

Ước tính trữ lượng carbon tích lũy trong sinh khối thảm cỏ biển tại Côn Đảo bằng công nghệ viễn thám và Google Earth Engine

Lê Hùng Chiến¹, Trần Thị Thơm^{1*}, Nguyễn Hoàng Minh¹,
Nông Vũ Thành¹, Bùi Thu Hải¹, Nguyễn Mạnh Sừng¹, Nguyễn Văn Thị²

¹Trường Đại học Lâm nghiệp

²Công ty Cổ phần Thương mại Công nghệ Xuân Mai Green

Estimating carbon stock accumulated in seagrass biomass at Con Dao using remote sensing technology and Google Earth Engine

Le Hung Chien¹, Tran Thi Thom^{1*}, Nguyen Hoang Minh¹,
Nong Vu Thanh¹, Bui Thu Hai¹, Nguyen Manh Sung¹, Nguyen Van Thi²

¹Vietnam National University of Forestry

²Xuan Mai Green Technology Trading Joint Stock Company

*Corresponding author: thomtt2@vnuf.edu.vn

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.15.7.2026.022-030>

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định diện tích phân bố và ước tính trữ lượng carbon của hệ sinh thái thảm cỏ biển tại Côn Đảo thông qua ứng dụng công nghệ viễn thám, GIS và nền tảng Google Earth Engine. Nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 Level-2A giai đoạn từ tháng 01/2025 đến tháng 07/2025 kết hợp với số liệu khảo sát thực địa. Ảnh được xử lý trên nền tảng Google Earth Engine thông qua các bước lọc mây, xây dựng ảnh đa thời gian và tính toán các chỉ số phổ NDVI, NDWI. Thuật toán Random Forest được áp dụng để phân loại và xác định diện tích phân bố thảm cỏ biển. Bộ dữ liệu huấn luyện gồm ba lớp chính: cỏ biển, cát và nước, với tổng cộng 106 mẫu, trong đó 70% dùng để huấn luyện và 30% dùng để kiểm tra. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình phân loại đạt độ chính xác tổng thể 88,24% và hệ số Kappa đạt 0,810, điều này phản ánh độ tin cậy cao của phương pháp. Tổng diện tích thảm cỏ biển tại Côn Đảo sau hiệu chỉnh thực địa đạt khoảng 999,08 ha, phân bố chủ yếu tại khu vực Côn Sơn, Hòn Bảy Cạnh và Mũi Chim. Trên cơ sở 05 mẫu sinh khối thực địa và hệ số chuyển đổi carbon theo hướng dẫn của IPCC (2006), nghiên cứu xác định tổng trữ lượng carbon tích lũy trong sinh khối thảm cỏ biển tại Côn Đảo là 13.196,73 kgC. Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quản lý tài nguyên biển, bảo tồn hệ sinh thái cỏ biển và định hướng phát triển tín chỉ carbon xanh tại Côn Đảo trong tương lai.

ABSTRACT

This study was conducted to determine the distribution area and estimate the carbon stock of the seagrass ecosystem in Con Dao Island through the application of remote sensing technology, GIS, and the Google Earth Engine platform. The study used Sentinel-2 Level-2A satellite imagery acquired from January 2025 to July 2025 in combination with field survey data. The satellite imagery was processed on the Google Earth Engine platform through cloud masking, multi-temporal image compositing, and the calculation of spectral indices, including NDVI and NDWI. The Random Forest algorithm was applied to classify marine surface cover and identify the distribution extent of seagrass beds. The training dataset consisted of three main classes, namely seagrass, sand, and water, with a total of 106 samples, of which 70% were used for model training and 30% for model validation. The results showed that the classification model achieved an

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 15/05/2026

Ngày phản biện: 19/06/2026

Ngày quyết định đăng: 20/07/2026

Từ khóa:

Cỏ biển, Côn Đảo, Google Earth Engine, Random Forest, trữ lượng carbon, viễn thám.

Keywords:

Carbon stock, Con Dao, Google Earth Engine, Random Forest, remote sensing, seagrass.

overall accuracy of 88.24% and a Kappa coefficient of 0.810, reflecting the high reliability of the applied method. The total seagrass area in Con Dao after field verification was estimated at approximately 999.08 ha, mainly distributed around Con Son, Bay Canh Island, and Mui Chim. Based on five field biomass samples and the carbon conversion coefficient recommended by the IPCC (2006), the study estimated that the total carbon stock accumulated in seagrass biomass was approximately 13,196.73 kgC. The findings of this study provide an important scientific basis for marine resource management, seagrass ecosystem conservation, and the future development of blue carbon credit initiatives in Con Dao.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng diễn biến phức tạp, phát thải khí nhà kính gia tăng đã trở thành một trong những thách thức môi trường toàn cầu hiện nay. Nồng độ khí CO₂ trong khí quyển tiếp tục gia tăng do các hoạt động của con người, đặc biệt từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch, chuyển đổi mục đích sử dụng đất và suy giảm các hệ sinh thái tự nhiên [1]. Trước thực trạng đó, việc bảo tồn và tăng cường các bể hấp thụ carbon tự nhiên được xem là một trong những giải pháp quan trọng nhằm giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu.

Trong những năm gần đây, khái niệm “carbon xanh” (blue carbon) ngày càng nhận được sự quan tâm của cộng đồng khoa học do khả năng lưu trữ và hấp thụ carbon hiệu quả của các hệ sinh thái ven biển như rừng ngập mặn, đầm lầy thủy triều và thảm cỏ biển. Trong đó, thảm cỏ biển được đánh giá là một trong những hệ sinh thái có khả năng cố định và lưu trữ carbon lâu dài trong sinh khối và trầm tích đáy. Tuy nhiên, các hệ sinh thái này hiện đang chịu nhiều tác động từ biến đổi khí hậu, phát triển du lịch, khai thác tài nguyên biển và các hoạt động nhân sinh khác, dẫn đến nguy cơ suy giảm diện tích cũng như trữ lượng carbon lưu giữ.

Côn Đảo là khu vực có hệ sinh thái biển đa dạng, sở hữu các thảm cỏ biển phân bố tương đối rộng cùng giá trị cao về đa dạng sinh học và bảo tồn biển. Ngoài ra, Côn Đảo cũng là địa danh có vai trò quan trọng về phát triển kinh tế biển, du lịch sinh thái và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên. Mặc dù đã có một số nghiên cứu liên quan đến đa dạng sinh học biển tại Vườn quốc gia (VQG) Côn Đảo, các nghiên cứu chuyên sâu về phân bố không gian thảm cỏ biển gắn với đánh giá trữ lượng carbon vẫn còn

tương đối hạn chế, đặc biệt trong việc ứng dụng công nghệ viễn thám và nền tảng điện toán đám mây [2]. Sự phát triển của dữ liệu ảnh vệ tinh độ phân giải cao như Sentinel-2 kết hợp với nền tảng Google Earth Engine đã mở ra khả năng giám sát tài nguyên biển trên phạm vi rộng với chi phí thấp và thời gian xử lý nhanh. Việc tích hợp dữ liệu viễn thám với điều tra thực địa cho phép nâng cao độ chính xác trong xác định phân bố thảm cỏ biển cũng như ước tính trữ lượng carbon lưu trữ.

Xuất phát từ những vấn đề trên, nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định diện tích phân bố thảm cỏ biển tại Côn Đảo bằng dữ liệu ảnh vệ tinh kết hợp công nghệ viễn thám, đồng thời ước tính trữ lượng carbon tích lũy trong hệ sinh thái này. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác quản lý tài nguyên ven biển, bảo tồn hệ sinh thái biển và định hướng tham gia thị trường tín chỉ carbon trong tương lai.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Khái quát về khu vực nghiên cứu

Côn Đảo là đặc khu trực thuộc tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu, nằm ở khu vực biển Đông Nam của Việt Nam, cách thành phố Vũng Tàu khoảng 185 km và cách cửa sông Hậu khoảng 83 km. Quần đảo bao gồm 16 hòn đảo lớn nhỏ với tổng diện tích phần đất nổi khoảng 7.579 ha, trong đó đảo Côn Sơn là đảo lớn nhất, chiếm phần lớn diện tích tự nhiên toàn khu vực. Đặc khu có tọa độ địa lý trong khoảng 8°34' đến 8°49' vĩ độ Bắc và từ 106°31' đến 106°45' kinh độ Đông, giữ vị trí quan trọng về kinh tế biển, quốc phòng – an ninh và bảo tồn đa dạng sinh học tại vùng biển phía Nam Việt Nam [2].

Địa hình Côn Đảo chủ yếu là đồi núi thấp xen kẽ các bãi cát ven biển, địa hình bị chia cắt

mạnh với độ dốc lớn ở khu vực nội đảo và thoải dần ra vùng ven biển. Khí hậu mang đặc trưng nhiệt đới gió mùa hải dương, chia thành hai mùa rõ rệt gồm mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 11 và mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau. Nhiệt độ trung bình năm dao động khoảng 26–27°C, lượng mưa trung bình đạt khoảng 2.200 mm/năm, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của các hệ sinh thái biển ven bờ.

Vườn quốc gia Côn Đảo được thành lập nhằm bảo tồn các hệ sinh thái rừng và biển có giá trị cao, với diện tích quản lý khoảng 19.883 ha vùng biển và hơn 5.998 ha diện tích rừng. Khu vực biển quanh đảo có mức độ đa dạng sinh học cao với hệ sinh thái rạn san hô, rừng ngập mặn và đặc biệt là thảm cỏ biển phân bố tập trung tại các vùng nước nông ven bờ như Bến Đầm, Hòn Bảy Cạnh, Đầm Tre và khu vực phía Tây đảo Côn Sơn. Đây là nơi ghi nhận nhiều loài sinh vật biển quý hiếm như rùa biển, bò biển (Dugong) và các loài thủy sinh có giá trị sinh thái cao [2].

Đặc khu Côn Đảo có điều kiện tự nhiên đặc thù cùng sự hiện diện của hệ sinh thái cỏ biển có giá trị lưu trữ carbon cao đã khiến khu vực này trở thành địa điểm phù hợp để nghiên cứu tiềm năng carbon xanh và quản lý tài nguyên biển bền vững.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thu thập số liệu sơ cấp và thứ cấp

Nghiên cứu sử dụng phương pháp thu thập số liệu thứ cấp kế thừa và tổng hợp các dữ liệu, tài liệu đã được công bố liên quan đến điều kiện tự nhiên, hiện trạng tài nguyên biển và đặc điểm phân bố thảm cỏ biển tại Côn Đảo. Các tài liệu được thu thập bao gồm báo cáo hiện trạng môi trường, bản đồ nền, tài liệu chuyên ngành về đa dạng sinh học biển và các nghiên cứu trước đây liên quan đến hệ sinh thái cỏ biển và carbon xanh được kế thừa từ UBND đặc khu Côn Đảo, VQG Côn Đảo, Bộ Nông nghiệp và Môi trường. Ngoài ra, nghiên cứu còn sử dụng dữ liệu không gian gồm bản đồ hành chính, ranh giới khu vực nghiên cứu, dữ liệu đường bờ và các lớp thông tin bản đồ nền trên môi trường GIS.

Dữ liệu viễn thám Sentinel-2 thu nhận trong năm nghiên cứu với độ phân giải không gian 10 m, được khai thác thông qua nền tảng Google Earth Engine để phục vụ phân loại lớp phủ và xác định phân bố thảm cỏ biển. Các ảnh được lựa chọn dựa trên tiêu chí độ che phủ mây thấp, chất lượng ảnh tốt và phù hợp với thời điểm khảo sát thực địa nhằm đảm bảo độ chính xác trong quá trình phân tích.

Kết quả thu thập và tổng hợp số liệu thứ cấp giúp xây dựng cơ sở dữ liệu ban đầu cho nghiên cứu, đồng thời hỗ trợ quá trình thiết kế khảo sát thực địa, phân tích không gian và đánh giá trữ lượng carbon của thảm cỏ biển tại khu vực nghiên cứu.

Số liệu sơ cấp của nghiên cứu được thu thập thông qua điều tra thực địa và lấy mẫu trực tiếp tại khu vực Côn Đảo. Cụ thể, nghiên cứu tiến hành thu thập 05 mẫu cỏ biển tại các vị trí phân bố khác nhau nhằm đảm bảo tính đại diện cho hiện trạng thảm cỏ biển trong khu vực. Tại mỗi vị trí khảo sát, toàn bộ sinh khối cỏ biển trong phạm vi ô mẫu 1 m² được thu thập, bao gồm thân, lá và rễ để phản ánh đầy đủ sinh khối thực tế của thảm cỏ biển. Sau khi thu mẫu, các mẫu được làm sạch và sấy khô đến khối lượng không đổi nhằm xác định sinh khối khô. Trên cơ sở đó, sinh khối trung bình của cỏ biển trên đơn vị diện tích được tính toán bằng phương pháp trung bình cộng từ các mẫu khảo sát, phục vụ cho việc đánh giá khả năng tích lũy sinh khối và lưu trữ carbon của hệ sinh thái thảm cỏ biển.

2.2.2. Phương pháp giải đoán ảnh viễn thám xác định diện tích thảm cỏ biển

Để xác định diện tích phân bố thảm cỏ biển tại Côn Đảo, nghiên cứu sử dụng thuật toán Random Forest trên nền tảng Google Earth Engine để phân loại ảnh vệ tinh Sentinel-2 nhằm phân loại lớp phủ bề mặt biển và xác định phạm vi phân bố thảm cỏ biển. Quy trình nghiên cứu được thực hiện theo các bước sau:

Dữ liệu ảnh đầu vào là ảnh vệ tinh Sentinel-2 Level-2A đã được hiệu chỉnh khí quyển, thu thập trong khoảng thời gian từ tháng 01/2025 đến tháng 7/2025. Các ảnh có tỷ lệ che phủ mây thấp được ưu tiên lựa chọn nhằm đảm bảo chất lượng dữ liệu phục vụ phân tích [3].

Bước tiền xử lý, ảnh vệ tinh được lọc mây và bóng mây thông qua lớp mặt nạ chất lượng của ảnh Sentinel-2, sau đó được cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu tại Côn Đảo. Để hạn chế ảnh hưởng của nhiễu từ điều kiện thời tiết và sự biến động thủy triều, nghiên cứu xây dựng ảnh tổng hợp đa thời gian bằng phương pháp median composite cho toàn bộ giai đoạn nghiên cứu. Các dải phổ có độ phân giải không gian 10 m được sử dụng bao gồm B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red) và B8 (Near Infrared – NIR). Đây là các dải phổ phù hợp trong việc phân biệt đặc điểm phản xạ phổ giữa thảm cỏ biển, cát đáy và lớp nước mặt. Nhằm nâng cao khả năng phân tách các lớp đối tượng, nghiên cứu sử dụng hai chỉ số phổ là NDVI và NDWI.

Chỉ số NDVI hỗ trợ xác định khu vực có thảm thực vật dưới nước dựa trên sự khác biệt phản xạ giữa dải cận hồng ngoại và dải đỏ [4]:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

Chỉ số NDWI được sử dụng để phân biệt khu vực nước với các lớp phủ khác dựa trên phản xạ của dải xanh lá và cận hồng ngoại [5]:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (2)$$

Dữ liệu mẫu huấn luyện được xây dựng từ các điểm khảo sát thực địa và chia thành ba nhóm lớp chính gồm thảm cỏ biển, cát và nước nhằm phục vụ quá trình huấn luyện mô hình phân loại. Sau khi hoàn thiện bộ dữ liệu huấn luyện, thuật toán Random Forest được áp dụng để phân loại ảnh viễn thám. Tập dữ liệu mẫu được chia theo tỷ lệ 70% cho huấn luyện và 30% cho kiểm định độ chính xác. Thuật toán hoạt động dựa trên việc xây dựng nhiều cây quyết định từ các tập mẫu ngẫu nhiên và xác định kết quả phân loại cuối cùng theo nguyên tắc bỏ phiếu đa số, qua đó giúp cải thiện độ chính xác phân loại và giảm hiện tượng quá khớp dữ liệu [6].

Kết quả phân loại được đánh giá thông qua ma trận nhầm lẫn (Confusion Matrix), bao gồm các chỉ tiêu: độ chính xác tổng thể (Overall Accuracy), hệ số Kappa, độ chính xác nhà sản xuất (Producer's Accuracy) và độ chính xác người dùng (User's Accuracy) [7].

Cuối cùng, kết quả phân loại được sử dụng để thành lập bản đồ phân bố thảm cỏ biển tại Côn Đảo, làm cơ sở cho việc tính toán diện tích phân bố và đánh giá trữ lượng carbon của hệ sinh thái thảm cỏ biển trong khu vực nghiên cứu.

2.2.3. Phương pháp tính trữ lượng Carbon thảm cỏ biển

Quy trình tính toán trữ lượng carbon của thảm cỏ biển tại Côn Đảo được thực hiện qua ba bước chính, bao gồm xác định diện tích phân bố thảm cỏ biển, thu thập mẫu thực địa và tính toán trữ lượng carbon lưu trữ trong sinh khối.

Bước 1: Xác định diện tích thảm cỏ biển

Diện tích thảm cỏ biển được xác định thông qua ảnh vệ tinh Sentinel-2 kết hợp với dữ liệu mẫu khảo sát ngoài thực địa. Phương pháp thực hiện tương tự quy trình phân loại trạng thái rừng, tuy nhiên mẫu đầu vào được thay thế bằng các điểm có sự hiện diện của cỏ biển và bổ sung bước hiệu chỉnh cột nước nhằm giảm sai số phản xạ phổ trong môi trường nước. Toàn bộ quá trình xử lý, phân loại và xác định diện tích được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine. Kết quả của bước này là bản đồ phân bố và diện tích thảm cỏ biển phục vụ cho các bước tính toán tiếp theo.

Bước 2: Thu thập và phân tích mẫu cỏ biển

Nghiên cứu tiến hành thu thập 05 mẫu cỏ biển tại các vị trí phân bố khác nhau trong khu vực nghiên cứu. Tại mỗi vị trí, toàn bộ sinh khối cỏ biển trong phạm vi 1 m² được thu thập, bao gồm cả phần thân, lá và rễ nhằm đảm bảo phản ánh đầy đủ sinh khối thực tế của thảm cỏ biển.

Sau khi thu mẫu, các mẫu được sấy khô đến khối lượng không đổi để xác định sinh khối khô. Sinh khối trung bình của thảm cỏ biển trên đơn vị diện tích được tính theo công thức:

$$B_{co_TB} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 m_i \times 10^{-2} \quad (3)$$

Trong đó:

B_{co_TB} : sinh khối trung bình của cỏ biển (tấn/ha);

m_i : sinh khối mẫu cỏ biển tại vị trí thứ i (g/m²).

Bước 3: Tính toán trữ lượng carbon thảm cỏ biển

Trữ lượng carbon tích lũy trong sinh khối thảm cỏ biển được xác định dựa trên sinh khối trung bình và tổng diện tích phân bố thảm cỏ biển theo công thức [8]:

$$C_{co} = B_{co_TB} \times 0.47 \times S \quad (4)$$

Trong đó:

C_{co} : trữ lượng carbon của thảm cỏ biển (tấn C);

B_{co_TB} : sinh khối trung bình của cỏ biển (tấn/ha);

S : diện tích thảm cỏ biển (ha).

Hệ số 0,47 được áp dụng theo hướng dẫn của Intergovernmental Panel on Climate Change (2006), theo đó hàm lượng carbon trung bình chiếm khoảng 47% sinh khối khô của thực vật. Phương pháp này cho phép ước tính nhanh tiềm năng lưu trữ carbon của hệ sinh thái thảm cỏ biển tại khu vực nghiên cứu, làm cơ sở đánh giá giá trị của hệ sinh thái carbon xanh tại Côn Đảo [8].

2.2.4. Phương pháp biên tập bản đồ

Kết quả phân loại ảnh viễn thám và tính toán trữ lượng carbon sau khi hoàn thiện được chuẩn hóa và biên tập thành hệ thống bản đồ chuyên đề phục vụ phân tích không gian tại khu vực Côn Đảo. Các lớp dữ liệu bao gồm bản đồ phân bố thảm cỏ biển, bản đồ vị trí điểm lấy mẫu thực địa và bản đồ phân bố trữ lượng

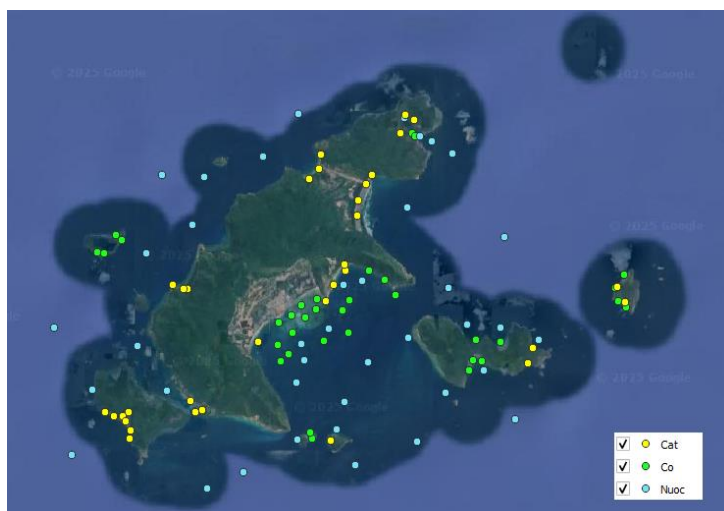
carbon được xử lý và trình bày trên phần mềm QGIS. Toàn bộ hệ thống bản đồ được xây dựng theo hệ tọa độ quốc gia VN-2000, kinh tuyến trực 105°45', múi chiếu 3° của Thành phố Hồ Chí Minh nhằm đảm bảo tính thống nhất và khả năng tích hợp với các dữ liệu không gian khác trong khu vực nghiên cứu. Hệ quy chiếu này được áp dụng theo quy định tại Thông tư số 24/2025/TT-BNNMT ngày 20/6/2025 của Bộ Nông nghiệp và Môi trường về việc sửa đổi, bổ sung một số điều của các thông tư trong lĩnh vực đo đạc, bản đồ và thông tin địa lý [9].

Quá trình biên tập bản đồ bao gồm các bước chuẩn hóa ký hiệu, thiết kế bố cục bản đồ, xây dựng chú giải, thước tỷ lệ, mũi tên chỉ hướng Bắc và các yếu tố bản đồ cần thiết khác. Việc chuẩn hóa hệ thống bản đồ giúp đảm bảo tính trực quan, khoa học và hỗ trợ hiệu quả cho quá trình phân tích kết quả nghiên cứu [9].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả giải đoán thảm cỏ biển

Bộ mẫu khóa giải đoán gồm ba lớp đối tượng chính: (1) lớp cỏ biển, (2) lớp cát ven bờ và (3) lớp nước. Tổng cộng 106 mẫu được sử dụng, trong đó lớp cỏ biển gồm 34 mẫu, lớp cát ven bờ gồm 33 mẫu và lớp nước gồm 39 mẫu (Hình 1).



Hình 1. Phân bố mẫu giải đoán thảm cỏ biển

Trong tổng số mẫu này, 70% số mẫu được lựa chọn ngẫu nhiên để huấn luyện mô hình phân loại và 30% số mẫu còn lại được sử dụng

để kiểm chứng độ chính xác của mô hình (Bảng 1).

Bảng 1. Thống kê khoảng giá trị các chỉ số tương ứng từng đối tượng phân loại

Lớp đối tượng	NDVI min	NDVI max	NDVI TB	NDWI min	NDWI max	NDWI TB
Cỏ biển	-0,582	0,066	-0,206	0,087	0,750	0,479
Cát	-0,413	0,551	0,018	-0,523	0,541	0,028
Nước	-0,146	0,071	-0,064	0,096	0,467	0,353

Kết quả thống kê giá trị phổ tại các điểm mẫu cho thấy sự khác biệt tương đối rõ giữa các lớp đối tượng thông qua hai chỉ số phổ NDVI và NDWI. Lớp cỏ biển có giá trị NDVI trung bình đạt -0,206, thấp hơn lớp cát (0,018) và lớp nước (-0,064), trong khi giá trị NDWI trung bình của lớp cỏ biển đạt 0,479, cao hơn đáng kể so

với lớp cát (0,028) và lớp nước (0,353). Điều này phản ánh đặc điểm sinh trưởng đặc trưng của thảm cỏ biển trong môi trường ngập nước và cho thấy việc tích hợp đồng thời hai chỉ số phổ đã cải thiện khả năng phân biệt các lớp phủ trong quá trình phân loại ảnh.

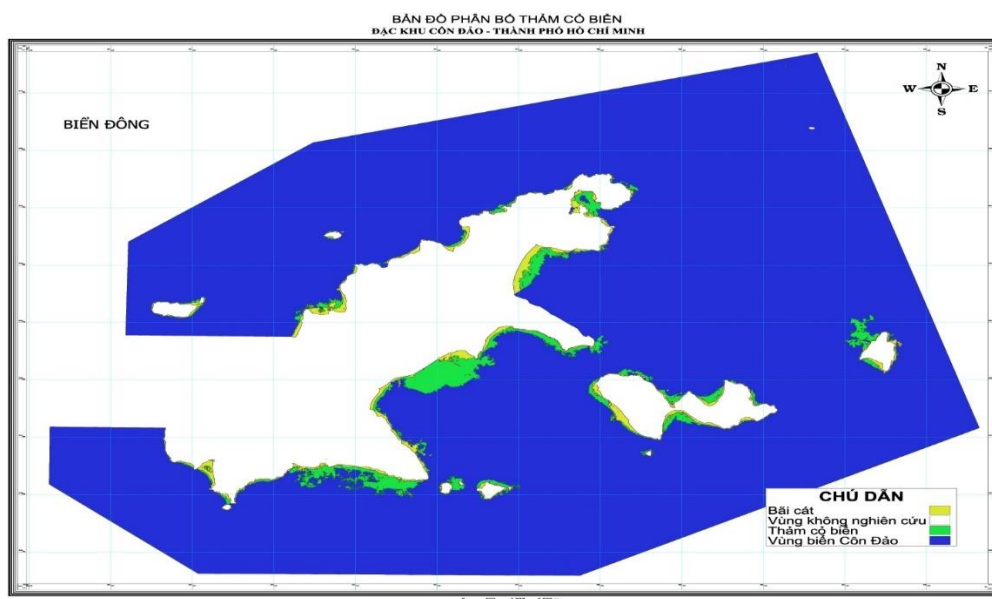
Bảng 2. Ma trận nhầm lẫn

Thực tế / Dự đoán	Cỏ biển (0)	Cát (1)	Nước (2)	Tổng thực tế
Cỏ biển (0)	7	0	3	10
Cát (1)	1	7	0	8
Nước (2)	0	0	16	16
Tổng dự đoán	8	7	19	34

Kết quả phân loại ảnh bằng thuật toán Random Forest cho thấy mô hình đạt độ chính xác tổng thể (Overall Accuracy) 88,24% và hệ số Kappa đạt 0,810, thể hiện mức độ phù hợp cao giữa kết quả phân loại và dữ liệu kiểm chứng. Ma trận nhầm lẫn cho thấy lớp nước có khả năng nhận diện tốt nhất với độ chính xác rất cao, trong khi lớp cỏ biển vẫn xuất hiện một số sai số do nhầm lẫn với các khu vực cát hoặc nền đáy trống ven bờ (Bảng 2). Tuy nhiên, nhìn chung kết quả phân loại vẫn đảm bảo độ tin cậy

để phục vụ các bước phân tích tiếp theo.

Sau khi hoàn thành bước giải đoán sơ bộ, nghiên cứu tiếp tục tiến hành kiểm tra thực địa và hiệu chỉnh kết quả nhầm lẫn bỏ các sai số phát sinh từ ảnh vệ tinh, đặc biệt tại những khu vực dễ nhầm lẫn với rạn san hô hoặc nền đáy trống. Kết quả sau hiệu chỉnh cho thấy tổng diện tích thảm cỏ biển tại Côn Đảo đạt 999,08 ha, phân bố tại nhiều khu vực ven đảo và các đảo nhỏ lân cận (Hình 2).

**Hình 2. Bản đồ phân bố thảm cỏ biển**

Trong đó, khu vực Côn Sơn có diện tích lớn nhất với 558,32 ha, chiếm hơn một nửa tổng diện tích thảm cỏ biển toàn khu vực nghiên cứu (Bảng 3). Các khu vực có diện tích tương đối lớn tiếp theo bao gồm Hòn Bảy Cạnh (148,39 ha) và

Mũi Chim (90,27 ha). Ngoài ra, thảm cỏ biển còn phân bố tại Đất Dốc (61,41 ha), Vịnh Đầm Tre (53,45 ha), Hòn Cau (40,73 ha), Hòn Tre Lớn (26,05 ha) và Hòn Trác (20,46 ha).

Bảng 3. Thống kê diện tích thảm cỏ biển tại Côn Đảo

TT	Vị trí	Diện tích (ha)
1	Côn Sơn	558,32
2	Đất Dốc	61,41
3	Hòn Bảy Cạnh	148,39
4	Hòn Cau	40,73
5	Hòn Trác	20,46
6	Hòn Tre Lớn	26,05
7	Mũi Chim	90,27
8	Vịnh Đầm Tre	53,45
Tổng		999,08

Kết quả này cho thấy thảm cỏ biển tại Côn Đảo phân bố chủ yếu tại các khu vực nước nông, kín gió và có nền đáy cát bùn mịn, những điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của hệ sinh thái cỏ biển. Đây là cơ sở quan trọng cho việc tính toán trữ lượng carbon xanh và đề xuất các giải pháp quản lý, bảo tồn hệ sinh thái biển trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay.

3.2. Kết quả tính toán trữ lượng carbon thảm cỏ biển

Trên cơ sở kết quả xác định diện tích phân

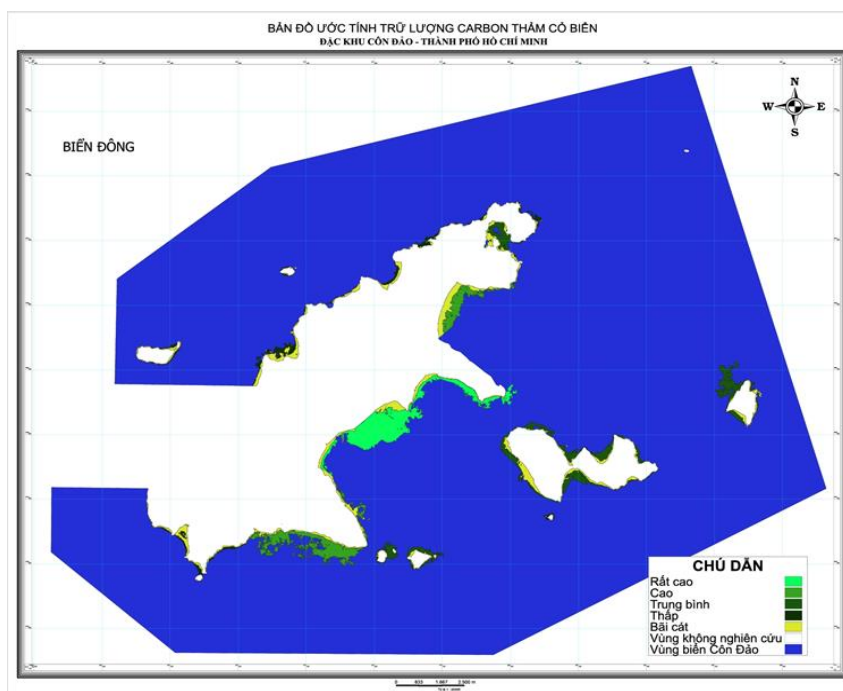
bố thảm cỏ biển tại Côn Đảo và số liệu sinh khối thu thập ngoài thực địa, nghiên cứu tiến hành tính toán trữ lượng carbon tích lũy trong sinh khối thảm cỏ biển nhằm đánh giá tiềm năng hấp thụ và lưu trữ carbon của hệ sinh thái này. Kết quả khảo sát thực địa cho thấy nhóm nghiên cứu đã thu thập 05 mẫu cỏ biển tại các khu vực phân bố khác nhau. Các mẫu sau đó được sấy khô hoàn toàn để xác định sinh khối khô trước khi tiến hành tính toán hàm lượng carbon (Bảng 4).

Bảng 4. Sinh khối, trữ lượng carbon tại các ô mẫu

TT	Tọa độ		Vị trí mẫu	Sinh khối mẫu g/m ²	Sinh khối quy đổi kg/ha	Trữ lượng carbon (kgC/ha)
	X(m)	Y(m)				
1	382562	958445	Bảy Cạnh	0,360	3,60	1,260
2	377135	960868	Đất Dốc	0,928	9,28	3,248
3	376860	960480	Đất Dốc	0,696	6,96	2,436
4	375164	960649	Côn Sơn	0,401	4,01	1,404
5	374246	959984	Côn Sơn	11,667	116,67	40,835

Từ kết quả phân tích mẫu, sinh khối trung bình của thảm cỏ biển được xác định và kết hợp với tổng diện tích phân bố sau hiệu chỉnh thực

địa là 999,08 ha, để tính toán trữ lượng carbon theo công thức (4) ta được bản đồ ước tính trữ lượng carbon thảm cỏ biển như Hình 3.



Hình 3. Bản đồ ước tính trữ lượng carbon thảm cỏ biển tại Côn Đảo

Kết quả cho thấy tổng trữ lượng carbon tích lũy trong sinh khối thảm cỏ biển tại Côn Đảo đạt mức đáng kể, phản ánh vai trò quan trọng của hệ sinh thái này trong việc hấp thụ CO₂ và lưu trữ carbon xanh (blue carbon). Khu vực Côn

Sơn tiếp tục là nơi đóng góp trữ lượng carbon lớn nhất do sở hữu diện tích thảm cỏ biển lớn nhất toàn khu vực nghiên cứu, tiếp theo là Hòn Bảy Chạnh và Mũi Chim.

Bảng 5. Thống kê trữ lượng carbon thảm cỏ biển tại Côn Đảo

TT	Vị trí	Diện tích (ha)	Trữ lượng carbon (kg)
1	Côn Sơn	558,32	12.183,10
2	Đất Dốc	61,41	185,53
3	Hòn Bảy Chạnh	148,39	199,08
4	Hòn Cau	40,73	54,71
5	Hòn Trác	20,46	61,75
6	Hòn Tre Lớn	26,05	78,64
7	Mũi Chim	90,27	273,24
8	Vịnh Đầm Tre	53,45	160,68
Tổng		999,08	13.196,73

Ngoài giá trị lưu trữ carbon, thảm cỏ biển tại Côn Đảo còn đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ đường bờ, duy trì đa dạng sinh học biển và tạo môi trường sống cho nhiều loài sinh vật có giá trị sinh thái cao như rùa biển và bò biển. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng cho việc xây dựng các chương trình bảo tồn hệ sinh thái biển, đồng thời mở ra tiềm năng tham gia thị trường tín chỉ carbon trong tương lai.

Tuy nhiên, nghiên cứu hiện mới tập trung

đánh giá trữ lượng carbon trong sinh khối cỏ biển mà chưa xem xét đầy đủ lượng carbon tích trữ trong trầm tích đáy — thành phần thường chiếm tỷ lệ lớn trong hệ sinh thái cỏ biển. Đây là hướng nghiên cứu cần tiếp tục được mở rộng trong tương lai nhằm đánh giá toàn diện hơn tiềm năng carbon xanh tại Côn Đảo.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc ứng dụng ảnh vệ tinh Sentinel-2 kết hợp thuật toán Random Forest và khảo sát thực địa đã mang

lại hiệu quả tương đối cao trong việc xác định phân bố thảm cỏ biển tại Côn Đảo. Với độ chính xác tổng thể đạt 88,24% và hệ số Kappa đạt 0,810, kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp viễn thám hoàn toàn có khả năng hỗ trợ giám sát tài nguyên biển trên phạm vi rộng với chi phí thấp hơn đáng kể so với phương pháp khảo sát truyền thống. Điều này đặc biệt có ý nghĩa đối với các khu vực đảo xa bờ như Côn Đảo, nơi việc khảo sát trực tiếp thường gặp nhiều khó khăn về thời gian, kinh phí và điều kiện thời tiết.

Tổng diện tích thảm cỏ biển sau hiệu chỉnh thực địa được xác định là 999,08 ha, cho thấy Côn Đảo vẫn là khu vực có hệ sinh thái cỏ biển tương đối lớn và có giá trị sinh thái cao tại Việt Nam. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu trước đây khi đều ghi nhận thảm cỏ biển phân bố chủ yếu tại các khu vực nước nông, kín gió và có nền đáy cát bùn mịn như Côn Sơn, Hòn Bảy Cạnh và Vịnh Dầm Tre. Điều này phản ánh mối quan hệ chặt chẽ giữa điều kiện địa hình đáy biển, chế độ thủy động lực và khả năng phát triển của thảm cỏ biển.

Vấn đề lưu trữ carbon, nghiên cứu bước đầu khẳng định tiềm năng đáng kể của hệ sinh thái thảm cỏ biển trong việc hấp thụ và lưu trữ carbon xanh tại Côn Đảo. Đây là cơ sở quan trọng trong bối cảnh Việt Nam đang hướng tới mục tiêu phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050 theo cam kết tại COP26. Nếu được nghiên cứu sâu hơn và xây dựng cơ chế kiểm kê phù hợp, hệ sinh thái cỏ biển có thể trở thành nguồn tài nguyên quan trọng phục vụ phát triển thị trường tín chỉ carbon trong tương lai.

Tuy nhiên, nghiên cứu vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Thứ nhất, số lượng mẫu sinh khối thực địa còn tương đối ít (05 mẫu), do đó mức độ đại diện cho toàn bộ khu vực nghiên cứu chưa cao. Thứ hai, nghiên cứu mới chỉ tính toán trữ lượng carbon trong sinh khối cỏ biển mà chưa đánh giá lượng carbon lưu trữ trong trầm tích đáy biển - thành phần thường chiếm tỷ lệ lớn trong hệ sinh thái cỏ biển. Ngoài ra,

ảnh vệ tinh quang học vẫn chịu ảnh hưởng bởi độ sâu nước, độ đục nước biển và điều kiện thời tiết, có thể gây sai số trong quá trình phân loại.

Trong thời gian tới, cần mở rộng phạm vi khảo sát thực địa, tăng số lượng mẫu sinh khối và kết hợp thêm các công nghệ như ảnh máy bay không người lái (UAV), ảnh vệ tinh độ phân giải cao hoặc mô hình bathymetry để nâng cao độ chính xác trong nghiên cứu phân bố thảm cỏ biển. Đồng thời, cần tiếp tục nghiên cứu khả năng tham gia thị trường tín chỉ carbon của hệ sinh thái cỏ biển nhằm khai thác hiệu quả giá trị kinh tế và môi trường của nguồn tài nguyên này tại Côn Đảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Susan Solomon (2007). Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press.
- [2]. UBND huyện Côn Đảo (2024). Báo cáo tình hình phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng - an ninh huyện Côn Đảo năm 2024.
- [3]. Noel Gorelick, Matt Hancher, Mike Dixon, Simon Ilyushchenko, David Thau & Rebecca Moore (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment. 202: 18-27.
- [4]. J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell & D.W. Deering (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. NASA Special Publication.
- [5]. Stuart K McFeeters (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International journal of remote sensing. 17(7): 1425-1432.
- [6]. Leo Breiman (2001). Random forests. Machine learning. 45(1): 5-32.
- [7]. Russell G Congalton (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote sensing of environment. 37(1): 35-46.
- [8]. IPOC Change (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for global environmental strategies: Hayama, Kanagawa, Japan.
- [9]. Bộ Nông nghiệp và Môi trường (2025). Thông tư số 24/2025/TT-BNNMT ngày 20/6/2025 sửa đổi, bổ sung một số điều của các thông tư trong lĩnh vực đo đạc, bản đồ và thông tin địa lý.