

Модуль 4: Картографування та МОНІТОРИНГ морських трав

Картографування та моніторинг протяжності, покриття та видового складу морських трав є життєво важливими для розуміння цих складних і динамічних екосистем. Цей процес висвітлює зони стійкості та чутливості, а також допомагає прогнозувати реакції на тиск, спричинений зміною клімату.

Картографування та моніторинг морських трав виходять за рамки прямих вимірювань і включають аналіз їхніх переваг, процесів і факторів тиску, пов'язаних із регулюванням харчових ресурсів, продуктивністю рибальства, глобальним циклом вуглецю, біорізноманіттям та зміною клімату, серед інших аспектів.



Автор: Шевкі Данаджиоглу Şevki Danacıoğlu



Виклики у глобальному картографуванні морських трав

1 Різноманітні середовища існування

Морські трави зустрічаються на широкому діапазоні глибин — від припливно-відпливної зони до 80 метрів, і ростуть у середовищах від дуже прозорих до дуже каламутних вод.

2 Мінлива щільність

Зарості морських трав різняться за щільністю: від окремих плям до квадратних кілометрів однорідних луків, що ускладнює послідовний моніторинг.

3 Видове різноманіття

Видовий склад варіюється від поодиноких видів до змішаних ділянок із понад 10 видами, що потребує різних підходів до моніторингу.

Для досягнення інноваційного та своєчасного картографування та моніторингу морських трав необхідний глобально координований матричний підхід для вирішення цих викликів.



Матричний підхід до моніторингу морських трав

Методи «зверху вниз»

Прилади дистанційного зондування, зокрема супутники, літаки, дрони та гідролокатори, забезпечують широке просторове охоплення, але можуть не враховувати детальні особливості стану екосистем.

Методи «знизу вгору»

Відбір проб на місці дає детальну інформацію, але вимагає значних ресурсів і може відрізнятись за термінами, послідовністю та методологією.

Інтегрована матриця

У поєднанні методи дистанційного зондування та польових досліджень дають науковцям і особам, що приймають рішення, важливу інформацію про стан та тенденції розвитку екосистем морських трав.

Три основні складові матриці для картографування та моніторингу морських трав у глобальному масштабі — це: методи, технології та дані.



Методи картографування та моніторингу



Оптичні методи

Використання засобів дистанційного зондування, таких як супутники та дрони, для отримання знімків заростей морської трави з повітря.



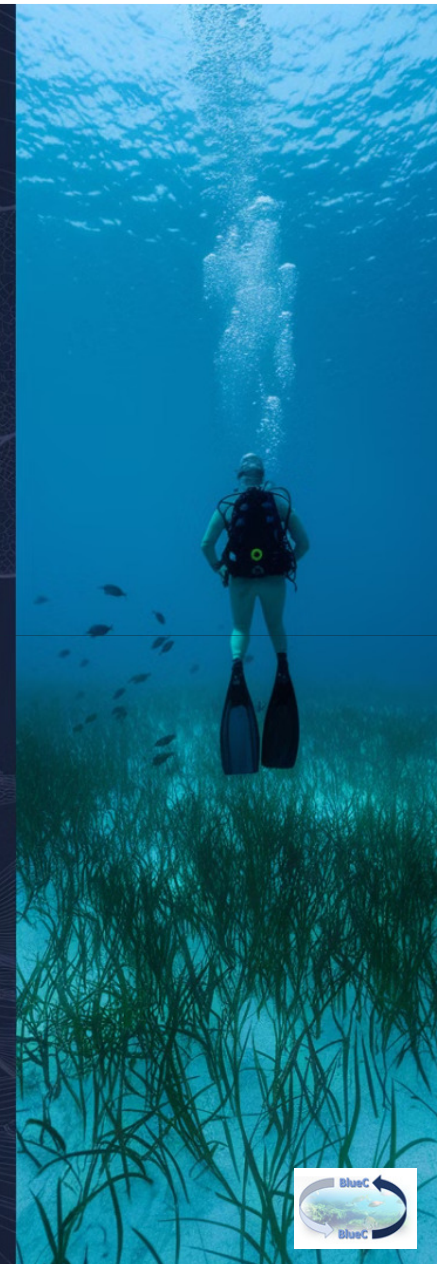
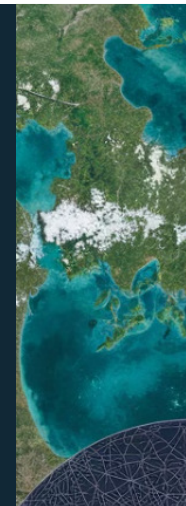
Акустичні методи

Використання приладів дистанційного зондування, таких як гідролокатори бокового огляду, для картографування розподілу підводних трав.



Польові дослідження

Проводиться за допомогою підводного плавання, снорклінгу та екологічного моніторингу з метою збору детальних даних про стан морської трави.



Оптичні методи: супутники та дрони

Супутникові МОЖЛИВОСТІ

За допомогою супутникового дистанційного зондування можна виявляти та наносити на карту зарості морської трави з просторовою роздільною здатністю від 0,30 до 30 м, часовою роздільною здатністю від 1 до 17 днів та у спектральних діапазонах від 400 до 700 нм — у видимому спектрі.

Обмеження глибини

Залежно від прозорості води, супутники у багатьох випадках здатні фіксувати морську траву з достатньою деталізацією та частотою на глибині до 40 метрів.

Переваги та недоліки

Хоча супутники забезпечують широке покриття, їхня ефективність обмежується такими факторами, як прозорість води, хмарність та обмеження щодо роздільної здатності.

Вибір відповідного супутникового датчика



Остаточне рішення щодо вибору відповідного супутникового датчика значною мірою залежить від збалансованості цих трьох факторів. Останні досягнення у сфері створення легких дронів, також відомих як безпілотні літальні апарати (БЛА), доповнили набір інструментів для спостереження за Землею та дистанційного зондування новими цінними засобами.

Переваги та недоліки використання супутникових знімків для картографування підводних луків.

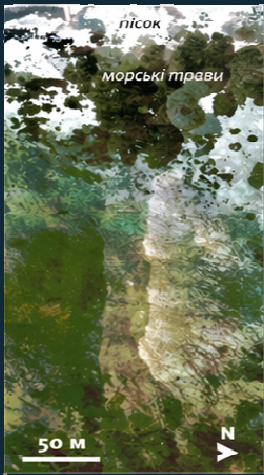
Переваги	Недоліки / можливі помилки
<ul style="list-style-type: none"> ● Дозволяє розрізняти об'єкти, колір яких для фотоінтерпретатора виглядав би однаковим ● Висока просторова розрізненість ● Цифрові дані від моменту отримання ● Велике охоплення, легко геоприв'язуються 	<ul style="list-style-type: none"> ● Фотографічні спотворення ● Фотоінтерпретація ● Спектральний відгук заростей морської трави може змінюватися на дуже коротких відстанях через: <ul style="list-style-type: none"> - ріст епіфітів - «здоров'я» трави - глибину води - оптичні властивості водного покриття ● Низька радіометрична розрізненість ● Хмари є великою проблемою

Вибір відповідного супутникового датчика

Морська трава з висоти польоту — дрони та супутники

Приклади знімків з острова Лесбос, Греція. 39°09'30.6" пн. ш. 26°32'01.8" сх. д.

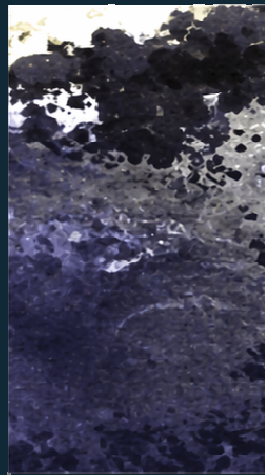
Аерофотознімок
(видимий спектр)



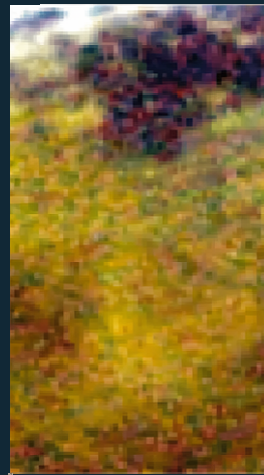
Мультиспектральний
(видимий спектр)



Мультиспектральний
(ближній ІЧ)



Тепловий ІЧ



Супутниковий
(середня роздільна здатність)



Супутниковий
(низька роздільна здатність)



- ⊕ Дуже висока просторова роздільна здатність, низька широта прикриття, висока частота проходження
- ⊖ Мала площа покриття, обмежені оптичні діапазони, потрібна лабораторна обробка зображень

- ⊕ Дуже висока просторова роздільна здатність, висока спектральна інформація, прясма та глибока шарувата структура
- ⊖ Комерційні знімки, дуже висока вартість зображень

- ⊕ Дуже висока просторова роздільна здатність, висока спектральна інформація, прясма та глибока шарувата структура
- ⊖ Комерційні знімки, дуже висока вартість зображень

- ⊕ Висока просторова роздільна здатність, висока тимчасова роздільна здатність, доступні за низькою ціною
- ⊖ Радіометричні відмінності між зображеннями, низька спектральна інформація

- ⊕ Висока просторова роздільна здатність, висока тимчасова роздільна здатність, безшумні дані, знімки з 2002 по 2020 рік
- ⊖ Низька спектральна інформація, артефакти технологічної обробки, пов'язані зі спектром, над ділянками морської трави

- ⊕ Висока просторова роздільна здатність, безшумні дані, комерційні знімки аж до 2020 року
- ⊖ Низька просторова роздільна здатність, низька тимчасова роздільна здатність

Джерела: Topouzelis, K. University of Aegean (2018); Digital Globe (2018); PlanetScope (2018); Copernicus Sentinel data (2018); Landsat-8 (2018) U.S. Geological Survey.

	Landsat Thematic Mapper*	SPOT XS*	CASI (Compact Airborne Spectro-graphic Imager)	Аерофотозйомка
Точність карти (%)	<60	<50	<90	<70
Покриття однієї сцени (км)	185 x 185	60 x 60	змінне	змінне
Вартість (€ км ⁻² сцени ⁻¹)	0.12	0.71	8.11	16.07



Переваги та недоліки картографування морських трав за допомогою аерофотозйомки.

Переваги	Недоліки
* Висока просторова роздільна здатність	* Вартість – висока роздільна здатність фотографій досягається ціною отримання великої кількості кадрів.
* Просторову роздільну здатність (що визначається масштабом) можна обирати відповідно до цілей проєкту.	* Знімки створюються в аналоговому форматі, тому їх необхідно сканувати для комп'ютерного покращення, обробки чи трансформування.
* Гнучкість зйомки – отримання зображень можна планувати на найбільш оптимальний час доби та за найкращих умов довкілля.	* Спотворення – особливості об'єктива камери, а також крен, ризикання та тангаж літака спричиняють певні викривлення зображення. Це стає проблемою, якщо не виконати трансформування (ректифікацію).
* Низькотехнологічне вилучення інформації – карти морських трав можна створювати з аеродруків або діапозитивів з мінімальними технічними чи програмними ресурсами, хоча в більшості випадків аерофотознімки варто оцифрувати та трансформувати перед картографуванням.	* Брак світла може ускладнити інтерпретацію в глибоких і каламутних водах.
* Стереометрія може значно покращити процес картографування.	* Дуже мінливі сонячні відблиски з усіх напрямків на зображенні.
	* Хмари.



Застосування дронів для моніторингу морської трави

<10cm

Роздільна здатність

Дрони забезпечують просторову роздільну здатність у межах декількох сантиметрів, фіксуючи найдрібніші деталі заростей морської трави.

\$

Вартість

Відносно низька вартість порівняно з іншими методами дистанційного зондування.

100%

Гнучкість

Висока гнучкість у можливостях розгортання та налаштування під конкретні потреби моніторингу.

Дрони використовувалися в ряді досліджень з моніторингу прибережних морських трав, що продемонструвало їхню ефективність для картографування з високою роздільною здатністю. Щодо вартості та точності, супутникові та авіаційні датчики значно відрізняються між собою, а дрони пропонують компромісне рішення.





Синергія між дронами та супутниками

1

Збір дронами

Дрони збирають високоякісні еталонні дані з високою роздільною здатністю на невеликій висоті (зазвичай не вище 300 м).

2

Перевірка

Ці дані підтверджують достовірність картографічних матеріалів щодо морських трав з низькою роздільною здатністю, отриманих за допомогою супутників.

3

Зниження витрат

Такий підхід дозволяє зменшити витрати, пов'язані зі збором даних польової оцінки на місці (за допомогою снорклінгу та/або дайвінгу).

4

Підвищення реалістичності

Комплексний підхід підвищує реалістичність проектів з картографування морських трав.

Можливість неодноразово пролітати дронами одним і тим самим маршрутом та збирати дані за потреби зробила їх надзвичайно корисним інструментом для регулярного моніторингу екосистем морських трав, незважаючи на необхідність отримання спеціальних дозволів та ліцензій.

Акустичні методи картографування

Гідролокатори бокового огляду

Використовується з 1970-х років у Середземному морі для картографування заростей морської трави, хоча виміряти щільність та висоту крони досить складно.

1

2

Багатопроменеві ехолоти

Один із найефективніших акустичних інструментів, що дозволяє створювати тривимірні зображення луків морської трави з детальною структурою.

Однопроменеві ехолоти

Ці дані корисні для визначення нижньої межі глибини поширення морської трави, хоча вони не забезпечують повного охоплення морського дна.

3

Акустичні датчики зазвичай використовуються для картографування фізичних та біологічних властивостей морського дна. За допомогою ультразвукових технологій можна створювати карти луків морської трави за допомогою акустичного обладнання, яке зазвичай буксується за човном або встановлюється на ньому. Розмір досліджуваної території, як правило, знаходиться між площею, що охоплюється методами на місці, та площею, що охоплюється супутниковими знімками.



Методи польового моніторингу

Оцінка відсоткового покриття

Найбільш усталений і найпоширеніший показник для моніторингу морських трав, який називають «горизонтально проєктованим покриттям листяного полога».

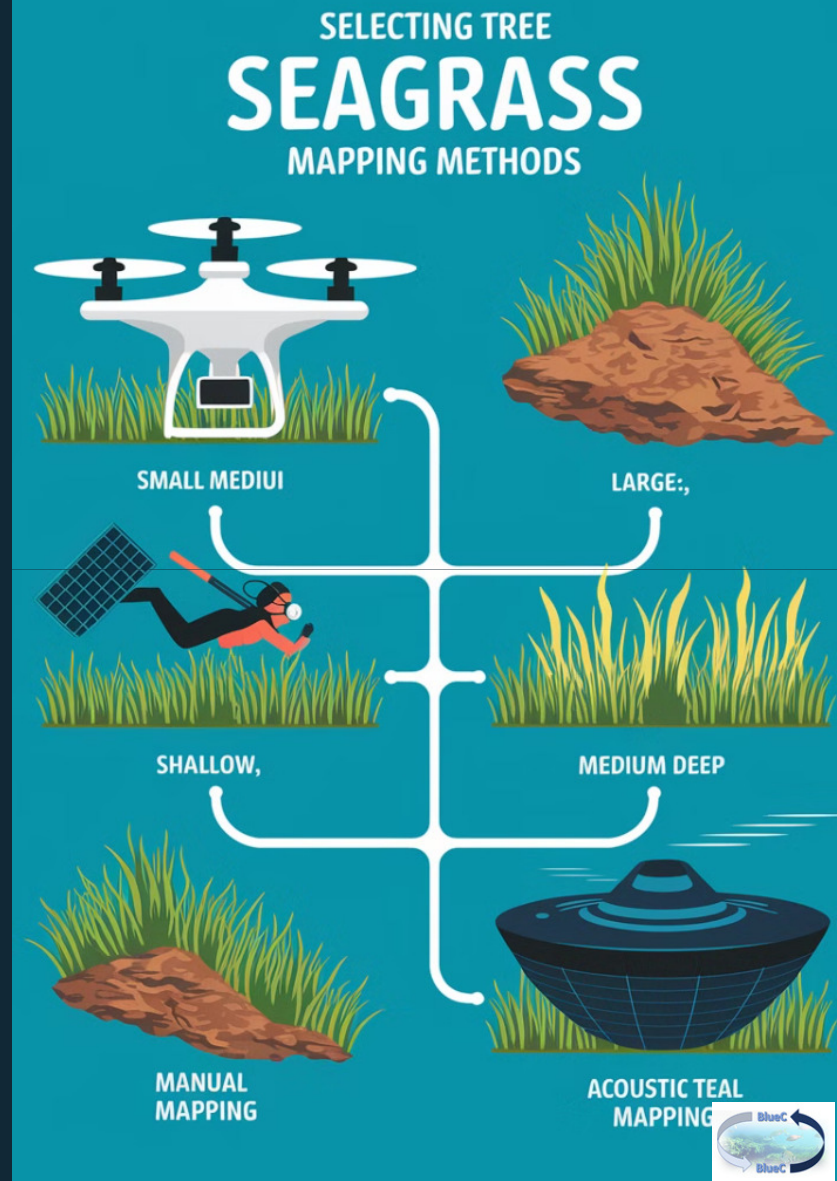
Додаткові вимірювання

Збір даних про щільність пагонів, висоту крони, біомасу та видовий склад у детальному масштабі.

Контроль якості

Використання стандартних довідкових карток та процедур забезпечення якості/контролю якості (QA/QC) для підвищення точності.

Польовий моніторинг дозволяє отримати детальну інформацію про стан (екологічний стан) підводних луків, оскільки дані за низкою показників збираються з високою точністю. Хоча оцінка покриття може бути суб'єктивною, належна підготовка та стандартизовані методи можуть значно підвищити точність цього методу.



Координовані мережі моніторингу

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin

Стандартизовані протоколи

Методи, що використовуються на всіх об'єктах

Звітність

Опубліковані результати та висновки



Збір даних

Вимірювання, що можна порівняти

Аналіз

Порівняння між об'єктами

Мережі моніторингу є чудовим та економічно ефективним способом отримання стандартизованих і співставних даних про зміни у стані морських трав та пов'язані з ними чинники у різних куточках світу протягом тривалого періоду часу. У ході нещодавньої глобальної оцінки було виявлено 19 діючих програм довгострокового моніторингу морських трав, найбільшими з яких є Seagrass-Watch та SeagrassNet.

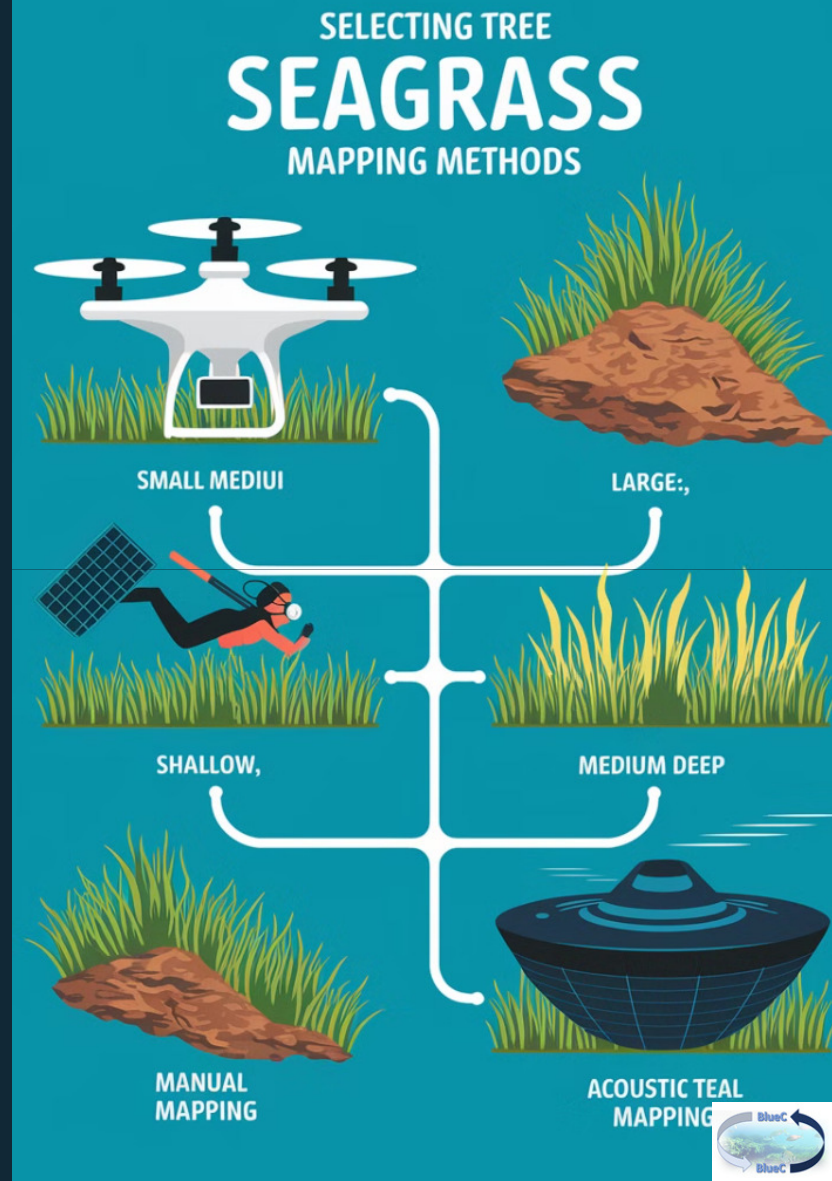
Обидві мережі мають на меті забезпечити сучасні системи подання даних в Інтернеті, а також ресурси для підтримки моніторингу, такі як посібники чи протоколи, польові довідники та інформаційні листки, новини, детальна інформація про ділянки з морською травою та учасників.



Вибір правильного методу картографування

Метод	Площа	Діапазон глибини	Переваги
На місці (дайвінг)	Маленька (<1км ²)	0-30м	Висока деталізація, ідентифікація видів
Відеокамера	Маленька-Середня	0-50м	Хороше покриття, менше трудових затрат
Аерофотознімки	Середня-Велика	0-15м	Широке охоплення, архівне
Супутникові знімки	Дуже велика	0-10м	Глобальне покриття, відтворюваність

Інтервали глибини є лише орієнтовними, оскільки здатність методів дистанційного зондування розрізняти морські трави залежить від прозорості води, а не від абсолютної глибини. Цифрові аерофотознімки мають вищу чутливість, ніж звичайна плівка, і їх рекомендується використовувати в умовах низької прозорості води.



Технологічні досягнення у сфері картографування морських трав

1

Хмарні обчислення

Дозволяють обробляти величезні масиви даних

2

Штучний інтелект

Автоматизує аналіз та класифікацію

3

Машинне навчання

Підвищує точність і ефективність виявлення

За останнє десятиліття технологічний прогрес у галузі обчислювальної техніки став основою для двох ключових напрямків сучасного картографування та моніторингу за допомогою супутникових знімків і знімків з дронів: хмарних обчислювальних платформ та штучного інтелекту (ШІ), що включає машинне навчання та глибоке навчання.

Ця технологія створює передумови для розробки високомасштабних, відтворюваних і точних методів, які дозволять здійснювати картографування та моніторинг морських трав у безпрецедентних масштабах і з безпрецедентною роздільною здатністю.





Платформи хмарних обчислень

Google Earth Engine

Хмарна платформа, що забезпечує зберігання, обробку, аналіз та візуалізацію даних спостереження за Землею, яка успішно використовується для картографування *Posidonia oceanica* вздовж узбережжя Греції.

Amazon Web Services

Забезпечує хмарне середовище для зберігання та обробки великих масивів даних спостереження за Землею.

European Commission's Copernicus

Служби доступу до даних та інформації, що пропонують інструменти для аналізу супутникових знімків з метою моніторингу стану навколишнього середовища.

Протягом останніх п'яти років відбулося створення та розвиток платформ хмарних обчислень, які представляють собою безпрецедентний підхід до науки та управління на основі «великих даних». Ці платформи орієнтовані на аналіз великих обсягів даних, оперативний та економічно ефективний доступ до даних, величезні обчислювальні ресурси та високоякісну візуалізацію.

Штучний інтелект у моніторингу морських трав

1

Машинне навчання

Програми, які використовують вхідні дані для побудови та застосування прогнозних моделей з метою ідентифікації та класифікації морських трав.

2

Глибоке навчання

Широко розповсюджений представник сімейства методів машинного навчання, що базується на штучних нейронних мережах, які імітують будову та функціонування мозку.

3

Автоматизований аналіз

Ці алгоритми сприяють проривним інноваціям у сфері моніторингу морських трав на основі даних, особливо в хмарних середовищах.

Технології штучного інтелекту можуть суттєво покращити моніторинг морських трав завдяки підвищенню точності класифікації, більшій автоматизації обробки та аналізу даних, а також розробці засобів автоматичного виявлення змін у стані морських трав з плином часу.



Вимоги до вихідних даних

1

Збір даних для навчання

Високоякісні навчальні дані для калібрування алгоритмів можна збирати під час польових досліджень із використанням GPS або за допомогою спеціальних мобільних додатків.

2

Розробка алгоритмів

Методи машинного навчання потребують великого обсягу навчальних даних для точного розпізнавання морської трави на знімках спостереження Землі.

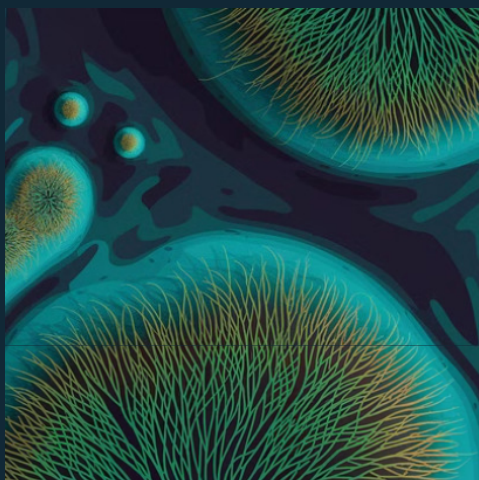
3

Перевірка

Перевірка даних або порівняння з реальними даними дозволяє оцінити точність і якість класифікованого зображення, забезпечуючи надійність результатів.

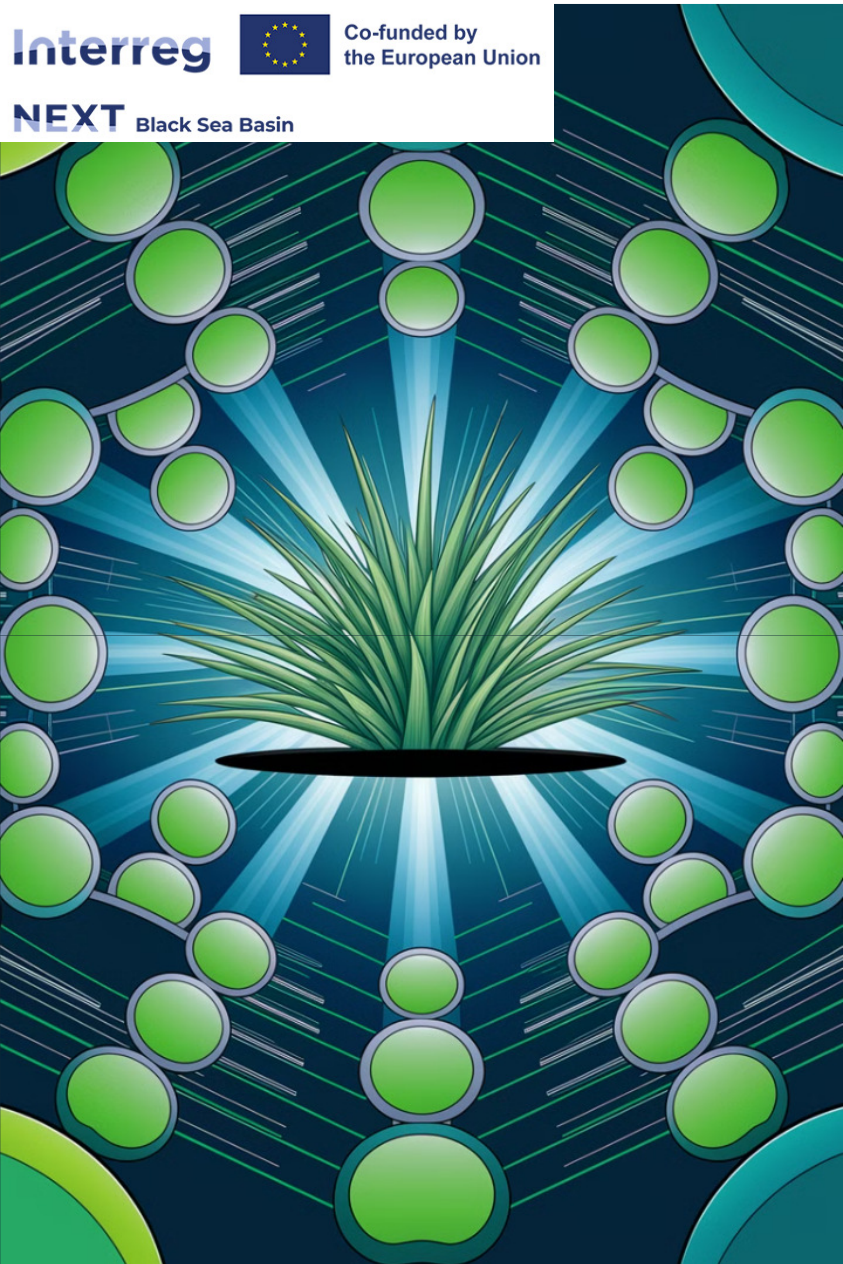
Аналіз даних спостереження за Землею з використанням методів машинного навчання вимагає наявності високоякісних навчальних даних для калібрування алгоритмів. Дані для перевірки повинні бути репрезентативними для сукупності, причому всі класи мають бути представлені у вибірці (кількість класів має відповідати кількості класів, що використовуються для класифікації та навчальних даних).

Джерела даних для перевірки



Набори даних для перевірки можна отримати з різних джерел, таких як наявні карти та інвентаризаційні матеріали, знімки з супутників або дронів з високою роздільною здатністю, а також за допомогою методів польових досліджень (підводне плавання, сноркелінг або піші обстеження прибережних ділянок з морською травою).

Супутникові та зроблені за допомогою дронів зображення з географічною прив'язкою та високою роздільною здатністю, за наявності, можуть використовуватися досвідченими користувачами як базові карти при розробці навчальних наборів даних у вигляді просторових точок або полігонів.



Важливість метаданих

1

Стандарти документування

Існують глобальні та регіональні стандарти, такі як ISO 19115 та Директива INSPIRE, що забезпечують узгоджене документування даних.

2

Платформи даних

Такі платформи, як Система динамічного управління екологічною інформацією (DEIMS-SDR), допомагають документувати наявні набори даних, зібраних на місці.

3

Біологічні стандарти

До стандартів метаданих, які зазвичай використовуються для біологічних та екологічних даних, належать Ecological Metadata Language (EML) та стандарти Darwin Core.

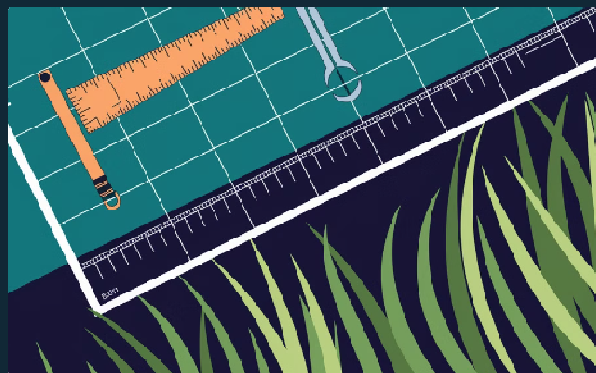
Надійні метадані є важливою, але часто недооціненою умовою для подальшого використання зібраних даних відповідно до принципу «збирай один раз — використовуй багато разів». Метадані містять детальну інформацію про джерело, місце розташування, часові рамки, версію та методології, що застосовувалися для кожного запису даних, що дозволяє проводити змістовне порівняння між записами.

Глобальна програма моніторингу Seagrass-Watch



Участь громади

Глобальна програма наукового моніторингу за участю громадськості та науково-орієнтованої освіти, започаткована у 1998 році та діє на 408 об'єктах у 21 країні.



Стандартизовані методи

Стан морської трави оцінюється на основі 33 квадратів (50 см × 50 см) у межах постійних та повторюваних моніторингових ділянок (0,25–5,5 га), створених на репрезентативних луках.



Контроль якості

З метою забезпечення точності даних оцінки переважно проводяться досвідченими вченими та фахівцями з охорони навколишнього середовища у співпраці з широкою громадськістю.

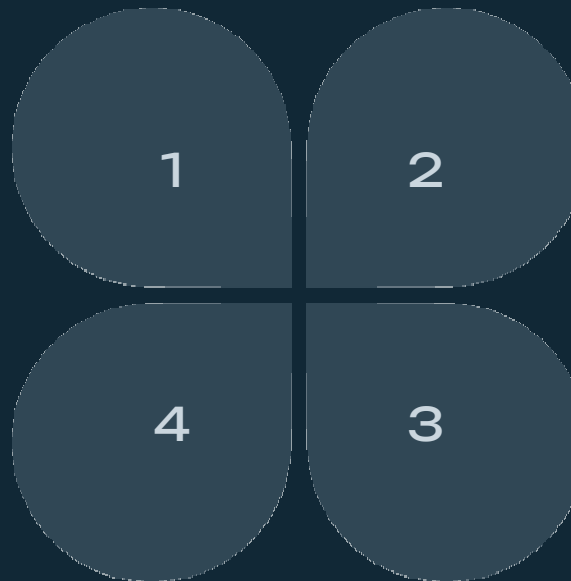
Параметри вимірювання в рамках програми Seagrass-Watch

Основні вимірювання

Відсоток покриття морською травою та її видовий склад, висота пологу, покриття епіфітами, покриття макроводоростями та розмір зерен осаду.

Звітність

Звіти про стан морських трав розміщуються на веб-сайті програми, а отримані результати використовуються на місцевому та регіональному рівнях для досягнення природоохоронних цілей.



Додаткові параметри

Залежно від місцевих умов: квіти/плоди морської трави, щільність насіння, стан морських луків (фрагментація), травоїдність, концентрація поживних речовин у тканинах листа, температура та освітлення.

Частота оцінювання

Частота залежить від місцевих можливостей і може становити один раз на квартал (раз на три місяці), двічі на рік, раз на рік або за потребою.



Глобальна мережа моніторингу SeagrassNet



Глобальне охоплення

Заснована у 2001 році, організація SeagrassNet досліджує та документує стан підводних луків, здійснюючи моніторинг 126 ділянок у 33 країнах.



Стандартизований протокол

У кожній зоні моніторингу прокладено три постійні 50-метрові трансекти з 12 повторюваними точками відбору проб, причому відбір проб переважно здійснюють представники місцевої влади та фахівці з охорони навколишнього середовища.



Комплексні параметри

Біологічні показники включають види, покрив, висоту крони, біомасу та квіти/плоди, а також розширення/скорочення луків, які вимірюються разом із температурою, освітленістю, солоністю та характеристиками осаду.

Координація глобальних заходів з моніторингу морських трав

Координація GOOS

Глобальна система спостереження за океаном (GOOS) координує глобальні заходи з моніторингу морських трав у рамках програми «Основні океанічні змінні» (EOV).

Інтеграція MBON

Мережа спостереження за морським біорізноманіттям (MBON) сприяє об'єднанню моніторингу морських трав з іншими спостереженнями за морським біорізноманіттям.

Національні стандарти

Протокол SeagrassNet (у адаптованому вигляді) був прийнятий як національний стандарт у Бразилії, що свідчить про його ефективність та гнучкість.

Результати SeagrassNet дозволяють виявити зміни у стані морських трав у часових масштабах, що мають значення для управління, а також надають науково обґрунтовані дані щодо стану середовища існування морських трав та масштабів необхідності вжиття управлінських заходів.

Метою підходу, що базується на біологічних основних океанічних змінних (EOV), зокрема EOV для морських трав, є створення спільнот фахівців по всьому світу для вимірювання ключових біологічних змінних у глобально скоординований та взаємосумісний спосіб.



Найкращі практики моніторингу морських трав

Методологічні стандарти

Розробка стандартизованих підходів до моніторингу, які можна послідовно застосовувати в різних регіонах та екосистемах.

Протоколи метаданих

Встановлення чітких рекомендацій щодо документування методів, термінів та умов збору даних для забезпечення їх порівнянності.

Управління даними

Створення систем для зберігання, обміну та аналізу даних моніторингу морських трав між різними платформами та організаціями.

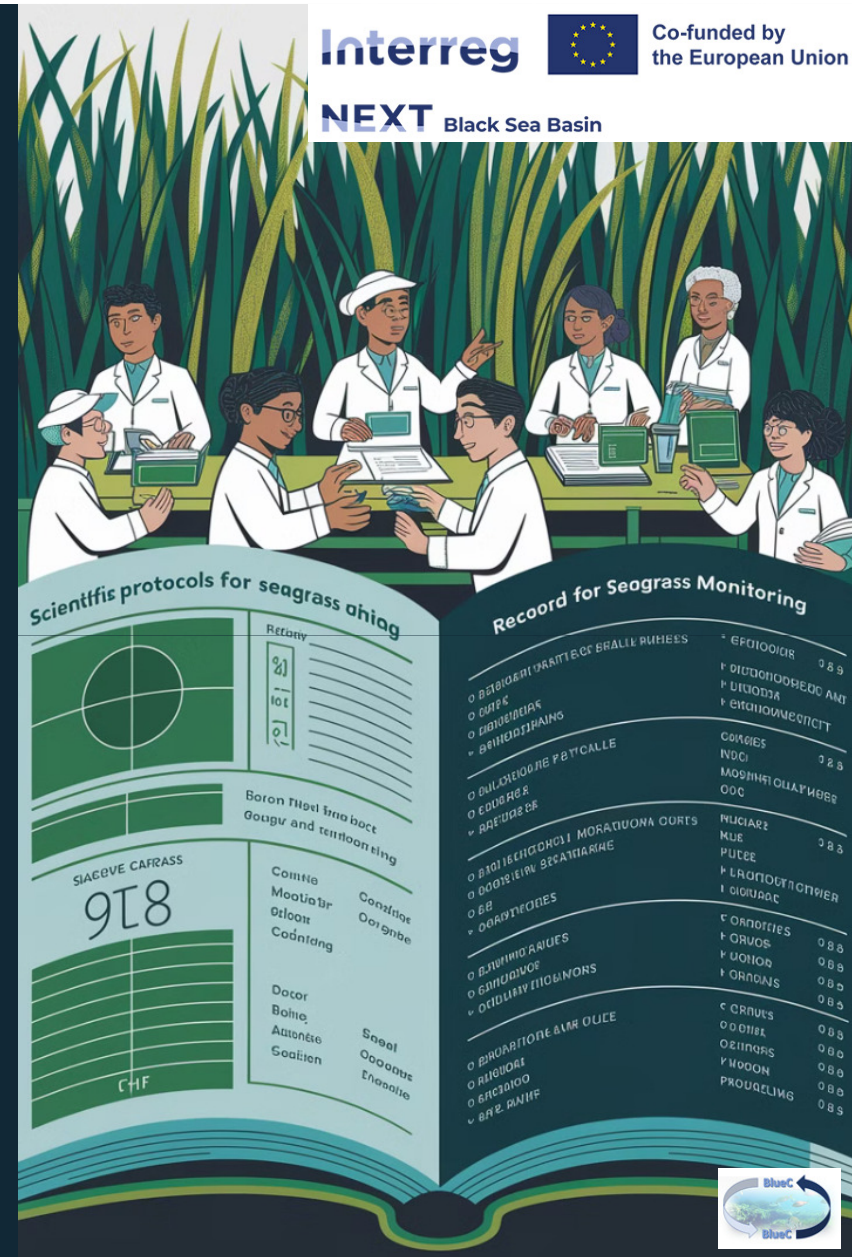
Окрім налагодження партнерських відносин та формування спільноти фахівців, ця спільнота працює над розробкою передових практик у сферах моніторингу, метаданих та управління даними. Наприклад, було створено репозитарій «Ocean Best Practices» (www.oceanbestpractices.net) для збору та архівування передових практик у галузі океанологічних досліджень, спостережень та управління даними й інформацією.

Interreg



Co-funded by the European Union

NEXT Black Sea Basin



Існуючі програми моніторингу морських трав



У світі існує чимало налагоджених програм моніторингу, серед яких мережі моніторингу *Posidonia oceanica* на Балеарських островах, у Каталонії та Валенсійському співтоваристві (Іспанія), програма GIS-Posidonie у Франції, Данська національна програма моніторингу та оцінки, Естонська програма моніторингу навколишнього середовища, а також програма спільного моніторингу морського середовища Балтійського моря (COMBINE).

Такі глобальні мережі, як Seagrass Watch та SeagrassNet, забезпечують координацію та стандартизацію цих регіональних ініціатив, сприяючи формуванню більш всебічного глобального розуміння екосистем морських трав.

Відкриті дані про поширення морської трави

1

Глобальний набір даних про поширення

Результатом роботи з узагальнення даних про поширення морських трав стало створення набору даних «Глобальне поширення морських трав».

2

Регіональні переліки

Регіональні або національні реєстри, що ведуться міжурядовими, урядовими та неурядовими організаціями, містять детальні дані про місцеві умови.

3

EMODnet

Широкомасштабна карта біотопів морського дна, створена Європейською мережею морських спостережень та даних, включає нещодавно опубліковані набори даних EOV про морську траву, макроводорості та живі корали.

4

GBIF та OBIS

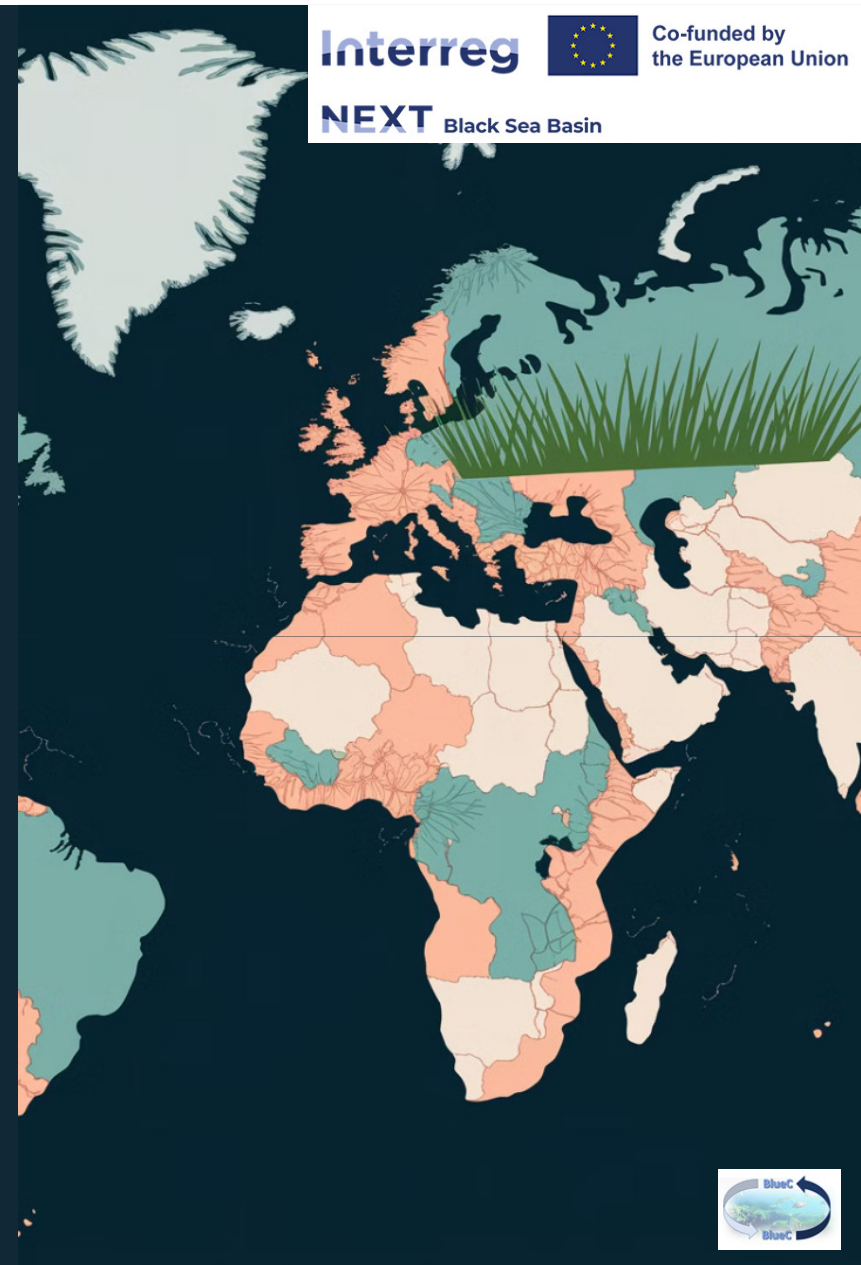
Дані про окремі точки доступні через Глобальну інформаційну систему з біорізноманіття та Океанічну біогеографічну інформаційну систему.

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin



Виклики та перспективи у майбутньому

1 Прогалини в знаннях

Хоча тривають зусилля, спрямовані на покращення розуміння місць зростання морської трави, у знаннях все ще існують значні прогалини, особливо у віддалених або недостатньо досліджених регіонах.

2 Дефіцит часових даних

Всебічних і масштабних часових даних про стан морських трав все ще не вистачає, що обмежує наше розуміння довгострокових тенденцій.

3 Технічні обмеження

Новітні технології стикаються з труднощами при фіксації різноманітних видів морських трав, що існують у світі, а їхнє регулярне використання може бути дорогим.

4 Заходи зі стандартизації

GOOS (Міжнародна організація з океанографічних досліджень) при МОК-ЮНЕСКО розробляє основні океанічні параметри для морських трав, щоб сприяти стандартизації збору даних у всьому світі.

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin



Майбутнє моніторингу морських трав

Interreg



Co-funded by
the European Union

NEXT Black Sea Basin

Комплексні підходи

Поєднання різних технік

Обмін відкритими даними

Доступні репозиторії



Передові технології

ШІ та хмарні обчислення

Глобальна координація

Стандартизовані протоколи

Майбутнє моніторингу морських трав полягає в об'єднанні різних підходів — від супутникового дистанційного зондування до вимірювань на місці — за підтримки таких передових технологій, як штучний інтелект та хмарні обчислення.

Глобальна координація на основі стандартизованих протоколів та відкритого обміну даними матиме вирішальне значення для формування всебічного розуміння екосистем морських трав у всьому світі, що сприятиме заходам із збереження природи та прийняттю політичних рішень в умовах кліматичних змін та інших антропогенних навантажень.

These training materials have been compiled by bringing together existing literature and general practices. While utmost care has been taken to ensure the accuracy and timeliness of the information contained within, it should be noted that relevant legislation, standards, and practices are subject to change. Therefore, the author is not responsible for any consequences arising from the use of the information presented in this material.

