Ước tính hàm lượng chất diệp lục-a từ ảnh vệ tinh Landsat 9 phục vụ giám sát chất lượng môi trường nước mặt trong quản lý đô thị

Phạm Thị Mai Thảo[1], Vũ Danh Tuyên[2,*], Nguyễn Tiến Thành[2], Lê Văn Sơn[1], Kiều Thị Thu Trang[1], Bùi Thị Nương[1], Đào Minh Huấn[3]

1. Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

2. Khoa Trắc địa, Bản đồ và Thông tin địa lý, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

3. Phòng Khảo thí và Đảm bảo chất lượng giáo dục, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội.

Email tác giả liên hệ: vdtuyen@hunre.edu.vn

https://doi.org/10.5281/zenodo.18186393

Tóm tắt:

Nghiên cứu trình bày phương pháp ước tính hàm lượng chất diệp lục-a (Chl-a) trong nước mặt lưu vực sông Đáy từ dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 9. Ảnh vệ tinh được thu nhận tháng 6 năm 2025 và xử lý bằng phương pháp tỷ số phổ giữa kênh cận hồng ngoại (NIR) và kênh đỏ (RED). Tổng cộng 25 mẫu nước mặt được thu thập thực địa cùng thời điểm để xây dựng và hiệu chỉnh mô hình hồi quy tuyến tính đơn, liên kết giữa chỉ số phổ và hàm lượng Chl-a đo được. Kết quả cho thấy mô hình hồi quy có hệ số xác định mô hình R^2 đạt 0,86, sai số nhỏ và có ý nghĩa thống kê cao ($p < 0,001$). Bản đồ phân bố không gian hàm lượng Chl-a cho thấy giá trị cao tập trung tại khu vực trung và hạ lưu, phản ánh quá trình tích tụ dinh dưỡng và nguy cơ phú dưỡng trong mùa mưa đầu vụ. Kết quả nghiên cứu chứng minh tính hiệu quả của việc ứng dụng viễn thám trong giám sát nhanh chất lượng nước mặt, hỗ trợ công tác phục vụ giám sát chất lượng môi trường nước mặt trong quản lý đô thị.

Từ khóa: *Landsat 9, Chl-a, hồi quy, lưu vực sông Đáy, viễn thám môi trường.*

Ngày nhận bài: 16/10/2025 Ngày sửa lại: 03/11/2025 Ngày chấp nhận đăng: 06/11/2025 Ngày xuất bản: 31/12/2025

Estimation of Chlorophyll-a Concentration from Landsat 9 Satellite Imagery for Surface Water Quality Monitoring in Urban Management

Pham Thi Mai Thao[1], Vu Danh Tuyen[2,*], Nguyen Tien Thanh[2], Le Van Son[1], Kieu Thi Thu Trang[1], Bui Thi Nuong[1], Dao Minh Huan[3]

1. Faculty of Environment, Hanoi University of Natural Resources and Environment, Ha Noi, Viet Nam.

2. Faculty of Surveying, Mapping and Geographic Information Systems, Hanoi University of Natural Resources and Environment, Ha Noi, Viet Nam.

3. Department of Testing and Educational Quality Assurance, Hanoi University of Natural Resources and Environment, Ha Noi, Viet Nam.

Corresponding Author Email: vdtuyen@hunre.edu.vn

Abstract:

This study presents a method for estimating chlorophyll-a (Chl-a) concentrations in surface water of the Day River basin using Landsat 9 satellite imagery. The satellite data were acquired in June 2025 and processed using a spectral band ratio between the near-infrared (NIR) and red (RED) bands. A total of 25 surface water samples were collected simultaneously during field surveys to develop and calibrate a simple linear regression model linking the spectral index to measured Chl-a concentrations. The results indicate that the regression model achieved a high coefficient of determination ($R^2 = 0.86$), with low estimation error and strong statistical significance ($p < 0.001$). The spatial distribution map of Chl-a concentrations shows higher values concentrated in the middle and downstream sections of the basin, reflecting nutrient accumulation processes and an increased risk of eutrophication during the early rainy season. The findings demonstrate the effectiveness of remote sensing applications for rapid surface water quality monitoring, supporting environmental management and urban water quality assessment.

Keywords: *Landsat 9; Chlorophyll-a; regression; Day River basin; environmental remote sensing.*

Submission received: 16/10/2025 Revised: 03/11/2025 Accepted: 06/11/2025 Published: 31/12/2025

1. Mở đầu

Trong bối cảnh ô nhiễm nước mặt gia tăng tại các lưu vực sông lớn ở đồng bằng Bắc Bộ, việc giám sát hàm lượng chất diệp lục-a, chỉ thị quan trọng phản ánh mức độ phú dưỡng và mật độ thực vật phù du, đang trở nên cấp thiết. Các phương pháp quan trắc truyền thống thường tốn kém, thời gian xử lý lâu và không bao quát không gian rộng. Trong khi đó, công nghệ viễn thám quang học đã chứng minh khả năng cung cấp thông tin liên tục, có tính bao phủ cao và chi phí thấp, đặc biệt hiệu quả khi kết hợp với dữ liệu đo đạc thực địa. Cùng với

đó, lưu vực sông Đáy là một trong những khu vực chịu tác động mạnh từ hoạt động sản xuất nông nghiệp, đô thị hóa và phát triển công nghiệp. Nước sông thường có độ đục cao, chứa nhiều chất hữu cơ và dinh dưỡng, dẫn đến hiện tượng phú dưỡng cục bộ trong mùa mưa. Đặc biệt, quá trình đô thị hóa nhanh tại các đô thị và các khu dân cư ven sông đang làm gia tăng áp lực lên hạ tầng thoát nước, làm phát sinh nước thải sinh hoạt và công nghiệp và gây biến đổi chất lượng nước. Điều này khiến việc giám sát Chl-a không chỉ mang ý nghĩa môi trường mà còn là yêu cầu cấp thiết trong công tác quản lý đô thị, đánh giá rủi ro ô nhiễm, hỗ trợ quy hoạch thoát nước và xử lý nước thải và đảm bảo phát triển đô thị bền vững trong toàn lưu vực sông Đáy. Do đó, việc đánh giá khả năng ứng dụng ảnh Landsat 9 nhằm ước tính và lập bản đồ hàm lượng Chl-a cho lưu vực này mang ý nghĩa khoa học và thực tiễn quan trọng trong công tác quản lý tài nguyên nước.

Trên thế giới, viễn thám quang học đã được áp dụng rộng rãi để giám sát chất lượng nước mặt bằng các cảm biến Landsat, Sentinel-2 MSI, MERIS/OLCI và MODIS. Các thuật toán kinh điển gồm nhóm hàm theo băng/tỷ số băng cho Chl-a và độ đục như red-NIR/green [1], NDCI [2], OC2/OC3 cho nước biển ven bờ [3], và các mô hình bán thực nghiệm như QAA để suy ra hệ số hấp thụ/tán xạ rồi ước tính Chl-a [4,5]. Với độ đục/TSS, các hiệu chỉnh cho nước đục nội địa và ven bờ được chuẩn hóa tốt [6]. Ở quy mô chuỗi thời gian dài, Landsat/Sentinel-2 đã được chứng minh tính hiệu quả trong nghiên cứu nước mặt hồ và sông như ước tính độ trong, hàm lượng Chl-a và thành lập bản đồ biến động [7]. Trong khi đó, tại Việt Nam, hướng tiếp cận đo thực địa, ảnh vệ tinh và phân tích hồi quy đã được áp dụng hiệu quả cho Chl-a và TSS ở lưu vực sông/hệ ven bờ đồng bằng Bắc Bộ [8] và đồng bằng Sông Cửu Long [8,9] và sông Hồng, với điều chỉnh theo đặc thù nước đục nội địa (khí quyển phức tạp, hiệu ứng kề cận).

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp tỷ số ảnh

Ảnh vệ tinh Landsat 9 (Level-2 Surface Reflectance) được hiệu chỉnh khí quyển bằng phương pháp LaSRC (Land Surface Reflectance Code) nhằm loại bỏ ảnh hưởng của khí quyển và tăng độ chính xác phản xạ phổ bề mặt. Ảnh được cắt theo phạm vi lưu vực sông Đáy và đồng bộ hóa hệ tọa độ VN-2000. Các kênh phổ sử dụng trong nghiên cứu gồm kênh 4 (RED: 0.64-0.67 µm) và 5 (NIR: 0.85-0.88 µm). Chỉ số tỷ số ảnh (NIR/RED) thể hiện khả năng hấp thụ ánh sáng đỏ và phản xạ ánh sáng cận hồng ngoại của thực vật phù du trong nước, qua đó liên quan trực tiếp đến hàm lượng chất diệp lục-a [10,11]. Để phản ánh biến thiên hàm lượng Chl-a, chỉ số phổ tỷ số giữa kênh cận hồng ngoại (NIR) và kênh đỏ (RED) được sử dụng theo công thức:

$$ChlIndex_{06/2025} = \frac{\rho_{\mathrm{NIR}}}{\rho_{\mathrm{RED}}} \quad (1)$$

Trong đó: ρ_{NIR} là giá trị phản xạ bề mặt tại kênh 5 (NIR); và ρ_{RED} là giá trị phản xạ bề mặt tại kênh 4 (RED).

2.2. Phương pháp hồi quy tuyến tính

Tổng cộng 25 mẫu nước mặt được thu thập ngày 18/6/2025 tại các vị trí đại diện dọc lưu vực sông Đáy. Hàm lượng Chl-a được xác định trong phòng thí nghiệm. Giá trị ChlIndex tại các vị trí quan trắc được trích xuất từ ảnh vệ tinh và sử dụng để xây dựng mô hình hồi quy tuyến tính đơn dưới đây:

$$Chl - a_{06/2025} = \mathrm{a} \times ChlIndex_{06/2025} + \mathrm{b} \quad (2)$$

Các tham số a, và b được ước lượng bằng phương pháp bình phương tối thiểu (OLS) [12]. Mức độ phù hợp mô hình được đánh giá thông qua hệ số xác định R^2, R^2 điều chỉnh và kiểm định ý nghĩa thống kê p-value (< 0.05).

2.3. Phương pháp thành lập bản đồ

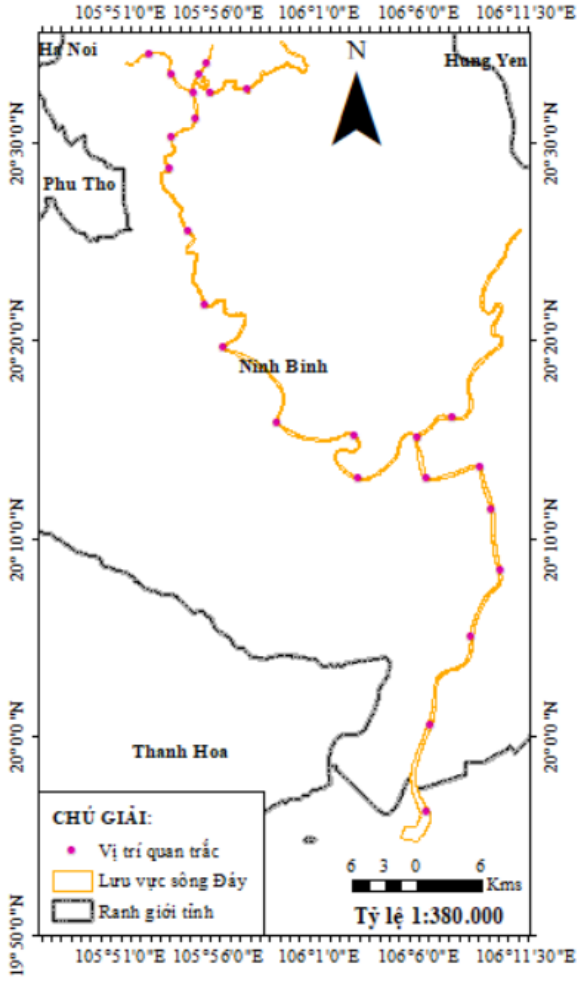
Sau khi hiệu chỉnh mô hình, ảnh vệ tinh Landsat 9 được xử lý toàn bộ vùng nghiên cứu

để tính toán bản đồ phân bố không gian hàm lượng Chl-a. Hàm lượng Chl-a được hiển thị theo thang màu liên tục từ xanh (hàm lượng thấp) đến đỏ (hàm lượng cao). Bản đồ kết quả được so sánh với các dữ liệu thực đo nhằm đánh giá xu thế không gian và diễn biến theo lưu vực.

3. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

Lưu vực sông Đáy nằm ở phía Tây Nam đồng bằng sông Hồng, chảy qua Hà Nội, Ninh Bình và Hưng Yên với chiều dài khoảng 240 km. Khu vực sông Đáy có địa hình thấp dần từ Bắc xuống Nam, chịu ảnh hưởng rõ rệt của chế độ mưa mùa và triều biển Đông, thường xuyên ô nhiễm nước mặt do nước thải sinh hoạt, nông nghiệp và công nghiệp. Đây là vùng kinh tế và xã hội phát triển nhanh, đồng thời chịu sức ép lớn về môi trường, nên rất thích hợp để nghiên cứu biến động chất lượng nước và hàm lượng chất diệp lục - a bằng công nghệ viễn thám.

Nghiên cứu sử dụng cảnh ảnh Landsat 9, thu nhận ngày 11 tháng 6 năm 2025 từ bộ cảm biến OLI-2/TIRS-2 của vệ tinh Landsat 9. Cảnh ảnh thuộc path 126, row 046 trong hệ thống WRS-2, bao phủ khu vực lưu vực sông Đáy. Cảnh ảnh sau khi cắt theo ranh giới được sử dụng để xử lý để tính toán chỉ số phổ giữa kênh 5 (NIR) và kênh 4 (RED). Ngoài ra 25 mẫu quan trắc chất lượng nước mặt sông Đáy được quan trắc ngày 18 tháng 6 năm 2025 cũng được sử dụng là dữ liệu đầu vào mô hình hồi quy để xây dựng mô hình ước tính hàm lượng Chl-a, qua đó lập bản đồ phân bố Chl-a cho lưu vực sông Đáy.



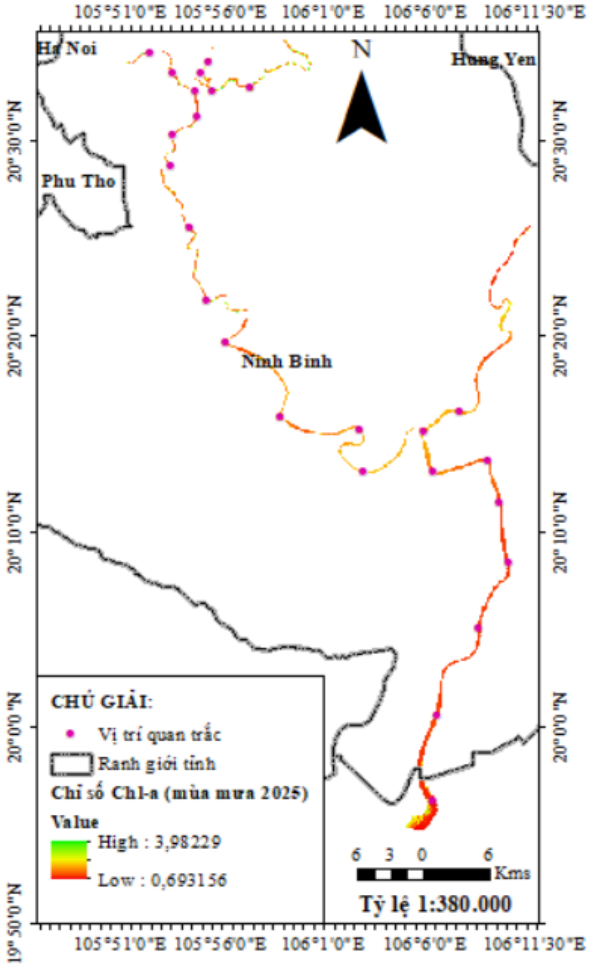
Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu và địa điểm quan trắc chất lượng nước mặt.

4. Kết quả nghiên cứu

4.1 Đánh giá sự phân bố tỷ số ảnh giữa kênh NIR và RED

Phân tích ảnh tỷ số giữa kênh B5 (NIR) và B4 (RED) xác định từ ảnh Landsat 9 tháng 6 năm 2025 tại lưu vực sông Đáy cho thấy chỉ số tỷ số giữa kênh B5 và B4 (Red) là một trong những chỉ số phổ đơn giản nhưng hiệu quả trong việc phản ánh hàm lượng chất diệp lục-a trong môi trường nước, đặc biệt là các thủy vực bị ảnh hưởng bởi sự phát triển của thực vật phù du. Trong nghiên cứu này, dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat 9 (tháng 6/2025) được xử lý để tính toán chỉ số Chl-a thông qua tỷ số phổ kênh 5 (NIR) và kênh 4 (RED), để lập bản đồ phân bố Chl-a cho lưu vực sông Đáy (Hình 2).

Biểu đồ tỷ số ảnh tại thời điểm tháng 6 năm 2025, thời điểm đầu mùa mưa, cho thấy sự thay đổi về phân bố không gian giá trị tỷ số ảnh phản ánh hàm lượng Chl-a. Tổng thể, bản đồ xuất hiện nhiều đoạn sông có chỉ số cao hơn, với màu cam và đỏ phân bố rộng khắp, đặc biệt là tại khu vực giữa và cuối dòng chảy. Các giá trị tỷ số ảnh dao động từ 0.69 đến 3.98. Tỷ số ảnh có giá trị thấp tập trung ở khu vực thương lưu, trong khi đó giá trị cao tập trung về phía hạ lưu của lưu vực. Kết quả này cho thấy sự gia tăng về hàm lượng chất hữu cơ và dinh dưỡng hòa tan trong nước có đặc trưng điển hình của mùa mưa, khi dòng chảy mặt mang theo đất, phân bón và các chất thải từ đất liền ra sông. Khu vực thượng nguồn vẫn duy trì mức Chl-a thấp hơn, tuy nhiên có một số điểm xuất hiện màu cam cho thấy sự khởi đầu của hiện tượng tích lũy dinh dưỡng. Đặc biệt, khu vực trung lưu đến hạ lưu có thể xảy ra hiện tượng tích tụ dòng chảy và giao thoa giữa nguồn nước đô thị, nông nghiệp xuất hiện các chỉ số Chl-a cao hơn rõ rệt. Điều này cho thấy nguy cơ phú dưỡng và bùng phát tảo có thể bắt đầu hình thành, cần được quan trắc sát sao trong các tháng tiếp theo.



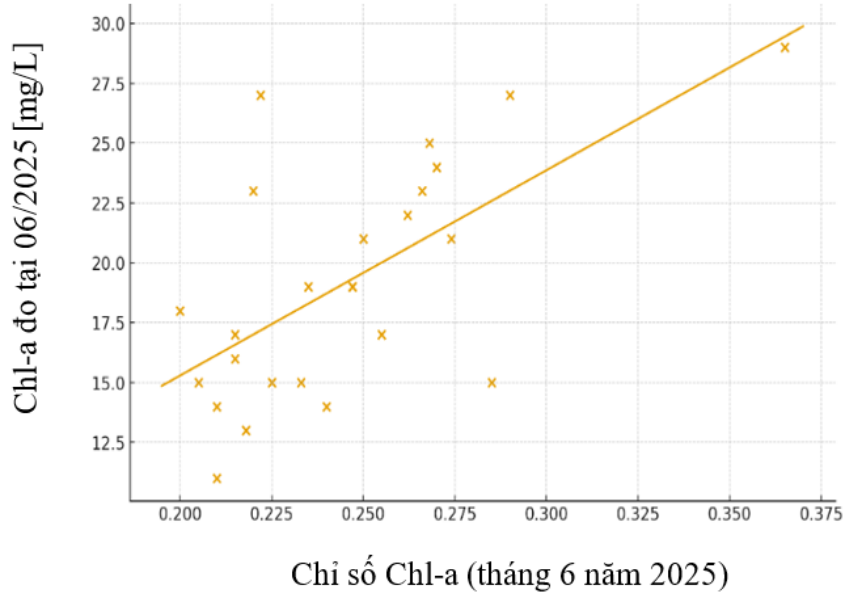
Hình 2. Tỷ số ảnh vệ tinh Landsat tại tháng 6 năm 2025

4.2 Đánh giá độ chính xác mô hình hồi quy

Mô hình hồi quy cho thấy mối liên hệ rất mạnh giữa Chl-a thực đo và chỉ số tỷ số ảnh chiết tách từ ảnh vệ tinh viễn thám Landsat tại tháng 6 năm 2025. Phương trình để ước tính hàm lượng Chl-a được xác định theo công thức dưới đây:

$$Chl - a_{06/2025} = 3.6066 \times ChlIndex_{06/2025} - 1.4863 \quad (3)$$

Biến ChlIndex là tỷ số ảnh giữa kênh NIR và RED của kênh ảnh vệ tinh Landsat 9 và có ý nghĩa thống kê rất cao ($p < 0.001$), cho thấy chỉ số phổ nắm bắt tốt biến thiên Chl-a. Mức giải thích với hệ số xác định mô hình R^2 đạt 0,86 (hệ số R^2 điều chỉnh đạt 0,85), tương đương xấp xỉ 86,0% phương sai rất tốt đối với mô hình đơn biến từ tổng cộng 25 mẫu quan trắc.



Hình 3. Biểu đồ phân tán chỉ số tỷ số ảnh và hàm lượng Chl-a thực đo.

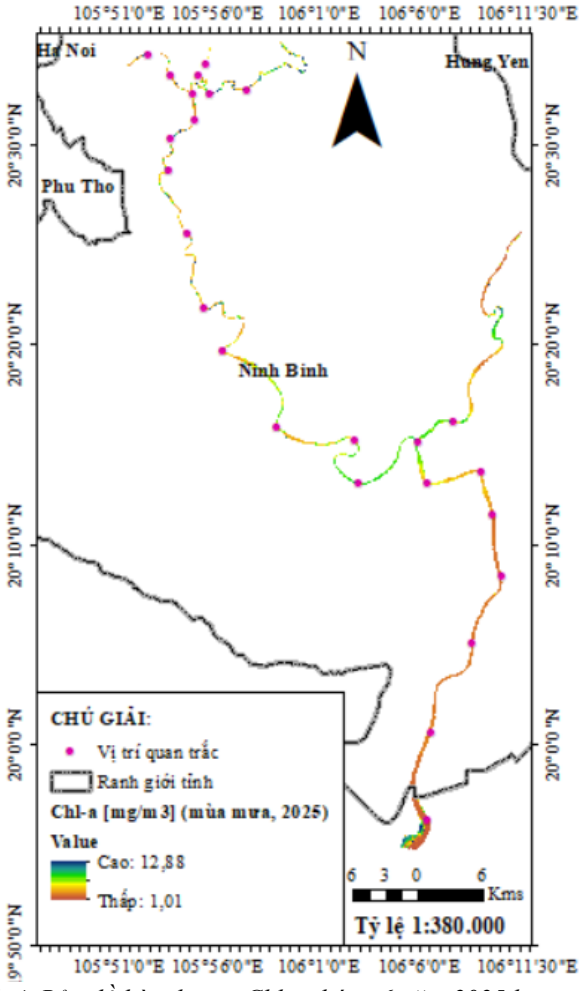
4.3 Đánh giá sự phân bố hàm lượng chất diệp lục

Trong tháng 6 năm 2025, thời điểm bắt đầu mùa mưa, hàm lượng Chl-a tăng rõ rệt, với biên độ biến thiên từ 1,01-12,88 mg/m³. Trên bản đồ, sự xuất hiện nhiều đoạn sông mang màu cam và đỏ tập trung ở vùng trung và hạ lưu cho thấy nồng độ Chl-a đã gia tăng nhanh chóng, phản ánh tác động trực tiếp của quá trình rửa trôi đất, phân bón và chất hữu cơ từ nông nghiệp và sinh hoạt vào sông khi lượng mưa đầu vụ tăng. Đây chính là nguyên nhân làm giàu nguồn dinh dưỡng (nitơ, phospho) trong nước, thúc đẩy sự phát triển mạnh mẽ của tảo và sinh vật phù du. Đồng thời, nhiệt độ và cường độ bức xạ mặt trời cao trong mùa hè đã tạo điều kiện lý tưởng để quần thể tảo bùng nổ, dẫn đến sự gia tăng đáng kể hàm lượng Chl-a.

4.4 Ý nghĩa của kết quả ước tính hàm lượng chất diệp lục-a đối với quản lý môi trường nước trong quản lý đô thị lưu vực sông Đáy

Kết quả phân bố hàm lượng Chl-a được ước tính từ ảnh Landsat 9 cung cấp nguồn thông tin quan trọng phục vụ giám sát môi trường nước tại các đô thị ven sông thuộc lưu vực sông Đáy. Với độ phủ không gian rộng và chu kỳ lặp ổn định, dữ liệu vệ tinh cho phép nhận diện sớm các khu vực có nguy cơ phú dưỡng cục bộ, đặc biệt tại các đoạn sông chảy qua khu vực đô thị hóa nhanh, nơi nước thải sinh hoạt và công nghiệp gia tăng đáng kể. Trong bối cảnh áp lực đô thị hóa và phát triển công nghiệp gia tăng và nhiều khu dân cư ven sông, thông tin từ bản đồ Chl-a là cơ sở quan trọng để: (i) đánh giá hiệu quả hệ thống thoát nước và xử lý nước thải đô thị; (ii) hỗ trợ quy hoạch, điều chỉnh các khu vực phát triển đô thị có nguy cơ tác động đến môi trường nước; (iii) xây dựng các chương trình giám sát định kỳ và cảnh báo sớm suy thoái chất lượng nước; và (iv) phục vụ ra quyết định trong quản lý tổng hợp tài nguyên nước đô thị. Bên cạnh đó, chuỗi dữ liệu theo thời gian cho phép theo dõi xu hướng biến động Chl-

a qua các năm, từ đó hỗ trợ đánh giá tác động lâu dài của đô thị hóa đến hệ sinh thái sông. Do đó, kết quả ước tính Chl-a từ ảnh Landsat 9 không chỉ mang ý nghĩa khoa học trong việc làm rõ đặc trưng quang học của nước sông Đáy mà còn đóng vai trò quan trọng trong công tác quản lý môi trường nước phục vụ quản lý đô thị, góp phần nâng cao hiệu quả quản trị tài nguyên nước tại các đô thị trong lưu vực.



Hình 4. Bản đồ hàm lượng Chl-a tháng 6 năm 2025 lưu vực sông Đáy.

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã chứng minh khả năng sử dụng ảnh vệ tinh Landsat 9 trong ước tính hàm lượng chất diệp lục-a tại lưu vực sông Đáy với độ tin cậy cao. Mô hình hồi quy tuyến tính giữa chỉ số phổ (NIR/RED) và Chl-a thực đo với hệ số xác định mô hình R^2 đạt 0,86, thể hiện mối tương quan chặt chẽ giữa phản xạ quang học và hàm lượng Chl-a trong nước. Bản đồ phân bố không gian cho thấy khu vực trung và hạ lưu có nồng độ Chl-a cao hơn rõ rệt, phù hợp với quy luật dòng chảy và tác động của hoạt động nông nghiệp và đô thị. Để nâng cao hiệu quả giám sát chất lượng nước mặt tại lưu vực sông Đáy, đề tài kiến nghị một số giải pháp như tiếp tục mở rộng nghiên cứu theo chuỗi thời gian để đánh giá biến động theo mùa và xu thế nhiều năm hoặc kết hợp dữ liệu Landsat với các nguồn ảnh độ phân giải cao (Sentinel-2, PlanetScope) để nâng cao độ chính xác mô hình và tích hợp kết quả ước tính Chl-a vào hệ thống WebGIS giám sát môi trường nước mặt, phục vụ cảnh báo sớm hiện tượng phú dưỡng và suy thoái chất lượng nước trong lưu vực. Các kết quả này đồng thời cung cấp nguồn dữ liệu quan trọng hỗ trợ cơ quan đô thị trong đánh giá mức độ chịu tải môi trường nước tại các khu vực dân cư ven sông. Việc ứng dụng dữ liệu Chl-a vào quản lý đô thị góp phần nâng cao hiệu quả quy hoạch thoát nước, kiểm soát nước thải và bảo đảm phát triển đô thị bền vững trong

lưu vực sông Đáy.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu nhận được hỗ trợ từ đề tài cấp Bộ "Nghiên cứu lựa chọn mô hình đánh giá, dự báo biến động chất lượng môi trường đất, nước và không khí phù hợp với điều kiện của Việt Nam" (mã số: TNMT.2023.562.07) thuộc Chương trình phát triển khoa học cơ bản trong lĩnh vực Hóa học, Khoa học sự sống, Khoa học trái đất và Khoa học biển giai đoạn 2017 - 2025.

Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

Tài liệu tham khảo

[1] Gitelson, A. A., Schalles, J. F., and Hladik, C. M., "Remote chlorophyll-a retrieval in turbid, productive estuaries: Chesapeake Bay case study," *Remote Sensing of Environment*, vol. 109, no. 4, pp. 464-472, 2007. DOI: 10.1016/j.rse.2007.01.016

[2] Mishra, S., and Mishra, D. R., "Normalized Difference Chlorophyll Index: A novel model for remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters," *Remote Sensing of Environment*, vol. 117, pp. 394-406, 2012. DOI: 10.1016/j.rse.2011.10.016

[3] O'Reilly, J. E., et al., "Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 103, no. C11, pp. 24937-24953, 1998. DOI: 10.1029/98JC02160

[4] Lee, Z., Carder, K. L., Arnone, R. A., "Deriving inherent optical properties from water color: A multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters," *Applied Optics*, vol. 41, no. 27, pp. 5755-5772, 2002. DOI: 10.1364/AO.41.005755

[5] Lee, Z., et al., "Diffuse attenuation coefficient of downwelling irradiance: An evaluation of remote sensing methods," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 114, C01011, 2009. DOI: 10.1029/2008JC005011

[6] Nechad, B., Ruddick, K. G., and Park, Y., "Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters," *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, no. 4, pp. 854-866, 2010. DOI: 10.1016/j.rse.2009.11.022

[7] Dogliotti, A. I., Ruddick, K. G., Nechad, B., Doxaran, D., and Knaeps, E., "A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters," *Remote Sensing of Environment*, vol. 156, pp. 157-168, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2014.09.020

[8] Đinh Thị Thu Hiền, "Đánh giá chất lượng môi trường nước mặt sông Hồng khu vực thành phố Hà Nội bằng ảnh vệ tinh Sentinel-2A", *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, (34), 45-49. 3, 2017

[9] Trần Huỳnh Kim, Nguyễn Thị Hồng Điệp, Nguyễn Trọng Nguyễn, Dương Cơ Hiếu, Huỳnh Thị Thu Hương, "Đánh giá chất lượng môi trường sinh thái vùng Đồng bằng sông Cửu Long ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS", *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ,* 61 (2025): 10-23, 2025

[10] Rao, K., Cao, X., Wang, Y., Zhang, Y., Huang, H., Ma, Y., & Xu, J. (2024). "Spatial-temporal distributions of phytoplankton shifting, chlorophyll-a, and their influencing factors in shallow lakes using remote sensing". *Ecological Informatics*, 82, 102765.

[11] Gilerson, A., Malinowski, M., Agagliate, J., Herrera-Estrella, E., Tzortziou, M., Tomlinson, M. C., ... & Wang, M. (2024). "Development of VIIRS-OLCI chlorophyll-a product for the coastal estuaries". *Frontiers in Marine Science*, 11, 1476425.

[12] Sadek, Amjed Mohammed, and Lekaa Ali Mohammed. "Evaluation of the performance of kernel non-parametric regression and ordinary least squares regression". JOIV: *International Journal on Informatics Visualization* 8.3 (2024): 1352-1360.

Article © 2025 by Magazine of Geodesy - Cartography is licensed under CC BY 4.0