

DOI:10.22144/ctu.jvn.2021.001

PHÂN BỐ HÀM LƯỢNG CHẤT RẮN LỎ LŨNG (TSS) TỈNH AN GIANG SỬ DỤNG ẢNH VIỄN THÁM SENTINEL 2A

Nguyễn Thị Hồng Điệp¹, Trần Thanh Giám², Trần Sỹ Nam¹, Trần Bá Linh³, Đinh Thị Cẩm Nhung⁴, Nguyễn Hồ⁵ và Phạm Duy Tiến⁶

¹Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²Sinh viên ngành Quản lý đất đai khóa 42, Trường Đại học Cần Thơ

³Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

⁴Học viên Cao học ngành Quản lý đất đai khóa 26, Trường Đại học Cần Thơ

⁵Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Đồng Tháp

⁶Khoa Nông nghiệp, Trường Đại học An Giang

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Thị Hồng Điệp (email: nthdiep@ctu.edu.vn)

ABSTRACT

Suspended sediments (alluvium) play a significant role in the supply of nutrients and agricultural production in the ecosystem of the Mekong Delta. A regression analysis between the Normalized Suspended Material Index (NSMI) and the actual sediment deposition were applied to create the spatial distribution of the suspended sediment concentration. The coefficient R^2 reached 0.92 in the collecting data on October 18th, 2019. The range of total suspended sediment concentration was determined by applying Sentinel 2A image in An Giang province ranged from 0 to 100 mg/l. The concentration of total suspended solids (TSS) mainly tended to distribute in the flooded area, in the upstream and downstream along Hau river in An Giang province. The study result showed that Sentinel 2A data has the ability to develop a spatial suspended sediment map in surface water (alluvium matter) in 2019 with high significant statistics. This result can be foundation for the research related to the concentration of total suspended solids changes, alluvium soil and fertile alluvium in the rivers especially in coastal estuarine, Vietnam.

TÓM TẮT

Trầm tích lơ lửng (phù sa) đóng vai trò hết sức quan trọng trong việc cung cấp nguồn dinh dưỡng, có ý nghĩa rất lớn trong sản xuất nông nghiệp và cả hệ sinh thái vùng Đồng bằng sông Cửu long (ĐBSCL). Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp hồi quy tương quan giữa giá trị chỉ số vật chất lơ lửng (Normalized Suspended Material Index) trên ảnh và lượng phù sa thực tế để thành lập bản đồ phân bố phân bố không gian hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng trong nước mặt (phù sa). Kết quả xác định hệ số R^2 trong các hàm hồi quy này đạt 0,868 cho đợt quan trắc ngày 18/10/2019. Kết quả xác định hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng từ ảnh Sentinel 2A tỉnh An Giang có giá trị dao động trong khoảng từ 0-100mg/l. Hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng tập trung chủ yếu trên các cánh đồng ngập nước, vùng thượng nguồn và cuối nguồn dọc theo tuyến sông Hậu thuộc tỉnh An Giang. Kết quả nghiên cứu cho thấy dữ liệu ảnh Sentinel 2 có khả năng hỗ trợ xây dựng bản đồ phân bố hàm lượng chất lơ lửng nước mặt cụ thể năm 2019 với độ tin cậy cao. Kết quả này là tiền đề cho các đề tài nghiên cứu có liên quan đến tăng giảm hàm lượng phù sa hay chất lượng phù sa vùng ĐBSCL đặc biệt là các vùng cửa sông tại Việt Nam.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 06/09/2020

Ngày nhận bài sửa: 28/11/2020

Ngày duyệt đăng: 27/03/2021

Title:

Total Suspended Solids Mapping in An Giang province using Sentinel 2A imagery

Từ khóa:

Ảnh viễn thám Sentinel 2, giá trị chỉ số vật chất lơ lửng (NSMI), hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng (TSS), tỉnh An Giang

Keywords:

An Giang province, Normalized Suspended Material Index (NSMI), Sentinel 2A image data, total suspended solids (TSS)

1. MỞ ĐẦU

Tổng chất rắn lơ lửng (TSS) là một thông số quan trọng để giám sát các tác động sinh thái, kinh tế và sức khỏe con người. Việc vận chuyển và tích tụ các chất dạng hạt lơ lửng (SPM) có ảnh hưởng trực tiếp và gián tiếp đến các hệ sinh thái dưới nước và các hoạt động của con người (Gernez et al., 2015). Viễn thám đã được sử dụng rộng rãi để ước tính và lập bản đồ độ đục và chất rắn lơ lửng (SSC) ở các vùng nước ven biển và nội địa. Có một vài nghiên cứu tập trung vào việc ước tính SSC ở các vùng nước sông bằng cách sử dụng ảnh vệ tinh MODIS (Wang et al., 2010; Villar et al., 2013; Mangiarotti et al., 2013) tuy nhiên do độ phân giải không gian thô của dữ liệu so với kích thước của đoạn sông. Dữ liệu vệ tinh Landsat cũng được sử dụng để ước tính SSC trong nước sông (Wang et al., 2009; Aranuvachapun et al., 1988; Mertes et al., 1993; Zhang et al., 2014; Montanher et al., 2014; Pereira et al., 2018) lợi dụng độ phân giải không gian 30 m (Montanher et al., 2014) và chỉ ra rằng các dải quang phổ nhìn thấy và các tỷ lệ dải tần khác nhau của ảnh Landsat có tương quan cao với SSC (Gholizadeh et al., 2016). Công nghệ viễn thám với dữ liệu ảnh đa phổ, đa thời gian có khả năng giám sát liên tục sự biến động chất lượng nước (độ đục, độ mặn, chất rắn lơ lửng,...) trên phạm vi rộng lớn mà không bị hạn chế bởi số lượng trạm quan trắc (Nguyễn Nguyên Vũ và ctv., 2018). Mô hình hồi quy giám sát nồng độ phù sa được xây dựng dựa trên sự kết hợp giữa dữ liệu viễn thám và dữ liệu nồng độ phù sa lơ lửng (SSC) thực địa và mô hình này được áp dụng để thành lập bản đồ mô phỏng nồng độ phù sa lơ lửng cho khu vực rộng lớn (Võ Thị Phương Linh và ctv., 2019). An Giang là một tỉnh đầu nguồn thuộc hệ thống sông Mekong vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), là một trong những tỉnh hàng đầu về sản xuất nông nghiệp của vùng, đặc biệt là sản xuất lúa và nuôi thủy sản nước ngọt. Năm 2018, giá trị sản xuất nông nghiệp của An Giang đạt 173 triệu đồng/ha, đứng hàng thứ 3 ở vùng ĐBSCL trong đó, sản xuất lúa là ngành nông nghiệp chính của tỉnh với diện tích tự nhiên chưa đến 9% diện tích ĐBSCL nhưng đóng góp đến 17,9% sản lượng lúa toàn vùng (Cục Thống kê tỉnh An Giang, 2018). Tuy nhiên, trong những năm gần đây, những ảnh hưởng tiêu cực từ biến đổi khí hậu, vấn đề an ninh nguồn nước sông Mekong là những thách thức lớn đối với nền nông nghiệp tỉnh An Giang. Một trong những tác động do việc xây dựng các đập thủy điện trên dòng chính Mekong làm tình trạng vật liệu bồi lắng (phù sa) và chất dinh dưỡng phía hạ lưu suy giảm. Hậu quả của việc suy giảm này tạo nên nhiều

tác động kinh tế, xã hội và môi trường làm mất đi một lượng phân bón thiên nhiên cho sản xuất nông nghiệp cả vùng châu thổ; việc bồi đắp các vùng ven biển sẽ giảm, làm thay đổi động lực dòng chảy, tăng khả năng xói lở bờ, lòng sông ở các phần sông hạ lưu gây mất đất, bất ổn cho cuộc sống của nhiều cộng đồng dân cư, kể cả phá hủy các công trình hạ tầng cơ sở lớn nằm ven bờ (Lê Văn Năm, 2016). Phương pháp sử dụng công nghệ viễn thám có ưu điểm là có thể cung cấp thông tin về phân bố không gian của nồng độ phù sa lơ lửng ở phạm vi rộng lớn. Sự kết hợp khác nhau của các kênh phổ ở dải sóng nhìn thấy và cận hồng ngoại đã được nghiên cứu và đề xuất như là chỉ số để tính toán hàm lượng phù sa lơ lửng ven biển, cửa sông, đầm phá (Lê Mạnh Hùng và ctv., 2013). Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu theo dõi tình hình phân bố và ước tính toán hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng tại tỉnh An Giang vùng ĐBSCL sử dụng ảnh viễn thám.

2. TỔNG QUAN KHU VỰC NGHIÊN CỨU

An Giang là một tỉnh ở miền Tây Nam Bộ, thuộc ĐBSCL, một phần nằm trong tứ giác Long Xuyên, có biên giới Việt Nam - Campuchia ở phía Bắc Tây Bắc, phía Tây Nam giáp tỉnh Kiên Giang, phía Nam giáp tỉnh Cần Thơ, phía Đông giáp tỉnh Đồng Tháp. Lãnh thổ của tỉnh nằm trong khoảng từ 10°12' đến 10°57' vĩ độ Bắc và từ 104°46' đến 105°35' kinh độ Đông. Về đơn vị hành chính: An Giang có 11 huyện, thị là An Phú, Tân Châu, Châu Đốc, Châu Phú, Châu Thành, Phú Tân, Chợ Mới, Long Xuyên, Thoại Sơn, Tri Tôn, Tịnh Biên (Hình 1).



Hình 1. Bản đồ hành chính tỉnh An Giang trong vùng ĐBSCL

An Giang – vùng đất đầu nguồn của ĐBSCL với 2 nhánh sông Tiền và sông Hậu chảy qua địa phận tỉnh khoảng 100 km, mang phù sa bồi đắp nên các cánh đồng màu mỡ, phì nhiêu, nước ngọt quanh năm, là điều kiện thuận lợi cho phát triển nông nghiệp. Hằng năm có khoảng 70% diện tích tự nhiên bị ngập lụt trong mùa mưa lũ. Sản lượng lúa An Giang trên 4 triệu tấn, đứng hàng đầu cả nước. Với tổng diện tích sản xuất trên 250 ngàn ha chiếm 70% diện tích tự nhiên. Cơ cấu ngành nông nghiệp chiếm 31% trong cơ cấu kinh tế của tỉnh (Niên giám thống kê tỉnh An Giang, 2018).

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Dữ liệu

Thu thập ảnh viễn thám (Sentinel 2) từ trang web <https://scihub.copernicus.eu/> vào ngày 18/10/2019 gồm 2 cảnh ảnh với độ phân giải không gian 10 m.

Thu thập số liệu sơ cấp: nghiên cứu tiến hành thu mẫu nước phân tích hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng (TSS) cùng thời điểm thu thập ảnh ngày 18/10/2019).

Thu thập bản đồ ranh giới hành chính tỉnh An Giang, ĐBSCL (Cổng thông tin điện tử tỉnh An Giang, 2019)

3.2. Tiền xử lý ảnh

– Ghép ảnh: sử dụng công cụ Mosaic to New Raster trong ArcGIS ghép nhiều cảnh ảnh bao phủ khu vực nghiên cứu tỉnh An Giang.

– Cắt ảnh: giới hạn vùng nghiên cứu chỉ là khu vực sông Hậu, sử dụng ranh giới khu vực sông Hậu để xây dựng mặt nạ cắt ảnh, thực hiện bằng chức năng Clip trên phần mềm ArcGIS.

3.3. Hiệu chỉnh khí quyển

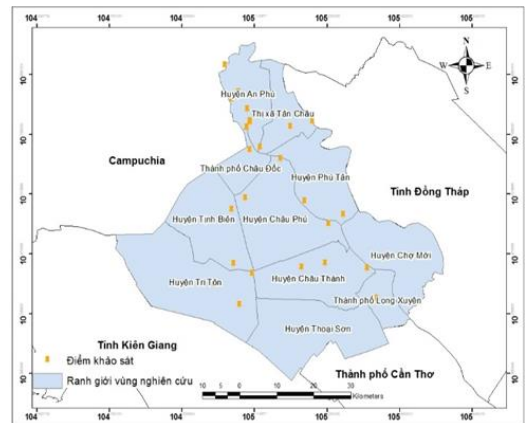
Việc hiệu chỉnh được thực hiện để giảm ảnh hưởng do điều kiện khí quyển gây nên đó là quá trình chuyển đổi giá trị số thành giá trị phản xạ (ToA). Đối với sản phẩm Sentinel 2 MSI L1C việc tính toán giá trị phản xạ (ToA) (Liu, H., 2017) được thực hiện với các thông số gồm hệ số phản xạ Rayleigh (ρ_r), hệ số khí (ρ_a) và hệ số phản xạ nước (ρ_w) dựa trên công thức (1):

$$\rho_{TOA} = \rho_r + \rho_a + t * \rho_w \quad (1)$$

Trong đó, t là sự truyền qua khí quyển khuyết tán 2 chiều (Gordon, H.R, 1994). Hiệu chỉnh khí quyển bằng công cụ Semi-Automatic Classification Plugin trên Qgis 2.18

3.4. Khảo sát thực tế

Nghiên cứu thu thập 40 mẫu nước mặt phân tích hàm lượng TSS, trong đó 30 mẫu được sử dụng xây dựng hàm hồi quy và 10 mẫu được sử dụng đánh giá độ tin cậy. Mẫu nước được thu vào ngày 18/10/2019 cùng ngày chụp ảnh Sentinel 2. Mẫu nước được thu ở tầng mặt (cách mặt nước 30 cm) và được trữ trong bình nhựa 1 lít. Vị trí thu mẫu được phân bố dọc theo nhánh sông Hậu và các cánh đồng ngập nước ngoài đê bao trên địa bàn tỉnh An Giang. Tại các điểm thu mẫu nước được xác định tọa độ bằng GPS và phân bố như trên Hình 2. Nghiên cứu thực hiện phương pháp phân tích hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng theo TCVN 6625:2000 (ISO 11923:1997) sử dụng giấy lọc thủy tinh.



Hình 2. Vị trí thu mẫu khu vực nghiên cứu

3.5. Ước tính giá trị chỉ số vật chất lơ lửng (NSMI - Normalized Suspended Material Index)

Theo Arisanty (2017), sử dụng chỉ số vật chất lơ lửng NSMI (Normalized Suspended Material Index) để ước tính hàm lượng chất lơ lửng. Chỉ số này được tính toán dựa trên phản xạ phổ tại các kênh trong dải sóng nhìn thấy, bao gồm kênh xanh lam (blue), xanh lục (green) và đỏ (red). Chỉ số NSMI được xác định theo công thức (1) như sau:

$$NSMI = \frac{\rho_{RED} + \rho_{GREEN} - \rho_{BLUE}}{\rho_{RED} + \rho_{GREEN} + \rho_{BLUE}} \quad (2)$$

Đối với ảnh Sentinel 2, để tính chỉ số NSMI sử dụng phản xạ phổ tại các kênh 2 (blue), kênh 3 (green) và kênh 4 (red).

3.6. Phân tích tương quan giữa hàm lượng TSS và NSMI

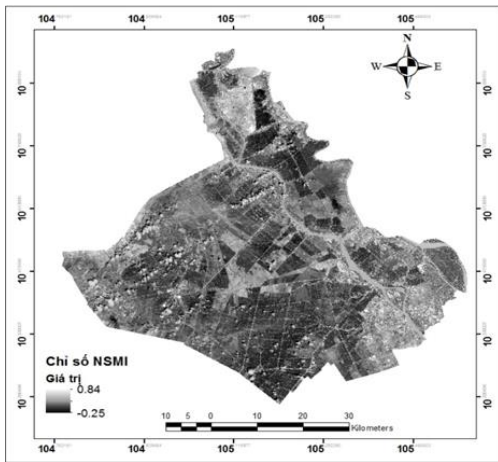
Giá trị chỉ số NSMI xác định từ ảnh vệ tinh Sentinel 2A và hàm lượng tổng chất lơ lửng tại các trạm quan trắc và các điểm lấy mẫu chất lượng nước được sử dụng để xây dựng hàm hồi quy nhằm thể

hiện mối quan hệ giữa chỉ số NSMI và hàm lượng TSS. Phương trình hồi quy được xây dựng gồm hồi quy tuyến tính (linear) và hồi quy phi tuyến tính (non-linear) gồm hàm mũ, hàm logarit và hàm đa thức và hệ số xác định R^2 .

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả tính giá trị chỉ số vật chất lơ lửng (NSMI)

NSMI được ước tính dựa trên phân xạ phổ tại các kênh trong dải sóng nhìn thấy gồm kênh xanh lam (blue), xanh lục (green) và đỏ (red) của ảnh ảnh. Kết quả giá trị NSMI dao động trong khoảng từ - 0.25 đến + 0.84. Giá trị thấp tương ứng với nước trong (chỉ số cho giá trị âm biểu thị màu tối trên ảnh). Giá trị cao hơn tương ứng với nước đục có nhiều chất rắn lơ lửng (TSS) thể hiện màu sáng trên ảnh chi (Hình 3).



Hình 3. Ảnh chỉ số vật chất lơ lửng (NSMI)

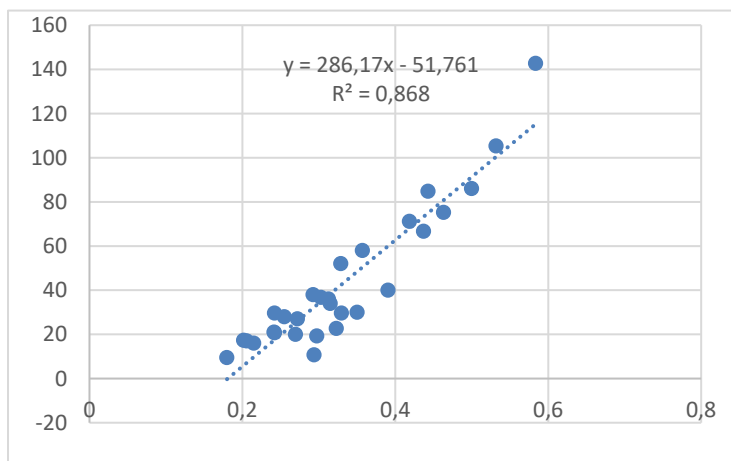
4.2. Xây dựng hàm hồi quy tương quan sử dụng các giá trị TSS và các giá trị ảnh chỉ số NSMI

Nghiên cứu xây dựng các phương trình hồi quy dựa trên các hàm tuyến tính, hàm mũ (logarit) và hàm đa thức bậc 2, với 30 cặp điểm tương ứng giữa giá trị ảnh chỉ số và giá trị TSS thực tế, từ đó tìm ra phương trình phù hợp nhằm xác định hàm lượng vật chất lơ lửng trên ảnh chỉ số NSMI. Kết quả các hàm hồi quy được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Hàm hồi quy thể hiện mối tương quan giữa chỉ số NSMI và hàm lượng TSS

Dạng hàm hồi quy	Phương trình	R^2
Tuyến tính	$Y=286.17x-51.761$	0,868
Đa thức bậc 2	$Y=637.07x^2-183.96x+27.52$	0,9245
Logarith	$Y=92.351\ln(x)+149.19$	0,7765
Hàm mũ	$Y=355.04x^{2.0353}$	0,8116

Kết quả Bảng 2 và Hình 3 cho thấy phương trình hồi quy tuyến tính được lựa chọn có hệ số xác định $R^2 = 0,868$ và phù hợp với phân bố giá trị chỉ số vật chất lơ lửng NSMI dao động từ -0,25 đến 0,84. Phương trình hồi quy tuyến tính được sử dụng để dự đoán giá trị của biến TSS (biến phụ thuộc) dựa vào các giá trị của biến NSMI (biến độc lập) cho thấy biến chỉ số NSMI phản ánh được 86,8% giá trị biến động cho biến TSS. Phương trình hồi quy tuyến tính với các thông số mô hình được trình bày trên Hình 4.

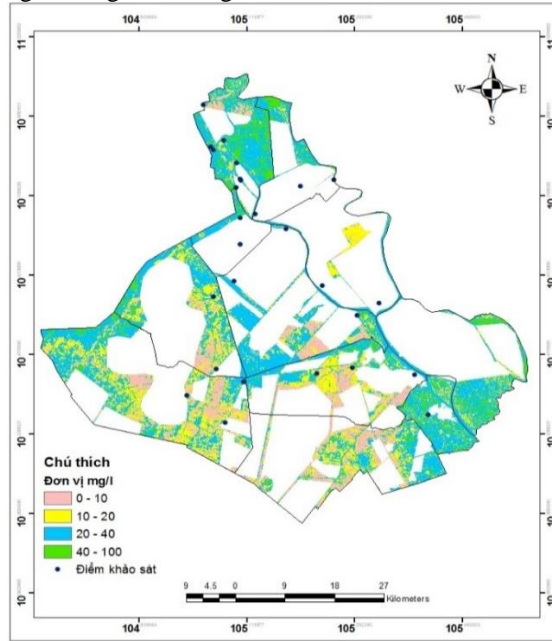


Hình 4. Kết quả xác định hàm hồi quy tuyến tính

4.3. Xác định hàm lượng TSS

Hàm lượng phân bố TSS trong nước mặt tỉnh An Giang, ĐBSCL được trình bày trong Hình 5. Giá trị hàm lượng tổng chất lơ lửng trong nước mặt khu vực tỉnh An Giang dao động trong khoảng 0-100 mg/l.

Hàm lượng tổng chất lơ lửng trong nước mặt phân bố cao ở vùng đầu nguồn và hạ nguồn sông Hậu, dọc theo tuyến sông Hậu, và TSS thấp hơn phân bố bên đất liền trong vùng ngập nước do lũ và ngoài đê bao (Hình 5).



Hình 5. Kết quả xác định hàm lượng chất lơ lửng trong nước mặt tỉnh An Giang

Hàm lượng tổng chất rắn lơ lửng được xác định ở cấp dao động từ 10-40 mg/l chiếm khoảng 74,06% tổng diện tích phân bố. Vùng phân bố ngập có hàm lượng TSS dao động từ giá trị 0-100 mg/l là huyện

Tri Tôn chiếm 22,79%; kể đến là huyện Thoại Sơn và An Phú lần lượt là 13,09% và 11,46% phân bố theo các cấp từ 0-100mg/l, các huyện còn lại có diện tích phân bố TSS dưới 10% (Bảng 3).

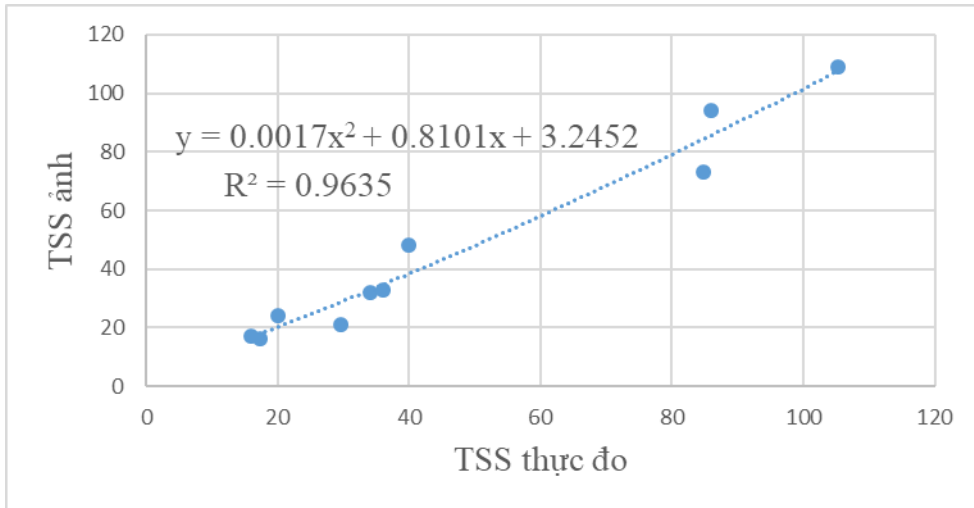
Bảng 3. Diện tích TSS phân bố trên các huyện khu vực nghiên cứu

Thành/huyện/thị	Diện tích (ha) hàm lượng chất lơ lửng TSS phân bố theo cấp độ (mg/l)				Diện tích phân bố (ha)	Tỷ lệ (%)
	0-10	10-20	20-40	40-100		
Tri Tôn	6.851,44	11.236,01	14.164,33	1.770,85	34.022,63	22.79%
Tịnh Biên	2.560,77	5.212,41	7.902,02	880,2	16.555,40	11.09%
Châu Đốc	13,45	148,42	1.718,42	250,73	2.131,02	1.43%
An Phú	1.079,64	1.625,21	10.483,26	3.918,40	17.106,51	11.46%
Tân Châu	123,44	369,59	2.552,41	1.029,95	4.075,39	2.73%
Châu Phú	2.827,95	2.348,71	9.776,13	602,95	15.555,74	10.42%
Châu Thành	3.933,71	4.581,58	5.982,85	938,61	15.436,75	10.34%
Phú Tân	259,5	1.531,3	1.781,2	117,80	3.689,62	2.47%
Thoại Sơn	5.819,06	5.453,03	7.210,12	1.059,53	19.541,74	13.09%
Long Xuyên	260,07	1.236,28	6.650,27	1.989,83	10.136,45	6.79%
Chợ Mới	211,96	1.680,83	6.936,48	2.225,02	11.054,29	7.40%
Tổng	23.940,99	35.423,37	75.157,49	14.783,69	149.305,50	100%

4.4. Đánh giá độ tin cậy

Kết quả kiểm định mô hình hồi quy ở Hình 7 cho thấy sự tương quan giữa hàm lượng TSS thực đo và TSS ảnh. Mô hình hồi quy phù hợp với hệ số tương quan (r), hệ số xác định (R²), độ sai lệch (Bias) và

căn bậc hai trung bình bình phương sai số (RMSE) lượt là 0,97; 0,96; 0,2 mg/l và 6,21 mg/l. Kết quả cho thấy kiểm định mô hình có độ tin cậy với tương quan thuận 0,97, hệ số xác định R² cao với 86,8% giá trị biến động; 2 hệ số gồm độ sai lệch và sai số trung phương thấp lần lượt là 0,2 mg/l và 6,21 mg/l.



Hình 7. Kết quả tương quan giữa hàm lượng TSS thực đo và TSS ảnh (dạng đa thức)

Kết quả kiểm định mô hình được trình bày ở Bảng 3 có sai số trung phương của mô hình là 6,21 mg/l và chênh lệch giữa giá trị hàm lượng TSS

xác định từ ảnh chỉ số NSMI và hàm lượng tại các điểm lấy mẫu chênh lệch cao nhất 11,8 mg/l thấp nhất 1,0 mg/l (Bảng 3).

Bảng 3. Hàm lượng TSS thực đo và từ ảnh vệ tinh Sentinel 2A

Tên	Điểm quan trắc mẫu	Tọa độ		Hàm lượng TSS (mg/l)		Bias (mg/l)	RMSE (mg/l)
		X	Y	Kết quả đo thực địa	Xác định từ ảnh		
CT1	Vĩnh An, CT	519252	1155868	86.0	94	-8.0	6,21
TT1	Tà Đánh, TT	512129	1152812	36.0	33	3.0	
TB1	Tân Lân, TB	507260	1155292	84.8	73	11.8	
TT2	Tân tuyến, TT	508769	1145005	34.0	32	2.0	
TT3	TT Tri Tôn, TT	501980	1150273	105.3	109	-3.7	
CT2	Vĩnh Hanh, CT	525263	1154458	29.6	21	8.6	
CT3	Cần Đăng, CT	531602	1155553	16.0	17	-1.0	
PT1	Tân Hòa, PT	536395	1167878	40.0	48	-8.0	
CP1	CP	532457	1165538	17.3	16	1.3	
CT4	CT	542712	1154235	20.0	24	-4.0	
							0,2

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác định hàm lượng tổng chất lơ lửng trong nước tỉnh An Giang thông qua giá trị ảnh chỉ số NSMI trên ảnh vệ tinh quang học Sentinel 2A với giá trị hàm lượng TSS trong nước mặt dao động trong khoảng 0-100 mg/l dựa trên phương trình hồi quy tuyến tính với hệ số xác định R² = 0,868. Sự phân bố hàm lượng tổng chất lơ lửng cao ở đầu và cuối nguồn dọc sông Hậu thuộc tỉnh An Giang.

Nghiên cứu này là tiền đề theo dõi hàm lượng phù sa trầm tích và phân tích hàm lượng chất dinh dưỡng trong phù sa hỗ trợ các nghiên cứu về canh tác nông nghiệp vùng ĐBSCL.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Dự án Nâng cấp Trường Đại học Cần Thơ VN14-P4 bằng nguồn vốn vay ODA-E3 từ chính phủ Nhật Bản đã tài trợ kinh phí thực hiện hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Aranuvachapun, S., & Walling, D. E. (1988). Landsat-MSS radiance as a measure of suspended sediment in the Lower Yellow River (Hwang Ho). *Remote Sensing of Environment*, 25(2), 145-165.
- Bộ Tài nguyên Môi trường. (2015). Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. QCVN 08-MT:2015/BTNMT
- Bộ tài nguyên môi trường (2016). Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mê Công. Báo cáo chính bởi Tập đoàn HDR, Englewood, Colorado, Hoa Kỳ và Tập đoàn DHI, Đan Mạch; 94 trang.
- Cục Thống kê tỉnh An Giang (2018). Niên giám thống kê tỉnh An Giang. NXB thống kê, 455 trang.
- Arisanty, D., & Saputra, A. N. (2017, December). Remote sensing studies of suspended sediment concentration variation in Barito Delta. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 98, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Villar, R. E., Martinez, J. M., Le Texier, M., Guyot, J. L., Fraizy, P., Meneses, P. R., & de Oliveira, E. (2013). A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. *Journal of South American Earth Sciences*, 44, 45-54.
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M., & Reddi, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16(8), 1298.
- Gordon, H. R., & Wang, M. (1994). Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. *Applied optics*, 33(3), 443-452.
- Lê Văn Năm. (2016). Đồng Bằng Sông Cửu Long - Nỗi lo còn đó. 55 năm Viện Quy Hoạch Thủy Lợi 1961 – 2016.
- Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng. (2013). Nghiên cứu giải đoán ảnh vệ tinh để lấy thông tin phù sa ở ĐBSCL. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi. 19, 7-8.
- Lê Ngọc Khả Nhi. (2018). Đánh giá mô hình hồi quy, ngày truy cập 11/10/2019. Địa chỉ <https://rpubs.com/lengockhanhi/445130>
- Liu, H., Li, Q., Shi, T., Hu, S., Wu, G., & Zhou, Q. (2017). Application of sentinel 2 MSI images to retrieve suspended particulate matter concentrations in Poyang Lake. *Remote Sensing*, 9(7), 761.
- Mangiarotti, S., Martinez, J. M., Bonnet, M. P., Buarque, D. C., Filizola, N., & Mazzega, P. (2013). Discharge and suspended sediment flux estimated along the mainstream of the Amazon and the Madeira Rivers (from in situ and MODIS Satellite Data). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 341-355.
- Mertes, L. A., Smith, M. O., & Adams, J. B. (1993). Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon River wetlands from Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, 43(3), 281-301.
- Montanher, O. C., Novo, E. M., Barbosa, C. C., Rennó, C. D., & Silva, T. S. (2014). Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 29, 67-77.
- Nguyễn Nguyên Vũ, Lê Văn Trung, Trần Thị Vân (2018). Đánh giá xâm nhập mặn vùng cửa sông từ dữ liệu viễn thám kết hợp quan trắc mặt đất. Science & Technology Development Journal: Science of the Earth & Environment, vol 2, issue 2, 2018, trang 50-58.
- Gernez, P., Lafon, V., Lerouxel, A., Curti, C., Lubac, B., Cerisier, S., & Barillé, L. (2015). Toward Sentinel-2 high resolution remote sensing of suspended particulate matter in very turbid waters: SPOT4 (Take5) Experiment in the Loire and Gironde Estuaries. *Remote sensing*, 7(8), 9507-9528.
- Pereira, L. S., Andes, L. C., Cox, A. L., & Ghulam, A. (2018). Measuring Suspended-Sediment Concentration and Turbidity in the Middle Mississippi and Lower Missouri Rivers Using Landsat Data. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 54(2), 440-450.
- Trung tâm truy cập mở Copernicus (EU), ngày truy cập 15/09/2019. Địa chỉ <https://scihub.copernicus.eu/>
- Võ Thị Phương Linh, Võ Quốc Thành và Lê Văn Hoàng (2019). Khả năng ứng dụng ảnh viễn thám landsat ước lượng nồng độ phù sa lơ lửng trên sông Tiền và sông Hậu, Đồng Bằng Sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ Tập 55. Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu (2019)(2): 134-144
- Wang J.J., Lu X.X., Liew S.C., Zhou Y. (2009). Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers using Landsat ETM+: An example from the Yangtze River, China. *Earth Surf. Process. Landf.* 2009, 34, 1082–1092.
- Wang J.J., Lu X.X. (2010). Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. *Sci. Total Environ.* 2010, 408, 1131–1138.
- Zhang M., Dong Q., Cui T., Xue C., Zhang S. (2014). Suspended sediment monitoring and assessment for Yellow River Estuary from Landsat TM and ETM+ imagery. *Remote Sens. Environ.* 2014, 146, 136–147.