

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

BÁO CÁO HỌC THUẬT

KỲ II, NĂM HỌC 2022-2023

**NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ BẰNG CÔNG
NGHỆ ĐIỆN TOÁN ĐÁM MÂY**

Người báo cáo: TS Phạm Thị Làn

Đơn vị: Bộ môn Trắc địa mỏ

Khoa: Trắc địa – Bản đồ và Quản lý đất đai

HÀ NỘI - 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

BÁO CÁO HỌC THUẬT

KỲ II, NĂM HỌC 2022-2023

NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG ĐƯỜNG BỜ BẰNG CÔNG
NGHỆ ĐIỆN TOÁN ĐÁM MÂY

Phòng KHQT

Bộ môn

Người báo cáo

TS Phạm Thị Làn

HÀ NỘI – 2023

MỤC LỤC

	Trang
MỤC LỤC.....	i
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	iii
DANH MỤC HÌNH ẢNH	iv
MỞ ĐẦU.....	1
Tính cấp thiết của đề tài	1
Mục tiêu.....	4
Nhiệm vụ đề tài	4
Phương pháp nghiên cứu.....	5
1. Quy trình xác định biên động đường bờ sử dụng GEE.....	5
1.1. Các phương pháp xác định biên động	5
1.2. Quy trình thực hiện xác định đường bờ bằng google earth engine	8
2. Giới thiệu khu vực nghiên cứu.....	9
2.1. Địa mạo địa hình.....	11
2.2. Khí hậu	14
2.3. Thủy văn.....	15
2.4. Biến đổi khí hậu và thiên tai.....	18
3. Chiết xuất thông tin đường bờ bằng công nghệ điện toán đám mây	19
3. 1. Tiền xử lý ảnh.....	19

3. 2. Tính chỉ số nước	24
3. 3. Phân ngưỡng xác định ranh giới bờ nước	26
3. 4. Xuất dữ liệu đường bờ.....	32
4. Đánh giá biến động đường bờ vùng đồng bằng sông Cửu Long	36
4.1. Đánh giá xói lở	36
4.2. Đánh giá bồi tụ	41
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	44
TÀI LIỆU THAM KHẢO	45

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

STT	Tên viết tắt	Tên
1	API	Application Programming Interface
2	TOA	Top Of Atmosphere
3	GEE	Google Earth Engine
4	IDE	Integrated Development Environment
5	DAG	Directed Acyclic Graph
6	NDVI	Normalized Difference Vegetation Index

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 2. 4. Phân tích sau phân loại.....	6
Hình 2. 5. Phân loại ảnh đa thời gian.....	6
Hình 2. 6. Nhận biết thay đổi phổ.....	7
Hình 3. 1. Khu vực đồng bằng sông Cửu Long.....	10
Hình 3. 2. Đồng bằng sông Cửu Long nhìn từ không gian, tháng 2 năm 1996	15
Hình 3. 3. Đồng cỏ ở Đồng Tháp Mười.....	16
Hình 3. 4. Ghe chở chôm chôm trên sông Cửu Long.....	16
Hình 3. 5. Thuyền ghe ở Đồng bằng châu thổ sông Cửu Long.....	16
Hình 3. 6. Tập hợp ảnh khu vực nghiên cứu chụp năm 2022.....	23
Hình 3. 7. Ảnh chỉ số NDWI tính từ ảnh Landsat 8 cho khu vực nghiên cứu	26
Hình 3. 8. Biểu đồ phân bố thông tin Histogram của bức ảnh.....	27
Hình 3. 9. Bản đồ đường bờ các năm 1990, 2000, 2010 và 2022.....	36
Hình 3. 10. Bản đồ đường bờ và mặt cắt biến động đường bờ 1990 - 2022 ..	39
Hình 3. 11. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Trà Vinh (1).....	40
Hình 3. 12. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Trà Vinh (2).....	41
Hình 3. 13. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Bến Tre.....	42
Hình 3. 14. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Tiền Giang.....	43

MỞ ĐẦU

Tính cấp thiết của đề tài

Đới bờ là vùng chuyển tiếp giữa môi trường biển và đất liền, là môi trường sống cho rất nhiều loài động, thực vật và là nơi tập trung 40% dân số thế giới. Là kết quả của tương tác vật lý giữa biển và đất liền, quá trình xói lở, bồi tụ bãi biển hình thành bởi tác động tổng hợp của các yếu tố tự nhiên và xã hội. Hiện tượng xói lở, bồi tụ tự nhiên có tốc độ tương đối ổn định và thường xảy ra do tác động của các nhân tố có tính chu kỳ như thủy triều, sóng, dòng biển, sóng vận chuyển và bồi lắng trong khu vực nước ven bờ (Ashton, Murray, & Arnoult, 2001). Tuy nhiên, tốc độ và đặc điểm của xói lở và bồi tụ có thể được thúc đẩy do sự tác động thay đổi của bão nhiệt đới, sóng thần, bồi khai thác tài nguyên khoáng sản gần bờ (Beatley, David, & Anna, 2002), bồi tác động của biến động tài nguyên nước, hay nước biển dâng (Nicholls & Cazenave, 2010). Để định lượng được ảnh hưởng của các yếu tố tác động đến quá trình xói lở, bồi tụ bờ biển, cần phải quan trắc những biến động này trong một thời gian dài ở các quy mô khác nhau với mức độ chi tiết và tần xuất quan trắc tối đa.

Sự biến động bờ biển do xói lở, bồi tụ đã được quan trắc sử dụng nhiều phương pháp khác nhau như đo đạc trực tiếp

thực địa, công nghệ quét Lidar, ảnh hàng không, và ảnh vệ tinh. Trong đó, sử dụng công nghệ vệ tinh là phương pháp phổ biến nhất do khả năng thu nhận dữ liệu tức thời trên một diện tích rộng, với sự đa dạng về độ phân giải không gian, thời gian, độ phân giải phổ được thiết lập trên các hệ thống cảm biến khác nhau (Yang, 2009). Dữ liệu vệ tinh đã được sử dụng nhiều cho quan trắc sự biến đổi bãi biển ở các phạm vi hẹp, trong sự hạn chế về mặt thời gian quan trắc (Mentaschi, Vousedoukas, Pekel, Voukouvalas, & Feyen, 2018). Hơn

nữa, công nghệ tách chiết thông tin về bờ biển trên ảnh vệ tinh thường thủ công hoặc bán thủ công dựa trên các phương pháp như sử dụng các ngưỡng xác định trên ảnh chỉ số, hoặc phân loại ảnh trên các cảnh ảnh đơn lẻ. Cách tiếp cận này thường tốn nhiều nhân lực, thời gian, kinh phí, do đó việc quan trắc biến động bờ biển trên ảnh vệ tinh thường được thực hiện cho một khu vực nhỏ, các bước thời gian quan trắc thưa thớt. Nền tảng GEE sử dụng công nghệ điện toán đám mây không những sử dụng cho quan trắc biến động nước mặt mà còn phục vụ nghiên cứu biến động bờ biển ở các tỉ lệ khác nhau trong ngắn hạn và trong dài kỳ.

(Luijendijk et al., 2018) đã áp dụng thuật toán của Otsu (Otsu, 1979) trên GEE cho ảnh chỉ số mặt nước (NDWI) để tách chiết đường bờ nước ở nhiều thời điểm để ước tính biến động đường bờ nước (đường mép nước) toàn cầu từ 1984 đến 2016. Ảnh vệ tinh quang học Landsat và Sentinel-2 được sử dụng để phân tách các vùng bờ biển bị xói lở và vùng bồi tụ dựa trên sự thay đổi vị trí của đường bờ nước tách chiết trên ảnh theo thời gian. Xói lở và bồi tụ được định lượng theo các mặt cắt bố trí cách nhau 500 m dọc theo bờ biển (https://blueearthdata.org/sm/BOX_148_090_25). Nghiên cứu này đã cung cấp cái nhìn toàn cảnh về biến động bờ biển trong thời gian dài trên phạm vi toàn cầu. Tuy nhiên, cơ sở dữ liệu đã không được cập nhật từ sau năm 2016. Bên cạnh đó, nghiên cứu đã sử dụng công cụ lọc mây trên toàn cảnh ảnh, do đó đối với một khu vực nhiệt đới như Việt Nam, số lượng ảnh có thể sử dụng cho quan trắc còn lại rất ít. Theo thống kê từ sản phẩm của nghiên cứu, trong 33 năm, chỉ có từ 20 đến 30 ảnh được sử dụng, như vậy trung bình sẽ chỉ thu được ít hơn một ảnh không mây trong một năm. Trên thực tế, tốc độ xói lở, bồi tụ của bờ biển sẽ nhỏ hơn sự thay đổi đường bờ nước gây ra bởi mực nước thủy triều tại thời điểm chụp ảnh, dẫn đến có rất nhiều sai số khi sử dụng bộ dữ liệu của nghiên cứu biến động bờ biển cho Việt Nam. Một điểm cần lưu ý, các nghiên

cứu trên chỉ sử dụng một chỉ số mặt nước NDWI (tính bằng tỷ số kênh xanh lục và hồng ngoại sóng ngắn) cho xác định đường bờ cho toàn thế giới. Nhưng trên thực tế vị trí các đường bờ nước xác định trên ảnh chỉ số phụ thuộc vào độ đục và vật chất lơ lửng trong vùng nước nông ven bờ (Tong, Deroin, & Pham, 2020). Do đó cần thiết phải đánh giá và xác định cách tính ảnh chỉ số phù hợp cho mỗi khu vực có đặc trưng về độ đục của vùng nước nông ven bờ.

Ở Việt Nam, đánh giá biến động bờ biển gây ra bởi sự xói lở, bồi tụ sử dụng dữ liệu viễn thám đã được thực hiện trong nhiều nghiên cứu trước đây (Thinh & Hens, 2017; Thoai, Dang, & Kim Oanh, 2019; Tien et al., 2018; tong si, lang, Gunasekara, Nguyen, & Deroin, 2014; Tran Van, Thanh, & Thao, 2003). Lịch sử thay đổi đường bờ xác định từ dữ liệu vệ tinh trong mối tương quan với các nhân gây biến động tự nhiên như bão, lượng mưa, gió hay các tác động của con người như biến động sử dụng đất, khai thác cát sạn lòng sông đã được đánh giá (Thoai et al., 2019). Trong nghiên cứu này, tác giả đã sử dụng các ngưỡng xác định trên 5 ảnh Landsat-5 chụp trong các năm 1990, 1995, 2000, 2005 và 2014 để tách chiết đường bờ nước, từ đó ước tính diện tích mất đất do xói lở. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra tác nhân gây xói lở ở mũi Cà Mau là do sự mất rừng ngập mặn, khai thác cát sạn, phát triển nuôi trồng thủy sản và các công trình xây dựng lấn biển. Trong một nghiên cứu khác, một chuỗi các đường bờ biển xác định trên bản đồ trong quá khứ và số hóa trên ảnh vệ tinh chụp trong các năm 1990, 1991, 1995, 1998 đã được sử dụng để ước tính sự thay đổi của đường bờ trong suốt giai đoạn từ 1930 đến 1998 tại khu vực cửa sông Hồng (Tran Van et al., 2003). Phương pháp số hóa đường bờ nước từ các ảnh vệ tinh Spot cũng được sử dụng để xác định xói lở và bồi tụ bờ biển tỉnh Kiên Giang trong giai đoạn 1995 đến 2009 (H.-H. Nguyen, McAlpine, Pullar, Leisz, & Galina, 2015). Các nghiên cứu trước đây đã đưa ra các kết quả về xói lở bồi tụ dựa trên đường bờ nước xác định trên ảnh vệ tinh tại một số

khu vực của Việt Nam. Tuy nhiên, các nghiên cứu chỉ sử dụng một số lượng hạn chế ảnh vệ tinh. Đường bờ nước xác định trên một ảnh chụp ở một năm cụ thể sẽ là đường bờ của năm đó. Diện tích xói lở, bồi tụ được ước tính bằng so sánh đường bờ biển của các năm khác nhau. Các thông tin về độ cao thủy triều, thông tin về khí tượng đã không được sử dụng để hiệu chỉnh ảnh hưởng của các yếu tố đó đến vị trí của đường bờ xác định trên ảnh vệ tinh. Sự biến động đường bờ do ảnh hưởng của mùa cũng không được đề cập trong các nghiên cứu này.

Nhìn chung, các nghiên cứu về biến động bờ biển bằng dữ liệu vệ tinh trước đây ở khu vực cửa sông Mekong thường tập trung vào biến động theo diện tích bờ biển để kết luận về xu hướng và cường độ xói lở bờ biển (H.-H. Nguyen et al., 2015; Thoai et al., 2019; Tien et al., 2018). Trên thực tế, xói lở hay bồi tụ bờ biển là do các quá trình bồi lắng hoặc rửa trôi vật chất trên bờ biển, do đó, ước tính được tổng lượng phù sa bồi đắp hay mất đi qua các năm sẽ thấy được rõ bản chất của quá trình biến đổi. Bên cạnh đó, ước tính được biến động lượng phù sa bồi đắp, xói lở tại mỗi vị trí qua nhiều năm sẽ là số liệu tin cậy cho đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như biến động nguồn nước sông hồ, nước biển dâng, biến đổi khí hậu... đến biến động đường bờ. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu tính toán biến động lượng phù sa bồi đắp, rửa trôi của bờ biển khu vực sông Mekong qua các năm sử dụng dữ liệu viễn thám

Mục tiêu

Đề tài đặt ra các mục tiêu sau:

Đánh giá được diễn biến đường bờ vùng Đồng bằng sông Cửu Long bằng công nghệ điện toán đám mây.

Nhiệm vụ đề tài

- Nghiên cứu đặc điểm khu vực nghiên cứu

- Chiết xuất đường bờ khu vực thực nghiệm bằng công nghệ điện toán đám mây

- Đánh giá biến động đường bờ vùng Đồng bằng sông Cửu Long

Phương pháp nghiên cứu

- Ứng dụng GEE và tư liệu ảnh Landsat đánh giá biến động đường bờ vùng Đồng bằng sông Cửu Long

1. Quy trình xác định biến động đường bờ sử dụng GEE

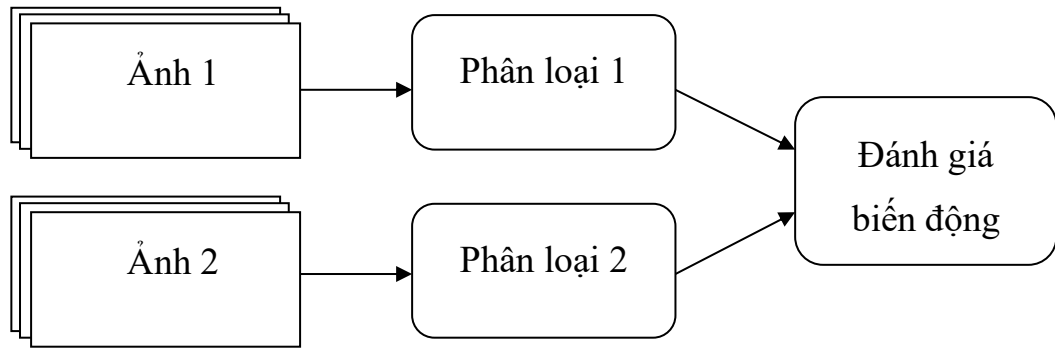
1.1. Các phương pháp xác định biến động

a. Phân tích sau phân loại

- Bản chất của phương pháp này là từ kết quả phân loại ảnh ở hai thời điểm khác nhau ta thành lập được bản đồ hiện trạng sử dụng đất tại hai thời điểm đó. Sau đó chồng ghép hai bản đồ hiện trạng để xây dựng bản đồ biến động. Các bản đồ hiện trạng có thể thực hiện dưới dạng bản đồ raster.

- Phương pháp so sánh sau phân loại được sử dụng rộng rãi nhất, đơn giản, dễ hiểu và dễ thực hiện. Sau khi ảnh vệ tinh được nắn chỉnh hình học sẽ tiến hành phân loại độc lập để tạo thành hai bản đồ. Hai bản đồ này được so sánh bằng cách so sánh pixel tạo thành ma trận biến động.

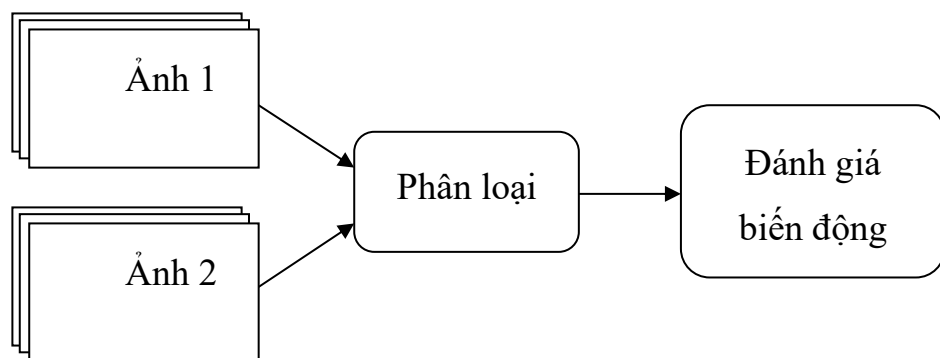
- Ưu điểm của phương pháp này cho biết sự thay đổi từ loại đất gì sang loại đất gì và chúng ta cũng có thể sử dụng các bản đồ hiện trạng sử dụng đất đã được thành lập trước đó. Nhược điểm của phương pháp này là phải phân loại độc lập các ảnh viễn thám nên độ chính xác phụ thuộc vào độ chính xác của từng phép phân loại.



Hình 2. 1. Phân tích sau phân loại

b. Phân loại trực tiếp ảnh đa thời gian

- Phương pháp này thực chất là ghép hai ảnh vào nhau tạo thành ảnh đa thời gian trước khi phân loại. Hai ảnh có N kênh được chồng phủ lên nhau để tạo thành một ảnh có $2N$ kênh. Kết quả phân loại của ảnh chồng phủ gồm $2N$ kênh này là một tập hợp bao gồm các lớp không thay đổi và các lớp thay đổi. Hạn chế lớn nhất của phương pháp này là tuy chỉ phân loại một lần, một mảnh (ảnh đa thời gian) nhưng lại rất phức tạp trong khâu lấy mẫu vì phải lấy tất cả các mẫu không biến động cũng như các mẫu biến động. Hơn nữa, ảnh hưởng của sự thay đổi theo thời gian (các mùa trong năm) và ảnh hưởng của khí quyển cũng không dễ được loại trừ và do đó, ảnh hưởng tới độ chính xác của phương pháp.

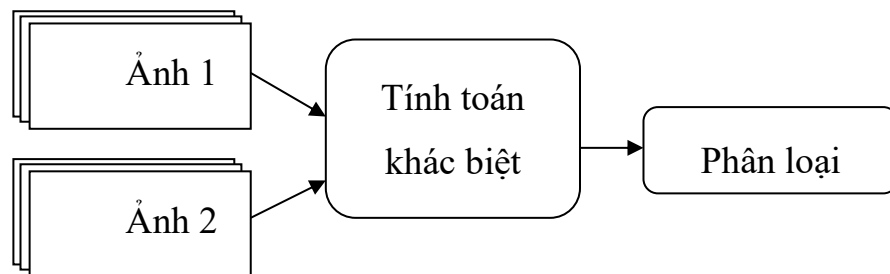


Hình 2. 2. Phân loại ảnh đa thời gian

c. Nhận biết thay đổi phổ

Về bản chất, nhóm phương pháp này sử dụng các kỹ thuật khác nhau để từ hai ảnh ban đầu tạo lên một kênh hay nhiều kênh ảnh mới thể hiện sự thay đổi phổ. Sự khác biệt hoặc tương tự phổ giữa các pixel có thể được tính theo từng pixel hoặc tính trên toàn cảnh cùng với tính trên từng pixel. Vì thế, phương pháp này đòi hỏi nền chỉnh hình học phải có sai số nhỏ hơn 1 pixel.

- Kết quả của việc so sánh là tạo ra một ảnh chỉ rõ những khu vực có thay đổi và không thay đổi cũng như mức độ thay đổi (ảnh này được gọi là ảnh thay đổi). Khi ảnh thay đổi đã được tạo ra, để có thể phân định được rõ các pixel thay đổi cũng như mức độ thay đổi, cần phải có một số bước xử lý tiếp theo, trong đó quan trọng nhất là kỹ thuật phân ngưỡng. Phân ngưỡng thực chất là việc định nghĩa mức độ mà tại đó chúng ta coi là có sự thay đổi. Phương pháp xác định ngưỡng được sử dụng nhiều nhất là phân tích hàm phân bố của ảnh thay đổi.



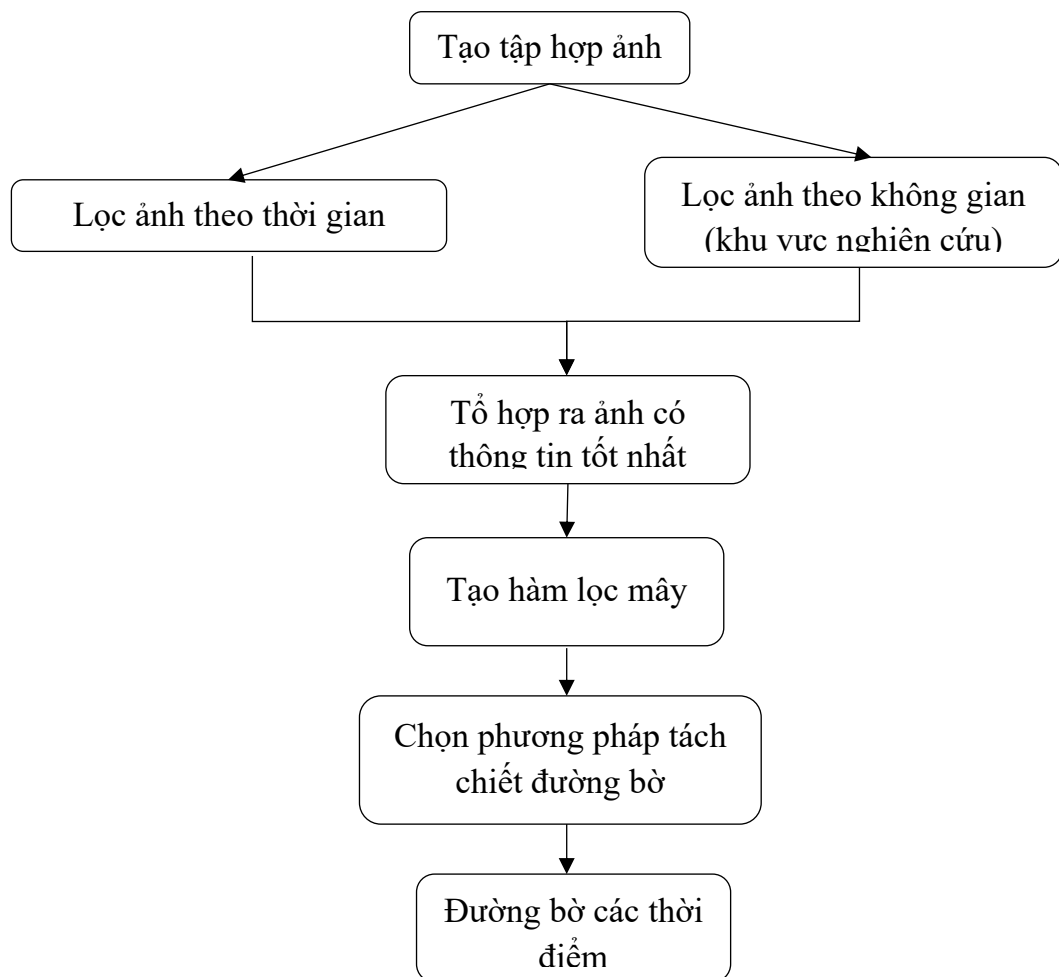
Hình 2. 3. Nhận biết thay đổi phổ

d. Kết hợp

- Như đã thấy ở trên, nhóm các phương pháp nhận biết thay đổi phổ luôn cần có các phân tích tiếp theo việc nhận được các thông tin về sự thay đổi (nhóm phương pháp nhận biết thay đổi phổ). Trong khi đó, các phương pháp nhận biết dựa trên sự phân loại (phương pháp phân tích sau phân loại, phương pháp phân loại ảnh đa thời gian) lại là những phân tích thể hiện sự thay đổi. Vì vậy, để giảm sai số trong nhận biết biến động lớp phủ thực vật, việc kết hợp giữa hai

nhóm phương pháp này có thể được tiến hành theo rất nhiều cách khác nhau. Ý tưởng chính của việc kết hợp này là sử dụng các phương pháp trong nhóm phương pháp nhận biết sự thay đổi phổ để chỉ ra các vùng có thay đổi và sau đó áp dụng phương pháp phân loại chỉ cho những vùng này để định danh sự thay đổi đó. Một số tác giả đã áp dụng phương pháp kết hợp này và cho thấy kết quả đạt được rất khả quan, giảm đáng kể sai số so với chỉ tiêu áp dụng các phương pháp dựa trên phân loại.

1.2. Quy trình thực hiện xác định đường bờ bằng google earth engine



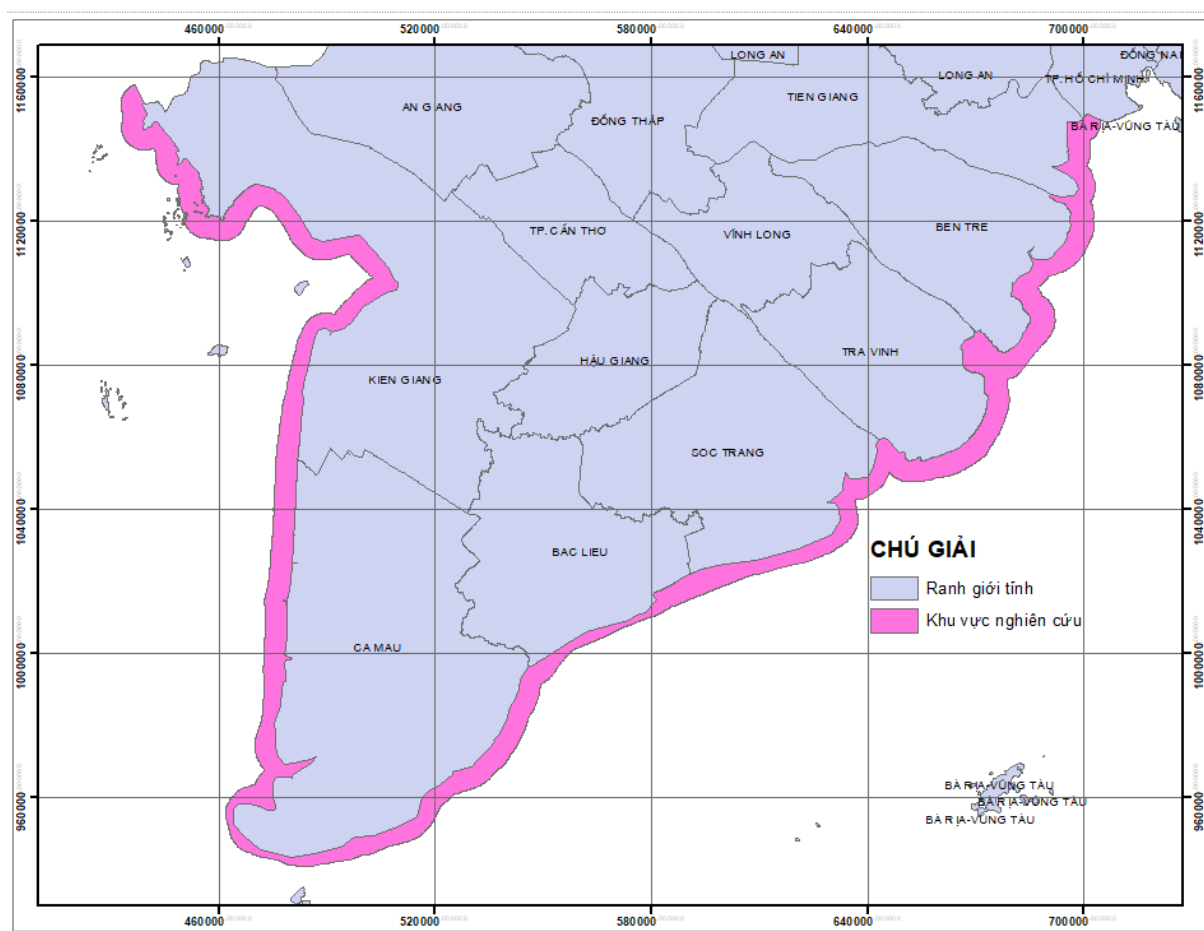
2. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Đồng bằng sông Cửu Long hay còn gọi là Châu thổ sông Mê Kông, là phần lãnh thổ cực nam của Việt Nam, nằm về phía đông nam của Campuchia, là vùng đất màu mỡ nhất và có nhân khẩu đông nhất ở Việt Nam.

Đồng bằng sông Cửu Long bao gồm 13 tỉnh, thành: TP. Cần Thơ, tỉnh An Giang, tỉnh Đồng Tháp, tỉnh Long An, tỉnh Tiền Giang, tỉnh Vĩnh Long, tỉnh Bến Tre, tỉnh Trà Vinh, tỉnh Sóc Trăng, tỉnh Hậu Giang, tỉnh Bạc Liêu, tỉnh Cà Mau và tỉnh Kiên Giang.

Vùng đất này đất đai màu mỡ, lúa nước được thu hoạch bảy lần trong hai năm.

Cư dân ở khu vực đồng bằng sông Cửu Long bây giờ chủ yếu là người Việt, người bản địa người Khmer sinh sống chủ yếu ở tỉnh Trà Vinh, tỉnh Sóc Trăng và tỉnh An Giang. Vẫn có người Hoa quy mô tương đương ở tỉnh Kiên Giang và tỉnh Trà Vinh, một số di cư đến khoảng thời gian cuối nhà Minh đầu nhà Thanh do Mạc Cửu tuyển mộ.



Hình 3. 1. Khu vực đồng bằng sông Cửu Long

Đồng bằng sông Cửu Long là bộ phận của châu thổ sông Mê Kông có diện tích 39.194,6 km². Có vị trí nằm liền kề vùng Đông Nam Bộ, phía Bắc giáp Campuchia, phía Tây Nam là vịnh Thái Lan, phía Đông Nam là Biển Đông.

Các điểm cực của đồng bằng trên đất liền gồm điểm cực Tây ở phường Mỹ Đức, thành phố Hà Tiên, tỉnh Kiên Giang; cực Đông ở xã Thừa Đức, huyện Bình Đại, tỉnh Bến Tre; cực Bắc ở xã Hưng Điền A, huyện Vĩnh Hưng, tỉnh Long An; cực Nam ở xã Đất Mũi, huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau. Ngoài ra, còn có các đảo xa bờ của Việt Nam như đảo Phú Quốc, quần đảo Thổ Chu, quần đảo Hòn Khoai.

Đồng bằng sông Cửu Long gồm ba tiểu vùng. Vùng cao ở phía tây gồm các tỉnh đầu nguồn sông Cửu Long là Đồng Tháp, An Giang, Cần Thơ, phần phía tây các tỉnh Long An, Tiền Giang, Vĩnh Long, Hậu Giang và phần phía đông Kiên Giang. Đây là vùng thường bị ngập vào mùa mưa bởi nước sông Cửu Long dâng lên. Vùng thấp ở duyên hải phía đông gồm các tỉnh Bến Tre, Trà Vinh, Bạc Liêu, Cà Mau, phần phía đông Long An, Tiền Giang, Vĩnh Long, Hậu Giang và phần ven biển Kiên Giang. Đây là vùng thường bị mặn xâm nhập vào mùa khô.

2.1. Địa mạo địa hình

Tam giác châu sông Mê Kông là đồng bằng bồi tích do hạ lưu sông Mê Kông và 9 đường rẽ của nó chảy vào biển Đông mà hình thành nên, là đồng bằng lớn nhất Việt Nam, diện tích hơn 40.000km². Chiều cao trung bình so với mực nước biển không đến 2m, nhiều dòng sông và ao đầm. Phần đông dân số làm nông nghiệp, là vùng sản xuất lúa gạo chủ yếu ở Việt Nam, cũng là một trong những khu sản xuất gạo nổi tiếng ở Đông Nam Á. Sông Mê Kông về phía dưới Phnôm Pênh chia thành hai nhánh, ở trong nước Việt Nam gọi là sông Tiền và sông Hậu, hai sông này đem tam giác châu chia thành ba phần, về phía nam sông Hậu là bán đảo Cà Mau, bởi vì ứ tích bùn và cát của sông Mê Kông cho nên bán đảo mỗi năm kéo dài 60 - 80 mét hướng về ven biển phía tây nam. Bãi biển ở phía tây bán đảo đủ dài tạo thành rừng ngập mặn đặc biệt chỉ có ở miền nhiệt đới, bên trong vùng đất có nhiều ruộng lúa nước và rừng rậm nhiệt đới. Ở giữa sông Tiền và sông Hậu là đồng bằng màu mỡ và bằng phẳng, kênh mương dày đặc như mạng nhện. Bộ phận về phía bắc sông Tiền chia ra, phía tây là Đồng Tháp Mười, thực tế là vùng ao đầm, mùa mưa tạo thành một bãi nước rộng lớn bao la, chiều sâu của nước là từ 3m trở xuống, mùa khô cạn nước cũng đến đầu gối, sản xuất nhiều củ sen và lúa nước nổi, phía đông là đồng bằng Đồng Nai.

Vùng đồng bằng sông Cửu Long của Việt Nam được hình thành từ những trầm tích phù sa và bồi dần qua những kỷ nguyên thay đổi mực nước biển; qua từng giai đoạn kéo theo sự hình thành những giồng cát (đất bằng) dọc theo bờ biển. Những hoạt động hỗn hợp của sông và biển đã hình thành những vạt đất phù sa phì nhiêu dọc theo đê ven sông lẫn dọc theo một số giồng cát ven biển và đất phèn trên trầm tích đầm mặn trũng thấp như vùng Đồng Tháp Mười, tứ giác Long Xuyên – Hà Tiên, tây nam sông Hậu (khu vực ngã ba Hậu Giang, Bạc Liêu và Cà Mau) ở bán đảo Cà Mau.

Cách đây khoảng 8.000 năm, vùng ven biển cũ trải rộng dọc theo triền phù sa cổ thuộc trầm tích Pleistocen từ Hà Tiên đến thềm bình nguyên Đông Nam Bộ. Sự hạ thấp của mực nước biển một cách đồng thời với việc lộ ra từng phần vùng đồng bằng vào giai đoạn cuối của thời kỳ trầm tích Pleistocen. Một mẫu than ở tầng mặt đất này được xác định tuổi bằng C^{14} cho thấy nó có tuổi tuyệt đối là 8.000 năm.^[1] Sau thời kỳ băng hà cuối cùng, mực nước biển dâng cao tương đối nhanh chóng vào khoảng 3–4 m trong suốt giai đoạn khoảng 1.000 năm,^[2] gây ra sự lắng tụ của các vật liệu trầm tích biển ở những chỗ trũng thấp của châu thổ; tại đây những sinh vật biển như hàu (*Ostrea*) được tìm thấy và việc xác định tuổi tuyệt đối của chúng bằng C^{14} cho thấy trầm tích này được hình thành cách đây khoảng 5.680 năm.^[1]

Dưới những ảnh hưởng của môi trường biển và nước lợ, thực vật rừng ngập mặn dày đặc đã bao phủ toàn vùng này, chủ yếu là những cây đước (*Rhizophora* sp.) và mắm (*Avicennia* sp.). Những thực vật chịu mặn này đã tạo thuận lợi cho việc giữ lại các vật liệu lắng tụ, làm giảm sự xói mòn do nước hoặc gió, và cung cấp sinh khối cho trầm tích châu thổ,^[3] và rồi những đầm lầy biển được hình thành. Tại vùng này, cách đây 5.500 năm trước công nguyên, trầm tích lắng tụ theo chiều dọc dưới điều kiện mực nước biển dâng cao đã hình thành những cánh đồng rộng lớn mang vật liệu sét. Sự lắng tụ kéo

dài của các vật liệu trầm tích bên dưới những cánh rừng Đước dày đặc đã tích lũy dần để hình thành một địa tầng chứa nhiều vật liệu sinh phèn (*pyrit*).

Mực nước biển dâng cao, bao phủ cả vùng như thế hầu như hơi không ổn định và bắt đầu có sự giảm xuống cách đây vào khoảng 5.000 năm.^[4] Sự hạ thấp mực nước biển dẫn đến việc hình thành một mực nước biển mới, sau mỗi giai đoạn như thế thì có một bờ biển mới được hình thành, và cuối cùng hình thành nên những vạt cồn cát chạy song song với bờ biển hiện tại mà người ta thấy ở vùng đồng bằng sông Cửu Long. Một cồn cát chia cắt vùng Đồng Tháp Mười và vùng trầm tích phù sa được xác định tuổi bằng C¹⁴ cho thấy có tuổi tuyệt đối vào khoảng 4.500 năm.^[1]

Sự hạ dần của mực nước kèm theo những thay đổi về môi trường trong vùng đầm lầy biển, mà ở đây những thực vật chịu mặn mọc dày đặc (*Rhizophora* sp., *Avicinnia* sp.) được thay thế bởi những loài thực vật khác của môi trường nước ngọt như tràm (*Melaleuca* sp.) và những loài thực vật hoang dại khác (*Fimbristylis* sp., *Cyperus* sp.). Sự ổn định của mực nước biển dẫn đến một sự bồi lắng trầm tích ven biển khá nhanh với vật liệu sinh phèn thấp hơn.^[5]

Sự tham gia của sông Cửu Long đóng vai trò rất quan trọng trong suốt quá trình hình thành vùng châu thổ. Lượng nước trung bình hàng năm của sông này cung cấp vào khoảng 4.000 tỷ m³ nước và vào khoảng 100 triệu tấn vật liệu phù sa,^[6] những mảnh vỡ bị bào mòn từ lưu vực sông, mặc dù một phần có thể dừng lại tạm thời dọc theo hướng chảy, cuối cùng được mang đến cửa sông và được lắng tụ như một châu thổ.^[3] Những vật liệu sông được lắng tụ dọc theo sông để hình thành những đê tự nhiên có chiều cao 3–4 m, và một phần của những vật liệu phù sa phủ lên trên trầm tích pyrit thời kỳ Holocen với sự biến thiên khá rộng về độ dày tầng đất vùng và không gian vùng.^[4] Các con sông nằm

được chia cắt với trầm tích đê phù sa nhưng những vùng rộng lớn mang vật liệu trầm tích biển chứa phen tiềm tàng vẫn còn lộ ra trong vùng đầm lầy biển.^[7] Tuy nhiên, độ chua tiềm tàng không xuất hiện trong vùng phụ cận của những nhánh sông gần cửa sông mà tại đây ảnh hưởng rửa bởi thủy triều khá mạnh. Ngược lại, vùng châu thổ sông Sài Gòn, nằm kế bên hạ lưu châu thổ sông Mekong, được biểu thị bởi một tốc độ bồi lắng ven biển khá chậm do lượng vật liệu phù du trong nước sông khá thấp và châu thổ này bị chia cắt bởi nhiều nhánh sông thủy triều và do bởi những vành đai thực vật chịu mặn thì rộng lớn hơn vành đai này ở vùng châu thổ sông Mekong, và kết quả là trầm tích của chúng chứa nhiều axit tiềm tàng.

2.2. Khí hậu

Lưu vực tam giác châu sông Mê Kông ở vào trung tâm miền gió mùa nhiệt đới của châu Á, từ tháng 5 đến cuối tháng 9 bị ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam đến từ biển cả, ẩm ướt nhiều mưa, từ tháng 5 đến tháng 10 là mùa mưa; từ tháng 11 đến trung tuần tháng 3 năm liền sau bị ảnh hưởng gió mùa Đông Bắc đến từ đất liền, khô khan ít mưa, từ tháng 10 đến tháng 11 là mùa khô, từ tháng 9 đến tháng 3 năm liền sau có thủy triều sáng và tối.

Mưa đông có cường độ rất lớn, thời gian xảy ra khá ngắn, phạm vi ảnh hưởng khá nhỏ đều rất thường xuyên trong suốt mùa mưa; mưa xuống có thời gian xảy ra khá dài, phạm vi rất lớn thường xuyên nhất vào tháng 9, có thể dẫn đến nước lũ dâng lên tràn ngập một cách nghiêm trọng, nhưng mà sự ảnh hưởng của nó phần nhiều chỉ giới hạn ở khu vực tam giác châu và vùng đất phía tây lưu vực, đôi khi xuyên qua đất liền khiến phạm vi lớn hơn bị mưa lớn đánh bất ngờ trong khoảng thời gian dài. Bởi vì mùa tiết của mưa phân bố không đồng đều, các nơi ở lưu vực mỗi năm đều phải trải qua một đợt hạn hán có cường độ và thời gian xảy ra khác nhau.



Hình 3. 2. Đồng bằng sông Cù Long nhìn từ không gian, tháng 2 năm 1996

Đây là vùng có khí hậu cận xích đạo nên thuận lợi phát triển ngành nông nghiệp (mưa nhiều, nắng nóng) đặc biệt là phát triển trồng lúa nước và cây lương thực.

2.3. Thủy văn

Tam giác châu sông Mê Kông có lượng nước chảy vào biển trung bình nhiều năm là 475 tỉ mét khối. Trữ lượng lí thuyết thủy năng ở lưu vực sông Mê Kông là 58 triệu kilowatt, thủy năng được khai phát ước tính là 37 triệu kilowatt, lượng phát điện hằng năm là 180 tỉ kilowatt giờ, trong đó 33% ở Campuchia và 51% ở Lào. Thủy năng chưa khai phát không đến 1%.

Dòng chảy ở lưu vực tam giác châu sông Mê Kông đến từ mưa, bởi vì ảnh hưởng gió mùa không thay đổi hằng năm, cho nên đường tiến trình mức nước chủ yếu từ một năm thủy văn trước đến một năm thủy văn sau hầu như không thay đổi, chênh lệch giữa mức nước cao và mức nước thấp không lớn. Nếu quy định lưu lượng mức nước cao hằng năm là trên 110% lưu lượng trung bình nhiều năm, lưu lượng mức nước thấp hằng năm là dưới 90% lưu lượng trung bình nhiều năm, như vậy xác suất xuất hiện năm nước cao, năm nước bằng, năm nước thấp khoảng chừng là 25%, 50%, 25% đo ở trạm Viêng Chăn, Lào, là 20%, 60%, 20% đo ở trạm Kratié, Campuchia.



Hình 3. 3. Đồng cỏ ở Đồng Tháp Mười



Hình 3. 4. Ghe chở chôm chôm trên sông Cửu Long.



Hình 3. 5. Thuyền ghe ở Đồng bằng châu thổ sông Cửu Long

Về phía tây, Đồng bằng sông Cửu Long được giới hạn bởi sông Châu Đốc và kênh Vĩnh Tế một dòng kênh nhân tạo chảy dọc theo biên giới Việt Nam-Campuchia, nhận nước sông Hậu Giang qua sông Châu Đốc tại Thành phố Châu Đốc đổ nước ra Vịnh Thái Lan, giới hạn một vùng đất thấp ngập nước theo mùa gọi là Tứ giác Long Xuyên.

Ở khu vực giữa hai dòng sông Hậu và sông Tiền, Đồng bằng sông Cửu Long được giới hạn đầu nguồn bởi các dòng kênh nối ngang tại 2 huyện thị đầu nguồn Tân Châu và An Phú của tỉnh An Giang như kênh Vĩnh An...

Về phía đông bắc và đông, Đồng bằng sông Cửu Long được giới hạn bằng hàng loạt các dòng sông kênh rạch liên thông với nhau, chảy dọc theo biên giới Việt Nam-Campuchia, (giới hạn vùng đất trũng khác ngập nước theo mùa là vùng Đồng Tháp Mười), và đều là phân lưu của sông Mekong: hoặc trực tiếp của dòng chính sông Tiền Giang, hay nhận nước gián tiếp qua một phân lưu chính của Mekong là Preak Banam đổ ra biển Đông qua sông Vàm Cỏ Tây (sông Vàm Cỏ) và các cửa của sông Cửu Long. Giới hạn phía đông bắc và đông của Đồng bằng sông Cửu Long là các dòng sông kênh rạch sau: sông Sở Thượng (chảy trên biên giới Việt Nam-Campuchia, nhận nước sông Mekong qua Preak Banam), sông Sở Hạ (chảy trên biên giới Việt Nam-Campuchia, nhận nước sông Mekong qua Preak Trabeak phân lưu của Preak Banam), rạch Cái Cỏ (chảy trên biên giới Việt Nam-Campuchia,^[9] là ranh giới phía bắc của Đồng Tháp Mười,^[10] nhận nước sông Mekong qua Preak Trabeak một thượng lưu của sông Sở Hạ và rạch Long Khốt), rạch Long Khốt (nhận nước sông Mekong qua Preak Trabeak và Cái Cỏ, thượng nguồn của sông Vàm Cỏ Tây), sông Vàm Cỏ Tây (nhận nước sông Mekong qua rạch Long Khốt và các kênh rạch nối thông với sông Tiền Giang), sông Vàm Cỏ (nhận nước sông Mekong qua sông Vàm Cỏ Tây và các kênh rạch nối thông với sông Tiền Giang), và cuối cùng là sông Soài Rạp (nhận nước sông Mekong qua sông Vàm Cỏ). Các sông Vàm Cỏ Tây, Vàm Cỏ, Soài Rạp mặc dù thuộc hệ thống sông Sài Gòn-Đồng Nai, là hệ thống sông thuộc địa bàn Miền Đông Nam Bộ, nhưng chúng là những dòng sông cuối cùng nhận nước từ sông Mekong về phía đông, đồng thời một trong số chúng (sông Soài Rạp) là ranh giới tự nhiên của 2 tỉnh phía đông Đồng bằng sông Cửu Long là Long An và Tiền Giang với tỉnh thành

phía tây của miền Đông Nam Bộ là Thành phố Hồ Chí Minh, nên lưu vực các sông rạch này (chính là địa bàn tỉnh Long An) cũng là địa bàn ranh giới tận cùng phía đông của Đồng bằng sông Cửu Long với Miền Đông Nam Bộ.

2.4. Biến đổi khí hậu và thiên tai

Theo công bố của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Việt Nam), khoảng 40% vùng đồng bằng sông Cửu Long có thể bị ngập trong nước biển do biến đổi khí hậu.^[11] Bên cạnh đó do ảnh hưởng của hiện tượng Elnino, nhiều vùng ven biển của Đồng bằng sông Cửu Long gặp tình trạng hạn hán và nước mặn xâm nhập sâu vào nội địa. Mặt khác trong khi nước biển dâng lên, thì "tình trạng khai thác nước ngầm quá mức là một trong những nguyên nhân gây sụt lún đất ở khu vực TP.HCM và vùng đồng bằng sông Cửu Long".^{[12][13]} Những đề xuất về "*bom bù nước ngầm*" để giảm sụt lún thì không được quan tâm thực hiện.^[14]

Ngoài ra tác động ở thượng nguồn như nạn phá rừng và một loạt các đập nước đang đưa vào kế hoạch ở Hoa lục, Lào, và Campuchia đã giảm thiểu lượng phù sa bồi đắp ở các cửa sông, khiến vùng ven biển bị ngập dần. So với năm 1990 khi sông Cửu Long đưa 160 triệu tấn phù sa ra biển thì số lượng vào năm 2015 chỉ còn 75 triệu tấn, giảm hơn phân nửa. Lượng phù sa dù ra đến gần biển cũng bị trút bớt vì con người dùng sỏi cát vào các công trình xây cất, gây thiệt hại trầm trọng đến viễn cảnh sống còn của vùng đồng bằng.

Theo nghiên cứu của Trường Đại học Cần Thơ, biến đổi khí hậu và hiện tượng ấm lên toàn cầu sẽ làm mực nước biển dâng lên. Nếu dâng 1m thì 20% đồng bằng châu thổ sẽ bị đe dọa. Dâng 2m diện tích đồng bằng sông Cửu Long sẽ bị xóa còn phân nửa, ảnh hưởng trầm trọng đến đời sống 15 triệu dân. Theo nghiên cứu của 19 nhà khoa học đăng trên tạp chí Science thì nếu tiếp tục phát triển với cách thức như hiện tại, vùng này sẽ bị nhấn chìm đến 90% diện tích vào năm 2100^[15].

Năm 2016, Đồng bằng sông Cửu Long hứng chịu đợt hạn hán và xâm nhập mặn nặng nề nhất trong vòng 100 năm, gây thiệt hại hơn 160.000 ha lúa, tương đương 800.000 tấn lúa bị mất trắng, với mỗi gia đình có diện tích sản xuất khoảng 0,5 ha thì xâm nhập mặn đã làm khoảng 300.000 hộ gia đình (khoảng 1,5 triệu người) trong những tháng qua không có thu nhập. Các tỉnh bị thiệt hại nặng nhất là Kiên Giang (hơn 54.000 ha), Cà Mau (gần 50.000 ha), Bến Tre (gần 14.000 ha), Bạc Liêu (gần 12.000 ha)... Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn đã phải công bố tình trạng thiên tai đặc biệt nghiêm trọng.^[16] Theo Thứ trưởng Bộ Tài nguyên và Môi trường Trần Hồng Hà, ngoài những nguyên nhân như mùa mưa năm 2015 đến muộn và kết thúc sớm, nguyên nhân chính là các vấn đề ở thượng nguồn dòng chảy. Theo Bộ Tài nguyên và Môi trường, các hồ chứa trên dòng chính ở phía Trung Quốc có dung tích khoảng 23 tỉ m³, các hồ chứa trên những sông nhánh khoảng 20 tỉ m³. Tổng dung tích này tác động rất lớn đến việc điều tiết nước và lưu lượng dòng chảy về phía hạ lưu. Trong dịp Tết Nguyên đán ở Trung Quốc, nhu cầu năng lượng giảm nên họ tích nước, do vậy vào thời điểm này lượng nước giảm đáng kể, sau đó dòng chảy tăng lên (khi các hồ xả nước để chạy thủy điện). “Tôi khẳng định đây là nguyên nhân cơ bản” - ông Hà nói.^[17]

3. Chiết xuất thông tin đường bờ bằng công nghệ điện toán đám mây

3. 1. Tiền xử lý ảnh

3.2.1.1. Thu thập dữ liệu ảnh

Dữ liệu sử dụng trong luận văn là dữ liệu ảnh Landsat năm 2020. Ảnh được thu thập theo các code như sau:

```
//Collection LANDSAT////////////////////////////////////
```

```
// Xác định phạm vi thời gian
```

```

var startyear = 2022;

var endyear = 2022;

// Set date in ee date format

var startdate = ee.Date.fromYMD(startyear,1,1);

var enddate = ee.Date.fromYMD(endyear,12,30);

```

Dữ liệu ảnh trong 1 năm khá nhiều. Bên cạnh đó, đường bờ trong 1 năm có thể được hiểu là giá trị mực thủy triều trung bình trong 1 năm. Do đó, luận văn sử dụng ảnh trung bình (median) của các cảnh trong 1 năm để tính toán các chỉ số nước.

Dữ liệu ảnh được lựa chọn lọc theo khu vực nghiên cứu với ranh giới được code là: aoi; các cảnh có mức độ mây ít hơn 70%.

```

//import collections

var L5image= ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_SR")

    .filterBounds(aoi)

    .filterDate(startdate,enddate)

    .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',70);

var L8image= ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")

    .filterBounds(aoi)

    .filterDate(startdate,enddate)

    .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',70);

```

Trong đó:

- Dòng 1 được đặt sau dấu // là dòng ghi chú, các ghi chú trong Javascript thường được đặt sau dấu //, các dòng ghi chú này sẽ không bị nhầm thành lệnh chạy khi bạn chạy một tập lệnh.

- Dòng 2:

+ var là từ khóa để khai báo biến trong Javascript, các biến có thể là dạng số (numbers), chuỗi (string), đối tượng (objects), hoặc tập hợp đối tượng (object collection)... Các biến được dùng để chứa các thông tin sử dụng trong script/tập lệnh. Trong dòng lệnh phía trên, tên biến được đặt là Landsat8 và dùng nó để chỉ dữ liệu dạng raster mình muốn phân tích.

+ ee.ImageCollection() là một hàm của GEE cho GEE biết bạn muốn tải ảnh như một đối tượng (và trong trường hợp này, là lưu trữ tập hợp ảnh với biến có tên là 'Landsat8'). Trong JavaScript, các hàm được bắt đầu bằng các chữ cái và có một cặp dấu ngoặc đơn ở cuối. Các hàm thường bao gồm đầu vào/input hay tham số/parameter, chúng giúp các hàm biết cần phải làm gì và được định rõ trong phần ngoặc đơn của hàm. Trong trường hợp này, các tham số/parameter đã định rõ trong phần ngoặc đơn là ID của ảnh.

Dạng đơn giản của dòng lệnh trên là *ee.ImageCollection('image_id')*. 'image_id' là tên và mã kí hiệu của ảnh mà bạn muốn tải về, ví dụ: ('LANDSAT/LC8_L1T_TOA/LC81290502015036LGN00';) và khai báo là biến (Landsat8)

- Cú pháp để xác định ID ảnh trong hàm (ee.ImageCollection) đó là đặt toàn chuỗi ký tự (ID ảnh, ('LANDSAT/LC8_L1T_TOA/LC81290502015036LGN00')) trong cặp dấu trích dẫn ' '. ID ảnh phải đặt trong dấu trích dẫn bởi vì tập hợp và tên ảnh cùng ở dạng chuỗi/string. String là tập các ký tự trong ví dụ này, tên của một tập dữ liệu cụ thể.

3.2.1.2. *Hiển thị ảnh*

Sau khi ảnh được thu thập thì ảnh sẽ được hiển thị theo tổ hợp các kênh: B3, B2, B1 theo dòng lệnh sau:

```
// Display images

Map.addLayer(L5image, {min:0.05, max: 0.8, bands: 'B3, B2,
B1'}, 'L5_dis');

Map.addLayer(L8image, {min:0.05, max: 3000, bands: 'B5, B4, B3'},
"L8_dis");

////bands

var l5names =
ee.List(["B1", "B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7", "pixel_qa"]);

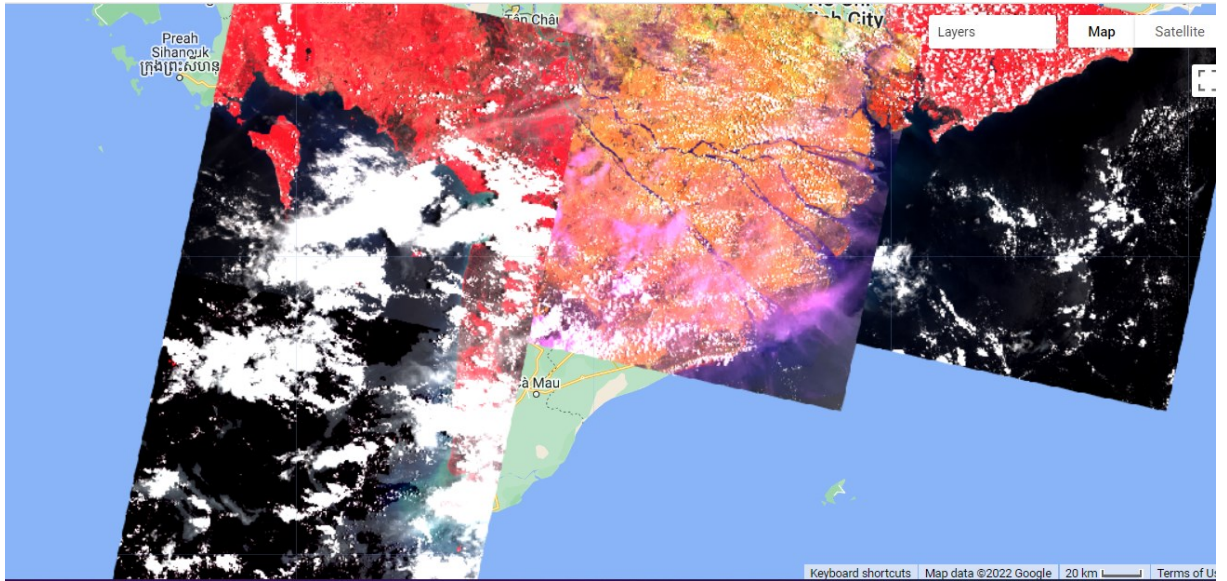
var l8names =
.List(["B2", "B3", "B4", "B5", "B6", "B7", "B10", "B11", "pixel_qa"]);

// bands

var l5Bands =
ee.List(['blue', 'green', 'red', 'nir', 'swir1', 'tir', 'swir2', "pixel_qa"]);

var l8Bands =
e.List(['blue', 'green', 'red', 'nir', 'swir1', 'swir2', 'tir1', 'tir2', "pixel_qa"]);
```

Tập hợp gồm nhiều ảnh, tuy nhiên, không phải tất cả ảnh đều được hiển thị trên bản đồ. Khi chúng ta sử dụng hàm Map.addLayer để đưa một tập ảnh vào cửa sổ bản đồ, theo mặc định/default chỉ các pixel mới nhất sẽ được hiển thị. Nếu ta sử dụng lệnh in print thì sẽ xác định được có bao nhiêu ảnh ở trong tập hợp. Tuy nhiên vì đối tượng ảnh lớn nên yêu cầu in tập ảnh sẽ không thực hiện được



Hình 3. 6. Tập hợp ảnh khu vực nghiên cứu chụp năm 2022

Hệ thống Google Earth Engine thông báo đặc trưng trong khoảng thời gian dữ liệu ảnh bao gồm ảnh dưới đây:

```

▼ features: List (4 elements)
  ▶ 0: Image LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_124053_20200911 (10 bands)
  ▶ 1: Image LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_125053_20200902 (10 bands)
  ▶ 2: Image LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_126053_20200909 (10 bands)
  ▶ 3: Image LANDSAT/LC08/C01/T1_SR/LC08_126054_20200909 (10 bands)

```

Trong đó: 01 ảnh Landsat 8 chụp ngày 02/09/2022, 02 ảnh chụp ngày 09/09/2020 và 01 ảnh chụp ngày 11/09/2022.

3.2.1.3. Lọc mây

Tạo hàm lọc mây để loại bỏ các pixel là mây trên ảnh bằng các dòng lệnh:

```

//////////ham loc may cho Landsat8

var maskCloudL8 = function(image){

  var

cloud=image.select('pixel_qa').bitwiseAnd(32).neq(0).divide(10000);

```

```

    var shadow=
image.select('pixel_qa').bitwiseAnd(8).neq(0).divide(10000);

    var cloud_shadow=((cloud).or(shadow));

    return image.updateMask(cloud_shadow.add(1).unmask(0).eq(1));

};

    var L8_DN = L8image.map(maskCloudL8).select(18names,18Bands);

//print(L8_DN);

//////////ham loc may cho Landsat5

var maskCloudL5= function(image){

    var

cloud=image.select('pixel_qa').bitwiseAnd(32).neq(0).divide(10000);

    var shadow=
image.select('pixel_qa').bitwiseAnd(8).neq(0).divide(10000);

    var cloud_shadow=((cloud).or(shadow));

    return image.updateMask(cloud_shadow.add(1).unmask(0).eq(1));

};

var L5_DN = L5image.map(maskCloudL5).select(15names,15Bands);

//print(L5_DN);

```

3. 2. Tính chỉ số nước

Luận văn sử dụng chỉ số nước khác biệt bình quân NDWI (Normalized Difference Water Index). NDWI được ứng dụng nhiều trong giám sát nước mặt từ dữ liệu vệ tinh. Chỉ số sử dụng hai kênh phổ là Green (xanh lá cây) và Near Infrared (cận hồng ngoại) của dữ liệu viễn thám.

Công thức chung: $NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$

- $NDWI \text{ (Landsat 8)} = (B3 - B5) / (B3 + B5)$
- $NDWI \text{ (Landsat 4 - 7)} = (B2 - B4) / (B2 + B4)$
- $NDWI \text{ (Sentinel 2)} = (B3 - B8) / (B3 + B8)$

Dòng lệnh tính chỉ số NDWI cho ảnh Landsat 5 và Landsat bằng công nghệ điện toán đám mây như sau:

```
////////// HAM TINH NDWI CHO TAT CA CAC ANH//////////
```

```
//reduce to median value per pixel
```

```
var median_L5 = L5_NoClouds.median();
```

```
var median_L8 = L8_NoClouds.median();
```

```
function addNDWI(img) {
```

```
  var ndwi = img.expression('float(green - nir)/(green + nir)', {
```

```
    'green': img.select('green'),
```

```
    'nir': img.select('nir')
```

```
  }).rename('NDWI');
```

```
  return img.addBands(ndwi.rename('ndwi'));
```

```
}
```

```
// map over image collection
```

```
var ndwiCollection = joinCollection.map(addNDWI);
```

```
var clip_region = function(image){
```

```

return image.clip(aoi);
};

ndwiCollection = ndwiCollection.map(clip_region);

print(ndwiCollection);

```



Hình 3. 7. Ảnh chỉ số NDWI tính từ ảnh Landsat 8 cho khu vực nghiên cứu

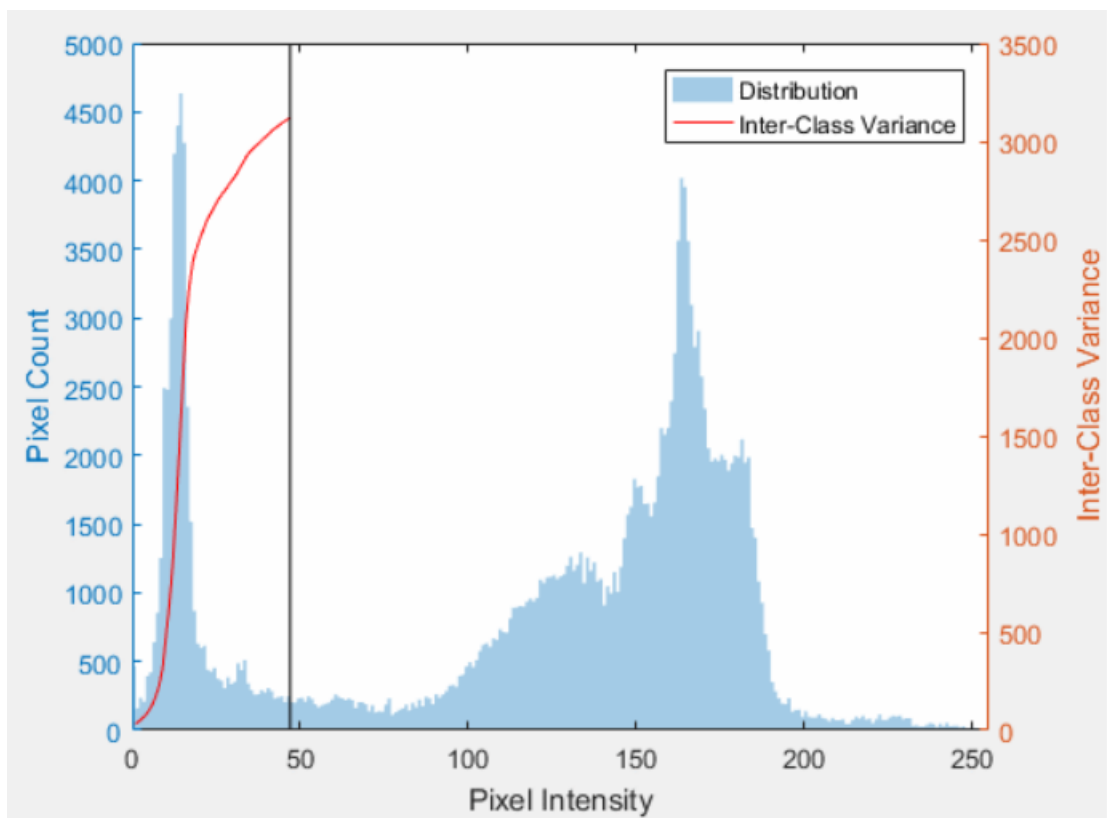
3. 3. Phân ngưỡng xác định ranh giới bờ nước

Giá trị ngưỡng được chọn từ việc phân tích các nguồn thông tin khác nhau: hình dáng biểu đồ (histogram shape), entropy, đặc tính tương tự, tương quan không gian, độ xám... Trong nghiên cứu này, sử dụng phân tích đặc tính của biểu đồ độ xám theo phương pháp của Otsu.

Otsu được lấy tên theo tên tác giả của phương pháp này Nobuyuki Otsu đã giới thiệu về kỹ thuật này trong tập báo của IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Hiệp hội hệ thống, con người và điều khiển

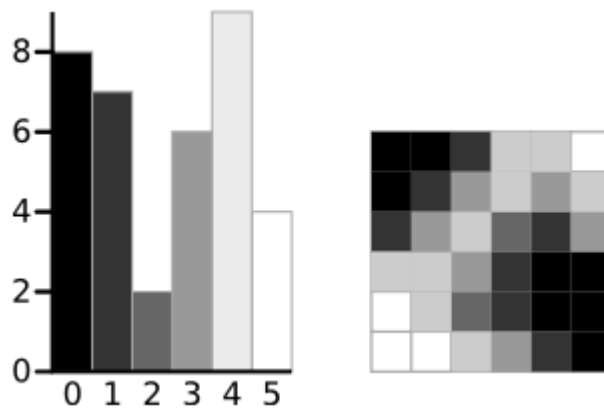
mạng trang **62-66** của **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers - Viện kỹ sư Điện và Điện Tử).

Theo như tên gọi bài báo của tác giả A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms, phương pháp Otsu tập trung vào việc khai thác và tính toán từ thông tin Histogram của bức ảnh. Bằng việc tính toán trên tất cả các mức Threshold, ta có thể chọn mức thỏa mãn việc phân chia giữa Foreground và Background tốt nhất.



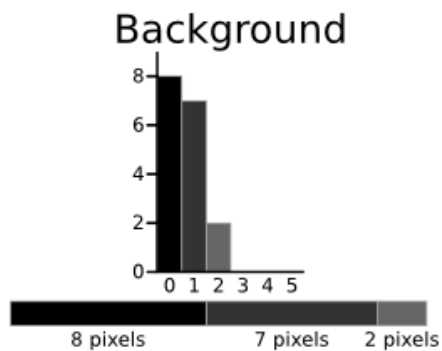
Hình 3. 8. Biểu đồ phân bố thông tin Histogram của bức ảnh

Otsu thực hiện tính toán 3 tham số chính ω , μ , σ đại diện cho Trọng số, giá trị trung bình, phương sai. Ví dụ đơn giản với bức ảnh 6x6 với 6 mức xám sau:



Lựa chọn ngưỡng ban đầu bằng 3, ta tính toán trên 2 tập Background < 3 và Foreground ≥ 3 như sau:

Background



Trọng số Weight :

$$\omega_b = \frac{8+7+2}{36} = 0.4722$$

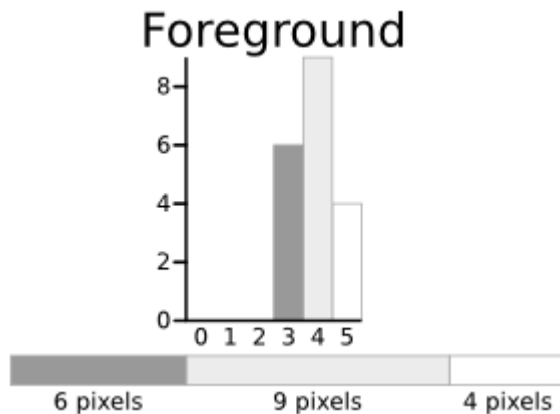
Giá trị trung bình Mean:

$$\mu_b = \frac{(0 \times 8) + (1 \times 7) + (2 \times 2)}{17} = 0.6471$$

Phương sai Variance:

$$\sigma_b^2 = \frac{((0-0.6471)^2 \times 8) + ((1-0.6471)^2 \times 7) + ((2-0.6471)^2 \times 2)}{17} = 0.4637$$

Foreground



Trọng số Weight:

$$\omega_f = \frac{6+4+9}{36} = 0.5278$$

Giá trị trung bình Mean:

$$\mu_f = \frac{(3 \times 6) + (4 \times 9) + (5 \times 4)}{19} = 3.8947$$

Phương sai Variance:

$$\sigma_f^2 = \frac{((3-3.8947)^2 \times 6) + ((4-3.8947)^2 \times 9) + ((5-3.8947)^2 \times 4)}{19} = 0.5152$$

Within-Class Variance

Cuối cùng, ta tính toán phương sai theo lớp:

$$[\sigma_W^2 = \omega_b \sigma_b^2 + \omega_f \sigma_f^2 = 0.47220.4637 + 0.52780.5152 = 0.4909]$$

Bằng việc tính toán như trên với tất cả các giá trị ngưỡng có thể trong bức ảnh, ta được một bảng như sau:

Threshold	T=0	T=1	T=2	T=3	T=4	T=5
Weight, Background	$W_b = 0$	$W_b = 0.222$	$W_b = 0.4167$	$W_b = 0.4722$	$W_b = 0.6389$	$W_b = 0.8889$
Mean, Background	$M_b = 0$	$M_b = 0$	$M_b = 0.4667$	$M_b = 0.6471$	$M_b = 1.2609$	$M_b = 2.0313$
Variance, Background	$\sigma_b^2 = 0$	$\sigma_b^2 = 0$	$\sigma_b^2 = 0.2489$	$\sigma_b^2 = 0.4637$	$\sigma_b^2 = 1.4102$	$\sigma_b^2 = 2.5303$
Weight, Foreground	$W_f = 1$	$W_f = 0.7778$	$W_f = 0.5833$	$W_f = 0.5278$	$W_f = 0.3611$	$W_f = 0.1111$
Mean, Foreground	$M_f = 2.3611$	$M_f = 3.0357$	$M_f = 3.7143$	$M_f = 3.8947$	$M_f = 4.3077$	$M_f = 5.0000$
Variance, Foreground	$\sigma_f^2 = 3.1196$	$\sigma_f^2 = 1.9639$	$\sigma_f^2 = 0.7755$	$\sigma_f^2 = 0.5152$	$\sigma_f^2 = 0.2130$	$\sigma_f^2 = 0$
Within Class Variance	$\sigma_W^2 = 3.1196$	$\sigma_W^2 = 1.5268$	$\sigma_W^2 = 0.5561$	$\sigma_W^2 = 0.4909$	$\sigma_W^2 = 0.9779$	$\sigma_W^2 = 2.2491$

Chọn giá trị có **Within-Class Variance** nhỏ nhất, ta chọn được mức ngưỡng thích hợp là **T=3**.



Ngoài ra, một hướng tiếp cận nữa giúp giảm độ tính toán của phương pháp là tính toán **Between Class Variance** có giá trị lớn nhất.

$$[\sigma_B^2 = \sigma^2 - \sigma_W^2]$$

$$[=W_b(\mu_b - \mu)^2 + W_f(\mu_f - \mu)^2]$$

$$[=W_bW_f(\mu_b - \mu_f)^2]$$

$$\text{với } \mu = W_b\mu_b + W_f\mu_f$$

Threshold	T=0	T=1	T=2	T=3	T=4	T=5
Within Class Variance	$\sigma^2_W = 3.1196$	$\sigma^2_W = 1.5268$	$\sigma^2_W = 0.5561$	$\sigma^2_W = 0.4909$	$\sigma^2_W = 0.9779$	$\sigma^2_W = 2.2491$
Between Class Variance	$\sigma^2_B = 0$	$\sigma^2_B = 1.5928$	$\sigma^2_B = 2.5635$	$\sigma^2_B = 2.6287$	$\sigma^2_B = 2.1417$	$\sigma^2_B = 0.8705$

Việc xác định ngưỡng các ảnh Landsat 5 và Landsat 8 trên hệ thống điện toán đám mây được mã hóa theo dòng lệnh sau đây:

```

////////////////////////////////////// OSTU FUNCTION ////////////////////////////////////////

var otsu = function(histogram) {

    var counts = ee.Array(ee.Dictionary(histogram).get('histogram'));

    var means = ee.Array(ee.Dictionary(histogram).get('bucketMeans'));

    var size = means.length().get([0]);

    var total = counts.reduce(ee.Reducer.sum(), [0]).get([0]);

    var sum = means.multiply(counts).reduce(ee.Reducer.sum(), [0]).get([0]);

    var mean = sum.divide(total);

    var indices = ee.List.sequence(1, size);

    var bss = indices.map(function(i) {

        var aCounts = counts.slice(0, 0, i);

        var aCount = aCounts.reduce(ee.Reducer.sum(), [0]).get([0]);

        var aMeans = means.slice(0, 0, i);

        var aMean = aMeans.multiply(aCounts)

            .reduce(ee.Reducer.sum(), [0]).get([0])

```

```

        .divide(aCount);

    var bCount = total.subtract(aCount);

    var bMean = sum.subtract(aCount.multiply(aMean)).divide(bCount);

    return aCount.multiply(aMean.subtract(mean).pow(2)).add(
        bCount.multiply(bMean.subtract(mean).pow(2)));
});

return means.sort(bss).get([-1]);
};

```

3. 4. Xuất dữ liệu đường bờ

Đường bờ xuất ra dạng vector với định dạng shapefile theo dòng lệnh sau đây:

```

////////////////////////////////////EXPORT////////////////////////////////////
var ExportCol = function(col, folder, scale, type, nimg, maxPixels, region)
{
    type = type || "float";
    nimg = nimg || 500;
    scale = scale || 30; //change this one to 10m for Sentinel-1
    maxPixels = maxPixels || 1e13;

    var colList = col.toList(nimg);
    var n = colList.size().getInfo();

```

```
for (var i = 0; i < n; i++) {  
    var img = ee.Image(colList.get(i));  
    var id = img.id().getInfo();  
    region = aoi || img.geometry().bounds().getInfo()["coordinates"];  
  
    var imgtype = {"float":img.toFloat(),  
                  "byte":img.toByte(),  
                  "int":img.toInt(),  
                  "double":img.toDouble()  
                  }  
  
    Export.image.toDrive({  
        image:imgtype[type].select('waterMask'),  
        description: id,  
        region: aoi,  
        scale: scale,  
        crs: 'EPSG:32648',  
        maxPixels: maxPixels})  
    }  
}
```

```

var Ras_to_ver = function(col, folder, scale, type, nimg, maxPixels,
region) {

    type = type || "float";

    nimg = nimg || 500;

    scale = scale || 30; //change this one to 10m for Sentinel-1

    maxPixels = maxPixels || 1e13;

    var colList = col.toList(nimg);

    var n = colList.size().getInfo();

    for (var i = 0; i < n; i++) {

        var img = ee.Image(colList.get(i));

        var id = 'Vt'+img.id().getInfo();

        region = aoi || img.geometry().bounds().getInfo()["coordinates"];

        var imgtype = {"float":img.toFloat(),
                        "byte":img.toByte(),
                        "int":img.toInt(),
                        "double":img.toDouble()
                      }

        var ck = img.select('waterMask')

        var vector = ck.reduceToVectors({

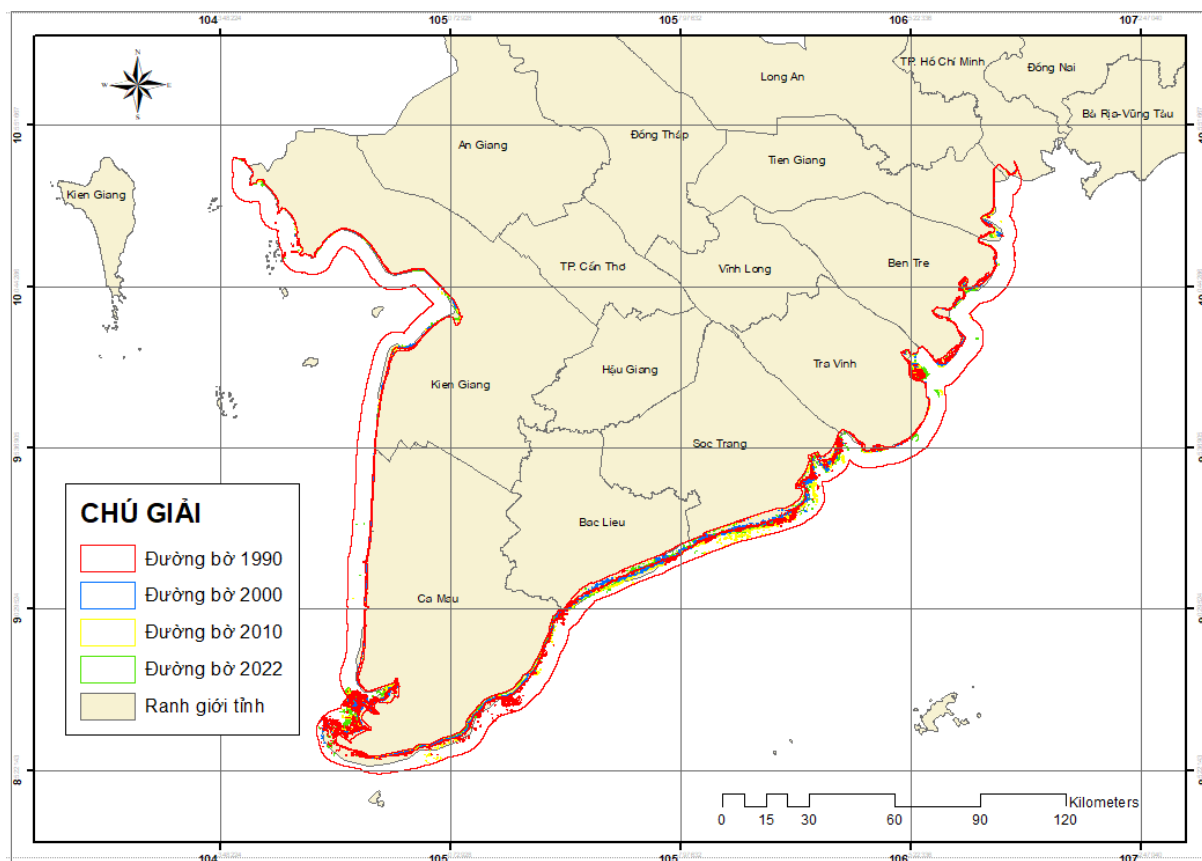
```



```
reducer: ee.Reducer.countEvery(),
geometry: aoi,
scale: scale,
maxPixels: 1e10,
eightConnected: false
})
var visParams = {color: 'red'}
Map.addLayer(vector, visParams, id)
print(vector)
Export.table.toDrive({
collection: vector,
folder: 'WaterMask',
description: id,
fileFormat: 'SHP'
});
}
}

Ras_to_ver(ndwiCollection)
ExportCol(ndwiCollection, "Landsat_imgs", 30)
```

```
Map.addLayer(ndwiCollection.select('waterMask'), {min:0,max:1,palette
:['yellow','blue']},'nc');
```



Hình 3. 9. Bản đồ đường bờ các năm 1990, 2000, 2010 và 2022

4. Đánh giá biến động đường bờ vùng đồng bằng sông Cửu Long

Biến động đường bờ trong suốt các giai đoạn 1990 – 2000, 2000 – 2010 và 2010 – 2022 diễn ra mạnh mẽ và có thay đổi khác nhau qua từng giai đoạn. Biến động đường bờ được biểu thị qua sự xói lở và bồi tụ. Tuy nhiên, sự biến động đường bờ ở các giai đoạn này có điểm chung tại một số khu vực.

4.1. Đánh giá xói lở

Đường bờ bị xói lở tập trung ở khu vực Kiên Giang, Cà Mau và Trà Vinh. Theo mặt cắt ngang, bờ biển bị xói lở trung bình khoảng 354m sau hơn 30 năm (1990 – 2022). Từ năm 1990 đến 2000, bờ biển bị xói lở khoảng 118m; sang

đến giai đoạn 2000 – 2010 thì bờ biển gần như không có biến động. Tuy nhiên, sang đến giai đoạn 2010 – 2022 bờ biển tiếp tục bị xói lở mạnh, khoảng 241m trong vòng 12 năm (hình dưới).

Sự xâm thực của biển thời gian gần đây trên địa bàn tỉnh có xu hướng ngày càng tăng mạnh hơn, diễn biến phức tạp, khó lường, mức độ xói lở rất nguy hiểm. Nếu không có giải pháp kịp thời, tích cực để phòng, chống xói lở bờ biển, các tác động xấu sẽ ngày càng ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống của người dân và những công trình khác trong khu vực.

Đặc biệt, một số đoạn bờ biển trên địa bàn các huyện An Minh, An Biên, Hòn Đất và Kiên Lương, tình trạng xói lở xảy ra nghiêm trọng, đe dọa trực tiếp đến an toàn đề điều đối với tuyến đê biển phía trong, nguy cơ ảnh hưởng lớn đến diện tích sản xuất của nhân dân.

Đến nay, bờ biển Kiên Giang bị xói lở, với tổng chiều dài 64,37 km, trong đó 31,21 km xói lở đặc biệt nguy hiểm, 11,25 km xói lở nguy hiểm và 21,91 km đang xói lở.

Hiện nay, phần lớn chiều dài bờ biển trên địa bàn tỉnh Kiên Giang chưa được đầu tư xây dựng các công trình bảo vệ. Do đó, hiện tượng xói lở bờ biển ngày càng nghiêm trọng, ảnh hưởng đến các công trình, cơ sở hạ tầng và đời sống người dân ven biển...

Thời gian qua, một số nhà của người dân sinh sống ven biển bị sụp, lở nên nhà nên phải di dời đến nơi ở mới. Hiện nay, còn một số hộ dân có nền nhà bị sạt lở nhưng vẫn sinh sống trên các nhà bằng gỗ, cách bờ từ 20 - 50 m; đường dẫn từ bờ ra nhà bằng cầu cây rất nguy hiểm, nhất là trong mùa mưa bão. Ngoài ra, hệ thống đường dây điện qua khu vực này cũng đang đối mặt với tình trạng mất an toàn do sạt lở đất đến chân cột điện.

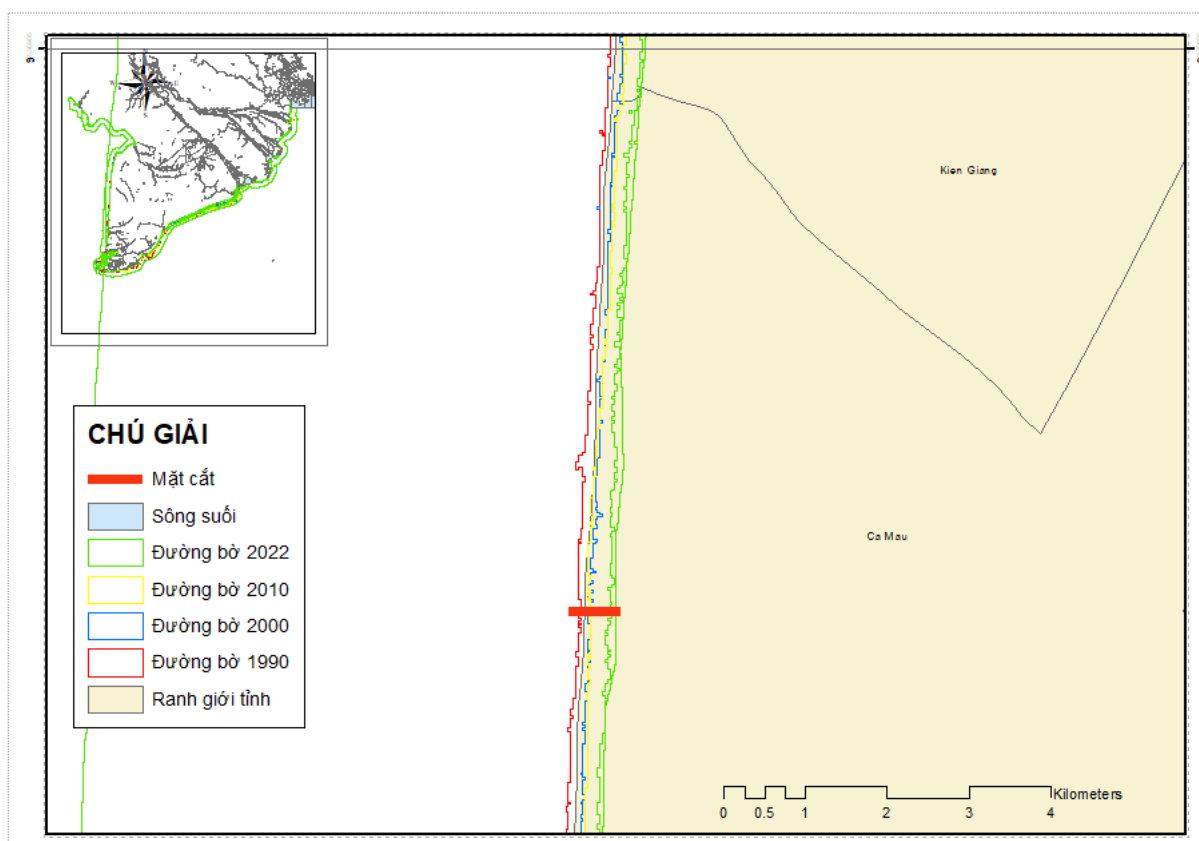
Qua quan trắc ở tỉnh Cà Mau, ở biển Tây tốc độ sạt lở trung bình từ 20 ÷ 25m/năm, có một số vị trí lên đến 50m/năm, ở biển Đông trung bình từ 45 ÷ 50m, cá biệt có những nơi lên đến 80m/năm.

Cụ thể, bờ biển Đông với chiều dài xói lở nguy hiểm khoảng 48.000m, trong đó, sạt lở rất nguy hiểm khoảng 29.500m tập trung trên địa bàn các xã Tam Giang Đông (huyện Năm Căn); xã Đất Mũi, xã Tân Ân và thị trấn Rạch Gốc (huyện Ngọc Hiển).

Đối với bờ biển Tây xói lở với chiều dài 57.000m, trong đó có nhiều đoạn không còn rừng phòng hộ, hoặc đai rừng phòng hộ chỉ còn vài chục mét. Hiện nay, tình hình sạt lở bờ biển Tây ngày càng nguy cấp hơn, những dãy rừng phòng hộ ven biển dần biến mất nên đê biển Tây thường xuyên bị sóng to, gió lớn uy hiếp, nguy cơ vỡ đê rất cao, nhất là, vào mùa mưa bão, gió Tây Nam hoạt động mạnh cộng với triều cường dâng cao.

Bờ biển tỉnh Cà Mau thường xuyên bị xói lở nguy hiểm với chiều dài 105km, làm ảnh hưởng đến tính mạng, tài sản của nhân dân và nhà nước, không chỉ cuốn mất đất sản xuất, đe dọa đê biển Tây, mất rừng phòng hộ xung yếu, mà còn lấy đi sinh kế, tác động tiêu cực đến đời sống người dân vùng ven biển.

Diễn hình là việc sóng to, gió lớn kết hợp với triều cường dâng cao gây ra tràn và sạt lở đê biển Tây xảy ra vào ngày 03/8/2019. Mùa mưa bão năm 2020, chỉ trong vòng 1 tháng đã xảy ra liên tiếp 5, 6 cơn bão, bão chông bão, mưa chông mưa đã gây sạt lở trầm trọng gần 10km bờ biển Tây, đã trực tiếp ảnh hưởng đến 26.160 hộ dân sinh sống ven biển và 128.900 ha đất sản xuất nông nghiệp.

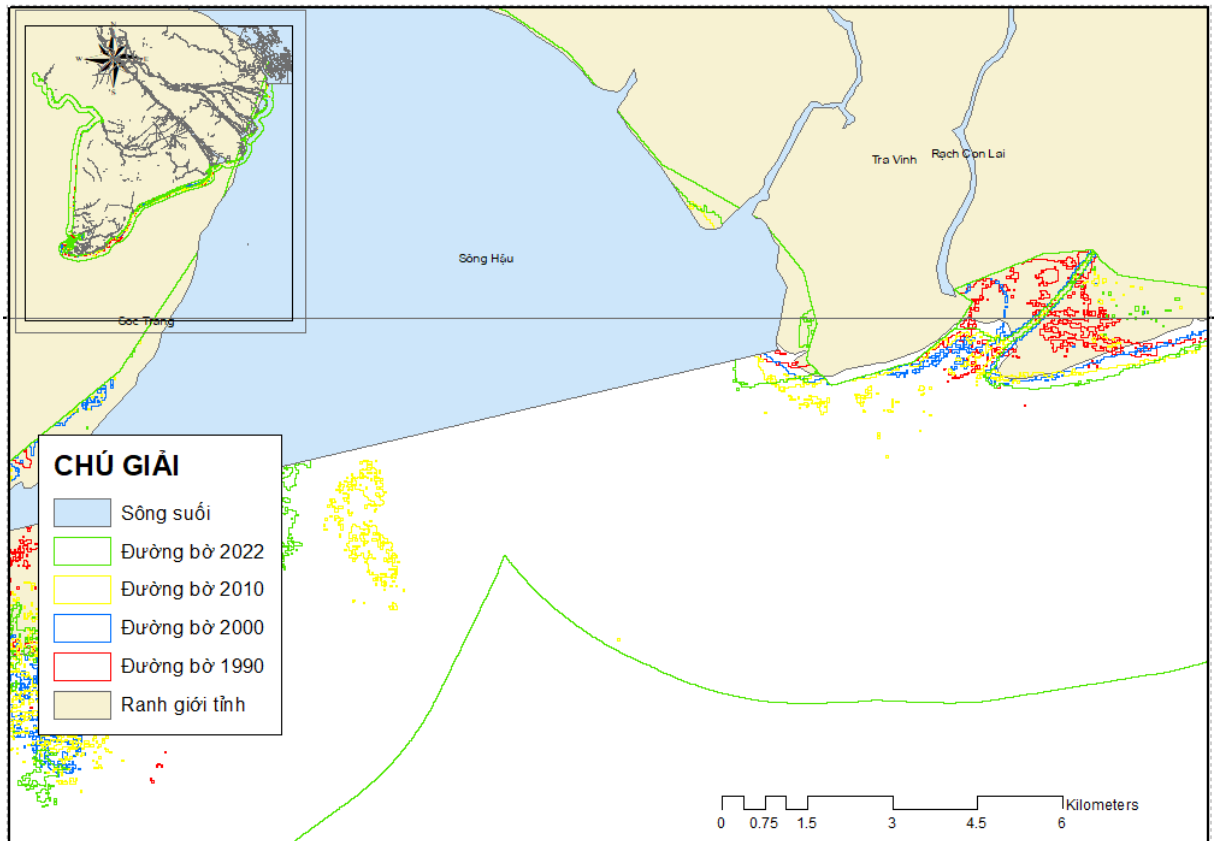


Hình 3. 10. Bản đồ đường bờ và mặt cắt biến động đường bờ 1990 - 2022

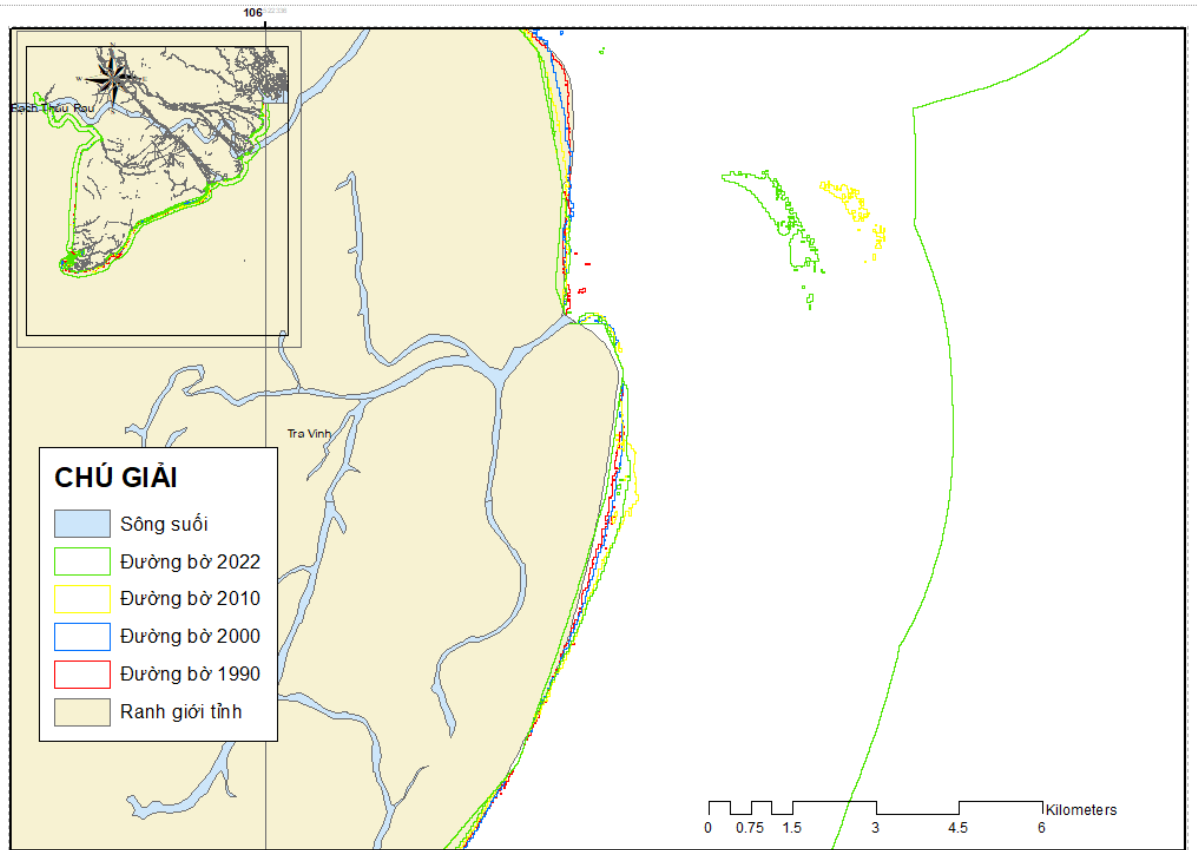
Trong vài năm gần đây, tại một số vị trí bờ biển Trà Vinh đang diễn ra sạt lở bờ, bãi biển, tốc độ và phạm vi xói lở tăng dần và diễn biến ngày càng phức tạp. Trong đó nơi có tốc độ xói lở lớn và nghiêm trọng nhất thuộc các khu vực: (i) Khu vực ấp Bào, xã Hiệp Thạnh; (ii) Khu vực cấp Cồn Trúng, xã Trường Long Hòa; (iii) Khu vực Dân Thành. Ngoài ra, dọc theo bờ biển Trà Vinh có những khu vực xói lở xen kẽ và thay đổi theo mùa gió Đông Bắc và Tây Nam. Mùa gió Đông Bắc thường gây xói lở bờ biển mạnh hơn gió Tây Nam. Bên cạnh đó, khu vực đầu và cuối bờ biển của tỉnh lại là khu vực bồi tụ với tốc độ lớn nhất, đó là đoạn bờ biển xã Mỹ Long Nam - nơi tiếp giáp cửa Cung Hầu (sông Cổ Chiên) và xã Đông Hải - nơi tiếp giáp với cửa Định An (sông Hậu) phía bờ tả.

Để giảm thiểu mức độ xói lở và bảo vệ dân cư, phát triển kinh tế - xã hội của khu vực, Ủy ban nhân dân tỉnh Trà Vinh đã phê duyệt các dự án: Kè Hiệp Thạnh - giai đoạn cấp bách và giai đoạn 2; Kè Cồn Trúng - giai đoạn 1. Các dự án xây dựng

kè bảo vệ bờ biển bước đầu đã phát huy tác dụng rõ rệt. Tuy nhiên còn nhỏ lẻ, rời rạc, chưa có tính toán tổng thể cho toàn bộ bờ biển của tỉnh. Do đó cần có giải pháp chính trị tổng thể để ổn định bờ biển toàn tỉnh và phát huy hết hiệu quả của các công trình cũng như phát huy các tiềm năng bảo vệ bờ biển hiện có của địa phương.



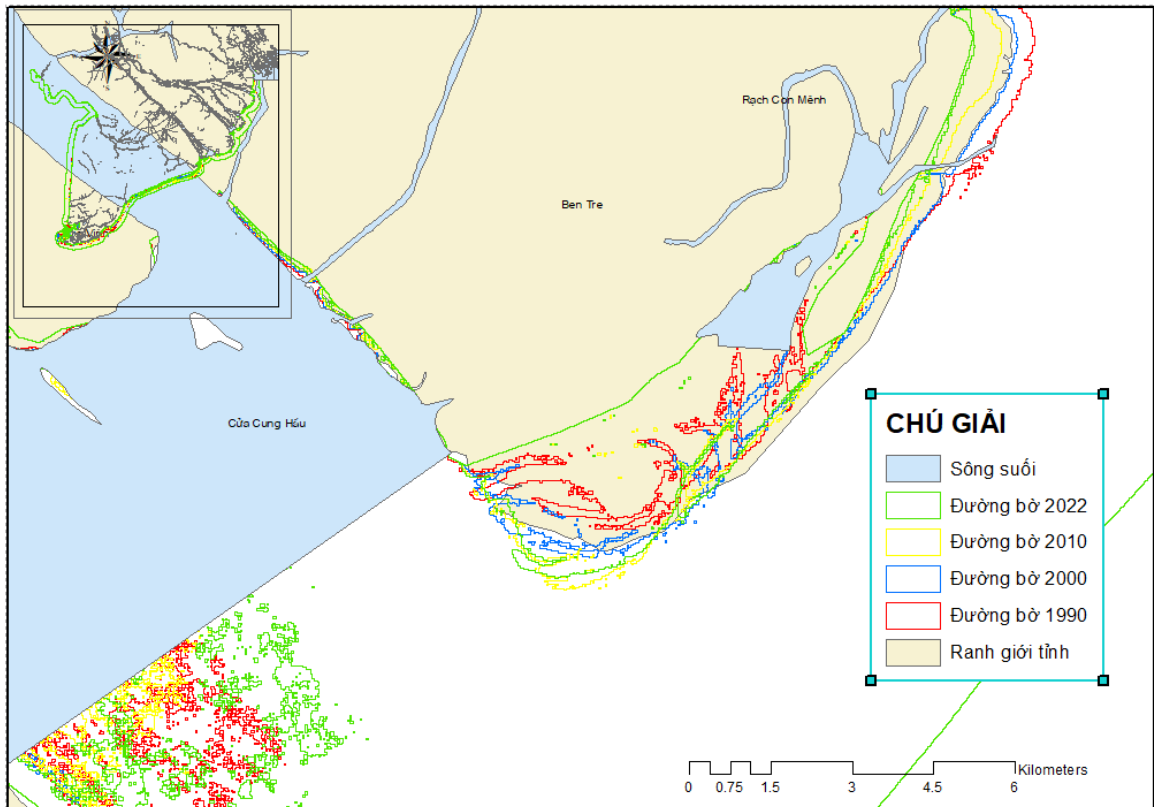
Hình 3. 11. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Trà Vinh (1)



Hình 3. 12. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Trà Vinh (2)

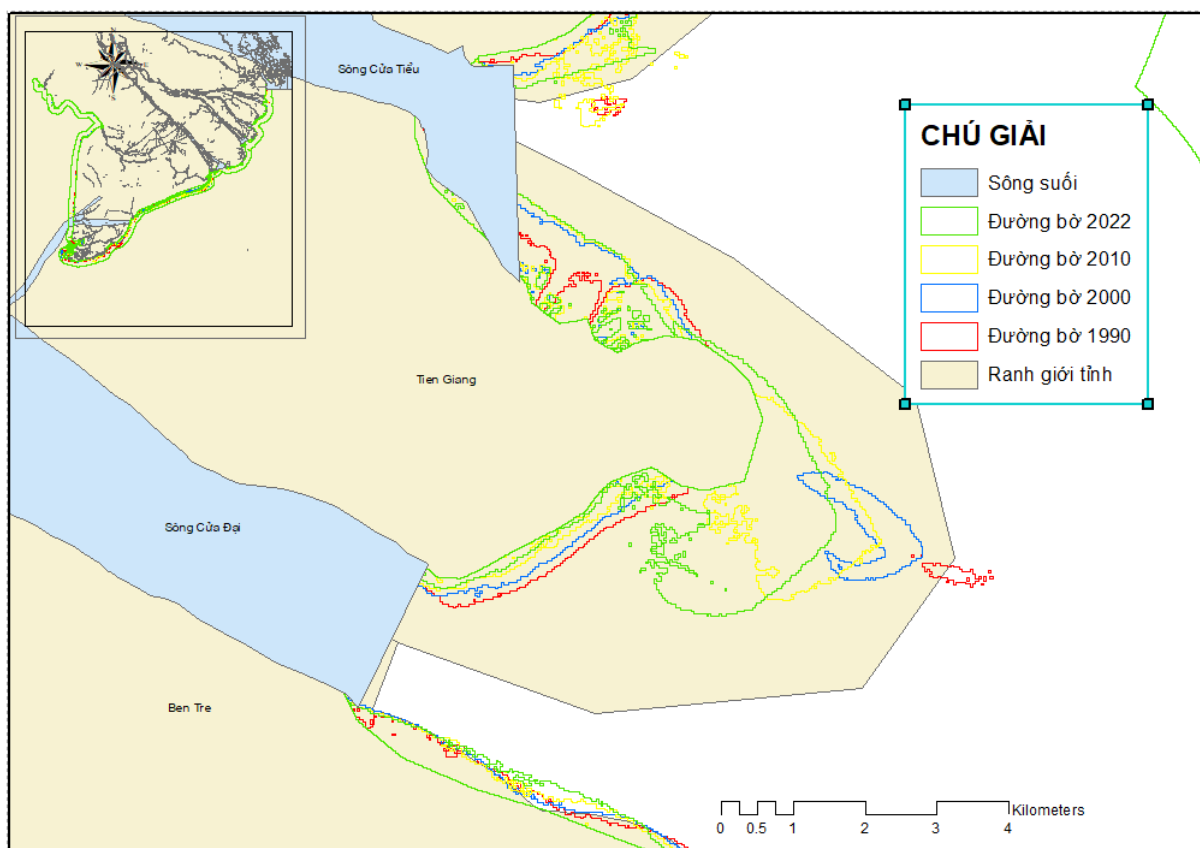
4.2. Đánh giá bồi tụ

Trái ngược với hiện tượng xói lở, hiện tượng bồi tụ ở đồng bằng sông Cửu Long diễn ra mạnh mẽ và tập chung chủ yếu ở các cửa sông lớn, như sông: Rạch Con Mênh, Cửa Cung Hầu (hình 3.13) là sự xuất hiện các roi cát mới. Song song với quá trình xuất hiện roi cát mới là sự xói lở dẫn đến sự biến mất của roi cát cũ. Hình 3.12 dưới đây là sự xuất hiện và biến mất của roi cát trong giai đoạn 2010 và 2022.



Hình 3. 13. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Bến Tre

Hình 1.14 dưới đây chúng ta có thể thấy rõ sự dịch chuyển của các roi cát qua các thời kỳ 1990 (màu đỏ), 2000 (xanh blue), 2010 (màu vàng) và năm 2011 (xanh green). Sự dịch chuyển của các roi cát này là khu vực nằm giữa của Đại và cửa Tiểu thuộc tỉnh Bến Tre. Trong dải này có những vùng bờ được bồi tụ liên tục. Các điểm bồi tụ phát triển mạnh và liên tục là Ba Tri và cồn Giồng lơn (nằm giữa cửa Tiểu và cửa Đại).



Hình 3. 14. Bản đồ biến động đường bờ khu vực Tiền Giang

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Với ưu điểm vượt trội của công nghệ viễn thám bằng việc cung cấp chuỗi các hình ảnh trực quan, khách quan, bao quát, chi tiết về bề mặt Trái đất trong thời gian dài. Bên cạnh đó, công nghệ điện toán đám mây dễ dàng cho chúng ta thu thập và phân tích ảnh đa thời gian để nghiên cứu tài nguyên và môi trường một cách hiệu quả, đặc biệt là các tai biến thiên nhiên như sạt lở đường bờ sông xói lở bờ biển. Việc nghiên cứu diễn biến biến động đường bờ từ quá khứ cho tới hiện tại sẽ là cơ sở quan trọng trong việc theo dõi và đánh giá xói lở bờ biển.

Kết quả nghiên cứu từ việc ứng dụng viễn thám để theo dõi và đánh giá quá trình biến động đường bờ biển tại khu vực ven biển đồng bằng sông Cửu Long là rất phức tạp. Nhiều khu vực được bồi tụ nhưng cũng nhiều khu vực bị xói lở nghiêm trọng. Nguyên nhân cơ bản dẫn đến sự biến đổi này được xác định do quá các hoạt động của thủy hải văn, các hoạt động trầm tích và hoạt động sử dụng đất ở đất liền.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Đức Anh Huy, Trần Tuấn Tú. Đánh giá biến động bờ sông Khu vực Vàm Nao. Tạp chí phát triển KH&CN tập 18 số M2-2015.
2. Trịnh Thế Hiếu, Lê Phước Trình, Tô Quang Thịnh, 2005. “Hiện trạng và dự báo sự biến động bờ biển và các cửa sông ven biển Việt Nam”.
3. Lê Mạnh Hùng, Nguyễn Duy Khang, Lê Thanh Chương. “Xói lở, bồi tụ bờ biển Nam bộ từ Thành phố Hồ Chí Minh đến Kiên Giang”. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
4. T. L. Hùng, 2013. "Phương pháp tỉ số ảnh và ứng dụng trong phát hiện khoáng chất oxit sắt, sét, kim loại màu," *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, vol. 4, pp. 19 – 24.
5. Trương Phước Minh, Nguyễn Thị Diệu, Trần Thị Ân, Nguyễn Văn Nam. “Ứng dụng GIS và Viễn thám nghiên cứu trượt lở đất ở thành phố Đà Nẵng”. Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2011.
6. Phan Anh Tuấn, 2004. Báo cáo đề tài điều tra cơ bản “Diễn biến đường bờ biển từ Bình Thuận – Mũi Cà Mau đến Kiên Giang”. Lưu trữ Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam
7. Hoàng Trang Thu, Đào Nguyên Khôi, Phạm Thị Lợi, Nguyễn Văn Hồng. “Phân tích biến động đường bờ sông khu vực Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1989 – 2015”. Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ: 81 chuyên san khoa học trái đất & môi trường, tập 2, số 2, 2018.
8. Vũ Danh Tuyên và Trịnh Lê Hùng., 2013. "Nghiên cứu phương pháp xác định biến động đường bờ từ kết quả phân loại ảnh viễn thám đa thời gian," *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường*, vol. 1,

9. Nguyễn Trọng Yên. Điều tra đánh giá hiện tượng trượt lở nguy hiểm và kiến nghị các giải pháp phòng tránh giảm nhẹ thiệt hại ở một số vùng trọng điểm thuộc tỉnh Lào Cai. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN tỉnh Lào Cai. Sở KHCN&MT Lào Cai, 2000.

10. “Nghiên cứu khảo sát tình hình sạt lở bờ sông và đề xuất giải pháp chỉnh trị trên địa bàn tỉnh Phú Thọ”. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN của Sở NN&PTNT Phú Thọ, 2000.

11. “Chuyển động hiện đại và sự hình thành khe nứt hiện đại trũng Sông Hồng”. Báo cáo tổng kết đề tài Nhà Nước 48.02.08. Viện các khoa học về Trái Đất.

12. Avinash, K., A. C. N., K.S. Jayappaa, 2010. Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: A remote sensing and statistics-based approach. *Geomorphology*, 120, pp. 133–152

13. Bedini, E. (2007) Use of GIS and Remote Sensing to Detect Change along the Coastline Segment between Shkumbini and Semani Rivers, Central Albania. *Proceedings of the 11th International Congress Bulletin of the Geological Society of Greece*, XXXX, Athens, 24-26 May 2007, 1916-1924

14. Kasetsart, J., P. D., 2005. Coastal Landuse Change Detection Using Remote Sensing Technique: Case Study in Banten Bay, West Java Island, Indonesia. *Natural Sciences*, 39, pp. 159-164.

15. Khan, I., Ahammad, M. and Sarker, S. (2014) A Study on River Bank Erosion of Jamuna River Using GIS and Remote Sensing Technology. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2, 3365-3371.

16. Gogoi, C. and Goswami, D.C. (2013) A Study on Bank Erosion and Bank Line Migration Pattern of the Subansiri River in Assam Using Remote

Sensing and GIS Technology. The International Journal of Engineering and Science (IJES), 2, 1-6.

17. Nath, B., Naznin, S.N. and Paul, A. (2013) Trends Analysis of River Bank Erosion at Chandpur, Bangladesh: A Remote Sensing and GIS Approach. International Journal of Geomatics and Geosciences, 3, 454-463.

18. NOAA (1997). Shoreline mapping.
<http://anchor.ncd.noaa.gov/psn/shoreline.html>.

19. Zhao Yingshi. Remote Sensing Applications, Principles and Methods. Beijing: Science Press, 2003.

20. <https://www.usgs.gov/>.