

Моніторинг і прогнозування стану Чорного моря в міжнародній програмі "Copernicus"

С.І. Невєрова, Л.В. Нестеренко, С.Г. Федосєнков, О.І. Шундель

Невєрова Світлана Іванівна – науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Нестеренко Любов Володимирівна – молодший науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Федосєнков Сергій Геннадійович – к. геол.н., завідувач відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Шундель Олексій Іванович – науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи "Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України"; Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42; E-mail: lixyta666@gmail.com

Анотація

В статті здійснено огляд продуктів, які створюють у Морській службі програми "Copernicus" (координатор і керівник – Європейська комісія у партнерстві з Європейським космічним агентством (ЄКА), державами-членами ЄС та агенціями ЄС) та які є відкритими для доступу. Розглянуто продукти, отримані за результатами чисельно-модельних розрахунків і супутникових спостережень, із зазначенням просторових і часових характеристик для Чорного моря. Наведено приклади візуалізації біогеохімічних показників і фізичний аналіз Чорноморського регіону, які розроблено з метою його моніторингу та прогнозу стану задля раціонального, безпечного й ефективного використання та захисту морських ресурсів.

Ключові слова: дані, чисельно-модельні розрахунки, супутникові спостереження, *in situ*, ретроспективний аналіз, дистанційні дослідження

Вступ. Програма "Copernicus" Європейського Союзу (ЄС) є одним із найбільш масштабних та успішних світових проєктів у сфері дистанційного зондування Землі (далі – ДЗЗ), яку координує та скеровує Європейська комісія в партнерстві з Європейським космічним агентством (ЄКА), державами-членами і агентствами ЄС. Програма "Copernicus" була створена в 2014 році відповідно до Регламенту ЄС № 377/2014 [5] на продовження ініціативи ЄС з глобального моніторингу навколишнього середовища і безпеки Землі (GMES, Регламент ЄС № 911/2010 [6]) та спрямована на досягнення глобального, безперервного, автономного, високоякісного та міжгалузевого дистанційного зондування Землі. Її головною метою є збирання та надання точної, своєчасної та легкодоступної інформації для поліпшення управління навколишнім середовищем, розуміння та пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечення громадської безпеки [4].

Програма "Copernicus" має шість основних напрямків досліджень: моніторинг земель й атмосфери, служба екстреного управління, зміна клімату, морська служба і безпека. Найбільш розвиненою складовою програми в даний час є Морська служба програми "Copernicus" (МСПС) Європейської комісії, яка готує прогнози стану Світового океану в цілому, Арктичного басейну, окраїнних і внутрішніх морів Європи [3]. Створена система прогнозів

поширює свої продукти через сайт <http://marine.copernicus.eu/>. У число продуктів входять безпосередньо дані контактних спостережень, а також поля або параметри, отримані в результаті обробки дистанційних вимірювань. Крім того, надаються аналізи та прогнози окремих параметрів поверхневого хвилювання, тривимірних полів температури, солоності, швидкості течій і характеристик екосистеми в будь-якій точці Світового океану.

Служба морського моніторингу "Copernicus" використовує мережу європейських виробників морських даних, які надають сучасні наукові знання, щоб створити портфоліо продуктів океанічних даних. До служби морського моніторингу "Copernicus" входять дві категорії виробників морських даних:

1. Тематичні центри збирання даних (ТЦЗД), які обробляють дані, отримані від супутників і спостережних платформ на місці.

2. Центри моніторингу та прогнозування (ЦМП), які виконують асиміляцію океанічних числових моделей на основі даних ТЦЗД, для генерування реаналізу (за 20 років), аналізу (сьогодні) та 10-денних прогнозів океану. Є сім центрів моніторингу та прогнозування: Світового океану, Північного Льодовитого океану, Балтійського моря, Північно-західного шельфу Європи, включаючи Північне й Ірландське моря, Іберо-Біскайського регіону, Середземного та Чорного морів [7].

Чорноморський центр моніторингу та прогнозування (ЧМЦМП) надає регулярну та систематичну інформацію про фізичний стан океану та морських екосистем Чорного моря. Діяльність ЧМЦМП координує Інститут океанології Болгарської академії наук (ІО ВАС, Болгарія) у співпраці з Італійським Фондом Євро-Середземномор'я зі зміни клімату (СМСС, Італія), Німецьким науковим Центром ім. Гельмгольца (HZG, Німеччина), Льєжським Університетом (ULiège, Бельгія), Софійським університетом ім. Климента Охридського (USOF, Болгарія), Національним інститутом гідрології та водного господарства (НИНВМ, Румунія).

Метою цієї статті є аналіз та представлення можливостей використання відкритих даних по Чорному морю, які надає Служба моніторингу стану морського середовища "Copernicus" для моніторингу, управління та прогнозування змін окремих параметрів і характеристик морських екосистем.

Дані та методи. В роботі використані дані *in situ* та супутникових вимірювань для Чорноморського басейну. З використанням результатів усіх рівнів обробки даних за числовими моделями океану Центрів моніторингу та прогнозування "Copernicus", досліджують різні параметри Чорного моря (фізичні, біогеохімічні, хвилі та вітру) та надають 10-денні прогнози, аналіз і повторний аналіз морського середовища. Зіставлення супутникових даних з наявними точнішими натурними результатами *in situ* дає скориговані дані продуктів служби "Copernicus" для формування подальших максимально точних прогнозів.

На сайті <https://marine.copernicus.eu> для Чорного моря розміщено: шість продуктів з результатами чисельно-модельних розрахунків (фізичний аналіз і прогноз, біогеохімічний аналіз і прогноз, аналіз і прогноз хвиль, ретроспективний аналіз кожного з цих параметрів),

супутникові спостереження (рівень морської поверхні, хлорофіл, оптика, температура, вітер, хвилі), а також вимірювання *in situ*. Кожному продукту присвоєно унікальне ім'я, а також додається докладне керівництво для користувача та інформаційний документ про якість продукту з системним описом.

Продукти з результатами чисельно-модельних розрахунків

Продукт щодо фізичного аналізу та прогнозування Чорного моря BLKSEA_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_007_001 – це фізична складова чорноморської системи в режимі, близькому до реального часу, яка заснована на гідродинамічній моделі всього Чорноморського басейну. Розрізнення горизонтальної сітки моделі становить $1/36^\circ$ в зональному вимірі, $1/27^\circ$ в меридіональному вимірі (близько 3 км) і має 31 нерівномірно розташований вертикальний рівень. Гідродинаміку надає ядро для європейського моделювання океану (NEMO, v3.4). Дані спостережень ТЦЗД, асимільовані в чорноморських потоках даних, містять *in situ* профілі, аномалії рівня моря вздовж траєкторій і температуру поверхні моря з координатною прив'язкою. Дані охоплюють період з 07 липня 2018 р. по теперішній час, а також включають дані щодо 10-денного прогнозу. На сервері МСПС доступний безперервний архів аналізів за останні два роки аж до реального часу. Він містить 11 наборів даних: 3D середньодобові поля, тривимірні середньогодинні поля потенційної температури, температури на дні моря, солоності, зональної та меридіональної швидкостей (рис. 1), 2D-рівні поверхні моря, потенційну температуру дна, інформацію про товщину змішаного шару.

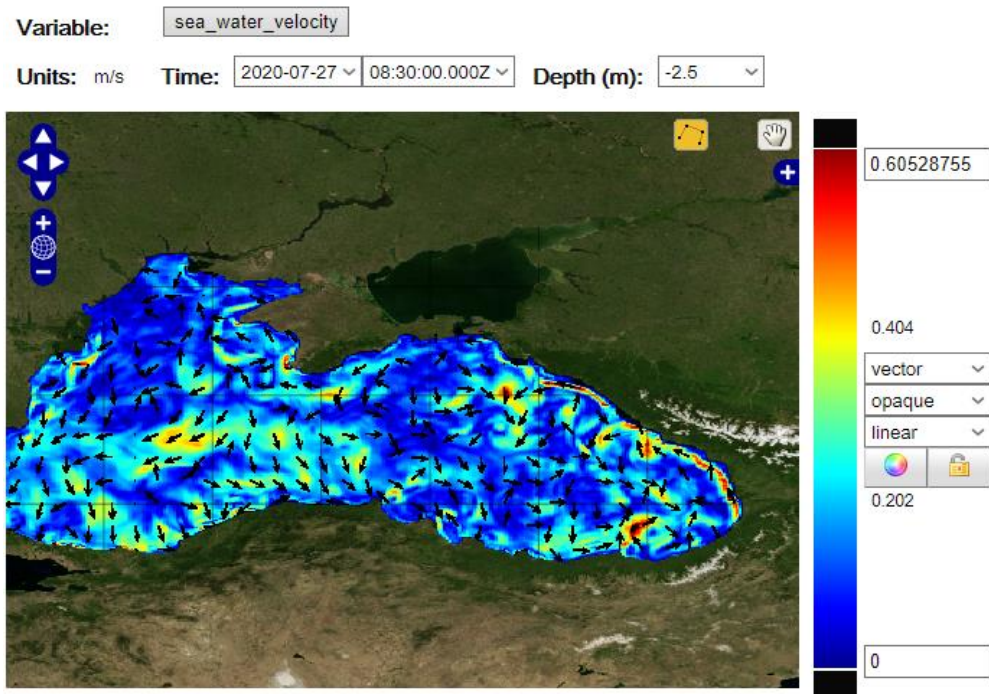


Рис. 1. Приклад візуалізації даних розрахунків горизонтальної швидкості на глибині 2,5 м

Продукт аналізу та прогнозу хвиль Чорного моря BLKSEA_ANALYSIS_FORECAST_WAV_007_003 – це спектрально-хвильова модель

третього покоління WAM Cycle 4.6, яка була адаптована до акваторії Чорного моря й успішно працює на Sun-Cluster у Німецькому науковому Центрі ім. Гельмгольца. Версія для мілководдя реалізована на сферичній сітці з просторовим розрізненням близько 3 км (133x100 с) із 24 направляючими та 30 частотними бінами. Число точок сітки активної хвильової моделі становить 44 699. Модель враховує рефракцію з глибиною та розрив хвиль і зараз надає один раз на день триденний прогноз з погодинним висновком. Продукт аналізу та прогнозу хвиль включає інтегровані параметри, розраховані за загальним хвильовим спектром (значна висота хвилі, період, напрямок, дрейф Стокса тощо) та ін. Продукт складається з двох наборів даних: з погодинними миттєвими значеннями для всіх змінних і статичними координатами та батиметрією. Дані доступні з 07 липня 2018 р. по теперішній час, а також щодня оновлюється 10-тиденний прогноз.

Продукт біогеохімічного аналізу та прогнозу Чорного моря BLKSEA_ANALYSIS_FORECAST_BIO_007_010 містить дані про середньодобову та щомісячну середню концентрацію хлорофілу, нітрату (рис. 2), фосфату, розчиненого кисню, вуглецю в біомасі фітопланктону, розчиненого неорганічного вуглецю, загальну лужність рН, чисту первинну продукцію, середньодобові й щомісячні середні значення 2D-полів донної концентрації кисню (для північно-західного шельфу), поверхневий парціальний тиск CO₂ та поверхневий потік CO₂.

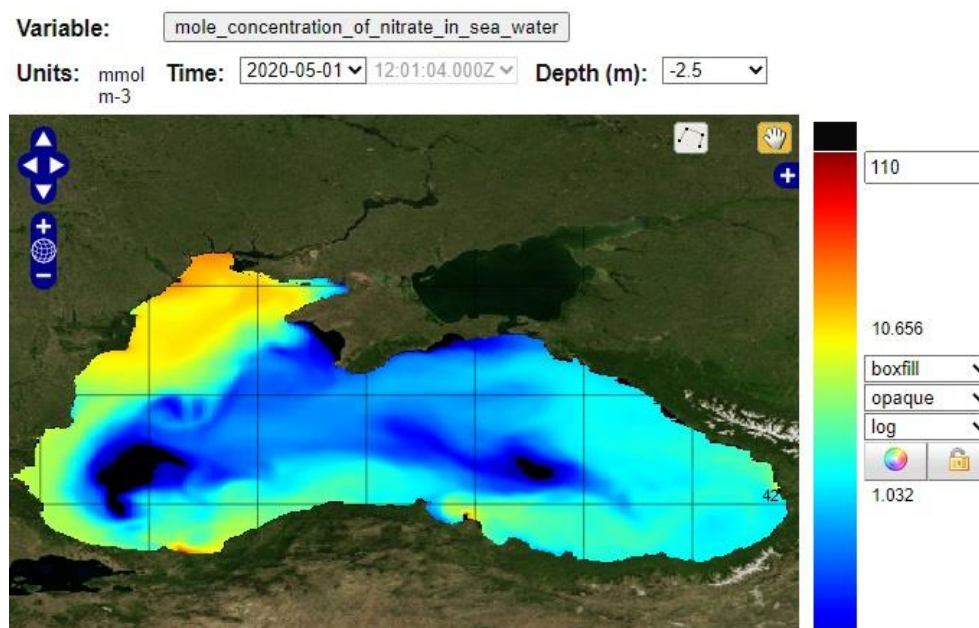


Рис. 2. Представлення даних про вміст нітратів в Чорному морі на глибині 2,5 м

Біогеохімічні ретроспективні прогнози та прогнози по Чорному морю складає онлайн виробничий підрозділ MAST/ULiege за допомогою 3D-моделі циркуляції NEMO.3.6, в поєднанні з біогеохімічної моделлю VAMNBI. Підготовку прогнозів здійснюють на суперкомп'ютері Zenobe центру Tier-1 (Сенаєро, Бельгія). Аналіз проводять один раз на

тиждень, 10-денні прогнози складають щодня. Для аналізу доступні дані з 07 липня 2018 р. по теперішній час.

BLKSEA_REANALYSIS_PHYS_007_004 – це номінальний продукт для фізичного реаналізу стану Чорного моря. Він складається з тривимірних, середньодобових і середньомісячних полів потенційної температури, солоності (рис. 3), зональної та меридіональної швидкостей, а також двовимірних середньодобових і середньомісячних полів висоти поверхні моря та глибини змішаного шару. Дані для реаналізу фізики Чорного моря охоплюють період від січня 1992 р. по червень 2019 року.



Рис. 3. Приклад візуалізації даних розрахунків солоності для фізичного реаналізу Чорного моря (на дату 06 жовтня 2017 р., глибина 7,51 м)

BLKSEA_REANALYSIS_WAV_007_006 є номінальним продуктом повторного аналізу системи прогнозування висоти хвиль Чорного моря. Модель враховує рефракцію з глибиною та руйнування хвиль і визначається вітровими полями, отриманими з аналізу даних про вітер ERA-interim. Дані для повторного аналізу охоплюють період з січня 2002 р. по липень 2018 року.

BLKSEA_REANALYSIS_BIO_007_005 – продукт біогеохімічного повторного аналізу для Чорного моря; його функціонування забезпечує підрозділ MAST/ULiege за допомогою біогеохімічної моделі BAMHBI. Робочий процес виконується в інфраструктурі HPC CECI (Валлонія, Бельгія).

Для Чорноморського регіону існує продукт INSITU_BS_NRT_OBSERVATIONS_013_034, який містить інформацію про натурні виміри температури, солоності, біогеохімічних показників тощо. Продукт оновлюють щодня, він містить дані *in situ* вимірювань у режимі, близькому до реального часу (час затримки становить до 48 год., при цьому здійснюється автоматичний контроль якості даних). Центр

прогнозування моніторингу Чорного моря відповідає за отримання, контроль якості, перевірку даних і поширення продукції. Архів містить інформацію з 11 серпня 1910 року по теперішній час.

Продукти за результатами супутникових спостережень

Також для Чорного моря функціонує 26 видів супутникових спостережень (для вимірювання рівня морської поверхні – 8 продуктів, вмісту хлорофілу – 5, оптики – 3, температури – 5, вітру – 2 та висоти хвиль – 3). Інформацію про рівень морської поверхні надає Тулузький Центр підготовки і обробки супутникових альтиметричних вимірювань (Франція). Продукти для Чорного моря існують як окремішню, так і в складі продуктів Європейського регіону. Обробляють дані майже всіх супутників: Jason-3, Sentinel-3A, HY-2A, Saral/AltiKa, Cryosat-2, Jason-2, Jason-1, T/P, ENVISAT, GFO, ERS1/2.

Супутникові дані з третім рівнем обробки реалізовані в продукті SEALEVEL_BS_PHY_L3_NRT_OBSERVATIONS_008_039, що надає дані про виміри аномалій рівня моря Чорноморського регіону. Продукт обслуговують у режимі, близькому до реального часу, основні діючі центри океанографії та прогнозування клімату в Європі і в усьому світі; він є послідовним і однорідним каталогом продуктів для різних видів застосування як в режимі, близькому до реального часу, так і для офлайнних досліджень. Просторове розрізнення становить $7 \text{ км} \times 7 \text{ км}$. Архів містить інформацію з 28 березня 2017 р. до 16 червня 2019 року.

Додаткові змінні дані ("Середня динамічна топографія", "Динамічна атмосферна корекція", "Океанічні приливи", "Довгохвильові помилки"), які можна використовувати для зміни фізичної складової відповідно до конкретних потреб, надають такі продукти: SEALEVEL_EUR_PHY_ASSIM_L3_NRT_OBSERVATIONS_008_043 для виміру Європейських океанічних аномалій та використання для асиміляції даних (містить інформацію з 28 березня 2017 р. до 16 червня 2019 р.); SEALEVEL_EUR_PHY_L3_NRT_OBSERVATIONS_008_059 для виміру Європейських океанічних аномалій (містить інформацію з 01 квітня 2019 р. по теперішній час).

Також є продукти обробки альтиметричних вимірів четвертого рівня з просторовим розрізненням $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ – SEALEVEL_EUR_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_060 для виміру висоти поверхні моря та похідних змінних (містить інформацію з 01 квітня 2019 р. по теперішній час); SEALEVEL_BS_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_041 – для виміру аномалій рівня моря і похідних змінних (містить інформацію з 28 березня 2017 р. до 16 червня 2019 р.).

Розробники також пропонують продукти перегляду (репроцесингу) інформації, які є більш точними за згадані вище:

SEALEVEL_EUR_PHY_L3_REP_OBSERVATIONS_008_061 – дані Європейських океанічних надводних висот з третім рівнем обробки вимірів; створений спеціально для збору даних з щорічним оновленням інформації. Просторове розрізнення – $7 \text{ км} \times 7 \text{ км}$. Містить інформацію з 01 січня 1993 р. до 15 жовтня 2019 року. Для отримання цих даних система використовує записи геофізичних даних, які розраховані на основі Ефемериди точної орбіти; дані доставляють протягом трьох місяців у залежності від супутника;

SEALEVEL_BS_PHY_L4_REP_OBSERVATIONS_008_042 – містить дані про аномалії рівня моря та їх похідні з прив'язкою до координат Чорного моря четвертого рівня обробки вимірів, зі щорічним оновленням інформації. Просторове розрізнення – $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$. Містить інформацію з 01 березня 1993 р. до 15 жовтня 2019 року;

SEALEVEL_BS_PHY_CLIMATE_L4_REP_OBSERVATIONS_008_058 – містить дані про рівень поверхні моря та похідні змінні клімату четвертого рівня обробки, зі щорічним оновленням інформації. Просторове розрізнення – $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$. Містить інформацію з 01 січня 1993 р. до 15 жовтня 2019 року. Обробку сфокусовано на стабільності й однорідності записів рівня моря (на основі стабільного двосупутникового угруповання). Продукт призначено для моніторингу довгострокової еволюції рівня моря для кліматичних застосувань та аналізу показників океану/клімату.

Вимірювання хлорофілу а. Дослідницька група з глобального супутникового моніторингу та вивчення морських екосистем Італійської Національної дослідницької ради оперативно виробляє дані про поверхневий хлорофіл:

OCEANCOLOUR_EUR_CHL_L3_NRT_OBSERVATIONS_009_050 – продукт виміру концентрації хлорофілу на поверхні моря в Європі за мультисупутниковими спостереженнями, з третім рівнем обробки даних і щоденним оновленням інформації. Просторове розрізнення – $1 \text{ км} \times 1 \text{ км}$. Містить інформацію з 01 січня 2019 р. по теперішній час;

OCEANCOLOUR_BS_CHL_L3_NRT_OBSERVATIONS_009_044 – щоденний усереднений вимір поверхневої концентрації хлорофілу з просторовим розрізненням 1 км , третього рівня обробки, дані отримано за допомогою мультисенсорів (MODIS-AQUA, NPP-VIIRS, Sentinel3-OLCI) і Sentinel3-OLCI. Містить інформацію з 25 квітня 2016 р. по теперішній час;

OCEANCOLOUR_BS_CHL_L4_NRT_OBSERVATIONS_009_045 – включає дані про щомісячну та добову інтерполяцію поверхневої концентрації хлорофілу без пропусків даних (виключаючи набір даних сенсора OLCI), отримані за допомогою мультисенсорів (MODIS-AQUA, NPP-VIIRS, Sentinel3-OLCI) та сенсора Sentinel3-OLCI Level-3; просторове розрізнення – 1 км , четвертий рівень обробки вимірів. Інтерпольовану концентрацію хлорофілу без пропусків оцінюють за допомогою модифікованої версії алгоритму DINEOF від Групи з вивчення супутникового моніторингу глобального океану та морської екосистеми Італійської Національної дослідницької ради. Містить інформацію з 25 квітня 2016 р. по теперішній час;

Також існують продукти обробки вимірів (репроцесингу), де повністю переглянуто виміри за період 1997-2018 рр. (повторна обробка NASA R2018.0 для сканерів MODIS-AQUA, SeaWiFS і VIIRS та атмосферна корекція POLYMER для сканера MERIS R2012.0):

OCEANCOLOUR_BS_CHL_L3_REP_OBSERVATIONS_009_071 – щоденний усереднений вимір концентрації хлорофілу на поверхні моря на основі багатосупутникових спостережень з просторовим розрізненням 1 км , третього рівня обробки вимірів. Містить інформацію за період 04 вересня 1997 р. – 31 грудня 2019 року.

OCEANCOLOUR_BS_CHL_L4_REP_OBSERVATIONS_009_079 надає дані щомісячної обробки (репроцесингу) полів концентрації хлорофілу за багатосупутниковими

спостереженнями разом з добовою інформацією з кліматології сканеру SEAWIFS, з просторовим розрізненням 1 км, четвертого рівня обробки вимірів. Містить інформацію з 04 вересня 1997 р. до 31 грудня 2019 року.

Оптичні вимірювання. Дані про коефіцієнт дифузного ослаблення світла при довжині хвилі 490 нм, що є мірою каламутності стовпа води, а також про відбивну здатність морської поверхні оперативною формує дослідницька група з глобального супутникового моніторингу та вивчення морських екосистем Італійської Національної дослідницької ради. Метод визначення кольору океану використовує електромагнітне випромінювання, що виникає на поверхні моря з різними довжинами хвиль. Спектральна мінливість цього сигналу визначає так званий колір океану, на який впливає присутність фітопланктону.

OCEANCOLOUR_BS_OPTICS_L3_NRT_OBSERVATIONS_009_042 – цей продукт містить показники відображення дистанційного зондування та коефіцієнт дифузного ослаблення світла, а також включає коефіцієнти абсорбції фітопланктону, матеріалу Гельбстоффа та зворотного розсіювання частинок при довжині хвилі 443 нм; усереднені за день супутникові дані, які оновлюють щодня та доступні в режимі, близькому до реального часу, з просторовим розрізненням 1 км × 1 км, третього рівня обробки вимірів. Розміщено дані за період з 25 квітня 2016 р. до теперішнього часу.

Продукт OCEANCOLOUR_BS_OPTICS_L4_NRT_OBSERVATIONS_009_043 представляє середньомісячні значення коефіцієнту дифузного ослаблення світла на довжині хвилі 490 нм з четвертим рівнем обробки і просторовим розрізненням 1 км, а також стандартне відхилення і кількість спостережень в період інтеграції. Він безпосередньо пов'язаний з присутністю поглинаючої і розсіюючої речовини в товщі води. Містить дані за період з 25 квітня 2016 р. до теперішнього часу.

OCEANCOLOUR_BS_OPTICS_L3_REP_OBSERVATIONS_009_096 створено для обробки коефіцієнтів відбиття та згасання на довжині хвилі 490 нм на основі багатосупутникових спостережень у Чорному морі. Ця версія продукту повністю перероблена за період 1997-2018 рр. (повторна обробка NASA R2018.0 для сканерів MODIS-AQUA, SeaWiFS і VIIRS та атмосферна корекція POLYMER для сканера MERIS R2012.0). Спектри Rrs надає Плімутська морська лабораторія з використанням спеціальної конфігурації процесора ЄКА – CCI для CMEMS з високою розрізнявальною здатністю. Вони визначаються як відношення поверхневого випромінювання апвелінгу та випромінювання вниз на будь-якій довжині хвилі (412, 443, 490, 555 і 670 нм). Продукт містить щоденні усереднені поля за період з 04 вересня 1997 р. – 31 грудня 2019 р., з просторовим розрізненням 1 км × 1 км.

Температура. Існують продукти з показниками температури як для Європи, так і окремо для Чорного моря. Європейські датчики температури поверхні надають щоденну усереднену інформацію третього рівня обробки з просторовим розрізненням 0,02°:

- мультисенсорний продукт SST_EUR_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_009_A підготовлено на основі моносенсорних (зіставлених) продуктів третього рівня обробки із скоригованим зсувом, це здійснюється шляхом відбору даних такої послідовності: AVHRR_METOP_B, SEVIRI, VIIRS_NPPP, AVHRR-19, AVHRR-18, MODIS_A, MODIS_T, AMSR2. Вона може змінюватися з часом у залежності від стану кожного датчика. Продукт

містить дані з 01 січня 2016 р. до теперішнього часу. Приклад візуалізації супутникових даних про температуру поверхні Чорного моря на рис. 4.

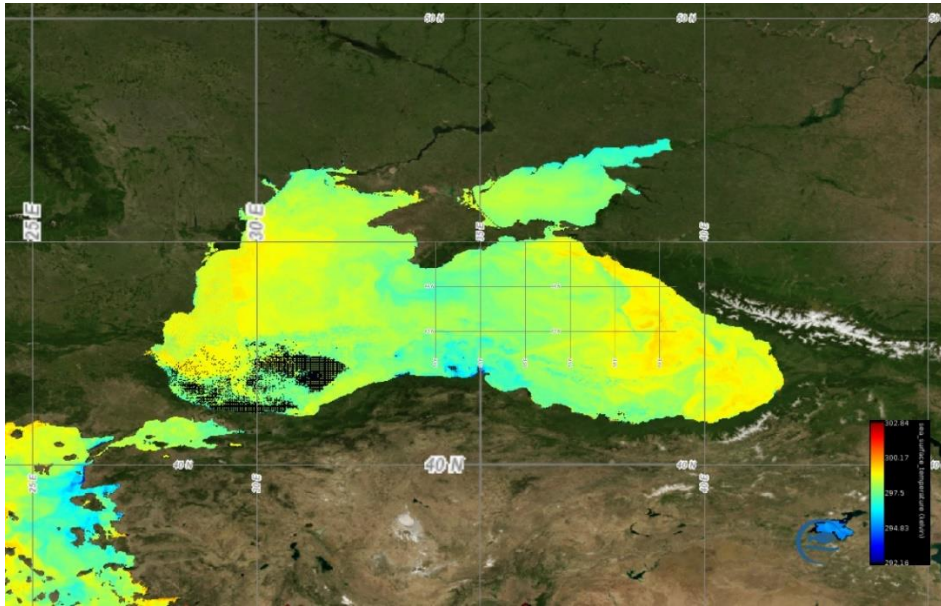


Рис. 4. Візуалізація супутникових даних про температуру поверхні Чорного моря

- SST_EUR_SST_L3C_NRT_OBSERVATIONS_010_009_V – моносенсорний продукт. Датчик METOP_V використовується в якості еталонного датчика для методу корекції. Розміщено дані з 20 серпня 2010 р. по теперішній час.

Продукти вимірювання температури поверхні Чорного моря надають усереднену щоденну інформацію з високим ($1/16^\circ$) та надвисоким ($0,01^\circ$) розрізненням: SST_BS_SST_L3S_NRT_OBSERVATIONS_010_013 третього рівня обробки та SST_BS_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_006 четвертого рівня обробки вимірів. Дані отримано з інфрачервоних вимірювань, зібраних за допомогою супутникових радіометрів і статистичної інтерполяції. Надано прямий доступ до всіх даних за період з 01 січня 2016 р. по теперішній час, при цьому доступ до попередніх даних останнього дворічного періоду можна отримати за спеціальним запитом через службу підтримки servicedesk.cmems@mercator-ocean.eu.

Також розміщено продукт переробки (репроцесингу) усереднених щоденних даних температури поверхні Чорного моря, четвертого рівня обробки, із щорічним оновленням – SST_BS_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_022, з просторовим розрізненням $0,05^\circ$. Цей продукт створено на основі послідовної обробки кліматичних даних третього рівня, які надає Європейська Космічна Агенція зі зміни клімату та Служба з питань зміни клімату "Copernicus", а також включає в якості вхідних даних скориговану версію набору даних AVHRR Pathfinder.5.3 для збільшення вхідного охоплення спостережень. Дані охоплюють період з 01 січня 1982 р. – 31 грудня 2018 року. Приклад візуалізації репроцесингу даних про температуру поверхні Чорного моря на рис. 5.

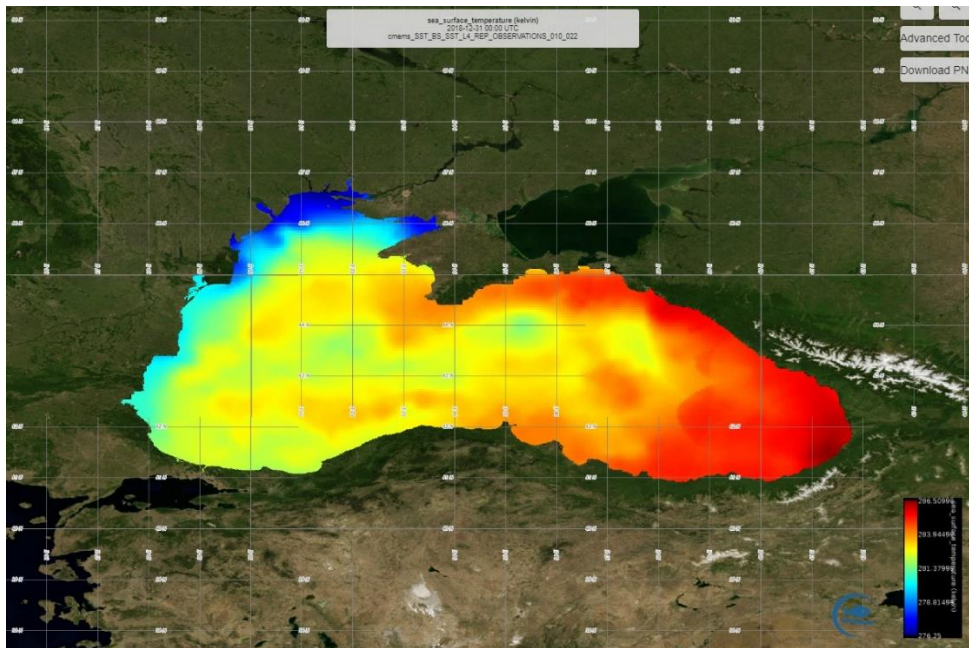


Рис. 5. Приклад репроцесингу супутникових даних про температуру поверхні Чорного моря за 31 грудня 2018 року

Вітер. Дані про приповерхневий вітер над Чорним морем доступні у системі продуктів для Світового океану:

WIND_GLO_WIND_L3_NRT_OBSERVATIONS_012_002 – продукт зі щоденними даними третього рівня обробки, які отримано за допомогою скаттерометрів ASCAT і OSCAT, з просторовим розрізненням $0,125^\circ$. Дані доступні з 01 січня 2016 р. до теперішнього часу;

WIND_GLO_PHY_CLIMATE_L4_REP_012_003 – репроцесинг полів швидкості приповерхневого вітру за даними скаттерометра ASCAT, четвертого рівня обробки, з просторовим розрізненням $0,25^\circ$. Доступні дані середньомісячних спостережень за період з 16 травня 2007 р. до 31 грудня 2019 року.

Хвилі. Продукти про висоту хвиль, що отримані на основі даних альтиметра WAVE-TAC у рамках супутникових досліджень Світового океану, майже в реальному часі надають інформацію основним центрам оперативної океанографії та прогнозування клімату в Європі та в усьому світі:

продукт WAVE_GLO_WAV_L3_SWH_NRT_OBSERVATIONS_014_001 надає дані про висоту хвиль, третього рівня обробки, з просторовим розрізненням 7 км, за період з 01 січня 2020 р. по теперішній час. Дані отримано від супутників Jason-3, Sentinel-3A, Sentinel-3B, Cryosat-2, SARAL/AltiKa, CFOSAT і Hai Yang-2B обробляють в режимі, близькому до реального часу;

WAVE_GLO_WAV_L3_SPC_NRT_OBSERVATIONS_014_002 – продукт третього рівня обробки спектрального інтегрального параметра радару з синтезованою апертурою на основі вимірювань супутників Sentinel-1A і Sentinel-1B. Містить дані за період з 28 травня 2018 р. до теперішнього часу;

WAVE_GLO_WAV_L4_SWH_NRT_OBSERVATIONS_014_003 – продукт з четвертим рівнем обробки, заснований на доступних даних МСПС третього рівня обробки про значну

висоту хвилі. Надає усереднені щоденні дані, з просторовим розрізненням 2°, за період з 26 червня 2019 р. до теперішнього часу.

Висновки. Моніторинг і прогноз стану морського середовища – основа інформаційного забезпечення, необхідного для ефективного, безпечного, раціонального та відповідального використання і захисту морського середовища, прогнозів клімату та ефективного управління ресурсами моря. Спостереження, аналізи та прогнози, які здійснює Морська служба програми "Copernicus", використовують для всіх видів застосувань на морі, включаючи: безпеку на морі, морські ресурси, прибережне та морське середовище, погоду, сезонне прогнозування та клімат. Програма "Copernicus" постійно розвивається. Обмін знаннями є пріоритетним напрямом розвитку програми, тому регулярно проводять семінари, розробляють навчальні відео для початківців та експертів, а також підтримується постійна взаємодія з вченими в різних областях. Базу даних програми "Copernicus" постійно поповнюють та оновлюють, а вільний доступ до даних дає широкі можливості для аналізу морського середовища.

Продукти Морської служби "Copernicus" надають всеохоплюючі, високоякісні, міжгалузеві дані про Чорне море у стислі терміни, що дає можливість українським вченим та іншим зацікавленим сторонам їх оперативно використовувати.

До того ж, використання даних дистанційного дослідження Землі разом із проведенням комплексних наукових експедиційних досліджень дають можливість формувати та забезпечувати належне функціонування Банку океанографічних даних Національної академії наук України з метою надання користувачам доступу до даних оперативної океанографії.

Для детального аналізу океанографічних даних, отриманих під час науково-дослідних експедицій, використовують матеріали дистанційного зондування морських акваторій за даними супутників у режимі online. Приклад використання такої інформації наведено в [1].

Українські профільні організації та наукова спільнота активно цікавляться та беруть участь у програмі "Copernicus". На початку 2020 року в Національному центрі управління та випробувань космічних засобів, що входить до сфери управління Державного космічного агентства України, розпочав свою роботу Регіональний дзеркальний сайт програми "Copernicus": <http://sentinel.spacecenter.gov.ua/>, який забезпечує вільний доступ всіх бажаючих до матеріалів зйомок території України з супутників Sentinel-1, Sentinel-2 та Sentinel-3. На території України накопичення даних супутників "Sentinel" розпочато з 01 грудня 2019 року. На 2020-2021 роки заплановано отримання даних із супутника Sentinel-5P [2].

Аналіз даних продуктів Морської служби "Copernicus" разом з результатами, здобутими під час комплексних науково-дослідних експедицій, надають можливості для подальшого використання даних, у тому числі для обміну, моніторингу та відповідних теоретичних узагальнень, а також плідної участі України у розв'язанні актуальних завдань пріоритетних галузей наукових досліджень і розробок Десятиліття наук про океан в інтересах сталого розвитку (2021-2030).

Перелік використаних джерел

1. Голодов М.Ф., Гордєєв А.Ю., Нестеренко Л.В., Тимченко Ю.А., Федосєєнков С.Г., Шундель О.І., Щипцов О.А., Щипцов О.О. Гідрофізичні дослідження морського та річкового середовища. *Геофізичний журнал*. Т. 41, № 6. 2019. С. 111-127.
2. Запущено онлайн-курс за програмою "Copernicus". *Національний центр управління та випробувань космічних засобів*: веб-сайт. URL: <https://spacecenter.gov.ua/news/zapushheno-onlajn-kurs-za-programoju-copernicus.html> (дата звернення: 30.06.2020 р.).
3. The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report/ Schuckmann K., Traon P.-Y. L., Alvarez-Fanjul E. et al. *Journal of Operational Oceanography*. 2016. VOL. 9, NO. S2. P. 235–320. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1273446>.
4. ESA, Copernicus, Overview. ESA: веб-сайт. URL:http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3 (last accessed: 05.05.2020).
5. Regulation (EU) No 377/2014 of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 establishing the Copernicus Programme and repealing Regulation (EU) No 911/2010 /European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/976616e8-cb7c-11e3-b74e-01aa75ed71a1> (last accessed: 01.05.2020).
6. Regulation (EU) No 911/2010 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the European Earth monitoring programme (GMES) and its initial operations (2011 to 2013) / European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7b511d06-becf-4a8b-b2fadcd08c1a79d9> (last accessed: 05.05.2020).
7. Who are Copernicus Marine Service data producers? *The Copernicus Marine Environment Monitoring Service* : веб-сайт URL: <http://marine.copernicus.eu/> (last accessed: 15.05.2020).

Мониторинг и прогнозирование состояния Черного моря в международной программе "Copernicus"

С.И. Неверова, Л.В. Нестеренко, С.Г. Федосєєнков, А.И. Шундель

Неверова Светлана Ивановна – научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Нестеренко Любовь Владимировна – младший научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Федосєєнков Сергей Геннадьевич – к.геол.н., заведующий отделом панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Шундель Алексей Иванович – научный сотрудник отдела панорамных акустических систем Государственного учреждения "Научный гидрофизический центр Национальной академии наук Украины"; Украина, 03187, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 42; lixytab66@gmail.com

Аннотация

В статье выполнен обзор продуктов, создаваемых Морской службой программы "Copernicus" (координатор и руководитель – Европейская комиссия в партнерстве с Европейским космическим агентством (ЕКА), государствами-членами ЕС и агентствами ЕС) и находящихся в открытом доступе. Рассмотрены продукты, полученные по результатам численно-модельных расчетов и спутниковых наблюдений, с приведением пространственных и временных характеристик для Черного моря. Приведены примеры визуализации биогеохимических показателей и физической анализ Черноморского региона, разработанные с целью его мониторинга и прогноза состояния для рационального, безопасного и эффективного использования, а также защиты морских ресурсов. **Ключевые слова:** данные, численно-модельные расчеты, спутниковые наблюдения, *in situ*, ретроспективный анализ, дистанционные исследования

Monitoring and forecasting of the Black Sea in the international program "Copernicus"

S.I. Nevierova, L.V. Nesterenko, S.H. Fedoseienkov, O.I. Shundel

Nevierova, Svitlana Ivanivna – Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: sidzp2019@gmail.com

Nesterenko, Lyubov Volodymyrivna – Junior Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: nest.lubov.v@gmail.com

Fedoseienkov, Serhiy Hennadiyovych – Cand. Sci. (Geol.), Head of the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: 22lex22s@ukr.net

Shundel, Oleksiy Ivanovych – Researcher, the Department of panoramic acoustic systems, State Institution "Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine"; Ukraine, 03187, Kyiv, 42 Akademika Hlushkova Ave.; E-mail: lixyta666@gmail.com

Abstract

The article provides an overview of products created by the Maritime Service of the "Copernicus" programme (coordinated and managed by the European Commission in partnership with the European Space Agency (ESA), EU Member States and EU agencies) and made publicly available. Products derived from numerical model calculations and satellite observations with spatial and temporal characterization for the Black Sea were considered. Examples are given of biogeochemical indicators visualization and physical analysis of the Black Sea region, designed to monitor and predict the state of the region for the rational, safe and efficient use and protection of marine resources.

Key words: data, numerical model calculations, satellite observations, in situ, retrospective analysis, remote research

References

1. Gholodov MF, Ghordjejev AJu, Nesterenko LV, Tymchenko JuA, Fedosejenkov SH, Shundelj OI, Shhycov OA, Shhycov OO. Ghidrofizychni doslidzhennja mors'kogho ta richkovogho seredovyssha [Hydrophysical studies of the marine and river environment]. Gheofizychnyj zhurnal. 2019; 41(6):111-127 [In Ukrainian].
2. Zapushheno onlajn-kurs za prohramoju "Copernicus". Nacional'nyj centr upravlinnja ta vyprovuvanj kosmichnykh zasobiv [An online course on the "Copernicus" program has been launched] [Internet]. 2019 [cited 2020 Jun 30]. Available from: <https://spacecenter.gov.ua/news/zapushheno-onlajn-kurs-za-prohramoju-copernicus.html> [In Ukrainian].
3. Schuckmann K, Traon PY, Alvarez-Fanjul EL, et al. The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report. Journal of Operational Oceanography. 2016. 9(S2):235–320. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1273446>.
4. ESA, Copernicus, Overview. ESA. [Internet]. [cited 2020 May 5]. Available from: http://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview3.
5. Regulation (EU) No 377/2014 of the European Parliament and of the Council of 3 April 2014 establishing the Copernicus Programme and repealing Regulation (EU) No 911/2010. European Union. [Internet]. 2014 Apr. 3 [cited 2020 May 1]. Available from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/976616e8-cb7c-11e3-b74e-01aa75ed71a1>.
6. Regulation (EU) No 911/2010 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the European Earth monitoring programme (GMES) and its initial operations (2011 to 2013). European Union. [Internet]. 2010 Sept. 22 [cited 2020 May 5]. Available from: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7b511d06-becf-4a8b-b2fa-adc08c1a79d9>.
7. Who are Copernicus Marine Service data producers? The Copernicus Marine Environment Monitoring Service. [Internet]. [cited 2020 May 15] Available from: <http://marine.copernicus.eu/>.

Стаття надійшла 20.07.2020 р.