9	205,7
Відхилення від норми, %	-18	-18	+10	+10	-4	+1	-18	0

Що стосується місячних стоків, то ніяких особливостей не відмічено: високих місячних стоків, відповідних повені і паводків, за 8 років набралось 15 випадків, а низьких, відповідних межень 17.

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

4.1 Апвелінгова циркуляція північно-західної частини Чорного моря

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

Вихід на поверхню в прибережних районів більш щільних вод і їх подальша адвекція викликає в приповерхневих шарах значну горизонтальну плотнісну неоднорідність і генерує інтенсивні течії вздовж берега. Апвелінги можуть кардинально змінити уздовж берегову циркуляцію вод. У звіті 2017 року описана ситуація, коли активні процеси прибережного апвелінгу, викликані аномально тривалими за часом (понад місяць) вітрами північно-західній чверті, привели до зміни річної циклональної циркуляції на антициклональну уздовж всього західного узбережжя ПнЗШ. В результаті чого, в червні-серпні виникло інтенсивне перенесення трансформованих дунайських вод в район Царгородського гирла. Далі, спільно з водами дністровського розвантаження північно-східний перенос можна було простежити за супутниковими знімками аж до північних районів ПнЗШ. На східній периферії потоку поширювалися насичені кокколитофоріди води, захоплені з південних районів шельфу. Таким чином, циркуляція, викликана апвелінгом привела до істотного перерозподілу фітопланктону та інших гідробіологічних та гідрохімічних параметрів води.

Безумовно, апвелінги впливають на зниження температури

прибережних вод ПнЗЧ ЧМ в теплу пору року. З огляду на те, що в 2018 році кількість апвелінгів зменшилась, можна припустити, що зростання середньо річних ТПШ за теплий період в прибережній зоні буде стимулюватися, крім інших, і цим фактором. Довготривале потепління поверхневого шару супроводжується загостренням вертикальних градієнтів щільності в верхньому шарі моря, що може спровокувати евтрофікацію в прибережних водах і загострити гіпоксійно-анноксійні процеси, які в кінцевому підсумку можуть привести до заморів.

Відзначено, що в районі дії апвелінгу знижується вміст РОВ та ОВВ в морській воді, що свідчить про поліпшення її якості [4].

Нерідко, в період сильного апвелінгу виникає ефект паріння моря, що ускладнює судноплавство та виконання боргових робіт. На рисунку 4.1 представлено ширяння моря в Одеському порту 26 червня 2017 року в період дії сильного апвелінгу, коли на поверхню вийшли води з температурою 11 °С.



Рисунок 4.1 – Паріння моря в районі пляжу Ланжерон і Одеського порту 26 червня 2017 року в період дії апвелінгу
<https://pushkinska.net/>

З точки зору рекреаційного потенціалу морських курортів апвелінги скоріше за все виступають в негативній ролі: виражене охолодження прибережних вод знижує їх привабливість для відпочиваючих.

Більшість апвелінгів ПнЗЧ ЧМ виникають в прибережній смузі моря під дією вітрів згінних напрямків. Влітку вони добре ідентифікуються в полі температури поверхневого шару води з виникаючих вогнищ більш холодних глибинних вод вийшли на поверхню. Як правило, спочатку вони проявляються в прибережній зоні, а потім, розширюються від берега в бік відкритого моря, як фронтально, так і в формі вузьких струменів (філаментів) [5]. Форма і довжина цих струменів в основному залежить від гідродинамічної обстановки району, інтенсивності апвелінгової циркуляції і топографічних особливостей берегів і рельєфу дна [5]. На наведених нижче малюнках довжини окремих струменів перевищують від 40 км до 50 км (рисунок 4.2 (б)). На дунайському узбережжі траєкторія руху одного струменя мала спіралевидну форму антициклонної спрямованості (рисунок 4.2 (а)).

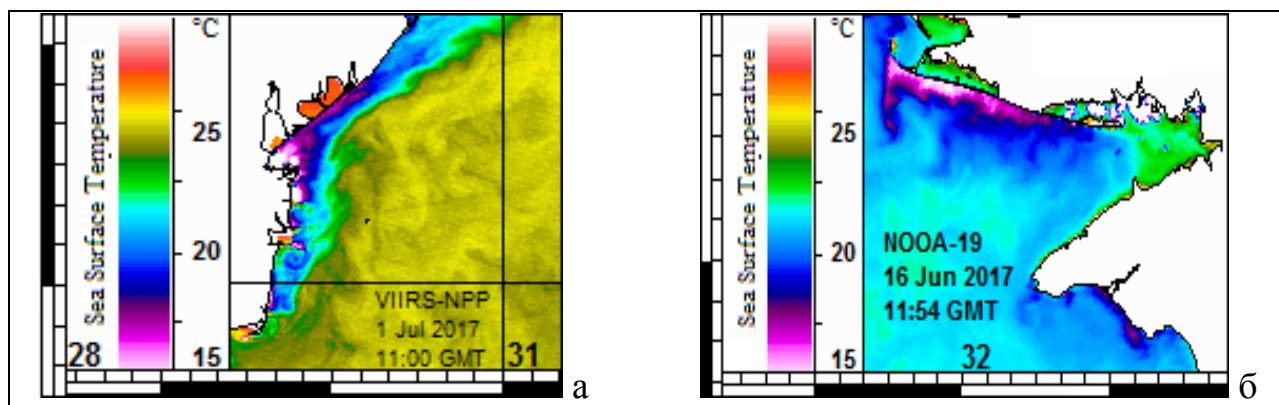


Рисунок 4.2 – Приклади апвелінгів

а) на Дунайське морське узбережжя;

б) у Тендрівської коси

У холодну пору року (листопад-квітень), при незначному вертикальному градієнті температури води, процес підйому глибинних вод в

поле температур ідентифікувати досить важко. Його можна оцінити по коливанню рівня моря в місцях розташування станцій спостереження. Перед початком апвелінгу спостерігається помітне зниження рівня води [6].

Відомі випадки «теплого» апвелінгу. Так у 31 рейсі НДС «В. Паршин» в грудні 2009 року в результаті дії згінного вітру у Каркініцькій затоці на поверхню вийшли більш теплі води з нижніх шарів моря, ще не охолоджених в ході осінньо-зимової вертикальної конвекції.

Найбільш сильні апвелінги в районі одеського узбережжя спостерігалися на початку 80-х років минулого століття. Так в червні 1981 р при інтенсивному було зафіксовано падіння ТПШ на 16,5 °С, з 26,4 °С до 9,9 °С [8].

Для виявлення зон апвелінгів використовувалися супутникові дані, отримані за літній період, коли ці зони проявляються найбільш чітко.

Критерієм для їх виділення служили негативні аномалії температури величиною > 5 °С.

Слід зазначити, що при значному прогріванні верхнього шару води апвелінг в полі температур можуть проявлятися досить слабо. Може бути цим і можна пояснити, що в серпні за супутниковими даними апвелінгів фіксується менше.

Обриси берегової лінії ПнЗЧ ЧМ мають таку форму, що практично вітри усіх румбів в тій чи іншій її частині можуть викликати згони і апвелінги. Найбільш ефективні вітри ПнПнЗ і ПнС напрямків. Річна повторюваність вітрів цих румбів над акваторією ПнЗЧ ЧМ перевищує 70 % (див. розділ 2).

Відзначено рідкі випадки, коли в результаті горизонтальної неоднорідності поля атмосферного тиску і вітру, апвелінгова циркуляція спостерігалася одночасно практично вздовж усього узбережжя від мису Каліакра до південного краю Тендрівської коси (близько 350 км) (рис. 4.3).

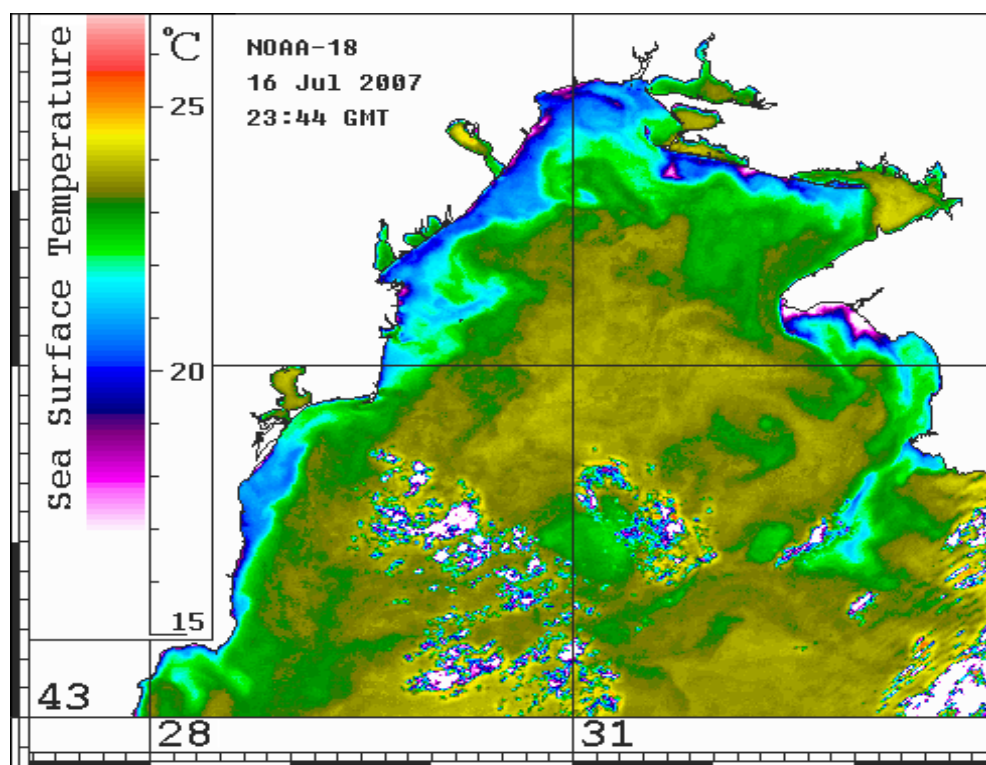


Рисунок 4.3 – Крупномаштабний апвелінг в ПнЗЧ ЧМ 16 липня 2007 року

Велике значення у формуванні апвелінгів має топографія морського дна. У ПнЗЧ ЧМ ухил дна відносно невеликий. Десяти метрова ізобата в основному проходить на відстані від 1,5 км до 2 км від берега. При таких умовах мілководдя вплив сили Коріоліса незначний: глибина менше екмановського шару. Тому апвелінги ПнЗЧ ЧМ в основному виникають при згону вітрах спрямованих по квазінормальній траєкторії до берега. На приглибинних ділянках, де 20-ти метрова ізобата підпливає близько до берега апвелінги можуть виникати за змішаним механізмом, близьким до екмановської моделі (рис. 4.4). Прикладом може послужити апвелінги, що виникають в районі м. Малий Фонтан при південних (уздовж берега) вітрах.

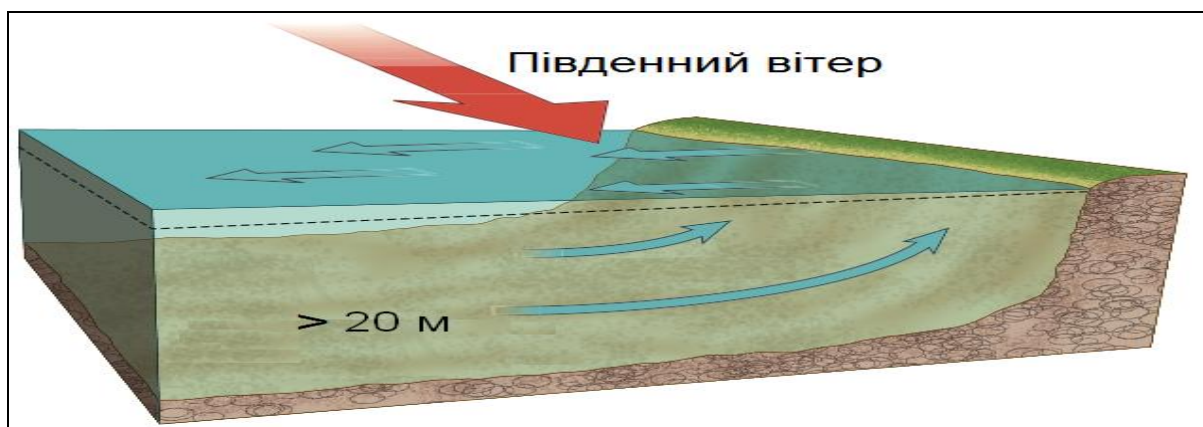


Рисунок 4.4 – Механізм виникнення апвелінгу екмановського типу

До апвелінгу змішаного типу можна також віднести апвелінги на Дунайському узмор'ї і в Каркінітській затоці, з глибинами від 17 м до 20 м.

У таблиці представлені кількості діб дії апвелінгів в різних районах ПнЗЧМ за період з 01 червня по 31 серпня 2017 та 2018 роках, які виявили себе в полі ТПШ. З таблиці 4.1 видно, що найбільший вплив апвелінгів в літній період.

Таблиця 4.1 – Кількість діб апвелінгів в районах ПнЗЧМ за період з 1 червня по 31 серпня 2017 р. та 2018 р. за даними штучних супутників Землі (ШСЗ)

Рік	Дунайське узмор'я	Межиріччя	Одеська затока	Пн. Узбережжя	Кінбурська коса	Тендрівська коса	п-ів Тарханкут	м. Херсонес
2017	27	31	49	39	17	49	34	40
2018	3	6	11	11	6	20	28	24

Помітно, велика відмінність в інтенсивності апвелінгів 2017 р. і 2018 р. Так в 2017 р. сумарна кількість діб з апвелінгу по виділених районах склала 286, в 2018 р. – 110. Це пов'язано зі змінами в напрямку вітру в літній період (рис. 4.5). На рисунку 4.6 наведені рози вітрів за літній період 2017 і 2018 рр. Очевидно, що внесок вітрів північно-західних (згонних) румбів в 2018 році нижче, ніж в 2017 році, а саме ці вітру в основному є «апвелінгові» для західної половини узбережжя ПнЗШ.

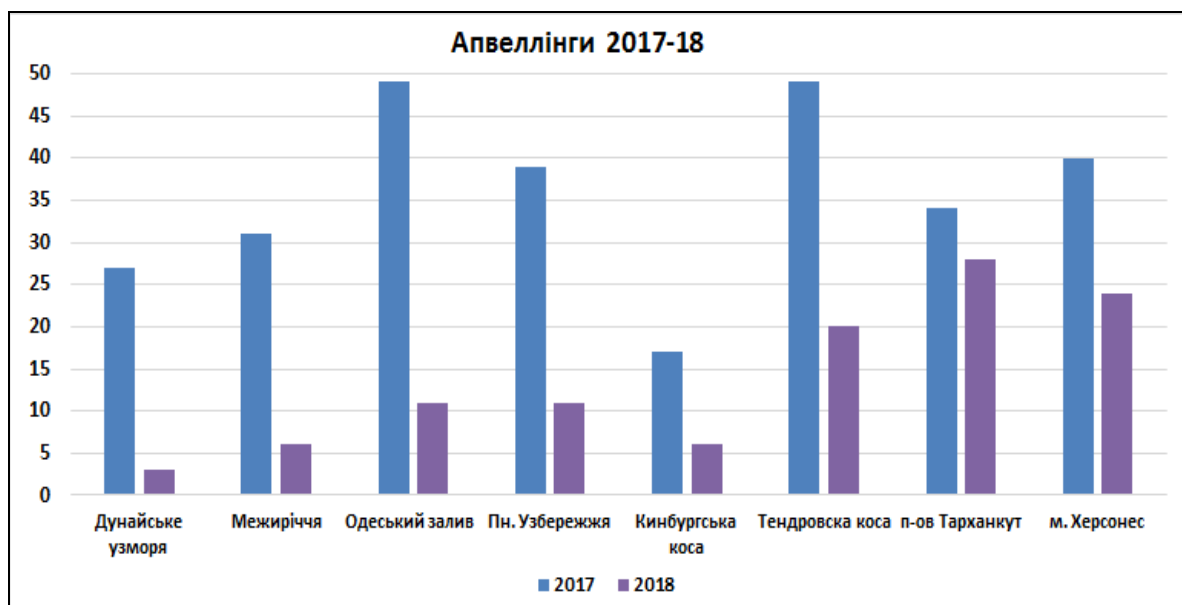


Рисунок 4.5 – Кількість діб апвелінгів в районах ПнЗЧМ за період з 1 червня по 31 серпня 2017 та 2018 р за даними ШСЗ

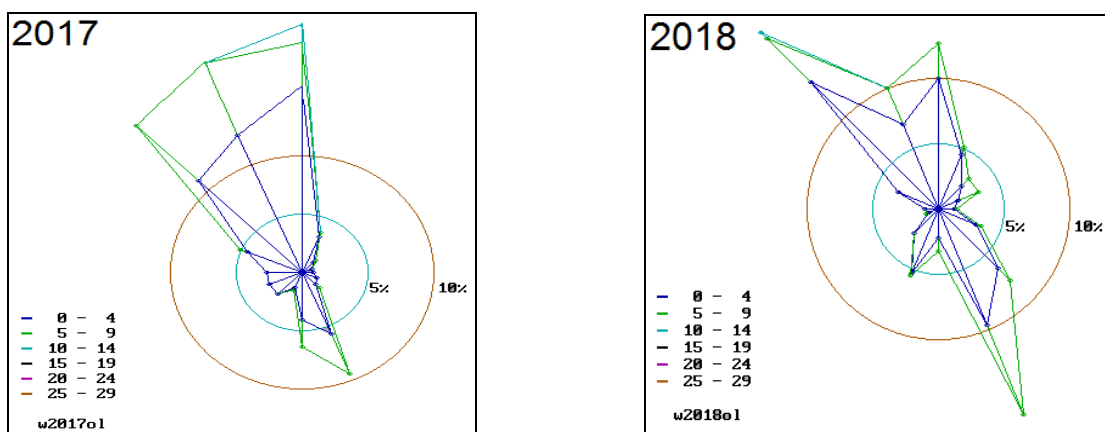


Рисунок 4.6 – Рози вітрів за літній період 2017 та 2018 рр.

4.2 Структурно-динамічні особливості антициклонічних вихорів материкового схилу північно-західної частини Чорного моря в період 2005-2018 рр.

Мезомасштабні антициклонічні вихрові утворення, майже регулярно формуються уздовж материкового схилу північно-західного шельфу Чорного моря істотно впливають на утилізацію забруднених шельфових вод.

Механізм утилізації полягає у втягуванні шельфових вод в серединні області вихорів, їх механічного розчинення з чистішими водами відкритого моря і перенесення в глибинні шари під впливом низхідних вертикальних рухів, характерних для антициклонічних структур. При цьому втягуються не тільки вже відносно добре перемішані води відкритого шельфу, але, при активному розвитку вихровий діяльності, відзначається наявність послідовного надходження (шлейфи) слабо трансформованих вод Дунайського (із заходу), а окремі роки і Дніпро-Бузького стоків (з півночі), рисунок 4.7.

На підставі усієї наявної у розпорядженні супутникової інформації за період з 2005 по 2018 рр. були проаналізовані ряди характеристик вихорів північно-західного («Севастопольських», СВ) і західного схилів моря. Кількість вихорів, що були утворені за рік; час існування і інтенсивного розвитку кожного з них; екстремальні розміри вихорів – важливі динамічні характеристики.

В середньому у звалювання глибин ПнЗШ формується за рік від 10 СВ до 11 СВ. Вісім вихорів було утворено в 2007 році і екстремальна кількість – сімнадцять в 2006 р. Потовщеннями горизонтальних ліній «життя» вихорів на рисунку 4.1 виділені періоди їх масштабного розвитку до візуальних розмірів від 70 км до 80 км і більше. Як правило, це відбувається при затримках їх поступальної ходи на захід і південний захід в області підводного амфітеатру з відносно пологим континентальним схилом (у інтервалі меридіан 31° – $33,5^{\circ}$ с.д.). За узагальненими даними діаграми сумарний час життя СВ за річний період складало від 521 доби в 2005 р. до 954 діб в 2010 р. та 918 діб в 2016 році. Сумарний за рік час інтенсивного розвитку вихорів змінювався від 218 в 2006 році до 84 - 86 діб в 2007, 2011 і 2009 рр. В останні 8 років (рис. 4.7) періоди інтенсивного розвитку СВ постійно зменшувались так, що в останні три роки вихори взагалі не досягали значних розмірів. В період 2015-2017 рр. середня кількість вихорів була близька до середнього значення, а в 2018 р. досягла мінімального значення (див. таблицю 4.3, рисунки 4.8 і 4.9).

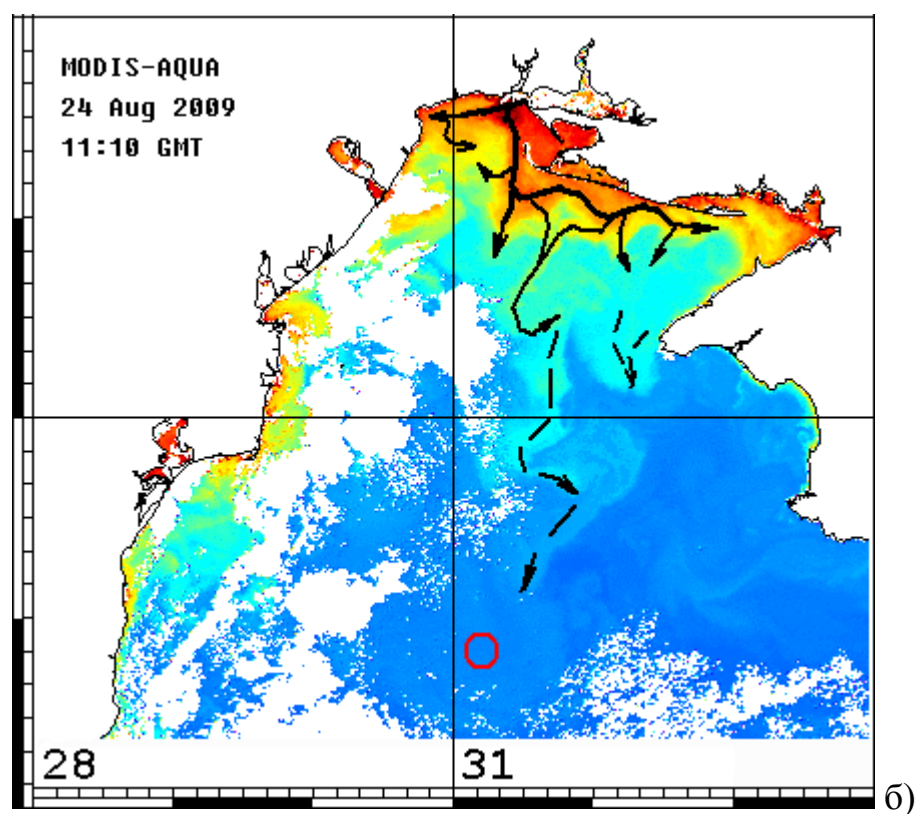
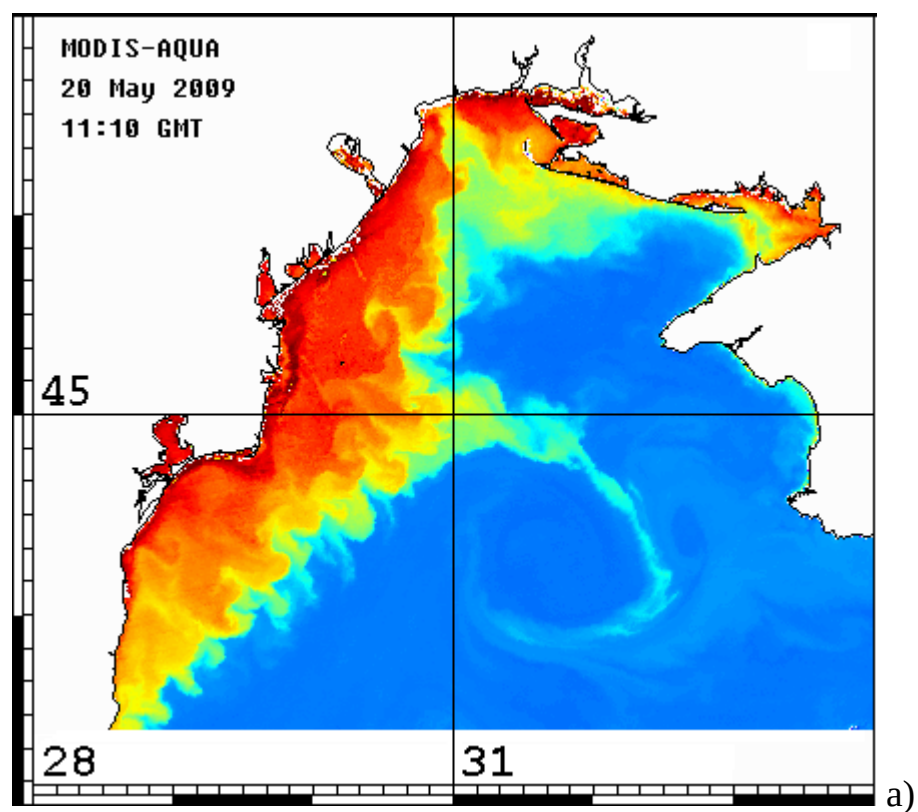


Рисунок 4.7 – Приклад проникнення вод з підвищеною концентрацією хлорофілу-*a*, з Дунайського узмор'я (а) та Дніпро-бузького (б) лиману в район континентального схилу

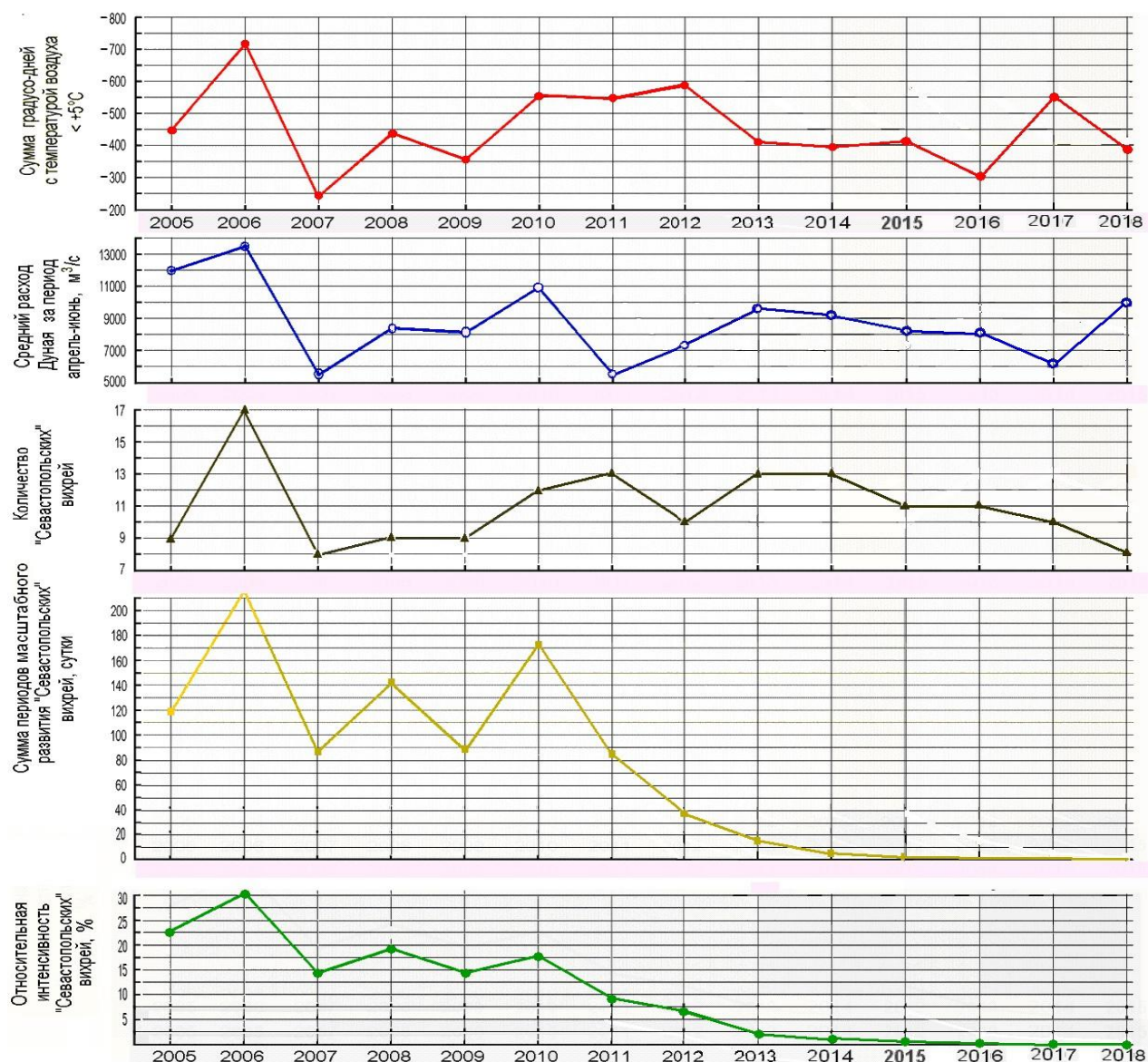


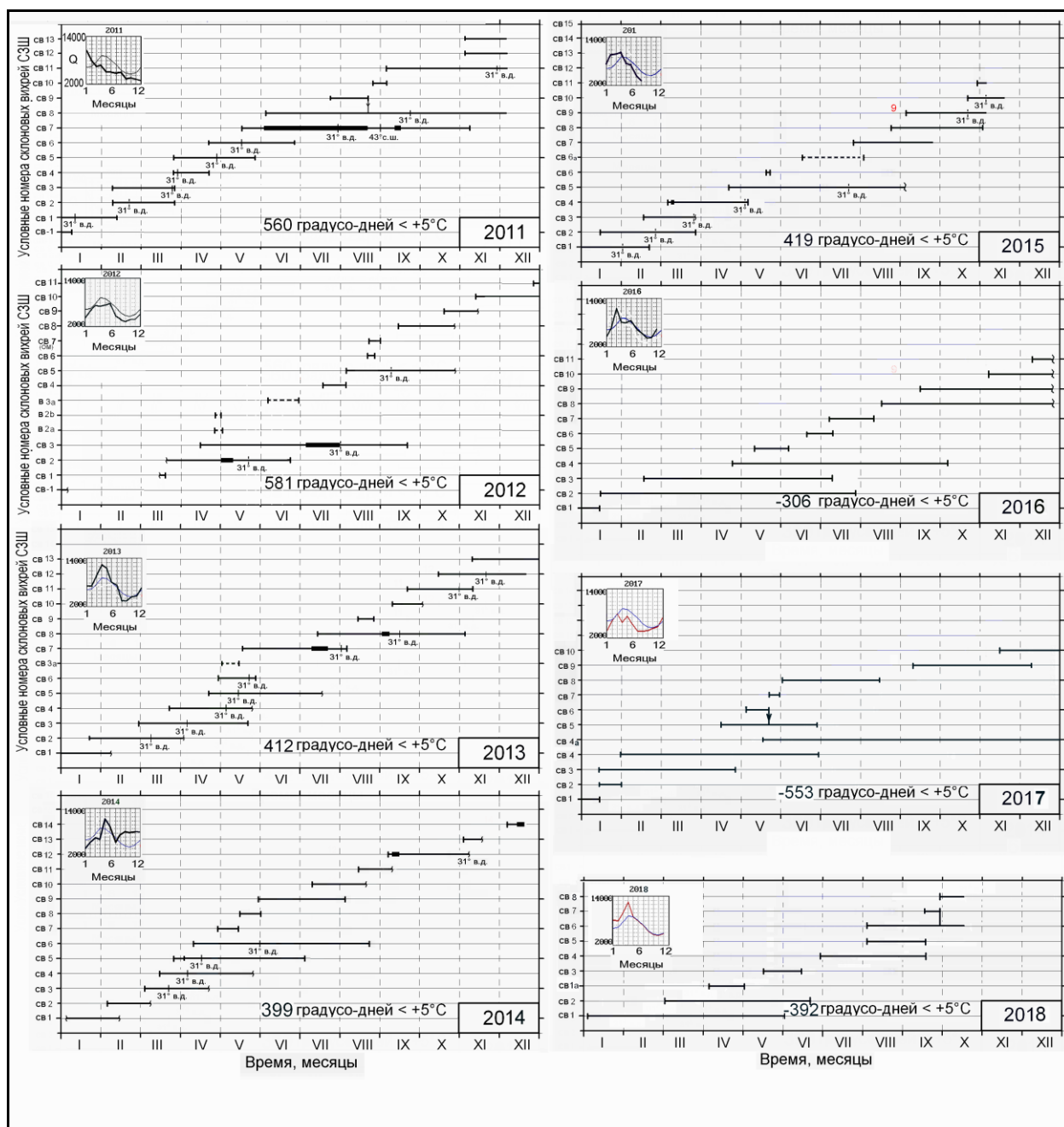
Рисунок 4.8 – Сумарні по роках кліматичні характеристики зимового термічного стану атмосфери (за даними Одеси) і весняних витрат р.Дунай, а також параметри вихрової діяльності в області північно-західної і західної ділянки материкового схилу Чорного моря

Таблиця 4.3 – Загальні відомості про середньорічну кількість і інтенсивність «Севастопольських вихорів» за останні 8 років (2011 - 2018рр.)

Рік	Кількість вихорів (СВ)	Сумарний час «життя» (доба)	Час інтенсивної діяльності (доба)	Відносна інтенсивність (%)
2011	13	910	084	9,2
2012	10	487	035	7,2
2013	13	775	016	2,1
2014	13	710	007	1,0
2015	11	728	003	0,4
2016	11	921	000	0
2017	10	812	000	0
2018	8	517	000	0

У 2011 р. і 2012 р. різко скоротився стік Дунаю, як основного постачальника легких вод, які сприяють розвитку вихорів на материковому схилі. Навесні 2013, 2014 і у 2015 роках стік Дунаю був високим, але переважаючі Пн та ПнС вітри не сприяли винесенню річкових вод в область вихроутворення, а несли їх уздовж західного берега в південних напрямках.

За нашим поданням, основним фактором генерації крупно-масштабної циркуляції вод Чорного моря є активність зимового виборчого ущільнення вод і, як наслідок, накопичення доступної потенційної енергії (ДПЕ). Відбувається це в процесі зимової термодинамічної взаємодії моря з атмосферою. Чим суворіша зима, тим більше ДПЕ накопичується в системі, тим інтенсивніша циркуляція і активніше розкручуються уздовж схилів вихрові системи. Річна кількість вихорів, при цьому, не обов'язково збільшується, але вони є енергетично більш потужними і крупніше в розмірах.



Примітка. – на врізаннях вказано: ліворуч вгорі – щомісячні витрати (товсті лінії) на фоні щомісячних кліматичних витрат р. Дунай ($\text{м}^3/\text{с}$); внизу по центру суми середньодобових температур повітря холодного півріччя зі значеннями $< +5^{\circ}\text{C}$; справа внизу позначені

Рисунок 4.9 – Щорічні діаграми часу «життя» і інтенсивності вихорів північно-західного схилу Чорного моря у 2011-2018 рр.

4.3 Факт перенесення холодних вод із східної половини Чорного моря у середні області північно-західного шельфу

У період з 9 по 10 серпня 2018 р спостерігалось формування великого вогнища холодних вод в східній половині Чорного моря на траверзі серединної частини кавказького узбережжя (рисунок 4.10 (б, в)). Температура поверхневих вод в області охолодження становила від 19 °С до 22 °С, в той час як оточуючі води мали температуру від 26 °С до 28 °С.

Причиною цього явища було різке збільшення на траверзі п. Туапсе СВ вітру до 8 м/с, 9 м/с о 18:00 год. 08 серпня до 18 м/с, 19 м/с в 00:00 год. 10 серпня (рисунок 4.9). За цей же період часу за даними берегової станції п. Туапсе, вітер стабільно посилювався тільки до 8 м/с, 9 м/с, а станція Роздільна, розташована в околицях Сочі взагалі ніяк не відреагувала. Таким чином, це був класичний, часто повторюваний, в основному, в холодне півріччя апвелінг відкритого моря. Це рідкісне, однак не унікальне явище для кінця теплого періоду, коли верхня межа вод холодного проміжного шару залягає досить глибоко навіть в центрах циклонічних кругообігів.

Уже до вечора 10 серпня (рисунок 4.10 (в)) почалося поширення холодних вод північної периферії ареала охолодження в західному струмені Основної чорноморської течії (ОЧТ).

13 серпня холодні води досягли мису Сарич (рисунок 4.10 (д)), а до 17 серпня вузький струмінь обігнув південно-західну частину Кримського півострова і, при вираженій активності Румелійської течії, вторгся в центральні райони ПнЗШ (рисунок 4.10 (ж)).

З 20 по 23 серпня почалося формування перших двох антициклонічних мезомасштабних вихорів в серединній частині ПнЗШ (рисунок 4.10 (к)), а до 25 серпня був сформований вже послідовний ланцюжок з чотирьох вихорів (рисунок 4.10 (л)). Холодні і, очевидно, більш солоні і щільні проникли води, формували зовнішні оболонки вихорів.

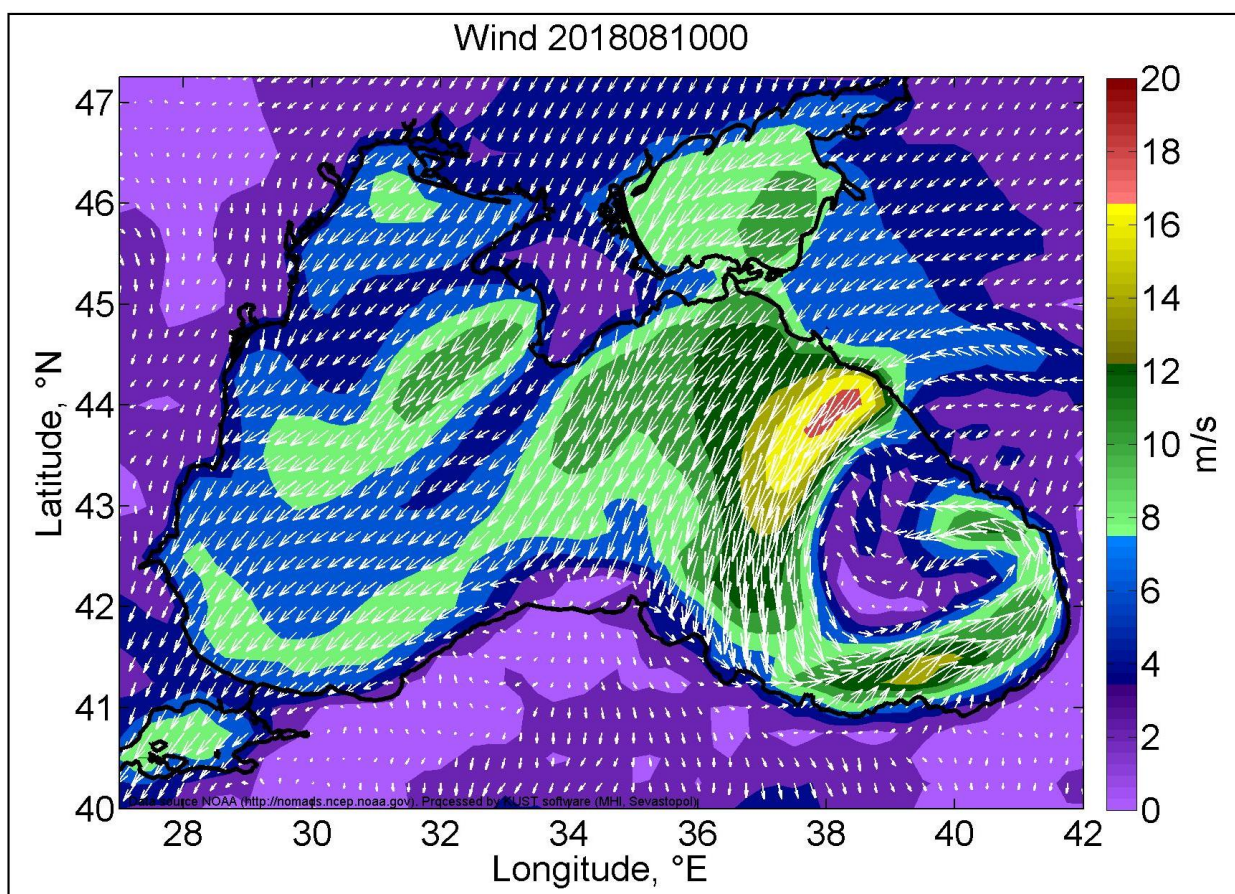


Рисунок 4.9 – Розподіл параметрів вітру над акваторією Чорного моря в період найбільш активного впливу Кавказької Бори – 10 серпня 2018 року в 00:00 годин

На початок вересня вихрові структури стали швидко руйнуватися, і з вересня простежуються деформовані залишки тільки одного з антициклонічних утворень (рисунок 4.10 (м)). При цьому вогнище холодних вод в східній половині моря практично зник (або вичерпався).

Описаний факт такого тривалого поширення вод зі східної частини Чорного моря в західну половину свідчить про прибережну активність ОЧТ і далі Румелійській течії біля західного узбережжя півострова Крим. Мориста периферія струменя ОЧТ була ослаблена, оскільки було відсутнє перенесення вод південною гілкою течії традиційним шляхом уздовж ПнЗ частини материкового схилу. Протягом усього місяця вздовж схилу зазначалося одного - двох дуже слабких Севастопольських вихорів.

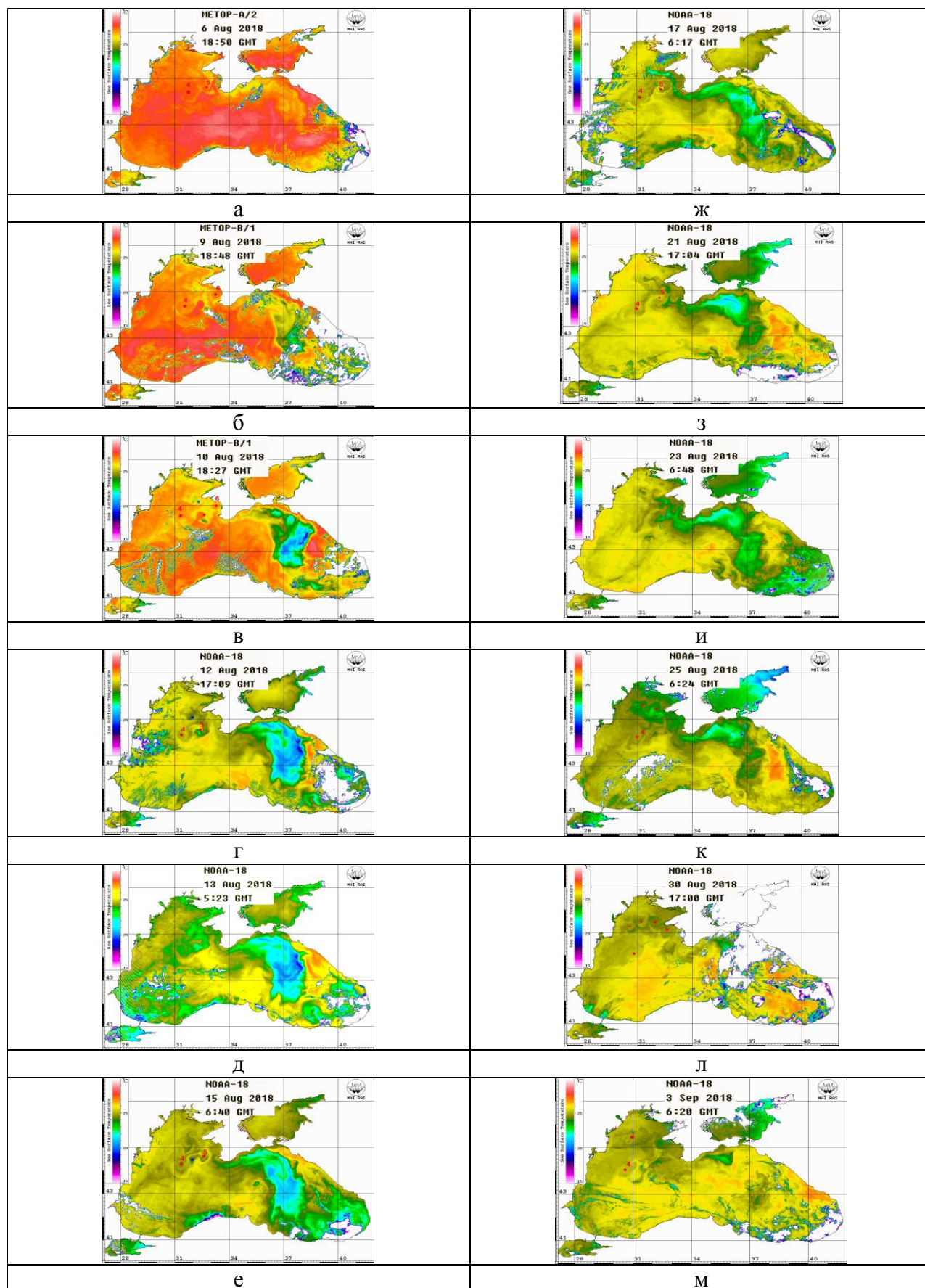


Рисунок 4.10 – Розподіл поверхневої температури води ЧМ в період з 06 серпня по 03 вересня 2018 року за даними супутників NOAA.

Активізація Румелійської течії вказує на циклонний характер циркуляції вод ПнЗШ до кінця літа 2018 р на відміну від літнього періоду 2017 року, коли за нашими і супутниковими даними на ПнЗШ переважала великомасштабна антициклонічна завихороність.

5. ДІЛЯНКИ АКВАТОРІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ СХИЛЬНИХ ДО РІЗКИХ ЗМІН ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МОРСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

Взагалі вся акваторія ПнЗЧ ЧС є областю значних змін основних гідрологічних параметрів морського середовища. Сезонні коливання температури води верхнього шару навіть в центральній її частині досягають 20. Мінливість поля солоності відбувається круглий рік і визначається інтенсивністю процесів перемішування річкових і морських вод, особливо загострюється в періоди паводків. Швидкість і напрям поверхневих течій, а отже напрямок міграції фіто і зоопланктону, в цілому залежить від мінливості швидкості і напрямку приводного вітру. Так само від вітру залежить розвиток і інтенсивність вітрового хвилювання, яке викликає у берега прибережні течії, і формується в залежності від особливостей берегової лінії різних типів берегів.

До акваторій впливу постійних гідрологічних змін насамперед відносяться області гідрофронтів та апвеллінгів.

На рисунку 5.1 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, зони вторинного замулення).

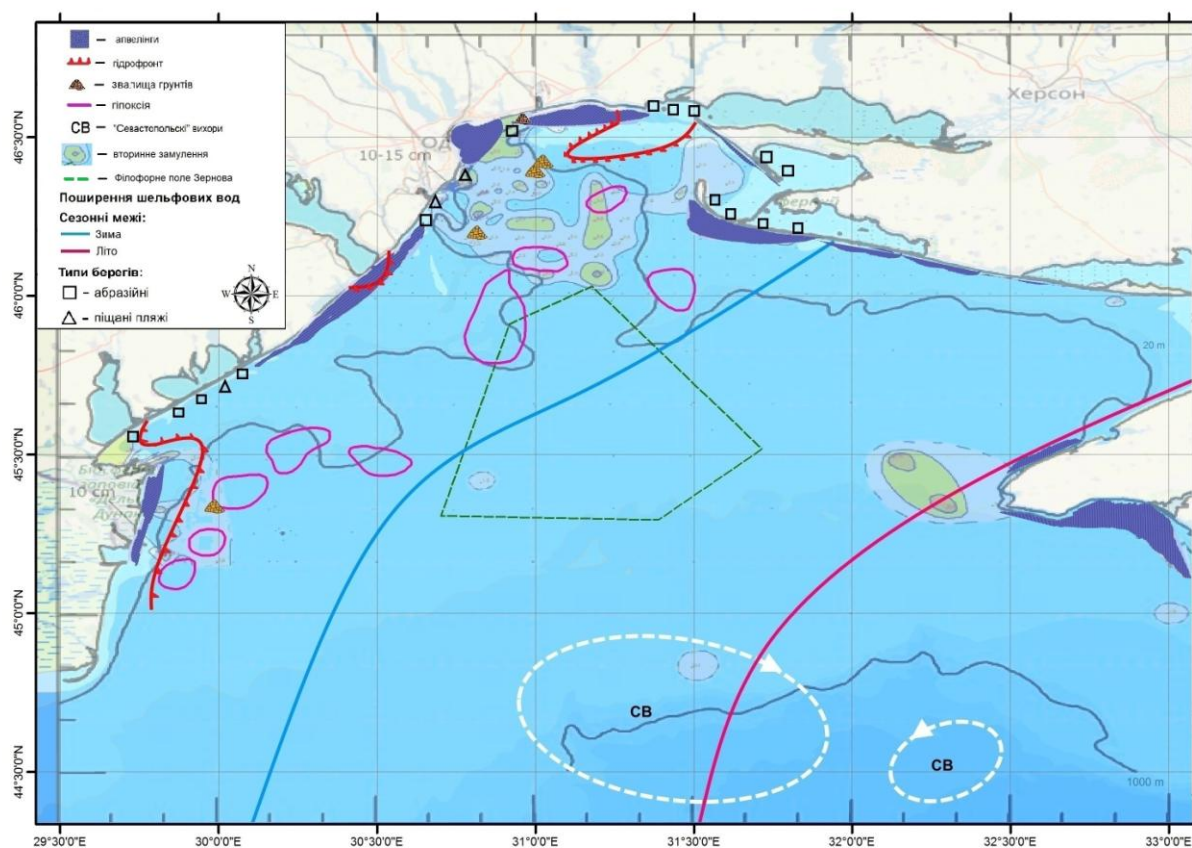


Рисунок 5.1 – Схема розташування ділянок акваторії ПнЗЧ ЧМ
схильних до різких змін гідродинамічних параметрів
морського середовища

ВИСНОВКИ

1. Мінливість термохалинної структури вод північно-західній частині Чорного моря в 2018 році знаходилася у межах кліматичних норм.

2. Зафіксовано явище перенесення холодних вод апвелінгу відкритого моря з центральних областей східної половини Чорного моря в серединній області ПнЗШ та формування ланцюгів з 4-х пов'язаних антициклонічних мезомасштабних вихорів. Час перенесення холодних вод склало від 10 діб до 13 діб.

3. Загально циклонічна циркуляція вод Чорного моря до кінця літнього періоду 2018 року була надзвичайно ослаблена. У 2018 році знизилася динаміка «Севастопольських» вихорів. Динамічно активним залишався лише вузький кавказько-кримський струмінь ОЧТ і Румелійська течія у західного узбережжя півострова Крим. Середня швидкість перенесення холодних вод в них орієнтовно становила – 4.2 см/с.

4. Кількість випадків прибережних апвелінгів в ПнЗЧ ЧМ в літній період 2018 року була значно менше, ніж в 2017 році. Найбільш часто апвелінги спостерігалися в районі Тендрівської коси. Зважаючи на слабке протікання процесів прибережного апвелінгу на узбережжі ПнЗШ, генеральна циркуляція вод відкритої частини шельфу в тепле півріччя 2018 р мала традиційний циклонний характер.

5. Середня річна температура повітря в Одесі за 2018 рік була 12,0 °С, що на 1,3 °С вище нині діючої норми. По цій характеристиці 2018 році став третім (після 2007 і 2015 рр.) за всю історію метеоспостережень в Одесі. Цей рік відзначився рекордними температурами за окрему добу 12 разів.

6. По річній сумі опадів 2018 був середнім: 495 мм – 109% від норми.

7. За середньої річної температурою морської води 12,9 °С, 2018 рік дорівнює 1999 і 2002 рр. Всі разом вони поступилися тільки 2010 і 2012 рр. з їх температурами 13,3 °С і 13,1 °С.

8. Статистика напрямків вітру виробила два головних і звичних твердження: повторюваність вітрів від північної половини горизонту переважає над вітрами від південного, а повторюваність вітрів від західної половини горизонту – над вітрами від східної. Конкретно, в 2018 р сумарна повторюваність вітрів від трьох румбів з центром Пн - 48,9 %, а з центром Пд – 29,5 %. Аналогічно, хоча і не так яскраво: сумарна повторюваність вітрів від трьох румбів з центром С – 26,5 %, а з центром З – 24,7 %.

9. За модулем середньої швидкості вітру 3,9 м/с, 2018 р підтвердив тенденцію до зменшення середньої швидкості вітру з початку 80-х років минулого століття, коли вона була 6 м/с.

10. Річний стік Дунаю в 2018 р склав 205,7 км³, що практично не відрізняється від річної норми, яка дорівнює 205,8 км³.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Оцінка та діагноз евтрофікації морських вод північно-західного шельфу чорного моря та її негативних наслідків: звіт про НДР (ТОМ 1) / УкрНЦЕМ ; керівник роботи В.В. Український – Одеса : УкрНЦЕМ, 2018 – 95 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. Лоева ; НДУ «УкрНЦЕМ». – К. : КНТ, 2008. – 616 с.

3 Океанографічний атлас Чорного та Азовського морів. – Державна установа «Дердгідрографія».–Київ, 2009. – 356 с.

4 Ломакин П.Д. Апвеллинг в Керченском проливе и прилегающей акватории Черного моря на базе контактных и спутниковых данных / П.Д. Ломакин // МГЖ. – 2018. – том 34. – С. 28-37

5 Иванов В.А. Апвеллинг в Черном море / В.А. Иванов, Є.Н. Михайлова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа : сб. науч. тр. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 91с.

6 Голубович В.В Апвеллинг в Северо-западной части Черного моря (на примере станции Одесса-порт), как фактор воздействия на прибрежную рекреационную зону / В.В. Голубович // Екологічні проблеми Чорного моря: Зб. матеріалів до 10-го міжнар. симпозіуму 30-31 жовтня, 2008 р. – Одеса: ОЦНТЕІ. – 2008. – С. 314-323

7 Андрианова О.Р. Статистическая оценка апвеллинга у побережья Одессы / О.Р. Андрианова, Р.Р. Белевич, Ю.И. Шамраев, А.М., Буров // Екологічні проблеми Чорного моря: зб. матеріалів до 10-го міжнар. Симпозіуму. – Одеса, 2008. – С. 350-359