



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



# Determination of water quality parameters in the Tan Rai exploiting area (Lam Dong province) using Sentinel-2 MSI and Landsat 8 data



Nghia Viet Nguyen<sup>1</sup>, Hung Le Trinh<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

<sup>2</sup> Military Technical Academy, Vietnam

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article history:

Received 05<sup>th</sup> Feb 2020

Accepted 06<sup>th</sup> Mar 2020

Available online 29<sup>th</sup> Apr 2020

#### Keywords:

Landsat 8,

Remote sensing,

Surface water quality,

Sentinel-2 MSI.

*Despite high profits, the mining process often leads to negative effects on the quality of groundwater around the mining site. Due to the close relationship between the concentration of water quality parameters and spectral reflectance values of surface water, optical remote sensing image has been used effectively in the world in assessing and monitoring surface water quality. This paper presents the results of determining some surface water quality parameters in the Tan Rai bauxite mining area (Lam Dong province) such as turbidity, water-transparency (Secchi depth), and surface temperature from Sentinel-2A and Landsat 8 images taken on January 29, 2019. The results obtained in this study show that the mining process has a great influence on the surface water quality in Tan Rai (Lam Dong), reflected in all three water quality parameters such as turbidity, Secchi depth, and water temperature.*

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E-mail: [nguyenvietnghia@humg.edu.vn](mailto:nguyenvietnghia@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(2).14



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



# Nghiên cứu xác định các thông số chất lượng nước mặt khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng) từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2 MSI và Landsat 8

Nguyễn Việt Nghĩa <sup>1,\*</sup>, Trịnh Lê Hùng <sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam, [nguyenvietnghia@humg.edu.vn](mailto:nguyenvietnghia@humg.edu.vn)

<sup>2</sup> Học viện Kỹ thuật Quân sự, Email: [trinhlehung125@gmail.com](mailto:trinhlehung125@gmail.com)

### THÔNG TIN BÀI BÁO

### TÓM TẮT

#### Quá trình:

Nhận bài 05/02/2020

Chấp nhận 06/3/2020

Đăng online 29/4/2020

#### Từ khóa:

Viễn thám,  
Chất lượng nước mặt,  
Sentinel-2 MSI,  
Landsat 8.

Quá trình khai thác khoáng sản thường dẫn tới những ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng môi trường nước xung quanh khai trường. Do mối quan hệ chặt chẽ giữa hàm lượng các thông số chất lượng nước và phổ phản xạ mặt nước, dữ liệu ảnh viễn thám quang học đã được sử dụng hiệu quả trên thế giới trong đánh giá, giám sát chất lượng nước mặt. Bài báo này trình bày kết quả xác định một số thông số chất lượng nước mặt khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng) như độ đục, độ thấu quang và nhiệt độ bề mặt từ 02 cảnh ảnh Sentinel-2A và Landsat 8 chụp cùng ngày 29/01/2019. Kết quả nhận được trong nghiên cứu cho thấy, quá trình khai thác mỏ và sinh hoạt có ảnh hưởng lớn đến chất lượng các hồ nước mặt ở Tân Rai (Lâm Đồng), thể hiện ở cả 03 thông số chất lượng nước được lựa chọn là độ đục, độ thấu quang và nhiệt độ bề mặt.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Dự án bauxite Tân Rai (Lâm Đồng) là một dự án khai thác bauxite lớn trên địa bàn Tây Nguyên, dự kiến mang lại hiệu quả to lớn, góp phần phát triển kinh tế - xã hội địa phương và đất nước. Bên cạnh đó, quá trình khai thác bauxite cũng tiềm ẩn những nguy cơ ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường, trong đó có vấn đề ô nhiễm nước mặt. Việc

sử dụng các công nghệ hiện đại trong xác định nhanh các thông số chất lượng nước là một vấn đề có tính thực tiễn, cung cấp nguồn thông tin đầu vào nhanh chóng và khách quan cho các mô hình quản lý và giám sát chất lượng nước mặt khu vực khai thác mỏ.

Nhiều nghiên cứu trên thế giới cho thấy, hàm lượng một số thông số chất lượng nước mặt như chất lơ lửng, độ đục, độ thấu quang, chất diệp lục,... có quan hệ chặt chẽ với phản xạ phổ mặt nước (Ritche and Cooper, 1988). Từ mối quan hệ này, dữ liệu ảnh viễn thám quang học như Landsat, SPOT, MODIS đã được sử dụng rộng rãi và hiệu quả nhằm ước lượng hàm lượng các thông số chất

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [nguyenvietnghia@humg.edu.vn](mailto:nguyenvietnghia@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(2).14

lượng nước mặt (Doxaran và nnk., 2002; Dekker và nnk., 1996; Trinh và Tarasov, 2016; Trinh và nnk., 2018; Zhou và nnk., 2006). Ngoài ra, nhiệt độ bề mặt nước cũng có thể xác định từ các kênh hồng ngoại nhiệt ảnh Landsat, Aster và MODIS (Ahn và nnk., 2006; Kang và nnk., 2014; Syariz và nnk., 2015; Gholizaded và nnk., 2016). Các kết quả nhận được trong các nghiên cứu trên đã chứng minh tính hiệu quả của phương pháp sử dụng dữ liệu viễn thám trong đánh giá chất lượng nước mặt, giúp tiết kiệm thời gian và chi phí so với các phương pháp truyền thống dựa trên kết quả điều tra, lấy mẫu.

Sentinel-2 MSI bao gồm 02 vệ tinh quang học (Sentinel-2A và Sentinel-2B) được đưa vào hoạt động năm 2015 và 2017. Bộ cảm biến trên các vệ tinh Sentinel 2 cung cấp ảnh miễn phí ở 13 kênh phổ trong dải sóng nhìn thấy và hồng ngoại với độ phân giải không gian đa dạng (10 m, 20 m, 60 m), chu kỳ chụp lặp lại ngắn (5 ngày) (Bảng 1). Trong khi đó, vệ tinh Landsat 8 đã hoạt động ổn định từ năm 2013, cung cấp ảnh ở 11 kênh phổ, trong đó có 02 kênh hồng ngoại nhiệt (Bảng 2). Việc kết hợp sử dụng các ảnh viễn thám miễn phí này giúp nâng cao hiệu quả trong xác định nhanh các thông số chất lượng nước. Bài báo này trình bày kết quả xác định một số thông số chất lượng nước, bao gồm độ đục (turbidity), độ trong suốt (water-transparency) và nhiệt độ bề mặt nước đối với một số hồ nước xung quanh khu vực khai thác bauxite Tân Rai (tỉnh Lâm Đồng) từ 02 cảnh ảnh vệ tinh Sentinel-2A và Landsat 8 chụp cùng vào ngày 29/01/2019. Ảnh Sentinel-2A được thu thập

Bảng 1. Đặc điểm ảnh vệ tinh Sentinel 2.

Kênh	Bước sóng ( $\mu\text{m}$ )	Độ phân giải (m)
1	0,421 - 0,457	60
2	0,439 - 0,535	10
3	0,537 - 0,582	10
4	0,646 - 0,685	10
5	0,694 - 0,714	20
6	0,731 - 0,749	20
7	0,768 - 0,796	20
8	0,767 - 0,908	10
8a	0,848 - 0,881	20
9	0,931 - 0,958	60
10	1,338 - 1,414	60
11	1,539 - 1,681	20
12	2,072 - 2,312	20

Bảng 2. Đặc điểm ảnh vệ tinh Landsat 8.

Kênh	Bước sóng ( $\mu\text{m}$ )	Độ phân giải (m)
1	0,433 - 0,453	30
2	0,450 - 0,515	30
3	0,525 - 0,600	30
4	0,630 - 0,680	30
5	0,845 - 0,885	30
6	1,560 - 1,660	30
7	2,100 - 2,300	30
8	0,500 - 0,680	15
9	1,360 - 1,390	30
10	10,30 - 11,30	100
11	11,50 - 12,50	100

từ cơ sở dữ liệu của Cơ quan Hàng không vũ trụ châu Âu (ESA - <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>), trong khi ảnh Landsat 8 được thu thập từ cơ sở dữ liệu của Cục Khảo sát địa chất Hoa Kỳ (USGS - <https://glovis.usgs.gov>). Cả hai ảnh đều ở mức xử lý L2A, do vậy trong nghiên cứu chỉ tiến hành hiệu chỉnh khí quyển bằng phương pháp "trừ đối tượng tối"- DOS (Dark Object Subtraction) để xác định phản xạ phổ bề mặt nước (Chavez, 1996).

## 2. Phương pháp nghiên cứu

Theo Mobley (1994), phản xạ phổ rời khỏi mặt nước xác định từ ảnh vệ tinh quang học tuân theo quy luật khách quan khi có tương tác của ánh sáng vào đối tượng nước và có mối quan hệ chặt chẽ với hàm lượng một số thông số chất lượng nước. Chẳng hạn, độ trong suốt của nước có độ đục thấp và độ đục cao có sự khác nhau rất lớn, đặc biệt trong dải sóng đỏ (red) và xanh lam (blue) (Hình 1). 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 (top of atmospheric - TOA). Bước tiếp theo sử dụng các mô hình hiệu chỉnh khí quyển nhằm biến đổi từ ảnh phản xạ ở TOA về phản xạ bề mặt. Như vậy, bản chất của việc xác định hàm lượng các thông số chất lượng nước mặt từ ảnh viễn thám quang học là thiết lập mô hình ước lượng chất lượng nước dựa trên phản xạ rời khỏi bề mặt nước. Việc thiết lập mô hình này được thực hiện thông qua xây dựng hàm hồi quy

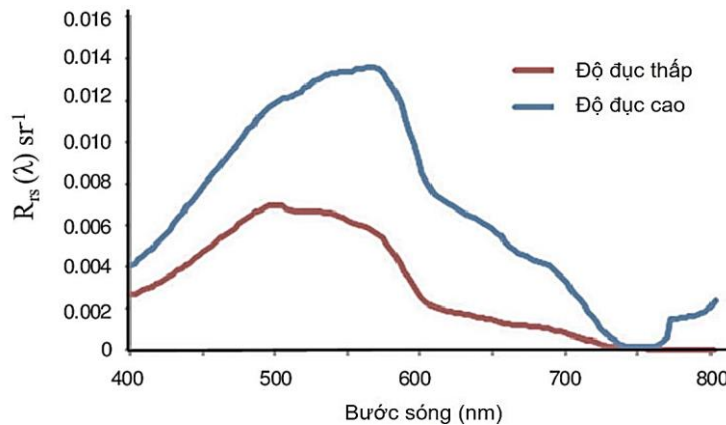
giữa giá trị đo hàm lượng các thông số chất lượng nước mặt từ các mẫu nước và phân xạ rời khỏi bề mặt nước.

Trong khi đó, nhiệt độ bề mặt nước có thể xác định bằng cách sử dụng kênh hồng ngoại nhiệt ảnh vệ tinh Landsat 8 (kênh 10 hoặc 11) và độ phát xạ bề mặt (xác định thông qua chỉ số thực vật NDVI). Do 02 cảnh ảnh sử dụng trong nghiên cứu này được chụp cùng ngày (29/01/2019), kênh đỏ và cận hồng ngoại ảnh Sentinel-2A được sử dụng để tính độ phát xạ bề mặt, sau đó kết hợp với nhiệt độ bức xạ (brightness temperature) tính từ kênh hồng ngoại nhiệt ảnh Landsat 8 để xác định nhiệt

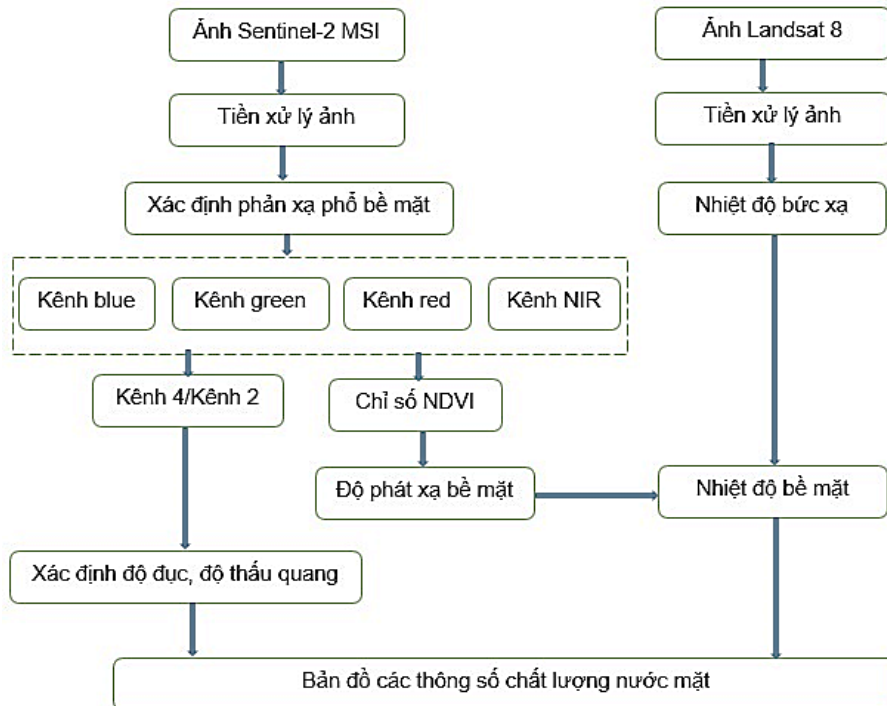
độ bề mặt. Việc kết hợp 2 ảnh Sentinel-2A và Landsat 8 cũng giúp nâng cao độ phân giải không gian của nhiệt độ bề mặt lên thành 10 m (Trịnh Lê Hùng, 2018). Sơ đồ quy trình xác định các thông số chất lượng nước bao gồm độ đục, độ trong quang và nhiệt độ bề mặt trình bày như Hình 2.

### 3. Kết quả và thảo luận

Ảnh vệ tinh Sentinel-2A (Hình 3) và Landsat 8 (Hình 4) chụp cùng ngày 29/01/2019 khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng) được lựa chọn sử dụng để tính các thông số chất lượng nước theo quy trình trên Hình 2. Quá trình xử



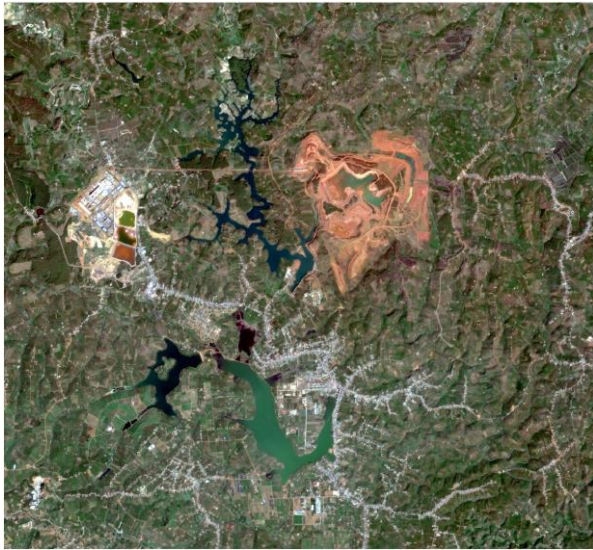
Hình 1. Đồ thị phản xạ phổ của nước với các độ đục khác nhau (Mobley, 1994).



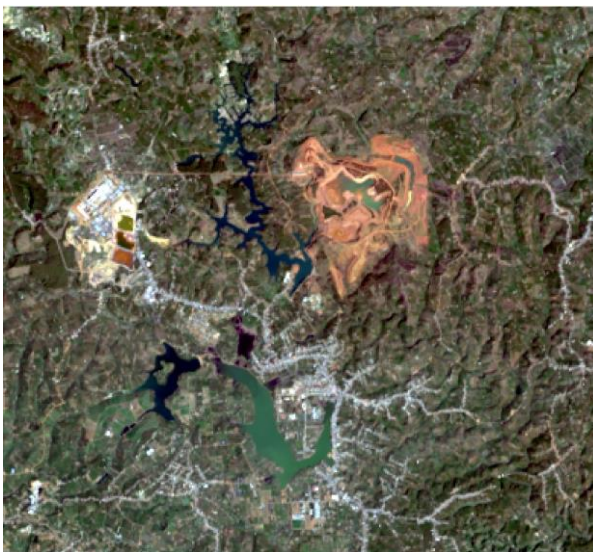
Hình 2. Sơ đồ quy trình xác định các thông số chất lượng nước từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 MSI và Landsat 8.

lý ảnh được thực hiện trên phần mềm ERDAS Imagine 2014. Các bản đồ phân bố thông số độ đục, độ thấu quang và nhiệt độ bề mặt nước được xây dựng bằng phần mềm ArcGIS 10. Để tính độ thấu quang (thông qua giá trị Secchi depth(SSD), trong nghiên cứu lựa chọn mô hình do Delegido và cộng sự đề xuất năm 2019 (Delegido và nnk., 2019), trong đó sử dụng giá trị phản xạ phổ tại kênh xanh lam (blue) và xanh lục (green) ảnh Sentinel-2 MSI. Mô hình này có giá trị hệ số  $R^2$  đạt 0,8208.

Do độ đục và độ thấu quang có mối quan hệ rất



Hình 3. Ảnh Sentinel-2A ngày 29/01/2019 khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng).



Hình 4. Ảnh Landsat 8 ngày 29/01/2019 khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng).

chặt chẽ, trong bài báo này sử dụng công thức tính độ đục từ độ thấu quang do Baughman và cộng sự đề xuất năm 2015 như công thức (2) (Baughman và nnk., 2015). Trong mô hình này, giá trị hệ số  $R^2$  đạt 0,97.

$$SSD = 4,7134 \times \left(\frac{\rho_{blue}}{\rho_{green}}\right)^{2,5569} \quad (1)$$

Với hệ số tương quan  $R^2=0.82$

$$Turbidity=15,073 \times (SSD)^{-1,276} \quad (2)$$

Với hệ số tương quan  $R^2=0,97$

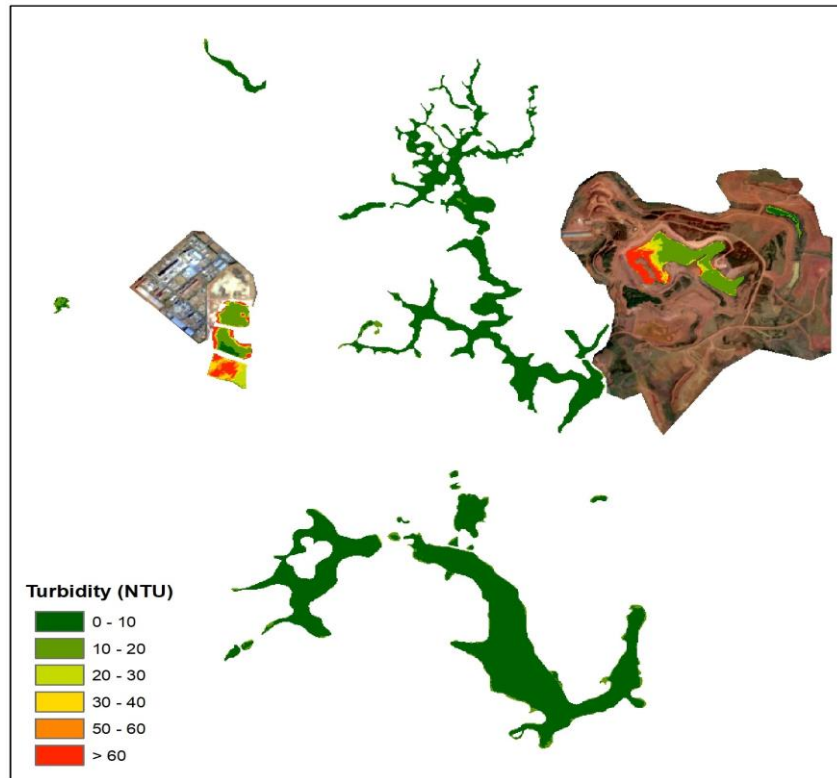
Trong đó:  $SSD$  - giá trị Secchi depth, m;  $Turbidity$ - độ đục, NTU

Các kênh hồng ngoại nhiệt ảnh vệ tinh Landsat mặc dù được thiết kế để thu nhận thông tin nhiệt độ mặt đất, tuy nhiên trong nhiều nghiên cứu trên thế giới cũng cho thấy, các kênh nhiệt này hoàn toàn có thể sử dụng để xác định nhiệt độ bề mặt các sông, hồ trong lục địa hoặc nước biển gần bờ (Ahn và nnk., 2006; Kang và nnk., 2014; Syariz và nnk., 2015). Chênh lệch giữa nhiệt độ bề mặt nước xác định từ ảnh vệ tinh Landsat và nhiệt độ đo thực tế nằm trong khoảng từ  $1,5 \div 2^{\circ}\text{C}$  (Vesecky và nnk., 1994). Trong nghiên cứu này, nhiệt độ bề mặt nước được xác định từ kênh hồng ngoại nhiệt (kênh 10) ảnh Landsat 8 và giá trị độ phát xạ bề mặt tính từ kênh cận hồng ngoại (kênh 8), kênh đỏ (kênh 4) ảnh Sentinel-2A theo công thức sau:

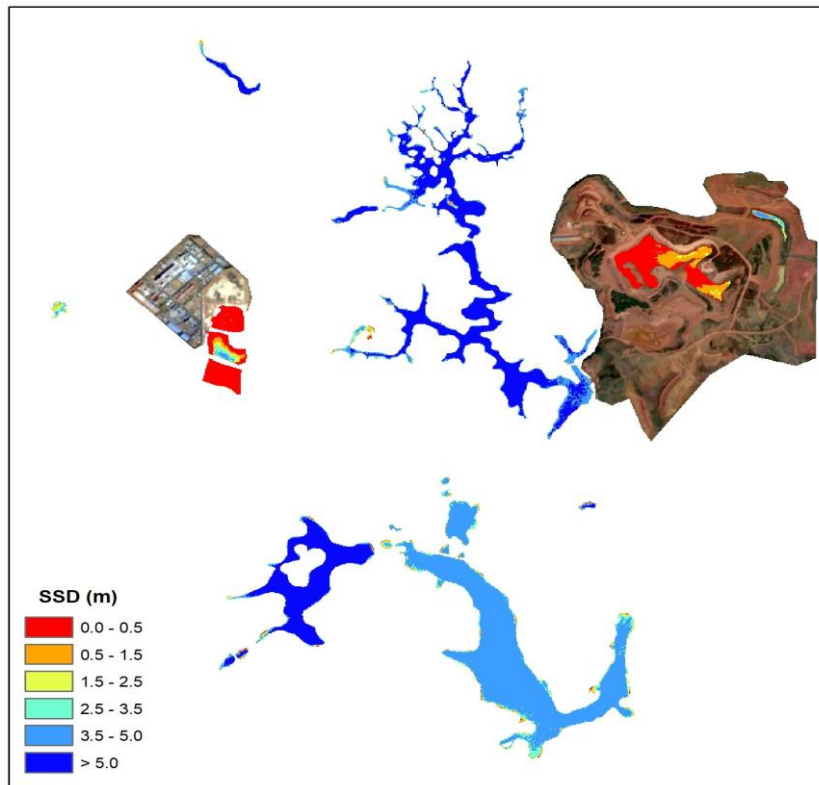
$$LST = \frac{T_B}{1 + \frac{\lambda T_B}{\rho} \times \ln \varepsilon} \quad (\text{độ K}) \quad (3)$$

Trong đó:  $T_B$ - nhiệt độ bức xạ (độ K);  $\lambda$ - giá trị bước sóng trung tâm kênh hồng ngoại nhiệt ( $\mu\text{m}$ );  $\varepsilon$ - độ phát xạ bề mặt;  $\rho$ - hằng số ( $= 1,438.10^{-2}$  m.K).

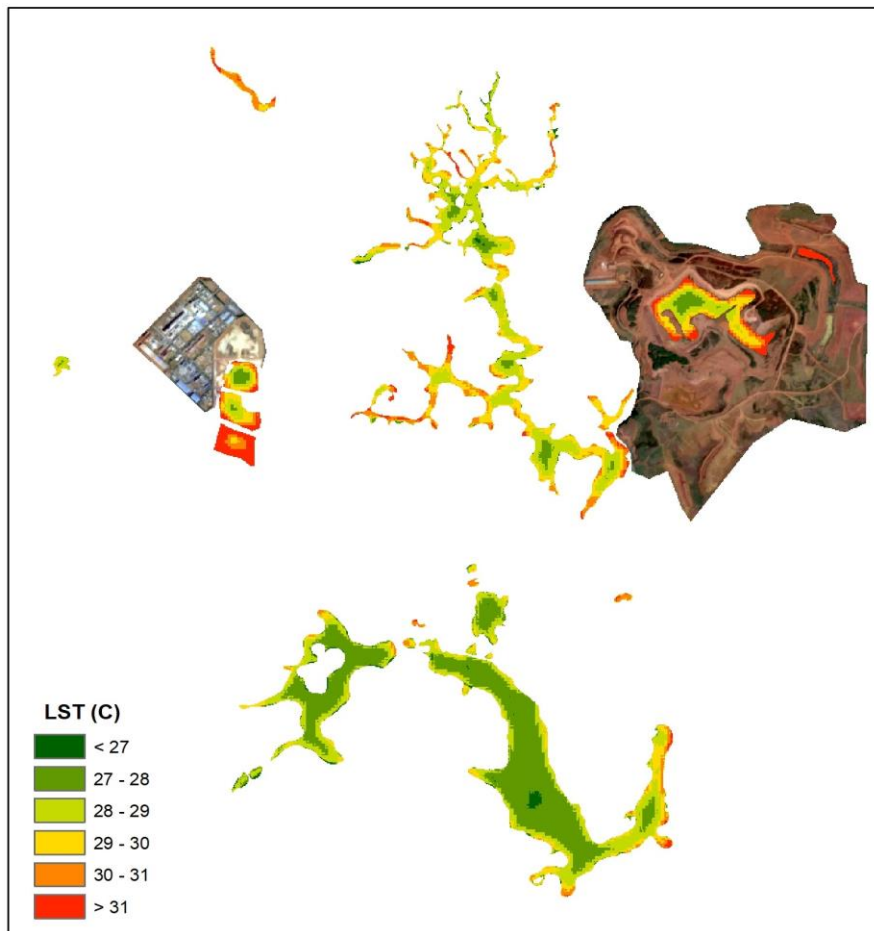
Kết quả xác định hàm lượng độ đục (turbidity), độ thấu quang (m) và nhiệt độ bề mặt nước ( $^{\circ}\text{C}$ ) từ 02 ảnh vệ tinh Sentinel-2A và Landsat 8 chụp ngày 29/01/2019 khu vực khai thác bauxite Tân Rai (tỉnh Lâm Đồng) được trình bày trên các Hình 5, 6, 7. Phân tích kết quả đạt được cho thấy, độ đục trong các hồ chứa nước thải khu vực khai thác bauxite Tân Rai đạt tương đối cao (trên 20 NTU-Nephelometric Turbidity Units, đơn vị đo độ đục khuếch tán), thậm chí một số vị trí đạt trên 60 NTU. Hàm lượng độ đục cao cũng được ghi nhận tại khu vực các hồ chứa nước cạnh khu nhà ở của công nhân (phía Tây khu vực nghiên cứu).



Hình 5. Kết quả xác định hàm lượng độ đục trong nước mặt khu vực Tân Rai (Lâm Đồng) từ ảnh Sentinel-2A ngày 29/01/2019.



Hình 6. Kết quả xác định độ thấu quang (m) trong nước mặt khu vực Tân Rai (Lâm Đồng) từ ảnh Sentinel-2A ngày 29/01/2019.



Hình 7. Kết quả xác định nhiệt độ bề mặt nước khu vực Tân Rai (Lâm Đồng) từ ảnh Landsat 8 và Sentinel-2A ngày 29/01/2019.

Trong khi đó, tại 02 hồ lớn ở trung tâm khu vực nghiên cứu, giá trị hàm lượng độ đục đạt thấp (dưới 10 NTU, thậm chí phần lớn diện tích nước mặt ở 02 hồ chứa đạt dưới 5 NTU) (Hình 5).

Đối với thông số độ thấu quang, trong nghiên cứu sử dụng giá trị Secchi depth để ước lượng (Hình 6). Kết quả nhận được cho thấy, độ thấu quang của các hồ chứa nước thải khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng) và các hồ chứa nước cạnh khu nhà ở công nhân đạt thấp, phần lớn dưới 0,5 m. Điều này có thể lý giải do hàm lượng độ đục đạt cao ở các hồ chứa nước này. Trong khi đó, ở 02 hồ nước mặt tại trung tâm khu vực nghiên cứu, độ thấu quang đều đạt trên 3,5 m, thậm chí trên 5 m. Điều này cũng hoàn toàn tương đồng với kết quả đánh giá phân bố độ đục trong nước mặt khu vực Tân Rai như trên Hình 5.

Hình 7 thể hiện kết quả xác định nhiệt độ bề mặt nước tại khu vực nghiên cứu trên cơ sở kết hợp kênh hồng ngoại nhiệt ảnh Landsat 8 và các

kênh đỏ, cận hồng ngoại ảnh Sentinel-2A, trong đó nhiệt độ bề mặt nước đạt giá trị trong khoảng từ 24,8÷35,6°C. Để đánh giá sự phân bố nhiệt độ bề mặt nước, trong nghiên cứu chia kết quả xác định nhiệt độ thành 6 khoảng giá trị: nhỏ hơn 27°C, 27÷28°C, 28÷29°C, 29÷30°C, 30÷31°C và lớn hơn 31°C.

Có thể nhận thấy, nhiệt độ bề mặt nước tại các hồ chứa nước thải mỏ và các hồ khác ở Tân Rai (Lâm Đồng) có sự chênh lệch không quá lớn. Với các hồ lớn ở trung tâm khu vực nghiên cứu, phần lớn diện tích nước mặt có nhiệt độ dưới 29°C. Nhiệt độ tăng lên ở những khu vực nước mặt gần bờ (khoảng từ 29÷31°C). Nhiệt độ trên 31°C được ghi nhận tại khu vực các hồ chứa nước thải mỏ (phía Đông) và hồ chứa nước cạnh khu nhà ở của công nhân (phía Tây khu vực nghiên cứu). Kết quả nhận được trên Hình 7 cũng cho thấy, nhìn chung nước đục có nhiệt độ bề mặt cao hơn nước trong, với độ chênh lệch trung bình khoảng 3°C.

Như vậy, có thể nhận thấy, quá trình khai thác bauxite ở Tân Rai (Lâm Đồng) có ảnh hưởng đáng kể đến môi trường nước mặt xung quanh khai trường, trong đó thể hiện ở cả 03 thông số chất lượng nước mặt được lựa chọn thử nghiệm trong nghiên cứu này, bao gồm độ đục, độ thấu quang và nhiệt độ bề mặt nước. Mức độ ảnh hưởng của quá trình khai thác khoáng sản đến các thông số độ đục, độ thấu quang cũng thể hiện rõ rệt hơn so với thông số nhiệt độ bề mặt nước. Điều này có thể lý giải do mối quan hệ chặt chẽ giữa phổ phản xạ mặt nước và hàm lượng các chất rắn thải ra do quá trình khai thác bauxite. Trong khi đó, nhiệt độ bề mặt lại phụ thuộc chủ yếu vào bản chất bức xạ nhiệt của vật chất dẫn đến sự khác biệt nhiệt độ bề mặt nước tại các hồ nước mặt là không lớn.

#### 4. Kết luận

Kết quả xác định các thông số chất lượng nước mặt khu vực khai thác bauxite Tân Rai (Lâm Đồng) từ 02 cảnh ảnh vệ tinh Sentinel-2A và Landsat 8 chụp ngày 29/01/2019 cho thấy, hàm lượng độ đục ở các hồ chứa nước thải mỏ và hồ chứa nước cạnh khu nhà ở của công nhân cao hơn rất nhiều so với các hồ nước mặt ở khu vực xung quanh. Một diện tích đáng kể các hồ chứa nước thải mỏ có hàm lượng độ đục đạt trên 60 NTU, cao hơn hàng chục lần so với các hồ chứa nước khác ở khu vực nghiên cứu. Ngược lại, do độ đục cao, độ thấu quang tại các hồ chứa nước thải mỏ so với các hồ khác thấp hơn rõ rệt, thường đạt dưới 0,5 m. Độ chính xác đối với các mô hình xác định hàm lượng độ đục và độ thấu quang lựa chọn trong nghiên cứu này đều đạt trên 80%.

Nhiệt độ bề mặt nước không có sự chênh lệch quá lớn giữa các hồ nước trong khu vực nghiên cứu. Mặc dù vậy, xu hướng chung là nhiệt độ bề mặt nước ở các hồ chứa nước thải mỏ và khu vực gần bờ ở các hồ khác cao hơn so với khu vực nước trong. Phần lớn các hồ nước thải mỏ có nhiệt độ bề mặt nước đạt trên 30°C. Chênh lệch giữa nhiệt độ bề mặt nước cao nhất và thấp nhất tại khu vực nghiên cứu đạt khoảng 10°C. Độ chênh lệch giữa nhiệt độ bề mặt nước xác định từ ảnh vệ tinh và nhiệt độ thực tế nhỏ hơn 2°C (Vesecky và nnk., 1994; Gholizaded và nnk., 2016).

Từ kết quả nhận được trong nghiên cứu cho thấy, ảnh vệ tinh Sentinel-2 MSI và Landsat 8 với ưu điểm độ phân giải không gian cao, số lượng kênh phổ lớn và được cung cấp miễn phí với chu

kỳ cập nhật ngắn là nguồn dữ liệu hiệu quả phục vụ công tác quản lý và giám sát chất lượng nước mặt khu vực khai thác mỏ.

#### Tài liệu tham khảo

- Ahn Y. H., Shanmugam P., Lee J. H., Kang Y. Q. (2006). Application of satellite infrared data for mapping of thermal plume contamination in coastal ecosystem of Korea. *Marine Environmental Research* 61. 186 - 201.
- Baughman C. A., Jones B. M., Bartz K. K., Young D. B., Zimmerman C. E. (2015). Reconstructing Turbidity in a Glacially Influenced Lake Using the Landsat TM and ETM+ Surface Reflectance Climate Data Record Archive, Lake Clark, Alaska. *Remote Sensing* 7. 13692 - 13710.
- Chavez P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24. 459 - 479.
- Dekker A. G., Zamurovic-Nenad Z., Hoogenboom H. J., Petters W. M. (1996). Remote sensing, ecological water quality modelling and in situ measurements: a case study in shallow lakes. *Hydrological Sciences Journal* 41(4). 531 - 547.
- Delegido J., Urrego P., Vicente E., Sòria-Perpinyà X., Soria J. M., Pereira-Sandoval M., Ruiz-Verdú A., Peña R., Moreno J. (2019). Turbidity and Secchi disc depth with Sentinel-2 in different trophic status reservoirs at the Comunidad Valenciana. *Revista de Teledetección* 54. 15 - 24.
- Doxaran D., Froidefond J. M., Lavender S., Castaing P., (2002). Spectral signature of highly turbid waters application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. *Remote Sensing of Environment* 81. 149 - 161.
- Gholizaded M., Melesse A., Reddi L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors* 16. 1298. 43.
- <https://glovis.usgs.gov>
- <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>
- Kang K.M., Kim S.H., Kim, D.J., Cho Y.K., Lee S.H. (2014). Comparison of coastal sea surface temperature derived from ship-, air-, and



- space-borne thermal infrared systems. In *Proceedings of the 2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. Quebec City, QC, Canada. 4419 - 4422.
- Loise H., Vantrepotte V., Jamet C., Dinh N. D. (2013). Challenges and new advances in ocean color remote sensing of coastal waters. In book: *Earth and Planetary Sciences* 38.
- Mobley C. D. (1994). Light and water: radiative transfer in natural waters, Academic Press: San Diego, CA.
- Nguyen H. Q., Sasaki J., Higa H., Nguyen H. H. (2017). Spatiotemporal variation of turbidity based on Landsat 8 OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu lagoon, Vietnam, *Water*, 9, 570, 25 pp.
- Ritchie J.C., Cooper C.M. (1988). Comparison of measured suspended sediment concentration with suspended sediment concentrations estimated from Landsat MSS data, *International Journal of Remote Sensing*, 9(3), 379 - 387.
- Syariz M., Jaelani L., Subehi L., Pamungkas A., Koenhardono E., Sulisetyono A., (2015). Retrieval of sea surface temperature over poteran island water of indonesia with Landsat 8 tirs image: A preliminary algorithm, *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 1. 87 - 90.
- Trinh L. H., Tarasov M. K. (2016). Evaluation of suspended sediment concentrations in surface water of the Tri An water reservoir using remote sensing, *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography* 2. 38 - 44.
- Trinh L.H., Zablotskii V., Le T.G., Dinh T.T.H., Le T.T., Trinh T.T., Nguyen T.T.N. (2018). Estimation of suspended sediment concentration using VNREDSat - 1A multispectral data, a case study in Red River, Hanoi, Vietnam. *Geography, Environment. Sustainability* 11(3). 49 - 60.
- Trịnh Lê Hùng (2018). Kết hợp ảnh vệ tinh Landsat 8 và Sentinel 2 trong nâng cao độ phân giải không gian nhiệt độ bề mặt, *Tạp chí Khoa học ĐHQG Hà Nội, chuyên san Các Khoa học Trái Đất và Môi trường* 34(4). 54 - 63.
- Vesecky J., Onstott R., Wang N., Lettvin E., Slawski J., Shuchman R. (1994). Water surface temperature estimates using active and passive microwave remote sensing: Preliminary results from an outdoor wind-wave tank, In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1994. IGARSS'94. Surface and Atmospheric Remote Sensing: Technologies, Data Analysis and Interpretation, International*; IEEE: New York, NY, USA. 1021 - 1023.
- Zhou W., Wang S., Zhou Y., Troy A. (2006). Mapping the concentrations of total suspended matter in Lake Taihu, China using Landsat 5 TM data, *International Journal of Remote Sensing* 27(6). 1177 - 1191.