

# 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

Nguyễn Thị Thu Hà\*, Bùi Đình Cảnh,  
Nguyễn Thiên Phương Thảo, Bùi Thị Nhi

*Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,  
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 8 năm 2016

Chỉnh sửa ngày 13 tháng 10 năm 2016; chấp nhận đăng ngày 28 tháng 10 năm 2016

**Tóm tắt:** Tính toán hàm lượng chlorophyll-a trong nước sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh là một trong những ứng dụng cơ bản của công nghệ viễn thám cho môi trường nước. Giám sát sự phân bố và biến động hàm lượng chlorophyll-a trong nước giúp chúng ta hiểu rõ trạng thái và quá trình phú dưỡng diễn ra trong nước hồ. Nghiên cứu này sử dụng các kết quả đo hiện trường và phân tích ảnh vệ tinh Sentinel-2A thu được trong tháng 6/2016 để xây dựng phương trình tính toán hàm lượng chlorophyll-a trong nước Hồ Tây. Kết quả bước đầu cho thấy hàm lượng chlorophyll-a trong nước hồ có quan hệ chặt chẽ với tỷ số kênh 5 trên kênh 4 của ảnh Sentinel-2A bằng phương trình hàm mũ ( $r^2=0,78$ , sai số trung bình 0,12). Sơ đồ phân bố hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng (TSI) tương ứng của nước Hồ Tây góp phần giải thích hiện tượng cá chết được ghi nhận tại hồ vào đầu tháng 7/2016. Phương pháp và dữ liệu ảnh Sentinel-2A trình bày trong nghiên cứu thử nghiệm này cần được kiểm chứng và áp dụng cho các hồ khác tại Hà Nội để quản lý có hiệu quả hơn chất lượng nước và giảm thiểu ô nhiễm môi trường ở các hồ.

*Từ khóa:* Viễn thám, chlorophyll-a, phú dưỡng, Hồ Tây, Sentinel-2A.

## 1. Mở đầu

Ứng dụng công nghệ viễn thám để nghiên cứu chất lượng môi trường nước đã được tiến hành trên thế giới từ cuối thập kỷ 70 của thế kỷ 20 và cho đến nay đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể. Các nghiên cứu về ứng dụng công nghệ viễn thám trong giám sát các thông số đánh giá chất lượng nước hồ nội địa cũng được bắt đầu từ rất sớm [1-2]. Các thông số cơ bản để

đánh giá chất lượng nước các thủy vực sử dụng công nghệ viễn thám về cơ bản là các chất tạo màu trong nước như hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng (TSS), độ đục/trong của nước, hàm lượng chlorophyll-a (chỉ số sinh khối tảo) và hàm lượng các chất hữu cơ hòa tan (CDOM: chất tạo sắc vàng của nước). Chlorophyll-a là sắc tố quang tổng hợp màu xanh lá cây có ở trong thực vật, tảo và vi khuẩn lam. Trong nước, chlorophyll-a là chỉ thị đặc trưng cho sự có mặt và số lượng của tảo, chính vì vậy, nó thường được dùng như một chỉ số sơ cấp để đánh giá sinh khối trong nước. Ở các quốc gia như Hoa

\* Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-4-35587060  
Email: hantt\_kdc@vnu.edu.vn

Kỳ, Canada, Úc, New Zealand, chlorophyll-a được dùng như một chỉ số cơ bản để đánh giá độ phú dưỡng hay chất lượng nước của các thủy vực nội địa [3] vì nó phản ánh trực tiếp sức khỏe của hệ sinh thái thủy sinh hơn là các chỉ số thứ cấp như tỉ số của Nitơ tổng số với Photpho tổng số.

Ứng dụng viễn thám để tính toán hàm lượng chlorophyll-a là một trong những ứng dụng cơ bản nhất được sử dụng phổ biến trong giám sát chất lượng nước [4]. Các vùng nước nội địa thường được đặc trưng bởi nồng độ sinh khối (của các thực vật nổi - phytoplankton) cao với khoảng dao động của hàm lượng chlorophyll-a tương đối rộng (thông thường là từ 1-100  $\mu\text{g/L}$  và cũng có thể lên đến 350  $\text{mg/L}$  [5] thậm chí cao hơn nữa, đặc biệt là trong trường hợp “tảo nở hoa” [6]) nên việc xây dựng thuật toán tính toán chỉ số này từ các dữ liệu vệ tinh tương đối khó khăn. Thêm vào đó, các thành phần khác của nước nội địa như các chất lơ lửng dạng vô cơ hoặc hữu cơ và CDOM thường không biến đổi đồng thời cùng với hàm lượng chlorophyll-a theo không gian và thời gian cũng góp phần làm cho việc phát triển các thuật toán xác định hàm lượng chlorophyll-a của các vùng nước nội địa trở nên phức tạp và khả năng ứng dụng viễn thám bị hạn chế, đặc biệt là giữa các thủy vực khác nhau [7].

Vệ tinh Sentinel-2A mới được phóng lên quỹ đạo vào tháng 6 năm 2015 nên ít được đề cập trong các nghiên cứu giám sát môi trường nước trên thế giới [8, 9] và gần như chưa được công bố tại Việt Nam. Tuy vậy, với thiết kế kênh phổ hiện nay, dữ liệu ảnh Sentinel-2A có nhiều điểm tương đồng với ảnh vệ tinh MERIS, vệ tinh cũng được phát triển bởi Cơ quan Không gian Châu Âu (ESA) trước đó để giám sát môi trường biển, sẽ là một dữ liệu phù hợp để nghiên cứu môi trường nước.

Đã có rất nhiều thuật toán sử dụng các tỷ số các kênh phổ phản xạ từ các dữ liệu vệ tinh đa phổ khác nhau để tính toán chlorophyll-a trong

nước [5, 10-15], tiêu biểu như thuật toán dựa trên tỷ lệ dải phổ đỏ-cận hồng ngoại [12, 16-19] hay như tỷ lệ dải phổ xanh lục/xanh lam đã được áp dụng thành công trong thành lập bản đồ chlorophyll-a cho vùng nước đại dương và ven bờ do những vùng này ít chịu tác động của CDOM. Nghiên cứu mới nhất sử dụng Sentinel 2A cho môi trường nước của Toming và cộng sự [8] cho thấy hàm lượng chlorophyll-a có mối quan hệ tuyến tính với độ lệch giá trị của kênh 5 và trung bình cộng của kênh 4 với kênh 6 và được kết luận là tương quan cao với tỷ số kênh 5 trên kênh 4. Tuy nhiên do sự phức tạp về thành phần và đặc tính của nước hồ nội địa như đã đề cập ở trên nên việc tính toán hàm lượng chlorophyll-a trong nước các hồ khác nhau cần phải dựa vào đặc trưng quang học của nước hồ. Nghiên cứu này được tiến hành nhằm thử nghiệm tính toán hàm lượng chlorophyll-a ở Hồ Tây (Hà Nội) từ dữ liệu ảnh Sentinel-2A và chỉ số độ phú dưỡng của nước hồ vào tháng 6/2016. Kết quả của nghiên cứu này nhằm phân nào giúp giải thích hiện tượng cá chết được ghi nhận tại Hồ Tây trong thời điểm này (VTC News ngày 6/7/2016).

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Phương pháp đo phổ hiện trường

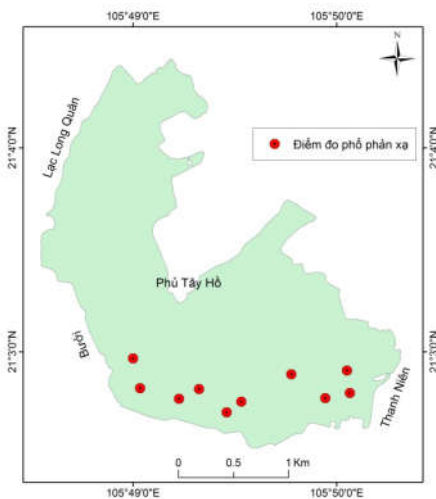
Phổ phản xạ mặt nước được đo vào ngày 1/6/2016 tại 10 điểm khảo sát ven bờ Hồ Tây đồng thời với việc lấy mẫu nước mặt xác định hàm lượng chlorophyll-a trong nước (Hình 1). Phổ phản xạ mặt nước một số hồ khu vực nội thành Hà Nội cũng được tiến hành đo tại 10 điểm vào ngày 18/6/2016 sử dụng máy đo bức xạ hiện trường GER 1500 của Trung tâm CARGIS, trường Đại học Khoa học Tự nhiên. Máy đo bức xạ hiện trường GER 1500 cho phép đo quang phổ điện từ mặt nước từ sóng UV đến cận hồng ngoại (NIR) ứng với 350 nm đến 1050 nm với độ phân giải kênh phổ là 1,5 nm. Theo

đó, phổ phản xạ của mặt nước được tính toán bằng phương trình (1) dưới đây:

$$R_w(\lambda) = \frac{R_p(\lambda) \times L_t(\lambda)}{L_r(\lambda)} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó:  $R_w(\lambda)$  là phổ phản xạ của mặt nước được đo ngay trên bề mặt nước có đơn vị là %;  $R_p(\lambda)$  là hệ số phản xạ ảnh hưởng bởi bầu trời được cung cấp theo năm bởi Field Spectroscopy Facility [20];  $L_t(\lambda)$  là hệ số phát xạ thu được của mặt nước tại điểm đo;  $L_r(\lambda)$  là hệ số phát xạ thu được của bề mặt vật phản xạ chuẩn.

Trong nghiên cứu này, phổ phản xạ mặt nước Hồ Tây đo tại hiện trường vào ngày 1/6/2016 được dùng để xác định mối quan hệ với hàm lượng chlorophyll-a trong nước hồ. Trong khi đó, phổ mặt nước đo tại các hồ vào ngày 18/6/2016 vào thời điểm gần như đồng thời với thời gian vệ tinh Sentinel-2A chụp ảnh được sử dụng để xác định độ lệch giữa phổ mặt nước và phổ của ảnh  $-\Delta R(\lambda)$  dùng để hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển.



Hình 1. Vị trí các điểm đo phổ mặt nước tại Hồ Tây ngày 18/6/2016.

## 2.2. Phương pháp xác định hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số TSI

Các mẫu nước mặt tại các điểm đo phổ tại Hồ Tây vào ngày 1/6/2016 được thu thập tại sát mặt nước ở độ sâu 0 - 25 cm vì các điểm đo này đều có kết quả đo đĩa Secchi nhỏ hơn 25 cm (nghĩa là nước hồ ở độ sâu lớn hơn 25 cm không ảnh hưởng đến phổ mặt nước). Mẫu nước được lấy vào chai nhựa màu tối, ướp lạnh và đưa về phân tích trong phòng ngay trong ngày.

Trong phòng thí nghiệm, hàm lượng chlorophyll-a trong mẫu nước Hồ Tây tại các khảo sát được xác định dựa vào phương pháp trắc quang trong dung dịch acetone 90% sử dụng máy so màu Hach DR 5000 theo phương pháp chuẩn APHA [21] được cập nhật, bổ sung bởi Parson [22]. Theo đó chlorophyll-a ( $C_{Chl-a}$ ) được xác định theo phương trình (2):

$$C_{Chl-a} = \frac{11,85 \times (E_{664} - E_{750}) - 1,54 \times (E_{647} - E_{750}) - 0,08 \times (E_{630} - E_{750})}{\frac{1}{d} \times \frac{V1 \times 1000}{V2}} \quad (2)$$

Trong đó: V1 là thể tích acetone (10 mL); V2 là thể tích nước mẫu được lọc; d: độ dài truyền quang (cuvet 1cm). E630, E647, E664, E750 là hệ số hấp thụ ánh sáng của dung dịch tại các bước sóng 630, 647, 664 và 750 nm. Đơn vị của chlorophyll-a được tính toán theo phương trình (2) là ( $\mu\text{g/L}$ ).

Chỉ số TSI cho nước hồ được tính toán dựa trên hàm lượng chlorophyll-a ( $TSI_{Chl-a}$ ) được đề xuất bởi Carlson và Simpson [23] như sau:

$$TSI_{Chl-a} = 9,84 \times \ln(C_{Chl-a}) + 30,6 \quad (3)$$

Theo đó, mức độ phú dưỡng của hồ được xác định theo chỉ số TSI và hàm lượng chlorophyll-a trong nước được thể hiện trong bảng 1.

## 2.3. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh

Ảnh vệ tinh Sentinel-2A với độ phân giải 10 m của các kênh đa phổ, chụp tại Hồ Tây vào ngày 18/6/2016 được sử dụng trong nghiên cứu

này. Dữ liệu ảnh này được ghi nhận bởi vệ tinh Sentinel-2A - một vệ tinh quan sát Trái Đất thuộc Chương trình Copernicus của Cơ quan Không gian Châu Âu (ESA), được phóng lên quỹ đạo ngày 23/6/2015. Đây là vệ tinh gắn thiết bị thu nhận ảnh đa phổ với 13 kênh phổ trong dải từ 443 nm đến 2190 nm cho vùng rộng 290 km. Đặc trưng kênh phổ của ảnh vệ tinh Sentinel-2A được thể hiện chi tiết trong bảng 2 dưới đây cho thấy ảnh có các kênh phổ rất thuận lợi cho việc giám sát chất lượng nước sử dụng tỷ số các kênh phổ trong dải sóng đỏ và cận hồng ngoại [12, 16-19] là kênh cận hồng ngoại 5, 6 và đỏ (kênh 4).

Ảnh vệ tinh Sentinel-2A vùng nghiên cứu (Hình 2) đã được hiệu chỉnh hình học và bức xạ trước khi đến tay người sử dụng (có mã số

S2A\_OPER\_MSI\_L1C\_TL\_SGS\_\_20160618T084358\_A005163\_T48QWJ) nên trong nghiên cứu này ảnh chỉ được hiệu chỉnh khí quyển dựa vào phương pháp loại trừ điểm đen (Dark subtraction được đề xuất bởi Chavez [24]) sử dụng dữ liệu  $\Delta R(\lambda)$  do người dùng cung cấp. Ở đây, độ lệch trung bình  $\Delta R(\lambda)$  của 10 điểm đo vào ngày 18/6/2016 được tính toán giữa phổ phản xạ đo được trên mặt nước  $R_w(\lambda)$  tại bước sóng trung tâm kênh phổ ảnh sử dụng và giá trị phổ thu được từ pixel ảnh tương ứng  $R_r(\lambda)$  theo phương trình (4).

$$\Delta R(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^{10} [R_r(\lambda) - R_w(\lambda)]}{10} \quad (4)$$

Bảng 1. Mối quan hệ giữa chỉ số TSI, hàm lượng chlorophyll-a với mức độ phú dưỡng của nước hồ [23]

TSI	Chlorophyll-a ( $\mu\text{g/L}$ )	Mức độ phú dưỡng
< 30	< 0,95	Nghèo dinh dưỡng
30 - 40	0,95 - 2,6	(oligotrophy)
40 - 50	2,6 - 7,3	Trung bình (mesotrophy)
50 - 60	7,3 - 20	Phú dưỡng (eutrophy)
60 - 70	20 - 56	
70 - 80	56 - 155	Siêu phú dưỡng (hypereutrophy)

Bảng 2. Các thông số dữ liệu vệ tinh Sentinel 2A

Kênh phổ	Bước sóng trung tâm (nm)	Độ rộng của dải phổ (nm)	Độ phân giải (m)
1	443	20	60
2	490	65	10
3	560	35	10
4	665	30	10
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8a	842	115	10
8b	865	20	20
9	945	20	60
10	1375	30	30
11	1610	90	20
12	2190	180	20



Hình 2. Hồ Tây trên ảnh Sentinel-2A (a) và kênh 5 (b), kênh 4 (c) của ảnh.

*Phương pháp phân tích thống kê và bản đồ*

Các phép phân tích hồi quy, thống kê cơ bản, tính toán độ lệch, độ sai số trong nghiên cứu được thực hiện sử dụng phần mềm IBM SPSS Statistics 20. Hệ số tương quan được tính toán trong bài báo là hệ số Pearson. Các phép phân tích đều dựa trên 95% phân bố của các chuỗi số.

Bản đồ phân bố hàm lượng chlorophyll-a và phân bố chỉ số trạng thái phú dưỡng (TSI) tương ứng được thành lập dựa trên phương pháp phân bố xác suất của biến ngẫu nhiên sử dụng modul phân mảnh mật độ (density slicing) trong ENVI 5.3 và biên tập trong ArcGIS 10.2.

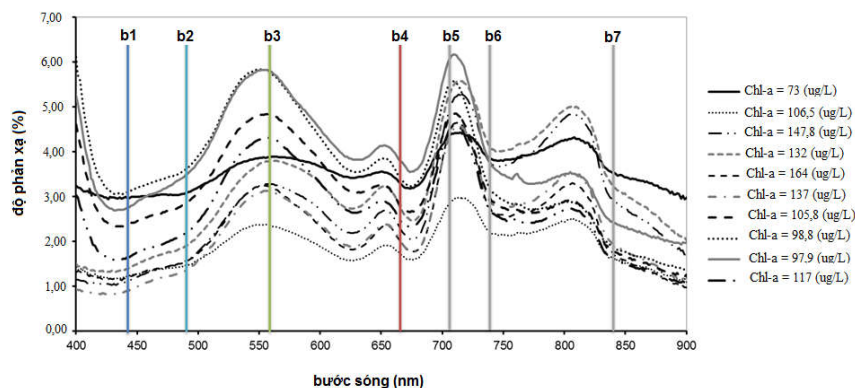
**3. Kết quả và thảo luận**

*3.1. Mối quan hệ giữa hàm lượng chlorophyll-a và phổ mặt nước*

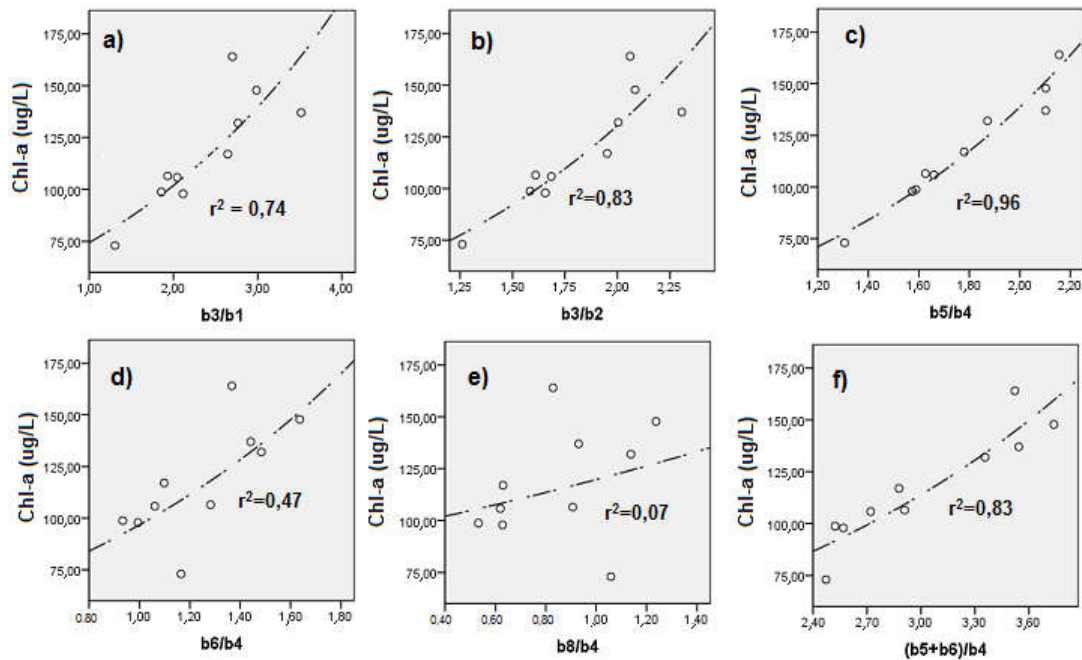
Kết quả phân tích hàm lượng chlorophyll-a trong nước Hồ Tây vào ngày 1/6/2016 tại 10

điểm đo cho thấy hàm lượng chlorophyll-a dao động từ 73 đến 164  $\mu\text{g/L}$ , trung bình là 117  $\mu\text{g/L}$ , độ lệch chuẩn giữa các điểm đo lên tới 27  $\mu\text{g/L}$ . Như vậy, dựa theo chỉ số trạng thái phú dưỡng (TSI) của hồ được đề xuất bởi Carlson [25] và phân loại bởi Carlson và Simpson [23] thì nước hồ tại những điểm đo có giá trị TSI vào khoảng 70-80 ứng với mức siêu phú dưỡng.

Hình 4 diễn tả phổ phản xạ của nước Hồ Tây và giá trị hàm lượng chlorophyll-a tương ứng tại mỗi điểm đo. Theo đó, phổ phản xạ của nước Hồ Tây thể hiện 2 điểm cực đại (peak) và 2 điểm cực tiểu, trong đó hai điểm cực đại ở bước sóng 550 nm và 706 nm và cực tiểu ở bước sóng 438 nm và 675 nm. Dựa trên vị trí phân bố của các kênh phổ của ảnh Sentinel-2A (Hình 3), các kênh phổ ứng với điểm cực đại (peak) của phổ phản xạ là kênh 5 (cận hồng ngoại) và kênh 3 (xanh lục), trong khi kênh 1 (xanh lam) và kênh 4 gần với điểm cực tiểu của phổ phản xạ mặt nước.



Hình 3. Phổ phản xạ của mặt nước Hồ Tây, vị trí các kênh phổ ảnh Sentinel 2A (b1 - b7 ứng với kênh 1 - kênh 7) và hàm lượng chlorophyll-a (Chl-a) tương ứng ( $\mu\text{g/L}$ ).



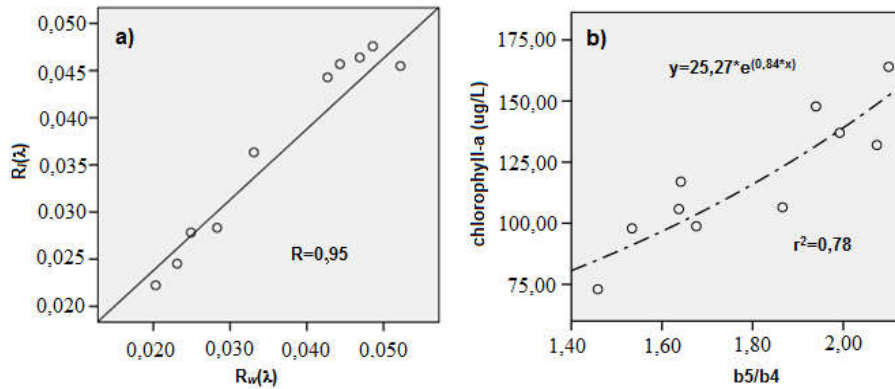
Hình 4. Mối quan hệ giữa hàm lượng chlorophyll-a (Chl-a) và tỷ số phổ phản xạ mặt nước tương đương tỷ số kênh ảnh Sentinel-2A: a) kênh 3 với 1; b) kênh 3 với 2; c) kênh 5 với 4; d) kênh 6 với 4; e) kênh 8 với 4; f) tổng của kênh 5 và 6 với kênh 4.

Tương quan của chlorophyll-a ứng với các kênh phổ của ảnh Sentinel 2A thể hiện rõ xu hướng tương quan nghịch với phổ phản xạ tại kênh 1 và 2 của ảnh với hệ số tương quan lần lượt là 0,81 và 0,75. Trong khi đó, tương quan của chlorophyll-a với tỷ số của 2 kênh phổ tương đối cao, với: b3/b1 là 0,83; b3/b2 là 0,88; b5/b4 là 0,98; b6/b4 là 0,72 và b7/b4 là 0,33. Tỷ số 3 kênh phổ thường được đánh giá là có độ chính xác cao trong tính toán chlorophyll-a dùng dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng tỷ số của tổng 2 kênh phổ hồng ngoại (R(704) và R(490): ở đây ứng với tổng giá trị kênh 5 và 6 của ảnh Sentinel-2A) trên kênh phổ bước sóng đỏ (R(675): ở đây ứng với kênh 4 của ảnh Sentinel-2A) cũng được đánh giá. Hình 4 thể hiện mối quan hệ của chlorophyll-a và các tỷ số kênh phổ nói trên sử dụng thuật toán hồi quy xác định đường cong tính toán. Theo đó, hàm lượng chlorophyll-a cho kết quả chính xác nhất khi sử dụng tỷ số kênh 5 trên kênh 4 của ảnh

Sentinel-2A bằng phương trình hàm mũ với hệ số xác định  $r^2 = 0,96$  và giá trị sai số của phép tính là 0,052 ( $\mu\text{g/L}$ ) (Hình 4c).

### 3.2. Phân bố hàm lượng chlorophyll-a tính toán từ ảnh Sentinel-2A

Hình 4a biểu diễn kết quả so sánh giữa tỷ số kênh 5 trên kênh 4 của 10 điểm ảnh Sentinel-2A chụp ngày 18/6/2016 và tỷ phổ mặt nước của bước sóng ứng với 2 kênh này (R(705)/R(665)) đo cùng ngày tại các hồ Hà Nội. Mối quan hệ này cung cấp phương trình tính toán từ phổ ảnh sang phổ mặt nước vào ngày 18/6/2016. Mối quan hệ này thể hiện sự tương quan rất chặt chẽ ( $R = 0,95$ ) giữa phổ ảnh và phổ mặt nước, giá trị sai số trung bình nhỏ (0,001, tương ứng 2,9% giá trị trung bình) cho thấy phương pháp hiệu chỉnh khí quyển đã thực hiện có độ chính xác cao, phù hợp cho nghiên cứu.



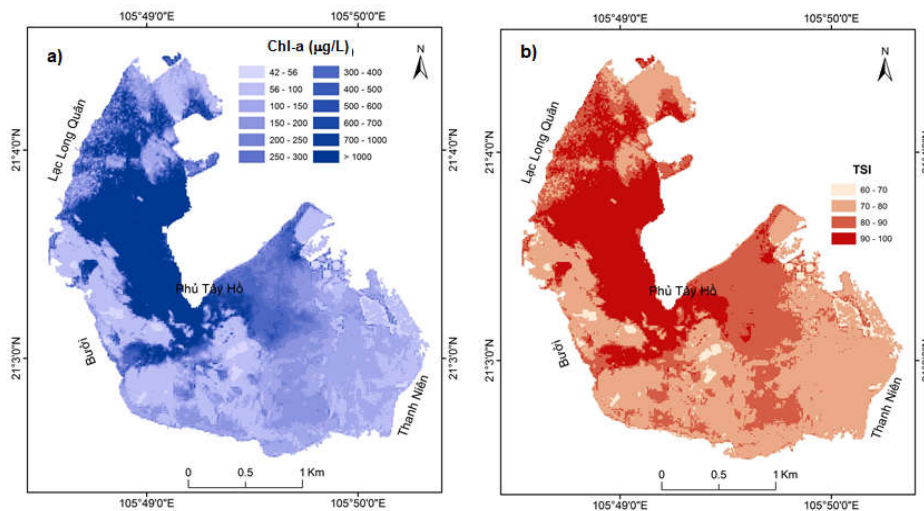
Hình 5. Mối quan hệ giữa: a)  $R(705)/R(665)$  đo được tại mặt nước -  $R_w(\lambda)$  và ảnh -  $R_f(\lambda)$ ; b) hàm lượng chlorophyll-a và tỷ số phổ phản xạ kênh 5 với kênh 4 của ảnh Sentinel-2A.

Từ mối quan hệ nói trên (Hình 4a) hàm lượng chlorophyll-a trong nước Hồ Tây ngày 18/6/2016 được xác định bởi hàm mũ và tỷ số kênh 5 trên kênh 4 của ảnh Sentinel-2A. Với hệ số xác định tương đối cao ( $r^2 = 0,78$ ), giá trị sai số chuẩn của phép tính vào khoảng 0,12  $\mu\text{g/L}$  cho thấy hàm lượng chlorophyll-a trong nước Hồ Tây có thể được tính tương đối chính xác từ tỷ số 2 kênh phổ ảnh nói trên bằng phương trình hàm mũ sau:

$$C_{\text{chlorophyll-a}} = 25,27 \cdot e^{0,84 \cdot \frac{b_5}{b_4}} \quad (5)$$

Trong đó: hàm lượng chlorophyll-a có đơn vị là ( $\mu\text{g/L}$ );  $\frac{b_5}{b_4}$  ứng với tỷ số kênh 5 trên kênh 4 của ảnh Sentinel-2A sau khi đã hiệu chỉnh khí quyển.

Sơ đồ phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a trong nước mặt Hồ Tây tính toán từ ảnh Sentinel-2A dựa vào phương trình (5) được trình bày trong Hình 6a. Theo đó, hàm lượng chlorophyll-a trong nước hồ dao động từ 42  $\mu\text{g/L}$  đến trên 1000  $\mu\text{g/L}$ . Vùng có hàm lượng chlorophyll-a trên 500  $\mu\text{g/L}$  trải rộng đến hàng trăm hecta. Theo như mô tả của Carlson và Simpson [23], khi chlorophyll-a trong nước lớn hơn 500  $\mu\text{g/L}$  thì hiện tượng nở hoa xảy ra và có thể gây chết một số loài cá mùa hè. Điều này phù hợp hiện tượng thực tế tại Hồ Tây vào ngày 6/7/2016 khi cá chết dạt vào phần ven hồ phía cuối đường Bưởi được ghi nhận bởi bản tin VTC (VTC News ngày 6/7/2016).



Hình 6. Sơ đồ phân bố hàm lượng chlorophyll-a (a) và chỉ số trạng thái phú dưỡng (TSI) tương ứng của nước Hồ Tây tính toán từ ảnh Sentinel-2A chụp ngày 18/6/2016.

Từ kết quả tính toán hàm lượng chlorophyll-a trong nước mặt Hồ Tây, Hình 6b mô hình hóa sự phân bố không gian của chỉ số trạng thái phú dưỡng của nước hồ TSI dựa trên phân loại của Carlson và Simpson [23]. Theo đó, phần lớn diện tích mặt nước Hồ Tây (99% tổng diện tích) ở trạng thái siêu phú dưỡng trong tháng 6/2016 (TSI > 70). Đặc biệt, vùng có TSI > 80 trải rộng, chiếm gần 50% tổng diện tích mặt nước hồ gây chết các loại cá nhỏ sống ở tầng mặt. Kết quả này là một trong những bằng chứng giải thích vì sao các loài cá sống ở tầng giữa và đáy (họ cá Chép) chiếm ưu thế trong hệ sinh thái Hồ Tây [26].

#### 4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng chlorophyll-a trong nước mặt của Hồ Tây có thể tính toán từ tỷ số kênh 5 (705 nm) trên kênh 4 (655 nm) của ảnh Sentinel-2A. Kết quả về phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a trong nước mặt tính toán từ ảnh Sentinel-2A giúp thành lập sơ đồ chỉ số trạng thái phú dưỡng của nước hồ và giải thích hiện tượng cá chết tại hồ trong mùa hè. Theo đó, hàm lượng chlorophyll-a trong nước mặt Hồ Tây dao động từ 42  $\mu\text{g/L}$  đến trên 1118  $\mu\text{g/L}$  vào ngày 18/6/2016, ứng với mức TSI từ 60 đến 100. Vùng có hiện tượng nở hoa ứng với mức chlorophyll-a > 500  $\mu\text{g/L}$  ứng với TSI > 80 phân bố ở vùng nước phía bắc hồ, có độ phủ rộng trên 50% diện tích hồ. Qua nghiên cứu này, ảnh Sentinel-2A với độ phân giải không gian của các kênh đa phổ 10m, thiết kế các kênh phổ hợp lý hoàn toàn phù hợp cho giám sát chất lượng nước ở các hồ nội địa có diện tích nhỏ. Trong thời gian tới, nghiên cứu tương tự nên được áp dụng cho các ảnh Sentinel-2A thu được ở nhiều thời điểm khác nhau, thời điểm đo chlorophyll-a và chụp ảnh cần tiến hành đồng thời để đánh giá độ chính xác của phương pháp tính và cũng như để hiểu rõ hơn quá trình phú dưỡng xảy ra tại Hồ Tây, từ đó có những giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường và cân bằng hiệu quả hệ sinh thái hồ hiệu quả.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia cho đề tài NAFOSTED mã số 105.08-2013.12. Tác giả bài báo xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ của Quỹ, đồng cảm ơn tới ESA và Trung tâm CARGIS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN vì đã cung cấp ảnh Sentinel và thiết bị đo phổ hiện trường cho nghiên cứu này.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Ritchie, J.C., J.R. McHenry, F.R. Schiebe and R.B. Wilson, The relationship of reflected solar radiation and the concentration of sediment in the surface water of reservoirs, Remote Sensing of Earth Resources Vol. III (F. Shahrokhi, editor), The University of Tennessee Space Institute, Tullahoma, TN, pp. 57-72, 1974.
- [2] Schalles, J.F., Schiebe, F.R., Starks, P.J., Troeger, W.W., Estimation of algal and suspended sediment loads (singly and combined) using hyperspectral sensors and integrated mesocosm experiments, Fourth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Orlando, FL, 1997.
- [3] EPA, Chapter 5: Trophic State of Lakes, In: National Lakes Assessment A collaborative Survey of the Nation's Lakes. EPA 841-R-09-001, April 2010, pp. 44-46, 2010.
- [4] Schalles J. F., Optical remote sensing techniques to estimate phytoplankton chlorophyll – a concentrations in coastal waters with varying suspended matter and CDOM concentrations. In: Richardson L. L. and LeDew E.F., editors, Remote sensing of Aquatic Coastal Ecosystem Processes: Science and Management Application. Netherlands: Springer, 27-78, 2009.
- [5] Gitelson, A., Garbuzov, G., Szilgyi, F., Mittenzwey, K.H., Karnieli, A., Kaiser, A., Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring of inland waters quality. International Journal of Remote Sensing, 14, pp. 1269-1295, 1993.
- [6] Quibell, “The Feasibility of Managing the Nitrogen to Phosphorus Ratio in the Hartbeespoort Dam as a Means of Controlling Microcystis Scums”, Institute for Water Quality Studies Report No. N/A210/02/DEQ0492,



- Department of Water Affairs and Forestry, Pretoria, 1992.
- [7] Palmer, S.C.J., Kutser, T., Peter, D.H., Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 157, pp. 1-8, 2014.
- [8] Toming K., Kutser T., Laas A., Sepp M., Paavel B., and Nõges T., 2016. First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. *Remote Sens*, 2016.
- [9] Vanhellemont Q., and Ruddick K., Acolite for Sentinel-2: Aquatic Applications of MSI Imagery. The proceedings of the 2016 ESA Living Planet Symposium, Prague, Czech Republic, 9-13 May 2016, ESA Special Publication SP-740, 2016.
- [10] Bukata, R.P., Bruton, J.E., Jerome, J.H., Jain, S.C., Zwick, H.H., Optical water quality model of Lake Ontario. 2: Determination of chlorophyll a and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low altitude optical sensors. *Applied Optics*, 20, pp. 1704-1714, 1981.
- [11] Dekker, A.G., Malthus, T., Seyhan, E., Quantitative modelling of inland water quality for high-resolution MSS systems. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29, pp. 89-95, 1991.
- [12] Gitelson, A., Gurlin, D., Moses, W.J., Barrow, T., A bio-optical algorithm for the remote estimation of the chlorophyll-a concentration in case 2 waters. *Environmental Research Letters*, 4/045003, pp. 5, 2009.
- [13] Kallio, K., Koponen, S., Pulliainen, J., Feasibility of airborne imaging spectrometry for lake monitoring - a case study of spatial chlorophyll a distribution in two meso-eutrophic lakes. *International Journal of Remote Sensing*, 24, pp. 3771-3790, 2003.
- [14] Koponen, S., Attila, J., Pulliainen, J., Kallio, K., Pyhälähti, T., Lindfors, A., A case study of airborne and satellite remote sensing of a spring bloom event in the Gulf of Finland. *Continental Shelf Research*, 27, pp. 228-244, 2007.
- [15] Matthews, M.W., Bernard, S., Winter, K., Remote sensing of cyanobacteria-dominant algal blooms and water quality parameters in Zeekoevlei, a small hypertrophic lake, using MERIS. *Remote Sensing of Environment*, 114 (9), pp. 2070-2087, 2010.
- [16] Dekker, A., Detection of the optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing, Ph.D. thesis, Free University, Amsterdam, The Netherlands, 1993.
- [17] Gilerson, A.A., Gitelson, A.A., Zhou, J., Gurlin, D., Moses, W.J., Ioannou, I., Ahmed, S.A., Algorithms for remote estimation of chlorophyll-a in coastal and inland waters using red and near-infrared bands. *Optics Express*, 18, pp. 24109-24125, 2010.
- [18] Gitelson, A., The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: Relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. *International Journal of Remote Sensing*, 13, pp. 3367-3373, 1992.
- [19] Han, L., Rundquist, D., Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: a case study in a turbid reservoir. *Remote Sensing of Environment*, 62, pp. 253-261, 1997.
- [20] Natural Environment Research Council, Post-processing field spectra in MATLAB (for GER 1500 only), 2009. Online at: [http://fsf.nerc.ac.uk/user\\_group/post\\_processing\\_in\\_MATLAB/Post\\_processing\\_field\\_spectra\\_in\\_MATLAB.pdf](http://fsf.nerc.ac.uk/user_group/post_processing_in_MATLAB/Post_processing_field_spectra_in_MATLAB.pdf) (assessed on 30 May 2016).
- [21] American Public Health Association (APHA), American Water Works Association, Water Environment Federation. Spectrophotometric determination of chlorophyll: 10200H.2. In *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 22nd Edition; Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Eds.; APHA: Washington, DC, USA, pp. 10-23: 10-24, 2012.
- [22] Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C.M., *A Manual of Chemical and Biological methods for seawater analysis*, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [23] Carlson, R.E., Simpson, J., *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. North American Lake Management Society, Madison, WI, 1996.
- [24] Chavez, P. S. J., An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. *Remote sensing of Environment*, 24: 459-479, 1988.
- [25] Carlson, R.E., 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnol Oceanography*, 22, pp. 361-369.
- [26] Mai Đình Yên, Tổng quan các điều tra nghiên cứu về đa dạng sinh học của hồ Tây, Báo cáo Hội thảo KH Dự án Nâng cao chất lượng nước Hồ Tây, 2001.

## First Experience in Modeling Spatial Distribution of Chlorophyll-a Concentration and TSI in the West Lake Water Using Sentinel-2A Image

Nguyen Thi Thu Ha, Bui Dinh Canh,  
Nguyen Thien Phuong Thao, Bui Thi Nhi

*Faculty of Geology, VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

**Abstract:** Estimation of chlorophyll-a concentration is a key topic of remote sensing applications for water environment. Monitoring spatial-temporal change of chlorophyll-a concentration in surface water helps better understand the water trophic state and eutrophication process within the waterbody. This study used field measured result of water reflectance and chlorophyll-a concentration and compared it to Sentinel-2A image band ratio of band 5 versus band 4 obtained in June 2016 to develop an estimation model for chlorophyll-a concentration. Result confirmed an accurate estimation model for chlorophyll-a concentration in the West Lake (Ho Tay) by an exponential function of band 5 versus band 4 ratio ( $r^2 = 0.78$ , mean standard error = 0.12). Resultant maps of chlorophyll-a concentration and corresponding TSI spatial distribution within the West Lake water provided evidences to identify the cause of fish-kill phenomenon recorded in the lake in early July 2016. Study methods and data stated in this study can be applied into other lakes in Ha Noi city for more effective environmental management.

*Keywords:* Remote sensing, chlorophyll, West Lake, TSI, Sentinel-2A.