

## Quan trắc diễn biến đường bờ Cù Lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám

Huỳnh Đăng Khoa<sup>1</sup>, Huỳnh Thị Cẩm Hồng<sup>2</sup>, Trần Nhật Thanh<sup>3</sup>, Nguyễn Thị Thúy Liễu<sup>1</sup>, Trần Văn Tỷ<sup>2</sup>, Cao Tấn Ngọc Thân<sup>2</sup>, Cù Ngọc Thắng<sup>2</sup>, Huỳnh Thanh Toàn<sup>4</sup>, Huỳnh Minh Tuấn<sup>4</sup>, Đinh Văn Duy<sup>2\*</sup>, Trần Quốc Ninh<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Học viên cao học, Khoa Kỹ Thuật Thủy lợi, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>2</sup>Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ; dveduy@ctu.edu.vn

<sup>3</sup>Sinh viên Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

<sup>4</sup>Ban Quản lý Dự án Đầu tư Xây dựng Công trình Dân dụng và Công nghiệp tỉnh Hậu Giang

<sup>5</sup>Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tỉnh Bạc Liêu

### TỪ KHOÁ

Cù Lao Dung  
Ảnh viễn thám  
Đường bờ  
DSAS  
NDVI  
NDWI

### TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là quan trắc diễn biến đường bờ sông và bờ biển của Cù Lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám giai đoạn 2008-2022. Ảnh đa phổ Landsat được sử dụng để phân loại và chiết xuất đường bờ. Các kết quả phân tích cho thấy từ năm 2008 đến 2022, tổng diện tích đường bờ biển tăng 309 ha, đường bờ sông giảm 78 ha, tại vị trí xói lở nghiêm trọng nhất có đường bờ sông lùi sâu 61 m vào đất liền và tại vị trí có tốc độ bồi tụ lớn nhất, đường bờ biển đã được mở rộng thêm khoảng 650 m.

### KEYWORDS

Dung island  
Satellite image  
Shoreline  
DSAS  
NDVI  
NDWI

### ABSTRACT

The objective of this study is observing the shoreline change around Dung island from 2008 to 2022 by remote sensing techniques. Multispectral Landsat images were utilized for the analysis. The analysis results show that from 2008 to 2022, the beach area increased 309 ha while the erosion have caused 78 ha of land lost along the riverbank. In addition, maximum erosion with the retreat of 61 m of the riverbank was observed and the shoreline along the beach advanced 650 m.

### 1. Mở đầu

Cù Lao Dung là một trong các cù lao lớn ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với diện tích 245,04 km<sup>2</sup> và dân số năm 2020 đạt 64.455 người [1]. Cù Lao Dung được phù sa sông Hậu bồi đắp nên đất đai rất màu mỡ và thuận lợi cho phát triển nông nghiệp. Với gần 17 km đường bờ biển, khai thác và nuôi trồng thủy sản còn là một hướng phát triển kinh tế của huyện. Trong những năm gần đây, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (ĐCKH) nên các thiên tai xảy ra ngày càng nhiều trên Cù Lao Dung. Trận lũ tháng 10 năm 2011 đã phá hủy nhiều tuyến đê trên huyện Cù Lao Dung và ảnh hưởng 2.000 ha diện tích cây trồng [2]. Mặc dù các tai biến bờ sông bờ biển đang diễn biến hết sức phức tạp trên địa bàn huyện Cù Lao Dung, có rất ít nghiên cứu về xói lở bờ sông bờ biển được tiến hành tại khu vực này. Các nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến Cù Lao Dung chủ yếu tập trung vào khu vực bờ biển như mô phỏng ảnh hưởng của bãi bồi đến khả năng giảm năng lượng sóng khu vực Cù Lao Dung của Albers và Lieberman [3]. Trong nghiên cứu này, mô hình Delft-3D đã được sử dụng kết hợp với các số liệu khảo sát thực địa về địa hình, bùn cát, mực nước và sóng để mô phỏng các kịch bản giảm sóng khác nhau tương ứng với các điều kiện về thay đổi địa hình bãi bồi phía trước bờ biển Cù Lao Dung. Mullarney và ctv. (2017) đã tiến hành khảo sát thực địa và lắp đặt các thiết bị

quan trắc để đánh giá hiệu quả giảm sóng và giữ bùn cát của đai rừng ngập mặn dọc theo bờ biển huyện Cù Lao Dung [4]. Các thiết bị quan trắc được nhóm nghiên cứu tiến hành lắp đặt tại các vị trí cách 150 m về phía biển và phía đất liền tính từ mép ngoài cùng của đai rừng ngập mặn. Các chuyến thực địa của nhóm nghiên cứu đã được tiến hành 2 lần trong một năm để có thể thu thập được đầy đủ dữ liệu về chế độ sóng theo mùa của khu vực biển Đông. Kết quả nghiên cứu cho thấy với chiều sâu cột nước 1 m, chiều cao sóng sẽ bị giảm một nửa khi đi vào khu vực rừng ngập mặn. Gần đây, Điệp và ctv. (2022) đã sử dụng ảnh vệ tinh Landsat kết hợp với công cụ DSAS để đánh giá biến động đường bờ biển tại các cửa sông của ĐBSCL trong đó có đường bờ biển Cù Lao Dung từ năm 1989 đến 2017 [5]. Dựa trên các kết quả thống kê vận tốc xói lở/bồi tụ đường bờ bằng công cụ DSAS, dự báo diễn biến đường bờ biển khu vực Cù Lao Dung cho giai đoạn 2019-2025 cũng đã được thực hiện. Có thể thấy các nghiên cứu trước đây chỉ tập trung phân tích diễn biến đường bờ biển khu vực Cù Lao Dung. Tuy nhiên, huyện Cù Lao Dung được bao bọc bởi sông Hậu và Biển Đông. Ưu thế vị trí địa lý với 3 mặt giáp sông và biển đã tạo cho huyện Cù Lao Dung nhiều lợi thế trong phát triển kinh tế - xã hội [1]. Vì vậy, để đảm bảo an toàn cho dân sinh, kinh tế, xã hội trước nguy cơ nước biển dâng và những tác động xấu của biến đổi khí hậu, toàn bộ diễn biến đường bờ sông và bờ biển của huyện Cù Lao Dung cần được quan trắc một cách

\*Liên hệ tác giả: dveduy@ctu.edu.vn

Nhận ngày 22/12/2022, sửa xong ngày 10/02/2023, chấp nhận đăng 07/04/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2023.484>

đồng bộ và hệ thống. Với những lý do nêu trên, nghiên cứu này sẽ tập trung quan trắc biến động đường bờ sông và bờ biển huyện Cù Lao Dung trong những năm gần đây bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. Kết quả của nghiên cứu này sẽ góp phần giúp cho địa phương có một cách tiếp cận phù hợp trong việc đề xuất các phương án quản lý bờ sông và bờ biển huyện Cù Lao Dung một cách hợp lý và bền vững.

**2. Phương pháp nghiên cứu**

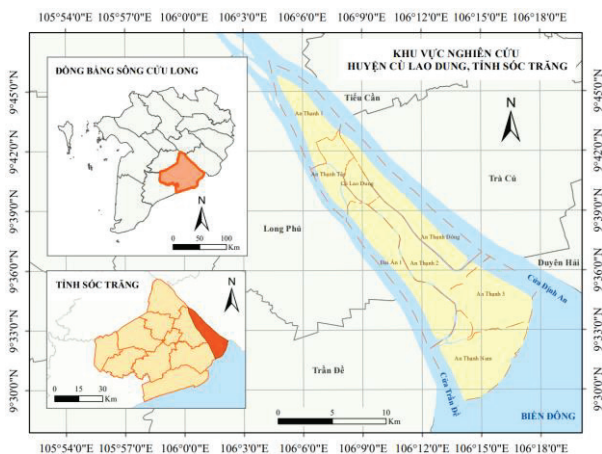
**2.1. Khu vực nghiên cứu**

Theo báo cáo quy hoạch sử dụng đất huyện Cù Lao Dung [1], Cù Lao Dung là huyện nằm trong vùng kinh tế biển của tỉnh Sóc Trăng, được thành lập năm 2002, trên cơ sở tách lập một phần diện tích của huyện Long Phú. Huyện có tổng diện tích tự nhiên năm 2020 là 24.503,70 chiếm khoảng 8% diện tích tự nhiên toàn tỉnh, tọa độ địa lý từ 09° 24' 10" đến 09° 48' 28" vĩ độ Bắc; từ 106° 3' 54" đến 106° 9' 15" kinh độ Đông. Chiều dài từ Đông sang Tây là 40 km, chiều rộng từ Tây Bắc đến Đông Nam trung bình khoảng 5 km. Huyện Cù Lao Dung có phía Đông giáp huyện Trà Cú, tỉnh Trà Vinh (cửa Định An); phía Tây giáp cửa Trần Đề qua huyện Long Phú; Phía Nam giáp biển Đông và Phía Bắc giáp Cồn Mỹ Phước, huyện Kế Sách (qua sông Hậu).

Địa hình huyện Cù Lao Dung bị chia cắt bởi hệ thống sông rạch tự nhiên hình thành nên nhiều cồn nhỏ với cao độ trung bình từ 0,5-1,2 m so với mực nước biển. Vùng ven biển là vùng bãi triều được hình thành sau nhiều năm bồi tụ nên có địa hình đồng bằng bãi bồi cửa sông và ven biển xen lẫn các cồn cát, độ cao trung bình 0,5-1,0 m so với mặt nước biển; vùng nội đồng cao độ thay đổi theo hướng từ Đông sang Tây, cao ở phía bờ sông Hậu và thấp dần vào nội đồng. Vị trí khu vực nghiên cứu được trình bày như trên Hình 1.

**2.2. Phân tích ảnh viễn thám**

Ảnh Landsat giai đoạn 2008-2022 được sử dụng để phân tích diễn biến đường bờ. Thông số của các ảnh viễn thám sử dụng trong nghiên cứu được trình bày như trong Bảng 1.



**Hình 1.** Khu vực nghiên cứu.

**Bảng 1.** Số liệu ảnh Landsat sử dụng trong phân tích.

Ngày chụp ảnh	Vệ tinh	Cảm biến	Số kênh ảnh	Độ phân giải (m)
09/03/2008	Landsat 5	TM	7	30
22/02/2014	Landsat 8	OLI/TIRS	11	30
07/02/2020	Landsat 8	OLI/TIRS	11	30
04/02/2022	Landsat 9	OLI/TIRS	11	30

Để chiết xuất đường bờ từ các ảnh đa phổ Landsat, phương pháp chỉ số chuẩn hóa thực vật NDVI được áp dụng để phân tách vùng nước và vùng đất huyện Cù Lao Dung theo công thức:

Đối với ảnh Landsat 5 [6]:

$$NDVI = \frac{B4 - B3}{B4 + B3} \tag{1}$$

Trong đó B4 là kênh cận hồng ngoại (NIR) và B3 là kênh ánh sáng đỏ (RED).

Đối với ảnh Landsat 8 [7]:

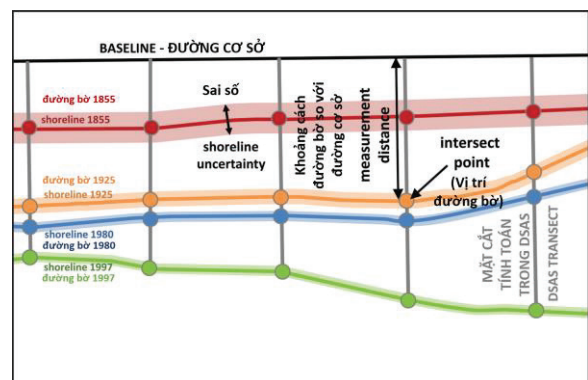
$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \tag{2}$$

Trong đó B5 là kênh cận hồng ngoại (NIR) và B4 là kênh ánh sáng đỏ (RED).

Sau khi chiết xuất đường bờ, tiến hành chồng bản đồ để tính toán sự thay đổi diện tích Cù Lao Dung qua các giai đoạn cũng như tính toán tốc độ thay đổi đường bờ.

**2.3. Thay đổi đường bờ và vận tốc thay đổi đường bờ**

Thay đổi đường bờ và vận tốc thay đổi đường bờ có thể được sử dụng như một thông số để đánh giá xu thế xói lở và bồi tụ của bờ sông hoặc bờ biển. Thay đổi đường bờ và vận tốc thay đổi đường bờ có thể tính toán bằng cách thống kê sự dịch chuyển của đường bờ qua các năm dọc theo các mặt cắt vuông góc với đường bờ. Trong nghiên cứu này, công cụ DSAS [8] được sử dụng để tính toán tốc độ thay đổi đường bờ theo các bước như trên **Error! Reference source not found.**: (1) chuẩn bị đường bờ, (2) tạo đường cơ sở, (3) tạo các mặt cắt, (4) tính toán khoảng cách từ đường cơ sở đến các đường bờ dọc theo các mặt cắt, và (5) tính toán vận tốc thay đổi đường bờ.



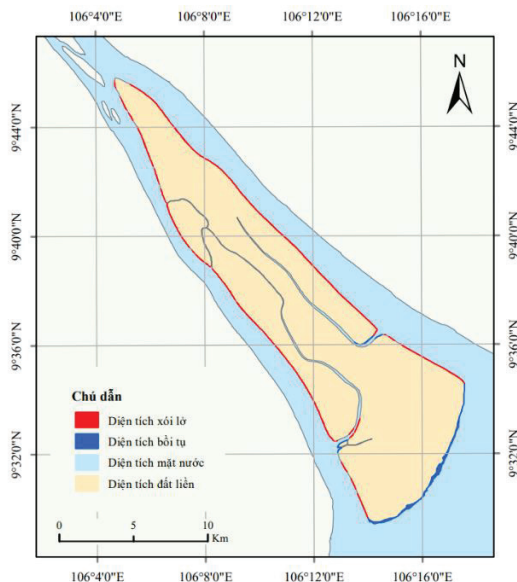
**Hình 2.** Sơ đồ tính toán thay đổi vị trí đường bờ bằng công cụ DSAS (nguồn: USGS).

### 3. Kết quả và thảo luận

Biến động đường bờ huyện Cù Lao Dung được phân thành 4 giai đoạn (2008 – 2014, 2014 – 2020, 2020 – 2022 và sự thay đổi tổng thể của diện tích từ 2008 – 2022). Lưu ý, trong nghiên cứu này, các số liệu tính toán mang giá trị dương (+) được quy ước là phần diện tích đang được bồi tụ thêm và ngược lại, khi xuất hiện các số liệu mang giá trị âm (-) thì khu vực đó được xem là có hiện tượng xói lở.

#### 3.1. Giai đoạn 2008-2014

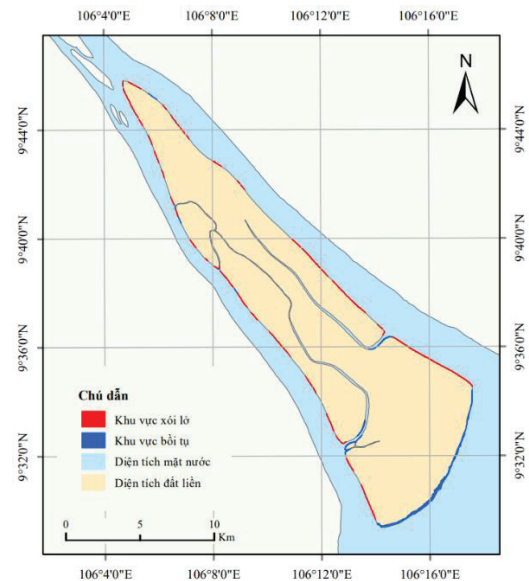
Giai đoạn từ năm 2008 – 2014, diện tích bề mặt huyện Cù Lao Dung tăng khoảng 54 ha, chiếm 23,48 % diện tích thay đổi trên toàn thời gian nghiên cứu. Cũng theo số liệu tính toán, tốc độ phát triển trung bình của diện tích khu vực đạt khoảng 9 ha/năm. Trong giai đoạn này, bãi bồi dọc ven bờ biển hai xã An Thạnh Nam và An Thạnh 3 được bồi tụ thêm khoảng 100 ha, ước tính thay đổi trung bình khoảng 16,70 ha/năm. Khu vực bờ sông xảy ra hiện tượng xói lở khá nặng với số liệu xói tính được trong 6 năm khoảng 46 ha. Diện tích xói lở với tốc độ trung bình đạt khoảng 7,70 ha/năm và chủ yếu phân bố dọc ven hai bên bờ sông Trần Đề, Đại Ngãi. Tuy nhiên, dựa vào bản đồ diễn biến đường bờ Cù Lao Dung giai đoạn 2008 - 2014, cũng thấy thêm một số địa điểm bồi lắng ở hai sông Cồn Tròn và Cồn Cọc, đa phần các vị trí được ghi nhận tập trung ở cửa sông. Nổi bật là khu vực rừng ngập mặn ở cửa sông Cồn Tròn thuộc xã An Thạnh Nam, nơi đây còn có tên gọi là Cồn Khi. Tính riêng khu vực này, diện tích bồi từ năm 2008 – 2014 đã đạt 3 ha cùng với tốc độ thay đổi trung bình mỗi năm khoảng 0,5 ha/năm.



Hình 3. Bản đồ diễn biến đường bờ Cù Lao Dung giai đoạn 2008 – 2014.

#### 3.2. Giai đoạn 2014-2020

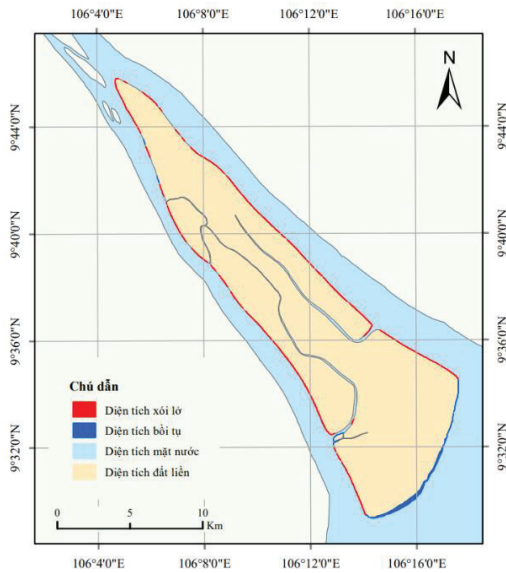
Từ năm 2014 – 2020, huyện Cù Lao Dung vẫn xuất hiện tình trạng xói bồi xen kẽ nhau theo từng khu vực. Tuy nhiên, ở giai đoạn này, tình trạng sạt lở bờ diễn ra ít và phân bố rải rác hơn, bồi tụ chiếm ưu thế với tốc độ bồi trung bình dao động khoảng 18,30 ha/năm cùng diện tích đất liền được mở rộng gần 110 ha (chiếm 47,83%). Trong đó, phần bồi chủ yếu là diện tích đất ven biển với hơn 106 ha. Ngoài ra, điểm đáng chú ý trong thời gian này là sự bồi tụ nhẹ của các khu vực ven bờ sông với số liệu thu được gần 4 ha đất bồi, điều này đã tạo nên sự khác biệt so với các giai đoạn khác. Tốc độ bồi tụ trung bình của hai khu vực bờ biển và bờ sông lần lượt là 17,70 ha/năm và 0,61 ha/năm. Cồn Khi tiếp tục có sự phát triển nhanh theo thời gian với hơn 4,5 ha đất bồi tụ cùng tốc độ trung bình đạt khoảng 0,75 ha/năm. Theo ghi nhận, diện tích thay đổi Cồn Khi trong giai đoạn này đã tăng hơn 1,5 lần so với giai đoạn 2008 – 2014.



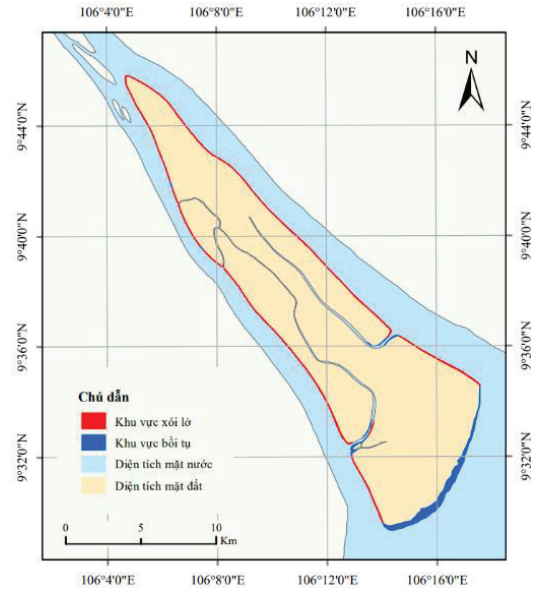
Hình 4. Bản đồ diễn biến đường bờ Cù Lao Dung giai đoạn 2014 – 2020.

#### 3.3. Giai đoạn 2020-2022

Từ kết quả thu được cho thấy đường bờ khu vực Cù Lao Dung rất năng động trong giai đoạn 2020 – 2022. Chỉ trong hai năm, phần diện tích đã biến động hơn 66 ha (chiếm 28,70% diện tích thay đổi trên tổng thời kỳ tính toán) cùng với tốc độ thay đổi trung bình đạt 33,24 ha/năm. Khu vực bờ biển có biến động mạnh mẽ về phía biển với gần 103 ha. Diện tích bồi tụ trung bình mỗi năm gây ấn tượng với con số 51,40 ha/năm. Ngược lại, về phía bờ sông, phần đất liền cũng bị xói mòn nghiêm trọng, kết quả xói hơn 36 ha với tốc độ xói trung bình cao nhất trên cả ba giai đoạn, khoảng 18,16 ha/năm. Bên cạnh đó, do giai đoạn này chỉ tiến hành đánh giá trong 2 năm nên diện tích Cồn Khi có sự thay đổi không đáng kể, nhưng kết quả ghi nhận vẫn có sự tăng trưởng nhẹ qua thời gian cùng với tốc độ biến thiên đạt khoảng 0,25 ha/năm.



Hình 5. Bản đồ diễn biến đường bờ Cù Lao Dung giai đoạn 2020 – 2022.



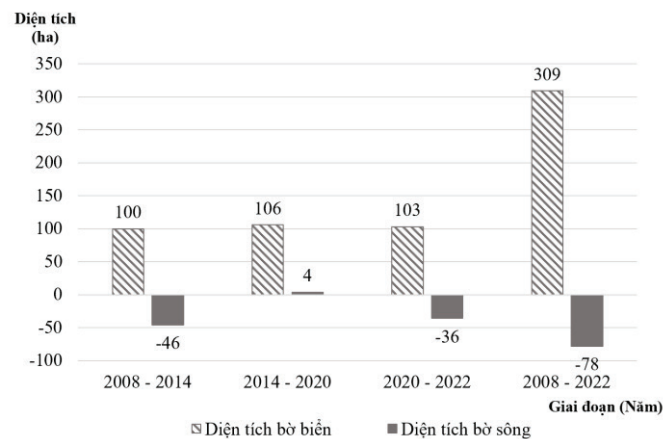
Hình 6. Bản đồ diễn biến đường bờ Cù Lao Dung giai đoạn 2008 – 2022.

### 3.3. Giai đoạn 2008-2022

Theo đánh giá tổng quan, huyện Cù Lao Dung từ năm 2008 – 2022 được bồi tụ thêm hơn 230 ha đất. Trong đó, phần diện tích bờ biển được bồi thêm 309 ha (chiều dài khoảng 14 km) và phần diện tích bờ sông lại bị mất hơn 78 ha. Để thấy rõ những biến động của khu vực, tiến hành thành lập một bản đồ tổng thể về tình trạng xói bồi Cù Lao Dung từ năm 2008 đến 2022 dựa trên cơ sở các bản đồ diễn biến đường bờ theo ba giai đoạn (2008 – 2014, 2014 – 2020, 2020 – 2022) (Hình 6). Từ đó, phát hiện được tình trạng xói bồi đan xen nhau theo từng khu vực của đường bờ Cù Lao Dung, hai bên bờ sông Trần Đề và Định An đều có hiện tượng sạt lở theo thời gian, mật độ phân bố liên tục và mang tính chất phức tạp. Phần đất được mở rộng chủ yếu tập trung ở các khu vực cửa sông Cồn Cọc, Cồn Tròn và dọc ven bãi bồi, quá trình này cũng dễ dàng nhận thấy qua sự phát triển song song của rừng ngập mặn.

### 3.4. Thay đổi diện tích Cù Lao Dung

Kết quả thống kê diện tích thay đổi của đường bờ Cù Lao Dung cũng được phân thành 4 giai đoạn (2008 – 2014, 2014 – 2020, 2020 – 2022 và sự thay đổi tổng thể của diện tích từ 2008 – 2022). Các số liệu thống kê được thể hiện dưới dạng biểu đồ cột như trên Hình . Khi tiến hành đánh giá tổng quan, mặc dù mỗi khu vực bờ sông và bờ biển có hiện tượng xói bồi khác nhau nhưng chung quy Cù Lao Dung hiện đang được chiếm ưu thế bởi hiện tượng bồi tụ. Trường hợp xem xét theo từng thời kỳ, diện tích huyện Cù Lao Dung có xu hướng tăng nhưng không đều qua các năm. Số liệu thể hiện được khá rõ tình trạng biến động đường bờ riêng biệt của vùng bờ sông và bờ biển trong khu vực nghiên cứu. Diện tích bồi lắng chủ yếu tập trung ở các vùng ven biển; còn phần đất liền dọc bờ sông thì đa số bị xói mòn theo từng năm.

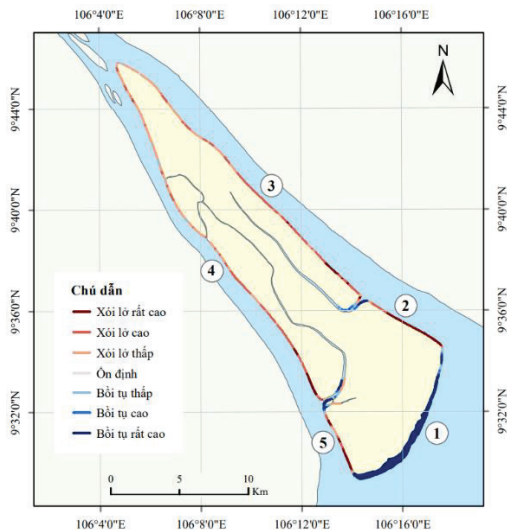


Hình 7. Biến động diện tích bờ sông và bờ biển Cù Lao Dung qua các thời kỳ.

### 3.5. Tốc độ xói lở và bồi tụ đường bờ

Dựa vào các kết quả thống kê tính toán của DSAS, tình trạng xói mòn xuất hiện ở toàn bộ khu vực dọc theo hai bên bờ sông Định An và Trần Đề. Ngoài ra, tình trạng xói mòn càng nghiêm trọng hơn khi càng tiến gần ra cửa sông. Số liệu thu được vị trí ở xã An Thạnh Nam có tốc độ xói đạt cao nhất lên đến 4,18 m/năm; điều này đồng nghĩa, khi so với năm 2008, phần đất liền tại khu vực này đã bị mất đi gần 61 m. Bên cạnh đó, vẫn có những khu vực đang ngày càng được bồi tụ và phát triển theo thời gian, chủ yếu là khu vực rừng ngập mặn giáp mặt biển Đông và các cửa sông thuộc nội đồng. Địa điểm bồi tụ cao nhất toàn huyện Cù Lao Dung cũng được ghi nhận tại bãi bồi thuộc xã An Thạnh Nam với tốc độ bồi đạt hơn 41 m/năm.





Hình 8. Bản đồ tốc độ thay đổi đường bờ Cù Lao Dung.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này cung cấp những kết quả tính toán của sự biến động đường bờ khu vực Cù Lao Dung dựa trên công nghệ phân tích ảnh viễn thám từ năm 2008 đến 2022. Phép phân tích đã chỉ ra được xu hướng dịch chuyển đường bờ trong quá trình kiến tạo của khu vực, đồng thời cũng dự báo được sự biến động của đường bờ hiện tại. Điều này góp phần quan trọng đối với các kế hoạch quản lý, bảo vệ và phát triển cơ sở hạ tầng ven bờ.

Kết quả phân tích hiện trạng xói bồi của khu vực cho thấy quá trình bồi tụ đang chiếm xu thế qua các thời kỳ. Tổng diện tích đường bờ biển tăng 309 ha, đường bờ sông giảm 78 ha. Ngoài ra, phép phân tích bằng công cụ DSAS cũng cho kết quả chi tiết về tình trạng xói lở và bồi tụ dọc ven bờ sông và bờ biển trong suốt giai đoạn nghiên cứu. Xã An Thạnh Nam đồng thời ghi nhận có tốc độ sạt lở và bồi lắng lớn

nhất trên toàn phạm vi huyện Cù Lao Dung. Theo số liệu tính toán đã thống kê được tốc độ xói/bồi lớn nhất của 2 khu vực lần lượt là 4,18 m/năm và 41,26 m/năm. Từ năm 2008 – 2022, vị trí xói lở nghiêm trọng nhất có đường bờ sông lùi sâu 61 m vào đất liền và tại vị trí có tốc độ bồi tụ lớn nhất, đường bờ biển đã được mở rộng thêm khoảng 650 m.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. UBND huyện Cù Lao Dung, "Báo cáo tổng hợp Quy hoạch sử dụng đất giai đoạn 2021-2030 và kế hoạch sử dụng đất năm 2021 huyện Cù Lao Dung, tỉnh Sóc Trăng," Sóc Trăng, 202.
- [2]. T. Albers, D. C. San, and K. Schmitt, *Coastal Protection in the Lower Mekong Delta* (Shoreline Management Guidelines). Germany: GIZ, 2013, p. 65.
- [3]. T. Albers and N. v. Lieberman, *Current and Erosion Modelling Survey* (Management of Natural Resources in the Coastal Zone of Soc Trang Province). Germany: GIZ, 2011, p. 75.
- [4]. J. C. Mullarney, S.M. Henderson, B.K. Norris, K.R. Bryan, A.T. Fricke, D.R. Sandwell, and a. D. P. Culling., "A question of scale: How turbulence around aerial roots shapes the seabed morphology in mangrove forests of the Mekong Delta," *Oceanography*, vol. 30, no. 3, pp. 34–47, 2017, doi: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2017.312>.
- [5]. N. T. H. Diep and K. TATSUMI, "Coastline dynamics and erosion/accretion in the estuaries of the lower Mekong Delta, Vietnam," *Journal of Agricultural Meteorology*, vol. 78, no. 4, p. 121-136, 2022, doi: DOI: 10.2480/agrmet.D-21-00048.
- [6]. K. Saylor, *Landsat 4–7 Collection 1 (C1) Surface Reflectance (LEDAPS) Product Guide*. 2020, p. 39.
- [7]. K. Saylor, *Landsat 8 Collection 1 (C1) Land Surface Reflectance Code (LaSRC) Product Guide*. 2020, p. 38.
- [8]. E. R. Thieler, E. A. Himmelstoss, J. L. Zichichi, and T. L. Miller, "The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0, an ArcGIS extension for calculating historic shoreline change," in "Open-File Report," Reston, VA, Report 2005-1304, 2005. [Online]. Available: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20051304>