

Bài báo khoa học

Ứng dụng viễn thám, GIS đánh giá phạm vi và mức độ xói lở bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng

Phan Võ Tiểu Phương^{1,2}, Phạm Thị Hồng Hạnh^{2,3}, Bùi Tá Long^{1,2*}

¹ Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh;
phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn;
hanhpth99@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

³ Phòng thí nghiệm Trọng điểm ĐHQG - HCM Công nghệ xử lý chất thải bậc cao, Trường Đại học Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh; hanhpth99@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: longbt62@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–918017376

Ban Biên tập nhận bài: 5/8/2023; Ngày phản biện xong: 1/9/2023; Ngày đăng bài: 25/10/2023

Tóm tắt: Tình trạng sạt lở bờ biển tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang diễn ra với tần suất nhiều hơn, mức độ thiệt hại nghiêm trọng hơn. Loại hình thiên tai này ảnh hưởng rất lớn đến tính mạng, tài sản, sinh kế của người dân và là đối tượng nghiên cứu của nhiều đề tài, dự án. Viễn thám là một trong số phương pháp được lựa chọn để phân tích sự thay đổi đường bờ qua các năm. Trong nghiên cứu này, ảnh viễn thám Landsat 8 được kết hợp với công cụ DSAS tích hợp trong phần mềm ArcGIS để làm rõ biến động đường bờ cùng tình trạng sạt lở diễn ra tại vùng ven bờ biển từ Tiền Giang tới Sóc Trăng giai đoạn 2021-2023. Kết quả phân tích cho thấy, khoảng 63,71% chiều dài đường bờ bị xói lở ở giai đoạn 2021-2022. Tuy nhiên, đến giai đoạn tiếp theo 2022-2023, con số này giảm còn 59,03%. Điều này cho thấy phạm vi xói lở gần như tương đương ở hai giai đoạn nhưng có xu hướng giảm nhẹ. Cùng với đó, so sánh kết quả với giai đoạn 2016-2020, có thể nhận thấy ở giai đoạn 2021-2023 các tỉnh Tiền Giang, Bến Tre và Sóc Trăng có tốc độ xói lở giảm nhẹ, trong khi tỉnh Trà Vinh có xu hướng xói lở tăng nhanh. Kết quả là cơ sở để nâng cao năng lực dự báo, cảnh báo, giám sát sạt lở và quản lý bờ biển, giảm thiểu tác động của sạt lở, bảo vệ an toàn cho người dân và sinh kế người dân.

Từ khóa: Viễn thám; Phân tích đường bờ; Bồi/xói; Đồng bằng sông Cửu Long.

1. Giới thiệu

Nghiên cứu đánh giá diễn biến đường bờ, xói lở bờ biển là một lĩnh vực đầy thách thức nhưng có phạm vi ứng dụng to lớn trong khuôn khổ phát triển bền vững bờ biển. Vấn đề liên quan đến xói mòn bờ biển được nhìn nhận ở khía cạnh: nếu quá trình này diễn ra lâu dài sẽ dẫn đến mất đất, tuy diễn ra chậm nhưng liên tục. Mặt khác, đặc điểm hình thái dài hạn của vùng ven biển là luôn là vấn đề quan trọng trong việc quản lý tài nguyên ven biển, vì những tổn thất do sự thay đổi dần dần, liên tục hầu như không thể khắc phục được. Kỹ thuật trích xuất đường bờ dựa trên GIS, viễn thám và hệ thống số phân tích biến động đường bờ (*Digital Shoreline Analysis System, DSAS*) trong thời gian qua đã chứng minh tính hiệu quả trong giám sát biến động đường bờ [1]. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu cho thấy điều đó chẳng hạn như nghiên cứu phân tích sự thay đổi đường bờ biển Ash Shu'aybah, Al Mujayrimah tại Ả Rập Saudi được thực hiện bởi nhóm tác giả [2]; nghiên cứu tốc độ xói lở ven biển miền nam Vịnh Monterey [3]. Kỹ thuật DSAS kết hợp viễn thám còn ứng dụng để

phân tích các biến động đường bờ sau thiên tai như xem xét sự thay đổi đường bờ sau bão tại đảo Fire, New York [4] và quần đảo Chandeleur, Louisiana [5]; phân tích xói lở bờ biển và cồn cát trong cơn bão Sandy [6]. Bên cạnh đó còn có nghiên cứu đánh giá xu hướng xói mòn và phục hồi bãi biển dọc theo vùng ven biển Laguna Venice (Ý) [7]; sử dụng kỹ thuật DSAS Landsat 5,8 để phân tích sự thay đổi đường bờ biển huyện Jambusar, Ấn Độ [8]; ứng dụng ảnh viễn thám SPOT và kỹ thuật DSAS để tính các chỉ số biến động đường bờ như SCE, EPR, NSM,... bờ biển thành phố Surabaya [9]; sử dụng kỹ thuật phân tích DSAS Landsat theo dõi biến động đường bờ bãi biển Tuban [10]; sử dụng ảnh Landsat 8 OLI và kỹ thuật phân tích đường bờ DSAS để theo dõi biến động đường bờ khu vực rừng ngập mặn ven bờ biển tại Tanjung Piai [11].

Việt Nam là một quốc gia ven biển, thường xuyên hứng chịu ảnh hưởng của thiên tai và biến đổi khí hậu, chính vì thế các nghiên cứu về biến động đường bờ càng có vai trò quan trọng hơn. Nghiên cứu của nhóm tác giả [12] tại Cửa Đại cho thấy so với năm 1996, đường bờ năm 2015 có lấn ra biển không quá 100 m ở phường Cẩm An với tốc độ không quá 5 m/năm. Tuy nhiên, ở phường Cửa Đại đến cửa sông Thu Bồn, bờ biển năm 2015 lại lùi sâu vào đất liền so với năm 1996. Nghiên cứu tại cửa sông Lạch Ghép - Thanh Hóa cho thấy quy mô và cường độ bồi xói tại cửa sông ven biển diễn ra với cường độ lớn [13]. Nghiên cứu của nhóm tác giả [14] đã xây dựng bản đồ diễn biến đường bờ Hà Tĩnh từ năm 1998 đến năm 2018. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế, văn hóa của cả nước, hiện nay tình trạng sạt lở tại khu vực này diễn biến ngày một phức tạp hơn ảnh hưởng trực tiếp đến tính mạng, tài sản và sinh kế của người dân. Kết quả nghiên cứu [15] cho thấy một phần đường bờ thị xã Vĩnh Châu tỉnh Sóc Trăng bị xói lở nghiêm trọng trong giai đoạn 2006-2020 với bề rộng rừng ngập mặn suy giảm khoảng 70-140 m ở giai đoạn 2006-2014 và 10-50 m ở giai đoạn 2014-2020. Đoạn Tiền Giang tăng/giảm gấp đôi (từ -11,2 lên -23,1 m/năm và +23,4 xuống +11,5 m/năm). Đoạn Bến Tre và Trà Vinh có tốc độ lùi bờ tăng gấp 1,7 lần và tốc độ tiến biển tăng nhẹ khoảng 2 m/năm. Đoạn Sóc Trăng có tốc độ lùi bờ tăng nhẹ khoảng 2,6 m/năm tuy nhiên tốc độ tiến biển đã giảm đáng kể với 21,2 m/năm [16]. Hiện nay vẫn chưa có nghiên cứu thực hiện đến năm 2023 chính vì thế nhóm tác giả muốn tiếp tục nghiên cứu về sạt lở tại ĐBSCL trong ba năm gần đây, bổ sung số liệu nghiên cứu cho ĐBSCL và cập nhật tình hình sạt lở mới nhất trong khu vực. Ảnh Landsat 8 có nhiều ưu điểm và triển vọng áp dụng trong việc giải đoán và xác định lớp phủ thực vật cũng như xác định biến động trên bề mặt trái đất trên quy mô lưu vực lớn hoặc cấp huyện trở lên. So với ảnh Landsat 7, Landsat 8 có khả năng chụp và gửi về mỗi ngày nhiều ảnh hơn hẳn thế hệ vệ tinh trước. Tuy nhiên, hai kênh phổ mới là ưu thế vượt trội của Landsat 8, trong đó một kênh phổ cho phép vệ tinh thu thập được thông tin ở các tầng nước sâu hơn trong đại dương, sông, hồ; trong khi đó kênh phổ còn lại có thể phát hiện mây ti và chỉnh sửa các hiệu ứng khí quyển. Thêm vào đó, băng phổ hồng ngoại của Landsat 8 được chia thành hai, cho phép xác định nhiệt độ bề mặt chính xác hơn [17]. Với những ưu điểm kể trên, nhóm tác giả lựa chọn ảnh Landsat 8 để trích xuất và phân tích biến động đường bờ khu vực nghiên cứu (KVNC).

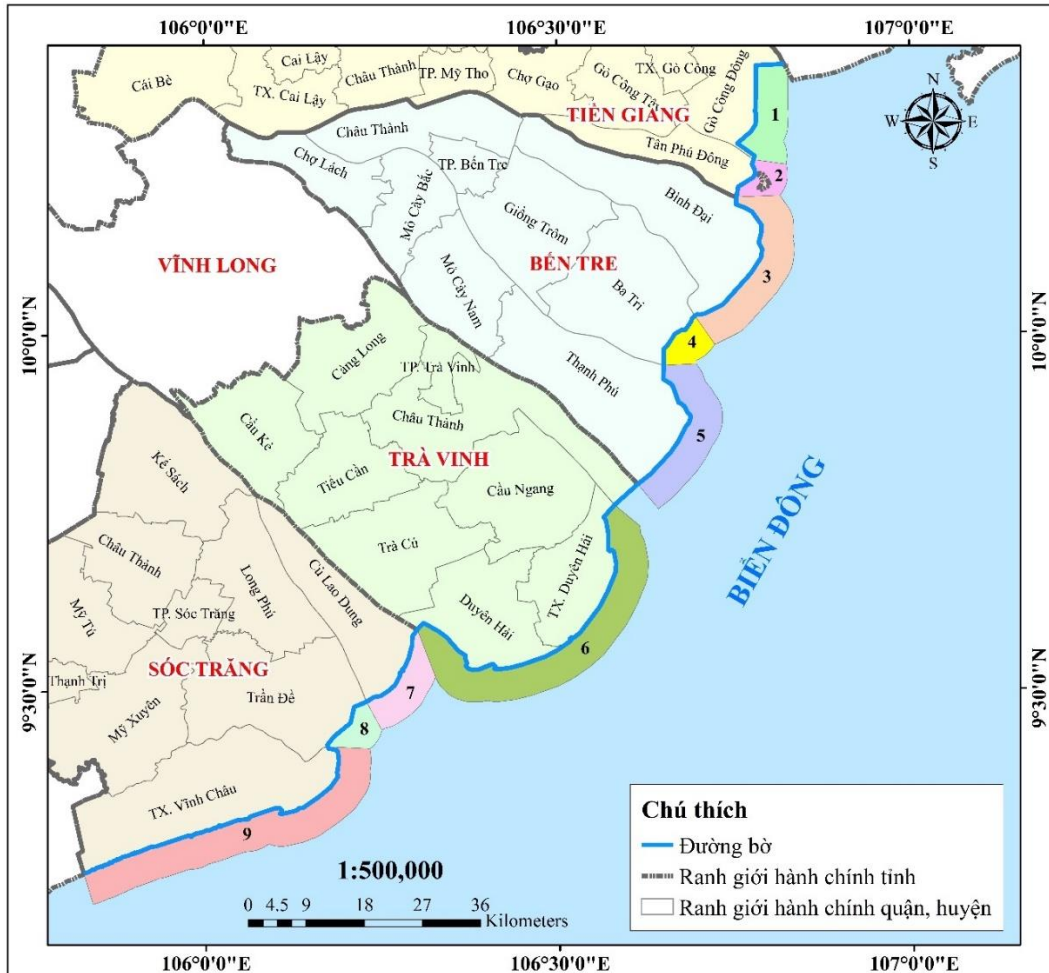
Nghiên cứu có mục tiêu làm rõ biến động đường bờ và xu thế bồi/xói tại vùng ven biển ĐBSCL, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng, giai đoạn 2021-2023, sử dụng phương pháp tích hợp viễn thám và GIS. Ngoài ra, nghiên cứu được thực hiện nhằm xây dựng bản đồ sạt lở trong ba năm gần đây, xác định các vị trí xói lở. Qua đó làm cơ sở để thực hiện các nghiên cứu đưa ra dự báo, cảnh báo, giám sát sạt lở và quản lý bờ sông, lòng sông, bờ biển, giảm thiểu tác động của sạt lở.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Giới hạn KVNC là đường bờ biển trải dài bốn tỉnh Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh và Sóc Trăng, được chia thành chín đoạn như Hình 1.

Trong đó, đường bờ tỉnh Tiền Giang nằm trải dọc trên bờ bắc sông Tiền, có chiều dài đường biển khoảng 32 km, gồm Đoạn 1 (huyện Gò Công Đông) và Đoạn 2 (huyện Tân Phú Đông); đường bờ tỉnh Bến Tre có chiều dài khoảng 65 km, gồm Đoạn 3 (huyện Bình Đại), Đoạn 4 (huyện Ba Tri) và Đoạn 5 (huyện Thạnh Phú); đường bờ tỉnh Trà Vinh nằm ở cuối cù lao, nằm giữa sông Tiền và sông Hậu, chiều dài khoảng 65 km, gồm Đoạn 6 (thị xã Duyên Hải và huyện Duyên Hải); đường bờ tỉnh Sóc Trăng nằm ở cửa Nam sông Hậu, có bờ biển dài 72 km và ba cửa sông lớn là Định An, Trần Đề và Mỹ Thanh đổ ra Biển Đông, gồm Đoạn 7 (huyện Cù Lao Dung), Đoạn 8 (huyện Trần Đề) và Đoạn 9 (thị xã Vĩnh Châu).



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat8 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 từ vệ tinh Landsat 8. Ảnh được cung cấp miễn phí bởi Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ - U.S. Geological Survey (USGS) từ trang web: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Ảnh Landsat8 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 được chụp ở 11 kênh ảnh với bước sóng và độ phân giải như mô tả ở Bảng 1 [18].

Bảng 1. Đặc trưng bộ cảm OLI và TIRs của ảnh Landsat 8.

| Kênh | Bước sóng (micrometers) | Độ phân giải (meters) |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Band 1 - Coastal aerosol | 0,43-0,45 | 30 |
| Band 2 - Blue | 0,45-0,51 | 30 |
| Band 3 - Green | 0,53-0,59 | 30 |
| Band 4 - Red | 0,64-0,67 | 30 |
| Band 5 - Near Infrared (NIR) | 0,85-0,88 | 30 |
| Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1 | 1,57-1,65 | 30 |

| Kênh | Bước sóng (micrometers) | Độ phân giải (meters) |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2 | 2,11-2,29 | 30 |
| Band 8 - Panchromatic | 0,50-0,68 | 15 |
| Band 9 - Cirrus | 1,36-1,38 | 30 |
| Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1 | 10,6-11,19 | 100 |
| Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2 | 11,50-12,51 | 100 |

Dữ liệu của ba năm được lấy cùng một vị trí và khoảng thời gian chụp. Nghiên cứu lựa chọn các tháng mùa khô, ít mưa, ít bị mây che phủ để lấy ảnh. Vị trí cố định để lấy ảnh cho ba năm: Path 125-Row 053. Thông tin ảnh thu thập được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thông tin ảnh viễn thám đã thu thập.

| STT | Tên file ảnh | Ngày |
|-----|--|------------|
| 1 | LC08_L1TP_125053_20210209_20210302_02_T1 | 09/02/2021 |
| 2 | LC09_L1TP_125053_20220204_20230429_02_T1 | 04/02/2022 |
| 3 | LC09_L1TP_125053_20230311_20230311_02_T1 | 11/03/2023 |

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Do ảnh viễn thám Landsat8 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 đã được hiệu chỉnh bức xạ và hình học nên không cần tiền xử lý ảnh nên khi tải ảnh về chỉ cần xử lý chuyển các giá trị số trên ảnh về giá trị của bức xạ vật lý tại sensor và giá trị của phản xạ ở tầng trên khí quyển bằng công cụ Raster Calculator trong ArcToolbox của phần mềm ArGIS 10.4.1. Sau khi xử lý xong ảnh viễn thám, các bước tiếp được thực hiện để trích xuất đường bờ và tính toán phạm vi và mức độ sạt lở/bồi tụ tại KVNC (Hình 2). Các bước thực hiện gồm:

Bước 1: Chuyển các giá trị số (DN) trên ảnh về giá trị của bức xạ vật lý tại sensor bằng công thức:

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Trong đó L_{λ} là giá trị bức xạ phổ tại ống kính của sensor ($Wm^{-2} ster^{-1} \mu m^{-1}$); Q_{cal} là giá trị số trên ảnh (DN); M_L là giá trị RADIANCE_MULT_BAND_x; A_L là giá trị RADIANCE_ADD_BAND_x.

Bước 2: Chuyển các giá trị của bức xạ vật lý tại sensor về giá trị của phản xạ ở tầng trên khí quyển của vật thể (đối tượng) bằng công thức:

$$\rho_{\lambda} = (M_p \times Q_{cal} + A_p) / \cos(\theta_{sz}) \quad (2)$$

Trong đó ρ_{λ} là phản xạ ở tầng trên khí quyển (Planetary TOA Reflectance, thứ nguyên, không đơn vị); Q_{cal} là giá trị số trên ảnh (DN); M_p là giá trị REFLECTANCER_MULT_BAND_x; A_p là giá trị REFLECTANCER_ADD_BAND_x; θ_{sz} là góc thiên đỉnh (góc cao) của Mặt Trời (độ) (90 - Sun elevation) [17].

Bước 3: Tính chỉ số AWEI_{sh} bằng công thức [19]:

$$AWEI_{sh} = \rho_{band1} + 2,5 \times \rho_{band2} - 1,5 \times (\rho_{band4} + \rho_{band5}) - 0,25 \times \rho_{band7} \quad (3)$$

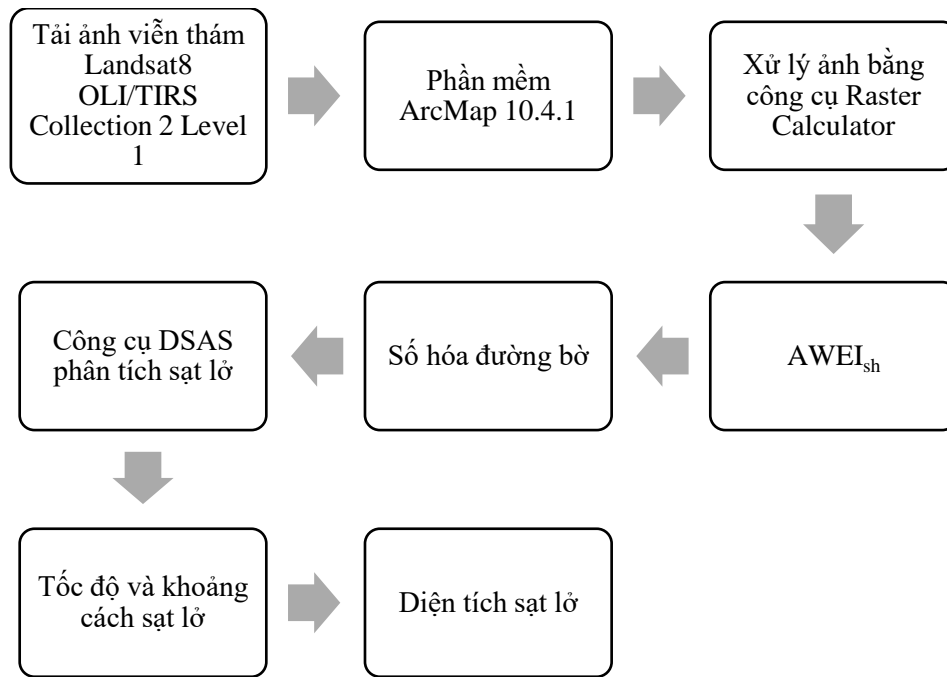
Bước 4: Số hóa đường bờ theo cùng một tỉ lệ 1:6000.

Bước 5: Sử dụng công cụ DSAS để phân tích đường bờ và tính toán các chỉ số thay đổi đường bờ. Quá trình thực hiện như sau: Xác định đường chuẩn (*baseline*) và các đường bờ tính toán (*shoreline*); Tạo các tuyến cắt ngang vuông góc bờ (*transect*); Tính toán các chỉ số thay đổi đường bờ.

Dựa trên dữ liệu thu thập được, phương pháp tỷ lệ điểm cuối (EPR) và khoảng cách thay đổi đường bờ (SCE) được chọn để phân tích kết quả. Trong đó: EPR = khoảng cách biến động/tổng thời gian theo dõi biến động; SCE = khoảng cách lớn nhất giữa các đường bờ (m).

Trong đó khoảng cách biến động là khoảng cách giữa hai đường bờ biển, tổng thời gian theo dõi biến động là khoảng thời gian giữa thời điểm có đường bờ cũ nhất và mới nhất [20].

Bước 6: Tính toán diện tích sạt lở.



Hình 2. Sơ đồ các bước thực hiện.

3. Kết quả và thảo luận

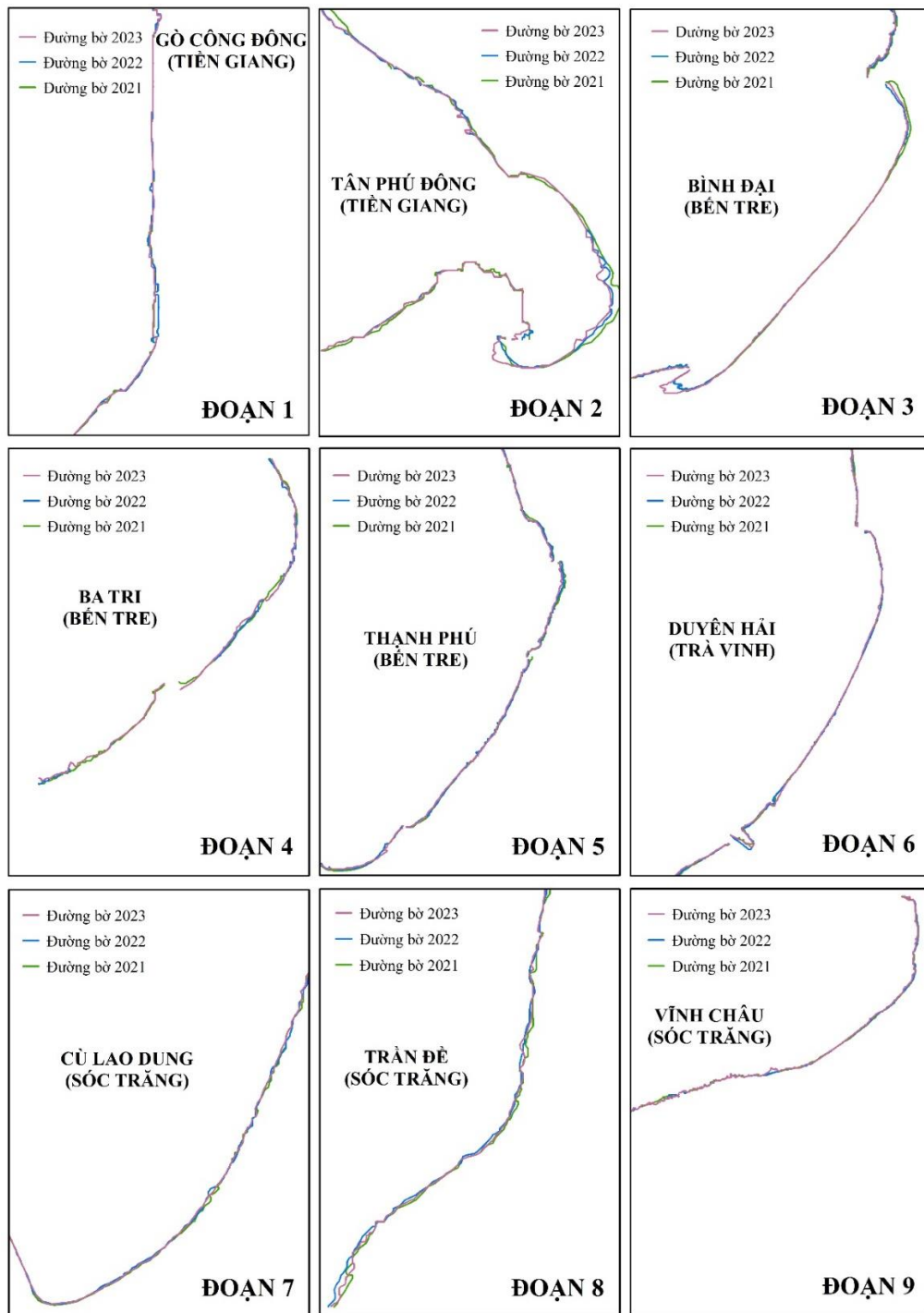
3.1. Kết quả trích xuất đường bờ, tính khoảng cách và diện tích bồi/xói

Sau khi thực hiện các bước xử lý ảnh viễn thám như mô tả ở trên, kết quả các đường bờ được số hóa như Hình 3.

Sau khi trích xuất đường bờ, bước tính diện tích sạt lở và khoảng cách sạt lở tại KVNC trong ba năm 2021-2023 được thực hiện, kết quả phân tích được thể hiện ở các Bảng 3-5.

Bảng 3. Tốc độ biến đổi đường bờ EPR (xói lở (-)) giai đoạn 2021-2023.

| Đoạn | Huyện | Tỉnh | Tốc độ biến đổi đường bờ (m/năm) | | Ghi chú |
|------|--------------|------------|----------------------------------|-----------|---------|
| | | | 2021-2022 | 2022-2023 | |
| 1 | Gò Công Đông | Tiền Giang | -23,03 | -22,80 | Sạt |
| | | | 29,11 | 16,21 | Bồi |
| 2 | Tân Phú Đông | | -44,79 | -28,94 | Sạt |
| | | | 23,56 | 25,95 | Bồi |
| 3 | Bình Đại | | -47,70 | -15,24 | Sạt |
| | | | 13,50 | 58,91 | Bồi |
| 4 | Ba Tri | Bến Tre | -25,46 | -22,13 | Sạt |
| | | | 41,08 | 13,57 | Bồi |
| 5 | Thạnh Phú | | -25,64 | -23,82 | Sạt |
| | | | 11,04 | 19,62 | Bồi |
| 6 | Duyên Hải | Trà Vinh | -32,62 | -31,62 | Sạt |
| | | | 26,89 | 39,70 | Bồi |
| 7 | Cù Lao Dung | | -25,47 | -16,78 | Sạt |
| | | | 13,47 | 13,64 | Bồi |
| 8 | Trần Đề | Sóc Trăng | -54,49 | -20,42 | Sạt |
| | | | 16,74 | 36,43 | Bồi |
| 9 | Vĩnh Châu | | -26,86 | -25,94 | Sạt |
| | | | 27,89 | 10,08 | Bồi |



Hình 3. Đường bờ các năm được trích xuất.

Bảng 4. Kết quả chỉ số SCE trung bình giai đoạn 2021-2023.

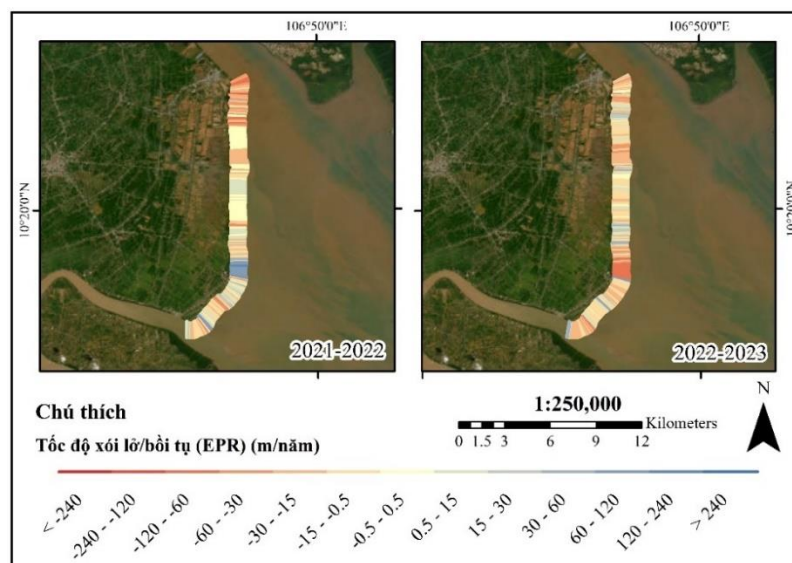
| Đoạn | Huyện | Tỉnh | SCE (m) | |
|------|--------------|------------|-----------|-----------|
| | | | 2021-2022 | 2022-2023 |
| 1 | Gò Công Đông | Tiền Giang | 21,78 | 23,18 |
| 2 | Tân Phú Đông | | 39,68 | 24,69 |
| 3 | Bình Đại | | 37,25 | 33,88 |
| 4 | Ba Tri | Bến Tre | 29,09 | 15,87 |
| 5 | Thanh Phú | Trà Vinh | 21,47 | 24,09 |
| 6 | Duyên Hải | | 29,07 | 37,93 |
| 7 | Cù Lao Dung | | 21,22 | 16,94 |
| 8 | Trần Đề | Sóc Trăng | 51,13 | 33,55 |
| 9 | Vĩnh Châu | | 26,45 | 20,14 |

Bảng 5. Kết quả diện tích bồi/xói giai đoạn 2021-2023.

| Đoạn | Huyện | Tỉnh | Diện tích bồi (ha) | | Diện tích sụt (ha) | |
|------|--------------|------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | | | 2021-2022 | 2022-2023 | 2021-2022 | 2022-2023 |
| 1 | Gò Công Đông | Tiền Giang | 14,88 | 8,63 | 19,62 | 29,01 |
| 2 | Tân Phú Đông | | 9,02 | 15,40 | 50,32 | 18,45 |
| 3 | Bình Đại | | 9,09 | 39,44 | 71,84 | 21,97 |
| 4 | Ba Tri | Bến Tre | 9,59 | 3,63 | 17,41 | 10,88 |
| 5 | Thạnh Phú | | 6,70 | 12,50 | 37,00 | 38,44 |
| 6 | Duyên Hải | Trà Vinh | 75,56 | 74,64 | 67,51 | 112,85 |
| 7 | Cù Lao Dung | | 6,72 | 9,38 | 24,46 | 16,01 |
| 8 | Trần Đề | Sóc Trăng | 1,10 | 23,31 | 49,43 | 6,59 |
| 9 | Vĩnh Châu | | 47,12 | 11,70 | 75,86 | 81,27 |

3.3.1. Đoạn 1 (huyện Gò Công Đông, tỉnh Tiền Giang)

Tốc độ sụt và bồi tụ ở huyện Gò Công Đông có xu hướng giảm qua ba năm, cụ thể tốc độ sụt giảm từ 23,03 m/năm còn 22,08 m/năm, tốc độ bồi tụ giảm mạnh từ 29,11 m/năm còn 16,21 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 21,78 m, giai đoạn 2 tăng lên 23,18 m. Diện tích sụt tăng từ 19,62 ha lên 29,01 ha và diện tích bồi tụ giảm mạnh từ 14,88 ha còn 8,63 ha. Có thể vị trí có tốc độ sụt tăng đột biến, chuyển từ bồi tụ sang sụt lở ở phía nam đường bờ tiếp giáp giữa xã Tân Điền và xã Tân Thành (Hình 4). Vào mùa gió Đông Bắc, khi sóng lớn và dòng hải lưu mạnh chiếm ưu thế đi cùng với đó là dòng chảy sông vào mùa khô là tương đối nhỏ tạo nên dòng chảy ven bờ có lưu tốc lớn. Sóng lớn sẽ gây ra hiện tượng kết cấu địa chất bờ biển bị phá vỡ tại những nơi sóng mạnh như xã Tân Điền và những nơi địa chất yếu. Hiện tượng xói lở bờ biển diễn ra mạnh vào mùa này [21].

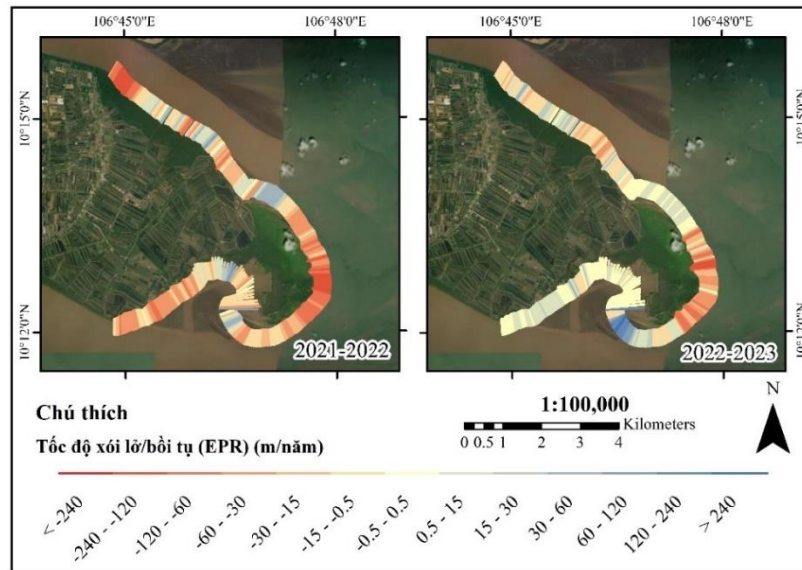


Hình 4. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Gò Công Đông (Tiền Giang) giai đoạn 2021-2023.

3.3.2. Đoạn 2 (huyện Tân Phú Đông, tỉnh Tiền Giang)

Tốc độ sụt ở huyện Tân Phú Đông giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 44,79 m/năm còn 28,94 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng từ 23,56 m/năm đến 25,95 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 39,68 m, giai đoạn 2 giảm còn 24,69 m. Diện tích sụt giảm mạnh từ 50,32 ha xuống còn 18,45 ha và diện tích bồi tụ tăng từ 9,02 ha lên 15,40 ha. Hình 5 thấy vị trí thường xuyên diễn ra sụt lở ở cực đông của huyện thuộc xã Phú Tân do có dạng hình mũi nhọn thường xuyên hứng chịu gió và sóng biển ở cường độ cao. Ở phía Tây Bắc gần Cửa Tiểu và phía Nam đường bờ (Cửa Đại) đã chuyển từ xu thế xói lở sang bồi tụ. Dòng chảy mạnh tại Cửa Tiểu và Cửa Đại là nguyên nhân chủ yếu khiến ở hai vị trí này có

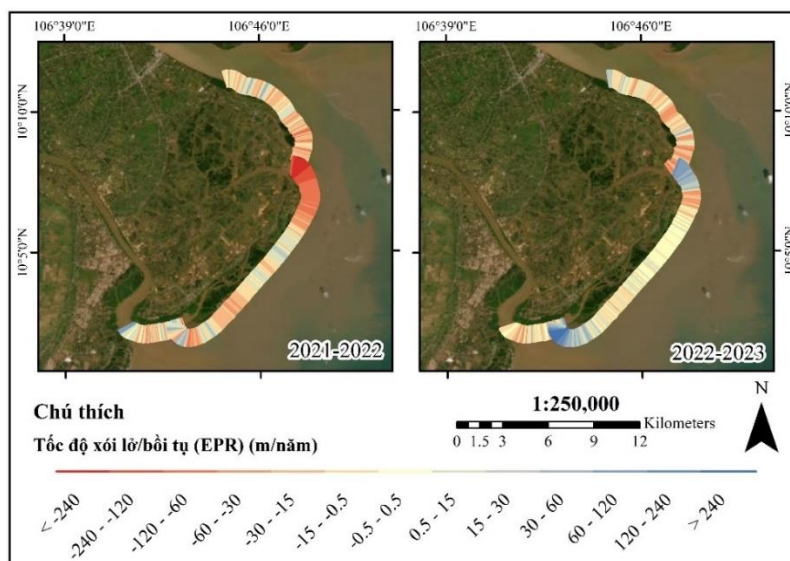
tốc độ xói lở và bồi tụ diễn biến phức tạp, bên cạnh đó hình dạng nhô ra của huyện Tân Phú Đông khiến bờ biển phía bắc gần Cửa Tiểu hứng được phần lớn khối lượng cát xói lở từ huyện Gò Công Đông.



Hình 5. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Tân Phú Đông (Tiền Giang) giai đoạn 2021-2023.

3.3.3. Đoạn 3 (huyện Bình Đại, tỉnh Bến Tre)

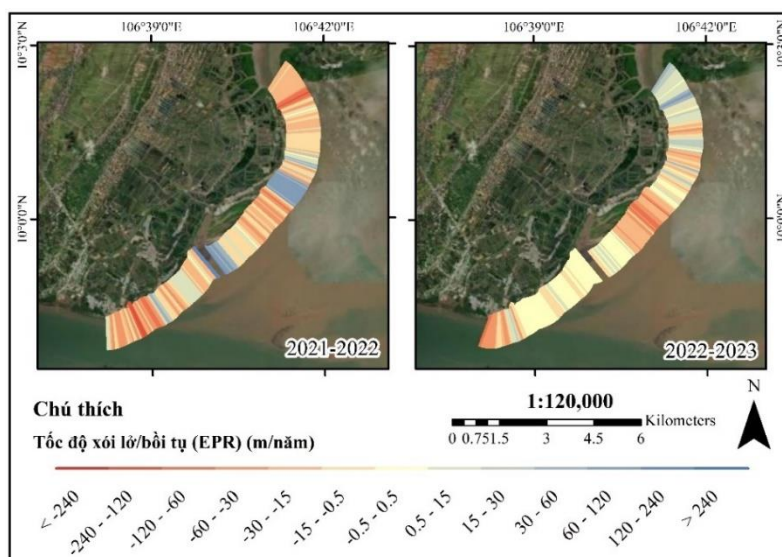
Tốc độ sạt ở huyện Bình Đại giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 47,70 m/năm còn 15,24 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng mạnh từ 13,50 m/năm lên 58,91 m/năm cao nhất trong các huyện. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 37,25 m, giai đoạn 2 giảm còn 33,88 m. Diện tích sạt giảm mạnh từ 71,84 ha xuống còn 21,97 ha và diện tích bồi tụ tăng mạnh từ 9,09 ha lên 39,44 ha. Hình 6 cho thấy vị trí có tốc độ sạt giảm mạnh và chuyển sang xu hướng bồi tụ ở khu vực gần cửa sông phía Bắc và Cửa Ba Lai phía Nam đường bờ. Các cồn cát ở cửa sông này đã phát triển mạnh, cửa Ba Lai là một ví dụ về sự tàn lụi của một cửa sông do tác động của con người. Năm 1999, hệ thống cống đập ở cửa sông Ba Lai được xây dựng, hệ quả làm cho quá trình bồi lấp xảy ra nhanh hơn [22]. Bên cạnh đó, do dòng chảy của sông Ba Lai yếu nên không chuyển tải phù sa dạt từ cửa Đại vào cửa Ba Lai. Hệ quả cửa Ba Lai bị phù sa bồi đắp và dòng chảy sông Ba Lai có xu hướng nghẽn ở đầu ra cửa biển [23].



Hình 6. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Bình Đại (Bến Tre) giai đoạn 2021-2023.

3.3.4. Đoạn 4 (huyện Ba Tri, tỉnh Bến Tre)

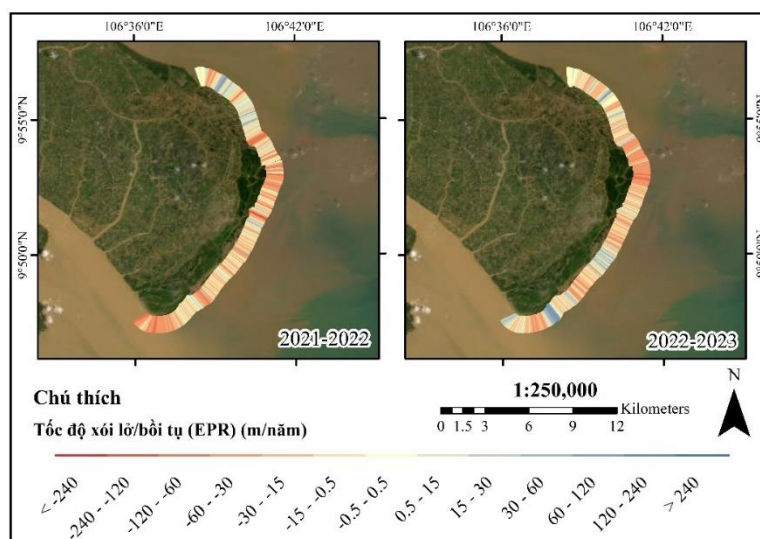
Tốc độ sạt ở huyện Ba Tri có xu hướng giảm qua ba năm, cụ thể giảm từ 25,46 m/năm còn 22,13 m/năm, tốc độ bồi tụ giảm mạnh từ 41,08 m/năm còn 13,57 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 29,09 m, giai đoạn 2 giảm còn 15,87 m. Diện tích sạt giảm từ 17,41 ha xuống còn 10,88 ha và diện tích bồi tụ giảm từ 9,59 ha xuống 3,63 ha. Các vị trí chuyển từ sạt lở sang bồi tụ và ngược lại được thể hiện trong (Hình 7).



Hình 7. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Ba Tri (Bến Tre) giai đoạn 2021-2023.

3.3.5. Đoạn 5 (huyện Thạnh Phú, tỉnh Bến Tre)

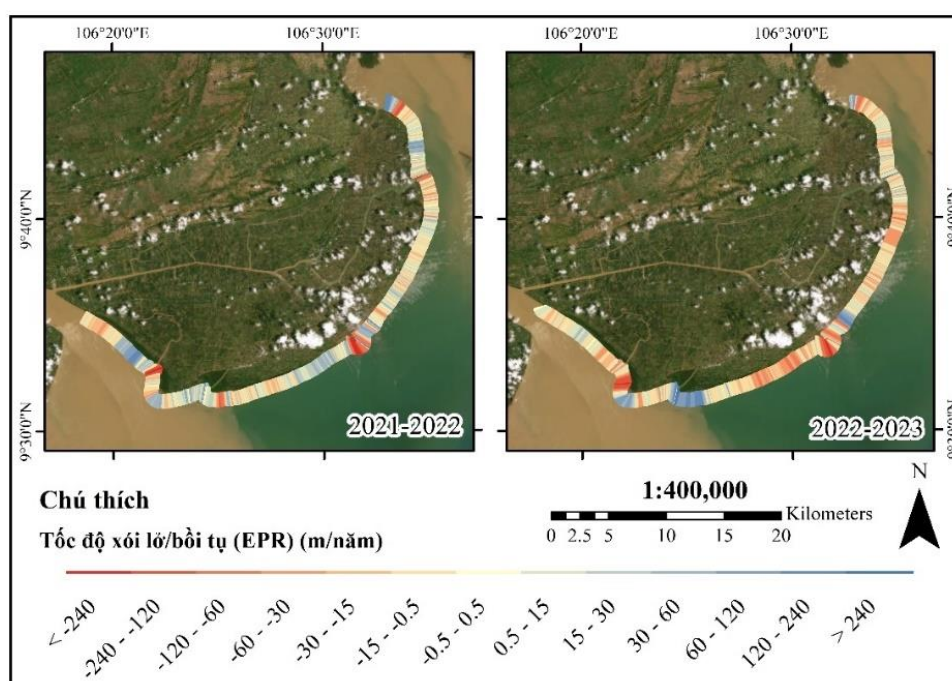
Tốc độ sạt ở huyện Thạnh Phú có xu hướng giảm qua ba năm, cụ thể giảm từ 25,64 m/năm còn 23,81 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng từ 11,04 m/năm lên 19,62 m/năm (Hình 8). Đường bờ biển động trung bình lần lượt là 21,47 m và 24,09 m ở giai đoạn 1 và 2. Diện tích sạt tăng từ 37,00 ha lên 38,44 ha và diện tích bồi tụ tăng mạnh từ 6,70 ha lên 12,50 ha. Từ Hình 8 cho thấy vị trí thường xuyên diễn ra sạt lở ở cực đông xã Thạnh Hải do hình dạng mũi nhô ra biển. Ở phía Nam đường bờ gần Cửa Cỏ Chiên có tốc độ sạt giảm mạnh, chuyển từ xu thế xói lở sang bồi tụ. Giải thích cho hiện tượng diễn biến phức tạp này là do tác động tổng hợp của dòng chảy trong sông, thủy triều và sóng cộng với địa hình nhánh Cỏ Chiên hẹp và sâu hơn, dòng chính lại chảy qua nhánh này nên sự biến động đường bờ diễn ra mạnh mẽ hơn so với nhánh Cung Hầu [24].



Hình 8. Tốc độ bồi-xói đường bờ huyện Thạnh Phú (Bến Tre) giai đoạn 2021-2023.

3.3.6. Đoạn 6 (thị xã Duyên Hải và huyện Duyên Hải, tỉnh Trà Vinh)

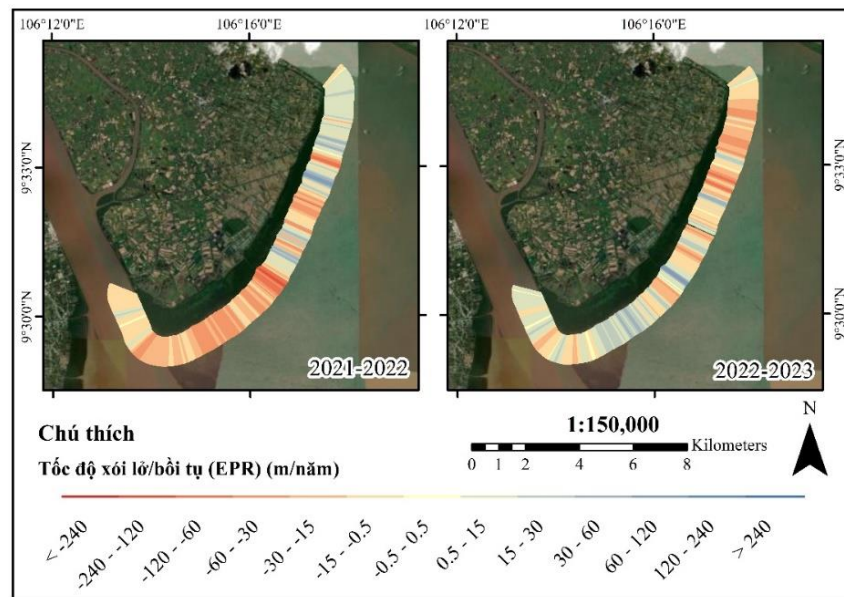
Tốc độ sạt ở Duyên Hải gần như không đổi qua hai giai đoạn, lần lượt là 32,62 m/năm và 31,62 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng từ 26,89 m/năm lên 39,70 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 29,07 m, giai đoạn 2 tăng lên 37,93 m. Diện tích sạt tăng mạnh từ 67,51 ha lên 112,85 ha và diện tích bồi tụ giảm từ 75,56 ha còn 74,64 ha. Quan sát ảnh ta thấy vị trí thường xuyên xảy ra sạt lở trong ba năm tại ghềnh đá Dân Thành và Vàm Rạch Cỏ - Cửa Định An - Mê Kông (Hình 9). Hình dạng mũi nhọn và vị trí đặc biệt của khu vực ghềnh đá Dân Thành khiến phần lớn diện tích tiếp xúc với gió và sóng biển ở cường độ cao, bên cạnh đó lớp thực vật che phủ ít khiến khu vực này thường xuyên bị sạt lở. Tại Cửa Định An trong những năm gần đây nguyên nhân sạt lở chủ yếu là do giao thông thủy (chiếm 44,12%), hiện nay tỉnh Trà Vinh với lưu lượng giao thông thủy tăng rất nhanh để vận chuyển hàng hóa và vật liệu xây dựng, kết hợp vận chuyển lúa gạo. Trên các sông của tỉnh Trà Vinh lưu lượng tàu thuyền với tải trọng dao động từ khoảng 280-1050T khi đó chiều cao sóng dao động khoảng từ 0,2-0,5 m kết hợp với đất yếu (bùn sét) dẫn đến sạt lở tăng cao tại khu vực [25].



Hình 9. Tốc độ bồi - xói đường bờ Duyên Hải (Trà Vinh) giai đoạn 2021-2023.

3.3.7. Đoạn 7 (huyện Cù Lao Dung, tỉnh Sóc Trăng)

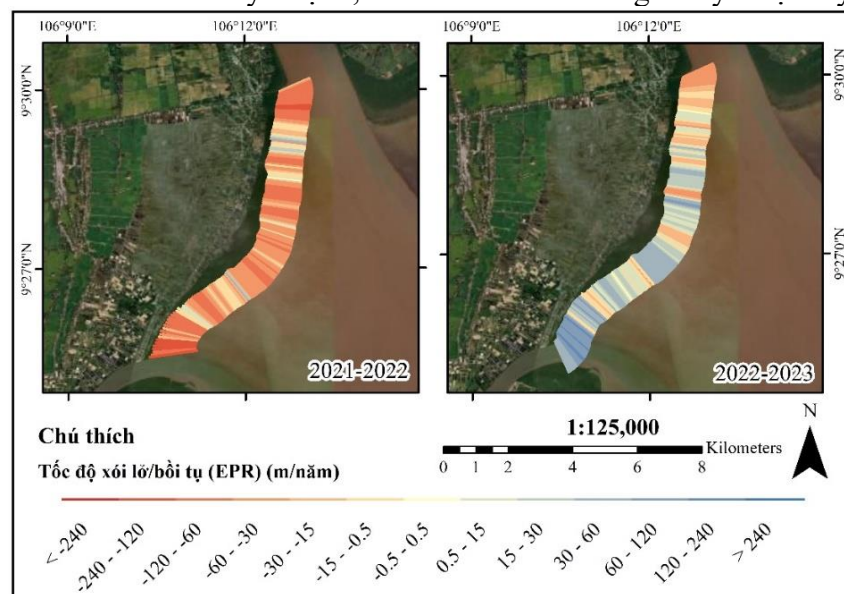
Tốc độ sạt ở huyện Cù Lao Dung giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 25,47 m/năm còn 16,78 m/năm, tốc độ bồi tụ gần như không đổi lần lượt là 13,47 m/năm và 13,64 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 21,22 m, giai đoạn 2 giảm còn 16,94 m. Diện tích sạt giảm từ 24,46 ha còn 16,01 ha và diện tích bồi tụ tăng từ 6,72 ha lên 9,38 ha. Quan sát bản đồ Hình 10 nhận thấy khu vực gần cửa biển phía Nam (Cửa Trần Đề) có tốc độ sạt giảm mạnh trong khi đó ở cửa biển phía Bắc (Cửa Định An) gần khu vực rừng ngập mặn sinh thái có tốc độ sạt tăng đột biến. Qua các năm xu hướng chính của đường bờ huyện Cù Lao Dung chủ yếu là bồi tụ do lớp thực vật phòng hộ ven bờ giúp giữ lại phù sa cho khu vực này, tuy nhiên càng gần cửa sông, xu hướng xói mòn càng tăng cao [26]. Đặc biệt gần cửa sông Định An, vị trí có lưu lượng tàu thuyền đi qua lớn kết hợp với gió mùa Đông Bắc tác động trực tiếp là nguyên nhân gây ra bất ổn định đường bờ tại khu vực phía bắc. Tại phía nam đường bờ do hình dạng phẳng và nhô ra hơn so với bờ bắc và lớp thực vật che phủ cũng chiếm ưu thế hơn tạo điều kiện giữ lại cát từ phía bờ bắc đổ xuống cũng như từ cửa Trần Đề đổ ra.



Hình 10. Tốc độ bồi - xói đường bờ huyện Cù Lao Dung (Sóc Trăng) giai đoạn 2021-2023.

3.3.8. Đoạn 8 (huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng)

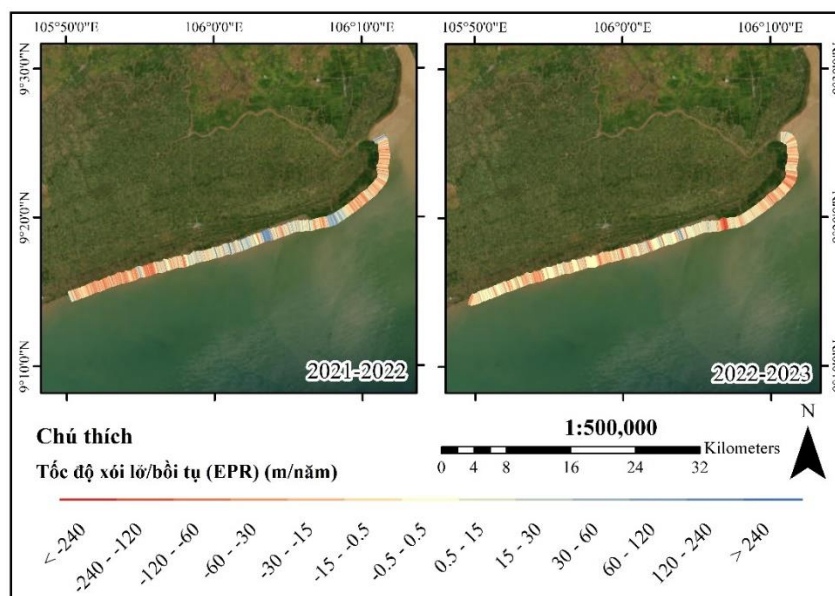
Tốc độ sạt ở huyện Trần Đề giảm đáng kể qua ba năm, cụ thể giảm từ 54,49 m/năm còn 20,42 m/năm, tốc độ bồi tụ tăng mạnh từ 16,74 m/năm lên 36,43 m/năm. Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 51,13 m, giai đoạn 2 giảm còn 35,55 m. Diện tích sạt giảm mạnh từ 49,93 ha còn 6,59 ha và diện tích bồi tụ tăng từ 1,10 ha lên 23,31 ha. Quan sát bản đồ nhận thấy tốc độ sạt lở giảm trên phần lớn đoạn đường bờ đặc biệt chuyển từ xu thế sạt lở sang bồi tụ ở phía nam đường bờ gần cửa biển Mỹ Thạnh (Hình 11). Rừng ngập mặn tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng có vai trò làm giảm năng lượng sóng triều biển từ đó giảm tác động xói lở ven bờ. Độ dày của rừng khác nhau, khả năng làm giảm sóng R (%) và tỷ lệ giảm sóng R' cũng khác nhau [27]. Khu vực phía Bắc đường bờ chịu ảnh hưởng trực tiếp của gió mùa Đông Bắc và dòng chảy của cửa biển Trần Đề cộng với độ dày rừng ngập mặn không đủ để triệt tiêu tác động từ bên ngoài và giữ lại phù sa ven bờ, chính vì thế tình trạng sạt lở tại đây diễn ra phức tạp. Ngược lại, ở khu vực phía Nam độ dày rừng tương đối cao giúp hạn chế mất đất do tác động của gió và sóng, bên cạnh đó khu vực phía Nam còn được tiếp nhận lượng lớn phù sa từ cửa biển Mỹ Thạnh, chính vì thế xu hướng chủ yếu tại đây là bồi tụ.



Hình 11. Tốc độ bồi - xói đường bờ huyện Trần Đề (Sóc Trăng) giai đoạn 2021-2023.

3.3.9. Đoạn 9 (thị xã Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng)

Tốc độ sạt ở thị xã Vĩnh Châu giảm qua ba năm, cụ thể giảm từ 26,86 m/năm còn 25,94 m/năm, tốc độ bồi tụ giảm mạnh từ 27,89 m/năm còn 10,08 m/năm (Hình 12). Khoảng cách dao động trung bình trong giai đoạn 1 là 26,45 m, giai đoạn 2 giảm còn 20,14 m. Diện tích sạt tăng từ 75,86 ha lên 81,27 ha và diện tích bồi tụ giảm từ 47,12 ha còn 11,70 ha.



Hình 12. Tốc độ bồi - xói đường bờ thị xã Vĩnh Châu (Sóc Trăng) giai đoạn 2021-2023.

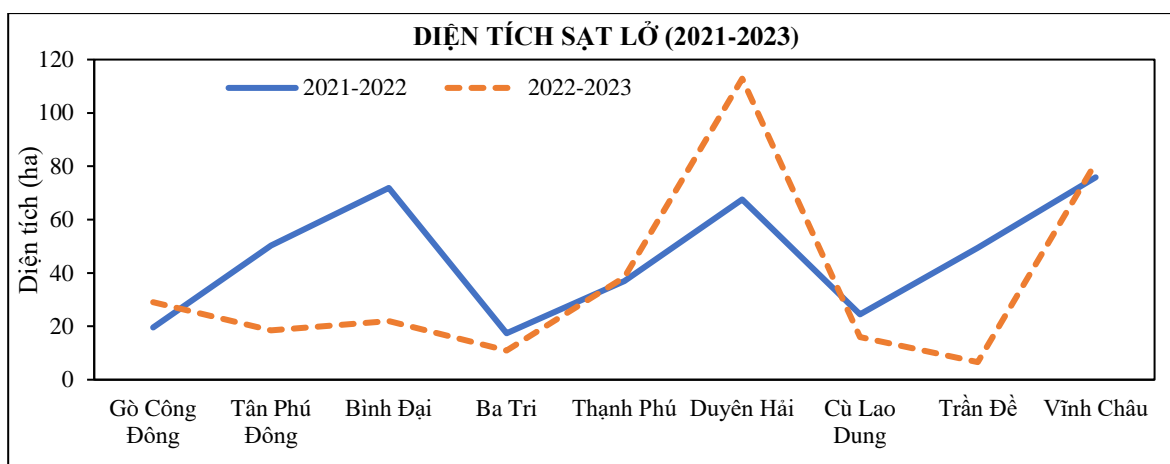
3.2. Thảo luận

Kết quả thống kê từ Bảng 3-5 cho thấy, khoảng 63,71% chiều dài của 243 km đường bờ tại KVNC bị xói lở ở giai đoạn 2021-2022. Tuy nhiên, đến giai đoạn tiếp theo 2022-2023, con số này giảm còn 59,03%. Điều này cho thấy phạm vi xói lở gần như tương đương ở hai giai đoạn nhưng có xu hướng giảm nhẹ. Sau ba năm, diện tích đất bị thu hẹp khu vực lên đến 370,52 ha.

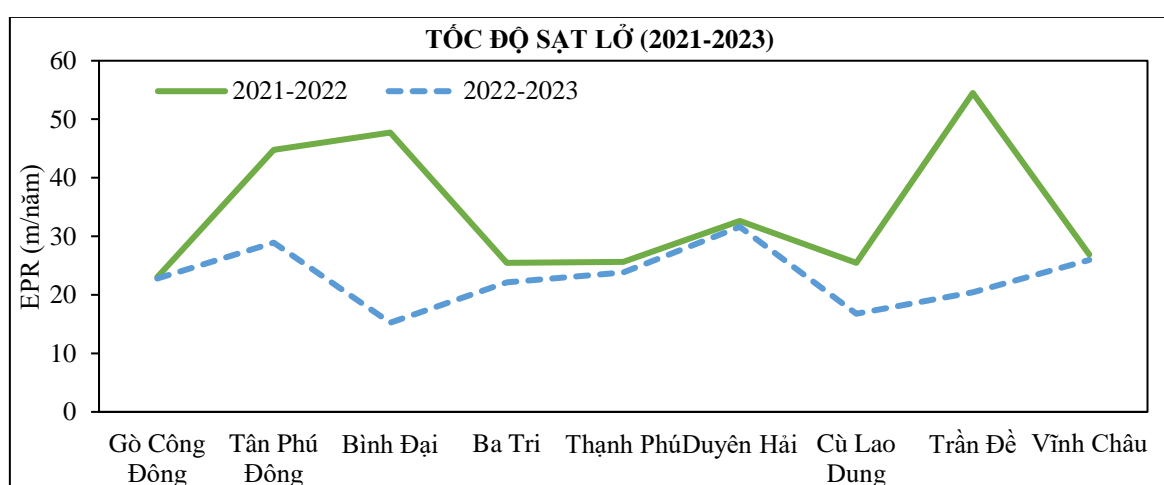
Tốc độ lùi bờ tại đoạn 8 (Trần Đề-Sóc Trăng) là lớn nhất vào khoảng 54,49 m/năm giai đoạn 2021-2022, tiếp đó là đoạn 3 (Bình Đại-Bến Tre) khoảng 47,70 m/năm giai đoạn 2021-2022. Từ năm 2021-2023, trên cả chín đoạn thuộc KVNC có sự bồi xói xen kẽ nhau trong đó đa số tốc độ xói chiếm ưu thế hơn, tuy nhiên ở giai đoạn 2022-2023 ở đoạn 3 (Bình Đại-Bến Tre) có xu hướng tiến biển (58,91 m/năm), điều này trái ngược với giai đoạn trước 2021-2022 khi vị trí này có tốc độ xói cao thứ hai trong khu vực (Bảng 3).

Giai đoạn 2021-2022, trên cả chín đoạn thuộc KVNC đều xảy ra xói lở, với tốc độ lùi bờ lần lượt là 23,03 m/năm (đoạn 1), 44,79 m/năm (đoạn 2), 47,70 m/năm (đoạn 3) và 25,46 m/năm (đoạn 4), 25,64 m/năm (đoạn 5), 32,62 m/năm (đoạn 6), 25,47 m/năm (đoạn 7), 54,49 m/năm (đoạn 8), 26,86 m/năm (đoạn 9) (Bảng 3). Đường bờ (chỉ số SCE) giai đoạn này có sự biến động từ 0,01-431,81 m, trung bình dao động khoảng 29,46 m (Bảng 4). Tổng diện tích sạt của cả khu vực là 413,46 ha, tổng diện bồi 179,78 ha, do đó tổng diện tích đất bị thu hẹp của giai đoạn này là 233,69 ha.

Giai đoạn 2022-2023, trên cả chín đoạn thuộc KVNC đều xảy ra xói lở, với tốc độ lùi bờ lần lượt là 22,80 m/năm (đoạn 1), 28,94 m/năm (đoạn 2), 15,24 m/năm (đoạn 3) và 22,13 m/năm (đoạn 4), 23,82 m/năm (đoạn 5), 31,62 m/năm (đoạn 6), 16,78 m/năm (đoạn 7), 20,42 m/năm (đoạn 8), 25,94 m/năm (đoạn 9) (Bảng 3). Đường bờ (chỉ số SCE) giai đoạn này có sự biến động từ 0,01-598,45 m, trung bình dao động khoảng 27,41 m (Bảng 4). Tổng diện tích sạt của cả khu vực là 335,47 ha, tổng diện bồi 198,64 ha. Như vậy, KVNC đã diễn ra xu thế chuyển từ xói lở (2021-2022) sang bồi tụ (2022-2023), diện tích sạt lở của khu vực đã giảm đáng kể, giảm đi 77,99 ha so với giai đoạn 2021-2022, diện tích bồi tụ tăng 18,86 ha.



Hình 13. Biểu đồ thể hiện diện tích sạt lở tại các huyện trong ba năm (2021-2023).



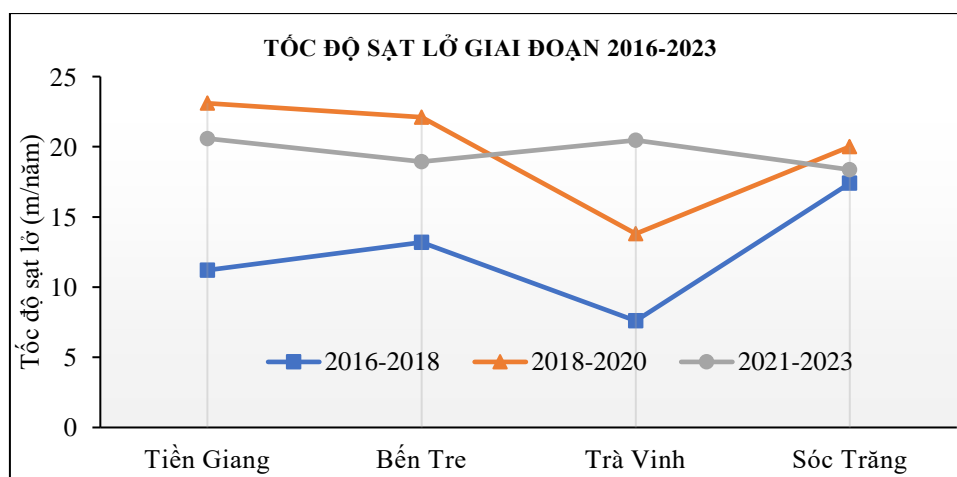
Hình 14. Biểu đồ thể hiện tốc độ sạt lở của các huyện trong ba năm (2021-2023).

Từ biểu đồ Hình 13 và 14 ta thấy: Diện tích và tốc độ sạt đường bờ tại các huyện Tân Phú Đông, Bình Đại, Cù Lao Dung, Trần Đề khá cao ở giai đoạn 2021-2022 đặc biệt là ở Bình Đại và Trần Đề, nhưng đến năm 2023 lại giảm xuống đáng kể, đây có thể xem là kết quả khả quan do nhà nước đã có những biện pháp cấp bách kịp thời để hạn chế sạt lở như kê giảm sóng bảo vệ bờ biển khu vực Côn Ngoại, Côn Nhân xã Bảo Thuận, huyện Ba Tri; kê giảm sóng bảo vệ bờ biển khu vực Cồn Búng, xã Thạnh Phong và công trình chống xói lở bờ biển khu vực Cồn Lợi, xã Thạnh Hải, huyện Thạnh Phú [28]. Tại các huyện khác như Thạnh Phú diện tích và tốc độ sạt thay đổi không đáng kể và có xu hướng tăng. Đáng chú ý tại Duyên Hải diện tích sạt lở có xu hướng tăng cao gần như gấp đôi ở năm 2023.

Để theo dõi diễn biến sạt lở trong KVNC từ năm 2016-2023 và kiểm định tính chính xác của kết quả, nghiên cứu đã kế thừa kết quả nghiên cứu trước của nhóm tác giả [16]. Kết quả phân tích EPR giai đoạn 2016-2018, 2018-2020 và kết quả nghiên cứu 2021-2023 được thể hiện trong Bảng 6.

Bảng 6. Tốc độ sạt lở/bồi tụ giai đoạn 2016-2023.

| Tỉnh | 2016-2018 | | 2018-2020 | | 2021-2023 | |
|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | Sạt lở | Bồi tụ | Sạt lở | Bồi tụ | Sạt lở | Bồi tụ |
| Tiền Giang | -11,2 | 23,4 | -23,1 | 11,5 | -20,6 | 17,2 |
| Bến Tre | -13,2 | 15,4 | -22,1 | 17,5 | -18,9 | 17,6 |
| Trà Vinh | -7,6 | 9,9 | -13,8 | 11,1 | -20,5 | 23,7 |
| Sóc Trăng | -17,4 | 52,1 | -20,0 | 30,9 | -18,4 | 13,7 |
| KVNC | -12,8 | 29,3 | -17,5 | 21,9 | -19,3 | 18,4 |



Hình 15. Biểu đồ tốc độ sạt lở của KVNC từ 2016-2023.

Từ Bảng 6 cho thấy xu hướng sạt lở đang gia tăng chậm tại KVNC (tăng 1,5 lần giai đoạn 2016-2023), lần lượt là 12,8 m/năm (2016-2018), 17,5 m/năm (2018-2020), và 19,3 m/năm (2021-2023). Trong khi đó, tốc độ bồi tụ lại giảm 1,6 lần trong giai đoạn 2016-2023, lần lượt là 29,3 m/năm (2016-2018), 21,9 m/năm (2018-2020) và 18,4 m/năm (2021-2023). Tại Tiền Giang, tốc độ sạt lở tăng 1,06 lần ở giai đoạn 2018-2020 (từ 11,2 lên 23,1 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 giảm nhẹ còn 20,6 m/năm. Tương tự, tại tỉnh Bến Tre tốc độ sạt lở tăng 0,67 lần (từ 13,2 lên 22,1 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 giảm còn 18,9 m/năm. Tại Trà Vinh, tốc độ sạt gia tăng qua các năm, từ 7,6 m/năm thấp nhất trong khu vực tăng 0,82 lần ở giai đoạn 2018-2020 (từ 7,6 lên 13,8 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 tiếp tục tăng 0,49 lần lên 20,5 m/năm cao thứ 2 trong khu vực (chỉ sau Tiền Giang). Tốc độ sạt lở tại tỉnh Sóc Trăng thay đổi không đáng kể qua các giai đoạn, chỉ tăng nhẹ 0,15 lần ở giai đoạn 2018-2020 (từ 17,4 lên 20,0 m/năm), đến giai đoạn 2021-2023 giảm nhẹ còn 18,4 m/năm. Quan sát biểu đồ (Hình 15), có thể nhận thấy các tỉnh Tiền Giang, Bến Tre và Sóc Trăng có tốc độ xói lở giảm nhẹ ở giai đoạn 2021-2023 so với các giai đoạn trước đó, trong khi Trà Vinh có xu hướng xói lở tăng nhanh, cần có những biện pháp phòng tránh và giảm thiểu tác động của sạt lở đường bờ tại địa phương này.

So với nghiên cứu [16] nghiên cứu này giới hạn cho 243 km đường bờ, chiếm khoảng 3/10 độ dài đường bờ của ĐBSCL tương đương tiểu vùng 1 của nghiên cứu trước [16]. Tuy nghiên cứu này có mục tiêu đánh giá tình trạng sạt lở ở từng địa phương của tiểu vùng, làm rõ vị trí bị sạt lở nhiều nhất cũng như diễn biến đường bờ của khu vực.

Các tỉnh khu vực ĐBSCL đã và đang đứng trước nhiều khó khăn, thách thức trước tác động khôn lường của biến đổi khí hậu, nước biển dâng. Bờ biển từ Tiền Giang đến Sóc Trăng bị ảnh hưởng nặng nề trong các năm qua. Với phạm vi và mức độ như vậy cần có nhiều biện pháp cấp bách, kịp thời hơn để hạn chế thiệt hại đối với con người và thiên nhiên.

4. Kết luận

Nghiên cứu này ứng dụng GIS, viễn thám xác định mức độ và phạm vi xói lở bờ biển Tiền Giang-Sóc Trăng, giai đoạn 2021-2023. Kết quả cho thấy, từ năm 2021-2023, bờ biển từ Tiền Giang đến Sóc Trăng có diện tích sạt lở trung bình năm khoảng 14-47 ha. Đặc biệt, khu vực có đường bờ biển dài như Duyên Hải, Vĩnh Châu có diện tích lớn hơn (68-113 ha). Tốc độ sạt trung bình khoảng 21-38 m/năm. Khoảng cách dao động đường bờ trung bình từ khoảng 19-42 m. Tổng diện tích sạt lở của toàn KVNC trong giai đoạn ba năm 2021-2023 là 578,78 ha, bồi tụ là 243,26 ha. Khu vực gần cửa biển thường có diễn biến bồi xói phức tạp qua các năm gồm Cửa Tiểu, Cửa Đại, Cửa Ba Lai, Cửa Cỏ Chiên, Cửa Định An, Cửa Trần Đề và Cửa Mỹ Thạnh. Đến năm 2023 tốc độ xói có xu hướng giảm trên toàn khu vực tuy nhiên diện tích xói vẫn tăng cao ở một số khu vực có đường biển dài như Duyên Hải, Vĩnh

Châu. Khu vực này cần có các biện pháp hiệu quả để tình hình sạt lở được kiểm soát tốt hơn, giảm thiệt hại đến mức tối thiểu nhất.

Do hạn chế về thời gian thực hiện nghiên cứu, giai đoạn số hóa đường bờ cần sự chính xác cao, nhóm tác giả chưa thể xây dựng bộ dữ liệu nghiên cứu cho toàn bộ khu vực ĐBSCL để có cái nhìn tổng quát hơn về tình trạng sạt lở đường bờ mà chỉ giới hạn xử lý dữ liệu cho bốn tỉnh Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng. Bên cạnh đó nghiên cứu gặp phải một vài hạn chế về dữ liệu thực đo, chưa có số liệu đo đạc tại địa phương để so sánh với kết quả phân tích từ ảnh viễn thám. Các kết quả nghiên cứu chỉ đưa ra mức độ và phạm vi sạt lở nhưng chưa tìm ra nguyên nhân chính xác tại sao diễn ra các quá trình đó (chỉ đưa ra ở phần phân tích thông qua thu thập tài liệu). Từ các hạn chế trên nhóm tác giả mong muốn mở rộng phạm vi nghiên cứu trong tương lai, trong quá trình nghiên cứu sẽ thu thập thêm dữ liệu thực đo để tăng thêm độ tin cậy cho kết quả chiết xuất đường bờ. Bước tiếp theo cần mô hình hóa để tìm ra nguyên nhân bồi, xói từ đó làm cơ sở để đề xuất thực hiện các biện pháp, giải pháp kịp thời ở những khu vực có nguy cơ xói lở cao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu và đặt ra bài toán: B.T.L; Xử lý số liệu: P.V.T.P.; Viết bản thảo bài báo: P.V.T.P., P.T.H.H.; Chỉnh sửa bài báo: B.T.L., P.T.H.H.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

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. Quynh, C.K.N.; Hanh, P.T.H.; Long, B.T. Assessment of the shoreline evolution and coastal erosion trends along Cua Dai beach, Hoi An City, Quang Nam. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 736(1), 41–53.
2. Alharbi, O.A.; Hasan, S.S.; Fahil, A.S.; Mannaa, A.; Buitrago, N.R.; Alqurashi, A.F. Shoreline change rate detection applying the DSAS technique on low and medium resolution data: Case study along Ash Shu'aybah-Al Mujayrimah coastal Area of the Eastern Red Sea, Saudi Arabia. *Reg. Stud. Mar. Sci.* **2023**, 66, 103118. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103118>.
3. Bheeroo, R.A.; Chandrasekar, N.; Kaliraj, S.; Magesh, N.S. Shoreline change rate and erosion risk assessment along the Trou Aux Biches–Mont Choisy beach on the northwest coast of Mauritius using GIS-DSAS technique. *Environ. Earth Sci.* **2016**, 75, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5311-4>.
4. Hapke, C.J.; Brenner, O.; Hehre, R.; Reynolds, B.J. Coastal Change from Hurricane Sandy and the 2012–13 Winter Storm Season: Fire Island, New York. *Mar. Sci. Fac. Publ.* **2013**, 2501, pp. 37. https://digitalcommons.usf.edu/msc_facpub/2501/.
5. Mishra, M.; Kar, D.; Santos, C.A.G.; da Silva, R.M.; Das, P.P. Assessment of impacts to the sequence of the tropical cyclone Nisarga and monsoon events in shoreline changes and vegetation damage in the coastal zone of Maharashtra, India. *Mar. Pollut. Bull.* **2022**, 174, 113262. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113262>.
6. Kish, S.A.; Donoghue, J.F. Coastal Response to Storms and Sea-Level Rise: Santa Rosa Island, Northwest Florida, U.S.A. *J. Coastal Res.* **2013**, 63, 131–140. <https://doi.org/10.2112/SI63-012.1>.
7. Al-Zubieri, A.G.; Ghandour, I.M.; Bantan, R.A.; Basaham, A.S. Shoreline Evolution Between Al Lith and Ras Mahāsin on the Red Sea Coast, Saudi Arabia Using GIS and DSAS Techniques. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2020**, 48, 1455–1470. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01169-6>.
8. Singh, S.; Solanki, H.; Prakash, I. Shoreline Change Analysis Using Digital Shoreline Analysis System (DSAS) in the Coastal Area of Jambusar, Gujarat, India. *Acta Sci. Environ. Sci.* **2022**, 1(1), 10–16.

9. Khomsin; Pratomo, D.G.; Pramudya, F.A. Evaluation of shoreline change using multitemporal satellite images. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**, 731, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/731/1/012006>.
10. Joesidawati, M.I.; Suntoyo. Shoreline Change in Tuban district, East Java using Geospatial and Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Techniques. *Int. J. Oceans Oceanogr.* **2016**, 10(2), 235–246.
11. Apandi, E.B.T.; Salleh, S.A.; Rahim, H.A.; Adnan, N.A. Mapping of Coastline Changes in Mangrove Forest using Digital Shoreline Analyst System (DSAS). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, 1067, 1–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012036>.
12. Non, D.Q.; Ngũ, N.H.; Linh, N.T.N.; Vinh, N.T. Tích hợp DSAS (Digital Shorelines Analysis System), GIS - viễn thám đánh giá biến động đường bờ biển: trường hợp nghiên cứu tại Cửa Đại, tỉnh Quảng Nam. *VN J. Agric.* **2017**, 3, 128–134.
13. Hà, N.T.T.; Vệ, N.Đ.; Lữ, N.M. Tuyển tập báo cáo khoa học: Nghiên cứu ứng dụng, phát triển hạ tầng dữ liệu không gian địa lý quốc gia: Vai trò của công nghệ đo đạc bản đồ hiện đại. Nhà xuất bản Tài nguyên - môi trường và bản đồ Việt Nam, Hà Nội, 2021, pp. 220–227.
14. Châu, T.K.; Hiền, L.T.T.; Hoa, N.T.; Trung, L.H. Nghiên cứu diễn biến đường bờ biển Hà Tĩnh bằng công nghệ viễn thám và GIS. 2018. Trục tuyến: https://www.researchgate.net/publication/329235714_nghien_cuu_dien_bien_duong_b_o_bien_ha_tinh_bang_cong_nghe_vien_tham_va_gis.
15. Hậu, L.M.; Hồng, N.T.C.; Loan, T.T.; Duy, Đ.V.; Tỷ, T.V. Đánh giá biến động đường bờ biển Thị xã Vĩnh Châu tỉnh Sóc Trăng bằng phương pháp ảnh viễn thám. *VN J. Hydrometeorol.* **2022**, 733(1), 98–108.
16. Hanh, T.H.P.; Long, B.T. Mechanism of erosion zone formation based on hydrodynamic factor analysis in the Mekong Delta coast, Vietnam. *Environ. Technol. Innovation* **2023**, 30, 103094. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103094>.
17. Thị, V.; Duẩn, V.; Thị, N.V.; Hưng, V.; Văn, H. Nghiên cứu xây dựng quy trình ảnh vệ tinh Landsat 8 Trong Arcgis. *Tạp Chí Khoa Học Và Công Nghệ* **2015**, 1-2015, 73–83.
18. What are the band designations for the Landsat satellites?. USGS. Online available: https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=3#qt-news_science_products (accessed Jul. 27, 2023).
19. Laonamsai, J. et al. Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for Estimating Erosion and Deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology* **2023**, 10(3), 1–25. <https://doi.org/10.3390/hydrology10030070>.
20. Himmelstoss, E.A.; Henderson, R.E.; Kratzmann, M.G.; Farris, A.S. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091. U.S. *Geol. Surv.* **2021**, pp. 104.
21. Thành, L.T.; Hải, N.V. Diễn biến thủy động lực khu vực bờ biển Gò Công Đông - Tiền Giang, dưới tác dụng của mô hàn và đê ngầm phá sóng bằng Geo-tube. Hội đập lớn và phát triển nguồn nước Việt Nam, 2016.
22. Sáo, N.T.; Huân, N.M. Nghiên cứu bồi lấp cửa Ba Lai, Bến Tre. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 27(1S), 211–217.
23. Ba Lai. Website thông tin Kinh tế - Xã hội tỉnh Bến Tre. 2011. Trục tuyến: https://web.archive.org/web/20110617120843/http://www.bentre.gov.vn/index.php?option=com_content&task=view&id=556
24. Bình, L.T.H.; Thành, L.T. Diễn biến hình thái học của cửa sông Cổ Chiên và Cung Hầu, thuộc hệ thống sông Cửu Long, Việt Nam. *Tạp chí khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường* **2014**, 46, 56–62.
25. H.V.Hiệp; H.H.Trí; N.T.Công; N.G.Truyền. Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 741, 19–28.
26. Khoa, H.Đ.; Hồng, H.T.C.; Thanh, T.N.; Liễu, N.T.T.; Tỷ, T.V.; Thân, C.T.N.; Thắng, C.N.; Toàn, H.T.; Tuấn, H.M.; Duy, Đ.V.; Ninh, T.Q. Quan trắc diễn biến đường bờ Cù

Lao Dung bằng công nghệ phân tích ảnh viễn thám. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng* **2023**, 13(02), 54–58.

27. Lợi, L.T.; Nguyên, L.T.; Duy, N.N.; Trí, V.P.Đ. Đánh giá khả năng giảm sóng triều của độ dày rừng ngập mặn tại huyện Trần Đề, tỉnh Sóc Trăng. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55(2), 18–26.

28. Trí, C. Sạt lở ở Bến Tre diễn biến phức tạp. Báo Tin Tức. 2022. Trục tuyến: <https://baotintuc.vn/tay-bac-tay-nguyen-tay-nam-bo/sat-lo-o-ben-tre-dien-bien-phuc-tap-20221118091950327.htm#:~:text=Thời gian qua%2C được sự quan tâm%2C hồ, và xã Nhơn Thạnh%2C thành phố Bến Tre.>

Application of remote sensing, GIS to assess the rate and range of coastal erosion in the Mekong River Delta, from Tien Giang to Soc Trang Province

Phan Vo Tieu Phuong^{1,2}, Pham Thi Hong Hanh^{2,3}, Bui Ta Long^{1,2*}

¹ Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

² National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam; phuong.phanthantichduyen@hcmut.edu.vn; hanhpth99@hcmut.edu.vn; longbt62@hcmut.edu.vn

³ National University Ho Chi Minh (VNU-HCM) Key Laboratory of Advanced Waste Treatment Technology, HCMUT; hanhpth99@hcmut.edu.vn

Abstract: Coastal erosion in the Mekong Delta is happening with more frequency and more serious damage. This type of disaster greatly affects people's lives, properties and livelihoods and is the subject of many research projects and projects. Remote sensing is one of the methods chosen to analyze the shoreline change over the years. In this study, Landsat 8 remote sensing images were combined with the DSAS tool integrated in ArcGIS software to clarify the shoreline changes and erosions occurring in the coastal area from Tien Giang to Soc Trang in the period of 2021-2023. The analysis results show that, about 63.71% of the length of the shoreline will be eroded in the period of 2021-2022. However, by the next period 2022-2023, this number drops to 59.03%. This shows that the extent of erosion is almost equal in the two periods but tends to decrease slightly. Along with that, comparing the results with the period 2016-2020, it can be seen that in the period of 2021-2023 Tien Giang, Ben Tre and Soc Trang provinces have a slight decrease in erosion rate, while Tra Vinh province tends to have a slight decrease in erosion rate. the direction of erosion increases rapidly. The results are the basis for improving the capacity of landslide forecasting, warning, monitoring and coastal management, minimizing the impact of landslides, and protecting people's safety and livelihoods.

Keywords: Remote sensing; Shoreline analysis; Accretion/erosion; Mekong Delta.