

XÁC ĐỊNH HÀM LƯỢNG CHẤT LƠ LŨNG TRONG NƯỚC MẶT TRÊN CƠ SỞ CHỈ SỐ VẬT CHẤT LƠ LŨNG CHUẨN HÓA NSMI, THỬ NGHIỆM CHO KHU VỰC VEN BIỂN CẨM PHẢ, TỈNH QUẢNG NINH

Nguyễn Thị Lệ Hằng¹, Phạm Thị Thu Hương¹, Trịnh Lê Hùng²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt

Ô nhiễm nước mặt đang trở thành một vấn đề môi trường cấp bách đối với nhiều địa phương ở Việt Nam. Bài báo này trình bày kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng (TSS) trong nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả, Quảng Ninh bằng dữ liệu ảnh vệ tinh quang học Sentinel - 2A. Trong bài báo, nhóm tác giả sử dụng chỉ số vật chất lơ lửng chuẩn hóa (NSMI - Normalized Suspended Material Index) và kết quả quan trắc nhằm xây dựng hàm hồi quy xác định hàm lượng chất lơ lửng. Kết quả nhận được trong nghiên cứu có thể sử dụng phục vụ công tác giám sát, đánh giá và quản lý chất lượng nước mặt khu vực ven biển.

Từ khóa: Viễn thám; Chất lượng nước; Chất lơ lửng; Sentinel - 2A; Cẩm Phả.

Abstract

Determination of suspended sediment concentration based on Normalized Suspended Material Index (NSMI) - a case study in coastal area of Cam Pha city, Quang Ninh province

Water pollution has become an urgent environmental problem for many localities in Vietnam. This article presents the results of determination of suspended sediment concentration in surface water of coastal area of Cam Pha city, Quang Ninh province using Sentinel - 2A multispectral images. This study used Normalized Suspended Material Index (NSMI) and in situ data to build the regression function. The study results can be used for monitoring, evaluation and management of surface water quality in coastal areas.

Keywords: Remote sensing; Water quality; Suspended sediment; Sentinel - 2A; Cam Pha.

1. Đặt vấn đề

Nước là tài nguyên thiên nhiên quý giá, là yếu tố không thể thiếu trong toàn bộ sự sống và các quá trình xảy ra trên Trái đất [3]. Trong những năm qua, cùng với sự gia tăng dân số và phát triển kinh tế - xã hội, trong đó có hoạt động khai thác khoáng sản đã ảnh hưởng tiêu cực đến nguồn nước khiến tình trạng ô nhiễm nước mặt diễn ra nghiêm trọng. Nghiên cứu đánh giá và giám sát chất lượng môi

trường nước mặt trở thành một vấn đề cấp thiết, góp phần bảo vệ và sử dụng bền vững nguồn tài nguyên nước mặt.

Trong hơn 3 thập kỷ qua, công nghệ viễn thám đã có những thành tựu hết sức to lớn trong lĩnh vực nghiên cứu Trái đất và trở thành một công cụ quan trọng phục vụ nghiên cứu, giám sát môi trường nói chung, môi trường nước mặt nói riêng. Nhiều nghiên cứu trên thế giới như của các tác giả [4, 6, 7, 8, 9, 12] đã sử dụng tư

Nghiên cứu

liệu ảnh vệ tinh quang học SPOT, Landsat, MODIS nhằm xác định hàm lượng các thông số chất lượng nước như chất lơ lửng, chất diệp lục, chất hữu cơ hòa tan,... Ở Việt Nam cũng đã có một số nghiên cứu sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh quang học để đánh giá chất lượng nước khu vực ven biển Quảng Ninh - Hải Phòng [2], Hồ Trị An (Đồng Nai) [14], Hồ Tây (Hà Nội) [1].

Vệ tinh Sentinel - 2, bao gồm 2 vệ tinh (Sentinel - 2A và Sentinel - 2B) sau khi được phóng lên quỹ đạo đã cung cấp

ảnh ở 13 kênh phổ trong dải sóng nhìn thấy và hồng ngoại (bảng 1). Với thời gian cập nhật 5 ngày và được cung cấp hoàn toàn miễn phí, ảnh vệ tinh Sentinel - 2 đang trở thành nguồn tư liệu quý giá phục vụ nghiên cứu tài nguyên thiên nhiên, giám sát môi trường, trong đó có đánh giá chất lượng nước mặt. Bài báo này trình bày kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng trong nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả, Quảng Ninh từ 02 cảnh ảnh vệ tinh Sentinel - 2A năm 2016.

Bảng 1. Đặc điểm các kênh phổ ảnh vệ tinh Sentinel - 2

Kênh	Tên kênh	Bước sóng (µm)	Độ phân giải không gian (m)
Kênh 1	Coastal aerosol	0,421 - 0,457	60
Kênh 2	Blue	0,439 - 0,535	10
Kênh 3	Green	0,537 - 0,582	10
Kênh 4	Red	0,646 - 0,685	10
Kênh 5	Vegetation Red Edge	0,694 - 0,714	20
Kênh 6	Vegetation Red Edge	0,731 - 0,749	20
Kênh 7	Vegetation Red Edge	0,768 - 0,796	20
Kênh 8	Near Infrared	0,767 - 0,908	10
Kênh 8a	Vegetation Red Edge	0,848 - 0,881	20
Kênh 9	Water vapour	0,931 - 0,958	60
Kênh 10	SWIR - Cirrus	1,338 - 1,414	60
Kênh 11	SWIR	1,539 - 1,681	20
Kênh 12	SWIR	2,072 - 2,312	20

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở khoa học

Theo Mobley (1999), giá trị phản xạ viễn thám R_{rs} đối với nước được xác định bằng công thức sau [10]:

$$R_{rs} = \frac{L_w}{E_d} \quad (1)$$

Trong đó: L_w là bức xạ rời khỏi mặt nước,

E_d là bức xạ từ mặt trời hay bức xạ nguồn sáng đi tới mặt nước.

$$E_d = \pi \cdot \frac{1}{R_p(\lambda)} \cdot L_d(\lambda) \quad (2)$$

Với: L_d là bức xạ phổ đo được, R_p là

tham số phản xạ, λ là kênh ảnh tương ứng với bước sóng tương thích.

L_w có dạng:

$$L_w(\lambda) = L_u(\lambda) - k \cdot L_s(\lambda) \quad (3)$$

Với: k là tham số tỉ lệ giữa bức xạ bầu trời L_s và bức xạ phản xạ trực tiếp từ bề mặt nước L_r .

Do đặc điểm thu nhận, ảnh viễn thám quang học nói chung để đưa vào sử dụng cần phải tiến hành hiệu chỉnh ảnh hưởng của môi trường khí quyển. Để hiệu chỉnh các ảnh hưởng của khí quyển đến chất lượng ảnh, ảnh gốc cần biến đổi từ giá trị số nguyên (digital number - DN) về ảnh phản xạ ở đỉnh khí quyển R^* (top of atmospheric - TOA), sau đó đưa về phản

xạ bề mặt thông qua phép hiệu chỉnh khí quyển [10].

$$R^* = T_g (R_a + R_r + T_d \cdot R_w) \quad (4)$$

Trong đó: R_a và R_r là phản xạ sol khí (aerosol) và phản xạ Rayleigh, T_g và T_d là tham số truyền dẫn và khuếch tán bức xạ trong khí quyển.

Như vậy, phản xạ viễn thám R_{rs} được tính theo mối quan hệ sau [10]:

$$R_{rs} = \frac{R_w}{\pi (1 + S \cdot R_w)} \quad (4)$$

Ở đây S là giá trị suất phân chiếu bầu trời (albedo).

Từ những phân tích trên có thể kết luận rằng, phản xạ viễn thám xác định từ tư liệu ảnh vệ tinh quang học tuân theo quy luật khách quan khi có tương tác của ánh sáng vào đối tượng nước [10].

2.2. Chỉ số vật chất lơ lửng chuẩn hóa NSMI

Để đánh giá phân bố hàm lượng chất lơ lửng, Tác giả Montalvo [11] đã đề xuất sử dụng chỉ số vật chất lơ lửng chuẩn hóa NSMI (Normalized Suspended Material Index). Chỉ số này được tính toán dựa trên phản xạ phổ tại các kênh trong dải sóng nhìn thấy, bao gồm kênh xanh lam (blue), xanh lục (green) và đỏ (red).

Chỉ số NSMI được xác định theo công thức sau [13]:

$$NSMI = \frac{\rho_{RED} + \rho_{GREEN} - \rho_{BLUE}}{\rho_{RED} + \rho_{GREEN} + \rho_{BLUE}} \quad (6)$$

Đối với ảnh Sentinel - 2, để tính chỉ số NSMI sử dụng phản xạ phổ tại các kênh 2 (blue), kênh 3 (green) và kênh 4 (red).

2.3. Xây dựng hàm hồi quy

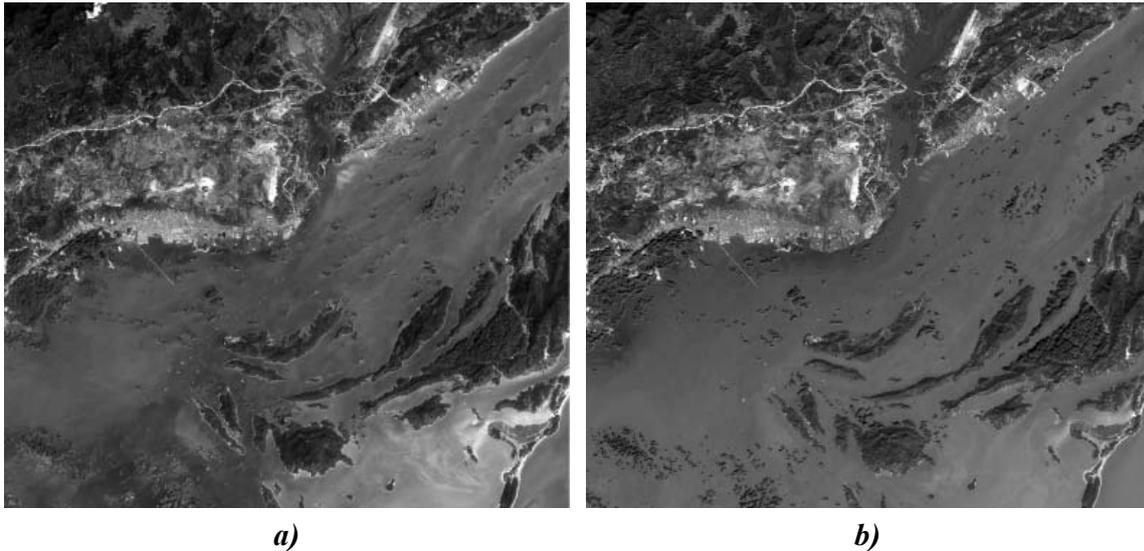
Giá trị chỉ số NSMI xác định từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A và hàm lượng chất lơ lửng tại các trạm quan trắc và các điểm lấy mẫu chất lượng nước được sử dụng để

xây dựng hàm hồi quy nhằm thể hiện mối quan hệ giữa chỉ số NSMI và hàm lượng TSS. Các dạng hàm hồi quy khác nhau, bao gồm dạng tuyến tính, dạng mũ, dạng logarithm, dạng đa thức được thử nghiệm nhằm lựa chọn phương án tối ưu (trên cơ sở hệ số R^2). Trong nghiên cứu này, hàm lượng TSS tại 15 điểm quan trắc, lấy mẫu chất lượng nước được sử dụng để xây dựng hàm hồi quy, trong khi đó giá trị TSS tại 05 điểm lấy mẫu được sử dụng để đánh giá độ chính xác.

3. Kết quả và thảo luận

Tư liệu viễn thám sử dụng trong nghiên cứu là 02 cảnh ảnh vệ tinh Sentinel - 2A chụp ngày 16/4/2016 và 01/12/2016 (hình 1), được cung cấp miễn phí tại website <https://earthexplorer.usgs.gov>. Ảnh Sentinel - 2A sau khi thu thập được tiến xử lý nhằm loại bỏ các sai số về phổ và sai số hình học. Để xác định phản xạ phổ bề mặt, trong nghiên cứu sử dụng phương pháp “trừ đối tượng tối” - DOS (Dark Object Subtraction) [13].

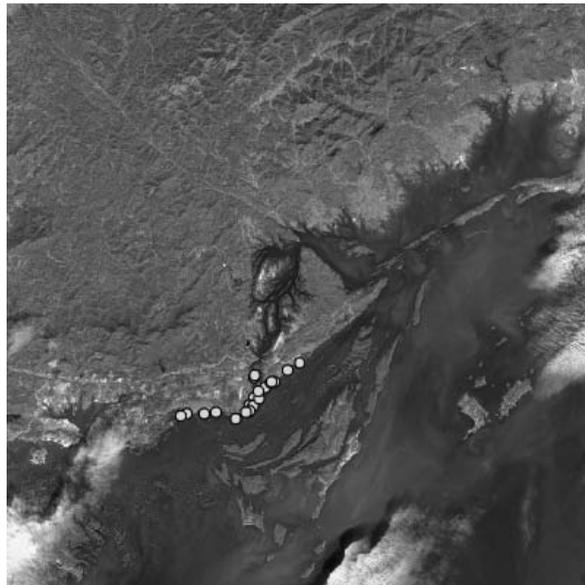
Trong nghiên cứu cũng sử dụng số liệu quan trắc tại 05 trạm đo khu vực Cẩm Phả, Quảng Ninh, bao gồm Bến rớt than cảng Km6 Công ty than Dương Huy, Bến rớt than cảng Cửa Ông, Bến rớt than Công ty kho vận và cảng Cẩm Phả, Bến rớt than cảng Khe Dây và bến rớt than cảng Km6 Tổng công ty Đông Bắc. Ngoài số liệu tại 05 trạm quan trắc, trong bài báo cũng sử dụng thêm số liệu lấy mẫu chất lượng nước tại 15 điểm khu vực ven biển Cẩm Phả, Quảng Ninh (bảng 2). Các đợt quan trắc này được tiến hành vào quý I và quý IV năm 2016, gần với thời gian thu nhận ảnh Sentinel - 2A. Sơ đồ các điểm quan trắc và lấy mẫu chất lượng nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả, Quảng Ninh được trình bày trên hình 2.



Hình 1: Tư liệu ảnh Sentinel - 2A chụp ngày 16/4/2016 (a) và 01/12/2016 (b) khu vực Cẩm Phả, Quảng Ninh, tổ hợp màu tự nhiên

Bảng 2. Hàm lượng chất lơ lửng trong nước biển ven bờ Cẩm Phả, Quảng Ninh tại các trạm quan trắc và điểm lấy mẫu quý I và IV năm 2016

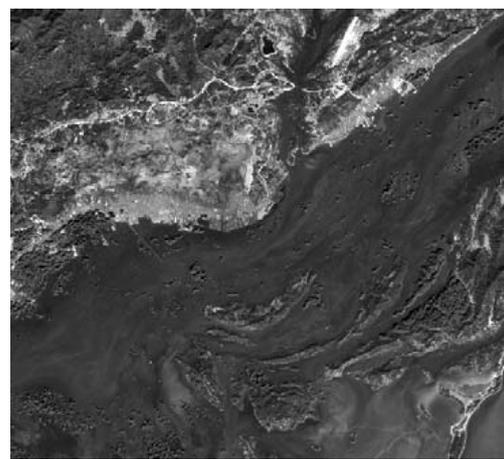
STT	Điểm quan trắc, lấy mẫu chất lượng nước	Tọa độ		Hàm lượng TSS (mg/l)	
		X	Y	Quý I/2016	Quý IV/2016
1	Bến rót than Cảng Km6 Công ty than Dương Huy	733658	2323232	85	51
2	Bến rót than Cảng Km6 Tổng công ty than Đông Bắc	732606	2322890	67	67
3	Bến rót than cảng Cửa Ông	746088	2326289	53	89
4	Bến rót than Công ty kho vận và cảng Cẩm Phả - Vinacomin	745361	2324919	41	64
5	Bến rót than cảng Khe Dây	746174	2330048	61	87
6	ĐQ 1	736896	2323333	69	66
7	ĐQ 2	739071	2323487	62	136
8	ĐQ 3	742685	2322291	88	69
9	ĐQ 4	745970	2324733	74	95
10	ĐQ 5	747015	2326096	75	147
11	ĐQ 6	748197	2328097	51	68
12	ĐQ 7	749197	2329142	56	67
13	ĐQ 8	746925	2327415	95	56
14	ĐQ 9	745286	2323833	54	117
15	ĐQ 10	746263	2330519	92	122
16	ĐQ 11	749889	2329259	121	127
17	ĐQ 12	752357	2331419	128	108
18	ĐQ 13	744643	2323550	109	92
19	ĐQ 14	749297	2329259	157	125
20	ĐQ 15	754645	2332762	132	139



Hình 2: Sơ đồ vị trí các điểm quan trắc, lấy mẫu chất lượng nước



a)



b)

Hình 3: Chỉ số NSMI xác định từ ảnh Sentinel - 2A ngày 16/4/2016 (a) và 01/12/2016 (b)

Sau khi xác định phổ phản xạ bề mặt, phản xạ phổ tại các kênh xanh lam (kênh 2), xanh lục (kênh 3) và đỏ (kênh 4) được sử dụng để xác định chỉ số NSMI theo công thức (6). Kết quả xác định chỉ số NSMI đối với 02 cảnh ảnh vệ tinh Sentinel - 2A chụp ngày 16/4/2016 và 01/12/2016 được trình bày trên hình 3.

Hàm lượng chất lơ lửng tại 15 điểm quan trắc, lấy mẫu chất lượng nước và giá trị chỉ số NSMI tại các pixel tương ứng được sử dụng nhằm xây dựng hàm hồi quy. Các hàm hồi quy dạng tuyến tính, mũ, logarith, đa thức,...được thử nghiệm

để lựa chọn phương án phù hợp khi xác định hàm lượng TSS. Dựa trên so sánh giá trị hệ số R^2 , trong nghiên cứu lựa chọn hàm hồi quy thể hiện mối quan hệ giữa hàm lượng chất lơ lửng (mg/l) và giá trị chỉ số NSMI xác định từ ảnh vệ tinh quang học Sentinel - 2A khu vực Cẩm Phả, Quảng Ninh như sau:

$$TSS_{04/2016} = 4697x^2 - 603,4x + 66,56 \quad (7)$$

$$TSS_{12/2016} = 8705x^2 - 827,6x + 70,10$$

Ở đây x là giá trị chỉ số NSMI.

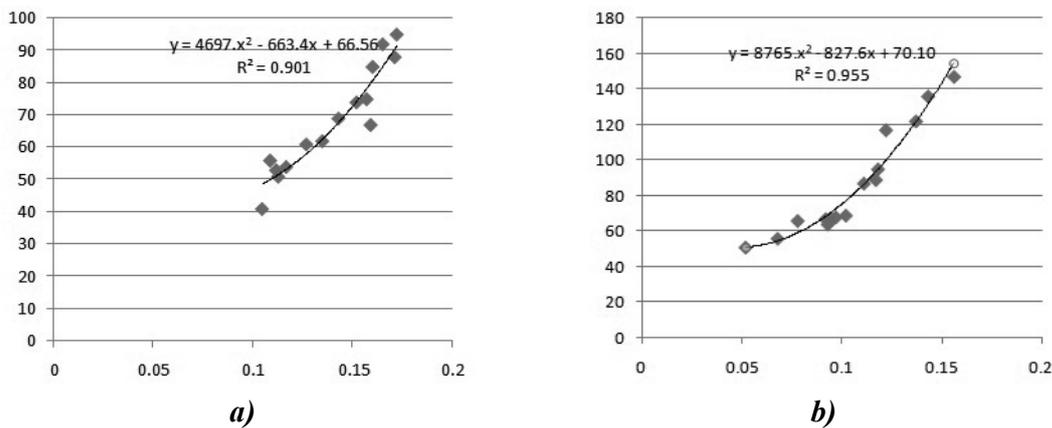
Hệ số R^2 trong các hàm hồi quy này đạt 0,901 và 0,955 lần lượt cho các đợt

Nghiên cứu

quan trắc quý I và quý IV năm 2016 (hình 4). Như vậy, có thể khẳng định, tư liệu ảnh vệ tinh quang học Sentinel - 2A có thể sử dụng hiệu quả trong xác định hàm lượng chất lơ lửng trong nước biển ven bờ thông qua giá trị chỉ số NSMI.

Kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng trong nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả, Quảng Ninh được trình bày trên hình 5 và 6. Phân tích kết quả đạt được cho thấy, giá trị hàm lượng chất lơ lửng trong nước biển ven bờ khu vực Cẩm Phả vào ngày 02/12/2016 tăng nhẹ so với ngày 16/4/2016, trong đó tăng cả về giá trị cực tiểu và giá trị cực đại. Đối với ảnh vệ tinh Sentinel - 2A ngày 16/4/2016, giá trị hàm lượng chất lơ lửng trong nước biển ven bờ khu vực Cẩm Phả thấp nhất đạt

6,24 (mg/l), giá trị cao nhất đạt 254,93 (mg/l). Trong khi đó, kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A chụp ngày 02/12/2016 cho thấy, giá trị nhỏ nhất đạt 7,75 (mg/l), giá trị cao nhất đạt 265,46 (mg/l). Hàm lượng chất lơ lửng trong nước biển đạt cao ở ven bờ, đặc biệt ở khu vực cửa sông, đoạn bờ biển gần thành phố Cẩm Phả và đoạn bờ biển khu vực Vân Đồn, xung quanh các đảo. Hàm lượng TSS có xu hướng giảm dần khi ra xa bờ. So sánh với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước biển (QCVN 10-MT:2015/BTNMT) cũng cho thấy, nước biển ở khu vực ven bờ cạnh cửa sông, khu dân cư và ven các đảo ở Cẩm Phả có hàm lượng TSS cao hơn nhiều so với tiêu chuẩn cho phép (50 mg/l).

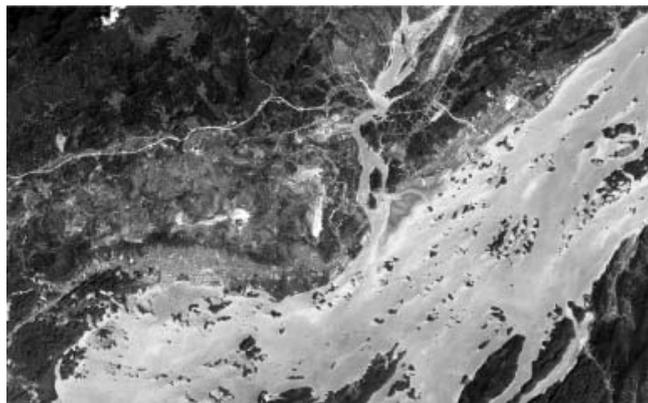


Hình 4: Kết quả xác định hàm hồi quy (dạng đa thức) từ 02 cảnh ảnh Sentinel - 2A ngày 16/4/2016 (a) và 01/12/2016 (b)



6,24 (mg/l) 254,93 (mg/l)

Hình 5: Kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng trong nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A ngày 16/4/2016



7,75 (mg/l) 265,46 (mg/l)

Hình 6: Kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng trong nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A ngày 02/12/2016

Bảng 3. So sánh kết quả xác định hàm lượng TSS từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A ngày 16/4/2016

STT	Tọa độ điểm quan trắc (m)		Hàm lượng TSS (mg/l)		Chênh lệch (mg/l)
	X	Y	Kết quả đo thực địa	Xác định từ ảnh vệ tinh	
1	749889	2329259	125,873	121	4,873
2	752357	2331419	136,851	128	8,851
3	744643	2323550	103,823	109	-5,177
4	749297	2329259	146,582	157	-10,418
5	754645	2332762	128,931	132	-3,069

Bảng 4. So sánh kết quả xác định hàm lượng TSS từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A ngày 02/12/2016

STT	Tọa độ điểm quan trắc (m)		Hàm lượng TSS (mg/l)		Chênh lệch (mg/l)
	X	Y	Kết quả đo thực địa	Xác định từ ảnh vệ tinh	
1	749889	2329259	123,749	127	-3,251
2	752357	2331419	115,529	108	7,529
3	744643	2323550	89,515	92	-2,485
4	749297	2329259	120,288	125	-4,712
5	754645	2332762	142,463	139	3,463

Để đánh giá độ chính xác trong xác định hàm lượng TSS từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel - 2A, trong nghiên cứu sử dụng số liệu đo tại 05 điểm lấy mẫu chất lượng nước. Kết quả nhận được cho thấy, chênh lệch giữa giá trị hàm lượng TSS xác định từ ảnh vệ tinh và hàm lượng TSS tại các điểm lấy mẫu đều đạt nhỏ hơn 10% (bảng 3, 4). Như vậy, có thể khẳng định, kết quả xác định hàm lượng TSS từ ảnh vệ tinh quang học Sentinel - 2A đảm bảo độ chính xác.

4. Kết luận

Ảnh vệ tinh quang học Sentinel - 2A với ưu điểm dải phổ đa dạng, thời gian cập nhật ngắn, độ phân giải không gian tốt và được cung cấp hoàn toàn miễn phí có thể sử dụng hiệu quả trong nghiên cứu, đánh giá hàm lượng chất lơ lửng, phục vụ công tác quản lý và sử dụng tài nguyên nước mặt.

Phân tích kết quả nhận được cho thấy, nước mặt khu vực ven biển Cẩm Phả, Quảng Ninh có hàm lượng chất lơ lửng cao

Nghiên cứu

ở khu vực ven bờ do tác động của nguồn nước thải sinh hoạt và nước thải công nghiệp từ hoạt động khai thác khoáng sản. Giá trị hàm lượng chất lơ lửng đạt cao nhất khi xác định từ ảnh vệ tinh Sentinel - 2A ngày 16/4/2016 và 01/12/2016 tương ứng đạt 254,93 mg/l và 265,46 mg/l.

Với khả năng xác định hàm lượng chất lơ lửng trên diện rộng và nhanh chóng, kết quả nhận được trong nghiên cứu là một nguồn thông tin hữu ích, giúp các nhà quản lý đưa ra những biện pháp trong theo dõi, ứng phó và giảm thiểu thiệt hại do ô nhiễm nước mặt gây ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thị Thu Hà, Bùi Đình Cảnh, Nguyễn Thiên Phương Thảo, Bùi Thị Nhi (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 Đại học Quốc gia Hà Nội, chuyên san Các Khoa học Trái đất và Môi trường, tập 32, số 2S, trang 121 - 130.
- [2]. Lương Chính Kê (2014). *Sử dụng công nghệ viễn thám và GIS xây dựng cơ sở dữ liệu thành lập bản đồ diễn biến vùng ô nhiễm nguồn nước thải từ các khu công nghiệp, đô thị nhằm đưa ra cảnh báo các vùng có nguy cơ ô nhiễm thuộc vùng kinh tế trọng điểm miền Bắc*. Dự án nghiên cứu khoa học, Cục Viễn thám Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [3]. Nguyễn Thanh Sơn (2005). *Đánh giá tài nguyên nước Việt Nam*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [4]. Borup M.D., Victor N.A. Narted (2013). *Mapping and modeling chlorophyll - a concentration in Utan lake using Landsat 7 ETM+ imagery*. WEFTEC.
- [5]. Chavez P.S. (1996). *Image-based atmospheric corrections - revisited and improved*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62(9):1025 - 1036.
- [6]. Doxaran D., Jean - Marie Froidefond, Samantha Lavender, Patrice Castaing (2007). *Spectral signature of highly turbid waters application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations*. Remote sensing of Environment, Vol. 81, pp. 149 - 161.
- [7]. Guzman V.R., Santaella F.G. (2009). *Using MODIS 250m Imagery to Estimate Total suspended sediment in a Tropical open bay*. International journal of systems applications, engineering & development, Issue 1, Vol. 3, pp. 36 - 44.
- [8]. He W. (2008). *Water quality monitoring in slightly - polluted body through remote sensing - a case study in Guanting Reservoir Beijing*. China, Front. Environ. Sci. Engin, Vol. 1, 11 pp.
- [9]. Merry C. (2003). *Water quality monitoring with remote sensing*. Ohio geospatial technologies conference for Agriculture and Natural resources, Columbus, Ohio.
- [10]. Mobley C. (1999). *Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements*. Applied Optical, Vol. 38, pp. 7442 - 7455.
- [11]. Montalvo L.G. (2010). *Spectral analysis of suspended material in coastal waters: a comparison between band math equations*. http://gers.uprm.edu/geol6225/pdfs/l_montalvo.
- [12]. Moran, M.S. (1992). *Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output*. Remote Sensing of Environment 41:169 - 184.
- [13]. Olet E. (2010). *Water quality monitoring of Roxo reservoir using LANDSAT images and In - situ measurements*. International institute for geo - information science and earth observation enschede, the Netherlands, 69 pp.
- [13]. Trinh Le Hung (2015). *Mapping suspended sediment concentrations in surface water of Tri An lake using remote sensing and GIS*. Journal of Science, Natural Sciences Issue, Hue University, Vol.96 (8), 59 - 70.
- [14]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2015). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước biển QCVN 10-MT:2015/BTNMT*. 10 trang.

BBT nhận bài: 08/01/2019; Phản biện
xong: 24/01/2019