

Bài báo nghiên cứu

**ƯỚC TÍNH ĐỊNH LƯỢNG RỦI RO Ô NHIỄM NƯỚC MẶT
DỰA TRÊN DỮ LIỆU VIỄN THÁM QUANG HỌC
VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐA TIÊU CHÍ****Đỗ Thị Nhung¹, Nguyễn Thị Diễm My¹, Nguyễn Thị Hồng¹,
Bùi Quang Thành¹, Lưu Thị Phương Mai², Phạm Văn Mạnh^{1*}**¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam²Cục Viễn thám Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Việt Nam*Tác giả liên hệ: Phạm Văn Mạnh – Email: manh10101984@gmail.com

Ngày nhận bài: 13-10-2021; ngày nhận bài sửa: 16-12-2021; ngày duyệt đăng: 20-12-2021

TÓM TẮT

Ô nhiễm nước mặt là một trong những vấn đề môi trường mà các quốc gia trên thế giới đang phải đối mặt. Khu vực Uông Bí – Đông Triều, tỉnh Quảng Ninh hiện đang phải đối mặt với những thách thức như vậy. Dữ liệu viễn thám có khả năng cung cấp nhanh những thông tin về chất lượng nước và giám sát nước mặt hiệu quả hơn. Nghiên cứu phân tích liên quan đến: (1) Phân tích sự thay đổi chất lượng nước mặt ở khu vực Uông Bí – Đông Triều giai đoạn 2000-2020; (2) Lựa chọn mô hình ước tính chỉ số đánh giá chất lượng nước từ dữ liệu viễn thám; và (3) Đánh giá định lượng rủi ro ô nhiễm nước mặt tại khu vực nghiên cứu. Kết quả cho thấy, các chỉ số (BOD5, COD, TSS) dự đoán có hệ số R^2 tương đối tốt đều có giá trị trên 0,75. Trong đó, mức độ Rủi ro cao đối với ô nhiễm nước mặt tăng từ 8% năm 2000 lên 16% năm 2020 và tỉ lệ gia tăng của khu vực Rủi ro rất cao lần lượt từ 3% lên 10%. Nghiên cứu này nhấn mạnh việc sử dụng dữ liệu viễn thám đa thời gian kết hợp với số liệu đo đạc hiện trường có thể theo dõi các chỉ số đánh giá chất lượng mặt ở sông suối và ao hồ. Hơn nữa, nghiên cứu hiện tại có thể áp dụng cho các khu vực nước mặt ở quy mô rộng hơn.

Từ khóa: Đông Triều – Uông Bí; viễn thám; ô nhiễm nước mặt; chỉ số chất lượng nước**1. Đặt vấn đề**

Với sự phát triển không ngừng của tài nguyên nước mặt, sông suối và các vùng nước ao hồ là một trong những môi trường nhạy cảm nhất và đang bị đe dọa bởi vấn đề ô nhiễm ngày càng gia tăng (Nguyen et al., 2017; Zhu et al., 2020). Chất lượng nước mặt bị ảnh hưởng bởi các yếu tố điều kiện tự nhiên và các hoạt động của con người, điều này có thể khiến nước mặt trở nên kém giá trị trong việc sử dụng (Tahiru et al., 2020; Mohammad et al., 2016). Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các hoạt động nhân sinh đã dẫn đến những tác động tiêu cực đến môi trường nước, chẳng hạn như: phá rừng, canh tác nông nghiệp, đô thị

Cite this article as: Do Thi Nhung, Nguyen Thi Diem My, Nguyen Thi Hong, Bui Quang Thanh, Lui Thi Phuong Mai, & Pham Van Manh (2021). Estimation risk of surface water pollution based on optical remote sensing data and multi-criteria decision analysis method. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 18(12), 2283-2296.

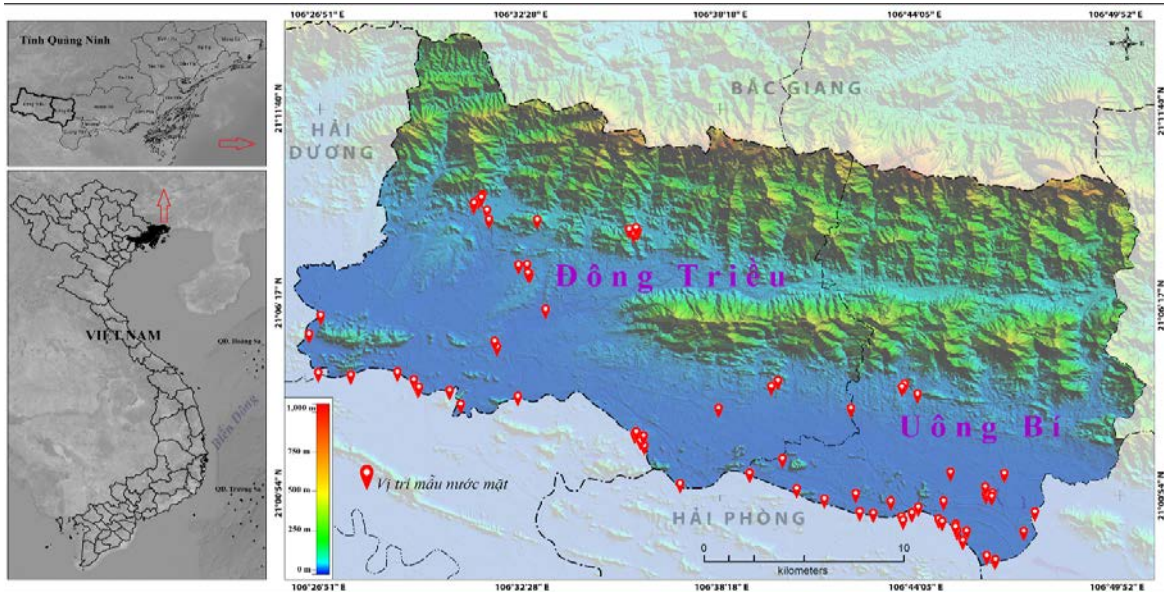
hóa và hoạt động khai thác khoáng sản là những động lực chính ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng nước mặt (Khan et al., 2017; Wang et al., 2019). Do đó, tầm quan trọng của chất lượng nước mặt phải được coi trọng hơn bao giờ hết và nồng độ các chất trong nước thải tại các vùng nước mặt cần được kiểm soát chính xác hơn. Theo truyền thống, các chỉ tiêu đánh giá chất lượng nước được thu thập lấy mẫu trực tiếp từ hiện trường và sau đó được phân tích trong phòng thí nghiệm (Hina et al., 2021; Mamun et al., 2021). Tuy đưa ra được kết quả đánh giá chất lượng nước mặt tại điểm lấy mẫu rất đáng tin cậy với độ chính xác cao, nhưng còn nhiều hạn chế như chi phí lớn, mất nhiều thời gian và khó có thể cung cấp thông tin chất lượng nước mặt phân bố theo không gian và thời gian trên diện rộng bởi số lượng mẫu không đủ đảm bảo tính đại diện và việc cung cấp cơ sở dữ liệu chất lượng nước đồng thời trên quy mô vùng là không khả thi (Duan et al., 2013; Mohammad et al., 2016; Pahlevan et al., 2019).

Trong vài thập kỉ trở lại đây, dữ liệu viễn thám đa thời gian đã trở thành nguồn cơ sở dữ liệu hữu ích giúp cho việc giám sát và xác định các vùng nước mặt ở quy mô lớn bị ảnh hưởng bởi các vấn đề định tính được hiệu quả hơn (Huang et al., 2018). Cùng với đó, các chỉ số vật lí nhạy cảm với môi trường nước mặt được tính toán từ các kênh phổ chủ yếu ở dải phổ màu xanh lam đến vùng sóng ngắn hồng ngoại (Green, Red, NIR và SWIR) tương quan chặt chẽ giữa phản xạ cột nước với các thành phần vật lí, sinh hóa, chất hữu cơ và trầm tích lơ lửng trong các vùng nước mặt, như chỉ số NDWI, MNDWI, NDMI, WRI, AWEI và MBWI (Acharya et al., 2018; Wang et al., 2018). Nhiều nghiên cứu chỉ tập trung vào các cảm biến quang học hoạt động tốt ở các chất Chlorophyll-a, TSS và độ đục (Lim & Choi, 2015; Mohammad et al., 2016). Trong khi đó, các chất đánh giá chất lượng nước quan trọng khác như COD, BOD5, TN, DOC, TP, độ pH... các nghiên cứu hiện tại chưa được nghiên cứu nhiều do đặc tính quang học và tỉ lệ tín hiệu thấp (Chen et al., 2020; Hina et al., 2021). Việc xem xét các tài liệu cũng đã xác nhận rằng chưa có một loại cảm biến hay chỉ số vật lí nào, được tính toán từ dữ liệu viễn thám được xác định hoặc khuyến nghị duy nhất có thể được sử dụng với độ tin cậy cao để thực hiện một mô hình thích hợp đo độ phản xạ của nước mặt do các chất TN, DOC, TP, COD và BOD5. Do đó, những thông số để đánh giá chất lượng nước này là một phần quan trọng và thách thức lớn trong lĩnh vực đánh giá định lượng chất lượng nước mặt bằng công nghệ viễn thám, điều này sẽ khuyến khích và thúc đẩy các nhà nghiên cứu nỗ lực hơn, tiếp tục khảo sát và đánh giá độ chính xác các phương pháp tiếp cận được sử dụng để định lượng nồng độ của các thông số chất lượng nước mặt. Bên cạnh đó, việc tích hợp công nghệ viễn thám và phân tích đa tiêu chí (multi-criteria decision analysis) trong môi trường GIS là một phương pháp mô hình hóa trong khoa học không gian, cung cấp cái nhìn khái quát về toàn bộ vùng nước trên một khu vực rộng lớn để giám sát biến đổi hiệu quả hơn và đồng bộ theo không gian và xu hướng theo thời gian (Oladipo et al., 2021). Chính vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này thực hiện một phân tích không gian và thời gian có hệ thống để có cái nhìn sâu sắc hơn về sự thay đổi chất lượng nước mặt tại khu vực Uông Bí – Đồng Triều, tỉnh Quảng Ninh. Đây là khu vực có sự phát triển kinh tế – xã hội nhanh chóng trong hai thập kỉ trở lại đây.

2. Khu vực nghiên cứu và phương pháp tiếp cận

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu gồm thị xã Đông Triều và thành phố Uông Bí thuộc tỉnh Quảng Ninh, trải dài trên các tọa độ từ 20°58'32"N đến 21°13'44"N và 106°26'12"E đến 106°50'46"E. Khu vực nghiên cứu có khí hậu đa dạng và phức tạp, vừa mang tính chất khí hậu miền núi vừa mang tính chất khí hậu miền duyên hải. Khu vực có tài nguyên nước mặt tương đối phong phú, các con sông, suối bắt nguồn từ rừng nhiệt đới núi dốc phía Bắc. Các sông, suối này đều nhỏ, ngắn, quanh co uốn khúc với diện tích lưu vực trung bình và ít bồi tụ.



Hình 1. Vị trí khu vực thử nghiệm ở Quảng Ninh, cùng với ranh giới hành chính, phạm vi độ cao và các điểm mẫu nước mặt tại Đông Triều – Uông Bí

Trong hai thập kỷ qua, nước mặt trong khu vực bị ô nhiễm do quá trình đô thị hóa và công nghiệp hóa. Chất lượng nước là một chỉ số quan trọng để đánh giá sự phát triển bền vững của khu vực, vốn chịu ảnh hưởng chủ yếu của các hoạt động của con người và các quá trình tự nhiên. Nguồn gây ô nhiễm nước chủ yếu phụ thuộc vào các loại hình lớp phủ/sử dụng đất của khu vực, đặc biệt là hoạt động khai thác tài nguyên khoáng sản, vận chuyển, chế biến vật liệu xây dựng, nguyên liệu cho sản xuất phân bón và hóa chất, kinh doanh than tại khu vực luôn tiềm ẩn những rủi ro tác động xấu đến cảnh quan và hình thái môi trường xung quanh, tích tụ và phát tán chất thải, làm ảnh hưởng đến việc sử dụng nguồn nước, ô nhiễm nước mặt cũng như nước ngầm, đặc biệt có tiềm ẩn rủi ro về dòng thải axit từ các ngành công nghiệp. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ phân tích định lượng chất lượng nước mặt, hi vọng cung cấp cơ sở khoa học để kiểm soát ô nhiễm nước mặt và quản lý tài nguyên ở khu vực được tốt hơn.

2.2. Xử lý và phân tích dữ liệu

2.2.1. Thu thập và đo đạc thông số mẫu nước

Tổng số có 75 vị trí được lấy mẫu dọc theo các con sông suối chính (46 mẫu) và các ao hồ (29 mẫu) của khu vực (Hình 1). Việc thiết lập các ô mẫu được tiến hành nhằm đáp ứng các tiêu chí sau: (1) tính đại diện của các chỉ số đánh giá chất lượng nước mặt được nghiên cứu; (2) vị trí được phân bố lấy mẫu nước tại các vùng nước mặt khác nhau (sông suối, ao hồ); (3) thiết lập các khu nước mặt ít bị xáo trộn, nơi có nhiều khu dân cư, gần với thời gian thực của ảnh vệ tinh. Các mẫu này được thu thập vào khoảng thời gian từ ngày 9-15 tháng 11 năm 2020 (đầu mùa khô), các mẫu nước được thu thập dưới mặt nước 0,5 m và cách bờ sông ít nhất 5 m bằng cách sử dụng bình thủy tinh hữu cơ có dung tích 1000 ml. Các mẫu được bảo quản trong thùng đá lạnh cho đến khi tiến hành phân tích. Trong và sau khi lấy mẫu, ba thông số nước (BOD5, COD, TSS) được chọn để phân tích các chỉ số đánh giá chất lượng nước, đây là những chỉ số quan trọng về ô nhiễm nước bị ảnh hưởng bởi các hoạt động của con người. Các giá trị của ba thông số được trình bày trong bài báo này là kết quả phân tích trong phòng thí nghiệm từ các chuyên gia thuộc Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường Quảng Ninh cung cấp. Giá trị các chỉ số đánh giá chất lượng trong nước (BOD5, COD, TSS) trong các mẫu nước mặt, đối với BOD5 có giá trị dao động trong khoảng (69,5-100 mg/l); COD (68,7-100 mg/l); và TSS (39,5-100 mg/l). Các ô mẫu được chia thành hai phần sử dụng phương pháp phân tầng lấy mẫu ngẫu nhiên. Trong đó, 70% số mẫu được sử dụng tham gia vào mô hình tính toán và 30% số mẫu còn lại được sử dụng để kiểm chứng kết quả của mô hình. Các mẫu này được sử dụng là biến phụ thuộc, trong khi đó biến độc lập được chiết tách từ dữ liệu ảnh vệ tinh.

2.2.2. Dữ liệu viễn thám quang học

Dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 7 ETM⁺ và Landsat 8-OLI ở mức 1 có độ che phủ mây dưới 5% được tải miễn phí tại (<http://earthexplorer.usgs.gov>) bởi USGS (Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ) với độ phân giải không gian trung bình (30m) và có vùng quang phổ rộng để tạo ra các chỉ số vật lý nhạy cảm với nước mặt (Bảng 1). Do sự khác biệt của các cảm biến thu nhận ảnh khác nhau, vấn đề bão hòa của dữ liệu trong ảnh được coi là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến kết quả khi tính toán các chỉ số vật lý (Liang & Wang, 2020). Hiện tượng bão hòa này là do sự phân tán và hấp thụ trong khí quyển, có những thay đổi đáng kể theo thời gian, không gian và bước sóng. Ngoài ra, độ phản xạ bề mặt bị ảnh hưởng mạnh bởi độ cao của địa hình, ảnh hưởng rõ ràng hơn trong môi trường miền núi. Tất cả các yếu tố này quyết định tầm quan trọng của việc hiệu chỉnh khí quyển để làm giảm tác động của nhiễu xảy ra trong quá trình thu nhận tín hiệu. Để loại bỏ các ảnh hưởng của nhiễu khí quyển, trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp hiệu chỉnh bức xạ/ảnh hưởng khí quyển về phản xạ bề mặt dựa trên phương pháp ATCOR (Atmospheric/Topographic Correction) được tích hợp trong phần mềm CATALYST Professional. Từ đây, các dữ liệu được hiệu chỉnh hình học dựa trên mối quan hệ giữa tọa độ các điểm trên ảnh và được nắn

chỉnh về hệ tọa độ VN2000-Zone 48N, với sai số của độ chính xác nấn ảnh nhỏ hơn $\pm 0,5$ pixel. Các dữ liệu này tiếp tục được cân bằng phổ về cùng một mốc thời gian, nhằm loại bỏ những khác biệt môi trường đến giá trị bức xạ phổ.

Bảng 1. Thông tin dữ liệu và hình ảnh tổ hợp màu tự nhiên của ảnh Landsat được sử dụng

Vệ tinh/Sensor	Ngày chụp	Mã ảnh
Landsat 7 ETM ⁺	16/11/2000	LE07_L1TP_126045_20001116_01_T1
Landsat 8-OLI	12/11/2020	LC08_L1TP_126045_20201112_01_T1



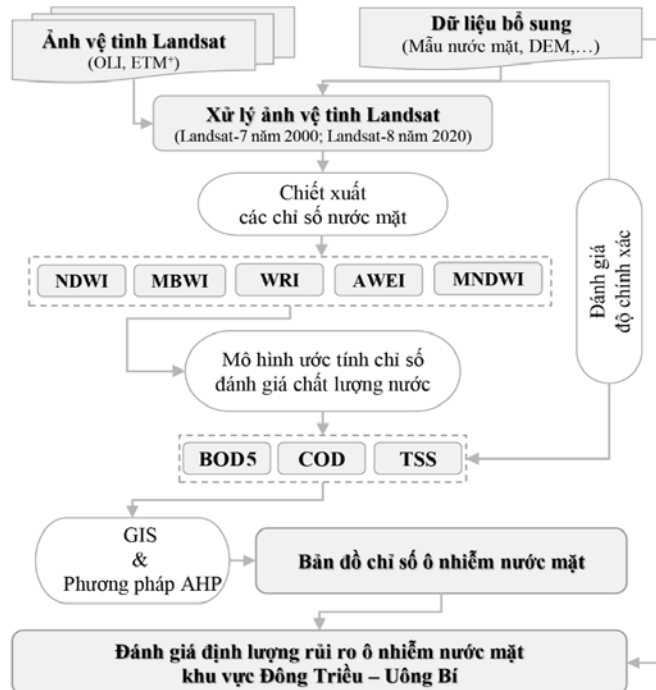
Ảnh Landsat 7 ETM⁺ tổ hợp màu tự nhiên



Ảnh Landsat 8 OLI tổ hợp màu tự nhiên

2.3. Khung phương pháp luận sử dụng trong nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng kỹ thuật viễn thám và GIS để định lượng rủi ro ô nhiễm nước mặt theo không gian và thời gian dựa trên các chỉ số ô nhiễm nước mặt (TSS, COD, BOD5) được thu thập thực địa tại khu vực Ưông Bí – Đông Triều, tỉnh Quảng Ninh. Phương pháp sử dụng trong nghiên cứu này được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Khung phương pháp được sử dụng để phân tích rủi ro đối với ô nhiễm nước mặt

Quá trình thực hiện phân tích bao gồm: (1) Phân tích sự thay đổi chất lượng nước mặt ở khu vực Uông Bí – Đông Triều giai đoạn 2000-2020; (2) Lựa chọn mô hình ước tính chỉ số đánh giá chất lượng nước mặt; và (3) Đánh giá định lượng rủi ro ô nhiễm nước mặt tại khu vực Đông Triều – Uông Bí trong hai thập kỉ trở lại đây.

2.3.1. Chiết xuất chỉ số nước mặt từ dữ liệu viễn thám

Mối quan hệ giữa đặc tính quang phổ và các chỉ số đánh giá chất lượng trong nước đã được nghiên cứu từ những năm 1970, khi các vệ tinh quan sát Trái Đất bắt đầu phát triển (Mohammad et al., 2016). Tính chất quang học của nước phụ thuộc vào nồng độ và đặc tính của các thành phần có trong nước. Cảm biến trên vệ tinh có thể đo lường bức xạ mặt trời ở các bước sóng khác nhau được phản xạ bởi tính chất của nước và có thể tương quan với các chỉ số đánh giá chất lượng trong nước như BOD5, COD và TSS. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã lựa chọn các chỉ số nước mặt được chiết tách từ ảnh vệ tinh Landsat, bao gồm: NDWI (chỉ số nước chênh lệch chuẩn hóa), MNDWI (chỉ số nước chênh lệch chuẩn hóa hiệu chỉnh), WRI (chỉ số tỉ lệ nước), AWEI (chỉ số chiết tách nước tự động) và MBWI (chỉ số nước đa kênh phổ) tham gia vào mô hình tính toán chỉ số rủi ro ô nhiễm nước mặt (Bảng 2). Các chỉ số này được lựa chọn sau khi đã tham khảo các nghiên cứu trước đây (Acharya et al., 2018; Wang et al., 2018).

Bảng 2. Các chỉ số vật lí chiết tách từ ảnh vệ tinh Landsat

Chỉ số vật lí	Mô tả	Công thức
NDWI	Normalized Difference Water Index	$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$
MNDWI	Modification Of Normalized Difference Water Index	$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}$
WRI	Water Ratio Index	$WRI = \frac{GREEN + RED}{NIR + SWIR1}$
AWEI	Automated Water Extraction Index	$AWEI = 4 \times (GREEN - SWIR2) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR1)$
MBWI	Multi-Band Water Index	$MBWI = 2 \times (GREEN) - RED - NIR - SWIR1 - SWIR2$

2.3.2. Mô hình ước tính chỉ số chất lượng nước mặt

Để đánh giá mối tương quan giữa các chỉ số nước mặt được tính toán từ dữ liệu ảnh viễn thám (NDWI, MNDWI, WRI, AWEI, MBWI) và các chỉ số đánh giá chất lượng nước (TSS, BOD5, COD), nghiên cứu sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính đa biến. Trong phương pháp hồi quy tuyến tính đa biến, cần tính hai chỉ số định lượng giữa giá trị đo được và giá trị dự đoán được tính toán trong phần mềm mã nguồn mở R-studio (Pham et al., 2019). Phương pháp Bayesian Model Average (BMA) đã được sử dụng để tìm các mô hình hồi quy tuyến tính đa biến tối ưu để ước tính các chỉ số đánh giá chất lượng nước từ dữ liệu ảnh viễn thám. Phương pháp BMA ước tính các hệ số hồi quy dựa trên xác suất xuất hiện của các mô hình được xem xét, trong trường hợp số biến độc lập ít hơn 20 biến, tất cả các tập hợp con

có thể được liệt kê, đánh giá và sử dụng phép lọc các mô hình dựa trên tiêu chí thông tin của BIC (Bayesian Information Criterion) để chọn mô hình tối ưu. Đây là phương pháp khắc phục được vấn đề thừa biến (biến không có tác động thực tế) trong mô hình hồi quy. Bên cạnh việc lựa chọn mô hình tối ưu, phương pháp BMA còn có thể xác định các biến có liên quan độc lập đến biến phụ thuộc. Mô hình sử dụng 70% số mẫu đo chất lượng nước tại khu vực Đông Triều – Uông Bí để tính toán mối quan hệ thống kê giữa 5 chỉ số nước mặt và 3 chỉ số đánh giá chất lượng nước (Bảng 3).

Bảng 3. Mô hình ước tính chỉ số nước mặt bằng phương pháp BMA

Mô hình với biến phụ thuộc TSS								
	p!=0	EV	SD	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Intercept	100	-8,7	33,6	-13,8	-11,3	4,7	-3,9	-9,1
AWEI	53	-52	80,1	-120,5	-	-	-	-77,5
MBWI	62	-61	71,2	-	-144	-92,9	-88,2	-38,2
MNDWI	41	-25	106	-	-	-	-88,2	-
NDWI	63	1,1	1,3	2,4	-	1,8	-	2,2
WRI	58	1,1	1,6	-	1,9	-	2,7	-
nVAR				2	2	2	3	3
R ²				0,78	0,75	0,72	0,78	0,78
BIC				-8,44	-8,15	-7,21	-7,16	-7,12
POST PROB				0,13	0,11	0,07	0,06	0,06
Mô hình với biến phụ thuộc COD								
	p!=0	EV	SD	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Intercept	100	50,4	17,1	40,1	57,3	66,8	57,1	56,7
WRI	62	-0,9	1,1	-1,8	-	-	-0,1	-
MBWI	61	0,6	0,7	1,2	-	-	-	0,1
MNDWI	100	141,2	83,8	201,7	85,3	62,9	99,9	82,6
NDWI	100	-70,7	22,3	-72	-67,9	-70,3	-72,7	-65,6
AWEI	77	-60,2	55,1	-100,3	-31	-	-35,4	-31,6
nVAR				5	3	2	4	4
R ²				0,87	0,72	0,64	0,73	0,72
BIC				-7,66	-5,09	-5,01	-3,16	-2,96
POST PROB				0,52	0,14	0,13	0,05	0,05
Mô hình với biến phụ thuộc BOD5								
	p!=0	EV	SD	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Intercept	100	53,8	8,7	56	53,5	47,6	47,9	55,9
WRI	96	1,1	0,5	1,3	1,2	0,7	0,9	1,3
MBWI	35	0,1	0,3	-	-	0,3	-	-0,1
MNDWI	70	-32,6	37,7	-46,7	-35,9	-	-	-47,9
NDWI	83	-26,	19,8	-27,2	-28,3	-30,7	-41,7	-27,6
AWEI	47	-11,1	20,6	-	-9,3	-30,8	-24,6	-
nVAR				3	4	4	3	4
R ²				0,93	0,92	0,92	0,91	0,91
BIC				-17,82	-16,11	-16,10	-15,90	-15,69
POST PROB				0,27	0,11	0,11	0,10	0,09

Như vậy, phương trình để tính toán TSS từ dữ liệu viễn thám được tính theo công thức (1); COD theo công thức (2) và BOD5 theo công thức (3):

$$TSS = -13,8 - 120,5 \times (AWEI) + 2,4 \times (NDWI) \quad (1)$$

$$COD = 40,1 - 1,8 \times (WRI) + 1,2 \times (MBWI) + 201,7 \times (MNDWI) - 72 \times (NDWI) - 100,3 \times (AWEI) \quad (2)$$

$$BOD5 = 56 + 1,3 \times (WRI) - 46,7 \times (MNDWI) - 27,2 \times (NDWI) \quad (3)$$

Để xây dựng các bản đồ rủi ro ô nhiễm nước mặt từ các mô hình được lựa chọn, nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process) để xác định trọng số và thứ bậc của các chỉ số đánh giá chất lượng trong nước (TSS, BOD5, COD). Phương pháp AHP có nhiều lợi thế hơn so với các phương pháp phân tích quyết định nhiều tiêu chí khác như phân cấp và thuộc tính đa dạng, tính linh hoạt cao, có khả năng kiểm tra sự không nhất quán và hỗ trợ đưa ra quyết định một cách chính xác. Bên cạnh đó, tất cả các tiêu chí được phân loại thành năm mức độ ô nhiễm dựa trên thuật toán "natural break" và được hiệu chỉnh bởi những chuyên gia có kiến thức và chuyên môn trong lĩnh vực tài nguyên nước thuộc Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường Quảng Ninh. Bảng 4 cho thấy, các mức độ ô nhiễm liên quan đến các chỉ số đánh giá chất lượng nước và được chia thành 5 mức độ ô nhiễm: (i) Rất thấp, (ii) Thấp, (iii) Vừa phải, (iv) Cao, và (v) Rất cao.

Bảng 4. Mức độ ô nhiễm nước mặt của khu vực nghiên cứu

	Mức độ ô nhiễm nước mặt				
	Rất thấp	Thấp	Vừa phải	Cao	Rất cao
(TSS)	<11,3	11,3-34,2	34,2-63,9	63,9-104,3	>104,3
(COD)	<31,1	31,1-75,9	75,9-99,6	99,6-122,8	>122,8
(BOD5)	<36,2	36,2-73,1	73,1-86,8	86,8-95,1	>95,1

Chỉ số rủi ro ô nhiễm nước mặt được thể hiện bằng tổng các chỉ số TSS, COD và BOD5. Sau đó, chỉ số rủi ro ô nhiễm nước mặt (RW) được sử dụng để đánh giá sự khác biệt về phân bố không gian của các mức độ ô nhiễm trong một thời kì và được ước tính bởi (công thức 4):

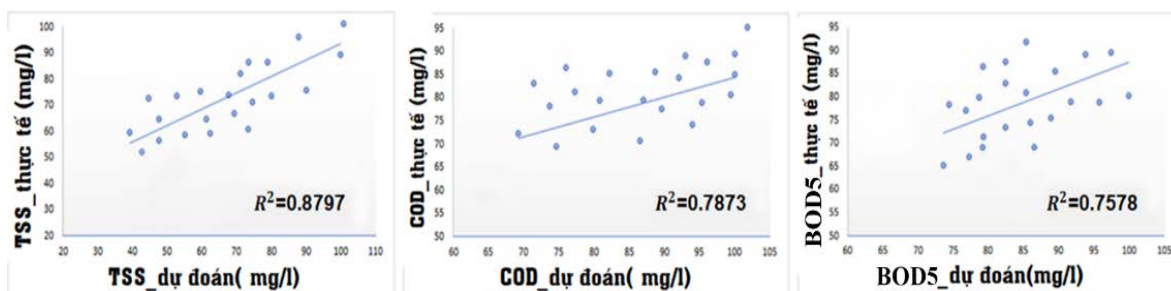
$$RW = W_A \times TSS + W_B \times COD + W_C \times BOD5 \quad (4)$$

Trong đó: W_A , W_B , W_C lần lượt là trọng số của TSS, COD và BOD5. Thông tin chi tiết về phạm vi không gian giá trị RW trong từng mức độ ô nhiễm sẽ được trình bày trong phần 3.2.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Độ chính xác mô hình tính toán chỉ số TSS, BOD5 và COD từ dữ liệu viễn thám

Để đánh giá độ chính xác của các mô hình tính toán BOD5, COD và TSS từ ảnh vệ tinh, nghiên cứu sử dụng 30% số mẫu nước còn lại để đánh giá hiệu suất của các mô hình dựa đoán. Hình 3 minh họa mối quan hệ giữa các chỉ số đánh giá chất lượng nước (TSS, BOD5, COD) thực tế với các chỉ số (TSS, BOD5, COD) dự đoán. Biểu đồ phân tán của các giá trị dự đoán và thực tế thể hiện mối quan hệ tuyến tính và có hệ số xác định (R^2) cao với TSS ($R^2=0,87$), COD ($R^2=0,78$), và BOD5 ($R^2=0,75$). Như vậy, có thể sử dụng các công thức (1), (2) và (3) trong phần 2.3.2 để ước tính các chỉ số chất lượng nước từ ảnh vệ tinh tại khu vực Đông Triều – Uông Bí.



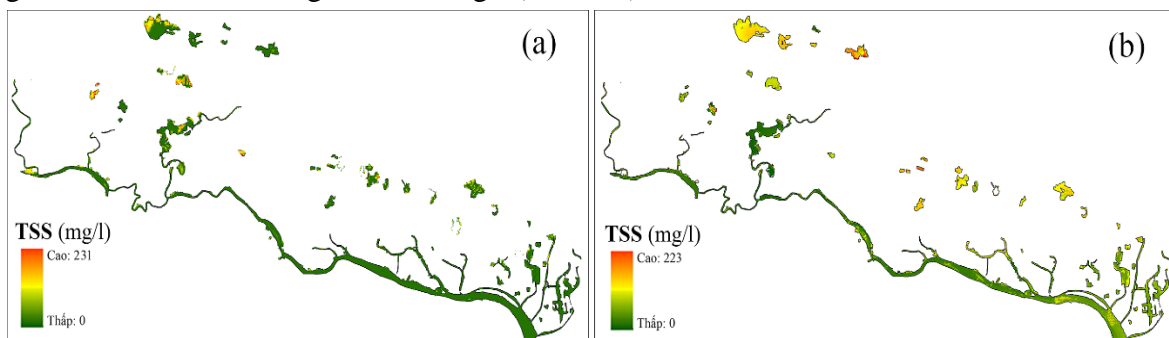
Hình 3. Biểu đồ phân tán của các giá trị dự đoán

TSS (bên trái), COD (giữa), BOD (bên phải) so với TSS, COD và BOD5 thực tế

3.2. Phân bố không gian của các chỉ số ô nhiễm nước

- Tổng lượng chất rắn lơ lửng (TSS):

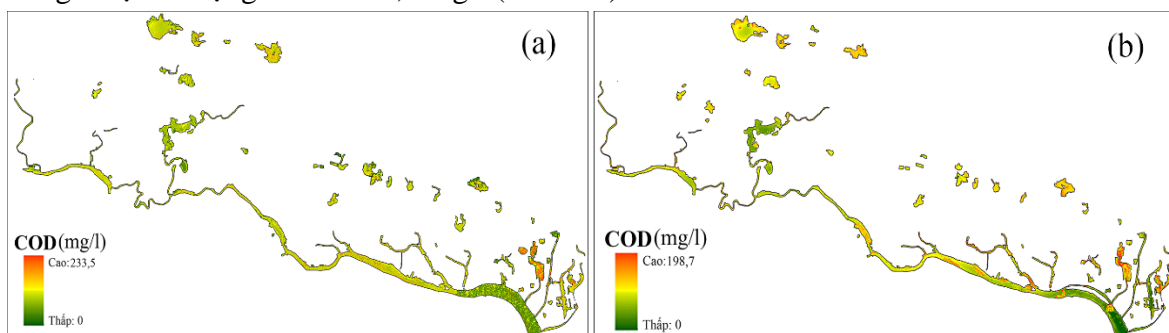
TSS được tính toán từ dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat (OLI, ETM⁺) theo công thức (1). Cho thấy sự phân bố không gian của hàm lượng TSS cao ở ven các bờ hồ và ven các sông nhỏ đối với thời kỳ 2000, với tổng lượng chất rắn lơ lửng dao động từ 0-231 mg/l (Hình 4a; và sự phân bố không gian của TSS cao ở các hồ và vùng hạ lưu sông đối với năm 2020 với giá trị của TSS dao động từ 0-223 mg/l (Hình 4b).



Hình 4. Phân bố không gian của hàm lượng TSS thời kỳ 2000 (a) và 2020 (b)

- Lượng nhu cầu oxy hóa cần thiết (COD):

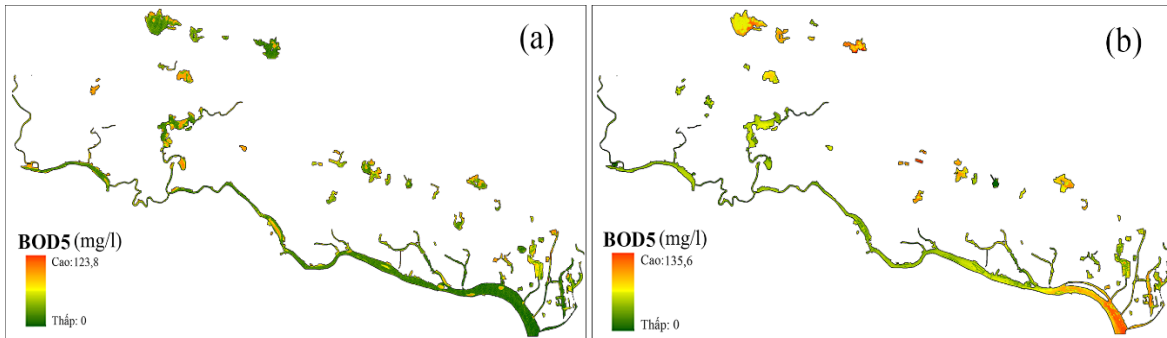
Hàm lượng COD cao và vừa phải được phân bố không gian ở tất cả khu vực nước mặt đối với thời kỳ 2000 và có giá trị dao động từ 0-233,5 mg/l (Hình 5a); đối với thời kỳ 2020 thì có sự khác biệt, hàm lượng COD tập trung ở các hồ lớn, nhỏ và phần trung tâm của sông với giá trị dao động từ 0 – 198,7 mg/l (Hình 5b).



Hình 5. Phân bố không gian của hàm lượng COD thời kỳ 2000 (a) và 2020 (b)

- *Lượng nhu cầu oxy sinh học cần thiết (BOD5):*

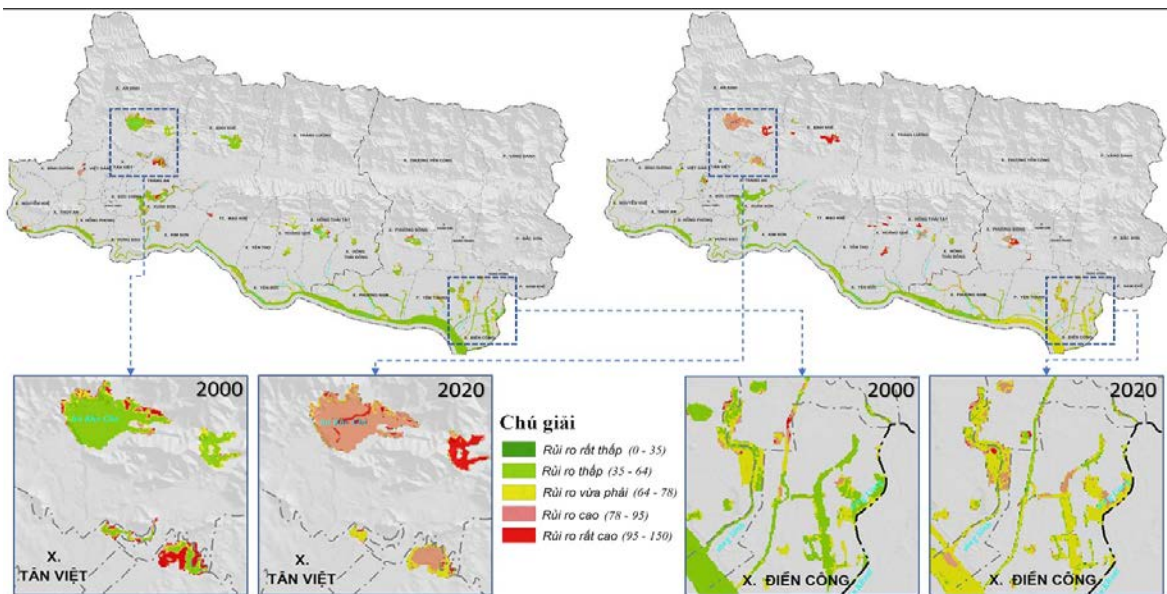
Phân bố không gian hàm lượng BOD5 cao và rất cao chủ yếu ở một số hồ nhỏ, ven các hồ lớn và ven một số đoạn sông đối với thời kì 2000 với lượng nhu cầu oxy sinh học cần thiết để phân hủy các chất hữu cơ có trong nước có giá trị dao động từ 0-123,8 mg/l (Hình 6a); và sự phân bố BOD5 cao ở các hồ lớn, nhỏ và phân hạ lưu sông đối với thời kì 2020 và có giá trị BOD5 dao động từ 0-135,6 mg/l (Hình 6b).



Hình 6. Phân bố không gian của hàm lượng BOD5 thời kì 2000 (a) và 2020 (b)

3.3. Xây dựng bản đồ rủi ro ô nhiễm nước mặt tại khu vực Đông Triều – Uông Bí

Phân tích rủi ro đối với ô nhiễm nước mặt được thực hiện bằng giá trị của RW (công thức 4). Quá trình tính toán trọng số từ ba nhóm chỉ số đánh giá chất lượng trong nước được thực hiện thông qua AHP như đã mô tả trong phần trước. Các kết quả có trọng số được tính toán cho các nhóm này là TSS (0,35), COD (0,15), BOD5 (0,5) với CI = 0,019 và CR = 0,035 < 0,10 (thỏa mãn điều kiện).



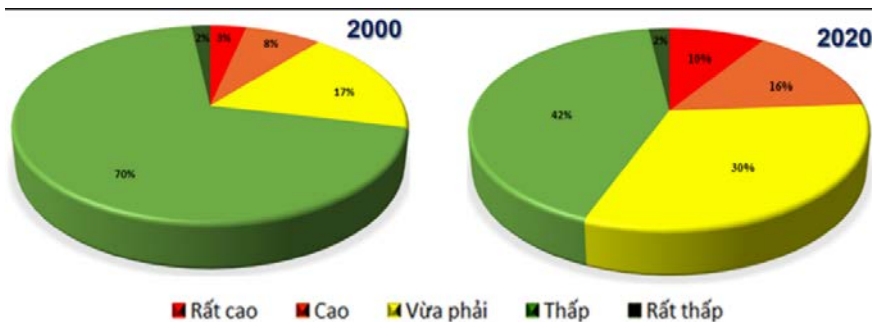
Hình 7. Phân bố không gian và thời gian rủi ro ô nhiễm nước mặt giai đoạn 2000-2020

Kết quả như trong Hình 7 mô tả sự phân bố theo không gian và thời gian của chỉ số RW tại khu vực Đông Triều – Uông Bí các thời kì (2000 và 2020) và RW được phân ngưỡng bằng cách sử dụng chức năng "natural break" trong ArcGIS để phân cấp các mức độ rủi ro

thành 5 mức độ: (i) Rủi ro rất thấp (0-35), (ii) Rủi ro thấp (35-64), (iii) Rủi ro vừa phải (64-78), (iv) Rủi ro cao (78-95), và (v) Rủi ro rất cao (95-150). Sự phân bố không gian của RW không đồng đều và dao động theo thời gian. Thời kỳ 2000, các khu vực có mức độ Rủi ro rất cao chủ yếu được tìm thấy ở phía Tây, các khu vực có mức độ Rủi ro rất thấp được phân bố ở phía Đông Nam của khu vực Đông Triều – Uông Bí. Thời kỳ 2020, bản đồ rủi ro ô nhiễm nước mặt cho thấy xu hướng không gian có thể quan sát được theo hướng Đông Nam và phạm vi mở rộng của RW về phía trung tâm của khu vực xung quanh các vị trí có hoạt động khai thác khoáng sản và khu vực dân cư.

(i) Đối với thời kỳ 2000: khu vực có mức độ Rủi ro rất cao, ghi nhận mức độ rất cao của (TSS, COD, BOD5) chiếm 104,21 ha (khoảng 3%), khu vực Rủi ro cao có diện tích 221,54 ha (8%), khu vực Rủi ro vừa phải có diện tích 512,43 ha (17%), khu vực Rủi ro thấp có diện tích 2.040,79 ha (70%), và khu vực Rủi ro rất thấp có diện tích 54,1 ha (2%) (Hình 8-bên trái).

(ii) Đối với thời kỳ 2020: khu vực Rủi ro rất cao, ghi nhận mức độ rất cao của (TSS, COD, BOD5) chiếm 256,14 ha (khoảng 10%), khu vực Rủi ro cao có diện tích 406,19 ha (16%), khu vực Rủi ro vừa phải có diện tích 871,54 ha (30%), khu vực Rủi ro thấp có diện tích 1.156,11 ha (42%), và khu vực Rủi ro rất thấp có diện tích 54,35 ha (2%) (Hình 8-bên phải).



Hình 8. Tỷ lệ phân trăm RW giai đoạn 2000-2020 tại khu vực Đông Triều – Uông Bí

Mục tiêu chính của nghiên cứu này thực hiện một phân tích không gian và thời gian về sự thay đổi chất lượng nước mặt tại khu vực Uông Bí – Đông Triều, tỉnh Quảng Ninh. Với mục đích đó, một số chỉ số vật lý nhạy cảm với nước mặt đã được lựa chọn và áp dụng cho ảnh vệ tinh Landsat 7 ETM⁺ và Landsat 8-OLI. Mô hình sẽ được cải thiện hơn nếu như dữ liệu thu thập mẫu nước ngoài thực địa cùng một ngày. Từ bản đồ rủi ro ô nhiễm nước mặt của khu vực Đông Triều – Uông Bí cho thấy, khu vực tập trung đông dân cư, có nhiều hoạt động khai thác tài nguyên khoáng sản như khu vực xung quanh cửa sông các xã An Sinh, Bình Khê thuộc thị xã Đông Triều, các xã Hồng Thái, Hoàng Quế thuộc thành phố Uông Bí có mức độ ô nhiễm nước cao hơn vùng xung quanh đầu nguồn. Nghiên cứu này, cũng mang lại một bức tranh tổng thể về phân bố không gian của rủi ro đối với ô nhiễm nước mặt và cung cấp cái nhìn sâu sắc về lý do tại sao rủi ro được nhìn nhận theo những cách khác nhau. Ngoài ra, nghiên cứu này đại diện cho một nghiên cứu điển hình khác khẳng định việc sử dụng dữ liệu viễn thám trong lập bản đồ và giám sát chất lượng nước.

4. Kết luận

Tích hợp công nghệ viễn thám và GIS được sử dụng để đánh giá rủi ro ô nhiễm nước mặt ở khu vực Đông Triều – Uông Bí bước đầu đã cho kết quả tương đối tốt. Ảnh vệ tinh Landsat (ETM⁺ và OLI) với nhiều kênh phổ cung cấp dữ liệu đa thời gian cần thiết cho mục đích của nghiên cứu này. Các chỉ số TSS, COD và BOD5 đã được lựa chọn để đại diện cho việc đánh giá chất lượng nước và được sử dụng làm tiêu chí đầu vào cho mô hình tính toán định lượng rủi ro ô nhiễm nước mặt, để xác các định mức độ ô nhiễm nước mặt và phân bố không gian của các mức độ rủi ro trong khu vực. Các kết quả cho thấy, trong vòng hai thập kỉ (2000-2020), diện tích khu vực có mức ô nhiễm rất cao tăng từ 3% lên 10%. Khu vực có mức ô nhiễm nước cao tăng từ 8% lên 16%, diện tích khu vực có mức ô nhiễm nước vừa phải cũng theo chiều tăng từ 17% lên 30%, diện tích khu vực ô nhiễm nước thấp giảm từ 70% xuống còn 42%, diện tích khu vực ô nhiễm rất thấp vẫn duy trì được tỉ lệ không đổi là 2%. Với dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ, đa thời gian dễ dàng tính toán và phân tích nhanh hơn so với các phương pháp truyền thống. Do đó, tính thực tiễn cao và khả năng tương tác của các kĩ thuật viễn thám, GIS và mô hình ước tính định lượng chất lượng nước theo hướng tích hợp sẽ cải thiện đáng kể kết quả dựa đoán trong các nghiên cứu định tính về tài nguyên nước. Hơn nữa, nghiên cứu hiện tại có thể áp dụng các mô hình thử nghiệm đã được xây dựng cho các khu vực nước mặt tương tự để lập bản đồ chỉ số đánh giá chất lượng nước cho các vùng ở quy mô rộng hơn.

❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Acharya, T., Subedi, A., & Lee, D. (2018). Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensors* 18, 2580. <https://doi.org/10.3390/s18082580>
- Chen, D., Elhadj, A., Xu, H., Xu, X., & Qiao, Z. (2020). A Study on the Relationship between Land Use Change and Water Quality of the Mitidja Watershed in Algeria Based on GIS and RS. *Sustainability* 12, 3510. <https://doi.org/10.3390/su12093510>
- Hina, H., Nafees, M., & Ahmad, T. (2021). Treatment of industrial wastewater with gamma irradiation for removal of organic load in terms of biological and chemical oxygen demand. *Heliyon* 7, e05972. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05972>
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detecting, Extracting, and Monitoring Surface Water From Space Using Optical Sensors: A Review. *Rev. Geophys*, 56, 333-360. <https://doi.org/10.1029/2018RG000598>
- Khan, A., Khan, H. H., & Umar, R. (2017). Impact of land-use on groundwater quality: GIS-based study from an alluvial aquifer in the western Ganges basin. *Appl Water Sci* 7, 4593-4603. <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0612-7>

- Liang, S., & Wang, J. (2020). Atmospheric correction of optical imagery, in: *Advanced Remote Sensing. Elsevier*, 131-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815826-5.00004-0>
- Lim, J., & Choi, M. (2015). Assessment of water quality based on Landsat 8 operational land imager associated with human activities in Korea. *Environ Monit Assess* 187, 384. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4616-1>
- Mamun, M., Kim, J. Y., & An, K. G. (2021). Multivariate Statistical Analysis of Water Quality and Trophic State in an Artificial Dam Reservoir. *Water* 13, 186. <https://doi.org/10.3390/w13020186>
- Mohammad, G., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors* 16, 1298. <https://doi.org/10.3390/s16081298>
- Nguyen, T. B. P., Dang, P. V. T., Nguyen, B. D., Nguyen, C. N. (2017). Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality in the Vietnamese Mekong Delta: The Application for Estimating Chemical Oxygen Demand in River Reaches in Binh Dai, Ben Tre. *TCCKHVTD* 39, 256-268. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/39/3/10270>
- Oladipo, J. O., Akinwumiju, A. S., Aboyeji, O. S., & Adelodun, A. A. (2021). Comparison between fuzzy logic and water quality index methods: A case of water quality assessment in Ikare community, Southwestern Nigeria. *Environmental Challenges* 3, 100038. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100038>
- Pahlevan, N., Chittimalli, S. K., Balasubramanian, S. V., Vellucci, V. (2019). Sentinel-2/Landsat-8 product consistency and implications for monitoring aquatic systems. *Remote Sensing of Environment* 220, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.027>
- Pham, V. M., Pham, M. T., Du, V. V. Q., Bui, Q. T., Tran, V. A., Pham, M. H., & Nguyen, N. T. (2019). Integrating Sentinel-1A SAR data and GIS to estimate aboveground biomass and carbon accumulation for tropical forest types in Thuan Chau district, Vietnam. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 14, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.03.003>
- Tahiru, A. A., Doke, D. A., & Baatuuwie, B. N. (2020). Effect of land use and land cover changes on water quality in the Nawuni Catchment of the White Volta Basin, Northern Region, Ghana. *Appl Water Sci* 10, 198. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01272-6>
- Wang, G., Li, J., Sun, W., Xue, B., A, Y., & Liu, T. (2019). Non-point source pollution risks in a drinking water protection zone based on remote sensing data embedded within a nutrient budget model. *Water Research* 157, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.070>
- Wang, X., Xie, S., Zhang, X., Chen, C., Guo, H., Du, J., & Duan, Z. (2018). A robust Multi-Band Water Index (MBWI) for automated extraction of surface water from Landsat 8 OLI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 68, 73-91. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.018>
- Zhu, H., Zhou, J., Song, T., Feng, H., Liu, Z., Liu, H., & Ren, X. (2020). Influences of natural and anthropogenic processes on the groundwater quality in the Dagujia River Basin in Yantai, China. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 69, 184-196. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.113>

**ESTIMATION RISK OF SURFACE WATER POLLUTION BASED
ON OPTICAL REMOTE SENSING DATA
AND MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS METHOD**

**Do Thi Nhung¹, Nguyen Thi Diem My¹, Nguyen Thi Hong¹,
Bui Quang Thanh¹, Lui Thi Phuong Mai², Pham Van Manh^{1*}**

¹University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

²Department of National Remote Sensing, Ministry of Natural Resources and Environment, Vietnam

*Corresponding author: Pham Van Manh – Email: manh10101984@gmail.com

Received: October 13, 2021; Revised: December 16, 2021; Accepted: December 20, 2021

ABSTRACT

Surface water pollution is one of the environmental problems that countries around the world are facing. The Uong Bi – Dong Trieu area, Quang Ninh province is currently facing such challenges. Remote sensing data can quickly provide information on surface water quality and monitor water quality more effectively. The analysis research involves: (1) analysis of changes in surface water quality in the Uong Bi - Dong Trieu area in the period 2000-2020, (2) select a model to estimate water quality assessment index from remote sensing data; and (3) quantitative assessment of surface water pollution risks in the research area. The results show that the predictive coefficients of determination (R^2) for water quality (BOD5, COD, and TSS) are higher than 0.75 in all three parameters. In particular, the area with high-risk to surface water pollution increased from 8% in 2000 to 16% in 2020, and the increasing percentage for the area with very high-risk was from 3% to 10%, respectively. This study emphasizes the use of multi-temporal remote sensing data with field measurements that can monitor several surface quality indicators in rivers, streams, and lakes. Furthermore, this study can be applied to surface waters on a broader scale.

Keywords: Dong Trieu – Uong Bi; Remote sensing; Surface water pollution; Water quality index