ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ VIỄN THÁM TRONG QUAN TRẮC HÀM LƯỢNG CHẤT RẮN LƠ LỬNG KHU VỰC HẠ LƯU SÔNG NHUỆ - ĐÁY

Thi Văn Lê Khoa; Nguyễn Tiến Quang
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

*Dữ liệu viễn thám có thể được sử dụng để quan trắc hàm lượng trầm tích lơ lửng SSC trong các hệ thống sông nhỏ để cải thiện mức độ bao phủ dữ liệu, và hỗ trợ các trạm quan trắc truyền thống. Việc sử dụng thông tin thu thập bởi các cảm biến gắn trên vệ tinh để trích xuất dữ liệu mặt đất hoặc trong nước là một thử thách lớn. Nhiều nghiên cứu đã sử dụng ảnh vệ tinh để thu thập thông tin chất lượng nước, nhưng các trở ngại về độ phân giải đã hạn chế việc ứng dụng ở các hệ thống sông nhỏ. Trong nghiên cứu này, một thuật toán mới đã được phát triển để có thể nhanh chóng trích xuất thông tin SSC trong một hệ thống sông nhỏ ở miền Bắc Việt Nam từ dữ liệu vệ tinh Landsat 8. Dữ liệu thực đo và hệ số phản xạ được sử dụng trong bài toán hồi qui và xác định dải bước sóng phù hợp cho nghiên cứu. Band 3 (Green) và Band 4 (Red) đã chứng minh tính tương quan cao với SSC trong khoảng từ 15 đến 120 mg/l. Các phương trình thực nghiệm SSC (mg/l) = 4,853B_4 - 4,493 và SSC (mg/l) = 6,511*B_3 - 16,581 với B_4 và B_3 là phần trăm hệ số phản xạ cho thấy có thể được sử dụng là thuật toán để trích xuất thông tin SSC từ ảnh Landsat 8 OLI.*

Từ khóa: Hàm lượng chất lơ lửng, Landsat, chất lượng nước, hệ sinh thái, viễn thám.

Abstract

Application of remote sensing in monotoring suspended sediment concentration in the Nhue - Day river downstream

*Remotely sensed data can be used to monitor Suspended Sediment Concentration SSC in small rivers to improve spatial coverage of many conventional gauging methods. Understanding physical information of small inland water bodies based on data collected by instruments on board of satellites is a significant challenge. Literature has revealed several studies using space-borne remote sensing to obtain water quality information, but constraints regarding image resolution prevent them from conducting similar researches in small river systems. In this study, new algorithms were developed to quickly determine values of SSC in a small river in Northern Vietnam from data of the Operational Land Imager (OLI) sensor on board of Landsat 8. Water reflectance and in-situ data were compared in a regression analysis to specify bandwidth having best correlation with SSC in the river. Band 3 (Green) and Band 4 (Red) were found to be good SSC indicators with SSC range approximately from 15 to 120 mg/l. The empirical formulas SSC = 4.853B_4 - 4.493 and SSC = 6.511*B_3 - 16.581 with B_4 and B_3 is the reflectance of Band 4 and Band 3 in percentage respectively appearing to provide a relatively accurate SSC (mg/l) estimate from Landsat OLI images.*

Keywords: Suspended sediment concentration, Landsat, water quality, ecosystem services, remote sensing.

1. Giới thiệu

Nhu cầu về dữ liệu chất lượng nước liên tục theo thời gian thực là một nhu cầu rất lớn nhằm hỗ trợ đắc lực các nhà quản lý dự báo chính xác các xu thế thay đổi của chất lượng nước nhằm có các hành động phù hợp và kịp thời, đảm bảo tính bền vững của môi trường tự nhiên. Tuy nhiên, để đáp ứng nhu cầu này, rất nhiều các thử thách sẽ cần phải được giải quyết. Thứ nhất, bài toán đánh giá mức độ suy thoái chất lượng nước đang trở nên khó khăn do hệ thống tài nguyên nước ở nhiều khu vực đang biến đổi phức tạp. Thứ hai, mức độ đa dạng của yêu cầu sử dụng của các đối tượng sử dụng nước khiến hệ thống quan trắc, dự báo chất lượng nước cũng phải rất linh hoạt để cho kết quả phù hợp với từng nhu cầu. Thứ ba, mô hình quan trắc chất lượng nước truyền thống hiện nay tương đối phức tạp và tốn kém, ở các khu vực địa hình khó tiếp cận và kém phát triển, thì bài toán dữ liệu là một thử thách rất lớn.

Trong số các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng nước, hàm lượng trầm tích lơ lửng (Suspended Sediment Concentration - SSC) có thể được đo đạc bằng phương pháp viễn thám, SSC là một thông số quan trọng để đánh giá độ đục của nước, hoặc khả năng vận chuyển các chất gây ô nhiễm, mầm bệnh và xói mòn [1]. Có nhiều kết luận quan trọng trong các nghiên cứu trước đây có thể được sử dụng làm cơ sở để quyết định dữ liệu đầu vào chính xác cho bài toán. Ritchie đã triển khai các thí nghiệm và kết luận rằng dải bước sóng trong khoảng 700nm - 800nm là phù hợp nhất để xác định SSC trong nước [2]. Trong khi đó, Curran đã chỉ ra rằng bước sóng tối ưu phụ thuộc vào SSC trong nước, và khuyến cáo rằng các thuật toán đã được phát triển có thể được sử dụng để xác định SSC cho nhiều khu vực tại các thời điểm khác nhau, tuy nhiên, các thuật toán này nên được áp dụng cho các khu vực có chung các đặc trưng về khí tượng, thủy văn và địa hình [3]. Bên cạnh các nghiên cứu tập trung xác định dải bước sóng (band) phù hợp, có nhiều các nghiên cứu khác xem xét khía cạnh kết hợp các band với nhau. Rất nhiều nghiên cứu đã kết hợp band Red và band Near infrared (NIR) để xác định SSC, band Green cũng có thể được sử dụng, đặc biệt khi hàm lượng chlorophyll trong nước cao [4].

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ lần lượt phân tích mối tương quan của dải bước sóng nhìn thấy và NIR với SSC để xác định được dải bước sóng phù hợp với SSC trên sông Nhuệ - Đáy. Bên cạnh đó, ngoài việc phát triển thuật toán để trích xuất thông tin SSC, các tác giả sẽ sử dụng hai thuật toán có sẵn để so sánh kết quả, đánh giá ảnh hưởng của các đặc thù địa phương. Hai thuật toán sử dụng để so sánh được xây dựng ở khu vực Châu Á với vệ tinh Landsat để hạn chế tối đa sự khác nhau về đặc thù địa phương và bộ cảm của vệ tinh.

Bảng 1. Hai phương trình được sử dụng để so sánh kết quả với phương trình được phát triển bởi nhóm tác giả

Tác giả	Phương trình	Miêu tả
Wang và cộng sự., 2009 [5]	$\ln(SSC) = 3{,}18236*\ln(B_4) - 1{,}40060$ B_4: Phần trăm phản xạ của Band 4 - Landsat ETM+ $R^2 = 0{,}88$, n = 24, SSC (mg/l)	Nghiên cứu phát triển mối quan hệ hồi quy giữa SSC và phản xạ để tính toán SSC từ dữ liệu ảnh vệ tinh trên sông Dương Tử, Trung Quốc.

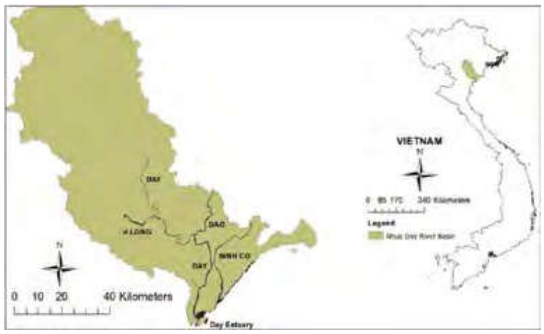
Suif và cộng sự., 2016 [6]	SSC = 24016,1* - 930,35*B_4 + 4,955 B_4:Hệ số phản xạ của Band 4 - Landsat TM và ETM+ R^2 trong khoảng từ 0,83 to 0,93, SSC (mg/l)	Nghiên cứu thiết lập mối quan hệ giữa các SSC thực đo với các giá trị phản xạ từ ảnh vệ tinh để xây dựng một phương trình thực nghiệm. Khu vực nghiên cứu nằm ở lưu vực sông Mê Công.

2. Khu vực nghiên cứu

Hệ thống sông Nhuệ - Đáy nằm ở phía Bắc Việt Nam là một con sông nhỏ dài khoảng 240 km và là một nhánh của sông Hồng. Sông Đáy bắt nguồn từ khu vực Hát Môn và chảy theo hướng Đông Nam hướng về biển Đông vào cửa sông Đáy.

Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng mưa trung bình của Đồng bằng Bắc Bộ. Lượng mưa năm bình quân nhiều năm ở đây đạt khoảng 1650 mm. Mùa mưa kéo dài 5 tháng, từ tháng V đến tháng X với tổng lượng mưa chiếm tới xấp xỉ 83 % tổng lượng mưa năm. Mùa khô thường kéo dài 7 tháng, từ tháng XI đến tháng IV năm sau với tổng lượng mưa chỉ chiếm khoảng 17 % lượng mưa của cả năm. Lưu vực sông Nhuệ - Đáy gồm 2 nhánh sông chính: Sông Nhuệ và sông Đáy, ngoài ra có rất nhiều các chi lưu như: Sông Tích, sông Bùi, sông Thanh Hà. Lượng nước mùa lũ ở hầu hết các sông chiếm từ 70 - 80 % lượng nước năm. Trong mùa cạn, mực nước và lưu lượng nước nhỏ. Lượng dòng chảy trong 7 tháng mùa cạn chỉ chiếm khoảng 20 - 25 % lượng dòng chảy cả năm [7].

Do can thiệp của con người, sông Đáy đang bị suy thoái nghiêm trọng; 71km đầu tiên của dòng sông được coi là một đoạn sông chết vì không có dòng chảy. Quá trình điều tiết của các hồ chứa thủy điện được xây dựng ở thượng lưu sông Hồng làm giảm dòng chảy đến hạ lưu và hạn chế nguồn cung cấp nước cho sông Đáy. Ngoài ra, sự suy giảm cao độ lòng sông, do hoạt động khai thác cát đã làm ngừng dòng chảy tự nhiên vào sông Đáy.



Hình 1: Vị trí lưu vực sông Nhuệ - Đáy với dòng chính sông Đáy và các nhập lưu ở hạ lưu

Lượng nước ở phần hạ lưu của sông Đáy phong phú hơn nhiều do nguồn cung cấp từ các chi lưu. Căn cứ vào đặc điểm cụ thể của vùng nghiên cứu và những hạn chế về độ phân giải không gian của ảnh vệ tinh, các tác giả quyết định thu hẹp phạm vi nghiên cứu từ đoạn hợp lưu sông Nhuệ - Đáy ở Phủ Lý đến cửa sông Đáy (hình 1). Tuy nhiên, dữ liệu SSC thực đo được thu thập mở rộng ra tại các vị trí thuộc sông Hồng và các chi lưu của sông Đáy.

3. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu thực đo và Landsat OLI

Mục tiêu của bài toán là sử dụng ảnh Landsat để trích xuất thông tin của SSC trong sông, mục tiêu này vấp phải rất nhiều khó khăn trong việc thu thập dữ liệu thực đo phục vụ phân tích hồi qui. Cả SSC và tổng chất rắn lơ lửng (Turbidity & suspendid solids - TSS)

đều đang được sử dụng để đánh giá hàm lượng các hạt lơ lửng tồn tại trong chất lỏng. Thông số TSS có nguồn gốc được phát triển cho mục tiêu đánh giá mức độ ô nhiễm của nước thải. Các thủ tục phân tích được đánh giá là hợp lý đối với nước thải khi thỏa mãn đặc trưng hợp chất lơ lửng tương đối đồng đều và bao gồm phần lớn các chất hữu cơ trung hòa. TSS cũng đã được sử dụng để đánh giá chất lượng nước tự nhiên trong nhiều năm. Tuy nhiên, không giống như nước thải, các mẫu nước tự nhiên không đồng đều ở khía cạnh các hợp chất lơ lửng, trong nước có chứa nhiều loại hạt khác nhau, từ keo đến cát thô. Các chất rắn cũng có thể là khoáng chất cao, có trọng lực riêng cao, hoặc hữu cơ cao, với trọng lực riêng thấp. Vì vậy để đánh giá chất lượng nước sông tự nhiên, phân tích thông số SSC sẽ hợp lí hơn. Tuy nhiên, vì khu vực nghiên cứu không quan trắc SSC nên TSS sẽ được sử dụng thay thế. Về điều này, cũng đã có nhiều nghiên cứu đánh giá mối tương quan giữa SSC và TSS [8, 9].

Điều kiện lý tưởng của bài toán là dữ liệu thực đo được quan trắc trùng với thời điểm vệ tinh quan sát khu vực nghiên cứu. Yêu cầu này thường không thể được thỏa mãn ở các lưu vực thiếu các trạm quan trắc tự động, liên tục. Tại lưu vực sông Nhuệ - Đáy, hiện chỉ có 1 trạm quan trắc tự động, tuy nhiên trạm này không quan trắc TSS, vì vậy đối với nghiên cứu này, việc có dữ liệu thực đo được quan trắc trùng với thời điểm vệ tinh Landsat chụp bề mặt khu vực bài toán quan tâm là không thể. Để giải quyết vấn đề này, các tác giả đã thu thập dữ liệu quan trắc nhiều nhất có thể. Hai cơ quan cung cấp dữ liệu cho nghiên cứu bao gồm Trung tâm Quan trắc Môi trường (CEM) - Tổng Cục Môi Trường (VEA) và Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia (NAWAPI). Bảng 2 dưới đây cung cấp thông tin thời gian lấy mẫu tại các khu vực ở hình 2 của CEM và NAWAPI và cả thời điểm vệ tinh chụp khu vực nghiên cứu.

CEM thực hiện công việc quan trắc chất lượng nước sông Đáy năm lần mỗi năm tại các vị trí trên hình 2. CEM lấy mẫu và phân tích khá nhiều thông số chất lượng nước, bao gồm cả SSC, dữ liệu sau đó được chuyển về VEA để quản lý. Dữ liệu quan trắc của NAWAPI được kế thừa từ một dự án được thực hiện năm 2014, số liệu SSC được thu được sau khi các mẫu nước được phân tích trong phòng thí nghiệm. Tổng cộng, có 24 vị trí quan trắc được thu thập, bao gồm các vị trí trên sông Đáy và cả các sông khác trong khu vực.

Bảng 2. Thời gian quan trắc của dữ liệu thực đo do CEM và NAWAPI cung cấp và thời gian Landsat chụp khu vực nghiên cứu trong năm 2014

Tháng								**Năm**
T3	T5	T6	T7	T9	T10	T11	T12	2014
10; 11; 12; 13	19; 21; 22; 23		14; 15; 16; 17.	15; 16; 17; 18		03; 04; 05; 06		CEM
27; 28		9		03; 04		04; 19; 20		NAWAPI
			23	25	11		30	Landsat
Mùa khô			Mùa lũ			Mùa khô		

Ảnh Landsat 8 theo hệ thống tham chiếu toàn cầu (WRS-2) tại path-126 và row-046 được tải về để phục vụ nghiên cứu tại website của Cục Địa chất Hoa Kỳ. Chỉ có các ảnh được vệ tinh chụp vào các ngày 23 tháng 07, 25 tháng 09, 11 tháng 10 và 30 tháng 12 của năm 2014 quang mây và có khả năng được sử dụng để phân tích. Số lượng ảnh thu thập được bao phủ cả 2 thời kỳ mùa lũ và mùa kiệt tại khu vực nghiên cứu.

3.2. Phân tích ảnh

Đầu tiên, toàn bộ các cell là nước được tách ra khỏi ảnh (water mask), có nhiều phương pháp có thể áp dụng để hoàn thành yêu cầu này, ví dụ như chỉ số MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). Trong nghiên cứu này, water mask được tính toán bằng công thức sau:

$$\text{Water Mask} = \text{NIR}/(\text{Green} + 0{,}0001)*100$$

Tất cả các ảnh được download theo định dạng GeoTIFF 16-bit pixel, các cell được số hóa thành các giá trị DN (digital number). Các giá trị DN này sau đó được tính toán để thu về giá trị năng lượng phản xạ và hệ số phản xạ khí quyển ToA (top-of-atmosphere reflectance).

Hiệu chỉnh khí quyển được thực hiện dựa theo phương pháp của Allen và cộng sự. (2012) [10] để đạt được giá trị hệ số phản xạ bề mặt (at-surface reflectance). Quá trình được miêu tả ở *hình 5.*

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Quá trình lọc dữ liệu thực đo

Để xác minh tính tin cậy của dữ liệu thực đo, các biểu đồ thể hiện diễn biến theo không gian và thời gian của dữ liệu đã được xây dựng (hình 3). Số liệu được kỳ vọng sẽ tuân theo nguyên tắc cân bằng giữa SCC và dòng chảy; SSC vào mùa mưa được kỳ vọng sẽ cao hơn so với SSC vào mùa khô do sự gia tăng của xói mòn và sự vận chuyển chất rắn lơ lửng khi vận tốc dòng chảy tăng cao. Nguyên tắc này sẽ loại trừ các dữ liệu bất thường, có khả năng làm giảm tính chính xác của kết quả phân tích hồi quy. Bốn kết luận đã được rút ra, bao gồm:

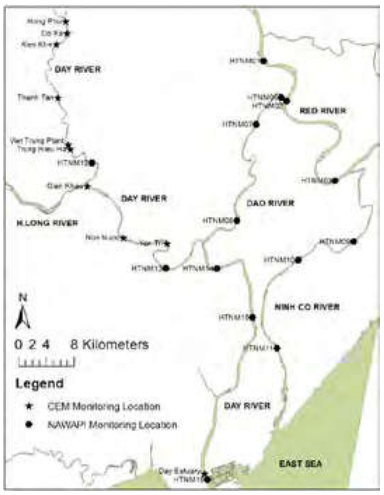
(1) Khi nguyên tắc cân bằng giữa SSC và dòng chảy(mối quan hệ tỷ lệ thuận giữa SSC và dòng chảy)được áp dụng; các giá trị đo tại Trung Hiếu Hạ, Gián Khẩu và Cửa sông Đáy của dữ liệu CEM bị loại bỏ vì chúng cho thấy sự bất đồng khi SSC cao hơn nhiều vào thời điểm dòng chảy kiệt so với dòng chảy lũ; đặc biệt là đối với vùng cửa sông, SSC vào tháng 5 trong thời đoạn mùa khô cao xấp xỉ gấp 3 lần so với SSC trong đợt lũ vào tháng 9;

(2) Hai vị trí Non Nước và Yên Trị có giá trị SSC đạt đỉnh vào tháng 7 với giá trị cụ thể là 113,6 mg/l và 71,5 mg/l cũng là các trường hợp nghi vấn. Hai giá trị này lớn hơn nhiều so với giá trị của SSCvào thời điểmdòng chảy mùa lũ vào tháng 9. Hiện tượng này có thể xảy ra do những tác động cục bộ chưa được biết đến ở khu vực nghiên cứu, làm cho SSC bất ngờ tăng lên. Tuy nhiên, trong trường hợp thiếu sự trùng hợp về mặt thời gian giữa dữ liệu thực đo mặt đất và hình ảnh vệ tinh thu được thì nên loại bỏ các biến thể bất thường này. Theo đó, các tác giả quyết định loại trừ các số đo tại Non Nước và Yên Trị;

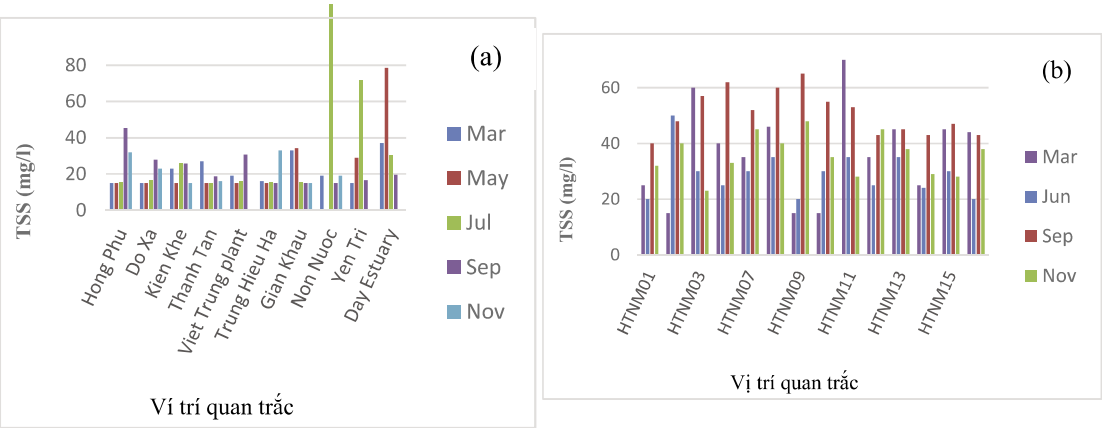
(3) Đối với dữ liệu của CEM, bốn địa điểm Hồng Phú, Đỗ Xá, Kiện Khê, Thanh Tân, đáp ứng các điều kiện xử lý

dữ liệu, và sẽ được sử dụng trong phân tích hồi quy. Vị trí đo tại nhà máy Việt Trung, không được sử dụng do dữ liệu không đầy đủ (5 lần đo mỗi năm);

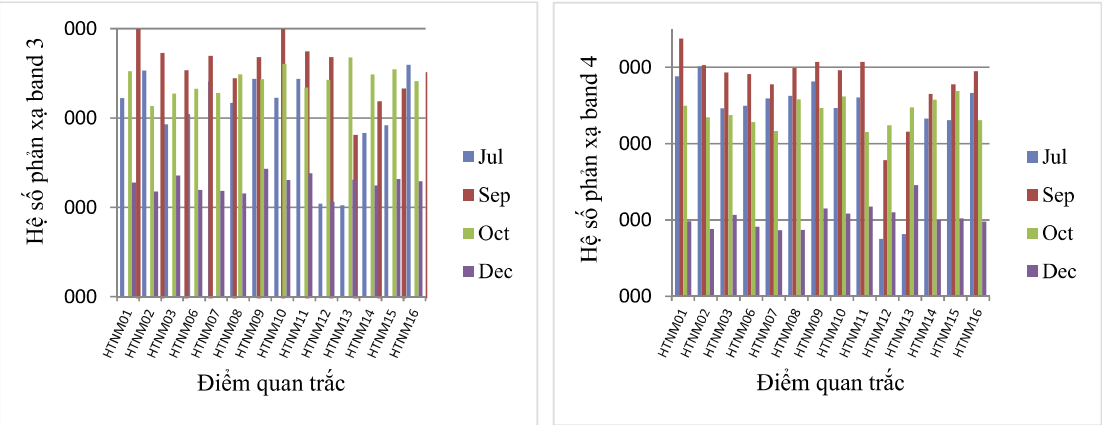
(4) Dữ liệu của NAWAPI cho thấy một diễn biến thể hợp lý. Điểm đặc biệt duy nhất là giá trị SSC cao vào tháng 3 khi dữ liệu dòng chảy thấp. Đặc điểm không được kỳ vọng này xảy ra ở hầu hết các vị trí đo trong khu vực nghiên cứu; do đó tác động cục bộ do các yếu tố không rõ có thể được ngoại trừ. Tất cả các dữ liệu của NAWAPI được sử dụng trong phân tích hồi quy.



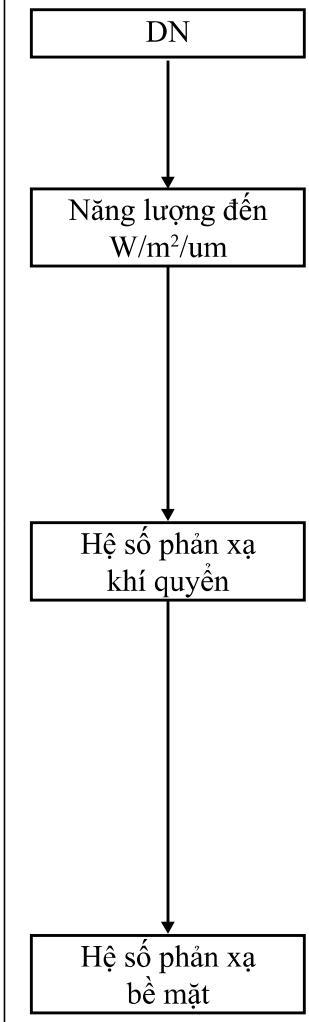
Hình 2: Các vị trí lấy mẫu quan trắc của CEM và NAWAPI



Hình 3: Diễn biến theo không gian và thời gian của tổng SSC: CEM (a) và NAWAPI (b)



Hình 4: Giá trị hệ số phản xạ của band 3 và band 4. Hệ số phản xạ rất cao vào mùa lũ ở các tháng 7, 9 và 10 so với mùa kiệt vào tháng 12



$$L_b = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN}\right) * \left(DN - QCALMIN\right) + LMIN$$

LMAX, LMIN, QCALMIN và QCALMAX có thể được tìm thấy trong gói dữ liệu ảnh:

LMAX là RADIANCE_MAXIMUM_BAND_n;

LMIN là RADIANCE_MINIMUM_BAND_n;

QCALMAX là QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_n;

QCALMIN là QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_n;

DN là Digital Number.

$$\rho_{t,b} = \frac{\pi L_b}{ESUN_b cos\theta d_r}$$

Lb là năng lượng đến;

θ là góc zenith mặt trời;

dr là khoảng cách tương đối nghịch đảo Earth-Sun. ESUNb là năng lượng phản xạ trung bình W/m2/µm

$$\rho_{s,b} = \frac{\rho_{t,b} - C_b(1 - \tau_{in,b})}{\tau_{in,b} * \tau_{out,b}}$$

$$\tau_{in,b} = C_1 \, exp\left(\frac{C_2 P_{air}}{K_t \cos\theta_h} - \frac{C_3 W + C_4}{\cos\theta_h}\right) + C_5$$

$$\tau_{out,b} = C_1 \, exp\left(\frac{C_2 P_{air}}{K_t \cos(0)} - \frac{C_3 W + C_4}{\cos(0)}\right) + C_5$$

$\tau_{in,b}$ và $\tau_{out,b}$ là các giá trị băng truyền hẹp cho năng lượng đến và sóng ngắn phản xạ bề mặt;

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 là hằng số, được phát triển bởi Richard Allen và cộng sự. (1998);

$Pair = 101{,}3\left(\frac{293 - 0{,}0065z}{293}\right)^{5{,}26}$ là áp suất không khí ở cao độ trung bình z (m);

$W = 0{,}14 e_a P_{air} + 2{,}1$ là lượng nước có thể bốc hơi (mm);

e_a là áp suất bề mặt (kP_a).

Hình 5: Quy trình tính toán hệ số phản xạ bề mặt của Allen và cộng sự, 2012 [10]

4.2. Các phương án phân tích hồi quy

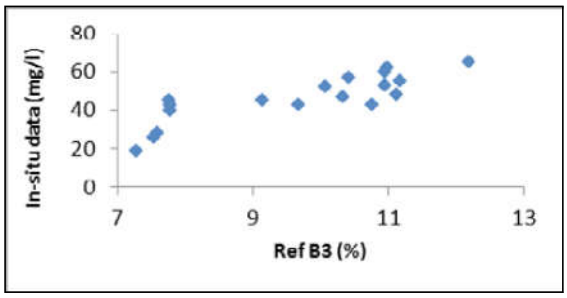
Như đã đề cập ở trên, điều kiện lý tưởng cho bài toán phân tích hồi quy là số liệu thực đo được quan trắc trùng với thời điểm vệ tinh chụp khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, điều kiện này không xảy ra trong trường hợp nghiên cứu này do lưu vực sông Nhuệ - Đáy thiếu các công trình quan trắc tự động liên tục. Vì vậy, khi phân tích hồi quy, nhóm tác giả cần phải lựa chọn các phương án phân tích khác nhau sao cho thời điểm vệ tinh chụp ảnh và thời điểm CEM và NAWAPI lấy mẫu tại khu vực nghiên cứu gần nhau

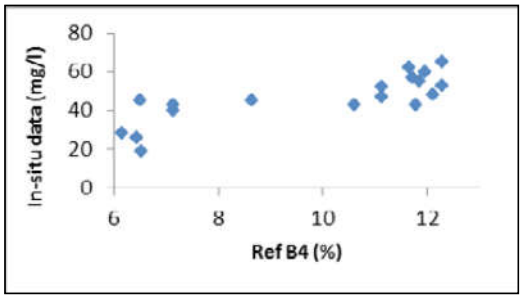
nhất để đảm bảo tính tương quan cao giữa hệ số phản xạ và SSC thực đo.

Dựa vào thời gian quan trắc của dữ liệu thực đo và thời gian chụp ảnh của vệ tinh Landsat 8 được thống kê ở bảng 2, 4 phương án phân tích được đề xuất để thu được tương quan cao nhất giữa hệ số phản xạ và SSC trong bài toán hồi qui được trình bày như sau:

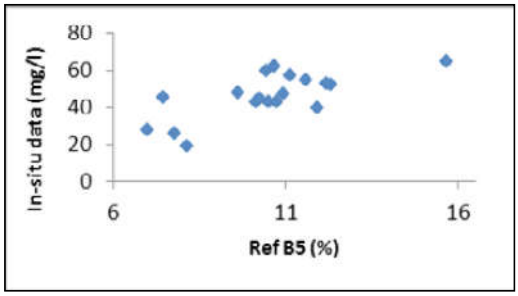
4.2.1. Phương án 1: Chỉ dùng hệ số phản xạ và dữ liệu thực đo ở tháng 9

Phương án 1 chỉ sử dụng dữ liệu vào tháng 9, vì chỉ duy nhất vào tháng này có cả dữ liệu thực đo và ảnh vệ tinh được chụp. Kết quả phân tích hồi quy của phương án 1 như sau:





Thông số	Hệ số tương quan	Trị số P
Ref B3 (%)	0,84	0,15
Ref B4 (%)	0,80	0,66
Ref B5 (%)	0,72	0,23

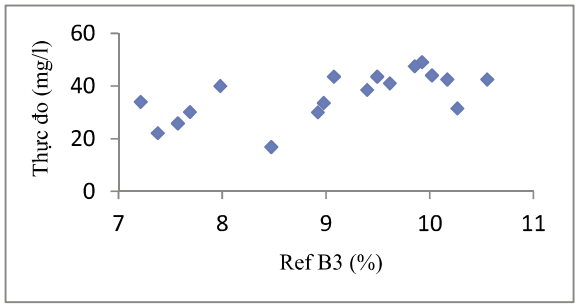


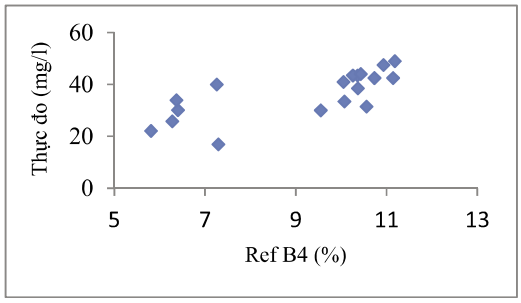
Hình 6: Quan hệ giữa SSC (mg/l) và hệ số phản xạ (%) cho phương án 1

Ref B3, Ref B4, Ref B5 là phần trăm hệ số phản xạ của band 3, band 4, và band 5. Hệ số tương quan (R) cao cho cả 3 band, tuy nhiên trị số P (trị số P càng nhỏ thì mức độ ảnh hưởng càng có ý nghĩa và độ tin cậy của phương trình hồi qui càng cao) cao ở band 4 (Red) và band 5 (NIR), lần lượt là 0,66 và 0,23 được kỳ vọng là sẽ gây ra nhiều sai số cho phương trình hồi qui; do đó hai band này được loại ra khỏi thuật toán. Trị số P của band 3 (Green) cũng cao hơn 0,05 (tương ứng với khoảng 95% mức độ tin cậy của phương trình), tuy nhiên giá trị này có thể giảm xuống nếu có một cỡ mẫu lớn hơn, nghĩa là khi có nhiều hơn dữ liệu thực đo được thu thập và đưa vào phân tích. Giả thiết này cho phép phương án phương trình hồi qui với band 3 trở thành thuật toán để tính toán SSC từ hệ số phản xạ.

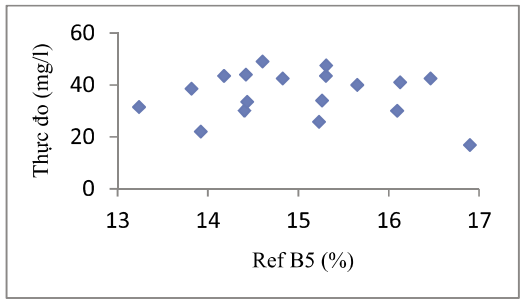
4.2.2. Phương án 2 - Phân tích cho dòng chảy vào mùa mưa

Phương án 2 được phát triển để phân tích tính tương quan giữa hệ số phản xạ và SSC cho giai đoạn mùa mưa từ tháng 6 đến tháng 10. Trong giai đoạn này, dữ liệu thực đo được quan trắc vào các tháng 6, 7, 9 và ảnh vệ tinh chụp vào các tháng 7, 9, 10. Kết quả được thể hiện như sau:





Thông số	Hệ số tương quan	Trị số P
Ref B3 (%)	0,64	0,29
Ref B4 (%)	0,73	0,03
Ref B5 (%)	- 0,10	0,96

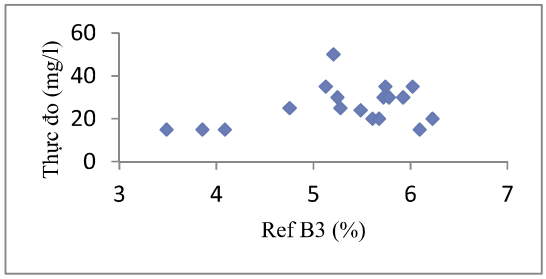


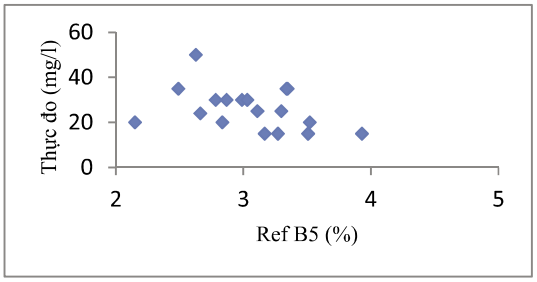
Hình 7: Quan hệ giữa SSC (mg/l) và hệ số phản xạ (%) cho Phương án 2

Ref B3, Ref B4, Ref B5 là phần trăm hệ số phản xạ của band 3, band 4, và band 5. Kết quả cho thấy mối tương quan thấp giữa dữ liệu thực đo với hệ số phản xạ của band 5 (NIR). Trong khi đó, Band 4 (Red) cho kết quả tốt ở trị số P = 0,03 và hệ số tương quan R = 0,73.

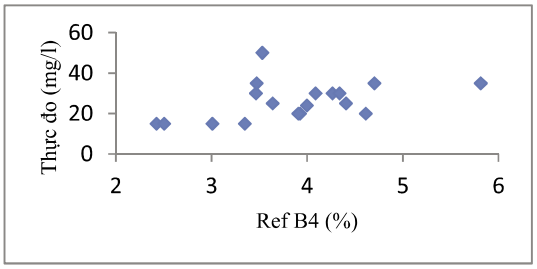
4.2.3. Phương án 3 - Phân tích cho dòng chảy vào mùa khô

Tương tự như phương án 2, phương án 3 được phát triển để phân tích tính tương quan giữa hệ số phản xạ và SSC cho giải đoạn mùa khô từ tháng 11 đến tháng 05 năm sau. Trong giai đoạn này, dữ liệu thực đo được quan trắc vào các tháng 5, 6 và ảnh vệ tinh chụp vào các tháng 12. Kết quả được thể hiện như sau:





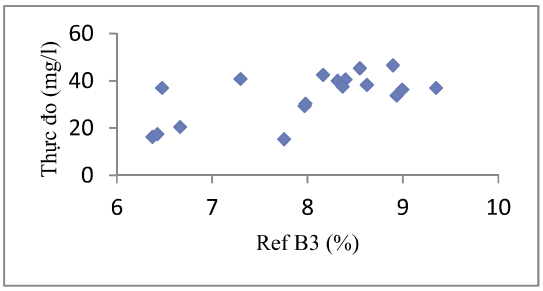
Thông số	Hệ số tương quan	Trị số P
Ref B3 (%)	0,35	0,96
Ref B4 (%)	0,44	0,17
Ref B5 (%)	-0,39	0,08

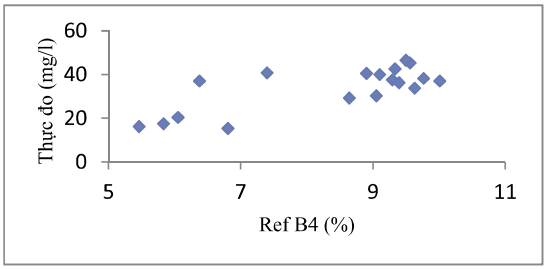


Hình 8: Quan hệ giữa SSC (mg/l) và hệ số phản xạ (%) cho phương án 3

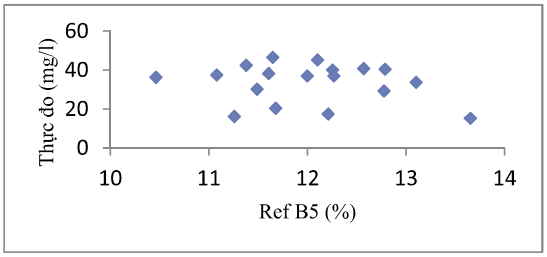
Ref B3, Ref B4, Ref B5 là phần trăm hệ số phản xạ của band 3, band 4, band 5. Kết quả cho thấy mối tương quan thấp với giá trị R = -0,39 và trị số P = 0,08.

4.2.4. Phương án 4 - Tính trung bình tất cả các dữ liệu trong cả năm





Thông số	Hệ số tương quan	Trị số P
Ref B3 (%)	0,63	0,12
Ref B4 (%)	0,75	0,01
Ref B5 (%)	- 0,18	0,99



Hình 9: Quan hệ giữa SSC (mg/l) và hệ số phản xạ (%) cho Phương án 4

Ref B3, Ref B4, Ref B5 là phần trăm hệ số tương quan của band 3, band 4, band 5. Phương án này cho kết quả tương đối giống với trường hợp 2. Tuy nhiên, trị số P của band 4 có kết quả tốt hơn P = 0,01, và hệ số tương quan R = 0,75. Phương trình hồi qui của band 4 được Phương án là thuật toán để tính toán SSC.

Ba phương án cho kết quả âm với band 5 là 2, 3 và 4. Xu thế này đúng với kết luận của Curran [2] cho rằng band hồng ngoại gần (near-infrared) sẽ phù hợp hơn khi giá trị SSC tương đối cao. Phương án 1 cho thấy mối tương quan cao giữa hệ số phản xạ và SSC; tuy nhiên, cả ba band đều không có ý nghĩa vì trị số P cao, với giá trị lần lượt là 0,15, 0,66 và 0,23 cho band 3, band 4, và band 5.

Bảng 3: Tóm tắt kết quả phân tích hồi qui ở 4 trường hợp

	R	R^2	Sai số chuẩn	Trị số P	
				Ref B_3	Ref B_4
Phương án 1	0,84	0,71	7,17	0,091	0,605
Phương án 2	0,76	0,58	6,22	0,269	0,027
Phương án 3	0,44	0,20	8,91	0,833	0,263
Phương án 4	0,80	0,64	6,37	0,100	0,006

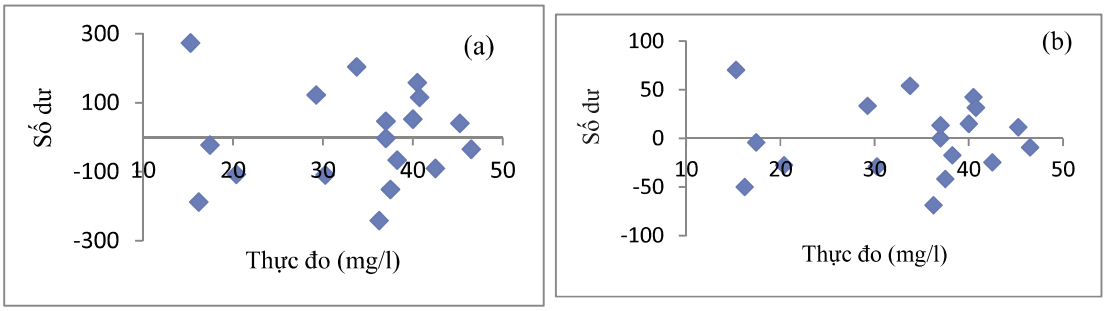
Ba phương án cho kết quả âm với band 5 là 2, 3 và 4. Xu thế này đúng với kết luận của Curran [3] cho rằng band hồng ngoại gần (near-infrared) sẽ phù hợp hơn khi giá trị SSC tương đối cao. Phương án 1 cho thấy mối tương quan cao giữa hệ số phản xạ và SSC; tuy nhiên, cả ba band đều không có ý nghĩa vì trị số P cao, với giá trị lần lượt là 0,15, 0,66 và 0,23 cho band 3, band 4, và band 5. Nếu xét cả tính tương quan cao và có ý nghĩa, band 4 ở phương án 4 và phương án 2 cho kết quả tốt hơn với trị số P lần lượt là 0,01 và 0,03. Như vậy, sau quá trình phân tích hồi qui, chúng ta có thể kết luận 2 phương trình sau:

SSC (mg/l) = 6,511*B_3- 16,581 với B_3 (%) hệ số phản xạ của band Green (R^2 = 0,7) Eq.1

SSC (mg/l) = 4,853*B_4- 4,493 với B_4 (%) hệ số phản xạ của band Red (R^2 = 0,6) Eq.2

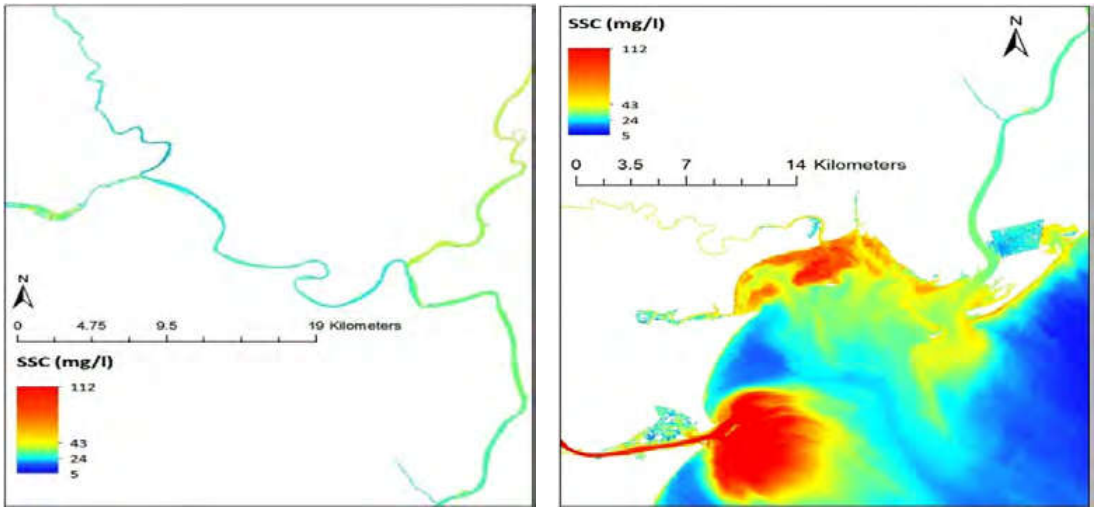
Phương trình 2 được đánh giá cao hơn nếu xét số lượng mẫu thực đo hiện

có. Về mặt lý thuyết, trị số P sẽ nhỏ hơn nếu bài toán phân tích hồi qui có cỡ mẫu lớn, trong trường hợp này chúng ta có thể rút ra được những kết luận chính xác hơn. Đối với 2 trường hợp được sử dụng để so sánh là các nghiên cứu của Wang và Suif [5, 6] bài toán phân tích hồi qui đã sử dụng số lượng mẫu lần lượt là 24 và 42.



Hình 10: Biểu đồ thể hiện sự chênh của kết quả tính toán và thực đo khi sử dụng thuật toán của Wang (a) và Suif (b)

Biểu đồ trong hình 10 cho thấy kết quả ứng dụng 2 mô hình của Wang và Suif có một sự chênh lệch rất lớn so với giá trị SSC thực đo. Cả hai trường hợp nghiên cứu của Wang và Suif đều sử dụng hệ số phản xạ ở band NIR tại các hệ thống sông rất lớn, kết quả của họ rất tốt với giá trị hệ số xác định R^2 lần lượt là 0,88 và 0,93. Như vậy, có thể thấy rằng đặc thù địa phương đóng một vai trò rất quan trọng. Việc so sánh này đã cho thấy tầm quan trọng của việc phân tích lựa chọn dải bước sóng phù hợp cho khu vực nghiên cứu trước khi tiến hành phân tích hồi qui để tìm thuật toán phù hợp.



Hình 11: Phân bố SSC theo không gian tại khu vực nghiên cứu (22 tháng 09 năm 2013)

5. Kết luận

Nghiên cứu này sử dụng ảnh Landsat 8 và dữ liệu thực đo trong bài toán hồi qui để phát triển một phương trình thực nghiệm, và xem đó là thuật toán để trích xuất thông tin hàm lượng chất lơ lửng dựa vào hệ số phản xạ trong ảnh vệ tinh. Số liệu thực đo được thu thập từ 2 nguồn là Trung tâm quan trắc Môi trường Tổng cục Môi trường, và Trung tâm Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước Quốc gia. Dữ liệu thực đo được kiểm định dựa vào nguyên tắc cân bằng giữa lưu lượng dòng chảy với hàm lượng chất lơ lửng để đảm

bảo tính tin cậy của bài toán hồi qui. Quá trình phân tích hồi qui được thực hiện để xác định dải bước sóng phù hợp nhất với đặc trưng hàm lượng chất lơ lửng trong sông ở khu vực nghiên cứu, kết quả chỉ ra rằng band Green và band Red là phù hợp nhất. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng tiến hành so sánh kết quả của mô hình do nghiên cứu phát triển với 2 phương trình thực nghiệm khác đã được công bố. Hai nghiên cứu này được chọn ở khu vực phù hợp với kỳ vọng có mối tương đồng về các đặc điểm Khí tượng, Thủy văn và cũng được thực hiện trên sông với cùng bộ cảm của vệ tinh. Tuy nhiên, kết quả đã chỉ ra một sự khác biệt rất lớn giữa các phương trình khi 2 nghiên cứu nói trên sử dụng band hồng ngoại nhiệt NIR với số lượng mẫu trong bài toán hồi qui lớn hơn. Kết quả của nghiên cứu này chứng tỏ tiềm năng của viễn thám trong việc nghiên cứu về chất lượng nước ở các hệ thống sông nhỏ khi khoa học hiện đại đã và đang phát triển các chương trình vệ tinh với độ phân giải không gian ngày càng cao. Trong tương lai, bên cạnh vệ tinh Landsat, sẽ còn rất nhiều vệ tinh khác như Sentinel, ASTER cung cấp ảnh với chất lượng cao, phục vụ các nghiên cứu trên toàn cầu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Liqin Qu (2014): *Remote Sensing Suspended Sediment Concentration in the Yellow River*. Doctoral Dissertations. University of Connecticut Graduate School, 145 pages;

[2]. Ritchie, J.C., F.R. Schiebe, and J.R. McHenry. (1976): *Remote sensing of suspended sediment in surface water*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 42:1539-1545;

[3]. Curran, P.J. and E.M.M. Novo. (1988): *The relationship between suspended sediment concentrationand remotely sensed spectral radiance: A review*, Journal of Coastal Research 4: 351-368;

[4]. Ritchie, J.C. et al., (2003): *Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 69, No. 6;

[5] Wang et al., (2009). *Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China*. Earth Surf.Process. Landforms 34, 1082-1092;

[6]. Suif, Z., et al., (2016) *Spatio-temporal patterns of soil erosion and suspended sediment dynamics in the Mekong River Basin*, Sci Total Environ (2016), http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.134;

[7]. Ngần, Hoàng Thị (2011*). Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến biến động dòng chảy kiệt lưu vực sông Nhuệ - Đáy trên địa bàn thành phố Hà Nội*. Khoa Khí tượng - Thủy văn - Hải dương học. Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐH Quốc gia Hà Nội;

[8]. Joel M.G et al. (2004). *Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data*. Water-Resources Investigations Report 00-4191. USGS;

[9]. Qizhong Cao (2007): *Effect of Particle Size on Difference between TSS and SSC Measurements.* Proceedings of ASCE/EWRI World Environment and Water Resources Congress;

[10] Allen et al. (2012) *METRIC^{tm} Mapping Evapotranspiration at High Resolution using Internalized Calibration at High Resolution using Internalized Calibration. Applications Manual for Landsat Satellite Imagery*. Version 2.0.8. University of Idaho. Kimberly, Idaho.

BBT nhận bài: Ngày 20/2/2017; Phản biện xong: Ngày 14/3/2017