

Vietnam Journal of Marine Science and Technology; Vol. 19, No. 3B; 2019: 177–187
DOI: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/19/3B/14524>
<https://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst>

Study on spatial distribution of coral reefs in Nam Yet island by using GIS and remote sensing techniques

Nguyen Xuan Tung*, Do Huy Cuong, Bui Thi Bao Anh, Nguyen Thi Nhan,
Nguyen The Luan, Pham Duc Hung

Institute of Marine Geology and Geophysics, VAST, Vietnam

*E-mail: nguyenxuantung030885@gmail.com

Received: 25 July 2019; Accepted: 6 October 2019

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Research and application of GIS and remote sensing techniques combined with field survey in coastal areas of Nam Yet island had been carried out to establish the distribution map of submarine habitats. Depth-invariant index was used to correct water column's effects on spectral reflectance of each habitat. The results of satellite image classification showed that area with well-developed coral at great depths accounted for 12%, area with well-developed coral at small depths accounted for 9%, area with poorly-developed coral accounted for 13%, dead coral area accounted for 15% and area of sand, grit, pebbles and weathered coral accounted for 51%. The assessment after classification showed that the overall accuracy of the satellite image interpretation process was 94% and the kappa coefficient was 0.93.

Keywords: Nam Yet island, GIS, remote sensing, depth-invariant index, coral reefs.

Citation: Nguyen Xuan Tung, Do Huy Cuong, Bui Thi Bao Anh, Nguyen Thi Nhan, Nguyen The Luan, Pham Duc Hung, 2019. Study on spatial distribution of coral reefs in Nam Yet island by using GIS and remote sensing techniques. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 19(3B), 177–187.

Ứng dụng công nghệ GIS và viễn thám nghiên cứu phân bố san hô khu vực đảo Nam Yết

Nguyễn Xuân Tùng*, Đỗ Huy Cường, Bùi Thị Bảo Anh, Nguyễn Thị Nhân, Nguyễn Thế Luân, Phạm Đức Hùng

Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam
*E-mail: nguyentuanung030885@gmail.com

Nhận bài: 25-7-2019; Chấp nhận đăng: 6-10-2019

Tóm tắt

Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GIS và viễn thám kết hợp khảo sát điều tra thực địa khu vực đảo Nam Yết đã được thực hiện để thành lập bản đồ phân bố san hô. Sử dụng chỉ số bất biến theo độ sâu để hiệu chỉnh ảnh hưởng của cột nước lên phản xạ phổ mỗi loại kiểu sinh cảnh đáy. Kết quả phân loại ảnh cho thấy hệ sinh thái rạn san hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu lớn chiếm 12%, khu vực san hô phát triển tốt phân bố ở độ sâu nhỏ chiếm 9%, khu vực san hô kém phát triển chiếm 13%, khu vực san hô chết chiếm 15% và khu vực cát, sạn, cuội, san hô phong hóa chiếm 51%. Kết quả kiểm định sau phân loại cho thấy độ chính xác tổng thể (overall accuracy) của quá trình phân loại ảnh là 94% và hệ số thống kê Kappa là 0,93.

Từ khóa: Đảo Nam Yết, GIS, viễn thám, chỉ số bất biến theo độ sâu, rạn san hô.

MỞ ĐẦU

Hiện nay, các hệ sinh thái biển đang chịu ảnh hưởng nặng nề từ các hoạt động của con người và tự nhiên. Sự kiện san hô bị tẩy trắng dẫn đến chết hàng loạt năm 1998 đã minh chứng nguồn tài nguyên xung quanh các đảo đang bị nhiều áp lực đè nặng [1, 2]. Năm 1993, Wilkinson đã ước lượng có khoảng 10% diện tích san hô trên toàn cầu đã bị biến mất hoàn toàn [2]. Vùng biển Việt Nam nói chung và khu vực các đảo xa bờ nói riêng khá giàu có và đa dạng thành phần loài thủy hải sản, trong đó rạn san hô là một trong những hệ sinh thái điển hình và được quan tâm cao [3–5]. Các rạn san hô ở Việt Nam phân bố rộng khắp từ bắc vào nam trên diện tích khoảng 1.222 km² với khoảng 3.000 loài sinh vật khác có đời sống liên quan và gắn bó với vùng rạn san hô [6]. Đảo Nam Yết là một trong những đảo lớn của khu vực quần đảo Trường Sa, có khu vực bãi ngập triều rất rộng và kéo dài theo hướng đông

tây với chiều dài khoảng 600 m, chiều rộng khoảng 125 m và diện tích đạt 6 ha. Bờ biển đảo Nam Yết gồm các bãi cát vụn san hô nhẹ và xốp, không ổn định, thường thay đổi theo mùa gió tác động. Đảo được bao bọc bởi một thềm san hô ngập nước lan rộng từ 300 đến 1.000 m so với bờ đảo. Tuy nhiên, trong hơn 2 thập kỷ qua dưới tác động của biến đổi khí hậu và con người đã gây ra suy thoái hệ sinh thái thềm cỏ biển, rạn san hô.

Lập bản đồ phân bố hệ sinh thái rạn san hô rất quan trọng không chỉ trong nghiên cứu về hải dương học, quản lý tài nguyên biển mà còn góp phần bảo vệ chủ quyền biển đảo. Viễn thám là công cụ phù hợp và hiệu quả trong việc khảo sát, phân loại các sinh cảnh dưới biển [7]. Các nghiên cứu, ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS giúp các nhà quản lý có thể đánh giá được sự biến động của các hệ sinh thái trên diện rộng với chi phí thấp hơn so với khảo sát trực tiếp. Nghiên cứu này được thực hiện sẽ

giúp cho các nhà quản lý, quy hoạch đánh giá khách quan về hiện trạng phân bố đa dạng sinh học, cũng như những biến động về diện tích phân bố các hệ sinh thái biển đặc trưng của khu vực đảo Nam Yết.

VỊ TRÍ ĐỊA LÝ, ĐỊA HÌNH ĐẢO NAM YẾT

Đảo Nam Yết có tọa độ địa lý 114°22'00" kinh độ Đông và 10°10'45" vĩ độ Bắc. Diện tích bề mặt đảo nổi khoảng 0,0965 km²; Diện tích thêm bao quanh đảo nổi là 2,5015 km²; Chu vi đảo khoảng 7,902 km.

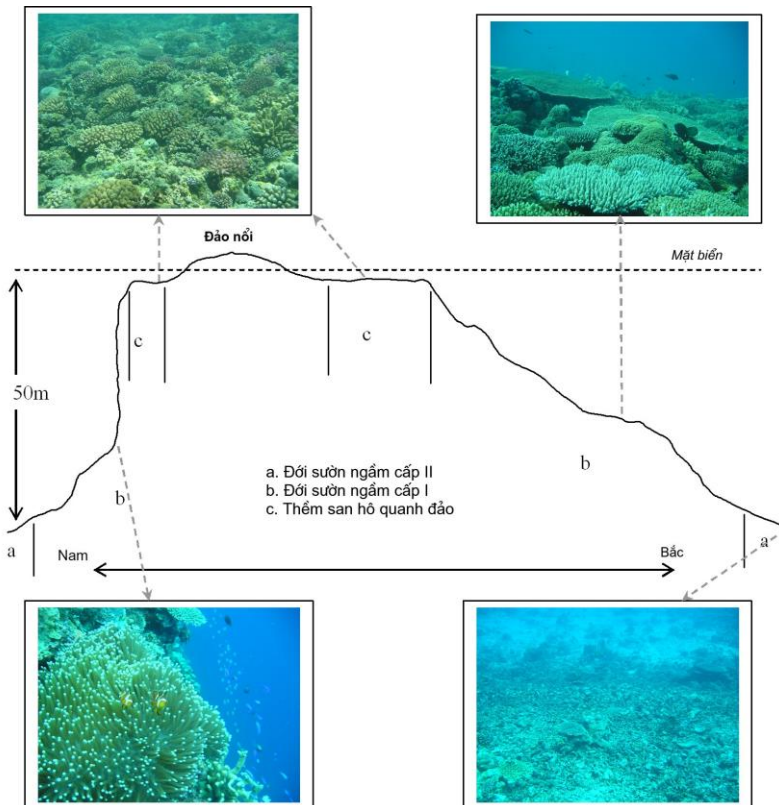
Địa hình phân đảo nổi Nam Yết gồm: (1)- Bề mặt đảo luôn nổi nên trên mực nước biển, (2)- Bờ đảo, (3)- Thêm san hô quanh đảo, (4)- Vách ngầm, (5)- Sườn ngầm, (6)- Đáy biển sâu.

Bề mặt đảo luôn nổi nên trên mực nước biển: Có hình lòng chảo, phần đảo nổi có địa hình cao khoảng 2,5 m.

Bờ đảo: Nhiều chỗ là bãi cát dốc, vách san hô hoặc các lớp trầm tích phần lớn nằm nghiêng, góc dốc 10–15°.

Thêm san hô quanh đảo: Rộng tới 2.000 m ở phía tây đảo Nam Yết. Khi nước ròng mặt thêm có độ sâu 0,4–0,6 m, độ dốc rất nhỏ. Quá trình phát triển và thái hoá của san hô trên thêm làm cho bề mặt không bằng phẳng, nhiều chỗ san hô chết tạo thành tầng ụ, vũng nước. Độ nhám của bề mặt thêm lớn có tác dụng làm giảm tốc độ và hạn chế sự phá hủy của sóng đối với bờ đảo. Do mặt thêm nằm sâu, có rất ít loài san hô (chủ yếu giống *Porites*). Ngoài san hô còn có các sinh vật tạo rạn khác như tảo vôi, thân mềm... Ở đây, có mặt nhiều hải sản quý như ốc gai, ốc nón, hải sâm...

Vách ngầm: Có góc dốc lớn, khoảng 30–35° có chỗ trên 60°, độ sâu thay đổi đột ngột trong khoảng 5–15 m, trung bình 10 m, có nhiều khe rãnh sâu). Tại đây, các tập đoàn san hô phát triển rất mạnh (ưu thế là *Acropora*). Hầu như toàn bộ vách ngầm phủ bằng san hô sống. Đây là vành đai triệt, giảm năng lượng dòng chảy và sóng biển, bảo vệ thêm san hô ở phía trong.



Hình 1. Mặt cắt điển hình các đới địa hình đảo Nam Yết

Sườn ngầm: Có độ dốc thoải dần, ở khoảng độ sâu trên 50 m bề mặt sườn hầu như là đá san hô chết, vì độ sâu này không thích hợp cho san hô sống phát triển. Đây là nơi tập trung nhiều loại cá và cũng là nơi neo đậu của tàu thuyền khi đến đảo.

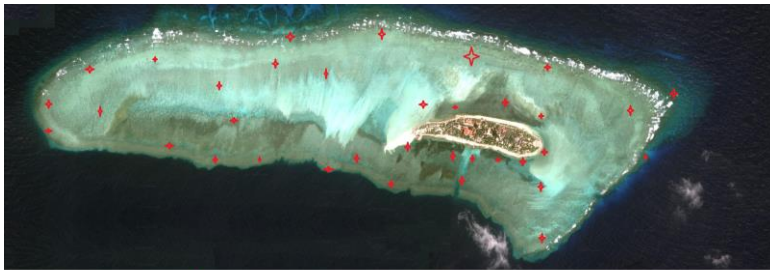
Đáy biển sâu: Độ sâu trên 1.500 m, nhiều nơi sâu trên 2.000 m, trầm tích là đá, bùn, bùn vô trùng lồi.

SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Số liệu sử dụng trong nghiên cứu

Số liệu điều tra thực địa và đo quang phổ mặt đất được thực hiện trong năm 2018 trong

đề tài “Ứng dụng ảnh vệ tinh VNRedsat-1 (và tương đương) trong nghiên cứu đánh giá tổng hợp hiện trạng và biến động môi trường khu vực quần đảo Trường Sa phục vụ bảo vệ môi trường và quốc phòng an ninh” mã số VT-UD.04/17–20. Trong bài báo này đã sử dụng số liệu thực địa thu thập được mới nhất khu vực đảo Nam Yết bao gồm mẫu đo quang phổ mặt đất và mẫu địa chất đối với các đối tượng san hô, cỏ biển, cát, cuội, sỏi san hô, đất... khu vực phân đảo nổi của đảo Nam Yết và phân bãi ngập triều. Các số liệu đo các tham số môi trường giúp cho công tác hiệu chỉnh các tham số xử lý, phân tích các đối tượng san hô, cỏ biển... bị ngập nước.



☆ Vị trí các điểm khảo sát

Hình 2. Vị trí các điểm khảo sát

Thông số kỹ thuật và chế độ đo máy đo quang phổ:

Mã hiệu: RS3, nước sản xuất Hoa Kỳ.

Độ phân giải phổ là:

3 nm (Full-Width-Half-Maximum) tại 700 nm.

10 nm (Full-Width-Half-Maximum) tại 1.400 nm.

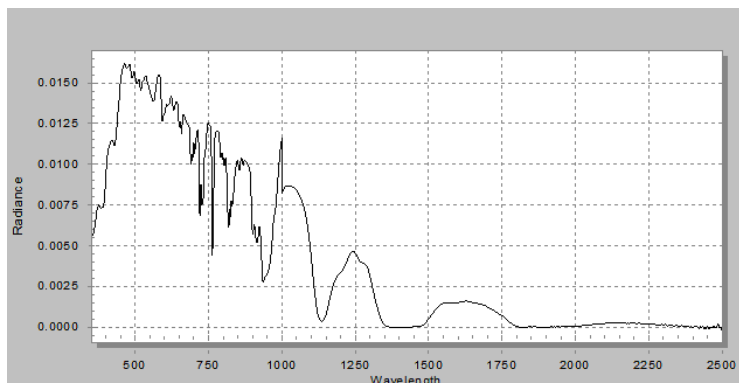
10 nm (Full-Width-Half-Maximum) tại 2.100 nm.

Khoảng cách mẫu là:

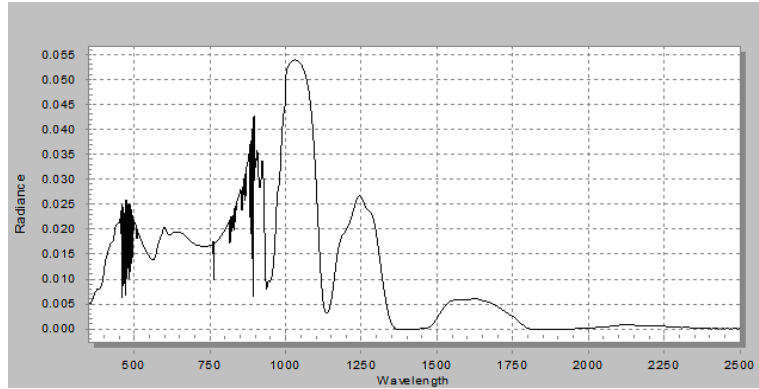
1,4nm cho khu vực phổ 350–1.000 nm.

2 nm cho khu vực phổ 100–2.500 nm.

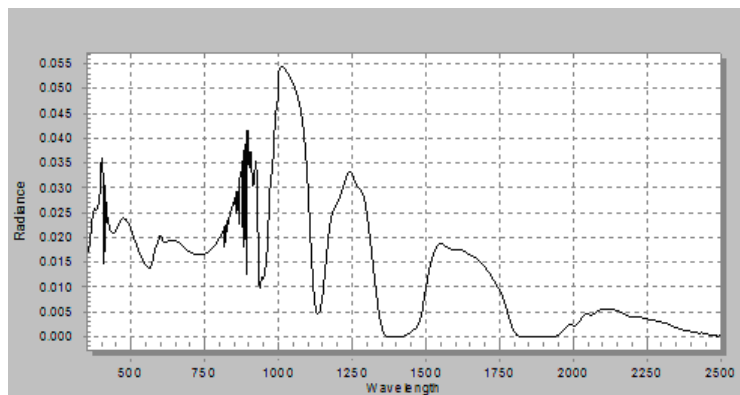
Một số mẫu quang phổ điển hình thu được:



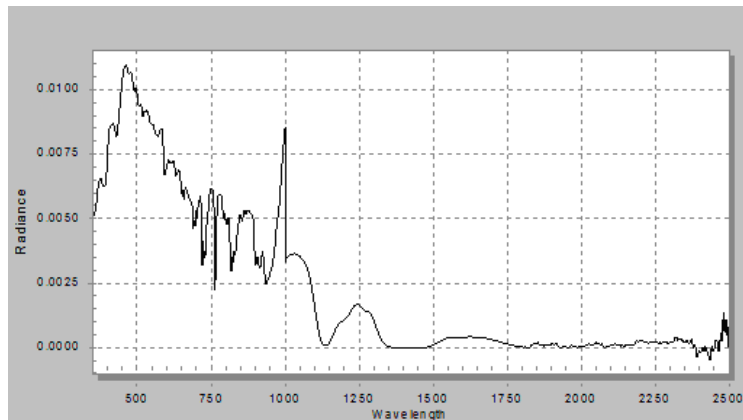
Hình 3. Đặc trưng quang phổ san hô, cỏ biển chết khu vực đảo Nam Yết



Hình 4. Đặc trưng quang phổ san hô, cỏ biển phát triển kém khu vực đảo Nam Yết



Hình 5. Đặc trưng quang phổ san hô, cỏ biển phát triển tốt khu vực đảo Nam Yết



Hình 6. Đặc trưng quang phổ san hô, cỏ biển kết tinh khu vực đảo Nam Yết

Dữ liệu ảnh viễn thám: Dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu này là dữ liệu ảnh vệ tinh SPOT-5, chụp tháng 4/2018.

Vệ tinh SPOT-5 phóng lên quỹ đạo ngày 3 tháng 5 năm 2002, được trang bị một cặp sensors HRG (High Resolution Geometric) là

loại sensor ưu việt hơn các loại trước đó. Mỗi một sensor HRG có thể thu được ảnh với độ phân giải 2,5 m đen - trắng và 10 m với ảnh màu, trong khi đó dải chụp phủ mặt đất của ảnh vẫn đạt đến 60 km.

Bảng 1. Đặc điểm các kênh phổ ảnh SPOT 5

Kênh	Tên gọi	Dải sóng (μm)	Độ phân giải không gian (m)
1	xanh lục - Green	0,500–0,590	10
2	Đỏ-Red	0,610–0,680	10
3	Cận hồng ngoại-NIR	0,780–0,890	10
4	Toàn sắc - Pan	0,480–0,710	2,5
5	Hồng ngoại sóng ngắn - SWIR	1,580–1,750	20

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp xử lý ảnh: Hiệu chỉnh hình học và hiệu chỉnh khí quyển (phương pháp hiệu chỉnh khí quyển sử dụng các số liệu quan trắc thực địa: Ta tiến hành đo đạc bức xạ các đối tượng cần nghiên cứu ngay tại thời điểm bay chụp. Sau đó dựa trên sự khác biệt cường độ bức xạ thu được trên vệ tinh và giá trị đo được người ta tiến hành hiệu chỉnh bức xạ) là các bước đầu tiên, cơ bản trong toàn quá trình tiền xử lý giải đoán ảnh vệ tinh. Trong bài báo này, tác giả đi sâu vào phương pháp hiệu chỉnh cột nước, bước trọng nhất trong xử lý ảnh để xác định vị trí phân bố các kiểu đáy biển. Tiến trình tổng quát giải đoán ảnh để thành lập bản đồ phân bố san hô cũng như các kiểu nền đáy được trình bày trong hình 7 bên dưới. Phương pháp hiệu chỉnh cột nước được áp dụng theo nguyên tắc khi ánh sáng xuyên xuống nước, cường độ của nó giảm theo hàm mũ khi độ sâu tăng lên [1]. Hệ số này cho phép chuyển đổi phổ phản xạ bề mặt về phản xạ nền đáy. Đây là bước quan trọng nhất trong xử lý ảnh nhằm giải đoán phân bố rạn san hô và các hợp phần nền đáy khác [1]. Quan hệ tuyến tính (logarit) giữa phổ phản xạ bề mặt

của kênh thứ *i* và kênh thứ *j* theo các điểm nền đáy cát chọn ngẫu nhiên ở các độ sâu khác nhau là cơ sở của phép tính chỉ số bất biến theo độ sâu (D.I.I - Depth Invariance Index) [1, 2, 8] (theo phương trình 1).

$$L_i = L_{si} + a_i r_i \cdot \exp(-K_i g Z) \tag{1}$$

Trong đó: L_i là phổ phản xạ của chất đáy trên mặt nước của kênh *i*; L_{si} là phổ phản xạ của chất đáy trên mặt nước của kênh *j*; a_i bức xạ mặt trời của kênh *i*; r_i là phản xạ đáy của kênh *i*; K_i là hệ số suy giảm cường độ ánh sáng của kênh *i*; g là một hàm hệ số suy giảm cho cả ánh sáng đi lên và đi xuống; Z là độ sâu.

Phương pháp này được xây dựng bởi Lyzenga năm 1981 và không yêu cầu phải tính toán chính xác các thông số nhưng tính được thông qua các bài toán bằng cách sử dụng các thông tin trực tiếp trên các kênh ảnh. Trên cơ sở đó, độ chính xác của phương pháp này không cao. Để hiệu chỉnh hạn chế này, năm 2003 Edmund đã đưa ra các công thức mới dựa trên cơ sở của Lyzenga với việc kết hợp nhiều kênh ảnh để giải đoán và dữ liệu thực địa [1, 2, 7].

$$Depth - invariant Index_{ij} = DII_{ij} = \ln(L_i) - \left[\left(\frac{k_i}{k_j} \right) \cdot \ln(L_j) \right] \tag{2}$$

Trong đó: L, k như trong phương trình (1). Hệ số k_i/k_j được khảo sát bằng số liệu thực địa.

Trong bài báo này ta xây dựng chỉ số DII_{ij} cho 3 cặp kênh phổ là kênh 1 và 2, kênh 2 và 3 và kênh 1 và 3. Kết quả tính toán trên excel ta được các chỉ số bất biến theo độ sâu cho các cặp kênh phổ như sau:

$$D23 = \ln(L2) - 1,040 * \ln(L3)$$

$$D12 = \ln(L1) - 0,52 * \ln(L2)$$

$$D13 = \ln(L1) - 0,65 * \ln(L3)$$

Phương pháp đánh giá độ chính xác:

Để đánh giá độ chính xác quá trình giải đoán ảnh, tác giả sử dụng chỉ số thống kê Kappa.

Trong đó, công thức tính hệ số Kappa như sau:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (3)$$

Trong đó: N : Tổng số pixel lấy mẫu; r : Số lớp đối tượng phân loại; x_{ii} : Số pixel đúng trong lớp thứ i ; x_{i+} : Tổng pixel lớp thứ i của mẫu; x_{+i} : Tổng pixel lớp thứ i của mẫu sau phân loại.

Độ chính xác rất cao của phép phân loại thường được chấp nhận phổ biến là trên 0,85 (85%), độ chính xác vừa phải thì nằm trong khoảng 0,4–0,8. Các thông số này do Cục Địa chất Hoa Kỳ quy định [9]. Hệ số

Kappa thường được sử dụng để người phân loại có thể đánh giá độ chính xác trong quá trình phân loại ảnh. Trái ngược hẳn với độ chính xác tổng thể ở trên, đây là hệ số tiện ích của tất cả các nguyên tố từ ma trận sai số ở trên [9].

Hệ số Kappa thường nằm giữa 0 và 1, giá trị nằm trong khoảng này thì độ chính xác của sự phân loại được chấp nhận. Kappa có 3 nhóm giá trị:

$K > 0,8$: Độ chính xác cao.

$0,4 < K < 0,8$: Độ chính xác vừa phải.

$K < 0,4$: Độ chính xác thấp.

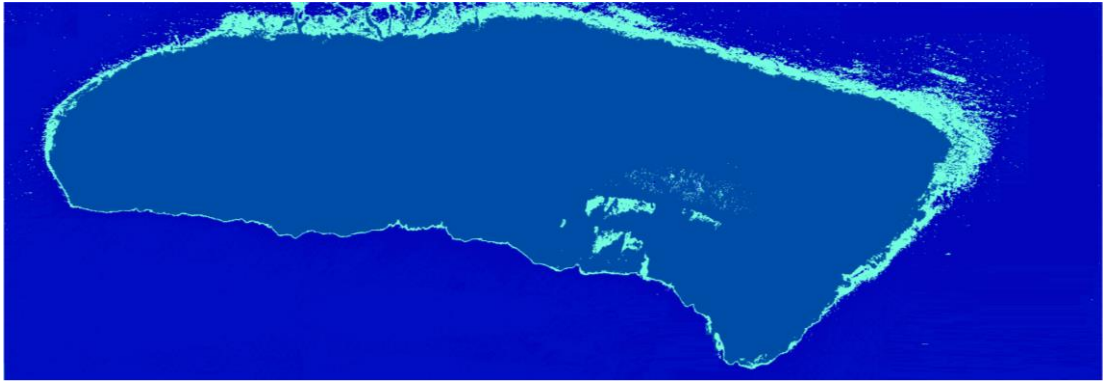


Hình 7. Biểu đồ tiến trình phương pháp tiếp cận trong giải đoán ảnh vệ tinh

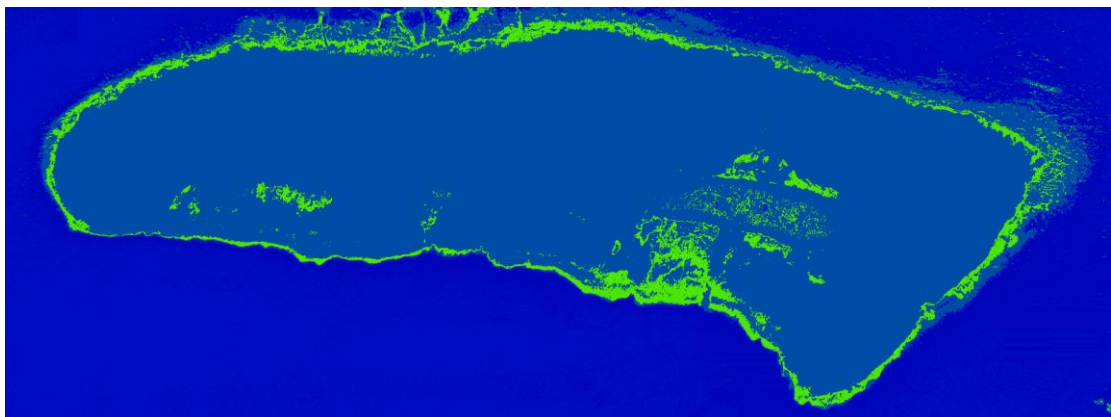
KẾT QUẢ

Số liệu điều tra khảo sát thực địa, dữ liệu mẫu quang phổ điển hình sẽ được dùng vào việc phân loại ảnh sau khi tiến hành hiệu chỉnh. Kết quả phân loại ảnh được chia thành 5 lớp

khu vực: Khu vực san hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu lớn, khu vực san hô phát triển tốt phân bố ở độ sâu nhỏ, khu vực san hô kém phát triển, khu vực san hô chết và khu vực cát, sạn, cuội, san hô phong hóa.



Hình 8. Sơ đồ phân bố khu vực san hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu lớn



Hình 9. Sơ đồ phân bố khu vực san hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu nhỏ

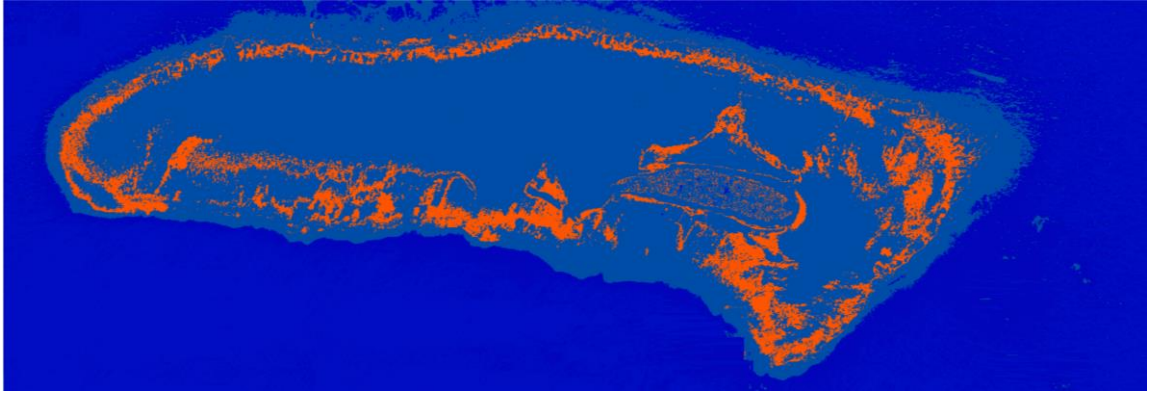


Hình 10. Sơ đồ phân bố khu vực san hô kém phát triển

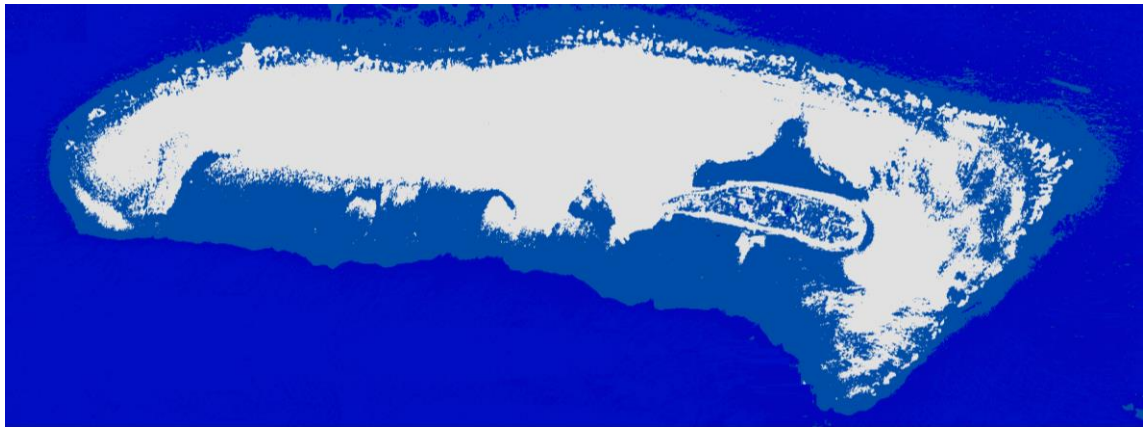
Sau khi phân loại, ảnh được thực hiện quy trình xử lý sau phân loại tạo ra các lớp tin để thành lập bản đồ phân bố san hô khu vực bãi ngập triều đảo Nam Yết năm 2018.

Theo bản đồ phân bố san hô khu vực bãi ngập triều khu vực đảo Nam Yết có thể thấy

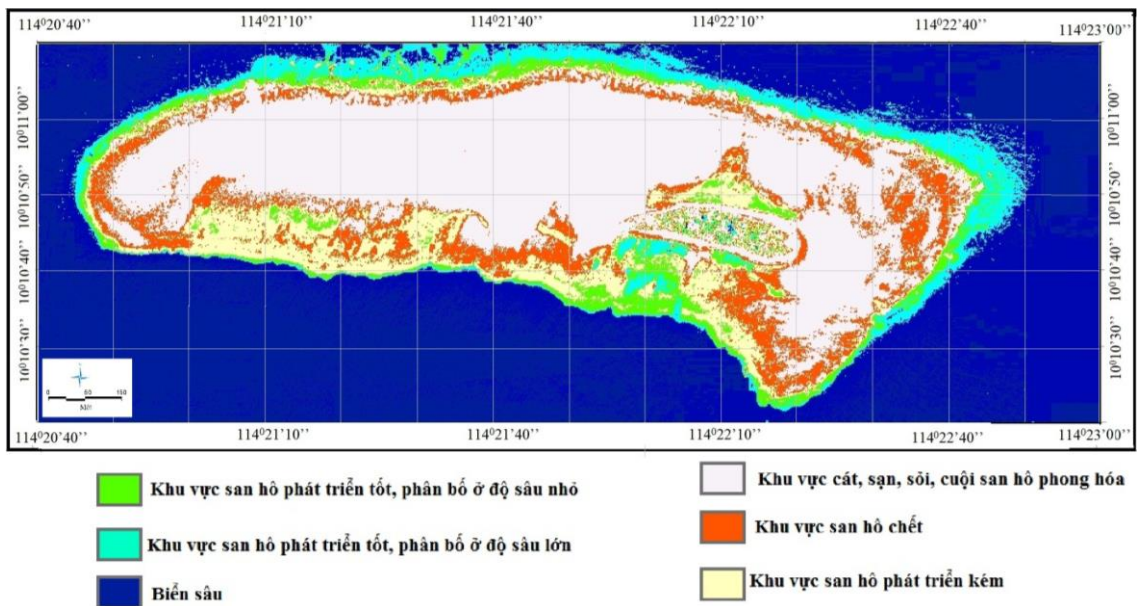
được khu vực san hô sống còn rất ít chủ yếu tập chung ở vách ngầm của đảo gồm: Khu vực hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu lớn chiếm 12%, khu vực hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu nhỏ chiếm 9%.



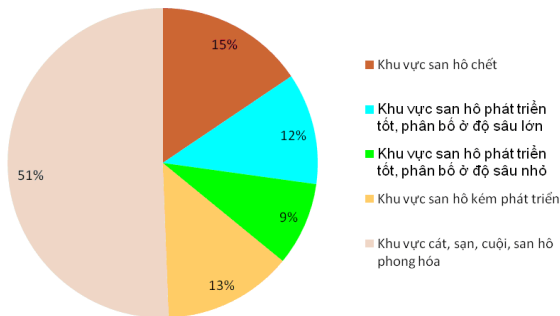
Hình 11. Sơ đồ phân bố khu vực san hô chết



Hình 12. Sơ đồ phân bố khu vực cát, sạn, cuội, san hô phong hóa



Hình 13. Bản đồ phân bố san hô khu vực bãi ngập triều khu vực đảo Nam Yết năm 2018



Hình 14. Biểu đồ % diện tích khu vực san hô phân bố

Thềm san hô phía trong chủ yếu là cát, sạn cuội, san hô phong hóa chiếm 51%, khu vực san hô kém phát triển chiếm 13% và san hô chết chiếm 15%.

Kiểm định sau phân loại:

Sau khi tiến hành phân loại ảnh cho các khu vực phân bố san hô đảo Nam Yết, tác giả tiến hành đánh giá ma trận sai số cho các vùng mẫu vừa phân loại. Độ chính xác từ việc phân loại ảnh không những phụ thuộc vào sự chính xác của các vùng mẫu mà phụ thuộc vào mật độ và sự phân bố của các ô mẫu.

Kết quả kiểm định sau phân loại khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh cột nước của Lyzenga cho thấy ảnh có độ chính xác (Overall Accuracy) dựa trên các mẫu phân loại là 94% với hệ số thống kê Kappa là 0,93.

Chúng tôi cũng đã tiến hành đánh giá kết quả kiểm định sau phân loại không sử dụng phương pháp hiệu chỉnh cột nước của Lyzenga cho thấy ảnh có độ chính xác (Overall Accuracy) dựa trên các mẫu phân loại là 74% với hệ số thống kê Kappa là 0,73.

Quá trình hiệu chỉnh cột nước đã chuyển phổ phản xạ bề mặt về phổ phản xạ nền đáy. Do đó, khi phân loại có kiểm định, các nhóm đối tượng đáy sẽ được phân loại chính xác hơn. Ảnh không hiệu chỉnh cột nước, phổ phản xạ trên bề mặt không phải ở nền đáy. Khi đó, quá trình phân loại cho các đối tượng nền đáy, ảnh hưởng cột nước lên các đối tượng đáy sẽ làm quá trình phân loại các đối tượng này bị nhiễu, gây ra các nhầm lẫn. Như vậy, ảnh không hiệu chỉnh cột nước sẽ khó để người giải đoán ảnh xác định chính xác các vùng đối tượng phân loại và sẽ cho ra kết quả không chính xác khi phân loại.

Nhìn chung kết quả phân loại các kiểu thành phần đáy biển là đạt mức độ chính xác cao khi sử dụng phương pháp hiệu chỉnh cột nước của Lyzenga. Tuy nhiên, quá trình phân loại mẫu tiến hành đã xảy ra một số sai lệch. Một số nguyên nhân sai lệch có thể như sau:

Do sai sót trong quá trình chọn mẫu, đây là một quá trình sử dụng tổng hợp nhiều phương pháp khác nhau như GPS, thực địa, bản đồ... dẫn đến trong quá trình xử lý vẫn tồn tại những sai sót ngoài ý muốn.

Bên cạnh đó, khoảng thời gian khảo sát thực địa và chụp ảnh trên vệ tinh càng cách xa nhau sẽ dẫn đến những sai lệch đáng kể khi giải đoán ảnh vệ tinh. Ngoài ra, các yếu tố môi trường như độ đục, sóng biển, độ sâu... cũng là các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả giải đoán ảnh vệ tinh.

KẾT LUẬN

Số liệu điều tra khảo sát thực địa, dữ liệu mẫu quang phổ điển hình được dùng vào việc phân loại ảnh sau khi tiến hành hiệu chỉnh hiệu chỉnh ảnh hưởng của cột nước lên phản xạ phổ của các đối tượng nền đáy, đã xây dựng được bản đồ phân bố san hô khu vực bãi ngập triều khu vực đảo Nam Yết.

Kết quả phân loại ảnh được chia thành 5 lớp khu vực: Khu vực san hô sống phát triển tốt phân bố ở độ sâu lớn chiếm 12%, khu vực san hô phát triển tốt phân bố ở độ sâu nhỏ chiếm 9%, khu vực san hô kém phát triển chiếm 13%, khu vực san hô chết chiếm 15% và khu vực cát, sạn, cuội, san hô phong hóa 51%.

Độ chính xác sau phân loại (overall accuracy) của quá trình phân loại ảnh là 94% và hệ số Kappa là 0,93.

Lời cảm ơn: Bài báo này sử dụng số liệu của đề tài thuộc Chương trình Khoa học và Công nghệ cấp Quốc gia về Công nghệ vũ trụ 2016–2020, Mã số VT-UD.04/1720, do Viện địa chất và Địa vật lý biển chủ trì.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Edwards, A. J., 2004. Remote sensing Handbook for Tropical Coastal Management (extracts).
- [2] Vanderstraete, T. (2007). The Use of Remote Sensing for Coral Reef Mapping

- in Support of Integrated Coastal Zone Management: A Case Study in the NW Red Sea-Volume I (*Doctoral dissertation, Ghent University*).
- [3] Sekhar, N. U. (2005). Integrated coastal zone management in Vietnam: Present potentials and future challenges. *Ocean & Coastal Management*, 48(9–10), 813–827.
- [4] Mohd, M. I. S., Yahya, N. N., Ahmad, S., Komatsu, T., and Yanagi, E., 2010. Sea bottom mapping from ALOS AVNIR-2 and quickbird satellite data. *University Teknologi Malaysia*.
- [5] English, S. S., Wilkinson, C. C., and Baker, V. V., 1997. Survey manual for tropical marine resources. *Australian Institute of Marine Science*. 390 p.
- [6] Nguyễn Văn Thảo, Đỗ Thị Thu Hương, 2009. Nghiên cứu phân bố san hô vùng đảo Côn Cỏ bằng tư liệu viễn thám. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 9(phụ trương 1), 284–294.
- [7] Lyzenga, D. R., 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. *International journal of remote sensing*, 2(1), 71–82. doi:10.1080/01431168108948342.
- [8] Heck, K. L., and Thoman, T. A., 1984. The nursery role of seagrass meadows in the upper and lower reaches of the Chesapeake Bay. *Estuaries*, 7(1), 70–92.
- [9] Yang, D., Yang, Y., Yang, C., Zhao, J., and Sun, Z., 2011. Detection of seagrass in optical shallow water with Quickbird in the Xincun bay, Hainan province, China. *IET image processing*, 5(5), 363–368. doi:10.1049/iet-ipr.2009.0392.