

## TÁC ĐỘNG CỦA CÁC ĐIỀU KIỆN SÓNG ĐẾN ĐẶC ĐIỂM VẬN CHUYỂN BÙN CÁT VÀ BIẾN ĐỘNG ĐỊA HÌNH ĐÁY VÙNG CỬA SÔNG VEN BIỂN HẢI PHÒNG

Vũ Duy Vinh\*, Trần Đình Lân

*Viện Tài nguyên và Môi trường biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

\*E-mail: [vinhvd@imer.ac.vn](mailto:vinhvd@imer.ac.vn)

Ngày nhận bài: 23-12-2016 / Ngày chấp nhận đăng: 7-2-2017

**TÓM TẮT:** Dựa trên các đặc trưng sóng khí hậu từ 1992-2014 ở khu vực ven biển Hải Phòng, hệ thống mô hình thủy động lực-sóng, vận chuyển bùn cát và biến động địa hình đáy đã được thiết lập với trên 50 kịch bản tính toán khác nhau theo cách tiếp cận tham số MORFAC (the morphological acceleration factor). Các kết quả tính toán đã cho thấy vai trò của mỗi khoảng độ cao sóng và hướng tác động đến đặc điểm vận chuyển bùn cát và biến động địa hình đáy ở khu vực nghiên cứu. Khi lặng sóng gió, sự tương tác của động lực sông và dao động mực nước tạo thành các vùng bồi tụ ở ngay phía trong các cửa sông và dải ven bờ. Độ cao sóng tăng lên làm tăng nhanh quá trình bồi/xói và vận chuyển bùn cát ở vùng ven bờ. Do ảnh hưởng của các điều kiện động lực và sóng, trong mùa khô xuất hiện nhiều vùng xói hơn nhưng các vùng bồi cũng có độ cao khá lớn so với mùa mưa. Biến động bồi/xói ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng thường diễn ra mạnh mẽ trong khoảng độ sâu 5 - 6 m trở lại với tốc độ bồi/tốc độ bồi/xói khoảng 20 - 50 mm/năm. Ở ngoài ngoài khoảng độ sâu 6 m, địa hình đáy khá ổn định và thể hiện xu thế bồi với tốc độ phổ biến trong khoảng 10 - 20 mm/năm. Các kết quả tính toán cho thấy xu thế bồi tụ ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng vẫn chiếm ưu thế hơn so với xu thế xói. Đây có thể là một trong những hệ quả của sự suy giảm số lượng và cường độ bão đổ bộ vào khu vực này trong vòng hơn 20 năm trở lại đây.

**Từ khóa:** Địa hình đáy, MORFAC, mô hình, thủy động lực, bùn cát.

### MỞ ĐẦU

Vùng cửa sông ven biển Hải Phòng nằm trong vùng ảnh hưởng của chế độ thủy triều mang tính chất nhật triều điển hình với độ lớn thủy triều lên đến gần 4 m. Hằng năm, khu vực này cũng tiếp nhận khoảng 49,5 tỷ m<sup>3</sup> nước và 14,6 triệu tấn bùn cát từ hệ thống sông Hồng - Thái Bình [1]. Đây còn là vùng chịu nhiều tác động do bão nhiều nhất ở Việt Nam với khoảng 4-5 cơn bão và áp thấp nhiệt đới hằng năm. Dưới ảnh hưởng của các điều kiện đó nên điều kiện thủy động lực (TDL), vận chuyển bùn cát (VCBC), biến động địa hình (BĐDH) đáy biển ở khu vực này khá phức tạp và tạo thành các vùng bồi xói khác nhau. Đặc biệt là hiện tượng

sa bồi luông vào cảng Hải Phòng trong những năm gần đây. Theo tính toán của Tổng công ty Bảo đảm An toàn Hàng hải miền Bắc, lượng bùn cát sa bồi hằng năm vào luông lên đến 2,5 - 3 triệu tấn. Để đảm bảo an toàn cho những tàu lớn cập cảng, việc duy tu luông phải thường xuyên, liên tục hằng năm. Theo Cảng vụ Hàng hải Hải Phòng, mặc dù khó khăn về kinh phí nhưng chỉ riêng trong năm 2013 đã có 29 công trình cấp bách đã phải tiến hành nạo vét với tổng khối lượng lên đến 1,74 triệu m<sup>3</sup> bùn cát. Kinh phí hằng năm dành cho việc duy tu nạo vét định kỳ đối với các tuyến luông ra vào cảng Hải Phòng ước tính nhỏ nhất cũng phải khoảng từ 40 - 50 tỷ đồng. Cho đến nay, vấn đề sa bồi

luồng tàu vào khu vực cảng Hải Phòng nói riêng và đặc điểm TĐL, VCBC và BĐĐH đáy ở khu vực này nói chung đã được quan tâm nghiên cứu. Tuy nhiên với cách tiếp cận truyền thống, các kết quả nghiên cứu này chưa phản ánh hết được vai trò tác động khác nhau của các điều kiện sóng, thủy triều và sóng. Bài viết này sẽ bổ sung thêm các hiểu biết về tác động khác nhau của điều kiện sóng gió BĐĐH đáy ở khu vực này với cách tiếp cận mô hình theo phương pháp MORFAC (Morphological Acceleration Factor).

MORFAC là cách tiếp cận cho phép mô phỏng BĐĐH biển với khoảng thời gian dài: năm, chục năm, hàng trăm năm... bằng cách tổng cộng các khoảng thời gian tính toán ngắn phù hợp. Điển hình ứng dụng thành công phương pháp này lần đầu tiên là các kết quả nghiên cứu về BĐĐH đáy của Lesser và nnk., (2004) and Roelvink (2006) [2, 3]. Sau đó với cách tiếp cận này, mô hình toán có thể mô phỏng xu thế BĐĐH đáy biển do ảnh hưởng của các điều kiện sóng, thủy triều trong khoảng thời gian hàng chục năm [5-7] và dưới ảnh hưởng của lực tác động duy nhất (chỉ tính đến ảnh hưởng của thủy triều) cho tiến hóa địa hình trong khoảng hàng trăm năm [7-9]. Ở Việt Nam, cách tiếp cận MORFAC đã được bước đầu ở vùng ven bờ châu thổ sông Mê Kông, khu vực đầm Nại (Ninh Thuận) và cho những kết quả rất đáng chú ý về vai trò của từng yếu tố tác động, khoảng tác động của điều kiện sóng khác nhau đến quá trình VCBC và BĐĐH đáy [10-12].

## **TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP**

Khu vực nghiên cứu nằm trong khoảng tọa độ 20,3-21,0 độ vĩ bắc và 106,25-107,3 độ kinh đông thuộc vùng biển ven bờ tây vịnh Bắc Bộ. Đây là khu vực nằm trong vùng ảnh hưởng của chế độ khí hậu có tính chất nhiệt đới gió mùa với sự tương phản sâu sắc giữa hai mùa gió: Mùa gió Đông Bắc từ tháng 11 năm trước đến tháng 3 năm sau và gió mùa Tây Nam từ tháng 4 đến 9 hàng năm. Mặc dù tiếp nhận lượng nước và trầm tích khá lớn từ sông Hồng-Thái Bình nhưng phân bố không đều trong năm, phần lớn tập trung vào các tháng trong mùa mưa [1].

Các kết quả khảo sát, đo đạc gần đây cho thấy nghiên cứu trước kia cho thấy trầm tích của sông Hồng phần lớn là hạt mịn. Trong mùa

mưa, trầm tích lơ lửng (TTLL) có kích thước hạt  $D_{50}$  phổ biến dao động trong khoảng 44 - 93  $\mu\text{m}$ , trung bình khoảng 60  $\mu\text{m}$ . Ngược lại, trong mùa khô TTLL có kích thước  $D_{50}$  phổ biến 56,7 - 152,0  $\mu\text{m}$ , trung bình 81,2  $\mu\text{m}$ . Trầm tích bề mặt đáy biển phổ biến là loại bột trung đến bột lớn với  $D_{50}$  thay đổi trong khoảng 10 - 66.1  $\mu\text{m}$ . Phân tích từ những số liệu đo hàm lượng TTLL ở các sông Cấm, Văn Úc trong những năm gần đây (2008-2015) cho thấy hàm lượng TTLL phổ biến 50 - 57 mg/l (mùa khô) và 72 - 75 mg/l trong mùa mưa.

Số liệu độ sâu và đường bờ của khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng dùng để thiết lập mô hình tính được số hóa từ các bản đồ địa hình UTM hệ tọa độ địa lý VN2000 tỷ lệ 1:50000 và 1:25000. Độ sâu của khu vực phía ngoài sử dụng cơ sở dữ liệu GEBCO -1/8 có độ phân dải 0,5 phút được xử lý từ ảnh vệ tinh kết hợp với các số liệu đo sâu [13].

Các chuỗi số liệu gió, sóng quan trắc nhiều năm ở trạm hải văn Bạch Long Vĩ và Hòn Dấu được xử lý làm đầu vào cho mô hình tính. Đây là số liệu đo đạc với tần suất 6 h/lần trong năm 2012. Ngoài ra, số liệu sóng được tham khảo thêm từ kết quả tính sóng (BMT Argoss, 2011) của năm 2015 [14].

Số liệu mực nước để dùng cho việc hiệu chỉnh mô hình 1 h/lần tại Hòn Dấu trong năm 2014, 2015. Ngoài ra, chuỗi số liệu mực nước còn được xử lý làm đầu vào cho các biên mở phía biển của mô hình với 8 sóng triều chính là M2, S2, K2, N2, O1, K1, P1, Q1. Các hằng số điều hòa thủy triều ở phía ngoài xa bờ được thu thập từ cơ sở dữ liệu FES2004 của LEGOS và CLS [15, 16].

Các số liệu đo đạc về dòng chảy, trầm tích của đề tài cấp thành phố Hải Phòng “*Nghiên cứu xây dựng luận cứ phục vụ lập quy hoạch các bãi đổ bùn cát do nạo vét trên địa bàn Hải Phòng*” trong các đợt khảo sát tháng 11-2015, tháng 1, 5 và 7 năm 2016 cũng đã được thu thập, xử lý để phục vụ thiết lập hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình. Cơ sở dữ liệu WOA13 [17] với độ phân giải 0,25 độ cho khu vực Biển Đông cũng được khai thác để sử dụng làm đầu vào cho các điều kiện biên nhiệt-muối của mô hình tính ở phía ngoài.

Nhóm tài liệu thiết lập các kịch bản tính: Số liệu thống kê kết quả tính mô hình kết hợp với

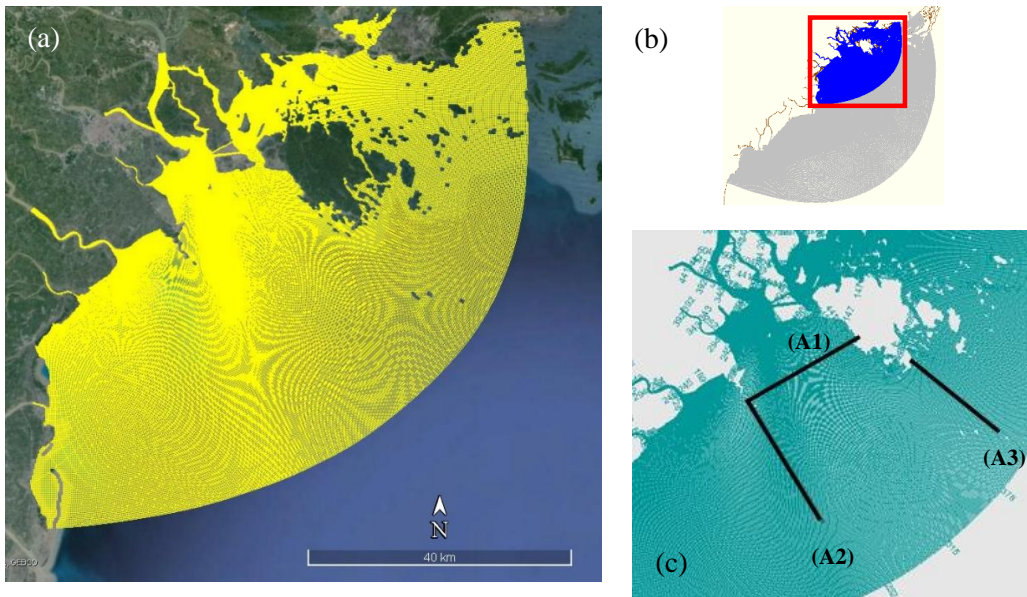
quan trắc từ vệ tinh của waveclimate-BMT ARGOSS (2014) các đặc trưng sóng, gió trung bình trong khoảng hơn 20 năm (1992-2014) ở vùng biển sâu phía ngoài. Các đặc trưng trung bình của lưu lượng nước sông trong mùa khô và mùa mưa tại trạm đo Cửa Cấm (sông Cấm) và Trung Trang (sông Văn Úc) trong các năm 2008-2015.

**Phương pháp.** Ngoài các phương pháp như GIS để số hóa địa hình, lồng ghép các bản đồ số, phương pháp lưới lồng (phương pháp NESTING trong Delft3D) để tạo các điều kiện biên mở của mô hình [18], cách tiếp cận MORFAC được sử dụng để thiết lập mô hình theo các nhóm kịch bản tính khác nhau, qua đó đánh giá ảnh hưởng của các quá trình động lực đến BĐDH đáy.

Mô hình tính sử dụng hệ lưới cong trục giao với phạm vi vùng tính của mô hình bao gồm các vùng nước của các cửa sông ven biển trải dài từ vùng phía bắc khu vực vịnh Hạ Long đến phía nam cửa Trà Lý. Miền tính có kích thước khoảng 106 km theo chiều đông bắc-tây

nam và 64 km theo chiều tây bắc, đông nam, với diện tích mặt nước khoảng  $5.085 \text{ km}^2$  được chia được chia thành  $628 \times 488$  điểm tính với các ô lưới có kích thước biến đổi từ 8,3 m đến 340 m. Các ô lưới tính theo chiều thẳng đứng sử dụng hệ tọa độ  $\sigma$  với 5 lớp nước với tỷ lệ 20%.

Lưới độ sâu cho mô hình tính ở khu vực này là file số liệu địa hình đã được xử lý, gắn với lưới tính của mô hình. Lưới tính của mô hình thô phía ngoài dùng để NESTHD các điều kiện biên mở phía biển cho mô hình lưới chi tiết cũng là hệ lưới cong trục giao. Phạm vi vùng tính của mô hình này mở rộng ra phía ngoài gần với lưới tính thô hơn. Miền tính này có kích thước khoảng 129 km theo phương đông tây và 122 km theo phương bắc nam, diện tích mặt nước khoảng  $15.738 \text{ km}^2$  được chia thành  $608 \times 605$  điểm tính với các ô lưới có kích thước biến đổi từ 9,3 m đến 1.800,4 m. Lưới tính theo chiều thẳng của mô hình này cũng được chia thành 5 lớp nước với tỷ lệ đều nhau từ mặt xuống đáy là 20% độ sâu cột nước.



Hình 1. Các lưới tính của mô hình (a- lưới chi tiết, b- lưới thô phía ngoài)

**Kịch bản hiện trạng.** Các kịch bản hiện trạng được thiết lập nhằm hiệu chỉnh kiểm chứng mô hình tính với các thời gian được thiết lập là: tháng 10-11 năm 2015, tháng 1 năm 2016; tháng 5 năm 2016 và tháng 7 năm 2016.

Trong mô hình Delft3D, điều kiện ban đầu của mô hình có thể sử dụng từ kết quả tính toán của các lần chạy trước đó thông qua các restart file. Đối với trường hợp áp dụng cho vùng ven bờ Hải Phòng, điều kiện ban đầu của các kịch

bản hiện trạng là các kết quả tính toán trong khoảng thời gian trước đó 1 tháng (tháng 10/2015, tháng 12/2016, tháng 4/2016 và tháng 6/2016).

Hai loại điều kiện biên mở được dùng trong mô hình: Đó là các biên sóng (gồm những sông chính vào khu vực như: Bạch Đằng, Cấm, Lạch Tray, Vần Úc, Thái Bình, Trà Lý, một số biên sóng ở khu vực Hạ Long) và các biên mở phía biển. Đối với các biên sóng, chúng tôi sử dụng các giá trị lưu lượng nước, độ mặn, nhiệt độ, hàm lượng TTLL trung bình theo mùa. Đối với các biên mở phía biển, chúng tôi dùng các kết quả tính dao động mực nước, độ muối, nhiệt độ của mô hình phía ngoài (phương pháp NESTHD). Số liệu nhiệt muối của mô hình từ cơ sở dữ liệu WOA13 với độ phân giải 0,25 độ cho khu vực Biển Đông.

Mô hình tính được lựa chọn kiểu liên kết đồng thời của các quá trình cơ bản TĐL - sóng-VCBC (Delft Hydraulics, 2014). Trong đó các yếu tố chính được tính đến bao gồm: Độ muối, nhiệt độ; ảnh hưởng của gió bề mặt; tương tác với sóng (tính đồng thời kết hợp sóng-online coupling) và TTLL (tính đồng thời).

Trong nghiên cứu này, chỉ xét tới ảnh hưởng của gió, các yếu tố khí tượng khác như độ ẩm, lượng mưa, bức xạ, nhiệt độ không khí không tính đến trong mô hình. Số liệu gió đưa vào mô hình tính là các số liệu quan trắc tại Bạch Long Vĩ và Hòn Dấu trong năm 2015, 2016 với tần suất 6 h/lần.

Mô hình sóng trong nghiên cứu này được thiết lập chạy đồng thời (online coupling) với mô hình TĐL và mô hình vận chuyển trầm tích. Tại mỗi thời điểm tính toán (1 h), mô hình sóng sẽ sử dụng lưới tính, trường gió, các kết quả tính độ sâu, mực nước, dòng chảy của mô hình TĐL. Điều kiện biên mở của mô hình sóng còn được tham khảo từ kết quả dự báo sóng Wave Climate ở vùng vịnh Bắc Bộ [14]. Kiểu ma sát đáy trong mô hình sóng ở nghiên cứu này được lựa chọn là phổ JONSWAP với hệ số ma sát đáy có giá trị 0,067 [18]. Mô hình B&J [19, 20] được lựa chọn để tính ảnh hưởng của nước nông nơi diễn ra quá trình sóng đổ [18].

**Các tham số tính toán khác của mô hình.** Tham số nhám đáy (bottom roughness) trong nghiên cứu này lựa chọn sử dụng các hệ số Manning (n) biến đổi theo không gian với giá

trị 0,019 - 0,023  $m^{-1/3}$ s. Các hệ số manning lớn hơn ở điều kiện trầm tích đáy là vật liệu thô và nhỏ hơn ở điều kiện trầm tích đáy là hạt mịn. Căn cứ để tính toán các hệ số này dựa vào bản đồ phân bố trầm tích tầng mặt và tài liệu hướng dẫn lựa chọn các hệ số Manning [21, 22].

Các giá trị liên quan đến điều kiện rối có thể được xác định do người dùng như là một hằng số, hoặc tham số biến đổi theo không gian hoặc tính toán với cách tiếp cận HLES (mô phỏng xoáy lớn bình lưu - Horizontal Large Eddy Simulation). Mô hình HLES gần đây đã được tích hợp trong hệ thống mô hình Delft3D theo lý thuyết của Uittenbogaard [23] và được thảo luận trong nghiên cứu của Van Vossen [24]. Trong nghiên cứu này, hệ số khuếch tán rối và nhớt rối nền theo phương ngang được lựa chọn là 8,6  $m^2/s$ . Các hệ số này theo phương thẳng đứng là  $5 \times 10^{-5} m^2/s$ . Mô hình khép kín rối 2 chiều là mô hình HLES trong Delft3D. Mô hình khép kín rối 3 chiều trong nghiên cứu này là mô hình k- $\epsilon$ .

**Tham số tính toán của mô hình trầm tích lơ lửng.** Vận tốc lắng đọng của TTLL được chọn là 0,1 mm/s. Đây là giá trị vận tốc lắng đọng trong nước ngọt ( $w_{s,f}$ ). Trong quá trình tính toán, vận tốc lắng đọng  $w_s$  sẽ tính đến cả những ảnh hưởng do độ mặn. Tiêu chuẩn ứng suất cho quá trình xói của trầm tích ( $\tau_{c,e}$ ) biến đổi trong khoảng từ 0,1 - 1,0  $N/m^2$  [25], chúng tôi chọn là 0,21  $N/m^2$ . Tiêu chuẩn ứng suất cho quá trình bồi lắng của trầm tích ( $\tau_{c,d}$ ) biến đổi trong khoảng từ 0,005 - 0,25  $N/m^2$  [25]. Trong nghiên cứu này sau các lần hiệu chỉnh, tiêu chuẩn xói được lựa chọn là 0,15  $N/m^2$ .

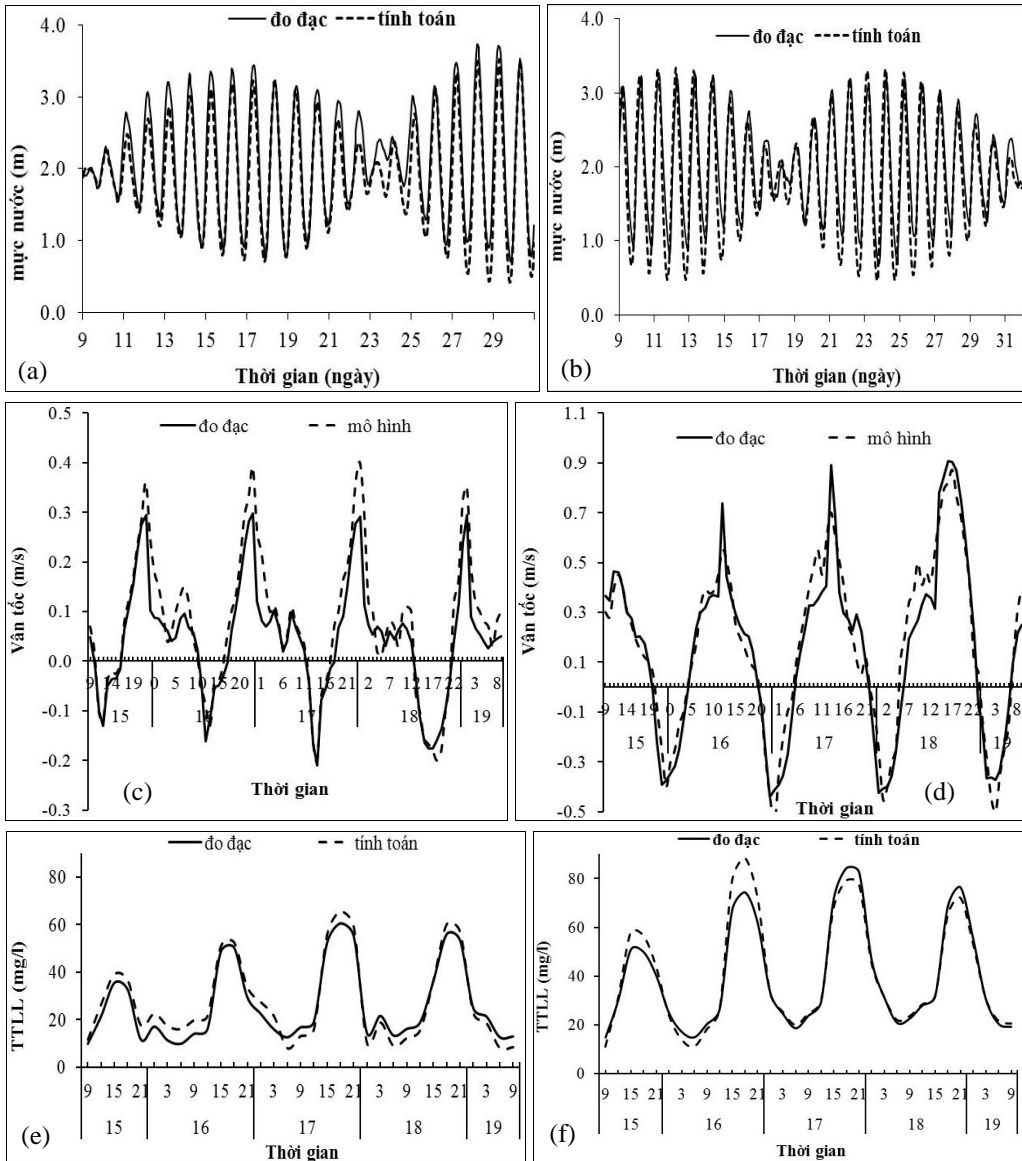
Tốc độ xói trong tự nhiên đo đạc được biến đổi trong khoảng  $10^{-5}$  -  $10^{-3} kg/m^2.s$ . Với tỷ trọng bùn cát đáy là 2.650  $kg/m^3$ , tỷ trọng TTLL gần lớp biên đáy là 500  $kg/m^3$ , tốc độ xói ban đầu được giả thiết là  $2 \times 10^{-3} kg/m^2.s$ .

**Hiệu chỉnh kiểm chứng các kết quả của mô hình.** Để đánh giá mức độ tin cậy trong các tính toán, trong nghiên cứu này, các chỉ số được sử dụng là hệ số tương quan Bravais-Pearson (r) và chỉ số Nash và Sutcliffe (E). Các kết quả tính toán dự báo sẽ tốt nhất khi r tiến tới 1 và độ tin cậy thấp nhất khi r tiến tới 0 [26]. Giá trị E tiến tới 1 thì các kết quả dự báo có hiệu quả tốt nhất, ngược lại khi E tiến tới 0

thì các dự báo không đáng tin cậy. Khi E mang dấu âm (-), các đặc trưng trung bình tính từ chuỗi quan trắc cho kết quả dự báo tốt hơn từ mô hình [27].

Trong nghiên cứu này, các kết quả tính toán của mô hình trong các kịch bản hiện trạng đã được so sánh kiểm chứng với số liệu đo mực

nước tại Hòn Dấu, các số liệu đo dòng chảy, hàm lượng TTLL tại khu vực cửa Nam Triệu, ven bờ Cát Hải, Đồ Sơn. Các kết quả phân tích sau lần hiệu chỉnh cuối cho thấy giữa đo đạc và tính toán khá phù hợp. Hệ số E tính toán thay đổi trong khoảng 0,67 - 0,83, hệ số tương quan R biến đổi trong khoảng 0,76 - 0,91.



Hình 2. So sánh kết quả tính mô hình và số liệu quan trắc (a- mực nước tại Hòn Dấu tháng 11/2015; b- mực nước tại Hòn Dấu tháng 1/2016; c- thành phần dòng chảy theo kinh hướng tại ven bờ Cát Hải 7/2016; d- thành phần dòng chảy theo vĩ hướng tại ven bờ Cát Hải tháng 7/2016; e- hàm lượng TTLL tầng mặt tại khu vực cửa Nam Triệu tháng 11/2015; f- hàm lượng TTLL tầng đáy tại khu vực cửa Nam Triệu tháng 11/2015)

**Các kịch bản tính toán dự báo.** Mỗi điều kiện sóng khác nhau có ảnh hưởng khác nhau đến các quá trình VCBC của khu vực. Tuy nhiên, trong thực tế việc đưa tất cả các điều kiện sóng này vào mô hình tính là không thể do khối lượng tính toán cực kỳ lớn, vì vậy gần đây người ta đưa ra các phương pháp nhóm sóng để lựa chọn các điều kiện sóng giống nhau và nhóm lại thành một số nhóm sóng tiêu biểu đưa vào mô hình tính. Việc lựa chọn các nhóm sóng

đặc trưng này không làm ảnh hưởng đến kết quả tính toán chung trong khi lại giảm đáng kể thời gian tính toán [28]. Với những lợi ích như vậy, phương pháp nhóm sóng đã được ứng dụng nhiều trong các nghiên cứu liên quan đến VCBC, BĐĐH đáy [4, 29, 30]. Trong nghiên cứu này, phương pháp nhóm sóng cũng được sử dụng để nhóm các điều kiện sóng khí hậu đưa vào biên mở của mô hình sóng.

Bảng 1. Các kịch bản tính toán cho mùa khô

STT	Kịch bản tính	Hướng sóng, gió	Tần suất xuất hiện (%)	Thời gian (ngày)	Sóng		Tốc độ gió (m/s)	f <sub>morfac</sub>
					Hs, res (m)	Tp (s)		
1	hpk0*		13,35	24,36				1,652
2	hpk1	NE (đông bắc)	0,198	0,36	0,99	6,5	5,5	0,024
3	hpk2		1,907	3,48	2,05	7	7,5	0,236
4	hpk3		0,801	1,46	3,51	7,5	10,5	0,099
5	hpk4		0,042	0,08	5,11	9	14,5	0,005
6	hpk5		0,495	0,90	0,99	7,5	4,5	0,061
7	hpk6	E (đông)	4,258	7,77	2,10	8,5	7,5	0,527
8	hpk7		6,012	10,97	3,76	9	11,5	0,744
9	hpk8		2,660	4,85	6,03	10	14	0,329
10	hpk9		0,291	0,53	1,00	9	5,5	0,036
11	hpk10	SE (đông nam)	3,607	6,58	2,15	9,5	7,5	0,446
12	hpk11		5,508	10,05	3,72	10,5	10,5	0,681
13	hpk12		2,000	3,65	5,83	11	13	0,247
14	hpk13		0,327	0,60	1,00	9,5	4,5	0,040
15	hpk14	S (nam)	4,303	7,85	2,18	10	7	0,532
16	hpk15		8,050	14,69	3,74	11	9,5	0,996
17	hpk16		4,429	8,08	6,13	12	13	0,548
18	hpk17		0,051	0,09	10,96	13	15	0,006
19	hpk18		0,393	0,72	1,00	9	4,5	0,049
20	hpk19	SW (tây nam)	7,274	13,27	2,16	10	6,5	0,900
21	hpk20		15,456	28,21	3,80	11	8,5	1,912
22	hpk21		15,408	28,12	6,60	12,5	11,5	1,906
23	hpk22		1,130	2,06	10,89	13,5	15,5	0,140
24	hpk23		0,135	0,25	<b>1,00</b>	6,5	5,5	0,017
25	hpk24		1,292	2,36	<b>2,04</b>	7	7,5	0,160
26	hpk25	N (bắc)	0,558	1,02	<b>3,47</b>	7,5	10,5	0,069
27	hpk26		0,069	0,13	<b>5,47</b>	9	14,5	0,009

Ghi chú: \* Lặng sóng gió và các hướng gió sóng ít tác động đến khu vực (N, NW).

Để đánh giá tác động của các điều kiện sóng đến quá trình vận chuyển bùn cát, BĐĐH đáy ở khu vực nghiên cứu, các kịch bản tính toán được thiết lập theo phương pháp MORFAC trong mô hình Delft3D. Chi tiết về phương pháp này đã được trình bày trong một số công bố liên quan [1, 2, 4, 5]. Trong nghiên cứu này, tần suất xuất hiện các khoảng độ cao sóng ứng với vận tốc gió

khác được tính toán từ số liệu tổng hợp trong hơn 20 năm (1992-2014) của BMT ARGOS [14]. Sau đó các tần suất sóng này được nhóm thành các nhóm sóng khác nhau theo phương pháp nhóm sóng [31, 32].

Các nhóm kịch bản sẽ được thiết lập dựa trên ảnh hưởng của gió, sóng, lưu lượng nước sông. Ở khu vực nghiên cứu có sự biến động rõ



rệt theo mùa của hàm lượng TTLL từ sông, lưu lượng nước sông đưa ra vùng ven bờ và hướng sóng gió tác động nên 2 nhóm kịch bản tính theo các mùa là: mùa khô (bảng 1) và mùa mưa

(bảng 2). Mùa khô gồm các tháng 1, 2, 3, 4, 11, 12 và mùa mưa là các tháng 5-10. Với mỗi kịch bản thời gian chạy là khoảng 15 ngày, bước thời gian tính ( $\Delta t$ ): 30 giây.

Bảng 2. Các kịch bản tính toán cho mùa mưa

STT	Kịch bản tính	Hướng sóng, gió	Tần suất xuất hiện (%)	Thời gian (ngày)	sóng		Tốc độ gió (m/s)	$f_{\text{morfac}}$
					Hs, res (m)	Tp (s)		
1	hpm0		14,32	26,13				1,7714
2	hpm1		0,549	1,00	0,98	7,0	5,5	0,0680
3	hpm2	NE (đông bắc)	1,722	3,14	1,85	8,0	8,0	0,2131
4	hpm3		0,411	0,75	3,58	8,5	11,5	0,0508
5	hpm4		0,032	0,06	5,24	9,5	14,5	0,0040
6	hpm5		2,180	3,98	0,99	7,0	5,0	0,2697
7	hpm6		9,047	16,51	2,02	8,0	8,5	1,1194
8	hpm7	E (đông)	4,690	8,56	3,57	8,5	12,0	0,5803
9	hpm8		0,750	1,37	5,68	9,5	15,0	0,0928
10	hpm9		2,014	3,68	0,98	7,5	4,5	0,2492
11	hpm10	SE (đông nam)	7,095	12,95	2,01	8,5	8,5	0,8778
12	hpm11		3,296	6,02	3,50	9,5	12,5	0,4078
13	hpm12		0,239	0,44	5,65	10,0	15,0	0,0296
14	hpm13		2,838	5,18	0,96	8,0	5,0	0,3512
15	hpm14	S (nam)	9,791	17,87	2,00	9,0	8,5	1,2115
16	hpm15		4,528	8,26	3,54	10,0	11,0	0,5602
17	hpm16		0,709	1,29	5,66	11,0	13,5	0,0877
18	hpm17		4,549	8,30	0,98	8,0	5,0	0,5628
19	hpm18		17,223	31,43	2,03	9,0	7,5	2,1310
20	hpm19	SW (tây nam)	9,617	17,55	3,58	10,0	9,5	1,1899
21	hpm20		2,599	4,74	6,06	11,5	13,0	0,3216
22	hpm21		0,041	0,08	10,76	12,5	15,5	0,0051
23	hpm22		0,357	0,65	0,99	7,0	5,5	0,0442
24	hpm23	N (bắc)	1,249	2,28	1,91	8,0	8,0	0,1546
25	hpm24		0,002	0,003	3,43	8,5	11,5	0,0002

Ghi chú: \* Lặng sóng gió và các hướng gió sóng ít tác động đến khu vực (N, NW).

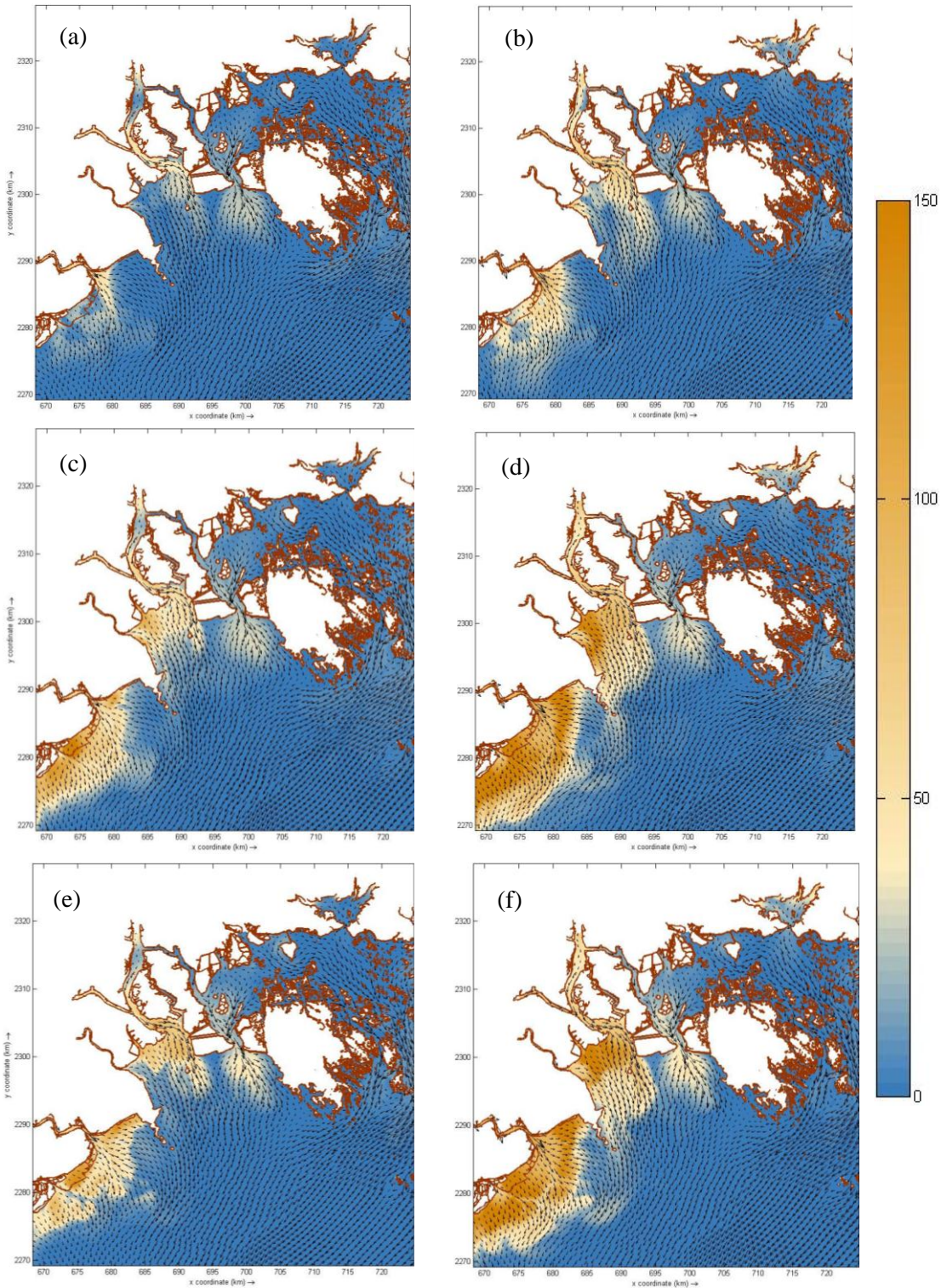
Các điều kiện sóng trong bảng 1 và bảng 2 là kết quả phân tích và nhóm các khoảng độ cao sóng khác nhau từ bảng tần suất sóng theo mùa ở khu vực này. Sóng chứa đựng tất cả các tác động của sóng gió theo các hướng, cấp độ và thời gian tác động khác nhau trung bình trong nhiều năm. Trong đó có các khoảng giá trị độ cao sóng lớn với tần suất xuất hiện ngắn chỉ có thể xảy ra trong gió mùa, đông lốc hoặc trong bão (áp thấp nhiệt đới).

Để đánh giá đặc điểm VCBC ở khu vực này, chúng tôi thiết lập một số mặt cắt trong khu vực này (hình 2). Các mặt cắt này không chế lượng bùn cát di chuyển giữa các khu vực

phía ngoài và phía trong cửa Nam Triệu (A1) phía đông bắc - tây nam bán đảo Đồ Sơn (A2), giữa vùng biển đông nam Cát Bà và Hạ Long (A3).

## KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

**Tác động của trường sóng gió đến phân bố trầm tích lơ lửng.** Đặc điểm phân bố và vận chuyển TTLL có liên quan chặt chẽ đến chế độ TĐL và nguồn cung cấp trầm tích. Trong điều kiện có sự ổn định của dòng trầm tích từ các sông đưa ra, sự phân bố TTLL ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng phụ thuộc chủ yếu vào dao động triều và các điều kiện sóng gió.



Hình 3. Phân bố TTLL (mg/l) vùng cửa sông ven biển Hải Phòng trong pha triều xuống (a- lặng sóng gió mùa khô, b- lặng sóng gió mùa mưa; c- sóng gió hướng E mùa khô, d- sóng gió hướng E mùa mưa; e- sóng gió SE mùa khô; f- sóng gió SE mùa mưa)



Trong trường hợp lặng sóng, vùng có hàm lượng TTLL cao chủ yếu tập trung ngay gần các cửa sông với giá trị khoảng 40 - 60 mg/l (hình 3a, 3b). Các khu vực khác hàm lượng TTLL khá nhỏ. Điều này có thể được giải thích là do sự thiếu vắng tác động của sóng. Yếu tố ảnh hưởng đến phân bố và VCBC chủ yếu do dòng triều và dòng chảy sông. Khi xuất hiện của sóng, gió với các hướng khác nhau, hàm lượng TTLL tăng lên rõ rệt, vùng nước đục do hàm lượng TTLL trong nước tăng mở rộng từ vùng cửa sông ra phía ngoài (hình 3c, 3d, 3e, 3f).

Hàm lượng TTLL từ các sông khu vực Hải Phòng trong những năm gần đây không có sự chênh lệch lớn giữa mùa mưa và mùa khô. Tuy nhiên do sự chênh lệch về lưu lượng nước giữa các mùa từ các sông đưa ra vùng ven bờ cũng ảnh hưởng lớn đến phân bố và VCBC ở khu vực này. Mặc dù vậy, với quy mô thời gian ngắn, phân bố và biên động của hàm lượng TTLL ở khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng vẫn thể hiện sự phụ thuộc chặt chẽ vào dao động mực nước thủy triều. Trong pha triều lên trường dòng chảy có hướng từ phía biển vào các cửa sông vì vậy vùng có hàm lượng TTLL cao bị đẩy dần về phía lục địa. Ảnh hưởng của vùng nước có hàm lượng TTLL cao (trên 100 mg/l) chỉ ở sát phía ngoài cửa các cửa sông. Các khu vực khác hàm lượng TTLL có giá trị khá nhỏ.

Vào pha triều xuống, các khối nước từ sông hướng ra biển có điều kiện phát triển mạnh hơn

nên dòng TTLL phát triển ra phía biển nhiều hơn. Sự tương tác của dòng chảy sông với các điều kiện động lực khác như sóng, thủy triều làm cho ứng suất đáy tăng lên. Vì vậy hàm lượng TTLL trong pha triều này thường có giá trị khá lớn với pha triều lên. Sự xâm nhập của các khối nước biển mạnh nhất vào thời điểm nước lớn, diễn biến lan truyền của TTLL tiếp tục xu hướng của pha triều lên, đẩy các khối nước sông vào sát phía lục địa. Sự phát tán của TTLL từ các sông ra vùng ven biển bị hạn chế nhất và chỉ còn thấy xuất hiện phía sâu trong các sông.

**Tác động của trường sóng gió đến vận chuyển bùn cát.** Phân tích đánh giá các kết quả VCBC qua một số mặt cắt không chế ở các khu vực khác nhau (hình 1c) cho thấy dòng bùn cát di chuyển qua các mặt cắt này luôn biến động mạnh theo các điều kiện thủy động lực, theo mùa và các hướng sóng, gió tác động.

Tại mặt cắt khu vực phía ngoài Đồ Sơn (A2, hình 1), không chế dòng bùn cát di chuyển giữa các vùng phía đông bắc và tây nam bán đảo Đồ Sơn. Các kết quả tính toán cho thấy trong điều kiện lặng sóng, dòng bùn cát di chuyển qua mặt cắt này rất nhỏ với giá trị cả năm chỉ khoảng 0,15 m<sup>3</sup> (bảng 3) với hướng di chuyển từ phía tây nam (khu vực cửa sông Văn Úc) lên. Điều này cho thấy trong điều kiện không có ảnh hưởng của sóng, dòng triều và dòng chảy của sông không có vai trò lớn trong việc VCBC ở khu vực này.

Bảng 3. Tổng lượng bùn cát vận chuyển theo mùa và năm qua mặt cắt Đồ Sơn

Kịch bản/Hướng	Dòng bùn cát (m <sup>3</sup> ) - mùa khô			Dòng bùn cát (m <sup>3</sup> ) - mùa mưa			Cả năm
	Lên	Xuống	Cân bằng	Lên	Xuống	Cân bằng	
Lặng			0,07			0,08	0,15
NE	0,00	-6.121,8	-6121,0	0,00	-1,11	-1,11	-6.122,1
E	394,2	-916.045,2	-915.651,0	0,0	-9,8	-9,8	-915.660,7
SE	386.745,8	0,0	386.745,8	212.927,0	0,0	212.927,0	599.672,8
S	1.932.433,4	0,0	1.932.433,4	1.004.420,2	0,0	1.004.420,2	2.936.853,6
SW	2.733.127,9	0,0	2.733.127,9	1.947.825,8	0,0	1.947.825,8	4.680.953,7
N	6,3	-12.919,4	-12.913,1	336,4	-9.274,2	-8.937,8	-21.850,9
Lên		5.052.307,1			3.165.173,0		8.217.480,2
Xuống		-934.685,0			-8.948,7		-943.633,7
Cân bằng		4.117.622,1			3.156.224,3		7.273.846,4

Ghi chú: Dấu âm (-) di chuyển từ đông bắc xuống tây nam.

Tại mặt cắt này, các hướng sóng gió như N, NE, làm tăng cường sự di chuyển của dòng bùn cát từ phía đông bắc xuống phía tây nam. Trong khi đó các hướng sóng như SE, S và SW lại tăng cường sự di chuyển của dòng bùn cát từ phía cửa Vãn Úc lên phía đông bắc của bán đảo Đồ Sơn (bảng 3). Các kết quả tính toán cho thấy độ cao sóng và vận tốc gió lớn là yếu tố quyết định đến sự di chuyển của dòng bùn cát khu vực này, trong khi đó các điều kiện lạng sóng gió, hoặc sóng có độ cao nhỏ lượng bùn cát di chuyển qua mặt cắt này có giá trị khá nhỏ. Đáng chú ý là lượng bùn cát di chuyển qua mặt cắt này trong các tháng mùa khô lớn hơn so với mùa mưa. Cân bằng bùn cát đưa lên từ phía cửa Vãn Úc là khoảng 7,3 triệu m<sup>3</sup>, trong đó di chuyển lên tổng cộng khoảng 8,2

triệu m<sup>3</sup>, di chuyển xuống khoảng 0,9 triệu m<sup>3</sup> (bảng 3).

Ở mặt cắt Đồ Sơn - Cát Hải (A1, hình 1c), không chế dòng bùn cát đi vào và đi ra từ khu vực các cửa Nam Triệu, Lạch Tray ra vùng biển phía ngoài. Trong điều kiện lạng sóng gió, các kết quả tính toán cho thấy dòng bùn cát đi ra từ các cửa sông qua mặt cắt này khoảng 2027,9 m<sup>3</sup> trong đó chủ yếu do mùa khô (bảng 4). Trong khi với điều kiện lạng sóng gió trong mùa mưa, gần như không có sự VCBC qua mặt cắt này. Điều đó cho thấy dòng bùn cát từ các sông ở khu vực này khi lạng sóng gió vào mùa mưa chủ yếu bị giữ lại ngay tại các cửa sông gây bồi lắng cho khu vực này. Ngược lại, vào mùa khô khi quá trình xói lở đáy tăng lên làm tăng cường dòng bùn cát di chuyển qua các mặt cắt.

Bảng 4. Tổng lượng bùn cát vận chuyển theo mùa và năm qua mặt cắt Đồ Sơn - Cát Hải

Kịch bản/Hướng	Dòng bùn cát (m <sup>3</sup> ) - mùa khô			Dòng bùn cát (m <sup>3</sup> ) - mùa mưa			Cả năm
	Ra	Vào	Cân bằng	Ra	Vào	Cân bằng	
Lạng			2.027,9			-0,01	2.027,9
NE	23.478,0	0,0	23.478,0	0,1	0,0	0,1	23.478,1
E	668.681,5	0,0	668.681,5	38,2	0,0	38,2	668.719,6
SE	111.139,5	0,0	111.139,5	127.308,1	0,0	127.308,1	238.447,5
S	74,9	-180.420,4	-180.345,5	2.060,2	-65497,3	-63.437,1	-243.782,7
SW	87.384,9	-11.260,2	76.124,7	113.394,3	-878,1	112.516,2	188.640,9
N	9.190,4	0,0	9.190,4	8.190,1	0,0	8.190,1	17.380,6
Ra		890.642,0			248.052,7		1.138.694,7
Vào		-180.345,5			-63437,1		-243782,7
Cân bằng		710.296,4			184.615,6		894.912,0

Ghi chú: Dấu âm (-) di chuyển từ phía ngoài vào.

Các kết quả tính toán cho thấy, trong điều kiện sóng gió tăng lên, làm tăng mạnh dòng bùn cát di chuyển qua mặt cắt này, nhất là trong mùa khô (bảng 4). Tác động của các hướng sóng cũng thể hiện sự ảnh hưởng khác nhau đến dòng bùn cát di chuyển qua mặt cắt này. Trong đó chỉ có hướng sóng S gây ra sự di chuyển của dòng bùn cát từ phía ngoài vào. Ngược lại, sóng từ các hướng còn lại đều làm cho dòng bùn cát di chuyển từ phía cửa sông ra ngoài. Cân bằng chung cả năm qua mặt cắt này cho thấy dòng bùn cát đi ra chiếm ưu thế với giá trị là 894.912 m<sup>3</sup>, trong đó dòng đi ra tổng cộng khoảng 1,1 triệu m<sup>3</sup> và dòng đi vào khoảng 0,24 triệu m<sup>3</sup> (bảng 4).

Tại mặt cắt Cát Bà (A3, hình 1c), không chế sự trao đổi dòng bùn cát giữa vùng biển Hải Phòng và vùng biển khu vực vịnh Hạ

Long. Các kết quả tính toán, phân tích cho thấy với điều kiện lạng sóng gió, ảnh hưởng của dòng triều làm cho dòng bùn cát có hướng di chuyển chủ yếu từ phía vịnh Hạ Long xuống khu vực đông nam Cát Bà (khoảng 3.540 m<sup>3</sup>), trong đó phần lớn trong mùa khô (bảng 4). Một số hướng sóng gió làm tăng cường sự di chuyển bùn cát từ phía vịnh Hạ Long về khu vực đông Nam Cát Bà như hướng NE, E và hướng N. Ngược lại các hướng sóng gió như SE, S, SW làm tăng sự VCBC từ khu vực biển Hải Phòng về phía vịnh Hạ Long - Bái Tử Long. Cân bằng chung cho thấy dòng bùn cát qua mặt cắt này trung bình khoảng 3,5 triệu m<sup>3</sup>/năm, trong đó di chuyển lên khoảng 3,6 triệu m<sup>3</sup> và di chuyển xuống theo hướng ngược lại khoảng 0,1 triệu m<sup>3</sup>/năm (bảng 5).

Bảng 5. Tổng lượng bùn cát vận chuyển theo mùa và năm qua mặt cắt Cát Bà

Kịch bản/Hướng	Dòng bùn cát (m <sup>3</sup> ) - mùa khô			Dòng bùn cát (m <sup>3</sup> ) - mùa mưa			Cả năm
	Lên	Xuống	Cân bằng	Lên	Xuống	Cân bằng	
Lặng			-3.516,0			-24,4	-3.540,4
NE	0,0	-12.263,5	-12.263,5	0,0	-2,9	-2,9	-12.266,4
E	0,0	-80.054,1	-80.054,1	0,0	-27,3	-27,3	-80.081,3
SE	55.759,5	-106,1	55.653,4	38.679,6	-11,3	38.668,3	94.321,7
S	703.246,2	-117,5	703.128,7	435.240,5	0,0	435.240,5	1.138.369,3
SW	1.500.554,1	-62,2	1.500.492,0	885.810,2	0,0	885.810,2	2.386.302,2
N	0,0	-7.663,9	-7.663,9	0,0	-4.522,1	-4.522,1	-12186,0
Lên		2.259.274,1			1.359.719,1		3.618.993,2
Xuống		-103.497,5			-4.576,7		-108.074,2
Cân bằng		2.155.776,6			1.355.142,4		3.510.919,0

Ghi chú: dấu âm (-) di chuyển từ phía ngoài vào.

Như vậy, sự VCBC ở khu vực ven biển Hải Phòng biến động rõ rệt theo các hướng sóng khác nhau và tăng lên rõ rệt khi độ cao sóng gió tăng. Quá trình xói lở đáy diễn ra nhiều hơn trong mùa khô cũng làm cho dòng bùn cát di chuyển qua các mặt cắt trong mùa khô thường lớn hơn so với mùa mưa.

**Tác động của trường sóng gió đến biến động địa hình.** Biến động địa hình (BĐĐH) đáy vùng cửa sông ven biển Hải Phòng là kết quả của sự tương tác giữa các quá trình thủy động lực - sóng, các quá trình VCBC. Trong khi các yếu tố này ở khu vực nghiên cứu luôn luôn thay đổi theo diễn biến của các yếu tố như dòng bùn cát-nước từ hệ thống sông đưa ra, dao động mực nước triều và tác động của các trường sóng, gió. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, địa hình đáy ven biển và vùng cửa sông Hải Phòng được tính toán riêng ra với 52 kịch bản tính khác nhau (bảng 1, bảng 2), mỗi kịch bản tính thể hiện những ảnh hưởng riêng của trường sóng gió đến địa hình đáy ven bờ Hải Phòng.

Trong điều kiện lặng sóng gió, nguồn bùn cát từ sông đưa ra trong mùa khô có điều kiện lắng đọng nhiều hơn. Các kết quả tính toán cho thấy, trong trường hợp này, xu thế bồi tụ chiếm ưu thế. Tốc độ bồi thấp với giá trị khoảng 2 - 10 mm. Một số vùng có tốc độ bồi cao hơn là ngay sát các cửa sông - nơi tiêu nhận dòng bùn cát từ bờ đưa ra.

Khi độ cao sóng tăng, vận tốc gió tăng dần, ứng xuất đáy biển tăng lên, quá trình VCBC, đặc biệt là ở vùng ven bờ tăng dần. BĐĐH đáy thể hiện rõ rệt hơn làm xuất hiện một số vùng

bồi tụ nhẹ, xen lẫn với xói lở ở khu vực cửa sông, luồng tàu. Tuy nhiên hướng sóng, hướng gió khác nhau cũng thể hiện những ảnh hưởng khác nhau đến địa hình đáy ở khu vực này.

Trong thời kỳ mùa khô, các sóng hướng N, NE ít ảnh hưởng đến biến động địa hình ở khu vực này nhất. Dưới ảnh hưởng của sóng và gió các hướng này, chỉ làm bồi tụ nhẹ cho hầu hết khu vực nghiên cứu với giá trị phổ biến 5 - 10 mm, trong khi nó cũng gây ra xói nhẹ ở khu vực ven bờ Văn Úc - Thái Bình.

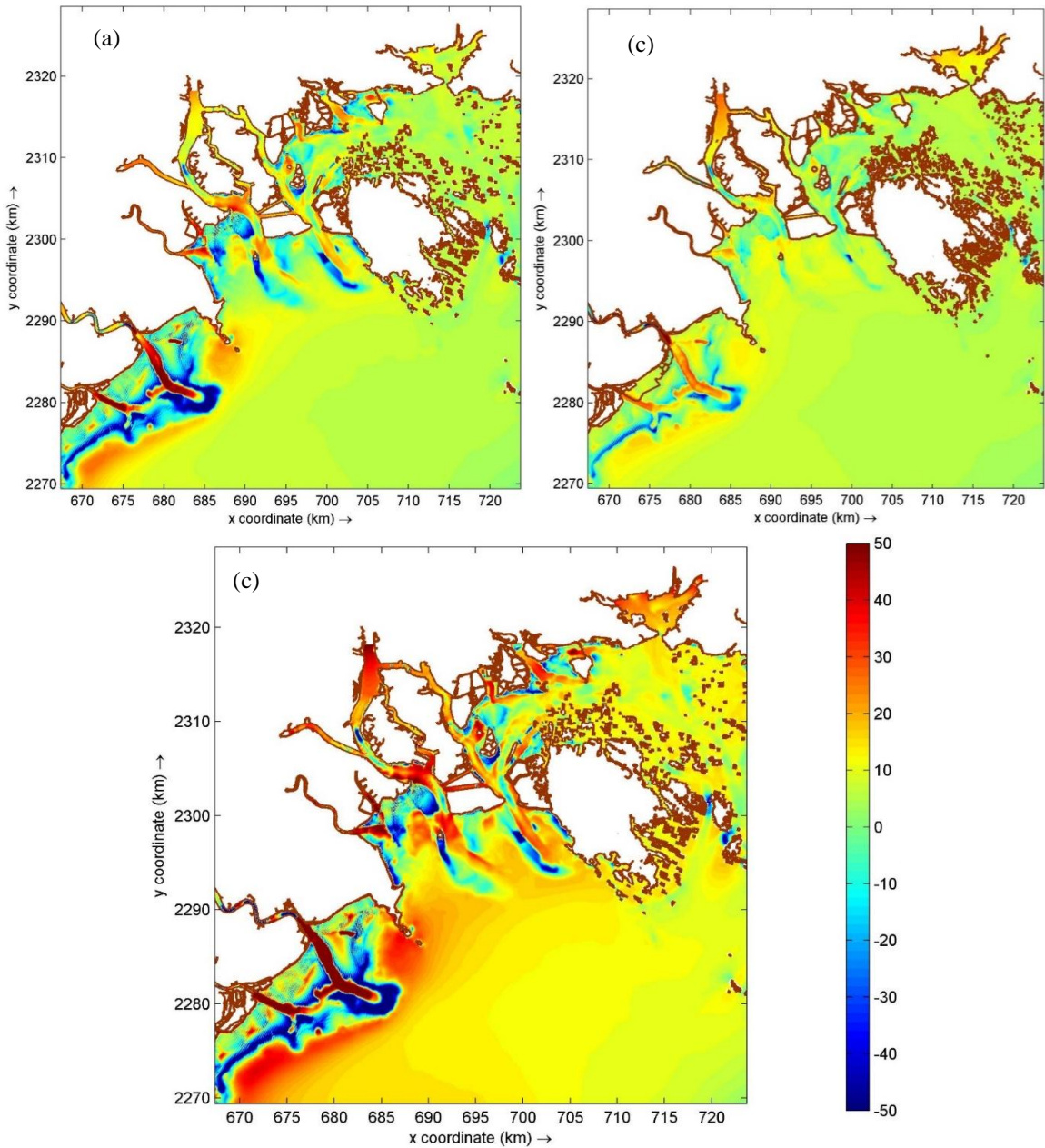
Các hướng sóng còn lại như E, SE, S và SW thể hiện ảnh hưởng rõ hơn khi tạo thành các vùng bồi tụ với độ lớn khoảng 10 - 15 mm ở khu vực phía trong lòng sông Cấm, Bạch Đằng, khu vực cửa Nam Triệu và Lạch Huyện. Đồng thời cũng xuất hiện một số khu vực xói nhẹ ở cạnh các lạch triều ven bờ Văn Úc-Thái Bình và Lạch Tray. Đáng chú ý là trong các kịch bản tính toán đều cho thấy sự xuất hiện vùng bồi tụ nhẹ ở khoảng độ sâu 6 m trở ra đến khoảng 15 m trở lại.

Trong mùa mưa, tác động từ các hướng sóng N và NE cũng thể hiện tương tự như trong mùa khô với những ảnh hưởng nhỏ và chủ yếu gây ra bồi tụ nhẹ ở khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng. Với các hướng sóng khác như E, SE, S và SW làm tăng mạnh tốc độ bồi ở lòng dẫn vào các cửa sông, khu vực cửa Nam Triệu, Lạch Huyện. So với mùa khô, ảnh hưởng của các hướng sóng gió này đến việc tạo thành một số vùng bồi tụ trở lên rõ hơn. Đặc biệt là khu vực bồi ở phía ngoài đường đẳng sâu 6 m. Điều này có thể được giải thích là do dòng nước từ sông trong mùa mưa đưa ra lớn hơn nên đáy

lượng bùn cát từ sông đi ra xa bờ hơn tạo thành các vùng bồi tụ phía ngoài.

Biến động địa hình trong mùa khô được tổng hợp từ tất cả các kịch bản tính toán (từ kịch bản hpk0 đến hpk26, bảng 1) cho thấy trong toàn bộ mùa khô, địa hình đáy ở khu vực này thể hiện xu thế bồi là chủ yếu. Các vùng bồi tụ lớn là khu vực phía ngoài cửa Nam

Triều, ven bờ phía bắc Đình Vũ, tây nam Cát Hải, cửa Lạch Tray, Văn Úc với độ lớn khoảng 10 - 30 mm. Khu vực ven bờ phía ngoài đường đẳng sâu 6 m cũng thể hiện xu thế bồi với độ lớn khoảng 10 - 20 mm. Trong khi đó ở vùng gần bờ là đới nằm trong vùng ảnh hưởng do sự tương tác của dòng chảy sông và sóng nên thể hiện xu thế xói (hình 4a).



Hình 4. Tổng hợp biến động địa hình đáy (mm) vùng cửa sông ven biển Hải Phòng (a- tổng cộng trong mùa khô, b- tổng cộng trong mùa mưa, c- tổng cộng cả năm)

Tổng hợp các tác động của sóng-gió với hướng tới và độ lớn khác nhau trong mùa mưa ở khu vực này (từ tất cả các kịch bản tính hpm0 đến hpm24, bảng 2) cũng thể hiện xu thế bồi tụ chiếm ưu thế với giá trị phổ biến từ 10 - 20 mm. So với mùa khô vùng bồi tụ trong mùa mưa trải rộng hơn nhưng giá trị bồi tụ tương đối đồng nhất. Trong mùa mưa, ít xuất hiện những vùng bồi tụ lớn cũng như những vùng xói lở xen kẽ như trong mùa khô (hình 4b).

Kết quả tổng hợp tất cả các kịch bản tính toán với khoảng độ cao sóng, vận tốc gió, hướng truyền sóng tới và dòng nước-bùn cát từ sông đưa ra theo màu đã cho bức tranh chung về biến động địa hình đáy trung bình năm ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng. Các kết quả tính toán cho thấy xu thế bồi tụ vẫn là chủ yếu với giá trị phổ biến trong khoảng 10 - 40 mm/năm. Một số khu vực bồi tụ với tốc độ cao là ven bờ phía bắc Đình Vũ, cửa Nam Triệu, tây nam Cát Hả và tây nam Đồ Sơn. Dưới những ảnh hưởng do sự tương tác sóng-dòng chảy sông-triều, cũng hình thành 1 số khu vực xói lở ở gần dải ven bờ. Tuy nhiên những vùng bồi tụ này liên biến đổi, thay đổi theo các điều kiện thủy động lực. Ở phía ngoài, xu thế bồi tụ được thể hiện với tốc độ bồi tụ khoảng 10 - 25 mm/năm và khá ổn định do ít tác động bởi sự ảnh hưởng của các trường sóng gió (hình 4c).

**Thảo luận.** Từ những kết quả phân tích về phân bố TTLL ở khu vực ven biển Hải Phòng cho thấy phạm vi phân bố của TTLL ở khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng hiện nay chủ yếu do các tác động của sóng. Trong điều kiện không có ảnh hưởng của sóng, các nguồn TTLL từ lục địa tập trung ngay gần các cửa sông với hàm lượng khá nhỏ (dưới 100 mg/l), thể hiện rõ trong các kết quả của kịch bản tính đối với trường hợp lặng sóng gió (hpk0 và hpm0). Đây có thể là một trong những biểu hiện do tác động do giảm dòng bùn cát và thay đổi phân phối nước của hệ thống sông Hồng-Thái Bình sau khi có đập Hòa Bình<sup>[1]</sup>.

Mặc dù vào mùa mưa hàm lượng TTLL và lưu lượng nước sông đưa ra lớn hơn so với mùa khô nhưng dòng bùn cát vận chuyển qua các mặt cắt trong mùa khô lớn hơn hẳn so với mùa mưa. Điều này cho thấy vào mùa khô xu thế xói diễn ra lớn hơn mùa mưa. Các kết quả này

cũng phù hợp với nghiên cứu của van Maren [33] khi cho rằng sự phân bố bùn cát ở vùng cửa sông Hồng vào mùa mưa chỉ là tạm thời, khi vào mùa khô do ảnh hưởng của các điều kiện động lực trong khi thiếu hụt bùn cát cung cấp từ sông, quá trình xói đáy tăng lên đồng thời cũng làm tăng lượng bùn cát vận chuyển qua các mặt cắt ở trong khu vực nghiên cứu.

Theo các kết quả nghiên cứu gần đây dựa trên phương pháp nuclit phóng xạ <sup>210</sup>Pb và <sup>137</sup>Cs để đánh giá tốc lắng đọng và tuổi trầm tích tại một số cột khoan ven bờ Hải Phòng, tốc độ lắng đọng trầm tích trung bình ở khu vực này trong vòng từ vài chục đến hàng trăm năm có giá trị biên đổi trong khoảng từ 6,3 - 10,03 mm/năm [34, 35]. So với các kết quả nghiên cứu này, tốc độ bồi tụ bằng mô hình tính có giá trị cao hơn và phổ biến khoảng 10 - 25 mm/năm (hình 4c), có thể lý giải điều này là trong những năm gần đây số lượng bão và áp thấp nhiệt đới đổ bộ vào khu vực này có xu hướng giảm so với các giai đoạn trước kia. Phân tích từ số liệu thống kê của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia trong khoảng 52 năm (từ 1962-2014) đã có 83 cơn bão và áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến vùng ven biển Hải Phòng, trung bình 1,6 cơn bão/năm. Trong đó trong vòng 22 năm trở lại đây (từ 1992-2014, thời gian tính toán BĐĐH trong nghiên cứu này) trung bình chỉ có 1,5 cơn bão/năm. Số lượng bão lớn (từ cấp 11 trở lên) đổ bộ vào vùng ven biển Hải Phòng trong vòng 22 năm qua (1992-2014) cũng thấp hơn (trung bình 0,22 cơn/năm) đáng kể so với giai đoạn 30 năm trước đó (1962-1991) với khoảng 0,4 cơn/năm. Đặc biệt, trong vòng 52 năm qua ở khu vực này xuất hiện 9 cơn bão lớn hơn cấp 12 thì trong 22 năm gần đây (1992-2014) chỉ có 1 cơn bão lớn hơn cấp 12 ảnh hưởng đến vùng này. Các nghiên cứu liên quan cũng chỉ ra rằng sóng-gió cực trị tác động mạnh đến quá trình xói đáy [36] và có thể làm tăng mức độ xói đáy biển lên tới 17 lần so với các điều kiện lặng sóng [37]. Vì vậy BĐĐH đáy biển sau các điều kiện thời tiết cực đoan có thể bằng diễn biến của quá trình đó trong nhiều tháng hoặc nhiều năm [38, 39]. Như vậy, xu thế bồi tụ nhiều hơn trong kết quả tính BĐĐH đáy biển ven biển Hải Phòng là một phần kết quả tác động của sự suy giảm cả về số lượng và cường độ bão và áp thấp nhiệt đới ở khu vực này trong những năm gần đây.



Điều này hoàn toàn trái ngược với xu thế xói lở tăng trong những năm gần đây ở vùng ven bờ châu thổ sông Mê Kông [10, 12].

## KẾT LUẬN

Phương pháp tiếp cận MORFAC có thể cung cấp những hiểu biết về vai trò của từng nhóm yếu tố động lực ứng với các điều kiện khác nhau đến BĐDH đáy biển ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng. Thông qua các kết quả của các nhóm kịch bản tính đó đã cho thấy tác động khác nhau của các trường sóng gió đến phân bố TTLL, VCBC và BĐDH ở khu vực này trong các điều kiện sóng khác nhau, trong mùa khô, mùa mưa và cả năm.

Mặc dù chế độ TĐL chịu sự chi phối của dao động mực nước thủy triều nhưng động lực sóng lại là yếu tố chính quyết định đến đặc điểm VCBC và BĐDH đáy ở vùng ven biển Hải Phòng. Dưới ảnh hưởng các điều kiện sóng kết hợp với các yếu tố động lực khác, luôn xuất hiện các vùng bồi xói xen kẽ ở vùng ven biển, cửa sông Hải Phòng nhưng các vị trí bồi xói có thể bị thay đổi, đặc biệt là khi có sự thay đổi về độ cao và hướng sóng tác động.

Do ảnh hưởng của các điều kiện động lực và sóng, trong mùa khô xuất hiện nhiều vùng xói hơn nhưng các vùng bồi cũng có độ cao khá lớn so với mùa mưa. Trong khi đó vào mùa mưa, diện tích các vùng bồi lớn hơn nhưng tốc độ bồi tụ khá đồng đều so với mùa khô. Biến động bồi/xói ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng thường diễn ra trong khoảng độ sâu 5 - 6 m trở lại với tốc độ khoảng 20 - 50 mm/năm. Ở ngoài ngoài khoảng độ sâu 6 m, địa hình đáy khá ổn định và thể hiện xu thế bồi với tốc độ bồi hằng năm phổ biến trong khoảng 10 - 20 mm/năm.

Trong những năm gần đây, mặc dù có sự suy giảm mạnh dòng bùn cát do hệ thống sông đưa ra do ảnh hưởng của các đập chứa thượng nguồn nhưng các kết quả tính toán cho thấy xu thế bồi tụ ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng vẫn chiếm ưu thế hơn so với xu thế xói. Đây có thể là một trong những hệ quả của sự suy giảm số lượng và cường độ bão đổ bộ vào khu vực này trong vòng hơn 20 năm trở lại đây.

**Lời cảm ơn:** Bài báo nhận được sự hỗ trợ về tài liệu của đề tài nghiên cứu khoa học cấp thành phố Hải Phòng: “Nghiên cứu xây dựng luận cứ

phục vụ lập quy hoạch các bãi đê bùn cát do nạo vét trên địa bàn Hải Phòng” và đề tài NĐT.01.CHN/15, các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ quý báu đó.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Vinh, V. D., Ouillon, S., Thanh, T. D., and Chu, L. V., 2014. Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red River basin and delta. *Hydrology and Earth System Sciences*, **18**(10), 3987-4005.
2. Lesser, G. R., Roelvink, J. V., Van Kester, J. A. T. M., and Stelling, G. S., 2004. Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*, **51**(8-9), 883-915.
3. Roelvink, J. A., 2006. Coastal morphodynamic evolution techniques. *Coastal Engineering*, **53**(2-3), 277-287.
4. Lesser, G. R., 2009. An approach to medium-term coastal morphological modeling, PhD thesis. *Delft University of Technology*, ISBN 978-0-415-55668-2.
5. Tonnon, P. K., Van Rijn, L. C., and Walstra, D. J. R., 2007. The morphodynamic modelling of tidal sand waves on the shoreface. *Coastal Engineering*, **54**(4), 279-296.
6. Jones, O. P., Petersen, O. S., and Kofoed-Hansen, H., 2007. Modelling of complex coastal environments: Some considerations for best practise. *Coastal Engineering*, **54**(10), 717-733.
7. Dissanayake, D. M. P. K., Ranasinghe, R., and Roelvink, J. A., 2009. Effect of sea level rise in tidal inlet evolution: A numerical modelling approach. *Journal of Coastal Research*, **56**(2), 942-946.
8. Van der Wegen, M., and Roelvink, J. A., 2008. Long-term morphodynamic evolution of a tidal embayment using a two-dimensional, process-based model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **113**(C3).
9. Van der Wegen, M., Wang, Z. B., Savenije, H. H. G., and Roelvink, J. A., 2008. Long-term morphodynamic evolution and energy dissipation in a coastal plain, tidal embayment. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **113**(F3).

10. Vũ Duy Vĩnh, Trần Đình Lân, Trần Anh Tú, Nguyễn Thị Kim Anh, Nguyễn Ngọc Tiến, 2016. Ảnh hưởng của các quá trình động lực đến biến động địa hình đáy vùng ven bờ cửa sông Mê Kông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **16**(1), 32-45.
11. Vũ Duy Vĩnh, Đỗ Thị Thu Hương, Nguyễn Văn Quân, Nguyễn Ngọc Tiến, 2016. Đặc điểm vận chuyển bùn cát và nguyên nhân gây bồi lắng khu vực đầm Nại (Ninh Thuận). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **16**(3), 283-296.
12. Vinh, V. D., Ouillon, S., VanThao, N., and Tien, N. N., 2016. Numerical Simulations of Suspended Sediment Dynamics Due to Seasonal Forcing in the Mekong Coastal Area. *Water*, **8**(6), 255.
13. Weatherall, P., Marks, K. M., Jakobsson, M., Schmitt, T., Tani, S., Arndt, J. E., ... and Wigley, R., 2015. A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science*, **2**(8), 331-345.
14. Groenewoud, P., de Valk, C., and Williams, M., 2011. Overview of the Service and Validation of the Database. *Reference: RP\_A870*.
15. Lefevre, F., Lyard, F. H., Le Provost, C., and Schrama, E. J., 2002. FES99: a global tide finite element solution assimilating tide gauge and altimetric information. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **19**(9), 1345-1356.
16. Lyard, F., Lefevre, F., Letellier, T., and Francis, O., 2006. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean dynamics*, **56**(5-6), 394-415.
17. World Ocean Atlas 2013 Version 2 (WOA13 V2). Available online: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/> (accessed on 20 April 2016).
18. Hydraulics, D., 2014. Delft3D-FLOW User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena. Including sediments. Technical report.
19. Battjes, J. A., and Janssen, J. P. F. M., 1978. Energy loss and set-up due to breaking random waves. In *Proceedings of 16th Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany, 1978*. ASCE. Pp. 569-587. 47, 133, 134, 138, 139, 188.
20. Booij, N. R. R. C., Ris, R. C., and Holthuijsen, L. H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **104**(C4), 7649-7666.
21. Arcement, G. J., and Schneider, V. R., 1989. Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains..U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2339, 38 p.
22. Simons, D. B., and Şentürk, F., 1992. Sediment transport technology: water and sediment dynamics. *Water Resources Publication*.
23. Uittenbogaard, R. E., 1998. Model for eddy diffusivity and viscosity related to sub-grid velocity and bed topography. *Note, WL/Delft Hydraulics*.
24. Van Vossen, B., 2000. Horizontal large eddy simulations; evaluation of computations with DELFT3D-FLOW. Report MEAH-197. *Delft University of Technology*.
25. Van Rijn, L. C., 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas (Vol. 1006). *Amsterdam: Aqua publications*.
26. Krause, P., Boyle, D. P., and Bäse, F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, **5**, 89-97.
27. Nash, J. E., and Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I-A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**(3), 282-290.
28. de Vriend, H. J., Capobianco, M., Chesher, T., De Swart, H. D., Latteux, B., and Stive, M. J. F., 1993. Approaches to long-term modelling of coastal morphology: a review. *Coastal Engineering*, **21**(1-3), 225-269.
29. Van Duin, M. J. P., Wiersma, N. R., Walstra, D. J. R., Van Rijn, L. C., and Stive, M. J. F., 2004. Nourishing the shoreface: observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands. *Coastal Engineering*, **51**(8-9), 813-837.
30. Brown, J. M., and Davies, A. G., 2009. Methods for medium-term prediction of the net sediment transport by waves and currents in complex coastal regions.

- Continental Shelf Research*, **29**(11-12), 1502-1514.
31. Walstra, D. J. R., Hoekstra, R., Tonnon, P. K., and Ruessink, B. G., 2013. Input reduction for long-term morphodynamic simulations in wave-dominated coastal settings. *Coastal Engineering*, **77**, 57-70.
  32. Chesher, T. J., 1992. The concept of a single representative wave for use in numerical models of long-term sediment transport predictions. In *Proc. 2nd Int. Conf. on Hydraulic and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine, and River Waters, 1992*.
  33. Van Maren, D. S., 2004. Morphodynamics of a Cyclic Prograding Delta: The Red River, Vietnam. *Utrecht, the Netherlands: Utrecht University (Doctoral dissertation, Doctoral thesis)*.
  34. Bùi Văn Vượng và nnk., 2011. Tốc độ lắng đọng và tuổi trầm tích ven bờ châu thổ sông Hồng: bằng chứng từ phóng xạ vết  $^{210}\text{Pb}$  và  $^{137}\text{Cs}$ . Tài nguyên và môi trường biển, tập XVI. *Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ*.
  35. Bùi Văn Vượng và nnk., 2013. Kết quả bước đầu nghiên cứu tốc độ lắng đọng và tuổi trầm tích hiện đại vùng cửa sông Bạch Đằng bằng phương pháp đồng vị phóng xạ  $^{210}\text{Pb}$  và  $^{137}\text{Cs}$ . Tuyên tập báo cáo khoa học Hội nghị Khoa học biển Toàn quốc lần thứ hai. Hà Nội - Hạ Long, 10-12/10/2013. *Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội*. Tr. 306-315.
  36. Dyer, K. R., 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. *John Wiley & Sons, Inc.*
  37. Yang, S. L., Friedrichs, C. T., Shi, Z., Ding, P. X., Zhu, J., and Zhao, Q. Y., 2003. Morphological response of tidal marshes, flats and channels of the outer Yangtze River mouth to a major storm. *Estuaries*, **26**(6), 1416-1425.
  38. Goodbred Jr, S. L., and Hine, A. C., 1995. Coastal storm deposition: salt-marsh response to a severe extratropical storm, March 1993, west-central Florida. *Geology*, **23**(8), 679-682.
  39. Nyman, J. A., Crozier, C. R., and DeLaune, R. D., 1995. Roles and patterns of hurricane sedimentation in an estuarine marsh landscape. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **40**(6), 665-679.

## INFLUENCES OF THE WAVE CONDITIONS ON THE CHARACTERISTICS OF SEDIMENTS TRANSPORT AND MORPHOLOGICAL CHANGE IN THE HAI PHONG COASTAL AREA

Vu Duy Vinh, Tran Dinh Lan

*Institute of Marine Environment and Resources, VAST*

**ABSTRACT:** The model system for the Hai Phong coastal area was set up based on the wave climate condition between 1992-2014 and the MORFAC (the morphological acceleration factor) method in the Delft3D model. The model results of more than 50 separate simulated scenarios show the role of each wave interval and direction on characteristics of sediment transport and morphological change in the studied area. In the case of without wave, sediments from the river settle and create deposition zone in river mouths. When the wave height increases, the erosion/deposition and sediment transport in the coastal zone increase. Due to the influence of the hydrodynamics and sediment transport, the erosion/deposition rate in the dry season is higher than that in the rainy season. The morphology strongly change in the depth less than 5 - 6 m with the rate of 20 - 50 mm/year. In the water zone of over 6 m, the morphology relatively stable and reflects an accretion trend with the rate of 10 - 20 mm/year. The simulation results also show an accretion trend

*Vũ Duy Vĩnh, Trần Đình Lân*

in the Hai Phong coastal area. It may be a consequence of the decrease in the number of big typhoons impacted on this area in the last 20 years.

**Keywords:** Morphological change, morfac, modelling, hydrodynamics, sediments.