

*Bài báo khoa học*

# **Ứng dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 trong thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam**

**Nguyễn Quang Minh<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Trung<sup>2,3</sup>, Lê Thị Thu Hà<sup>2,3\*</sup>**

<sup>1</sup> Cục Bản đồ, Bộ tổng tham mưu, Bộ Quốc phòng; [nguyenquangminh.sar@gmail.com](mailto:nguyenquangminh.sar@gmail.com)

<sup>2</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất; [nguyenvantrung@humg.edu.vn](mailto:nguyenvantrung@humg.edu.vn);

[lethithuha@humg.edu.vn](mailto:lethithuha@humg.edu.vn)

<sup>3</sup> Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), Trường Đại học Mở - Địa chất; [nguyenvantrung@humg.edu.vn](mailto:nguyenvantrung@humg.edu.vn); [lethithuha@humg.edu.vn](mailto:lethithuha@humg.edu.vn)

\*Tác giả liên hệ: [lethithuha@humg.edu.vn](mailto:lethithuha@humg.edu.vn); Tel.: +84-983115967

Ban Biên tập nhận bài: 18/4/2024; Ngày phản biện xong: 22/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

**Tóm tắt:** Quan trắc các rạn san hô và cỏ biển là một thách thức đặc biệt đối với công nghệ viễn thám do sự không đồng nhất của phản xạ phổ xảy ra ở các độ sâu khác nhau và các thành phần vật chất trong nước. Nghiên cứu này sử dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu đa phổ Sentinel-2 để thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, đặc biệt là các rạn san hô và cỏ biển để phục vụ quản lý, giám sát các hiện tượng biến đổi của chúng trong bối cảnh nước biển ấm lên do biến đổi khí hậu. Các kỹ thuật loại trừ phản xạ phổ của tia sáng trên bề mặt nước, tính toán chỉ số độ sâu không đổi và phân loại các sinh vật đáy được sử dụng phân loại để thành lập bản đồ sinh vật đáy gồm rạn san hô và cỏ biển với độ chính xác tổng thể đạt 79,66% và hệ số kappa đạt được là 0,694. Sự phân bố của san hô, cỏ biển và cát biển phụ thuộc nhiều vào địa hình đáy biển khu vực nước nông và môi trường sống của hệ sinh thái dưới nước khu vực nghiên cứu. Kết quả của nghiên cứu này là tiền đề cho áp dụng dữ liệu đa phổ vệ tinh để nghiên cứu các sinh vật đáy ở vùng nước nông ven các đảo và bờ biển của nước ta.

**Từ khóa:** Bản đồ sinh vật đáy; Dữ liệu đa phổ Sentinel-2; Quần đảo Côn Đảo.

## **1. Giới thiệu**

Các rạn san hô, một trong những hệ sinh thái đa dạng nhất trên Trái đất, đang bị suy giảm mạnh trên toàn cầu [1–3]. Hiện nay, gần một phần ba các loài cá biển sinh sống tại các rạn san hô, nơi đây cũng là chỗ cư trú, kiếm ăn và bãi đẻ của nhiều loài động thực vật nhiệt đới. ... [4, 5]. Ngoài những giá trị quan trọng về mặt sinh thái, chúng còn mang lại nhiều lợi ích kinh tế biển, hỗ trợ bảo vệ bờ biển bằng cách tạo các rào chắn, giảm thiểu rủi ro thiên tai và chống xói lở vùng ven biển [6, 7]. Các rạn san hô mang lại nhiều lợi ích cho con người và tự nhiên, nhưng diện tích và chất lượng của chúng đã suy giảm nghiêm trọng trên toàn cầu trong những thập kỷ gần đây do cả hoạt động của con người và yếu tố tự nhiên [1, 8]. Những nguyên nhân cơ bản gây ra sự suy giảm của các rạn san hô, bao gồm: biến đổi khí hậu, axit hóa đại dương, đánh bắt quá mức và khai thác quá mức các tài nguyên biển khác, gia tăng dòng chảy của đất, chất dinh dưỡng và ô nhiễm hóa chất từ đất liền [6, 9]. Nhằm tăng khả năng phục hồi các rạn san hô, cỏ biển và khả năng thích ứng của chúng, đòi hỏi cần có các chiến lược quản lý hiệu quả cần phải có sự giám sát trên tất cả các quy mô từ địa phương đến toàn cầu [10]. Mặc dù không chi tiết như khảo sát tại hiện trường, nhưng công nghệ viễn

thăm cung cấp một phương pháp quan trắc có giá trị, đặc biệt là ở quy mô lớn khi việc khảo sát trực tiếp sẽ rất tốn kém và khó thực hiện [11]. Bên cạnh đó, thực tế cho thấy nhiều rạn san hô nằm ở những vị trí xa xôi hoặc khó tiếp cận, vì vậy việc giám sát bằng viễn thám là một thành phần có giá trị trong bộ công cụ quản lý [12].

Công nghệ viễn thám cung cấp vô số công cụ có thể được sử dụng trong viễn thám vùng nước nông. Có các cảm biến chủ động và thụ động trên vệ tinh, trên không, trên tàu và các nền tảng dưới nước. Viễn thám LIDAR đã được sử dụng trong các nghiên cứu vùng nước nông ven biển, nghiên cứu [13] đã tạo ra các bản đồ cát, và cỏ biển có độ sâu không liên tục từ 0,8-4,3 m từ một đường bay LIDAR. Viễn thám LIDAR đã được sử dụng để mô tả đặc điểm vùng nước nông (< 30 m) để tạo ra các bản đồ môi trường sống của môi trường ven biển dưới triều [14–17]. Tuy nhiên, thiết bị LIDAR thường đắt hơn nhiều so với cảm biến thụ động, đòi hỏi nhiều nỗ lực hơn thiết bị thụ động để bay qua các khu vực có kích thước tương đương và do đó cũng phải thực hiện các chuyến bay lặp lại nếu cần tần suất vượt qua cao hơn [18]. Về cơ sở khoa học, các rạn san hô thường nằm ở giữa lớp phủ đất và đại dương. Chính vì vậy, các dữ liệu vệ tinh có sẵn thường đáp ứng những yêu cầu cụ thể. Dữ liệu Landsat MSS có sẵn miễn phí đã được sử dụng ở rạn san hô đáp ứng cho tiềm năng lập dự án bản đồ môi trường sống rạn san hô từ những năm 1970 [19–21]. Landsat 8 với độ phân giải bức xạ 12bit và dải màu xanh bổ sung ở bước sóng 443 nm mang lại sự thâm nhập trong vùng nước sâu [22, 23]. Vệ tinh SPOT cũng đã được sử dụng trong nghiên cứu, quan trắc các rạn san hô kể từ khi được phóng vào năm 1986 [24–26]. Các nghiên cứu so sánh cho thấy, ảnh vệ tinh SPOT có độ phân giải không gian tốt hơn, tuy nhiên vệ tinh SPOT chỉ có hai dải quang phổ so với ba dải của Landsat trong phần quang phổ sử dụng chiết xuất thông tin các đối tượng dưới mặt nước, do đó hiệu suất của Landsat TM, OLI trong lập bản đồ môi trường sống rạn san hô tốt hơn so với SPOT [27, 28].

Dữ liệu Sentinel 2 khác biệt đáng kể so với các dữ liệu đã thảo luận trước đó ở cả độ phân giải không gian và thời gian [18]. Độ phân giải không gian 10 m ở bốn dải nhìn thấy và cận hồng ngoại (NIR) nằm giữa dữ liệu đa phổ có độ phân giải không gian cao 2 m và dữ liệu đa phổ Landsat 8 ở 30 m. Việc chụp lặp lại sau 5 ngày của cặp vệ tinh Sentinel-2A và 2B cung cấp khả năng lựa chọn dữ liệu ít mây và có nắng. Phạm vi dữ liệu của Sentinel-2 là 290 km rộng hơn phạm vi ảnh của Landsat là 185 km mang lại lợi thế về tính đồng nhất của khu vực rộng hơn [29]. Trong mô phỏng phản xạ phổ ở độ phân giải 10 m trên sinh vật đáy tối các đặc điểm như san hô có giá trị phổ trên kênh B1 tương ứng quá cao, giá trị ở mức trung bình trên một diện tích lớn hơn (độ phân giải 60 m). Sau đó trong một phân tích độ sâu, những pixel này được dùng để ước tính sai số ở vùng nước sâu [30]. Với độ phân giải không gian cao hơn, MSI trên Sentinel-2 nên được coi là vệ tinh đo độ sâu và lập bản đồ đáy quan trọng; bằng cách bổ sung khả năng truy cập lại cùng một khu vực cứ sau 5 ngày, nó cũng phù hợp để theo dõi các thay đổi. Do đó, trong những năm gần đây, một số nghiên cứu đã được phát triển để thực hiện các nghiên cứu về vùng nước nông với dữ liệu đa phổ Sentinel 2, cả ở các hồ [30, 31], ở Biển Địa Trung Hải [32, 33] và ở các rạn san hô nhiệt đới [34, 35].

Trong phạm vi nghiên cứu này, tại Việt Nam hiện nay còn ít nghiên cứu quan tâm đến việc ứng dụng sự ưu việt của các loại dữ liệu viễn thám sẵn có trong quan trắc, giám sát và thành lập bản đồ sinh vật đáy cho các khu vực trên lãnh thổ Việt Nam. Nghiên cứu [36] đã sử dụng ảnh vệ tinh Landsat 7 TM và Landsat 8 OLI để tiến hành theo dõi hiện trạng và biến động của các hệ sinh thái các thảm cỏ biển tại đầm Lăng Cô, tỉnh Thừa Thiên Huế. Năm 2012, nghiên cứu [37] đã nghiên cứu các thảm cỏ tại vùng ven biển Việt Nam bằng cách thành lập bản đồ phân bố của thảm cỏ biển. Năm 2016, nghiên cứu [38] đã đánh giá sự biến động của thảm cỏ biển theo thời gian tại vịnh Cam Ranh, Việt Nam. Do đặc tính kỹ thuật của dữ liệu viễn thám về độ phân giải không gian, phổ và bức xạ nên các nghiên cứu có phạm vi giới hạn thường chỉ có thể chiết xuất được một loại sinh vật đáy biển, hoặc là cỏ biển, hoặc là san hô. Trong nghiên cứu này đối với dữ liệu đa phổ Sentinel-2 tập trung vào một số loại sinh vật bao gồm rạn san hô và cỏ biển.

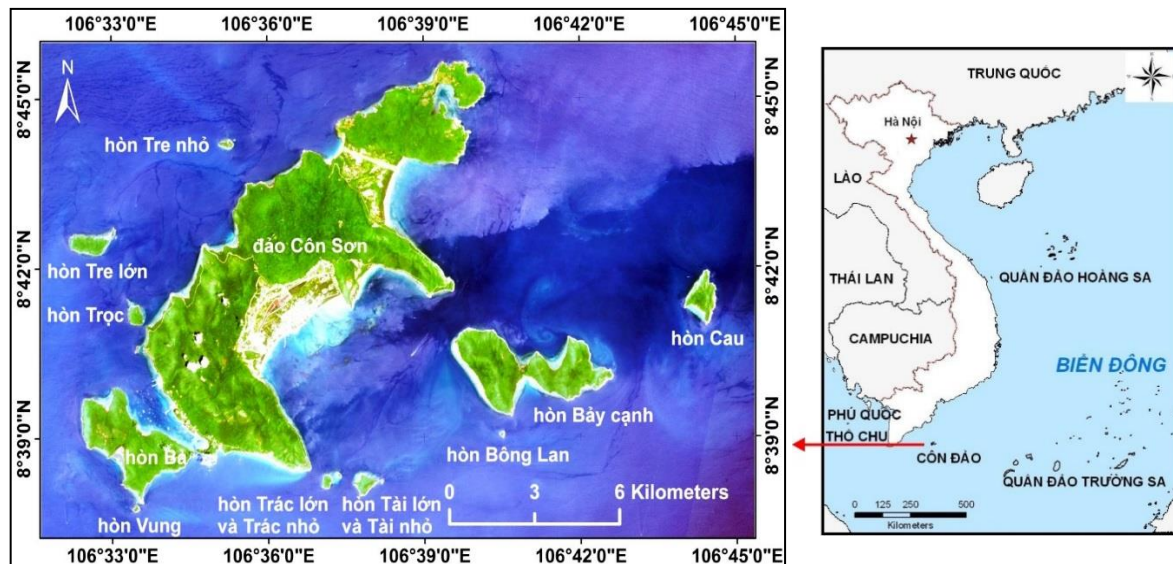
Mục tiêu của nghiên cứu này tập trung sử dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu đa phổ Sentinel-2 để thành lập bản đồ sinh vật đáy gồm san hô và cỏ biển, đặc biệt là các rạn san hô để phục vụ quản lý, giám sát các hiện tượng biến đổi của chúng trong bối cảnh nước biển ấm lên do biến đổi khí hậu. Các kỹ thuật loại trừ phản xạ phổ của tia sáng trên bề mặt nước, tính toán chỉ số độ sâu không đổi và phân loại các sinh vật đáy được áp dụng để thành lập bản đồ sinh vật đáy với sự kiểm chứng của các dữ liệu ảnh vệ tinh độ phân giải rất cao. Thuận lợi của dữ liệu đa phổ Sentinel-2 với độ phân giải không gian, độ phân giải phổ phù hợp và chế độ chụp lặp 5 ngày giúp đáp ứng được các điều kiện quan trắc sinh vật đáy cụ thể ở khu vực Côn Đảo.

## 2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Giới thiệu về khu vực thực nghiệm

Quần đảo Côn Đảo nằm cách đất liền gần nhất là 48 hải lý có kinh độ địa lý  $106^{\circ}32'$  -  $106^{\circ}45'$  Đông và vĩ độ địa lý  $8^{\circ}37'$  -  $8^{\circ}46'$  Bắc (Hình 1). Quần đảo gồm có 16 hòn đảo với tổng diện tích là  $76 \text{ km}^2$ , trong đó đảo lớn nhất là đảo Côn Sơn có diện tích lớn nhất  $51,52 \text{ km}^2$ . Hướng địa hình của đảo chạy từ phía Tây Nam đến Đông Bắc bao gồm các đồi núi đá granite là vách che cho vùng vịnh ở giữa các hòn đảo. Sự giao nhau giữa luồng hải lưu ấm từ phía Nam và luồng hải lưu lạnh từ phía Bắc ở khu vực quần đảo đã tạo ra môi trường nhiệt độ nước biển từ  $25,7^{\circ}\text{C}$  đến  $29,2^{\circ}\text{C}$  thích hợp với điều kiện sống của san hô và cỏ biển [39].

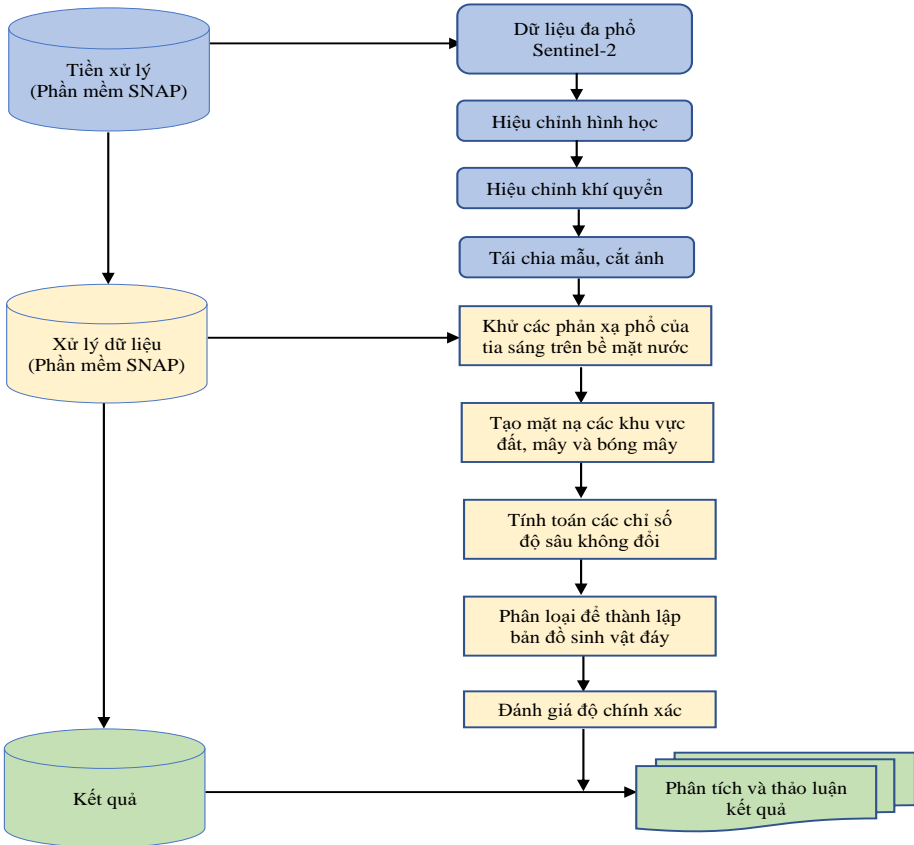
Vùng biển của quần đảo có 1.383 loài sinh vật biển, trong đó có 127 loài rong biển, 11 loài cỏ biển, 157 loài thực vật phù du, 115 loài động vật phù du và nhiều loài động vật dưới nước khác. Các rạn san hô nơi đây do 219 loài hợp thành và các loài cá, thú và bò sát có cuộc sống không tách rời các thảm cỏ biển tạo thành hệ sinh thái đặc trưng khu vực quần đảo Côn Đảo (<https://www.condaopark.com.vn/vn/?vnTRUST=mod:about>). Đây chính là lý do bài báo lựa chọn khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, dữ liệu vệ tinh phục vụ cho nghiên cứu các sinh vật đáy vẫn còn rất nhiều giới hạn do đặc tính vật lý của việc thu nhận dữ liệu, tầng khí quyển, các yếu tố khí tượng và thủy văn ở các vùng biển nước nông gần bờ. Chính vì vậy, bài báo chỉ tập trung nghiên cứu đối với hai loại sinh vật biển điển hình là rạn san hô và cỏ biển.



**Hình 1.** Tổ hợp màu tự nhiên (RGB=432) của ảnh Sentinel-2 chụp ngày 29-9-2023 khu vực quần đảo Côn Đảo, Bà Rịa - Vũng Tàu, Việt Nam.

### 2.2. Quy trình nghiên cứu

Quy trình tổng thể của nghiên cứu này bao gồm ba bước chính: tiền xử lý, xử lý dữ liệu và đánh giá kết quả phân loại và được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ quy trình tổng thể của nghiên cứu.

2.3. Số liệu sử dụng

Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 được chọn để làm khu vực nghiên cứu do dữ liệu ảnh vệ tinh này miễn phí có sẵn tại <https://scihub.copernicus.eu>with. Các thông tin kênh phổ của dữ liệu Sentinel-2 được đưa ra trong Bảng 1. Để định lượng cho phạm vi toàn cầu, một phân tích dựa trên việc chia ô lưới dữ liệu Sentinel-2 đã được tiến hành [40], trong đó danh sách tất cả các ô lưới 110 km × 110 km dữ liệu Sentinel-2 chứa các rạn san hô đã được tạo ra. Các dữ liệu còn thiếu sẽ được thu nhận bổ sung để cung cấp đầy đủ dữ liệu để giám sát rạn san hô trên toàn cầu.

Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 được thu nhận và xử lý ở mức độ 2A (tên sản phẩm: S2B\_MSIL2A\_20230929T030529\_N0509\_R075\_T48PXQ\_20230929T063909) đã được tham chiếu địa lý. Bộ dữ liệu được thu thập vào ngày 29 tháng 9 năm 2023 tương ứng cho tháng mùa mưa trong năm bao trùm khu vực nghiên cứu quần đảo Côn Đảo. Dữ liệu ảnh vệ tinh trong ngày đã chọn cung cấp rằng lượng mây che phủ rất ít và nằm ở khu vực đất trên quần đảo giúp cho việc quan trắc các sinh vật đáy ở các khu vực nước nông ven bờ được tốt nhất.

Bảng 1. Các kênh phổ của dữ liệu đa phổ Sentinel-2 [44].

Sentinel-2		
Kênh phổ	Bước sóng trung tâm (nm)	Độ phân giải (m)
B1 - Coastal aerosol	443	60
B2 - Blue (B)	490	10
B3 - Green (G)	560	10
B4 - Red (R)	665	10
B5 - Red edge (RE1)	705	20
B6 - Red edge (RE2)	740	20
B7 - Near infrared narrow1 (NIRn1)	783	20
B8 - Near infrared (NIR)	842	10
B8A - Near infrared narrow2 (NIRn2)	865	20



Sentinel-2		
Kênh phổ	Bước sóng trung tâm (nm)	Độ phân giải (m)
B9 - Water vapor	945	60
B10 - SWIR Cirrus	1375	60
B11 - Shortwave infrared (SWIR1)	1610	20
B12 - Shortwave infrared (SWIR2)	2190	20

## 2.4. Phương pháp nghiên cứu

### 2.4.1. Khử các phản xạ phổ của tia sáng trên bề mặt nước (Deglint)

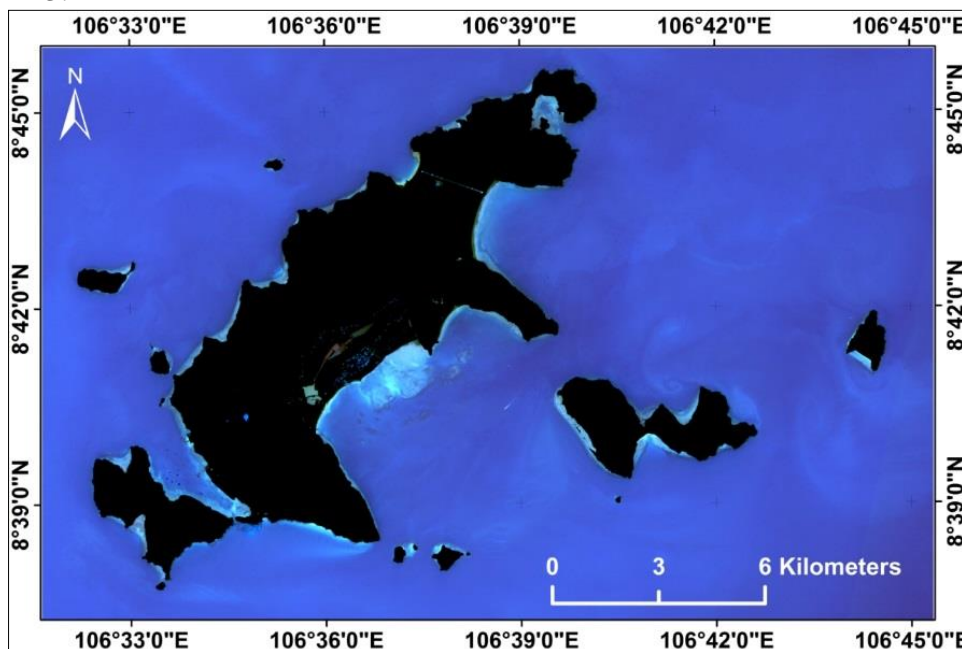
Các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời là một hiện tượng phổ biến trong ảnh vệ tinh để cập đến sự phản chiếu của tia sáng mặt trời trên bề mặt nước. Độ phản xạ từ bề mặt nước có thể khó quan sát do sự phản xạ của ánh sáng mặt trời trực tiếp trên bề mặt phân cách giữa không khí và nước theo hướng vệ tinh [18]. Dữ liệu đa phổ của vệ tinh Sentinel-2 dễ bị xảy ra các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời [30]. Khi có phản xạ phổ của tia sáng mặt trời, chúng ta cần áp dụng thuật toán loại bỏ phổ phản xạ này để có thể quan sát được đáy biển nhằm mục đích tăng độ chính xác của kết quả bản đồ sinh vật đáy từ dữ liệu ảnh vệ tinh.

Phương pháp loại bỏ các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời cho dữ liệu vệ tinh có độ phân giải cao áp dụng cho các vùng ven biển. Thuật toán được phát triển trong công cụ Sen2Coral bởi [41]. Mặc dù thuật toán cho kết quả khá tốt nhưng nên sử dụng dữ liệu có các phản xạ phổ của tia sáng tối thiểu.

### 2.4.2. Tạo mặt nạ các khu vực đất, mây và bóng mây

Một bước tiền xử lý cần thiết khác là tạo mặt nạ che phủ đất, đỉnh bọt biển trên sóng, mây và bóng mây. Ba cái đầu tiên đề cập đến các đặc trưng độ sáng có thể được xác định dựa vào các bước sóng hồng ngoại gần (B8 - NIR). Kênh phổ này không xâm nhập vào nước nên sau khi khử phản xạ phổ của tia sáng các vùng nước trong rất tối. Mây, đỉnh bọt biển trên sóng và đất thường có nhiệt độ cao phản xạ trong NIR, do đó chúng ta có thể đặt ngưỡng để tạo mặt nạ để che chúng.

Tuy nhiên, mặt nạ này không thể che các đặc điểm tối như bóng mây hoặc bóng địa hình. Các đặc trưng tối có thể được phân định khi sử dụng ngưỡng cho kênh phổ B2 để tạo mặt nạ bổ sung. Kết quả của quá trình xử lý loại bỏ các phản xạ phổ của tia sáng mặt trời trên bề mặt nước và tạo mặt nạ các khu vực đất, đỉnh bọt biển trên sóng, mây và bóng mây được đưa ra trong Hình 3.



**Hình 3.** Tổ hợp màu tự nhiên (RGB=432) của ảnh Sentinel-2 sau khi Deglint và tạo mặt nạ (màu đen).

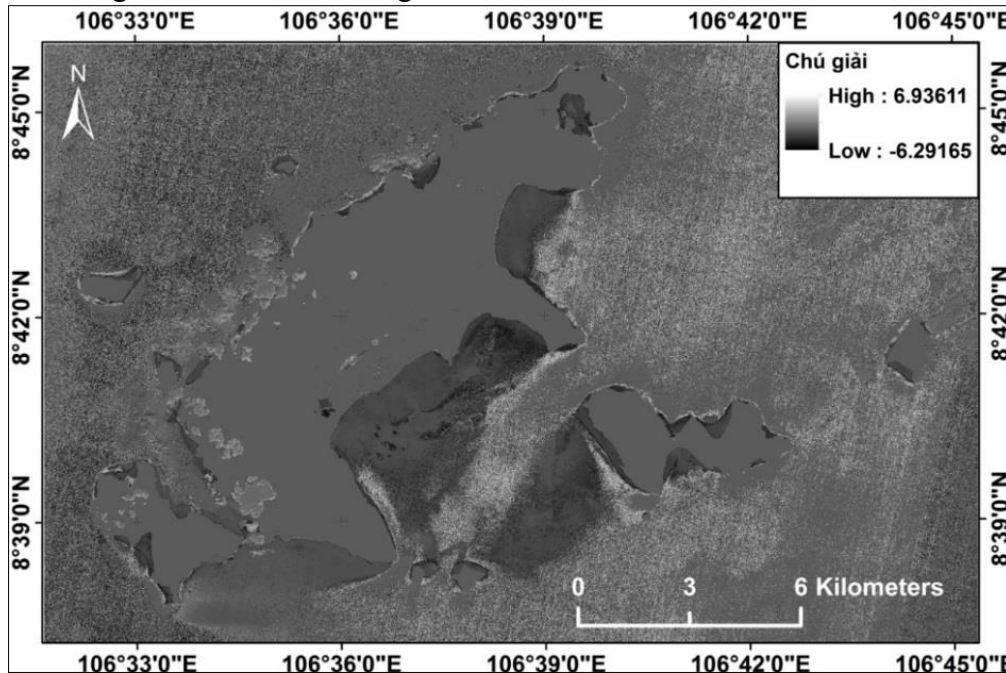
### 2.4.3. Tính toán các chỉ số độ sâu không đổi

Việc tính toán các chỉ số độ sâu không đổi là bước hiệu chỉnh cột nước rất hữu ích của quá trình xử lý dữ liệu để phân loại sinh vật đáy. Việc phát triển công cụ Sen2Coral dựa theo [42]. Dựa vào cơ sở của sự suy giảm của độ phản xạ xấp xỉ theo hàm mũ nghịch đảo với độ sâu của nước, do đó sự biến đổi:

$$X_i = -\ln(R_i - R_i^{\text{deep}}) \quad (1)$$

Xấp xỉ tuyến tính hóa ảnh hưởng của độ sâu lên hệ số phản xạ,  $R_i$  là độ phản xạ pixel trong kênh phổ  $i$  và  $R_i^{\text{deep}}$  là độ phản xạ nước sâu trong kênh phổ  $i$  đó. Biểu đồ các giá trị pixel của hai biến đổi các kênh phổ trên một loại sinh vật đáy có hệ số phản xạ không đổi nhưng ở các độ sâu khác nhau sẽ nằm trên một đường thẳng.

Để tính các chỉ số độ sâu không đổi, chúng ta cần chọn hai kênh phổ có khả năng xuyên qua nước để quan sát các đặc trưng dưới bề mặt đáy cần quan tâm. Đối với Sentinel-2, các kênh phổ B1-B3 là hữu ích nhất, mặc dù các kênh phổ B1-B5 có thể đáp ứng điều kiện. Chúng ta không cần biết độ suy giảm nước riêng lẻ các hệ số trong hai kênh phổ đầu vào đã chọn, nhưng chúng ta cần biết tỷ lệ của chúng. Điều này có thể được tính toán từ các pixel mẫu trên cùng loại đáy ở các độ sâu khác nhau. Kết quả của quá trình xử lý tính toán các chỉ số độ sâu không đổi được đưa ra trong Hình 4.



**Hình 4.** Chỉ số độ sâu không đổi cho vùng biển tính từ dữ liệu đa phổ Sentinel-2.

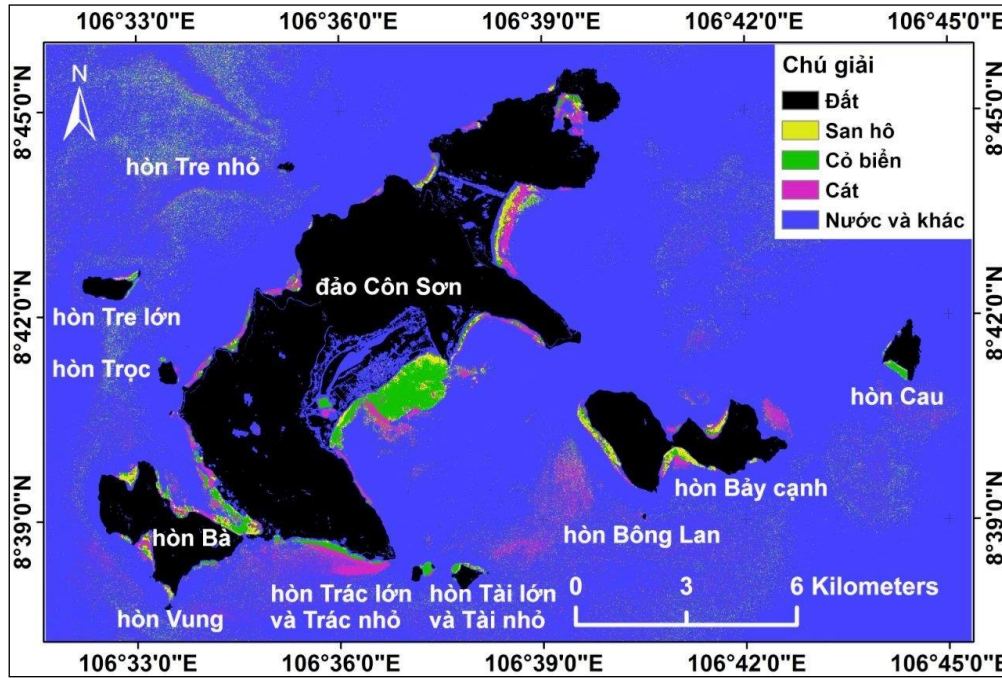
## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Kết quả phân loại trên ảnh vệ tinh đa phổ Sentinel-2 để thành lập bản đồ sinh vật đáy khu vực quần đảo Côn Đảo, Việt Nam

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân loại xác suất cực đại để phân loại thành các lớp gồm: san hô, cỏ biển, cát ở khu vực nước nông ven bờ từ kết quả bản đồ chỉ số độ sâu không đổi với các vùng mẫu lấy từ các dữ liệu vệ tinh độ phân giải siêu cao như Ikonos hoặc Worldview 2. Các lớp đất trên đảo hoặc vùng nước sâu cũng được phân thành lớp riêng biệt để tạo thành bản đồ sinh vật đáy trong Hình 5.

Dựa trên giá trị diện tích các sinh vật đáy chiết tách từ trong Bảng 2, nghiên cứu cho thấy diện tích rạn san hô là 5,72 km<sup>2</sup>, chiếm khoảng 24,51% tổng diện tích, diện tích lớp cỏ

biển lớn nhất 9,06 km<sup>2</sup>, chiếm khoảng 38,82% tổng diện tích. Phần còn lại là diện tích lớp cát 8,56 km<sup>2</sup>, chiếm khoảng 36,67% tổng diện tích các sinh vật đáy ở khu vực nghiên cứu.



**Hình 5.** Kết quả phân loại các sinh vật đáy cho vùng biển nông chiết tách từ dữ liệu đa phổ Sentinel-2 khu vực Côn Đảo, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.

**Bảng 2.** Diện tích các sinh vật đáy cho vùng biển chiết tách từ dữ liệu đa phổ Sentinel-2.

Diện tích san hô		Diện tích cỏ biển		Diện tích cát		Tổng diện tích	
Diện tích (km <sup>2</sup> )	Diện tích (%)	Diện tích (km <sup>2</sup> )	Diện tích (%)	Diện tích (km <sup>2</sup> )	Diện tích (%)	Diện tích (km <sup>2</sup> )	Diện tích (%)
5,72	24,51	9,06	38,82	8,56	36,67	23,34	100

### 3.2. Đánh giá độ chính xác

Việc đánh giá độ chính xác khi phân loại các sinh vật đáy từ kết quả tính toán các chỉ số độ sâu không đòi hỏi cần có các dữ liệu kiểm chứng [38]. Do đó, việc đánh giá độ chính xác được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên cần ít nhất 50 điểm dành cho mỗi lớp; 231 điểm ngẫu nhiên được phân phối giữa các lớp sinh vật đáy. Ngoài ra, sử dụng công cụ miễn phí Google Earth lấy các ảnh chụp cùng ngày có độ phân giải cao làm dữ liệu tham khảo. Sau đó, ma trận sai số được tính toán là kết quả của việc đánh giá độ chính xác quá trình phân loại bao gồm: độ chính xác tổng thể và hệ số Kappa, độ chính xác sản xuất (PA), và độ chính xác sử dụng (UA) [43]. Các công thức tính toán cho các loại độ chính xác được đưa ra cụ thể sau đây.

Độ chính xác tổng thể được xác định như sau:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k p_{ii}}{N} \quad (2)$$

Hệ số Kappa được xác định như sau:

$$Kappa = \frac{p_0 - p_c}{1 - p_c} \quad (3)$$

Độ chính xác sản xuất (PA) và độ chính xác sử dụng (UA) được tính toán như sau:

$$PA = \frac{p_{ii}}{\sum_{i=1}^k p_{i+}} \quad (4)$$



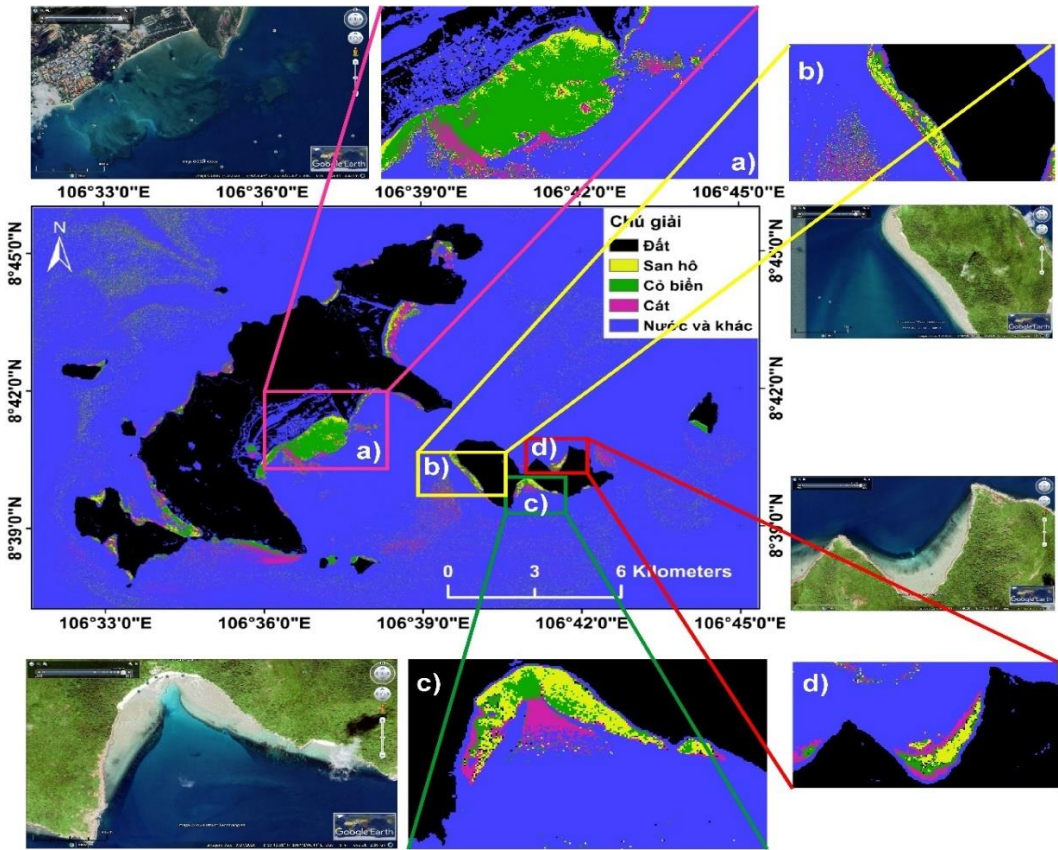
$$UA = \frac{P_{ii}}{\sum_{j=1}^k P_{+j}} \tag{5}$$

Trong đó  $p_0 = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ii}}{N}$ ;  $p_c = \frac{\sum_{i,j=1}^k P_{i+P_{+j}}}{N}$ ;  $p_{ii}$  là các phần tử trong đường chéo chính của ma trận sai số;  $p_{i+}$  và  $p_{+j}$  là các phần tử đối xứng qua đường chéo chính của ma trận sai số;  $N$  là tổng số hàng và cột của ma trận sai số.

Ma trận sai số và các kết quả các loại độ chính xác được trình bày trong Bảng 3 cho thấy lớp rạn san hô có độ chính xác sản xuất 79,80% và độ chính xác sử dụng 81,44%. Độ chính xác tổng thể đạt 79,66%, hệ số kappa đạt được là 0,694 tương ứng. Độ chính xác của lớp cỏ biển thấp hơn độ chính xác lớp san hô do diện tích bao phủ của lớp này lớn hơn lớp san hô. Kết quả độ chính xác đạt được thể hiện trong Bảng 3 do có sự phân loại nhầm lẫn 12 mẫu của lớp san hô sang lớp cỏ biển và phân loại bỏ sót 13 mẫu của lớp cát thành lớp san hô. Mặc dù đã lựa chọn các mẫu cho cả ba lớp có tính khác biệt về đặc trưng, nhưng sự nhầm lẫn và bỏ sót trong quá trình phân loại là không thể tránh khỏi do sự phân biệt phổ giữa các sinh vật đáy không rõ rệt.

**Bảng 3.** Ma trận sai số kết quả phân loại các sinh vật đáy từ đa chi số phổ của ảnh Sentinel-2.

Mẫu	San hô	Cỏ biển	Cát	Tổng hàng	Độ chính xác sử dụng (UA)
San hô	79	12	6	97	81,44%
Cỏ biển	7	68	11	86	79,07%
Cát	13	10	84	107	78,50%
Tổng cột	99	90	101	290	
Độ chính xác sản xuất (PA)	79,80%	75,56%	83,17%		
Độ chính xác tổng thể (OA)	79,66%				
Kappa	0,694				



**Hình 6.** Kết quả phân loại các sinh vật đáy và dữ liệu có độ phân giải siêu cao.



Các kết quả phân loại các sinh vật đáy và dữ liệu vệ tinh có độ phân giải siêu cao được minh họa trong Hình 6. Đối với khu vực bờ biển có dạng thẳng kéo dài và có địa hình đáy thoải cho thấy sự phát triển của cỏ biển tập trung phổ biến ở khu vực nước nông nhất và có bề mặt đáy tương đối bằng phẳng và lớp cát biển thường bao quanh khu vực cỏ biển như trong Hình 6a. Tuy nhiên, đối với địa hình dốc hơn, sự xuất hiện nhiều rạn san hô nhiều hơn xen lẫn với cát biển thay vì cỏ biển kéo dài dọc theo vùng nước nông trong Hình 6b. Đặc biệt ở phía Tây Nam của Hình 6b có xuất hiện khu vực cát xen lẫn san hô ở khu vực xa bờ hơn cho thấy khả năng xuyên thấu qua nước biển của một số kênh phổ vệ tinh Sentinel-2.

Đối với khu vực bờ biển có dạng lõm vào sâu, khu vực có rạn san hô dày đặc xen lẫn với cỏ biển xuất hiện ở vùng nước nông có độ dốc lớn hơn và khu vực cát biển ở vùng đáy bằng phẳng và độ sâu lớn hơn được nhận biết trong Hình 6c. Rạn san hô có xu hướng ở gần bờ và xen lẫn với cỏ biển tạo thành hệ sinh thái chủ yếu của sinh vật đáy ở vùng biển có đáy dốc, cát biển thường phân bố ở các khu vực đáy biển có địa hình tương đối bằng phẳng ở gần bờ nhất hoặc ở khu vực nước sâu nhất như trong Hình 6d.

Kết quả của nghiên cứu này sử dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 có độ phân giải không gian cao hơn dữ liệu đa phổ Landsat nên đã phân loại được ba loại đối tượng đáy biển gồm rạn san hô, cỏ biển và cát. Đây cũng là kết quả đầu tiên sử dụng dữ liệu đa phổ vệ tinh Sentinel-2 cho nghiên cứu quan trắc sinh vật đáy ở khu vực quần đảo Côn Đảo.

#### 4. Kết luận

Quần đảo Côn Đảo đặc trưng bởi khí hậu á xích đạo, nơi giao nhau của cả hải lưu ấm và hải lưu lạnh nên đã tạo ra một hệ sinh thái sinh vật biển đa dạng, đặc biệt là các sinh vật đáy biển như san hô và cỏ biển. Mục tiêu chính của công việc nghiên cứu này là sử dụng các phương pháp và kỹ thuật xử lý dữ liệu đa phổ Sentinel-2 bao gồm khử phản xạ phổ của các tia sáng mặt trời trên mặt biển, tính toán các chỉ số độ sâu không đổi để hiệu chỉnh cột nước và phân loại các sinh vật biển. Độ chính xác tổng thể của kết quả phân loại các sinh vật đáy đạt 79,66%, hệ số kappa đạt được là 0,694 tương ứng. Trong đó, lớp rạn san hô có độ chính xác sản xuất 79,80% và độ chính xác sử dụng 81,44%.

Những kết quả của bài báo cung cấp sự áp dụng dữ liệu đa phổ Sentinel-2 rất hữu ích để xác định các sinh vật đáy bao gồm san hô và cỏ biển thông qua khả năng xuyên thấu nước biển của một số kênh phổ. Vì vậy, việc lập kế hoạch có thể nhanh chóng để giám sát rạn san hô và ra quyết định khi xảy ra các hiện tượng thay đổi tiêu cực đối với rạn san hô do sự ấm lên của nước biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Quy trình thực nghiệm có thể áp dụng cho các khu vực các đảo, quần đảo trên biển Đông nhưng cần có các khảo sát cụ thể điều kiện về hệ sinh thái đáy biển ở từng khu vực để có các điều chỉnh phù hợp nhằm đạt độ chính xác tốt nhất.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.Q.M., N.V.T., L.T.T.H.; Xử lý số liệu: N.Q.M., N.V.T.; Viết bản thảo bài báo: N.Q.M., L.T.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.V.T., L.T.T.H.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

#### Tài liệu tham khảo

1. Pandolfi, J.M.; Bradbury, R.H.; Sala, E.; Hughes, T.P.; Bjorndal, K.A.; Cooke, R.G.; McArdle, D.; McClenachan, L.; Newman, M.J.H.; Paredes, G. Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science* **2003**, *301*, 955–958.
2. Bellwood, D.R.; Hughes, T.P.; Folke, S.; Nyström, M. Confronting the coral reef crisis. *Nature* **2004**, *429*, 827–833.

3. Hoegh-Guldberg, O.; Mumby, P.J.; Hooten, A.J.; Steneck, R.S.; Greenfield, P.; Gomez, E. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* **2007**, *318*, 1737–1742.
4. Moberg, F.; Folke, C. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecol. Econ.* **1999**, *29*(2), 215–233.
5. Burke, L.; Reytar, K.; Spalding, M.; Perry A. Reefs at risk revisited, World Resources Institute, 2011.
6. Costanza, C.; Folke R. Valuing ecosystem services with efficiency, fairness and sustainability as goals, Island press, 1997.
7. Bryant, M.D.; Burke, L.; McManus, J.W.; Spalding, M.D. Reefs at risk: a map-based indicator of threats to the world's coral reefs. World Resources Institute, 1998. Available online: <https://www.worldfishcenter.org/>.
8. Cesar, H.L.; Burke, L.; Pet-Soede, L. The economics of worldwide coral reef degradation. International Coral Reef Action Network, 2003.
9. Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **1997**, *387*, 253–260.
10. Giardino, C.; Bresciani, M.; Fava, F.; Matta, E.; Brando, V.E.; Colombo, R. Mapping submerged habitats and mangroves of Lampi Island Marine National Park (Myanmar) from in situ and satellite observations. *Remote Sens.* **2016**, *8*, 2. <https://doi.org/10.3390/rs8010002>.
11. Hedley, J.D.; Russell, B.; Randolph, K.; Dierssen, H. A physics-based method for the remote sensing of seagrasses. *Remote Sens. Environ.* **2016a**, *174*, 134–147.
12. Hedley, J.D.; Roelfsema, C.M.; Chollett, I.; Harborne, A.R.; Heron, S.F.; Weeks, S.; Skirving, W.J.; Strong, A.E.; Eakin, C.M.; Christensen, T.R.L.; Ticzon, V.; Bejerano, S.; Mumby, P.J. Remote sensing of coral reefs for monitoring and management: a review. *Remote Sens.* **2016b**, *8*, 118–157.
13. Wang, C.K.; Philpot, W.D. Using airborne bathymetric lidar to detect bottom type variation in shallow waters. *Remote Sens. Environ.* **2007**, *106*(1), 123–135.
14. Eren, F.; Pe'eri, S.; Rzhannov, Y.; Ward, L. Bottom characterization by using airborne lidar bathymetry (ALB) waveform features obtained from bottom return residual analysis. *Remote Sens. Environ.* **2018**, *206*, 260–274.
15. Zavallas, R.; Ierodiaconou, D.; Ryan, D.; Ratray, A.; Monk, J. Habitat classification of temperate marine macroalgal communities using bathymetric LiDAR. *Remote Sens.* **2014**, *6*(3), 2154–2175.
16. Wang, L.; Liu, H.X.; Su, H.B.; Wang, J. Bathymetry retrieval from optical images with spatially distributed support vector machines. *GISScience Remote Sens.* **2019**, *56*, 232–337.
17. Tonina, D.; McKean, J.A.; Benjankar, R.M.; Wright, C.W.; Goode, J.R.; Chen, Q.W.; Reeder, W.J.; Carmichael, R.A.; Edmondson, M.R. Mapping river bathymetries: evaluating topo bathymetric LiDAR survey. *Earth Surf. Process. Landf.* **2019**, *44*, 507–520.
18. Tiit, K.; John, H.; Claudia, G.; Chris R.; Vittorio E. Remote sensing of shallow waters - A 50year retrospective and future directions. *Remote Sens. Environ.* **2020**, *240*, 111619.
19. Smith, V.E.; Rogers, R.H.; Reed, L.E. Automated mapping and inventory of Great Barrier Reef zonation with Landsat data. Proceeding of the Ocean 75 Conference Record. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, New York, 1975.
20. Andréfouët, S.; Muller-Karger, F.E.; Robinson, J.A.; Kranenburg, C.J.; Torres-Pulliza, D.; Spraggins, S.; Murch, B. Global assessment of modern coral reef extent and diversity for regional science and management applications: A view from space. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Okinawa, Japan, 2004.
21. Palandro, D.A.; Andréfouët, S.; Hu, C.; Hallock, P.; Muller-Karger, F.; Dustan, P.; Callahan, M.K.; Kranenburg, C.; Beaver, C.R. Quantification of two decades of shallow-

- water coral reef habitat decline in the Florida Keys National Marine Sanctuary using Landsat data (1984–2002). *Remote Sens. Environ.* **2008**, 112, 3388–3399.
22. El-Askary, H.; Abd El-Mawla, S.H.; Li, J., El-Hattab, M.M.; El-Raey, M. Change detection of coral reef habitat using Landsat-5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI data in the Red Sea (Hurghada, Egypt). *Int. J. Remote Sens.* **2014**, 35, 2327–2346.
23. Giardino, C.; Bresciani, M.; Fava, F.; Matta, E.; Brando, V.E.; Colombo, R. Mapping submerged habitats and mangroves of Lampi Island Marine National Park (Myanmar) from in situ and satellite observations. *Remote Sens.* **2016**, 8, 13.
24. Bour, W. SPOT images for a coral reef mapping in New Caledonia. A fruitful approach for classic and new topics. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Australia, 1988, 22, 445–448.
25. Bour, W.; Loubersac, L.; Rual, P. Thematic mapping of reefs by processing of simulated SPOT satellite data: application to the *Trochus niloticus* biotope on Tetembia Reef (New Caledonia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **1986**, 34, 243–249.
26. Mumby, P.J.; Baker, M.A.; Raines, P.S.; Ridley, J.M.; Phillips, A.T. The potential of SPOT panchromatic imagery as a tool for mapping coral reefs. Proceeding of the Second Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. New Orleans, USA, 1994.
27. Mumby, P.J.; Green, E.P.; Edwards, A.J.; Clark, C.D. Measurement of seagrass standing crop using satellite and digital airborne remote sensing. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **1997a**, 159, 51–60.
28. Mumby, P.J.; Green, E.P.; Edwards, A.J.; Clark, C.D. Coral reef habitat-mapping: how much detail can remote sensing provide? *Mar. Biol.* **1997b**, 130, 193–202.
29. Roy, D.P.; Li, J.; Zhang, H.K.; Yan, L.; Huang, H.; Li, Z. Examination of sentinel-2A multi-spectral instrument (MSI) reflectance anisotropy and the suitability of a general method to normalize MSI reflectance to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sens. Environ.* **2017**, 199, 25–38.
30. Hedley, J.D.; Roelfsema, C.; Koetz, B.; Phinn, S. Capability of the sentinel 2 mission for tropical coral reef mapping and coral bleaching detection. *Remote Sens. Environ.* **2012**, 120, 145–155.
31. Dörnhöfer, K.; Göritz, A.; Gege, P.; Pflug, B.; Oppelt, N. Water constituents and water depth retrieval from Sentinel-2A—A first evaluation in an oligotrophic lake. *Remote Sens.* **2016**, 8(11), 941.
32. Fritz, C.; Schneider, T.; Geist, J. Seasonal variation in spectral response of submerged aquatic macrophytes: A case study at Lake Starnberg (Germany). *Water* **2017**, 9, 527.
33. Fritz, C.; Kuhwald, K.; Schneider, T.; Geist, J.; Oppelt, N. Sentinel-2 for mapping the spatio-temporal development of submerged aquatic vegetation at Lake Starnberg (Germany). *J. Limnol.* **2019**, 78(1), 71–91.
34. Traganos, D.; Reinartz, P. Mapping Mediterranean seagrasses with Sentinel-2 imagery. *Mar. Pollut. Bull.* **2018**, 134, 197–209.
35. Traganos, D.; Aggarwal, B.; Poursanidis, D.; Topouzelis, K.; Chrysoulakis, N.; Reinartz, P. Towards global-scale seagrass mapping and monitoring using Sentinel-2 on Google Earth Engine: the case study of the Aegean and Ionian seas. *Remote Sens.* **2018**, 10(8), 1227.
36. Hoàng, C.T.; Nguyễn, H.C.T.; Nguyễn, T.U. Hiện trạng và biến động thảm cỏ biển ở đầm Lăng Cô tỉnh Thừa Thiên Huế giai đoạn 2001–2020. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn* **2020**, 129(3D), 81–97.
37. Cao, V.L.; Đàm, Đ.T.; Nguyễn, Đ.T.; Nguyễn, V.Q. Thành phần loài và phân bố của cỏ biển tại đầm Nại - Ninh Thuận. *Tuyên tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về sinh học biển và phát triển bền vững lần thứ II*, 2013, 131–137.
38. Chen, C.F.; Lau, V.K.; Chang, N.B.; Nguyen, T.S.; Tong, P.H.T.; Chiang, S.H. multi-temporal change detection of seagrass beds using integrated Landsat TM/ETM+/OLI



- imageries in Cam Ranh Bay, Vietnam. *Ecol. Inf.* **2016**, 35, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.07.005>.
39. Trần, Đ.T.; Lê, Đ.A.; Nguyễn, H.C.; Trần, Đ.L.; Nguyễn, V.Q.; Tạ, H.P. *Biển đảo Việt Nam - Tài nguyên vị thế và những kì quan địa chất, sinh thái tiêu biểu*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 2012.
  40. SUHET. Sentinel-2 User Handbook, Issue 1 Revision 2. European Space Agency. 2015. Available online: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>.
  41. Hedley, J.D.; Harborne, A.R.; Mumby, P.J. Technical note: Simple and robust removal of sun glint for mapping shallow-water benthos. *Int. J. Remote Sens.* **2005**, 26, 2107–2112.
  42. Green, E.; Mumby, P.; Edwards, A.; Clark, C. Remote sensing: Handbook for Tropical Coastal Management (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)). 2020.
  43. Foody, G.M. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sens. Environ.* **2002**, 80(1), 185–201.
  44. Thông tin về dữ liệu đa phổ Sentinel-2. Trục tuyến: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/radiometric>.

## Using Sentinel-2 data to create a benthic map in Con Dao archipelago area, Ba Ria - Vung Tau province, Vietnam

Nguyen Quang Minh<sup>1</sup>, Nguyen Van Trung<sup>2,3</sup>, Le Thi Thu Ha<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Cartography, The General Staff; [nguyenquangminh.sar@gmail.com](mailto:nguyenquangminh.sar@gmail.com)

<sup>2</sup> Hanoi University of Mining and Geology; [nguyenvantrung@humg.edu.vn](mailto:nguyenvantrung@humg.edu.vn); [lethithuha@humg.edu.vn](mailto:lethithuha@humg.edu.vn)

<sup>3</sup> Geomatics in Earth Sciences; [nguyenvantrung@humg.edu.vn](mailto:nguyenvantrung@humg.edu.vn); [lethithuha@humg.edu.vn](mailto:lethithuha@humg.edu.vn)

**Abstract:** Monitoring coral reefs and seagrasses is a particular challenge for remote sensing technology due to the heterogeneity of spectral reflectance that occurs at different depths and material compositions in the water. This study uses the techniques to process Sentinel-2 multispectral data for creating a benthic map of the Con Dao archipelago, especially coral reefs and seagrass for management and monitoring their changing phenomena in the context of warming sea water due to climate change. Techniques to eliminate spectral reflection of light rays on the water surface, calculate depth invariant indices for classifying benthic organisms are used to create a benthic map including coral reefs and seagrasses with an overall accuracy of 79.66% and a kappa coefficient of 0.694. The distribution of coral, seagrass and sea sand depends heavily on the seabed topography in shallow water areas and the habitat of the underwater ecosystem in the study area. The results of this study are the premise for applying multispectral satellite data to study benthic organisms in shallow waters along the islands and coasts of our country.

**Keywords:** Benthic habitat map; Sentinel-2 multispectral data; Con Dao Archipelago.