

Просування досліджень та інновацій у Чорному морі

для формування сталої блакитної економіки



BRIDGE Black Sea (BRIDGE-BS)

BRIDGE-BS – це проєкт програми “Горизонт 2020”, який сприяв розвитку морських досліджень та інноваційного потенціалу Чорного моря з метою спільної розробки шляхів реалізації блакитної економіки всупереч численним факторам, які перешкоджають ековідповідальному використанню природних систем. У рамках проєкту було розроблено систему управління екосистемою, яка може бути врахованою у політиці і сприяти залученню громадян. Проєкт тривав із червня 2021 року по листопад 2025 року.

Партнерські організації BRIDGE-BS

Консорціум складався з 31 партнера з 14 країн:



Вступ

Чорне море – це напівзакритий басейн, у який впадають 10 великих річок. Його максимальна глибина становить 2210 м, і це найбільший аноксідно-сульфідний¹ водний об'єкт на Землі. Завдяки унікальним середовищам існування, великій кількості ресурсів та багатій культурній спадщині Чорне море має життєво важливе значення для прибережних громад та понад 160 мільйонів людей, які населяють територію водозбірного басейну річок, які в нього впадають. Екосистемні послуги (ecosystem services) Чорного моря² забезпечують розвиток блакитної економіки³, а нові технологічні інновації забезпечують значний потенціал для подальшого підвищення рівня ековідповідального використання ресурсів.

Однак є фактори, які мають негативний вплив на Чорне море. Зокрема, це фактори, пов'язані зі зміною клімату (потепління, закислення, кисневе збіднення), а також евтрофікацією, морським сміттям, хімічним забрудненням, надмірним виловом риби, занесенням інвазивних чужорідних видів та наслідками війни⁴. Це призводить до втрати біорізноманіття та становить загрозу для соціально-екологічного стійкого розвитку⁵. У період з 1970-х до початку 1990-х років нераціональні обсяги рибальства, забруднення біогенними речовинами та інвазивні види

призвели до ослаблення стійкості екосистеми Чорного моря, що спричинило занепад рибальства, поширення евтрофікації та збільшення деоксигенації. Однак з 2000-х років екосистема стабілізувалася й частково відновилася⁶ (імовірно, завдяки оптимізації підходів), однак вона все ще далека від свого попереднього здорового стану.

Спираючись на минулі й поточні проєкти та ініціативи, проєкт BRIDGE Black Sea (BRIDGE-BS) запропонував нові інструменти та можливості для прогнозування довгострокового впливу й потенційних ризиків, пов'язаних із негативними факторами. Це дозволяє визначити безпечні межі функціонування в межах екосистеми для розвитку стійкої блакитної економіки (sustainable blue economy). Зокрема, йдеться про інновації в екологічному моніторингу, інтеграцію даних, моделювання кліматичних сценаріїв, аналіз стійкості екосистем Чорного моря, їхніх ресурсів та критичних точок⁷, а також оцінювання ризиків для забезпечення управління на засадах екосистемного підходу. Завдяки співпраці з місцевими громадами і представниками влади було визначено ключові заходи щодо забезпечення стійкості та продуктивності Чорного моря й гарантії довгострокової реалізації (до 2050 та 2100 років) блакитної економіки Чорного моря.

¹ У донних водах бракує кисню (тобто вони є безкисневими) і вони багаті сірководнем, токсичним газом, що виробляється мікроорганізмами в безкисневих умовах.

² Переваги, що забезпечуються процесами, функціями та структурою морського середовища, які прямо чи опосередковано сприяють суспільному добробуту, здоров'ю та економічній діяльності (<https://www.marineboard.eu/valuing-marine-ecosystems>).

³ Добре налагоджені галузі в Чорному морі: судноплавство, транспорт, портові операції та логістика, суднобудування та ремонт, рибальство та аквакультура, а також туризм. До нових галузей належать енергетика та морські ресурси, блакитні біотехнології, оборона та безпека на морі.

⁴ Для отримання додаткової інформації про забруднення Чорного моря, пов'язані з війною, відвідайте сторінку <https://black-sea-maritime-agenda.ec.europa.eu/safeguarding-black-sea-region-results-regional-roundtable-war-related-pollution>

⁵ Здатність природних і соціально-економічних систем зберігатися, адаптуватися або трансформуватися за несприятливих умов, зберігаючи при цьому свої основні функції (<https://www.marineboard.eu/publications/building-coastal-resilience-europe-p14>).

⁶ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27643946/>

⁷ Критична точка, у якій запускається перехід до нового стану, а повернення до попереднього стану є складним або неможливим (<https://www.marineboard.eu/publications/building-coastal-resilience-europe>).

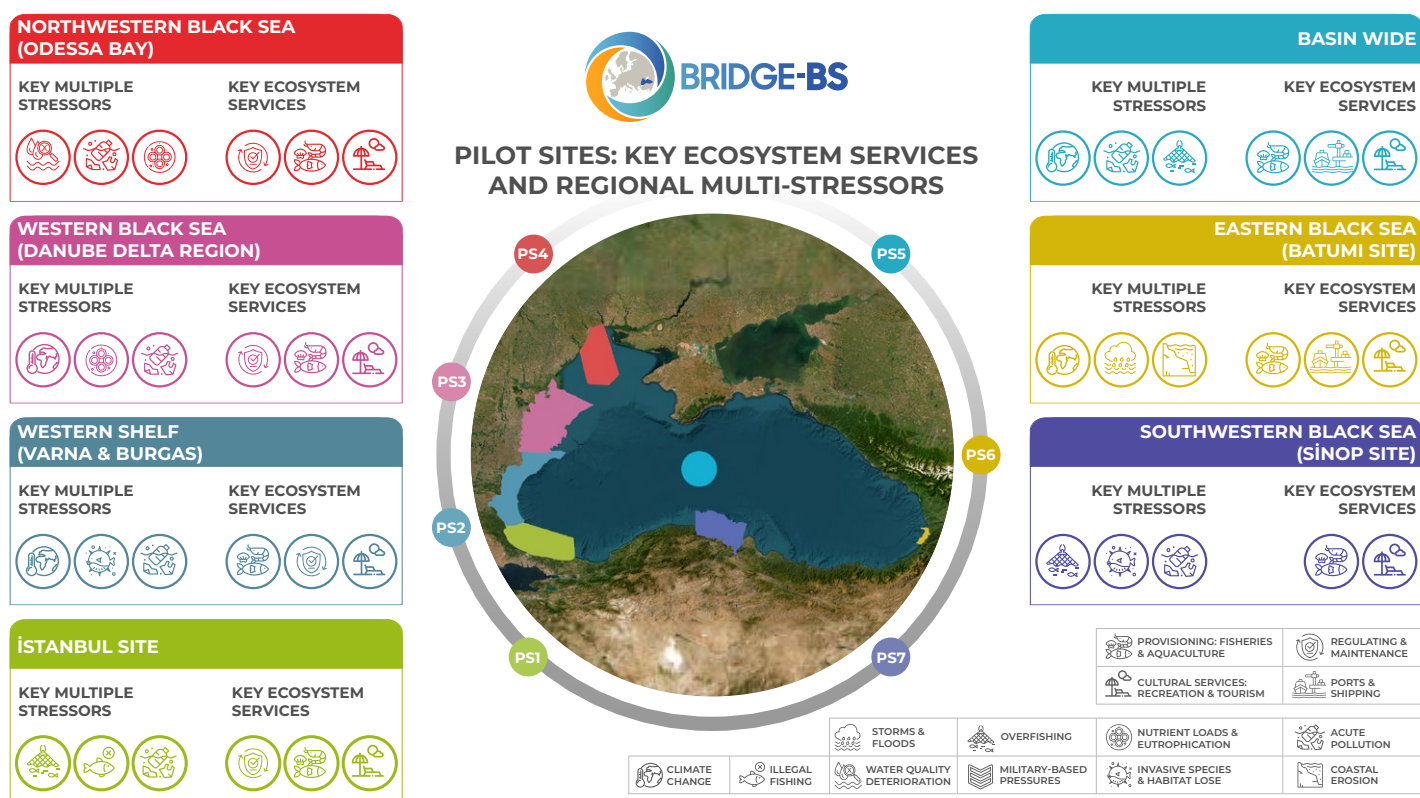
Нові знання та прогностичні інструменти для оцінювання ризиків, пов'язаних із факторами, які негативно впливають на екологію

Експедиції, дослідження й результати моделювання в рамках проєкту BRIDGE-BS забезпечили нове розуміння поточного стану Чорного моря та впливу на його екологію численних негативних факторів. Пілотні об'єкти (див. мал. 1) використовувалися як координаційні центри для досліджень, також були обстежені різні прибережні райони. Крім того, було розроблено узгоджені методи моніторингу морського середовища для впровадження в усьому регіоні.

Екологічні оцінки⁸ свідчать про наступне:

- З 1980 року температура Чорного моря підвищилася щонайменше на 2,6 °C, що більше ніж середній глобальний показник, який становить 0,6 °C.

- Попередні дані по західній частині Чорного моря свідчать про те, що рівень нітратів знизився з 8 до 5 мкм у період з 1988 по 2022 роки, однак місцеві явища евтрофікації все ще спостерігаються.
- Чорне море залишається збідненим на кисень, і подальше потепління⁹ може ще більше звужити верхній шар води, що насичений киснем.
- Токсичний сірководень присутній на глибині близько 80 м у центральних частинах Чорного моря, що створює ризик для окремих секторів блакитної економіки. Однак надходження багатих киснем вод із Середземного моря обмежує його накопичення, тож це слід враховувати в розрахунках балансу кисню для кращого прогнозування ризиків.



Мал. 1. Пілотні ділянки (pilot sites) використовувалися як координаційні центри для досліджень, залучення зацікавлених сторін та розробки сценаріїв реалізації принципів блакитної економіки. Кожна ділянка має унікальні екосистемні ресурси та фактори негативного впливу. Також було проведено оцінювання в межах усього басейну.

⁸ Матеріал 5.2: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17229148>

⁹ Пояснення зв'язку між потеплінням і дезоксигенацією див. на стор. 12: <https://marineboard.eu/publications/ocean-oxygen>

Біотехнологічний потенціал¹⁰ морських ресурсів Чорного моря було продемонстровано шляхом виявлення тисяч промислових ферментів в осадових мікроорганізмах, які потенційно можуть використовуватися в біопереробці, біоремедіації, фармацевтичних препаратах та харчовій промисловості (окислення сульфідів, денітрифікація тощо).

Оцінка стійкості¹¹ продемонструвала в масштабах басейну, що екосистема Чорного моря перетнула критичну точку приблизно в 2005 році. З кінця 1980-х років екосистема характеризувалася евтрофікацією, великою кількістю медуз і низькою кількістю зоопланктону та риби. Після 2005 року запаси риби почали відновлюватися, а кількість фітопланктону та медуз зменшилася, що свідчить про перехід до часткового відновлення, покращення здоров'я та стійкості екосистеми. Це стало можливим завдяки вдосконаленню підходів до керування природними ресурсами та позитивним змінам у структурі екосистеми. Однак, якщо температура продовжить зростати, у майбутньому все ще можливе перетинання критичних точок. Початкові оцінювання з використанням даних про вивантаження риболовних суден показують відмінності в динаміці критичних точок між північно-західною та південною частинами Чорного моря; відповідно, оцінювання стійкості необхідні як у масштабах усього басейну, так і на локальному рівні. Це вимагатиме подальших досліджень функціонування екосистеми та її послуг на місцевому та регіональному рівнях, вдосконалення локального моніторингу та обміну даними, а також оптимізації використання дистанційного зондування та моделювання даних.

Щоб перейти до економічно ефективної інтегрованої системи завчасного попередження про численні (multi-stressors) фактори негативного впливу на суходолі й на морі, у рамках проєкту BRIDGE-BS було протестовано й підтверджено використання комбінації технологій інтелектуальних датчиків (smart sensors and platforms)¹² (мал. 2). Ці технології продемонстрували високу доцільність впровадження та технологічну готовність до повномасштабного використання. Для інтеграції цих методів у системи спостереження та національні програми моніторингу рекомендується застосовувати індивідуальний підхід. Нижче перелічено типи датчиків, які тестувалися:

- **Біогеохімічні датчики (biogeochemical sensors)** для вимірювання pH, вмісту вуглекислого газу та сірководню (hydrogen sulphide), адаптовані до умов навколишнього середовища Чорного моря. Вони можуть використовуватися місцевими муніципалітетами, національними програмами моніторингу та прибережними секторами щоб краще управляти кліматичними ризиками.
- **Екологічна ДНК (eDNA)**¹³ як інноваційний, швидкий та економічно ефективний метод оцінки біорізноманіття¹⁴. Цей метод може доповнити традиційні методи тралення в рамках програм моніторингу, які підтримують збереження довкілля, ековідповідальне рибальство і визначення сфер для впровадження природоохоронних заходів.
- **ДНК-метабаркодинг (DNA metabarcoding)**¹⁵ як інструмент для швидкого моніторингу біорізноманіття фітопланктону (phytoplankton) та видів шкідливого цвітіння водоростей (ШЦВ/НAB); він має більшу чутливість таксономічної роздільної здатності, ніж традиційні підходи з використанням мікроскопії. Цей метод може покращити оцінювання біорізноманіття, які проводяться природоохоронними та моніторинговими органами.
- **Поєднання підводних акустичних методів та повітряних методів на основі дронів (drones)** для швидкого й неінвазивного виявлення медуз; ці методи можна застосовувати до моніторингової діяльності.
- **Метагеномне**¹⁶ використання нових ферментів з біотехнологічним потенціалом, які можна масштабувати для промислових застосувань.
- **Автономні платформи, як-от глайдери (glider) та Scanfish** (буксируваний апарат), а також стаціонарні (бентосні/ benthic) платформи, під'єднані до мобільних платформ за допомогою технологій інтернету речей (IoT)¹⁷.

¹⁰ Матеріал 5.4: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17229461>

¹¹ Матеріал 3.2 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

¹² Матеріал 5.5 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

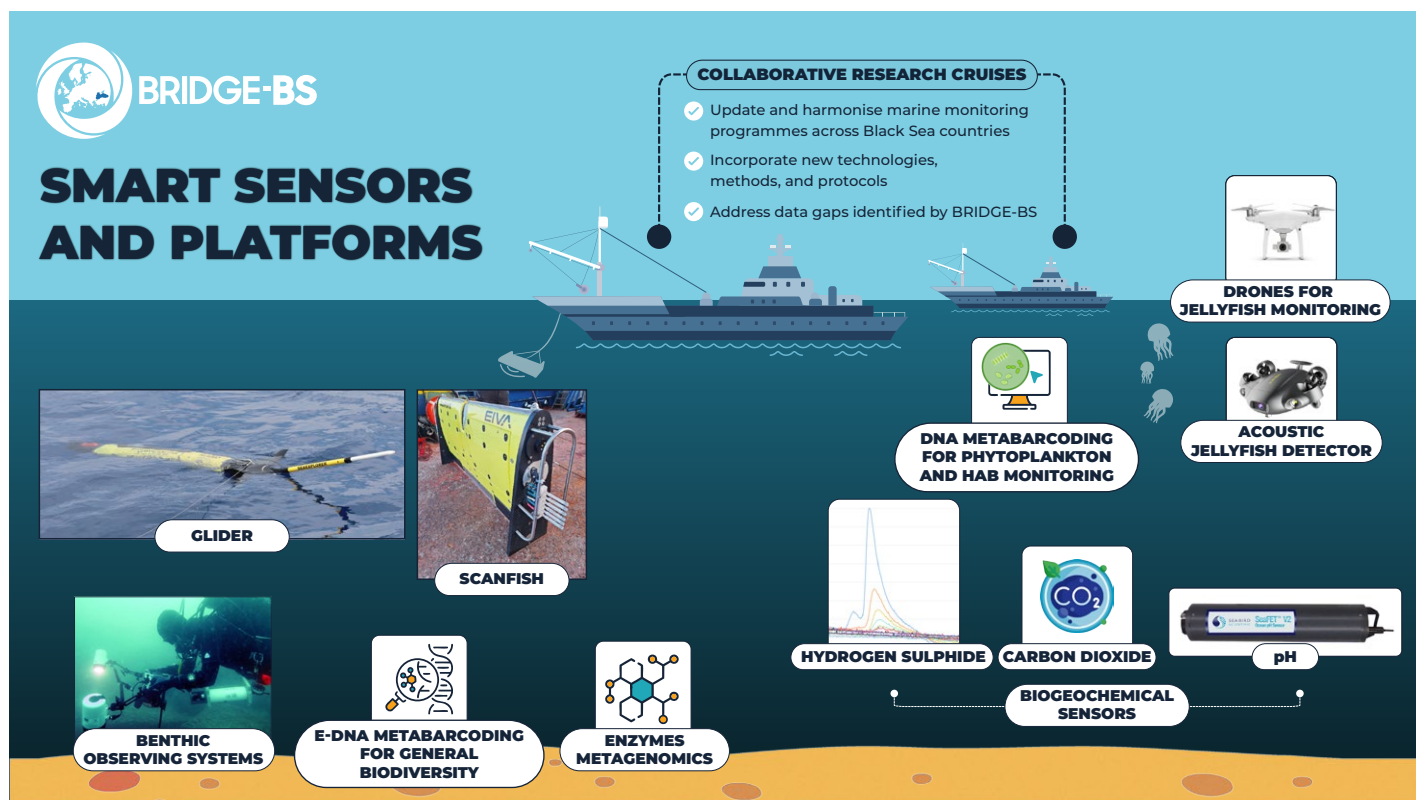
¹³ Генетичний матеріал, отриманий зі зразків навколишнього середовища, як-от ґрунт або вода, без явних ознак біологічного вихідного матеріалу. Використовується як індикатор присутності видів.

¹⁴ Матеріал 5.3 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

¹⁵ Секвенування генетичних "штрих-кодів" для ідентифікації видів на основі зразка з навколишнього середовища (наприклад, зразки води або осаду, що містять екологічну ДНК) і здатність ідентифікувати кілька видів одночасно (спільноти) та їхню чисельність.

¹⁶ Дослідження структури та функції ДНК усіх організмів у зразку навколишнього середовища.

¹⁷ Мережа інтелектуальних взаємопов'язаних підводних об'єктів, які дозволяють здійснювати моніторинг великих недосліджених ділянок океану.



Мал. 2. Огляд інтелектуальних датчиків і платформ, випробуваних під час спільних дослідницьких рейсів BRIDGE-BS

Біологічні показники були протестовані як потенційні нові показники стійкості екосистеми, щоб допомогти оцінити, наскільки система близька до критичної точки¹⁸. До них належать показники структури харчової мережі (трофічні рівні¹⁹ вилову/популяції) та функції біологічних спільнот морського дна (біотурбація²⁰ та біоіригація²¹). Отримані показники можуть бути використані для розробки планів відновлення, зокрема для реалізації в прибережних середовищах концепції блакитного вуглецю, і можуть бути адаптовані для моніторингу стану навколишнього середовища. Для підтримки актуальності даних та ефективності їх застосування необхідне подальше тестування цих показників.

Демонстраційна модель Цифрового двійника океану (BRIDGE-BS Digital Twin Ocean - DTO)²² (мал. 3) є одним із ключових результатів проєкту BRIDGE-BS, який поєднує багато розроблених нами інструментів. Ця модель має стати віртуальним представленням Чорного моря,

послугуючись яким представники влади зможуть приймати обґрунтовані рішення з використанням умовних сценаріїв, аналізу компромісів, а також галузевих даних і даних зацікавлених сторін. Розроблена модель об'єднує дані з порталу й бази даних BRIDGE-BS, біофізичні моделі Чорного моря та його водозбірного басейну з високою роздільною здатністю, соціально-економічні сценарії, оцінювання стійкості (resilience assesment), інструмент підтримки прийняття рішень (decision-support tools) на основі ШІ (AI) та інструмент оцінювання сукупного впливу на основі ризиків (див. нижче окремі описи). Крім того, вона визначає поточний майбутній стан екосистеми та потенційні ризики, а також розробляє контексти управління ризиками та стратегічні цілі для конкретних сфер, зосереджуючись на ресурсах екосистеми та майбутніх сценаріях впливу. Демонстраційна модель DTO може бути використана для визначення меж екосистеми для безпечного робочого простору, який забезпечить реалізацію принципів блакитної економіки в Чорному морі та для інформування адаптивного управління.

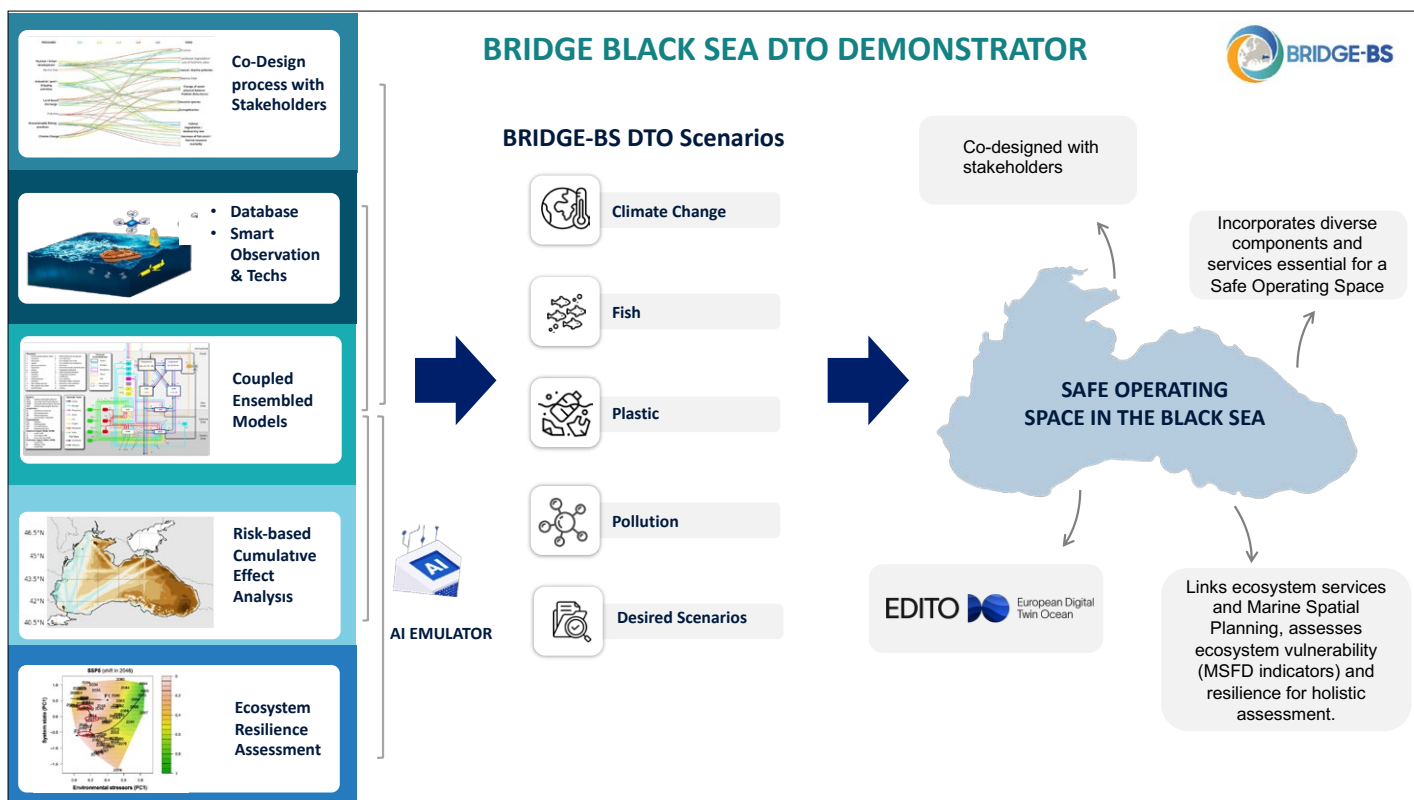
¹⁸ Матеріал 3.1 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

¹⁹ Опис розташування організму в харчовому ланцюгу або харчовій мережі відповідно до того, як він отримує енергію та поживні речовини.

²⁰ Змішування порушення осадів і ґрунтів живими організмами, наприклад, через риття, живлення та корінну активність рослин.

²¹ Процес, за допомогою якого організми, які живуть в осаді, активно обмінюються водою та розчинними речовинами між верхньою товщею води та осадом шляхом риття, помпування та харчування.

²² <https://bridgeblacksea.org/index.php/black-sea-dto/>; <https://dekosim.ims.metu.edu.tr/digitaltwin/>



Мал. 3. Огляд демонстраційної моделі Цифрового двійника океану (BRIDGE-BS Digital Twin Ocean - DTO).

Портал (portal) і база даних (database) BRIDGE-BS²³ – це міждисциплінарна платформа, яка забезпечує загальний доступ до методології, а також фізичних, хімічних і біологічних наборів даних, отриманих на основі спостережень і моделювання Чорного моря в рамках проекту BRIDGE-BS, попередніх проектів та з інших регіональних, європейських і глобальних баз даних (зокрема, SeaDataNet²⁴, EMODnet²⁵, Sentinel²⁶ та бази даних про якість води в Чорному морі²⁷). Центр досліджень морських екосистем та клімату (DEKOSIM²⁸) Близькосхідного технічного університету підтримує портал BRIDGE-BS, базу даних та демонстраційну модель DTO, а також інтегруватиме демонстраційну модель DTO для Чорного моря в інфраструктуру EDITO²⁹ в рамках європейської ініціативи DTO.

Інструмент підтримки прийняття рішень на основі штучного інтелекту (ШІ)³⁰ використовує прототипи моделей машинного навчання для аналізу того, як екосистема Чорного моря реагує на численні негативні фактори, і для інформування адаптивного управління. Інструмент забезпечує регіональний та пілотний локальний аналіз причинно-наслідкових зв'язків між негативним впливом на навколишнє середовище і прогнозованими біологічними реакціями. Він також інтегрує дані спостережень та моделі в масштабах басейну для дослідження більш складних взаємодій у просторі

та часі. Щоб підвищити точність цього інструмента, необхідно заповнити прогалини у фізичних та біогеохімічних даних, зокрема повні просторові часові ряди спостережень та/або результати моделювання. У майбутньому цей інструмент може бути використаний для підтримки тестування сценаріїв та розробки систем завчасного попередження про цвітіння вод або риболовні колапси.

Для зацікавлених сторін було розроблено інструмент підтримки прийняття рішень щодо оцінювання сукупних наслідків на основі ризиків (risk-based cumulative effects analysis)³¹, який допомагає зрозуміти й передбачити просторові гарячі точки екологічного впливу сукупного навантаження з боку секторів блакитної економіки. Показники впливу від конкретних секторів генеруються для тестування й оцінювання майбутніх адаптивних стратегій управління, які можуть підтримувати морське просторове планування. Подальший розвиток інструмента залежить від інтеграції соціально-економічних даних з метою зіставлення показників сукупного тиску із впливом на екосистемні ресурси.

Сукупність спеціального розроблених комбінованих моделей (coupled ensemble models) Чорного моря з високою роздільною здатністю³², які охоплюють всю морську систему, може бути використана для оцінювання

²³ <https://bridgeblacksea.org/index.php/bridge-bs-database-logged/>

²⁴ <https://www.seadatanet.org/>

²⁵ <https://emodnet.ec.europa.eu/en>

²⁶ <https://sentinels.copernicus.eu/>

²⁷ <https://blackseadb.org/>

²⁸ <https://dekosisim.metu.edu.tr/>

²⁹ <https://edito-infra.eu/>

³⁰ Матеріал 4.3 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

³¹ Матеріал 4.4 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

³² Матеріал 2.3 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

поточного й майбутнього впливу численних негативних факторів та інформування представників влади про поточний стан навколишнього середовища, щоб вони мали змогу оцінити компроміси, розробити ефективні стратегії управління й переглянути регіональну та національну морську політику.

Обсерваторія блакитної економіки Чорного моря³³ – це онлайн-платформа, яка пропонує інформаційну панель для моніторингу реалізації принципів блакитної економіки в Чорному морі. Вона надає огляд поточного стану секторів блакитної економіки в кожній країні Чорноморського регіону, а також різні сценарії майбутнього, розроблені в рамках проєкту BRIDGE-BS. Представники влади, дослідники та підприємства можуть отримати інформацію для прийняття обґрунтованих рішень щодо підтримки принципів блакитної економіки на регіональному та національному рівнях. Також ця онлайн-платформа висвітлює поточні регіональні недоліки щодо стійкості екосистеми, прогалини в даних та проблеми доступу до даних. Дані з обсерваторії надходять до демонстраційної моделі BRIDGE-BS DTO, і на їхній основі розробляються майбутні плани щодо довгострокового обслуговування обсерваторії.

Акселератор BRIDGE-BS для Чорного моря (Black Sea Accelerator)³⁴ був реалізований за співпраці з проєктом DOORS Black Sea та підтримав стартапів³⁵, малі й середні підприємства та дослідників у масштабуванні інноваційних рішень і веденні бізнесу з дотриманням принципів блакитної

економіки в різних секторах, починаючи від рибальства та аквакультури й закінчуючи морськими перевезеннями. Два **саміти високих технологій BRIDGE-BS (High Tech Summit for the Black Sea)** для Чорного моря продемонстрували інновації більш широкій регіональній аудиторії та сприяли діалогу між різними суб'єктами блакитної економіки. Нами досліджувалися ідеї щодо нових послуг і продуктів, які створюють додану вартість і робочі місця, зокрема у сфері переробки пластику, енергетики, ековідповідальної місцевої аквакультури та біотехнології водоростей.

Навчання та заходи, спрямовані на розбудову потенціалу, (мал. 4) зміцнили дослідницьку спільноту Чорного моря. Зокрема, ідеться про Virtual Blue Career Centre³⁶, здобувачі ступеня доктора філософії (PhD Students) на тему блакитної економіки³⁷, програму «Молоді амбасадори» (Black Sea Young Ambassadors)³⁸, літні та зимові навчальні курси (Summer and Winter Schools)³⁹, а також масовий відкритий онлайн-курс⁴⁰ (MOOC) з питань науки, політики та технологій. Місцеві зацікавлені сторони були залучені через живі лабораторії (living labs)⁴¹, місцеві та регіональні представники влади – через серію заходів, а широка громадськість дізналася про важливість збереження екосистем Чорного моря та реалізації принципів блакитної економіки завдяки заходам з океанічної грамотності, які проводила Мережа океанічної грамотності Чорного моря (Black Sea Ocean Literacy Network)⁴², та громадським науковим кампаніям (citizen science campaigns)⁴³.

Бачення майбутнього Чорного моря

Ключові прогнози щодо майбутнього стану Чорного моря за різних сценаріїв зміни клімату були розроблені з використанням комбінованих фізико-біогеохімічних моделей, які були зменшені для надання інформації на місцевому рівні. Вони вказують на те, що температура поверхні моря до 2100 року зросте на 0,9 - 3,8 °C в залежності від обсягу майбутніх викидів вуглекислого газу. Очікується, що це вплине на концентрацію кисню, яка зменшиться як мінімум на 9%. Прогнозується зниження біорізноманіття, а також зміни в динаміці екосистеми та продуктивності рибальства. Крім того, моделі BRIDGE-BS надали прогнози щодо забруднення пластиком на основі соціально-економічних сценаріїв, розроблених відповідно до різних рівнів економічного зростання, демографії та потенційної екологічної політики, яка впливає на надходження пластику з річок і прибережних міст⁴⁴. Це

прогнозоване збільшення факторів впливу негативно позначиться на стійкості Чорного моря, і з огляду на це ми повинні докладати максимум зусиль для стабільної реалізації принципів блакитної економіки.

Нами було створено три типи сценаріїв (див. пункти нижче) для розробки рекомендацій щодо адаптивного управління та майбутніх дій у секторах блакитної економіки відповідно до принципів ековідповідальності⁴⁵. Ці сценарії долучені до моделі DTO для Чорного моря і призначені для оновлення стратегій та політики реалізації принципів блакитної економіки в Чорному морі. Вони також можуть використовуватися операторами блакитної економіки для прийняття рішень щодо того, куди спрямовувати інновації та інвестиції, а також у рамках відповідних заходів з ековідповідального управління.

³³ <https://blackseabeo.eu>

³⁴ <https://bridgeblacksea.org/index.php/black-sea-accelerator/>; Матеріал 7.3 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

³⁵ <https://www.doorsblacksea.eu/>

³⁶ <https://bridgeblacksea.org/index.php/virtual-blue-career-center/>

³⁷ <https://bridgeblacksea.org/index.php/2024/10/04/bridge-bs-phd-students-are-advancing-black-sea-research/>

³⁸ <https://bridgeblacksea.org/index.php/young-ambassadors/>

³⁹ Матеріал 9.5 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁰ <https://bridgeblacksea.org/index.php/bridge-black-sea-mooc/>; <https://ocw.metu.edu.tr/course/view.php?id=365>

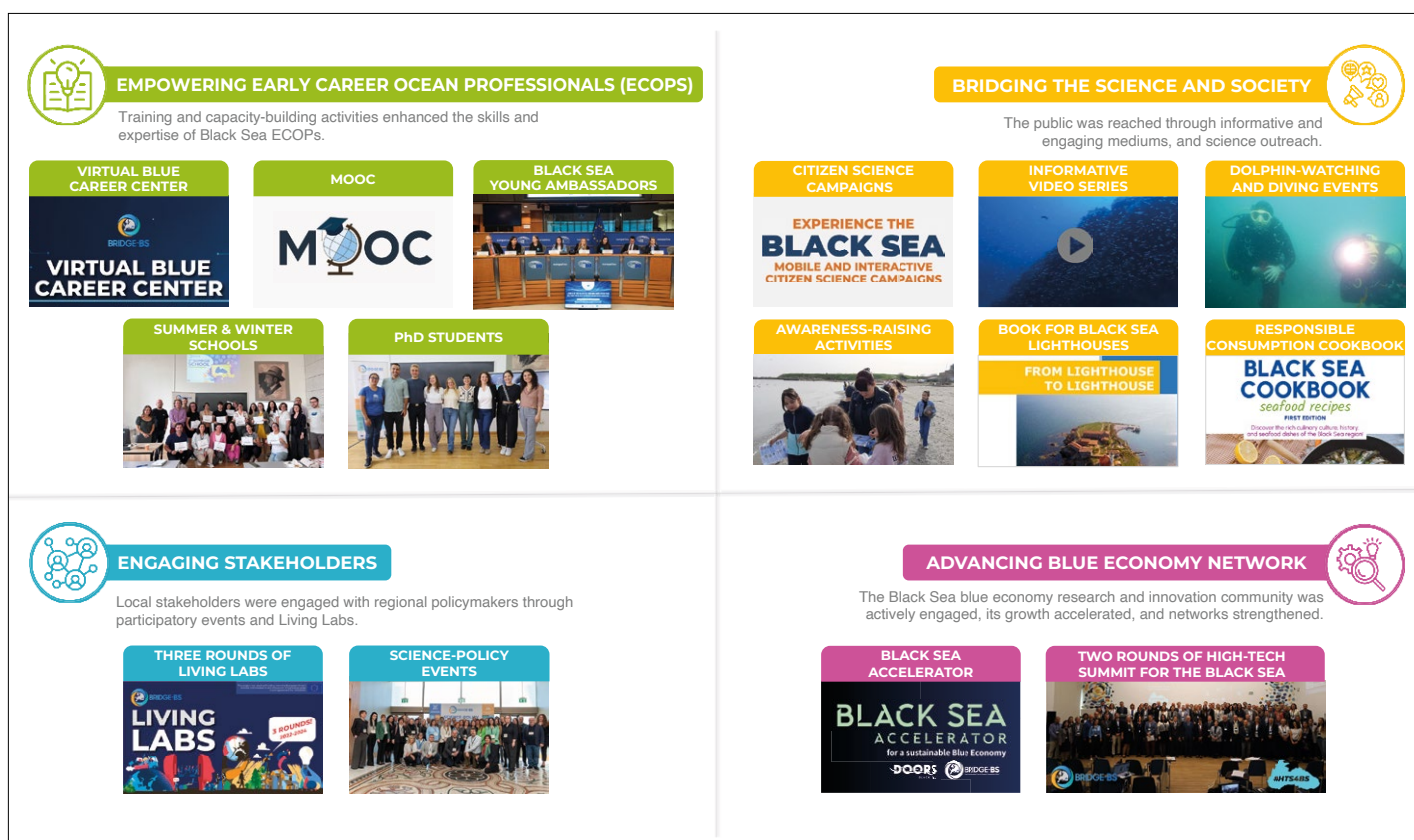
⁴¹ Простір, де місцеві громади, експерти та представники влади збираються разом, щоб розробляти, тестувати та вдосконалювати ідеї.

⁴² <https://bridgeblacksea.org/index.php/ocean-literacy-network/>

⁴³ Матеріал 9.6 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁴ Матеріал 2.4 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁵ Матеріал 4.5 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>



Мал. 4. Огляд навчання та заходів, спрямованих на розбудову потенціалу, які відбувалися за підтримки BRIDGE-BS.

Бачення реалізації принципів блакитної економіки до 2050 року⁴⁶ пропонують правдоподібні траєкторії майбутнього розвитку блакитної економіки Чорного моря до 2050 року за умови дотримання стратегії ековідповідальності. Вони були розроблені в масштабах басейну та пілотного об'єкта з використанням прогнозування, яке враховує різні умови інновацій (від технологічних до соціальних) та управління (від морського басейну до місцевого рівня), а також бачення місцевих зацікавлених сторін. Ці сценарії дають можливість представникам влади та більш широкому колу зацікавлених сторін формувати колективне уявлення та стратегічний діалог для визначення викликів та потенційних можливостей та прийняття рішень в умовах невизначеності. Вони можуть використовуватися національними адміністраціями для підтримки розробки стратегій блакитної економіки.

Бажані сценарії⁴⁷ поєднують результати фізико-біогеохімічної моделі, прогнози щодо реалізації принципів блакитної економіки та перспективи місцевих суб'єктів, зібрані за допомогою живих лабораторій. Вони висвітлюють бажані та реалістичні сценарії морської та наземної діяльності, які впливають на морські екосистеми та ресурси і допомагають підтримувати розвиток блакитної економіки з урахуванням наслідків кліматичних змін. Інструмент оцінювання сукупного впливу використовувався для прогнозування майбутніх екологічних наслідків цих сценаріїв і продемонстрував, що в масштабах басейну рибальство, морський транспорт і надходження поживних

речовин із наземних джерел спричиняють найбільший вплив на навколишнє середовище, а аквакультура або морська вітрова енергетика матимуть здебільшого локальний вплив. Ці сценарії мають допомогти сформувати підходи до управління з урахуванням фактичних даних, зокрема у сфері морського просторового планування, яке здійснюють національні адміністрації.

Трансформаційні шляхи реалізації принципів⁴⁸ блакитної економіки в Чорному морі були спільно розроблені зацікавленими сторонами прибережних громад під час проведення шести живих лабораторій на пілотних об'єктах, у яких взяли участь 162 організації. Ці шляхи сприятимуть переходу до більш ековідповідального, стійкого та збалансованого стану. Зацікавлені сторони визначили проблеми, пов'язані з реалізацією принципів блакитної економіки, узгодили бачення на 2050 рік і визначили дії для трансформації секторів блакитної економіки для реалізації цього бачення. Проаналізовані сектори: аквакультура, туризм, морська відновлювана енергетика, спостереження за морським середовищем та управління ним, рибальство, а також портові та судноплавні сектори. Ключові визначені заходи: просування технологій, цифровізація, навчання та залучення громад. Хоча зацікавлені сторони не визначили необхідності формування цілісного системного уявлення, ці заходи підтримують соціально-екологічну стійкість прибережних громад шляхом проведення навчань та активного залучення (моніторинг, нарощування потенціалу, взаємодія із зацікавленими сторонами тощо).

⁴⁶ <https://bridgeblacksea.org/index.php/2025/03/14/bridge-bs-takes-you-to-the-future-of-the-black-sea-with-2050-sustainable-blue-economy-imaginaries-for-the-black-sea-report/>

⁴⁷ Матеріал 4.4 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

⁴⁸ Матеріал 6.3 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

Майбутні потреби щодо досліджень і формування політики

Щоб обмежити вплив діяльності людини на стан і стійкість Чорного моря, зберегти основні екосистемні послуги й гарантувати безпечний робочий простір для розвитку

блакитної економіки, протягом наступних п'яти років слід реалізувати зазначені нижче заходи.

Рекомендації для осіб, відповідальних за формування політики:

- **Розробка й оновлення стратегій, нормативних актів та правозастосування у сфері блакитної економіки** а національному та регіональному рівнях відповідно до рекомендацій щодо адаптивного управління, розроблених BRIDGE-BS, зокрема: визначення пріоритетності дрібного рибальства; посилення політики ековідповідального рибальства та управління рибальством на основі екосистем; впровадження екологічно чистих транспортних рішень для суден та портової інфраструктури; розвиток морської вітрової енергетики та ековідповідального аквакультурного господарства; зменшення надходження забруднень із річок та прибережних районів; та сприяння інноваційному й ековідповідальному туризму.
- **Подальше зміцнення взаємодії між науковою та адміністративною сферами та діалогу** в Чорноморському регіоні шляхом покращення координації між наявними структурами, серед яких Чорноморська комісія (BSC), Організація з чорноморського економічного співробітництва (BSEC) та Генеральна комісія з рибальства в Середземному та Чорному морях (GFCM).
- **Впровадження системних та ековідповідальних підходів в управлінні** блакитною економікою Чорного моря й залучення зацікавлених сторін у стратегії адаптивного управління відповідно до сценаріїв та методів BRIDGE-BS.
- **Розробка спеціальної фінансової бази для грантів у сфері блакитної економіки, фінансових стимулів та регіональної координації** між фінансовими суб'єктами на національному рівні, а також національних та регіональних механізмів прискорення/інкубації⁴⁹. Формування довгострокової основи для підтримки майбутніх проведень Чорноморського акселератора та Високотехнологічного саміту, щоб закріпити його роль еталонного форуму для регіональних інновацій у Чорному морі.
- **Впровадження послідовного екологічного підходу до морського просторового планування** в кожній країні Чорноморського регіону та в масштабах усього басейну з використанням інструментів BRIDGE-BS. Це посилить ефективне управління поточною мережею морських заповідних територій, зокрема регулювання діяльності людини (наприклад, рибальство, транспорт, туризм) у межах морських заповідних територій та навколо них.
- **Оновлення й узгодження програм моніторингу морського середовища** в країнах Чорноморського регіону на основі нещодавно випробуваних технологій, методів, протоколів і даних, отриманих у рамках BRIDGE-BS. Крім того, слід створити регіональну систему моніторингу для узгодження збору соціально-економічних даних й забезпечення відкритого доступу до них у країнах Чорноморського регіону, а також для передачі інформації в обсерваторію блакитної економіки та під'єднання до демонстраційної моделі BRIDGE-BS DTO.
- **Підтримка й розширення ініціатив, спрямованих на розбудову потенціалу.** Зокрема, ідеться про ініціативи, розроблені в рамках проєкту BRIDGE-BS: масовий відкритий онлайн-курс Віртуальний центр «Блакитна кар'єра», програма «Молоді амбасадори Чорного моря» та Мережа грамотності Чорного моря.

⁴⁹ Матеріал 7.2 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

Рекомендації для дослідницьких та експлуатаційних служб:

- **Подальша розробка, координація та впровадження технологій інтелектуальних датчиків** у поєднанні з традиційними системами спостереження.
- **Продовження розробки стандартизованої методології** для інтегрованої системи завчасного попередження про численні фактори негативного впливу на суходолі й на морі для гармонізації моніторингу.
- **Інтеграція даних спостережень BRIDGE-BS, моделей та інструментів для прогнозованого управління в модель Цифрового двійника океану (BRIDGE-BS Digital Twin Ocean - DTO)** і запровадження нових сценаріїв, варіантів використання та функціональних можливостей, що задовольняють потреби зацікавлених сторін. Визначення й організація зв'язків між BRIDGE-BS DTO, морською службою Copernicus, EMODnet та європейською моделлю DTO.
- **Сприяння навчанню осіб, відповідальних за формування політики, щодо інструментів, розроблених у рамках BRIDGE-BS.**
- **Врахування прогалин у знаннях в оновленій версії Порядку денного стратегічних досліджень та інновацій у Чорному морі (SRIA)**, як-от: оцінювання потенційної стійкості та критичних точок; належний контроль джерел факторів впливу й оптимізація зв'язків між тиском та рушійними силами; зменшення масштабу моделі для вищої роздільної здатності на місцевому рівні; визначення меж безпечного робочого простору; подальше просування картографування кисню та сірководню; оцінювання закислення океану; вплив Дунаю на Чорне море; перевірка промислового потенціалу біомолекул; соціально-екологічні дослідження з використанням сценаріїв; пом'якшення наслідків забруднення Чорного моря, пов'язаного з війною.
- **Надання підтримки для відновлення науково-дослідного потенціалу України.**

Дотримання цих рекомендацій сприятиме реалізації політики, стратегій та ініціатив на глобальному рівні (Куньмін-Монреальська глобальна рамкова програма з біорізноманіття, Декада ООН, присвячена вивченню і збереженню екосистеми океану, Цілі щодо ековідповідальності), на рівні ЄС (Пакт ЄС про океан, Стратегія ЄС щодо стійкості водойм, Європейський зелений курс, Стратегія біорізноманіття ЄС, Рамкова директива про морську стратегію, Директива про морське просторове планування, Регламент про відновлення природи, Директиви про птахів та середовища існування, Місія з відновлення океану та водойм) і на регіональному рівні (Бухарестська конвенція, Стратегія ЄС щодо Чорного моря, Стратегія ЄС щодо Дунаю, Синергія Чорного моря, Спільний морський порядок денний, Порядок денний і план впровадження стратегічних досліджень та інновацій у Чорному морі). Вони сприятимуть впровадженню й дотриманню визначених принципів у Чорноморському регіоні всіма суб'єктами й на місцевому рівні зокрема. Більше інформації про конкретні дії зацікавлених сторін щодо реалізації цих рекомендацій можна знайти в документі «Блакитна дорожня карта для Чорного моря до 2030 року⁵⁰».

⁵⁰ Матеріал 8.4 доступний на сайті <https://zenodo.org/communities/bridge-bs/records?q=&l=list&p=1&s=10>

Подяка

Проект BRIDGE-BS фінансувався програмою досліджень та інновацій Європейського Союзу «Горизонт 2020» за грантовою угодою № 101000240. Однак висловлені погляди та думки є винятково поглядами авторів і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу або грантодавача. Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не несуть за них відповідальність.

Автори: Britt Alexander, Sheila J. J. Heymans, Barış Salihoğlu, Mustafa Yucel, Susa Niiranen, Andrea Barbanti, Alice Guittard, Frederick Herpers, Matteo Bocci

Координація та редагування: Britt Alexander, Sheila J. J. Heymans

Зовнішні рецензенти: Adrian Stanica, Mario Sprovieri, Andreea Strachinescu

Внутрішній рецензент: Pierre Yves Le Tron (член консультативної ради BRIDGE-BS)

Додаткові учасники: Pinar Uygurer, Georgi Daskalov, Stefano Menegon, Dan Vasiliu, María Pérez Rodríguez, Georgia Chantzi, Rosa Fernández Otero, Marilaure Gregoire, Stefania Klayn, Dimitar Berov, Patrizio Mariani, Phoebe Koundouri, EMB Secretariat

Дизайн: Zoeck

Переклад: Translated & Viktor Komorin

Інфографіка: Орзгюн Еврім Саїлкан

Зображення обкладинки: Leewarrior, Pixabay.

Ключові слова

ековідповідальна блакитна економіка, керування екосистемою, інтелектуальні спостереження, інструменти для підтримки прийняття рішень, соціально-економічні сценарії

Цитування

BRIDGE-BS (2025). Advancing Black Sea Research and Innovation for a Sustainable Blue Economy. BRIDGE-BS Policy Brief, published by the European Marine Board, Ostend, Belgium. ISBN: 9789464206371. DOI: 10.5281/zenodo.17512752

Авторське право та використання

Це публікація з відкритим доступом, яка розповсюджується на умовах міжнародної ліцензії Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0). Використання, розповсюдження або адаптація на інших форумах дозволяється за умови зазначення автора(ів) оригіналу та власника(ів) авторських прав, посилання на оригінальну публікацію, посилання на ліцензію Creative Commons й зазначення будь-яких змін, внесених до оригінального вмісту. Будь-яке використання, розповсюдження або відтворення, яке не відповідає цим умовам, заборонено.

Заява щодо використання штучного інтелекту

Для перекладу цього документа було використано автоматизовану систему перекладу matecat від Translated, яка працює на основі штучного інтелекту, а для редагування – ChatGPT. Штучний інтелект не використовувався для створення ключових інформаційних матеріалів, зокрема результатів досліджень, огляду літератури, наукових висновків або надання рекомендацій.

This Policy Brief was written by the
EMB Secretariat and other partners
in the BRIDGE-BS project.

PUBLISHED NOVEMBER 2025

European Marine Board IVZW
Belgian Enterprise Number: 0650.608.890
Jacobsenstraat 1
8400 Ostend Belgium
Tel: +32 (0)59 56 98 00

www.marineboard.eu



**Funded by
the European Union**

This project has received funding from the European Commission's Horizon 2020 Research and Innovation programme under grant agreement N° 101000240.
Project coordinator: Middle East Technical University (METU), Turkey. The information and views in this document lie entirely with the authors. The European Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.