

УДК 504.4.054.001.5; 504.4.06.001.5, 504.4.054.001.5; 504.4.06.001.5,
504.45.058; 504.4.054; 504.064

КП 87.19.03

№ держреєстрації 0126U002522

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НДУ “УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР ЕКОЛОГІЇ МОРЯ” (УКРНЦЕМ)
65009, м. Одеса, Французький бульвар, 89. тел. (094) 9468721
e-mail: accem@te.net.ua, www.sea.gov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор УкрНЦЕМ,
канд. геогр. наук, доцент

Олег ГРИБ

2025 року



ЗВІТ

ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ (НДР)

Оцінка та діагноз стану морського середовища України в межах виключної морської економічної зони та уточнення критеріїв оцінки доброго екологічного стану морських регіонів у 2025 р.

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

Том 2

Науковий керівник НДР:
заступник директора з науки,
канд. геогр. наук, старш. наук. співроб.

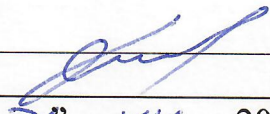
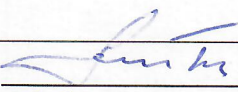

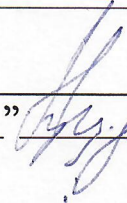
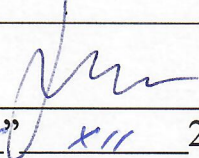
Віктор КОМОРИН

2025

Рукопис закінчено 26 грудня 2025 р.

Результати цієї роботи розглянуто Вченою Радою УкрНЦЕМ,
протокол № 9 від 30 грудня 2025

СПИСОК АВТОРІВ

<p>Відповідальний виконавець: Начальник відділу фізичної океанографії та математичного моделювання (ВФО та ММ)</p>	 <u>“26” XII 2025</u>	<p>Ю.М. Диханов (вступ, розділи 1,2.5,4,5.1 висновки)</p>
<p>Наук. співроб. ВФО та ММ, канд. геогр. наук</p>	 <u>“26” XII 2025</u>	<p>Ю.І. Попов (графіка, розділи 2.1,5,5.2)</p>
<p>Наук. співроб. ВФО та ММ канд. геогр. наук</p>	 <u>“27” грудня 2025</u>	<p>В.М. Большаков (графіка, розділи 2,3, 4)</p>
<p>В.о. зав. сектора ВФО та ММ науковий співробітник</p>	 <u>“21” грудня 2025</u>	<p>В.В. Пономаренко (супутникова інформація, обробка, нормоконтроль)</p>
<p>Мл. наук. співроб. ВФО та ММ</p>	 <u>“25” XII 2025</u>	<p>С.С. Пукач (супутникова інформація, обробка)</p>

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 112 с., 15 табл., 50 рис., 21 джерел, 1 додток.

ЧОРНЕ МОРЕ, ТЕРМОХАЛИННА СТРУКТУРА, ОДЕСЬКА ЗАТОКА,
БУЇ ARGO.

Об'єкт дослідження – морські води Чорного моря.

Мета науково-дослідної роботи (НДР) – дослідження сучасного стану та просторово-часової мінливості гідрологічних і гідрофізичних параметрів морської води Чорного моря і їх вплив на екологічний стан морського середовища.

Матеріали та методи дослідження – в умовах військового положення основними джерелами інформації про стан морського середовища Чорного моря є супутникові дані, дані Служби моніторингу морського середовища «Копернікус», 15-ти дрейфуючих буїв програми «Argo», які працювали в 2025 році в акваторії Чорного моря. Використовувались дані натурних спостережень, інформація Державної гідрометеорологічної служби України та літературних джерел. Для досліджень використовувався порівняльний аналіз та традиційні методи аналітичного узагальнення даних і статистичного аналізу.

Основні результати дослідження – в результаті аналізу отриманої інформації в НДР показано, що біля узбережжя Одеси збереглися тенденції лінійного зростання середньорічних температур повітря і морської води. У першій чверті поточного XXI століття середньорічна температура повітря збільшувалась з швидкістю $0,084^{\circ}\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$, температура води відповідно на $0,04^{\circ}\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$.

Внаслідок знищення Каховської ГЕС у 2023 році сталося помітне зниження солоності морської води в районах Чорного моря, що прилягають

до Дніпро-Бузького лиману, але починаючи з листопада 2024 року по грудень 2025 року нами спостерігається підвищення середньомісячних значень солоності морської води до величин близьких до середньомісячних норм. Середньорічна солоність морської води 2025 року в Одеській затоці склала 13,38 ‰ (норма 13,99 ‰).

У відкритій частині моря збереглися тенденції зростання температури поверхневого шару морської води. Внаслідок теплих зим 2023 – 2025 років майже зник проміжний холодний шар. Якщо така тенденція буде продовжуватися, то це ставить під загрозу існування спільноти червоних водоростей бореального походження. У 2025 році глибина залягання нижньої межі аеробної зони Чорного моря, знаходилися в межах кліматичних норм.

ЗМІСТ

	С.
Перелік умовних позначень і скорочень	6
Вступ	8
1 Матеріали та методи дослідження.....	11
2 Багаторічна мінливість гідрометеорологічних умов за даними ГМС «Одеса-порт» та ГМЦ ЧАМ.....	14
2.1 Вітровий режим приземної атмосфери.....	15
2.2 Температура повітря	18
2.3 Температура морської води.....	21
2.4 Солоність морської води.....	24
2.5 Атмосферні опади.....	27
2.6 Випадки апвелінгів влітку 2025 р.....	30
3 Витрати Дунаю у 2025 році на тлі кліматичних змін у ХХІ столітті.....	36
4 Мінливість океанографічних полів верхнього шару Чорного моря за даними супутникової інформації 2003-2025.....	40
4.1 Просторово-часовий розподіл основних гідрологічних параметрів поверхневого шару Чорного моря у 2025 році.....	40
4.2 Аналіз величин відхилень від кліматичних полів температури, солоності та кисню поверхневого шару Чорного моря за 2025 рік.....	58
5 Гідрологічна структура глибоководної частини Чорного моря за даними буїв Argo.....	83
5.1 Стан вод холодного проміжного шару за період 2005-2025 рр.	88
5.2 Загальні відомості про глибину залягання нижньої межі кисневого шару за період 2011-2025 рр.....	96
Висновки.....	103
Перелік джерел посилань.....	105
Публікації.....	108
Додаток А.....	109

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ВФО та ММ	– відділ фізичної океанографії та математичного моделювання;
ГМС	– гідрометеорологічна станція;
ГМБ	– гідрометеорологічне бюро;
ГМЦ ЧАМ	– Гідрометцентр Чорного та Азовського морів;
ДБ	– Дніпро-Бузький лиман;
ДЕС	– добрий екологічний стан;
ЗхПдЗх	– захід-південь-захід;
ОЗ	– Одеська затока;
опс	– одиниці практичної солоності;
ОЧТ	– основна чорноморська течія;
ПБК	– Південний берег Криму;
НДР	– науково-дослідна робота;
Пд	– південь;
ПдЗх	– південний–захід;
ПдСх	– південний–схід;
ПдПдСх	– південно–південний–схід;
Пн	– північ;
ПнЗх	– північний–захід;
ПнЗхШ	– північно–західний шельф;
ПЗЧМ	– північно–західна частина Чорного моря;
ПнС	– північний–схід;
ПнПнС	– північно–північний–схід;
СГМ	– сектор гідрометеорології моря;
СММСК	– Служби моніторингу морського середовища «Копернікус»;
США	– Сполучені Штати Америки;
Тw	– температура води;
Та	– температура повітря;

ТПМ	– температура поверхні моря;
УкрНЦЕМ	– Український науковий центр екології моря;
ХПШ	– холодний проміжний шар;
ШВ	– шельфові води;
ЧМ	– Чорне море;
ЄС	– Європейський Союз;
С°	– градуси Цельсія;
Chl- <i>a</i>	– Хлорофіл- <i>a</i> ;
CW	– Coastal Waters;
ESA	– Європейське космічне агентство (European Space Agency);
IFREMER	– Французький національний інститут науки і техніки океану (French national institute for ocean science and technology);
NASA	– Національне управління з авіації та дослідження космічного простору (National Aeronautics and Space Administration);
NOAA	– Національне управління океанічних та атмосферних досліджень (National Oceanic and Atmospheric Administration);
OW	– Open Waters;

ВСТУП

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

НДР «Оцінка та діагноз стану морських вод за гідрофізичними характеристиками, визначення відповідності доброго екологічного стану уточнення критеріїв оцінки ДЕС морських регіонів» здійснюється у межах реалізації державних політик у сфері охорони морського довкілля, раціонального природокористування та виконання міжнародних зобов'язань України. Нормативно-правовою та стратегічною основою роботи є положення Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Морської природоохоронної стратегії України» від 11 жовтня 2021 р. № 1240-р, Постанови Кабінету Міністрів України від 25.06.2020 № 614 «Про затвердження положення про Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України», а також Закону України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII. Додатковою підставою виконання виступають вимоги Постанови Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 758 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод», положення Постанови Кабінету Міністрів України від 25.10.2017 № 1106 щодо виконання Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом, Постанови Кабінету Міністрів України від 07.10.2009 № 1307 «Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року», а також пріоритети й цілі, визначені Стратегічним Планом Дій щодо відтворення та захисту Чорного моря (1996, 2009 рр.). Сукупність зазначених документів формує рамкові вимоги до наукового забезпечення оцінювання стану морського довкілля, ідентифікації чинників ризику та підготовки практичних

рекомендацій щодо запобігання деградації морських екосистем і підвищення їхньої адаптивної спроможності.

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

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

Ці директиви і постанови є законодавчими актами, які 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 D7 і до досягнення ДЕС обумовлює, що постійні зміни гідрографічних умов не викликають негативного впливу на морські екосистеми.

У Рішенні Комісії 2017/848/ЄС за методологічними стандартами про добрий екологічний статус морських водних масивів були визначені наступні вторинні критерії:

D7C1 – Просторова довжина та поширення постійних змін гідрографічних умов (наприклад, зміни хвильового впливу, течій, солоності, температури) на морське дно та товщу води, пов'язаних, зокрема, з фізичною втратою природного морського дна;

D7C2 – Територіальна протяжність кожного типу бентосного довкілля зазнала несприятливого впливу (фізичні та гідрографічні характеристики та пов'язані з ними біологічні спільноти) через постійну зміну гідрографічних умов (eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/).

Головне завдання в цьому напрямку є встановлення порогових значень для несприятливих наслідків постійних змін гідрографічних умов на регіональному чи субрегіональному рівнях.

Результати оцінки критерію D7C1 (розподіл та оцінка ступеня гідрографічних змін) повинні використовуватись для оцінки критерію D7C2.

Оцінка і визначення цих змін може бути дуже важливою при забезпеченні раннього попередження можливих впливів на екосистему та можливості її захисту, зокрема, бентосних екосистем.

НДР є продовженням багатолітніх 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 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В умовах військового положення основним джерелом інформації про стан морського середовища Чорного моря (ЧМ) є супутникові дані.

У звіті використовувалися дані, отримані в результаті асиміляції інформації космічного дистанційного зондування, в тому числі: аномалій поверхні рівня моря, що забезпечуються в режимі реального часу AVISO, скановані зображення розподілу температури води в поверхневому шарі моря, добові модельні картини динаміки вод приповерхневого шару довгохвильового випромінювання і розподілу хлорофілу-*a* (Chl-*a*), отриманих зі сканерів штучних супутників NASA, NOAA (США) та супутника ENVISAT Європейського Космічного Агентства (ESA). Всього прийнято та проаналізовано понад 500 супутникових зображень, частину з яких збережено в базі океанографічних даних відділу фізичної океанографії та математичного моделювання.

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

У звіті також використовується інформація з усіх 15-ти буїв-профілемерів програми «Argo», які працювали в 2025 році у акваторії Чорного моря. Інформація з буїв надходила як в графічному, так і в цифровому вигляд із веб-сайту за посиланням: <https://fleetmonitoring.euro-Argo.eu/dashboard> також використовувались матеріали з архіву IFREMER (URL: <ftp://ftp.ifremer.fr/>). У НДР були використані дані програми Європейського Союзу щодо спостереження за Землею «Служби моніторингу морського середовища «Копернікус» (СММСК).



Рисунок 1.1 – Супутник Терра

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

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

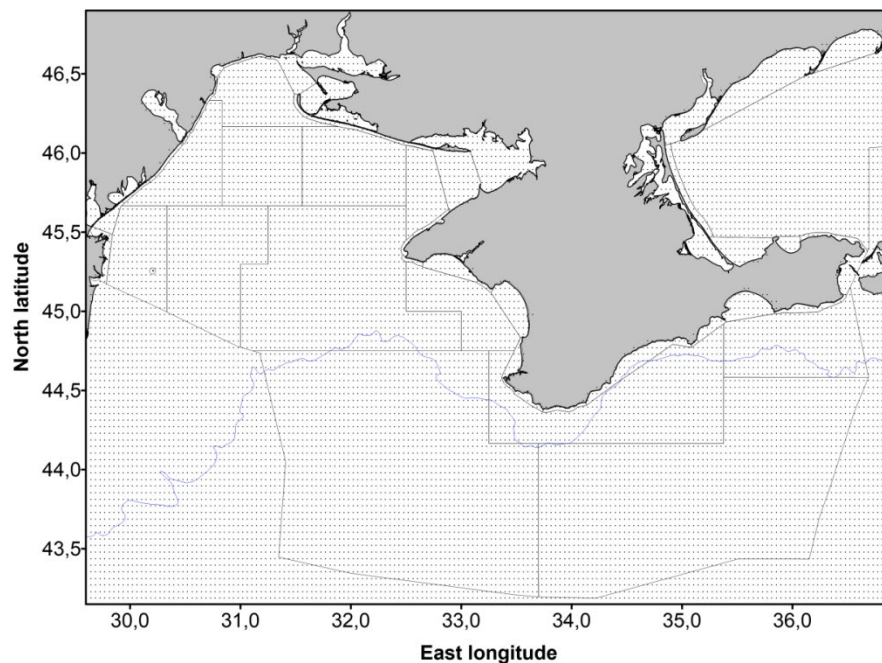


Рисунок 1.2 – Розрахункова сітка спостережень супутників Терра та Аква

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

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

https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results

Операційна система аналізу та прогнозування океану MERCATOR забезпечує щоденне оновлення тривимірних прогнозів стану глобального океану.

Характеристики стану глобального океану надаються у вихідних файлах, які включають середні щоденні та щомісячні значення температури, солоності, течій, рівня моря, глибини змішаного шару та параметрів льоду. Вихідні файли відображаються з горизонтальною роздільною здатністю $1/12^\circ$ з регулярною рівно прямокутною проекцією довготи/широти, на 50-ти рівнях по глибині від 0 м до 5500 м.

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

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

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

Для обробки отриманих даних застосовувалися оригінальні програми, розроблені в УкрНЦЕМ [1], програмний пакет «Ексел», традиційні методи графічного, порівняльного та статистичного аналізу.

Тенденції мінливості океанографічних полів поверхневого шару води для всієї акваторії Чорного моря розраховувалися за супутниковими даними за період 2003-2025 рр.

Результати океанографічного аналізу в вигляді тексту, таблиць, графіків і карт, представлені у звіті згідно ДСТУ 3008:2015 «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання».

2 БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ В ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ ПО ДАНИМ ГМС «ОДЕСА-ПОРТ»

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

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



Рисунок 2.1 – Розташування ГМС «Одеса-порт»

Одеська затока знаходиться в північно-західній частині Чорного моря, має підковоподібну форму і розташована між двома мисами – мисом Ланжерон і мисом Північний [2].

ОЗ заглиблена в сушу на відстань до 5 км, ширина затоки 9 км, довжина берегової лінії близько 15,5 км, площа 38 км², середня глибина 9 м. Середньомісячні температури поверхні води протягом року за останні

десятиліття коливаються від 2°C взимку до 22°C влітку. Максимальні температури поверхні води можуть досягати 30°C.

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

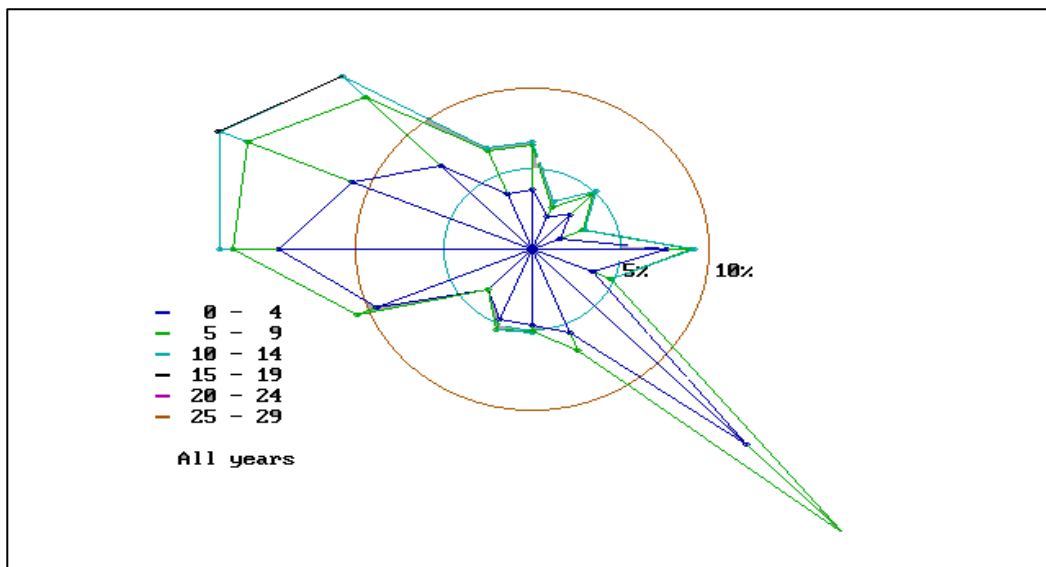
ОЗ мілководна, тому гідрофізичні процеси багато в чому визначаються вітровим режимом. Середня швидкість течій становить 5-6 см/с.

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

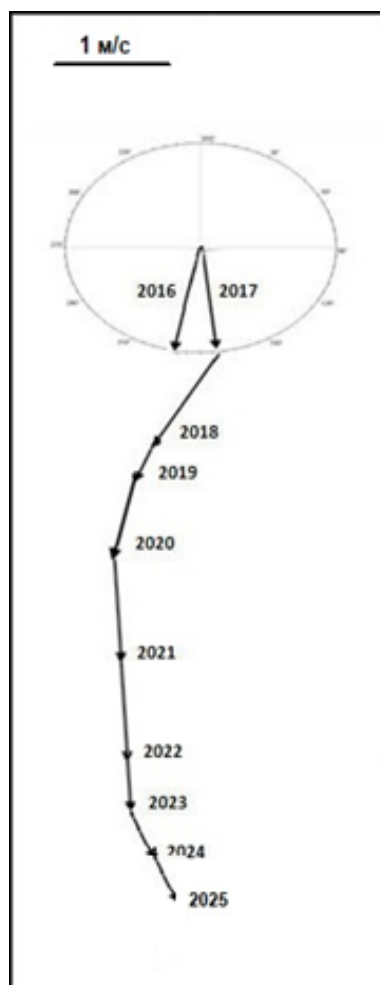
Хвильовий режим обумовлений мілководністю затоки і атмосферними процесами, насамперед, вітровим умовами. Переважні висоти хвиль в ОЗ до 1,0 м (90%). Максимальні висоти хвиль на зовнішньому кордоні затоки можуть досягати 6 м.

2.1 Вітровий режим приземної атмосфери

В цілому генеральне перенесення приземних повітряних мас у районі Одеси за 2025 рік зберіглося в кліматичних межах, з півночі на південь із середньою векторною швидкістю 0.7 м/с (рис.2.2).



а



б

Рисунок 2.2 – Рози вітрів за 2025 рік (а),
 прогресивно-векторна діаграма перенесення повітряних мас за даними ГМС
 «Одеса-порт» у 2016-2025 рр. (б)

У першій половині 2025 року над прилеглою до одеського узбережжя акваторією переважали вітри північно-західних румбів із середньою швидкістю 4 м/с. У другій половині 2025 року залишилося переважання північно-західних та південно-східних румбів із середньою швидкістю вітрів близько 4 м/с в кожному з випадків (рис. 2.3).

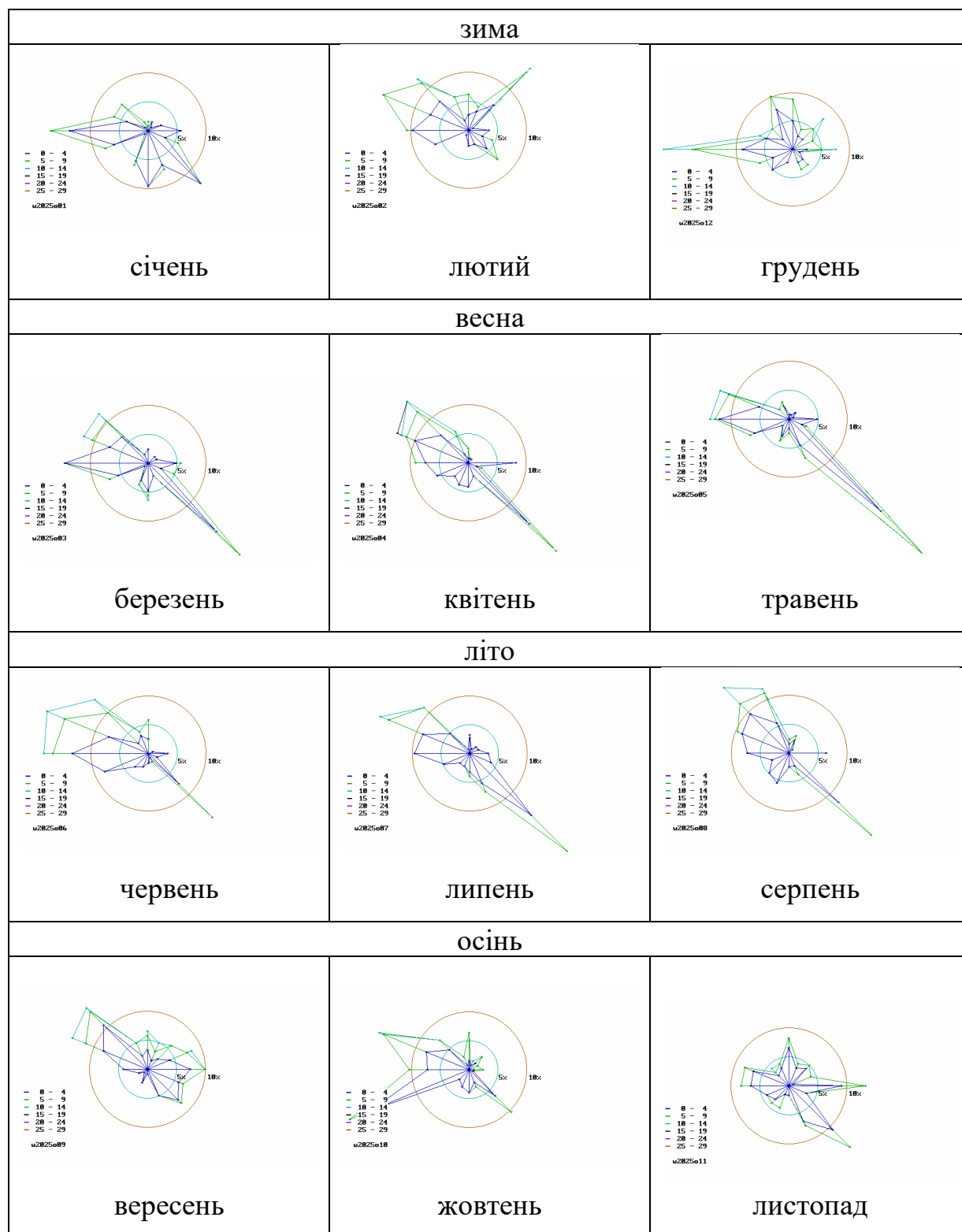


Рисунок 2.3 – Рози вітрів помісячно упродовж 2025 року

У лютому та грудні не спостерігалися вітра південних румбів, починаючи з квітня посилилися морські, південно-східні вітри (3,4 м/с). Максимальна середня добова швидкість вітру 15 м/с (пориви до 23 м/с) за напрямком ЗхПнЗх була зареєстрована 11 квітня, також 30 вересня швидкість вітру складала 13 м/с із поривами до 19 м/с за напрямком СхПнСх.

В таблиці 2.1 наведені параметри штормових вітрів за період 2022 – 2025 рр.

Таблиця 2.1 – Параметри штормових вітрів за період 2022 –2025 рр.

Дата	Середня швидкість вітру (м/с)	Пориви (м/с)	Напрямок (румби)
18.01.2022	16	20	ПнСх
18.11.2023	18	23	ПнПнСх
26.03.2024	17	22	ПнЗх
11.04.2025	15	23	ЗхПнЗх

2.2.Температура повітря

Аналіз даних спостережень на метеомайданчику Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (ГМЦ ЧАМ), які розпочалися з 1 січня 1894 року, показує, що за цій час середньорічна температура повітря в Одесі збільшилася щонайменше на 3°C і що реальне збільшення температури повітря почалося з середини 80-х років минулого століття (рис. 2.4).

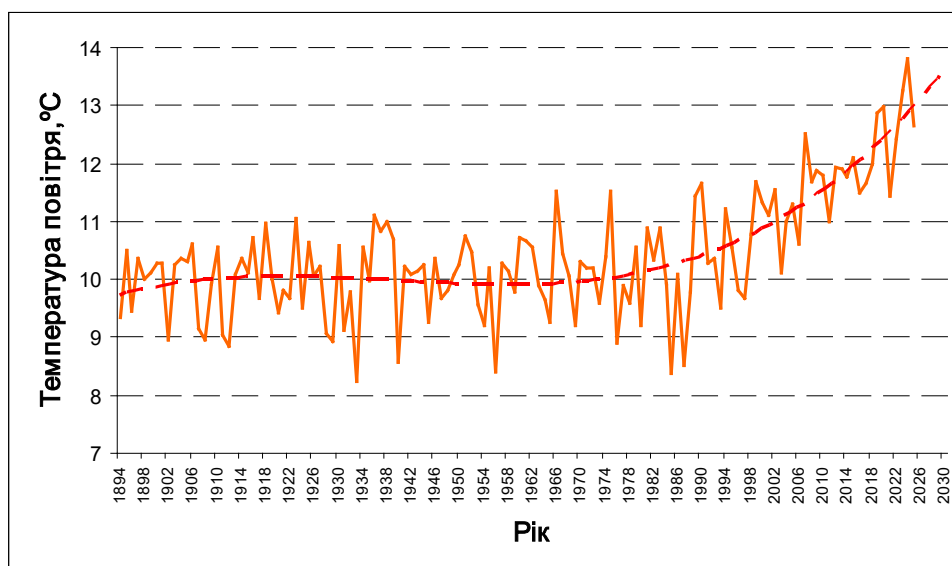


Рисунок 2.4 – Середньорічні температури повітря за даними Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (1894-2025 рр.)

У таблиці 2.2 наведено перші 10 рядків таблиці середньомісячних та середньорічних значень температури повітря за більш ніж вікову історію метеорологічних спостережень, упорядкованих за зменшенням середньорічних значень, тобто температури десяти найтепліших років в Одесі.

Таблиця 2.2 – Середньомісячні та середньорічні температури (°C) повітря десяти найтепліших років за спостереженнями ГМС Одеса з 1894 р.

№№	Роки	М і с я ц і												Середньо-річна
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2024	2.0	5.8	5.9	14.6	15.8	22.7	27.2	25.0	20.9	13.8	6.0	6.0	13.8
2	2023	3.0	2.4	6.2	9.8	16.5	21.3	23.8	25.3	21.4	16.2	8.5	4.7	13.3
3	2020	2.5	4.7	8.0	10.4	14.1	21.1	24.1	23.7	20.4	16.7	6.5	3.5	13.0
4	2019	0.3	2.7	6.7	9.8	16.6	24.8	23.3	23.6	19.2	12.8	9.4	5.4	12.9
5	2025	4.5	-1.2	8.1	10.1	16.5	21.9	25.3	23.4	19.1	11.9	10.8	3.8	12.9
6	2007	5.0	1.3	6.0	10.3	18.0	23.1	24.1	24.5	17.6	12.8	5.4	1.5	12.5
7	2022	1.3	4.4	3.4	9.6	16.1	22.3	23.9	24.8	18.0	13.5	7.6	4.3	12.4
8	2015	0.4	1.0	5.2	9.6	16.7	21.2	23.3	24.2	20.5	11.2	8.5	3.5	12.1
9	2018	1.5	0.4	1.2	13.1	18.6	22.0	23.7	25.4	18.5	14.0	4.4	0.9	12.0
10	2012	-0.9	-5.5	4.7	10.9	19.4	22.4	25.7	24.0	19.5	14.9	7.9	0.3	11.9

Норми	1991-2020	-0.4	0.4	4.3	10.0	16.2	20.8	23.4	23.1	17.8	12.0	6.3	1.5	11.3
-------	-----------	------	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	------

Рік 2025, що щойно закінчився, із середньою температурою 12,7°C, зайняв п'ятий рядок у списку найтепліших за всю історію метеоспостережень в Одесі. Чотири роки перед ним і 2007 рік після, кожен свого часу, мали за цим показником статус рекордних, а 2024 рік із середньою температурою 13,8°C має його і зараз.

Якби в таблиці було не 10, а 15 рядків, то тільки в останньому з них з'явився би рік попереднього століття, і це 1999 рік, із середньорічною температурою 11,7°C.

Коричневою заливкою у таблиці виділено найтепліші, а блакитною найхолодніші місяці. Перші розподілені між серпнем та липнем в відношенні 7 до 3, а другі порівну між січнем та лютим.

Жирним шрифтом виділені сім рекордних на чинний час значень середньомісячних температур та одне середньорічне. Жоден місяць 2025 року не став рекордним, але він став роком народження дев'яти добових рекордів, два з яких перевищили колишні одразу на 3,8 та 4,3°C.

Рисунок 2.5 показує зростання температурі повітря за 25 років на 2°C, тобто зі швидкістю 0,84°C /10.

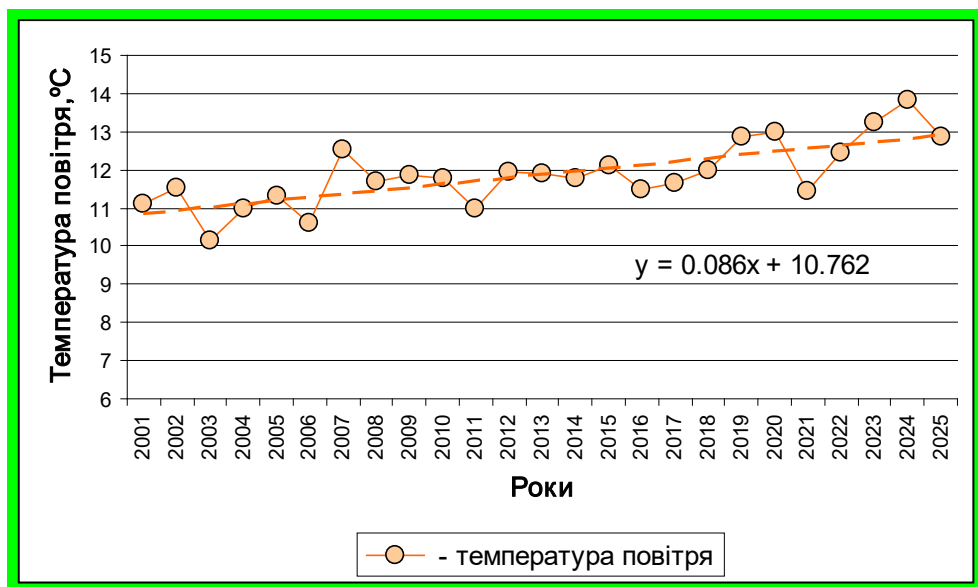


Рисунок 2.5 – Середньорічні температури повітря у XXI столітті в Одесі за даними ГМЦ ЧАМ

Таким чином, за даними спостережень ГМЦ ЧАМ за температурою повітря в Одесі з кінця ХІХ століття, почалося її помітне підвищення із 80-х років минулого ХХ століття. Вона продовжувала більш-менш рівномірно підвищуватися і у першій чверті поточного ХХІ століття із середньою швидкістю $0,084^{\circ}\text{C}\cdot\text{рік}^{-1}$. Фактично, діючі норми температурі повітря змінювалися наступним чином: з 2001 року – $10,2^{\circ}\text{C}$; з 2011 – $10,7^{\circ}\text{C}$, з 2021 – $11,3^{\circ}\text{C}$.

2.3 Температура морської води

В таблиці 2.3 наведені середні по рокам та місяцям температури прибережних вод Одеси. Це є найвища, вона ж і «найтепліша» частина таблиці більш ніж столітнього ряду, упорядкованого за зменшенням середньорічних значень температур води. Поточний 2025 рік займає у ньому 12 рядок. Два показники, поки що невідомих, середньомісячних температур поточного року, що ще не закінчився, замінені їх нормами. Вони взяті з останнього рядку таблиці та відзначені сірою заливкою.

Таблиця 2.3 Середньомісячні та середньорічні температури морської води та чинні зараз норми за даними ГМС «Одеса-порт»

Рік/ міс.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сер. рік	Пор.№
2024	6.4	5.6	6.5	12.5	16.2	21.6	25.5	21.5	21.7	18.4	11.7	6.3	14.49	1
2023	4.8	4.4	6.8	10.1	16.6	20.7	21.4	24.3	22.8	17.7	13.6	7.5	14.22	2
2020	5.4	5.2	6.9	8.8	13.3	19.9	22.4	22.9	21.5	18.7	12.1	5.4	13.54	3
2010	1.8	0.1	3.9	10.1	17.0	22.2	24.9	26.5	20.0	13.8	12.5	6.8	13.30	4
2012	6.1	-0.1	2.4	9.1	17.2	20.8	23.5	23.3	20.4	17.6	11.7	4.8	13.08	5
2019	2.5	2.6	5.3	9.4	15.7	23.7	20.0	21.6	19.6	15.2	11.6	7.4	12.88	6
2018	3.7	2.8	2.4	9.6	18.0	21.2	22.6	24.6	19.7	15.4	9.3	4.5	12.81	7
2001	4.1	3.5	5.0	9.5	13.7	16.4	25.3	25.0	20.3	16.2	11.2	2.7	12.74	8
2007	6.7	3.7	4.7	8.9	16.3	19.9	21.8	23.6	17.9	15.0	9.1	5.1	12.73	9
2009	2.8	3.2	4.5	10.2	14.6	21.2	22.9	21.9	19.6	15.9	10	5.6	12.70	10
2014	3.4	0.6	4.9	10.3	16.5	20.2	23.5	24.4	20.9	14.5	8.1	3.7	12.58	11
2025	5.8	3.0	6.0	9.8	13.5	17.4	20.6	21.8	21.2	15.0	9.7	5.3	12.42	12
2016	1.4	2.8	5.4	10.1	15.0	21.5	21.8	22.9	20.5	13.4	8.3	4.5	12.30	13
2022	3.7	3.9	3.7	3.2	11.1	21.1	20.9	24.7	20.5	16.3	11.5	6.8	12.28	14
2021	4.4	3.2	4.0	8.1	13.5	18.9	23.2	22.6	18.7	13.3	9.7	7.7	12.27	15
2015	1.8	2.0	3.8	7.6	14.0	19.7	20.6	23.7	21.5	14.4	10.7	7.0	12.23	16
2011	2.7	1.8	2.4	7.7	15.4	18.3	21.8	20.4	19.6	15.7	10.2	9.0	12.09	17
2005	5.0	1.1	3.2	8.9	16.0	15.2	20.7	23.5	20.4	15.8	8.7	6.4	12.08	18
2013	3.1	2.8	4.1	9.0	18.2	22.1	19.9	22.1	14.3	11.6	10.8	6.3	12.02	19
2004	2.3	2.3	4.2	9.1	14.2	17.0	19.9	22.8	18.4	14.7	11.3	7.4	11.97	20
2008	0.8	1.9	5.1	9.5	14.7	19.7	19.8	22.9	17.6	14.6	10.7	5.7	11.92	21
1991- 2020	2.7	2.0	3.9	8.8	15.0	19.2	21.5	22.4	18.9	14.8	9.8	5.2	12.0	

Навпроти кожного року коричневою заливкою позначено місяць з найвищою для цього року середньомісячною температурою, а блакитною – з найнижчою. З 21 перших з цієї таблиці років, 14 разів, включаючи 2025 рік, найтеплішим місяцем був серпень, а 7 разів – липень. За ті ж роки найчастіше, 14 разів, найхолоднішим місяцем був лютий, а 8 разів січень.

Тому природно, що серпень і лютий мають найбільше та й найменше значення норм, 22,4°C та 2,0°C, відповідно.

Рисунок 2.6 показує зростання температури морської води за 25 років на величину близько 1°C, тобто зі швидкістю 0,043°C на рік. У зв'язку з цим згадаємо, що швидкість зростання за ті ж роки температури повітря була майже у два рази більше – 0,084°C·рік-1.

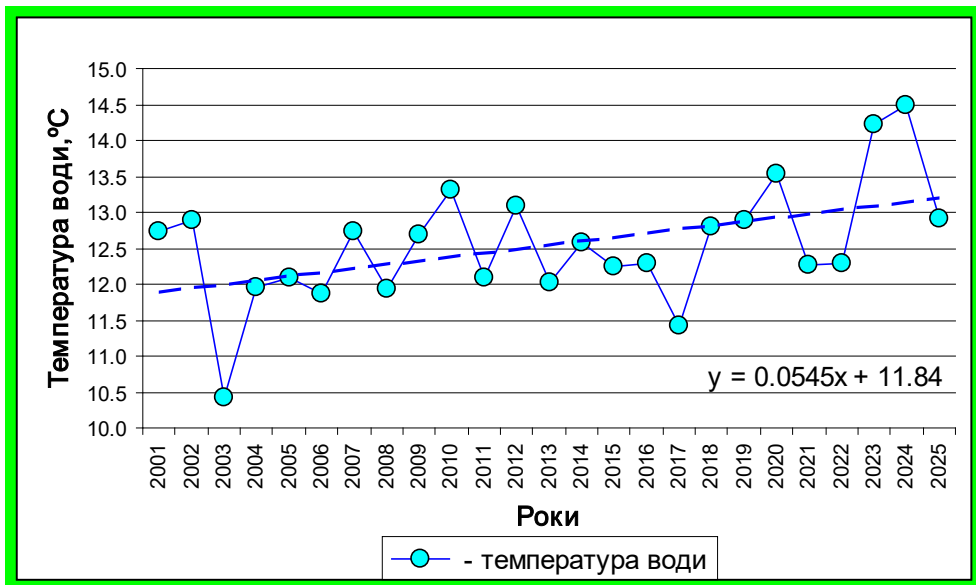


Рисунок 2.6 – Середньорічні температури морської води у XXI столітті біля узбережжя Одеси за даними ГМС Одеса-порт

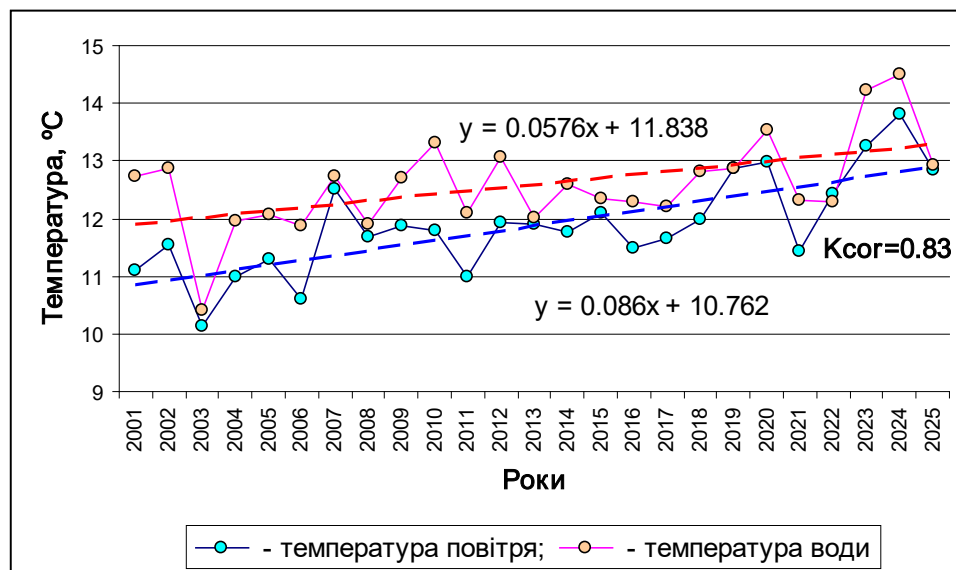


Рисунок 2.7 – Середньорічні температури повітря та морської води в Одесі у 2001-2025 рр. за даними ГМЦ ЧАМ та ГМС Одеса-порт

Зі порівняння графіків мінливості середньорічних температур повітря та води за першу чверть XXI століття в Одесі, поєднаних на рисунку 2.7, можна отримати деяку додаткову інформацію.

Лінійні тренди, що апроксимують зміни температур повітря та води, показують в обох середовищах тенденції до зростання з часом, а також різні

швидкості цього зростання. Рівняння малюнку дозволили обчислити, що вища, загалом, температура води за 25 років зросла на $1,4^{\circ}\text{C}$, а нижча температура повітря – на $2,1^{\circ}\text{C}$. За рахунок того, що нижча температура повітря зростала швидше, вона наблизилася до температури води. Це підтверджують середні різниці фактичних середньорічних температур «вода-повітря»: $0,88^{\circ}\text{C}$ у першій половині ряду (2001-2013 рр.) та $0,49^{\circ}\text{C}$ – у другій (2013-2025 рр.).

У 23 випадках із 25 середньорічні температури води були вищими за середньорічні температури повітря. Виняток становили 2022 рік, у якому відзначено невелику ($-0,15^{\circ}\text{C}$) негативну різницю та 2019 рік, у якому температури виявилися рівними.

У 6 випадках позитивні різниці температур уклалися в діапазон $0 - 0,5^{\circ}\text{C}$, в 11 випадках – у діапазон $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$, у 4 випадках – у діапазон $1,0 - 1,5^{\circ}\text{C}$ і двічі різниця перевищувала і цей діапазон: $1,51^{\circ}\text{C}$ у 2010 та $1,64^{\circ}\text{C}$ у 2001 році.

Крім цього, слід відзначити високу узгодженість змін середньорічних температур двох середовищ: коефіцієнт кореляції між ними становив 0,83.

2.4 Солоність морської води

Середня солоність морської води за даними ГМС «Одеса-порт» за 1991-2020 роки дорівнює $14,01$ опс. Ця величина та середньомісячні за той же період за правилами гідрометеорології набули статус норм и будуть ними протягом 10 років, з 2021 по 2030 рік. Попередня норма солоності, що діяла по 2020 р., була такою ж, а передостання помітно вище.

Щоб оцінити поточні зміни солоності біля узбережжя Одеси, на якому ці зміни відбуваються, у таблиці 2.4 представлено нині діючий набір із 12 місячних та річної норми, який набрав чинності у 2020 році, а також два

попередні набори від 2010 та 2000 років.

Таблиця 2.4 – Місячні та річні норми солоності морської води з 2000 по 2020 рр. за даними ГМС «Одеса-порт»

Норми по роках	Місяці												Сер. річні
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1971-2000	14.34	13.64	12.86	13.13	12.53	13.94	15.19	15.36	15.22	14.90	14.45	14.39	14.16
1981-2010	14.51	13.99	13.25	12.62	12.40	13.67	14.68	15.02	15.07	14.65	14.15	14.09	14.01
1991-2020	14.31	13.96	13.59	12.71	12.84	13.63	14.52	14.76	15.11	14.56	13.85	14.23	14.01

У наступній таблиці 2.5 представлено солоність 2025 та кілька попередніх років. Мінімальне середньомісячне значення солоності води, 8.42 опс, припадає на червень 2023 р., тобто на місяць, коли шостого числа було зруйновано греблю Каховської ГЕС.

Таблиця 2.5– Середньомісячні та середньорічні солоності за 2021-2025 рр. за даними ГМС «Одеса-порт»

Роки	Місяці												Сер. річні
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2021	16.30	16.04	15.43	15.41	14.07	13.65	14.01	15.55	15.89	15.36	14.35	15.08	15.10
2022	16.24	14.74	13.46	14.20	13.98	11.23	14.42	15.48	17.89	16.25	16.96	15.00	14.99
2023	12.26	15.40	13.53	11.99	10.65	8.42	13.10	12.50	11.32	12.62	12.76	11.90	12.20
2024	12.33	9.47	8.33	8.98	9.27	9.55	10.59	12.15	10.44	13.13	13.52	12.02	10.81
2025	11.46	10.62	10.10	12.42	14.13	14.67	14.87	14.76	13,77	14.57	13.62	13.20	13.18

Між протокою, через яку води Дніпровського лиману з'єднуються з Чорним морем та Одесою всього 60 км. Берегова лінія та вітри південних та східних напрямків створюють передумови сильного впливу дніпровської води на солоність морської води біля узбережжя Одеси. Цей факт ілюструють і рисунок 2.7 загалом, і коефіцієнт кореляції на ньому зокрема. За даними за 50 років чітко видно одночасне поступове весняне збільшення витрат Дніпра та зниження солоності морської води біля берегів Одеси. Екстремальні значення цих характеристик збігаються під час повені у травні.

Також річний максимум солоності води біля Одеси збігається у серпні-вересні з дніпровською меженню.

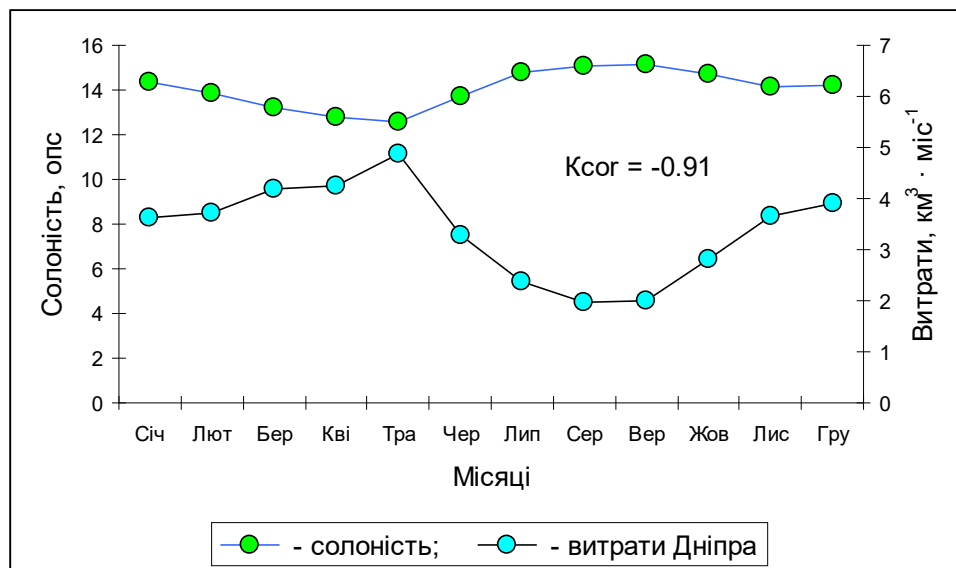


Рисунок 2.7 – Середньомісячні значення солоності прибережних вод біля Одеси и витрати води Дніпра з 1971 по 2020 роки

У перші місяці після дня руйнування греблі Каховського водосховища, зниження солоності води в Одесі природно було пов'язане з розведенням морської води прісною річковою водою, що витікала з водосховища. Якщо порахувати середні солоності води в порту Одеси за рік до червня 2023 року та за рік після, то вони дорівнюють 14,25 та 11,01 опс. Аналогічні середньорічні солоності, розраховані по річним відрізкам, що віддалені від червня 2023 р. ще на рік в той і інший бік, дорівнюють 14,71 і 12,10 опс. Ці значення показують, що після руйнування греблі Каховської ГЕС 6 червня 2023 року солоність морської води в Одеській затоці помітно знизилася. Її середньорічне значення у наступному 2024 році впало до аномально низької позначки 10.81 опс, що на 3.2 опс нижче за кліматичну норму.

Починаючи з травня 2024 року та по грудень 2025 року нами спостерігається підвищення середньомісячних значень солоності морської води у Одеській затоці до величин близьких до середньомісячних норм, а іноді й перевищуючи їх.

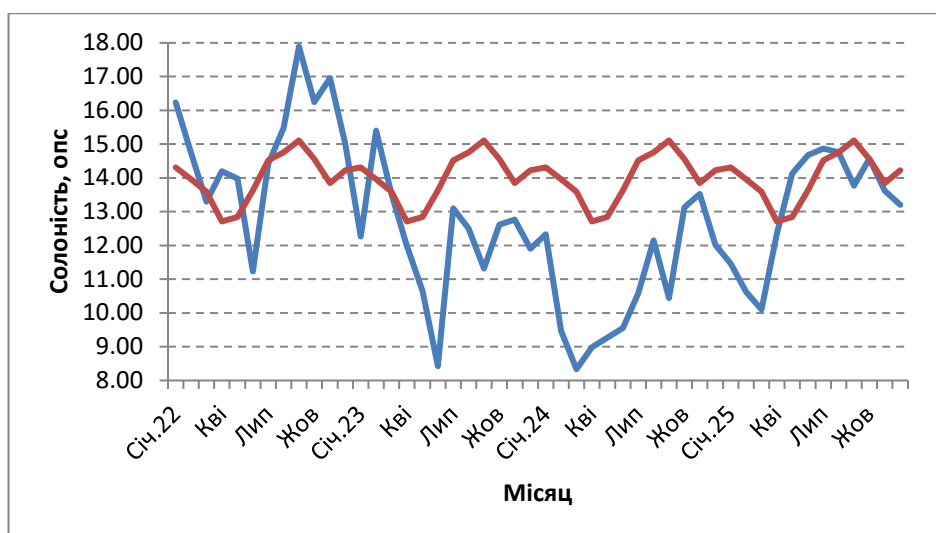


Рисунок 2.8 – Середньомісячні значення солоності морської води у Одеській затоці за 2022-2025 роки (синій) та місячні норми (червоний) за даними ГМС Одеса-порт

2.5 Атмосферні опади

Сумарна величина опадів за 2025 рік склала 359,7 мм. Це на 22% менше нині чинної норми, проте достатньо щоб цій рік за кількістю опадів залишився серед нормальних и не потрапив в розряд посушливих. Однак він близький до цієї межі і у списку з 1967 року упорядкованому по зменшенню річних сум опадів займає 104 рядок із 159. Таке положення є наслідком того, що 8 місяців були посушливими, у тому числі січень та серпень, в яких кількість опадів не досягала і 10% від норми. В таблиці 2.6 наведені місячні та річна суми опадів за 2025 рік та їх норми за 1991-2020 роки

Таблиця 2.6 – Місячні та річна суми опадів за 2025 рік та їх норми за 1991-2020 роки

Роки/місяці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Річні суми
2025	2.2	17.3	14.8	15.2	60.0	19.7	8.6	3.2		53.1	38.7	25.2	359.7
1991-2020	43	35	34	28	39	47	45	40	42	37	39	35	462

З іншого боку відзначимо травень із його півтора нормами опадів і, окремо, вересень із його 101,7 мм опадів. За даними метеостанції Одеса, за добу 30 вересня, випало 94 мм опадів – це 224% від місячної норми (рис. 2.9), що спричинило зменшення значень солоності на 1.5 опс. протягом трьох діб. До речі, 20 вересня у 2016 році було зафіксовано добовий рекорд опадів, 113 мм. За часів кліматичних змін такі екстремальні події стали частішими: з 2015 року (останні 10 років) в Одесі зафіксовано 14 випадків сильного дощу (кількість опадів від 50 до 100 мм за добу); за попередні десятиліття таке траплялося 3 випадки на 10 років.



Рисунок 2.9 – м. Одеса, вул. Тіниста, 30 вересня 2025
(Фото Полежаєва Є.К.)

На рисунку 2.10 показані фактичні річні суми опадів з 2000 по 2025 рік та три останні норми для цих сум. З одного боку норми та апроксимуючий їх мінливість лінійний тренд показують збільшення кількості опадів зі швидкістю 1,2 мм на рік і передбачають наступну норму, яка діятиме з 2030 року, 472 мм.

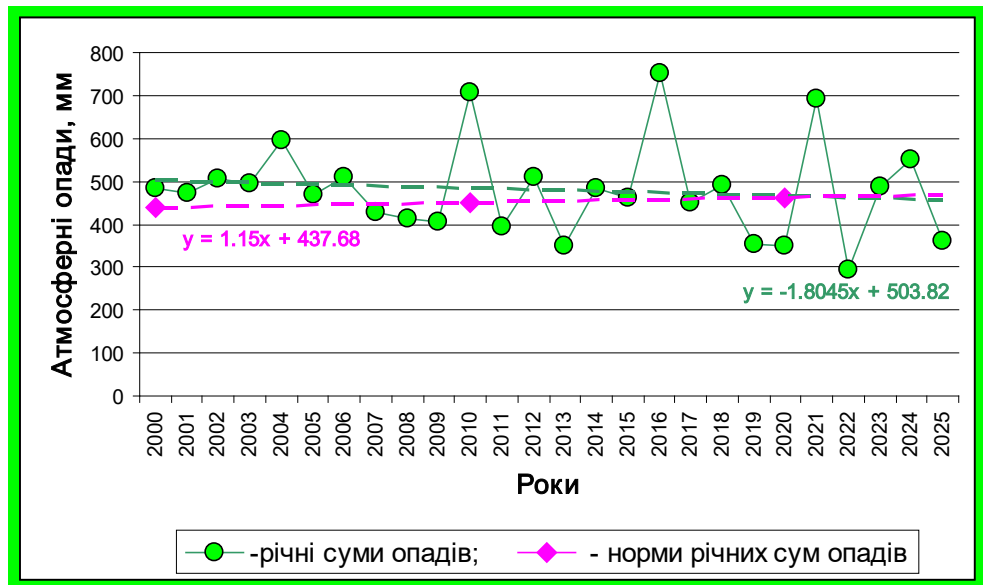


Рисунок 2.10 – Річні суми опадів в Одесі у XXI столітті за даними ГМЦ ЧАМ

З іншого боку фактичні річні суми опадів та їх апроксимуючий тренд дають зменшення кількості опадів з середньою швидкістю 1,9 мм на рік і передбачають наступну норму, яка діятиме з 2030 року, лише 448 мм.

На рисунку 2.11 представлені ряди середньорічних температур повітря та річних сум атмосферних опадів за 132 роки спостережень в одній точці, а саме на метеомайданчику нинішнього ГМЦ ЧАМ.

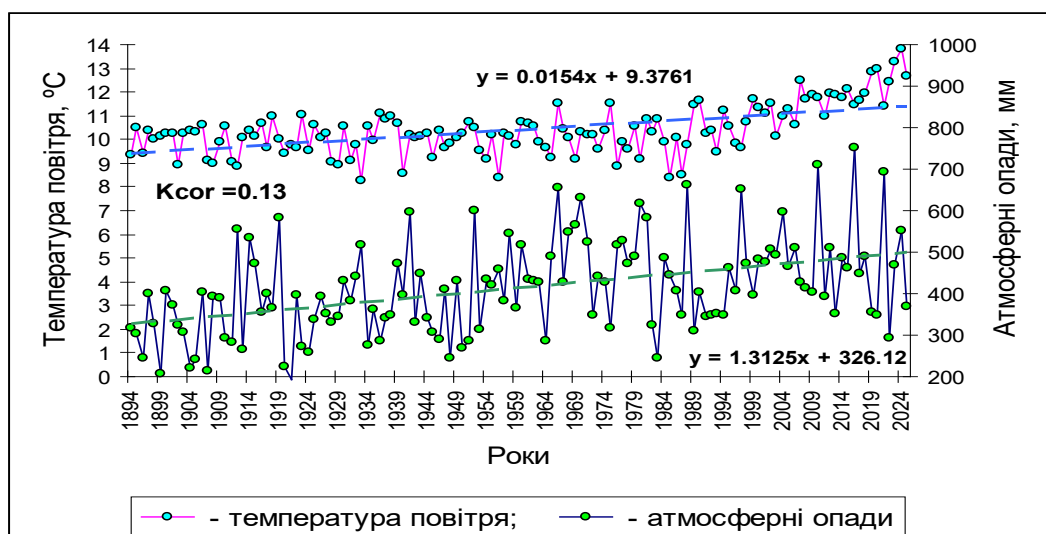


Рисунок 2.11а – Середньорічні температури повітря та річні суми опадів у Одесі за 1894 – 2025 рр. за даними ГМЦ ЧАМ (тренди лінійні)

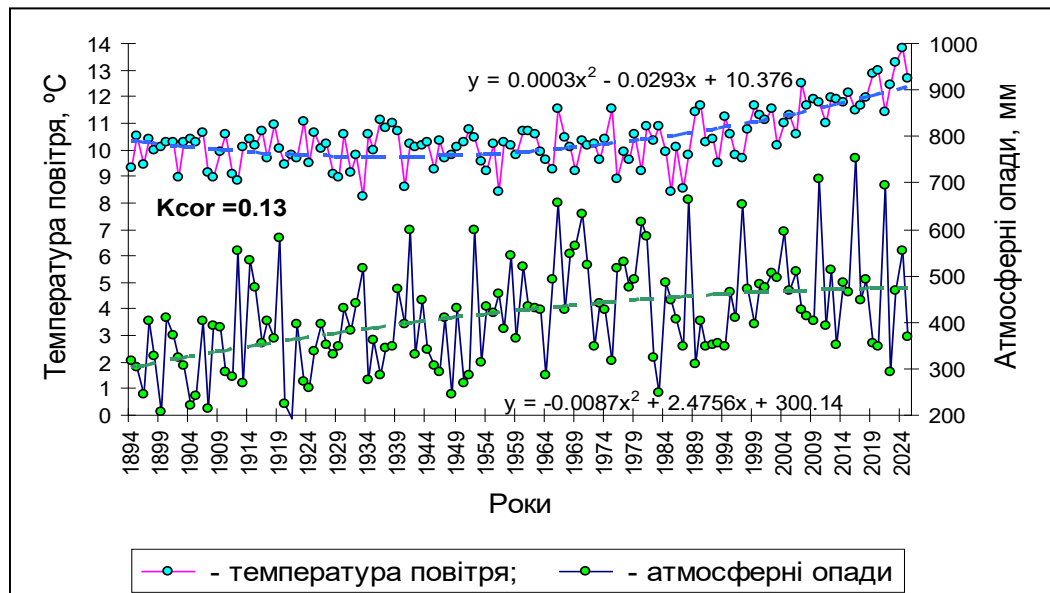


Рисунок 2.11 б – Середньорічні температури повітря та річні суми опадів у Одесі за 1894 – 2025 рр. за даними ГМЦ ЧАМ (тренди поліноміальні другого ступеня)

Обидва ряди показують зростання у ХХ столітті та можливе уповільнення зростання кількості опадів у ХХІ.

На загальному тлі підвищення кількості атмосферних опадів у ХХІ столітті зі швидкістю близько 1 мм на рік, сума опадів у 2025 року була на 22%, менше нині чинної норми.

2.6 Випадки апвелінгів в Одеській затоці у літку 2025 року

Одним з поширених явищ, що виникають в ЧМ, є апвелінги.

В ПЗЧМ, у тому числі вздовж узбережжя Одеської затоки, спостерігаються вітрові апвелінги. У звіті ми розглядаємо апвелінги у теплий період року, при котрих негативні аномалії температури поверхні води мають величину $\geq 5^{\circ}\text{C}$.

Влітку 2025 року біля узбережжя ОЗ кілька разів спостерігалось значне

зниження температури морської води протягом кількох діб. За даними спостережень ГМС «Одеса-Порт» маємо низку гідрометеорологічних параметрів із зазначенням добових середніх та мінімальних значень температури води, середніх та максимальних швидкостей приземного вітру та його напрямку, а також мінімальних та максимальних значень солоності й рівня моря за кожний окремий випадок (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Показники гідрометеорологічних параметрів під час значних апвелінгів протягом літнього сезону 2025 року

Період дії	Т _{води} , °С			Швидкість вітру, м/с напередодні апвелінгу		Напрямок вітру, румби	Солоність, опс		Рівень моря, см	
	початок	мін	ΔТ	середня	макс		середній	початок	макс	початок
18.06 – 26.06	18.6	12.6	6	4	16	ПдЗх/ЗхПдЗх	14.92	15.71	479	467
17.07 – 23.07	21.4	11.6	9.8	5	16	ПдПдСх	14.28	16	475	465
18.08 – 31.08	23.2	11.8	11.4	2	18	ПдЗх/ЗхПдЗх	14.28	16.32	472	451

1) 18 червня 2025 року середньодобова температура води складала 18,6°C. Наступної доби вона вже була на позначці 15,5°C. Мінімум: 12,6°C був відмічений 24 червня. Після цього температура води почала зростати, сягнувши позначки 17,5°C 26 червня та залишалась такою, із незначними коливаннями, до кінця місяця. За даний період солоність морської води збільшилась майже на 1 опс. Напередодні апвелінгу спостерігався вітер західного напрямку зі швидкістю 4 м/с. Протягом періоду дії переважав вітер із південно-західною складовою. Його середня швидкість коливалась в межах 5 м/с, а пориви сягали позначки 16 м/с. Також було зафіксовано зниження рівня моря більше 10 см. На рисунках 2.12 та 2.13 представлено розподіл і динаміку зміни температури поверхні морської води, під час червневого апвелінгу, за даними CMEMS та ГМС Одеса-Порт відповідно.

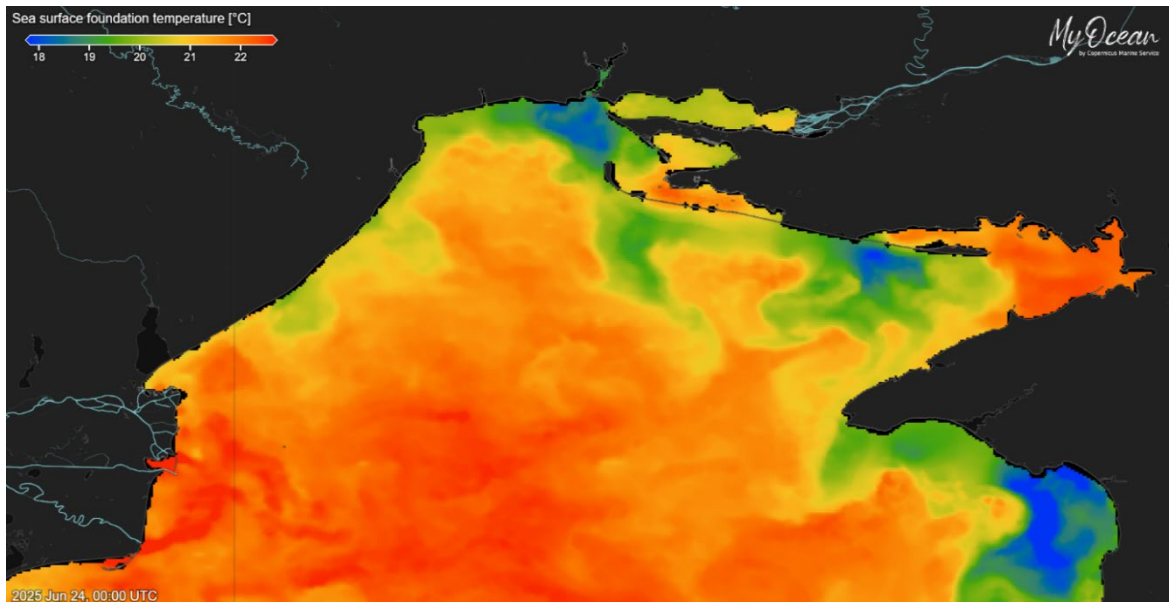


Рисунок 2.12 – Розподіл температури поверхні морської води під час апвелінгу за 24.06.2025 р. за даними CMEMS

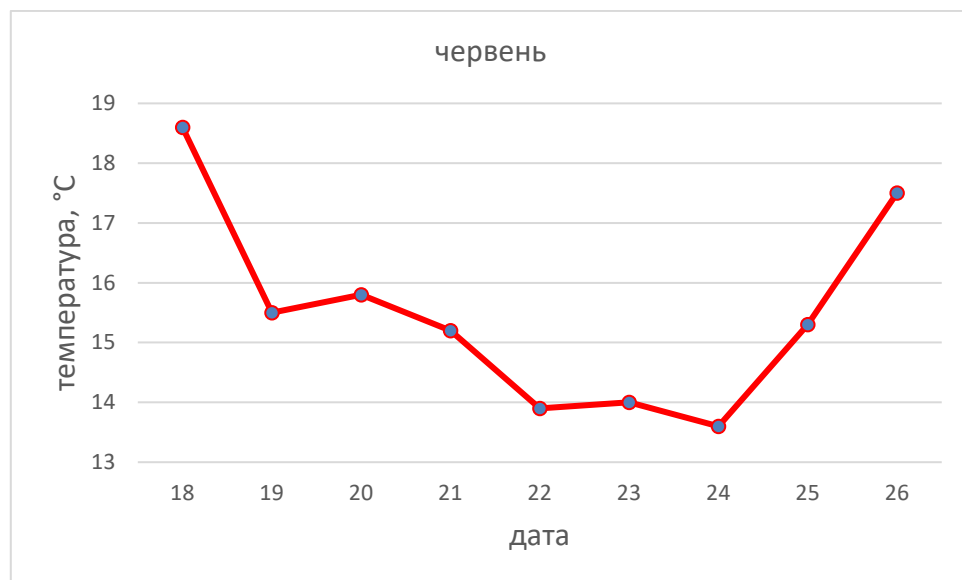


Рисунок 2.13 – Динаміка зміни температури поверхні морської води під час апвелінгу у червні 2025 року за даними ГМС Одеса-Порт

2) 17 липня 2025 року середньодобова температура води у ОЗ складала 21,4°C, кожної наступної доби відбувалось зниження температури близько 2-х градусів. Мінімум: 11,6°C – був відмічений 20 липня. Після цього температура води почала зростати, сягнувши позначки 21,3°C 23 липня та залишалась такою, із незначними коливаннями, до кінця місяця. За даний період солоність морської води збільшилась майже на 2 опс. (рис.2.14).

Напередодні апвелінгу спостерігався вітер ЗхПнЗх напрямку зі швидкістю 5 м/с. Протягом періоду дії переважав вітер із південно-західною складовою. Його середня швидкість коливалась в межах 5 м/с, а пориви сягали позначки 16 м/с. Також було зафіксовано зниження рівня моря на 10 см. (табл. 2.7). На рисунку 2.15 представлено розподіл температури поверхні морської води, під час червневого апвелінгу, за даними СМЕМС.

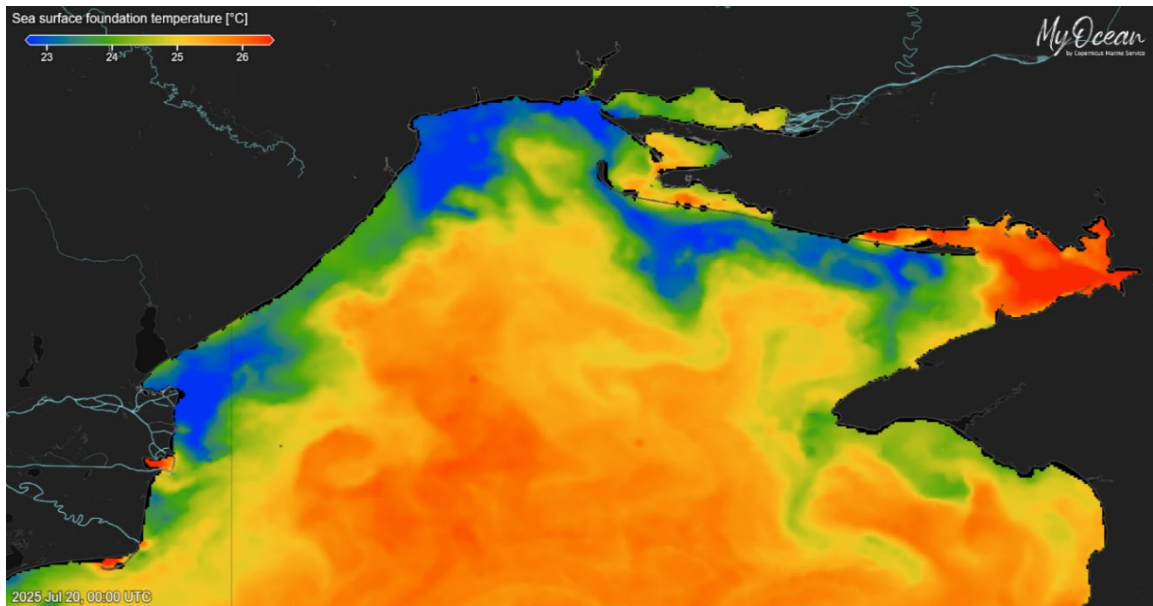


Рисунок 2.14 – Розподіл температури поверхні морської води під час апвелінгу за 20.07.2025 р. у ПЗЧМ за даними СМЕМС

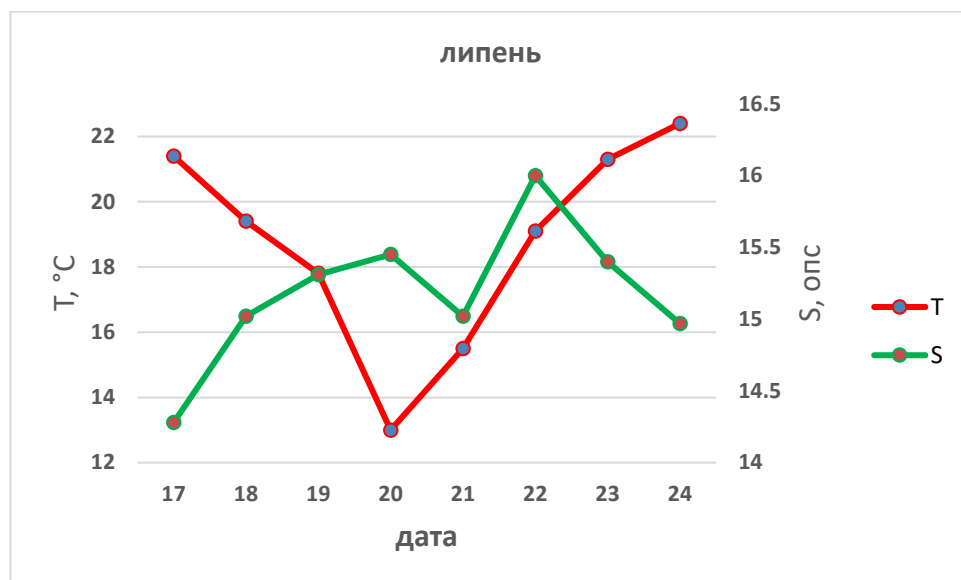


Рисунок 2.15 – Динаміка зміни температури та солоності поверхні морської води у Одеській затоці під час апвелінгу у липні 2025 року за даними ГМС Одеса-Порт

3) в період з 18 по 22 серпня спостерігалось зниження температури морської води з 23,2°C до 18,3°C. Після цього почалося зростання: 24 серпня середня температура за добу складала 20,6°C. Далі протягом с 25 до 28 серпня знову пішов спад близько 2-х градусів кожної доби, сягнувши мінімальних значень 11,8°C 27 серпня 2025 року. Останні кілька днів місяця спостерігалось зростання температури поверхні морської води до 21,6°C. За даний період солоність морської води збільшилась більше ніж на 2 опс. Напередодні апвелінгу спостерігався вітер південно-східного напрямку зі швидкістю 2 м/с. Протягом періоду дії переважав вітер із південно-західною складовою. Його середня швидкість коливалась в межах 5 м/с, а пориви сягали позначки 18 м/с. Також було зафіксовано зниження рівня моря на 21 см. На рисунках 2.16 та 2.17 представлено розподіл і динаміку зміни температури поверхні морської води, під час червневого апвелінгу, за даними CMEMS та ГМС Одеса-Порт відповідно.

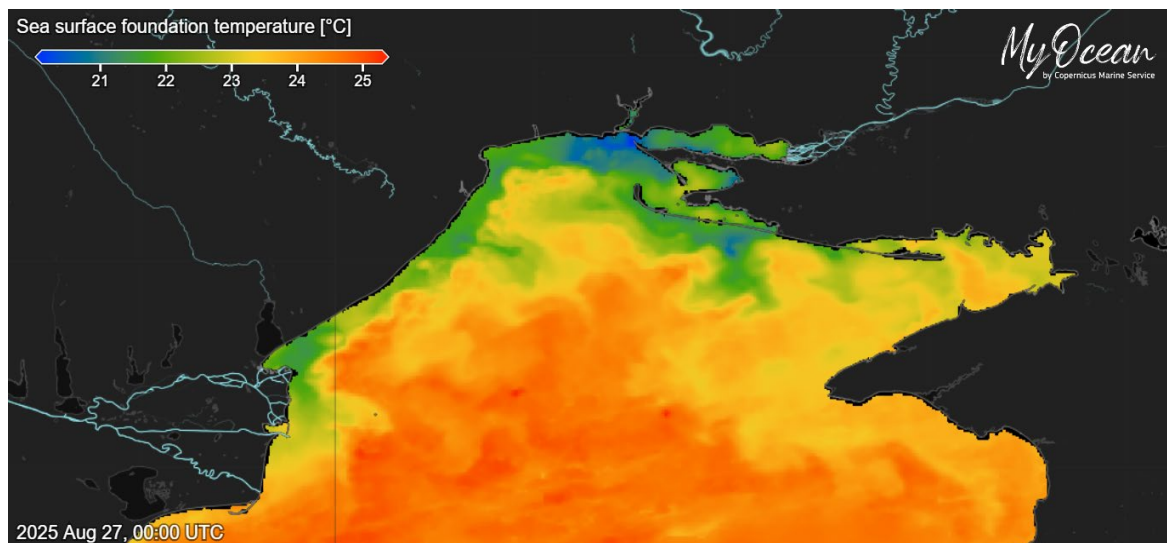


Рисунок 2.16 – Розподіл температури поверхні морської води під час апвелінгу за 27.07.2025 р. за даними CMEMS

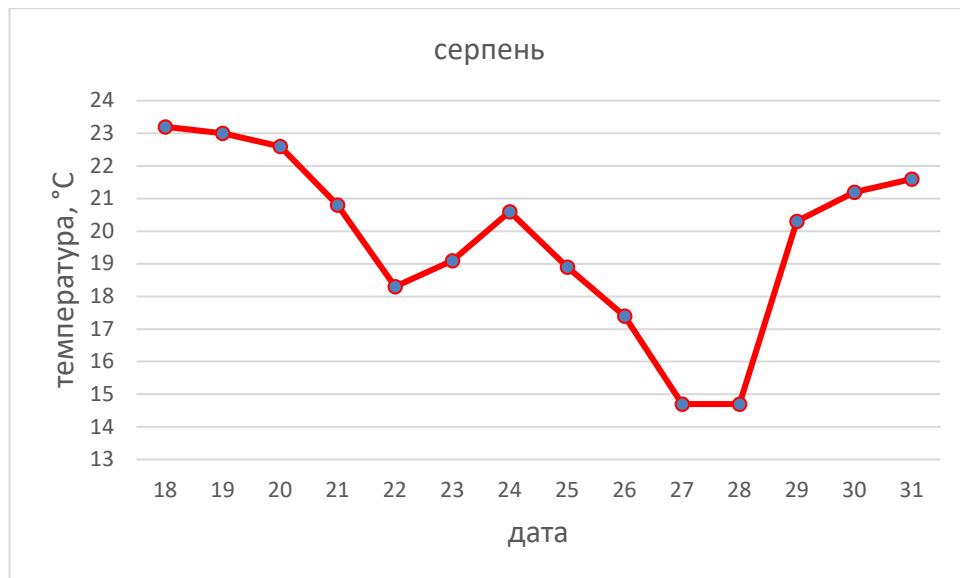


Рисунок 2.17 – Динаміка зміни температури поверхні морської води під час апвелінгу у серпні 2025 року за даними ГМС Одеса-Порт

Окрім вищевказаного, співробітниками УкрНЦЕМ, відповідно до «Програми відбору проб під час проведення державного морського моніторингу у 2025 році» виконані щотижневі інструментальні дослідження в районі пляжу «Аркадія» та прибережжя мису Малий Фонтан. Моніторинг стану морського середовища кілька разів припав на період апвелінгів у літній сезон. Зокрема простежується зниження температури морської води на початку апвелінгів, а також зростання значень солоності упродовж їхньої дії.

З трьох літніх місяців 2025 року сумарний період дії апвелінгів у районі одеського узбережжя тривав близько місяця.

3. МІНЛИВІСТЬ СТОКУ ДУНАЮ У 2025 РОЦІ НА ТЛІ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У ХХІ СТОЛІТТІ

Багаторічна практика гідробіологічних досліджень ПЗЧМ показала, що життя в морі тісно пов'язане з гідрологічними умовами, а ті, своєю чергою, сильно залежать від річкового стоку і, насамперед, від стоку Дунаю [3]. Моніторинг стоку Дунаю (рис. 3.1), можливо, найважливіша частина екологічного моніторингу ПЗЧМ. За останнє десятиліття і особливо за останні п'ять років відмічається деяке зниження стоку Дунаю відносно попередніх років.



Рисунок 3.1 – Дунайське узмор'є 21 травня 2025 року

На рисунку 3.2 представлено 35-річний ряд річних витрат Дунаю з 1991 по 2025 р. Лінійний тренд показує тенденцію до зменшення витрат річки на вказаному відрізку часу із середньою швидкістю $0,71 \text{ км}^3 \cdot \text{рік}^{-1}$. Швидкість розрахована за виведеним на рисунок рівнянням лінійного тренду.

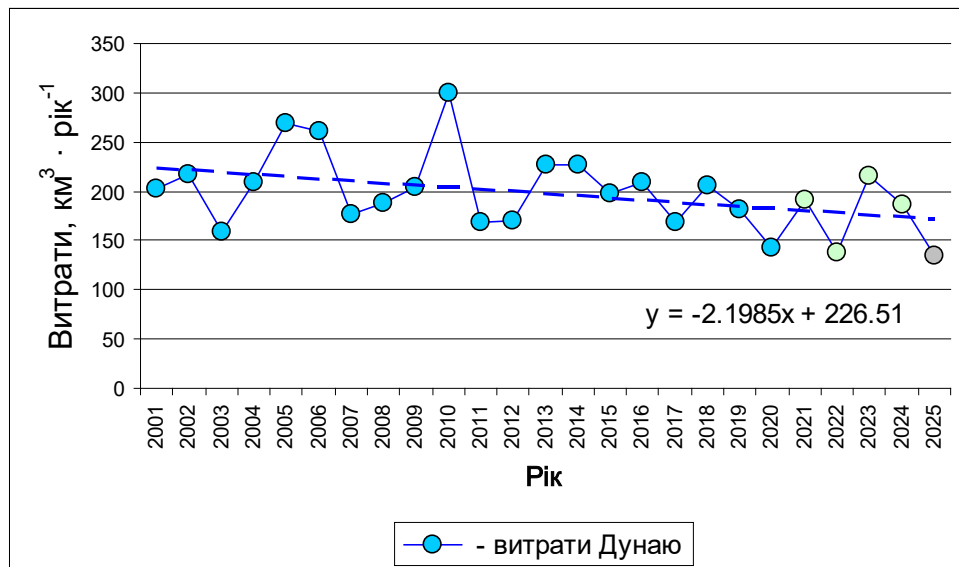


Рисунок 3.2 Річні витрати вод Дунаю з 1991 р. по 2025 р. за даними Дунайської ГМО (м. Ізмаїл).

Однак ряд річних витрат річки Дунай на цьому рисунку неоднорідний: перші 30 членів ряду з 1991 по 2020 рік утворюють відрізок часу, за яким розраховуються кліматичні норми, які будуть дійсними протягом наступного десятиліття. Цей ряд тут не наведений, тому що відрізняється лише відсутністю п'яти останніх точок, які виділені іншими кольорами. Перші чотири світло-зелені точки виходять за межі ряду, за яким розраховуються норми, а в розрахунках п'ятої сірої крім того, замість фактичних даних за жовтень-грудень, що поки що не спостережені, використані їх місячні норми.

Тренд придатного для розрахунку норм ряду також демонструє тенденцію зменшення витрат річки, але з майже втричі меншою швидкістю $0,28 \text{ км}^3 \cdot \text{рік}^{-1}$. Це означає, що прискорення скороченню стоку річки надають якраз останні п'ять точок.

Цей висновок, зроблений за рівняннями трендів, підтверджується прямими розрахунками середніх витрат річки за трьома відрізками часу. Середня річна витрата річки по всьому 35-річному ряду дорівнює $199,3 \text{ км}^3 \cdot \text{рік}^{-1}$.

Перша 30-річна частина цього відрізка має трохи більшу середню витрату $203,2 \text{ км}^3 \cdot \text{рік}^{-1}$. Це, за визначенням, і є річна норма витрат Дунаю, що

діє зараз.

Середня витрата останніх п'яти років набагато менша, $176,0 \text{ км}^3 \text{ рік}^{-1}$. Цей останній відрізок повного ряду і визначає прискорене скорочення витрат, що йде в останні роки (рис. 3.3).

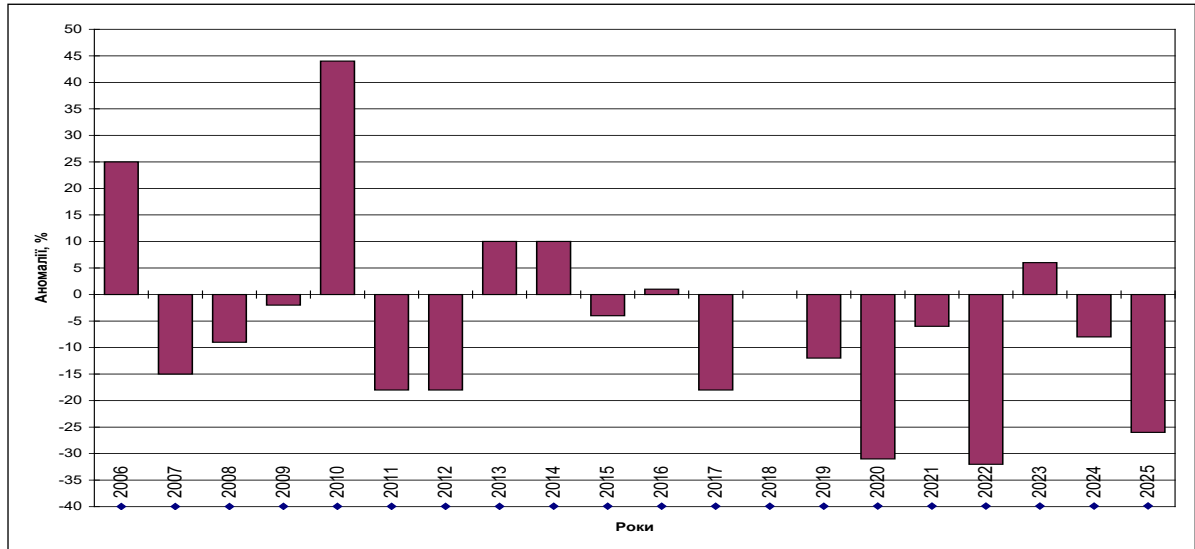


Рисунок 3.3 Аномалії річних витрат Дунаю з 2006 по 2025 р. щодо кліматичних норм які діяли до 2011, до 2021 років і діють зараз за даними Дунайської ГМО (м. Ізмаїл).

У таблиці 3.1 показано нижню «маловодну» частину списку витрат Дунаю, впорядковану зі зменшенням річних витрат.

Таблиця 3.1 – Місячні та річні витрати Дунаю за маловодні роки згідно даних Дунайської ГМО

№	Рік	МІСЯЦІ												Σ
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
42	2011	28.12	19.31	17.54	17.70	13.63	13.01	12.56	13.12	8.19	9.08	8.16	7.90	168.3
43	2017	10.6	15.1	21.4	15.3	19.7	14.0	9.62	9.86	9.75	11.80	12.20	18.50	167.8
44	2003	22.90	18.68	17.44	18.69	15.56	11.72	8.14	7.45	6.51	8.87	12.42	9.75	158.1
45	1993	12.7	9.94	10.5	22.7	18.3	10.2	8.84	10.3	9.69	11	14.5	15	153.7
46	2025	13.66	10.09	10.98	18.07	13.87	12.20	7.26	8.60	12.00	12.87	13.21	16.13	148.9
47	2020	12.10	11.70	16.60	10.90	9.88	10.80	10.50	9.60	10.40	13.90	14.00	12.00	142.4
48	2022	16.5	10.7	12.8	13.9	14.3	11.9	8.33	6.62	7.34	11.30	8.11	16.10	137.9
49	1990	11.8	10	13.9	12.4	13.4	11.7	11.5	6.83	6.04	7.98	10.9	16	132.5

У першій колонці таблиці вказано місце року у списку впорядкованому зі зменшенням річних витрат Дунаю.

З таблиці видно, що звітний 2025 рік, у якому відсутні фактичні витрати за вересень-грудень замінені їх багаторічними нормами, займає 46 рядок списку з 49, тобто реально претендує на місце серед маловодних років.

4 МІНЛИВІСТЬ ОКЕАНОГРАФІЧНИХ ПОЛІВ ВЕРХНЬОГО ШАРУ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ СУПУТНИКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ 2003-2025РР.

Для аналізу просторового розподілу та тимчасової мінливості полів температури поверхні води, солоності та кисню ЧМ були використані дані супутникових спостережень та математичного моделювання гідрофізичних процесів, що надаються Європейським космічним агентством СММСК з наступними параметрами: просторовий розподіл – 3х3 км, тимчасовий розподіл – середньомісячні дані, по вертикалі – горизонт 2,5 м.

4.1 Просторово-часовий розподіл основних гідрологічних параметрів верхнього шару Чорного моря у 2025 році

Розглянемо особливості просторово-часового розподілу основних параметрів - температура поверхні моря (ТПМ), солоність, кисень у 2025 році на прикладі даних для чотирьох сезонів зима, весна, літо, осінь. Вибірка проводилася для найбільш характерних місяців сезону (табл. 4.1). Для зимового періоду найбільш показовим виявився лютий, для весни – квітень, для літа – серпень, для осені, відповідно, жовтень.

Таблиця 4.1 – Максимальні та мінімальні значення основних параметрів поверхневих гідрологічних полів Чорного моря у 2025 р.

Місяці	Т-ра води, °С		Солоність, опс		Кисень, мг/л	
	макс.	мін.	макс.	мін.	макс.	мін.
грудень	14,7	3,5	18,93	17,54	10,36	8,67
січень	11,2	2,9	18,94	16,64	11,04	9,31
лютий	9,4	2,8	18,90	17,32	11,32	9,26
березень	10,6	4,9	18,03	17,03	12,34	9,47
квітень	12,6	8,5	19,06	11,24	11,40	9,84
травень	17,6	12,2	18,90	14,78	10,75	9,30
червень	22,6	11,98	18,96	15,00	9,74	8,18
липень	26,6	22,7	19,08	16,75	8,53	7,46
серпень	27,4	22,4	19,02	17,37	7,63	7,29
вересень	25,2	20,2	19,32	17,71	8,98	7,34
жовтень	20,5	14,6	19,20	17,00	10,00	7,80
листопад	18,7	11,3	19,15	13,24	9,78	8,32

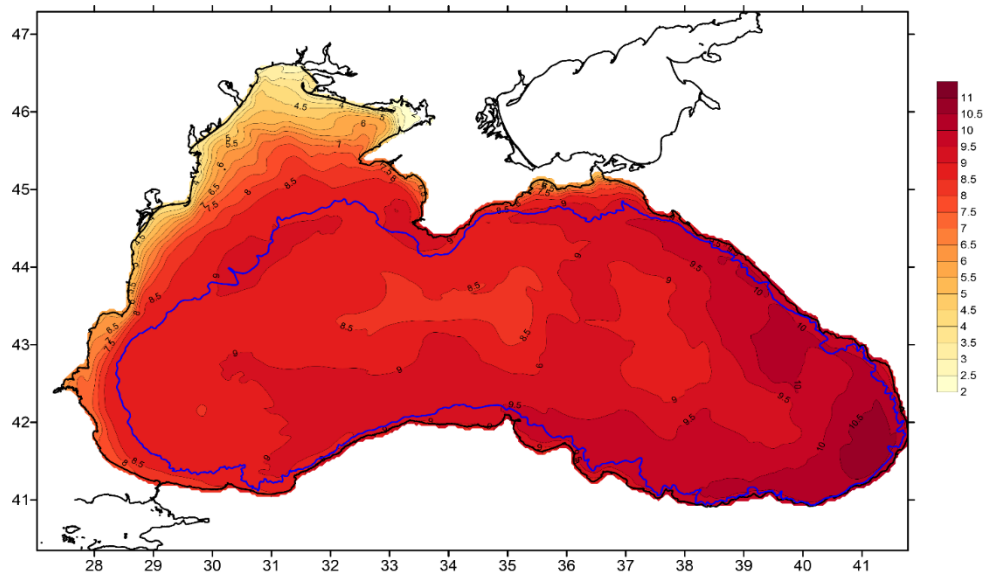
Розподіл гідрофізичних параметрів (ТПМ, солоності, кисню) у зимовий період був наступним.

Для ТПМ в зимовий період (рис.4.1 а) максимальна температура відзначається в східній частині моря (14,7°С в грудні, в січні – 11,2°С, в лютому – 9,4°С), мінімальна - у Північно-Західній частині моря, що є мілководною, яка легко вихолоджується та знаходиться під впливом стоку річок - 3,5°С у лютому, 2,9°С – у грудні та 2,8°С – у січні. У центральній частині моря виділяються два райони – східний з температурою води 9,5°С та західний – 10,3°С. Температура в західній частині моря взимку коливається від 9,8 до 10,0°С.

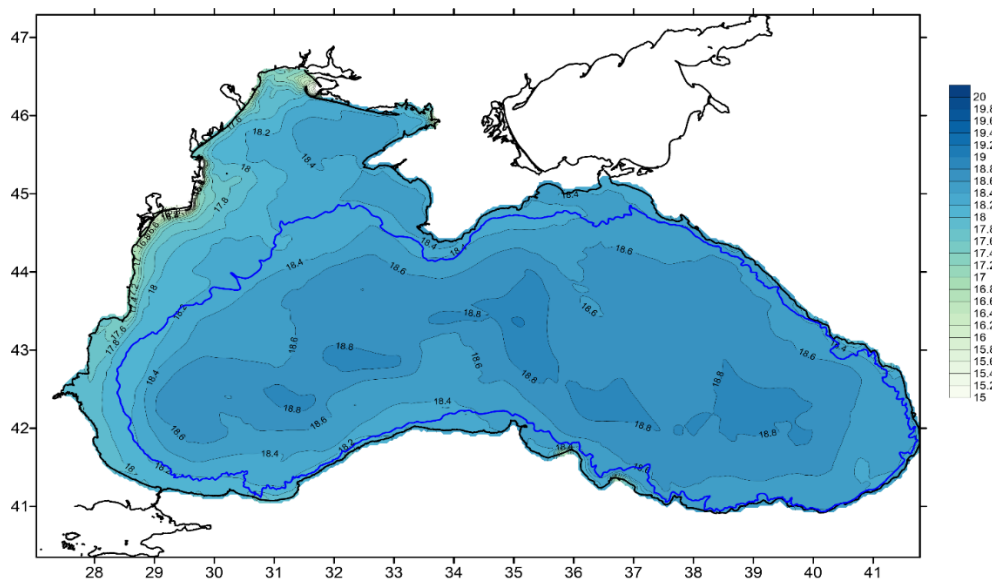
Для розподілу солоності (рис.4.1б) характерні мінімуми у Північно-Західній частині моря та в Південній у берегів Туреччини. Ці мінімуми обумовлені стоком річок (район Дніпро-Бузького лиману, Дністровського лиману, стоку - Дунай) та гірських рік Турецького узбережжя. Для зимового сезону рівень мінімальної солоності, коли стік річок невеликий, досягає 12,64 опс. Максимальні значення солоності приурочені до центральної частини

Чорного моря з величинами до 18,94 опс.

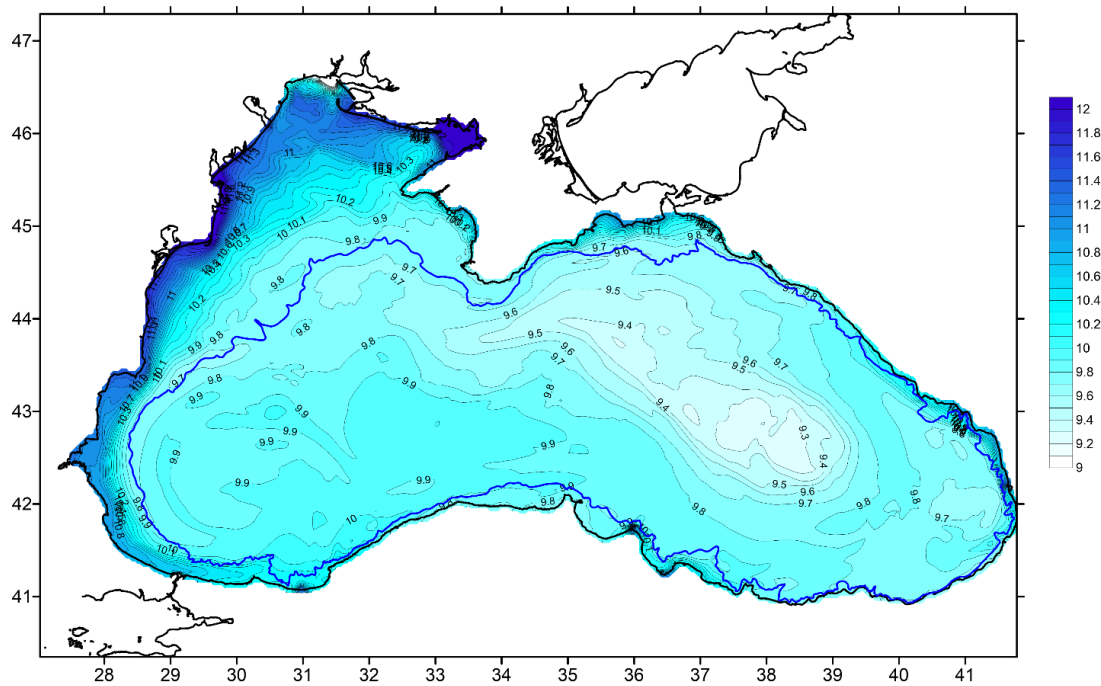
У просторовому розподілі полів кисню (рис.4.1в) максимум значень (11,32 мг/л) розташовується в Північно-Західній частині Чорного моря у районі Дніпро-Бузького лиману та Каркінітської затоки. Мінімальні значення (8,67 мг/л) відзначаються в східній частині моря вздовж Кавказького узбережжя. В основному, для центральної акваторії моря у зимовий період, значення кисню становлять від 9,70 до 9,90 мг/л, але з мінімумом нижче 9,30 мг/л у східній частині моря.



a)



б)



в)

Рисунок 4.1 – Розподіл: ТПМ (а), солоності (б), кисню (в) у Чорному морі у лютому 2025 р.

Весняний розподіл ТПМ має особливості, як у просторовому розподілі, так і у величинах значень (рис. 4. 2).

Для березня характерними районами являються: найбільш холодна Північно-Західна частина ЧМ з температурами 4,9 до 6,0 $^{\circ}$ С, найбільш тепла східна, уздовж узбережжя Кавказу та Криму з діапазоном температур від 9,0 до 10,2 $^{\circ}$ С та центральна частина моря з ТПМ від 8,0 до 8,5 $^{\circ}$ С.

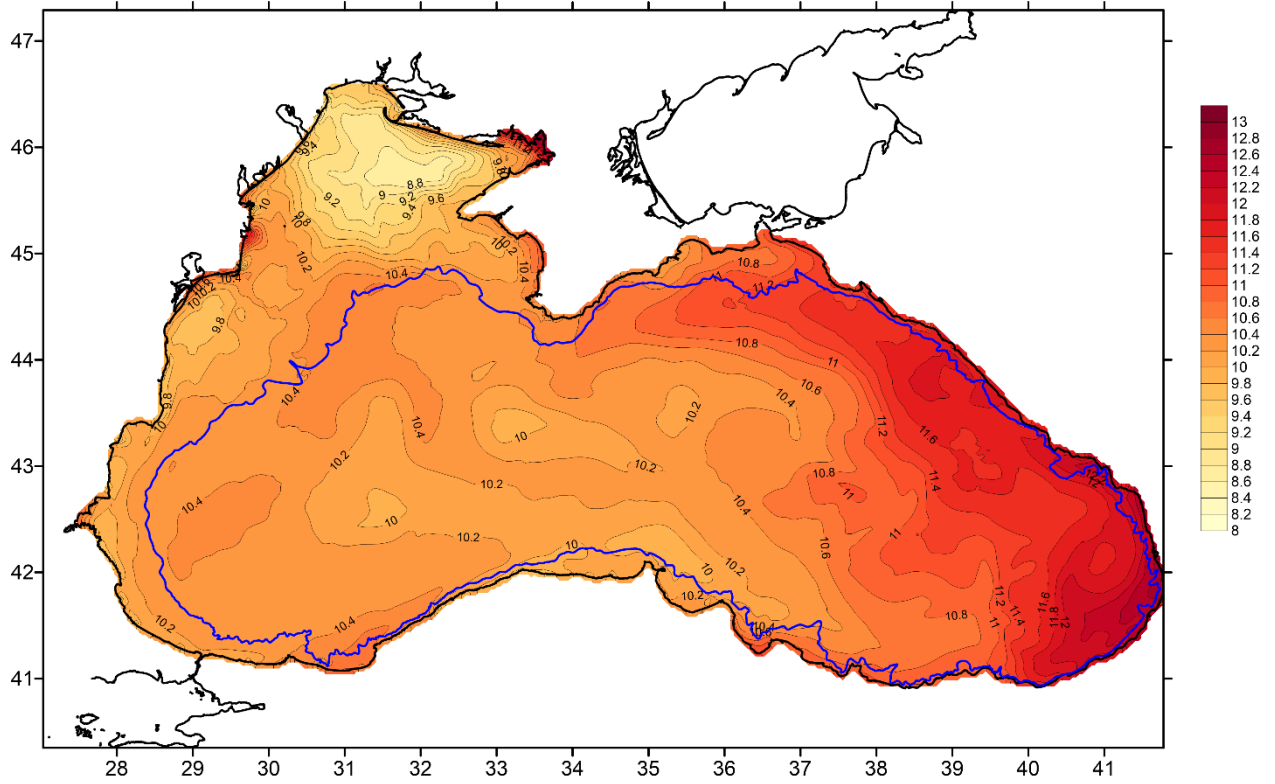
Для квітня розподіл ТПМ наступний: температурний мінімум зі значеннями 8,5 $^{\circ}$ С розташований в Північно-Західній частині Чорного моря в районі Тендрівської коси. В центральній частині моря 10,0-10,5 $^{\circ}$ С. Максимальні значення ТПМ розташовані в районі уздовж узбережжя Кавказу та східної частини Криму – від 11,0 до 12,5 $^{\circ}$ С.

У травні у розподілі ТПМ виділяються три райони: Кавказьке узбережжя з найбільш високими температурами – 15,0-16,5 $^{\circ}$ С, з низькими температурами – Північно-Західна частина з температурами 12,5- 13,0 $^{\circ}$ С. Але

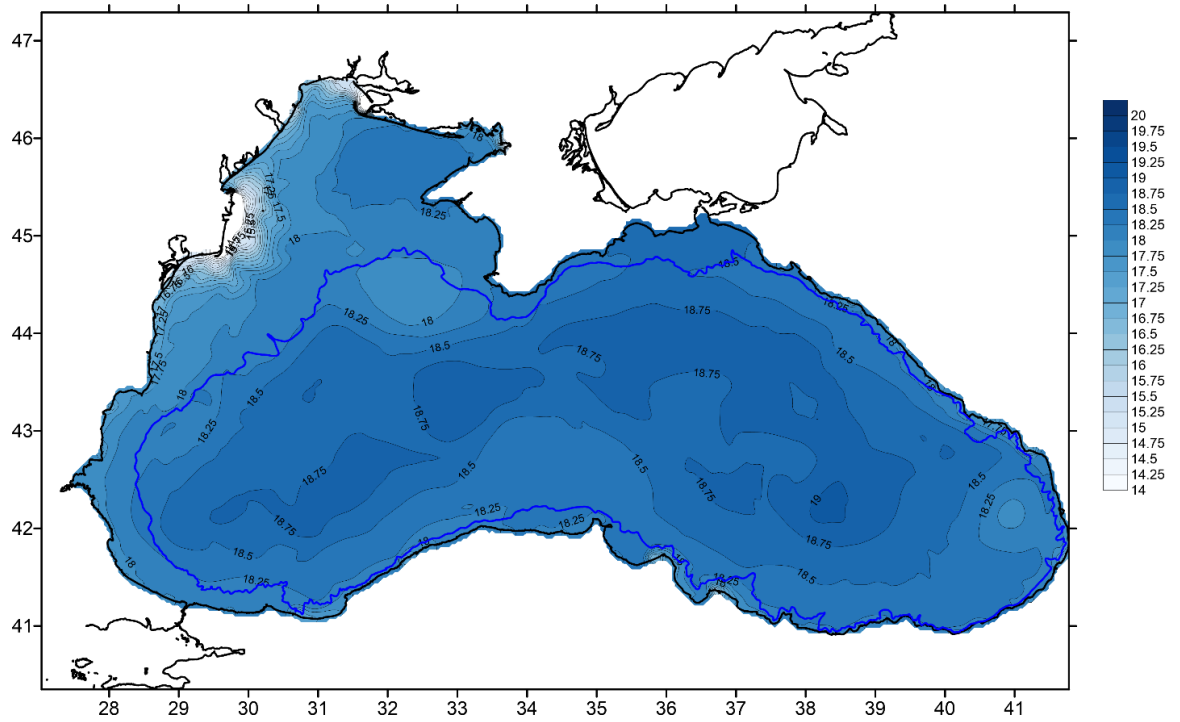
більша частина моря має температуру від 13,0 до 14,5°C.

Для розподілу солоності (рис. 4.2б) характерний мінімум в Північно-Західній частині моря (9,73 опс), обумовлений стоком річок (район Дніпро-Бузького лиману, Дністровського лиману, і, особливо, стоку річки Дунай). Максимальні значення солоності приурочені до центральної частини Чорного моря з величинами – 18,80-19,00 опс. У середньому солоність для всієї акваторії моря, за винятком вздовжберегової частини з річним стоком, коливається в межах 18,40 - 18,60 опс.

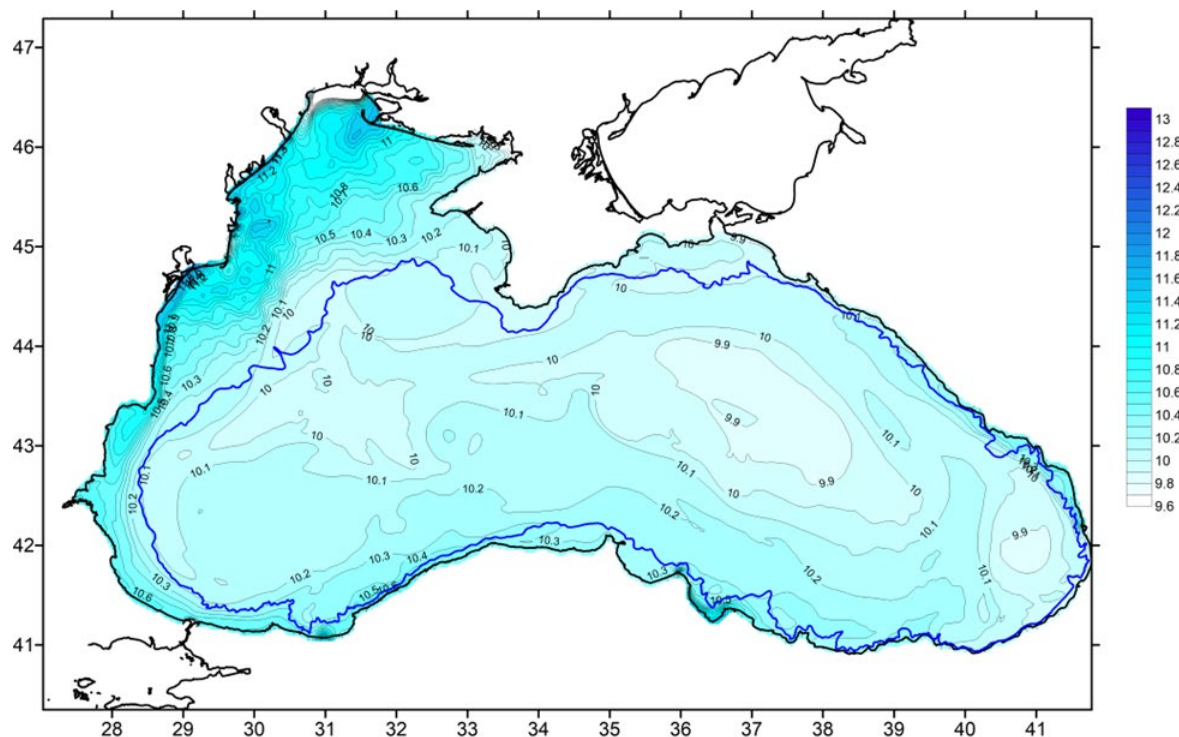
У просторовому розподілі полів кисню (рис. 4.2в) максимум значень (12,34 мг/л) розташовується в Північно-Західній частині Чорного моря і обумовлений стоком річок. Окремі максимуми значень кисню, також обумовлені стоком річок, розташовуються вздовж південного узбережжя моря (Туреччина) - до 10,50 мг/л і вздовж Кавказького узбережжя - до 10,40 мг/л у місцях впадіння річок у море. Мінімальні значення (<9,50 мг/л) спостерігаються в східній частині моря. В цілому, для всієї акваторії моря, значення кисню становлять від 10,0 до 10,2 мг/л, для північно-західної частини моря коливання рівня кисню в середньому складають від 11,10 до 12,20 мг/л.



a)



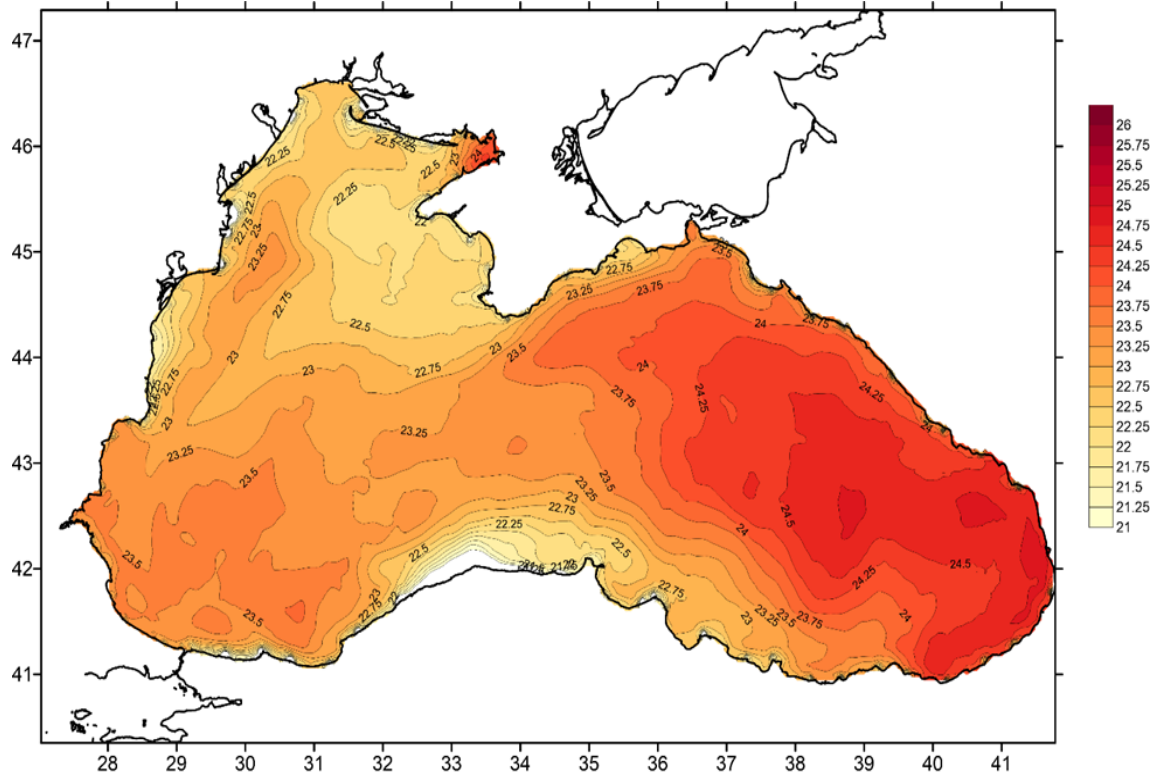
b)



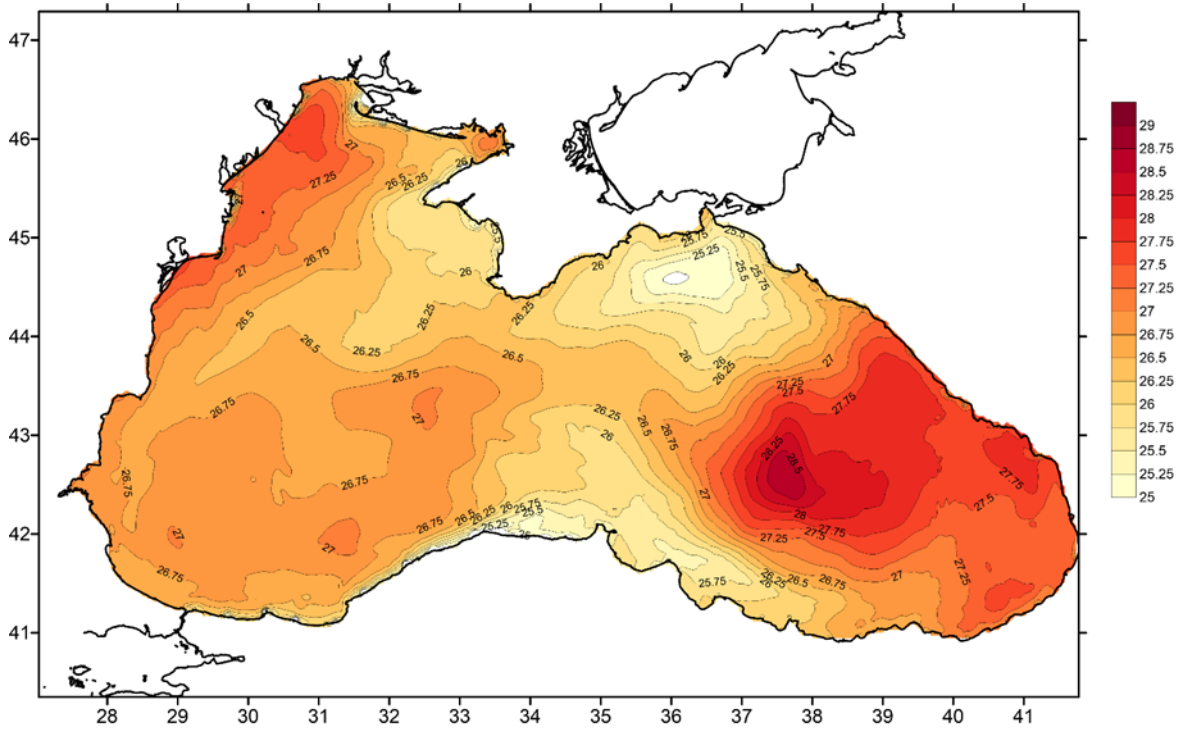
в)

Рисунок 4.2 – Розподіл ТПМ (а), солоності (б), кисню (в) в Чорному морі в квітні 2025 року

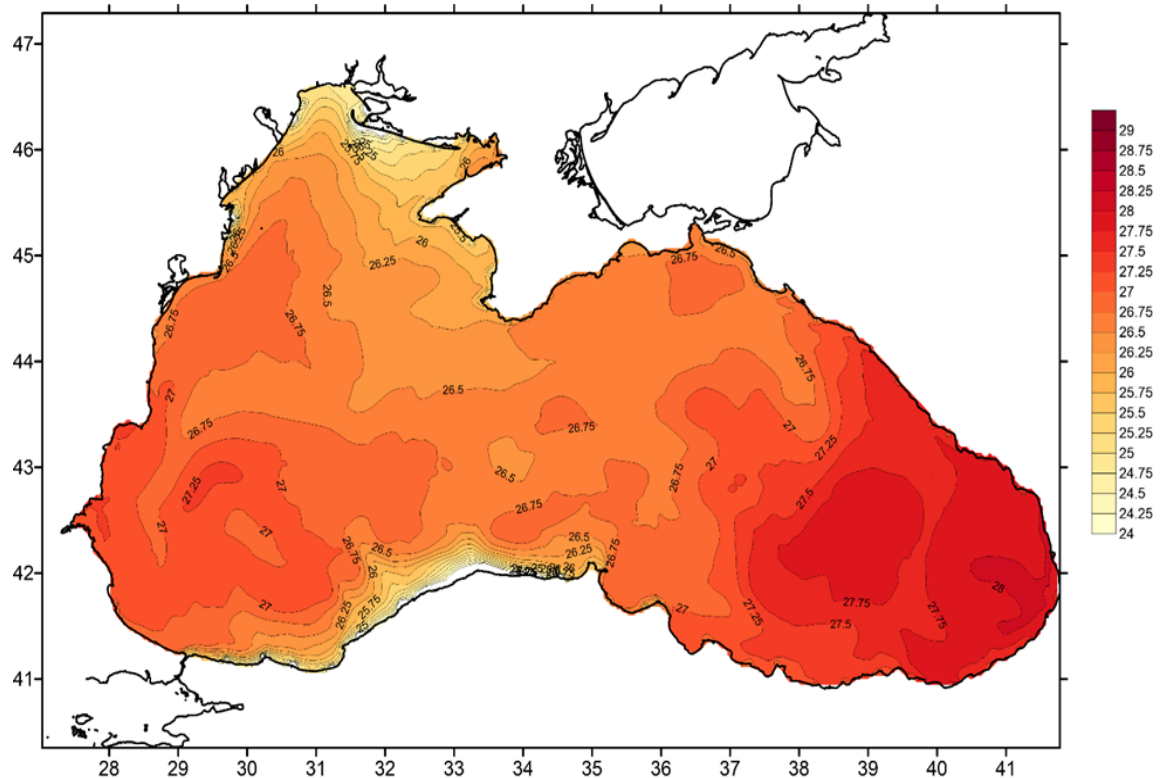
Для літнього сезону (рис. 4.3 а, б, в) у просторовому розподілі ТПМ виділяються дві великі області. Це відносно прохолодна Північно-Західна частина моря з ТПМ від 22,5 до 22,7°C в червні. В липні температура зростає до 27,3°C, а в серпні починає охолоджуватися, особливо в районах річного стоку і коливається від 25,0 до 26,5°C. Найбільш тепла частина Чорного моря це південно-східна. ТПМ коливається від 24,0 – 25,5°C у червні, 27,0 – 28,5°C в липні та 27,5 – 28,0°C в серпні. В південній частині, вздовж узбережжя Туреччини – зони низької температури, обумовлені стоком холодних вод гірських річок. Так, у червні ТПМ вздовж узбережжя коливалося від 18,5 до 20,0°C, в липні від 25,0 до 26,0°C, в серпні від 23,5 до 25,0°C. У липні виділяється зона з пониженою температурою 25,2 – 25,5°C поблизу Керченської протоки.



a)



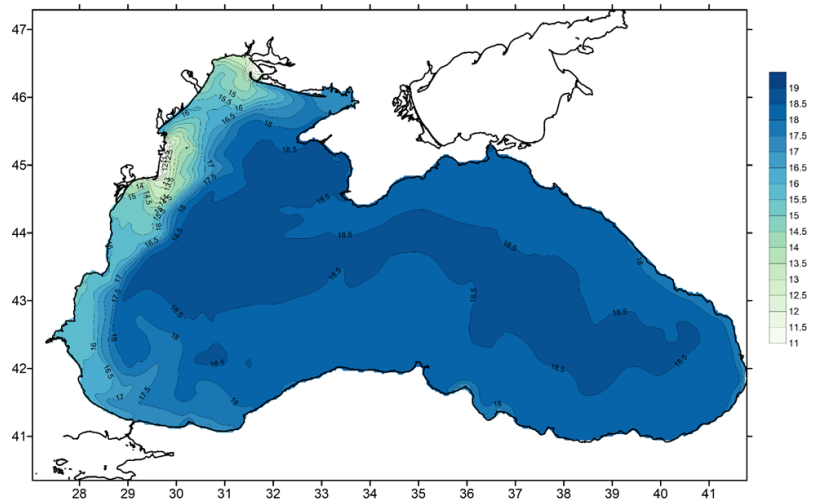
b)



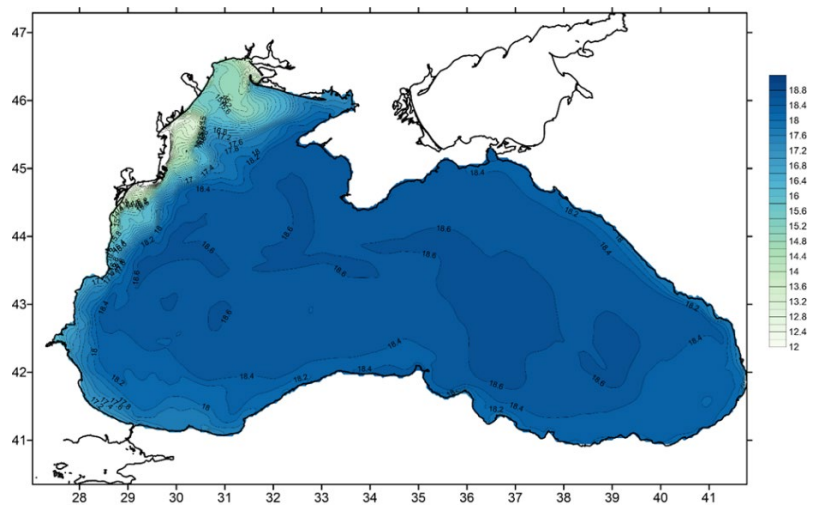
в)

Рисунок 4.3 – Розподіл ТПМ на поверхні Чорного моря у червні (а), липні (б), серпні (в), 2025 року

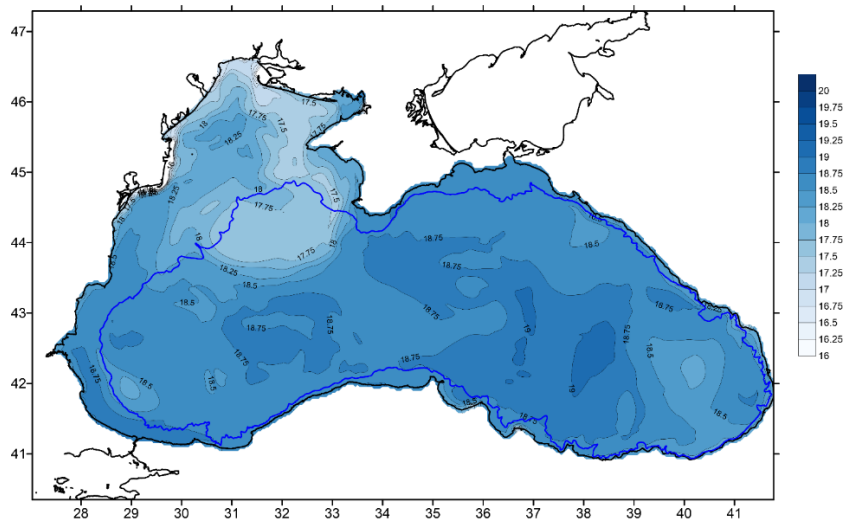
У літній період (рис. 4.4 а, б, в) вся центральна область ЧМ є зоною підвищеної солоності. У червні – 18,50-18,60опс. (максимум 18,68опс.). У липні – 18,65-18,70опс. (максимум 18,75опс.), у серпні 18,60-18,75опс. (максимум 18,80опс). У серпні звертає на себе увагу великий район поблизу західного узбережжя Криму з солоністю 17,50-17,75опс. У червні та липні смуга вод з пониженою солоністю спостерігається від Дніпро-Бузького лиману(ДБ), а далі досить вузьким язиком до меж північно-західного району ЧМ зі значеннями від 11,00 до 14,3опс. Також уздовж узбережжя від Дністровського лиману та Дунайського регіону до Болгарії сформувалася смуга вод зниженої солоності зі значеннями від 11,00опс і до 15,60опс. У східній частині моря виділяється область з низькою солоністю нижче 18,50опс в районі Батумського циклонального вихору.



а)



б)

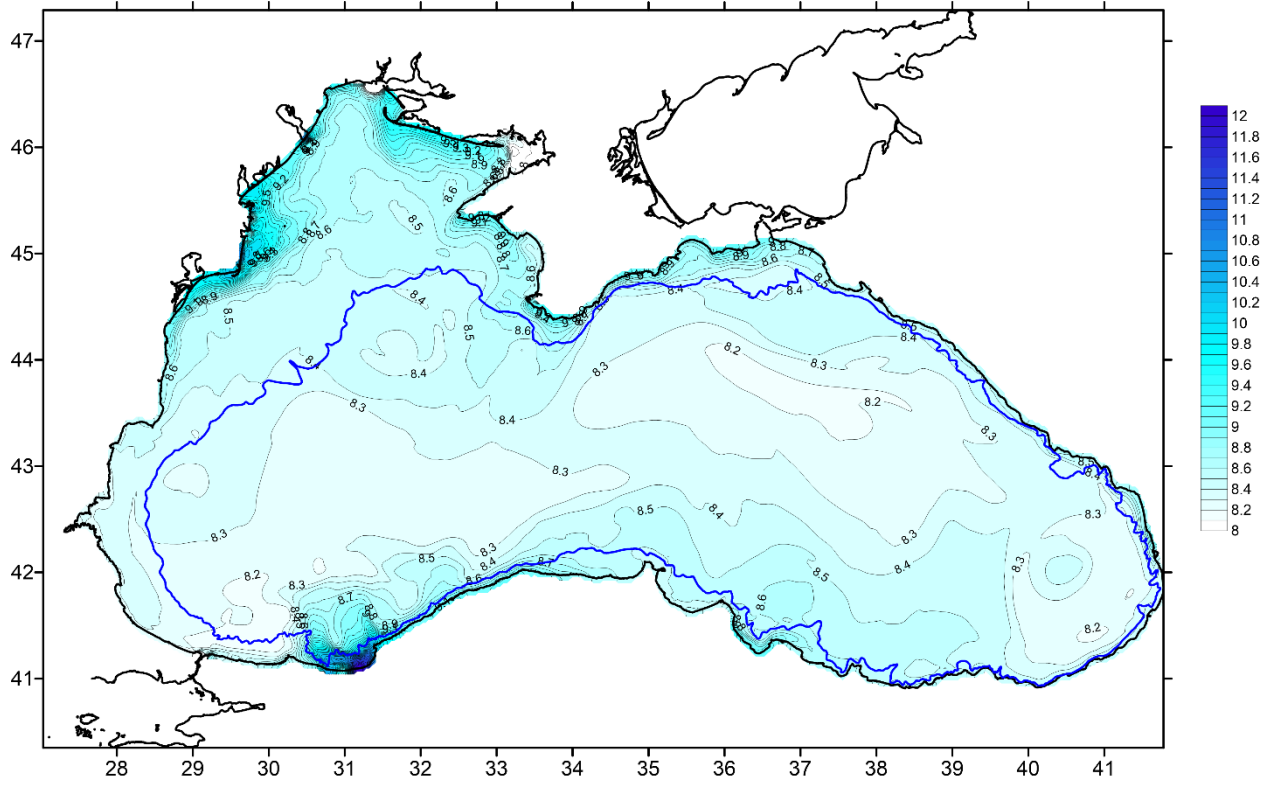


в)

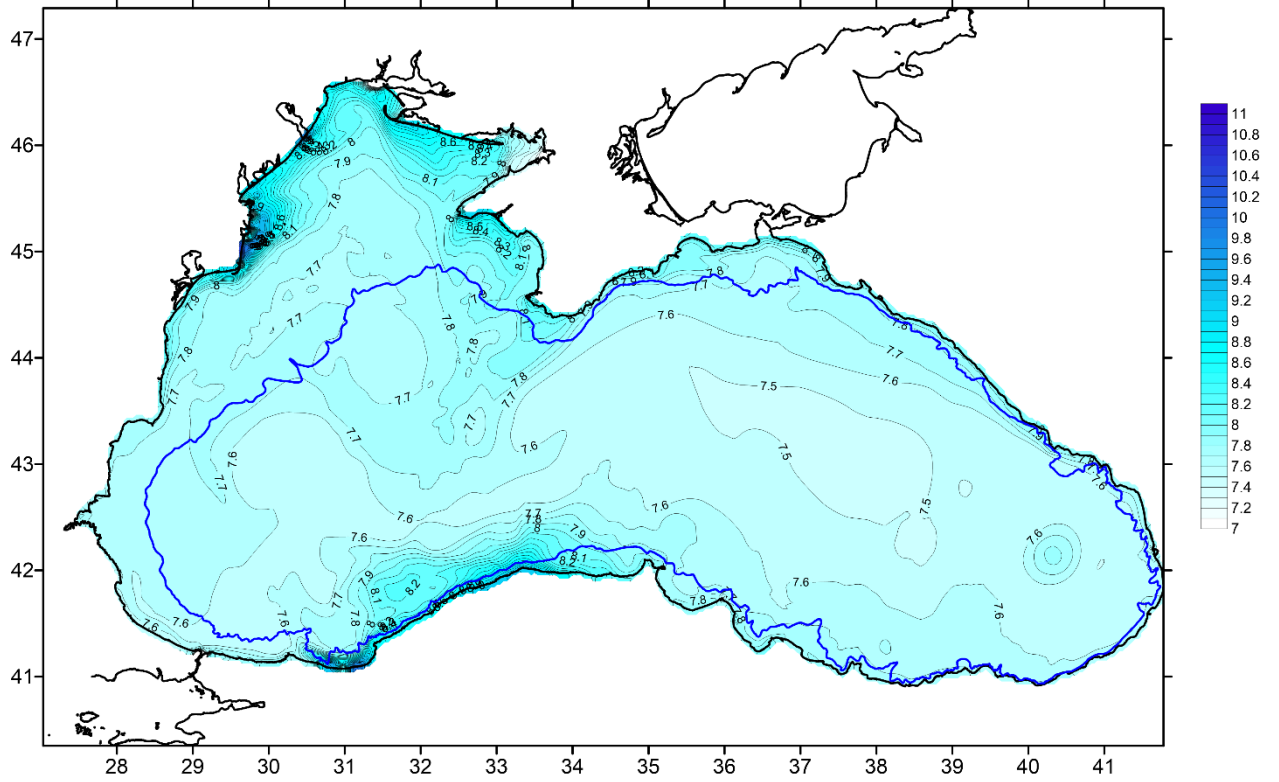
Рисунок 4.4 – Розподіл солоності у червні (а), липні (б), серпні (в) 2025 р.

По розподілу кисню (рис. 4.5 а, б, в), акваторію Чорного моря можна

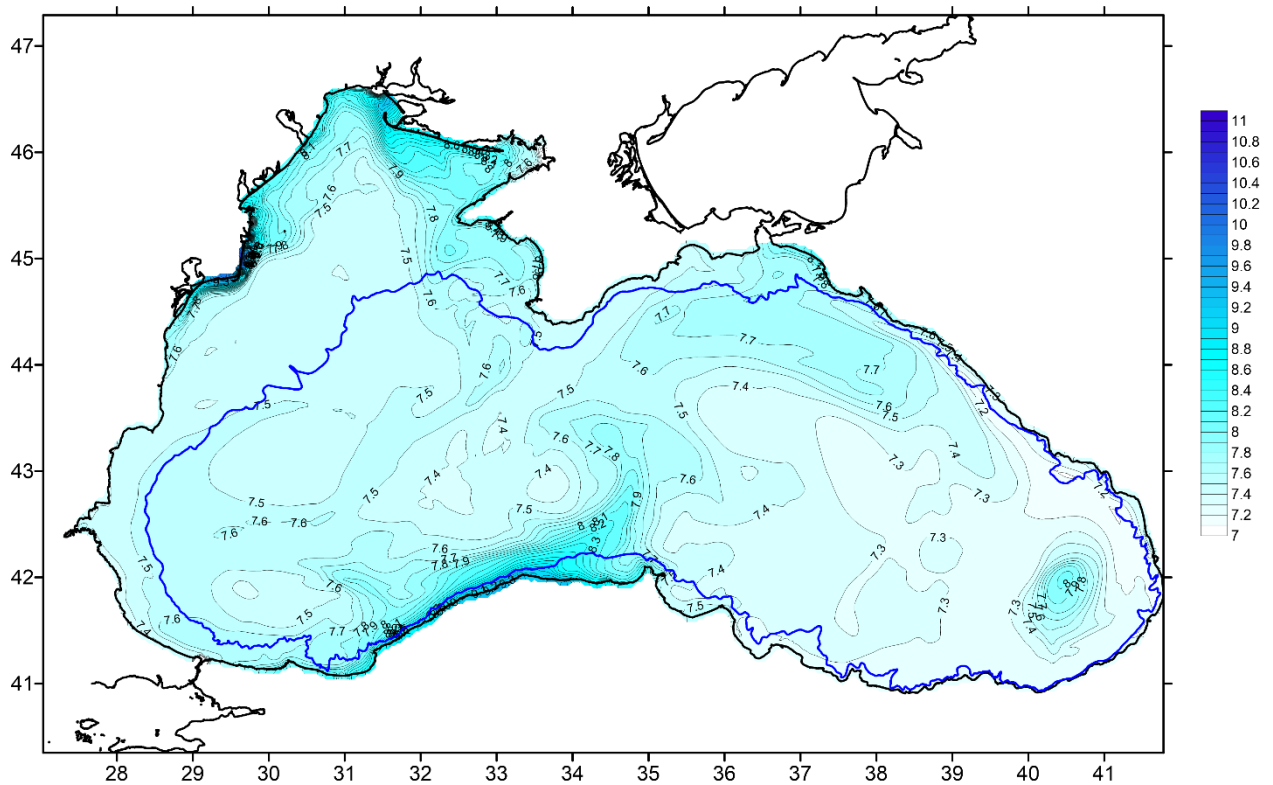
поділити на кілька частин – північно-західний район з вмістом кисню більш ніж 8,70 мг/л., південний район вздовж узбережжя Туреччини зі вмістом кисню від 8,70 мг/л., вузька полоса вздовж Кавказького узбережжя зі вмістом кисню від 8,10 мг/л та центральна частина моря з вмістом кисню від до 8,30 мг/л. У червні найбільша область з максимальними значеннями вмісту кисню розташована в ПЗЧМ. У Дніпро-Бузькому районі вміст кисню коливається в діапазоні 8,80-9,60 мг/л., район Дністровського лиману 8,90-10,50 мг/л., Дунайський район 9,10-0,50 мг/л та південний район вздовж узбережжя Туреччини 8,50-11,55 мг/л. Найменший вміст кисню відмічається в центральній частині моря, де він коливається від 8,20 до 8,30 мг/л. Всі райони з максимальним вмістом кисню пов'язані зі стоком річок. У міру прогріву поверхневого шару води, вміст кисню зменшується. У липні у ПЗЧМ найбільші показники кисню відмічаються у вузькій полосі від ДБ до гирла Дунаю. Від 7,90 до 8,30 мг/л в районі ДБ. до 9,35 мг/л в Дністровському лимані та до 9,85 мг/л у гирлі Дунаю. Вздовж південного узбережжя Туреччини в діапазоні 7,90-9,55 мг/л. В центральній частині моря вміст кисню менш ніж 7,60 мг/л. Добре виділяється район Батумського вихору із вмістом кисню більш ніж 7,80 мг/л. В серпні вміст кисню в ПЗЧМ коливається від 7,60 мг/л до 8,70 мг/л (Дніпро-Бузький лиман). 8,50 мг/л (Дністровський лиман) та 10,05 мг/л в районі гирла Дунаю. Вздовж південного узбережжя Туреччини вміст кисню коливається від 8,00 до 9,05 мг/л. Центральна частина моря по вмісту кисню розділяється на західну – до 7,50 мг/л та східну – від 7,30 до 7,40 мг/л. Виділяється Батумський вихор із вмістом кисню від 7,30 до 8,00 мг/л.



a)



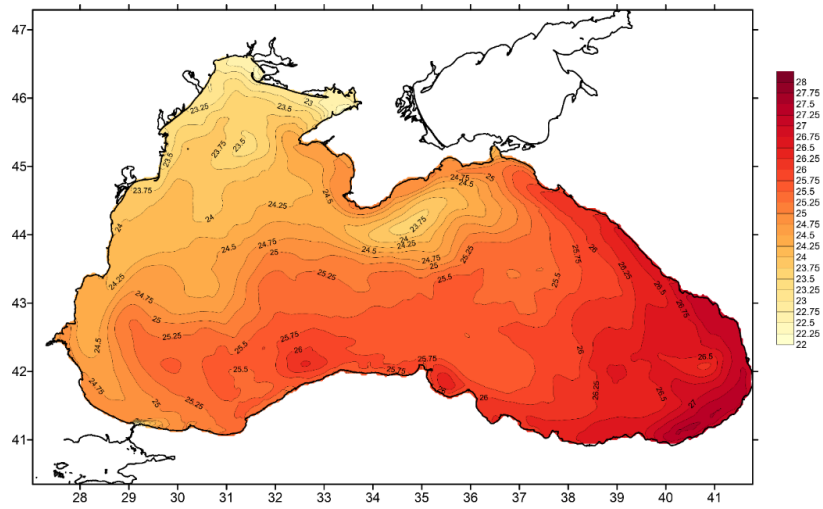
b)



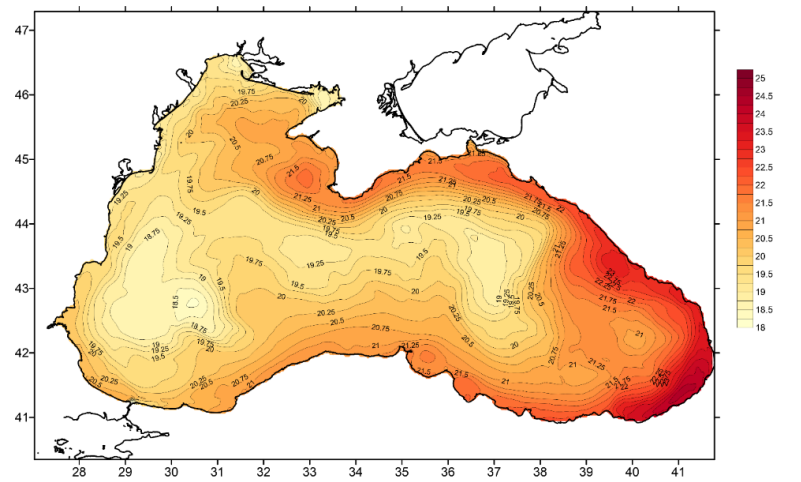
в)

Рисунок 4.5 – Розподіл вмісту кисню у червні(а), липні (б), серпні (в) 2025 р.

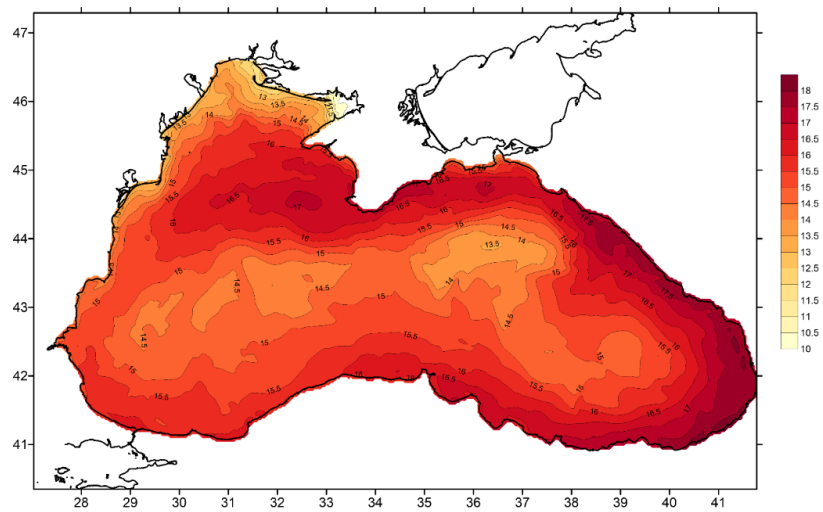
Просторовий розподіл ТПМ в осінній період (рис. 4.6 а, б, в) визначається поділом ізотерми $25,0^{\circ}\text{C}$ (вересень), яка розділяє акваторію на більш та менш теплі частини – більш теплу південно-східну частину та холодну північно-західну. У південно-східній частині ТПМ коливається від $25,0^{\circ}\text{C}$ до $27,5^{\circ}\text{C}$. У південно-західній ТПМ коливається від $23,5^{\circ}\text{C}$ до $24,5^{\circ}\text{C}$. Біля південного узбережжя Криму вирізняється аномальна зона с температурою $23,7^{\circ}\text{C}$. У жовтні (рис. 6 б) температура води зменшується. Зона відносно теплої води простирається вздовж узбережжя Кавказу ($22,5^{\circ}\text{C}$ – $24,3^{\circ}\text{C}$), узбережжя Криму – $20,0$ - $21,5^{\circ}\text{C}$. Центральна частина моря є холодною з добре вираженими трьома областями мінімумів і окреслюється ізотермою $19,5^{\circ}\text{C}$. У західній частині мінімальна температура води $18,3^{\circ}\text{C}$, в центральній – $19,2^{\circ}\text{C}$, в східній – $19,0^{\circ}\text{C}$.



а)



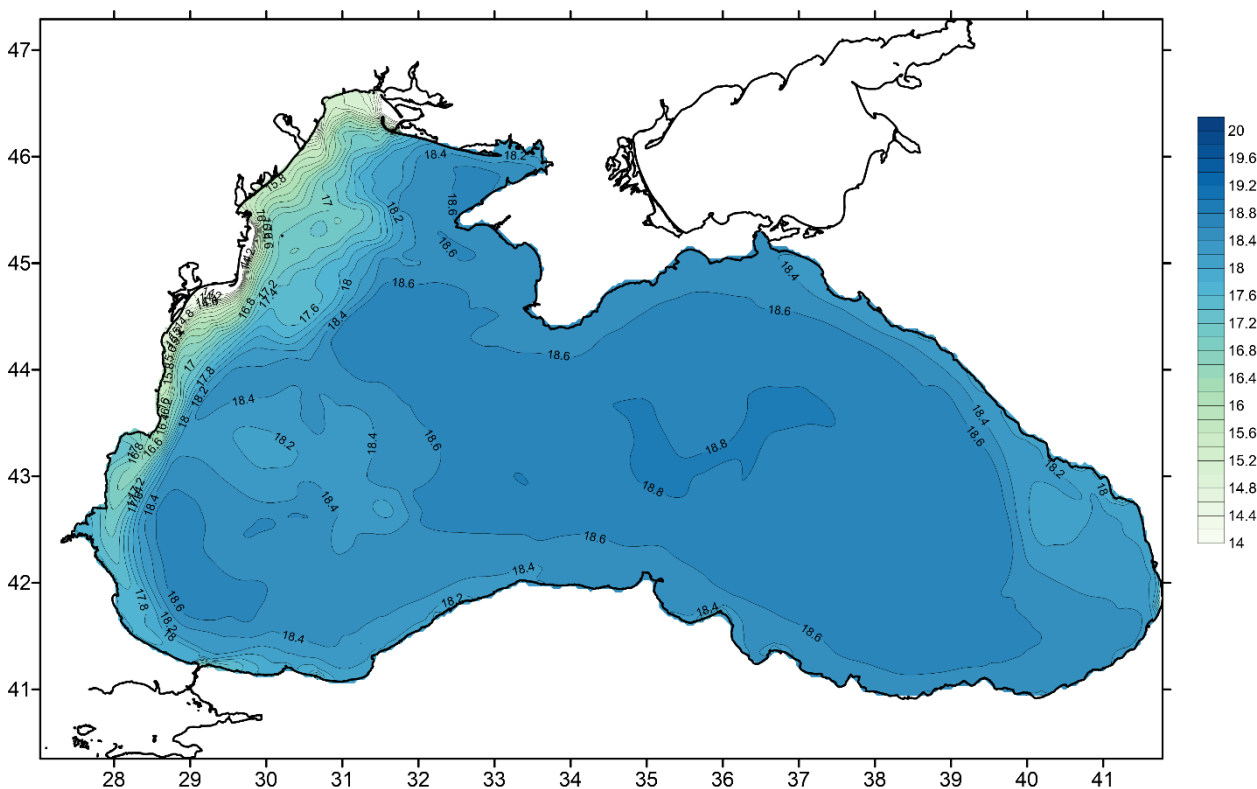
б)



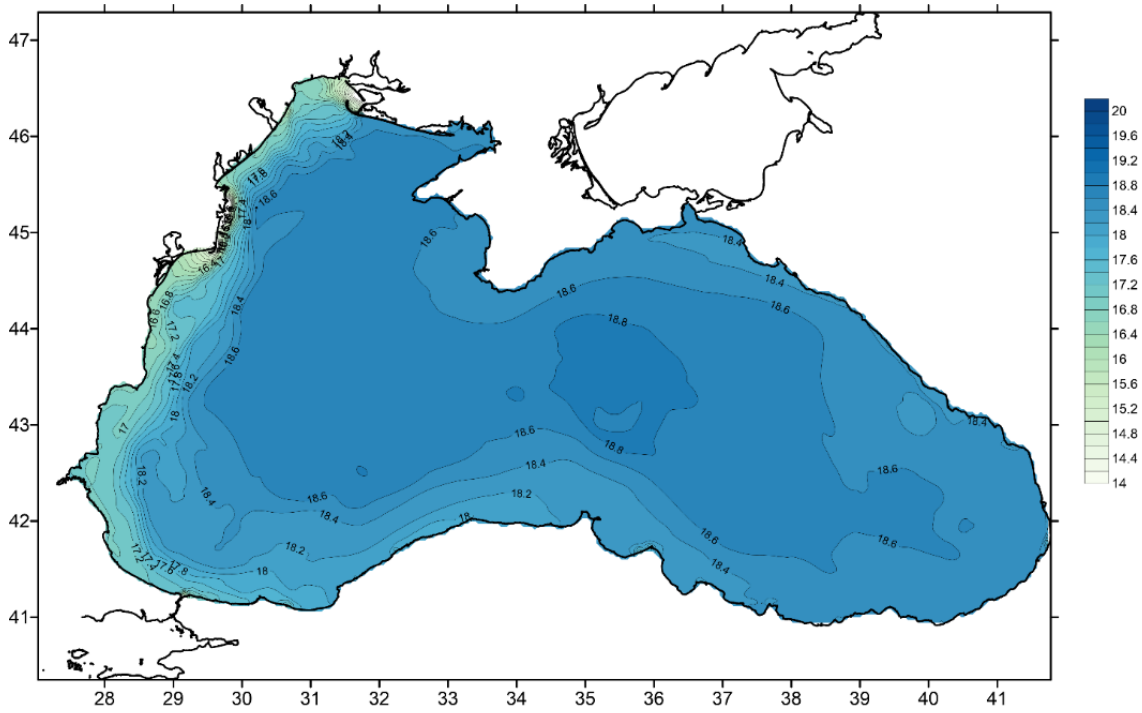
в)

Рисунок 4.6 – Розподіл ТПМ вересень (а), жовтень (б), листопад (в) 2024 р.

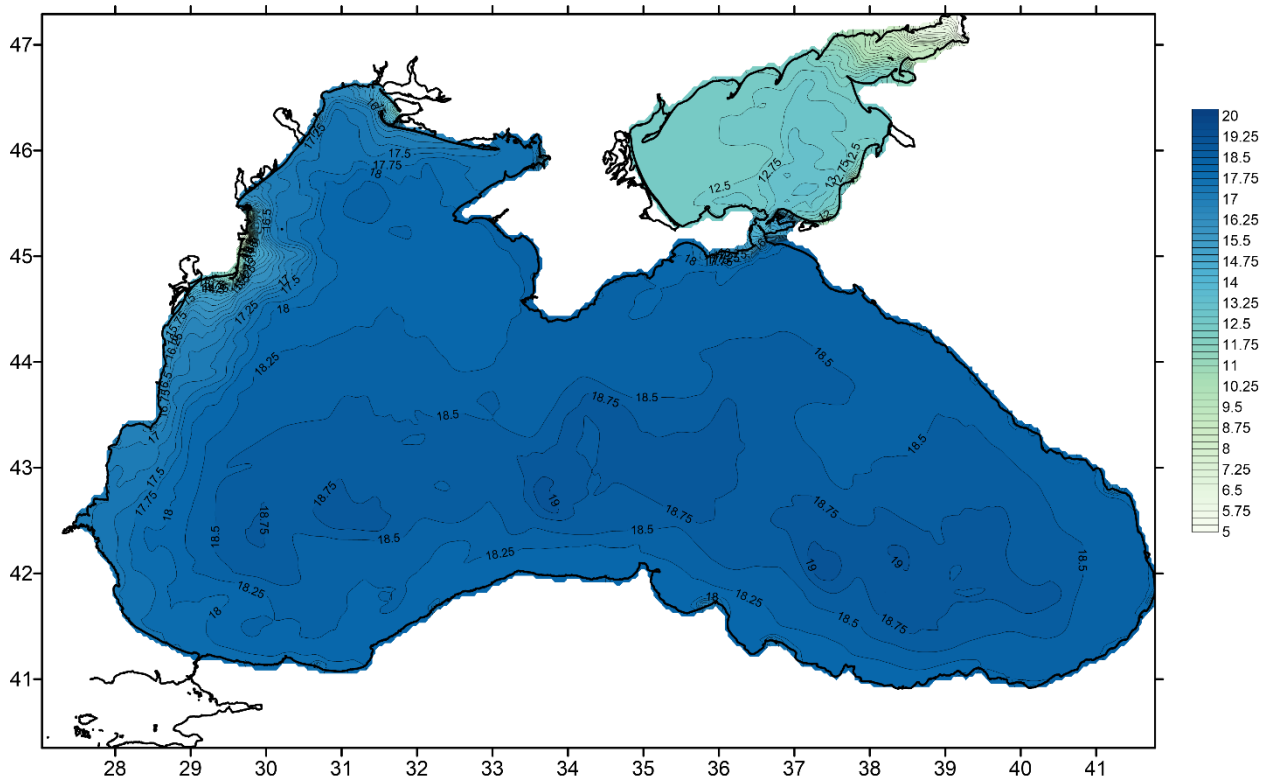
В осінній період (рис. 4.7 а, б, в) три чверті акваторії ЧМ займає область із солоністю від 18,40 до 18,70опр. з окремими ядрами. де максимальні значення досягають 18,85опр. Уздовж південного узбережжя ЧМ тягнеться смуга вод із солоністю нижче 18,40опр. обумовлена переносом менш солоних вод від Босфору та стоком гірських річок. У Північно-Західній частині моря від ДБ до узбережжя Болгарії сформувалися окремі ядра зниженої солоності, обумовлені збільшеним стоком річок. пов'язаному з осінньою повінню. Просторово просліджуються три райони з низькою солоністю. Перший – Дніпро-Бузький лиман з мінімальною солоністю від 13,64 та до 16,60опр. Другий – район Дністровського лиману з мінімальною солоністю 16,05опр і великий район, обумовлений стоком р. Дунай з солоністю від 12,88 до 17,36опр.



а)



б)

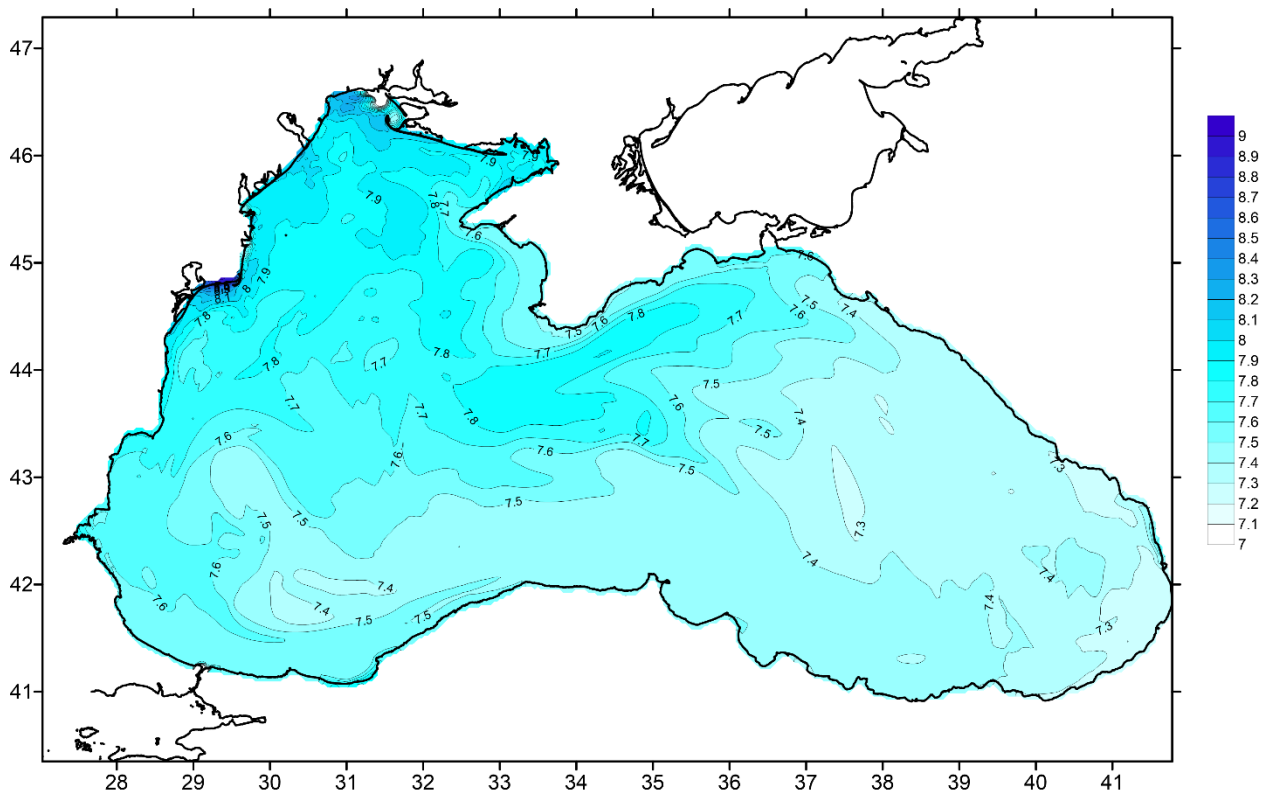


в)

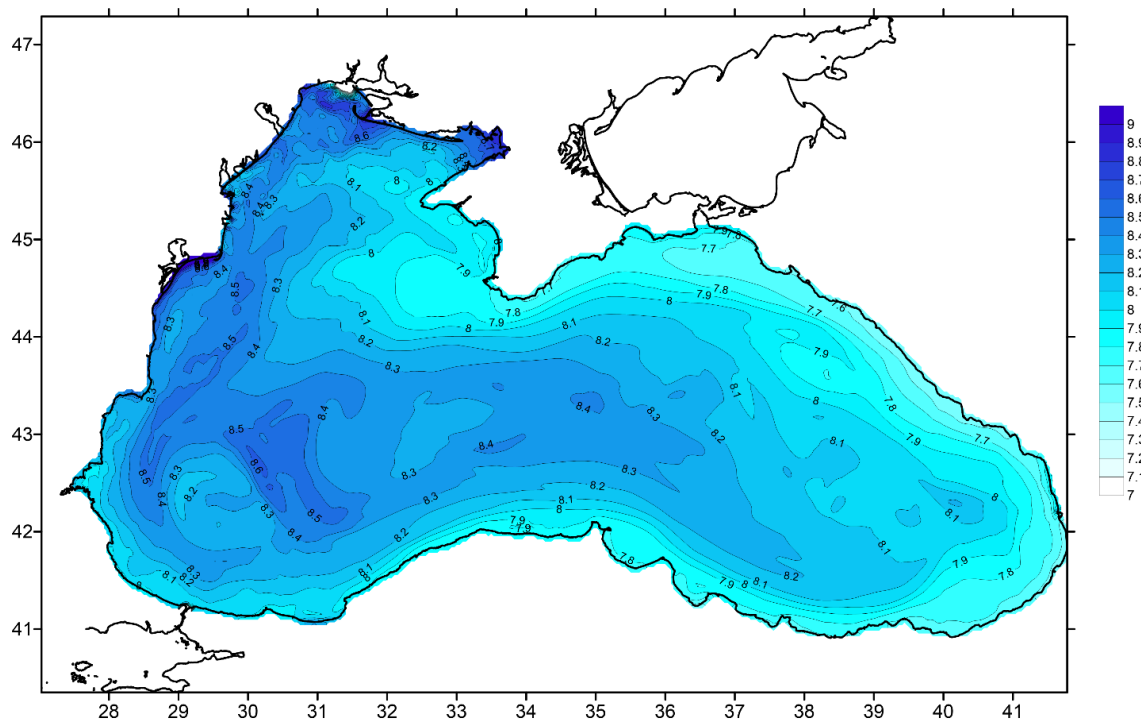
Рисунок 4.7 – Розподіл солоності за вересень (а), жовтень (б), листопад (в)
2024 р.

По розподілу кисню (рис. 4 8 а, б, в) акваторія ЧМ поділяється на

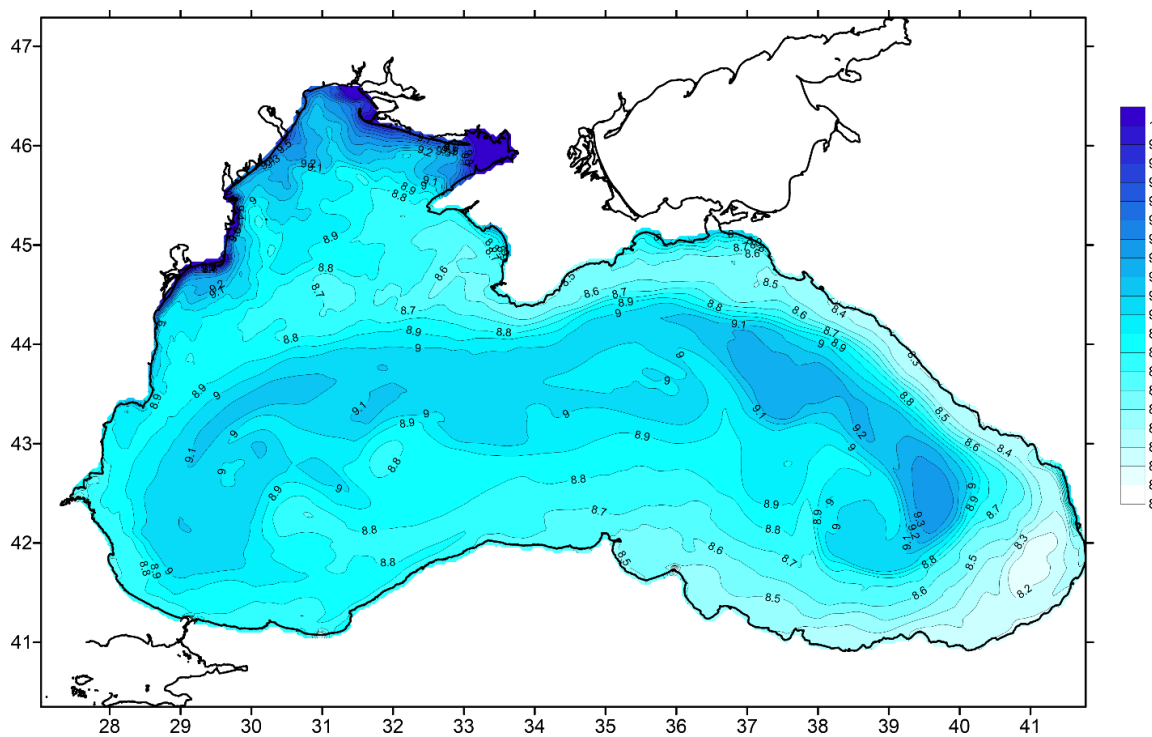
частини із середньою, низькою та великою концентрацією. Північно-Західна частина ЧМ характеризується найбільшим вмістом кисню відносно всієї акваторії моря. від 8,10 до 9,41 мг/л (жовтень). Максимальний вміст кисню в містах витоку річок. а саме – ДБ з максимумом – 8,73 мг/л. Дністровський лиман – 8,53 мг/л та виток р. Дунай – 9,56 мг/л (жовтень) та вздовж узбережжя Румунії та Болгарії. Від узбережжя Туреччини (7,90 – 8,00 мг/л). Кавказького узбережжя (7,6 – 7,8 мг/л) та узбережжя Криму протягнулася полоса зі зниженим вмістом кисню. В центральній частині моря вміст кисню коливається в діапазоні від 8,30 до 8,60 мг/л.



a)



б)



в)

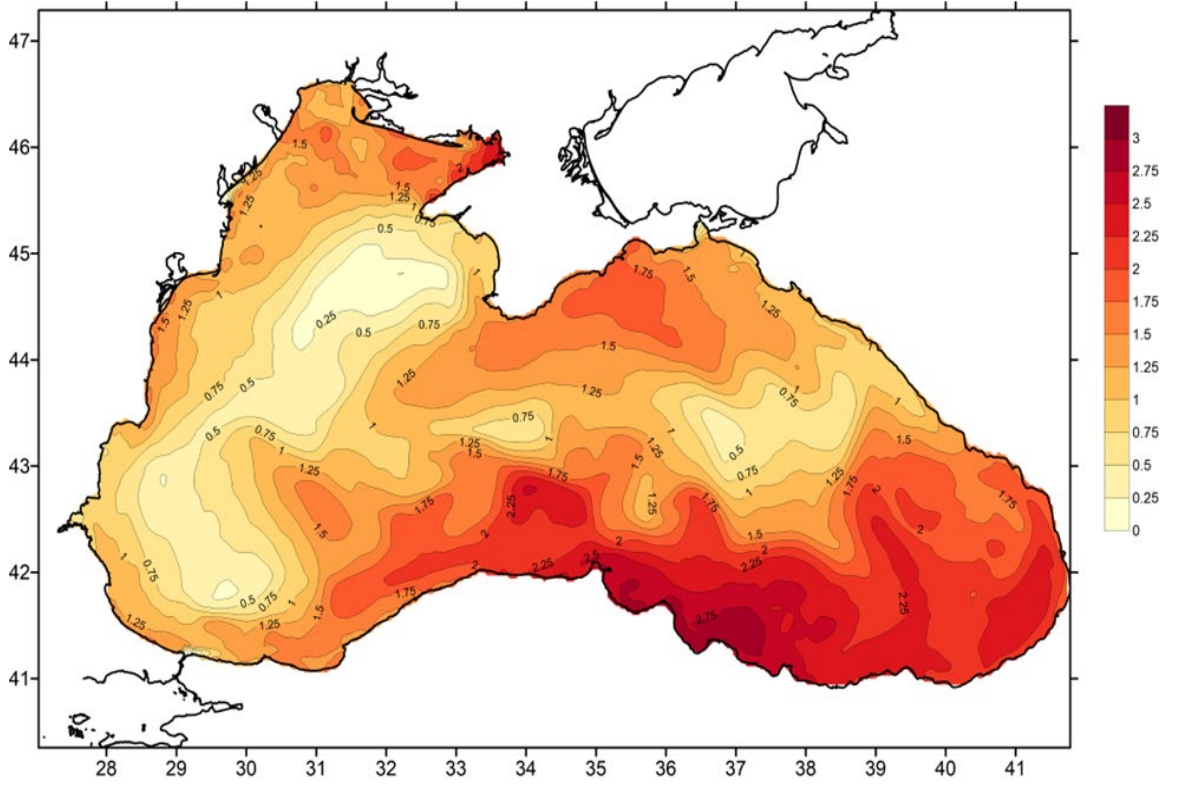
Рисунок 4.8 – Розподіл вмісту кисню за вересень (а), жовтень (б), листопад (в) 2024 р.

4.2 Аналіз величин відхилень від кліматичних полів температури, солоності та кисню поверхневого шару Чорного моря за 2025 рік

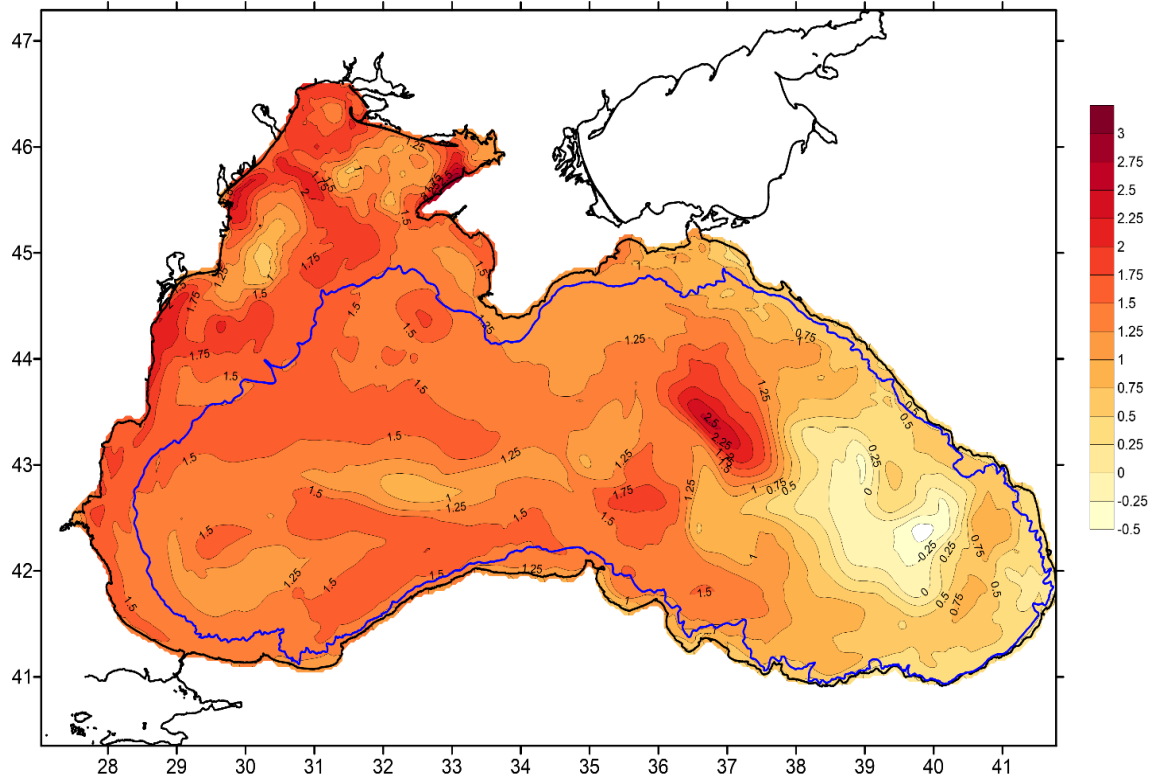
За кліматичні дані було прийнято середні значення параметрів для кожного місяця за період 1995 – 2024 рік.

Для зимового періоду відхилення ТПМ для всієї акваторії Чорного моря від кліматичних значень (рис. 4.9 а, б, в) мають додатній характер. Мінімальні значення відмічаються у східній частині моря від 0.2°C до 0.5°C в грудні та домінує 0.5°C у січні в районі Батумського вихору. Мінімальні відхилення до 0.5°C відмічаються в східній частині моря. Максимальне перевищення ТПМ над кліматичними значеннями спостерігаються вздовж узбережжя Туреччини та Кавказу - від $1,8^{\circ}\text{C}$ до $2,8^{\circ}\text{C}$ в грудні. В січні та лютому найбільші відхилення спостерігаються в ПЗЧМ та вздовж берегів Румунії, Болгарії та Туреччини до протоки Босфор зі значеннями від $1,8^{\circ}\text{C}$ до $2,0^{\circ}\text{C}$ та в східній частині моря зі значеннями до $1,5^{\circ}\text{C}$.

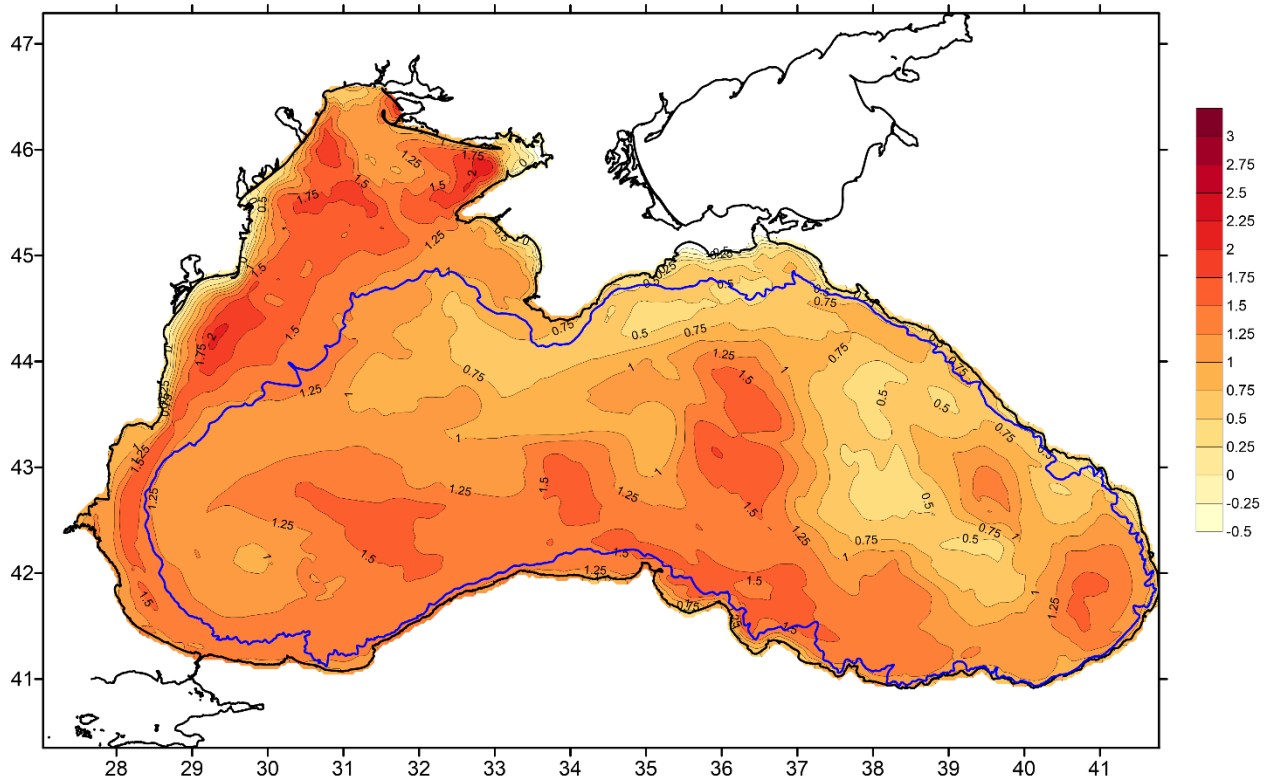
Відхилення солоності від кліматичних значень для зимового періоду має додатній характер для всієї акваторії ЧМ (рис. 4.10 а, б, в). З максимумами в ПЗЧМ – до $1,0\text{опс}$ в лютому та в східній в районі Батумського вихору до $0,8\text{опс}$ в грудні. У грудні, січні та лютому вся центральна частина моря характеризувалася додатними відхиленнями від $0,5$ до $0,7\text{опс}$.



a)

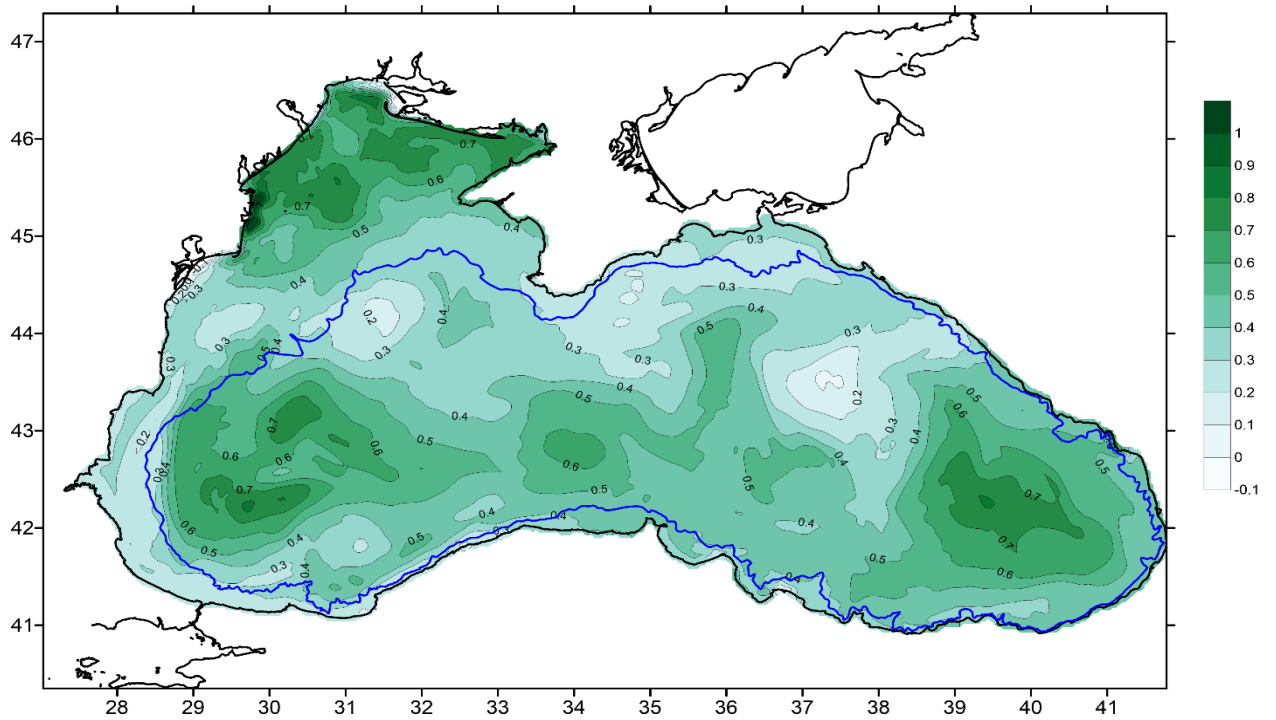


b)

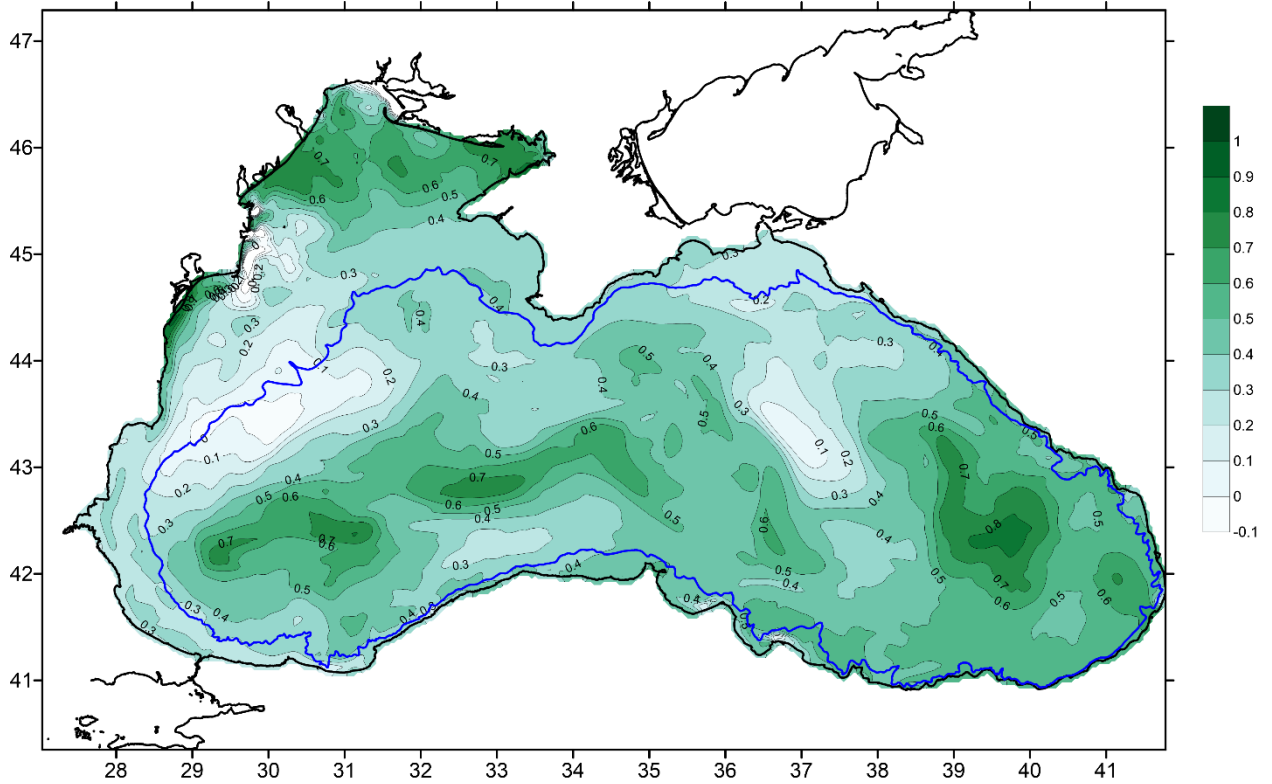


в)

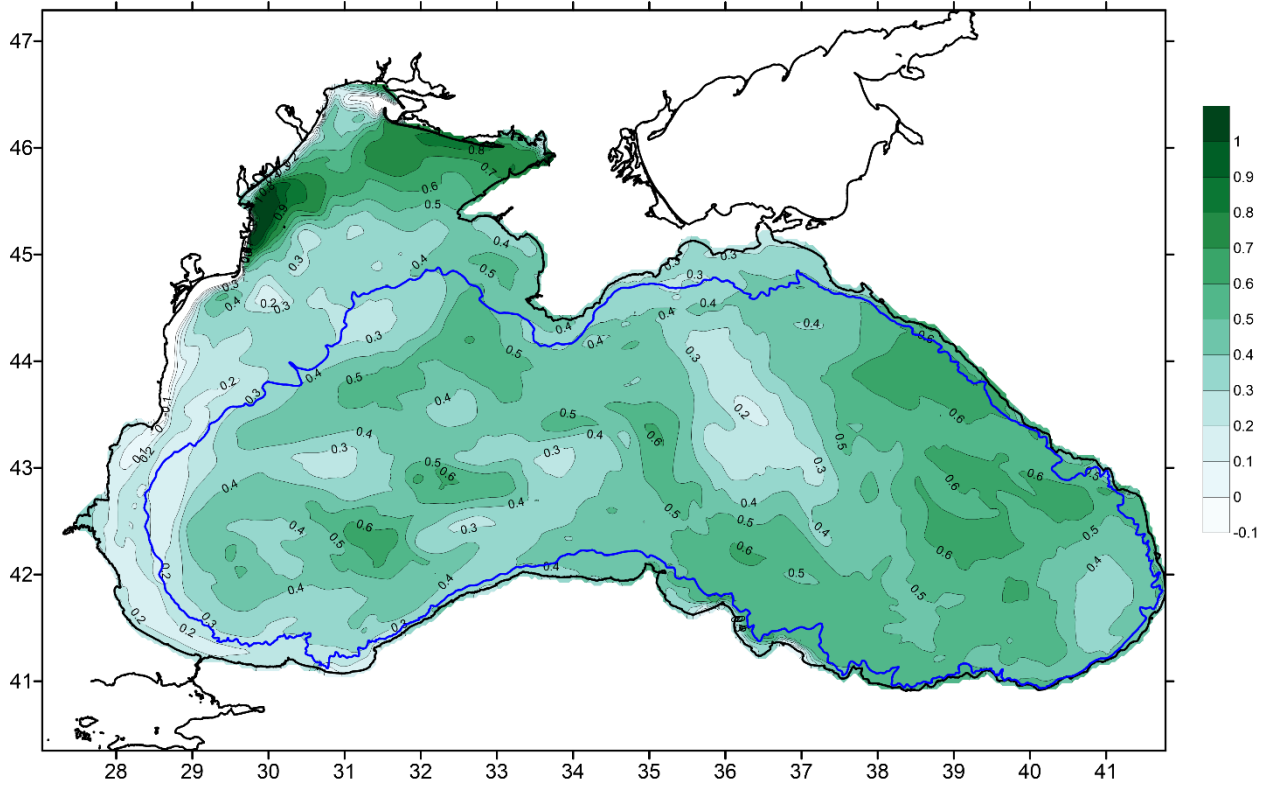
Рисунок 4.9 – Відхилення від кліматичних значень ТПМ за грудень (а), січень (б), лютий (в)



а)



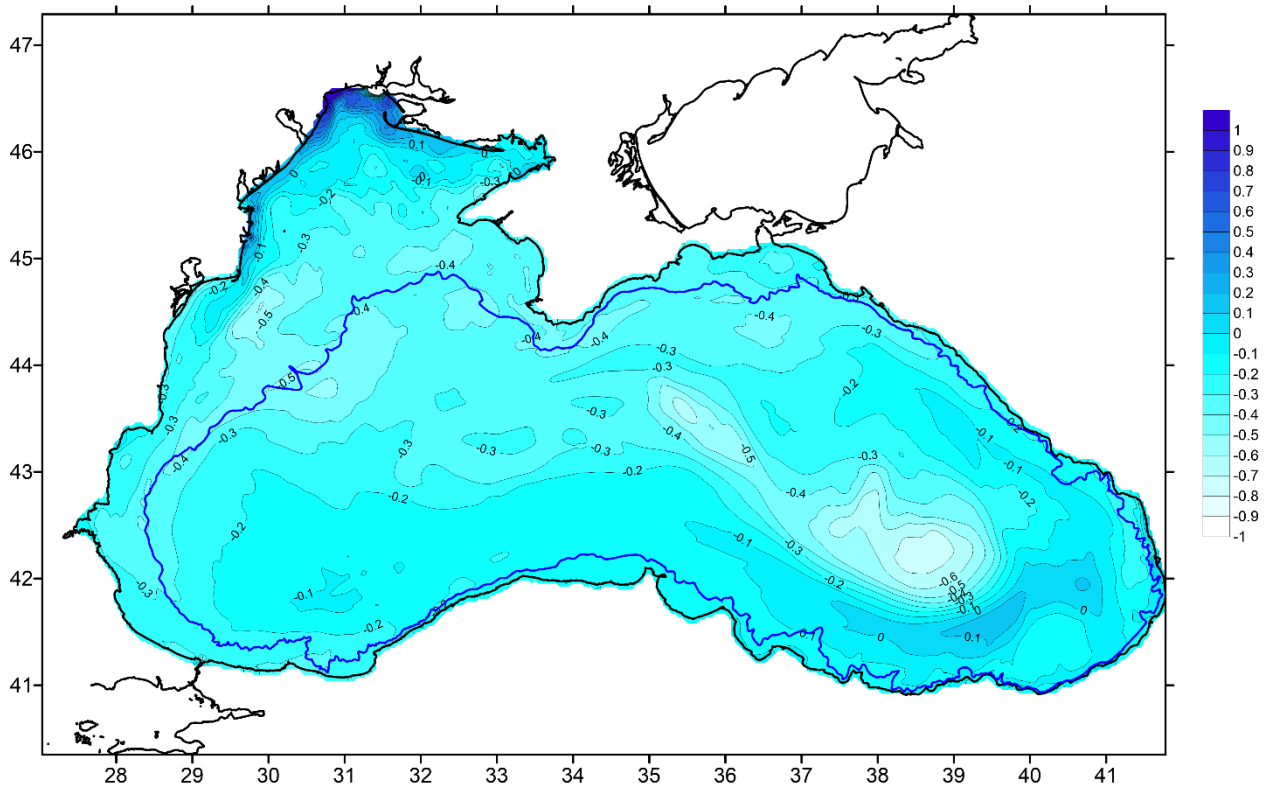
б)



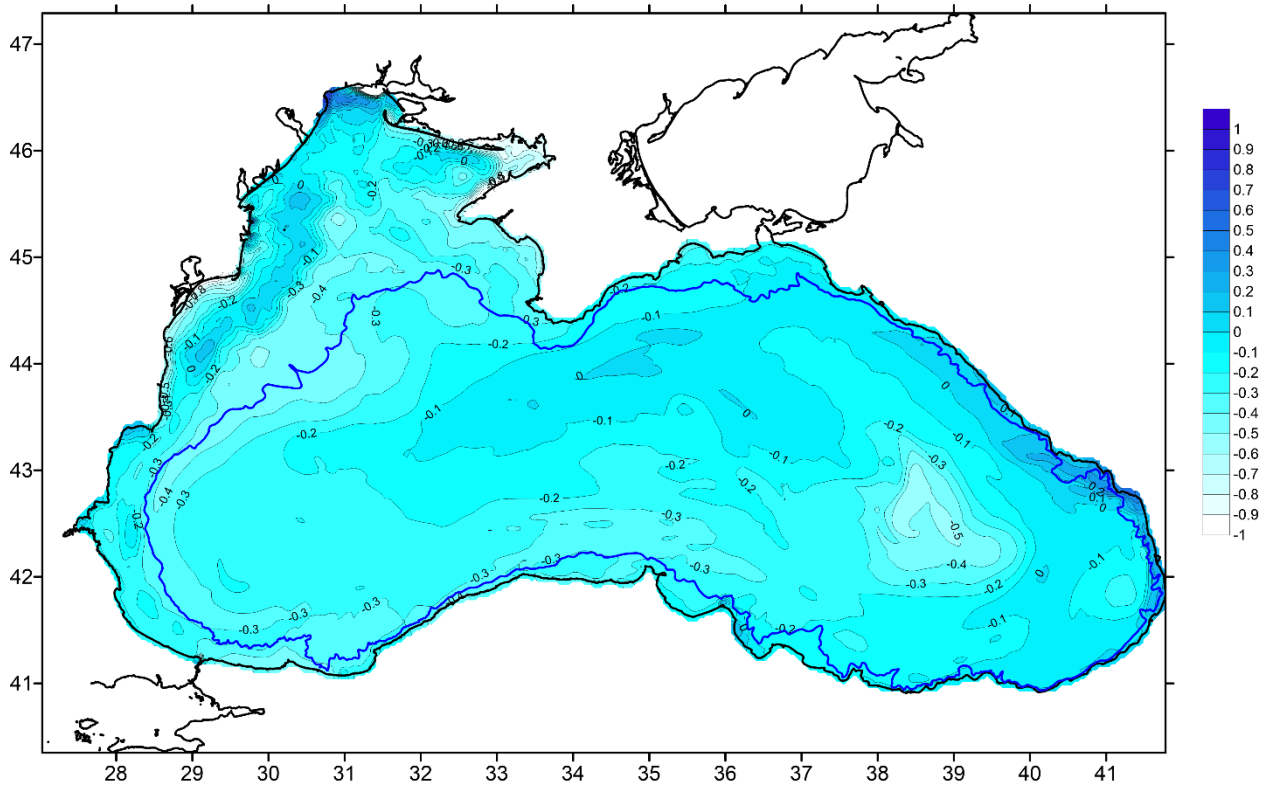
в)

Рисунок 4.10 – Відхилення від кліматичних значень солоність за грудень (а), січень (б), лютий (в)

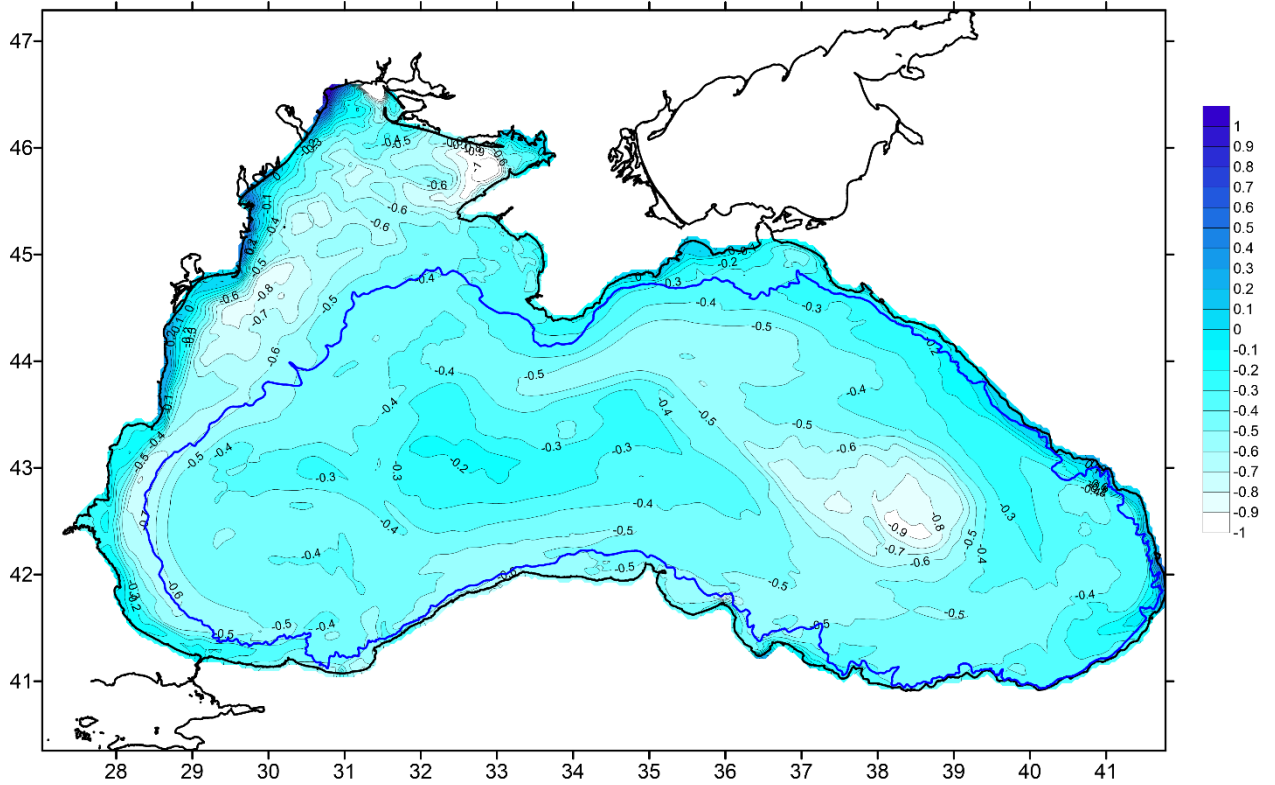
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для зимового періоду має від'ємний характер майже для всієї акваторії моря (-0,20 - -0,40 мг/л), окрім вузької полоси від ДБ лиману вздовж узбережжя до Румунії, де спостерігаються додатні значення від 0,20 до 0,40 мг/л. (рис. 4.11 а, б, в) Виділяється зона Батумського вихору з від'ємними значеннями вмісту кисню від 0,7 до 0,9 мг/л.



a)



б)

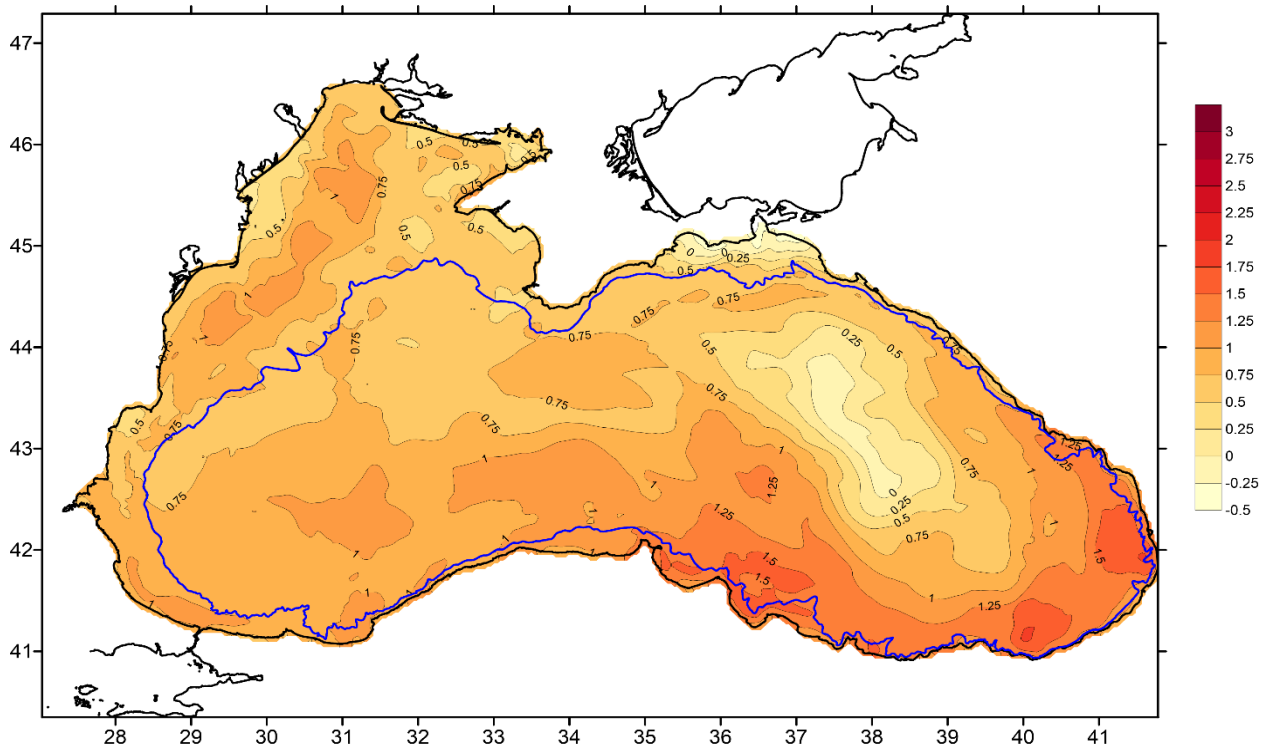


в)

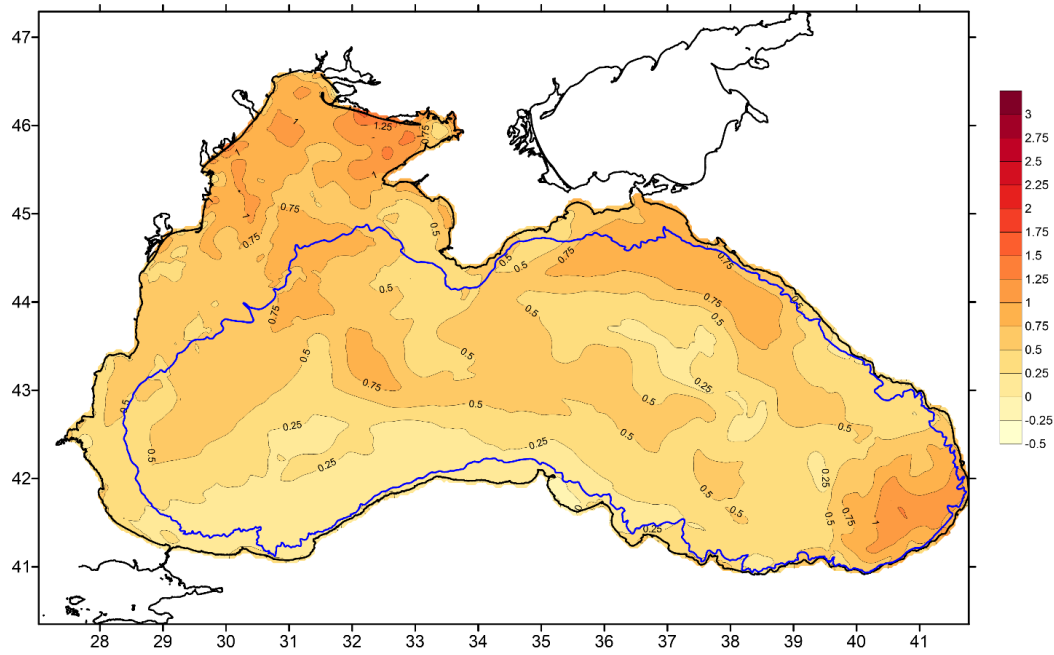
Рисунок 4.11 – Відхилення від кліматичних значень кисню за грудень (а), січень (б), лютий (в)

Для весняного періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень мають додатній характер для всього Чорного моря за винятком травня з діапазоном відхилень в середньому від 0,0 до 0,75°C. (рис. 4.12 а, б, в). Максимальні додатні значення відхилень спостерігаються вздовж Кавказького узбережжя – до 1,0°C. Для всієї акваторії Чорного моря в травні спостерігаються від’ємні значення від мінус 0,75°C для більшої частини моря до 2°C в районі гирла Дунаю. В цілому для всього Чорного моря температура поверхні води в весняний період 2025 року була вище від кліматичної.

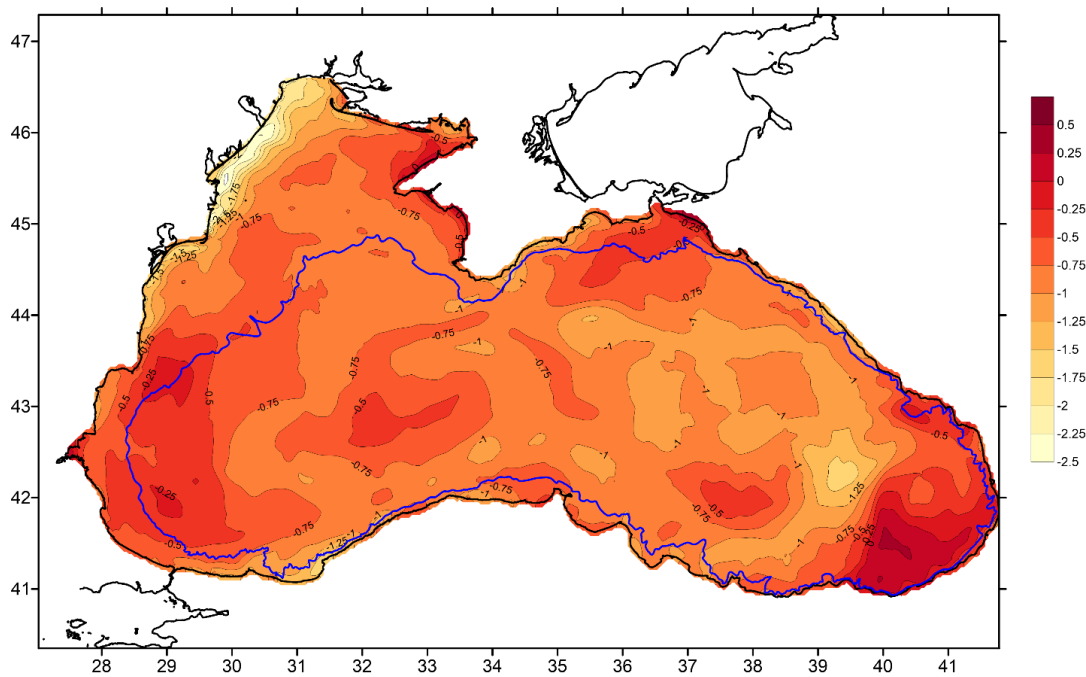
Відхилення солоності від кліматичних значень для весняного періоду (рис. 4.13 а, б, в) має додатній характер майже для всієї акваторії Чорного моря і в середньому коливається від 0,20 до 0,40опс з окремими зонами, де відхилення досягають 1,00опс. Максимальні відхилення спостерігаються у районі Каркінітської затоки >1,00опс. та гирла Дунаю >1,00,опс. У центральній та східній частині моря є окремі області, де відхилення досягають 0,70опс. Мінімальні відхилення відмічаються вздовж берегів від Румунії та південного узбережжя Туреччини і досягає 0,1 – 0,2 опс., а в районі Батумського вихору – до мінус 0,10опс.



а)

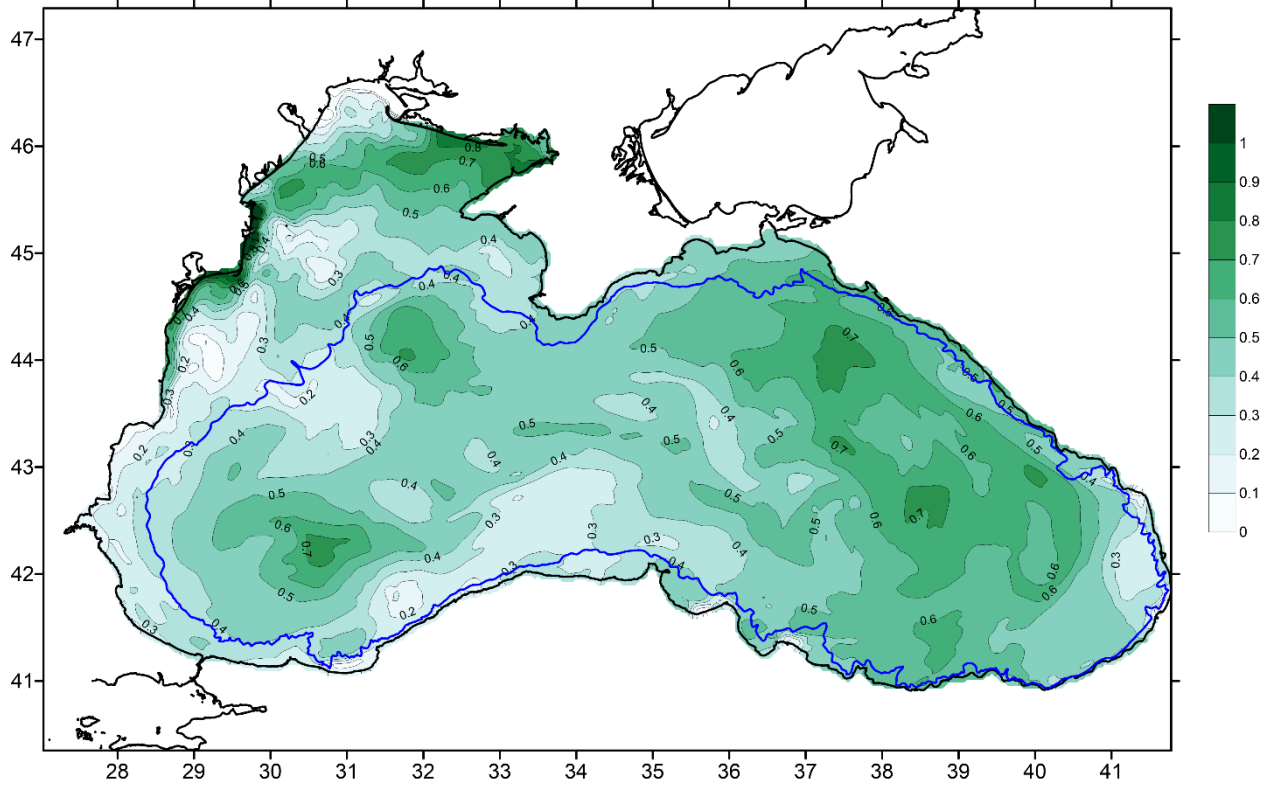


б)

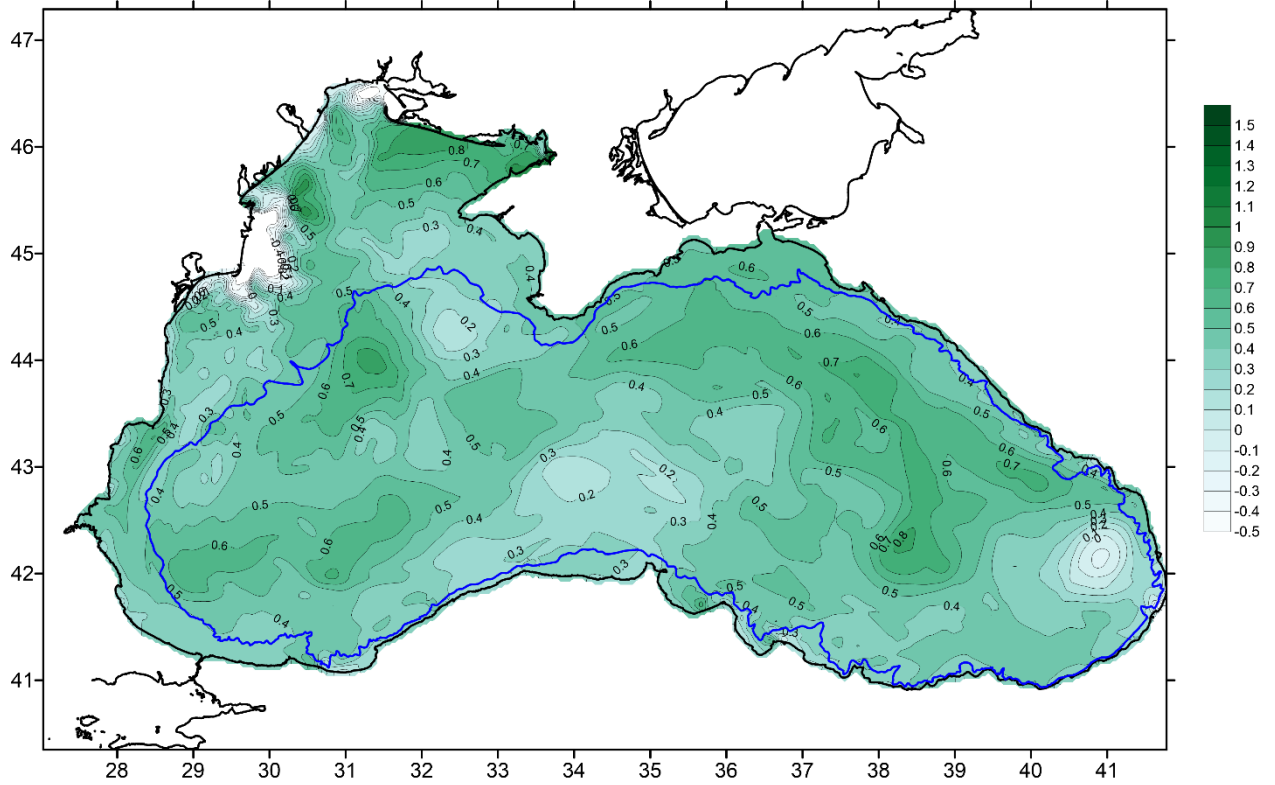


в)

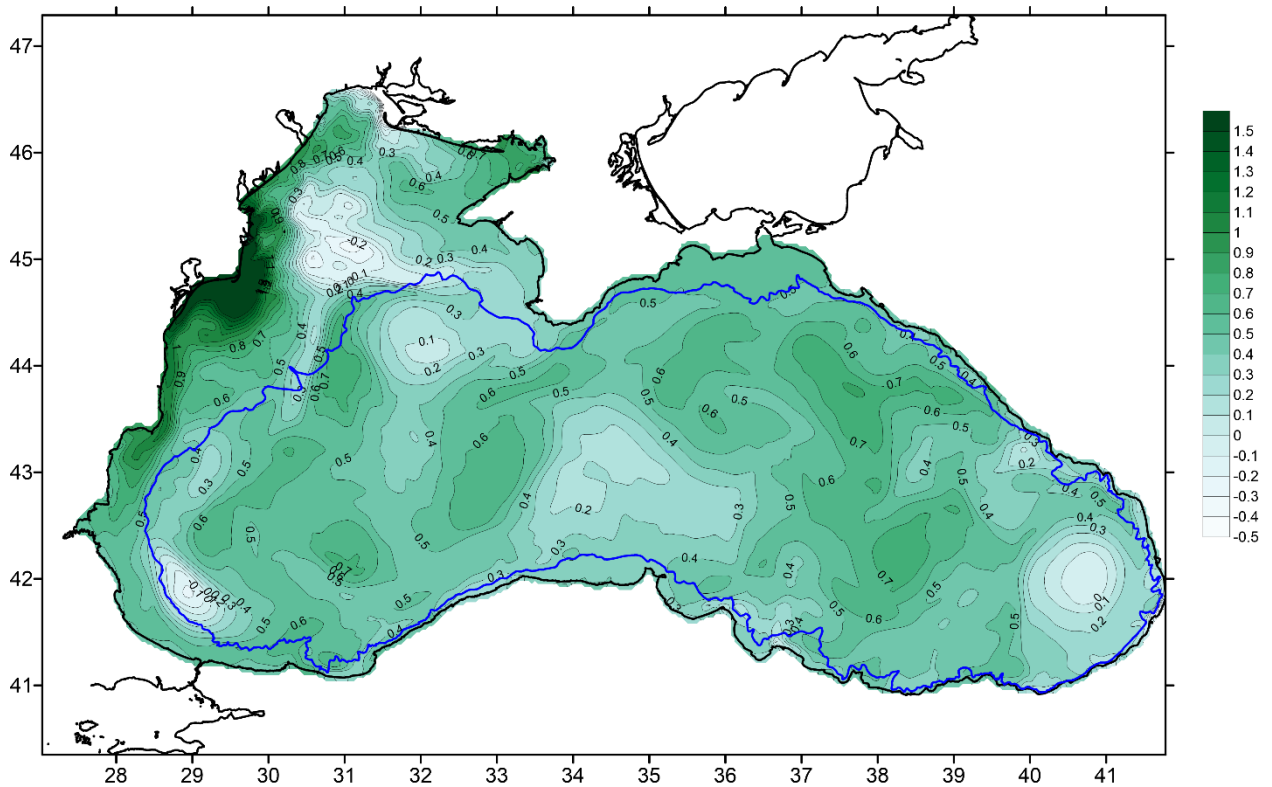
Рисунок 4.12 Відхилення ТПМ від кліматичних значень за березень (а), квітень (б), травень (в)



a)



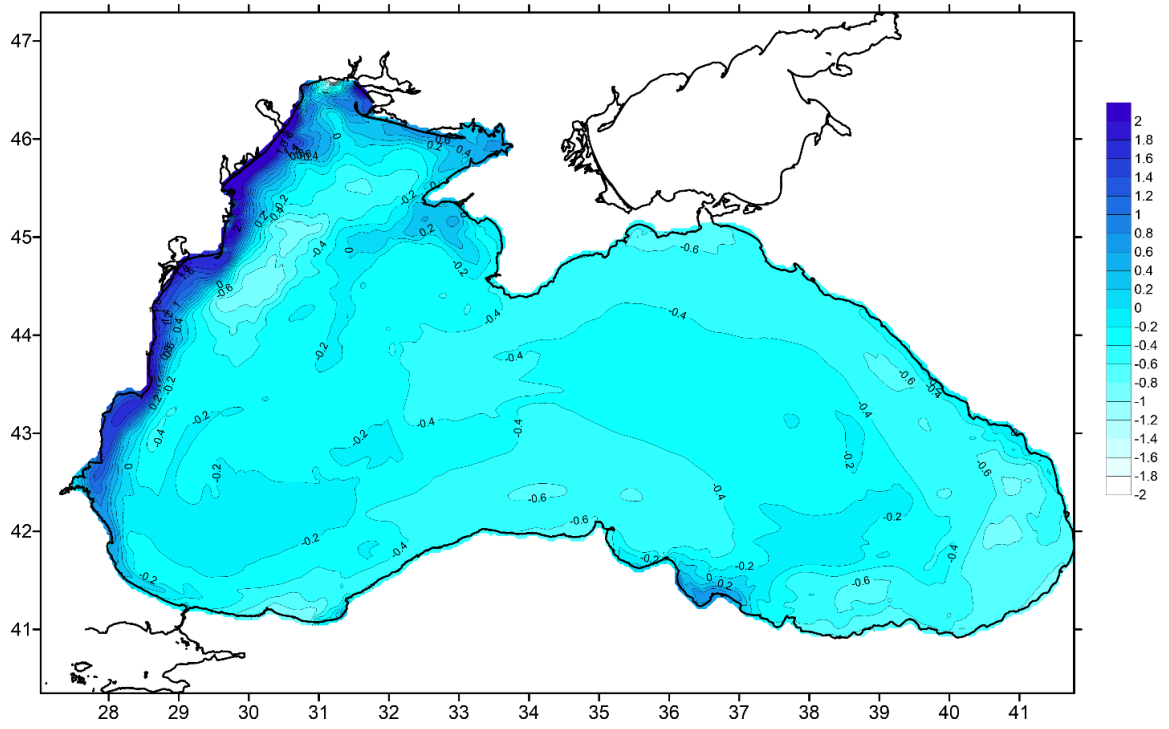
b)



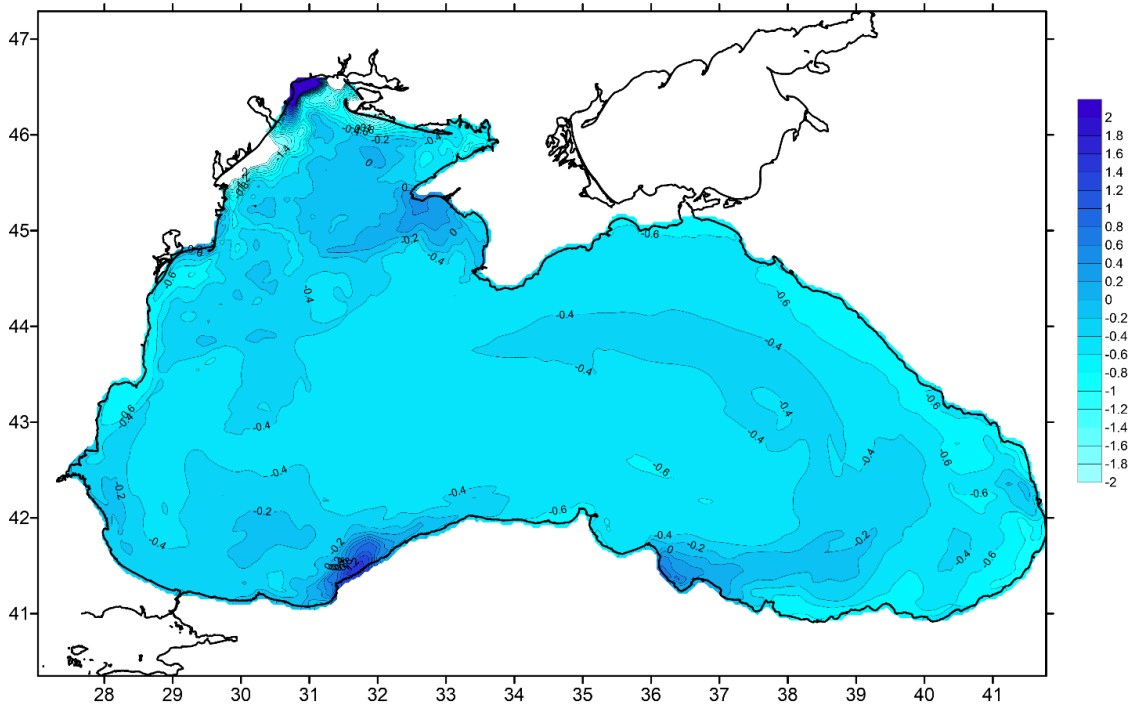
в)

Рисунок 4.13 – Відхилення солоності від кліматичних значень за березень (а), квітень (б), травень (в)

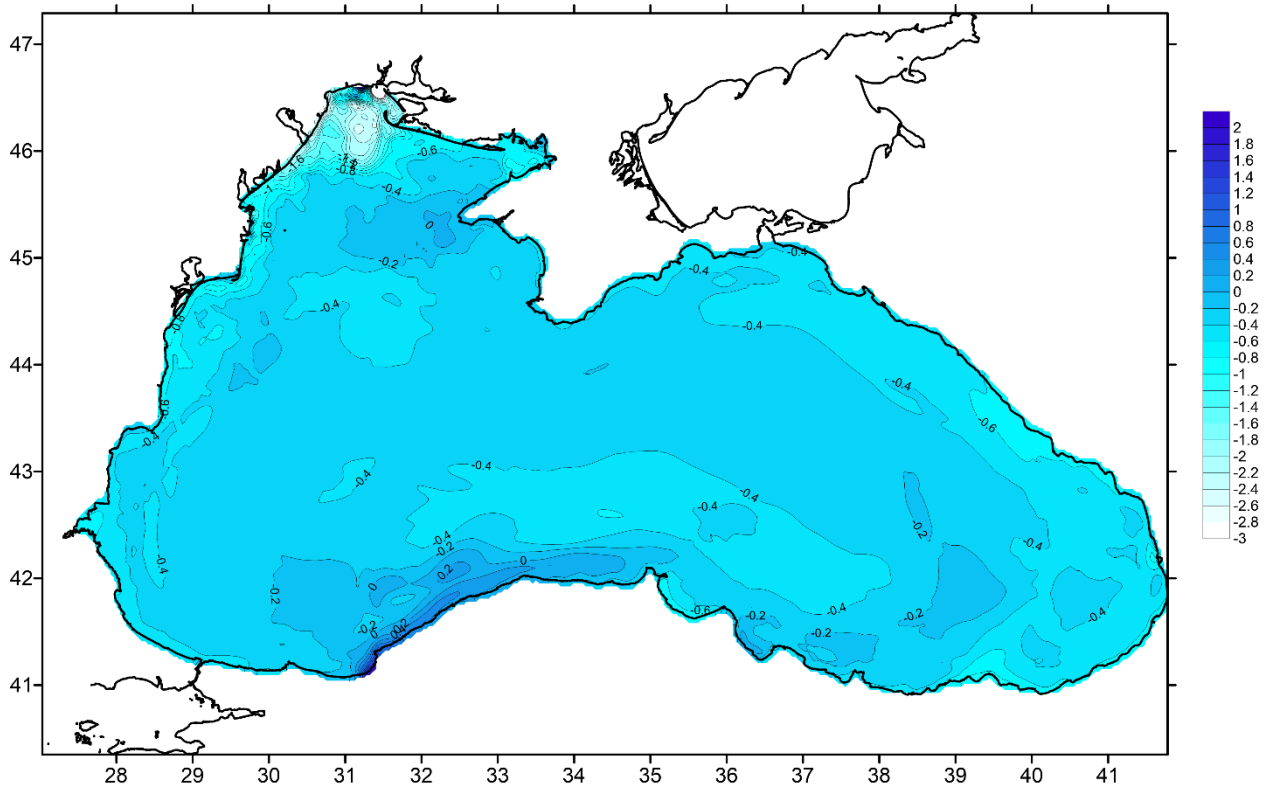
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для весняного періоду (рис. 4.14 а. б. в) має від'ємний характер майже для всього Чорного моря та коливається в діапазоні від 0,30 до 0,40 мг/л. Додатні відхилення відзначаються тільки вздовж узбережжя від Дніпро-Бузького лиману. Дністровського лиману та гирла р. Дунай і далі вздовж узбережжя Болгарії та досягають 1,80 мг/л (грудень) і обумовлені стоком річок. У квітні та травні додатні значення відхилень спостерігаються тільки вздовж узбережжя Туреччини також в районах стоку річок. де досягають значень 0,20 мг/л.



a)



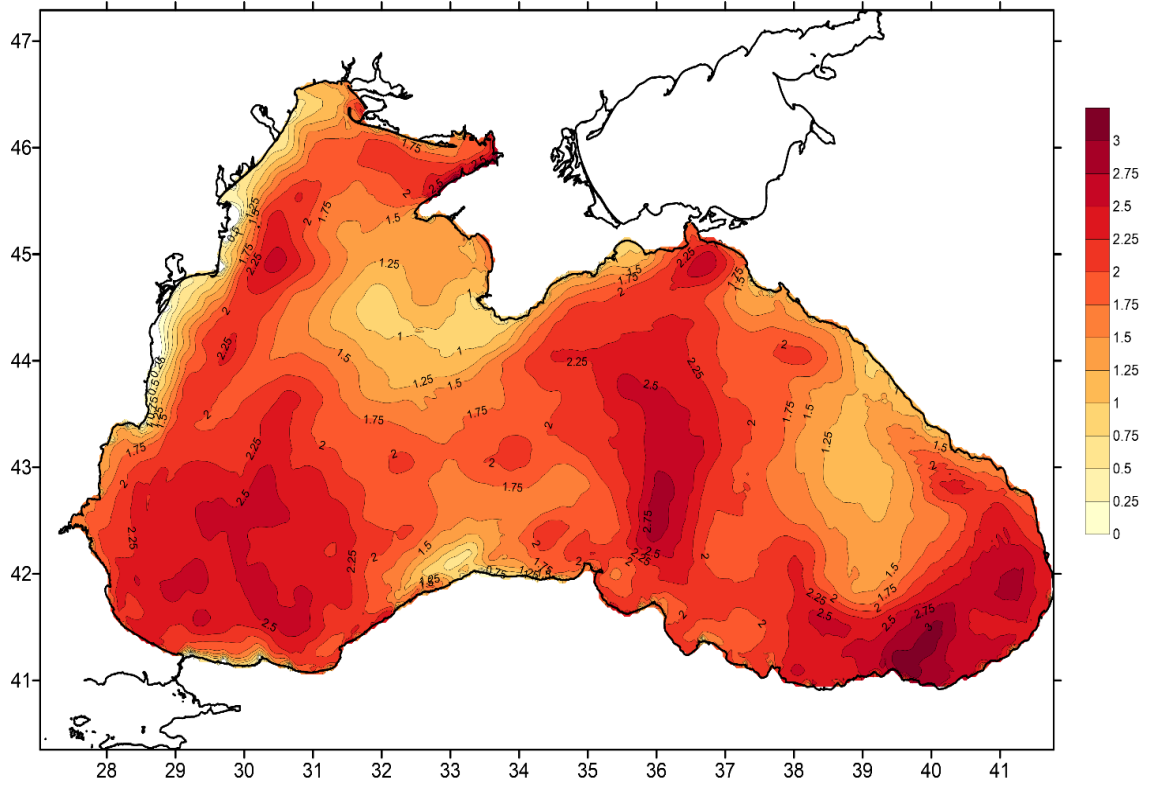
b)



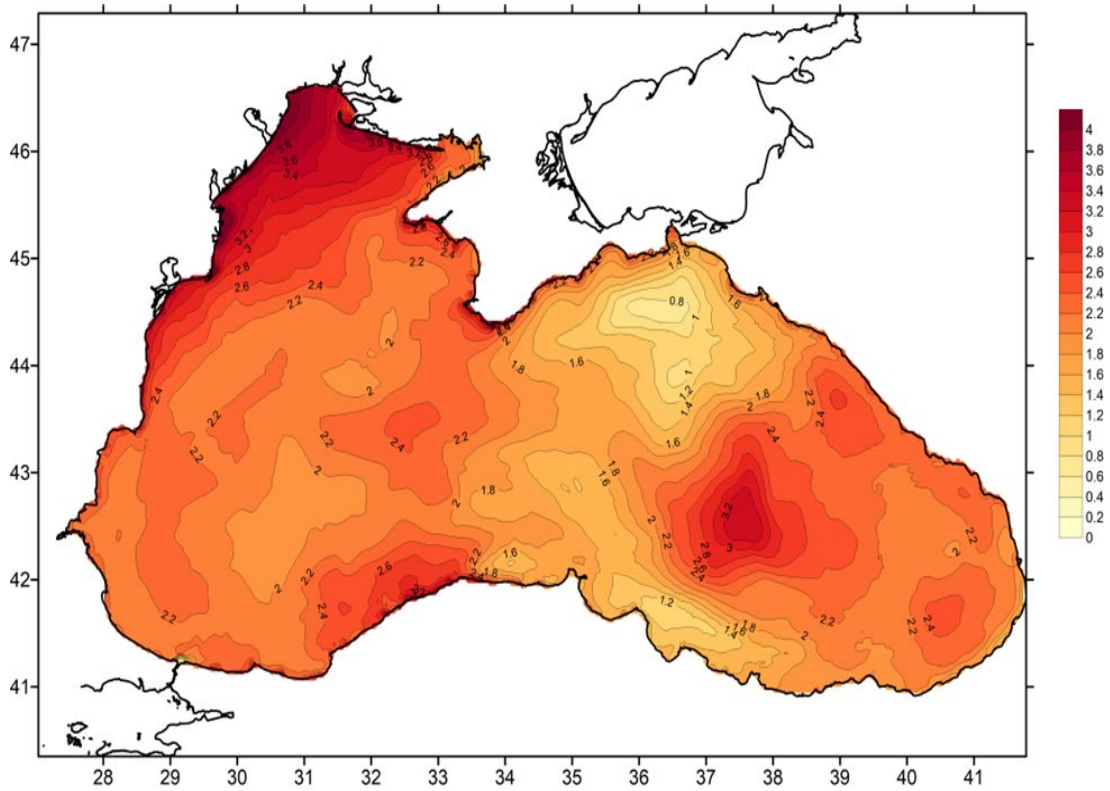
в)

Рисунок 4.14 – Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень за березень (а), квітень (б), травень (в)

Для літнього періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень мають додатній характер для всього Чорного моря з максимальними відхиленнями у червні у ПдЗх частині до $2,5^{\circ}\text{C}$. в ПдСх – до $3,0^{\circ}\text{C}$, центральній – $1,7^{\circ}\text{C}$. (рис. 4.15 а, б, в). У липні в ПнЗх частині моря від Каркінітської затоки та вздовж узбережжя до Болгарії коливання відхилень лежить в діапазоні від $2,4$ до $3,8^{\circ}\text{C}$. По центру східної частини моря – до $2,4^{\circ}\text{C}$. В серпні додатні відхилення в ПЗЧМ в середньому від $1,6$ до $3,0^{\circ}\text{C}$ і більш. ніж у східній частині (в середньому від $1,2$ до $2,0^{\circ}\text{C}$). Напроти Керченської протоки відмічається район з відхиленнями від $0,0$ до $0,4^{\circ}\text{C}$. область з такими ж значеннями відхилень простягнулася вздовж узбережжя Туреччини.



a)



б)

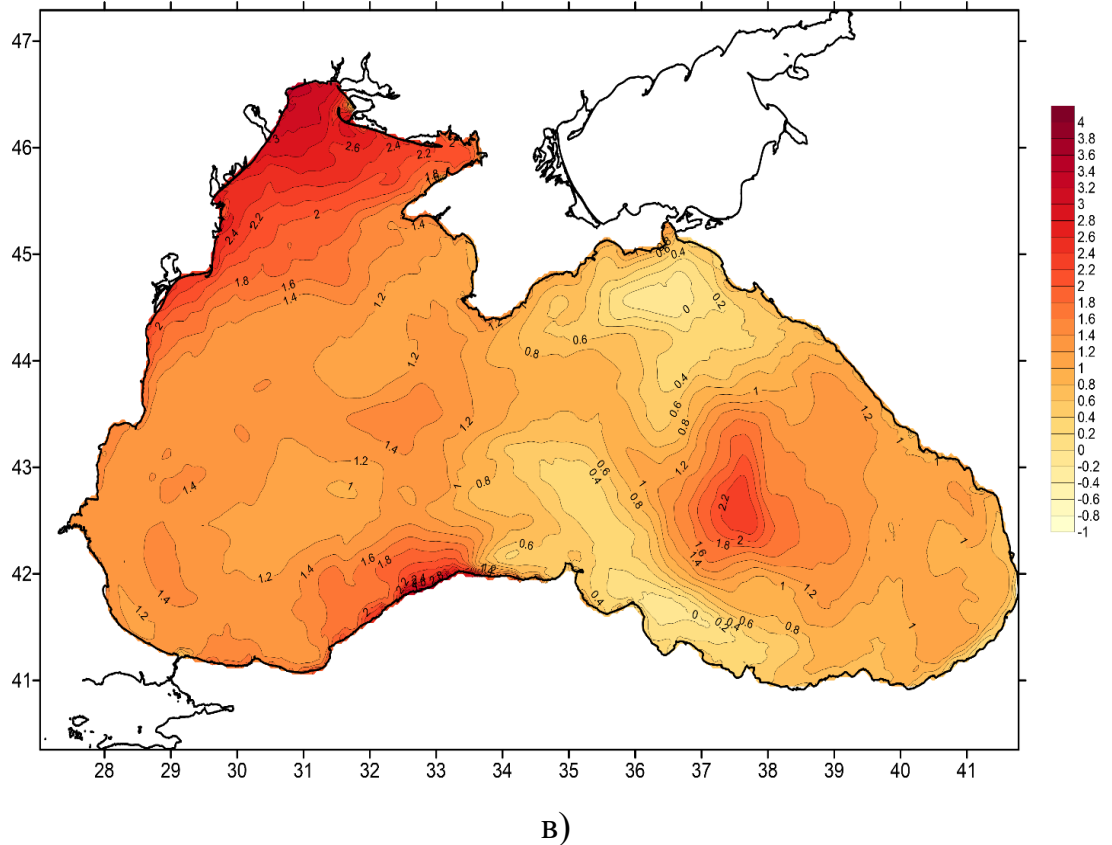
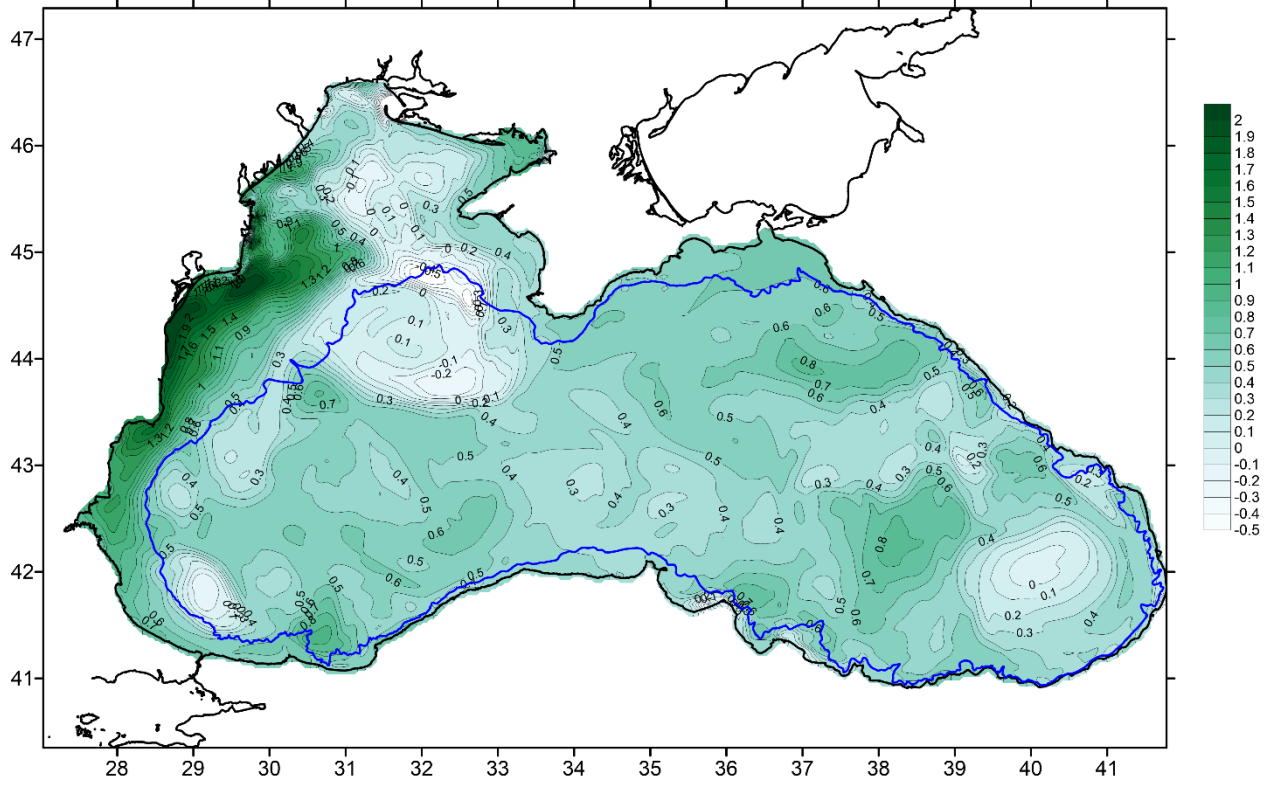
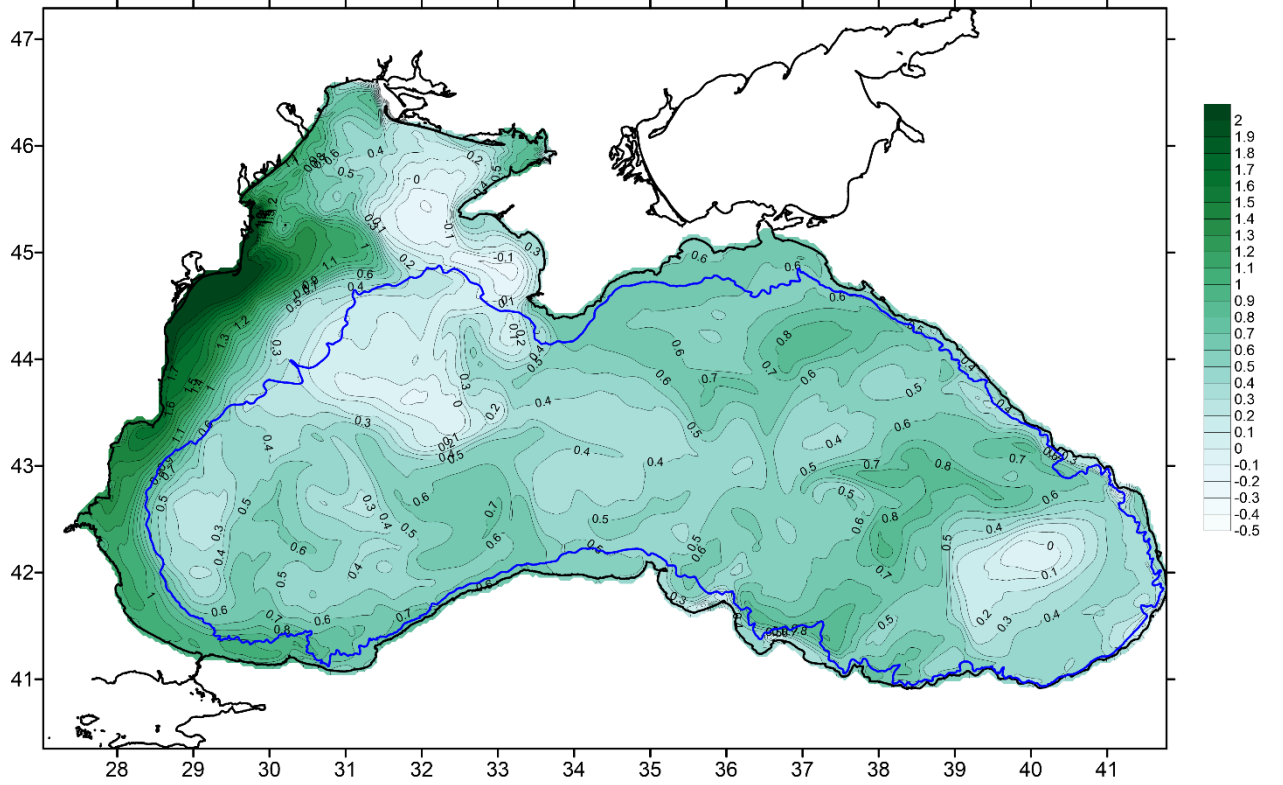


Рисунок 4.15 – Відхилення ТПМ від кліматичних значень за червень (а), липень (б), серпень (в) 2025 року

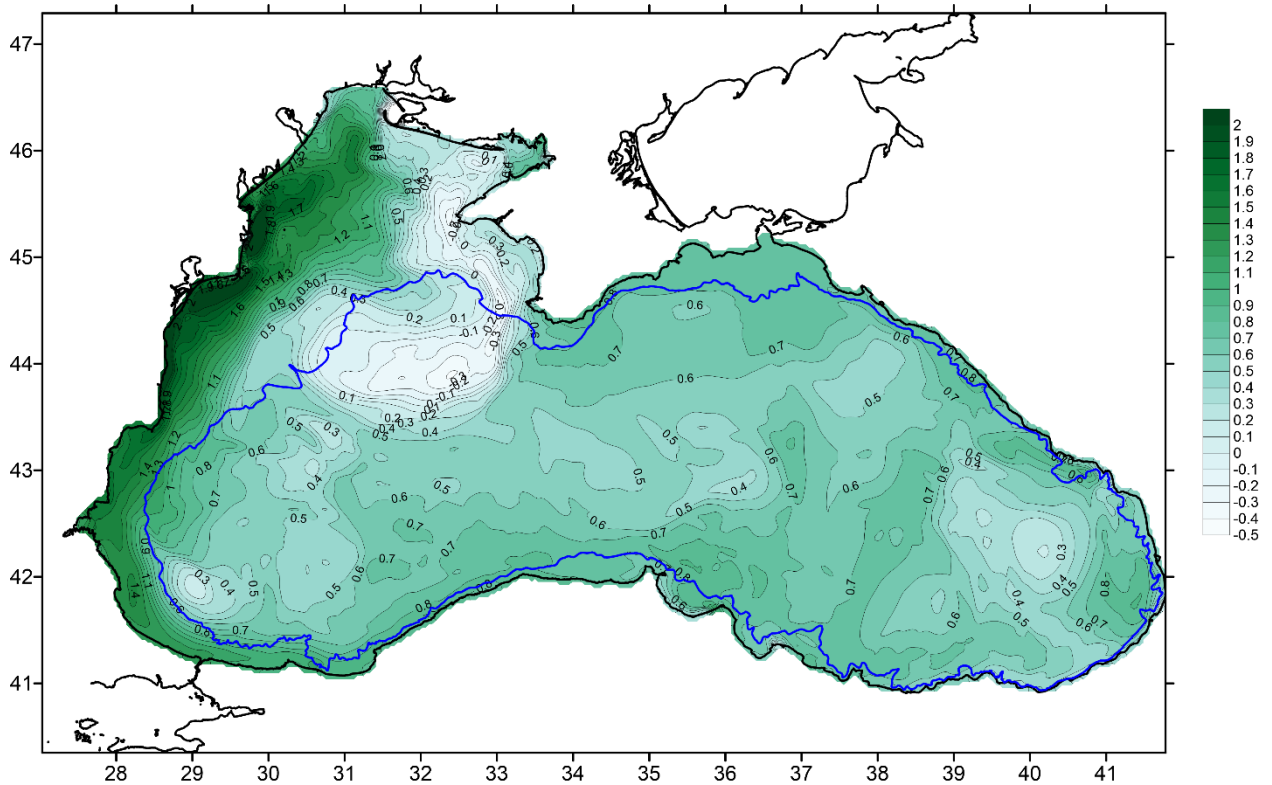
Відхилення солоності від кліматичних значень для літнього періоду має додатній характер для всієї акваторії Чорного моря та в середньому коливається від 0,25 до 0,40опр. (рис. 4.16 а, б, в). Максимальні додатні відхилення простягаються від ДБ та Каркінітської затоки. Далі вздовж узбережжя до гирла р. Дунай і далі до протоки Босфор від 0,40 до 2,00опр. Зони з мінімальними значеннями відмічаються в районі Батумського вихору (<0,00опр) та на захід від Криму – до мінус 0,20опр.



a)



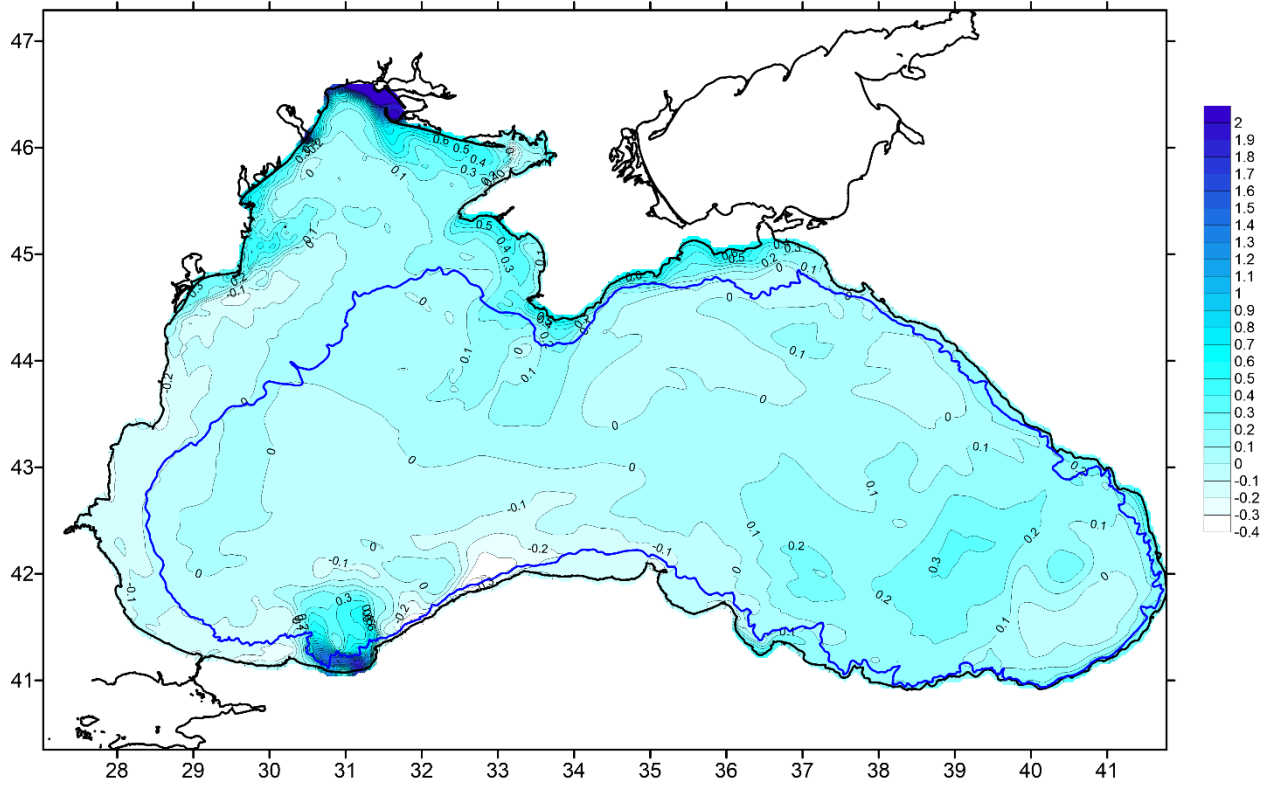
b)



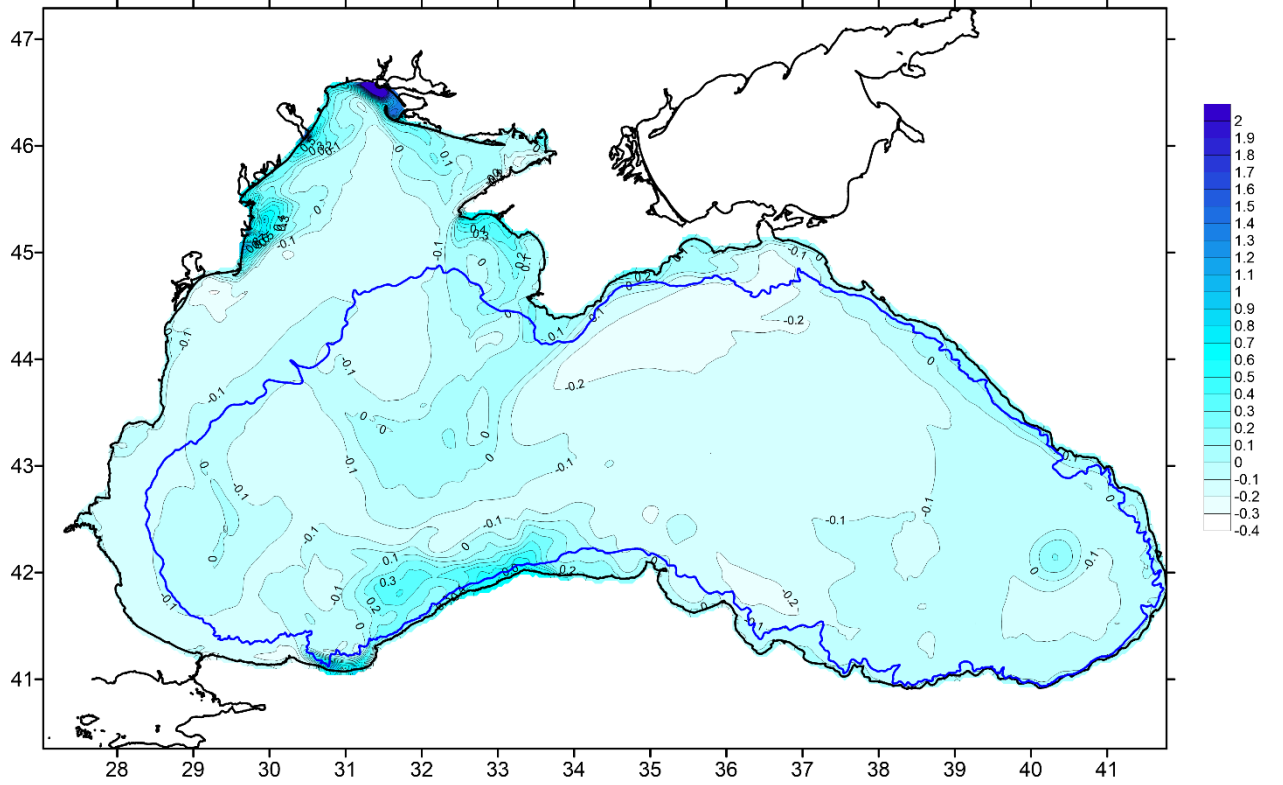
в)

Рисунок 4.16 – Відхилення солоності від кліматичних значень за червень (а), липень (б), серпень (в) 2025 року

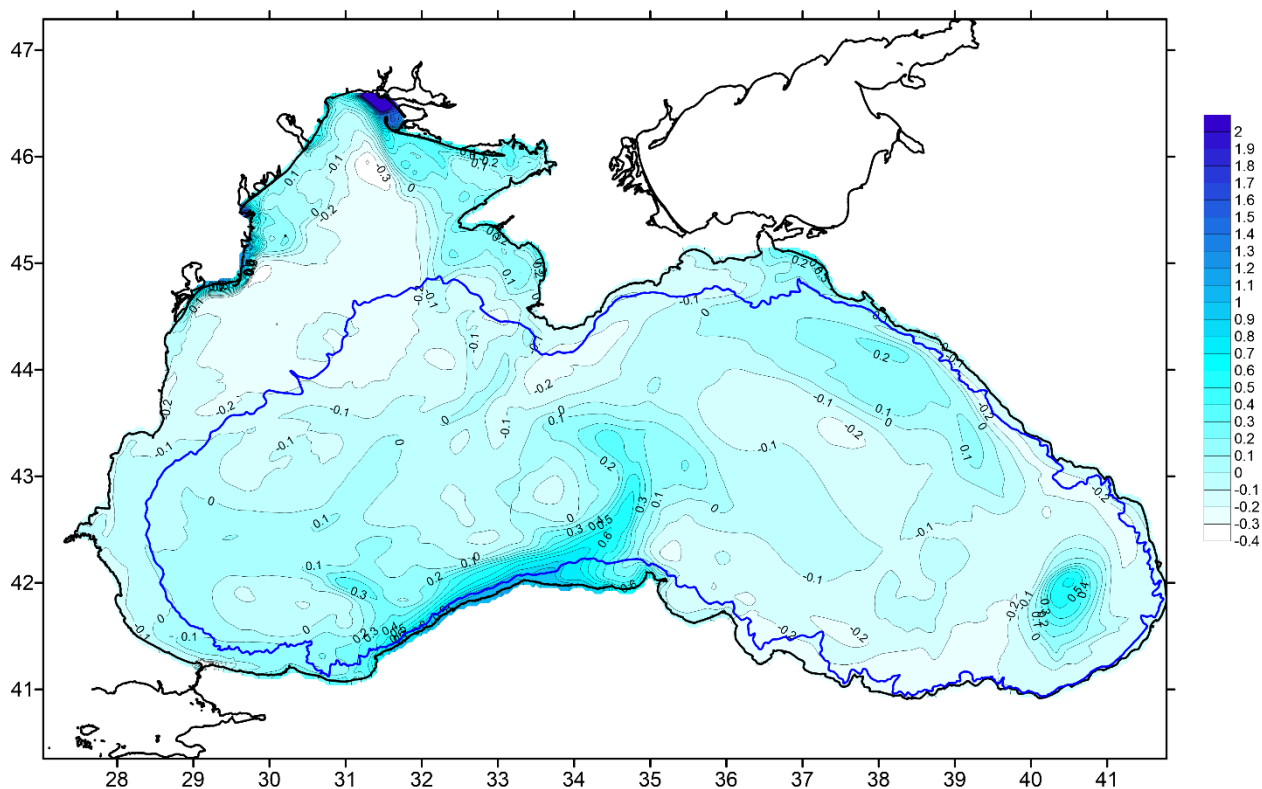
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для літнього періоду має від'ємний характер для всього Чорного моря на рівні мінус 0,1 – 0,2 мг/л. Додатні значення відмічаються тільки в районах витоку вод ДБ до 0,80 мг/л та узбережжя Туреччини – до 0,60 мг/л. Для всього літнього сезону виділяється область Батумського вихору – від 0,00 до 0,50опс. (рис. 17 а, б, в).



a)



b)

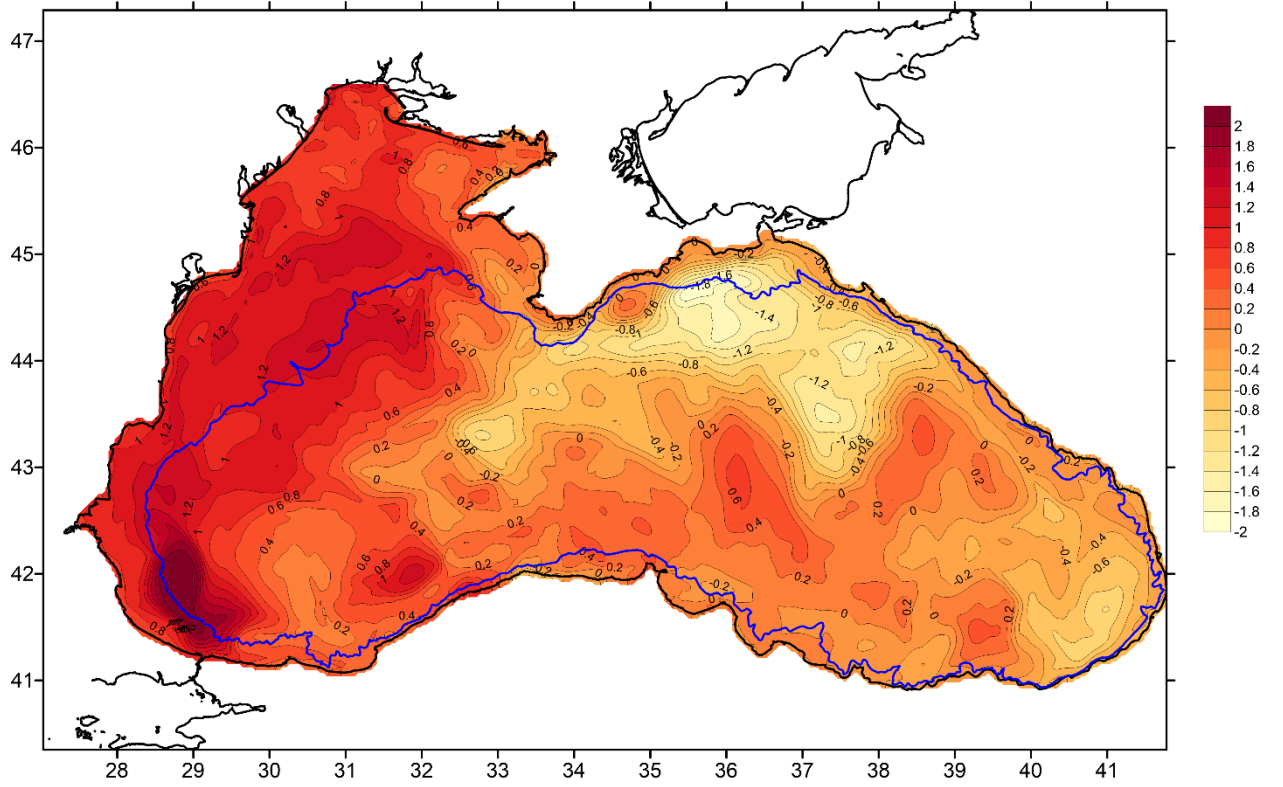


в)

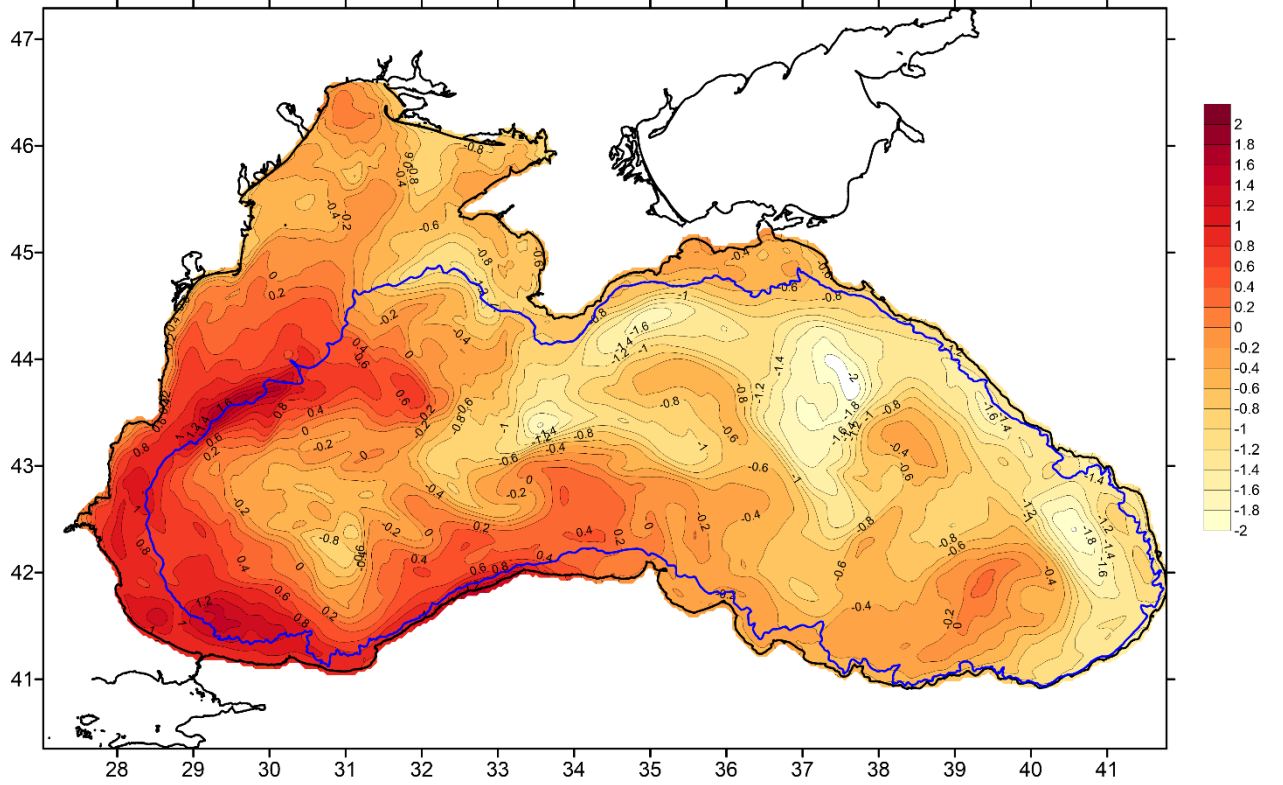
Рисунок 4.17 – Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень за червень (а), липень (б), серпень (в) 2025 року

Для осіннього періоду відхилення ТПМ від кліматичних значень розділяють Чорне море на дві частини – Західну з додатними величинами відхилень та Східну з від’ємними відхиленнями (рис.4.18 а, б, в). В вересні додатні відхилення з максимальними значеннями відмічались поблизу затоки Босфор та досягали $2,2^{\circ}\text{C}$. Мінімальні значення відхилень спостерігалися поблизу Керченської затоки і мали від’ємний характер – до мінус $1,8^{\circ}\text{C}$. Окремі зони з від’ємними відхиленнями спостерігалися в східній частині моря та поблизу узбережжя Кавказу – від $1,8^{\circ}\text{C}$ до $2,0^{\circ}\text{C}$.

У жовтні картина розподілу ТПМ змінилась, більшу частину моря представляли райони з від’ємними значеннями відхилень.



a)



b)

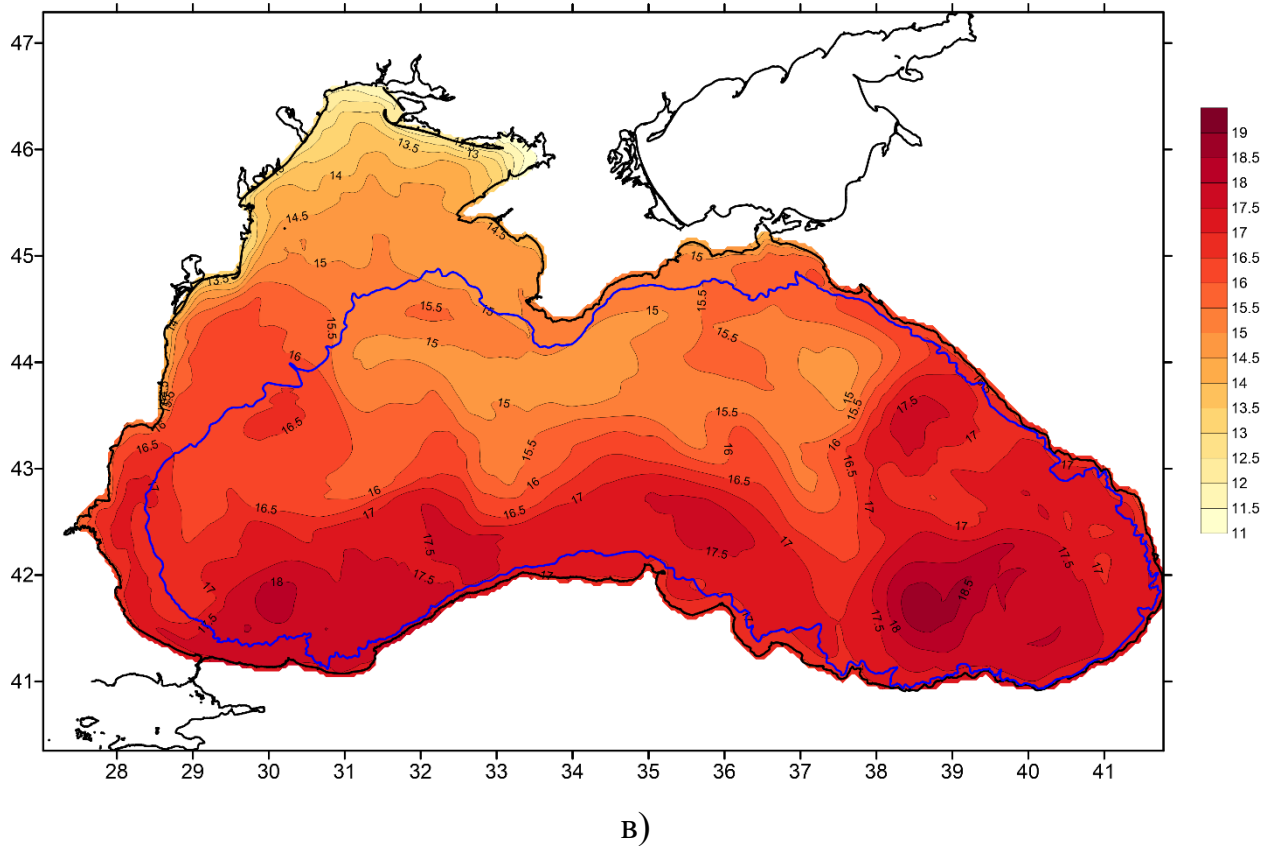
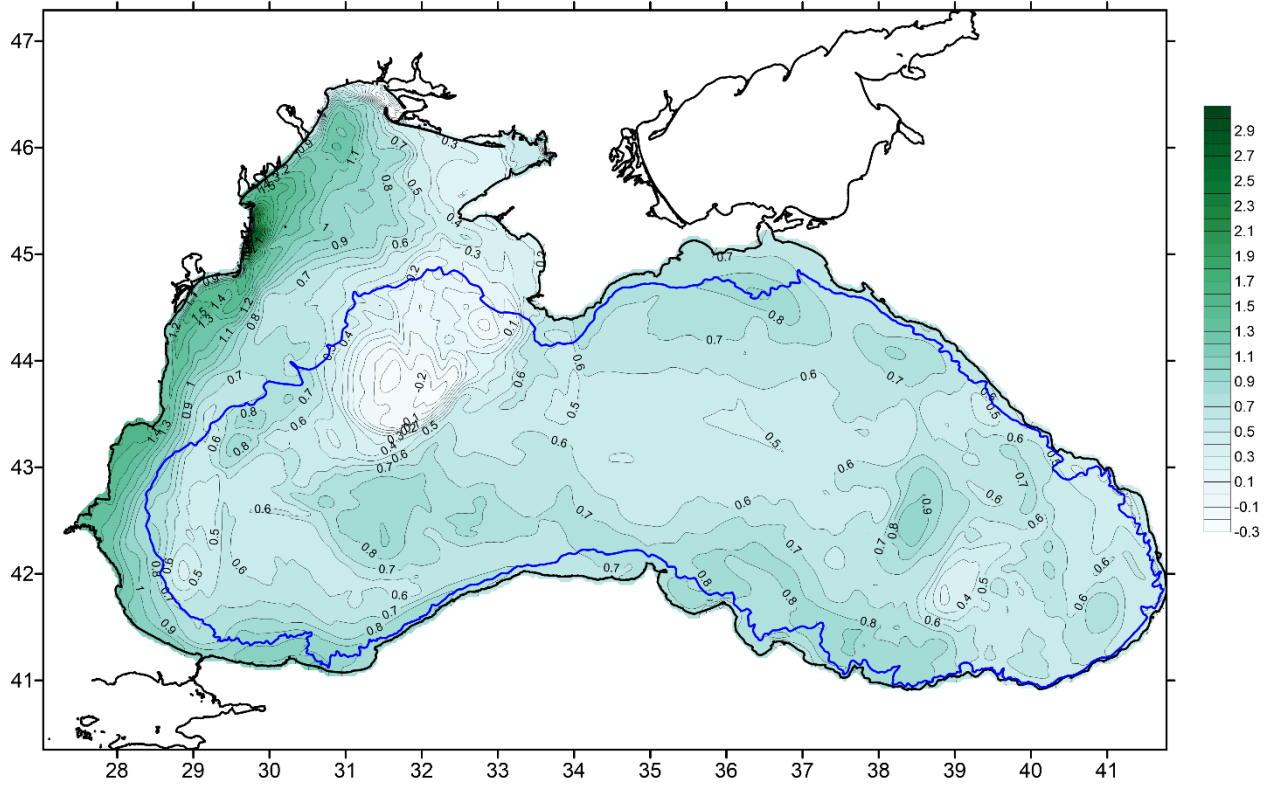
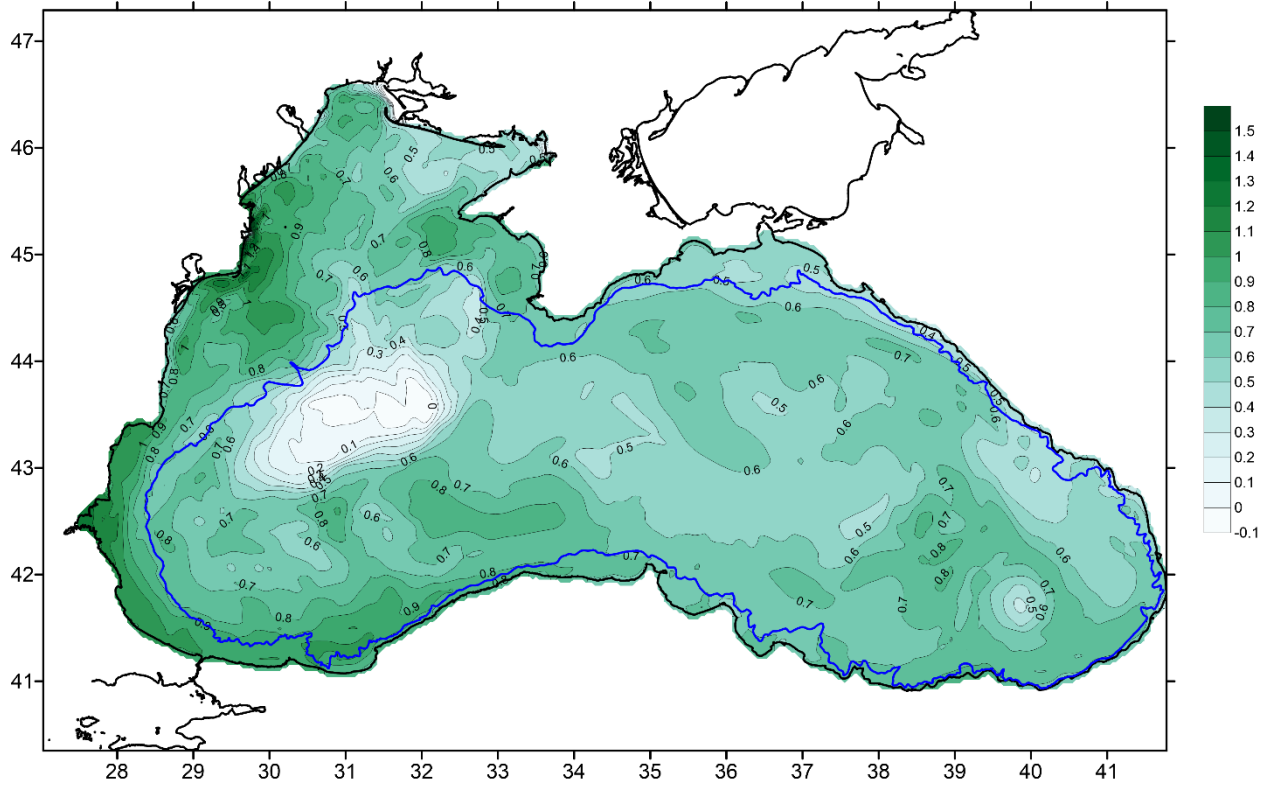


Рисунок 4.18 – Відхилення ТПМ від кліматичних значень за вересень (а), жовтень (б), листопад(в) 2025 року

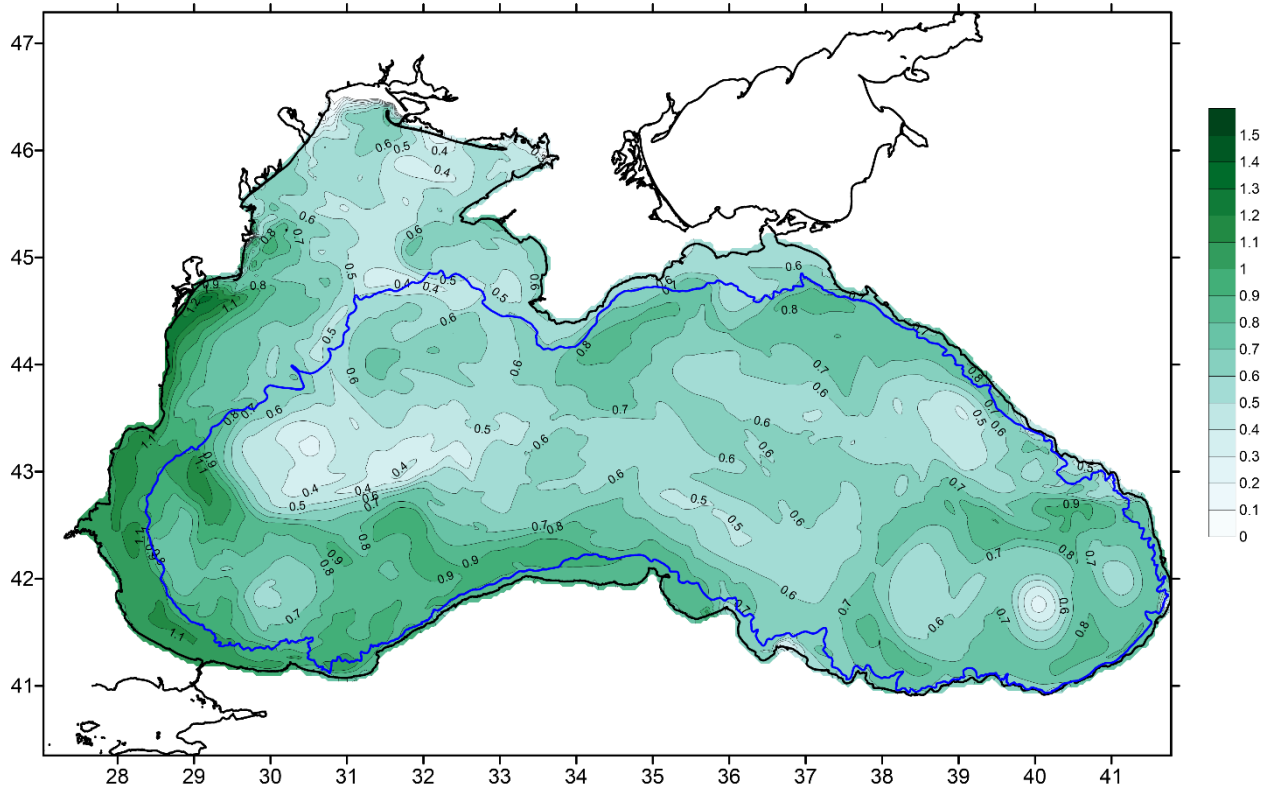
Відхилення солоності від кліматичних значень для осіннього періоду (рис.4.19 а, б, в) має додатній характер (в середньому від 0,50 до 0,80опр для всієї акваторії Чорного моря за винятком зони на захід від узбережжя Криму. Взагалі, додатні відхилення для всього моря вказують на підвищення солоності відносно кліматичних значень для осіннього періоду 2025 р.



a)



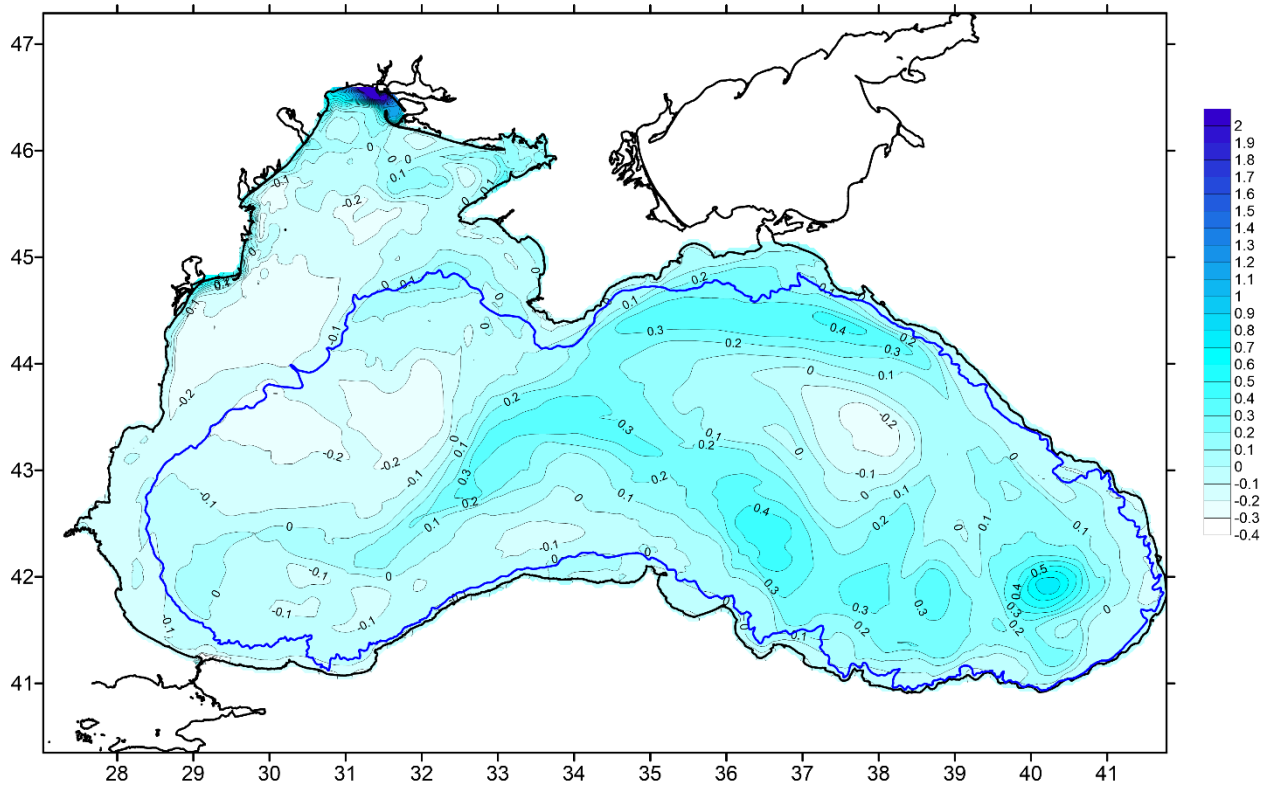
b)



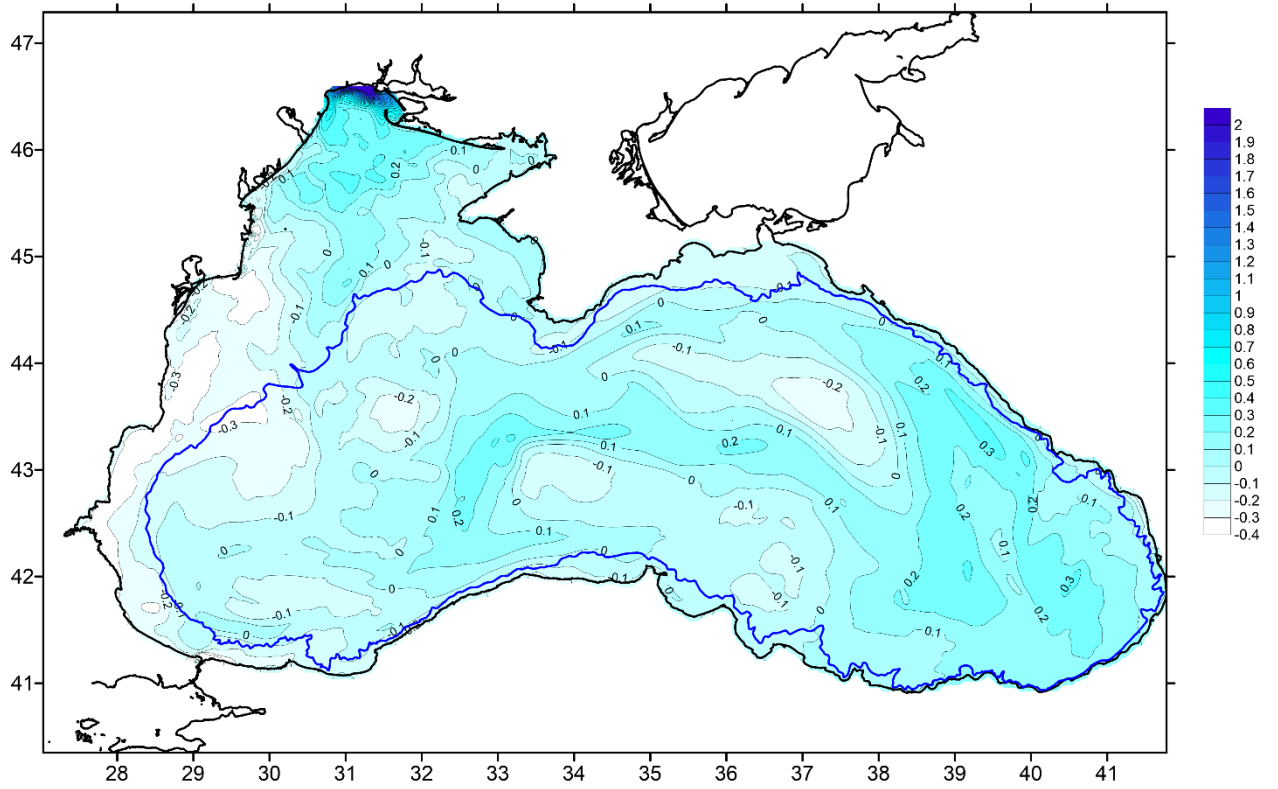
в)

Рисунок 4.19 Відхилення солоності від кліматичних значень за вересень (а), жовтень (б), листопад (в) 2025 року

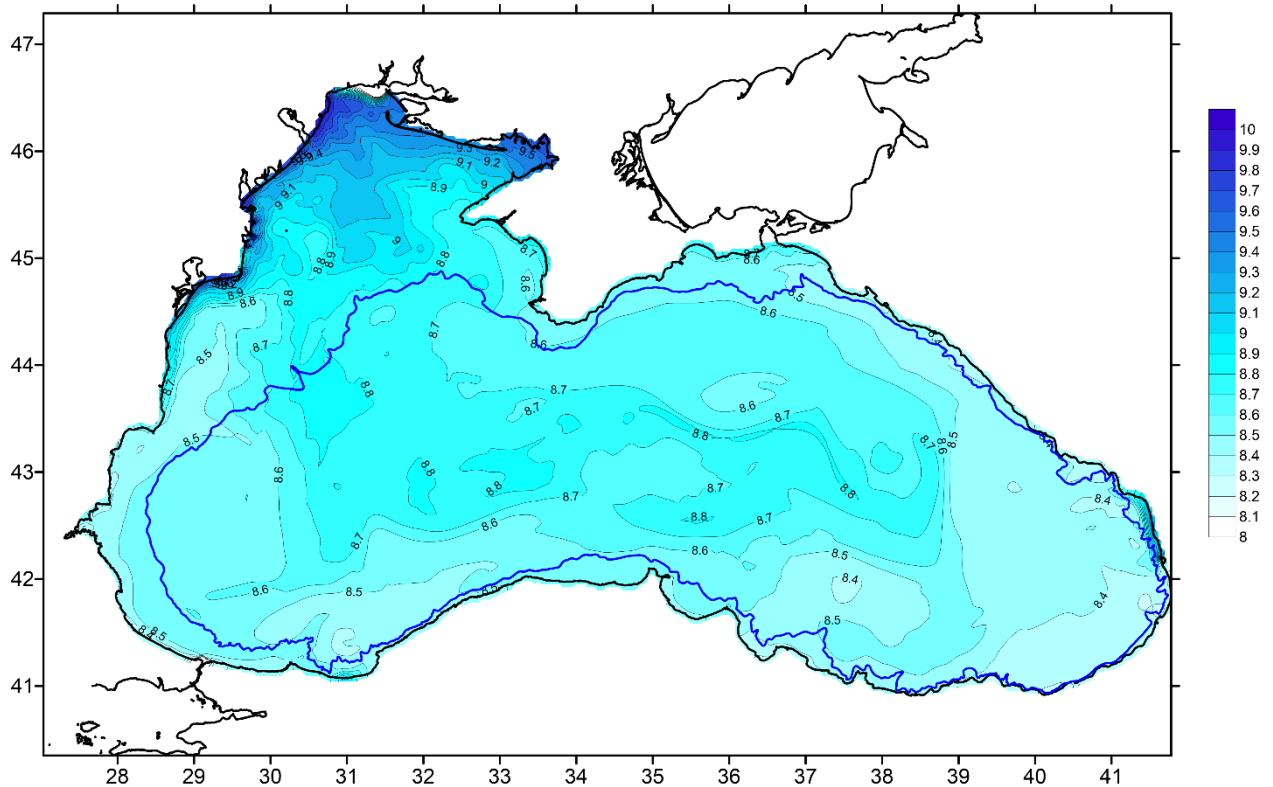
Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень для осіннього періоду (рис. 4.20 а, б, в) має додатній характер для центральної частини моря та зон впливу стоку річок (0,20 – 0,30 мг/л). Для більшої частини моря значення відхилень мають від’ємний характер та коливаються в діапазоні від мінус 0,10 до мінус 0,20 мг/л. Добре виділяється зон Батумського вихору з додатними значеннями до 0,60 мг/л.



a)



b)



в)

Рисунок 4.20 – Відхилення вмісту кисню від кліматичних значень за вересень (а), жовтень (б), листопад (в) 2025 року

Таблиця 4.2 – Середньорічні значення температури та солоності поверхневого шару Чорного моря в районах OWC1 та OWW1 за період 2022-2025

Рік	Температура, °C		Солоність, опс	
	OWC1	OWW1	OWC1	OWW1
2022	16.09	15.85	18.73	18.45
2023	16.29	16.41	18.65	18.35
2024	17.02	17.01	18.69	18.48
2025	16.0	16.0	18.70	18.49

Середньорічні значення температури поверхневого шару Чорного моря в центральних районах ЧМ у 2025 році була нижче на один градус Цельсія, ніж у рекордному 2024.

Висновки.

1. Для сезонів – зима, літо та весна розподіл ТПМ та солоності для всього Чорного моря носить додатний характер. Для осені – від’ємний. Розподіл вмісту кисню для всіх сезонів - від’ємний.
2. Зростання ТПМ викликало зменшення рівня кисню для акваторії Чорного моря.
3. Для всіх сезонів – ТПМ та солоність верхнього шару води, порівняно з кліматичними значеннями, зросла для всієї акваторії Чорного моря.
4. Для всіх сезонів насиченість киснем верхнього шару води порівняно з кліматичними значеннями зменшилась для всього Чорного моря.
5. Для всіх параметрів не залежно від сезонів. виділяються зони витоку річок з максимальними відмінами від середнього фону моря.
6. Для всіх параметрів, не залежно від сезонів, виділяється зона Батумського циклонального вихору.

5 ГІДРОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ГЛИБОКОВОДНОЇ ЧАСТИНИ ЧОРНОГО МОРЯ У 2024 РОЦІ ЗА ДАНИМИ БУЇВ ARGO

З 2005 року розпочалася нова епоха контактних спостережень у галузі відкритого моря. Вперше стали використовуватися високоточні дані буїв-профілометрів програми «Argo», що сканують по вертикалі та вільно переміщуються по акваторії моря.

Загальний вигляд та принципова схема роботи буя Argo представлені на рисунках 5,1 та 5,2.

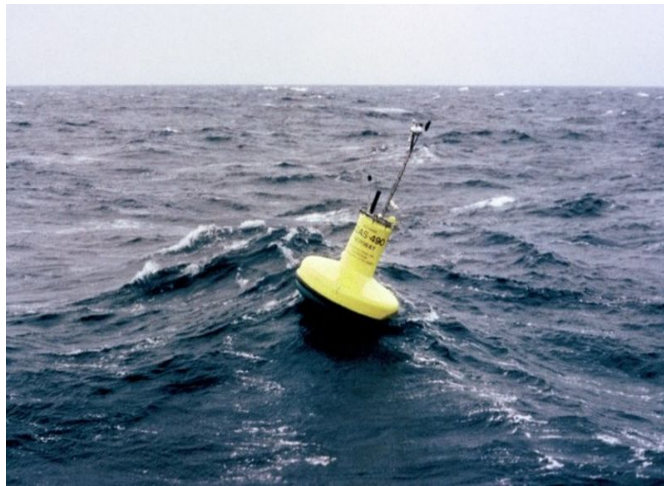


Рисунок 5.1 – Один з буїв проекту Argo (animalworld.com.ua/news/)

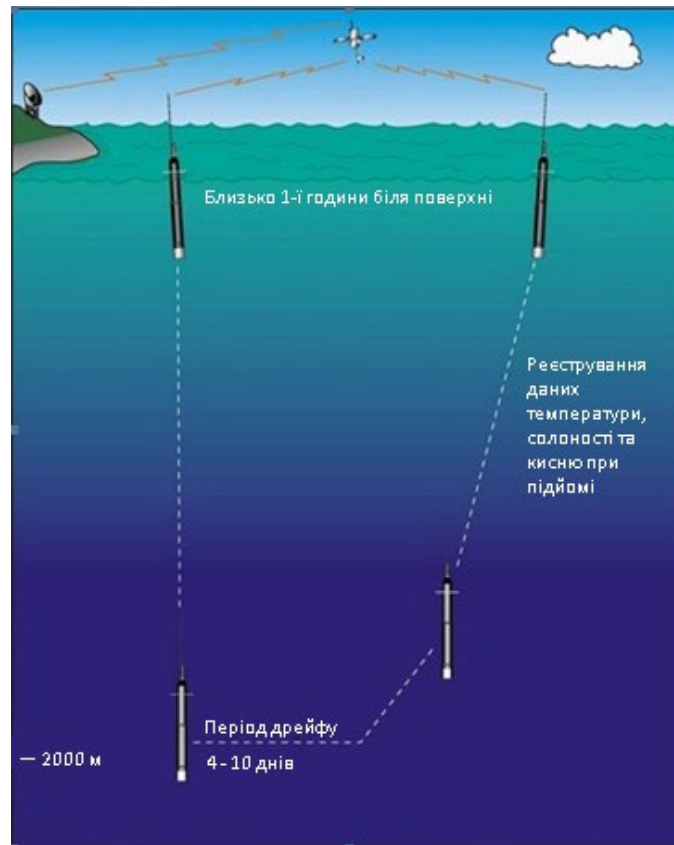


Рисунок 5.2 – Принципова схема роботи буя Argo

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

Усього за період з 2005 по 2025 роки на акваторії Чорного моря було запущено 56 буїв, із них десять відпрацювали рік або менше. 14 буїв проіснували 2-3 роки та десять – від 3 до 5 років. На даний час (кінець 2025 р.) працює 13 буїв, запущених у період 2019-2025 років. Буї, які проіснували не більше року, очевидно, були викинуті на берег, а, можливо, пошкоджені або зняті суднами. Інформація від кожного буя надходить після виконання чергової океанографічної станції в середньому з інтервалом 5 або 10 діб.

У Додатку А представлені загальні відомості про характеристики буїв Argo та виконані зондування водної товщі Чорного моря за період з 14.03.2005 по 01.12.2025 р. Усі 10 208 виконаних станцій були узагальнені в банку термогалинних даних, який на даний момент складається з 112 263 вертикальних зондувань.

Загальні свідки за океанографічні зондування, що виконані буями-профіломірами Argo у 2025 році вказані у таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Загальні свідки за океанографічні зондування, що виконані буями-профіломірами Argo у 2025 році

NN за номерами буїв	NN постановці	Номери буїв Argo	Кількість зондувань у 2025 р.	Дата початку роботи	Дата кінця роботи	Примітка	Часова дискретна доба	Параметри вимірювання
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	51	1902575	27	30.11.2023	05.11.2025		10	T S
2*	45	3902005	06	22.10.2021	29.09.2025	С 10.01-2024 брак в солоності	5	T S O
3	47	3902006	21	07.11.2022	05.10.2025		10	T S
4	52	3902461	24	14.12.2023	29.09.2025		10	T S
5	48	4903711	32	11.05.2023	22.11.2025	С 02.02-2024 брак у сірководні	10	TS H2S
6	46	5906866	16	03.11.2022	11.10.2025		10	T S
7	55	5907217	09	15.09.2025	24.11.2025		10	T S
8	42	6903866	27	22.11.2020	22.11.2025		10	T S
9	43	6903867	33	19.11.2020	22.11.2025		5	T S O
10	54	6990663	16	16.07.2024	10.11.2025		10	T S O
11	37	7900595	23	01.09.2019	29.10.2025		10	TS
12	49	7901065	33	15.05.2023	25.11.2025	С 05.02-2024 брак у сірководні	10	T S H2S
13	53	7902191	19	20.06.2024	05.10.2025			T S O
14	56	7902193	09	09.10.2025	20.11.2025			T S O

*Відмічені файли що закінчили роботу у 2025 році.

Кожен буй має різну по глибині вертикальну дискретність вимірів. Тимчасова дискретність сканувань становить переважно 5, а останнім часом - 10 діб.

У листопаді 2025 року буй № 3902005 завершив свою роботу. На 01 грудня 2025 р. продовжують роботу 11 «старих» буїв, два «нові» буї запуснені в роботу восени цього року (15 вересня, № 5907217 та 20 жовтня, № 7902193).

Картина просторового розподілу океанографічних станцій спільно з траєкторіями дрейфу буїв Argo в 2025 представлена на рисунку 5.3.

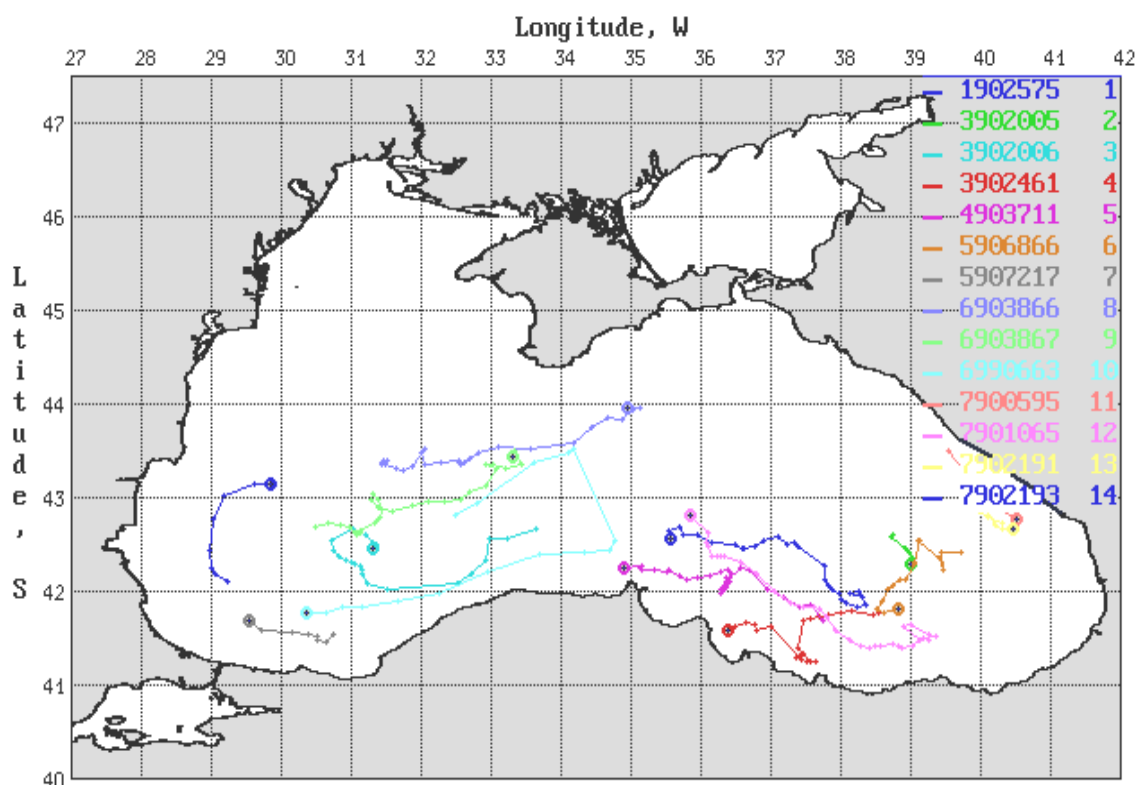


Рисунок 5.3 – Розподіл океанографічних зондувань та траєкторій переміщення буїв Argo у Чорному морі за 2025 рік

Крім поповнення загальної бази океанографічних станцій, дані буїв-профілометрів використовуються для отримання різномасштабних характеристик мінливості водних мас Чорного моря, для стеження за верхньою межею сірководневого зараження, а надалі дадуть можливість

отримання кліматичних характеристик та епізодичного створення сучасних атласів океанографічних полів Чорного моря в умовах значних змін Світового клімату.

У таблиці 5.2 та таблиці 5.3 наведені відомості про буї які малі або мають зараз датчики кисню та сірководню.

Таблиця 5.2 Загальні свідоцтва за роботу буїв-профілометрів Argo з датчиками розчиненого кисню

NN з/п	Номер бую	Дата початку	-	Дата закінчення	Кількість зондувань	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1	3902004	2021 10 21	-	2025.03.16	202	S опс – брак з 2022.05.17
2	3902005	2021 10 22	-	В роботі	223	S опс – брак з 2023.01.10
3	6900804	2011 03 19	-	2013 07 01	166	Висок. «0» знач. O2
4	6900807	2014 11 28	-	2018 09 08	516	Нижн.=200 и1950 м. Дискр. t=1 и 4 сут.
5	6901866	2015 05 27	-	2019 06 27	155	-
6	6901895	2013 08 02	-	2017 01 26	256	-
7	6901896	2013 08 04	-	2014 10 05	087	-
8	6903240	2018 03 29	-	2022 03 16	331	O2 – брак з 2021.09.21 Sопс – брак з 2021.02.18
9	6903867	2020 11 17	-	В роботі	262	O2 – брак з 2021.03.23
10	6990663	2024 07 16	-	В роботі	034	-
11	7900591	2013 12 16	-	2020 02 20	261	-
12	7900592	2013 12 15	-	2014 10 15	076	-
13	7900593	2014 06 29	-	2015 04 15	059	-
14	7900596	2019 12 07	-	2023 04 10	125	-
15	7902191	2024 06 20	-	В роботі	036	Sопс – брак з 2025.09.14
				Итого	2989	

Таблиця 5.3 Загальні свідоцтва за роботу буїв-профілометрів Argo з датчиками сірководню

NN пп	Номер бую	Дата початку	-	Дата закінчення	Кількість зондувань	Примітка
1	4903711.SPH	202305 21	-	РАВ	26	H2S – брак з 02.2024
2	6901866.SPH	201505 27	-	2019 06 27	288	
3	6903240.SPH	2018 0329	-	2022 07 13	292	Sопс – брак з 2019.09.18
4	7901065.SPH	2023 05 15	-	2019 06 27	155	В роботі
				Загалом	761	

У ЧМ виділяються два великі центральні циклонічні круговороти у східній та західній його частинах. З настанням холодів західний циклонічний кругообіг проявляється не так помітно. Така гідродинамічна структура визначає глибини залягання основних океанографічних параметрів, які

збільшуються від центру кругообігу до периферії [4].

5.1 Стан вод холодного проміжного шару чорного моря з засвоєнням нових даних скануючих буїв-профілометрів «Argo»

Холодний проміжний шар (ХПШ) Чорного моря був одним з найбільш цікавих та важливих характеристик діяльного шару моря при дослідженні кліматичних та хіміко-біологічних процесів. Води цього шару формувалися з допомогою низхідних конвекційних рухів густинних вод за умов зимової термодинамічної взаємодії у системі море-атмосфера.

Характеристики вод ХПШ піддавалися інтенсивним міжрічним та сезонним варіаціям і розглядалися як інтегральний гідрологічний показник процесів, що визначають стан проміжних вод та суворості щорічних зимових умов. Вони підстиляли поверхневу водну масу, характеристики якої схильні до суттєвих коливань значної амплітуди, розташовувалися над основним галокліном, що відокремлює води діяльного шару моря від відносно тепліших і значно більш солоних глибинних вод. Саме з цієї причини вивченню механізмів формування та трансформації вод ХПШ виявлялася велика увага. Робота цих механізмів останніми роками суттєво змінилася але про це трохи пізніше.

За верхню та нижню межі ХПШ у Чорному морі зазвичай приймали ізотерму 8°C. Слід зазначити, що Чорне море належить до нечисленних басейнів Світового океану, у яких базова густина стратифікація обумовлена переважно великими перепадами солоності між верхніми опрісненими і нижніми солоними водами. Основну частину акваторії Світового океану стратифіковано з глибиною, переважно, за температурою.

У зв'язку з кліматичними змінами в атмосфері Землі, пов'язаними із значним зростанням температури повітря, змінюється і температура

діяльного шару морів та океанів. Починаючи з 2009 року, середні по всьому морю екстремальні температури ХПШ стали в переважній більшості випадків перевищувати значення 8°C і вищеописаний критерій визначення меж холодного шару перестав існувати. За період із 2009 по 2019 роки лише у трьох випадках (2012, 2013 та 2017 рр.) за відносно холодних зим, води ХПШ формувалися з температурою нижче 8°C .

Формування вод ХПШ тривалий час вивчалось, а детальні характеристики шару були простежені на підставі численних суднових спостережень, які активно проводилися у відкритому морі до початку 2000-х років [5] і практично припинилися в останні 1,5–2 десятиліття. У роботах [6, 7, 8] представлені об'ємно-статистичні діаграми водних мас з кількісними оцінками проміжних вод, сформованих у відкритому морі та на північно-західному шельфі моря за даними різного рівня точності та ступеня накопичення матеріалів спостережень. Числові значення температури та низки супутніх параметрів у ядрі ХПШ наведено у таблиці 5.4., графічне уявлення дано на рисунку 5.4.

Таблиця 5.4 – Щорічні середні показники вод ХПШ відкритого моря: глибина залягання ядра; екстремальна температура та солоність у шарі мінімуму температури; річні суми середньодобових величин температури повітря в Одесі нижчі від значення 5°C

Роки	Кількість зондувань буїв ARGO	Глибина мінімальної температури	Температура води в ядрі ХПШ (мін. середня)	Солоність води у шарі мінімуму температури	Сума добових температур повітря < +5°C
2005	082	47.7	7.422	18.534	-444
2006	141	53.6	7.034	18.534	-725
2007	177	68.0	7.601	18.706	-239
2008	140	60.5	7.703	18.635	-432
2009	058	48.8	7.993	18.687	-349
2010	110	75.4	8.206	19.123	-563
2011	301	54.4	8.042	18.716	-560
2012	356	58.3	6.858	18.524	-582
2013	477	68.6	7.791	19.030	-412
2014	829	80.9	8.212	19.517	-399
2015	737	68.5	8.325	19.112	-427
2016	753	61.5	8.423	18.956	-306
2017	760	57.1	7.538	18.735	-553
2018	725	64.3	8.102	18.851	-392
2019	699	61.1	8.317	18.880	-408
2020	793	80.8	8.624	19.590	-148
2021	776	73.1	8.667	19.480	-346
2022	775	60.8	8.247	19.290	-335
2023	614	58.5	8.820	19.340	-230
2024	497	74.0	8.790	19.980	-174
2025	299	57.5	8.510	19.090	-287

Примітки:

- у розрахунках використовувалися дані буїв Argo та CTD-зондування 3-х рейсів R/V “Maru Nigrum” (Румунія), а також метеорологічні дані ГМС Одеса-Порт.
- опосередкування характеристик проведено за теплими півріччями (травень-жовтень) у період 2005 – 2025 рр.

За проаналізований майже 20-річний період відзначалися три-чотири періоди щодо холодних зим (рис. 5.4 а, табл. 2), коли в результаті вертикальної конвекції та адвекційного переміщення відбувалося виражене формування «нових», холодніших, ніж у попередні роки, вод ХПШ. Це 2006; 2010-2012 (зі слабким екстремумом у 2012 р); та 2017 рік (рис. 5.4 б). У ці роки спостерігалася локальні мінімуми солоності води у ядрах ХПШ, відповідно 18,53, 18,52 і 18,73 опс (рис. 5.4 г, табл. 2).

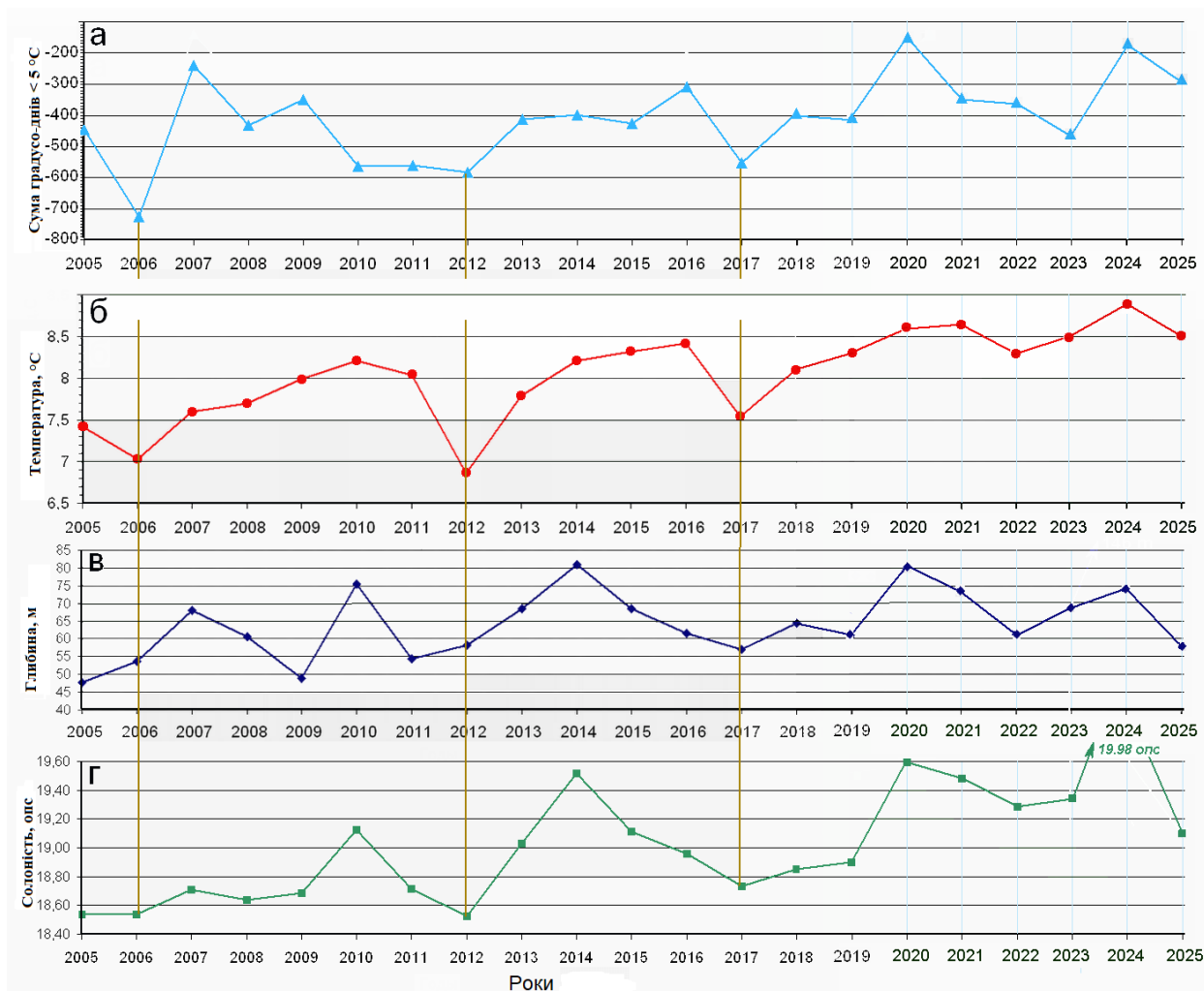


Рисунок 5.4 – Між річні зміни: сум середньодобових температур холодного півріччя менше від значень $+5.0^{\circ}\text{C}$ (а) та параметрів ХПШ: екстремальної температури в ядрі (б) і; глибини залягання ядра (в); солоності води у ядрі ХПШ (г)

У періоди наявності поспіль кількох теплих зим (наприклад, у нашому випадку – 2007-2009, 2013-2016 та 2024 рр.), коли не відбувалося активного формування холодних проміжних вод, екстремально низька температура вод проміжного шару поступово підвищувалася в середньому на 0,1-0,4°C. Відбувається це під дією всередині хвильового, дрібномасштабного та дифузійного перемішування з теплішими водами нижче лежачого, а влітку і вище лежачого шарів.

Між річні зміни глибин залягання ядер ХПШ (рис. 5.4 в) добре узгоджуються з мінливістю солоності, але дещо гірше з іншими з розглянутих величин. Глибина залягання ХПШ залежить не так від інтенсивності зимового формування вод, скільки від того, де, в якій динамічній зоні були отримані дані для опосередкування. Якщо просторове положення буїв більшою мірою відповідало зонам конвергенції, то середня глибина проміжного шару буде більшою, якщо дивергенції, то значно менше. Природно, що найточніші оцінки аналізованих величин може бути отримані лише умовах наявності стаціонарних у просторі пунктів спостережень, що покривають все море. Але це справа, можливо, недалекого майбутнього. Просторовий розподіл температури води в ядрі ХПШ та глибини його залягання у басейні моря простежимо на картинах їх розподілів у 2025 році (рис. 5.5; 5.6).

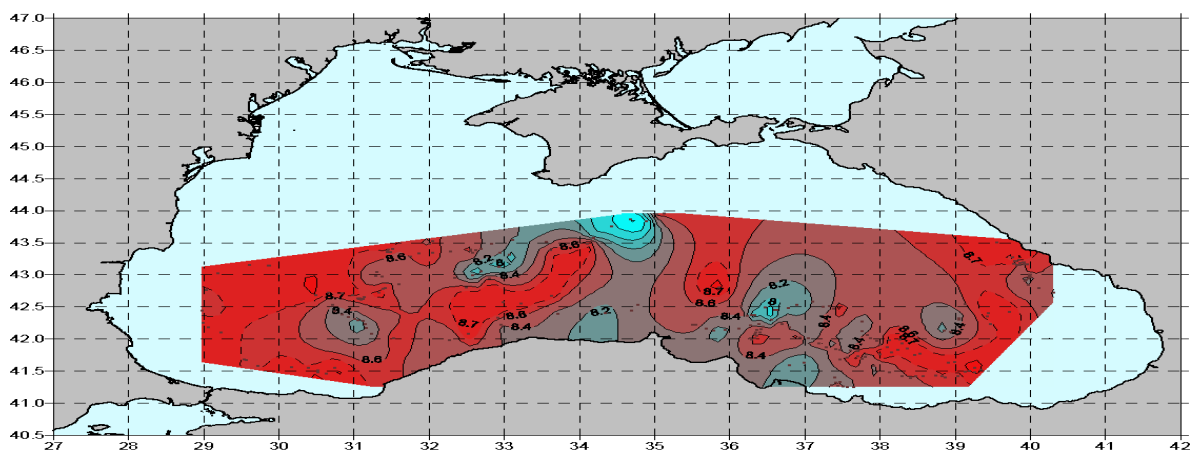


Рисунок 5.5 – Розподіл температури води у ядрі ХПШ за даними буїв ARGO у 2025 році

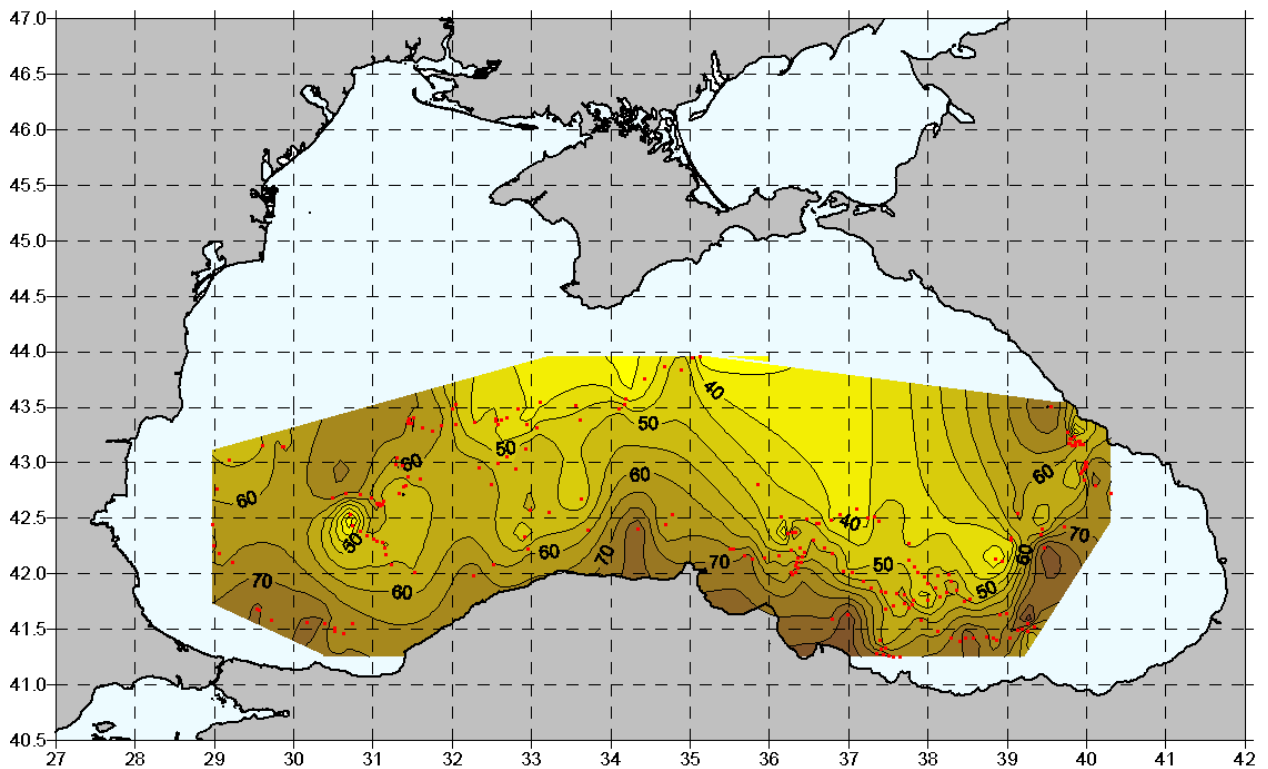


Рисунок 5.6 – Розподіл глибин залягання ядра ХПШ за даними буїв ARGO у 2025 році

У полі температури (рис. 5.5) проявляється багатоядерна структура без суттєвого акценту на дивергентні та конвергентні зони моря. Оскільки у побудові використовувалися дані лише року, тобто без акценту на сезони, це може свідчити про велике згладжування даних та зменшення відмінностей залежно від знаходження буїв у різних динамічних зонах. Загальновідомо, що суттєве потепління кліматичних умов, ослаблення середньої вітрової обстановки в регіоні призвели до значного послаблення великомасштабної динамічної активності вод Чорного моря та її руйнування рівня мезомасштабних проявів. Можливо, що описана структура термічних умов ХПШ є переважно результатом другого чинника. У локальних зонах із циклонічною завихренністю температура вод у ядрах ХПШ була низькою, на рівні значень $7,6^{\circ}\text{C}$ – $8,4^{\circ}\text{C}$, в антициклонічних дещо вище– $8,5^{\circ}\text{C}$ – $8,8^{\circ}\text{C}$.

Розподіл глибин залягання ядра ХПШ (рис. 5.6) більшою мірою відображає умови великомасштабної динаміки вод, проте істотно відрізняється від ситуацій минулого часу. На південній периферії моря та

нетривалих ділянках західних та східних периферійних зон глибини залягання ядер становили величину 65-80 метрів, а у серединних циклонічних вихорах – 35-50 метрів.

Як ми вже зазначали, у 2009 році відзначався перший випадок перевищення середньої температури води в ядрі ХПШ вище за значення 8°C . У наступні роки цей факт стає нормою. Він зрідка порушується навіть після холодних, нормальних за температурним режимом, зимових атмосферних умов. Графік сумарних зимових температур повітря за даними МС Порт-Одеса за більш ніж 130-річний період із градаціями ступеня суворості зимових умов [8].

Сумарна річна величина абсолютних значень середньодобових температур повітря в Одесі менших за значення $+5^{\circ}\text{C}$ у холодне півріччя 2023-2024 років становила величину 174°C , що дуже близько до абсолютного мінімуму цієї оцінки за весь період більш ніж 150-річних інструментальних спостережень (2020). Відповідно, дуже теплі термічні умови попередньої зими стали результатом суттєвого послаблення термічної конвекції у водах Чорного моря і, як наслідок, неактивне перебіг процесів формування вод холодного проміжного шару. Наступної зими (2024-2025 рр.) аналогічна сума градусо-днів становила величину 287°C , тобто, зимові умови були в 1,5 рази холодніші, ніж у попередню зиму. За даними [8], така температура холодного півріччя відповідає умовам нормальної зими.

Від зими до літа, залежно від району моря та глибини положення ХПШ, відбувається щорічне підвищення його екстремальних температур на величину від $+0.05$ до 0.25°C . При недостатньо активному зимовому формуванні холодних проміжних вод їх температура до кінця літнього сезону може підвищуватися настільки, що вже не є на вертикальному профілі мінімальною; мінімум температури зміщується в глибші шари моря, в область головного пікнокліну, куди доступ тепла від поверхні моря значно утруднений. Це вже зовсім не той холодний шар, що щорічно формується за рахунок зимового конвекційного перемішування, а дуже слабкі залишки

глибинних вод, трохи холодніших, ніж оточуючі. Вони сформовані під впливом слабого проникнення низьких температур вод з вище розташованого ХПШ, що активно поповнюється, попереднього кліматичного періоду. На підставі даних 14-ти буїв Argo, які працювали в річні цикли 2024 та 2025 років, можна простежити таку картину. Початковий період, коли температура вод глибинного мінімуму ($8,84\text{ }^{\circ}\text{C} - 8,88\text{ }^{\circ}\text{C}$) була нижчою за температуру вод «верхнього» ХПШ (тобто коли ХПШ або не формувався, або вже зник) за даними різних буїв становив тимчасовий відрізок від січня по вересень 2024 року. Зимові і весняні відсутності ХПШ свідчать про те, що у районах моря, де дрейфували ці буї, формування ХПШ не відбувалося, а літні і осінні терміни свідчать, що ХПШ або формувався, або формувався, але вже зник, тобто потеплішав. Формування нового ХПШ у 2025 році відбувалося за даними всіх буїв у лютий-березень.

При продовженні настільки вираженого кліматичного переходу (потепління клімату) на нашій планеті, ХПШ у Чорному морі епізодично з'являтиметься в зимові періоди року у своєму звичайному розташуванні - над основним галокліном моря. Але найчастіше він виявлятиметься у вигляді описаного, дуже плавного і незначного, глибшого по вертикалі мінімуму температури води в середині основного галокліну. Мінімум має іншу природу, пов'язану з тривалим кліматичним підкачуванням холоду з раніше потужного ХПШ і його положення вже не відповідатиме верхній надпідкноклінній частині проміжного шару.

Таким чином ХПШ донедавна можна було розглядати як інтегральний гідрологічний показник процесів, що визначають характеристики проміжних вод у Чорному морі. Він формується за рахунок декількох механізмів, відносна ефективність та значущість яких змінюється у різні роки та десятиліття залежно від гідрометеорологічних умов та характеристик термохалінної стратифікації вод. За останні роки спостерігається зростання температури проміжних вод до значень ядра більш ніж 8°C . Тому загальноприйнятий критерій виділення кордонів ХПШ (за ізотермою 8°C)

стає незастосовним. Ядро ХПШ можна виділяти за мінімумом температури у проміжному шарі, а його межі – за градієнтним критерієм.

У сезон 2024-2025 років формування вод холодного шару було активовано на завершення зими – у лютому-березні, середня температура вод ХПШ склала величину 8,57°C, середня глибина залягання – 57,5 метрів, середня солоність у ядрі – 19,09опс. У результаті кліматичних змін характеристики ХПШ змінюються внаслідок двох основних причин. По-перше, на умови формування та характеристики ХПШ впливає змінна інтенсивність конвекційного перемішування та обсяг річкового стоку. По-друге, важливу роль відіграє мінливість вертикальної структури вод, що піддаються трансформації, і насамперед, кліматичні тенденції вертикальної стратифікації.

При продовженні потепління клімату на нашій планеті, ХПШ у Чорному морі епізодично зникатиме. Найчастіше він виявлятиметься у вигляді дуже плавного і незначного, глибшого по вертикалі мінімуму температури води в середині основного галокліну. Мінімум матиме іншу природу і його становище вже не відповідатиме проміжному шару.

5.2 Загальні відомості про глибину залягання нижньої межі кисневого шару Чорного моря за період досліджень з 2011 по 2025 роки

У цьому розділі вміщено дані про середні річні характеристики глибин залягання нижньої межі кисневого шару Чорного моря за період з 2011 по 2025 рр. та даних зондувань, які були виконані у 2025 році трьома буями ARGO.

У цьому варіанті вихідних даних виключені дані зі значеннями<-99> за будь-яким із параметрів. Файли робочих буїв №№ 6990663, 7902191 та 7902193 доповнені даними до кінця листопада 2025 року. Частина масиву

даних всіх буїв з аномаліями що виникли під час перемішування з водами Босфору [9] і здатні спотворювати визначення характеристик на межі кисневого шару були видалені. Після цієї процедури файли були перейменовані в <*.000>.

Середня густина води по всьому масиву даних, де вміст розчиненого кисню дорівнює 20 $\mu\text{моль/kg}$ складає 15.40 у.о. Середня густина води на вказаному вище кордоні за масивом 2025 року склала величину 15.54 у.о. Усі вищевказані дані поміщені в таблицях 5.5 і 5.6. Поєднані графіки розрахованих меж за 2025 рік представлені на рисунку 5.7. Траєкторії буїв показані на рисунку 5.8.

Таблиця 5.5 Середні та сумарні величини основних характеристик шару залягання нижньої межі кисневого шару Чорного моря за даними всіх буїв-профілометрів Argo з наявністю кисневого датчика за період роботи з 2011 по 2025 рр.

Но20	Hp15.4	DelH	MidT	MidS	MidP	N	NumB
96.5	93.8	2.7	8.782	20.032	15.454	34	3902004
69.9	68.5	1.4	8.699	20.001	15.439	84	3902005
94.7	99	-4.3	8.244	19.715	15.27	147	6900804
89.9	85.5	4.5	8.508	20.023	15.479	485	6900807
78.5	80.1	-1.6	8.489	19.79	15.3	272	6901866
89.1	92.3	-3.2	8.405	19.783	15.304	250	6901895
78.8	81.5	-2.7	8.206	19.786	15.33	78	6901896
90.4	89.5	0.9	8.586	19.941	15.406	247	6903240
92.9	94.3	-1.4	8.669	19.908	15.37	24	6903867
90.7	84.6	6.1	8.947	20.194	15.559	30	6990663
68.6	72.9	-4.3	8.351	19.701	15.246	257	7900591
101.4	99.1	2.4	8.278	19.94	15.442	43	7900592
98.4	102.6	-4.3	8.301	19.735	15.279	52	7900593
68	64.9	3.1	8.737	20.102	15.513	112	7900596
101.1	95.1	6	8.996	20.198	15.556	37	7902191
80.3	79.9	0.4	9.036	20.037	15.425	8	7902193
Середні значення						Σ	
86.8	86.5	0.4	8.577	19.93	15.398	2160	

де:

- DelH - різниця глибин шарів (м). де кисень дорівнює 20 $\mu\text{моль/kg}$ і умовна густина складає 15,40 у.о.;
- Но=20 - глибина шару (м), де розчинений кисень складає 20 $\mu\text{моль/kg}$
- Нр - глибина шару(м), де умовна густина складає 15,40 у.о.;
- MidT - середнє значення температури шару води із вмістом розчиненого кисню 20 $\mu\text{моль/kg}$;
- MidS - середнє значення солоності шару води із вмістом розчиненого кисню 20 $\mu\text{моль/kg}$;
- MidP - середнє значення умовної густини води, де вміст розчиненого кисню складає 20 $\mu\text{моль/kg}$;
- N - кількість зондувань буя;
- NumB - номер буя.

У нижньому рядку таблиці середні значення величин і сумарна кількість оброблених станцій

Таблиця 5.6 Характеристики шару залягання нижньої межі кисневого шару Чорного моря за даними зондувань трьох буїв-профілометрів Argo, які працювали протягом 2025 р.

Буй № 6990663

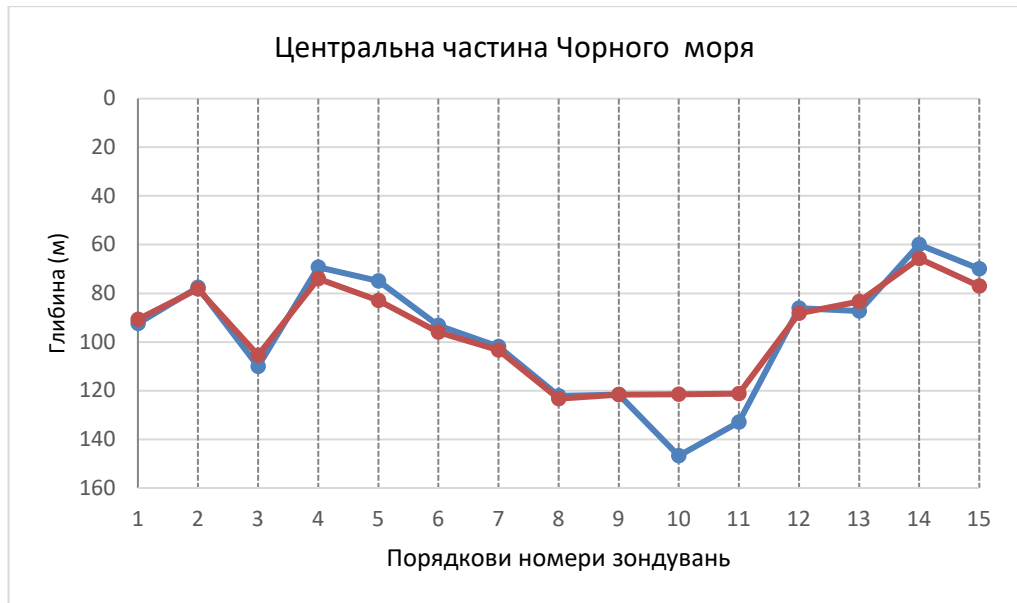
Longitude	Latitude	H_20	H_15.4	DH	Tem20	Sal20	Rsto20	NST	GGMMDD
30.35538	41.7691	92.3	79	13.3	8.962	20.32	15.655	12	20250108
30.648	41.76885	77.6	72	5.6	8.949	20.258	15.609	13	20250118
30.86215	41.82348	110.1	100	10.2	9.158	20.598	15.847	14	20250128
31.153	41.8319	69.3	67	2.3	8.94	20.124	15.505	15	20250208
31.678	41.89658	75	73	2	8.929	20.072	15.466	16	20250218
32.264	41.98729	93.3	88	5.3	8.949	20.161	15.533	17	20250228
32.961	42.21774	102	94	8	8.983	20.229	15.582	18	20250310
33.704	42.38928	122.1	113	9.1	8.978	20.259	15.606	19	20250320
34.337	42.40753	121.7	111	10.7	8.978	20.302	15.639	20	20250331
34.781	42.53828	132.9	109	23.9	9.005	20.507	15.796	22	20250420
34.755	42.82387	86.1	81	5.1	8.988	20.175	15.539	23	20250430
34.689	43.29593	87.3	77	10.3	8.973	20.476	15.776	24	20250610
34.168	43.52507	60	60	0	9.061	20.035	15.421	27	20250721
34.101	43.48483	69.9	69	0.9	9.08	20.047	15.427	29	20250810
Середнє значення		92.8	85.2	7.6	8.995	20.255	15.6		

Буй № 7902191

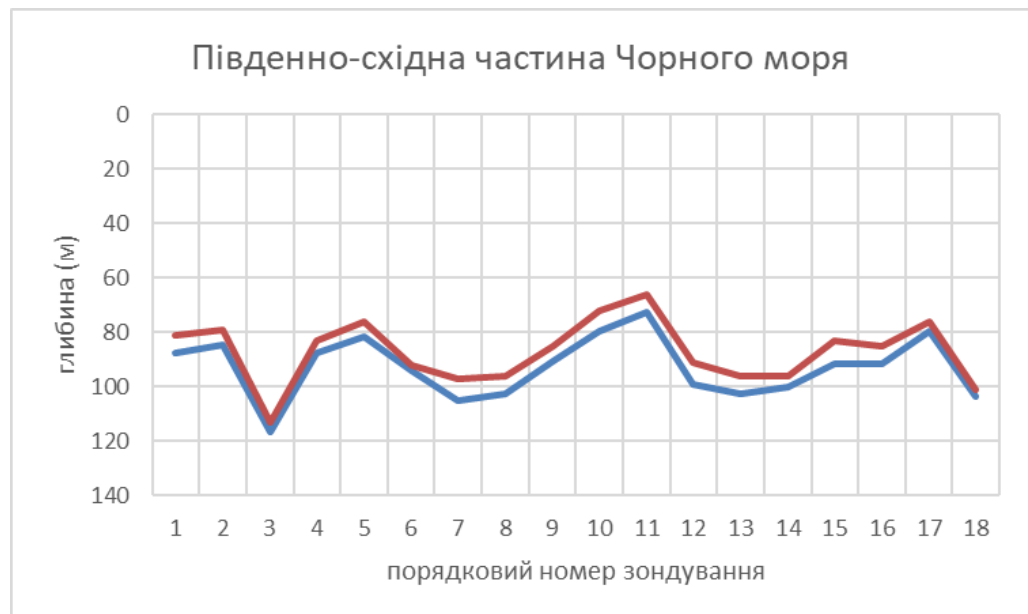
Longitude	Latitude	H_20	H_15.4	DH	Tem20	Sal20	Rsto20	NST	GGMMDD
40.47083	42.6676	87.3	81	6.4	9.058	20.24	15.581	12	20250102
40.51833	42.66756	84.6	79	5.6	9.089	20.165	15.518	13	20250112
40.44312	42.69122	116.6	113	3.6	9.066	20.183	15.535	14	20250122
40.30777	42.65685	87.3	83	4.3	9.073	20.128	15.492	15	20250201
40.2095	42.7047	81.6	76	5.6	8.998	20.206	15.562	16	20250212
40.06438	42.86685	94.1	92	2.1	9.064	20.102	15.472	17	20250222
40.054	42.9764	104.8	97	7.8	9.021	20.263	15.603	18	20250304
39.998	43.00875	102.5	96	6.5	9.073	20.207	15.553	19	20250314
39.982	42.97021	90.5	85	5.5	9.06	20.225	15.569	20	20250325
39.936	42.90075	79.6	72	7.6	9.033	20.249	15.591	21	20250404
39.943	42.9273	72.6	66	6.6	9.056	20.203	15.552	22	20250414
39.98	43.00357	98.9	91	7.9	9.064	20.255	15.592	23	20250424
39.995	42.96318	102.5	96	6.5	9.056	20.261	15.598	24	20250504
39.966	42.94615	100.2	96	4.2	9.029	20.25	15.592	25	20250515
39.973	42.84465	91.3	83	8.3	9.06	20.195	15.546	26	20250525
40.107	42.79172	91.3	85	6.3	8.997	20.25	15.597	27	20250604
40.31	42.72271	79.4	76	3.4	9.013	20.103	15.48	31	20250725
40.548	42.58846	103.4	101	2.4	9.022	20.124	15.495	32	20250804
Середнє значення		92.7	87.1	5.6	9.046	20.201	15.552		

Буй № 7902193

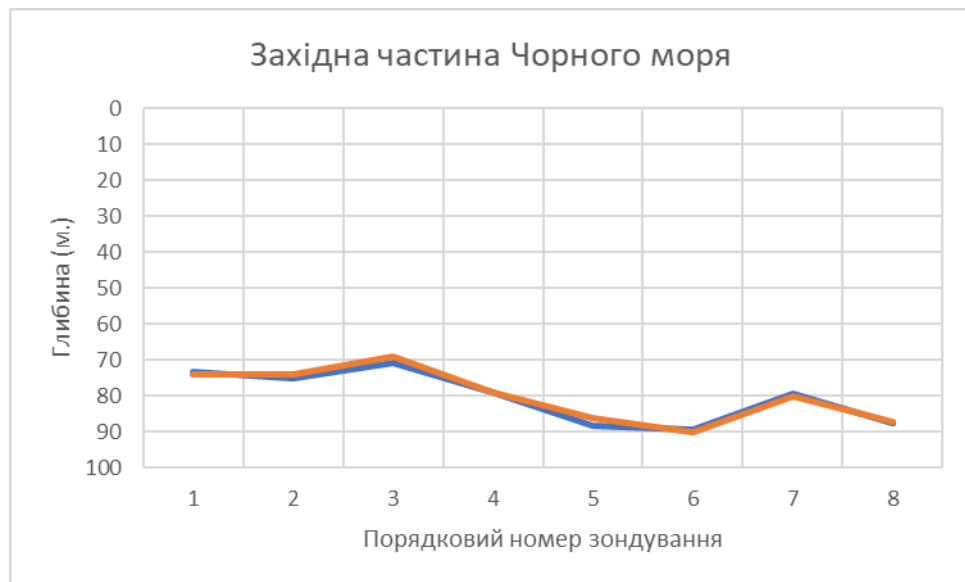
Longitude	Latitude	H_20	H_15.4	DH	Tem20	Sal20	Rsto20	NST	GGMMDD
29.8767	43.14503	73.3	74	-0.7	9.048	20.011	15.404	2	20250912
29.60265	43.14953	75.1	74	1.1	9.038	20.047	15.433	3	20250922
29.18263	43.02332	70.6	69	1.6	9.036	20.074	15.455	4	20251002
29.03578	42.76577	79	79	0	9.014	20.043	15.433	5	20251012
28.98087	42.44563	88.1	86	2.1	9.025	20.059	15.444	6	20251021
28.991	42.25125	89.4	90	-0.6	9.036	20.015	15.408	7	20251031
29.054	42.18357	79.4	80	-0.6	9.049	20.018	15.409	8	20251110
29.226	42.10513	87.5	87	0.5	9.045	20.026	15.416	9	20251120
Середнє значення		80.3	79.9	0.4	9.036	20.037	15.425		



а) Буй № 6990663



б) Буй № 7903191



в) Буй № 7903193

Рисунок 5.7 – Розподіл глибин залягання зон: зі значеннями умовної густини морської води 15,54 у.о. (червоний); з вмістом розчиненого кисню 20 µмоль/кг (синій). Дані буїв № 6990663 (а), 7903191 (б) та 7903193 9 (в), які працювали у 2025 році

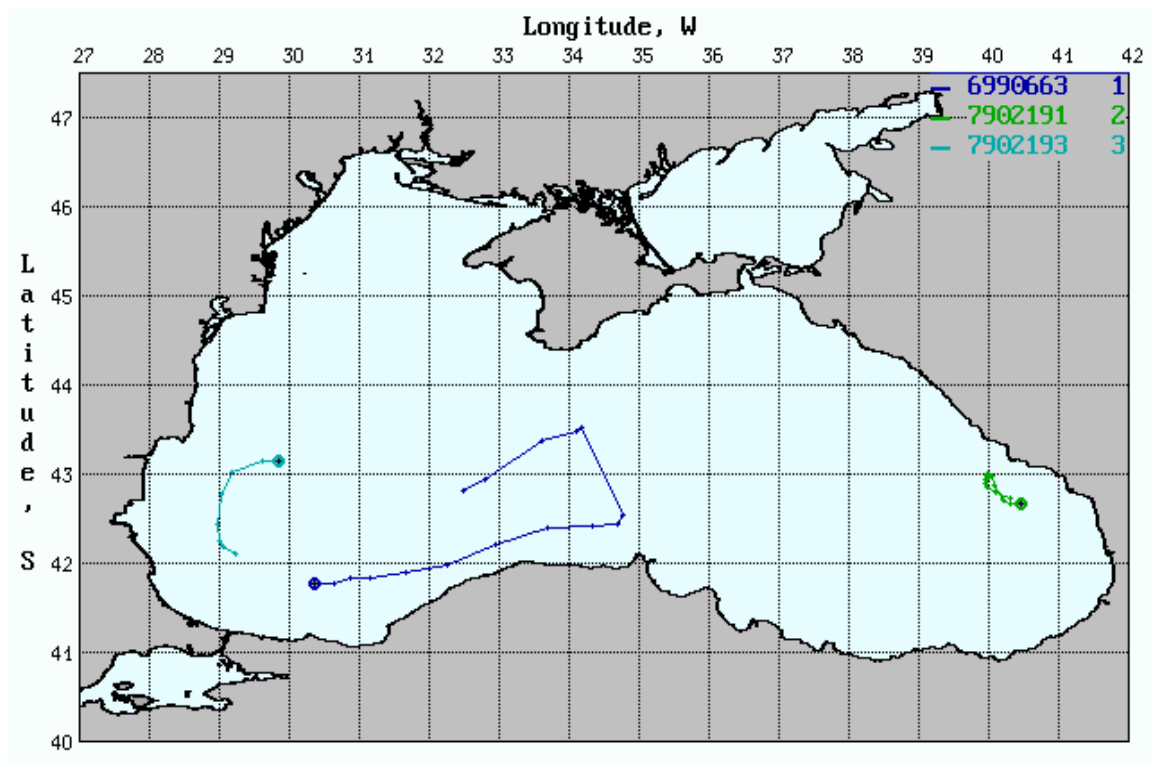


Рисунок 5.8 – Траєкторії буїв з датчиками кисню, які працювали у Чорному морі протягом 2025 року

Просторово тимчасові коливання обраних океанографічних параметрів відбувалося практично синхронно (рис.5.7). На мінливість глибин залягання океанографічних поверхонь у морі вирішальний вплив надають гідродинамічні процеси та їх особливості [10]. У [11] показано що, товщина субкисневої зони може змінюватися від 13 до 80 м, зменшуючись в районах знаходження локальних антициклональних структур. Загалом її середнє значення складає 46 метрів.

ВИСНОВКИ

Мінливість деяких гідрометеорологічних параметрів в північно-західній частині Чорного моря у 2025 році виходили за межі кліматичних норм.

У першій чверті поточного XXI століття температура повітря продовжувала більш-менш рівномірно підвищуватися із середньою швидкістю $0,84^{\circ}\text{C}/10\text{рік}$. 2025 рік, із середньорічною температурою повітря $12,9^{\circ}\text{C}$, знаходиться на п'ятому місці серед п'яти рекордних років. Очолює список нині рекордний 2024 рік з температурою $13,8^{\circ}\text{C}$. В аналогічному списку за температурою морської води 2025 рік з температурою $12,42^{\circ}\text{C}$ зайняв 12-е місце. На першому місці 2024 рік з температурою $14,49^{\circ}\text{C}$ (норма $12,0^{\circ}\text{C}$). Швидкість підвищення температури води відбувається вдвічі повільніше температури повітря і становить $0,43^{\circ}\text{C}/10\text{рік}$.

Починаючи з травня 2024 року та по грудень 2025 року нами спостерігається підвищення середньомісячних значень солоності морської води в Одеській затоці до величин близьких до середньомісячних норм, а іноді й перевищуючи їх.

Середньорічна солоність морської води 2025 року в Одеській затоці склала $13,18\text{опс}$. (норма $14,01\text{опс}$.)

Влітку 2025 року в районі узбережжя Одеси було зафіксовано три випадки помітних апвелінгів. Найзначніший їх спостерігався з 18.08 по 31.08 коли температура морської води знизилася на $11,4^{\circ}\text{C}$. рівень на 21 см солоність підвищилася на $2,04\text{опс}$. З трьох літніх місяців 2025 року сумарний період дії апвелінгів у районі одеського узбережжя тривав близько місяця.

На загальному тлі підвищення кількості атмосферних опадів у XXI столітті зі швидкістю близько 1 мм на рік, сума опадів у 2025 року була на 22% менше нині чинної норми.

Середнє значення витрат вод Дунаю за останні п'ять років склало

176,0 км³ рік⁻¹. що набагато менше поточної норми 203,2 км³ рік⁻¹.

За даними 14-ти буїв «Argo», що працювали в Чорному морі у 2025 році, глибини залягання основних гідрологічних структур перебували в межах кліматичних коливань. Залежно від гідродинамічних умов району нижня межа кисневої зони коливалася від 60м до 140 м. Формування вод ХПШ було активовано на завершення зими – у лютому-березні, середня температура вод ХПШ склала величину 8,57°C. Середня глибина залягання – 57,5 метрів. Середня солоність у ядрі – 19,09 опс. У результаті кліматичних змін характеристики ХПШ змінюються внаслідок двох основних причин. По-перше, на умови формування та характеристики ХПС впливає змінна інтенсивність конвекційного перемішування та стоку рік. По-друге, важливу роль відіграє мінливість вертикальної структури вод, що піддаються трансформації, і насамперед кліматичні тенденції вертикальної стратифікації. Спостерігається зростання температури проміжних вод до значень ядра більш ніж 8°C. Тому загальноприйнятий критерій виділення кордонів ХПШ (за ізотермою 8°C) стає незастосовним. Ядро ХПШ можна виділяти за мінімумом температури у проміжному шарі, а його межі – за градієнтним критерієм. При продовженні настільки вираженого кліматичного переходу (потепління клімату) на нашій планеті, ХПШ у Чорному морі епізодично зникатиме. За супутниковими даними для поверхневого шару морської води всієї акваторії Чорного моря за період 2003-2025 рр. характерні наступні тенденції для сезонів: зима, літо та весна. Розподіл температури поверхні та солоності води носить додатний характер. Для осені – від'ємний. Розподіл вмісту кисню для всіх сезонів від'ємний. Таким чином, зростання ТПМ викликало зменшення рівня кисню для акваторії Чорного моря. Для всіх сезонів температура та солоність верхнього шару води, порівняно з кліматичними значеннями, зросла для всієї акваторії Чорного моря.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Tityarkin A. Method of a Point Localization in a Polygon in Relation to Ecological and Geographical Problems. – [URL:https://ceur-ws.org/Vol-3126/paper22.pdf](https://ceur-ws.org/Vol-3126/paper22.pdf).
2. Лоція Чорного та Азовського морів на води України. – Київ. 2004. – Міністерство транспорту України державний департамент морського і річкового транспорту державна установа «Держгідрографія».
3. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология / Отв. ред. Ю.П. Зайцев. Б.Г. Александров. Г.Г. Миничева–Киев: Наукова думка. 2006– 703с.
4. Океанографічний Атлас Чорного та Азовського морів. / Еремеев В.М. – Київ: ДУ «Держгідрографія». 2009. – 365 с.
5. Овчинников И.М., Попов Ю.И. Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море // Океанология. -1987. - 27. №5. С.739-746
6. Гертман И.Ф. Статистический термохалинный анализ вод Черного моря в сезонном развитии // Тр. ГОИН. - 1987. – Вып.180. – С.45-58.
7. Ivanov L.I., E.G. Nikolaenko, E. Ozsoy, S. Besiktepe, E. Demirov and V. Diaconu. Volumetric structure of the Black sea cold intermediate layer. В сб. «Диагноз состояния морской среды Азово-Черноморского бассейна. МГИ. - 1994. С.102-109.
8. Полонский А.Б., Попов Ю.И. Условия формирования вод холодного промежуточного слоя Черного моря// Книжная серия «Современные проблемы океанологии». вып.8.-Севастополь.-МГИ НАН Украина
9. Eremeev V. N., Konovalov S. K. On the budget and the distribution of oxygen and sulphide in the Black Sea water. *Mar.Ecol. J.* 2006. N5. P. 5—30.
10. Р.Р.Белевич, О.Р.Андріанова, М.Скипа. Сезонні зміни положення верхньої межі сірководневої зони Чорного моря у зв'язку з характером розвитку динамічних процесів. Геофізичний журнал. 44 (1). С.145–157. <https://doi.org/10.24028/gzh.v44i1.253716>

11. Ю.І Попов, Ю.М Диханов, В.М. Коморін / Оцінка глибин залягання верхньої межі сірководневої зони Чорного моря за даними буїв 2015-2022 рр. // Морський екологічний журнал. № 1-2. 2022. Doi 10.47143/1684-1557/2022.1-2.6.

Електронні ресурси віддаленого доступу:

1. Сайт НАСА URL:<http://terra.nasa.gov/>
2. Одеський сайт URL:<https://culturemeter.od.ua/3> The electronic report of the MFC state of progress in predictions / simulations/analysis. – Access mode URL:<http://www.bsmfc.net/MyOcean> – Title from screen.
3. An international program that measures water properties across the world's ocean using a fleet of robotic instruments that drift with the ocean currents and move up and down between the surface and amid-water level. – Access mode URL:<https://fleetmonitoring.euro-Argo.eu/dashboard> Title from screen.
4. The Copernicus Marine Service (or Copernicus Marine Environment Monitoring Service) is the marine component of the Copernicus Programme of the European Union. It provides free regular and systematic authoritative information on the state of the Blue (physical), White (sea ice) and Green (biogeochemical) ocean on a global and regional scale. – Access mode URL:https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results Title from screen.
5. The Copernicus Open Access Hub (previously known as Sentinels Scientific DataHub) provides complete free and open access to Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 and Sentinel-5P user products starting from the In-Orbit Commissioning Review (IOCR).– Access mode URL:<https://scihub.copernicus.eu/> Title from screen.
6. Сайт EC URL:<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?X%3A32017D0848> Title from screen.
7. One of the first weather websites in Europe that is updated regularly and offered weather maps based on model data. – Access mode

URL:<https://www.wetterzentrale.de/> Title from screen.

8. URL:<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/13/>

9. URL:<https://wvs.earthdata.nasa.gov/>

10. An international program that measures water properties across the world's ocean using a fleet of robotic instruments that drift with the ocean currents and move up and down between the surface and amid-water level. – Access mode

URL:<https://Argo.ucsd.edu/> – Title from screen.

ПУБЛІКАЦІЇ

1. Тези доповіді на XII Міжнародній антарктичній конференції (Київ. 13-14 травня 2025 р.). автори: Коморін В.М., Диханов Ю.М., Большаков В.М., Попов Ю.І., Тітяпкин А.С.

<http://uac.gov.ua/international-cooperation/mak/xii-international-antarctic-conference-ua/>

2. Тези доповіді на Сьомій Всеукраїнській науково-практичній конференції «Євроінтеграція екологічної політики України» (Одеса. 4-5.11.2025) Коморін В.М., Лепешкин О.В., Олейник Ю.В., Тітяпкин А.С., Диханов Ю.М.

http://liber.onu.edu.ua/pdf/Ukr_env_policy_eurointegration.pdf

ДОДАТОК А

Таблиця А – Реєстр буїв програми Argo, які працювали в Чорному морі у період з 2005 до 2025 рр.

NN /пп	Номера буїв ARGO	Кількість станцій	Дата початку	Дата кінця	Інтервал глибин, м	Верт.. дискр. наб. m	Інтервал глибин.м	Верт .. дискр. наб. м	Інтервал глибин.м	Верт.. дискр. наб. m	Часовий. дискр .. доба	Параметри
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1901200	230	2009-1208	2013-0222	0-700	10	700-2000	50	-	-	5 =	TS
2	1902575	031	2023-1130	2024-09	0-500	2	500-1500	5	-	-	10	1 TS
3	3901852	412	2016-1206	2022-1215	0-100	2	100-700	10	700-2000	25	4	TS
4	3901854	421	2016-1102	2022-0903	0-100	2	100-700	10	700-2000	25	5	TS
5	3901855	411	2016-1022	2022-0605	0-100	2	100-700	10	700-2000	25	5	TS
6	3902004	188	2021-1021	2024-09	0-1500	2	-	-	-	-	5	2-O2
7	3902005	212	2021-1022	2024-09	0-1500	1-2	-	-	-	-	5	3-O2
8	3902006	058	2022-1107	2024-09	0-1500	1-2	-	-	-	-	10	4 TS
9	3902461	030	2023-1214	2024-09	0-500	2	500-1500	5	-	-	10	5 TS
10	4900489	141	2005-0314	2008-0205	0-100	5	100-500	20	500-600-2000	25-50	7 =	TS
11	4900540	174	2005-0314	2008-1002	0-100	5	100-300	10	300-600-2000	25-50	7 =	TS

12	4900541	126	2006-0718	2009-0301	0-360	10	350-400	20	400-2000	50	7 =	TS
13	4900542	164	2006-0718	2009-1223	0-350	10	350-400	20	400-2000	50	7 =	TS
14	4903711	046	2023-0511	2024-09	0-300	1-2	300-1500	10			10	6 H2S
15	5902291	024	2010-0417	2010-0603	0-300	10	300-2000	100	-	-	2 =	TS
16	5906866	067	2022-1103	2024-09	0-100	1	100-500	2	500-2000	5	10	7 TS
17	6900803	145	2011-0319	2013-0701	0-200	5	200-360	10	360-700-2000	50-100	5 =	TS
18	6900804	166	2011-0319	2013-0701	0-200	5	200-360	10	360-500-2000	50-100	5 =	TSO2
19	6900805	364	2011-0319	2016-1112	0-200	5	200-360	10	360-500-700	20-50	5 =	TS
20	6900807	516	2014-1128	2018-0908	0-200	0.15	200-400	2.2	400-1000	5	4 =1ч	TSO2
21	6901828	065	2013-0930	2014-0818	0-100	5	100-760	10	760-2000	50	5 =	TS
22	6901831	387	2014-0718	2019-1121	0-200	5	200-700	10	700-2000	50	5	TS
23	6901832	404	2014-0912	2020-0316	0-200	5	200-700	10	700-2000	50	5	TS
24	6901833	339	2016-0602	2021-0114	0-200	5	200-700	10	700-1000	50	5	TS
25	6901834	393	2015-1125	2021-0404	0-200	5	200-700	10	700-800	50	5	TS
26	6901866	288	2015-0527	2019-0707	0-200	0.15	200-400	2	400-1000	5	5	TSOH ₂ S

Продовження таблиці А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	6901895	256	2013-0802	2017-0126	0-200	2	200-500	25	500-720	50	5 =	TSO ₂
28	6901896	087	2013-0804	2014-1005	0-200	2.5	200-500	25	500-720	50	5 =	TSO ₂
29	6901899	040	2014-0502	2014-1110	0-500	5	500-1000	25	-	-	5	TS
30	6901900	164	2014-0502	2016-0722	0-500	5	500-1000	25	-	-	5	TS
31	6901959	211	2012-0608	2015-0421	0-100	5	100-750	10	750-1450	50	5 =	TS
32	6901960	026	2012-0609	2012-1009	0-100	5	100-750	10	750-1450	50	5 =	TS
33	6901961	209	2012-1106	2015-0919	0-750	10	750-1450	50	-	-	5 =	TS
34	6901962	214	2012-0817	2015-0720	0-750	10	750-1450	50	-	-	5 =	TS
35	6903228	012	2017-1020	2018-0212	0-100	2	100-700	10	700-1500	25	5	TS
36	6903240	331	2018-0406	2022-0713	0-350	1	350-1000	10	-	-	5 =1ч	TSOH ₂ S
37	6903271	387	2019-1001	2024-0815	0-100	1-2	100-700	10	700-1500	20	5	TS
38	6903298	4	2023-1114	2023-1128							5	TS
39	6903766	322	2019-1202	2024-0818	0-500	2	500-1000	15	1000-1500	25	5	TS
40	6903782	252	2020-0723	2024-0217	0-100	2	100-700	10	700-1500	25	5	TS
41	6903865	068	2020-0804	2021-0114	0-100	1	100-500	2	500-1500	5		
42	6903866	225	2020-	2024	0-100	1	100-500	2	500-1500	5	10	TS

			1122									
43	6903867	225	2020-1117	2024	0-100	1	100-500	2	500-1500	5	5	TSO
44	6990663	006	2024-0716	2024								TSO
45	7900465	128	2009-0606	2012-0307	0-300	2	300-500	20	-	-	5	TS
46	7900466	178	2009-0606	2012-1127	0-500	2	-	-	-	-	5	TS
47	7900590	134	2013-0829	2015-0702	0-200	10	200-2000	25	-	-	5 =	TS
48	7900591	261	2013-1216	2020-0220	0-1000	1	-	-	-	-	5 =1ч	TSO ₂
49	7900592	076	2013-1215	2014-1015	0-990	1	-	-	-	-	1 =	TSO ₂
50	7900593	059	2014-0629	2015-0415	0-100	2	100-999	10	999-2000	50	5	TSO ₂
51	7900594	140	2015-0707	2017-0602	0-200	1	200-700	10	700-2000	50	5	TS
52	7900595	186	2019-0810	2024-0922	0-200	10	200-1500	25	-	-	10	TS
53	7900596	125	2019-1206	2023-0410	0-200	10	200-1500	25	-	-	10	TSO ₂
54	7901065	052	2023-0515	2024	0-500	2	500-700	5	700-1000	10	10	H2S
55	7902191	011	2024-0620	2024	0-500	2						TSO2