

NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY - THẠCH ĐỘNG LỰC TRONG MÙA GIÓ ĐÔNG BẮC TẠI VÙNG BIỂN CÔ TÔ BẰNG MÔ HÌNH MIKE 21/3 FM COUPLE

Vũ Hải Đăng, Nguyễn Hồng Lân, Nguyễn Ngọc Tiến, Đỗ Ngọc Thực - Viện Địa chất và Địa vật lý biển
Nguyễn Thanh Trang - Trung tâm Hải Văn

Trong bài báo này, trường dòng chảy, sóng và vận chuyển trầm tích trong thời kỳ mùa gió đông bắc tại vùng biển Cô Tô được tính toán mô phỏng bằng mô hình MIKE 21/3 FM COUPLE của Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI). Mô hình đã được tính toán kiểm nghiệm và hiệu chỉnh với số liệu khảo sát thực địa để xác định được được bộ tham số nhớt và ma sát đáy cho kết quả tính toán sát với thực tế nhất. Mô hình sau đây đã áp dụng vào tính toán cho vùng biển Cô Tô trong mùa gió mùa thịnh hành, gió đông bắc. Ảnh hưởng của dòng chảy (bao gồm dòng gió và dòng triều), sóng tới quá trình vận chuyển trầm tích được xem xét đồng thời để có được những kết quả thể hiện sự tương tác qua lại giữa sự thay đổi địa hình đáy và trường động lực. Những kết quả của nghiên cứu này sẽ là cơ sở quan trọng cho việc thành lập các bản đồ thủy thạch động lực và đề xuất các giải pháp bảo vệ môi trường sinh thái cho vùng biển Cô Tô.

1. Mở đầu

Quần đảo Cô Tô thuộc tỉnh Quảng Ninh nằm ở vùng biển tây bắc vịnh Bắc Bộ. Cô Tô giáp vùng biển Vĩnh Thực thị xã Móng Cái và vùng biển Cái Chiên huyện Quảng Hà ở phía bắc; phía tây giáp vùng biển Vân Hải (Minh Châu - Quan Lạn) huyện Vân Đồn; phía nam giáp vùng biển Bạch Long Vĩ thuộc thành phố Hải Phòng; phía đông giáp hải phận quốc tế và xa hơn là vùng biển đảo Hải Nam, Trung Quốc. Vùng biển Cô Tô còn là một ngư trường rộng lớn giàu hải sản, có nhiều hệ sinh thái đặc trưng như san hô, rừng ngập mặn và hệ sinh thái vùng triều. Có thể nói đây là vùng biển tiền tiêu có vị trí chiến lược cả về quốc phòng và phát triển kinh tế, giao lưu thương mại giữa vùng Đông Bắc nước ta với Trung Quốc. Trong những năm gần đây nước ta đã đầu tư rất lớn về cơ sở hạ tầng cho huyện đảo Cô Tô nhằm từng bước xây dựng khu vực Cô Tô thành một vùng đảo có kinh tế phát triển, một căn cứ vững chắc để đảm bảo an ninh quốc phòng và bảo vệ vững chắc chủ quyền quốc gia vùng biển đảo Đông Bắc của Tổ quốc [8,9]. Điển hình là trong tháng 10 vừa rồi, đảo Cô Tô chính thức được sử dụng mạng lưới điện quốc gia.

Để có được sự phát triển bền vững cần kết hợp đi kèm chặt chẽ giữa phát triển kinh tế với bảo vệ,

tái tạo tài nguyên và bảo vệ môi trường sinh thái. Do đó, đã có nhiều nghiên cứu về điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội trên khu vực này đã được thực hiện [1, 2, 4, 5, 6, 7, 8]. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu tập trung chủ yếu vào đặc điểm khí tượng, thủy văn, địa chất, sinh thái môi trường và tiềm năng kinh tế xã hội. Các nghiên cứu về đặc trưng động lực biển và tương tác thủy thạch động lực còn ít và chủ yếu nằm trong các dự án chung cho cả khu vực vịnh Bắc Bộ [8].

Vùng nghiên cứu nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, nhiều dông bão, khí hậu chia thành hai mùa chính: mùa hè và mùa đông. Mùa hè thường kéo dài từ tháng 5 đến tháng 9, với khí hậu nóng ẩm và mưa nhiều, nhiệt độ cao nhất có thể đạt đến 35 - 36°C. Thời điểm mùa hè, gió Nam chiếm ưu thế với tần suất xuất hiện lớn nhất đạt 49,52% vào tháng 7, vận tốc gió trung bình đạt 7,23 m/s, cực đại đạt 35 m/s. Mùa đông kéo dài từ tháng 11 đến tháng 3 năm sau, thời kì này rét và khô, lượng mưa không đáng kể, nhiệt độ thấp nhất 4,6 - 6,3°C. Trong mùa đông, gió đông bắc thịnh hành với tần suất xuất hiện lớn nhất đạt 43,09% vào tháng 1, vận tốc gió trung bình đạt 7,4 m/s, cực đại đạt 27 m/s. Phân tích thống kê số liệu gió và sóng tại trạm Khí tượng Hải văn Cô Tô từ năm 1960 đến 2012 cho thấy tần

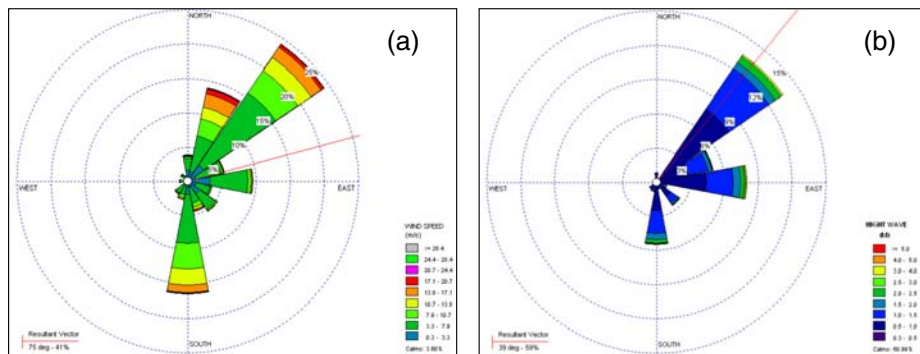
Người đọc phản biện: TS. Nguyễn Bá Thủy

suất xuất hiện của gió và sóng đông bắc vượt trội so với các hướng còn lại (hình 1a và 1b).

Thủy triều khu vực biển Cô Tô mang tính chất nhật triều đều rõ rệt, biên độ thủy triều khu vực này rất cao có thể đạt từ 4,2 - 4,5 m, trung bình khoảng 2 m. Chế độ sóng và dòng chảy phụ thuộc chặt chẽ vào chế độ gió. Do đó, trong mùa đông sóng thịnh hành là hướng đông bắc với tần suất xuất hiện lớn nhất đạt 26,82% vào tháng 1, độ cao trung bình 0,61 m, cực đại đạt 4,6 m. Dòng chảy trong mùa này chủ yếu theo hướng tây nam. Trong mùa hè, sóng thịnh hành hướng nam với tần suất xuất hiện lớn nhất đạt 21,18% vào tháng 7, độ cao trung bình 0,69 m, cực đại đạt 6 m. Dòng chảy trong mùa này

chủ yếu theo hướng đông bắc.

Quá trình vận chuyển trầm tích quyết định chủ yếu bởi chế độ sóng và dòng chảy dưới tác động của gió. Vì vậy, trong nghiên cứu này, bộ mô hình Mike 21/3 FM Couple phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) [3] được ứng dụng để mô phỏng các đặc trưng thủy - thạch động lực tại vùng biển Cô Tô trong mùa gió thịnh hành, gió đông bắc. Ba mô đun sóng, dòng chảy và vận chuyển trầm tích không kết dính được tính đồng thời theo mỗi bước thời gian. Mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm với số liệu sóng và dòng chảy quan trắc trước khi áp dụng tính toán.



Hình 1. (a) Hoa gió và (b) Hoa sóng thời kỳ 1960 - 2012 tại trạm Cô Tô

2. Hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình cho vùng biển Cô Tô

a. Miền tính - lưới tính

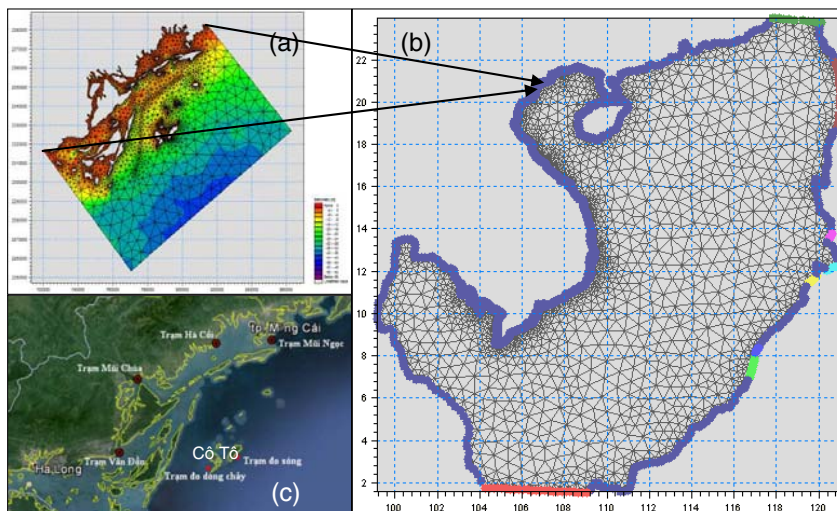
Nghiên cứu cho vùng biển Cô Tô được sử dụng 2 lưới tính toán: Lưới I và Lưới II. Lưới II bao phủ toàn Biển Đông (từ 1° - 25° vĩ độ bắc và 99° - 121° kinh độ đông) phục vụ cho tính toán thủy triều làm điều kiện biên mực nước cho lưới tính I, tính các đặc trưng thủy lực khu vực nghiên cứu (hình 2b). Lưới I bao phủ vùng biển Cô Tô và vùng lân cận (hình 2a). Đối với Lưới I, trường dữ liệu địa hình được xây dựng trên việc số hóa các hải đồ của Bộ Tư lệnh Hải quân với tỉ lệ khác nhau từ 1/50,000 - 1/500,000 dọc ven biển, kết hợp với nguồn dữ liệu địa hình do các chuyến điều tra khảo sát vùng biển Quảng Ninh - Hải Phòng và các vùng lân cận do dự án xây dựng bản đồ tỷ lệ 1/250,000 ven biển Việt Nam do Trung tâm Địa chất và Khoáng sản biển thực hiện. Đối với

Lưới II, dữ liệu địa hình được lấy từ ETOPO1 do Trung tâm dữ liệu địa vật lý quốc gia Mỹ [10] cung cấp với địa hình đáy biển bước lưới 1 phút cho toàn bộ Biển Đông và đồng thời cập nhật các hải đồ 1/50,000 - 1/500,000 dọc ven biển Việt Nam do hải quân thực hiện.

b. Điều kiện biên và nguồn số liệu

Trên biên lỏng của mô hình thủy lực, dữ liệu mực nước được tính toán từ mô hình triều trên toàn Biển Đông trong thời gian tính toán. Đối với mô hình sóng là giá trị sóng trung bình thống kê từ chuỗi số liệu sóng quan trắc từ năm 1960 đến năm 2012 tại trạm Cô Tô bao gồm: Hướng, độ cao sóng trung bình và chu kỳ sóng ứng với đỉnh phổ.

Điều kiện biên bề mặt đối với cả hai mô hình sóng và thủy lực là giá trị gió trung bình thống kê từ số liệu quan trắc từ năm 1960 đến năm 2012 tại trạm Cô Tô bao gồm: hướng và tốc độ gió.



Hình 2. (a) Trường độ sâu và Lưới tính I vùng biển Cô Tô, (b) Lưới tính II cho toàn Biển Đông và (c) Vị trí các Trạm mực nước, dòng chảy, sóng dùng để hiệu chỉnh mô hình.

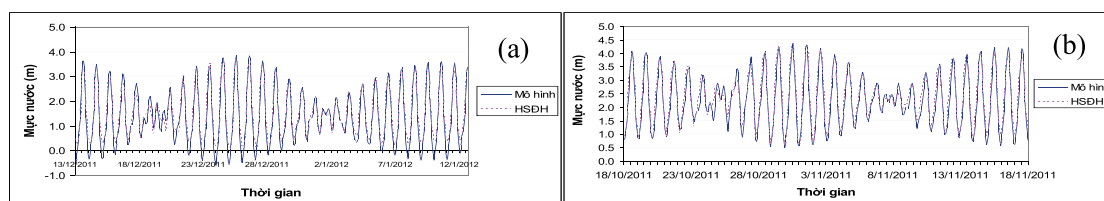
c. Hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình

Mô hình đã được kiểm định và hiệu chỉnh bằng chuỗi số liệu khảo sát mực nước tại 2 vị trí (trạm Hà Cối và Vân Đồn) được kế thừa từ Dự án “Xây dựng đường cực trị mực nước ven biển Việt Nam” do Trung tâm Hải văn thực hiện, chuỗi số liệu khảo sát dòng chảy gần đảo Cô Tô do đề tài “Nghiên cứu đặc điểm thủy - thạch động lực làm cơ sở khoa học cho bảo vệ hệ sinh thái vùng biển Cô Tô - Vĩnh Thực” chủ trì bởi Viện Địa chất và Địa vật lý biển thực hiện năm 2012 và chuỗi số liệu quan trắc sóng dài 15 ngày từ 18 giờ ngày 30/06/2005 đến 18 giờ ngày 14/07/2005 do Cục Quản lý tài nguyên biển và Hải đảo thực hiện. Vị trí các trạm quan trắc nói trên được thể hiện trên hình 2c.

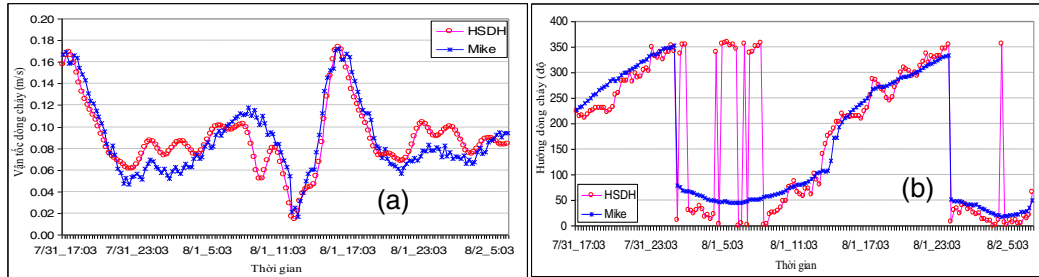
Hệ số ma sát đáy đối với mô hình thủy lực 3D được lấy theo độ cao nhám (Roughness height) thay đổi theo không gian. Trong mô hình sóng, ma sát đáy được lấy theo phân bố của đường kính hạt d50 trên toàn miền tính. Một loạt tính toán kiểm chứng đã được thực hiện để xác định trường hệ số

ma sát đáy tối ưu cho mô hình thủy lực 3D tại vùng biển Cô Tô. Kết quả tính toán phù hợp nhất với số liệu thực đo (hình 3, 4 và 5) với sai số trung bình là -0,1057 cm/s đối với vận tốc dòng chảy và 11 độ đối với hướng dòng chảy. Độ lệch trung bình (BIAS) là 0,12 m đối với độ cao sóng và -17 độ đối với hướng sóng.

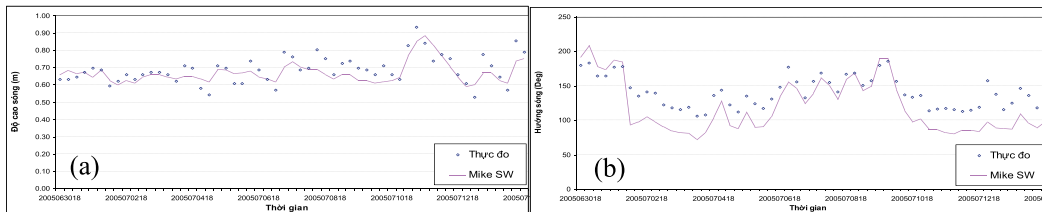
Bộ hệ số hiệu chỉnh thu được bao gồm: Hệ số nhớt rối ngang (theo công thức của Smagorinsky) là 0,28, vận tốc xoáy ngang lớn nhất là $1e+10 \text{ m}^2/\text{s}$, vận tốc xoáy ngang nhỏ nhất là $0,0000018 \text{ m}^2/\text{s}$; hệ số xoáy thẳng đứng áp dụng theo phân bố logarit theo độ sâu: Vận tốc xoáy thẳng đứng lớn nhất là $0,1 \text{ m}^2/\text{s}$, vận tốc xoáy thẳng đứng nhỏ nhất là $0,0000018 \text{ m}^2/\text{s}$; và trường hệ số nhám lấy theo Roughness dao động trong khoảng từ 0,5 - 1,2 m đối với mô hình dòng chảy 3D và theo manning dao động 0,032 - 0,054 m/s đối với mô hình 2 chiều toàn Biển Đông, hệ số ứng suất gió là 0,0146 đối với mô hình sóng. Vì vậy, mô hình sẽ sử dụng bộ hệ số này vào tính toán thủy thạch động lực trong vùng nghiên cứu.



**Hình 3. Kết quả so sánh mực nước tính bằng mô hình Mike và HSDH
(a) trạm Hà Cối và (b) trạm Vân Đồn**



Hình 4. Kết quả so sánh giữa thực đo và mô hình tại lân cận đảo Cô Tô
(a) vận tốc dòng chảy triều và (b) hướng dòng chảy triều



Hình 5. So sánh giữa kết quả tính toán và thực đo tại lân cận đảo Cô Tô
(a) độ cao sóng và (b) hướng sóng

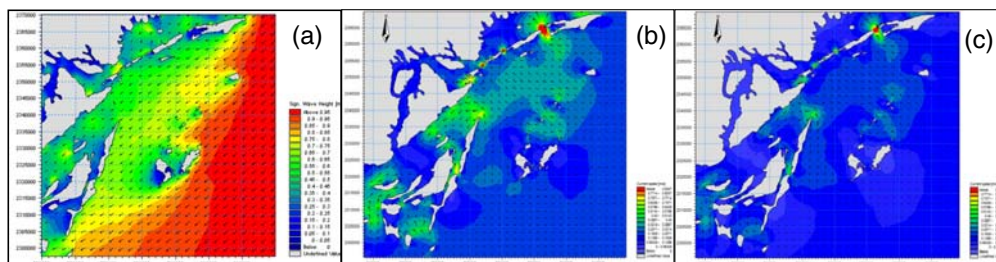
3. Các đặc trưng thủy – thạch động lực trong mùa gió Đông Bắc tại vùng biển Cô Tô

Như đã phân tích ở phần tổng quan, quá trình vận chuyển trầm tích quyết định chủ yếu bởi chế độ sóng và dòng chảy dưới tác động của gió. Trong vùng biển Cô Tô, tần suất xuất hiện của gió và sóng hướng đông bắc vượt trội so với các hướng còn lại. Vì vậy, trong nghiên cứu này trường động lực và vận chuyển trầm tích khu vực nghiên cứu được tính toán theo kịch bản với điều kiện gió trung bình trong kỳ gió mùa đông bắc.

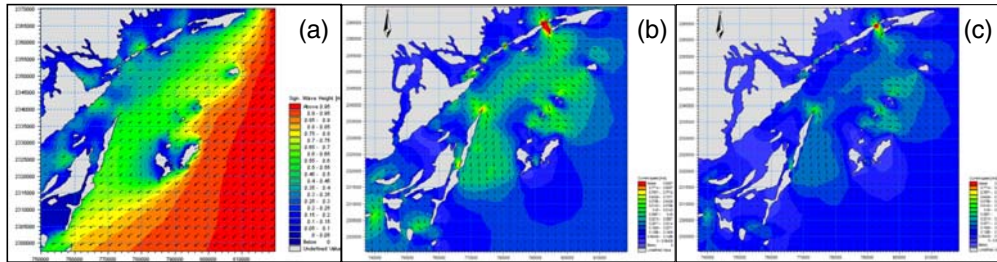
Kịch bản được mô phỏng trong thời gian từ ngày 16/01/2012 đến ngày 31/01/2012 với các thông số khí tượng sau: Vận tốc gió trung bình 7,4 m/s, hướng gió 45 độ, độ cao sóng H_s trung bình 1,2 m, chu kỳ sóng ứng với đỉnh phổ 4,47 s, hướng sóng trung bình 45 độ với độ lệch (5 độ).

Kết quả tính toán trường sóng, dòng chảy và vận chuyển trầm tích được thể hiện trên các hình 6

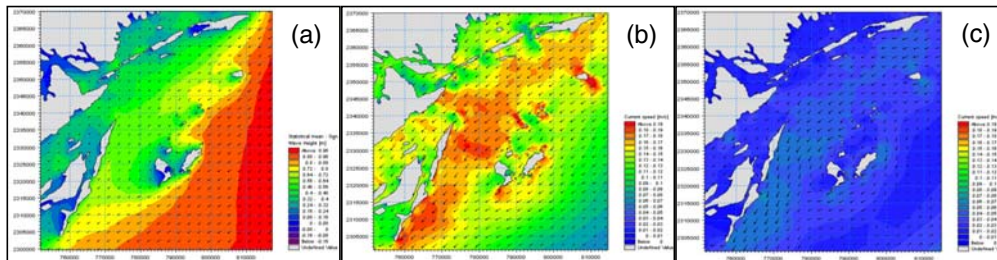
- 9. Nhìn chung, trường sóng trung bình có hướng trùng với hướng gió là đông bắc, độ cao sóng trung bình đạt từ 0,6 - 1,0 m và giảm dần từ ngoài khơi vào bờ. Tại cái khu vực khuất gió như các đảo Cô Tô, Thanh Lân, Cô Tô con và các đảo ven bờ độ cao sóng suy giảm đáng kể (hình 8a). Do khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng của chế độ nhật triều đều và là một trong những nơi có thủy triều lớn nhất trên các vùng ven biển Việt Nam. Biên độ triều những thời gian triều cường có thể đạt từ 4,2 - 4,5 m. Vì vậy, ảnh hưởng của thủy triều đối với trường sóng thể hiện khá rõ, nhất là tại vùng nước nông ven bờ. Sóng bị biến dạng, thay đổi cả về độ cao và hướng (hình 6a, 7a). Thủy triều lên đã làm tăng độ cao sóng và đi sâu vào vùng ven bờ do hiệu ứng giảm ma sát đáy khi độ sâu tăng, hướng sóng có xu thế lệch về phía bắc hơn, độ cao sóng có chỗ lên tới hơn 1,0 m. Lúc triều xuống, độ cao sóng giảm và hướng sóng có xu thế lệch nam.



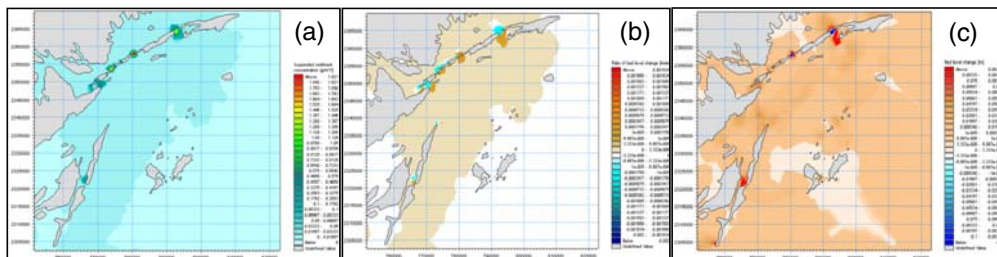
Hình 6. (a) Trường sóng, (b) Trường dòng chảy tầng mặt và (c) Trường dòng chảy tầng đáy trong mùa gió Đông Bắc thời kỳ triều lên



Hình 7. (a) Trường sóng, (b) Trường dòng chảy tầng mặt và (c) Trường dòng chảy tầng đáy trong mùa gió Đông Bắc thời kỳ triều rút



Hình 8. (a) Trường sóng trung bình, (b) Tốc độ dòng chảy thịnh hành tầng mặt và (c) Tốc độ dòng chảy thịnh hành tầng đáy trong điều kiện gió Đông Bắc



Hình 9. (a) Nồng độ bùn cát lơ lửng, (b) Tốc độ bồi xói và (c) Tổng lượng bồi xói sau 1 con triều mô phỏng (14 ngày) trong điều kiện gió Đông Bắc

Xét trong một pha triều, dòng chảy tổng hợp khu vực này cũng chịu tác động mạnh của thủy triều và thể hiện rõ tính thuận nghịch. Tốc độ và hướng thay đổi rõ rệt tại các pha triều lên và xuống (hình 6a-b, 7a-b). Hướng của dòng chảy tổng cộng có xu hướng lệch bắc tại pha triều lên và lệch nam lúc triều rút. Hầu hết các vị trí trong khu vực nghiên cứu vận tốc dòng chảy trong pha triều rút lớn hơn tại pha triều lên. Tốc độ dòng chảy tầng mặt khoảng 0,4 - 0,6 m. Tại các eo giữa các đảo dòng triều đạt cực đại trong pha triều lên và triều rút khoảng 1,4 - 1,6 m/s. Càng xuống sâu, vận tốc dòng chảy giảm khá mạnh, với tốc độ trung bình tầng đáy khoảng 0,2 - 0,3 m/s. Trong điều kiện gió mùa đông bắc, dòng thịnh hành tầng mặt khu vực này có hướng chủ yếu là tây nam thể hiện rõ sự ảnh hưởng của gió, tốc độ dòng chảy đạt từ 0,15 - 0,2 m/s (hình 8b). Tại tầng đáy tốc độ dòng chảy trung bình mùa là khá nhỏ 0,05 - 0,09 m/s (hình 8c).

Như vậy có thể thấy ảnh hưởng của quá trình động lực nêu trên: mực nước - sóng - dòng chảy tới quá trình vận chuyển trầm tích đáy khu vực này không lớn, chỉ đáng kể tại các eo giữa các đảo chính nơi có dòng chảy lớn. Nhận định này đã được minh chứng trên các hình 9 a-c về phân bố nồng độ bùn cát lơ lửng (hình 9a), tốc độ bồi xói trong điều kiện gió đông bắc (hình 9b) và hình 9c, tổng lượng bồi xói sau 1 con triều mô phỏng (14 ngày) trong điều kiện gió đông bắc. Có thể thấy rằng bùn cát tại chính giữa các eo nối một số đảo bị khuấy mạnh lên làm tăng nồng độ bùn cát ở những khu vực này, khoảng 1,4 - 1,6 g/m³. Lượng bùn cát này theo dòng chảy dịch chuyển về phía ngoài khơi các eo và lắng đọng tại đó. Vì nguyên nhân này tại 2 đầu của một số eo như eo nối giữa đảo Vĩnh Thực và Cái Chiên, eo nối giữa đảo Vạn Mục và Vạn Vực, eo nối giữa Vạn Vực và Cái Bầu, eo nối giữa đảo Sâu Nam và Ba Mùn có tốc độ lắng bùn cát vượt trội những khu

vực khác, tốc độ bồi lắng khoảng 0,003 - 0,006 cm/ngày và tốc độ xói ở cửa phía trong các eo cũng tương tự như vậy.

Trên đây là một số kết quả tính toán phân tích trường động lực và vận chuyển trầm tích đáy trong thời kỳ gió mùa đông bắc. Trên thực tế, bức tranh về trường động lực và vận chuyển trầm tích đáy rất có thể có nhiều thay đổi nhiều trong trường hợp một cơn bão mạnh đổ bộ vào khu vực này. Tác động của bão như thế nào sẽ được đề cập trong nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, các đặc trưng thủy động lực học và vận chuyển trầm tích tại vùng biển Cô Tô được tính toán phân tích bằng mô hình Mike 21/3 FM Couple. Thời gian tính toán được thực hiện trong thời kỳ gió mùa đông bắc, mùa có hướng và tốc độ gió thịnh hành tại vùng biển này. Một số kết quả có thể được tóm tắt như sau:

- Mô hình Mike 21/3 FM Couple đã được kiểm chứng và cho kết quả tương đối đồng nhất với số liệu đo đạc, quan trắc khi trường các hệ số thực nghiệm được lựa chọn phù hợp.

- Ảnh hưởng của thủy triều tại khu vực này thể hiện khá rõ, nhất là tại vùng nước nông ven bờ. Sóng bị biến dạng, thay đổi cả về độ cao và hướng. Độ cao sóng tăng lên và lệch bắc trong pha thủy triều lên, ngược lại giảm và lệch nam trong pha thủy triều xuống. Trường sóng trung bình có hướng trùng với hướng gió là Đông Bắc, độ cao sóng trung bình đạt từ 0,6 - 1,0 m và giảm dần từ ngoài khơi vào bờ.

- Dòng chảy tổng hợp khu vực này chịu tác động mạnh của thủy triều và sóng biển. Tốc độ và hướng thay đổi rõ rệt theo các pha triều nhưng mang tính thuận nghịch. Hướng trung bình của dòng chảy tổng cộng có xu thế lệch bắc tại pha triều lên và lệch nam lúc triều rút. Tốc độ dòng chảy tầng mặt trung bình khoảng 0,4 - 0,6 m/s, mạnh nhất là tại các eo giữa các đảo. Tốc độ dòng triều đạt cực đại khoảng 1,4 - 1,6 m/s. Càng xuống sâu, vận tốc dòng chảy giảm khá mạnh, với tốc độ trung bình tầng đáy khoảng 0,2 - 0,3 m/s.

- Ảnh hưởng của quá trình động lực: mực nước - sóng - dòng chảy tới quá trình vận chuyển trầm tích đáy khu vực này không lớn, chỉ đáng kể tại các eo giữa các đảo chính nơi có dòng chảy lớn.

Tài liệu tham khảo

1. Đặng Ngọc Thanh, 2001, Báo cáo tổng kết các chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp nhà nước (1977-2000), Tập IV - Báo cáo tổng kết Chương trình Biển KT.03 (1991-1995) và các đề tài, 410 tr.
2. Đoàn Bộ, 2009. Đặc điểm phân bố và biến động năng suất sinh học sơ cấp ở vùng biển phía Tây vịnh Bắc Bộ, Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ 25, Số 15 (2009), 21 - 27.
3. Mike21/3 FM couple – User guide - DHI software, 2007.
4. Nguyễn Biểu, Hoàng Văn Thúc, Trịnh Thanh Minh, Nguyễn Chung Hoạt, Nguyễn Tiến Cường, 1999. Trầm tích Holocen hạ ở vùng biển ven bờ Việt Nam (0 - 30 m nước). Tuyển tập BCKH HNKHCN biển IV, tập II, 748 - 754.
5. Nguyễn Biểu, Trịnh Thanh Minh, Nguyễn Chung Hoạt, Hoàng Văn Thúc, Nguyễn Tiến Cường, Lê Việt Nam, 1999. Cấu trúc địa chất vùng biển Hải Phòng - Quảng Ninh. Tuyển tập BCKH HNKHCN biển IV, tập II, 755 - 766.
6. Nguyễn Thế Tường – Chủ nhiệm đề tài, 2006. Điều tra tổng hợp điều kiện tự nhiên, tài nguyên và môi trường Vịnh Bắc bộ, Đề tài KC.09-17, Tuyển tập các kết quả chủ yếu của chương trình: Điều tra cơ bản và nghiên cứu ứng dụng công nghệ biển (KC.09) tập III, 426 - 536.
7. Nguyễn Trần Cầu, Trần Kiều Hạnh, 1999. Một số kết quả điều tra khảo sát tài nguyên và môi trường huyện đảo Cô Tô. Tuyển tập BCKH HNKHCN biển IV, tập II, 1285 - 1291.
8. Phạm Hoàng Hải – Chủ nhiệm đề tài, 2006. Đánh giá tổng hợp tiềm năng tự nhiên, kinh tế - xã hội; thiết lập cơ sở khoa học và các giải pháp phát triển kinh tế - xã hội bền vững cho một số huyện đảo, Đề tài KC.09-17, Tuyển tập các kết quả chủ yếu của chương trình: Điều tra cơ bản và nghiên cứu ứng dụng công nghệ biển (KC.09) tập IV, 159 - 277.
9. Quyết định 457/QĐ-BKHĐT năm 2011 về phê duyệt quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế - xã hội vùng biển đảo Cô Tô, tỉnh Quảng Ninh đến năm 2020 do Bộ trưởng Bộ Kế hoạch và Đầu tư ban hành, 2011.
10. Trung tâm dữ liệu địa vật lý quốc gia Mỹ, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/>