

ĐÁNH GIÁ CHẾ ĐỘ THỦY ĐỘNG LỰC TƯƠNG PHẢN GIỮA HAI ĐỐI BIÊN VEN BỜ BAO QUANH MŨI CÀ MAU

Nguyễn Bá Cao, Nguyễn Hữu Nhân
Viện Kỹ thuật Biển

Tóm tắt: Mũi Cà Mau và đới biển ven bờ bao quanh nó hình thành và tồn tại trên nền bãi bồi tụ của phù sa sông Mekong - là mảnh gập độc đáo vươn mạnh ra biển Tây Nam làm thành bán đảo Cà Mau và biến châu thổ sông Mekong có dạng bất đối xứng trục ở vùng đồng bằng sông Cửu Long. Nguyên nhân là do sự tương phản sâu sắc của chế độ thủy động lực vùng biên phía tây và đông bán đảo Cà Mau. Bài viết này sẽ cung cấp các đánh giá về chế độ thủy động lực và sóng biển tương phản trên vùng biển ven bờ bao quanh mũi Cà Mau và lân cận dựa vào kết quả mô phỏng trên mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM đã được cân chỉnh và kiểm định cẩn thận nhằm bổ sung thêm các thông tin và cơ sở dữ liệu rất cần thiết để quy hoạch, khai thác và bảo vệ hiệu quả hơn vùng lãnh thổ này. Đới biển ven bờ quanh mũi Cà Mau có chế độ thủy động lực phức tạp, biến động mạnh theo không gian và thời gian do khối nước phải vận động quanh cấu trúc lớn, lồi mạnh ra phía biển với bãi bồi ngầm rộng mênh mông và đáy biển dốc đứng tại đường chân châu thổ ngầm. Cường suất các yếu tố thủy động lực biển ven bờ đông mạnh gấp đôi biển ven bờ tây. Có sự tương phản sâu sắc theo mùa, theo tiết: trong mùa khô kiệt, biển ven bờ đông Mũi Cà Mau rất sôi động, nhưng biển ven bờ tây lại khá yên tĩnh, và ngược lại vào mùa mưa lũ. Đặc biệt, có sự suy giảm đột ngột tốc độ khi dòng chảy từ biển Đông vòng qua Mũi Cà Mau đổ vào biển Tây - cơ chế chính hình thành và phát triển bãi bồi phía bắc Mũi Cà Mau - bãi bồi Cà Mau.

Từ khóa: thủy động lực, biển ven bờ, Mũi Cà Mau, bãi bồi Cà Mau, Đồng bằng sông Cửu Long, MIKE 21/3.

Abstract: The Ca Mau cape and its surrounded coastal zone are forming and growing on the alluvial platform which had been built by Mekong River sediment. It is unique piece stretching out to the southwest to form the Ca Mau Peninsula and making the Vietnamese Mekong Delta had form of strong axial asymmetry. This is due to the great contrasted hydrodynamic regime in the western and eastern coastal seas around Ca Mau Peninsula. This paper will provide assessments of hydrodynamic and wave regimes in the coastal zone around Ca Mau cape and its surroundings by simulations based on the MIKE 21/3 Couple Model FM model that it was well calibrated and validated to cover more information and databases needed for more effective in planning, exploiting and protecting this region. The coastal zone around Ca Mau cape has complex hydrodynamic regime with large spatial and temporal variation due to the water volume has to flow around the strongly convex to the sea and big structure with the huge wide delta front and steep sea bed at foot of vast underwater alluvial. The coastal hydrodynamics in east coast zone is twice more power than that in the west coast zone. There is a distinct seasonal contrast: in the dry season, the east coast of Ca Mau cape is very lively, but the west coast is fact quiet, and vice versa during the rainy season. Especially, there is a sudden decrease in current speed when the water is flowing from the East Sea, surrounding Ca Mau cape and coming into the West Sea. It is the main mechanism for forming and developing north mudflat of Ca Mau cape that is named as Ca Mau alluvial platform.

Keywords: hydrodynamics, coastal zone, Ca Mau cape, Ca Mau alluvial platform, Vietnamese Mekong Delta, MIKE 21/3.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sông Mekong dài 4.909 km bắt nguồn từ vùng núi cao tỉnh Thanh Hải, theo suốt chiều dài

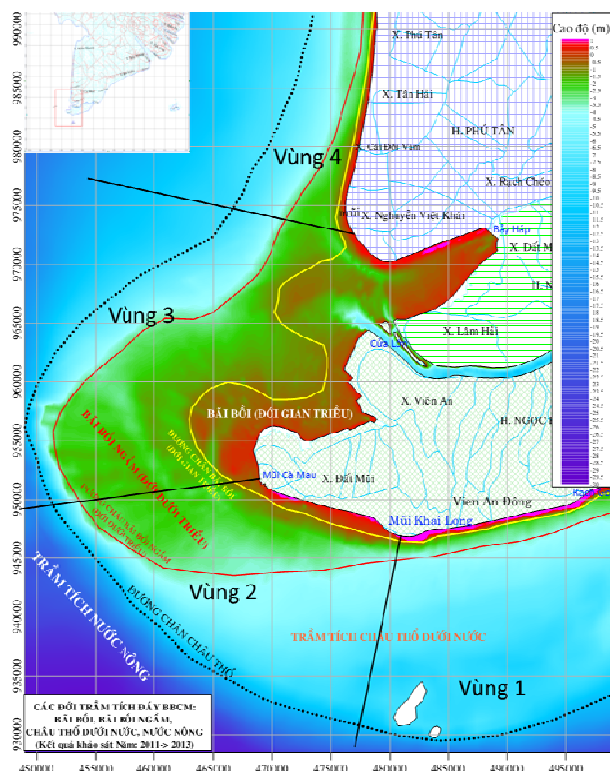
tỉnh Vân Nam (Trung Quốc), qua các nước Myanmar, Thái Lan, Lào, Campuchia trước khi vào Việt Nam rồi đổ ra biển Đông. Lưu vực sông Mekong có tổng diện tích 795.000 km² trong đó phần nằm trên lãnh thổ của bốn quốc gia

Ngày nhận bài: 08/6/2018

Ngày thông qua phản biện: 15/7/2018

Ngày duyệt đăng: 02/8/2018

Thái Lan, Lào, Campuchia và Việt Nam là Hạ lưu vực, chiếm trên 77% **Error! Reference source not found.** Mekong là con sông dài thứ 12 trên thế giới và lớn thứ 10 về tổng lượng dòng chảy (hàng năm đạt khoảng 475 tỷ m³, lưu lượng trung bình khoảng 15.000 m³/s) **Error! Reference source not found.** Tuy nhiên xét về diện tích lưu vực thì sông Mekong có diện tích lưu vực lớn thứ 24 trên thế giới [27]. Châu thổ sông Mekong là đồng bằng lớn thứ ba thế giới (93.781 km²), chỉ kém đồng bằng sông Amazon (467.078 km²) và đồng bằng Sông Hằng–Brahmaputra (105.641 km²) (Liu Paul, 2005) [27]. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là phần châu thổ sông Mekong thuộc Việt Nam có diện tích trên 40.000 km², chiếm 12% tổng diện tích tự nhiên cả nước, có ranh giới tây bắc là biên giới Việt Nam - Campuchia, phía đông bắc là sông Vàm Cỏ Đông, phía đông nam là biển Đông và tây nam là Vịnh Thái Lan **Error! Reference source not found.**



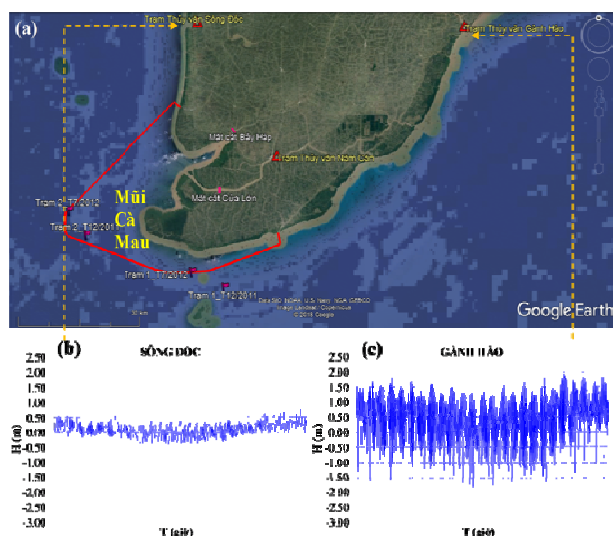
Hình 1. Cấu tạo đáy và đường bờ vùng biển bao quanh mũi Cà Mau.

Mũi Cà Mau, thuộc huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau. Nhìn từ không gian Mũi Cà Mau là một chóp nhỏ vươn ra biển, nằm ngay tại nút tranh chấp gay gắt giữa biển Đông, biển Tây Nam Bộ. Nó là sản phẩm của các quá trình tự nhiên (chế độ khí hậu gió mùa Đông Nam Á; chế độ thủy văn sông Mekong; chế độ hải văn biển Đông và Tây Nam Bộ; địa chất, tân kiến tạo; các hệ sinh thái tự nhiên, đặc biệt là rừng ngập mặn) cũng như các hoạt động của con người tại bán đảo Cà Mau (BĐCM) và vùng ĐBSCL và cả trên thượng nguồn, đặc biệt gần đây nó đang bị tác động rất tiêu cực của biến đổi khí hậu - nước biển dâng.

Biển ven bờ quanh Mũi Cà Mau (BVBQMCM) là thủy vực nước rất nông (Hình 1). Theo kết quả nghiên cứu **Error! Reference source not found.**, theo hướng từ bờ đi ra biển, ta thấy nó được cấu tạo từ 4 đới: đới bãi bồi (đới gian triều), đới bãi bồi ngầm (đới dưới triều), đới châu thổ ngầm và đới nước nông; chúng được giới hạn bởi 4 đường cách biệt: đường bờ biển (*đại rừng ngập mặn*), đường chân bãi bồi (đới gian triều), đường chân bãi bồi ngầm (đới dưới triều), đường chân châu thổ. Trong khi đó, theo hướng song song với đường bờ từ đông sang tây, BVBQMCM có thể chia 4 vùng: Vùng 1 (*hầu như không có bãi bồi và xói mạnh*), vùng 2 (*bề rộng bãi bồi ngầm tăng dần từ đông sang tây là vùng bờ biển bồi/xói xen kẽ*), vùng 3 (*vùng bồi tụ lớn nhất Việt Nam*) và vùng 4 (*vùng bồi/xói xen kẽ*). Giữa vùng 2 và 3 là đường ranh giới tự nhiên giữa biển Đông và biển Tây của BVBQMCM.

Tài liệu thực đo và nhiều nghiên cứu đã chỉ rõ chế độ thủy động lực tại BVBQMCM khác biệt rất lớn giữa phía tây và phía đông **Error! Reference source not found.**, [3], [18], [19], [20], [27] và giữa các đới biển. Ví dụ, riêng về chế độ thủy triều đã có tương phản rất lớn: (1) Độ lớn dao động thủy triều ở biển Đông đạt đến 3 → 4 m tại cửa sông Gành Hào,

trong khi đó ở biển Tây nó chỉ từ 0,5 → 0,8 m tại cửa Sông Đốc (Hình 2); (2) Chế độ triều BVBQMCM ở phía đông là bán nhật triều không đều, nhưng ở phía tây là nhật triều không đều. Ở mức định tính có thể thấy, BVBQMCM có chế độ thủy động lực phức tạp, biến động mạnh theo không gian và thời gian do khối nước phải vận động quanh cấu trúc kích thước lớn, nằm lồi mạnh ra phía biển với bề rộng bãi bồi ngầm lớn và đáy đường chân châu thổ ngầm dốc đứng (Hình 1). Tuy vậy, hiện nay hầu như không có các công bố chi tiết về chế độ thủy động lực BVBQMCM có thể đáp ứng được nhu cầu thiết lập các kế hoạch và quy hoạch, để khai thác và bảo vệ hiệu quả hơn vùng lãnh thổ này. Do đó, đánh giá định lượng chế độ thủy động lực khu vực này có vai trò quan trọng trong công tác nghiên cứu khoa học cũng như việc góp phần xây dựng và phát triển kinh tế - xã hội khu vực.



Hình 2. Vị trí các trạm thủy hải văn và phạm vi khảo sát địa hình đáy biển (hình a) và dao động thủy triều theo giờ năm 2011 (hình b, c)

2. TÀI LIỆU SỬ DỤNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp nghiên cứu

Mô hình là một hệ thống được thiết lập để thay thế cho nguyên mẫu trong các nghiên cứu. Các số liệu thu thập từ mô hình sẽ giúp tính toán

được điều gì sẽ xảy ra trên nguyên mẫu nếu nó hoạt động trong điều kiện tương tự. Trong lĩnh vực thủy lực (hoặc thủy động lực học), thường dùng 3 loại mô hình là: mô hình vật lý, mô hình tương tự và mô hình toán. Ở nghiên cứu này sử dụng phương pháp mô hình toán làm chủ đạo, kèm theo các phương pháp nghiên cứu khác bổ trợ thêm như: (1) Đo đạc khảo sát thực địa với các thiết bị chuyên dùng hiện đại; (2) Phân tích thống kê; (3) Kế thừa có chọn lọc các kết quả đo đạc và nghiên cứu đã thực hiện trước đây.

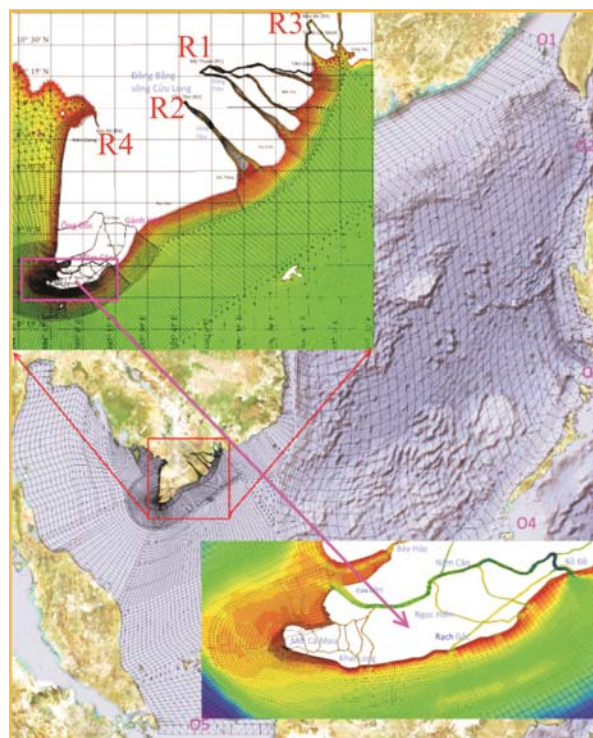
Hiện nay có nhiều mô hình toán được xây dựng và phát triển rộng rãi từ trong và ngoài nước nhằm giải quyết các vấn đề thực tiễn trong vùng châu thổ như ĐBSCL. Một số mô hình của nước ngoài gồm: ECOMSED, ISIS, SOGREAH, FLDWAY, DufLOW, Delft3D, TELEMAC, ROMS, POM, MECCA, WROCLAW, MOHID, SWAN, Bộ mô hình HEC, Bộ mô hình MIKE,... Các mô hình của tác giả Việt Nam gồm: VRSAP, KOD, HYDROGIS, VinaWave, SAL, F28, DELTA,... [11], [12], [13], [14], [15], **Error! Reference source not found.**, [17]. Mỗi mô hình đều có điều kiện ứng dụng riêng cụ thể.

Mô hình MIKE21/3 Couple Model FM là sản phẩm thương mại nổi tiếng của Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) và đã được DHI nghiên cứu và phát triển liên tục trong hơn nhiều năm qua, đã được điều chỉnh thông qua hàng ngàn ứng dụng trên thế giới và nhiều công trình ở Việt Nam; đã được kiểm định chặt chẽ về mặt học thuật. Nó đáp ứng tốt đòi hỏi khắt khe về lưới phi cấu trúc, cho phép nâng cao độ phân giải theo phương ngang để mô phỏng, xấp xỉ các ngõ ngách, đường bờ quanh co, các sông-kênh kích thước nhỏ tại BĐCM, hệ thống sông Cửu Long với nhiều cồn bãi,... góp phần quan trọng tăng độ tin cậy kết quả mô phỏng. Mô hình này có lỗi học thuật bảo đảm, được công nhận trên thế giới và ở Việt Nam và để giải quyết bài toán về thủy động lực và sóng tại vùng nghiên cứu là vùng

nước nông, vị trí đường bờ thay đổi liên tục trên không gian rộng,... Do đó sử dụng mô hình này để nghiên cứu chế độ thủy động lực và sóng cho khu vực Mũi Cà Mau là hoàn toàn tin cậy. Chi tiết về mô hình xem thêm ở các tài liệu [24], [25], [26].

Tài liệu sử dụng và số liệu đầu vào mô hình

Tài liệu thực đo thủy hải văn, diễn biến hình thái đường bờ biển và đáy biển được Viện Kỹ thuật Biển thực hiện **Error! Reference source not found.** từ năm 2011 đến năm 2013 bao gồm: (1) Các số liệu khảo sát địa hình và diễn biến của nó bằng cách đo trực tiếp trên hiện trường (Hình 2) qua 4 đợt: tháng 11/2011, 07/2012, 11/2012 và 11/2013 (đạt chuẩn bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000). (2) Các số liệu khảo sát thủy văn (mực nước, lưu tốc, lưu lượng) ở khu vực nghiên cứu tại 2 trạm đo: một trạm trên cửa sông Bảy Háp và một trạm trên cửa sông Cửa Lớn với thời gian quan trắc 72 giờ trong 2 mùa: mùa gió đông bắc (MGĐB) và mùa gió tây nam (MGTN) ở tháng 11/2011 và tháng 7/2012. (3) Các số liệu khảo sát hải văn (sóng, gió, lưu tốc, lưu hướng) tại 2 trạm đo: một trạm trên biển Đông và một trạm trên biển Tây với thời gian quan trắc 15 ngày trong 2 mùa: MGĐB và MGTN ở tháng 12/2011 và tháng 7-8/2012.



Hình 3. Lõi VBTVCBM (VNC chính); Phạm vi miền tính; Vị trí các đoạn biên mở biển: O1, O2, O3, O4 và O5; Vị trí biên mở là các mặt cắt sông: R1, R2, R3 và R4. Lưới tính mềm dẻo kết hợp phần tử tam giác và phần tử tứ giác

Số liệu thực đo được dùng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Bên cạnh các số liệu thực đo tại khu vực nghiên cứu, còn thu thập mực nước giờ, sóng, gió từ năm 2005 đến năm 2015 tại các trạm thủy hải văn ven biển Đông và biển Tây cũng như các trạm ở thượng nguồn sông Mekong. Gồm các trạm: Mỹ Thuận, Cần Thơ, Trà Vinh, Đại Ngãi, Vũng Tàu, Nhà Bè, Vàm Kênh, Bình Đại, An Thuận, Bến Trại, Gành Hào, Năm Căn, Sông Đốc, Xẻo Rô, Rạch Giá. Tài liệu lưu lượng giờ tại hai trạm: Mỹ Thuận, Cần Thơ cùng thời gian 2005 - 2015.

Số liệu địa hình đáy và bờ biển, thủy hải văn ở ngoài phạm vi đo đạc khảo sát trên được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau ([4], [5], **Error! Reference source not found.**,

Error! Reference source not found., Error! Reference source not found., Error! Reference source not found., Error! Reference source not found., Error! Reference source not found.) có độ chính xác tương đối tốt, bảo đảm độ tin cậy trong phạm vi nghiên cứu khoa học này.

Cơ sở dữ liệu (CSDL) trường gió và trường áp suất khí quyển trên mặt biển là các số liệu gió tại độ cao 10 m trên mặt biển là các tệp số liệu gồm $1.464 = 366 \times 4$ trường gió qua đồng hóa số liệu mô phỏng hoàn lưu biển khí toàn cầu và gió thực đo trên vùng biển Đông cung cấp miễn phí tại trang web: <http://www.oceanweather.com/research/WaveModeling.html> cho các thời điểm 0, 6, 12 và 18 giờ GMT mỗi ngày trên lưới $\frac{1}{4}$ độ kinh-vĩ tuyến. Số liệu thu thập được cùng thời gian với số liệu thủy hải văn trong nghiên cứu này.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

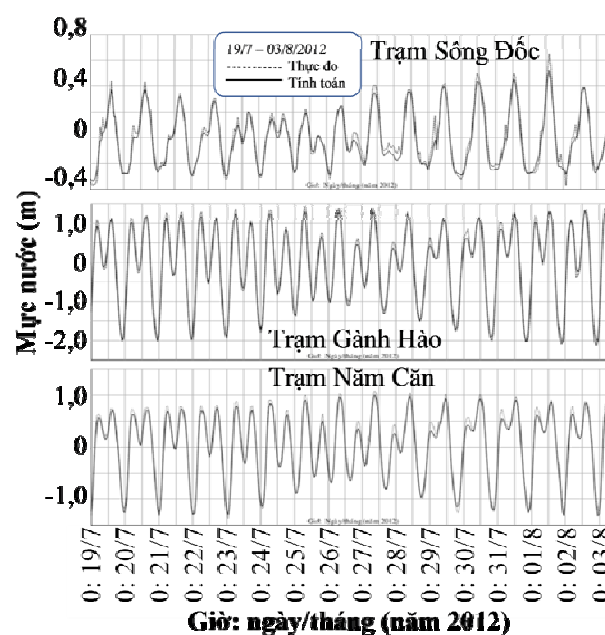
Miền tính, lưới tính

CSDL biên trên các đoạn biên mở:

Đối với module HD:

- Tại các đoạn biên đóng: thành phần vận tốc pháp tuyến đường là zero.
- CSDL biên lưu lượng nước đi qua mặt cắt cầu Cần Thơ (R1) và cầu Mỹ Thuận (R2) là lưu lượng giờ thực đo từ 2005 đến 2013.
- CSDL biên mực nước tại mặt cắt Nhà Bè (R3) trên sông Nhà Bè và Xẻo Rô (R4) trên sông Cái lớn là số liệu thực đo từ 2005 đến 2014.
- CSDL biên mực nước tại 5 đoạn biên là các eo biển nối miền tính với các đại dương lân cận là số liệu tính toán dựa vào các hằng số điều hòa của 67 sóng triều (được lập ra từ các chuỗi số liệu thực tại các trạm đo mực nước có

vị trí nằm ở bên các đoạn biên mở này): (1) Eo Đài Loan (O1); (2) Eo biển Luzon (hay eo Basci) (O2); (3) Eo biển phía Bắc Parawan, Philippines (O3); (4) Eo biển phía Nam Parawan, Philippines (O4); (5) Eo biển nối Singapore với Singkawang (Borneo) (O5).



Hình 4. So sánh kết quả mô phỏng và thực đo mực nước tại các trạm Sông Đốc, Gành Hào và Năm Căn cho khoảng thời gian từ 19/7/2012 đến 03/8/2012.

- Trong các kịch bản có nước biển dâng, biên mực nước được cộng thêm một đại lượng theo kịch bản phát triển trung bình (B2, [2]).

Đối với module SW:

- Tại các đoạn biên đóng, điều kiện biên là năng lượng sóng bị hấp thụ hoàn toàn.
- Tại tất các đoạn biên mở còn lại, sử dụng điều kiện biên tự nhiên dạng: Lateral (biên cạnh), trong đó các thông số sóng được tính ra bằng phương trình cơ bản một chiều dọc theo đường biên với 2 đầu đều là bờ biển

(biên đóng).

- Các số liệu các sóng tới ở điểm bắt đầu và điểm kết thúc của đường biên thu được từ các đường ranh được kết nối. Đây là loại điều kiện biên xấp xỉ tốt khi đường biên gần như thẳng và khi các đường đẳng sâu gần như vuông góc với dòng chảy.

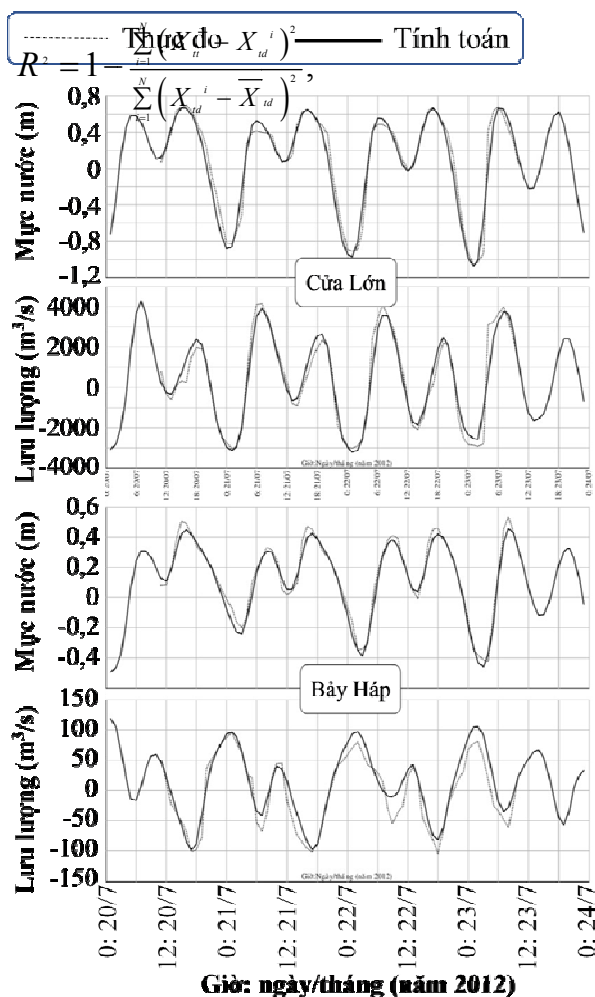
Cân chỉnh mô hình

Để đánh giá sự phù hợp giữa mô phỏng với thực đo, dùng *hệ số xác định bình phương* (hay còn gọi *bình phương hệ số tương quan*) R^2 . Đây thực sự là chỉ tiêu tốt vì mẫu số

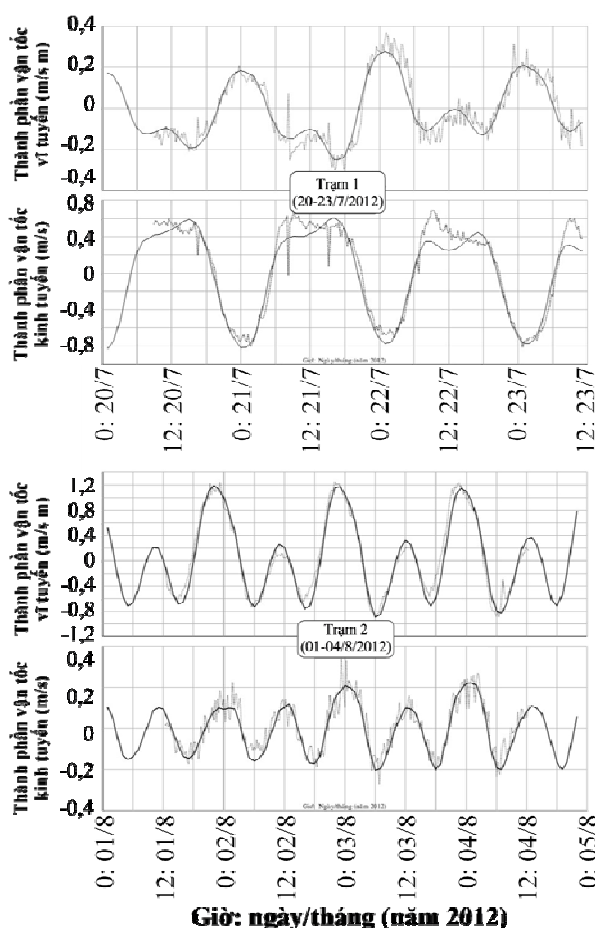
thường có giá trị lớn cho vùng triều.

(1) $R^2 \leq 0,5$: số liệu tính không phù hợp với số liệu thực đo; $0,5 < R^2 < 0,7$: Sự phù hợp giữa chúng là chấp nhận được;

$0,7 < R^2 < 0,85$: Sự phù hợp giữa chúng là khá tốt; $0,85 < R^2 < 0,95$: Sự phù hợp giữa chúng là tốt; $R^2 > 0,95$: Sự phù hợp giữa chúng là rất tốt.

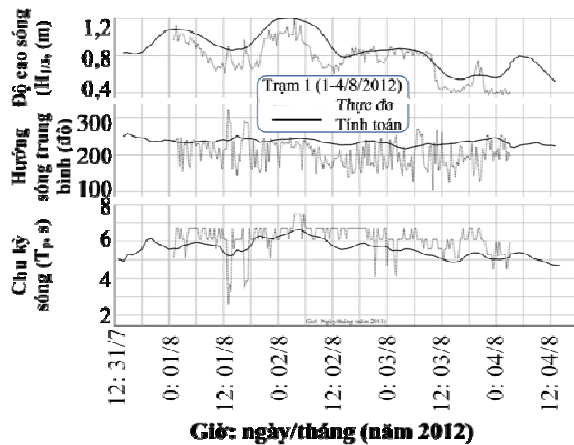


Hình 5. So sánh kết quả mô phỏng và thực đo mực nước và lưu lượng tại các mặt cắt sông Cửa Lớn và Bả Háp cho khoảng thời gian từ



Hình 6. Kết quả mô phỏng và thực đo vận tốc dòng chảy tại các trạm đo hải văn 1_2012 và 2_2012 cho khoảng thời gian từ 20/7/2012 đến

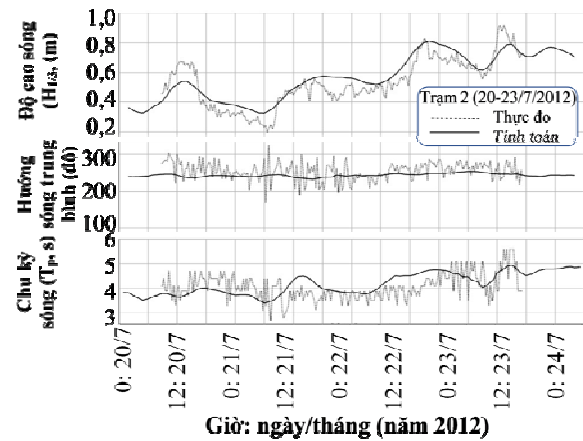
20/7/2012 đến 24/7/2012.



Giờ: ngày/tháng (năm 2012)

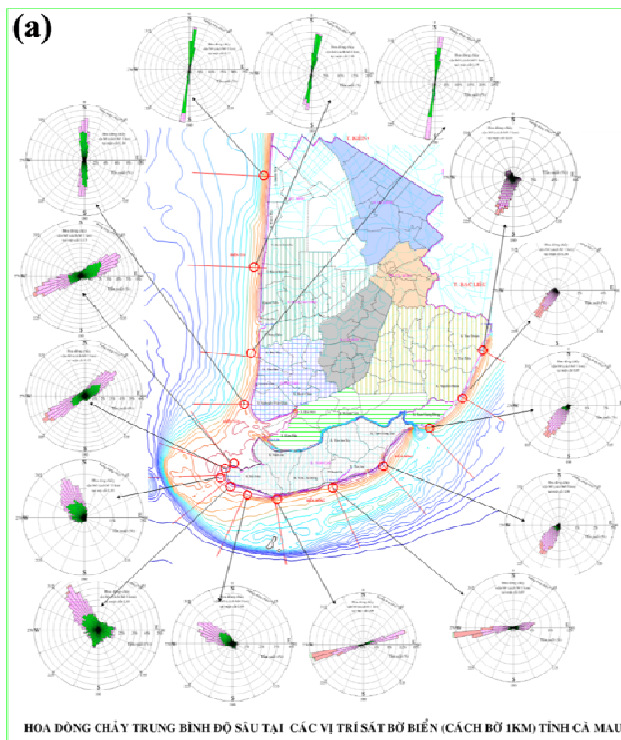
Hình 7. Kết quả mô phỏng và thực đo các yếu tố sóng biển tại trạm đo sóng 1 cho khoảng thời gian từ 01/8/2012 đến 04/8/2012.

04/8/2012.

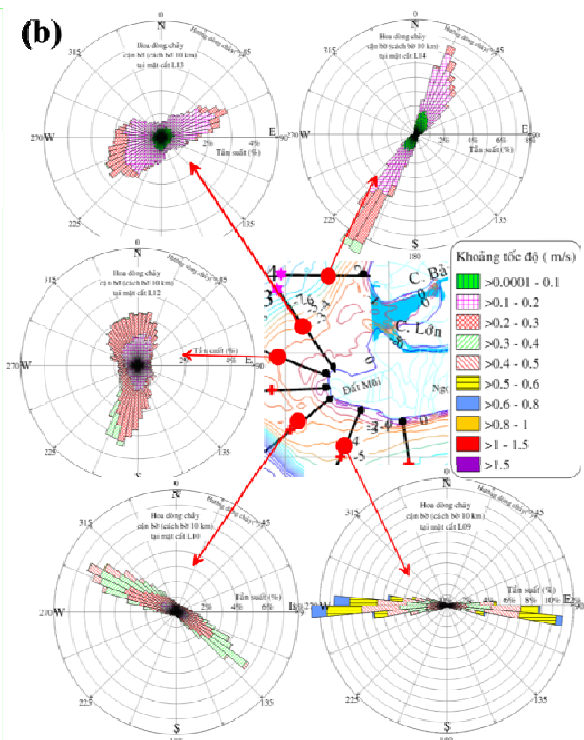


Giờ: ngày/tháng (năm 2012)

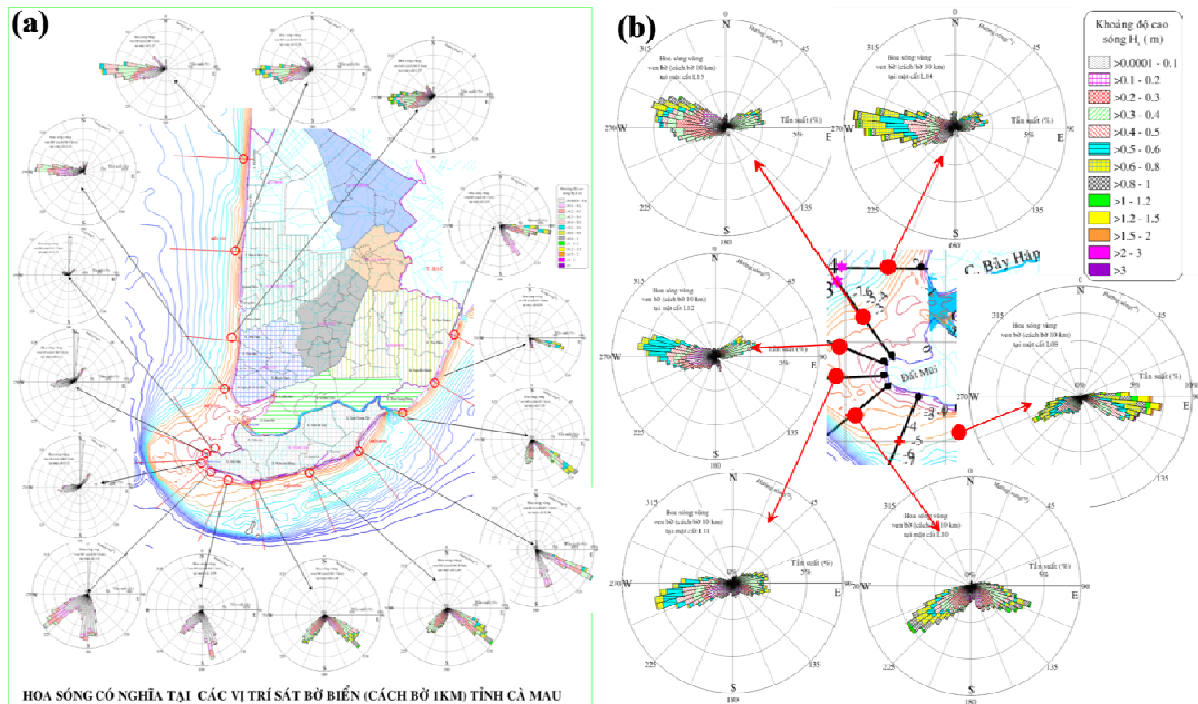
Hình 8. Kết quả mô phỏng và thực đo các yếu tố sóng biển tại trạm đo sóng 2 cho khoảng thời gian từ 20/7/2012 đến 24/7/2012.



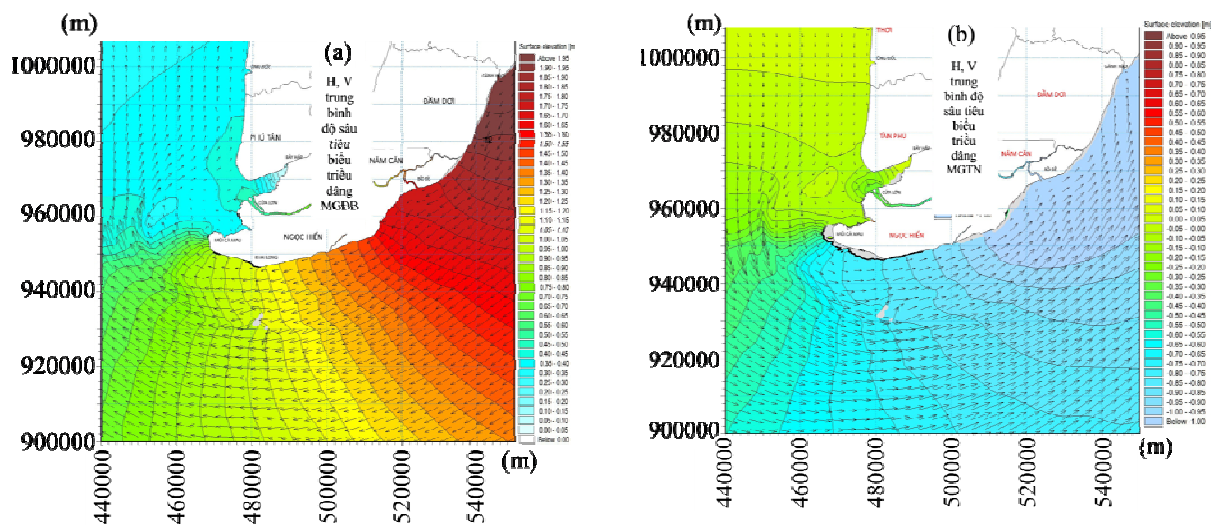
HOA DÒNG CHẢY TRUNG BÌNH ĐỘ SÂU TẠI CÁC VỊ TRÍ SÁT BỜ BIỂN (CÁCH BỜ 1KM) TỈNH CÀ MAU

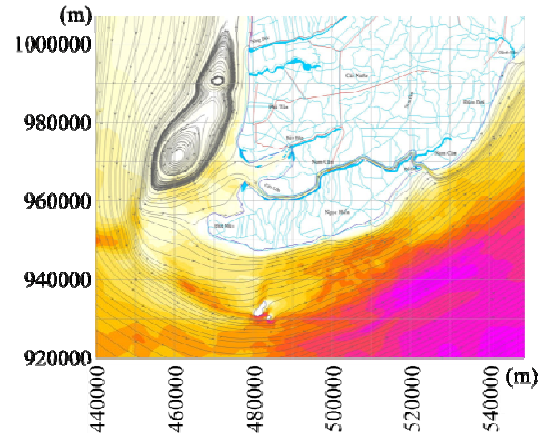
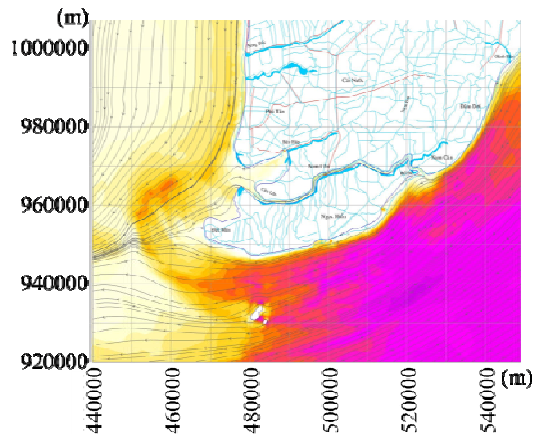


Hình 9. Hoa dòng chảy tổng hợp trung bình độ sâu tại các khu vực cận bờ (cách bờ biển dưới 1 km, Hình a) và tại 3 mặt biển (Hình b) khu vực Mũi Cà Mau

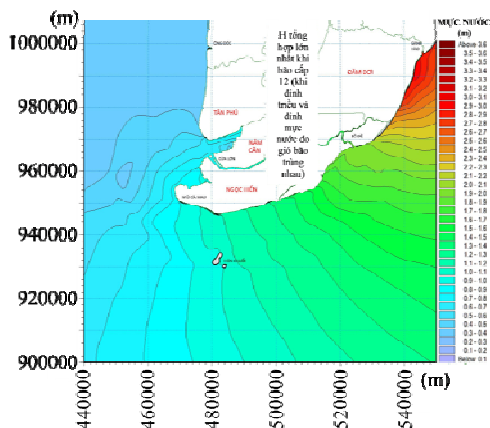


Hình 10. Hoa sóng có nghĩa tại vùng sát đường bờ biển (cách bờ biển dưới 1 km, Hình a) và tại 3 mặt biển (Hình b) khu vực Mũi Cà Mau.

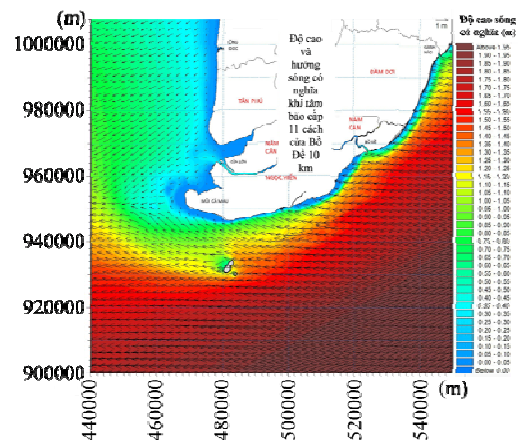




Hình 12. Phân bố tốc độ và hướng dòng chảy dư trung bình độ sâu tháng 1 (Hình a) và tháng 9 (Hình b) tại biển ven bờ Cà Mau



Hình 13. Phân bố mực nước tổng hợp lớn nhất khi có bão cấp 12 trên biển ven bờ Cà Mau (khi đỉnh triều và đỉnh mực nước do gió bão trùng nhau).



Hình 14. Bản đồ phân bố độ cao và hướng sóng có nghĩa khi tâm bão cấp 11 cách cửa Bô Đê 10 km về phía đông (mô phỏng).

4. KẾT LUẬN

Chế độ thủy động lực:

1. Thủy động lực vùng bồi tụ ven biển Cà Mau (VBTVCBM) phụ thuộc vào: (i) chế độ bán nhật triều không đều có cường độ rất mạnh ở biển Đông; (ii) chế độ nhật triều không đều có cường độ yếu ở biển Tây; (iii) chế độ hải văn biển Đông và biển Tây; (iv) chế độ thủy văn sông Mekong; (v) chế độ khí hậu mùa gió Tây Nam (MGTN) và mùa gió Đông Bắc (MGĐB) tương phản sâu sắc.
2. Chế độ thủy động lực tại vùng nghiên cứu là sự tiếp diễn liên tục của chế độ thủy động lực biển Đông, biển Tây và sông Mekong, nhưng đã biến dạng mạnh do tác động của các

yếu tố cục bộ, đặc biệt là địa hình đáy biển và đường bờ kết hợp với sự phát xạ năng lượng sóng biển trên vùng nước cận bờ.

3. Ảnh hưởng của biển Đông và biển Tây là cơ bản và ảnh hưởng dòng nước ngọt sông Mekong là có nhưng yếu. Biển tác động lên chế độ thủy động lực tại vùng nghiên cứu bằng: Động lực thủy triều và động lực hoàn lưu nước phi triều, trong đó hoàn lưu do gió là thành phần chính.

4. Ảnh hưởng của thủy triều lên VBTVCBM mạnh, thường xuyên và liên tục thông qua 3 cơ chế chính: (i) Làm thay đổi độ sâu, phạm vi và thời gian ngập nước, mang tác động của dòng chảy, sóng biển đến đường bờ và các hệ sinh

thái ven bờ. Do độ sâu cột nước vùng nghiên cứu có giá trị cùng bậc với độ lớn triều, nên tác động của dao động mực nước lên VBTVBCM là lớn. (ii) Làm phát sinh dòng chảy có tốc độ lớn nhất tại vùng nghiên cứu, là cơ chế chính kiểm soát sự hình thành và biến dạng của đáy và đường bờ. (iii) Dòng triều mang nước mặn vào bên trong sông, làm phát sinh nhiều quá trình tương tác phức tạp (kết tủa phù sa, ảnh hưởng đến hệ sinh thái trên vùng nghiên cứu,...).

5. Mực nước trung bình hàng năm và biên độ dao động thủy triều tại vùng nghiên cứu đã và đang tăng khá đáng kể và có sự biến dạng nhất định. Tốc độ gia tăng mực nước trung bình năm là khoảng $4 \rightarrow 10$ mm/năm và biên độ triều gia tăng với tốc $2 \rightarrow 7$ mm/năm. Hệ quả là, mực nước đỉnh triều tăng thêm $4 \rightarrow 16$ mm/năm, nhưng mực nước và chân triều chỉ tăng lên $2 \rightarrow 4$ mm/năm. Đây là sự thay đổi do tác động tổng hợp và đồng thời giữa: nước biển dâng, phát triển hạ tầng và sụt lún đất.

6. Đặc điểm cơ bản nhất ở đây là sự đối lập nhau giữa 2 phía MCM trong chế độ thủy động lực và đường pháp tuyến bờ biển MCM là đường phân chia giữa chúng. Sự bất đối xứng này dẫn đến hệ quả độc đáo: triều dâng mạnh nhất vào thời điểm đỉnh triều và rút mạnh nhất thời điểm chân triều. Đặc điểm này chưa có nghiên cứu nào công bố ở khu vực nghiên cứu cũng như các vùng miền khác.

7. Tác động của chế độ khí hậu lên vùng nghiên cứu là lớn. Trên biển, trong MGTN gió có hướng thịnh hành nằm trong cung $SW \Leftrightarrow WSW$, tốc độ gió trung bình tại độ cao 10 m so với mặt biển là $5 \rightarrow 8$ m/s; trong MGĐB, gió có hướng thịnh hành tại đây nằm trong cung $NE \Leftrightarrow ENE$ và có tốc độ trung bình tại độ cao 10 m so với mặt biển đạt $7 \rightarrow 10$ m/s. Tại biển sát bờ, tốc độ gió giảm $\frac{1}{2}$, hướng thay đổi mạnh so với gió trên biển, đặc biệt là vào MGĐB, hướng gió thịnh hành vùng nghiên cứu là hướng E, trực chỉ tác động lên bờ biển bán đảo Cà Mau. Tác động của chế độ khí hậu

thể hiện qua 3 cơ chế chính: (i) Tác động trực tiếp của trường gió lên biển ven bờ, gây ra sự biến động mạnh của chế độ thủy động lực và sự tương phản ở biển ven bờ hai phía bán đảo Cà Mau. (ii) Tác động gián tiếp là phát sinh hoàn lưu nước biển Đông và biển Tây chảy qua vùng nghiên cứu và đổi chiều và cường độ của nó theo mùa. Và đó là một trong nguyên nhân chính dẫn đến sự hình thành và sự di chuyển liên tục đường bờ biển bán đảo Cà Mau về phía Tây-Tây-Bắc. (iii) Tác động gián tiếp tiếp theo là lập ra hai mùa thủy văn: MGĐB và MGTN tương phản cho sông Mekong, nguồn cấp vật liệu tạo nên bãi bồi Cà Mau.

8. Một cách trực tiếp, ảnh hưởng của sông Mekong đối với chế độ thủy động lực tại Mũi Cà Mau không lớn như biển Đông và biển Tây. Ảnh hưởng này có nhịp điệu và cường độ gần trùng với chế độ khí hậu MGTN và MGĐB trên lưu vực hạ lưu sông Mekong. Lượng nước ngọt khoảng $400 \rightarrow 500$ tỷ m^3 và phù sa kèm theo âm thầm tác động lên chế độ thủy động lực tại VBTVBCM, đặc biệt trong MGĐB. Lượng nước ngọt này đã góp phần pha loãng nước mặn tại vùng nghiên cứu (độ mặn MGĐB ở đây nhỏ hơn MGTN).

Như vậy, tại VBTVBCM, chế độ thủy động lực đặc trưng bởi 5 kiểu dao động chính với chu kỳ $\frac{1}{2}$ ngày, 1 ngày, $\frac{1}{2}$ tháng, 6 tháng và 12 tháng. Do đó, khi trích dẫn các giá trị cụ thể của các yếu tố thủy động lực (dòng chảy và độ sâu cột nước-mực nước) tại đây, cần nói rõ là vào thời điểm nào, đặc biệt ở pha triều nào (triều dâng/rút, đỉnh/chân triều,...), vào mùa khí hậu nào, MGĐB-kết hay MGTN-lũ,...

Chế độ sóng:

1. Sóng VBTVBCM là kết quả sự tương tác của nhiều yếu tố: sóng từ biển Đông và biển Tây lan truyền đến, sóng do gió tại chỗ, tính chất và cấu trúc của địa hình và tính chất và cấu trúc trường thủy động lực, hiện tượng khúc xạ, nhiễu xạ, vỡ sóng, sự tương tác bên trong của các thành phần phổ sóng,...

2. Trên biển khơi phía Đông, độ cao sóng trong MGDB là $1,5 \rightarrow 4,5$ m và trong MGTN là $1,1 \rightarrow 3$ m, tuy nhiên trên biển Tây độ cao sóng trong MGDB là $1,5 \rightarrow 3,6$ m và trong MGTN là $1,2 \rightarrow 3,5$ m. Chúng thường là sóng hỗn hợp gió lừng. Hướng của sóng biển khơi trùng với hướng gió.

3. Tại vùng phía đông bán đảo Cà Mau, trong MGDB, sóng thường gặp ở đây chủ yếu là sóng tạo thành từ sóng biển khơi đến có hướng nằm trong cung từ $NE \leftrightarrow E \leftrightarrow SE$. Do hiệu ứng khúc xạ sóng khi tiến vào vùng nước nông, hướng sóng có khuynh hướng trục giao với đường đẳng sâu, do đó sóng ở đây có hướng nằm trong cung $E \leftrightarrow SE$, trong đó sóng SE có tần suất xuất hiện cao nhất; Trong MGTN, sóng thường gặp cũng là sóng hỗn hợp gió-lừng độ cao sóng bé (bằng cỡ $\frac{1}{2}$ độ cao sóng trong MGDB), có hướng nằm trong cung $SW \leftrightarrow SSW$.

4. Tại vùng tây bán đảo Cà Mau, trong MGDB, sóng thường gặp chủ yếu là sóng gió cục bộ có hướng nằm trong cung từ $NE \leftrightarrow E$; Trong MGTN, sóng thường gặp ở đây là sóng hỗn hợp gió-lừng, độ cao sóng lớn, gấp 2 lần độ cao sóng trong MGDB, có hướng nằm trong cung $SW \leftrightarrow W$.

5. Tại vùng phía đông bán đảo Cà Mau, sóng có độ cao đáng kể thường gặp trong MGDB, tuy nhiên độ cao sóng tại VBTVCBM giảm 30% - 60% so với độ cao sóng trên biển sâu, tùy vào pha triều (đỉnh, triều cường hay chân triều và triều kiệt). Tuy nhiên, có một số khu vực cục bộ (Mũi Cà Mau, phía Đông mũi Khai Long), độ cao sóng khá lớn do sự hội tụ năng lượng sóng phát sinh bởi cơ chế khúc xạ sóng.

6. Tại vùng phía tây bán đảo Cà Mau, sóng có độ cao đáng kể thường gặp trong MGTN, tuy nhiên độ cao sóng VBTVCBM giảm 30% - 40% so với độ cao sóng trên biển sâu tùy vào pha triều (đỉnh, triều cường hay chân triều và triều kiệt). Tuy nhiên, thường có dòng rip do phóng xạ năng lượng sóng lớn tại một số khu vực cục bộ, gây sạt lở biển.

7. Tại vùng Mũi Cà Mau, sóng có độ cao đáng kể thường gặp trong MGDB và MGTN, tuy nhiên độ cao sóng tại Mũi Cà Mau giảm 30% - 40% so với độ cao sóng trên biển sâu và phụ thuộc vào độ sâu ngập nước trên đới bãi bồi ngầm. Sóng tại Mũi Cà Mau có độ cao sóng khá lớn so với các vùng lân cận do sự hội tụ năng lượng sóng phát sinh bởi cơ chế khúc xạ sóng vào vùng Đất Mũi thuộc Mũi Cà Mau.

8. Sóng có độ cao < 1 m thường bị vỡ trên vùng biển ven bờ độ sâu < 3 m (đới bãi bồi ngầm). Các sóng lớn (độ cao > 2 m) thường vỡ

châu thổ dưới nước) khi gặp vách ngầm đáy địa hình có độ dốc lớn nằm án ngữ ở phía ngoài VBTVCBM (đường chân châu thổ ngầm, độ sâu > 16 m). Đây là một trong số các yếu tố tự nhiên quan trọng giảm sạt lở bờ biển tại đây. Do địa hình phía ngoài đoạn bờ biển Gành Hào - Bò Đề, không có vách ngầm tương tự, nên quá trình sạt lở bờ biển xảy ra mạnh hơn.

9. Sóng tại VBTVCBM chịu ảnh hưởng mạnh của địa hình đáy, đường bờ biển và dao động mực nước (do triều là chính), do đó sóng tại đây khác hẳn sóng biển sâu, nhất là bên trong đới bãi bồi. Khi tiến vào bên trong nội địa, sóng do gió tại chỗ sinh ra tăng dần vai trò và sóng lừng biển truyền vào giảm dần.

10. Trong các điều kiện thời tiết cực đoan như: bão nhiệt đới cấp 11, 12 đổ bộ vào vùng bán đảo Cà Mau (tương tự bão Linda, năm 1997), các đợt GMDB, GMTN mạnh cấp 5 cấp 6 hoạt động trong vài ngày, sóng mạnh tác động tiêu cực lên VBTVCBM bao gồm: (i) Tại biển ven bờ phía đông bán đảo Cà Mau, độ cao sóng có nghĩa có thể đạt hơn $1,5 \rightarrow 2,0$ m và vỡ ngay đường bờ biển và rìa rừng ngập mặn (vì mực nước tổng hợp lúc này lớn), đủ mạnh để phá hủy hệ sinh thái ven bờ và sạt lở bờ biển trên diện rộng. Sóng trong GMTN mạnh cấp 5 - 6 kéo dài vài ngày cũng tác động tiêu cực, nhưng tác động không mạnh như sóng trong GMDB có cấp tương đương. (ii) Tại biển

ven bờ phía tây bán đảo Cà Mau, trường sóng trong các đợt GMTN mạnh cấp 5 → cấp 7 với độ cao sóng có nghĩa có thể đạt 1,3 m → 1,5 m và vỡ ngay đường bờ biển và rìa rừng ngập mặn, đủ mạnh để phá hủy các hệ sinh thái, gây sạt lở bờ biển trên diện rộng. Sóng trong bão và trong GMĐB mạnh cấp 5 - 7 kéo dài vài ngày cũng tác động tiêu cực, nhưng không mạnh như sóng trong GMTN cấp tương

đương. (iii) Tại biển ven bờ phía đông bán đảo Cà Mau, sóng lớn khi có bão cấp 11, 12 hoặc khi có GMĐB lớn (*kết hợp với tốc độ dòng chảy tăng lên 1,5 lần và độ sâu ngập nước tăng lên 40 → 120 cm so với khi lặng gió*) sẽ là cơ chế đặc biệt nguy hiểm, gây ra sạt lở bờ biển, bồi lấp cửa sông, san bằng địa hình đáy và phá hủy hệ sinh thái ven bờ biển tại vùng nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Báo cáo tổng hợp kết quả nghiên cứu Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTĐL.2011.T/43 “Nghiên cứu cơ chế hình thành và phát triển vùng bồi tụ ven bờ và các giải pháp khoa học và công nghệ để phát triển bền vững về kinh tế - xã hội vùng biển Cà Mau”. Chủ nhiệm Nguyễn Hữu Nhân.
- [2] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2012). Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam.
- [3] Dữ liệu khí tượng, thủy văn thực đo tại các trạm cơ bản được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam bộ.
- [4] Dự án cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn: “Điều tra khảo sát biến đổi hình thái dải ven biển vùng Nam Trung bộ và Nam Bộ” do Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam chủ trì.
- [5] Dự án cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn: “Điều tra cơ bản vùng cửa sông thuộc hệ thống sông Tiền, sông Hậu năm 2009” chủ trì.
- [6] Dự án cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường: “Khảo sát, mô phỏng chế độ động lực bồi lắng, xói lở khu vực Cà Mau do tác động của biến đổi khí hậu”. Chủ trì thực hiện: Viện Khí tượng thủy văn và Môi trường (2014).
- [7] Edward J. Anthony, Guillaume Brunier, Manon Besset, Marc Goichot, Philippe Dussouillez, Van Lap Nguyen. 2015. Liên hệ giữa xói lở nhanh ở Đồng bằng sông Cửu Long và các hoạt động của con người. SCIENTIFIC REPORTS 5:14745. DOI: 10.1038/srep14745.
- [8] Hải Quân Nhân Dân Việt Nam (1979, 1984). Hải Đồ 1979, 1984.
- [9] <http://vnmc.gov.vn/news/18.aspx> (truy cập ngày 08/6/2016).
- [10] Nguyễn Bá Cao, Nguyễn Hữu Nhân (2018). Đánh giá tác động của tuyến kè hiện hữu và giải pháp công trình đề xuất mới đối với chế độ thủy-thạch động lực biển ven bờ Mũi Cà Mau nhằm bảo vệ và phát triển vùng Đất Mũi. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, ISSN 1859-4255, cùng số này, Tháng 9/2018.
- [11] Nguyễn Hữu Nhân (1998). Dự báo cấu trúc dòng chảy 3 chiều trong vịnh Thái Lan bằng mô hình MECCA. Tạp chí KTTV số 6 (451). 29-35.

- [12] Nguyễn Hữu Nhân (1999). Mô hình hoàn lưu toán 3 chiều trong vịnh Thái Lan. Tạp chí KTTV số 12 (468).
- [13] Nguyễn Hữu Nhân và nnk (1999). Hệ thống HYDROGIS để dự báo động thái vận chuyển và ngập nước vùng hạ du các hệ thống sông. Tạp chí KTTV, ISSN 0108-2085, 457, 1, 1-7.
- [14] Nguyễn Hữu Nhân (2000). Đánh giá dòng chảy dư 3 chiều vùng cửa sông bằng mô hình số trị. 1 Tạp chí KTTV, ISSN 0108-2085, 476, 8 10.
- [15] Nguyễn Hữu Nhân (2006). Xây dựng phần mềm mô tả lũ lụt và xâm nhập mặn trợ giúp dự báo vùng DBSCL. Đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- [16] Nguyễn Hữu Nhân (2008). Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường: “Xây dựng phần mềm và hệ cơ sở dữ liệu dự báo sóng biển ven bờ và cửa sông Nam Bộ”. Hà Nội.
- [17] Nguyễn Hữu Nhân (2009). Mô hình dự báo sóng VINAWAVE. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam. Tuyển tập báo cáo khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập. Trang 78-98.
- [18] Nguyễn Hữu Nhân (2011). “Nghiên cứu sự biến dạng của các yếu tố triều trên biển ven bờ và các cửa sông Nam Bộ do nước biển dâng”. Đề tài cấp cơ sở Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [19] Nguyễn Hữu Nhân (2013). Đánh giá mực nước dâng do bão tại biển ven bờ và cửa sông Nam Bộ trong điều kiện biến đổi khí hậu. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, ISSN 0866-8744, 629 (5) 2013, trang 44-52.
- [20] Nguyễn Hữu Nhân (2013). Đánh giá sự biến dạng các yếu tố triều tại vùng biển ven bờ và cửa sông Nam Bộ do nước biển dâng. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, ISSN 1859-4255, Tập 3, số 12, trang 18-24.
- [21] Phan Văn Hoặc (1995). Điều tra nghiên cứu về điều kiện tự nhiên và tài nguyên thiên nhiên vùng biển Tây Nam phục vụ một số nhiệm vụ kinh tế-xã hội cấp bách hiện nay. Đề tài KT.03.22 thuộc chương trình biển KT.03.
- [22] Phan Văn Hoặc (2000). Điều tra bổ sung vùng biển vịnh Thái lan. Đề tài KHCN.06.03 thuộc chương trình biển KHCN-06.
- [23] Tổng cục thủy Lợi (2010). Báo cáo và CSDL điều tra cơ bản các cửa sông, sông Hậu và sông Sài Gòn Đồng Nai. Chủ trì thực hiện: Viện Kỹ thuật Biển và Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam.
- [24] DHI (2012). MIKE21/3 Coupled Model FM. Hydrodynamic and transport module. Scientific documentation.
- [25] DHI (2012). MIKE21/3 Coupled Model FM. Spectral wave module. Scientific documentation.
- [26] DHI (2012). MIKE21/3 Coupled Model FM. User Guide.
- [27] Liu Paul (Jingpu). Fate of World River-Derived Sediment to the Global Ocean: Large Rivers v.s. Small Mountainous Rivers. Báo cáo Hội thảo nhân dịp kỷ niệm 10 năm hợp tác khoa học Việt - Mỹ, tại Viện Địa chất và Địa vật lý biển. Ngày 18-11-2005.
- [28] Nguyen Huu Nhan (2016). Tidal regime deformation by sea level rise along the coast of

the Mekong Delta. Estuarine, Coastal and Shelf Science 183 (2016) 382-391.
DOI: 10.1016/j.ecss.2016.07.004.