

SỬ DỤNG ẢNH VỆ TINH VNREDSAT-1 XÁC ĐỊNH PHÂN BỐ HÀM LƯỢNG CHLOROPHYLL-A KHU VỰC ĐÀM PHÁ VÀ CỬA BIỂN THUẬN AN, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ

Chu Xuân Huy¹, Phạm Văn Chung², Đỗ Thị Phương Thảo²
Nguyễn Minh Ngọc¹, Lê Anh Phước³, Lê Anh Tuấn³
Lê Thu Thủy¹, Tống Thị Huyền Ái¹, Đặng Thế Thuận⁴

¹Viện Công nghệ Vũ trụ

²Trường Đại học Mở - Địa chất

³Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Đắk Lắk

⁴Phòng Tài nguyên và Môi trường thành phố Dĩ An, tỉnh Bình Dương

Tóm tắt

Chlorophyll-a là chỉ thị đặc trưng cho sự có mặt và số lượng của tảo, vi khuẩn lam; thường được dùng như một chỉ số cơ bản để đánh giá độ phú dưỡng hay chất lượng nước của các thủy vực nội địa vì nó phản ánh trực tiếp sức khỏe của hệ sinh thái thủy sinh. Sử dụng dữ liệu viễn thám để tính toán hàm lượng Chlorophyll-a là một trong những ứng dụng cơ bản trong giám sát chất lượng nước, với ưu thế cung cấp thông tin thường xuyên và liên tục quan sát trong một vùng rộng lớn. Bài báo trình bày kết quả sử dụng ảnh vệ tinh VNREDSat-1 để xác định phân bố hàm lượng Chlorophyll-a khu vực đầm phá và cửa biển Thuận An - Thừa Thiên Huế phục vụ công tác đánh giá hiện trạng môi trường nước. Giá trị thực đo và giá trị tính toán trên ảnh là tương đồng, hoàn toàn khả thi khi ứng dụng ảnh VNREDSat-1 vào tính toán hàm lượng Chlorophyll-a.

Từ khóa: Chlorophyll-a; VNREDSat-1; Môi trường nước; Thừa Thiên Huế.

Abstract

Using VNREDSat-1 satellite images to determine the distribution of Chlorophyll-a in the lagoon and Thuan An estuary, Thua Thien Hue province

Chlorophyll-a is an indicator for the presence and quantity of algae, cyanobacteria; It often used as a basic indicator to assess the eutrophication or water quality of inland water bodies because it directly reflects the health of aquatic ecosystems. Using remote sensing data to extract Chlorophyll-a is one of the basic applications in water quality monitoring with the advantage of providing information regularly and continuously observed in a large area. This paper presents the results of using VNREDSat-1 satellite images to determine the distribution of Chlorophyll-a in the lagoon and Thuan An estuary, Thua Thien Hue to serve the assessment the current state of the water environment. The real measured value and image value are similar. It is completely feasible when applying VNREDSat-1 image to calculate Chlorophyll-a.

Keywords: Chlorophyll-a; VNREDSat-1; Water environment; Thua Thien Hue.

Nghiên cứu

1. Đặt vấn đề

Chlorophyll-a (Chl-a) là một chất diệp lục cho biết về lượng tảo phát triển trong nước, có thể được sử dụng để phân loại điều kiện dinh dưỡng của một vùng nước mặt hay đánh giá chất lượng nước của các thủy vực nội địa vì phản ánh trực tiếp được sức khỏe của hệ sinh thái thủy sinh [10], tuy nhiên các tài liệu đo đạc trực tiếp cũng như lưu trữ Chl-a là rất ít và không liên tục [14].

Hiện nay, trong nước đã có những nghiên cứu tiến hành phân tích nồng độ Chl-a bằng các phương pháp đo đạc trực tiếp [9] hay ứng dụng công nghệ viễn thám thông qua dữ liệu ảnh chụp bề mặt nước [7,10,11,14]. Các nghiên cứu này đều sử dụng các nguồn dữ liệu ảnh như MODIS,

Landsat, hay Sentinel-2 được nhiều nghiên cứu trên thế giới thực hiện và công bố do đó có những thuận lợi nhất định.

Dữ liệu ảnh VNREDSat-1 được đưa vào sử dụng từ năm 2013 với bốn kênh đa phổ Red, Green, Blue, NIR và độ phân giải không gian là 10 m. Mặc dù đã có nghiên cứu cho rằng nguồn dữ liệu này không thích hợp với cho việc tính toán hàm lượng Chl-a do không có các kênh phổ ở dải nhỏ hơn 430 nm [11], nhưng khi so sánh với các kênh phổ của ảnh Landsat-7, Landsat-8 (Bảng 1) là những dữ liệu đã được áp dụng để tính toán hàm lượng Chl-a [5,1,2], cho thấy ảnh VNREDSat-1 có khả năng tính toán được hàm lượng Chl-a và điều này cũng đã được nghiên cứu gần đây công bố [4].

Bảng 1. So sánh kênh phổ của VNREDSat-1 và Landsat-7, Landsat-8

Kênh phổ	VNREDSat-1	Landsat-7	Landsat-8
Blue	450 - 520 (nm)	441 - 514 (nm)	452 - 512 (nm)
Green	530 - 600 (nm)	519 - 601 (nm)	533 - 590 (nm)
Red	620 - 690 (nm)	631 - 692 (nm)	636 - 673 (nm)
NIR	760 - 890 (nm)	772 - 898 (nm)	851 - 879 (nm)

Bài báo này đề cập đến nghiên cứu sử dụng ảnh vệ tinh VNREDSat-1 để xác định phân bố hàm lượng Chl-a khu vực đầm phá và cửa biển Thuận An - Thừa Thiên Huế, trên cơ sở thừa kế nghiên cứu trước đây [4]. Kết quả cho thấy một cách nhìn trực quan về phân bố hàm lượng Chl-a trong khu vực nghiên cứu đồng thời cung cấp thông tin phục vụ công tác đánh giá hiện trạng môi trường nước.

2. Khu vực nghiên cứu

Cửa Thuận An cách thành phố Huế 15 km về phía đông bắc. Cửa này là thủy lộ chính thông sông Hương qua phá Tam Giang ra Biển Đông. Vì là nút giao thông nối liền vùng cận duyên và lưu vực sông Hương, cửa Thuận An đóng vai trò trọng

yếu đối với cố đô Huế về mặt chiến lược, thương mại, cũng như kinh tế. Bên cạnh đó, hệ đầm phá Tam Giang - Cầu Hai được xem là hệ thống đầm phá lớn nhất Đông Nam Á với diện tích gần 22.000 ha mặt nước, kéo dài 68 km dọc bờ biển của tỉnh Thừa Thiên Huế [15].



Hình 1: Vị trí khu vực nghiên cứu

Trong những năm qua, chất lượng môi trường nước bị ảnh hưởng và ô nhiễm từ các hoạt động sinh hoạt, cảng cá, giao thông cảng, du lịch, nuôi trồng thủy sản. Nước có hàm lượng ôxy hoà tan cao, ít bị ô nhiễm chất hữu cơ nhưng hàm lượng chất hữu cơ xu hướng cao hơn các vùng khác, dư lượng hóa chất bảo vệ thực vật có clo vẫn xuất hiện trong nước. Hiện nay, tỉnh và thành phố Huế đã thực hiện nhiều biện pháp để cải tạo môi trường nước tại

đây và đã có những kết quả khả quan.

3. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu

Ảnh vệ tinh VNREDSat-1 sử dụng để tính toán hàm lượng Chl-a khu vực đầm phá Tam Giang trong 01 cảnh ảnh có độ phân giải 10 m (đối với kênh đa phổ), độ rộng dải quét là 17,5 km, các thông số cụ thể như Bảng 2:

Bảng 2. Thông số cảnh ảnh VNREDSat-1 khu vực nghiên cứu

Ngày chụp	Góc nghiêng vệ tinh	Góc phương vị vệ tinh	Góc nghiêng dọc	Góc nghiêng ngang	Góc phương vị mặt trời	Góc cao mặt trời
13/4/2022	28,5532°	209,9502°	24,5060°	8,16607°	112,8199°	70,4987°

3.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong những năm qua rất nhiều thuật toán đã được phát triển để ước tính nồng độ Chlorophyll, mỗi nhà khoa học làm việc cho một khu vực cụ thể kết quả là có các dạng thuật toán các vùng nước khác nhau (OC4 phát triển bởi O ‘ Reilly et al., 1998 [12], thuật toán NIR-red phát triển bởi Moses et al., (2012) [8]), một trong số các thuật toán trên có thể được sử dụng để ước tính tốt Chl-a của khu vực ven biển Việt Nam. Khu vực nghiên cứu là cửa biển Thuận An là nơi chịu ảnh hưởng mạnh do thủy triều, hoạt động dân sinh khu vực xung quanh, hoạt động nuôi trồng thủy sản tại hệ đầm phá Tam Giang - Cầu Hai nên mục tiêu là cần phải lựa chọn và đưa ra thuật toán thích hợp nhất với khu vực đã lựa chọn.

được phát triển trên nền OC4v6 đem lại độ chính xác gần như tương đối với giá trị thực đo. Thuật toán này đã được triển khai, thực nghiệm với vùng nước ven bờ Việt Nam nói chung và vùng ven Nhơn Trạch nói riêng sau đó so sánh với giá trị thực đo những năm trước đó và kết quả thì hầu như chính xác, đây là một phiên bản cải tiến của OC4v6 sử dụng 4 kênh tỉ lệ lớn nhất. Thuật toán mới này giúp chúng ta ước tính trên vùng biển ven bờ Việt Nam Chl-a có giá trị từ 0,132 đến 33,37 mg.m⁻³, trong tương lai có thể sử dụng cho những vùng nước ven bờ có tính chất nước tương tự.

Nhiều nghiên cứu về việc triển khai công thức tính hàm lượng Chl-a đã được tiến hành, tuy nhiên có thuật toán OC4_2

Xuất phát từ thuật toán đầu tiên là Ocean Chlorophyll 4 (OC4), thuật toán màu đại dương thực nghiệm này có lợi thế tiềm năng duy trì khả năng cảm biến tín hiệu vệ tinh cao nhất tỷ lệ nhiễu trên bậc ba phạm vi giá trị nồng độ chlorophyll. Công thức được sử dụng sau đây:

$$Chl - a = 10^{0.4708 - 3.8469 * R + 4.5338 * R^2 - 0.4434 * R^3} - 0.0414 \tag{1}$$

Với:

$$R = \log \left(\frac{\max(Rrs_{443} - Rrs_{490} - Rrs_{510})}{Rrs_{555}} \right) \tag{2}$$

Nghiên cứu

Rrs_{443} , Rrs_{490} , Rrs_{510} , Rrs_{555} là giá trị bức xạ của kênh phổ 443 μm , 490 μm , 510 μm , 555 μm ($W/str/\mu m/m^2$).

Thuật toán thứ hai được sử dụng là Thuật toán MERIS-based NIR-red. Các

thuật toán hai kênh và ba kênh NIR-red phù hợp để ước tính một cách tương đối chính xác nồng độ Chl-a có khoảng giá trị cao, từ 1,09 $mg.m^{-3}$ - 107,82 $mg.m^{-3}$.

Thuật toán hai kênh và ba kênh NIR-red tương ứng với các phương trình sau đây:

$$Chl - a = 61.324 \frac{Rrs_{708}}{Rrs_{665}} - 37.94$$

$$Chl - a = 232.29 \left[\left(\frac{1}{Rrs_{665}} - \frac{1}{Rrs_{708}} \right) * Rrs_{753} \right] + 23.174 \tag{3}$$

Rrs_{665} , Rrs_{708} , Rrs_{753} là giá trị bức xạ của kênh phổ 665 μm , 708 μm , 753 μm , ($W/str/\mu m/m^2$).

Thuật toán cuối cùng là thuật toán OC4v6. Đây là một phiên bản cập nhật (năm 2009) của OC4, phương trình dùng để ước lượng Chl-a là:

$$Chl - a = 10^{(0.3272 - 2.994 * R + 2.7218 * R^2 - 1.2259 * R^3 - 0.5683 * R^4)} \tag{4}$$

Với R giống như trường hợp OC4 Sau khi thử nghiệm thuật toán OC4v6 được ước tính là phù hợp nhất cho các vùng ven biển Việt Nam, tuy vậy, các kết quả thu được vẫn có chênh lệch Chl-a ước tính và thực đo vẫn khá đáng kể và

cần phải được thu hẹp. Do vậy đã chỉnh sửa các hệ số và sử dụng hàm mũ tự nhiên cho phù hợp với điều kiện thực tế tại khu vực nghiên cứu là vùng nước cửa Thuận An. Sau chỉnh sửa, công thức tính hàm lượng Chl-a sẽ là:

$$Chl - a = e^A \tag{5}$$

Với:

$$A = a * \left(\lg \frac{B}{G} \right)^3 + b * \left(\lg \frac{B}{G} \right)^2 + c * \lg \frac{B}{G} + d \tag{6}$$

Trong đó B, G là giá trị bức xạ tại kênh Blue và kênh Green của dữ liệu ảnh VREDSat-1 hoặc dữ liệu khác tương đương.

Các hệ số a, b, c, d lần lượt là: a = 0.36, b = -2.07, c = 1.96, d = 0.706



Hình 2: Quy trình thành lập bản đồ phân bố hàm lượng Chl-a từ ảnh VNREDSat-1

Quy trình thực hiện trong nghiên cứu này được mô tả trong Hình 2.

4. Kết quả

4.1. Tính chuyển giá trị ảnh

Ảnh VNREDSat-1 là ảnh vệ tinh đa phổ, muốn sử dụng giá trị phản xạ thực của các đối tượng trên mặt đất thì phải thực hiện các bước tính chuyển, Cụ thể như sau:

Tính chuyển giá trị độ xám sang giá trị bức xạ theo công thức sau:

$$R(p, b) = \frac{Y(p, b)}{K_b}$$

Trong đó: $R(p, b)$ là giá trị bức xạ thu được từ cảnh ảnh. Đơn vị đo là $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$

$Y(p, b)$ là giá trị tín hiệu đầu ra. Đơn vị là LSB (đã được hiệu chỉnh giá trị tối

và hệ số tăng ích tương quan giữa các điểm ảnh).

K_b là hệ số chuyển đổi chính xác đối với từng kênh theo Bảng 3. Đơn vị là $LSB/(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$

Bảng 3. Hệ số chuyển đổi chính xác

Hệ số chuyển đổi chính xác : K_b, E_b			
Kênh	Tên	Giá trị K_b	Giá trị E_b
B1	Blue	1.6382548072236700	1967
B2	Green	1.6213056650501201	1812
B3	Red	1.8478962570830899	1527
B4	NIR	2.5112173640667201	1085

Tính chuyển giá trị bức xạ sang giá trị phản xạ

$$\rho(p, b) = \pi \frac{R(p, b)}{E_b \cos \theta_s} d_s^2$$

Trong đó: d_s là khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trời theo đơn vị thiên văn Bảng 4

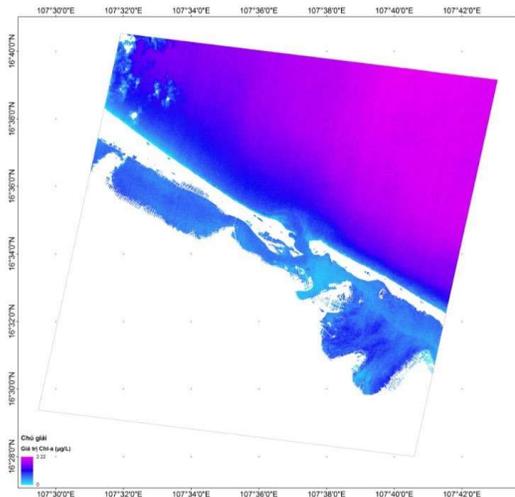
θ_s là góc cao mặt trời;

E_b là giá trị bức xạ mặt trời (Bảng 2). Đơn vị $W/(m^2 \cdot \mu m)$

Bảng 4. Khoảng cách từ trái đất đến mặt trời theo đơn vị thiên văn

Khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trời theo đơn vị thiên văn (d_s)									
Ngày trong năm	Khoảng cách	Ngày trong năm	Khoảng cách	Ngày trong năm	Khoảng cách	Ngày trong năm	Khoảng cách	Ngày trong năm	Khoảng cách
1	0.98331	74	0.99446	152	1.01403	227	1.01218	305	0.99253
15	0.98365	91	0.99926	166	1.01577	242	1.00969	319	0.98916
32	0.98536	106	1.00353	182	1.01667	258	1.00566	335	0.98608
46	0.98774	121	1.00756	196	1.01646	274	1.00119	349	0.98426
60	0.99084	135	1.01087	213	1.01497	288	0.99718	365	0.98333

4.2. Tính giá trị Chl-a



Hình 3: Phân bố hàm lượng Chl-a tính toán từ ảnh VNREDSat-1

Sau khi tính toán xong giá trị bức xạ, giá trị phản xạ tiến hành tính giá trị Chl-a theo công thức đã trình bày ở Mục 3, áp dụng với các thông số của cảnh ảnh (Bảng 2).

Sau khi tính toán, nhóm nghiên cứu thực hiện kiểm tra độ chính xác của công thức bằng các mẫu xét nghiệm thực địa. Các mẫu nước này được phân tích theo phương pháp Lorenzen (1967), theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6662 - 2000. Đơn vị của hàm lượng Chl-a sử dụng trong nghiên cứu này là $\mu g/L$.

Số liệu thu thập thực địa và kết quả đo đạc trên ảnh sau khi tính toán được mô

Nghiên cứu

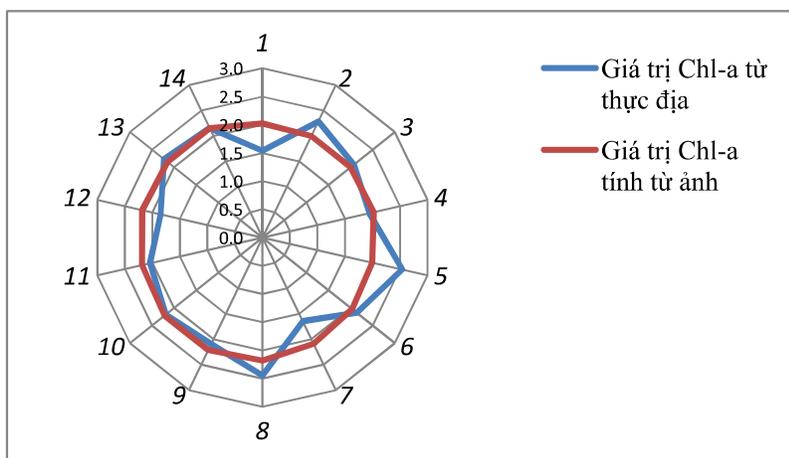
tả trong bảng dưới đây và so sánh sự khác biệt giữa hai giá trị này được thể hiện trong Hình 3. Thời điểm lấy mẫu diễn ra từ ngày 10 - 13/4/2022 để đảm bảo sự đồng nhất với thời điểm chụp ảnh.

Do khu vực nghiên cứu là khu vực cửa biển nên dưới sự hoạt động của thủy triều và sóng, giá trị Chl-a theo mỗi giờ trong ngày đã có sự thay đổi

nhất định. Để đồng nhất với dữ liệu ảnh là điều khó khăn, do vậy nhóm tác giả đã lựa chọn cùng một thời điểm lấy mẫu trong các ngày liên tục nhau. Đồng thời, với khả năng chụp lặp lại trong ba ngày của vệ tinh VNREDSat-1 thì có thể thu được hai bộ dữ liệu ảnh, tuy vậy dữ liệu ảnh ngày 10/4/2022 không sử dụng do nhiều mây.

Bảng 5. Giá trị Chl-a thực địa và trên ảnh (đơn vị $\mu\text{g/L}$)

STT	Số liệu thực địa	Số liệu trên ảnh	STT	Số liệu thực địa	Số liệu trên ảnh
1	1.5	2.0	8	2.4	2.2
2	2.3	2.0	9	2.1	2.2
3	2.1	2.0	10	2.2	2.2
4	1.9	2.0	11	2.0	2.2
5	2.5	2.0	12	1.8	2.2
6	2.1	2.0	13	2.2	2.2
7	1.6	2.1	14	2.2	2.2



Hình 4: So sánh giá trị đo đạc mẫu thực địa và giá trị tính toán từ ảnh

Kết quả so sánh chỉ ra sự tương đồng giữa các mẫu thu thập từ thực địa và tính toán từ ảnh. Các giá trị này dao động lớn nhất tại điểm kiểm chứng số 1 và số 5 (0,5 $\mu\text{g/L}$). Điều này đảm bảo độ tin cậy của thuật toán đề xuất trong nghiên cứu.

Từ Bảng 5 có thể thấy, giá trị Chl-a tính toán trên ảnh gần như bằng nhau, sự sai khác là rất ít. Nguyên nhân của điều này là do các điểm mẫu nằm trong cùng một khu vực nuôi trồng thủy sản thuộc

phá Tam Giang và đầm Cầu Hai, có điều kiện tự nhiên và cùng kỹ thuật, mùa vụ nuôi trồng tương đồng. Hơn nữa, hai vùng này đã được cải tạo nhiều nên đảm bảo tính ổn định gần như vùng nước kín và tại thời điểm chụp ảnh chưa có nhiều hoạt động của thủy triều.

Mặc dù kết quả thu được là khả quan, nhưng thuật toán này mới đang dừng lại ở đối tượng tài nguyên nước ven bờ và vùng đầm phá xung quanh. Hơn thế nữa,

tùy theo đặc điểm của mỗi khu vực, hệ số trong công thức 2 nói trên cần được thay đổi để phù hợp và chính xác.

5. Kết luận

Kết quả tính toán đã thể hiện sự phân bố hàm lượng Chl-a tại khu vực đầm phá Tam Giang - Cầu Hai, cửa biển Thuận An, tỉnh Thừa Thiên Huế. Sự tương đồng giữa kết quả tính toán (sai số lớn nhất là 0,5 $\mu\text{g/L}$) phân bố hàm lượng Chl-a từ ảnh VNREDSat-1 và kết quả đo đạc thực địa đã chứng minh thuật toán đề xuất phù hợp với khu vực nghiên cứu.

Biên độ dao động hàm lượng Chl-a theo tính toán trên ảnh trong khoảng 0,19 $\mu\text{g/L}$ đến 2,2 $\mu\text{g/L}$. giá trị trung bình là 1,37 $\mu\text{g/L}$. Kết quả này thấp hơn khá nhiều các vùng khác như cửa Lục, Quảng Ninh (7,54 $\mu\text{g/L}$) hay cửa Ba Lạt, Thái Bình (4,4 $\mu\text{g/L}$) [6]. Điều này có nghĩa môi trường nước tại khu vực chưa đạt đến mức phì dưỡng [3], tức là chất lượng môi trường nước đang ở mức khá tốt.

Lời cảm ơn: Bài báo đã sử dụng tư liệu và một số kết quả của đề tài “Nghiên cứu, phát triển thuật toán Chlorophyll-a cho ảnh VNREDSat-1 và tương đương”. Mã số QTRU02.13/21 - 22

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bonansea, M.; Rodriguez, M.C.; Pinotti, L.; Ferrero, S. (2015). *Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina)*. Remote Sens. Environ. 158, 28 - 41.

[2]. Buma, W.G.; Lee, S. I. (2020). *Evaluation of Sentinel-2 and Landsat 8 images for estimating Chlorophyll-a concentrations in lake Chad, Africa*. Remote Sens. 12, 2437.

[3]. Chapman D. (1992). *Water quality*

assessments. 1st Ed., Chapman & Hall. WHO, UNESCO, UNEP, Great Britain.

[4]. Chu Xuân Huy, Nguyễn Minh Ngọc, Hoàng Hải, Bùi Doãn Cường, Nguyễn Lan Anh, Trần Tân Phong, Đỗ Thị Phương Thảo (2018). *Nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám VNREDSat-1 đánh giá chất lượng nước phục vụ công tác nuôi trồng thủy sản khu vực Nhơn Trạch, Đồng Nai*. Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường, Số 23, tháng 12/2018, trang 3 - 12.

[5]. Duan, H.; Zhang, Y.; Zhang, B.; Song, K.; Wang, Z. (2007). *Assessment of Chlorophyll-a concentration and trophic state for Lake Chagan using Landsat TM and field spectral data*. Environ. Monit. Assess 2007, 129, 295 - 308.

[6]. Dương Thanh Nghị (2016). *Quan trắc và phân tích môi trường biển ven bờ miền Bắc*. Báo cáo đề tài, Viện Tài nguyên và Môi trường biển, 55 trang.

[7]. Lê Minh Sơn (2008). *Thành lập bản đồ nhiệt độ bề mặt nước biển và hàm lượng Chlorophyll-a khu vực biển Đông từ ảnh MODIS*. Tạp chí Viễn thám và Địa tin học, số 5/2008.

[8]. Moses W., Gitelson A., Berdnikov S., Saprygin V., Povazhnyi V. (2012). *Operational MERIS-based NIR-red algorithms for estimating Chlorophyll-a concentrations in coastal waters - The Azov Sea case study*. Remote Sensing of Environment 121, 118 - 124.

[9]. Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Thị Khánh Tuyên (2017). *Phân tích tương quan giữa giá trị NDVI với hàm lượng Chlorophyll-a để thành lập bản đồ phân bố lục bình trên các con sông chảy qua tỉnh Bình Dương*. Tạp chí Khoa học Đại học Thủ Dầu Một, số 4 (35) - 2017.

[10]. Nguyễn Thị Thu Hà (2016). *Thử nghiệm mô hình hóa sự phân bố không gian của hàm lượng Chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng nước Hồ Tây sử dụng ảnh Sentinel-2A*. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 2S (2016) 121 - 130.

Nghiên cứu

- [11]. Nguyễn Văn Thảo (2015). *Nghiên cứu các phương pháp phân tích, đánh giá và giám sát chất lượng nước ven bờ bằng tư liệu viễn thám độ phân giải cao và độ phân giải trung bình, đa thời gian; Áp dụng thử nghiệm cho ảnh của vệ tinh VNREDSat-1*. Đề tài thuộc chương trình Khoa học và Công nghệ vũ trụ giai đoạn 2012 - 2015, mã số VT/CB-01/14-15.
- [12]. O'Reilly J., Maritorena S., Mitchell G., Siegel D., Carder K., Garver S., Kahru M. and McClain C. (1998). *Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS*. Journal of geophysical research, vol. 103, no. C11, p. 24, 937 - 24, 953.
- [13]. Tilstone G, Angel-Benavides I., Pradhan Y., Shutler J., Groom S., Sathyendranath S. (2011). *An assessment of Chlorophyll-a algorithms available for SeaWiFS in coastal and open areas of the Bay of Bengal and Arabian Sea*. Remote Sensing of Environment 115, 2277 - 2291.
- [14]. Vũ Văn Tác (2014). *Phân bố hàm lượng Chlorophyll trung bình tháng vùng Biển Đông từ tháng 8/2011 đến 7/2012*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 14, Số 1; 2014: 25 - 31 ISSN: 1859 - 3097.
- [15]. Website: //thuathienhue.gov.vn/.
BBT nhận bài: 09/11/2022; Phản biện xong: 18/11/2022; Chấp nhận đăng: 12/12/2022