

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN ĐỘ THẤU QUANG CỦA NƯỚC SÔNG HỒNG ĐOẠN QUA THÀNH PHỐ LÀO CAI SỬ DỤNG ẢNH VỆ TINH SENTINEL-2A

NGUYỄN THIÊN PHƯƠNG THẢO⁽¹⁾, NGUYỄN THỊ THU HÀ⁽²⁾, PHẠM QUANG VINH⁽³⁾

⁽¹⁾Khoa Địa Lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

⁽²⁾Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

⁽³⁾Viện Địa Lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt:

Tính toán độ thấu quang (SD) của 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 biến động của SD trong nước sông theo không gian và thời gian giúp chúng ta hiểu rõ trạng thái của môi trường nước và đánh giá định lượng về nguồn gốc cũng như quá trình vận chuyển các chất ô nhiễm của dòng sông. Nghiên cứu này sử dụng các kết quả đo phổ phân xạ và SD tại sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai để xây dựng phương trình tính toán SD từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-2A (S2A). Kết quả cho thấy SD có quan hệ chặt chẽ với tỷ số kênh 5 (705 nm) trên kênh 4 (665 nm) của ảnh S2A bằng phương trình hàm mũ ($R^2 = 0,89$, $RMSE = 0,12$). Sơ đồ phân bố SD của nước sông Hồng tính toán được từ ảnh thể hiện rõ sự thay đổi theo mùa và theo không gian của thông số này: a) SD thấp trong mùa mưa và cao trong mùa khô; b) SD thấp tại dòng chính của sông Hồng và cao hơn tại các nhánh sông trong vùng. Phương pháp và kết quả trình bày nghiên cứu trong nghiên cứu này cần được bổ sung và áp dụng cho toàn hệ thống sông nhằm góp phần cung cấp các thông tin định lượng hữu hiệu cho việc giám sát chất lượng nước xuyên biên giới.

1. Mở đầu

Đánh giá chất lượng nước là nhiệm vụ bắt buộc không thể thiếu được trong bất kỳ một bộ luật nào liên quan đến bảo vệ môi trường của các quốc gia trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng [1]. Việc đưa ra các đánh giá mang tính định lượng về chất lượng nước là một yếu tố vô cùng cần thiết trong việc quản lý tài nguyên nước dựa trên cơ sở khoa học. Một trong những bước quan trọng để đánh giá chất lượng của các con sông là mô tả quá trình vận chuyển trầm tích của chúng – nhiệm vụ này được coi như là một quy định bắt buộc trong chiến lược quản lý chất lượng nước ở hầu hết các quốc gia [2]. Độ thấu quang (hay còn gọi là độ trong) của nước là một đặc tính quang học của nước liên quan mật thiết đến các hợp phần khác có trong môi trường nước như chất rắn lơ lửng, các chất hữu cơ hòa tan, các chất dinh dưỡng,... Phân bố trong không gian độ thấu quang (SD) của nước sông phản ánh rõ

quá trình vận chuyển trầm tích và các chất ô nhiễm của dòng sông, các nguồn thải ven bờ nếu có. Chỉ số này cũng có thể được sử dụng để nghiên cứu sự có mặt của các chất dinh dưỡng và tải lượng chất rắn trong môi trường nước [3], đồng thời nó cũng là cơ sở khoa học trong các nghiên cứu sự thay đổi môi trường nước liên quan đến quá trình trầm tích, động lực dòng sông như sự thay đổi hình thái lòng sông hay tác động của việc xây dựng và vận hành các công trình thủy văn trên sông [4-5].

Sông Hồng là con sông lớn nhất ở miền Bắc Việt Nam với chiều dài hơn 1.000 km và được đánh giá là một trong 10 dòng sông có tải lượng nước và phù sa lớn nhất thế giới [6]. Sông Hồng là nguồn cung cấp dinh dưỡng chủ yếu cho nông nghiệp ở Đồng bằng sông Hồng - một trong những vùng đồng bằng có mật độ dân số cao nhất trên thế giới, do đó sông Hồng đóng một vai trò vô cùng quan trọng trong quá trình phát triển

Ngày nhận bài: 03/11/2018, ngày chuyển phản biện: 08/11/2018, ngày chấp nhận phản biện: 15/11/2018, ngày chấp nhận đăng: 18/11/2018

kinh tế - xã hội không chỉ của Việt Nam mà của cả khu vực ASEAN. Tuy nhiên, với đặc điểm có tới trên 50% nguồn nước của sông xuất phát từ ngoài biên giới nên sông Hồng đoạn qua nước ta cực kỳ nhạy cảm với mọi hoạt động liên quan đến khai thác và sử dụng nguồn nước từ phía thượng lưu. Trong các nghiên cứu gần đây, Sông Hồng được đánh giá là một trong những ví dụ điển hình về một hệ thống sông chịu những tác động nghiêm trọng từ các hoạt động nhân sinh như xây dựng đập thủy điện, khai thác cát lòng sông, đô thị hóa và công nghiệp hóa ven sông [7-9]. Theo Báo cáo môi trường quốc gia năm 2012 [10] thì chất lượng nước sông Hồng hiện nay đang bị đe dọa nghiêm trọng bởi nước thải sinh hoạt và nước thải công nghiệp khi chảy qua các khu vực đô thị. Do đó việc phát triển và ứng dụng các kỹ thuật định lượng vào giám sát chất lượng nước của sông Hồng, đặc biệt là khu vực biên giới là vô cùng cần thiết để quản lý chất lượng nước sông cũng như các vấn đề khai thác nước của dòng sông.

Ứng dụng công nghệ viễn thám nghiên cứu SD đã được tiến hành trên thế giới từ cuối thập kỷ 70 của thế kỷ 20 và cho đến nay đã trở lên phổ biến và đạt được những thành tựu đáng kể. Đã có rất nhiều thuật toán sử dụng các kênh phổ riêng lẻ hay tỷ số các kênh phổ phản xạ từ các dữ liệu vệ tinh đa phổ khác nhau để tính toán SD [11]. Điển hình như các thuật toán dựa trên tỷ lệ dải phổ xanh lam/đỏ [12 - 13] hay như tỷ lệ dải phổ xanh lục/đỏ [14 - 15] đã được áp dụng thành công trong tính toán SD cho vùng nước biển ven bờ hay hồ nước ngọt. Tuy nhiên, do đặc tính là dòng chảy thường xuyên, có sự pha trộn các chất hòa tan, lơ lửng ở các tỷ lệ khác nhau nên việc áp dụng các thuật toán nói trên vào tính toán SD của nước sông còn chưa chính xác. Đặc biệt, do kích thước của dòng chảy sông thường hẹp về chiều ngang nên các dữ liệu ảnh vệ tinh sử dụng để tính toán SD cần hội tụ đủ sự phù hợp của cả hai yếu tố: độ phân giải không gian và độ phân giải bức xạ.

Vệ tinh Sentinel-2A (S2A) mới được phóng lên quỹ đạo vào tháng 6 năm 2015 bởi Cơ quan

Vũ trụ Châu Âu (ESA) nên ít được đề cập trong các nghiên cứu giám sát môi trường nước trên thế giới [16] và gần như rất ít sử dụng trong các công bố trong lĩnh vực này tại Việt Nam. Mặc dù được thiết kế cho mục đích giám sát sử dụng đất và thay đổi độ che phủ đất ở quy mô quốc gia và toàn cầu, song với độ phân giải không gian cao (chỉ 10 m cho một số kênh phổ) và thiết kế kênh phổ chuyên biệt cho vùng cận hồng ngoại (có nhiều điểm tương đồng với ảnh vệ tinh MERIS, vệ tinh được ESA phát triển trước đó để giám sát môi trường biển), S2A được đánh giá là một dữ liệu phù hợp để nghiên cứu, giám sát môi trường nước, đặc biệt là các vùng nước nội địa [17].

Xuất phát từ thực tiễn nêu trên, nghiên cứu này được tiến hành nhằm xây dựng phương trình tính toán SD của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai từ dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 2A dựa vào mối quan hệ thực nghiệm giữa SD và phổ phản xạ mặt nước (p_w) đo được cùng thời kỳ tại hiện trường. Phương trình thu được tiếp đó được áp dụng để tính toán SD từ các cảnh ảnh S2A thu được trong năm 2018 để làm rõ sự thay đổi của thông số này trong không gian và thời gian.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp đo phổ phản xạ mặt nước

SD và p_w của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai được đo đồng thời vào hai đợt khảo sát thực địa: đợt 1: ngày 23/03/2018 và ngày 01/04/2018; đợt 2: ngày 29/07/2018 và ngày 10/08/2018. Tổng số 64 dữ liệu từ các điểm khảo sát của 04 ngày đo nêu trên được thu thập trong vòng 1 giờ trước và sau thời gian vệ tinh S2A chụp ảnh (khoảng 10:20 AM) vùng nghiên cứu. Hình 1 thể hiện vị trí của 64 điểm khảo sát được định vị bằng máy định vị GPS cầm tay.

Phương pháp phổ biến nhất để đo độ thấu quang nước được dựa trên các nguyên tắc tập trung ánh sáng. Theo đó, độ thấu quang của nước được đo trực tiếp trên sông bằng đĩa Secchi chuẩn (Model 58-B10) đường kính 20 cm của hãng Wildco (Hoa Kỳ) theo phương pháp của

Lind [18], cụ thể là đo độ sâu mà ở đó đĩa Secchi xuất hiện hoặc biến mất trong quan sát thẳng đứng từ mặt nước.

p_w được đo ở góc chiếu 40-45° theo hướng 130-135° so với hướng chiếu của mặt trời theo phương pháp của Mobley [19] sử dụng máy đo bức xạ hiện trường GER 1500 có độ phân giải 1 nm cho dải sóng từ 300 đến 1050 nm. Theo đó, phổ phản xạ của mặt nước được tính toán bằng phương trình (1) dưới đây:

$$\rho_w = R_p(\lambda) \cdot \frac{L_r(\lambda) - L_{sky}(\lambda)}{\pi \cdot L_r(\lambda)} \quad (1)$$

Trong đó: p_w 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 (<http://fsf.nerc.ac.uk/>); $L_r(\lambda)$ là hệ số phát xạ thu được của mặt nước tại điểm đo; $L_{sky}(\lambda)$ là hệ số phát xạ của bầu trời thu được tại thời điểm đo; $L_r(\lambda)$ là hệ số phát xạ thu được của bề mặt vật phản xạ chuẩn (panel). (Xem hình 1)

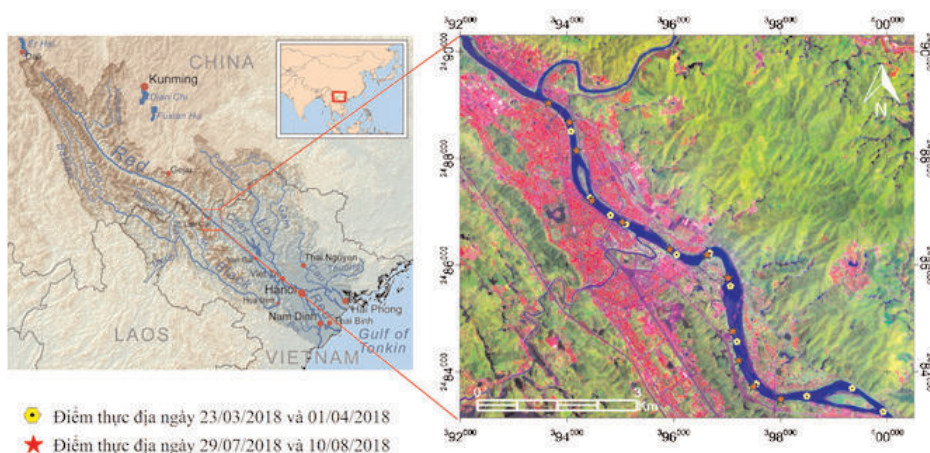
Trong nghiên cứu này, các dữ liệu thu được ngày 01/04/2018 và 10/08/2018 được dùng để xây dựng phương trình tính toán SD, các dữ liệu đo ngày 23/03/2018 và 29/07/2018 được sử dụng để đánh giá độ chính xác của phương trình.

p_w thu được vào ngày 10/08/2018, đồng thời với thời gian vệ tinh S2A chụp ảnh vùng nghiên cứu được sử dụng để đánh giá độ chính xác của phương pháp xử lý ảnh.

2.2. Phương pháp xử lý ảnh vệ tinh

Vệ tinh S2A chụp ảnh đoạn sông Hồng qua thành phố Lào Cai vào khoảng 3:20 GMT (tương ứng với 10:20 giờ địa phương) trong hệ tọa độ WGS 84, múi 48N với độ phân giải không gian là 10 m, 30 m và 60 m tùy theo kênh phổ. Trong nghiên cứu này, 8 cảnh ảnh S2A thu được vào các thời điểm khác nhau, có độ che phủ mây dưới 10% được tải miễn phí từ trang web của ESA (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/>) được sử dụng (bảng 1). Tất cả các cảnh ảnh sử dụng đã được hiệu chỉnh hình học và bức xạ để đưa dữ liệu về giá trị độ phản xạ ngoài bầu khí quyển (TOA-reflectance) bởi ESA trước khi đến tay người sử dụng nên trong nghiên cứu này phương pháp xử lý ảnh chủ yếu là hiệu chỉnh khí quyển dựa vào phương pháp loại trừ điểm đen (Dark object subtraction) được đề xuất bởi Chavez [20] - đây là phương pháp đơn giản nhưng mang lại độ chính xác cao trong nghiên cứu chất lượng nước sử dụng dữ liệu ảnh vệ tinh [21-23]. (Xem bảng 1)

2.3. Phương pháp phân tích thống kê và lập sơ đồ



Hình 1: Vị trí điểm đo trên sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai trong 2 đợt khảo sát trên ảnh màu giả của Sentinel 2A (11:4:3) thu được vào ngày 10/08/2018

Các phép phân tích thống kê, hồi quy trong nghiên cứu được thực hiện sử dụng phần mềm IBM SPSS Statistics 20, trong đó kết quả phân tích đều dựa trên 95% phân bố của các chuỗi số. Các thông số thống kê cơ bản như: giá trị trung bình, giá trị lớn nhất, giá trị nhỏ nhất, giá trị lệch chuẩn, hệ số xác định (R^2), sai số toàn phương trung bình (RMSE), hệ số góc (slope), hệ số chặn (y-intercept) đều được tính toán sử dụng các phép hồi quy tuyến tính trong phần mềm này.

Sơ đồ phân bố không gian SD của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai 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 10.3.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Mối quan hệ giữa độ thấu quang của nước sông và phổ phản xạ mặt nước

Kết quả đo SD của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai vào 2 đợt khảo sát cho thấy nước sông khu vực này có độ đục cao, SD chỉ khoảng 10 cm đến 33,2 cm, trung bình đạt 24,2 cm, độ lệch chuẩn giữa các điểm đo vào khoảng 1,6 cm trong cả 2 mùa (mùa mưa ứng với giá trị đo tháng 8 và mùa khô ứng với giá trị đo tháng

4). Giá trị SD đo được cũng thể hiện sự thay đổi theo mùa của thông số này, SD của nước sông vào mùa khô (tháng 4/2018) cao gần gấp 2 lần so với giá trị SD đo được vào mùa mưa (tháng 8/2018). Cụ thể, SD của nước sông vào tháng 4/2018 dao động trong khoảng từ 27 cm – 36 cm, trung bình khoảng 30,5 cm trong khi đó SD vào tháng 8/2018 giảm khá mạnh với giá trị thấp nhất chỉ 10 cm, giá trị lớn nhất là 17 cm và giá trị trung bình dao động khoảng 14 cm (bảng 2). Điều này cho thấy nước sông vào mùa mưa có nhiều vật chất lơ lửng hơn nước sông vào mùa khô.

Đặc trưng phổ phản xạ mặt nước p_w của 64 điểm đo trên sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai được thể hiện trong hình 2 dưới đây. Theo đó, phổ phản xạ của nước sông Hồng có các đặc điểm điển hình của vùng nước đục với sự lệch phải của giá trị phản xạ cực đại trong vùng sóng từ 550-700 nm [24-25] và giá trị phản xạ cực đại ở vùng sóng đỏ (~650-690 nm). Dựa trên vị trí phân bố của các kênh phổ của ảnh S2A, các kênh phổ ứng với điểm cực đại (peak) của phổ phản xạ mặt nước là kênh 3 (xanh lục), kênh 4 (đỏ) trong khi kênh 5 và kênh 6 (trong dải sóng cận hồng ngoại, ứng với 705 và 740 nm) phân bố gần với điểm cực tiểu của p_w . Ngược với xu hướng dao động của SD, giá trị r_w của mặt nước có xu

Bảng 1: Các ảnh vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu

STT	Ảnh	Ngày
1	L1C_T48QUK_A013929_20180221T035040	21/02/2018
2	L1C_T48QUK_A014072_20180303T033815	03/03/2018
3	L1C_T48QUK_A014787_20180422T033845	22/04/2018
4	L1C_T48QUK_A015788_20180701T033710	01/07/2018
5	L1C_T48QUK_A016360_20180810T034602	10/08/2018
6	L1C_T48QUK_A016932_20180919T033653	19/09/2018
7	L1C_T48QUK_A017504_20181029T034246	29/10/2018
8	L1C_T48QUK_A017933_20181128T034057	28/11/2018

Bảng 2: Kết quả đo độ thấu quang của nước sông trong 4 ngày khảo sát

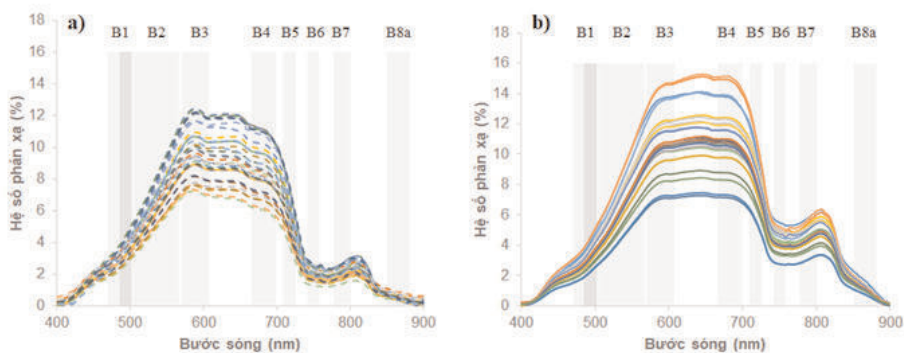
Đợt khảo sát	N	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn
23/03/2018	20	27.7	33.2	30.8	1.38
01/04/2018	20	27	36	30.5	1.85
29/07/2018	12	19.2	23.9	21.7	1.4
10/08/2018	12	10	17	14	2.04

hướng cao hơn trong mùa mưa (Hình 2b) và thấp hơn trong mùa khô (Hình 2a), phù hợp với nhận định về sự ảnh hưởng của các vật chất lơ lửng đến việc tăng cao giá trị phổ phản xạ mặt nước p_w . (Xem hình 2)

Phân tích dữ liệu thu được từ 32 điểm đo ngày 1/4/2018 và 10/8/2018, SD tương quan chặt chẽ theo xu hướng nghịch với p_w ứng với dải sóng của các kênh phổ của ảnh S2A tại kênh 4 trong dải sóng đỏ (- 0,60) và các kênh 5, 6, 7, 8, 8A trong dải sóng cận hồng ngoại (hệ số tương quan lần lượt là -0,72; -0,89; -0,91; và -0,89). Các tỷ số thường được sử dụng tính toán SD như xanh lam/đỏ (kênh 2/kênh 4) và xanh lục/đỏ (kênh 3/kênh 4) đều cho giá trị tương quan cao (0,58 – 0,91) (bảng 3). Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, tỷ số kênh phổ cận hồng ngoại/đỏ có giá trị tương quan ổn định và chặt chẽ hơn cả (0,86 – 0,92). Trong tất cả các trường hợp, hàm số mũ là hàm số cho độ sai số nhỏ nhất (bảng 3). Điều

này một lần nữa khẳng định sự phù hợp của hàm số mũ để tính toán các thành phần chất lượng nước từ dữ liệu viễn thám đã được chứng minh trong nghiên cứu trước đó của Ha và Koike [21]. Phương trình đường cong có giá trị tương quan cao và sai số nhỏ nhất là đường cong hàm mũ diễn tả mối quan hệ giữa SD và tỷ số của p_w ứng với kênh 5/kênh 4 (bảng 3) và được lựa chọn để tính toán SD của nước sông Hồng từ ảnh S2A trong nghiên cứu này (hình 3A).

Hình 3b biểu diễn kết quả so sánh giá trị SD đo được thực tế và giá trị SD tính toán từ với tỷ số của p_w ứng với kênh 5/kênh 4 của ảnh S2A - $p_w(705)/p_w(665)$ sử dụng giá trị SD và p_w đo tại hiện trường vào ngày vào ngày 23/3/2018 và ngày 29/7/2018 và phương trình đường cong của hình 3a. Theo đó, giá trị SD tính toán so với giá trị SD thực tế có hệ số tương quan cao, sai số thấp (RMSE = 0,99; nhỏ hơn 5% giá trị SD trung bình đo được) khẳng định sự chính xác cao của



Hình 2: Đặc trưng phổ phản xạ mặt nước p_w đo tại sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai so với vị trí của các kênh phổ ảnh Sentinel 2A (S2A): a) p_w đo vào tháng 3-4/2018; b) p_w đo vào tháng 7-8/2018. B1 đến B8a ứng với vị trí các kênh phổ của ảnh S2A từ 1 đến 8a.

Bảng 3: Mối quan hệ tuyến tính giữa độ thấu quang nước và tỷ số phổ phản xạ ứng với dải phổ của kênh ảnh Sentinel 2A sử dụng dữ liệu của 32 điểm đo ngày 1/4/2018 và 10/8/2018

Thuật toán	Tỷ lệ kênh phổ S2A	Hàm tuyến tính		Hàm số mũ		Hàm logarith	
		R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE
Xanh lam/đỏ	B1/B4	0,04	8,57	0,03	0,41	0,03	8,66
	B2/B4	0,63	5,34	0,58	0,27	0,63	5,29
Xanh lục/đỏ	B3/B4	0,90	2,72	0,88	0,15	0,91	2,61
Cận hồng ngoại/đỏ	B5/B4	0,91	2,54	0,89	0,13	0,92	2,54
	B6/B4	0,88	2,98	0,86	0,15	0,88	2,92
	B7/B4	0,86	3,2	0,85	0,16	0,87	3,08

phương trình tính toán. Từ đó cho thấy, SD của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai có thể được tính khá chính xác từ tỷ số 2 kênh phổ ảnh S2A nói trên bằng phương trình hàm mũ sau:

$$SD = 0,01 \cdot e^{7,05 \cdot (B5/B4)} \quad (2)$$

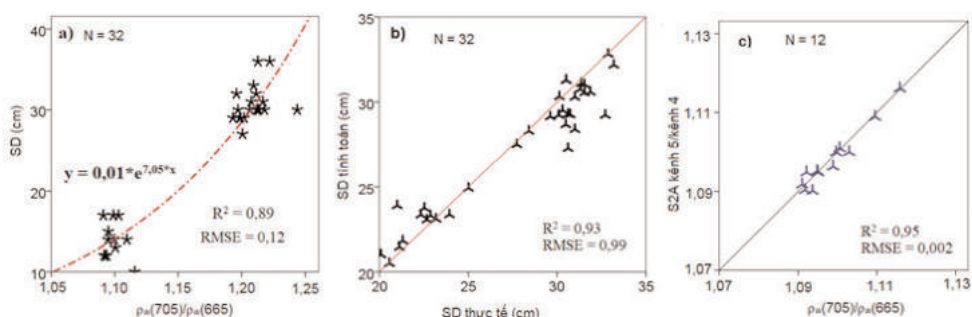
trong đó: SD là độ sâu thấu quang đo bằng đĩa Secchi (cm); B5, B4 là giá trị phổ phản xạ mặt nước ứng với kênh 5 và kênh 4 của ảnh S2A.

Do phương trình (2) được xây dựng và kiểm chứng dựa trên giá trị phổ phản xạ mặt nước p_w và SD đo đạc thực tế vào cùng thời điểm nên có độ chính xác gần như tuyệt đối vì không bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thời tiết, khoảng cách hay các nhiễu động do các phản ứng, thành phần của bầu khí quyển như dữ liệu vệ tinh. Để áp dụng thành công phương trình (2) vào dữ liệu ảnh vệ tinh S2A, phương pháp xử lý ảnh (cụ thể là phương pháp hiệu chỉnh khí quyển) để thu nhận phổ phản xạ mặt nước phải phù hợp và chính xác. Hình 3c biểu diễn sai số giữa tỷ số phổ phản xạ thu được tại mặt nước ($p_w(705)/p_w(665)$) và tỷ số phổ phản xạ thu được của kênh 5/kênh 4 ảnh S2A trong ngày 10/8/2018 tại 12 điểm đo ứng với 12 pixels ảnh. Kết quả cho thấy phương pháp loại trừ điểm đen khá phù hợp khi hiệu chỉnh khí quyển cho các vùng nước có độ đục cao như nước sông Hồng đoạn qua Lào Cai trong nghiên cứu này. Với sai số toàn phương trung

binh là 0,002 ứng với 0,2 % trung bình giá trị đo đạc thực tế, phương pháp hiệu chỉnh khí quyển này rất phù hợp cho việc tính toán các thông số nước bằng phương pháp sử dụng tỷ số kênh ảnh. Do đó, các kết quả tính toán SD từ ảnh S2A xử lý bằng phương pháp loại trừ điểm đen và sử dụng phương trình (2) nói trên cho kết quả khá chính xác khi thay thế tỷ số kênh phổ 5 và 4 của ảnh thay cho giá trị phổ mặt nước ứng với các kênh này.

3.2. Sự thay đổi của độ thấu quang theo không gian và thời gian

Hình 4 thể hiện sự phân bố SD của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai được tính toán từ ảnh S2A và phương trình (2) tại 2 thời điểm ứng với mùa mưa (10/8/2018) và mùa khô (28/11/2018) của năm 2018. Theo đó, trong mùa mưa (hình 4a), SD có xu hướng tăng dần (hay hướng dòng chảy (từ thượng nguồn phía Trung Quốc xuôi xuống qua thành phố Lào Cai), trong khi đó xu hướng này không thấy rõ trong cảnh ảnh thu được vào mùa khô (hình 4b). Giá trị SD của nước sông Nậm Thi (biên giới giữa Việt Nam và Trung Quốc) và Ngòi Đum (thành phố Lào Cai) luôn luôn lớn hơn (nước sông trong hơn) giá trị SD của nước sông Hồng trong cả 2 mùa cho thấy cả 2 sông này đều là những dòng chảy nhánh cấp nước cho nước sông Hồng đoạn



Hình 3: Biểu đồ biểu diễn: a) phương trình hàm mũ thể hiện mối quan hệ tuyến tính của SD với tỷ số của p_w ứng với kênh 5/kênh 4 của ảnh S2A - $p_w(705)/p_w(665)$ sử dụng dữ liệu của 32 điểm đo ngày 1/4/2018 và 10/8/2018; b) Sai số giữa SD đo được thực tế và SD tính toán từ phương trình hàm mũ hình 3a sử dụng dữ liệu của 32 điểm đo vào ngày 23/3/2018 và ngày 29/7/2018; và c) sai số giữa phổ phản xạ đo thực tế $p_w(705)/p_w(665)$ và phổ thu hồi từ ảnh S2A kênh 5/kênh 4 của 12 điểm đo ngày 10/8/2018

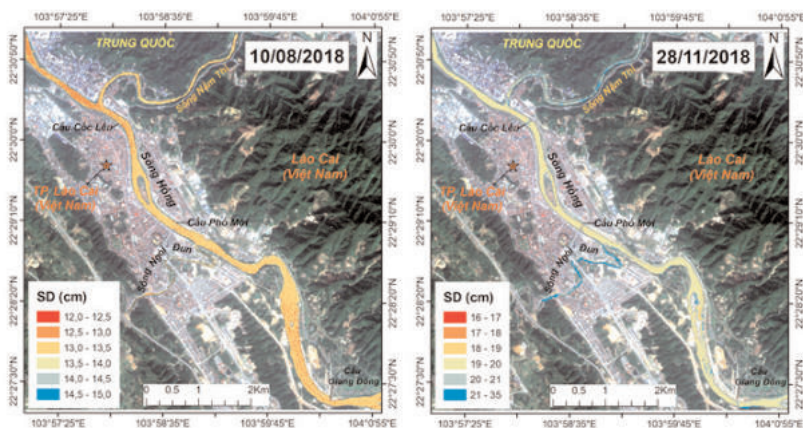
nghiên cứu. Hình 4a cũng cho thấy diện tích mặt nước sông Hồng trong mùa mưa lớn hơn diện tích mặt nước sông trong mùa khô (hình 4b), thể hiện thông qua sự thu nhỏ diện tích của diện tích đảo nổi giữa sông đoạn qua trung tâm thành phố (thuộc phường Cốc Lếu) và đoạn phía đông nam thành phố (thuộc phường Bắc Cường). Về tổng quan, nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai có độ trong thấp, giá trị dao động từ 12 cm đến 35 cm, cho thấy nước sông rất giàu vật chất lơ lửng. Xu hướng độ trong lớn dần từ xuôi theo dòng chảy cũng cho thấy hầu hết các chất lơ lửng trong nước sông Hồng được cung cấp từ các quá trình hoạt động của dòng chảy từ thượng nguồn phía bên kia biên giới. Giám sát liên tục độ trong của nước sông sử dụng ảnh vệ trong một thời kỳ dài có thể cung cấp các thông tin quan trọng liên quan đến các vấn đề về nguồn nước và lượng trầm tích được sông vận chuyển thông qua khu

vực biên giới. (Xem hình 4, 5)

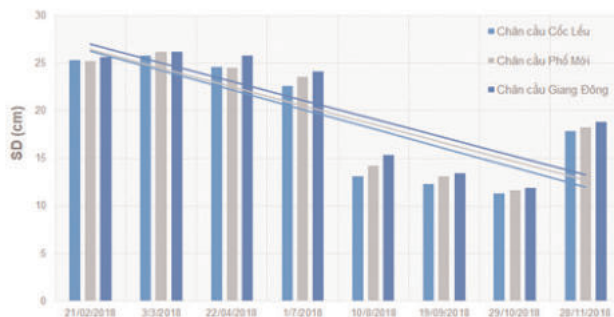
Hình 5 biểu diễn sự thay đổi trong giá trị SD tính toán từ 8 cảnh ảnh S2A thu được vào các thời điểm khác nhau trong năm 2018 ở 2 vị trí sông xuôi theo dòng chảy là: 1) đoạn sông chỗ chân cầu Cốc Lếu; 2) đoạn sông chỗ chân cầu Phố Mới; và 3) đoạn sông chỗ chân cầu Giang Đông (hình 4). Theo đó, sự thay đổi của SD theo mùa cũng thể hiện tương đối rõ ràng qua kết quả tính toán được: giá trị SD trong mùa khô (tháng 11, 2, 3) cao gấp 2 lần trong mùa mưa (tháng 8 và 9). Giá trị SD tại điểm quan trắc cũng thể hiện xu hướng tăng dần của độ trong nước sông xuôi theo dòng chảy.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy SD (hay còn gọi là độ trong) của nước sông Hồng đoạn qua thành



Hình 4: Sơ đồ phân bố độ thấu quang (SD) của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai trong mùa mưa (a) và mùa khô (b) năm 2018



Hình 5: Sự thay đổi của độ thấu quang (SD) tại 3 điểm trên sông tính toán từ các ảnh S2A thu được vào các thời điểm khác nhau trong năm 2018 (ngày/tháng/năm)

phố Lào Cai có thể tính toán từ tỷ số kênh 5 trên kênh 4 của ảnh S2A theo phương trình hồi quy tuyến tính hàm mũ. Sơ đồ biến động theo không gian và thời gian của nước sông Hồng đoạn qua thành phố Lào Cai thu được từ dữ liệu ảnh vệ tinh S2A đa thời cho thấy SD của nước sông phân bố tương đối đồng đều vào mùa khô (khoảng 16 -35 cm) và có xu hướng giảm vào mùa mưa (chỉ còn 12 - 15 cm). Theo không gian, SD có xu hướng giảm dần từ phía thượng nguồn xuống phía nam thành phố, xuôi theo hướng dòng chảy. Sự thay đổi trong phân bố của SD cho sự gia tăng của hàm lượng chất rắn lơ lửng được vận chuyển theo dòng chảy vào mùa mưa từ phía thượng nguồn sông Hồng. Nghiên cứu này cho thấy ảnh S2A với độ phân giải không gian phù hợp (có thể đạt đến 10m), thiết kế các kênh phổ hợp lý có tiềm năng cao để sử dụng giám sát chất lượng nước sông, đặc biệt nước của những dòng sông chảy xuyên biên giới như sông Hồng. Trong thời gian tới, cần mở rộng nghiên cứu theo hướng này theo hướng bổ sung chi tiết hơn các dữ liệu đo đạc, hoàn thiện phương trình tính toán, phương pháp xử lý ảnh để có thể mở rộng ứng dụng cho giám sát các thông số chất lượng nước sông ở một không gian rộng lớn hơn, từ đó có những giải pháp quản lý và sử dụng hiệu quả tài nguyên nước sông Hồng. ○

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp Quốc gia mã số VT-UD.02/16-20. Tác giả bài báo trân trọng cảm ơn ESA và Trung tâm CARGIS, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN vì đã cung cấp ảnh Sentinel 2A và thiết bị đo phổ hiện trường cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

[1]. Vietnam National Assembly, 2005. Vietnam Environmental Protection Law, Amendment No. 5 2005/QH11.

[2]. UNEP, 2014. Review of existing water quality guidelines for freshwater ecosystems and

application of water quality guidelines on basin level to protect ecosystems. Technical background document for theme 1: “Water Quality and Ecosystem Health”. First International Environment Forum for Basin Organizations towards Sustainable Freshwater Governance, 26-28 November 2014, Nairobi, Kenya.

[3]. Lindell, L. T., Steinvall, O., Jonsson, M., & Claesson, T. (1985). Mapping of coastal-water turbidity using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 6(5), 629-642.

[4]. Wang, J. J., & Lu, X. X. (2010). Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. *Science of the Total Environment*, 408(5), 1131-1138.

[5]. Walling, D. E., Collins, A. L., & Stroud, R. W. (2008). Tracing suspended sediment and particulate phosphorus sources in catchments. *Journal of Hydrology*, 350(3-4), 274-289.

[6]. Milliman, J. D., & Meade, R. H. (1983). World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91(1), 1-21.

[7]. Le, T. P. Q., Garnier, J., Gilles, B., Sylvain, T., & Van Minh, C. (2007). The changing flow regime and sediment load of the Red River, Viet Nam. *Journal of Hydrology*, 334(1-2), 199-214.

[8]. Dang, T. H., Coynel, A., Orange, D., Blanc, G., Etcheber, H., & Le, L. A. (2010). Long-term monitoring (1960–2008) of the river-sediment transport in the Red River Watershed (Vietnam): temporal variability and dam-reservoir impact. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4654-4664.

[9]. Luu, T. N. M., Garnier, J., Billen, G., Orange, D., Némery, J., Le, T. P. Q., ... & Le, L. A. (2010). Hydrological regime and water budget of the Red River Delta (Northern Vietnam). *Journal of Asian Earth Sciences*, 37(3), 219-228.

- [10]. Bộ Tài nguyên và môi trường, 2012. Báo cáo môi trường quốc gia 2012 – Môi trường nước mặt. NXB Tài nguyên - môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 117 trang.
- [11]. Gholizadeh, M., Melesse, A., & Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), 1298.
- [12]. Stéfouli, M., Dimitrakopoulos, D., Papadimitrakis, J., & Charou, E. (2004, September). Monitoring and assessing internal waters (Lakes) using operational space borne data and field measurements. In *Proceedings of the European Water Resources Association on Water Resources management–EWRA Symposium, Izmir, Turkey* (pp. 2-4).
- [13]. Khorram, S., Cheshire, H., Geraci, A. L., & ROSA, G. L. (1991). Water quality mapping of Augusta Bay, Italy from Landsat-TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 12(4), 803-808.
- [14]. Yang, M. D. (1996). *Adaptive short-term water quality forecasts using remote sensing and GIS* (Doctoral dissertation, The Ohio State University)..
- [15]. Lathrop Jr, R. G., & Lillesand, T. M. (1989). Monitoring water quality and river plume transport in Green Bay, Lake Michigan with SPOT-1 imagery.
- [16]. Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., & Nõges, T. (2016). First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing*, 8(8), 640.
- [17]. Hà, N. T. T., Cảnh, B. Đ., Thảo, N. T. P., & Nhi, B. T. (2016). Thử nghiệm mô hình hóa sự phân bố không gian của hàm lượng chlorophyll-a và chỉ số trạng thái phú dưỡng nước Hồ Tây sử dụng ảnh Sentinel-2A. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 32(2S).
- [18]. Lind, O. T. (1979). *Handbook of common methods in limnology*. The CV Mosley Company.
- [19]. Mobley, C. D. (1999). Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements. *Applied optics*, 38(36), 7442-7455.
- [20]. Chavez Jr, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment*, 24(3), 459-479.
- [21]. Hadjimitsis, D. G., Clayton, C. R. I., & Hope, V. S. (2004). An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs. *International Journal of Remote Sensing*, 25(18), 3651-3674.
- [22]. Ha, N. T. T., & Koike, K. (2011). Integrating satellite imagery and geostatistics of point samples for monitoring spatio-temporal changes of total suspended solids in bay waters: application to Tien Yen Bay (Northern Vietnam). *Frontiers of Earth Science*, 5(3), 305.
- [23]. Gilmore, S., Saleem, A., & Dewan, A. (2015). Effectiveness of DOS (Dark-Object Subtraction) method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanising megacity with Landsat 8 data. *Research@ Locate '15*, 100-108.
- [24]. Wu, J. L., Ho, C. R., Huang, C. C., Srivastav, A. L., Tzeng, J. H., & Lin, Y. T. (2014). Hyperspectral sensing for turbid water quality monitoring in freshwater rivers: empirical relationship between reflectance and turbidity and total solids. *Sensors*, 14(12), 22670-22688.
- [25]. Novoa, S., Doxaran, D., Ody, A., Vanhellefont, Q., Lafon, V., Lubac, B., & Gernez, P. (2017). Atmospheric corrections and multi-conditional algorithm for multi-sensor remote sensing of suspended particulate matter in low-to-high turbidity levels coastal waters. *Remote Sensing*, 9(1), 61.○

(Xem tiếp trang 54)