

Bài báo khoa học

Ứng dụng ảnh radar Sentinel-1 giám sát tình hình sạt lở và bồi tụ tại tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024 trên nền tảng Google Earth Engine

Lương Thanh Long^{1*}, Nguyễn Trọng Nhân²

¹ Đoàn Đo Đặc, Biên Vẽ Hải Đồ Và Nghiên Cứu Biển; luongthanhlolong1306@gmail.com

² Đại Học Tài Nguyên và Môi Trường Thành Phố Hồ Chí Minh; ntnhan@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: luongthanhlolong1306@gmail.com; Tel.: +84-326471170

Ban biên tập nhận bài: 15/3/2024; Ngày phản biện xong: 26/4/2024; Ngày đăng bài: 25/9/2024

Tóm tắt: Cà Mau là một trong những tỉnh tại đồng bằng Sông Cửu Long đang phải đối mặt với thách thức sạt lở đường bờ biển tạo ra mối đe dọa lớn đến môi trường sinh thái. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp OTSU để xác định tự động giá trị phân ngưỡng đối tượng mặt nước và đất liền giúp phân định đường bờ, dựa vào biểu đồ Histogram theo phân phối nhị thức cho từng thời điểm 2015 và 2024 trên ảnh radar Sentinel-1. Qua phân tích biến động đường bờ giai đoạn 2015-2024 trên nền tảng Google Earth Engine cho thấy đường bờ các vùng ven biển có sự biến động khá lớn như tình trạng sạt lở có xu hướng chiếm ưu thế hơn quá trình bồi tụ. Điển hình, huyện Ngọc Hiển, Đầm Dơi, Năm Căn tại phía bờ biển Đông xảy ra sạt lở nghiêm trọng hơn so với các huyện của bờ biển phía Tây và đồng thời diện tích các bãi bồi cũng được mở rộng do quá trình bồi lắng phù sa tại Đất Mũi huyện Ngọc Hiển và phía Tây huyện Năm Căn. Mặt khác, kết quả nghiên cứu sẽ là tiền đề hỗ trợ cho công tác quản lý giám sát chặt chẽ tình trạng biến động đường bờ tại tỉnh Cà Mau trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Bồi tụ; Đường bờ; OTSU; Radar; Sentinel-1; Sạt lở.

1. Đặt vấn đề

Đường bờ là đường biên ngăn cách giữa phần mặt nước và phần đất liền ở một mức thủy triều quy định [1], là một đặc trưng quan trọng của bề mặt Trái Đất góp phần hỗ trợ trong công tác theo dõi tình hình biến động tại các vùng ven biển [2]. Sự biến động đường bờ chủ yếu do tác động của các nhân tố tự nhiên bao gồm sự vận động tự nhiên của địa chất, địa mạo vùng ven biển, khí hậu cực đoan, sự thay đổi cơ chế thủy văn, mực nước biển dâng và sự tác động của sóng, gió hay các hoạt động khai thác của con người [1, 3]. Ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường sinh thái, sạt lở đất trên diện rộng gây thiệt hại đến tài sản, nhà cửa và tạo mối nguy hiểm tiềm ẩn cho cuộc sống của người dân tại vùng ven bờ [1, 4]. Đây được xem như là một trong những vấn đề cấp bách đáng được quan tâm trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay. Do đó, cần có biện pháp giám sát thường xuyên quá trình biến động đường bờ và tình hình sạt lở, bồi tụ trên diện rộng để kịp thời đưa cảnh báo phòng chống trong thời gian lâu dài.

Các phương pháp truyền thống như khảo sát trực tiếp thực địa, đo GPS xác định vị trí sạt lở để đánh giá biến động [4] vẫn còn tồn tại vài hạn chế như tốn nhiều thời gian, tốn kém nhân lực, chi phí nhưng không đem lại hiệu quả trong giám sát đường bờ trên diện rộng. Trong những năm gần đây, công nghệ viễn thám đã phát triển mạnh mẽ và được sử dụng khá hiệu quả trong giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và kể cả theo dõi dự báo thiên tai

với dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ, đa tầng, đa thời gian cho phép giám sát liên tục các đối tượng biến động trên bề mặt Trái Đất, điển hình như đối tượng đường bờ. Trên thế giới các nhà nghiên cứu đã sử dụng ảnh viễn thám để giám sát biến động đường bờ bằng nhiều phương pháp khác nhau nhưng đem lại độ tin cậy khá cao cho từng khu vực. Cụ thể dựa vào đặc trưng phản xạ phổ của đối tượng nước bị hấp thụ hoàn toàn trong dải hồng ngoại trên ảnh quang học Landsat cho phép dễ dàng chiết tách phần đất liền và mặt nước thông qua phương pháp xây dựng biểu đồ Histogram trên kênh NIR, trong đó đỉnh thấp có khả năng phản xạ phổ kém tương ứng đối tượng mặt nước và ngược lại đỉnh cao tương ứng đối tượng đất liền. Dù vậy, vùng tiếp giáp giữa 2 đỉnh của biểu đồ là vùng chuyển tiếp giữa đất và nước sẽ gây ra kết quả nhầm lẫn khi xác định giá trị phân ngưỡng [5–7]. Điển hình như nghiên cứu đường bờ thực nghiệm tại khu bảo tồn ở Bhitarkanika (Ấn Độ) đã kết hợp tính toán ảnh tỷ số kênh Green/NIR và Green/SWIR với giá trị phân ngưỡng lớn hơn 1 được xác định là phần mặt nước, cho thấy một phần rộng lớn của đường bờ bị ảnh hưởng bởi xói mòn trong suốt 36 năm giai đoạn 1973-2009 [7]. Một kết quả nghiên cứu khác ứng dụng ảnh tỷ số Green/NIR đã xác định được diện tích mặt nước giảm tại bờ biển Urmia Lake (Iran) vào giai đoạn 1998-2001 [5]. Bên cạnh đó, chỉ số nước khác biệt NDWI (*Normalized difference water index*) được xây dựng dựa trên đặc tính phản xạ của nước trên kênh Green, NIR và SWIR để xây dựng bản đồ vùng nước tại hồ Shiroda (Ấn Độ) giai đoạn 1973-2023 cho thấy xảy ra biến động của đường bờ ven hồ [8] nhưng chỉ số này không thích hợp cho vùng có các công trình xây dựng, do đó chỉ số điều chỉnh khác biệt MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) được thay thế và mang lại hiệu quả trong chiết tách mặt nước hỗ trợ công tác giám sát đường bờ [9]. Tuy nhiên, để phân biệt ranh giới mặt nước và phần đất liền trên ảnh vệ tinh, cần sử dụng một kỹ thuật tiên tiến nhằm xác định tự động giá trị ngưỡng đối với mặt nước. Đó là phương pháp OTSU giúp xác định tối ưu giá trị phân ngưỡng (*Threshold*) trên ảnh vệ tinh [10]. Theo nghiên cứu tìm nguyên nhân gây ra sự biến động đường bờ và phân tích diễn biến xu hướng tại bờ biển Jiangsu của China Yellow Sea giai đoạn 1985-2020 đã sử dụng chỉ số MNDWI và kết hợp phương pháp OTSU để trích xuất mặt nước trên ảnh Landsat. Kết quả phát hiện sự bồi lắng phát triển nhanh chóng suốt 35 năm tại ven bờ đã hình thành đường bờ nhân tạo như các bãi bồi. Đồng thời, đường bờ biển tự nhiên giảm dần do xói mòn, sạt lở đất và liên tục bị cắt và kéo thẳng do tác động của con người đến môi trường biển [11]. Cũng tại bờ biển Jiangsu, nghiên cứu khác tận dụng đặc trưng phản xạ phổ của nước trên kênh Blue, Green, SWIR1, SWIR2 của ảnh Landsat giai đoạn 2017-2020 giúp trích xuất mặt nước, đồng thời sử dụng chỉ số nước quang phổ IWI (*Improved Spectral Water Index*) và phương pháp OTSU đã xác định ranh giới mặt nước trong điều kiện thủy triều khác nhau với độ tin cậy khá cao chiếm hơn 81% so với các phương pháp sử dụng chỉ số liên quan đến nước như MNWDI, RMNDWI (*Revised Normalized Different Water Index*), EWI (*Enhanced Water Index*), AFWI (*Automated Water Extraction Index*), NDWI [12].

Tại Việt Nam, tình hình biến động xảy ra khá nghiêm trọng tại hầu hết các vùng ven biển và các con sông lớn. Các nhà nghiên cứu cũng sử dụng các phương pháp chiết tách mặt nước để phân ranh giới với vùng đất liền, cụ thể như phân tích biến động đường bờ khu vực bờ biển cửa sông Hậu trên ảnh Landsat với phương pháp cải chỉnh ảnh tỷ số SWIR1/Green kết hợp SWIR2 được công thức $(SWIR1 + SWIR2)/Green$ bằng kỹ thuật Winarso G giúp chiết tách dễ dàng hơn đối tượng nước và đất liền, đồng thời qua kết quả phân tích thấy được thực trạng xói mòn, sạt lở đất khá nghiêm trọng đến 835,28 ha giai đoạn 1989-2016 [13]. Diễn biến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu cũng diễn ra khá phức tạp với tổng diện tích xói mòn là 14.685,83 ha bao gồm vùng ven bờ của tỉnh An Giang, Đồng Tháp giai đoạn 1989-2017 được giám sát bằng phương pháp tính toán chỉ số nước NDWI trên ảnh Landsat với độ chính xác trung bình đến vừa thông qua hệ số Kappa từ 0,58 đến 0,71 [14]. Các tỉnh ven biển tại đồng bằng Sông Cửu Long đa số đều bị sạt lở như điển hình như mũi Cà Mau thường xuyên xuất hiện hiện tượng xói lở và bồi tụ trên diện rộng được xác định bằng công cụ DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) với ngưỡng phân tách nước lớn hơn 1 khi sử

dùng ảnh tỷ số Green/SWIR và Green/NIR [15]. Mặt khác, vẫn còn tồn tại khó khăn trong việc chiết tách mặt nước và đất liền trên ảnh vệ tinh bằng các sử dụng ngưỡng toàn cục đã được chứng minh qua thực nghiệm tại nhiều khu vực khác nhau. Do đó, cần sử dụng phương pháp có khả năng tính toán tự động giá trị phân ngưỡng cục bộ tại mỗi thời điểm khác nhau và cho từng khu vực khác nhau về mặt địa lý. Điển hình như sử dụng phương pháp OTSU chiết tách mặt nước hồ Dầu Tiếng trên ảnh radar Sentinel 1 vào thời điểm 2022 cho thấy giá trị phân cực VV nhỏ hơn -17,193 decibel được sử dụng hiệu quả hơn phân cực VH khi phân tách mặt nước và đất liền. Đối với thời điểm 1988, sử dụng phương pháp OTSU trên kênh cận hồng ngoại (NIR) của ảnh quang học Landsat 5 với giá trị phân ngưỡng bằng 38 DN (Digital Number) để tách mặt nước do nước bị hấp thụ hoàn toàn tại vùng hồng ngoại. Qua kết quả phân tích phương pháp OTSU được sử dụng linh hoạt cho từng khu vực, từng loại ảnh và từng thời điểm khác nhau [16]. Tuy nhiên khi sử dụng ảnh quang học còn bị ảnh hưởng bởi tầng khí quyển làm giảm cường độ năng lượng bức xạ của sóng điện từ trước khi tương tác với các đối tượng trên mặt đất. Thay vào đó, ảnh viễn thám radar khẩu độ tổng hợp (SAR-Synthetic Aperture Radar) có nhiều ưu điểm hơn và có thể thay thế ảnh quang học, vì ảnh radar có bước sóng dài có thể thu tín hiệu phản xạ từ bề mặt trái đất dưới mọi điều kiện thời tiết (ngày lẫn đêm) [17, 18]. Dựa trên ưu điểm của phương pháp OTSU giúp xác định tối ưu giá trị phân ngưỡng chiết tách mặt nước và đất liền trên ảnh vệ tinh so với các phương pháp khác và dựa vào đặc tính tán xạ ngược của sóng radar có khả năng hấp thụ mạnh đối với nước (như ao, hồ, sông ...) và đối tượng nước trên các phân cực của ảnh radar thường có màu đen nên có thể dễ dàng nhận dạng và chiết tách với phần đất liền [17]. Đây là cơ sở lý thuyết sẽ được lựa chọn áp dụng trong quá trình chiết tách mặt nước, phân định ranh giới đường bờ với mục tiêu xác định biến động đường bờ và phân tích hiện trạng sạt lở, bồi tụ được thực nghiệm tại khu vực tỉnh Cà Mau trên ảnh radar Sentinel-1 giai đoạn 2015-2024 bằng nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine là một công cụ hữu ích có khả năng xử lý phân tích nhanh chóng dữ liệu lớn, điển hình như ảnh vệ tinh cho phép quan sát bề mặt Trái Đất trên diện rộng với nhiều thuật toán, thư viện được sử dụng miễn phí [19].

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hiện nay, tình trạng sạt lở và bồi tụ bờ sông, bờ biển ở nước ta đang diễn biến hết sức phức tạp. Điển hình tại tỉnh Cà Mau đang phải đối mặt với thách thức xói lở và sạt lở đường bờ biển tạo ra mối đe dọa lớn tới môi trường sinh thái và hoạt động sản xuất kinh tế của tỉnh. Cụ thể giai đoạn 1995-2010, đường bờ bị sạt lở khá nghiêm trọng theo hướng bờ biển Đông với diện tích là 6208 ha [1]. Không dừng lại ở đó, sạt lở mũi Cà Mau không có dấu hiệu giảm mà còn có xu hướng tăng qua giai đoạn 2001-2017 [15]. Hơn 10 năm qua, giai đoạn 2011-2021 cho thấy tình trạng biến động đường bờ cũng như quá trình sạt lở ngày càng nguy hiểm và lan trên diện rộng. Bởi một phần bất lợi do vị trí địa lý của Cà Mau là tỉnh cực Nam có 3 mặt Đông - Tây - Nam đều giáp liền với biển như một bán đảo (Hình 1), có diện tích tự nhiên là 5210 km²



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu.

với đường bờ biển dài 254 km, chiếm 34,5% tổng chiều dài bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long [1, 15]. Đồng thời, tỉnh còn hứng chịu tác động của 2 chế độ thủy triều: nhật triều ở phía biên Tây và bán nhật triều không đều ở phía biên Đông. Dưới tác động của sóng vỗ cũng gây ra xói mòn ven biển, một phần do tốc độ của gió mạnh thay đổi đáng kể theo mùa trong năm [15]. Theo số liệu thống kê của ngành lâm nghiệp, vào giai đoạn 2011-2021, sạt lở bờ biển đã làm biến mất một phần đất liền và đất rừng phòng hộ với diện tích khoảng 5.250 ha [20]. Tuy nhiên sự biến động bờ biển cũng đem lại lợi ích không nhỏ cho khu vực phía Nam mũi Cà Mau, nằm giữa hai luồng hải lưu của biển Đông và vịnh Rạch Giá như thường xuyên được bồi đắp phù sa và tiến dần ra biển, hình thành các làng xóm mới [15]. Trước tình hình đó, khu vực đường bờ tỉnh Cà Mau cần có biện pháp giám sát chặt chẽ thường xuyên quá trình sạt lở đường bờ trên diện rộng để kịp thời đưa ra cảnh báo phòng chống sạt lở trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu.

2.2. Dữ liệu thực hiện

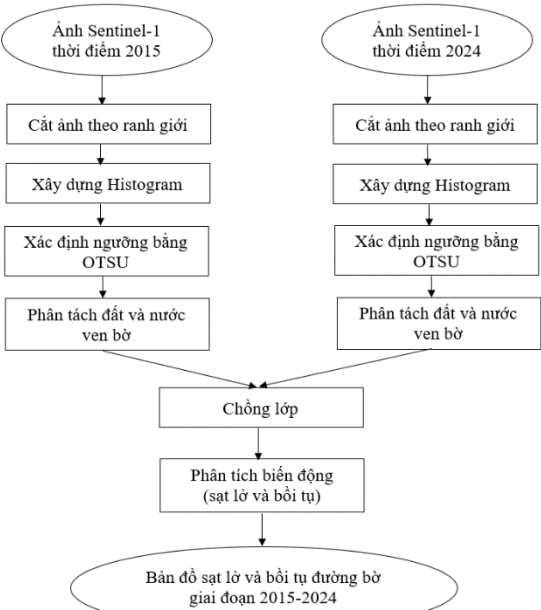
Để giám sát biến động đường bờ tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024 mang lại hiệu quả, bài báo đã sử dụng ảnh viễn thám radar khẩu độ tổng hợp (SAR-Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1 có độ phân giải không gian 10 m với bước sóng 3,75-7,5 cm (band C) và chế độ giao thoa IW (Interferometric Wide Swath Mode) được thu thập vào mùa khô tháng 3 năm 2015 và 2024 và được lấy vào thời điểm triều cường lên để đánh giá tính ổn định của đường bờ theo đường mép nước cực đại của mặt nước trong mùa khô [21] tại khu vực nghiên cứu (bảng 1). Mặt khác do ảnh có độ phân giải khá cao nên có thể quan sát được vùng nước khi thủy triều lên trên ảnh có màu tối đen so với phần đất liền do nước bị hấp thụ mạnh bởi tán xạ ngược của sóng radar [16] và không xuất hiện các vùng đốm trắng của bãi bồi có địa hình thấp so với phần đất liền. Đồng thời, ảnh radar Sentinel-1 đã được tiền xử lý các sai sót khi bộ cảm biến ghi nhận sóng radar bằng hộp công cụ Sentinel-1 Toolbox bao gồm 3 quá trình: loại bỏ nhiễu, hiệu chỉnh tán xạ và hiệu chỉnh hình học bằng mô hình số độ cao STRM (Shuttle Radar Topography Mission) 30 m hoặc Aster DEM (Digital Surface Model) trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine [18].

Bảng 1. Thông tin thu thập ảnh vệ tinh.

Thời gian	ID ảnh
23/3/2015	COPERNICUS/S1_GRD
12/3/2024	COPERNICUS/S1_GRD

2.3. Phương pháp thực hiện

Một trong những kỹ thuật được sử dụng để phân tách đối tượng trên ảnh vệ tinh là phân ngưỡng Threshold vì thực hiện đơn giản và đem lại hiệu quả trong phân tích dữ liệu raster [22]. Trong nghiên cứu này, bề mặt mặt nước ven biển và phần đất liền tại khu vực Cà Mau được phân tách bằng phương pháp OTSU trên ảnh radar Sentinel-1 với phân cực VV tại 2 thời điểm 2015 và 2024 (Hình 2). Bởi vì, sẽ xảy ra hiện tượng muối tiêu [12] như các vùng có diện tích rất bé xuất hiện trên phần đất liền hoặc bề mặt nước biển trên cả 2 phân cực VV và VH sẽ gây khó khăn trong việc phân định đường bờ biển. Cụ thể, phân cực VH xuất hiện nhiều nhiều hơn phân cực VV với các đốm li ti và mặt khác



Hình 2. Quy trình thực hiện.

khi xây dựng biểu đồ histogram trên phân cực VH có 2 đỉnh chóp gần bằng nhau, không có sự khác biệt lớn giữa 2 lớp đối tượng là mặt nước và đất liền sẽ gây nhầm lẫn trong việc chiết tách mặt nước hơn phân cực VV [16]. Để giảm thiểu hiện tượng muối tiêu, nghiên cứu giới hạn phạm vi khu vực thực hiện bằng cách sử dụng công cụ Geometry dạng vùng đa giác để vẽ một vùng bao quanh đường bờ trải dài theo ven biển của tỉnh Cà Mau (Hình 1) trên nền tảng Google Earth Engine nhưng vẫn đảm bảo được những vị trí xảy ra biến động. Mặt khác, giá trị cấp độ xám của các đối tượng nước trên đất liền (như ao, hồ, kênh, ...) sẽ được loại bỏ, tránh gây nhiễu khi xác định giá trị ngưỡng phân tách mặt nước và đất liền trên ảnh vệ tinh.

Bản chất của phương pháp OTSU là có khả năng xác định tự động giá trị phân ngưỡng trên ảnh vệ tinh, được thực hiện dựa trên ý tưởng xây dựng biểu đồ cấp độ xám Histogram của đối tượng cần chiết tách và đối tượng làm nền theo phân phối nhị thức (*binomial distribution*) hoặc phân phối đa thức (*multinomial distribution*). Tuy nhiên, phương pháp này không hiệu quả khi các giá trị decibel của đối tượng cần chiết tách và đối tượng làm nền trên ảnh có phương sai khác biệt quá lớn [10]. Theo phương pháp OTSU, để phương sai đạt giá trị cực đại khi và chỉ khi giá trị phân ngưỡng k^* được xác định sao cho 2 lớp (B1 và B2) trên ảnh có sự khác biệt lớn [7, 10, 16, 23] thể hiện qua công thức (1).

$$k^* = \arg \max_{0 \leq k \leq L-1} \{ \omega_1(k) \mu_1^2(k) + \omega_2(k) \mu_2^2(k) \} \quad (1)$$

Trong đó B1 là lớp chứa các giá trị cấp độ xám nằm trong khoảng $[0, ..., k]$; B2 là lớp chứa các giá trị cấp độ xám nằm trong khoảng $[k+1, ..., L-1]$; ω_1, ω_2 là xác suất của 2 lớp trên ảnh được tính theo công thức (2).

$$\omega_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i \quad \text{và} \quad \omega_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \quad (2)$$

μ_1, μ_2 là giá trị trung bình được tính theo công thức (3)

$$\mu_1(k) = \sum_{i=0}^k \frac{i \cdot p_i}{\omega_1(k)} \quad \text{và} \quad \mu_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} \frac{i \cdot p_i}{\omega_2(k)} \quad (3)$$

Sau khi xác định được giá trị ngưỡng k^* , tiến hành phân ngưỡng (*Threshold*) để tạo ra ảnh nhị phân $[0,1]$. Kết quả nhận được giá trị cấp độ xám lớn hơn ngưỡng k^* sẽ được gán mã bằng 1 (là đối tượng mặt đất) và ngược lại, giá trị cấp độ xám nhỏ hơn ngưỡng k^* sẽ được gán mã bằng 0 (là đối tượng mặt nước) [16].

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) > k^* \\ 0 & f(x,y) < k^* \end{cases} \quad (4)$$

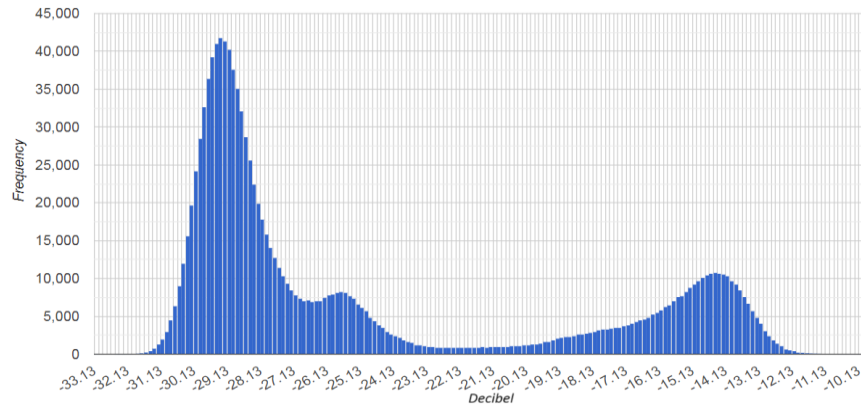
Trong đó $g(x,y)$: hàm biểu diễn giá trị độ xám tại điểm (x, y) trên ảnh đầu ra; $f(x,y)$: hàm biểu diễn giá trị độ xám tại điểm (x, y) trên ảnh đầu vào.

Dựa trên kết quả phân tách mặt nước và đất liền tại 2 thời điểm 2015 và 2024, nghiên cứu tiến hành chồng lớp, phân tích biến động bằng phương pháp hiệu 2 ảnh phân loại năm 2024 với ảnh năm 2015 bằng hàm `image2024.subtract(image2015)`, trong đó ID = 0 là mặt nước, ID = 1 là mặt đất. Kết quả trả về tạo ra ảnh biến động chứa dãy giá trị ID = $[-1,0,1]$ với ID = -1 là đường bờ bị sạt lở và ID = 1 là đường bờ được bồi tụ.

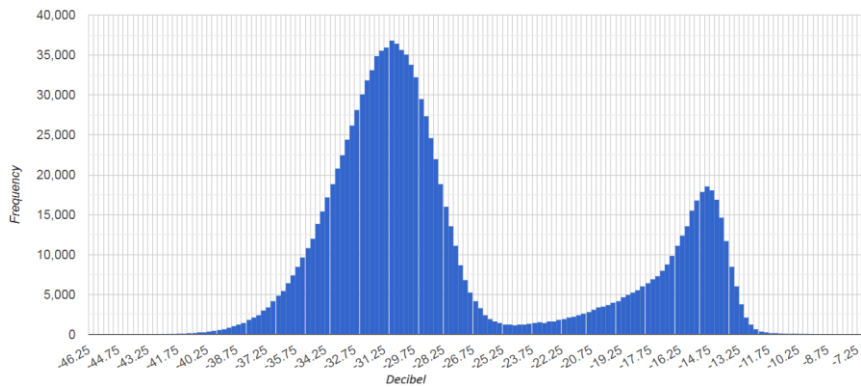
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phân tách đường bờ vào thời điểm 2015 và 2024

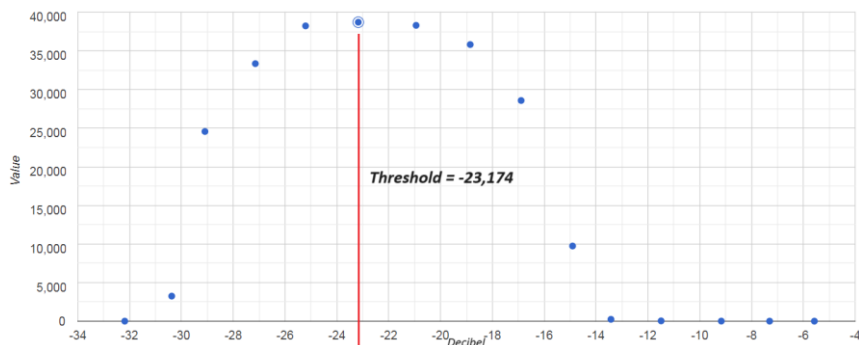
Theo biểu đồ Histogram (Hình 3, 4) được xây dựng trên các giá trị cấp độ xám ứng với thời điểm 2015 và 2024, trục ngang là giá trị decibel và trục đứng là tần suất xuất hiện giá trị pixels trên ảnh Sentinel-1 được cắt theo vùng giới hạn cho thấy đường cong của mỗi đồ thị có 2 đỉnh nhô lên rõ rệt và có sự chênh lệch khá khác biệt về tần suất của giá trị decibel trên ảnh. Qua đó, chứng minh được năng lượng tán xạ ngược rất mạnh từ các đối tượng được bộ cảm biến thu nhận, trong đó đỉnh chóp của đồ thị cao nhất tương ứng với đối tượng mặt nước và đỉnh chóp thấp hơn ứng với phần mặt đất (hoặc đối tượng khác). Mặt khác, giá trị phân ngưỡng giữa bề mặt nước và mặt đất được xác định trong vùng tiếp giáp của 2 đỉnh chóp, tuy nhiên vùng giữa này sẽ gây ra khó khăn và dễ nhầm lẫn khi chọn giá trị ngưỡng phân tách đường bờ [2, 18].



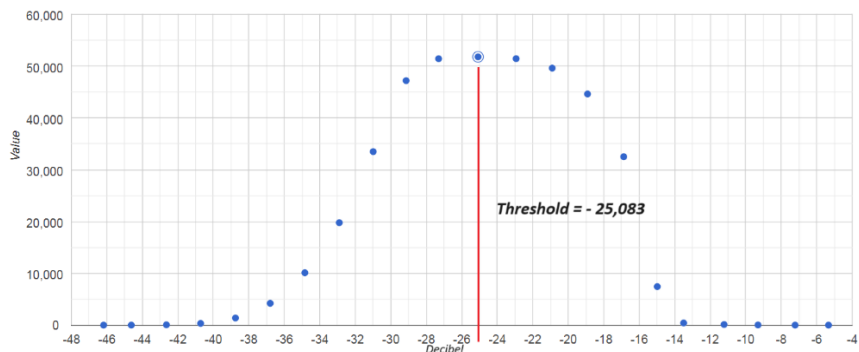
Hình 3. Biểu đồ cấp độ xám Histogram tại thời điểm 2015.



Hình 4. Biểu đồ cấp độ xám Histogram tại thời điểm 2024.



Hình 5. Histogram theo phân phối nhị thức - Binomial Distribution tại thời điểm 2015.

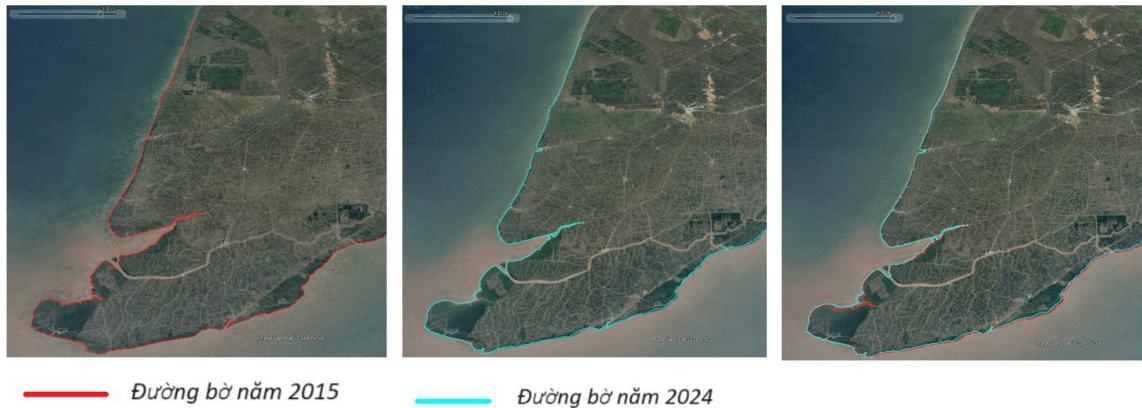


Hình 6. Histogram theo phân phối nhị thức - Binomial Distribution tại thời điểm 2024.

Do đó, nghiên cứu đã sử dụng phương pháp OTSU để xác định tự động giá trị phân ngưỡng (*Threshold*) trên ảnh radar Sentinel 1 trong vùng giới hạn. Dựa vào Histogram được xây dựng theo dạng phân phối nhị thức (*Binomial Distribution*) nhằm chọn một ngưỡng duy nhất và chính xác nhất cho mỗi thời điểm khác nhau. Hình 5, 6 cho thấy đồ thị phân phối

chuẩn có duy nhất 1 đỉnh chóp, trong đó điểm chính giữa chóp là giá trị phân ngưỡng. Tại thời điểm 2015 có giá trị ngưỡng Threshold = -23,174 và còn tại thời điểm 2024 giá trị phân ngưỡng Threshold = -25,083. Khi các giá trị decibel trên ảnh nhỏ hơn giá trị ngưỡng Threshold được xác định là đối tượng mặt nước và ngược lại là đối tượng mặt đất.

Dựa vào giá trị phân ngưỡng trên, nghiên cứu này tiến hành chiết tách đối tượng bằng các thuật toán trên nền tảng Google Earth Engine và kết hợp sử dụng phần mềm ArcMap để xử lý xác định ranh giới đường bờ biển tại 2 thời điểm 2015 và 2024. Bên cạnh đó, nghiên cứu còn sử dụng công cụ thanh thời gian của phần mềm Google Earth Pro để kiểm chứng đường bờ được phân tách trên ảnh Sentinel-1 với kết quả khá tương đồng (Hình 7). Mặt khác đường bờ biển vào thời điểm 2024 có sự thay đổi khá rõ rệt so với thời điểm 2015 tại Đất Mũi, bờ biển phía Đông và phía Tây.



Hình 7. Đường bờ tỉnh Cà Mau tại thời điểm 2015 và 2024 trên Google Earth Pro.

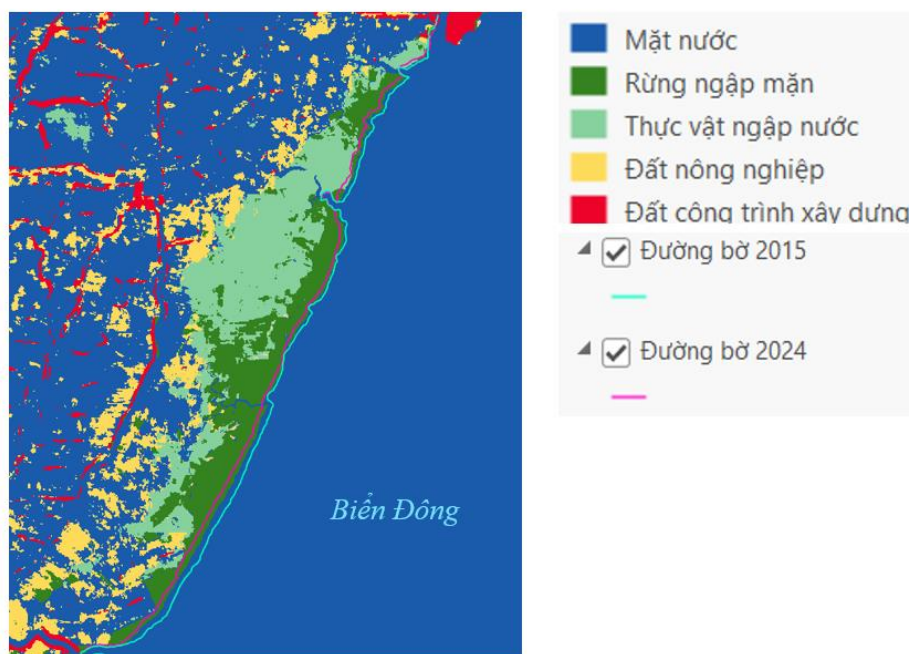
3.2. Kết quả phân tích sạt lở và bồi tụ đường bờ tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024

Sau khi phân tách đường ranh giới ngăn cách giữa mặt nước và mặt đất trên ảnh Sentinel-1 tại thời điểm 2015 và 2024. Nhìn chung đường bờ tại các huyện ven biển của tỉnh Cà Mau đều có sự thay đổi rõ rệt giữa 2 thời điểm. Tình trạng sạt lở đường bờ xảy ra tại hầu hết các vùng ven biển, trong đó, trải dài theo đường bờ biển phía Đông có diện tích sạt lở chiếm phần lớn so với các huyện ven biển phía Tây được thể hiện qua hình 8.



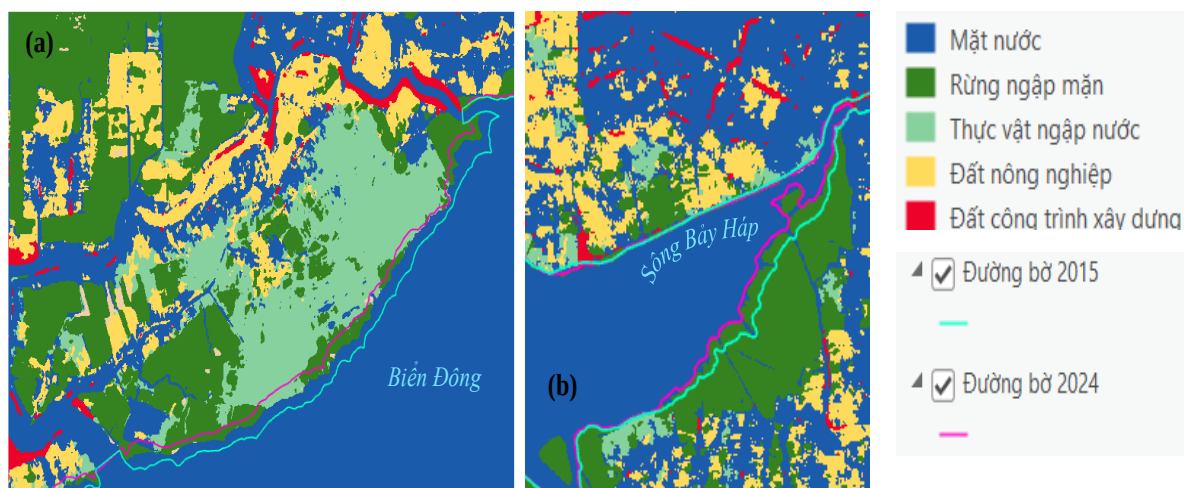
Hình 8. Bản đồ sạt lở và bồi tụ đường bờ tỉnh Cà Mau giai đoạn 2015-2024.

Tại đoạn bờ biển của huyện Đầm Dơi, từ năm 2015 đến 2024 diện tích sạt lở có xu hướng tăng và tăng mạnh so với giai đoạn trước đó. Phần lớn diện tích mất đất là khu vực rừng ngập mặn với diện tích là 720,326 ha (Hình 8, 9). Cụ thể theo nghiên cứu [24] giai đoạn 2001-2009 sạt lở với diện tích là 618,6 ha, thêm vào đó tình trạng sạt lở khoảng thời điểm 2008-2015 tốc độ trung bình xói lở khoảng 16 m/năm [25] nhưng đến năm 2016-2018 sạt lở đáng báo động kéo dài từ xã Tân Thuận kéo dài gần đến mũi Cà Mau [24].



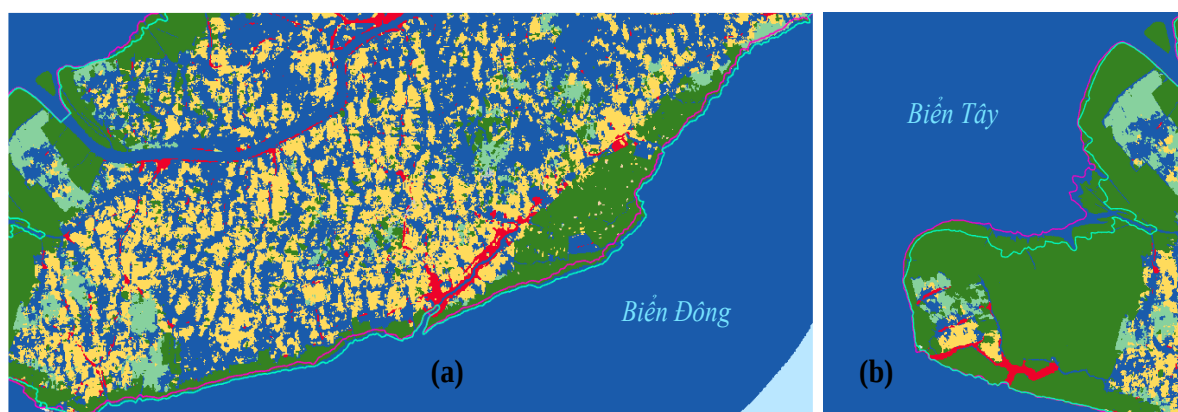
Hình 9. Biến động đường bờ huyện Đầm Dơi (sạt lở).

Vào giai đoạn 2000-2005 mức độ sạt lở và bồi tụ của huyện Năm Căn giảm cho đến giai đoạn 2005-2010 quá trình bồi tụ có xu hướng tăng là 415 ha [1]. Tuy nhiên, sang giai đoạn 2015-2024 tại đoạn bờ của huyện Năm Căn phía Đông có xu hướng sạt lở lớn với 602,444 ha diện tích rừng ngập mặn (Hình 8,10a) và xen kẽ là hiện tượng bồi tụ bãi bồi được mở rộng tại bờ biển phía Tây với diện tích là 411,818 ha (Hình 8,10b). Do khu vực này có nhiều cửa sông lớn như điển hình sông Bảy Háp của bờ biển Tây, Vịnh Thái Lan nhận được lượng lớn phù sa bồi đắp. Đồng thời do quá trình sạt lở ở Mũi Cà Mau đã phần nào tích lũy đất xói mòn theo dòng chảy với hướng gió mùa Tây Nam vào khu vực của sông Bảy Háp làm cho diện tích bồi lắng các bãi bồi tại rừng ngập mặn tăng lên [1].



Hình 10. (a) Biến động đường bờ huyện Năm Căn (sạt lở phía biển Đông); (b) Biến động đường bờ huyện Năm Căn (bồi tụ phía biển Tây).

Qua nghiên cứu [24] cho thấy diện tích sạt lở tại huyện Ngọc Hiển là 354,78 ha trong giai đoạn 2001-2009. Nhưng đến giai đoạn 2008-2015, xói lở có xu hướng chiếm ưu thế hơn với trung bình xói lở đạt khoảng 14 m/năm trải dài từ đoạn bờ xã Tân An đến mũi Cà Mau và giai đoạn 2015-2017 đạt khoảng 16 m/năm [25]. Vào giai đoạn 2015-2024, đoạn bờ trải dài biển Đông xảy ra tình hình sạt lở đáng báo động (Hình 8, 11a) với diện tích tăng 1435,431 ha và gấp 2 lần huyện Đầm Dơi, Năm Căn và gấp 7 lần huyện Phú Tân, U Minh (Bảng 2). Nguyên nhân chủ yếu gây ra sạt lở như công tác thi công bờ kè chưa đảm bảo chắc chắn và ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc và Tây Nam hoạt động liên tục làm cho dòng chảy xiết hơn khi thủy triều lên xuống và mức độ sóng biển tác động vào bờ mạnh hơn [1, 24]. Ngoài ra do hoạt động khai rừng phòng hộ nhằm mục đích xây dựng nhà ở hay kết hợp nuôi trồng thủy hải sản [24]. Tuy nhiên, huyện Ngọc Hiển là khu vực có quá trình sạt lở và bồi tụ diễn biến khá phức tạp so với huyện Năm Căn, cụ thể giai đoạn 2010-2015 đường bờ có xu hướng mở rộng bãi bồi [1] và bồi tụ đạt trung bình khoảng 3 m/năm [25]. Quá trình bồi tụ phù sa vẫn tiếp tục diễn ra theo xu hướng tích cực và tăng với diện tích là 872,303 ha trong giai đoạn 2015-2024 (Hình 8, 11b). Các bãi bồi tại Mũi Cà Mau là vùng tiếp giáp giữa 2 vùng biển Đông và biển Tây có chế độ thủy triều khác nhau: nhật triều ở phía biển Tây và bán nhật triều không đều ở phía biển Đông làm xuất hiện dòng xoáy nghịch góp phần lắng đọng và bồi tụ phù sa [15].



Hình 11. (a) Biểu đồ đường bờ huyện Ngọc Hiển (sạt lở phía biển Đông); (b) Biểu đồ đường bờ huyện Ngọc Hiển (bồi tụ phía biển Tây).

Mặt khác, đoạn đường bờ phía Tây từ huyện Phú Tân đến huyện U Minh ít bị biến động hơn so với bờ biển phía Đông. Tuy nhiên quá trình sạt lở và bồi tụ xen lẫn nhau qua từng giai đoạn 2001-2004, 2004-2008, 2008-2010, 2010-2015 với mức độ dao động trung bình khoảng từ 2 đến 8 m/năm nhưng sang giai đoạn 2015-2017 chỉ xảy ra hiện tượng sạt lở giữa 2 đường bờ khoảng 38 m/năm [25]. Tiếp diễn đó, giai đoạn 2015-2024 kết quả nghiên cứu qua hình 8 cho thấy hầu hết xảy ra hiện tượng sạt lở tại bờ biển phía Tây, cụ thể đường bờ của huyện Trần Văn Thời có diện tích sạt lở là 369,779 ha và cao hơn 2 huyện còn lại là huyện Phú Tân và U Minh (Bảng 2). Do ảnh hưởng dòng chảy của con sông Đốc tại huyện Trần Văn Thời và tình trạng xâm phạm công trình bờ bê để khai thác hải sản từ lâu đã góp phần làm cho quá trình sạt lở kéo dài. Theo nghiên cứu [1] cũng tại khu vực này, diện tích sạt lở xảy ra vào giai đoạn 2005-2010 đồng thời tăng so với giai đoạn 2000-2005.

Bảng 2. Thống kê diện tích biến động (sạt lở và bồi tụ) tại các huyện ven biển (đơn vị: ha).

Huyện	Sạt lở	Bồi tụ
Đầm Dơi	720,326	-
Năm Căn	602,444	411,818
Ngọc Hiển	1435,431	872,303
Phú Tân	233,276	2,579
Trần Văn Thời	369,779	-
U Minh	233,515	-

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng phương pháp OTSU để xác định tự động giá trị phân ngưỡng cục bộ giúp phân định ranh giới đường bờ giữa phần mặt nước và đất liền dựa vào biểu đồ Histogram theo phân phối nhị thức cho 2 thời điểm khác nhau trên ảnh vệ tinh Sentinel-1. Qua phân tích biến động đường bờ giai đoạn 2015-2024 cho thấy đường bờ Cà Mau trải dài dọc theo biển Đông tại khu vực ven biển của huyện Đầm Dơi, Năm Căn, Ngọc Hiển đã xảy ra tình trạng sạt lở khá nghiêm trọng hơn so với đường bờ các huyện ở biển phía Tây. Trong đó, đường bờ huyện Ngọc Hiển biến đổi khá phức tạp với hoạt động sạt lở chiếm ưu thế và đáng báo động nhất, nhưng hiện tượng bồi tụ phù sa hình thành các bãi bồi tại Mũi Cà Mau có xu hướng bồi lắng nhanh chóng góp phần kéo dài phần đất liền cho tỉnh Cà Mau nói riêng và cho lãnh thổ Việt Nam nói chung.

Tuy nghiên cứu này vẫn còn tồn tại hạn chế về mặt dữ liệu thực địa để đối chứng, kiểm tra kết quả phân tích biến động đường bờ với quá trình sạt lở và bồi tụ từ tư liệu ảnh vệ tinh, nhưng qua việc ứng công nghệ viễn thám đã hỗ trợ khá hiệu quả trong công tác giám sát đường bờ trên ảnh radar Sentinel-1 giúp tiết kiệm thời gian, chi phí và nguồn lực. Do đó, để đảm bảo độ tin cậy cho công trình nghiên cứu cần kết hợp linh hoạt công nghệ viễn thám - GIS với dữ liệu khảo sát thực địa tại các khu vực thường xuyên xảy ra sạt lở hay bồi tụ để theo dõi xu hướng biến động và quan trọng là kịp thời đưa ra cảnh báo, biện pháp phòng chống cho địa phương tỉnh Cà Mau trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.L., N.T.N.; Xử lý số liệu: L.T.L., N.T.N.; Viết bản thảo bài báo: L.T.L., N.T.N.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.N., L.T.L.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Diễm, P.K.; Minh, V.Q.; Điệp, N.T.H.; Đen, Đ.V. Đánh giá tình hình sạt lở, bồi tụ khu vực ven biển tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu từ 1995-2010 sử dụng viễn thám và công nghệ GIS. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2013**, 26, 35–43.
2. Trung, N.V.; Khanh, N.V. Quan trắc sự biến động đường bờ sử dụng dữ liệu vệ tinh LANDSAT đa thời gian ở khu vực Cửa Đại, Sông Thu Bồn, Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2016**, 57, 81–89.
3. Phái, V.V. Nghiên cứu, đánh giá biến động đường bờ biển các tỉnh Nam Bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng. Đề tài NCKH cấp quốc gia. 2012.
4. Huan, V.D.; Dinh, P.T. Evaluation of coastal erosion by using Landsat data in Ca Mau Cape, Ngoc Hien District, Ca Mau Province. *IOP Conf. Series: Earth Environ. Sci.* **2023**, 1247, 1–12.
5. Alesheikh, A.A.; Ghorbanali, A.; Nouri, N. Coastline change detection using remote sensing. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2007**, 4, 61–66.
6. Kelley, G.W.; Hobgood, J.S.; Bedford, K.W.; Schwab D.J. Generation of three-dimensional lake model forecasts for Lake Erie. *J. Weat. For.* **1998**, 13, 305–315.
7. Pritam, C.; Prasenjit, A. Shoreline change and sea level rise along coast of Bhitarkanika wildlife sanctuary, Orissa: An analytical approach of remote sensing and statistical techniques. *Int. J. Geomatics. Geosci.* **2010**, 1(3), 436–455.
8. Sapkale, J.B.; Mane, M.M.; Susware, N.K.; Sapkale, S.J. Dynamic changes in coastal geomorphology of Shiroda Coasts, using remote sensing and GIS: An approach to climate change and coastal disaster risk. *Disaster Adv.* **2023**, 16, 20–32.
9. XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2007**, 27, 3025–3033.
10. OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histogram. *IEEE Trans. Sys. Man Cybern.* **1979**, 1, 62–66.

11. Huang, L.; Zhao, C.; Jiao, C.; Zheng, G.; Zhu, J. Quantitative analysis of rapid siltation and erosion caused coastline evolution in the coastal mudflat areas of Jiangsu. *Water* **2023**, *15*, 2–23.
12. Tang, W.; Zhao, C.; Lin, J.; Jiao, C.; Zheng, G.; Zhu, J.; Pan, X.; Han, X. Improved spectral water index combined with otsu algorithm to extract muddy coastline data. *Water* **2022**, *14*, 855.
13. Tiến, N.N.; Cường, Đ.H.; Ưu, Đ.V.; Sáo, N.T.; Tuấn, T.A.; Nam, L.Đ. Phân tích biến động đường bờ khu vực bờ biển cửa sông Hậu bằng tư liệu viễn thám. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2017**, *4*, 386–392.
14. Điệp, N.T.H.; Minh, V.Q.; Trường, P.N.; Thành, L.K.; Vinh, L.T.Q. Diễn biến tình hình sạt lở ven bờ sông Tiền và sông Hậu tại đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí khoa học Trường Đại Học Cần Thơ* **2019**, *2*, 125–133.
15. Tình, T.V.; Phong, D.H. Sử dụng ảnh viễn thám và GIS nghiên cứu biến động đường bờ khu vực mũi Cà Mau. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *12*, 35–40.
16. Nhân, N.T.; Bảo, L.T. Ứng dụng phương pháp OTSU chiết tách mặt nước trong giám sát biến động ranh giới Hồ Dầu Tiếng trên nền tảng Google Earth Engine. *Tạp chí Khoa Học Đất* **2022**, *69*, 7–11.
17. Luân, N.T.; Hùng, N.T.; Cương, V.Đ.; Huyền, N.T. Nghiên cứu thành lập bản đồ ngập lụt từ ảnh viễn thám radar áp dụng cho hạ du lưu vực sông Trà Khúc, Sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, *39*, 1–8.
18. Bảo, L.T.; Nhân, N.T. Ứng dụng Google Earth Engine giám sát biến động mặt nước Hồ Dầu Tiếng giai đoạn 1990–2022. Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc, 2022, tr. 18–25.
19. Nhân, N.T.; Cường, V.X. Sử dụng Google Earth Engine trong giám sát biến động diện tích rừng tỉnh Lâm đồng giai đoạn 2010-2016, 2018. Kỷ yếu Khoa Học Công Nghệ lần 4, 2019, tr. 254–265.
20. Châu, V.; Nghĩa, T. Báo động sạt lở bờ sông, bờ biển ở Cà Mau. Báo điện tử Đại Biểu Nhân Dân. 2024. Truy tuyến: <https://daibieunhandan.vn/doi-song/bao-dong-sat-lo-bo-song-bo-bien-o-ca-mau-i363964/> (Truy cập ngày 3/4/2024).
21. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hoàng, T.P.; Hoà, P.V. Ứng dụng công nghệ xử lý ảnh viễn thám trên nền tảng điện toán đám mây (GEE) trong theo dõi biến động đường bờ sông - Thí điểm tại sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học - Trường đại học Sư Phạm TP HCM* **2019**, *16(S6)*, 38–49.
22. Hui, F.N.; Cheng, W.K.; Jim, M.L. A Weighting scheme for improving OTSU method for threshold selection. *J. Comput.* **2016**, *27*, 12–21.
23. Truong, M.T.N.; Kim, S. Automatic image thresholding using OTSU's method and entropy weighting scheme for surface defect detection. *Soft Comput.* **2018**, *22*, 4197–4203.
24. Hậu, N.Q.; Tuấn, P.V.; Dương, P.H.; Điệp, N.T.H. Ứng dụng công nghệ viễn thám thành lập bản đồ đường bờ biển theo dõi sạt lở khu vực đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Trường Đại học Xây dựng miền Tây* **2022**, *1*, 68–76.
25. Thành, N.T. Phân tích và đánh giá quá trình xói lở và bồi tụ ở khu vực Cà Mau bằng ảnh viễn thám và GIS. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, *721*, 66–79.

Sentinel-1 radar image application monitors landslides and sedimentation in Ca Mau province for the period 2015-2024 on the Google Earth Engine platform

Luong Thanh Long^{1*}, Nguyen Trong Nhan²

¹ Vietnam's Naval Hydrographic and Oceanographic Department;
luongthanhlong1306@gmail.com

² Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment;
ntnhan@hcmunre.edu.vn

Abstract: Ca Mau is one of the provinces in the Mekong Delta that is facing the challenge of coastal erosion, creating a major threat to the ecological environment. This study uses the OTSU method to automatically determine the threshold value for land and water surface objects to help delineate the shoreline, based on the Histogram chart according to the binomial distribution for each period 2015 and 2024 on radar Sentinel-1 images. Through analysis of shoreline changes in the period 2015-2024 on the google earth engine platform, it shows that the shoreline of coastal areas has quite large fluctuations, such that landslides tend to dominate over the sedimentation process. Typically, Ngoc Hien, Dam Doi, Nam Can districts on the east coast have more serious landslides than districts on the west coast and at the same time the area of alluvial grounds is also expanding due to the sedimentation process. alluvium in Dat Mui, Ngoc Hien district and the west of Nam Can district. On the other hand, the research results will be a premise to support the management and strict monitoring of shoreline fluctuations in Ca Mau province in the context of climate change.

Keywords: Sedimentation; Shoreline; OTSU; Radar; Sentinel-1; Landslide.