



ОЦІНКА ГЛИБИН ЗАЛЯГАННЯ ВЕРХНЬОЇ МЕЖІ СІРКОВОДНЕВОЇ ЗОНИ ЧОРНОГО МОРЯ ЗА ДАНИМИ БУЇВ 2015-2022 рр.

Попов Ю.І. – к. геогр.н., с.н.с.

Наукова дослідна установа «Український науковий центр екології моря»

Диханов Ю.М. – н.с.

Наукова дослідна установа «Український науковий центр екології моря»

Коморін В.М. – к. геогр.н., с.н.с.

Наукова дослідна установа «Український науковий центр екології моря», vkomorin@gmail.com

Біоценози Чорного моря є одними з найбільш вразливих природних систем Землі. Біля 87 % об'єму Чорного моря займає сірководнева зона. Екосистеми тонкого прошарку верхньої кисневої зони є вкрай чутливими як до антропогенного впливу, так і до впливу природних факторів, інтенсифікація яких спостерігається останнім часом із-за стрімкої глобальної зміни клімату.

Метою роботи є оцінка глибини прояву, просторового розподілу та мінливості верхньої межі сірководневої зони Чорного моря за даними буїв АРГО.

У статті використано гідрофізичну та гідрохімічну інформацію, отриману з бази океанографічних даних проекту АРГО у Чорному морі за період з березня 2015 року до березня 2022 року, а саме: температура, солоність, розчинений кисень та сірководень. Всього розглянуто 591 масивів зондування. Виконано критичний аналіз якості відібраної інформації. Виконано коригування профільних даних. При обробці матеріалу застосовувалися метод оптимальної інтерполяції, графічний та статистичний аналіз. Використовувалися оригінальні програми Українського наукового центру екології моря (УкрНЦЕМ). За результатами роботи зроблено висновки, що верхня межа анаеробної зони Чорного моря в районах дрейфу буїв була розташована на глибинах 100–180 м. Розбіжність у показаннях визначення меж за двома незалежними критеріями: глибині розташування водного масиву з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та глибині розташування ізоповерхні умовної щільності 16,18, що в середньому коливалася в межах ± 7 м. На окремих ділянках відзначені значні коливання верхньої межі залягання анаеробної зони, викликані впливом локальних гідродинамічних вихорів, або виносів інтрузивних вод із протоки Босфор. Показано просторово-часову мінливість субкисневого шару, в районах дрейфу буїв-профілометрів, а також ділянки, де цей шар має мінімальну та максимальну потужність

Ключові слова: сірководень, Чорне море, буї АРГО.

Вступ

Чорне море є найбільшою меромікничною водоймою на планеті. Його унікальною характерною особливістю є наявність відносно тонкого поверхневого шару аеробних вод і потужної сірководневої зони, яка розташована починаючи з глибин 70–160 м до дна і охоплює близько 87 % об'єму моря (Скопинцев 1975).

Біологічні угруповання тонкого прошарку верхньої кисневої зони є вкрай чутливими як до антропогенного впливу, так і до впливу природних факторів, пов'язаних, в першу чергу, з глобальними змінами клімату.

Просторово-часові зміни положення анаеробних вод представляють не тільки науковий, але і практичний інтерес, починаючи ще з 80-х років ХХ ст., коли вийшли публікації про зміну глибини верхньої межі сірководневої зони і припущень про

можливість швидкого проникнення анаеробних вод в аеробний шар і в атмосферу (Murray et al. 1989).

Досі триває дискусія, що і як впливає на глибину залягання верхньої межі сірководневої зони (ВМСЗ). Антропогенні чинники чи природні є найбільш впливовими. Потепління клімату, зменшення стоку річок, ослаблення вітрового режиму можуть спричинити повільний підйом глибинних вод і, відповідно, сірководневої зони.

Метою роботи є оцінка просторово-часової мінливості верхньої межі сірководневої зони Чорного моря за сучасними матеріалами буїв-профілометрів проекту АРГО.

Матеріали та методи досліджень

Порівняльні характеристики глибин залягання різних океанографічних параметрів морської води були отримані за даними дрейфуючих буїв АРГО № 6901866 і № 6903240 (<https://argo.ucsd.edu/>),

де крім датчиків температури та солоності води в комплекті був датчик концентрації сірководню. Буй № 6901866 був запущений 27 травня 2015 р., а завершив свою роботу в липні 2019 р. Загалом пройшов 2990 миль та виконав 295 циклів зондування. Буй № 6903240 розпочав роботу 13 березня 2018 р. та продовжує функціонувати по теперішній час (травень 2022 р.). До березня 2022 року пройшов 1129 миль та виконав 296 циклів зондування. Часова дискретність робочих циклів буїв становить 10 та 5 діб, відповідно, максимальна глибина занурення, з якої здійснюється робоче спливання, 1000 м і 600 м (буй № 6901866) та 1000 м (буй № 6903240). У тих випадках, коли дані зондування по сірководню були представлені окремо від даних температури та солоності та з іншою дискретизацією по глибині, проводилася попередня інтерполяція окремо кожного з параметрів та формування їх числових масивів з рівною дискретністю по глибині. Після цього здійснювалось підсумовування даних у єдиний файл. У нашому випадку дискретність становила 1 м до глибин 500 м і дещо більша у нижніх шарах. У деяких випадках з відносно великим кроком вертикальної дискретності вихідних даних для їх інтерполяції використовувався метод оптимальної інтерполяції сплайну або інакше сплайн з натягом (Белкин 1991). Ця методика дає профілі необхідного ступеня згладженості, а самий прямолінійний варіант відповідає рівню лінійної інтерполяції.

Дані вимірювань цих буїв отримані з архіву IFREMER (URL: ftp://ftp.ifremer.fr/). Первинне коригування профільних даних виконується затвердженим Міжурядовою океанографічною комісією регіональним фахівцем і для основних термохалінних даних найчастіше полягає в плоско-паралельному зсуві вертикальних профілів на величину відхилення глибинних показань від кліматичних значень. Однак, як показали наші дослідження за матеріалами спостережень буїв АРГО, далеко не всі суттєві похибки виявляються фахівцем, тому використання цих даних вимагає ретельного контролю з обов'язковою візуалізацією, а можливо і редагуванням кожного профілю до початку проведення аналітичної обробки.

Результати та обговорення

Просторово-часова мінливість розташування верхньої межі анаеробної зони визначається в першу чергу синоптичними та сезонними змінами гідрологічної структури вод моря. При вивченні гідрохімічного стану вод Чорного моря використовують структури гідрофізичних характеристик морського середовища. Були зроблені

спроби встановити статистичну залежність між положенням верхньої межі наявності сірководню і нижньою межею холодного проміжного шару (ХПШ) (Брянцев, Фашук, и Айзатулин 1988), але в результаті вони втратили сенс через суттєві кліматичні зміни та зникнення раніше визнаних кордонів ХПШ (8° С).

В деяких наукових роботах (Безбородов 1990; Безбородов, и Єремєєв (1993) показано, що у більшості випадків глибини появи сірководню у водах Чорного моря відповідає величина умовної густини 16,18. Це значення було прийнято нами для подальшого аналізу.

Глибини залягання верхньої межі сірководню (концентрації сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$) та ізопікни 16,18 та різниці глибин їх залягання представлені на рисунку 1 а, б.

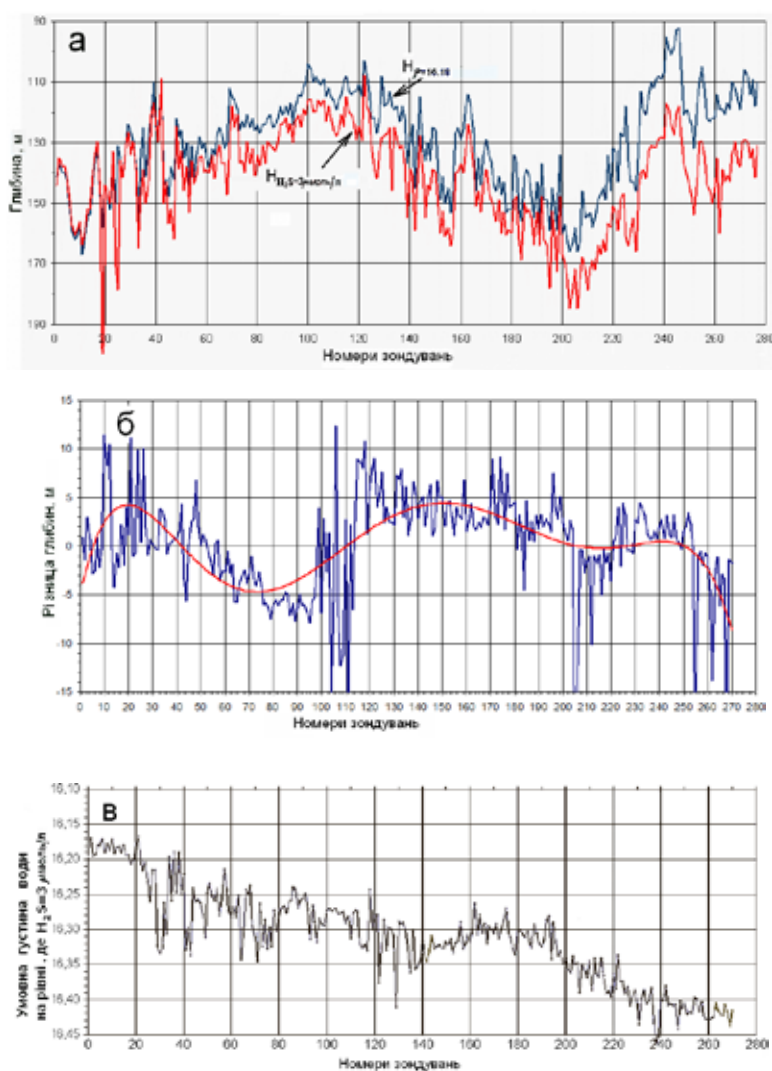


Рис. 1. Просторово-часовий розподіл: а) глибини залягання шару морської води з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18; б) різниці глибин залягання сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18; в) значення умовної густини води на рівні залягання концентрації сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ (за даними буй АРГО № 6903240, 29.03.2018-10.03.2022 р.)

Середнє значення заглиблення ізопікни 16,18 у середньому за чотирирічний період становила величину 127,7 м (рис. 1в). Аналогічна характеристика заглиблення шару з вмістом сірководню на рівні 3 $\mu\text{моль/л}$ склало 141,1 м. Середня різниця цих глибин становила величина 13,4 м. За період своєї роботи скануючий буй проходив області з різною динамічною активністю, зони підйому і опускання вод і умовних кордонів, що розглядаються нами, в діяльному шарі моря (рис. 2).

Обидві межі майже синхронно змінюють своє глибинне місцезнаходження. Буй дуже повільно переміщався протягом усього періоду роботи, перебуваючи переважно в зоні периферійного антициклонічного вихору. Найбільш глибоко умовні кордони опустилися при проведенні зондувань з квітня 2020 р. по кінець червня 2021 р. У цей період буй проходив по північній периферії Батумського антициклонічного вихору і далі по зоні конвергенції, розташованої вздовж південної частини кавказького узбережжя (рис. 2). У липні 2021 р. буй був захоплений невеликим антициклонічним вихором і протягом майже 8 місяців, тобто по березень 2022 р., утримувався у сфері його впливу. Дивно те, що вихор був тривалий період практично стаціонарним і не інтенсивним, бо викликав лише незначне опускання вод (рис. 1а, 2).

Однак у характері змін глибин простежується інший цікавий факт – збільшення різниці в глибинах залягання позначок меж практично від 0 до величини 25–30 м (рис. 1б). Багато що пояснюється, коли

стає відомим факт поступового в часі підвищення умовної щільності води на рівні вмісту сірководню в 3 $\mu\text{моль/л}$ від $\sim 16,18$ на початку вимірювань до $\sim 16,42$ наприкінці (рис. 1в). Цей факт може свідчити про процес 4-річного опускання верхньої межі шару сірководневого зараження на 13,4 м, що мало ймовірно, або про помилку, що стабільно накопичується в роботі одного з датчиків приладу.

Для перевірки роботи датчиків температури та солоності води були побудовані часові розгортки мінливості цих параметрів на багатьох глибинних горизонтах, одна з яких, на горизонті 500 м, наведена на рисунку 3.

Температура, солоність та тиск є єдиними параметрами, які беруть участь у формуванні щільності води і можуть бути причетні до наявності раніше виявленого факту.

На початкових етапах робіт були присутні два періоди істотних коливань температури, але з 90-х циклів вимірювань робота датчика стабілізувалася і до березня 2022 р. температура коливалася в межах $\pm 0,02^\circ\text{C}$ щодо середнього рівня в $8,9^\circ\text{C}$. Кліматичні значення температури води на цьому горизонті становлять $\sim 8,88\text{--}8,91^\circ\text{C}$, а при реальних вимірах і попаданні вимірювальної системи в інтенсивні антициклонічні вихори температура води може досягати значення 9°C і навіть більше.

Інакше поводить себе датчик електропровідності (солоності). Протягом перших 80-ти циклів вимірювань прилад показував значення солоності, яка відповідала кліматичній нормі 22,03–22,07 осп.

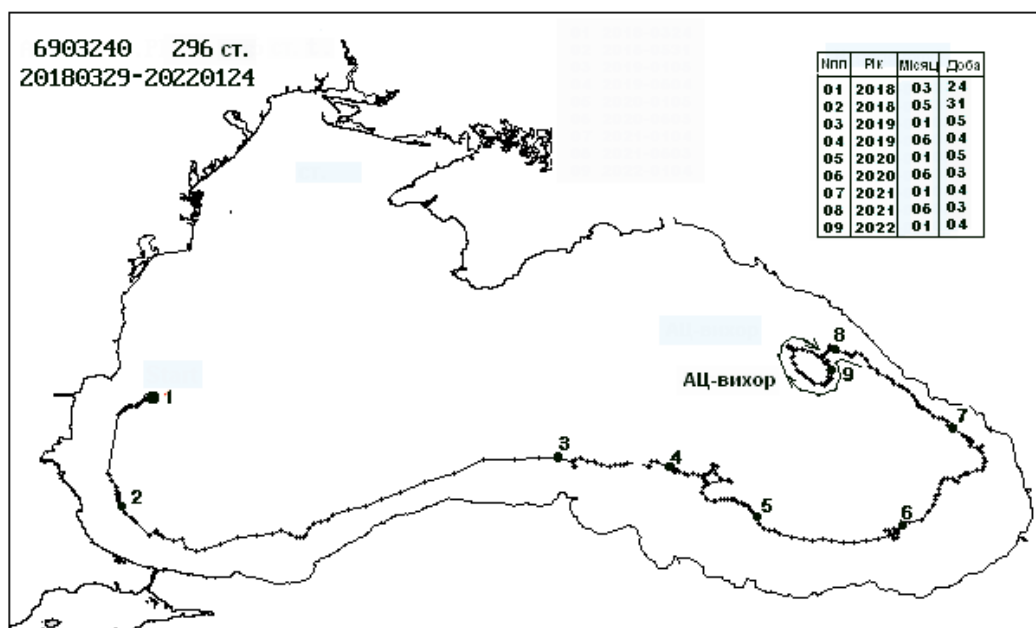


Рис. 2. Траєкторія руху буя АРГО № 6903240 у період з 18.03.2018 р. по 10.03.2022 р. (номери та дати окремих спливань вказані в таблиці на рисунку)

До 115 циклу вимірювань солоність злегка підвищувалася, а згодом, аж до 220 циклу, була стабільна на рівні 22,08–22,12 опс. Далі, протягом місяця, сталося раптове падіння значень солоності до попереднього рівня і почався процес активного підвищення солоності. До кінця аналізованого нами терміну (приблизно через рік) солоність досягла величини 22,24 опс, що нереально вище за кліматичну норму для горизонту 500 м.

Таким чином, фактором, що негативно вплинув на результати визначення верхньої анаеробної межі водного шару за показниками датчика щільності буя-профілометра АРГО № 6903240, виявилася солоність води. Чотирирічні термохалінні дані цього буя не можуть бути використані як предиктори при визначенні горизонтальних меж аеробної та анаеробної зон.

Перекалібрувати якийсь із датчиків працюючого в морі буя неможливо; звичайне плоско-паралельне зміщення всього профілю солоності до кліматичних значень глибинного шару (500–2000 м) покращить показання в цьому шарі, але не може дати достовірних результатів у мінливому діяльному шарі.

Розглянемо аналогічні матеріали спостережень іншого буя АРГО № 061866, який також оснащений датчиком сірководню. Робочий цикл буя становив трохи більше 4-х років. За час свого функціонування він виконав півтора обороту навколо західного великомасштабного циклонічного круговороту і один раз обійшов по всій периферійній зоні Чорного моря, при цьому істотно не віддаляючись в його південно-східний сектор (рис. 5).

Часовий розподіл глибин залягання водних шарів з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ і з ізо-

пікною 16,18 представлена на рисунку 4а. На відміну від даних буя № 6903240 глибини залягання двох поверхонь дуже синхронно змінювалися протягом 4-річного періоду роботи буя та мали невеликі розбіжності значень різних знаків до 5–10 м в окремі нетривалі періоди часу (рис. 4б).

Осереднені за весь період оцінки глибин занурення водного шару з вмістом сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ і шару розташування ізопікни 16,18 склали 125 м та 124,7 м відповідно. Різниця становила 0,3 м. Лінійний коефіцієнт кореляції рядів становив 0,965.

Найбільш суттєві і переважно негативні відхилення у різниці глибин із величиною до 10–15 м мали місце у областях заглиблення меж шарів, тобто у антициклонічних зонах. Більш детальний сумісний аналіз отриманих профілів показав, що основна маса неузгодженості глибин пов'язана, перш за все, з ситуаціями, коли буй потрапляв у зону впливу вод з порушеними термічними і сірководневими характеристиками. Це зона присутності відносно недавно виявлених вод з протоки Босфор, генерованих, в основному, в період дії дуже сильних південних вітрів (явище «Оркоз»), що замикають і навіть реверсують південний потік чорноморських вод на північ і створюють умови активізації перемішування у протоці поверхневих та придонних вод з абсолютно різними характеристиками. Виходячи в Чорне море в проміжних шарах 100–600 м, інтрузії більш теплих, більш насичених киснем і трохи ослонених вод порушують відносно стійку вертикальну структуру вод, у тому числі позначаються на вертикальному розподілі сірководню. На думку деяких науковців (Falina et al. 2017) ці інтрузії "про-

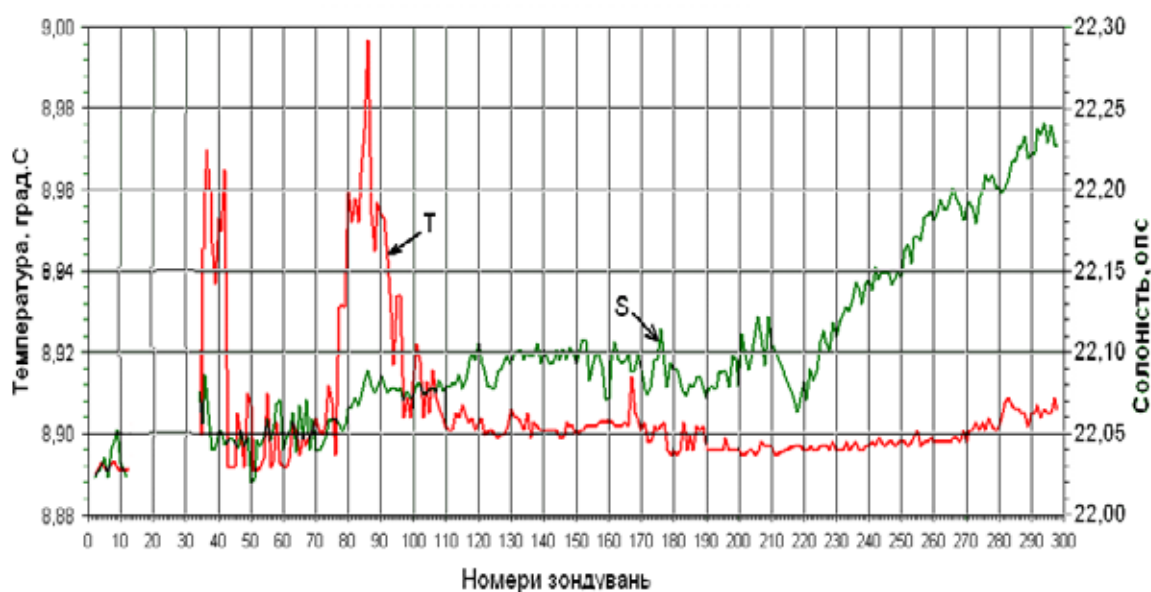


Рис. 3. Просторово-часова мінливість температури та солоності води на горизонті 500 м (за даними буя АРГО № 6903240, 29.03.2018–10.03.2022 р.)

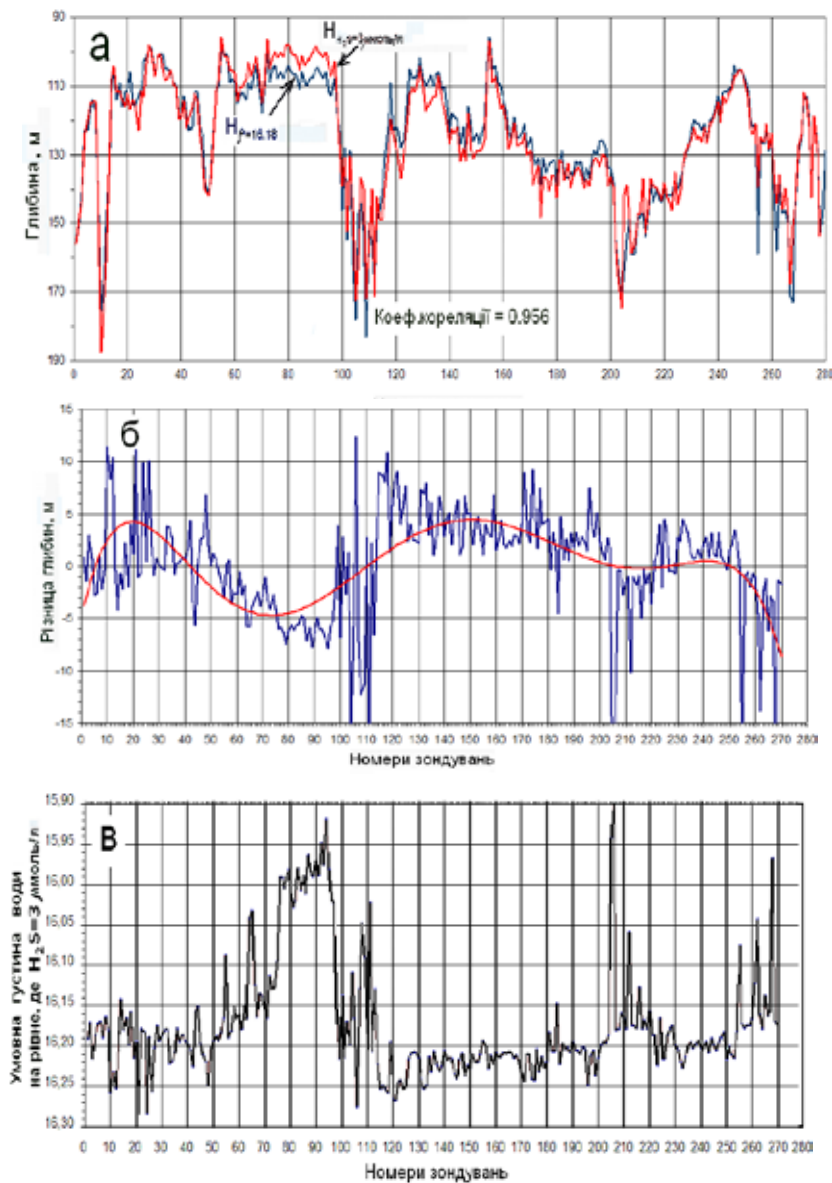


Рис. 4. Просторово-часовий розподіл: а) глибини залягання шару морської води з концентрацією сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18; б) різниці глибин залягання сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ та ізопікни 16,18; в) значення умовної густини води на рівні залягання концентрації сірководню 3 $\mu\text{моль/л}$ (за даними буя АРГО № 6901866, 27.05.2015-07.07.2019 р.)

вітряють" водний стовп на проміжних глибинах і стримують висхідний потік сірководню з глибших шарів. Є і інші науковці (Konovalov et al. 2006), які теж припускають що окисно-відновний баланс і біогеохімічна структура безкисневої зони сильно залежать від обміну між Чорним морем і протокою Босфор, який, мабуть, є основною причиною існування субкисневої зони, а епізодичне поширення інтрузій середземноморської води є стримуючим фактором підйому вгору потоків сірководню із глибинної аноксіїної області.

до анаеробних. За нижню межу аеробних вод ми вибрали нижню межу окисиліну з концентрацією кисню 20 $\mu\text{моль/л}$, при якій значно падає активність аеробного життя.

На рисунку 7 показаний графік просторово-часової мінливості цього параметра, суміщений з положенням ВМСЗ.

Візуальний аналіз графіків показує їхню синхронну мінливість за винятком деяких фрагментів. Вертикальні коливання нижнього "кисневого" кордону були більш інтенсивні. Стандартне відхилення

Менш значні неузгодженості глибин відзначаються при рідкісних випадках видозміни, як правило, гладкого характеру профілів солоності і, відповідно, щільності в основному галокліні. Відбувається це при наявності різких гідродинамічних зрушень у водній товщі. Така ситуація спостерігалася в період з червня по жовтень 2016 р., коли буй був залучений у дію і довгий час стаціонував у зоні складної динамічної структури – приповерхневого антициклонічного вихору та у зоні підстилаючої циклонічної завихореності (рис. 5, маркери 5–6). Про це свідчать вертикальні профілі температури, солоності та сірководню для даного району (рис. 6). Для периферійної зони вихору вони представлені світлими лініями, для внутрішньої області вихору – темними. Профілі температури та солоності води в ядрі вихору свідчать про опускання на 10–15 м нижньої частини сезонного термокліну і верхньої частини основного галокліну (шар 30–100 м), а профіль солоності в нижній частині основного галокліну істотно піднятий, що підтверджує циклонічний підйом вод на горизонтах 100–400 м. Різностямовані вертикальні рухи в області вихору утворили суттєвий злам профілю сірководню і збільшили різницю у визначенні глибин ВМСЗ за різними критеріями до 5–7 м (рис. 4а, б).

Безумовний інтерес представляє собою просторово-часова мінливість субкисневої зони, перехідної зони від аеробних вод

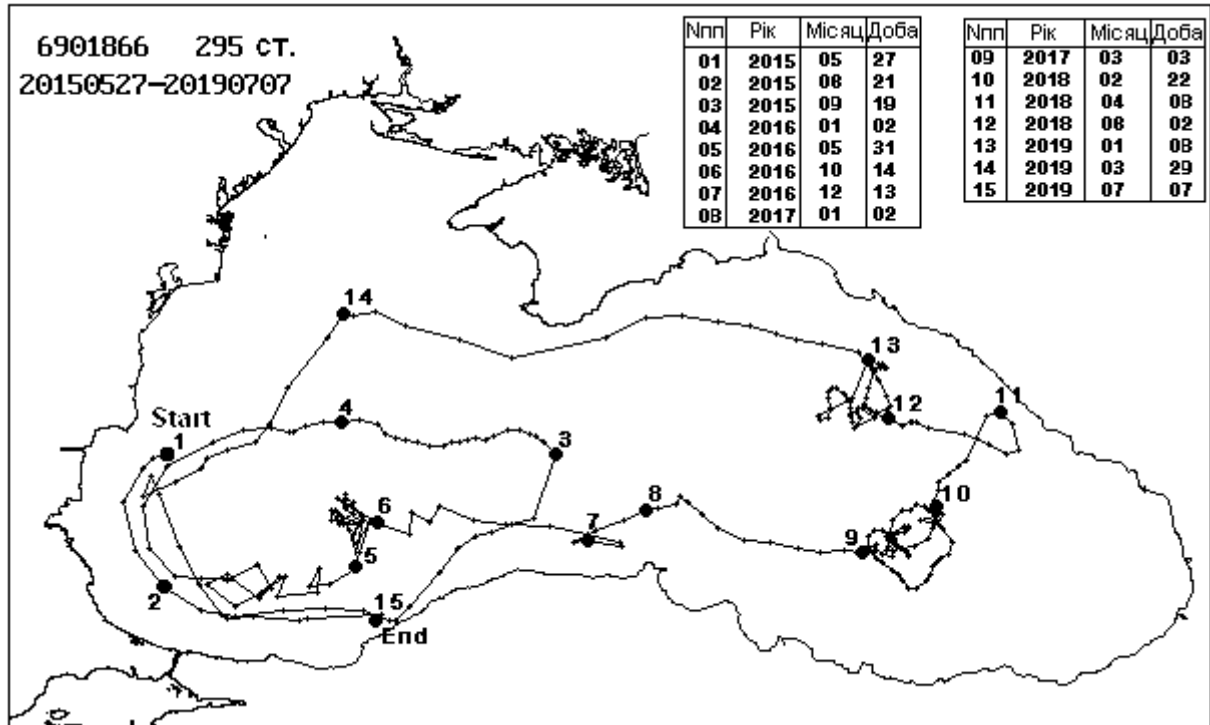


Рис. 5. Траєкторія руху буя АРГО № 6901866 у період з 27.05.2015 р. до 07.07.2019 р. (дати окремих спливань вказані в таблиці на рисунку)

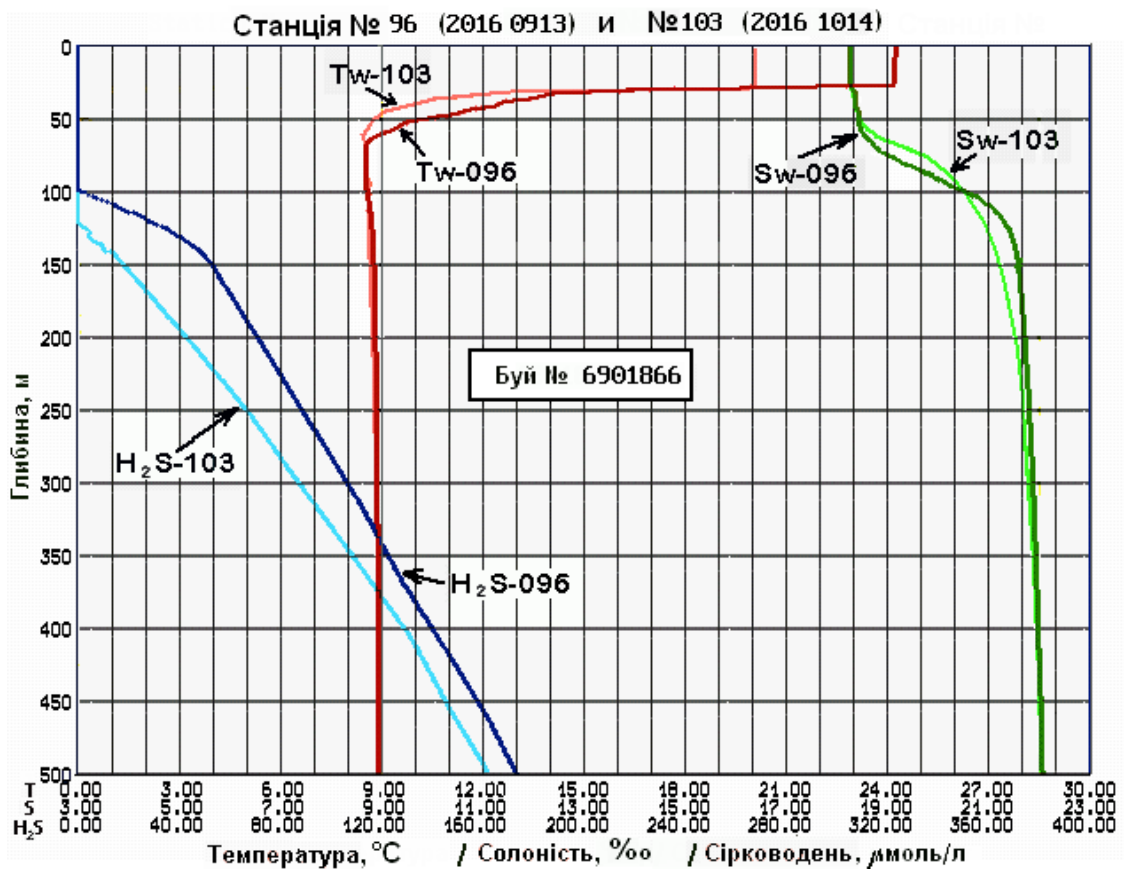


Рис. 6. Вертикальні профілі температури, солоності та концентрацій сірководню на двох станціях: №№ 96 і 103 (за даними буя АРГО № 6901866)

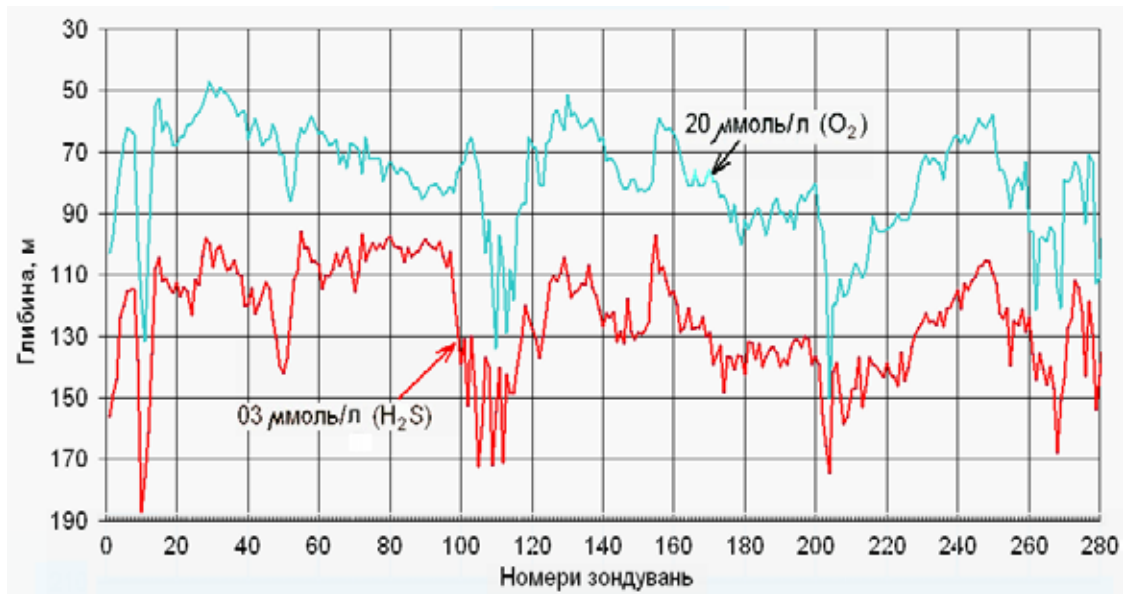


Рис. 7. Просторово-часовий розподіл: глибини залягання шарів води з концентрацією сірководню 3 μмоль/л та концентрацією кисню 20 μмоль/л за даними буя АРГО № 6901866

ряду становило 28 м, у сірководню – 17 м. Коефіцієнт кореляції між рядами глибин залягання параметрів дорівнював 0,76. Мінімальне заглиблення кисневої зони – 47 м, (зондування 32) спостерігалось при перетині західного циклонічного круговороту. Товщина субкисневої зони змінювалася від 13 м до 100 м. Її середнє значення по всьому маршруту буя склало 45 м. Ділянка графіка з підвищеною частотою коливань (зондування 90–110) відображає ситуацію, описану вище, коли буй багаторазово перетинав периферію і центральну область антициклонічної структури. Тут же відзначені мінімальні значення товщини субкисневого шару 14–19 м. Також товщина субкисневого шару зменшувалась в районах знаходження локальних антициклонічних структур біля південного узбережжя до 13,4 м (рис. 5, маркер 7), біля кавказького узбережжя до 19,8 м (рис. 5, маркер 11). Такі ситуації хоч і зумовлені природними причинами, але є випадковими, вносять різкі зміни в структурні характеристики вод діяльного шару і заважають вивченню питання про становище горизонтальних меж розподілу океанографічних характеристик вод Чорного моря. За такої постановки завдання дослідження вони повинні виключатися з аналізу даних.

Висновки

1. Верхня межа сірководневої зони Чорного моря за даними буїв програми АРГО у період з 2015 по березень 2022 рр. знаходилася в межах кліматичних коливань.

2. Верхня межа положення анаеробної зони в Чорному морі за даними датчика сірководню

буя-профілометра АРГО № 6903240 протягом останніх 4-х років розташовувалася в межах від 120 до 180 м, в залежності від того, знаходився буй в зонах підйому (циклон) або опускання (антициклон) вод.

3. Верхня межа положення анаеробної зони в Чорному морі за даними датчика сірководню та розрахунками щільності за матеріалами термохалінних датчиків буя-профілометра АРГО № 6901866 протягом 4-х річного циклу вимірювань розташовувалася в межах від 100 до 175 м. Розходження в показаннях глибин за результатами застосування двох незалежних методик, за виключенням рідкісних випадків, не перевищували величини ± 7 м.

4. Значну роль у рідкісних невідповідностях результатів розрахунку глибин положення анаеробної зони за двома застосованими методиками відіграють порушення структури вертикальних профілів температури, солоності або сірководню в районах інтрузійних виносів вод з протоки Босфор з сторонніми характеристиками або потрапляння вимірювального засобу у зони локальних вихрових утворень.

5. Коефіцієнт кореляції між глибиною залягання ізопікни 16,18 і глибиною концентрації сірководню 3 μмоль/л становив 0,965.

6. Середня глибина кисневих вод складала величину близько 80 м, мінімальна – 47 м в зоні західного циклонічного круговороту.

7. Використання даних буїв АРГО вимагає ретельного контролю за обов'язковою візуалізацією, а можливо і редагуванням даних профілю до початку проведення процесів обробки.

Список використаних джерел

1. Безбородов А.А. Связь границы сероводородной зоны с плотностной структурой вод в Черном море. Доклады АНУ. 1990. 12. С. 3–7.
2. Безбородов А.А., Еремеев В.Н. Черное море. Зона взаимодействия аэробных и анаэробных вод. Севастополь, 1993. 299 с.
3. Белкин И.М. Морфолого-статистический анализ стратификации океана. Ленинград: Гидрометеиздат, 1991. 134 с.
4. Брянецев В.А., Фашук Д.Я., Айзатулин Т.А. Динамика верхней границы сероводородной зоны Черного моря: анализ натурных наблюдений и результаты моделирования. Океанология. 1988. Т. 28. № 3. С. 236–242.
5. Скопинцев В.А. Формирование современного химического состава воды Черного моря. Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. 336 с.
6. Falina A., Sarafanov A., Özsoy E., Turunoğlu U. Observed basin-wide propagation of Mediterranean water in the Black Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2017. 122. 4. P. 3141–3151.
7. Konovalov S.K., Murray J.W., George W.L., Bradley M.T. Processes controlling the redox budget for the oxic/anoxic water column of the Black Sea. *Deep-Sea Research*. 2006. 53. 17–19. P. 1817–1841.
8. Murray J.W., Jannasch H.W., Hojo S., Anderson R.F., Reeburgh W.S., Top Z., Friederich G.E., Codispoti L.A., Izdar E. Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Nature*. 1989. 338, 6214. P. 411–413.

References

1. Bezborodov, A.A. (1990). Svyaz granitsy serovodorodnoy zony s plotnostnoy strukturoy vod v Chernom more [Relationship between the boundary of the hydrogen sulfide zone and the density structure of waters in the Black Sea]. *Dokl. ANU*, 12, 3–7 [in Ukrainian].
2. Bezborodov, A.A., & Yeremeyev, V.N. (1993). *Chernoye more. Zona vzaimodeystviya aerobnykh i anaerobnykh vod [Black Sea. Zone of interaction of aerobic and anaerobic waters]*. Sevastopol [in Ukrainian].
3. Belkin, I.M. (1991). *Morfologo-statisticheskiiy analiz stratifikatsii okeana [Morphological and statistical analysis of ocean stratification]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
4. Bryantsev, V.A., Fashchuk, D.YA., & Ayzatulin, T.A. (1988). Dinamika verkhney granitsy serovodorodnoy zony Chernogo morya: analiz naturnykh nablyudeniy i rezultaty modelirovaniya [Dynamics of the Upper Boundary of the Black Sea Hydrogen Sulfide Zone: Analysis of Field Observations and Modeling Results]. *Okeanologiya – Oceanology*, 28, 3, 236–242 [in Russian].
5. Skopintsev, V.A. (1975). *Formirovanie sovremennoy khimicheskogo sostava vod Chernogo morya [Formation of the Present Chemical Structure of the Black Sea]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
6. Falina, A., Sarafanov, A., Özsoy, E., & Turunoğlu, U. (2017). Observed basin-wide propagation of Mediterranean water in the Black Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122, 4, 3141–3151.
7. Konovalov, S.K., Murray, J.W., George, W.L., & Bradley, M.T. (2006). Processes controlling the redox budget for the oxic/anoxic water column of the Black Sea. *Deep-Sea Research*, 53, 1817–1841.
8. Murray, J.W., Jannasch, H.W., Hojo, S., Anderson, R.F., Reeburgh, W.S., Top, Z. et al. (1989). Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea. *Nature*, 338, 6214, 411–413.

ASSESSMENT OF THE DEPTH OF THE UPPER BOUNDARY OF THE HYDROGEN SULPHIDE ZONE OF THE BLACK SEA WITH THE BUOYS' DATA OF 2015-2022

Popov Y.I., PhD, Senior Researcher.

Ukrainian scientific centre of ecology of the sea

Dikhanov Y.M., Researcher

Ukrainian scientific centre of ecology of the sea

Komorin Y.M. PhD, Senior Researcher

Ukrainian scientific centre of ecology of the sea, vkomorin@gmail.com

Biocenoses of the Black Sea are ones of the most vulnerable natural systems of the Earth. About 87 % of the Black Sea water volume is occupied by the hydrogen sulfide zone. Ecosystems of the thin layer of the upper oxygen zone are extremely sensitive to both anthropogenic impact and the influence of natural factors, the intensification of which has been observed recently due to rapid global climate change.

The aim of the work is to assess the depth appearance, spatial distribution and change of the upper boundaries of the hydrogen sulfide zone of the Black Sea with the buoys ARGO data.

In the article it was used hydrophysical and hydrochemical information obtained from the oceanographic database of the ARGO project in the Black Sea for the period from March 2015 to March 2022, such as: temperature, salinity, dissolve oxygen and hydrogen sulfide. A total of 591 arrays were analysed. A critical analysis of the quality of the selected information was carried out. The profile data has been adjusted. When processing the material,

the method of optimal interpolation, graphic and statistical analysis were used. The original programs of UkrSCES were used.

It was concluded according to the results of the work that the upper boundary of the anaerobic zone of the Black Sea in areas of buoy drift was located at depths of 100-180 meters. The difference in the indications for determining the boundaries according to two independent criteria: the depth of the water bodies with a hydrogen sulfide concentration of 3 $\mu\text{mol/kg}$, and the depth of the iso-surface of the conditional density of 16.18, which on average fluctuated within ± 7 meters. In some areas, significant fluctuations in the upper limit of the anaerobic zone, caused by the influence of local hydrodynamic vortices, or removal of intrusive water from the Bosphorus Strait, were noted. The spatio-temporal variability of the sub-oxygen zone in the areas of buoy-profilometer drift, as well as the areas where this layer has minimum and maximum power.

Keywords: hydrogen sulfide, Black Sea, buoy ARGO.