

## Studying and forecasting the evolution of the Day river coastal zone up to the year of 2070

Duong Quoc Hung<sup>1,\*</sup>, Vu Hai Dang<sup>1</sup>, Phan Dong Pha<sup>1</sup>, Nguyen Thi Anh Nguyet<sup>1</sup>,  
Ngo Bich Huong<sup>1</sup>, Nguyen Thai Son<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Marine Geology and Geophysics, VAST, Vietnam*

<sup>2</sup>*Institute of Geography, VAST, Vietnam*

\*E-mail: [quochunghdh@yahoo.com](mailto:quochunghdh@yahoo.com)

Received: 12 June 2019; Accepted: 30 November 2019

©2020 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

### Abstract

The Day river coastal zone is the place of plentiful and eventful economical activities and the natural habitat of diverse endemic species that should be preserved and developed. According to the updated geological, remote-sensing and oceanographic data sources, this study figures out the actual state, evolutionary history and forecasts the development of the Day river coastal zone up to the year 2070, which could be used to improve the effectiveness of the long-term spatial coastal zone management and master planning. Major conclusions are as follows: (i) The Day river coastline has been highly modified since the last 50 years, (ii) The shoreline seaward development tends to gradually decrease in recent years, and (iii) The river-bed continues to be shifted southwestwards in the context of global climate change and sea level rise.

**Keywords:** Day river, coastal zone, sea level rise.

## Nghiên cứu biến động và dự báo xu thế phát triển đới bờ khu vực cửa Đáy tới năm 2070

Dương Quốc Hưng<sup>1\*</sup>, Vũ Hải Đăng<sup>1</sup>, Phan Đông Pha<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Ánh Nguyệt<sup>1</sup>,  
Ngô Bích Hương<sup>1</sup>, Nguyễn Thái Sơn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

\*E-mail: quochunghd@yahoo.com

Nhận bài: 12-6-2019; Chấp nhận đăng: 30-11-2019

### Tóm tắt

Khu vực Cửa Đáy là nơi diễn ra các hoạt động kinh tế dân sinh phong phú, sôi động, đồng thời cũng là môi trường tự nhiên của các sinh cảnh đặc hữu đa dạng cần được bảo tồn và phát triển. Trên cơ sở nguồn tài liệu địa chất, viễn thám và vật lý hải dương mới được cập nhật, nghiên cứu này đã xác định hiện trạng, qui luật biến động và dự báo xu thế phát triển đới bờ khu vực cửa sông Đáy tới năm 2070, góp phần nâng cao hiệu quả của công tác quy hoạch dài hạn và quản lý không gian đới bờ. Các kết luận chính bao gồm: (i) Đới bờ cửa Đáy đã bị biến cải mạnh mẽ sau 50 năm phát triển, (ii) Quá trình phát triển đường bờ ra biển đang có xu thế giảm nhanh và (iii) Lòng dẫn cửa sông Đáy tiếp tục dịch chuyển về phía tây nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu và nước biển dâng.

**Từ khóa:** Cửa Đáy, đới bờ, nước biển dâng.

### MỞ ĐẦU

Các dạng địa hình bãi bồi, vũng vịnh, rừng ngập mặn đới bờ cửa sông là các yếu tố qui định hình dạng đường bờ. Chúng chủ yếu hình thành do quá trình tương tác sông - biển nên rất nhạy cảm với các biến động của tự nhiên, chúng phản ánh quá trình cân bằng động của các hệ sinh thái kém bền vững luôn thay đổi theo không gian và thời gian. Đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp những năm gần đây, thiên tai xảy ra ở vùng ven biển cửa sông ngày càng gia tăng về cường độ và tần suất: Bão lớn, lũ lụt, mực nước biển dâng cao gây xói lở cục bộ, làm sạt lở đê kè và các công trình kinh tế dân sinh. Cùng với các tác động nhân sinh, khai thác tài nguyên thụ động, thiếu qui hoạch lâu dài, bền vững, những nguyên nhân này làm cho đường bờ đã và đang gây ra hiện tượng biến động đới bờ ngày càng

mạnh mẽ, phức tạp đối với nhiều khu vực trên thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng.

Công nghệ viễn thám và hệ thống tin địa lý (GIS) được áp dụng để tiến hành nghiên cứu diễn biến đường bờ vùng cửa sông ven biển Cửa Đáy, phục vụ cho việc đánh giá biến động đường bờ biển, cửa sông qua các thời kỳ, qua đó xây dựng bản đồ diễn biến bồi tụ - xói lở đới bờ, đánh giá quá trình phát triển bãi bồi tại khu vực ven biển có diện tích tương đối lớn, rừng ngập mặn phủ dày, làm cơ sở dự báo xu thế phát triển Cửa Đáy theo kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2016. Cơ sở dự báo xu thế phát triển đới châu thổ ngầm Cửa Đáy được thực hiện thông qua các mô đun của phần mềm mô hình mô phỏng thủy thạch động lực MIKE 3 với các thông số đầu vào bao gồm bản đồ địa hình và độ sâu đáy biển, số liệu khí

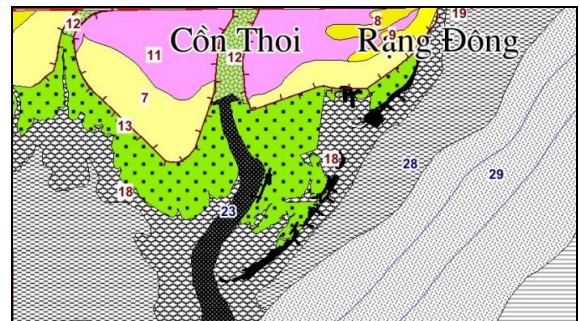
tượng thủy văn, vật lý hải dương và thành phần thạch học của vật liệu trầm tích đáy, được thu thập từ các nghiên cứu trước và số liệu mới nhất được cập nhật từ các chuyên khảo sát thực địa thực hiện trong các năm 2016–2017.

### KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ ĐẶC ĐIỂM ĐỊA HÌNH - ĐỊA MẠO

Khu vực nghiên cứu là đới ven biển Cửa Đáy được tính từ Cửa Đáy ra phía bờ trái đến cửa Lạch Giang, ra đến bờ phải đến Cửa Càn và vào trong sông khoảng 6 km, thuộc địa phận hai huyện Kim Sơn (Ninh Bình) và Nghĩa Hưng (Nam Định) (hình 1). Đây là một bộ phận tiền châu thổ và chân châu thổ của hệ thống châu thổ sông Hồng, một trong hai châu thổ lớn nhất Việt Nam, có lịch sử hình thành và phát triển rất phức tạp với các hoạt động kinh tế xã hội sôi động. Ngoài các nhân tố tự nhiên, các hoạt động nhân sinh, trong đó đáng kể nhất là hoạt động khai hoang, đắp đê lấn biển được tiến hành trên qui mô lớn trong hàng trăm năm qua đã gây ra nhiều biến động lớn trên toàn bộ châu thổ, nhất là khu vực các cửa sông ven biển. Các hình thái địa mạo trên khu vực nghiên cứu đã được xác định như sau [1] (số trong ngoặc đơn tương ứng số hiệu trên hình 1): Đồng bằng nguồn gốc sông - biển (7), đồng bằng nguồn gốc biển (8), đồng bằng nguồn gốc biển - gió (9), đồng bằng nguồn gốc biển - đầm lầy (11), bãi bồi sông ngoài đê chịu tác động của thủy triều (12), bãi triều cao tích tụ chịu tác động chủ yếu của sông - sóng (13), bãi triều thấp tích tụ chịu tác động chủ yếu của sông - sóng (18), bãi triều tích tụ xói lở chịu tác động chủ yếu của sóng (19), dòng xâm thực chịu tác động chủ yếu của triều - sóng (23), đồng bằng tích tụ - mài mòn tiền châu thổ phát triển hình thái val ngầm (28) và đồng bằng tích tụ - mài mòn ít phát triển val ngầm (29).

Cửa Đáy nằm ở góc của một vùng nước nông kiểu vịnh nửa kín, ít chịu tác động của hướng sóng đông bắc, do đó diễn biến cửa sông Đáy có sự khác biệt cơ bản so với các cửa sông trong vùng đồng bằng sông Hồng, đó là quá trình bồi tụ và kéo dài liên tục với tốc độ nhanh về phía biển. Sự thành tạo và phát triển bãi bồi cửa sông vùng ven biển cửa Đáy và lân cận là kết quả của quá trình tái phân bố và lắng đọng vật liệu bùn cát do hệ thống sông mang tới trên thềm triều rộng. Theo kết quả nghiên cứu của

Nguyễn Văn Cư [2], hàng năm có khoảng  $30.10^6$  tấn bồi tích và 32 tỷ  $m^3$  nước qua Cửa Đáy đổ ra biển, về mùa mưa lượng bồi tích này phân tán xa bờ về phía biển tới 12 km. Tuy nhiên, theo số liệu điều tra của Vũ Tất Uyên [3] thì tổng lượng phù sa hàng năm tại Cửa Đáy sau khi có đập thủy điện Hoà Bình đã giảm bình quân 41%. Dòng bồi tích dọc bờ chịu sự chi phối của một loạt các yếu tố hải văn, đồng thời hệ thống đê do con người tạo ra cũng có ảnh hưởng lớn đến đường bờ tự nhiên và xu hướng phát triển bãi bồi. Sự dịch chuyển Cửa Đáy về phía tây nam và hiện tượng xói lở mép bãi ở phía đông nam, bồi tụ mạnh ở phía tây nam kèm theo được xác định là có liên quan đến dòng bồi tích dọc bờ thống trị hướng đông bắc - tây nam [4].

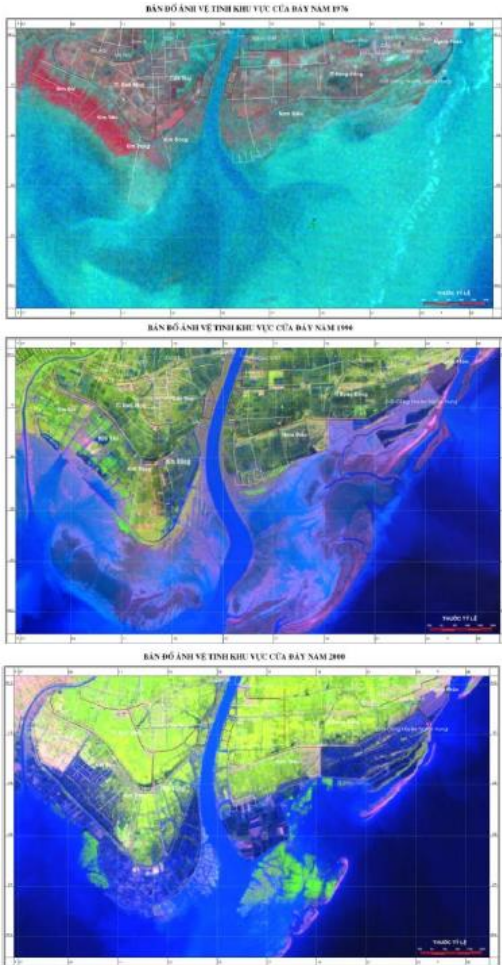


Hình 1. Bản đồ địa mạo khu vực cửa sông Đáy [1]

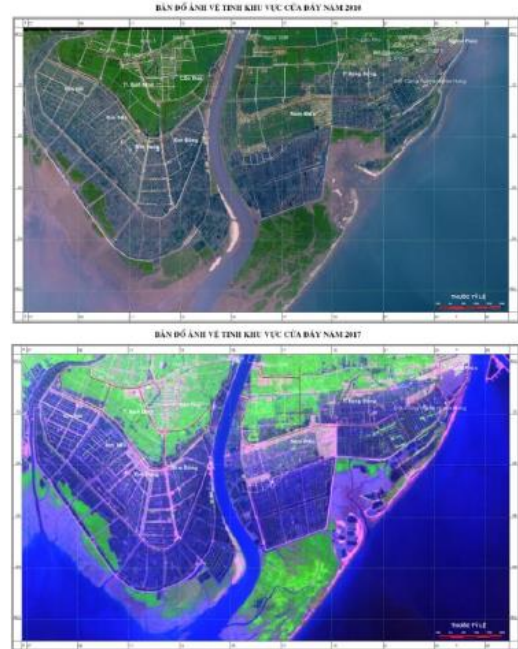
### CƠ SỞ SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các tư liệu ảnh viễn thám được thu thập, hiệu chỉnh, nắn chỉnh hình học và tăng cường chất lượng để đưa vào phân tích, bao gồm: (i) Ảnh vệ tinh Landsat 2, MSS, chụp ngày 29/12/1976; (ii) Ảnh vệ tinh Landsat 5, TM chụp ngày 22/8/1990; (iii) Ảnh vệ tinh Landsat 7, ETM chụp ngày 29/9/2000; (iv) Ảnh vệ tinh Spot 5, chụp ngày 25/8/2010; và (v) Ảnh vệ tinh Landsat 8, OLI chụp ngày 28/5/2017. Ảnh vệ tinh Landsat có độ phân giải là 15 m sau khi tổ hợp, ảnh vệ tinh Spot 5 có độ phân giải 2,5 m sau khi tổ hợp, phù hợp với mục tiêu đánh giá biến động lòng dẫn và đường bờ vùng cửa sông nghiên cứu (hình 2). Các tham số đầu vào cho các mô đun của phần mềm mô hình thủy thạch động lực MIKE 3 bao gồm bản đồ địa hình và độ sâu đáy biển, số liệu khí tượng thủy

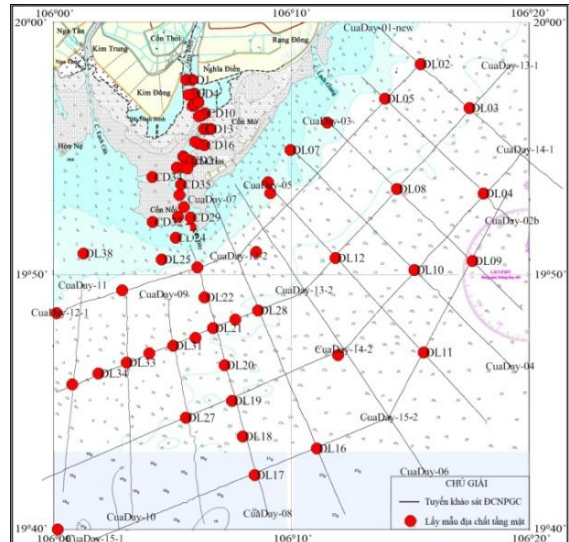
văn, vật lý hải dương và thành phần thạch học của vật liệu trầm tích đáy, được tổng hợp từ các nghiên cứu trước và bổ sung, cập nhật số liệu mới nhất từ các chuyến khảo sát thực địa được thực hiện trong các năm 2016–2017 (hình 3). Số liệu về các yếu tố khí tượng thủy văn bao gồm nhiệt độ, độ ẩm, lượng mưa, nắng, gió tại các trạm đo khí tượng thủy văn lưu vực sông Đáy, được hiệu chỉnh về cùng một chuẩn thống nhất. Các yếu tố vật lý hải dương bao gồm độ đục, độ muối, nhiệt độ quan trắc theo hai mùa tháng 10/2016 và tháng 5/2017 được phân tích xử lý, xây dựng các sơ đồ mặt cắt thể hiện sự biến đổi theo không gian và theo mùa để có những đánh giá sơ bộ về các quá trình động lực ảnh hưởng đến quá trình vận chuyển trầm tích tại khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Ảnh vệ tinh khu vực Cửa Đáy thời kỳ 1976, 1990, 2000, 2010 và 2017



Hình 2. Ảnh vệ tinh khu vực Cửa Đáy thời kỳ 1976, 1990, 2000, 2010 và 2017 (tiếp)



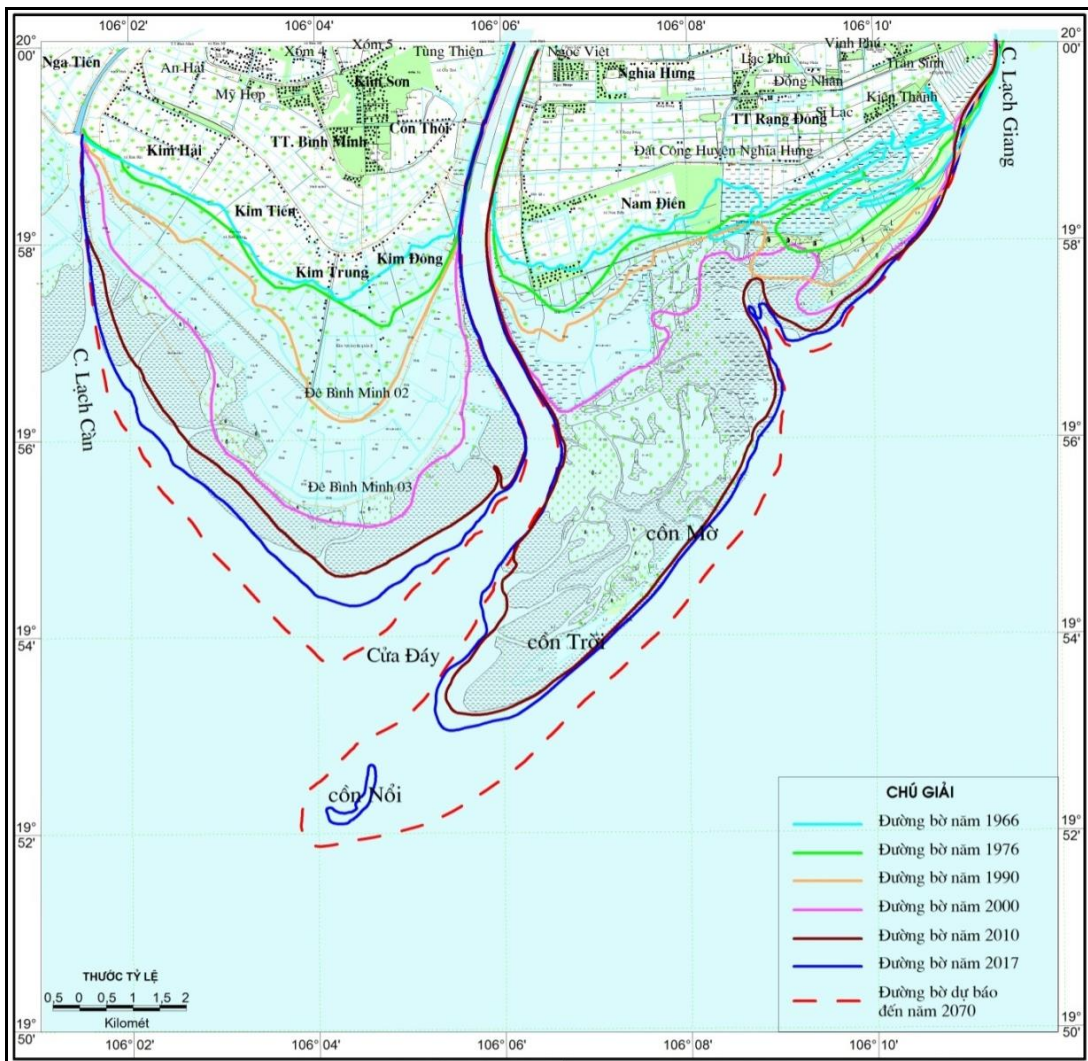
Hình 3. Sơ đồ vị trí các trạm quan trắc vật lý hải dương và lấy mẫu địa chất (2016–2017)

Mẫu trầm tích tầng mặt khu vực Cửa Đáy được thu thập vào tháng 4/2016 với tổng số 76 mẫu bao gồm 39 cột mẫu lấy bằng ống phồng và 37 mẫu lấy bằng cốc đại dương. Trong số đó đã lựa chọn ra 24 cột mẫu ống phồng đại

diện cho khu vực nghiên cứu để phân tích thành phần độ hạt bằng các phương pháp rây và pipet. Kết quả phân chia cấp hạt theo biểu đồ phân loại trầm tích tam giác cát- bột-sét của Cục Địa chất Hoàng gia Anh cho thấy trầm tích tầng mặt khu vực Cửa Đáy gồm các kiểu trầm tích chủ yếu là sét, bùn, bùn cát, bột cát, cát bột với kích thước hạt trung bình nhỏ  $Md = 0,002-0,016$ ; độ chọn lọc kém  $S_o = 2,756-5,307$ ; hệ số bất đối xứng  $S_k = 0,542-1,522$ ; hàm lượng cát; hàm lượng sét 40–60%; bột 20–40%. Đây là những thông số đặc trưng cho môi trường cửa sông ven biển.

### KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Trên cơ sở nội suy đường bờ, làm trơn đường bờ và hiệu chỉnh cao độ thủy triều cho đường bờ bằng các công cụ phần mềm Erdas Image 2013, Envi 5.5, ArcGIS 10.5 và MapInfo 13, đã chiết xuất ra đường bờ khu vực ven biển Cửa Đáy theo các năm 1966, 1976, 1990, 2000, 2010 và 2017 (hình 4). Phân tích hiện trạng đường bờ sông, bờ biển các năm 1966, 1976, 1990, 2000, 2010 và 2017, kết hợp với các kết quả nghiên cứu có liên quan đã công bố [2, 4, 5], đã cho phép đưa ra một số nhận xét về tình hình diễn biến đường bờ vùng Cửa Đáy trong thời gian 50 năm qua.



Hình 4. Bản đồ diễn biến đường bờ khu vực Cửa Đáy giai đoạn 1966–2017 và dự báo đến năm 2070 (thu nhỏ từ tỉ lệ 1:10.000)

Trong thời gian từ 1966 đến 1976, phần lớn bờ biển, cửa sông được bồi kéo dài về phía biển từ cửa Lạch Giang cho đến cửa Lạch Càn, trong đó diện tích được bồi ở vùng cửa sông ven biển Nghĩa Hưng lớn hơn ở vùng ven biển Kim Sơn hơn 1,5 lần nhưng tốc độ bồi ngang lớn nhất lại xảy ra ở vùng cửa sông ven biển Kim Sơn. Bên cạnh quá trình bồi tụ mạnh, cũng xuất hiện những vùng bị xói lở cục bộ với cường độ nhẹ diễn ra ở các đoạn sông cong do dòng chảy tổng hợp có tốc độ cao (dòng lũ kết hợp với dòng triều rút) gây ra, nhất là ở đoạn bờ ở phía đông bắc vùng nghiên cứu (thuộc huyện Nghĩa Hưng).

Giai đoạn từ 1976 đến 1990, vùng cửa sông Đáy tiếp tục phát triển bồi tụ mạnh và kéo dài về phía biển với tốc độ khá nhanh. Mức độ phát triển các bãi bồi diễn ra ở hai phía cửa sông cũng khác nhau. Bãi bồi phía huyện Kim Sơn phát triển nhanh hơn vùng bãi bồi phía huyện Nghĩa Hưng. Tốc độ bồi ngang lớn nhất ở vùng cửa sông ven biển Kim Sơn cũng lớn hơn nhiều trong khi tốc độ bồi ngang ở vùng ven biển Nghĩa Hưng giảm đi đáng kể.

Từ 1990 đến 2000, vùng cửa Đáy được bồi do phát triển rừng ngập mặn ở cả hai bên cửa sông, tốc độ bồi ngang lớn nhất phát triển tương đối đồng đều cả hai bên. Trước cửa sông, các bãi cát ngầm hình thành khoảng đầu những năm 1990 đã phát triển rộng và nổi cao khỏi mặt nước, khởi đầu của một quá trình bồi tụ mới. Các bãi bồi ở Cửa Đáy phát triển mạnh và tạo thành một cung lồi lớn ở phía nam Cửa Đáy cho tới cửa Lạch Càn. Vùng bồi tụ mạnh nằm ở phía tây và nam vùng nghiên cứu thuộc địa phận các xã Kim Đông, Kim Trung, Kim Tiến (huyện Kim Sơn) và xã Nam Điền (huyện Nghĩa Hưng). Hiện tượng bồi - xói xảy ra xen kẽ tại đoạn bờ phía đông, đông bắc vùng nghiên cứu, chủ yếu là ở bên phía bờ trái Cửa Đáy.

Giai đoạn từ 2001 đến 2010, Cửa Đáy tiếp tục được bồi tụ và phát triển về phía biển, đặc biệt mạnh ở phía bờ trái Cửa Đáy. Lòng dẫn cửa sông có xu thế chuyển từ hướng nam thành đông nam. Hoạt động bồi tụ mạnh nhất diễn ra theo hướng đông nam từ hai bên cửa sông thuộc khu vực xã Nam Điền (huyện Nghĩa Hưng) và địa phận các xã Kim Đông, Kim Trung, Kim Tiến, Kim Hải (huyện Kim Sơn).

Từ năm 2010 đến hiện tại, xu hướng bồi tụ có chiều hướng giảm nhanh so với các khoảng

thời gian tương đương trước đó. Biến động mạnh nhất trong giai đoạn này là sự dịch chuyển của các doi cát (bar) ở gần vùng ven biển Cửa Đáy, diễn ra theo chiều hướng xói lở phía đông (hướng chấn sóng) và bồi tụ phía tây (hướng lặng sóng), tạo ra các vùng xói lở cục bộ tại các bãi bồi trước cửa sông và một phần ven biển nơi chịu sóng mạnh trong mùa gió mùa Đông Bắc.

Dự báo trong 50 năm tới, tốc độ phát triển bồi bờ Cửa Đáy chậm lại nhưng vẫn có thể đạt từ 50–60 m/năm và tới năm 2070 đường bờ cửa sông Đáy có thể tiến thêm ra phía biển từ 2,5–3,0 km. Lòng dẫn cửa sông Đáy vẫn có xu thế dịch chuyển vị trí về phía đông nam.

Từ các phân tích như trên, có thể thấy trong khoảng 50 năm qua đường bờ vùng Cửa Đáy phát triển liên tục về phía biển với tốc độ tương đối nhanh. Ngoài lượng bùn cát đưa ra từ sông Đáy, khu vực ven biển Cửa Đáy còn là nơi lắng đọng của dòng bùn cát dọc bờ từ sông Hồng đưa xuống từ phía đông bắc (cửa Ba Lạt và cửa Ninh Cơ). Dòng bùn cát này bị ngăn lại bởi địa hình và chế độ dòng chảy của sông Đáy để lắng đọng lại ở ven bờ, lấp đầy khoảng trống giữa Cửa Đáy và các cồn ngầm bên ngoài. Vì vậy, bãi bồi tại khu vực Cửa Đáy có diện tích rất lớn và khoảng cách giữa cồn ngầm và bãi bồi phía trong hầu như không đáng kể, không tạo thành kiểu bồi tụ lấp đầy nổi cồn như ở cửa Ba Lạt, Trà Lý hay Lạch Giang. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu này cũng cho thấy gần đây tốc độ phát triển đường bờ đang có dấu hiệu giảm dần và tương quan vật liệu trầm tích cũng có sự thay đổi đáng kể, lòng dẫn cửa sông Đáy đang có xu thế dịch chuyển vị trí về phía Kim Sơn, thể hiện tính ưu thế của nguồn vật liệu do dòng chảy ven bờ vượt trội hơn so với lượng vật liệu do chính sông Đáy vận chuyển ra biển. Xu thế này có thể được lý giải bởi các nguyên nhân sau:

Về nguồn gốc nội sinh, trong khoảng thời gian ngắn (50–100 năm), nguồn bồi tích từ trong các sông đổ ra biển ít có khả năng biến động lớn. Tuy nhiên, theo qui hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội các vùng và các địa phương thuộc khu vực nghiên cứu, thì đến năm 2017, tại vùng thượng lưu sông Hồng đã xây dựng mới thêm một số hồ chứa nước ở như hồ Thác Bà, hồ Sơn La, hồ Tuyên Quang... do đó lượng bùn cát từ trong các sông đổ ra biển sẽ có thể giảm đi đáng kể vì đã bị lưu giữ phần nào

trong các lòng hồ, gây ảnh hưởng lớn đến sự phát triển của chu kỳ mới vùng Cửa Đáy và các cửa sông khác ở đồng bằng sông Hồng.

Các hoạt động của con người ở vùng nghiên cứu và lân cận được dự đoán sẽ diễn ra với tốc độ nhanh hơn so với trước đây và hiện nay, dẫn đến nguy cơ suy thoái môi trường sẽ tăng lên khi không có sự thay đổi về năng lực quản lý và nhận thức của con người.

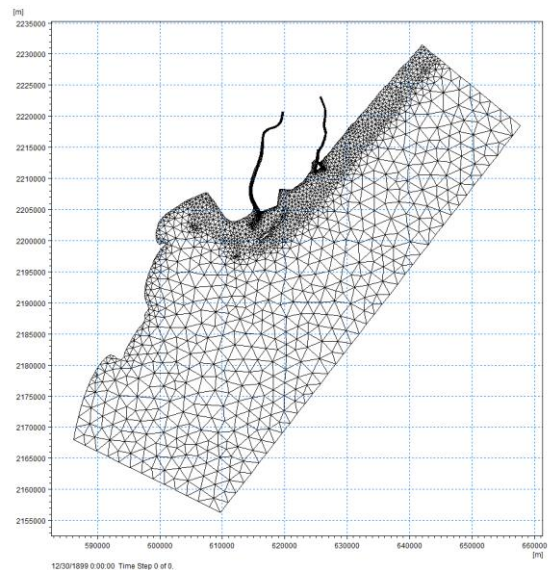
Mực nước biển dâng cao do trái đất nóng dần lên, làm tan chảy một lượng đáng kể các mũ băng ở hai cực. Sự xâm lấn của biển đã và sẽ diễn ra ở hầu khắp thế giới, được coi như một pha “biển tiến hiện đại”, biển sẽ tiến sâu vào đất liền làm cho nhiều vùng đất thấp bị chìm ngập. Theo kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng, vào cuối thế kỷ XXI, ở mức phát thải trung bình (RCP 6.0), mực nước biển dâng trung bình cho toàn lãnh thổ Việt Nam là 56 cm (37–81 cm) [6]. Quá trình dâng lên của mực nước biển sẽ thúc đẩy quá trình phá hủy bờ và gây nhiễm mặn vào các đồng bằng ven biển cũng như mức độ ngập lụt lâu dài của vùng hạ lưu. Hậu quả là hệ sinh thái ven biển bị phá hủy, nhiều công trình ven biển như đê, đập, cầu cảng, khu du lịch... bị tàn phá. Tốc độ vận chuyển bùn cát ven bờ sẽ tăng, có thể gây bồi lấp các cửa sông đang ở trạng thái ổn định và chặn các cửa ra vào của các cảng biển.

Biến động châu thổ ngầm Cửa Đáy và các tác động của chúng đến quá trình xói lở, bồi tụ đới bờ trong tương lai được đánh giá bằng mô hình toán mô phỏng chế độ thủy thạch động lực và hình thái vùng cửa sông ven biển, được kiểm chứng bằng số liệu khảo sát thực tế.

Bộ mô hình thủy động lực và vận chuyển bùn cát MIKE 3 FM của Viện Thủy lực DHI, Đan Mạch được lựa chọn để mô phỏng và tính toán đồng thời các yếu tố của trường thủy động lực vùng cửa sông ven biển Cửa Đáy - Ninh Bình, qua đó có thể đánh giá tác động của chúng đến quá trình xói lở, bồi tụ đới bờ trong khu vực. Đây là một hệ thống mô hình động lực thích hợp để áp dụng cho vùng cửa sông, ven biển và trong sông, đồng thời cho phép nâng cao độ phân giải theo phương ngang bằng lưới tính tam giác và hiện nay đang được sử dụng rộng rãi trong hầu hết các trường đại học, viện nghiên cứu và các đơn vị tư vấn ở trong và ngoài nước với các lợi thế: (i) Là bộ phần mềm

tích hợp đa tính năng; (ii) Cơ sở toán học chặt chẽ, chạy ổn định, thời gian tính toán nhanh; (iii) Đã được kiểm nghiệm thực tế ở nhiều quốc gia trên thế giới; và (iv) Có giao diện thân thiện, dễ sử dụng, có khả năng tích hợp với một số phần mềm chuyên dụng khác.

Mô hình MIKE 3 FM cho phép tính toán đồng thời dòng chảy và vận chuyển bùn cát, có tính đến tác động của sóng, gió, lưu lượng các sông trong khu vực. Trong đó, mô đun MIKE 3 DH để tính toán dòng chảy, mô đun MIKE 3 MT sử dụng để tính toán quá trình vận chuyển bùn cát hỗn hợp với các điều kiện tính toán: Sóng được tính từ mô đun MIKE21 SW, lưu lượng và nồng độ bùn cát tại các biên sông được tính từ mô đun MIKE 11, các mô hình này đều được hiệu chỉnh, kiểm nghiệm theo số liệu thực đo và độ tin cậy để sử dụng làm điều kiện tính toán các quá trình động lực và vận chuyển bùn cát trong khu vực.



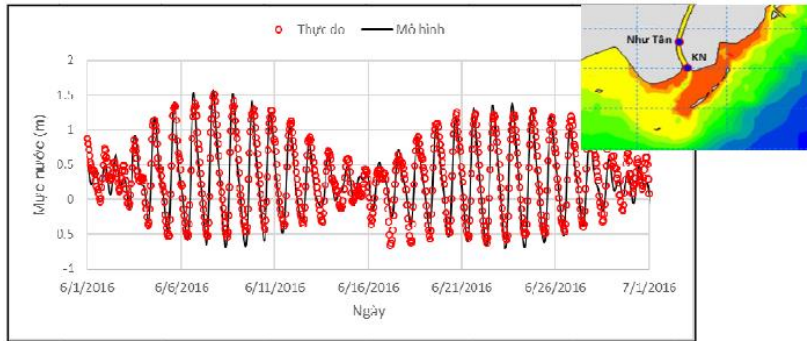
Hình 5. Lưới tính mô hình

Để thực hiện mục đích nghiên cứu, trong nghiên cứu này đã lựa chọn lưới phần tử hữu hạn tăng dần từ ngoài biển vào trong sát bờ. Diện tích nhỏ nhất của 1 phần tử là  $1.250 \text{ m}^2$  ở khu vực các cửa sông như: Cửa Đáy, cửa Ninh Cơ và cửa Ba Lạt. Diện tích lớn nhất là  $25 \text{ km}^2$  ở khu vực biên ngoài khơi. Miền tính có 2.879 nút điểm, với độ phân mịn nhất ở vùng bờ khu vực cửa sông là 50 m (hình 5).

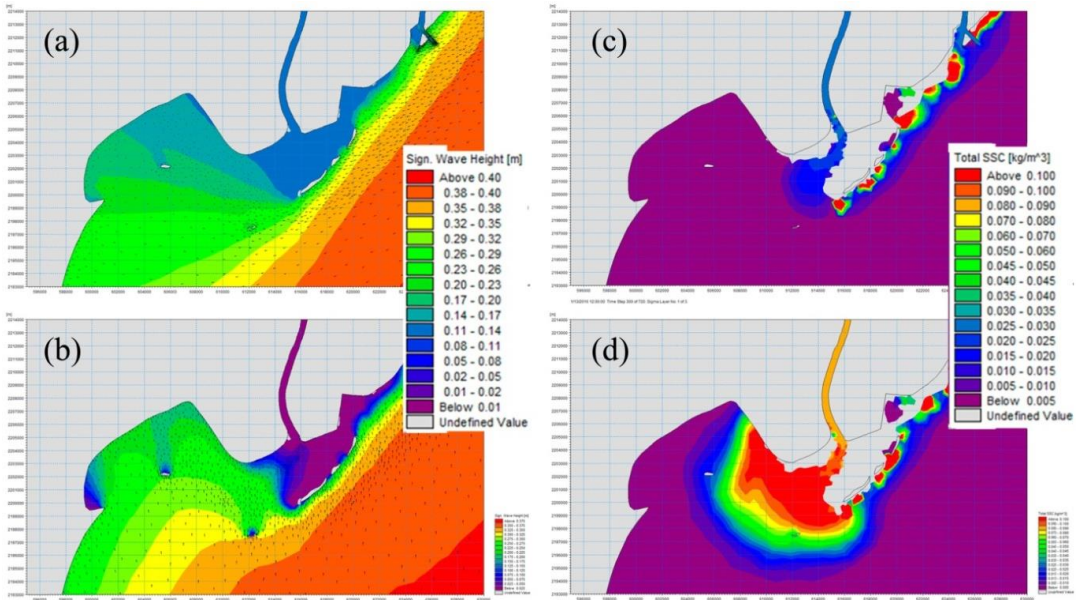
Các điều kiện biên, số liệu dao động mực nước, nhiệt độ, độ muối, sóng, gió, cấp hạt và nồng độ trầm tích ban đầu được xác định theo đặc trưng chung của môi trường cửa sông ven biển, các số liệu quan trắc khí tượng, hải dương trong nhiều năm từ các hệ thống đài trạm trong nước và quốc tế và được bổ sung cập nhật các số liệu mới trong hai chuyến khảo sát thực địa gần đây nhất (tháng 10/2016 và tháng 5/2017). Các thông số đầu vào cần được hiệu chỉnh sao cho kết quả tính toán phù hợp với kết quả quan trắc thực tế, cụ thể là các thông số về độ nhám đáy (hệ số Manning), hệ số nhớt rối, vận tốc lắng đọng và ứng suất giới hạn sự xói mòn của trầm tích. Nếu kết quả tính toán và thực đo đảm

bảo sai số cho phép thì bộ thông số mới được chấp nhận để đưa vào tính toán.

Hình 6 minh họa một ví dụ về kiểm nghiệm mô hình mực nước sông so với giá trị thực đo trong khoảng thời gian 1 tháng (từ 1/6/2016 đến 1/7/2016) tại trạm Như Tân. Kết quả tính toán có sự tương đồng cao về pha và biên độ mực nước giữa kết quả mô phỏng với số liệu thực đo/tính toán bằng hằng số điều hòa trong cả quá trình hiệu chỉnh mô hình với hệ số tương quan là 0,99548 và kiểm nghiệm mô hình với hệ số tương quan tới 0,9675. Do vậy, độ tin cậy của mô hình hoàn toàn đáp ứng được các yêu cầu tính toán cụ thể.



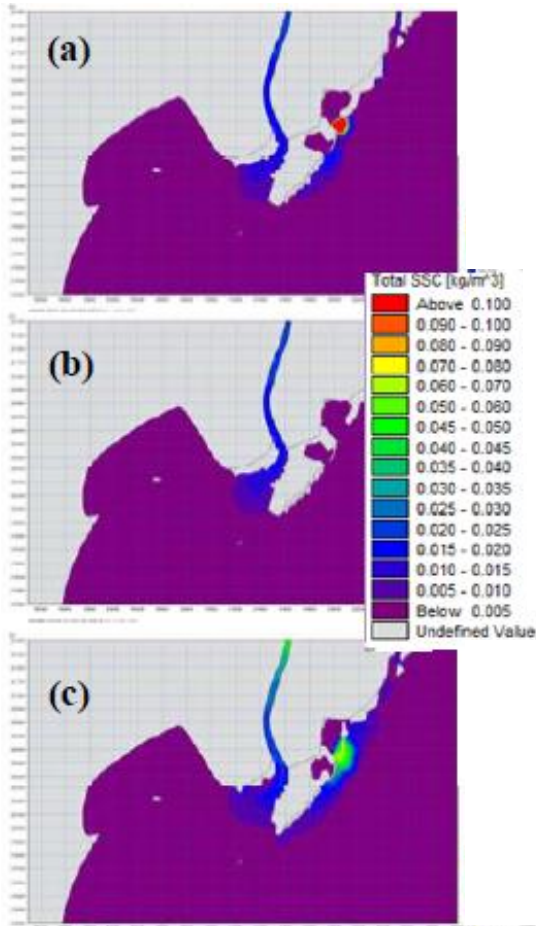
Hình 6. So sánh mực nước tính toán bằng mô hình với giá trị thực đo tại trạm Như Tân



Hình 7. Trường sóng trung bình trong mùa gió Đông Bắc (a) và Tây Nam (b); Hàm lượng bùn cát tầng đáy tháng 1/2016 (c); Hàm lượng bùn cát tầng đáy tháng 7/2016 (d)

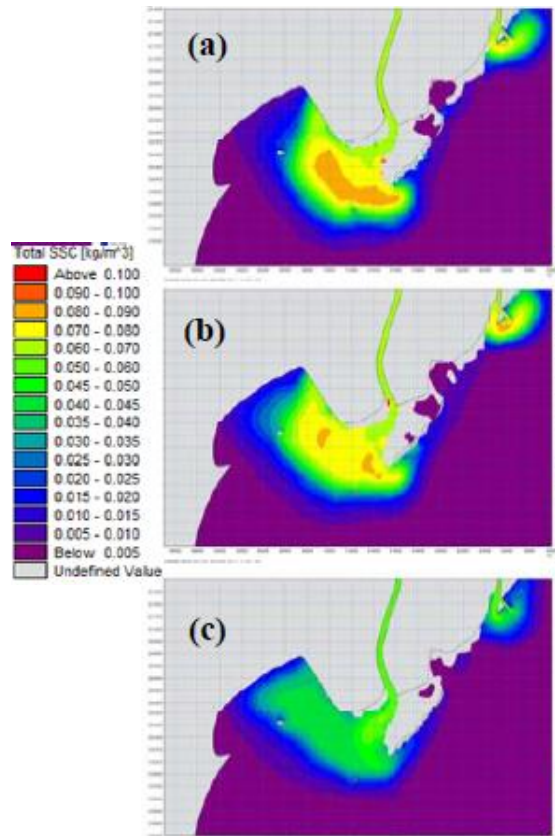


Kết quả tính toán cho thấy quá trình vận chuyển bùn cát, bồi tụ và xói lở trong khu vực Cửa Đáy biến động theo không gian và thời gian, chịu tác động của các điều kiện khí tượng, thủy văn, hải văn trong khu vực (hình 7). Mô hình đã thể hiện đúng bản chất quá trình vận chuyển bùn cát, bồi tụ và xói lở trong khu vực Cửa Đáy: Hàm lượng trầm tích lớn nhất ở tầng đáy, nhỏ nhất ở tầng mặt và lớn hơn nhiều trong mùa mưa so với mùa khô. Trong mùa gió Đông Bắc, hàm lượng bùn cát chịu ảnh hưởng chủ yếu của sóng lớn làm khuấy động lớp bùn cát đáy và vận chuyển ra xa. Trong mùa gió Tây Nam, lưu lượng nước lớn, lượng bùn cát tải từ sông ra biển lớn hơn rất nhiều, quá trình vận chuyển bùn cát và bồi tụ, xói lở trong khu vực chịu tác động chủ yếu của các quá trình thủy động lực, quá trình tương tác sông - biển.



Hình 8. Hàm lượng bùn cát tầng đáy tháng 1 các năm 2030 (a), 2050 (b) và 2070 (c)

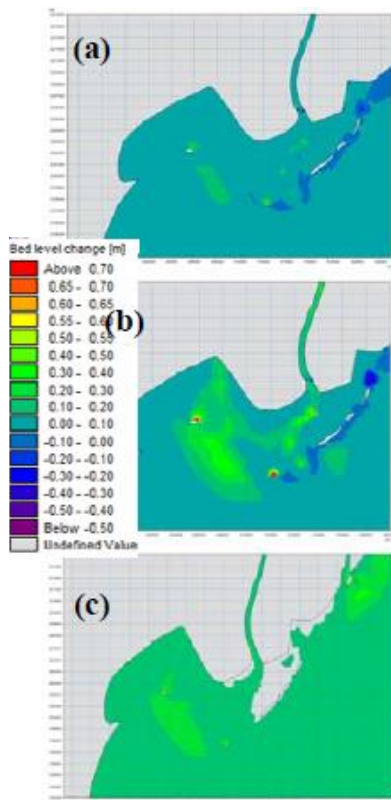
Việc tính toán biến động trầm tích tầng đáy được thực hiện cho điều kiện hiện trạng năm 2016 và dự báo trong tương lai cho đến năm 2070 có tính đến các điều kiện của kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2016 [6]. Điều kiện biên áp dụng trong mô hình là mực nước cho các biên ngoài biển, biên lưu lượng và nồng độ trầm tích lơ lửng cho các biên sông. Thời gian mô phỏng tháng 1 đại diện cho mùa gió Đông Bắc (mùa khô), tháng 7 đại diện cho mùa gió Tây Nam (mùa mưa).



Hình 9. Hàm lượng bùn cát tầng đáy tháng 7 các năm 2030 (a), 2050 (b) và 2070 (c)

Các kết quả đã được hiệu chỉnh, kiểm nghiệm bằng các kết quả khảo sát thực tế cho thấy các khu vực diễn ra bồi lắng chính phân bố ở phía ngoài Cửa Đáy, các doi cát, val cát hai bên và vùng biển bên ngoài phía nam và tây nam, xung quanh các cồn cát hiện nay như Cồn Nổi, Hòn Nẹ. Đến năm 2030, mức độ bồi tụ vào khoảng 0,1–0,2 m, lớn nhất có thể lên đến

trên 0,25 m (hình 8). Đến năm 2050, mức độ bồi tụ vào khoảng 0,2–0,3 m, lớn nhất có thể lên đến trên 0,8 m (hình 9). Đến năm 2070, mức độ bồi tụ vào khoảng 0,2–0,3 m, lớn nhất có thể lên đến trên 1 m (hình 10). Trong tương lai, khu vực Cửa Đáy có xu hướng bồi lắng, nâng cao địa hình đáy, tạo điều kiện cho các doi cát, val cát hiện tại phát triển mở rộng về phía nam và tây nam. Có thể hình thành các vùng đất mới như doi cát nối liền khu vực Cồn Mờ với cồn Nồi và tiếp tục mở rộng về phía tây nam, làm cho lòng dẫn cửa sông Đáy có xu thế dịch chuyển vị trí về phía tây nam. Mực nước biển dâng trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu được coi như một pha biến tiến hiện đại làm cho nhiều vùng đất thấp xung quanh khu vực Cửa Đáy bị chìm ngập. Khi đó, dòng bùn cát dọc bờ từ sông Hồng đưa xuống từ phía đông bắc (cửa Ba Lạt và cửa Ninh Cơ) sẽ là nguồn vật liệu chính lấp đầy khoảng trống giữa Cửa Đáy và các cồn ngầm ở phía ngoài, tiếp tục tôn cao miền hệ thống trầm tích biển tiến.



Hình 10. Mức biến đổi địa hình đáy các năm 2030 (a), 2050 (b) và 2070 (c)

## KẾT LUẬN

Trong khuôn khổ các kết quả nghiên cứu nêu trên, có thể nhận định trong khoảng thời gian 50 năm qua (1966–2017), đường bờ vùng Cửa Đáy phát triển liên tục về phía biển với tốc độ tương đối nhanh, nhờ có nguồn bồi tích phong phú từ hệ thống sông Hồng được dòng ven bờ đưa tới và từ sông Đáy đưa ra. Mức độ phát triển này đang có dấu hiệu giảm dần trong những năm gần đây do nguồn vật liệu bồi tích từ trong các sông đổ ra biển đang giảm đi rất nhanh. Lòng dẫn cửa sông Đáy đang có xu thế dịch chuyển vị trí về phía tây nam thể hiện tính ưu thế của nguồn vật liệu do dòng chảy ven bờ đưa xuống từ các cửa Ba Lạt và Ninh Cơ vượt trội hơn lượng vật liệu do chính sông Đáy vận chuyển ra biển. Mực nước biển dâng trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu sẽ làm cho nhiều vùng đất thấp khu vực cửa sông ven biển bị chìm ngập, đới châu thổ ngầm cửa sông Đáy tiếp tục được bồi tụ theo cơ chế lan tỏa và tôn cao, mở đầu cho một giai đoạn biển tiến thực thụ.

**Lời cảm ơn:** Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Dự án Điều tra cơ bản “Điều tra, đánh giá đặc điểm biến động châu thổ ngầm cửa sông Đáy và các tác động của chúng đến quá trình xói lở, bồi tụ đới bờ trong khu vực” - Mã số VAST.ĐTCB.02/16–17 đã cung cấp tài liệu khảo sát và kết quả tính toán để hoàn thành bài báo này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Võ Thịnh, 2014, Geomorphology of Vietnam island system. *Doctoral Thesis, Institute of Geography, Hanoi*. 176 p.
- [2] Nguyễn Văn Cú (Ed.), 2006. Coastal and rivermouth floodplains on the Northern of Vietnam, Monograph. *Publishing House for Science and Technology, Hanoi*, 258 p. (in Vietnamese).
- [3] Vũ Tật Uyên, 2004. Flood controlling and discharging, Monograph. *Agriculture Publishing House, Hanoi*, 196 p.
- [4] Đào Đình Cham, Nguyễn Thái Sơn, Nguyễn Quang, 2013. Application of

remote sensing technology and geographic information systems (GIS) to the assessment of the growing of coastal plain of day estuary through periods, from 1966 to 2011. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 35(4), 349–356.

[5] Nguyen Quoc Phi et al., 2013. GIS and remote sensing applications for vulnerability analysis and hazard

assessment of coastline change at Cua Day area. *Contributions of the 2<sup>nd</sup> National Marine Geology Conference, Publishing House for Science and Technology, Hanoi*, pp. 934–946.

[6] Ministry of Natural Resources and Environment, 2016. Scenarios of climate change and sea level rise for Vietnam. *Narenca Publisher, Hanoi*.