



# Модул 4: Картиране и мониторинг на морските треви

Картирането и мониторингът на разпространението, покритието и видовия състав на морските треви са от жизненоважно значение за разбирането на тези сложни и динамични екосистеми. Този процес откроява зоните на устойчивост и чувствителност и помага да се предвидят реакциите спрямо натиска, породен от изменението на климата. Картирането и мониторингът на морските треви надхвърлят преките измервания и включват техните ползи, процеси и натиск, свързани, наред с други аспекти, с регулирането на хранителните ресурси, продукцията на рибарството, глобалния въглероден цикъл, биоразнообразието и изменението на климата.



**Şevki Danacioğlu**



# Предизвикателства при глобалното картиране на морските

## 1. Разнообразни места и форми на тревите

Морските треве се срещат в широк диапазон от дълбочини – от приливно-отливната зона до 80 метра – и растат в среди от много прозрачни до силно мътни води.

## 2. Променлива гъстота

Леглата от морски треве се различават по гъстота – от единични петна до квадратни километри еднородни ливади, което затруднява последователния мониторинг.

## 3. Видово разнообразие

Видовият състав варира от едновидови съобщества до смесени площи с повече от 10 вида, което изисква различни подходи за мониторинг.

За да се постигне иновативно и навременно картиране и мониторинг на морските треве, е необходим глобално координиран матричен подход за справяне с тези предизвикателства.



# Матричен подход към мониторинга на морските треви

## Методи „отгоре надолу“

Инструментите за дистанционни изследвания, включително сателити, самолети, дроне и сонари, осигуряват широко пространствено покритие, но могат да пропуснат подробни характеристики на екосистемата.

Грите основни компонента на матрицата за глобално картиране и мониторинг на морските треви са: техниките, технологиите и данните.

## Методи „отдолу нагоре“

Пробовземането *in situ* предоставя подробна информация, но изисква значителни ресурси и може да варира по време, последователност и методики.

## Комбиниран подход

Когато се комбинират, дистанционните и *in situ* методите предоставят ключова информация за състоянието и тенденциите в екосистемите от морски треви за изследователи и лица, вземащи решения.



# Техники за картиране и мониторинг



## Оптични методи

Използване на инструменти за дистанционни изследвания като сателити и дроне за заснемане на ливади от морски тревя отгоре.



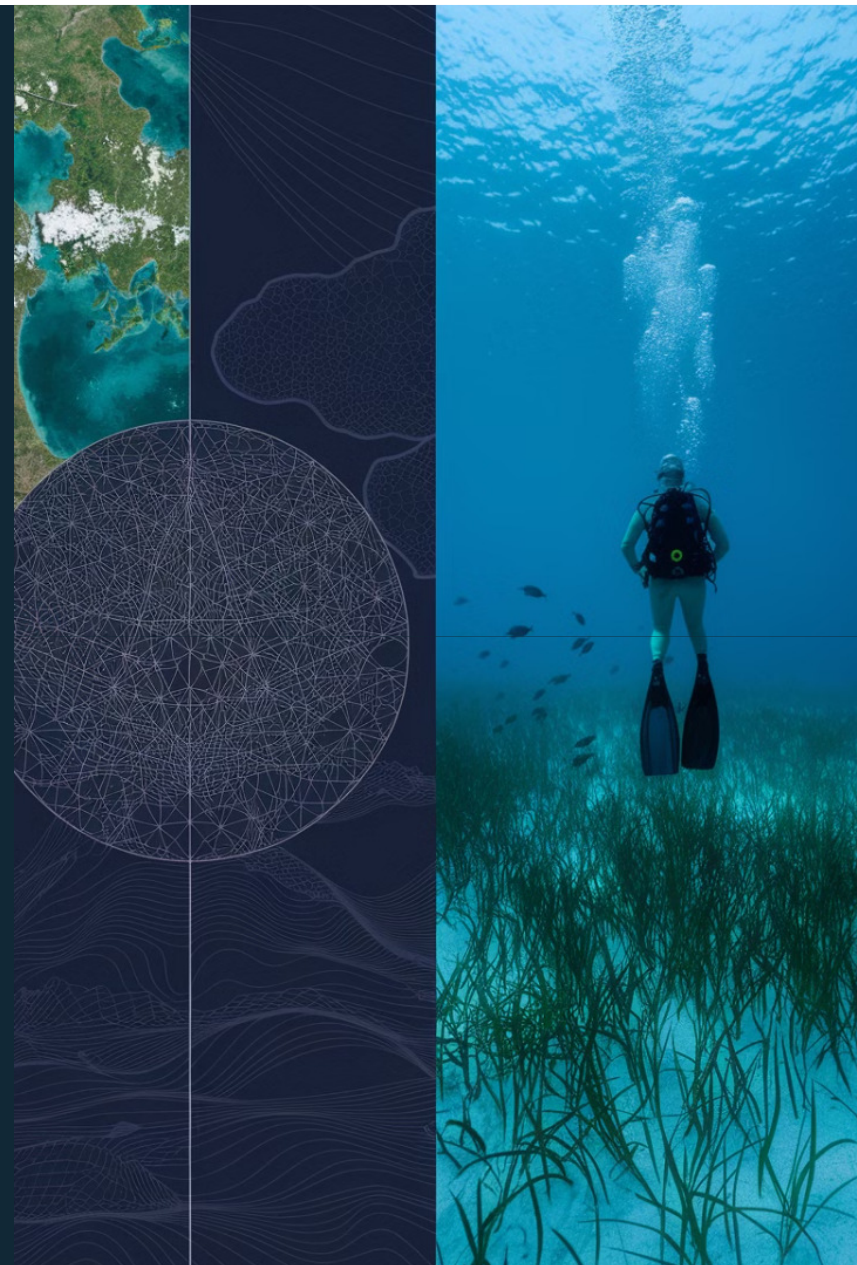
## Акустични методи

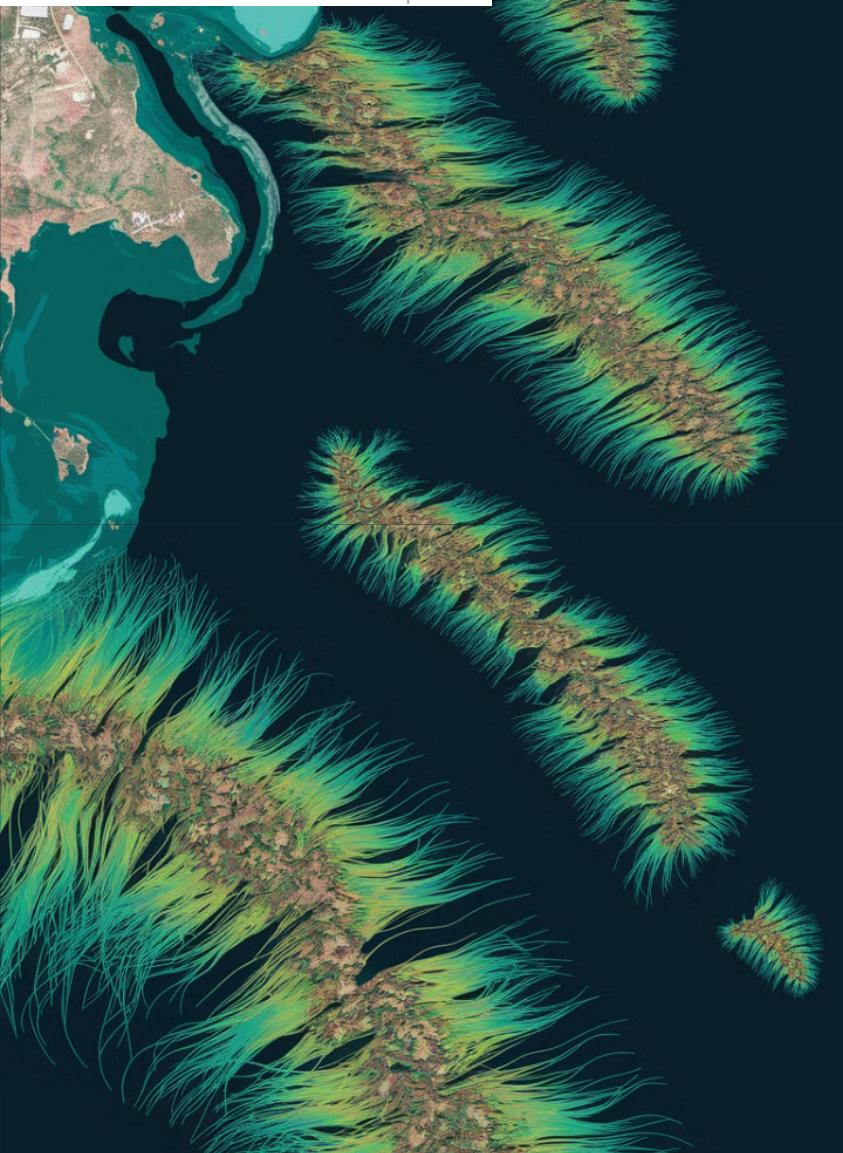
Използване на инструменти за дистанционни изследвания като странично-сканиращи сонари за картиране на подводното разпространение на



## Теренни методи

Провеждат се чрез гмуркане, шнорхелинг и екологичен мониторинг за събиране на подробни данни за състоянието на морските тревя.





# Оптични техники: сателити и дронове

## Възможности на сателити Ограничения по дълбочина

Сателитното дистанционно наблюдение може да идентифицира и картографира морски тревя при пространствена резолюция от 0,30 до 30 m, времева резолюция от 1 до 17 дни и спектрални ленти между 400 и 700 nm – видимия спектър.

В много случаи сателитите могат да наблюдават морски тревя с достатъчна детайлност и честота до максимална дълбочина на водата 40 m, в зависимост от прозрачността на водата.

## Предимства и недостатъци

Макар сателитите да осигуряват широко покритие, ефективността им е ограничена от фактори като прозрачност на водата, облачност и ограничения на резолюцията.



# Избор на подходящ сателитен сензор



Окончателният избор на подходящ сателитен сензор зависи в голяма степен от баланса между тези три фактора. Последните разработки на леки дронове, известни още като безпилотни летателни системи (UAS), добавиха ценни нови инструменти към набора за наблюдение на Земята и дистанционни изследвания.



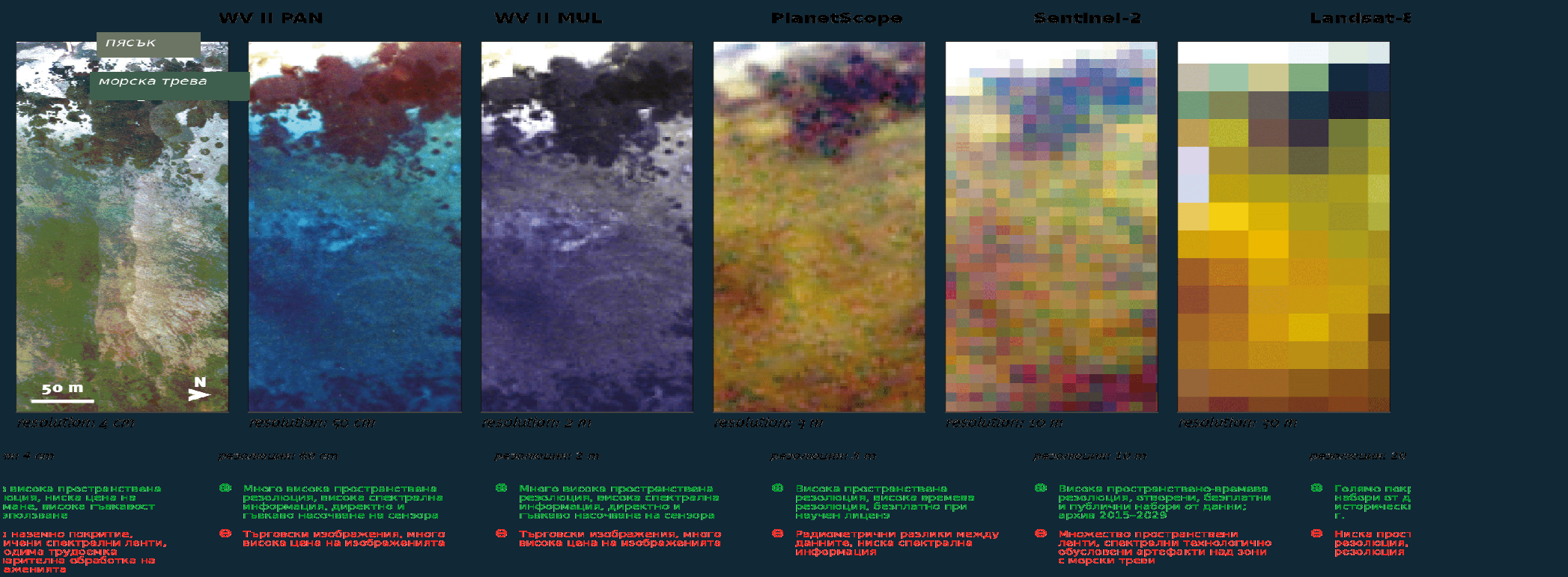
*Предимства и недостатъци на сателитните изображения при картиране на ливади от морски тревя.*

| Предимства                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Недостатъци/потенциални грешки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Позволява разграничаване между обекти, чиито цветове биха изглеждали еднакви за фотоинтерпретатор</li> <li>• Висока пространствена разделителна способност</li> <li>• Цифров формат още при заснемането</li> <li>• Голямо покритие, лесно геореферирание</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Фотографски изкривявания</li> <li>• Фотоинтерпретация</li> <li>• Спектралният сигнал на ливадите от морски тревя може да се изменя на много къси разстояния поради:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- растеж на епифити</li> <li>- „здравословно състояние“ на морските тревя</li> <li>- дълбочина на водата</li> <li>- оптични свойства на покриващия воден слой</li> </ul> </li> <li>• Ниска радиометрична разделителна способност</li> <li>• Облачността е сериозен проблем</li> </ul> |

# Избор на подходящ сателитен сензор

Морските тревисти отгоре – дронаве и сателити

Избор на сателитни изображения от Лесбос, Гърция, 39°09'30,6"N 26°32'01,8"E



Търговски: K. Murbach, M. Scharf, 2018; Digital Globe 2018; PlanetScope 2018; Copernicus Sentinel data 2018; Landsat 8 2018; NASA, Washington, 2018.

|                                                | Landsat Thematic Mapper* | SPOT XS * | CASI (Compact Airborne Spectro-graphic Imager) | Аерофотография |
|------------------------------------------------|--------------------------|-----------|------------------------------------------------|----------------|
| Точност на картата (%)                         | <60                      | <50       | <90                                            | <70            |
| Покритие на сцена (km)                         | 185 x 185                | 60 x 60   | променливо                                     | променливо     |
| Цена (€ km <sup>-2</sup> сцена <sup>-1</sup> ) | 0.12                     | 0.71      | 8.11                                           | 16.07          |



## Предимства и недостатъци на картирането на морски трети чрез аерофотография.

| Предимства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Недостатъци                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Висока пространствена разделителна способност</li> <li>Пространствената резолюция (определена от мащаба) може да се избира според целите на проекта</li> <li>Гъвкаво заснемане – изображенията могат да бъдат планирани и заснети в най-подходящото време на деня и при най-добрите условия на средата</li> <li>Ниски технологични изисквания за извличане на информация – карти на морските трети могат да се създават от аерофотокопия или диапозитиви с малко технически хардуерни или софтуерни ресурси, но в повечето случаи аерофотоснимките трябва да се дигитализират и ректифицират преди картиране.</li> <li>Стереометрията може значително да подобри картирането.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Цена – фината пространствена резолюция, осигурена от фотографиите, изисква заснемането на голям брой кадри.</li> <li>Изображенията се създават в аналогов формат и трябва да бъдат сканирани, ако се предвиждат компютърно подобрение, обработка или ректификация.</li> <li>Изкривяване – характеристиките на обектива и положението, кренът, курсът и наклонът на самолета внасят изкривявания в изображенията. Това е проблем, ако не бъде коригиран чрез ректификация.</li> <li>Недостигът на светлина може да затрудни интерпретацията в дълбоки и мътни води.</li> <li>Силно променливи слънчеви отблясъци от всички посоки в изображението.</li> <li>Облаци.</li> </ul> |



# Приложения на дронове при мониторинга на морските тревни

<10cm

\$

## Резолюция

Дроновете осигуряват пространствена резолюция под 10 cm, улавяйки фини детайли на ливадите от морски тревни.

## Цена

Относително ниска цена в сравнение с други методи за дистанционни изследвания.

100%

## Гъвкавост

Висока гъвкавост при използване и адаптиране към специфични нужди за мониторинг.

Дронове са използвани в редица изследвания за мониторинг на морски тревни в приливно-отливната зона, демонстрирайки ефективността си за картиране с висока резолюция. Съображенията за цена и точност се различават значително между сателитните и въздушните сензори, като дроновете предлагат междинно решение.



# Синергия между дронаве и сателити

1

## Събиране на данни с дронаве

Дроновете събират висококачествени референтни данни с висока резолюция на по-ниска височина (обикновено не повече от 300 m).

2

## Валидиране

Тези данни валидират продуктите за картиране на морски тревя с по-ниска резолюция, получени от сателити.

3

## Намаляване на разходите

Този подход намалява разходите, свързани със събирането на теренни данни за валидиране *in situ* (чрез шнорхелинг и/или гмуркане).

4

## Повишена осъществимост

Комбинираният подход повишава осъществимостта на проектите за картиране на морски тревя.

Възможността дроновете многократно да летят по един и същ маршрут и да събират данни при необходимост ги превръща в много полезен инструмент за рутинен мониторинг на екосистемите от морски тревя, въпреки че изискват специални разрешения и лицензи.

# Акустични техники за картиране

## Странично-сканиращи сонари

Използват се от 70-те години на XX век в Средиземно море за картиране на ливади от морски тревя, въпреки че измерването на гъстотата и височината на листния покрив е трудно.

## Еднолъчеви ехолоти

Полезни за картиране на долната дълбочинна граница на разпространение на морските тревя, въпреки че не осигуряват пълно покритие на морското дъно.

1

2

3

## Многолъчеви ехолоти

Един от най-ефективните акустични инструменти, създаващ триизмерни изображения на ливади от морски тревя с подробна структура.

Акустичните сензори обикновено се използват за картиране на физичните и биологичните характеристики на морското дъно. Чрез ултразвукови техники е възможно картиране на ливади от морски тревя с акустична апаратура, която обикновено се тегли от или се монтира на лодка. Размерът на обследваната площ обикновено е между този при *in situ* методите и сателитните изображения.

## Подходи за теренен мониторинг

### Оценка на процентното покритие

Най-добре установената и най-често използвана променлива при мониторинга на морските тревя, определяна като „хоризонтално проектираното листно покритие на короната“.

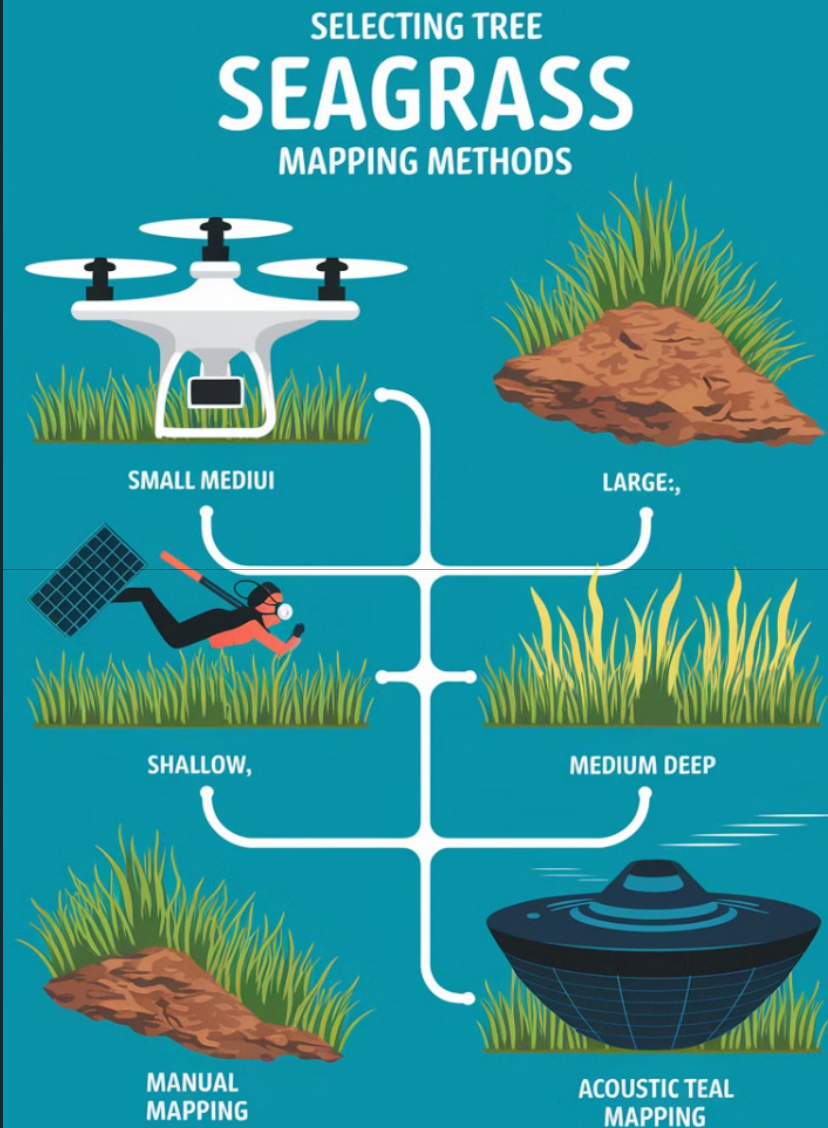
### Допълнителни измервания

Събиране в малък мащаб на данни за гъстота на леторастите, височина на листния покрив, биомаса и видов състав.

### Контрол на качеството

Използване на общи референтни карти и процедури за осигуряване/контрол на качеството (QA/QC) за повишаване на точността.

Теренният мониторинг може да предостави подробна информация за състоянието (екологичния статус) на ливадите от морски тревя, тъй като редица променливи се събират в малък мащаб. Макар оценката на покритието да може да бъде субективна, подходящото обучение и стандартизираните методи могат значително да повишат точността.





# Координирани мрежи за мониторинг

## Стандартизирани протоколи

Общи методи за различните обекти

## Докладване

Споделени резултати и изводи



## Събиране на данни

Съпоставими измервания

## Анализ

Сравнение между обектите

Мрежите предоставят отличен и икономически ефективен метод за получаване на стандартизирани и съпоставими данни във времето за промените в морските треве и свързаните с тях фактори на различни места по света. Скорошна глобална оценка идентифицира 19 активни дългосрочни програми за мониторинг на морски треве, като най-големите са **Seagrass-Watch** и **SeagrassNet**.

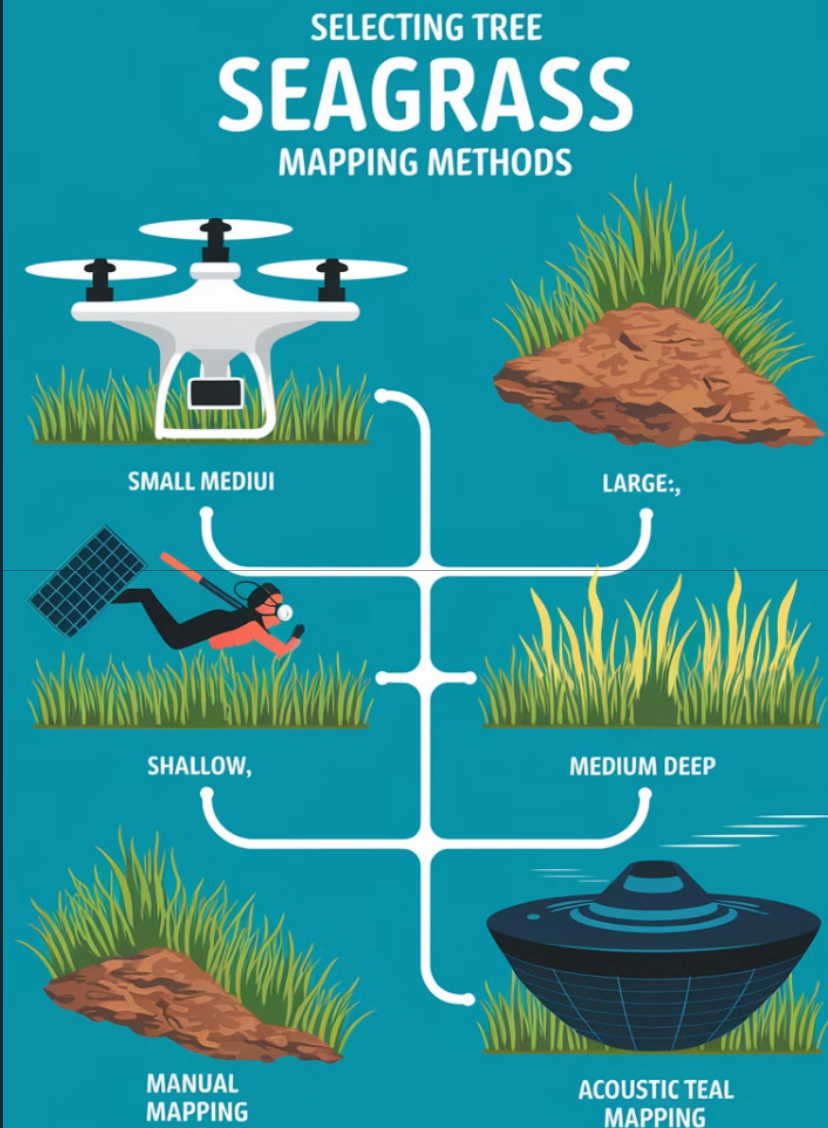
И двете мрежи имат за цел да предоставят актуални онлайн системи за подаване на данни, както и ресурси в подкрепа на мониторинга, като ръководства или протоколи, теренни наръчници и формуляри за данни, новини, подробности за обектите с морски треве и участниците.



# Избор на подходящ метод за картиране

| Метод                 | Размер на площта            | Диапазон на дълбочина | Предимства                                |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|
| На място (гмуркане)   | Малка (<1 km <sup>2</sup> ) | 0-30m                 | Висока детайлност, определяне на видовете |
| Видеокамера           | Малка-средна                | 0-50m                 | Добро покритие, по-малко труд             |
| Аерофотоснимки        | Средна-голяма               | 0-15m                 | Широко покритие, архивност                |
| Сателитни изображения | Много голяма                | 0-10m                 | Глобално покритие, повтораемост           |

Интервалите на дълбочина са само ориентировъчни, тъй като способността на методите за дистанционни изследвания да различават морските тревы зависи от прозрачността на водата, а не от абсолютната дълбочина. Цифровите аерофотоснимки имат по-висока чувствителност от обикновения филм и се препоръчват при ниска прозрачност на водата.



# Технологичен напредък в картирането на морска

1

## Облачни изчисления

Позволява обработка на огромни масиви от данни

2

## Изкуствен интелект

Автоматизира анализа и класификацията

3

## Машинно обучение

Подобрява точността и откриването

През последното десетилетие технологичният напредък в изчисленията позволи развитието на два основни стълба на съвременното картиране и мониторинг чрез сателитни и дренови изображения: платформите за облачни изчисления и изкуствения интелект (ИИ), включително машинно и дълбоко обучение.

Тази технология създава основа за силно мащабируеми, повторяеми и точни техники, които могат да улеснят картирането и мониторинга на морските трети в безпрецедентни мащаби и резолюции.



# Платформи за облачни изчисления

## Google Earth Engine

Облачна платформа за съхранение, обработка, анализ и визуализация на данни за наблюдение на Земята, използвана успешно за картиране на *Posidonia oceanica* по гръцките брегове.

## Amazon Web Services

Осигурява облачна среда за съхранение и обработка на мащабни набори от данни за наблюдение на Земята.

## Copernicus на Европейската комисия

Услуги за достъп до данни и информация, предлагащи инструменти за анализ на сателитни изображения за екологичен мониторинг.

През последните пет години се наблюдават създаването и развитието на платформи за облачни изчисления, които представляват безпрецедентен подход „големи данни“ към науката и управлението. Тези платформи акцентират върху анализи, интензивно използващи данни, ефективен по време и разходи достъп до данни, огромни изчислителни ресурси и висококачествена визуализация.

# Изкуствен интелект при мониторинга на морските тр

1

## Машинно обучение

Програми, които използват входни данни за изграждане и прилагане на прогнозни модели за идентифициране и класифициране на морски трети.

2

## Дълбоко обучение

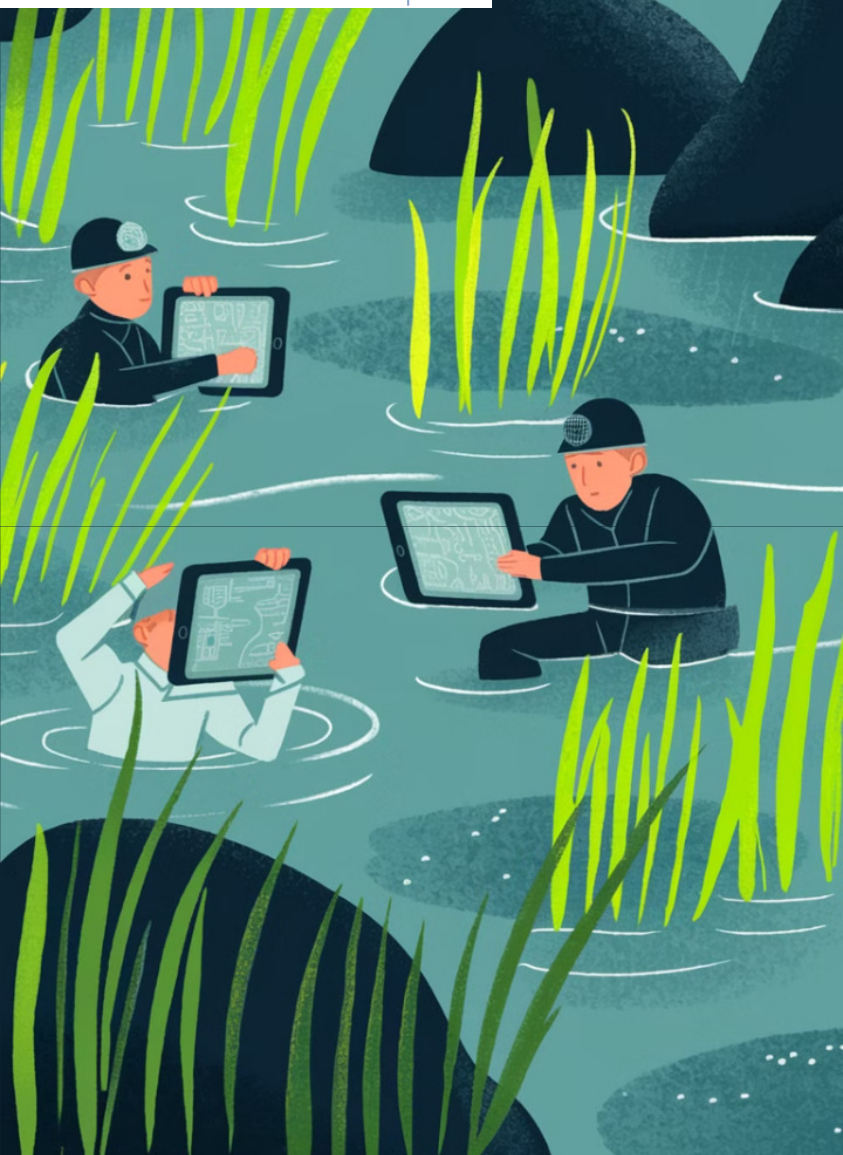
По-широко направление в семейството на машинното обучение, основано на изкуствени невронни мрежи, които имитират структурата и функциите на мозъка.

3

## Автоматизиран анализ

Тези алгоритми водят до пробивни иновации в мониторинга на морски трети, основан на данни, особено в облачни среди.

Технологиите за ИИ могат значително да развият мониторинга на морските трети чрез по-висока точност на класификацията, по-голяма автоматизация на обработката и анализа на данни и разработване на автоматизирано откриване на промени в морските трети във времето.



# Изисквания към референтните данни

1

## Събиране на обучителни данни

Висококачествени обучителни данни за калибриране на алгоритмите могат да се събират чрез теренни кампании с GPS или чрез специализирани мобилни приложения.

2

## Разработване на алгоритми

Методите за машинно обучение изискват обширни обучителни данни за точно идентифициране на морски тревя в изображения за наблюдение на Земята.

3

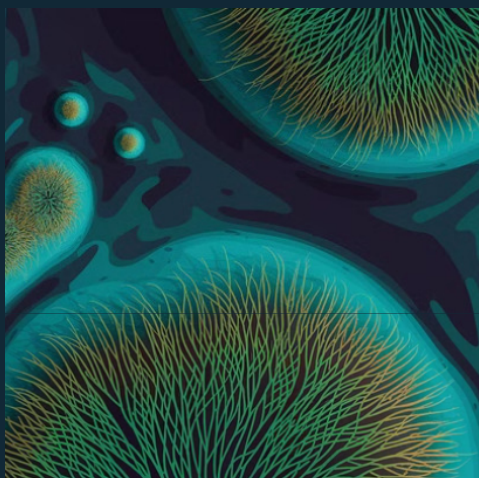
## Валидиране

Валидирането на данните или проверката на терен оценява точността и качеството на класифицираното изображение и гарантира надеждни резултати.

Анализът на данни за наблюдение на Земята чрез методи за машинно обучение изисква висококачествени обучителни данни за калибриране на алгоритмите. Данните за валидиране трябва да са представителни за съвкупността, като бъдат извадково представени всички класове (същият брой класове, използван при класификацията и обучителните данни).



# Източници на данни за валидиране



Наборите от данни за валидиране могат да бъдат получени от различни източници, като съществуващи карти и инвентаризации, изображения от сателити с висока резолюция или дроневи и *in situ* методи (гмуркане, шнорхелинг или пеша в приливно-отливни зони с морски треви).

Когато са налични, геореферирани изображения с висока резолюция от сателити и дроневи могат да се използват като базови карти от опитни потребители, които създават обучителни набори от данни под формата на пространствени точки или полигони.



# Значението на метаданните

## 1 Стандарти за документация

Съществуват глобални и регионални стандарти, като ISO 19115 и Директивата INSPIRE, за осигуряване на последователно документиране на данните.

## 2 Платформи за данни

Платформи като Dynamic Ecological Information Management System (DEIMS-SDR) подпомагат документирането на наличните in situ набори от данни.

## 3 Биологични стандарти

Стандартите за метаданни, широко използвани за биологични и екологични данни, включват Ecological Metadata Language (EML) и стандартите Darwin Core.

Стриктните метаданни са съществено, но често пренебрегвано изискване за бъдещото използване на събраните данни, следвайки принципа „събери веднъж, използвай многократно“. Метаданните предоставят подробности за източника, местоположението, времевия обхват, версията и методиките, използвани за всеки запис, което позволява съдържателно сравнение между записите.

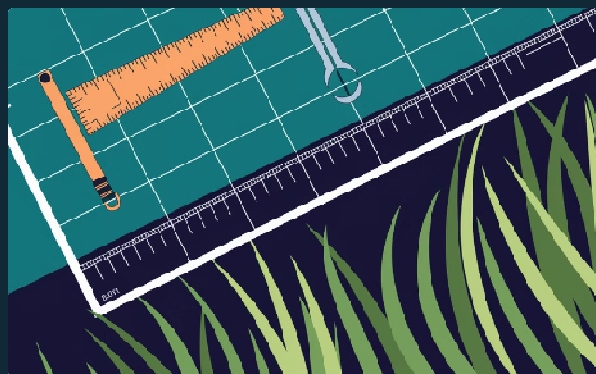


# Глобална програма за мониторинг Seagrass-Watch



## Участие на общността

Глобална програма за научен мониторинг с участие на обществеността и научнообосновано образование, създадена през 1998 г. и действаща на 408 обекта в 21 държави.



## Стандартизирани методи Контрол на качеството

Състоянието на морските треве се оценява чрез 33 квадрата (50 cm × 50 cm) в постоянни и реплицирани мониторингови участъци (0,25–5,5 ha), установени в представителни ливади.



За осигуряване на точността на данните оценките се извършват предимно от опитни учени и екологични специалисти в партньорство с по-широката общественост.



# Параметри за измерване на Seagrass-Watch

## Основни измервания

Процентно покритие и видов състав на морските тревя, височина на листния покрив, покритие от епифити, покритие от макроводорасли и размер на седиментните зърна.

## Докладване

Доклади за състоянието на морските тревя се публикуват на уебсайта на програмата, като резултатите се използват на местно и регионално ниво в подкрепа на целите за опазване.



## Допълнителни параметри

В зависимост от местния капацитет: цветове/плодове на морските тревя, гъстота на семената, ландшафт на ливадите (фрагментация), тревопасност, концентрации на хранителни вещества в листната тъкан, температура и светлина.

## Честота на оценяване

Честотата зависи от местния капацитет и може да бъде тримесечна (на всеки три месеца), два пъти годишно, годишна или ad hoc.



# Глобална мрежа за мониторинг SeagrassNet



## Глобален обхватСтандартизиран протокол

Създадена през 2001 г., SeagrassNet изследва и документира състоянието на ливадите от морски тревя чрез мониторинг на 126 обекта в 33 държави.

Във всяка наблюдавана зона има три постоянни 50-метрови трансекта с 12 повторни позиции за пробовземане, като пробовземането се извършва предимно от местни власти и екологични специалисти.



## Комплексни параметри

Биологичните параметри включват видове, покритие, височина на листния покрив, биомаса и цветове/плодове, както и разширяване/свиване на ливадите, измервани заедно с температура, светлина, соленост и характеристики на седимента.

# Координиране на глобалните усилия за мониторинг на морските триви

## Координация чрез GOOS Интеграция с MBON

Глобалната система за наблюдение на океана (GOOS) работи за координиране на глобалните усилия за мониторинг на морските триви в контекста на основните океански променливи (EOV).

Резултатите от SeagrassNet разкриват промените в морските триви във времеви мащаби, релевантни за управлението, и същевременно подкрепят научнообосновани заключения за състоянието на местообитанията и мащаба на необходимите управленски действия.

Целта на подхода с биологични основни океански променливи (EOV), включително EOV за морски триви, е да се развият общности от практики по света, които да измерват ключови биологични променливи по глобално координиран и взаимно съпоставим начин.

Мрежата за наблюдение на морското биоразнообразие (MBON) подпомага интегрирането на мониторинга на морските триви с други наблюдения на морското биоразнообразие.

## Национални стандарти

Адаптираният протокол SeagrassNet е приет като национален стандарт в Бразилия, което демонстрира неговата ефективност и адаптивност.



# Добри практики в мониторинга на морските тревя

## Стандарти за методология

Разработване на стандартизирани подходи за мониторинг, които могат да се прилагат последователно в различни региони и екосистеми.

## Протоколи за метаданни

Установяване на ясни насоки за документиране на методите, времето и условията за събиране на данни с цел осигуряване на съпоставимост.

## Управление на данните

Създаване на системи за съхранение, споделяне и анализ на данни от мониторинга на морски тревя между различни платформи и организации.

Освен развиването на партньорства и общност от практики, тази общност работи и за разработване на добри практики за мониторинг, метаданни и управление на данни. Например хранилището Ocean Best Practices ([www.oceanbestpractices.net](http://www.oceanbestpractices.net)) е създадено за събиране и архивиране на добри практики в океанските изследвания, наблюдението и управлението на данни и информация.





# Съществуващи програми за мониторинг на морските треви



По света съществуват множество утвърдени програми за мониторинг, включително мрежите за мониторинг на *Posidonia oceanica* на Балеарските острови, в Каталуния и Валенсианската общност (Испания), GIS-Posidonie във Франция, Датската национална програма за мониторинг и оценка, Естонската програма за екологичен мониторинг и Cooperative Monitoring in the Baltic Marine Environment (COMBINE).

Глобални мрежи като Seagrass Watch и SeagrassNet осигуряват координация и стандартизация между тези регионални усилия, подпомагайки изграждането на по-цялостно глобално разбиране за екосистемите от морски треви.



# Отворени данни за разпространението на морските трев

## 1 Глобален набор от данни за разпространението

Усилията за обединяване на данни за разпространението на морските трев доведоха до разработването на набора от данни Global Distribution of Seagrasses.

## 2 Регионални инвентаризации

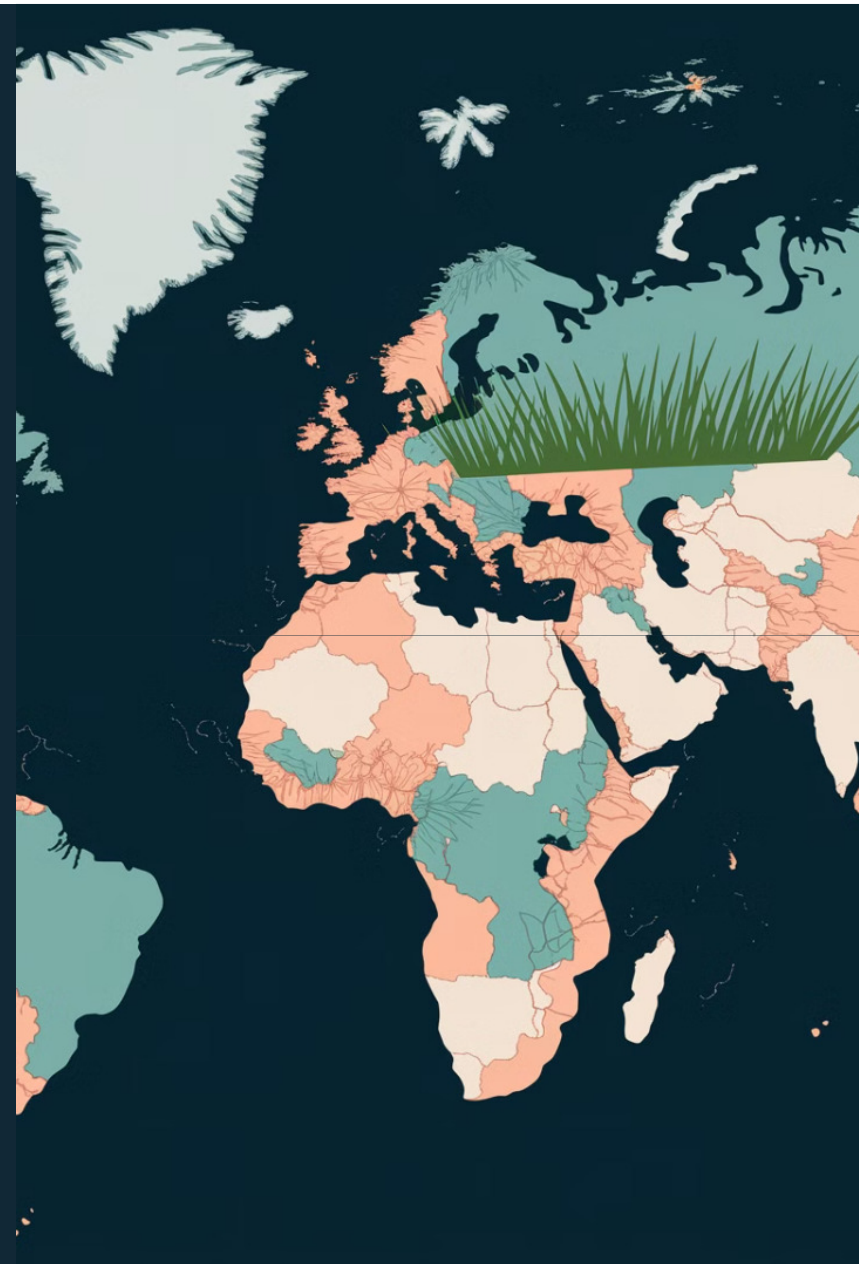
Регионални или национални инвентаризации, поддържани от междуправителствени, правителствени и неправителствени организации, предоставят подробни местни данни.

## 3 EMODnet

Широкомасштабната карта на местообитанията на морското дъно на Европейската мрежа за морско наблюдение и данни включва наскоро публикувани набори от EOY данни за морски трев, макроводорасли и живи корали.

## 4 GBIF и OBIS

Отделни точкови записи са достъпни чрез Global Biodiversity Information Facility и Ocean Biogeographic Information System.





# Предизвикателства и бъдещи насоки

## 1 Пропуски в знанията

Въпреки продължаващите усилия за по-добро разбиране на местоположението на морските тревя, все още съществуват значителни пропуски в знанията, особено в отдалечени или слабо проучени региони.

## 2 Недостиг на времеви серии

Все още липсват достатъчно цялостни, широкомащабни времеви серии за състоянието на морските тревя, което ограничава разбирането ни за дългосрочните тенденции.

## 3 Технологични ограничения

Новите технологии срещат трудности при обхващането на разнообразието от морски тревя по света и могат да бъдат скъпи за редовно използване.

## 4 Усилия за стандартизация

IOC-UNESCO GOOS разработва основни океански променливи за морските тревя, за да подпомогне стандартизирането на събирането на данни в световен мащаб.



# Бъдещето на мониторинга на морските трев

## Интегрирани подходи

Комбиниране на множество техники

## Отворено споделяне на данни

Достъпни хранилища



## Усъвършенствани технологии

ИИ и облачни изчисления

## Глобална координация

Стандартизирани протоколи

Бъдещето на мониторинга на морските трев е в интегрирането на множество подходи – от сателитни дистанционни изследвания до *in situ* измервания – подкрепени от усъвършенствани технологии като изкуствен интелект и облачни изчисления.

Глобалната координация чрез стандартизирани протоколи и отворено споделяне на данни ще бъде от съществено значение за изграждане на цялостно разбиране за екосистемите от морски трев по света, в подкрепа на усилията за опазване и политическите решения пред изменението на климата и други антропогенни натиски.

*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.*