NGHIÊN CỨU THÀNH LẬP BẢN ĐỒ HIỆN TRẠNG LỚP PHỦ TỶ LỆ TRUNG BÌNH KHU VỰC BÃI CẠN NGOÀI BIỂN BẰNG ẢNH VỆ TINH WORLDVIEW-2

Đinh Thế Toàn[1], Nguyễn Như Hùng[2], Lê Minh Hằng[2]
[1]Công ty TNHH-MTV Trắc địa Bản đồ
[2]Học viện Kỹ thuật quân sự

Tóm tắt

Các bãi cạn ngoài biển đóng vai trò quan trọng đối với phát triển kinh tế - xã hội, bảo vệ an ninh, quốc phòng. Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng ảnh vệ tinh WorldView-2 để thành lập bản đồ hiện trạng lớp phủ tỷ lệ trung bình khu vực bãi cạn ngoài biển. Phương pháp phân loại hiện trạng các lớp phủ trên ảnh WorldView-2 là phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp với phương pháp phân loại có kiểm định SVM (Support Vector Machine). Khu vực thực nghiệm là bãi Thuyền Chài thuộc quần đảo Trường Sa. Dữ liệu ảnh vệ tinh được thực hiện các bước tiền xử lý và phân loại hiện trạng phủ bề mặt theo một quy trình thống nhất. Độ chính xác của kết quả phân loại toàn bộ là 92,41 %, hệ số Kappa là 0,9. Kết quả phân loại hiện trạng lớp phủ bề mặt trên ảnh vệ tinh WorldView-2 là cơ sở dữ liệu đầu vào để thành lập bản đồ hiện trạng tỷ lệ 1:50.000.

Từ khóa: Bản đồ lớp phủ; Bãi cạn ngoài biển; WorldView-2; Phân loại hướng đối tượng; SVM.

Abstract

Research for creating a land cover current status map with the medium scale of sea shoals using WorldView-2 imagery

Sea shoals play a crucial role in socioeconomic development, security, and defense protection. In this paper, the authors use WorldView-2 satellite images to create a medium-scale current status map of the shoals in the sea. The classification method for the current state of land cover on WorldView-2 images is a combination of object-oriented classification and SVM (Support Vector Machine), a supervised classification. Thuyen Chai beach on Truong Sa island is the experimental area. Satellite image data is preprocessed and classified according to a standardized procedure. The overall classification accuracy is 92.45 %, and the Kappa coefficient is 0.90. The classification of the current state of the land cover on the WorldView-2 satellite images is used as the input database that creates the 1:50,000-scale current status map.

Keywords: Land cover map; Shoals; WorldView-2; Object-based classification; SVM.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, công nghệ viễn thám phát triển với sự ra đời của nhiều loại vệ tinh với các loại bộ cảm, độ phân giải không gian khác nhau, chu kỳ chụp ngắn đã giúp cho việc giám sát bề mặt Trái đất được thường xuyên và hiệu quả hơn, đặc biệt là các khu vực ngoài khơi, các khu vực khó tiếp cận.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã thử nghiệm tư liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao như WorldView-2 trong phân loại lớp phủ bề mặt [9, 11, 12]. Các kết quả nghiên cứu đã chứng minh khả năng của tư liệu WorldView-2 trong phân loại các đối tượng lớp phủ bề mặt trên khu vực đất liền. Các nghiên cứu phân loại lớp phủ bãi cạn ngoài biển bằng ảnh vệ tinh WorldView-2 cũng đang được phát triển mạnh mẽ [14, 16, 18]. Tác giả Nguyen và cộng sự (2021) [15] đã thử nghiệm và so sánh độ chính xác của phương pháp phân loại hướng đối tượng và phân loại theo pixel để thành lập bản đồ vùng san hô sử dụng ảnh vệ tinh đa phổ. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh phương pháp phân loại hướng đối tượng cho độ chính xác cao hơn phương pháp phân loại theo pixel là phương pháp SVM (Support Vector Machine) và RF (Random Forest). Kết quả nghiên cứu của tác giả Kaszta và cộng sự (2016) [13] cũng khẳng định phương pháp phân loại hướng đối tượng cho độ chính xác cao hơn so với các phương pháp phân loại theo pixel trên ảnh WorldView-2 với độ chính xác đạt là 91 %. Năm 2016, tác giả Alrassi và cộng sự [10] sử dụng ảnh WorldView-2 và phương pháp phân loại hướng đối tượng để phân loại khu vực ven bờ cho độ chính xác là 85 %. Trong khi đó, tác giả Aguilar và cộng sự (2013) [9] cũng thử nghiệm phân loại lớp phủ khu vực đô thị trên ảnh WorldView-2 và GeoEye-1 bằng phương pháp phân loại hướng đối tượng. Kết quả độ chính xác phân loại đạt 91 % đối với dữ liệu WorldView-2 và 95 % đối với dữ liệu GeoEye-1. Như vậy, việc phân loại đối tượng lớp phủ của khu vực ven biển và bãi cạn ngoài khơi cho độ chính xác thấp hơn khi phân loại khu vực đất liền do ảnh hưởng bởi các điều kiện khí quyển trên biển. Tác giả Xu và cộng sự (2019) [17] đã thử nghiệm phân loại rạn san hô sử dụng tư liệu WorldView-2 với các phương pháp phân loại gồm SVM, NN (Neural Network) và MLC (Maximum Likelihood). Phương pháp phân loại SVM được chứng minh cho độ chính xác cao nhất đạt 93,33 % và giá trị Kappa tương ứng là 0,89.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả của phương pháp sử dụng tư liệu viễn thám để thành lập bản đồ hiện trạng lớp phủ khu vực ngoài biển. Các dạng dữ liệu ảnh vệ tinh đã được thử nghiệm để phân loại lớp phủ các đảo ngoài biển gồm ảnh vệ tinh Landsat 8 [3, 4, 6]. Các kết quả nghiên cứu sử dụng tư liệu ảnh WorldView-2 để phân loại lớp phủ ngoài biển còn hạn chế. Phương pháp xác định lớp phủ các đảo, bãi cạn ngoài biển sử dụng tư liệu ảnh Landsat 8 [3, 4, 6] là phương pháp theo điểm ảnh với độ chính xác đạt khoảng 85 %. Tác giả Lê Thị Thu Hà và cộng sự (2021) [5] đã thử nghiệm phương pháp phân loại hướng đối tượng và tư liệu ảnh vệ tinh WorldView-2 để phân loại lớp phủ khu công nghiệp Bắc Thăng Long. Độ chính xác phân loại đạt 85 %. Đồng thời, các kết quả nghiên cứu trong nước cũng chứng minh sử dụng

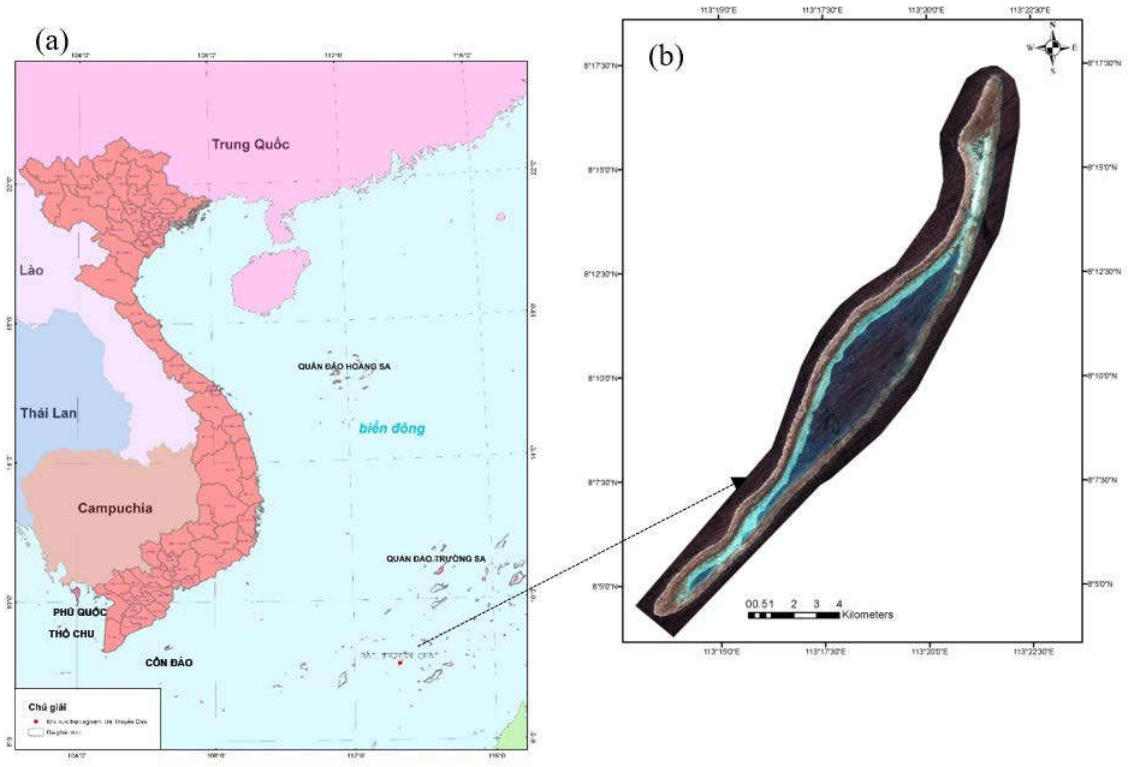
phương pháp phân loại hướng đối tượng để chiết xuất thông tin lớp phủ bề mặt từ ảnh vệ tinh độ phân giải cao cho kết quả tốt hơn phương pháp dựa theo điểm ảnh [8]. Ngoài ra, kết quả phân loại lớp phủ bề mặt bằng thuật toán SVM cho độ chính xác tốt và ổn định hơn các phương pháp phân loại theo pixel khác khi số lượng mẫu thay đổi và ranh giới giữa các vùng sau phân loại cũng rõ ràng hơn [7].

Trong bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu thành lập bản đồ tỷ lệ trung bình hiện trạng lớp phủ với khu vực thực nghiệm là bãi Thuyền Chài sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh WorldView-2. Phương pháp phân loại sử dụng trong bài báo là phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp với phương pháp phân loại theo điểm ảnh SVM.

2. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực thực nghiệm là bãi Thuyền Chài thuộc quần đảo Trường Sa, tỉnh Khánh Hòa có vị trí địa lý vĩ độ từ 8°3'51" - 8°17'37", kinh độ từ 113°12'53" - 113°22'8".



Hình 1: Khu vực nghiên cứu (a) Vị trí khu vực nghiên cứu, (b) Bãi Thuyền Chài trên ảnh vệ tinh

Bãi đá Thuyền Chài nằm cách đảo Trường Sa khoảng 87 hải lý về phía Đông Nam. Đặc điểm lớp phủ của Bãi đá Thuyền Chài là có thềm san hô quanh bãi, có chiều rộng khoảng 200 - 350 m, giữa bãi có hồ nước sâu, khi thuỷ triều xuống thấp nhất vẫn còn ngập nước (Hình 1).

2.2. Tư liệu nghiên cứu

2.2.1. Tư liệu

a) Dữ liệu ảnh vệ tinh

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu này là ảnh đa phổ lập thể WorldView-2 gồm 04 cảnh ảnh, chụp ở 02 thời điểm

cách nhau 14 ngày (ngày 04/6/2022 và ngày 18/6/2022) đã xử lý mức 2A với phép chiếu UTM, hệ quy chiếu WGS84, múi chiếu 49N. Tỷ lệ độ phủ mây trên các ảnh 6 % nhỏ hơn so với yêu cầu là 10 % và về cơ bản không gây ảnh hưởng gì đến việc sử dụng để phân loại hiện trạng lớp phủ.

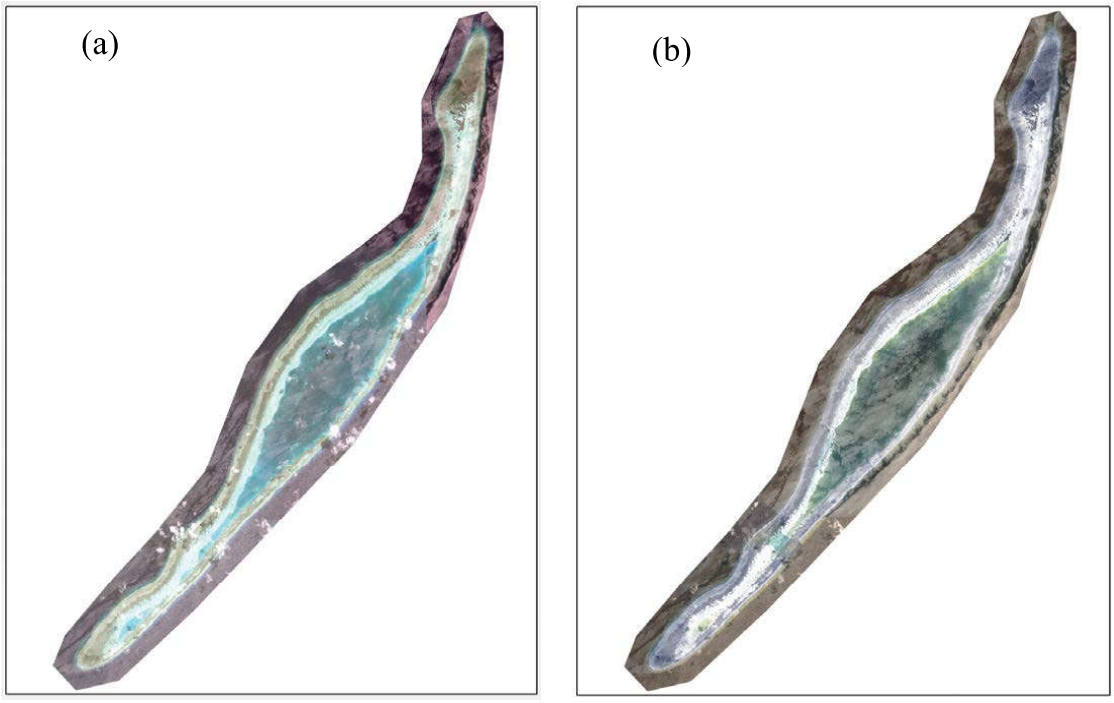
Ảnh vệ tinh Pleiades có độ phân giải 0,5 m (2021) thu thập được tại khu vực thực nghiệm để đánh giá kết quả sau phân loại đối tượng.

b) Dữ liệu GIS

Các ảnh chụp tại thực địa (2022), dữ liệu đo các điểm khống chế và mô hình số độ cao GMTED2010 của khu vực thực nghiệm. Các dữ liệu này dùng để hiệu chỉnh hình học, xây dựng khóa giải đoán.

2.2.2. Tiền xử lý dữ liệu ảnh

Tiền xử lý ảnh vệ tinh gồm hiệu chỉnh hình học, xử lý mây và bóng mây. Để hiệu chỉnh hình học các tác giả đã thu thập được 03 điểm khống chế (GCP) và một mô hình số độ cao GMTED2010 trong khu vực. Sử dụng phương pháp hiệu chỉnh hình học theo mô hình RPC cho phép hiệu chỉnh hình ảnh chỉ với một vài điểm GCP. Sau khi hiệu chỉnh hình học thì tiến hành xử lý mây và bóng mây. Phương pháp xử lý mây và bóng mây dựa trên dữ liệu ảnh vệ tinh WorldView-2 đa thời gian có điều kiện khí hậu và mùa tương tự. Dữ liệu mây và bóng mây được phát hiện trên ảnh chính và được tạo mặt nạ. Những vị trí bị ảnh hưởng bởi mây sẽ được tìm kiếm tương ứng tại ảnh còn lại để tạo ra dữ liệu ảnh thử nghiệm không mây, phục vụ cho mục đích phân loại lớp phủ bề mặt. Các bước tiền xử lý ảnh được thực hiện trên phần mềm ENVI 5.3 bằng cách sử dụng các module Rigorous orthorectification, Mosaiking, Geometric Correction,... Sau khi hoàn thành giai đoạn tiền xử lý tiến hành cắt ảnh theo phạm vi nghiên cứu bằng công cụ "Subset Data from ROIs".



Hình 2: Kết quả tiền xử lý ảnh (a) Ảnh trước khi xử lý, (b) Ảnh sau khi hiệu chỉnh hình học và xử lý mây

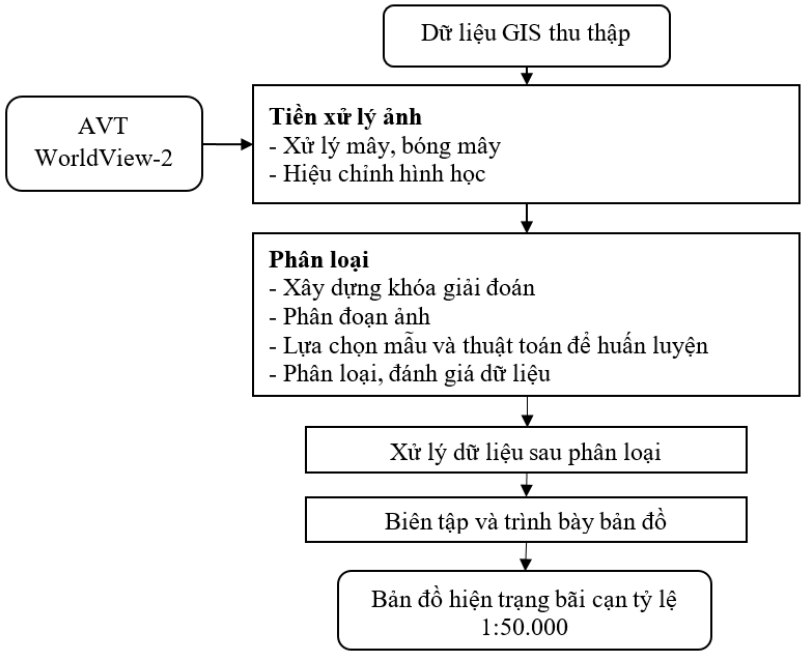
3. Cơ sở khoa học và quy trình thực hiện

3.1. Nội dung quy trình

Quy trình thực hiện gồm các bước theo sơ đồ (Hình 3).

Sử dụng phần mềm ArcMAP 10.7 để thành lập bản đồ hiện trạng bãi cạn tỷ lệ 1:50.000 dựa trên dữ liệu đã được phân loại và xử lý ở bước 4.

Quy trình thành lập bản đồ hiện trạng bãi cạn bằng ảnh vệ tinh WorldView-2 gồm các bước:



Hình 3: Sơ đồ quy trình thành lập bản đồ hiện trạng bãi cạn bằng ảnh vệ tinh WorldView-2

Bước 1: Thu thập ảnh vệ tinh WorldView-2, dữ liệu đo và ảnh chụp tại khu vực nghiên cứu.

Bước 2: Tiền xử lí ảnh

Ảnh vệ tinh WorldView-2 được hiệu chỉnh hình học, xử lý mây và bóng mây, sau đó cắt theo ranh giới khu vực.

Bước 3: Phân loại phủ

- *Xây dựng khóa giải đoán*: Khóa giải đoán được xây dựng trên cơ sở nghiên cứu về đặc điểm hình thái bãi cạn và nội dung bản đồ cần thành lập.

- *Phân đoạn ảnh*: Ảnh vệ tinh WorldView-2 được tiến hành phân đoạn (segmentation). Kết quả sẽ tạo ra các phân mảnh ảnh đóng vai trò như các đối tượng có tính chất riêng biệt và sẽ là dữ liệu đầu vào cho bước phân loại tiếp theo.

- *Lựa chọn mẫu và thuật toán để huấn luyện*: Khi quá trình phân đoạn ảnh đạt yêu cầu, lựa chọn mẫu cho từng lớp đối tượng. Trong nội dung nghiên cứu của bài báo, tác giả sử dụng thuật toán phân loại SVM và khóa giải đoán để huấn luyện dữ liệu.

- *Phân loại, đánh giá dữ liệu*: Thiết lập vùng quan tâm để tiến hành giải đoán ảnh. Việc đánh giá sự tương quan của mẫu huấn luyện là vô cùng quan trọng vì chúng cho thấy khả năng trùng lặp, gây sai số trong giai đoạn phân lớp các đối tượng.

Bước 4: Xử lý dữ liệu sau phân loại

Dữ liệu sau khi phân loại được xuất sang dạng vector để đưa vào một CSDL (*.gdb). Tiến hành xử lý hình học và chuẩn hóa dữ liệu về thông tin thuộc tính.

Bước 5: Biên tập và trình bày bản đồ.

3.2. Kết quả thực nghiệm

3.2.1. Kết quả phân loại ảnh vệ tinh WorldView-2

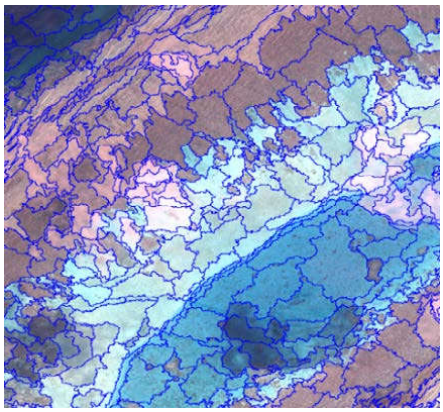
a) Xây dựng khóa giải đoán

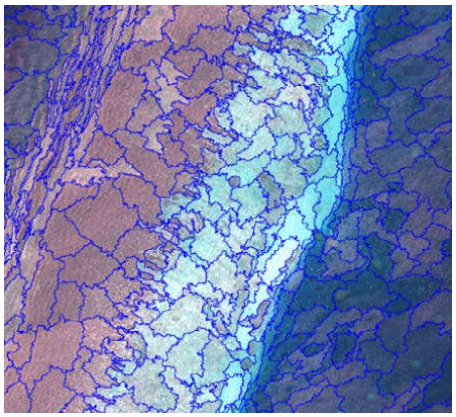
Trong thực nghiệm này, khóa giải đoán được xây dựng dựa trên phân tích đặc điểm hình thái địa hình rạn san hô bãi cạn thuộc quần đảo Trường Sa gồm các lớp trong bảng dưới đây:

Bảng 1. Bảng xây dựng khóa giải đoán ảnh vệ tinh WorlView-2

Loại lớp phủ	Ảnh mẫu	Ảnh thực địa	Yếu tố nhận dạng
Cát			Vùng cát, vỏ sò, ốc ven bãi có màu trắng xám
San hô			Vùng san hô sống
Đáy cứng			Vùng san hô chết và đá gốc có màu nâu sẫm
Cỏ biển			Vùng rong rêu, cỏ biển có màu xanh lam
Nước biển			Vùng nước biển có độ sâu >20 m, nước biển màu xanh đậm

b) Phân đoạn ảnh





Hình 4: Kết quả phân mảnh theo thuật toán Multiresolution segmentation

Bảng 2. Bảng tham số thử nghiệm phân mảnh theo thuật toán Multiresolution segmentation

Tỷ lệ	Hình dạng	Độ chặt
50	0,3	0,7
25	0,2	0,7

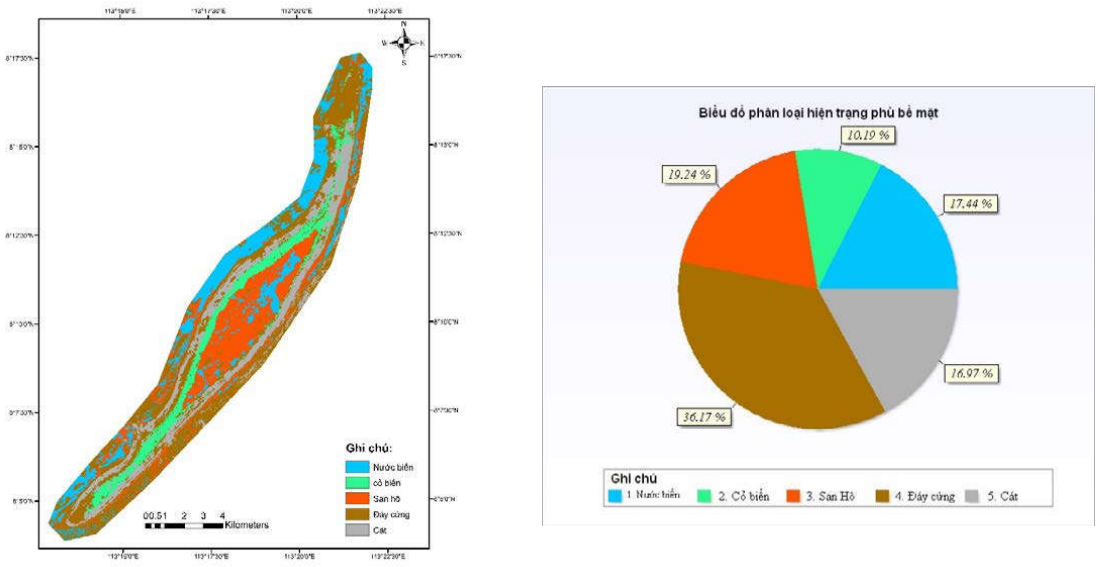
Kết quả phân đoạn ảnh phụ thuộc bởi ba thông số chính gồm tỉ lệ, hình dạng và độ chặt. Các trọng số của các thông số này sẽ thiết lập dựa trên tính đồng nhất của các phần tử đối tượng và các tham số này được lựa chọn dựa trên kết quả thử nghiệm. Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả lựa chọn giá trị các tham số Scale parameter = 50, shape = 0,3 và compactness = 0,7 là phù hợp với ảnh có độ phân giải cao như WorldView-2 và yêu cầu của cơ sở dữ liệu (CSDL) tỷ lệ trung bình (1:50.000) (Bảng 2).

c) Lựa chọn mẫu và thuật toán để huấn luyện

Lựa chọn mẫu và thuật toán SVM để huấn luyện, sau khi huấn luyện thì tiến hành phân loại theo mẫu đã được huấn luyện. Quá trình lựa chọn mẫu, huấn luyện mẫu và phân loại được thực hiện trên phần mềm eCognition 9.4.

d) Phân loại, đánh giá dữ liệu

Sử dụng thuật toán SVM để phân loại dữ liệu. Kết quả sau khi phân loại bãi cạn theo 5 nội dung hiện trạng cần xác định là nước biển, cỏ biển, san hô, đáy cứng, cát và được thể hiện trong biểu đồ dưới đây.



Hình 5: Kết quả phân loại hiện trạng bãi

Dựa vào kết quả phân loại nhận thấy rằng diện tích lớp phủ trên đảo chủ yếu là đáy cứng (san hô chết, đá tảng) và san hô sống chiếm tỷ lệ lớn. Phần đáy cứng phân bố dọc theo gần sát bờ phía trong và ngoài bãi. Phần cỏ biển rất ít nằm sát bờ nước dọc theo vành vũng phía trong bãi, bên trong vũng có nước và chủ yếu là san hô sống. Do ảnh chụp lúc mực nước cạn nên nước biển có rất ít, chỉ một số vũng nhỏ sâu giữa bãi và phía Tây Bắc của bãi. Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại hướng đối tượng trên ảnh WorldView-2 được kiểm chứng với 237 điểm chọn ngẫu nhiên trên ảnh vệ tinh Pleiades có độ phân giải 0,5m chụp năm 2021 (Bảng 3).

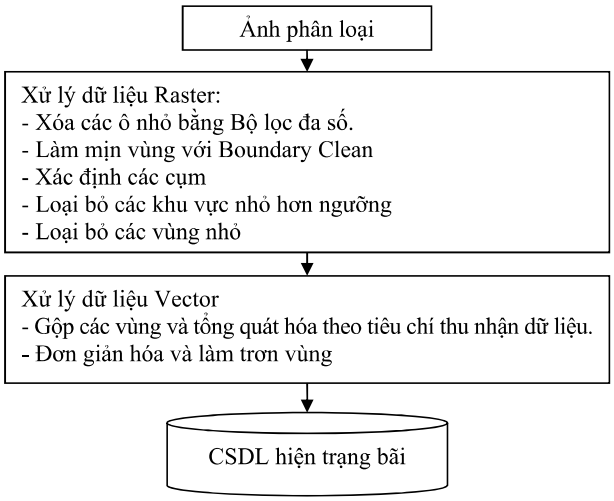
Bảng 3. Đánh giá độ chính xác kết quả phân loại trên ảnh Worldview-2

Giá trị lớp đối tượng	Nước biển	Cỏ biển	San Hô	Đáy cứng	Cát	Tổng hàng	Phần trăm phân loại đúng của mỗi lớp
Nước biển	**42**	0	1	0	0	43	97,67 %
Cỏ biển	0	**20**	4	0	0	24	83,33 %
San hô	1	0	**44**	0	0	45	97,78 %
Đáy cứng	2	0	2	**81**	0	85	95,29 %
Cát	0	0	1	7	**32**	40	80,00 %
Tổng cột	45	20	52	88	32	**237**	
Phần trăm phân loại đúng so với đối tượng tham chiếu	93,33 %	100 %	84,62 %	92,05 %	100 %		
Độ chính xác tổng thể	92,41 %						
Kappa	0,9						

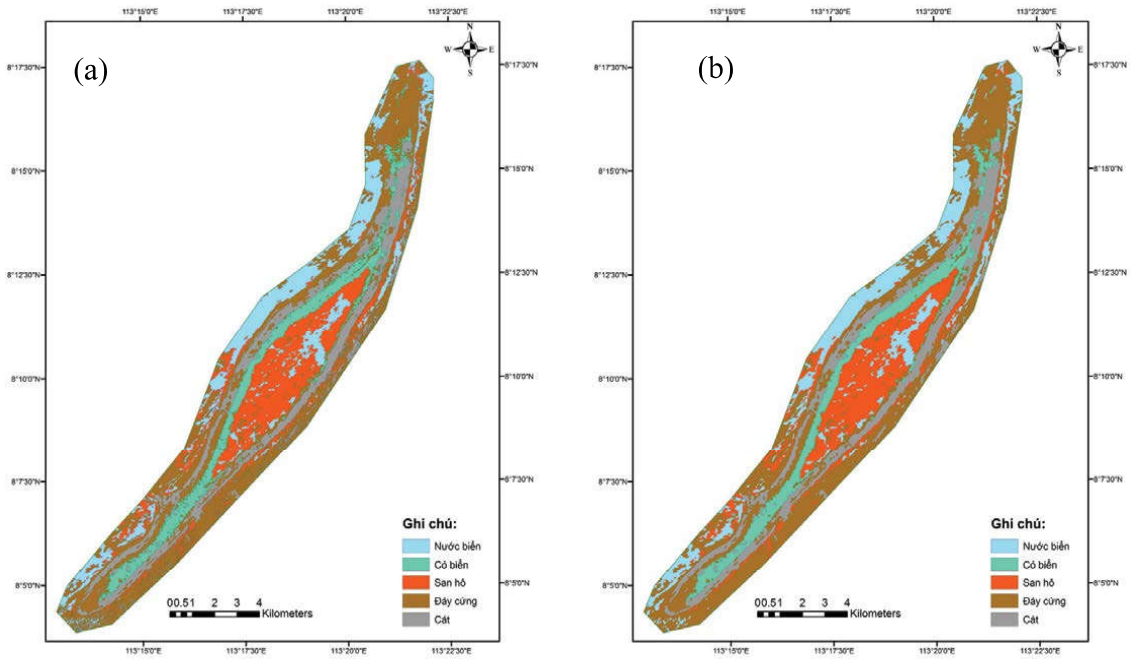
Kết quả cho thấy kết quả độ chính xác phân loại toàn bộ là 92,41 %, hệ số Kappa tương ứng là 0,9. Đánh giá độ chính xác phân loại dựa trên kết quả giải đoán trên ảnh vệ tinh độ phân giải cao Pleiades và dữ liệu khảo sát thực địa cho thấy các đối tượng cỏ biển và cát trên Bãi Thuyền Chài có độ tương phản cao so với các đối tượng lớp phủ khác và kết quả đánh giá độ chính xác phân loại đạt 100 %. Trong khi đó, các đối tượng san hô cho độ phân loại thấp nhất tương ứng 84,6 % do việc giải đoán rạn san hô ở dưới nước bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như góc chiếu mặt trời, thời điểm thủy triều. Đối với kết quả đánh giá độ chính xác phân loại dựa trên việc chọn vùng mẫu cho thấy đối tượng rạn san hô, nước biển, đáy cứng cho độ chính xác cao hơn so với cát hoặc cỏ biển. Đối tượng san hô, đáy cứng thường dễ nhầm với nước biển trong phân loại do đặc điểm của độ sâu nước biển tại vị trí phân loại. Đặc biệt cỏ biển thường bị nhầm lẫn với san hô và cát bị nhầm lẫn với các đối tượng đáy cứng.

3.2.2. Thành lập bản đồ lớp phủ tỷ lệ 1:50.000

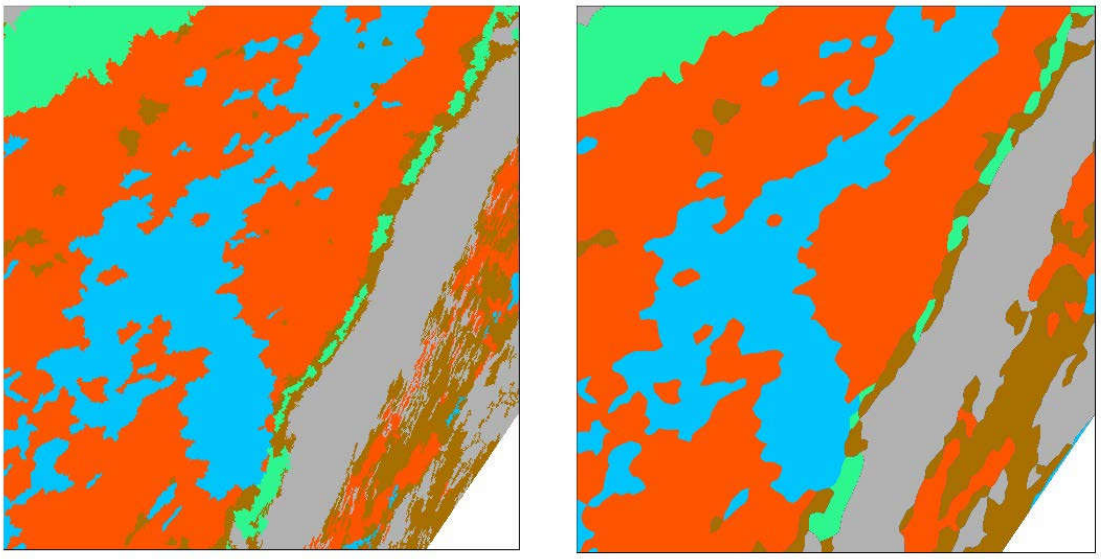
Quy trình xây dựng CSDL lớp phủ tỷ lệ 1:50.000 được trình bày trong Hình 6.



Hình 6: Sơ đồ quy trình xây dựng CSDL lớp phủ tỷ lệ 1:50.000



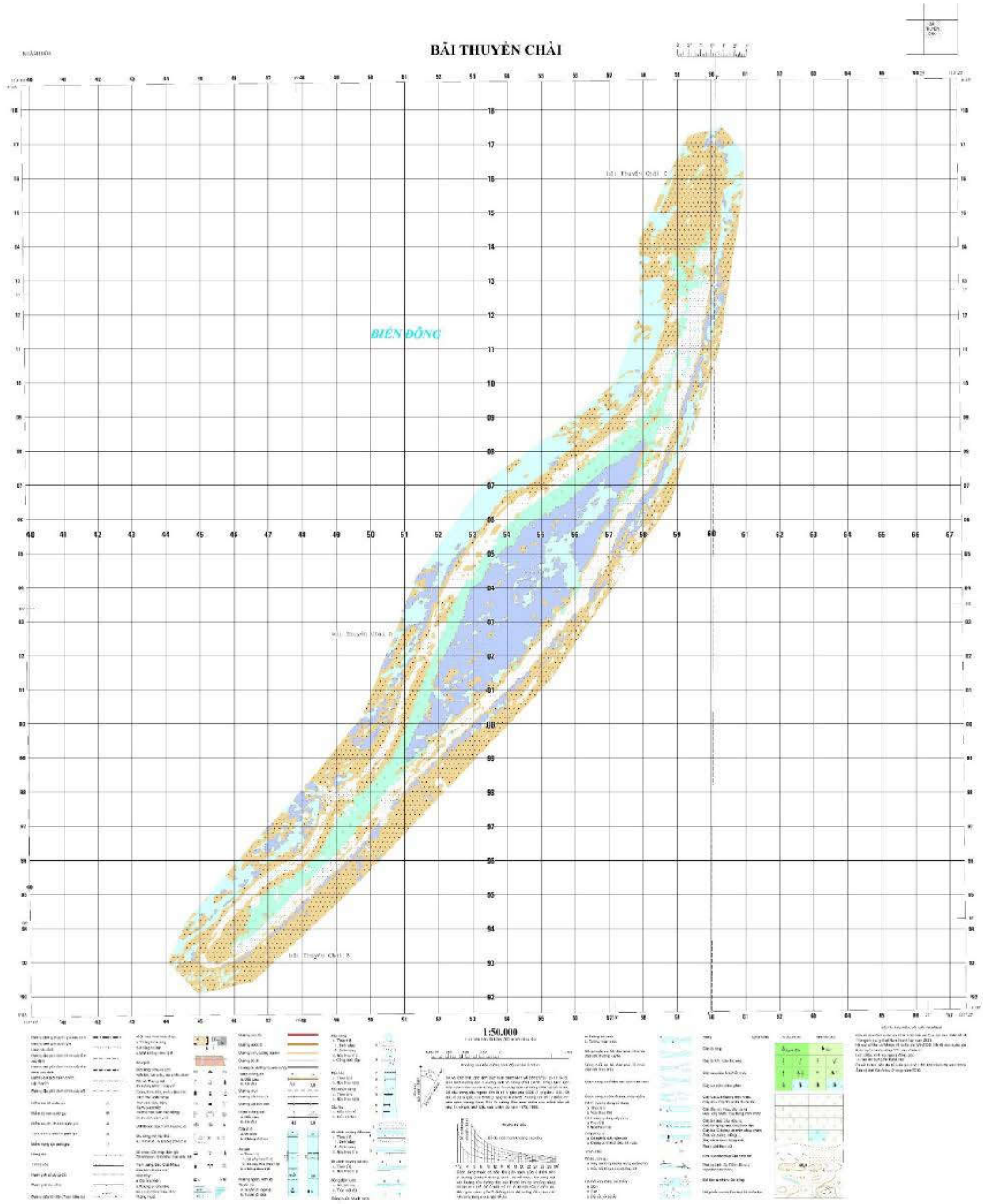
Hình 7: Kết quả xử lý dữ liệu sau phân loại (a) dữ liệu Raster, (b) dữ liệu Vector



(a) ***(b)***

Hình 8: So sánh kết quả xử lý (a) dữ liệu trước khi xử lý, (b) dữ liệu sau xử lý

Dữ liệu sau khi xử lý được chuẩn hóa không gian và thuộc tính vùng hiện trạng để xây dựng CSDL và trình bày bản đồ (Hình 7, Hình 8). Nội dung bản đồ tỷ lệ 1:50.000 được trình bày, biên tập từ CSDL hiện trạng bãi cạn tỷ lệ 1:50.000 phải tuân theo tiêu chuẩn QCVN 42: 2020/BTNMT [1], Thông tư 07/2022/TT-BTNMT [2], bộ ký hiệu BĐĐH tỷ lệ 1:50.000. Bản đồ sau khi đã được biên tập trình bày hoàn chỉnh trong ArcGIS (ở định dạng *.mxd) sẽ được xuất sang định dạng *.pdf. Kết quả thành lập bản đồ hiện trạng bãi cạn tỷ lệ 1:50.000 (Hình 9).



Hình 9: Kết quả thành lập bản đồ hiện trạng bãi cạn tỷ lệ 1:50.000

4. Kết luận

Qua các kết quả nghiên cứu thử nghiệm đã khẳng định các hình ảnh đa phổ của WorldView-2 cho phép thành lập bản đồ hiện trạng lớp phủ ở tỷ lệ trung bình của bãi cạn trên biển đạt độ chính xác theo yêu cầu. Trong nội dung bài báo, nhóm tác giả đã thử nghiệm phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp với thuật toán SVM để phân loại hiện trạng lớp phủ bề mặt trên Bãi Thuyền Chài thuộc quần đảo Trường Sa (Việt Nam). Độ chính xác phân loại được đánh giá dựa vào kết quả giải đoán trên ảnh Pleiades độ

phân giải 0,5 m và ảnh chụp thực địa với độ chính xác tổng thể là 92,41 % và hệ số Kappa là 0,9. Kết quả phân loại này đạt yêu cầu và có thể được sử dụng để xây dựng bản đồ hiện trạng của bãi cạn ngoài biển tỷ lệ 1:50.000. Tuy nhiên, cần có những bước tiếp theo để hoàn thiện và mở rộng nghiên cứu này như: Mở rộng quy mô vị trí thực nghiệm để có thể phân tích tình trạng bãi cạn trên toàn bộ vùng biển của Việt Nam; Sử dụng các nguồn dữ liệu khác nhau để hoàn thiện và kiểm chứng kết quả nghiên cứu; Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng các thuật toán phân loại khác như Random Forests hoặc Convolutional Neural Networks (CNN) để đạt được kết quả tốt hơn trong việc phân loại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, QCVN 42: 2020/BTNMT (2020). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chuẩn thông tin địa lý cơ sở* (Ban hành kèm theo Thông tư số 06/2020/TT-BTNMT ngày 31 tháng 8 năm 2020 của Bộ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường).

[2]. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Thông tư 07/2022/TT-BTNMT (2022*). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về cơ sở dữ liệu nền địa lý quốc gia tỷ lệ 1:50.000, 1:100.000*.

[3]. Đỗ Huy Cường (2017). *Ứng dụng ảnh vệ tinh trong đánh giá một số đặc điểm điều kiện tự nhiên và môi trường khu vực quần đảo Trường Sa*. Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Mã số: VT/UD-04/14-15.

[4]. Lê Minh Hằng, Đỗ Anh Tuấn (2021). *Thành lập bản đồ các vùng san hô trên đảo san hô vòng thuộc quần đảo Trường Sa sử dụng tư liệu Landsat 8OLI*. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, Chuyên san Công trình đặc biệt, vol.04, no.01, p. 98 - 108.

[5]. Lê Thị Thu Hà, Hoàng Văn Long, Nguyễn Văn Trung (2021). *Phân loại lớp phủ bề mặt khu công nghiệp Bắc Thăng Long bằng phương pháp phân loại hướng đối tượng sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh độ phân giải cao Worldview-2.* Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, tập 62, kỳ 1.

[6]. Nguyễn Hào Quang, Lương Văn Thanh, Hồ Đình Duẩn (2021). *Nghiên cứu phân bố san hô ven đảo Lý Sơn bằng công nghệ GIS và viễn thám*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, số 3, p. 264 - 272.

[7]. Nguyễn Thị Oanh, Phùng Minh Tám (2015). *Khả năng ứng dụng phân loại bề mặt lớp phủ bằng thuật toán Support Vector Machine*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp, số 1 - 2015.

[8]. Trịnh Thị Hoài Thu, Lê Thị Thu Hà, Phạm Thị Làn (2012). *So sánh phương pháp phân loại dựa vào điểm ảnh và phương pháp phân loại đối tượng chiết xuất thông tin lớp phủ bề mặt từ ảnh độ phân giải cao.* Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 39, 7/2012, (Chuyên đề Trắc địa mỏ), tr. 59 - 64.

[9]. Aguilar, M.A., Saldaa, M.M., Aguilar, F.J. (2013). *GeoEye-1 and WorldView-2 pan-sharpened imagery for object - based classification in urban environments*. International Journal of Remote sensing, 34:7, 2583 - 2606.

[10]. Alrassi., F., Salim, E., Nina, A., Alwi L., Danoedoro, P., Kamal, M., (2016). *GEOBIA for land use mapping using Worldview-2 image in Bengkak village coastal, Banyuwangi Regency, East Java*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 47, 012009, p. 1 - 12.

[11]. Elsharkawy, A., Elhabiby, M., El-Sheimy, N., (2012). *Improvement in the detection of land cover classes using the WorldView-2 imagery.* ASPRS 2012 Annual Conference Sacramento, California, March 19 - 23.

[12]. Ilyas, Jaelani, L.M., Syariz, M.A., Hidayat, H., (2021). *WorldView-2 satellite image classification using U-Net deep learning model.* Journal of Applied Geospatial Information, Vol.5, No. 2, p. 1 - 8.

[13]. Kaszta, Z., Kerchove, R.V.D., Ramoelo, A., Cho, M.A., Madonsela, S., Mathieu, R., Wolff, E., (2016). *Seasonal*

separation of African Savanna components using Worldview-2 imagery: A comparison of pixeland object - based approaches and selected classification algorithms. Remote Sens., 8, 763, p. 1 - 19.

[14]. Joyce, K.E., Phinn, S.R., Roelfsema, C.M., Neil, D.T., Dennison, W.C. (2004). *Combining Landsat ETM plus and Reef Check classifications for mapping coral reefs: A critical assessment from the southern Great Barrier Reef, Australia*. Coral Reefs, 23, p. 21 - 25.

[15]. Nguyen, T., Liquet, B., Mengersen, K., Sous, D., (2021). *Mapping of coral reefs with multispectral satellites: A review of recent papers*. Remote Sens., 13, 4470, p. 1 - 25.

[16]. Phinn, S.R., Hochberg, E., Roelfsema, C.M. (2013). *Airborne photography, multispectral and hyperspectral remote sensing on coral reefs*. In coral reef remote sensing, Springer: Berlin, Germany, 3 - 25.

[17]. Xu, H.; Liu, Z.; Zhu, J.; Lu, X., and Liu, Q., (2019). *Classification of coral reef benthos around ganquan island using WorldView-2 satellite imagery*. In: Guido-Aldana, P.A. and Mulahasan, S. (eds.), Advances in Water Resources and Exploration. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 93, p. 466 - 474.

[18]. Yamano, H., Tamura, M. (2001). *Use of Landsat TM data and radiative transfer models for monitoring coral reef bleachin.* IGARSS 2001, IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Cat. No.01CH37217), Sydney, NSW, Australia, 5, p. 2199 - 2201.

BBT nhận bài: 05/6/2023; Phản biện xong: 12/6/2023; Chấp nhận đăng: 26/9/2023