



Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ

Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu

website: [sj.ctu.edu.vn](http://sj.ctu.edu.vn)



DOI:10.22144/ctu.jsi.2019.140

## KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG ẢNH VIỄN THĂM LANDSAT ƯỚC LƯỢNG NỒNG ĐỘ PHÙ SA LƠ LŨNG TRÊN SÔNG TIỀN VÀ SÔNG HẬU, ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Võ Thị Phương Linh<sup>1\*</sup>, Võ Quốc Thành<sup>1</sup> và Lê Văn Hoàng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup>Trung tâm Phân tích và Đo đạc môi trường Phương Nam

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Võ Thị Phương Linh (email: [vtplinh@ctu.edu.vn](mailto:vtplinh@ctu.edu.vn))

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 03/07/2019

Ngày nhận bài sửa: 14/10/2019

Ngày duyệt đăng: 16/10/2019

### Title:

Application of Landsat images to estimate suspended sediment concentration in the Hau and Tien rivers

### Từ khóa:

Đồng bằng sông Cửu Long, phù sa lơ lửng, viễn thám

### Keywords:

Remote sensing, suspended sediment concentration, Vietnamese Mekong Delta

### ABSTRACT

The study is aimed at estimating suspended sediment concentration (SSC) in the Vietnamese Mekong River mainstreams by analyzing Landsat images. Measured SSC data at Can Tho and My Thuan stations were collected by the Cuu Long River Hydrological Center. Landsat 8 images of the study area in the period from 2013 to 2014 were downloaded and analyzed. A multiple linear regression model was built to estimate SSC based on reflectance values of selected bands which have high correlation coefficient with SSC. As a result, it was found that the green band (band 3) and the red band (band 4) have a strong relationship with SSC ( $R^2 = 0.71$ ). In addition, the SSCs estimated by the linear regression model have a reasonably good agreement with the measured SSC ( $r = 0,84$ , Bias =  $-4 \times 10^{-5}$ ). Besides, the seasonal variation of river plumes is also reproduced. These results enable further application of remotely sensed images on monitoring SSCs.

### TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định nồng độ phù sa lơ lửng (SSC) trên hệ thống sông chính tại đồng bằng sông Cửu Long dựa trên cơ sở phân tích ảnh viễn thám. Số liệu SSC thực đo tại hai trạm Cần Thơ và Mỹ Thuận được thu thập từ Trung tâm Thủy văn Sông Cửu Long. Các ảnh Landsat 8 khu vực nghiên cứu được thu thập trong giai đoạn 2013-2014. Chuỗi số liệu thực đo và chuỗi số liệu phân xạ (của các kênh phổ) được phân tích hồi quy tuyến tính nhằm tìm ra phương trình ước lượng SSC. Kết quả nghiên cứu xác định được mô hình hồi quy tuyến tính với các biến là hệ số phản xạ từ kênh lục và kênh đỏ có khả năng ứng dụng ước lượng SSC cho khu vực nghiên cứu ( $R^2 = 0,71$ ). Kết quả kiểm chứng cho thấy giữa chuỗi số liệu SSC thực đo và SSC ước tính theo phương trình có sự tương quan chặt chẽ ( $r = 0,84$ , Bias =  $-4 \times 10^{-5}$ ). Bên cạnh đó, kết quả phân bố SSC theo không gian và thời gian phản ánh đúng đặc tính của vùng nghiên cứu. Do đó, có thể nghiên cứu diễn biến SSC trên sông theo hướng tiếp cận ảnh vệ tinh.

Trích dẫn: 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. 55(Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu)(2): 134-144.

## 1 GIỚI THIỆU

Phù sa lơ lửng đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp dinh dưỡng cho đất, có ý nghĩa trong sản xuất nông nghiệp và duy trì hệ sinh thái bền vững cho vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL). Ngoài ra, phù sa lơ lửng còn là nguồn cung cấp vật liệu chống xói lở và bồi lắng cho bờ sông, bờ biển; đồng nghĩa với việc có ảnh hưởng quan trọng đến sự phát triển hình thái, chống lại quá trình sụt lún ở đồng bằng và nước biển dâng (Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng, 2013). Tuy nhiên, cùng với việc xây dựng ngày càng nhiều của hệ thống đập thủy điện từ thượng nguồn, sông Mekong (nguồn cung cấp bùn cát cho ĐBSCL) đã và đang phải đối mặt với nguy cơ khan hiếm phù sa lơ lửng (Lu and Siew, 2005). Do vậy, nghiên cứu về quá trình vận chuyển và lắng đọng phù sa lơ lửng tại ĐBSCL là cấp thiết và quan trọng trong bối cảnh hiện nay. Tuy nhiên, do quá trình đo đạc nồng độ phù sa lơ lửng (SSC) đòi hỏi nhiều công sức và chi phí thực hiện nên nguồn dữ liệu thực đo còn rất hạn chế (dữ liệu đo đạc tại các điểm cụ thể trong các thời điểm khác nhau và không có sự lặp lại theo chu kỳ) (Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng, 2013). Theo đó, nguồn dữ liệu này chỉ có thể cung cấp thông tin trong một khoảng thời gian ngắn tại những vị trí cục bộ nhưng khó có thể sử dụng để phân tích tổng thể diễn biến trên một không gian rộng, xác định tính chất đặc trưng và biến động trong một khoảng thời gian dài (Liu *et al.*, 2013).

Viễn thám là ngành khoa học thu thập thông tin về bề mặt trái đất từ xa, được thực hiện bởi sự cảm nhận và ghi nhận năng lượng phản xạ và khuếch tán của các vật thể (Nguyễn Ngọc Thạch, 2005). Hiện nay, có nhiều nguồn cung cấp ảnh viễn thám miễn phí theo nhiều chu kỳ quan sát lặp lại với nhiều độ phân giải khác nhau, do vậy, đây được xem là nguồn khai thác dữ liệu phong phú cho nhiều lĩnh vực nghiên cứu về bề mặt đất. Tại Việt Nam, việc sử dụng ảnh viễn thám để xác định nồng độ phù sa lơ lửng (SSC) đã được tiếp cận trong thời gian gần đây. Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng (2013) đã tiến hành phân tích diễn biến phù sa ở ĐBSCL trong giai đoạn 2007–2012 dựa trên nhiều nguồn ảnh vệ tinh khác nhau (Modis, Landsat, RapidEye). Nghiên cứu sử dụng phần mềm MIP (modular inversion and processing system) được xây dựng dựa trên thuật toán cơ sở là các điều kiện vật lý về các yếu tố hấp

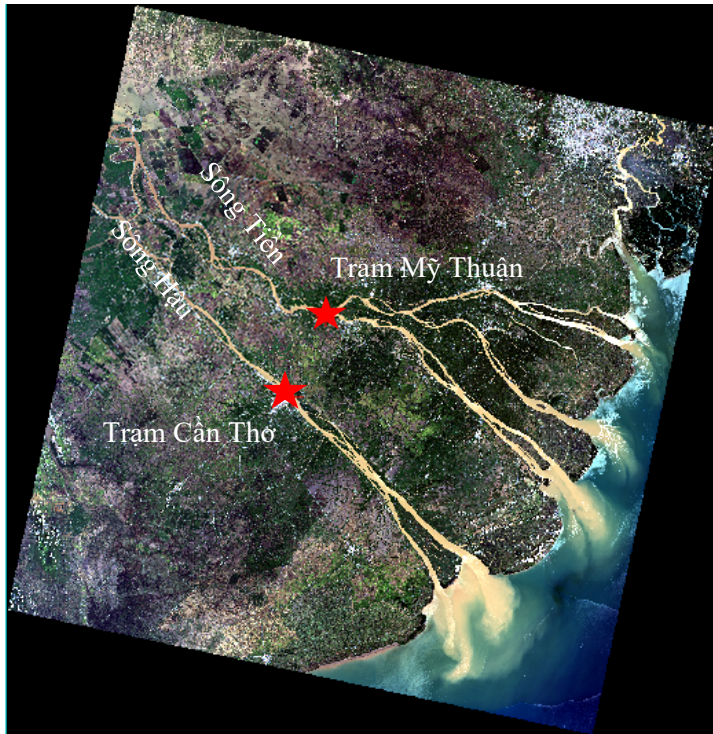
thụ của đất, nước và không khí để phân loại các tham số chất lượng nước trong ảnh. Kết quả phân tích dựa trên sự xác định các chỉ số quang học của thực vật, nước và hiệu chỉnh sự ảnh hưởng của khí quyển, tọa độ, nhiễu xạ, hấp thụ. Heege *et al.* (2014) đã sử dụng những ảnh viễn thám có bộ cảm ứng và độ phân giải khác nhau như MODIS, Landsat, MERIS, Spot, RapidEye, ASTER và Quickbird để quan trắc độ đục của nước. Kết quả nghiên cứu chứng minh tính khả thi giải đoán SSC nhưng kết quả giải đoán còn khác biệt đáng kể so với số liệu đo đạc nên phương pháp thực hiện cần được áp dụng. Do vậy, nghiên cứu được thực hiện nhằm góp phần vào việc tiếp cận kỹ thuật mới trong việc khai thác số liệu phục vụ hoạt động nghiên cứu và đánh giá SSC trên hệ thống sông chính tại ĐBSCL.

## 2 PHƯƠNG PHÁP

### 2.1 Phạm vi nghiên cứu

Vùng nghiên cứu bao gồm hai nhánh sông Tiền, sông Hậu và khu vực ven biển ĐBSCL (Hình 1). Sông Tiền và Sông Hậu là hai nhánh của Sông Mekong khi đổ vào ĐBSCL trước khi đổ ra biển Đông. Hàng năm hệ thống sông chuyển trên 500 tỷ m<sup>3</sup> nước ra biển với lưu lượng bình quân khoảng 13.500 m<sup>3</sup>/s, trong đó 3/4 lượng nước tập trung trong mùa mưa lũ kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10 hàng năm, 1/4 lượng nước đổ ra biển trong 7 tháng còn lại. Lưu lượng cực đại trên sông vào khoảng tháng 9, tháng 10 và lưu lượng đạt cực tiểu vào tháng 4 hàng năm. Nguồn nước cung cấp cho dòng chảy trong sông chủ yếu là nước từ thượng nguồn sông Mekong và mưa. Bên cạnh đó, do là bộ phận cuối cùng của lưu vực sông Mekong tiếp giáp với biển nên chế độ nước ở đây chịu ảnh hưởng lớn của thủy triều. Hàng năm, sông Mekong tải một lượng bùn cát lớn do các hoạt động xói mòn từ thượng và trung lưu. Lượng bùn cát này hòa lẫn một phần trong nước và một phần bồi lắng trong quá trình vận chuyển. Tổng khối lượng bùn cát ước tính khoảng 67 triệu tấn/năm bao gồm các chất vi lượng trong đất, các chất phù sa lơ lửng hòa với các tạp chất hữu cơ và các vật liệu di đáy như cát, sạn, sỏi,... Trung bình trong 1 lít nước sông có khoảng 0,3-0,8 gr bùn cát và đạt giá trị lớn nhất trong mùa lũ (Lê Anh Tuấn, 2009).

Thời gian nghiên cứu là năm 2014 (năm có điều kiện lũ trung bình).



**Hình 1: Khu vực nghiên cứu**

**2.2 Phương pháp thu thập số liệu**

*2.2.1 Phương pháp thu thập ảnh Landsat*

Các ảnh vệ tinh Landsat 8 khu vực ĐBSCL trong giai đoạn nghiên cứu được thu thập từ vệ tinh quan trắc trái đất của USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Ảnh vệ tinh Landsat 8 có độ phân giải không gian 30 m, chu kỳ

quét lặp lại 16 ngày. Ảnh vệ tinh Landsat được chọn trong nghiên cứu do chiều rộng của sông Tiền và sông Hậu từ 1 km đến 4 km nên độ phân giải của ảnh Landsat thể hiện được mặt cắt ngang của sông. Tổng số lượng ảnh được thu thập sử dụng cho nghiên cứu là 17 ảnh với thời gian chụp chi tiết như Bảng 1.

**Bảng 1: Ảnh Landsat sử dụng trong nghiên cứu**

STT	Mã ảnh	Ngày chụp	Thời gian chụp	Thời gian có số liệu thực đo
1	LC08_L1TP_125053_20130326_20170505_01_T1	26/03/2013	03:15:09	03:00
2	LC08_L1TP_125053_20130627_20170503_01_T1	27/06/2013	03:16:26	03:00
3	LC08_L1TP_125053_20131017_20170429_01_T1	17/10/2013	03:16:21	03:00
4	LC08_L1TP_125053_20131102_20170428_01_T1	02/11/2013	03:14:14	03:00
5	LC08_L1TP_125053_20131118_20170428_01_T1	18/11/2013	03:15:09	03:00
6	LC08_L1TP_125053_20131204_20170428_01_T1	04/12/2013	03:16:15	03:00
7	LC08_L1TP_125053_20140121_20170426_01_T1	21/01/2014	03:15:23	03:00
8	LC08_L1TP_125053_20140222_20170425_01_T1	22/02/2014	03:15:01	03:00
9	LC08_L1TP_125053_20140310_20170425_01_T1	10/03/2014	03:14:47	03:00
10	LC08_L1TP_125053_20140326_20170424_01_T1	26/03/2014	03:14:21	03:00
11	LC08_L1TP_125053_20140427_20170423_01_T1	27/04/2014	03:14:03	03:00
12	LC08_L1TP_125053_20140513_20170422_01_T1	13/05/2014	03:13:49	03:00
13	LC08_L1TP_125053_20140902_20170420_01_T1	02/09/2014	03:14:21	03:00
14	LC08_L1TP_125053_20140918_20170419_01_T1	18/09/2014	03:14:22	03:00
15	LC08_L1TP_125053_20141004_20170418_01_T1	04/10/2014	03:14:24	03:00
16	LC08_L1TP_125053_20141105_20170417_01_T1	05/11/2014	03:14:27	03:00
17	LC08_L1TP_125053_20141121_20170417_01_T1	21/11/2014	03:14:21	03:00

2.2.2 Phương pháp thu thập số liệu thứ cấp

Số liệu thực đo SSC giai đoạn 2013 – 2014 tại hai trạm Cần Thơ và Mỹ Thuận (Hình 1) được thu thập từ Trung tâm Thủy văn Sông Cửu Long (số liệu trung bình ở các độ sâu thủy lực khác nhau) nhằm phục vụ cho việc xây dựng mô hình ước tính SSC từ ảnh viễn thám. Độ phân giải thời gian của dữ liệu SSC đo đạc là hàng giờ nên sai số thời gian giữa dữ liệu đo đạc và ảnh viễn thám là dưới 20 phút (Bảng 1).

2.3 Phương pháp xử lý số liệu

2.3.1 Phương pháp tiền xử lý ảnh

Hiệu chỉnh bộ cảm: Là quá trình chuyển đổi giá trị số nguyên thành giá trị thực của bức xạ điện từ thu nhận được bởi bộ cảm. Hiệu chỉnh sai số do ảnh hưởng của bộ cảm đối với ảnh vệ tinh Landsat 8 theo CT1 (Mishra *et al.*, 2014):

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (CT1)$$

Trong đó:  $M_L$  và  $A_L$  là hệ số chuyển đổi (lấy trong tệp metadata của ảnh Landsat 8),  $Q_{cal}$  là giá trị số của ảnh (DN).

Hiệu chỉnh khí quyển: Bức xạ điện từ thu nhận được bởi bộ cảm chịu ảnh hưởng của khí quyển. Mục đích của việc hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển là làm giảm ảnh hưởng của sự hấp thụ, tán xạ gây ra bởi các thành phần có trong khí quyển đến giá trị phản xạ bề mặt. Trong nghiên cứu này, mô hình hàm truyền bức xạ MODTRA (Gao *et al.*, 2000) được ứng dụng hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển cho ảnh Landsat 8 bằng mô đun Flaash trong Envi.

Phương pháp tổ hợp màu giả được sử dụng nhằm xác định phạm vi mặt nước của các nhánh sông Tiền, sông Hậu với các khu vực mặt đất xung quanh. Sau đó, tạo mặt nạ (mask) nhằm che các khu vực đất liền không thuộc phạm vi nghiên cứu.

2.3.2 Phương pháp xác định phương trình ước lượng SSC từ ảnh viễn thám

Phân tích hồi quy tuyến tính là một phương pháp phân tích quan hệ giữa biến phụ thuộc Y với một hay nhiều biến độc lập X. Mô hình hóa sử dụng hàm tuyến tính (bậc 1). Các tham số của mô hình (hay hàm số) được ước lượng từ dữ liệu. Hồi quy tuyến tính được sử dụng rộng rãi trong thực tế do tính chất đơn giản hóa của hồi quy. Có hai dạng hồi quy tuyến tính cơ bản là hồi quy tuyến tính đơn biến và hồi quy tuyến tính đa biến.

Phương trình hồi quy tuyến tính đơn biến (dạng tổng quát) như sau (CT2):

$$Y_t = \alpha + \beta X_t \quad (CT2)$$

Trong đó:  $X_t$  và  $Y_t$  là giá trị quan sát thứ t (t từ 1 đến n) của biến độc lập và biến phụ thuộc;  $\alpha$  và  $\beta$  là hệ số hồi quy. Phương trình hồi quy tuyến tính đơn được sử dụng để chỉ ra rằng chỉ có duy nhất một biến giải thích (X) được sử dụng trong mô hình. Ngược lại, phương trình hồi quy tuyến tính đa biến được sử dụng khi có nhiều hơn một biến giải thích (có thể có  $X_1, X_2, X_3 \dots$  tham gia trong mô hình).

Theo Nguyễn Khắc Thời và *ctv.* (2011) và Christopher *et al.* (2014), SSC và sự phân xạ của các kênh phổ (đặc biệt trong dải sóng nhìn thấy) có mối tương quan với nhau. Do đó, trong phạm vi nghiên cứu này, phương trình hồi quy tuyến tính (đơn biến và đa biến) được ứng dụng nhằm xây dựng mô hình ước lượng SSC. Nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở tiếp cận theo hướng giả thuyết giá trị phản xạ tương ứng với từng kênh phổ có thể được xem là biến (X) trong phương trình dùng để ước lượng SSC trên sông (Y). Theo đó, giá trị quang phổ (tương ứng với từng kênh phổ - Band) tại vị trí (pixel) có số liệu thực đo (Cần Thơ và Mỹ Thuận) được trích lọc. Sau đó, tiến hành phân tích hồi quy tuyến tính đơn biến giữa chuỗi số liệu SSC thực đo với lần lượt từng chuỗi số liệu phản xạ (ứng với một kênh phổ) và phân tích hồi quy tuyến tính đa biến giữa chuỗi số liệu thực đo với kết hợp các chuỗi số liệu phản xạ của nhiều kênh phổ khác nhau. Theo đó, với mỗi kết quả phân tích cho ra hệ số xác định  $R^2$  trong ứng nên phương trình có hệ số xác định  $R^2$  cao nhất được xem xét ứng dụng tính toán SSC cho toàn vùng nghiên cứu (dựa trên công cụ raster calculation).

Quá trình trích lọc các giá trị phản xạ tại từng pixel ứng với vị trí hai trạm thực đo trạm Cần Thơ và trạm Mỹ Thuận được thực hiện trên nền phần mềm Envi bằng cách tạo shapfile vị trí hai trạm cần trích lọc giá trị và đưa vào phần mềm để lấy giá trị phản xạ tại pixel ở tọa độ hai trạm quan trắc.

2.3.3 Đánh giá độ chính xác của phương pháp

Độ chính xác (accuracy) là thuật ngữ chung chỉ mức độ phù hợp giữa dự báo và thực tế (xác định bởi quan trắc). Sai khác giữa giá trị quan trắc và giá trị dự báo được gọi là sai số. Sự sai khác này càng nhỏ thì sai số càng nhỏ và độ chính xác sẽ càng cao. Theo Trần Nguyễn Minh Thư và Phạm Xuân Hiền (2016), việc đánh giá tính chính xác của các dự đoán có thể sử dụng một số thông số như sai số bình phương trung bình bình quân (RMSE - root mean square error), sai số tuyệt đối trung bình (MAE - mean absolute error). Tính chính xác của các dự đoán được đo trên n quan sát, trong đó  $p_i$  là giá trị dự đoán đánh giá của mục i và  $r_i$  là giá trị đánh giá thực tế của mục i. Do đó, nghiên cứu tính toán các thông số này dựa trên chuỗi số liệu SSC thực đo và SSC mô phỏng theo phương trình hồi quy tuyến tính



(được tìm ra như phần trên) nhằm đánh giá độ xác của phương pháp ước lượng SSC từ ảnh viễn thám.

a. Sai số tuyệt đối trung bình MAE

MAE biểu thị mức độ trung bình của sai số mô hình nhưng không nói lên xu hướng lệch của giá trị dự báo và quan trắc. Khi MAE = 0, giá trị mô hình hoàn toàn trùng khớp với giá trị quan trắc. MAE được tính theo CT3 (Sutherland *et al.*, 2004):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - r_i) \quad (CT3)$$

b. Sai số bình phương trung bình bình quân RMSE

Sai số bình phương trung bình là một trong những đại lượng cơ bản và thường được sử dụng phổ biến cho việc đánh giá kết quả của mô hình dự báo số trị. RMSE biểu thị độ lớn trung bình của sai số. Đặc biệt, RMSE rất nhạy với những giá trị sai số lớn. Do đó, nếu RMSE càng gần MAE, sai số mô hình càng ổn định và có thể thực hiện việc hiệu chỉnh sản phẩm mô hình. RMSE được tính theo CT4 (Sutherland *et al.*, 2004):

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (p_i - r_i)^2} \quad (CT4)$$

c. Độ lệch (bias)

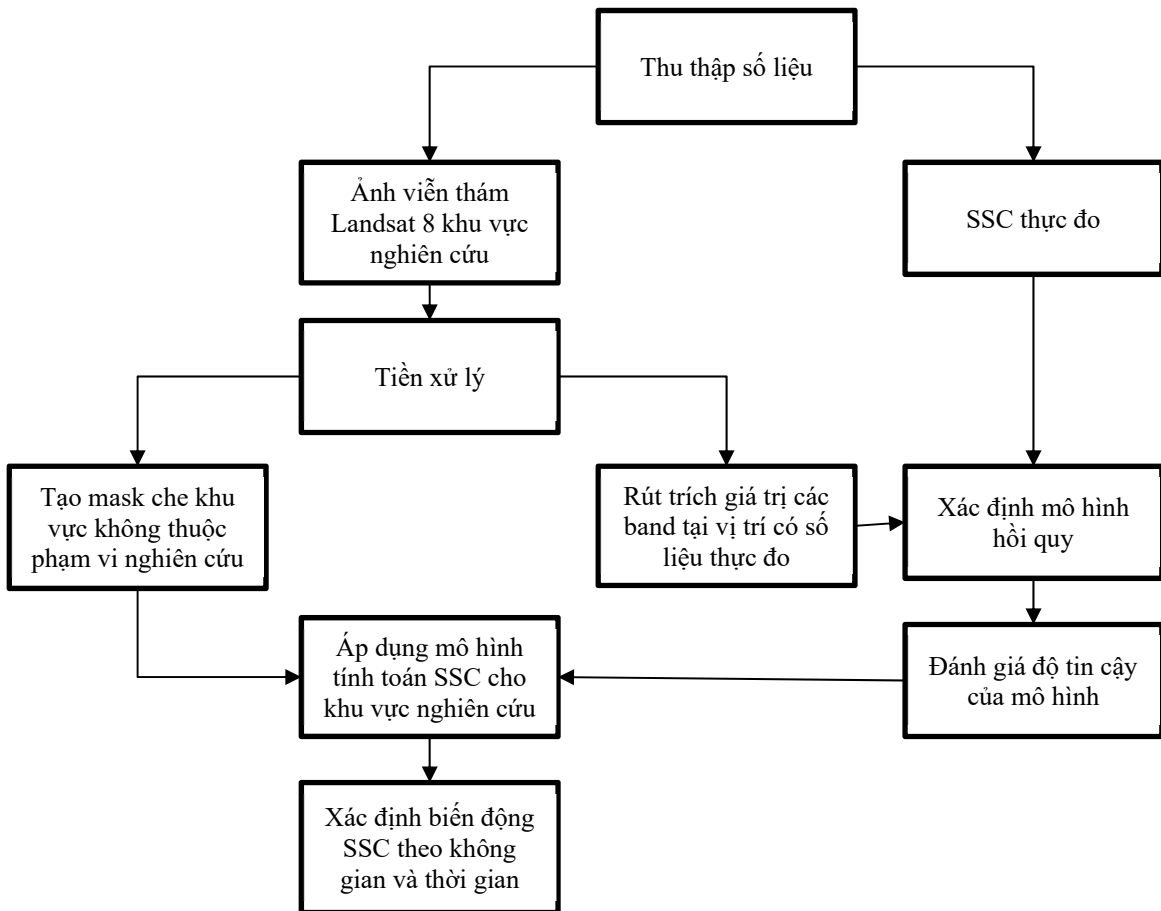
Bên cạnh các thông số đánh giá độ chính xác, độ lệch (bias) là mức độ phù hợp giữa trung bình quan trắc và trung bình dự báo cũng được sử dụng nhằm đánh giá độ tin cậy (reliability). Hệ số bias được tính theo CT5 (Sutherland *et al.*, 2004):

$$Bias = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^j (y_j - x_j) = \langle Y \rangle - \langle X \rangle \quad (CT5)$$

$$Bias = YM - XM$$

Trong đó : Y là một tập hợp các dự báo hoặc dự đoán  $y_1, y_2, y_3 \dots y_j$ . X là tập hợp các quan sát  $x_1, x_2, x_3, \dots x_j$  với phân tử thứ n của mỗi bộ số liệu. YM và XM là giá trị trung bình trong Y và X.

Tóm tắt quá trình nghiên cứu được thể hiện như Hình 2.



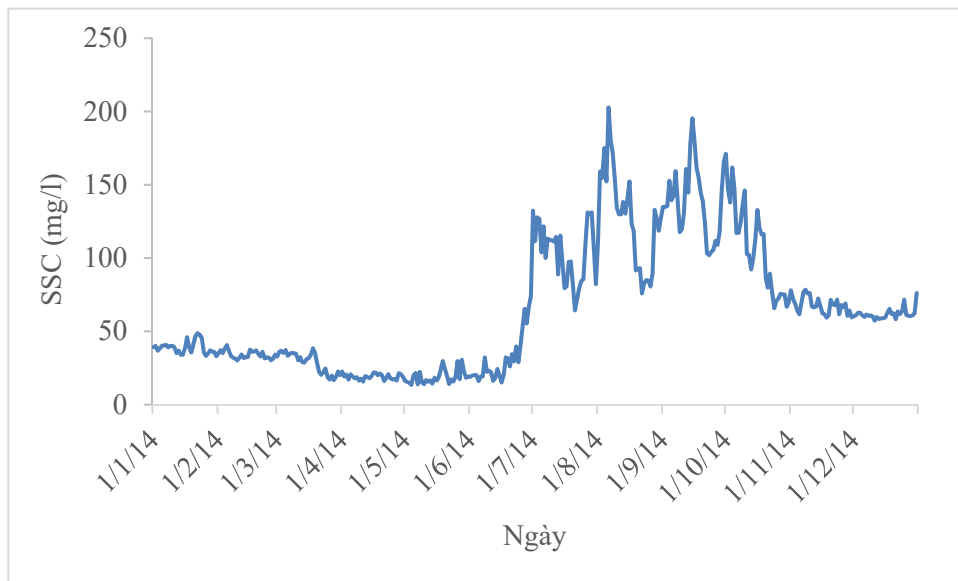
Hình 2: Sơ đồ quy trình thực hiện nghiên cứu

### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Kết quả thu thập số liệu SSC thực đo

Diễn biến SSC trung bình ngày năm 2014 tại trạm Mỹ Thuận (Hình 3) cho thấy SSC cao (>80 mg/L) trong giai đoạn tháng 7 – 10 (giai đoạn mùa lũ); trong đó, SSC đạt đỉnh cao nhất (khoảng 200

mg/L) vào khoảng tháng 9 - 10 tương ứng với đỉnh lũ tại ĐBSCL. Từ tháng 11, SSC bắt đầu giảm và thấp nhất (< 20 mg/L) vào giai đoạn tháng 4 – 5 (mùa kiệt). Trong giai đoạn từ tháng 7 – 10 (giai đoạn mùa lũ), SSC có sự biến động nhiều (chênh lệch giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất vào khoảng 120 mg/l); trong khi đó, SSC giai đoạn mùa kiệt (tháng 1 – 6) ổn định và ít biến động hơn.



Hình 3: SSC trung bình ngày tại trạm Mỹ Thuận năm 2014

#### 3.2 Phương trình ước lượng SSC

Phân tích hồi quy tuyến tính giữa giá trị phản xạ của các kênh phổ với chuỗi số liệu SSC thực đo cho thấy kênh đỏ (bước sóng từ 0,63 – 0,68 μm) có tương quan chặt chẽ nhất ( $R^2 = 0,32$ ), các kênh phổ còn lại tương quan kém ( $R^2 < 0,2$ ) (Bảng 2). Kết quả phù hợp với các nghiên cứu về viễn thám xác định rằng giữa độ đục của nước và khả năng phản xạ phổ

của các dải sóng từ 0,6 ÷ 0,7 μm có mối liên hệ tuyến tính (Nguyễn Khắc Thời và *ctv.*, 2011). Mặc dù có quan hệ chặt chẽ nhất so với các kênh phổ còn lại nhưng hệ số phản xạ từ kênh đỏ chỉ giải thích được 32% giá trị SSC thực đo ( $R^2 = 0,32$ ). Do vậy, phương trình hồi quy đơn biến với từng kênh phổ riêng lẻ chưa đủ cơ sở ước lượng SSC cho vùng nghiên cứu.

Bảng 2: Phương trình hồi quy đơn biến giữa giá trị phản xạ của các kênh phổ và SSC thực đo

Kênh phổ (band)	Bước sóng (μm)	Phương trình	R <sup>2</sup>
B1	0,433 – 0,453	$y = 0,0001*B1 + 0,073$	0,002
B2	0,450 – 0,515	$y = -401,58*B2 + 80,544$	0,032
B3	0,525 – 0,600	$y = 350,43*B3 + 15,447$	0,052
B4	0,630 – 0,680	$y = 538,46*B4 - 9,0523$	0,320
B5	0,845 – 0,885	$y = -22,995*B5 + 53,464$	0,000
B6	1,560 – 1,660	$y = -1311,7*B6 + 70,135$	0,171
B7	2,100 – 2,300	$y = -1553,7*B7 + 69,464$	0,165

Phân tích hồi quy tuyến tính đa biến cho thấy tổ hợp kênh 3 (kênh lục) và kênh 4 (kênh đỏ) có hệ số xác định cao nhất với  $R^2 = 0,71$  (Bảng 3). Nhìn chung, nhiều nghiên cứu đã chứng minh cả về mặt lí thuyết và thực nghiệm rằng các dải quang học có tương quan cao với SSC, đặc biệt trong dải sóng đỏ (phạm vi bước sóng từ 0,6 – 0,7 μm) và cận hồng ngoại (bước sóng từ 0,7 – 1,0 μm) (Hoyler, 1978;

Kirk, 1994). Tuy nhiên, mối tương quan giữa SSC và hệ số phản xạ có thể thay đổi tùy thuộc nồng độ SSC; chẳng hạn, SSC từ 0 – 50 mg/L thường có mối quan hệ tuyến tính với hệ số phản xạ trong các dải quang học (xanh dương, xanh lục và đỏ) (Munday and Alfoldi, 1979; Ritchie *et al.*, 2003) trong khi dải cận hồng ngoại (NIR) thường tương quan cao với SSC ở nồng độ cao hơn (> 50 mg/L). Trong phạm

vi nghiên cứu, chuỗi số liệu SSC thực đo được sử dụng để xác định mô hình hồi quy tương ứng với các thời điểm thu thập được ảnh Landsat không có mây che phủ tại trạm quan trắc. Do đó, chuỗi số liệu phân bố ngẫu nhiên trong năm bao gồm cả trong giai đoạn mùa kiệt và mùa lũ (giá trị SSC dao động từ 15,9 – 157,2 mg/L, trong đó 63% số liệu trong chuỗi quan sát có giá trị dưới 50 mg/L (bách phân vị 63th =

49,9)). Bên cạnh đó, mối tương quan giữa SSC và hệ số phản xạ còn có thể bị ảnh hưởng vào sự hiện diện của các vật liệu quang học khác như tảo hoặc các chất hữu cơ hòa tan (Han, 1997). Do vậy, kết quả này phù hợp với các nghiên cứu có liên quan và phương trình hồi quy tuyến tính với các biến là hệ số phản xạ của kênh lục và kênh đỏ có khả năng ứng dụng ước lượng SSC cho khu vực nghiên cứu.

**Bảng 3: Phương trình hồi quy đa biến giữa giá trị phản xạ của các kênh phổ và SSC thực đo**

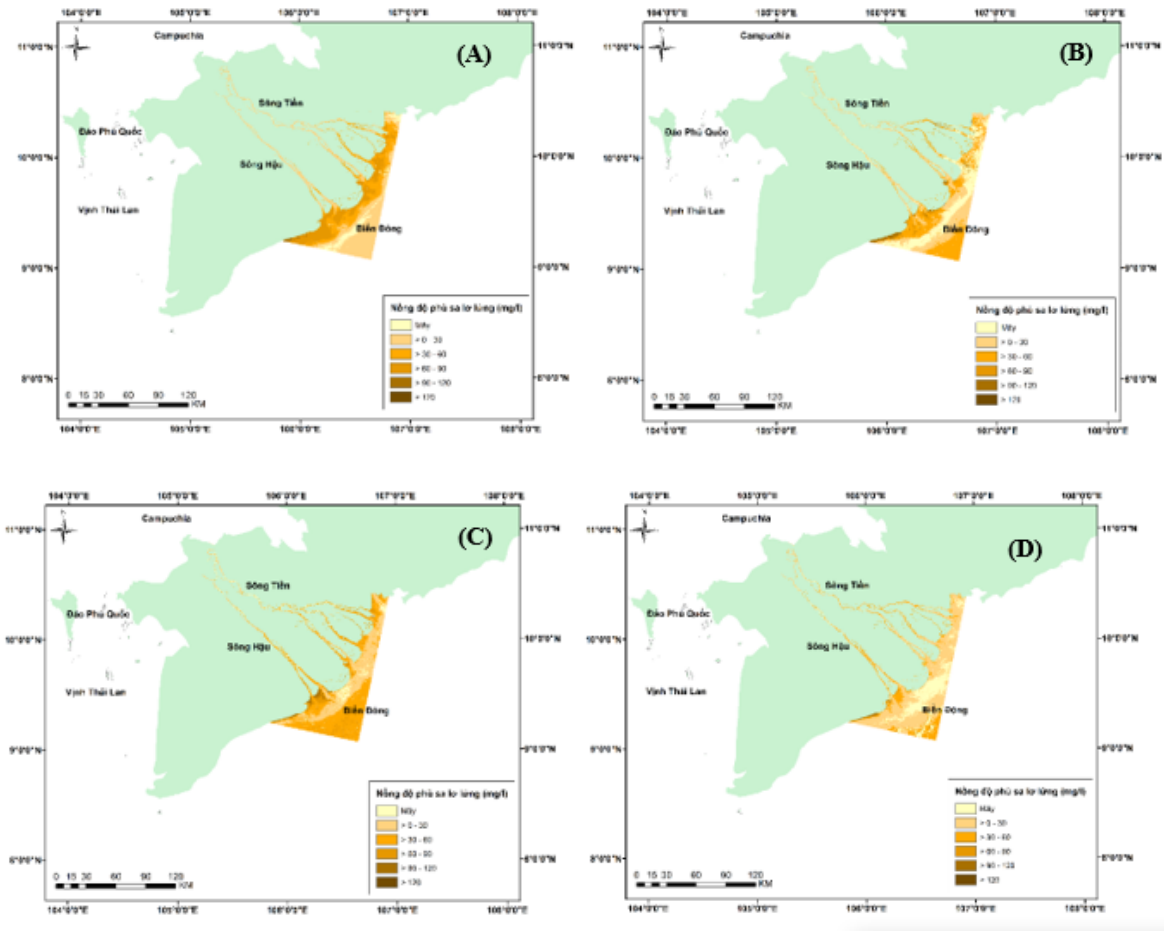
Tổ hợp kênh phổ	Phương trình	R <sup>2</sup>
B1, B2	79,687 – 2985,8*B1 + 2806,641*B2	0,20
B1, B3	49,741 – 1316,83*B1 + 947,911*B3	0,33
B1, B4	48,791 – 989,634*B1 + 674,911*B4	0,54
B1, B5	122,122 – 1499,323*B1 + 1234,713*B5	0,21
B1, B6	83,012 – 202,897*B1 – 1147,036*B6	0,18
B1, B7	88,433 – 288,348*B1 – 1327,531*B7	0,18
B2, B3	42,054 – 2019,174*B2 + 1418,313*B3	0,37
B2, B4	52,098 – 1337,766*B2 + 814,6*B4	0,59
B2, B5	96,064 – 957,537*B2 + 679,276*B5	0,07
B2, B6	60,95 + 155,56*B2 – 1432,428*B6	0,17
B2, B7	67,494 + 32,42*B2 – 1579,54*B7	0,17
<b>B3, B4</b>	<b>82,623 – 2167,808*B3 + 1748,035*B4</b>	<b>0,71</b>
B3, B5	11,515 + 526,119*B3 – 434,291*B5	0,08
B3, B6	-1,342 + 756,214*B3 – 1979,063*B6	0,37
B3, B7	-1,103 + 743,586*B3 – 2335,885*B7	0,36
B4, B5	-1,365 + 679,532*B4 – 703,166*B5	0,41
B4, B6	2,243 + 641,118*B4 – 1733,566*B6	0,61
B4, B7	1,075 + 647,786*B4 – 2098,3*B7	0,61
B5, B6	49,588 + 986,371*B5 – 2283,022*B6	0,29
B5, B7	53,808 + 681,474*B5 – 1733,566*B7	0,23
B6, B7	70,134 – 1286,467*B6 – 30,902*B7	0,17

**3.3 Phân bố SSC theo không gian và thời gian**

Kết quả ước lượng SSC cho khu vực nghiên cứu sông Tiền, sông Hậu và vùng ven biển được thể hiện trong Hình 4 và Hình 5. Theo đó, SSC cao nhất vào tháng 9 và thấp nhất vào giai đoạn tháng 4, 5. Kết quả này phù hợp với kết quả phân tích diễn biến SSC thực đo trong giai đoạn nghiên cứu. Bên cạnh đó, các bản đồ phân bố không gian SSC từ ảnh viễn thám cung cấp cái nhìn đồng thời, toàn cảnh về SSC trên toàn khu vực nghiên cứu. Kết quả giải đoán ảnh viễn thám phù hợp với nghiên cứu của Vo *et al.* (2017) cho thấy phù sa từ sông Mekong (giai đoạn 2013-2015) đổ ra vùng ven biển có hình dạng theo hướng Đông Bắc trong tháng các tháng mùa lũ (tháng 7-9), thay đổi không định hướng trong tháng

giao mùa (tháng 10) và chuyển dần về hướng Tây Nam trong các tháng mùa khô.

Trong các tháng mùa kiệt (Hình 4) kết quả giải đoán cho thấy SSC trên sông tương đối thấp tuy nhiên khu vực ven bờ lại có SSC tương đối cao. Theo Vo *et al.* (2017), điều này có thể do đây là giai đoạn mùa kiệt, nước trên sông Mekong đổ về ít nên SSC trên sông Tiền và sông Hậu thấp; riêng khu vực ven bờ biển SSC cao có thể nhờ vào lớp trầm tích đáy hình thành trong mùa lũ được dòng chảy ven bờ và sóng biển khuấy động phục hồi lại. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng (2013), trong các tháng mùa khô, SSC trên sông và vùng ven biển chịu ảnh hưởng bởi động lực biển Đông lớn hơn so với phía thượng nguồn.

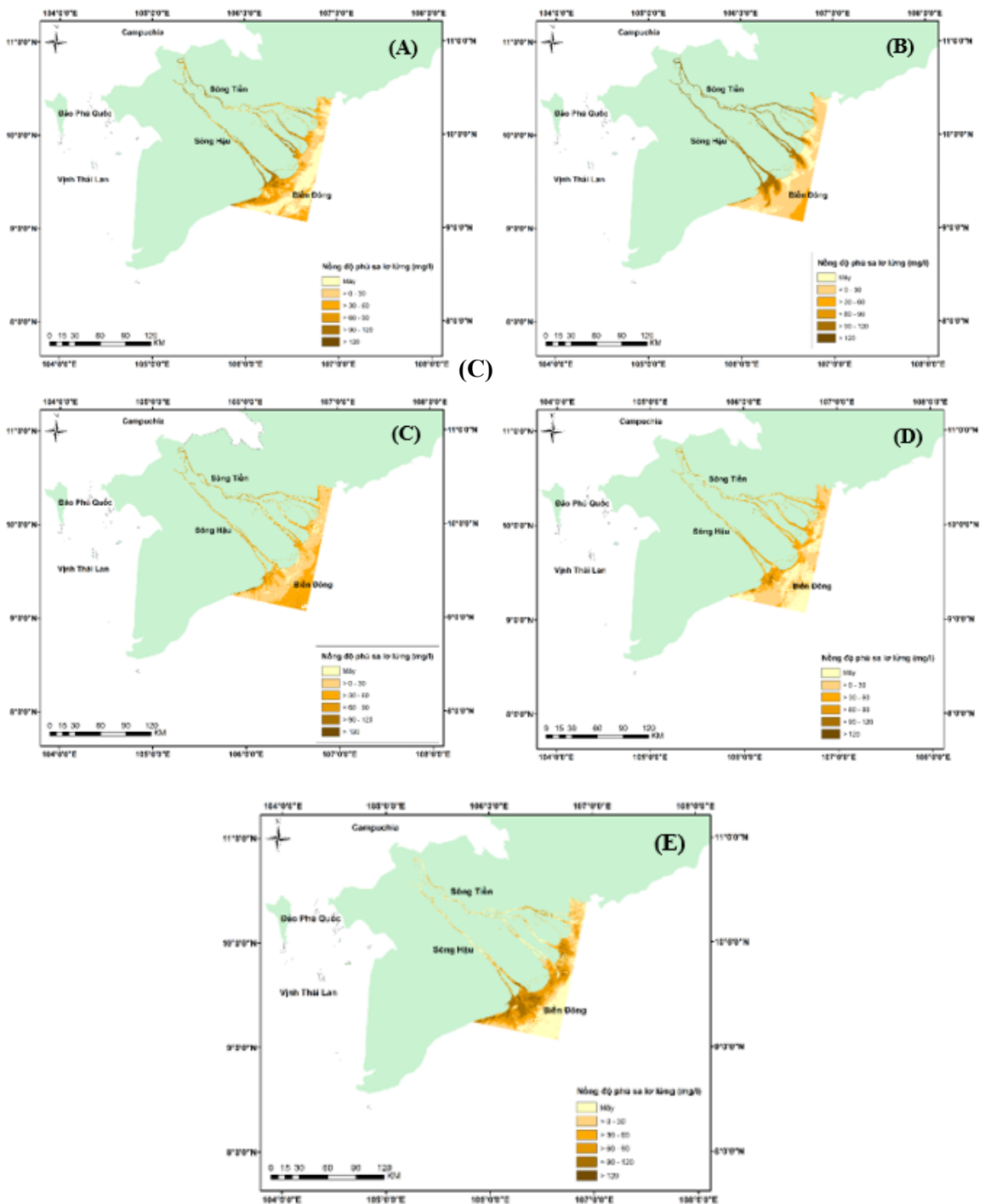


**Hình 4: Phân bố SSC tháng 2 (A), tháng 3 (B), tháng 4 (C) và tháng 5 (D) năm 2014**

Trong các tháng mùa lũ (Hình 5), SSC trên sông và khu vực ven bờ biển đều cao, điều này có thể được giải thích là do đây là giai đoạn mùa lũ, lưu lượng nước trên sông Mekong đổ về lớn nên SSC tại vùng nghiên cứu cao (Vo *et al.*, 2017). Bên cạnh đó, kết quả phân bố SSC theo không gian trong giai đoạn này ở các ảnh SSC tháng 7, 11 và 12 cho thấy SSC cao chủ yếu chỉ tập trung trên sông và ven bờ trong khi các ảnh tháng 9, 10 cho thấy tại những khu vực xa bờ (cách bờ khoảng 20 km) vẫn phát hiện SSC cao. Điều này có thể cho thấy việc vận chuyển SSC từ sông ra biển có khả năng chịu tác động từ cả động lực từ phía thượng nguồn (nước trên sông Mekong đổ về nhiều kết hợp với chế độ mưa địa phương) và động lực biển Đông (độ cao sóng biển

vào khoảng 1 m trong giai đoạn này). Do vậy, SSC từ sông ra biển có thể sẽ thay đổi theo chế độ triều, cụ thể khi thủy triều thấp, những khu vực cách khá xa bờ biển vẫn phát hiện SSC cao trong khi vào lúc thủy triều cao SSC cơ bản tập trung khu vực cửa sông và ven bờ (Vo *et al.*, 2017). Tuy nhiên, do nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat 8 có chu kỳ lặp lại là 16 ngày với cùng một thời điểm chụp trong ngày nên chưa phản ánh rõ được sự thay đổi SSC theo chế độ triều. Ngoài ra, SSC trên sông trong tháng 10 cao hơn trong tháng 12 nhưng ngược lại SSC khu vực ven biển tháng 10 thấp hơn tháng 12. Theo Vo *et al.* (2017), điều này có thể được giải thích do yếu tố sóng biển tháng 12 mạnh hơn tháng 10. Sóng là một trong những yếu tố làm khuấy động khu vực ven biển làm cho SSC cao hơn.





Hình 5: Phân bố SSC tháng 7 (A), tháng 9 (B), tháng 10 (C), tháng 11 (D) và tháng 12 (E) năm 2014

### 3.4 Đánh giá độ chính xác của kết quả giải đoán

Kết quả đánh giá độ chính xác giữa số liệu ước tính (dựa vào ảnh viễn thám) với số liệu thực đo được thể hiện như Bảng 4. Theo đó, hiệu số giữa trung bình chuỗi số liệu thực đo và chuỗi số liệu ước tính từ phương trình (Bias) có giá trị là -0,0000389

cho thấy SSC ước tính cho giá trị cao hơn so với SSC thực đo; tuy nhiên, trung bình hai chuỗi số liệu không có sự chênh lệch đáng kể. Sai số tuyệt đối trung bình MAE và sai số bình quân trung bình RMSE có giá trị lần lượt là 14,4 và 18,675. Theo Trần Nguyễn Minh Thư và Phạm Xuân Hiền (2016), các giá trị đo lường này bằng 0 khi mô hình đạt được

hiệu quả tốt nhất, giá trị này càng cao, hiệu quả của mô hình càng thấp. Tuy nhiên, trong trường hợp này, số liệu SSC được tính theo đơn vị mg/l nên kết quả này là khá tốt so với các nghiên cứu khác có cùng phương pháp thực hiện. Chẳng hạn, nghiên cứu của Christopher *et al.* (2017) cho giá trị RMSE là 0,86 với số liệu SSC được tính theo đơn vị g/l. Bên cạnh đó, giá trị MAE và RMSE khá gần cho thấy sai số mô hình ổn định (Trần Nguyễn Minh Thư và Phạm Xuân Hiền, 2016). Ngoài ra, hệ số tương quan  $r$  có giá trị bằng 0,844 cho thấy số liệu thực đo và số liệu ước tính có mối tương quan thuận ( $r$  dương) và khá chặt ( $r$  gần về 1). Do vậy, nhìn chung, kết quả ước lượng SSC từ phương trình nghiên cứu tìm được là khá tốt, có thể chấp nhận được vì thực tế việc xác định SSC rất khó khăn do phù sa của vùng nghiên cứu có hạt mịn, có kết tủa và bị tác động bởi nguồn nước mặn (từ biển) (Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng, 2013).

**Bảng 4: Các thông số đánh giá độ chính xác giữa số liệu ước tính và thực đo**

Bias ( $Y_{\text{thực đo}} - Y_{\text{mô phỏng}}$ )	MAE	RMSE	$r$
-0,0000389	14,400	18,675	0,844

Bên cạnh đó, theo Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng (2013), vùng ĐBSCL thường có nhiều mây, trong khi đó mây là một trong những tác nhân gây cản trở lớn đến việc giải đoán ảnh vệ tinh do ngoài việc che phủ lên các đối tượng quan sát, mây cũng tạo nên những bóng râm (dưới tác động của ánh sáng mặt trời) trên bề mặt gây ảnh hưởng đến chất lượng giải đoán (khó đánh giá phân bố SSC theo không gian). Ngoài ra, theo Nguyễn Khắc Thờ và *ctv.* (2011), cường độ ánh sáng sẽ giảm dần theo cấp số nhân với độ sâu tầng dần khi xâm nhập vào nước. Quá trình này được gọi là sự suy giảm và có ảnh hưởng lớn đến dữ liệu viễn thám trong môi trường nước. Ánh sáng bị yếu dần đi đến một độ sâu nào đó sẽ không có phản xạ lại và bị hấp thụ hoàn toàn trong nước. Mức độ suy giảm là khác nhau với các bước sóng của bức xạ điện từ. Trong vùng ánh sáng nhìn thấy, bước sóng màu đỏ của quang phổ suy giảm nhanh hơn so với màu xanh có bước sóng ngắn hơn. Do đó, đây là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến tính chính xác cũng như khó khăn cho việc giải đoán ảnh để ước lượng SSC cho vùng nghiên cứu (do phù sa lơ lửng là toàn bộ lượng phù sa lơ lửng trong cột nước, trong khi đó giới hạn của viễn thám, đặc biệt trong các dải phổ nhìn thấy, là ở độ sâu càng cao mức độ phản xạ càng kém).

## 4 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 4.1 Kết luận

Nghiên cứu xác định được mô hình hồi quy tuyến tính với các biến là hệ số phản xạ từ kênh lục

và kênh đỏ có khả năng ứng dụng ước lượng SSC cho khu vực nghiên cứu ( $R^2 = 0,71$ ). Kết quả kiểm chứng cho thấy giữa chuỗi số liệu SSC thực đo và SSC ước tính theo phương trình có sự tương quan chặt chẽ ( $r = 0,844$ , Bias = -0,0000389), sai số bình quân trung bình RMSE là thấp hơn so với một số nghiên cứu cùng hướng tiếp cận đã được công bố. Bên cạnh đó, kết quả ước lượng SSC cho toàn vùng nghiên cứu phản ánh đúng xu hướng biến động SSC theo thời gian trong năm so với số liệu thực đo cũng như phù hợp với ảnh hưởng của các yếu tố thủy động lực sông, biển tại vùng nghiên cứu. Do đó, có thể nghiên cứu diễn biến SSC trên sông theo hướng tiếp cận ảnh vệ tinh.

### 4.2 Kiến nghị

Do số liệu thực đo tại các vị trí khác nhau bị giới hạn nên đề xuất nghiên cứu tiếp theo ứng dụng phương pháp và thu thập thêm số liệu thực đo ở nhiều vị trí khác nhau để củng cố thêm độ chính xác. Bên cạnh đó, sử dụng kết hợp các loại ảnh vệ tinh với nhiều cấp độ phân giải về không gian và thời gian khác nhau (chẳng hạn như ảnh Modis, Sentinel,...) để bổ sung hỗ trợ đánh giá phân bố SSC tốt hơn cũng như hạn chế ảnh hưởng của mây đối với kết quả nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Christopher, W., Hayden, A., and Jonik, J., 2014. Deriving Spatial and Temporal Context for Point Measurements of Suspended Sediment Concentration Using Remote Sensing Imagery in the Mekong Delta. *Continental Shelf Research*. 47: 231-245.
- Gao, B. C, Montes, M. J, Ahmad, Z, and Davis, C. O., 2000. Atmospheric correction algorithm for hyperspectral remote sensing of ocean color from space. *Applied Optics*. 39(6): 887-896.
- Han, L., 1997. Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algae-laden waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 63(6): 701-705.
- Heege, T., Kiselev, V., Wettle, M., and Hung, N. N., 2014. Operational Multi-Sensor Monitoring of Turbidity for the Entire Mekong Delta. *International Journal of Remote Sensing*. 35(8): 2910-2926.
- Hoyler, R. J., 1978. Toward universal multispectral suspended sediment algorithms. *Remote sensing of environment*. 7(4), 323-338.
- Kirk, J. T. O., 1994. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*, third edition. Cambridge University Press. Cambridge, 401 pages.
- Lê Anh Tuấn, 2009. *Giáo trình thủy văn môi trường*. Trường Đại học Cần Thơ. Cần Thơ, 84 trang.
- Lê Mạnh Hùng và Nguyễn Nghĩa Hùng, 2013. *Nghiên Cứu Giải Đoán Ảnh vệ Tinh Để Lấy*

- Thông Tin Phù Sa Ở Vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học Thủy lợi. 19: 7–12.
- Liu, C., He, Y., Walling, E., Wang, J., 2013. Changes in the Sediment Load of the Lancang-Mekong River over the Period 1965–2003. Science China Technological Sciences. 56: 843–852.
- Lu, X. X., Siew, R. Y., 2005. Water discharge and sediment flux changes in the Lower Mekong River. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union. 2(6): 2287–2325.
- Mishra, N., Haque, M. D., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D., and Markham, B., 2014. Radiometric Cross Calibration of Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Remote Sensing. 6(12): 12619-12638.
- Munday, J. C., Alfoldi, T. T., 1979. Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement. Remote Sensing of Environment. 8(2): 169–183.
- Nguyễn Khắc Thời, Phạm Vọng Thành, Trần Quốc Vinh và Nguyễn Thị Thu Hiền, 2011. Giáo trình Viễn Thám. Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội. Hà Nội, 121 trang.
- Nguyễn Ngọc Thạch, 2005. Cơ Sở Viễn Thám. NXB Nông Nghiệp. Hà Nội, 207 trang.
- Ritchie, J. C., Zimba, P. V., Everitt, J. H., 2003. Remote sensing techniques to assess water quality. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 69 (6): 695–704.
- Sutherland, J., Peet, A. H., Soulsby, R. L., 2004. Evaluating the performance of morphological models. Coastal Engineering. 51(issues 8-9): 917 – 939.
- Trần Nguyễn Minh Thư và Phạm Xuân Hiền, 2016. Các phương pháp đánh giá hệ thống gợi ý. Tạp chí khoa học Đại học Cần Thơ. 42(a): 18-27.
- Vo, Q. T., Johan, R., Wackerman, C., Eidam, E. F., and Roelvink, D., 2017. Modelling Suspended Sediment Dynamics on the Subaqueous Delta of the Mekong River. Continental Shelf Research. 147: 213–30.