УДК: 551.465
DOI: 10.18524/2303–9914.2024.1(44).305369

М.О. Сліже, к.геогр.н., асистент, http://orcid.org/0000-0002-6398-4188
М.А. Берлінський, д-р.геогр.н., професор, завідувач кафедри, http://orcid.org/0000-0002-4576-4958
Ю. Ель Хадрі, PhD, старший викладач, http://orcid.org/0000-0003-3690-0927
Одеський державний екологічний університет,
кафедра океанології та морського природокористування,
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна
m.o.slizhe@gmail.com

МЕЗОМАСШТАБНІ КРУГООБІГИ ЗОНИ ЗЛИТТЯ БРАЗИЛЬСЬКОЇ ТА МАЛЬВІНСЬКОЇ ТЕЧІЇ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ

У статті наведено характеристики мезомасштабних кругообігів, які формуються в зоні злиття Бразильської та Мальвінської течій. Описані їх розміри та швидкість переміщення, а також просторова структура швидкості течії. Простежено їхню динаміку в період життєвого циклу та характеристики аномалій температури поверхні океану, що виникають під їх впливом. Розглянуто структуру вод у зоні злиття Бразильської та Мальвінської течій.

Ключові слова: злиття Бразильської та Мальвінської (Фолклендської) течії, Південна Атлантика, мезомасштабні вихори, аномалії температури поверхні океану.

ВСТУП

Раціональне використання океанічних ресурсів необхідне для забезпечення стійкості рибного господарства. Найбільш гостро стоїть вирішення цього питання на тлі зміни клімату, що спостерігається в останні десятиліття, під дією якої відбуваються зміни середовища існування, що призводить до втрати біорізноманіття і завдає удару морським екосистемам та їх мешканцям. Володіння повноцінними знаннями про процеси формування мезомасштабних вихорів в океані має велике значення, оскільки їх тривале існування може призводити до розвитку або загасанню біологічних процесів у зоні цих кругообігів.

Зона злиття Бразильської та Мальвінської (Фолклендської) течій є однією з продуктивних зон Світового океану, не тільки завдяки розташованій в даному районі зоні патагонського апвелінгу (Piola, & Matano, 2017), але й тому, що змішення теплих тропічних вод Бразильської течії з холодними субантарктичними водами Мальвінської течії призводить до утворення шарів вод з різними термохалінними характеристиками. Таке чергування в поєднанні з дією мезомасштабних та субмезомасштабних вихорів призводить до посиленого зрос-

© М. О. Сліже, М. А. Берлінський, Ю. Ель Хадрі, 2024

тання фітопланктону, який є не тільки одним з основних постачальників кисню в атмосферу і джерелом їжі для морських мешканців, але й може надавати при його посиленому зростанні негативні наслідки. Так, наприклад, коли популяції фітопланктону стають занадто великими, вони можуть завдати шкоди людям та тваринам, можуть викликати цвітіння водоростей, які псують життя морським тваринам.

Процеси динаміки вод в зоні злиття Бразильської та Мальвінської (Фолклендської) течій мають велике значення тому, що сприяють перенесенню у фотичну зону глибинних вод, багатих на поживні речовини, а їх зміни можуть вплинути на стан місцевих морських екосистем. Ці процеси радикально змінюють локальну фізичну та біологічну динаміку. Сформовані під дією цих циркуляційних процесів аномалії температури поверхні океану, як від'ємні, так і додатні, впливають на чисельність популяції місцевих видів риб (наприклад, бразильської сардини), що неодноразово спостерігалося. Так, наприклад, в результаті встановлення в даному районі у період нерестових сезонів, типів циркуляції, пов'язаних з відсутністю апвелінгу холодних багатих на поживні речовини вод в прибережну зону, спостерігалося зниження первинної продуктивності сардин.

РАЙОН ДОСЛІДЖЕННЯ

Бразильська течія − західне крило Південно-Атлантичного субтропічного кругообігу. Вона несе теплі та солоні води у бік південного полюса вздовж материкового схилу Південної Америки (рис. 1). Поблизу 39° пд. ш. Бразильська течія стикається з північною гілкою Антарктичної циркумполярної течії (АЦТ) − Мальвінською течією, яка переносить холодні та опріснені субантарктичні води до екватору (Franco et al., 2008). Зіткнення між цими різними водними масами утворює один із найенергетичніше активних регіонів Світового океану – зону злиття Бразильської та Мальвінської (Фолклендської) течій (далі ЗБМТ), де розташовується енергоактивна зона Фолклендсько-Патагонського шельфу (Piola, & Matano, 2017; Combes, & Matano, 2014a; Guerrero et al., 2014). Конвергенція Бразильської та Мальвінської течій породжує одне з найефектніших вихрових полів Світового океану. Генерація вихорів з теплим і холодним ядром по обидва боки від фронту призводить до мезомасштабної мінливості, яку можна порівняти тільки з продовженнями Гольфстріму, розширенням Куросіо і течією Агульяс (Pierini et al., 2016). Крім мезомасштабної мінливості, пов'язаної з утворенням вихорів та меандрів, мінливість системи ЗБМТ має також виразні піки у піврічному та річному періодах (Combes, & Matano, 2014б).

Результати декількох досліджень пов'язують періодичні варіації положення ЗБМТ із завихренням напруги вітру над субтропічним кругообігом Південної Атлантики і перенесенням АЦТ у протоці Дрейка (Fetter, & Matano, 2008; Combes, & Matano, 2014a). Нещодавні дослідження також показали, що крім цих періодичних коливань, ЗБМТ також дрейфує на південь (Goni, et al., 2011).

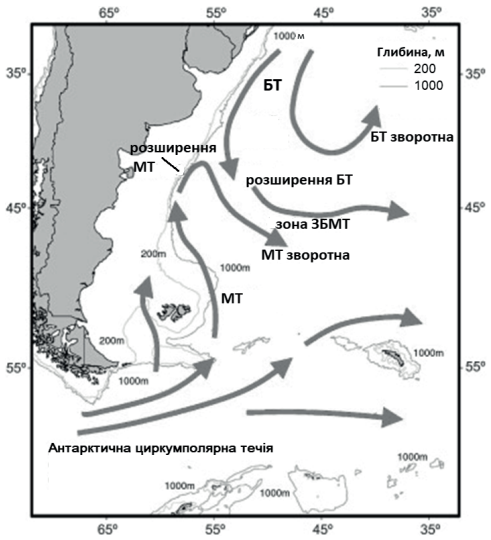


Рис. 1. Схема течій у зоні аргентинського континентального шельфу: тепла Бразильська течія (БТ), холодна Мальвінська течія (МТ) та холодна Антарктична циркумполярна течія

Дане дослідження проводилося в акваторії південно-західної частини Південної Атлантики, на ділянці, обмеженою широтами від 35° пд.ш. до 50° пд.ш., та довготами від 30° з.д. до 55° з.д. (рис. 2). Ця ділянка включає місце ЗБМТ та його розширення, а також квазіпостійний антициклонічний кругообіг Запіола.

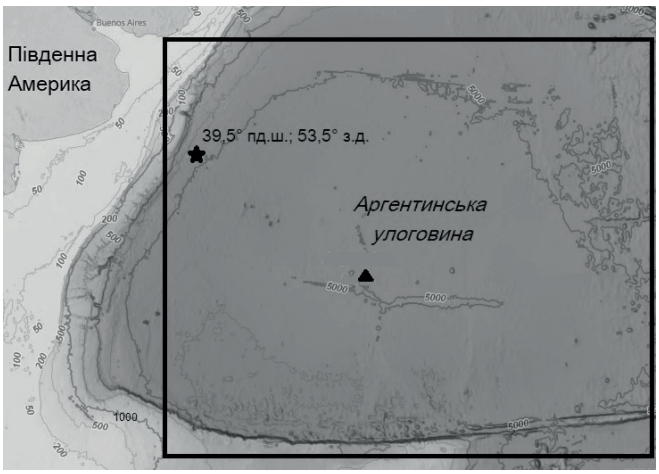


Рис. 2. Рельєф морського дна (рамкою виділено область дослідження, зірка – точка навколо якої ЗБМТ повертає від сезону до сезону, трикутник – центр квазістаціонарного антициклонічного кругообігу Запіола (National Centers, 2024)

Рельєф морського дна у районі дослідження включає Аргентинську улоговину, яка займає його більшу частину. Аргентинська улоговина має глибини переважно близько 5000 м, які в південно-західній частині досягають 6410 м. Уздовж південного кордону району дослідження розташована ділянка Фолькендського плато. Глибини тут варіюють від 200 до 2300 м. У північно-західному куті району дослідження розташована ділянка континентального шельфу, який проходить уздовж Уругвайського узбережжя Південної Америки.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мезомасштабні вихори спостерігаються у багатьох районах Світового океану (Shan et al., 2020; Matsuoka et al., 2016). Це свідчить про те, що мезомасштабні вихрові збурення у полі течій – досить поширений та універсальний компонент спектра всіх рухів вод в океані. Мезомасштабні вихори становлять єдину гігантську динамічну систему океану. Проте механізми формування цих вихорів вивчені недостатньо.

Одним із можливих механізмів мезомасштабних вихрових рухів типу меандрів та рингів вважають бароклінну нестійкість великомасштабних течій. Вона є наслідком переходу сумарної потенційної енергії великомасштабних течій, обумовленої горизонтальними нахилами ізопікнічних поверхонь у полі сили Коріоліса, у кінетичну енергію мезомасштабних збурень. Цей перехід здійснюється за допомогою планетарних хвиль або хвиль Россбі.

Вихідна інформація. *Добові аномалії рівня моря.* Ідентифікація кругообігів проводилася на основі даних за 2021 р. супутникових альтиметричних спостережень, представлених у вигляді регулярної сітки добових аномалій рівня моря (Sea Level Anomalies), розрахованих щодо середнього значення за 20 років з 1993 по 2012 рр. Цей продукт Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights and Derived Variables Nrt (Global Ocean Gridded, 2024), представлений на порталі Служби моніторингу морського середовища Коперник, має глобальне покриття, просторовий розподіл 0,25° та охоплює період з 01.12.2019 р. по поточний час.

Швидкість течії. Аналіз швидкості течії був виконаний на основі даних за 2021 р. продукту Global Ocean Physics Analysis and Forecast (Global Ocean Physics, 2024) Служби моніторингу морського середовища Коперник. Продукт надає результати чисельного моделювання фізичних параметрів Світового океану (температуру, солоність, швидкість течії, рівень моря, глибину змішаного шару та параметри льоду) від поверхні моря до 5500 м на 50 горизонтах, має глобальне покриття з просторовою роздільною здатністю 1/12°, надає годинні, добові та місячні значення, охоплює період з 01.11.2020 р. по поточний час.

Аномалії температури поверхні океану. Аналіз аномалій температури поверхні океану (АТПО) було виконано на основі даних продукту. Оптимальна щодобова інтерполяція температури поверхні моря NOAA OI SST V2 High Res olution Dataset (Physical Sciences Laboratory, 2024), який є довгостроковими кліматичними

матичними даними (період 1971-2000 рр.) і дозволяє визначити добові АТПО з кроком 1/4°.

Дані спостережень буїв-профелемерів Арго. В даному дослідженні були використані дані спостережень за температурою та солоністю на платформах Арго (Argo, 2024) № 3901565 (2-9 цикли з 9.01 по 13.02.2021 р.) та № 5903664 (376-379 цикли з 22.05 по 21.06.2021 р.).

Для ідентифікації вихорів був використаний параметр Окубо-Вейсса, який розраховується за полем швидкості течії (Weiss, 1991). За допомогою параметра Окубо-Вейсса можна визначити райони, де домінує завихоренність, та райони де домінує зрушення чи деформація. Параметр Окубо-Вейсса поділяє райони, де домінує завихоренність і райони, де домінує зрушення чи деформація, при цьому знак завихорення не відрізняється. Часто при аналізі вихорових структур необхідно знати їх знак, тому було введено модифікований параметр Окубо-Вейсса (Chen, et.al., 2016), який виділяє тільки ядра потужних, когерентних вихорів і виключає структури, такі як меандри та хвилеподібні структури.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ідентифікація вихорів проводилася з урахуванням аналізу карт добових аномалій рівня океану і карт добових значень вектору швидкості течій. Для уточнення наявності вихору залучався параметр Окубо-Вейсса. Для 15 числа кожного місяця 2021 р. авторами було побудовані карти добових аномалій рівня океану, на які було накладено карти просторового розподілу швидкості течії на поверхні.

В результаті була підрахована кількість циклонічних утворень, які на карті аномалій рівня океану являли собою осередки від'ємних значень, та їм відповідали області замкнутої циркуляції вод за годинниковою стрілкою (південна півкуля). Також була підрахована кількість антициклонічних утворень, які на карті аномалій рівня океану являли собою осередки додатних значень, та їм відповідали області замкнутої циркуляції проти годинникової стрілки. Як видно з рис. 3, в районі дослідження простежується чітко виражений річний хід числа кругообігів, як циклонічних, так і антициклонічних. Максимум кількості антициклонічних вихорів (13 одиниць) відзначався у січні (літо південної півкулі). Мінімум кількості антициклонічних вихорів (1 одиниця) спостерігався у жовтні, а також був вторинний мінімум (2 одиниці) у березні-квітні.

Максимум кількості циклонічних вихорів (12 одиниць) відзначався у вересні, а мінімум (2 одиниці) у березні.

Таким чином, видно, що в березні-квітні (осінь південної півкулі) відзначалося зниження активності як циклонічних, так і антициклонічних кругообігів, тоді як у вересні-жовтні (весна південної півкулі) спостерігалося зростання числа циклонічних вихорів та мінімум антициклонічних.

Характеристики циклонічних мезомасштабних кругообігів. Із виникненням циклонічних та антициклонічних кругообігів пов'язано вертикальне пе-

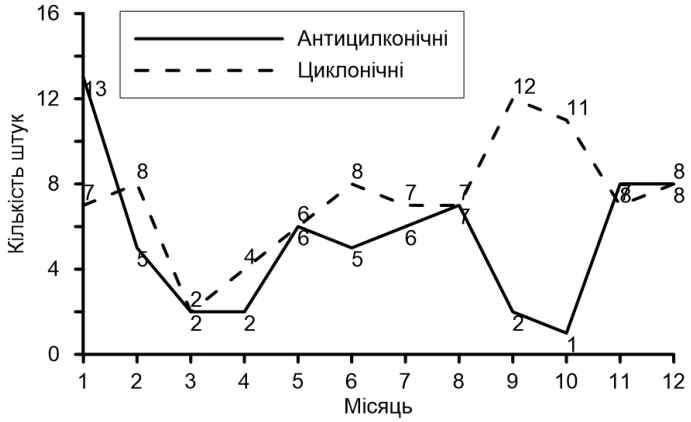
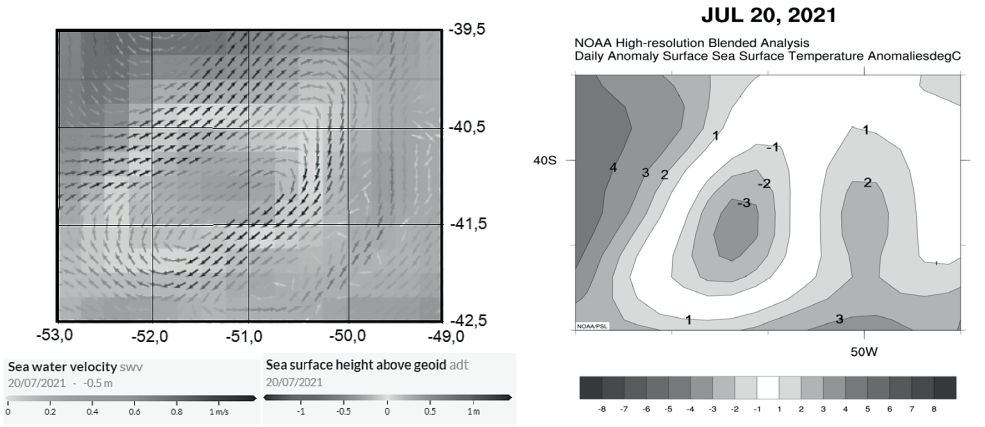


Рис. 3. Річний хід кількості крогообігів у 2021 році

реміщення водних мас у центрі цих утворень, яке призводить до формування аномалій температури поверхні океану (АТПО) (Lentini, Podesta, Campos, & Olson, 2001). У центрах циклонічних вихорів відзначаються від'ємні аномалії, оскільки відбувається вертикальне переміщення вгору більш холодної води з нижчих шарів. У центрах антициклонічних кругообігів, внаслідок опускання води на нижчі горизонти та заміщення її водою із сусідніх ділянок, на поверхні моря формуються теплі осередки, оскільки зберігаються у верхньому шарі води, що лежать на поверхні моря і, відповідно, найбільш прогріті.

Розглянемо характеристики циклонічного мезомасштабного кругообігу, з яким було пов'язано формування АТПО. Таким прикладом може бути вихор, що відокремився від квазіпостійного циклонічного меандру Мальвінської течії, який розташований на схід біля місця ЗБМТ в районі з координатами 40-43° пд.ш., 50,5-52,5° зх.д., а потім перемістився у північно-східному напрямку, проходячи подалі периферією антициклонічного меандру. Вихор мав форму еліпса (рис. 4а), велика піввісь якого була спрямована з північного сходу на південний захід і мала довжину 184 км. Довжина малої піввісі складала 124 км. Відношення великої та малої осей дорівнювало 1,48.

Параметр Окубо-Вейсса становив $-4{,}06 \times 10^{-5}$, що говорить про наявність завихренності у полі течій вже на цьому етапі, удосконалений параметр Окубо-Вейсса мав значення $-4{,}36 \times 10^{9}$. Максимальна швидкість течії на поверхні складала 1,57 см/с. Розподіл швидкостей був асиметричним. Найбільша швидкість течії на розрізі вздовж великої піввісі становила 1,58 см/с і розташовувалась на глибині 34 м. Найбільші швидкості знаходилися на глибинах від 6 до 47 м. З цим кругообігом була пов'язана АТПО (рис. 4б), яка розташовувалася в центрі кругообігу та становила -3 °С. Протягом наступних 10 днів АТПО збільшилася до -5 °С і зберігалася до 07.08.21 р. після чого почала зменшуватися. При цьому вихор змістився на 144 км зі швидкістю 9,17 см/с у північно-східно-



(а) *(б)*

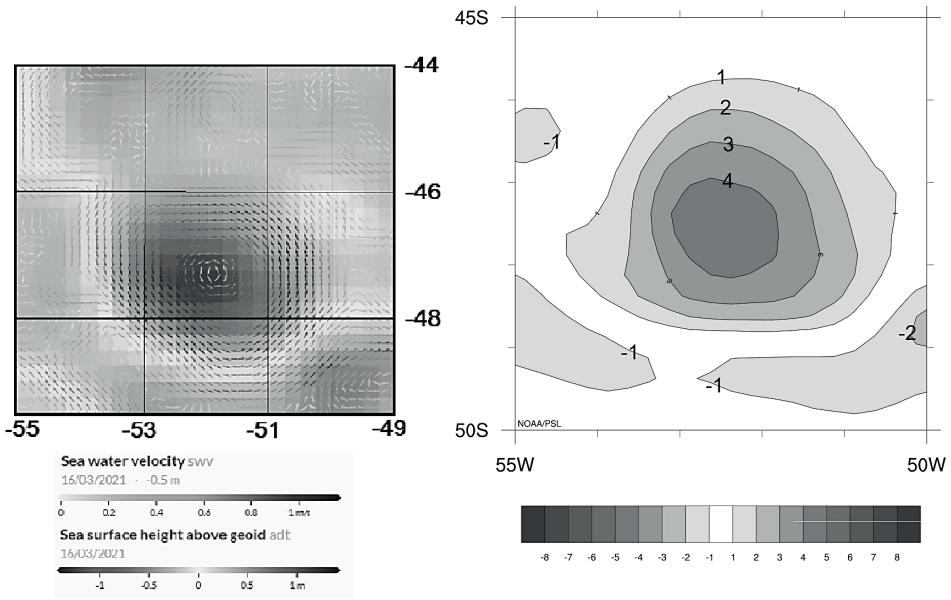
Рис. 4. Аномалії рівня моря (м) 20.07.2021 р. (а) – суцільна заливка, швидкість (см/с) та напрямок течії на поверхні – зазначено векторами; АТПО (°С) 20.07.21 г. (б).

му напрямку та набув форми, близької до кола. Максимальна швидкість течії на поверхні 07.08.21 становила 1,9 см/с. Вихрове утворення на поверхні мало діаметр 163 км. Розподіл швидкостей щодо вісі вихору було асиметричним. Найбільші швидкості відзначалися на північній периферії кругообігу.

Характеристики антициклонічних мезомасштабних кругообігів. Розглянемо вихор, центр якого розташовувався в точці з координатами 46,6° пд.ш., 53,6° зх.д., та як самостійне утворення можна було розглядати з 11.02.21 р. (рис. 5). Вже на початковому етапі свого існування з вихором була пов'язана додатна АТПО, значення якої становило 3 °С. В подальший час величина АТПО збільшувалася і 12.03.21 р. стала дорівнювати 4 °С, далі 21.03.21 р. вона досягла 5,5 °С, після чого 22.03.21 р. почала зменшуватися. За період з 11.02.21 р. до 21.03.21 р. кругообіг змістився на 154 км у східно-південно-східному напрямку, швидкість його переміщення складала 4,72 см/с.

У період максимального значення АТПО кругообіг мав наближену до кругової форму, довжина вздовж вісі *x* (з заходу на схід) складала 219 км, вздовж вісі *y* (з півдня на північ) – 213 км. Відношення великої півосі до малої становило 1,03. Уздовж вісі *y* вихор мав симетричну структуру швидкості течії, а вздовж осі *x* – асиметричну. Спостерігалося переважання швидкості течії на східній периферії кругообігу порівняно із західною периферією. Вихор мав квазівертикальну вісь. Найбільша за величиною швидкість вздовж обох розрізів відзначалася на горизонті 0,5 м і складала 1,25 см/с. Максимальна швидкість течії на поверхні дорівнювала 1,43 см/с. АТПО 21.03.21 р. становила 5,5 °С.

Структура вод у зоні ЗБМТ. Аналіз T, S – кривих, побудованих за даними спостережень на платформах 3901565 (09.01-13.02.2021 р.) та 5903664 (22.05-



(а) *(б)*

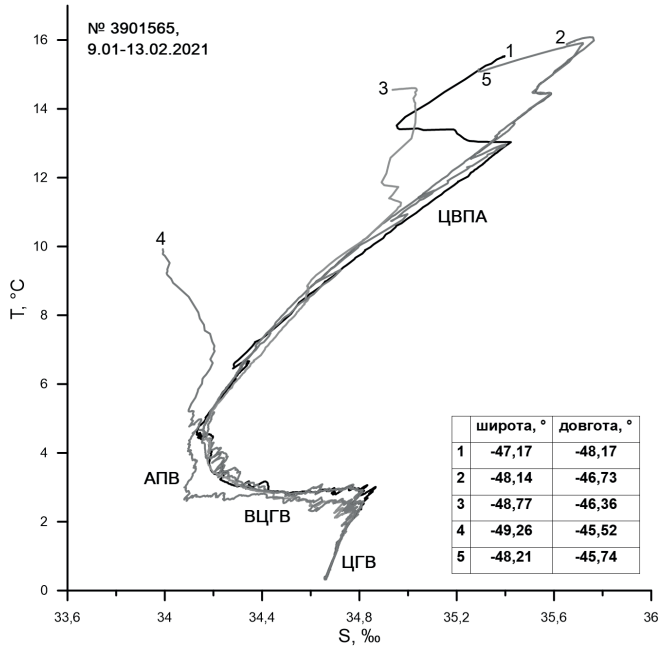
Рис. 5. (а) аномалії рівня моря (м) – суцільна заливка, швидкість (см/с) та напрямок течії на поверхні – вектори, (б) − АТПО (°С) 16.03.21 р.

21.06.2021 р.) показав (рис. 6), що в обох випадках води на поверхні сформовані з вод ЗБМТ, які представляють суміш поверхневих вод Бразильської та Мальвінської течій (Т ~15 °С та S ~35,2-35,7 ‰).

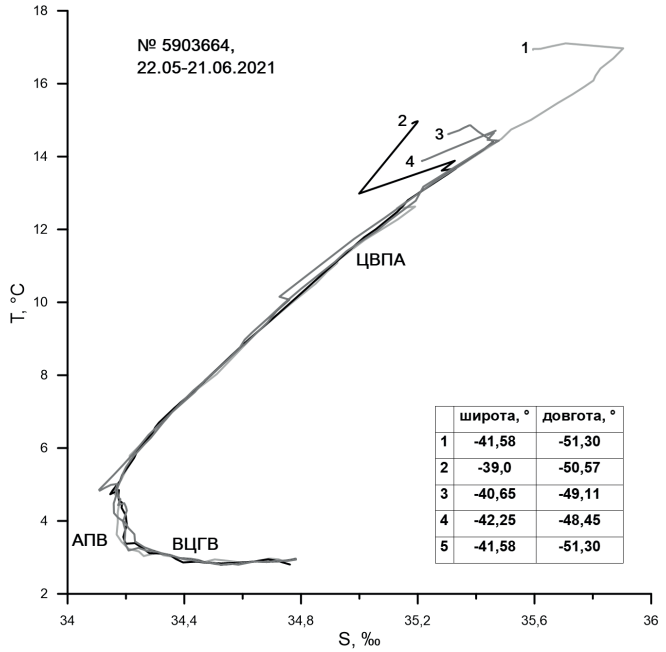
Проміжні водні маси в даному випадку сформовані Центральними водами Південної Атлантики (ЦВПА), для яких характерна квазілінійна залежність T/S в діапазоні температур 17-10 °С, а також утворюється різкий термоклін і галоклін. На всіх кривих глибинна водна маса сформована із Антарктичних проміжних вод (АПВ) (Т ~3 °С та S ~34,2 ‰). Придонна водна маса сформована з верхніх циркумполярних глибинних вод (ВЦГВ) (Т ~3 °С та S ~34,5 ‰). Придонна водна маса на кривій 24.01.2021 відповідає Циркумполярним глибинним водам (ЦГВ) (Т ~1 °С і S ~34,7 ‰). ЦГВ формується з Північноатлантичних глибинних вод (ПАГВ).

У західній частині Аргентинського басейну ПАГВ поділяється на два шари: ВЦГВ та нижні циркумполярні глибинні води (НЦГВ). На широті 40° пд.ш. ВЦГВ залягають на глибині 1400 м та мають температуру менше 2,9 °С.

Необхідно додати, що для зони ЗБМТ у поверхневому шарі характерне розшарування вод за температурою та солоністю, що простежується на діаграмі в вигляді різких змін напрямку кривих у верхній частині графіків.



(а)



(б)

Рис. 6. T, S-діаграма, побудована за даними вимірювання платформ 3901565 (а) та 5903664 (б)

ВИСНОВКИ

1. У районі злиття Бразильської та Мальвінської (Фолклендської) течії чітко простежується річна зміна числа мезомасштабних кругообігів. У березні-квітні (осінь південної півкулі) відзначається зниження активності як циклонічних, так і антициклонічних вихорів, у вересні-жовтні (весна південної півкулі) спостерігається зростання числа циклонічних вихорів при низькій активності антициклонічних.

2. Формування АТПО пов'язане не з усіма вихровими утвореннями. Значну роль цьому процесі відіграють як початкові умови, у яких формуються вихори (розташування щодо точки злиття Бразильської та Мальвінської течії і меандрів його розширення, швидкість течії у місті їх виникнення, рельєф дна, структура водних мас), так і тривалість життєвого циклу цих утворень.

3. Вихори, з якими були пов'язані АТПО мали більш великі швидкості течії, ніж вихори з якими не були пов'язані аномалії, та асиметричну структуру. Максимальні швидкості течії в кругообігах розташовувалися у шарі до 400 м.

4. Поверхнева водна маса в зоні ЗБМТ сформована внаслідок змішування вод Бразильської та Мальвінської течій, при якому створюється дрібномасштабне розшарування за температурою та солоністю. Проміжні водні маси сформовані водною масою центру Південної Атлантики. Глибинні та придонні водні маси мають характеристики Антарктичної проміжної водної маси, а також у деяких випадках Циркумполярною глибинної водної маси.

5. Район дослідження відомий як акваторія з високим рівнем первинної продукції та біорізноманіття. Складна гідродинамічна обстановка, що виникає в результаті взаємодії ЗБМТ з водами континентального шельфу та схилу, сприяє розвитку високих концентрацій хлорофілу *a*, який зазвичай використовується як показник біомаси фітопланктону. Морський фітопланктон відіграє важливу роль у поглинанні вуглецю з атмосфери, первинної продукції та біогеохімічних потоків. Мінливість складу фітопланктонної спільноти модулює вплив на функціонування пелагічної екосистеми та морські біогеохімічні цикли. Таким чином, поглиблене розуміння процесів, що відбуваються в зоні ЗБМТ, має важливе практичне значення, з точки зору оцінки та прогнозування майбутнього виробництва біомаси, розмірної структури та потенційного вилову морських риб у регіоні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Argo. Argo float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC). SEANOE. 2024. URL: https://doi.org/10.17882/42182 (дата звернення 12.01.2024)

Chen C., Kamenkovich I., Berloff P. Eddy Trains and Striations in Quasigeostrophic Simulations and the Ocean. *J. Phys. Oceanogr*. 2016. 46. P. 2807-2825. https://doi.org/10.1175/JPO-D-16-0066.1

Combes V., Matano R.P. A two-way nested simulation of the oceanic circulation in the Southwestern Atlantic. *Journal of Geophysical Research, Oceans*. 2014. 119 (2). P. 731-756 http://dx.doi.org/10.1002/2013JC009498

Combes V., Matano R.P. Trends in the Brazil / Malvinas Confluence region. *Geophys. Res. Lett*. 2014. 41 (24). P. 8971-8977. doi:10.1002/2014GL062523

Fetter A.F.H., Matano R.P. On the origins of the variability of the Malvinas Current in a global, eddy permitting numerical simulation. *J. Geophys. Res*. 2008. 113. C11018. doi:10.1029/2008JC004875

Franco B.C., Piola A.R., Rivas A.L., Baldoni A., Pisoni J.P. Multiple thermal fronts near the Patagonian shelf break. *Geophysical Research Letters*. 2008. 35. L02607. http://dx.doi.org/10.1029/2007GL032066

Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). 2024. URL: https://doi.org/10.48670/moi-00149 (дата звернення 12.01.2024)

Global Ocean Physics Analysis and Forecast. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). 2024. URL: https://doi.org/10.48670/moi-00016 (дата звернення 12.01.2024)

Goni G.J., Bringas F., DiNezio P.N. Observed low frequency variability of the Brazil Current front. *J. Geophys. Res.* 2011. 116. C10037. doi:10.1029/2011JC007198

Guerrero R.A., Piola A.R., Fenco H. et al. The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: satellite observations. *Journal of Geophysical Research, Oceans.* 2014. 119(11). P. 7794-7810. http://dx.doi.org/10.1002/2014JC010113

Lentini C.A.D., Podesta G.G., Campos E.J.D., Olson D.B. Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Continental Shelf Research.* 2001. 21. P. 89-112

Matsuoka D., Araki F., Inoue Y., Sasaki H. A New Approach to Ocean Eddy Detection, Tracking, and Event Visualization – Application to the Northwest Pacific Ocean. *Procedia Computer Science*. 2016. 80. P. 1601-1611. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.491

National Centers for Environmental Information. 2024 URL: https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/ (дата звернення 12.01.2024)

Physical Sciences Laboratory. 2024. URL: https://psl.noaa.gov (дата звернення 12.01.2024)

Pierini J.O., Lovallo M., Gómez E.A., Telesca L. Fisher-Shannon analysis of the time variability of remotely sensed sea surface temperature at the Brazil-Malvinas Confluence. *Oceanologia.* 2016. 58 (3). P. 187-195. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2016.02.003

Piola A.R., Matano R.P. Ocean Currents: Atlantic Western Boundary − Brazil Current/Falkland (Malvinas) Current / In book: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Cambridge : Elsevier, 2017. P. 1-7. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.10541-X

Shan X., Jing Z., Sun B. et al. Impacts of ocean current-atmosphere interactions on mesoscale eddy energetics in the Kuroshio extension region. *Geosci. Lett*. 2020. 7. P. 3. https://doi.org/10.1186/s40562-020-00152-w

Weiss J. The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. Physica D. 1991. 48. P. 273-294. https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90088-Q

REFERENCES

Argo. (2024). Argo float data and metadata from Global Data Assembly Centre (Argo GDAC). SEANOE. URL: https://doi.org/10.17882/42182 (Last accessed: 12.01.2024)

Chen, C., Kamenkovich, I., Berloff, P. (2016). Eddy Trains and Striations in Quasigeostrophic Simulations and the Ocean. *J. Phys. Oceanogr*., 46, 2807-2825. https://doi.org/10.1175/JPO-D-16-0066.1

Combes, V., Matano, R.P. (2014). A two-way nested simulation of the oceanic circulation in the Southwestern Atlantic. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, 119 (2), 731-756. http://dx.doi.org/10.1002/2013JC009498

Combes, V., Matano, R.P. (2014). Trends in the Brazil / Malvinas Confluence region. *Geophys. Res. Lett*., 41 (24), 8971-8977. doi:10.1002/2014GL062523

Fetter, A.F.H., Matano, R.P. (2008). On the origins of the variability of the Malvinas Current in a global, eddy permitting numerical simulation. *J. Geophys. Res*., 113, C11018. doi:10.1029/2008JC004875

Franco, B.C., Piola, A.R., Rivas, A.L., Baldoni, A., Pisoni, J.P. (2008). Multiple thermal fronts near the Patagonian shelf break. *Geophysical Research Letters*., 35, L02607. http://dx.doi.org/10.1029/2007GL032066

Global Ocean Gridded L 4 Sea Surface Heights And Derived Variables Nrt. (2024). E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). URL: https://doi.org/10.48670/moi-00149 (Last accessed: 12.01.2024)

Global Ocean Physics Analysis and Forecast. (2024). E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). URL: https://doi.org/10.48670/moi-00016 (Last accessed: 12.01.2024)

Goni, G.J., Bringas, F., DiNezio, P.N. (2011). Observed low frequency variability of the Brazil Current front. *J. Geophys. Res.*, 116, C10037. doi:10.1029/2011JC007198

Guerrero, R.A., Piola, A.R., Fenco, H. et al. (2014). The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: satellite observations. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, 119(11), 7794-7810. http://dx.doi.org/10.1002/2014JC010113

Lentini, C.A.D., Podesta, G.G., Campos, E.J.D., Olson, D.B. (2001). Sea surface temperature anomalies on the Western South Atlantic from 1982 to 1994. *Continental Shelf Research,* 21, 89-112

Matsuoka, D., Araki, F., Inoue, Y., Sasaki, H. (2016). A New Approach to Ocean Eddy Detection, Tracking, and Event Visualization – Application to the Northwest Pacific Ocean. *Procedia Computer Science*, 80, 1601-1611. https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.491

National Centers for Environmental Information. (2024). URL: https://www.ncei.noaa.gov/maps/bathymetry/ (Last accessed: 12.01.2024)

Physical Sciences Laboratory. (2024). URL: https://psl.noaa.gov (Last accessed: 12.01.2024)

Pierini, J.O., Lovallo, M., Gómez, E.A., Telesca, L. (2016). Fisher-Shannon analysis of the time variability of remotely sensed sea surface temperature at the Brazil-Malvinas Confluence. *Oceanologia,* 58 (3), 187-195. https://doi.org/10.1016/j.oceano.2016.02.003

Piola, A.R., Matano, R.P. (2017). *Ocean Currents: Atlantic Western Boundary − Brazil Current/Falkland (Malvinas) Current / In book: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* Cambridge : Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-409548-9.10541-X

Shan, X., Jing, Z., Sun, B. et al. (2020).Impacts of ocean current-atmosphere interactions on mesoscale eddy energetics in the Kuroshio extension region. *Geosci. Lett*., 7, 3. https://doi.org/10.1186/s40562-020-00152-w

Weiss, J. (1991). The dynamics of enstrophy transfer in two-dimensional hydrodynamics. Physica D., 48, 273-294. https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90088-Q

Надійшла 12.01.2024

M.O. Slizhe
N.A. Berlinskyi
Y. El Hadri
Odesa State Environmental University
Department of Oceanology and marine nature management
15, Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

MESOSCALE EDDIES OF THE BRAZIL-MALVINAS CONFLUENCE ZONE AND THEIR INFLUENCE ON THE FORMATION OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE FIELDS

Abstract

Problem Statement and Purpose. The Brazil-Malvinas Confluence zone is one of the productive zones of the World Ocean. The mixing of the warm tropical waters of the Brazilian Current with the cold subantarctic waters of the Malvina Current leads to the formation of layers of water with different thermohaline characteristics, and this alternation in combination with the action of mesoscale and submesoscale eddies leads to an increased growth of phytoplankton, which is not only one of the main suppliers of oxygen to the atmosphere and a source of food for marine inhabitants, but it can also have negative consequences with its increased growth. The processes of water dynamics in the confluence zone of the Brazilian and Malvina (Falkland) currents are of great importance because they contribute to the transfer of nutrient-rich deep waters to the photic zone, and their changes can affect the state of local marine ecosystems. The emergence of cyclonic and anticyclonic mesoscale eddies is associated with the vertical movement of water masses in the center of these formations, which leads to the formation of sea surface temperature anomalies.

Data & Methods. The eddies were identified based on the satellite altimetry observations of the Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights and Derived Variables Nrt product. Current velocity analysis was performed based on 2021 data from the Global Ocean Physics Analysis and Forecast product of the Copernicus

Marine Monitoring Service. The analysis of sea surface temperature (SST) anomalies was performed based on data from the NOAA OI SST V2 High Resolution Dataset product Optimum Daily Interpolation of Sea Surface Temperature. Temperature and salinity observations on the Argo platforms were used in this study.
Results. The formation of SST anomalies is not associated with all eddies formations. A significant role in this process is played by the initial conditions under which eddies are formed (location in Brazil-Malvinas Confluence and the meanders of its extension, current speed, bottom topography, water masses structure), and the duration of the life cycle of the formation, especially in the early stages. The eddies which led to SST anomalies were associated with higher flow velocities than the eddies with which no anomalies were associated, and an asymmetric structure. The maximum current velocities in the circulations were located in the layer from 2 to 400 m.

Key words: Brazil-Malvinas Confluence, South Atlantic, mesoscale eddies, sea surface temperature anomalies.