

Vietnam Journal of Marine Science and Technology; Vol. 19, No. 2; 2019: 233–241
DOI: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/19/2/9729>
<https://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst>

Simulation of suspended sediment and black carbon transport in surface water layer of Ha Long bay

Le Duc Cuong*, Nguyen Van Thao

Institute of Marine Environment and Resources, VAST, Vietnam

*E-mail: cuongld@imer.vast.vn

Received: 2 January 2018; Accepted: 26 April 2018

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Delft3D model employed to simulate the distribution and transport of suspended sediment and black carbon in Ha Long bay shows outcomes meeting with results from previous experiment studies. In the rainy season, suspended matter in surface layer is mainly in waters of western and southwestern Cat Ba island regions, and from Cua Luc toward the south nearshore areas with concentration of 50–130 g/m³. The concentration of suspended sediment in the waters from Cua Luc to the north nearshore area is from 20 g/m³ to 50 g/m³ and that of offshore areas is 2–20 g/m³. In the dry season, the average concentrations of suspended matter are lower, approximately 110–150 g/m³ compared to the rainy season. In the rainy season, the total particulate carbon in surface layer is 0.0016–0.0028 kg/m³ and in the dry season, it ranges from 0.0001–0.005 kg/m³.

Keywords: Black carbon, Delft3D model, Ha Long bay.

Citation: Le Duc Cuong, Nguyen Van Thao, 2019. Simulation of suspended sediment and black carbon transport in surface water layer of Ha Long bay. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 19(2), 233–241.

Mô phỏng lan truyền trầm tích lơ lửng và muối than trong lớp nước bề mặt tại vịnh Hạ Long

Lê Đức Cường*, Nguyễn Văn Thảo

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

*E-mail: cuongld@imer.vast.vn

Nhận bài: 2-1-2018; Chấp nhận đăng: 26-4-2018

Tóm tắt

Mô hình Delft3D áp dụng vào mô phỏng quá trình vận chuyển, lan truyền của trầm tích lơ lửng và muối than tại khu vực vịnh Hạ Long cho kết quả tương đối phù hợp với một số nghiên cứu thực nghiệm trước đây. Trong mùa mưa, trầm tích lơ lửng tập trung chủ yếu ở khu vực phía tây, tây nam đảo Cát Bà và ven bờ từ Cửa Lục trở xuống phía nam với hàm lượng 50–130 g/m³. Ở khu vực ven bờ từ Cửa Lục ngược lên phía bắc, hàm lượng trầm tích lơ lửng khoảng 20–50 g/m³, ở khu vực ngoài khơi trong khoảng 2–20 g/m³. Trong mùa khô, hàm lượng trầm tích lơ lửng trung bình trong mùa này thấp hơn khoảng 110–150 g/m³ so với mùa mưa. Hàm lượng hàm lượng muối than dạng hạt tổng số (BC) trong lớp nước bề mặt trong mùa khô dao động trong khoảng 0,0001–0,003 kg/m³ và mùa mưa trong khoảng 0,0016–0,005 kg/m³.

Từ khóa: Muối than, mô hình Delft3D, vịnh Hạ Long.

MỞ ĐẦU

Khu vực vịnh Hạ Long có địa hình và đường bờ biển phức tạp, biên độ thủy triều thuộc loại lớn nhất cả nước. Dòng chảy là tổng hợp của dòng triều, dòng chảy do gió và dòng chảy sông, trong đó dòng triều có vai trò chủ đạo và quyết định đến xu hướng vận chuyển của trầm tích lơ lửng (TTLL). Do dòng triều có độ lớn biến đổi không đáng kể theo chiều sâu cột nước, sự vận chuyển của TTLL trong lớp nước mặt và tầng bên dưới có xu thế không khác biệt nhiều.

Muối than hay còn gọi là cacbon đen là một dạng sol khí, được phát thải từ các nguồn: cháy rừng (42%), đốt nhiên liệu sinh học theo phương pháp truyền thống (18%), giao thông đường bộ (14%), giao thông khác (10%), công nghiệp và máy phát (10%), chất đốt từ dân cư và kỹ thuật truyền thống (6%). Muối than trong khí quyển thường lắng đọng ở dạng khô hoặc

ướt trên đất liền hoặc đại dương. Ở trong môi trường nước, chúng là một trong những hợp phần của TTLL. Muối than tồn tại ở 3 dạng: dạng hạt tổng số, hữu cơ dạng hạt và nguyên tố dạng hạt. Ở Việt Nam hiện nay, các nghiên cứu có liên quan đến muối than trong môi trường nước chưa nhiều và mới chỉ tập trung vào môi trường không khí. Vịnh Hạ Long là nơi hội tụ đầy đủ các nguồn phát thải muối than điển hình ở vùng ven biển Việt Nam. Do đó, vùng vịnh này được lựa chọn vùng điển hình này để tiến hành nghiên cứu sự vận chuyển muối than dạng hạt tổng số (BC) trong môi trường nước. Nghiên cứu và đánh giá các quá trình vận chuyển, phát tán của TTLL và BC trong không gian và theo thời gian được thực hiện thông qua việc áp dụng mô hình thủy động lực ba chiều Delft3D vào mô phỏng. Qua đó tạo cơ sở để hiệu chỉnh và so sánh với các phương pháp phân tích khác, góp phần xây dựng cơ sở khoa

học cho các nghiên cứu có liên quan và cho việc bảo vệ tài nguyên và môi trường biển và phát triển bền vững.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Tài liệu

Số liệu độ sâu và đường bờ của vùng biển vịnh Hạ Long được số hóa từ các bản đồ do Cục Đo đạc Bản đồ xuất bản năm 2005. Độ sâu của vùng biển phía ngoài sử dụng từ cơ sở dữ liệu GEBCO-1/8. Đây là số liệu địa hình có độ phân dải 0,5 phút được xử lý từ ảnh vệ tinh kết hợp với các số liệu đo sâu [1].

Số liệu khí tượng gồm các số liệu gió quan trắc trong nhiều năm ở Trạm Khí tượng Hải văn và Môi trường Bãi Cháy đã được thu thập và xử lý (tần suất đo 6 h/lần) và tổng hợp tài liệu từ các công trình đã công bố trong và ngoài nước [2–4].

Số liệu mực nước dùng để hiệu chỉnh mô hình là các kết quả đo đạc mực nước (1 h/lần) của Trung tâm Khí tượng thủy văn Quốc gia. Các hằng số điều hòa thủy triều ở biên phía ngoài khơi được trích xuất từ cơ sở dữ liệu FES2004 [5]. Số liệu về nhiệt độ và độ muối nước biển ở vùng biển vịnh Hạ Long và vùng biển phía ngoài được thu thập từ các kết quả khảo sát trong hai mùa và các nghiên cứu liên quan trong khu vực. Số liệu nhiệt độ và độ muối nước biển ở vùng biển xa bờ được thu thập từ cơ sở dữ liệu WOA13 với độ phân giải 0,25° [6].

Số liệu về dao động mực nước, dòng chảy và hàm lượng TTLL là kết quả đo đạc của nhiệm vụ : “*Nghiên cứu các phương pháp phân tích, đánh giá và giám sát chất lượng nước ven bờ bằng tư liệu viễn thám độ phân giải cao và độ phân giải trung bình, đa thời gian; Áp dụng thử nghiệm cho ảnh của vệ tinh VNREDSat-1*”, 2014–2015; Các số liệu về lưu lượng nước sông cũng đã được thu thập, xử lý để phục vụ hiệu chỉnh kiểm chứng độ tin cậy của mô hình thủy động lực.

Số liệu muội than được đo đạc định kỳ hàng tháng từ 10/2012 đến 10/2013. Các trạm khảo sát bao gồm 16 trạm mặt rộng và 1 trạm liên tục đại diện ở khu vực cửa sông, 1 trạm

liên tục phía ngoài khơi được tiến hành đo đạc, phân tích trong 2 chuyến khảo sát (mùa mưa và mùa khô) do nhiệm vụ hợp tác quốc tế “*Nghiên cứu sự ảnh hưởng của muội than (black carbon) tới hệ sinh vật và môi trường biển vịnh Hạ Long nhằm đề xuất giải pháp bảo vệ môi trường biển*” [7] thực hiện.

Phương pháp

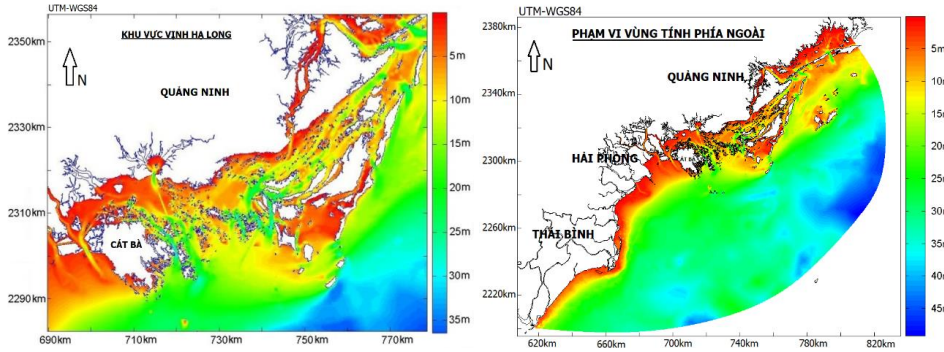
Mô hình Delft3D [8] được sử dụng mô phỏng với các mô đun Delft3D-Waq để tiến hành tính toán vận chuyển TTLL và Black Carbon trên nền kết quả mô phỏng của mô đun (Delft3D-Wave) kết hợp thủy động lực (Delft3D-Flow), và áp dụng kỹ thuật lưới lồng (nesting). Để tiến hành phục vụ tính toán trường thủy động lực cho khu vực vịnh Hạ Long, trường thủy động lực vùng phía ngoài khơi được mô phỏng, các kết quả sau đó được trích xuất làm đầu vào cho mô hình thủy động lực ở vùng vịnh Hạ Long.

Quá trình vận chuyển muội than trong môi trường nước vịnh được mô phỏng một cách riêng biệt bằng mô hình Delf3D với các thông số đầu vào được thiết lập dựa trên các đặc điểm về tỷ trọng và hệ số nhớt như sau: Đường kính hạt 500–50.000 microns, tỷ trọng 0,00313–0,004119 kg/m³ [9] và độ nhớt 12.800–192.600 cps [10]. Sử dụng phương pháp đánh giá sai số bình phương trung bình RMSE [12] (Root Mean Square Error) làm chỉ tiêu để đánh giá độ chính xác của mô hình thông qua kiểm chứng mực nước từ kết quả mô hình và quan trắc.

Thiết lập miền tính

Phạm vi tính toán ở khu vực phía ngoài khơi giới hạn từ vĩ độ 19°51'36,83"N đến 21°29'28,14"N, và từ kinh độ 106°5'46,54"E đến 108°7'36,68"E. Số điểm lưới tính toán vùng phía ngoài là (M, N) = 162, 267 với kích thước bước lưới nhỏ nhất là 300 m và lớn nhất là 1 km.

Vùng tính vịnh Hạ Long được giới hạn trong phạm vi 80 km theo phương vĩ tuyến (đông - tây) và 50 km theo phương kinh tuyến (đông - tây). Với số điểm lưới là (M, N) = 625 × 435, bước lưới nhỏ nhất là 150 m và lớn nhất là 500 m (hình 1).



Hình 1. Trường độ sâu và phạm vi tính toán của mô hình

Điều kiện ban đầu và điều kiện biên

Tại thời điểm ban đầu, vận tốc dòng chảy và mực nước được gán bằng “0”.

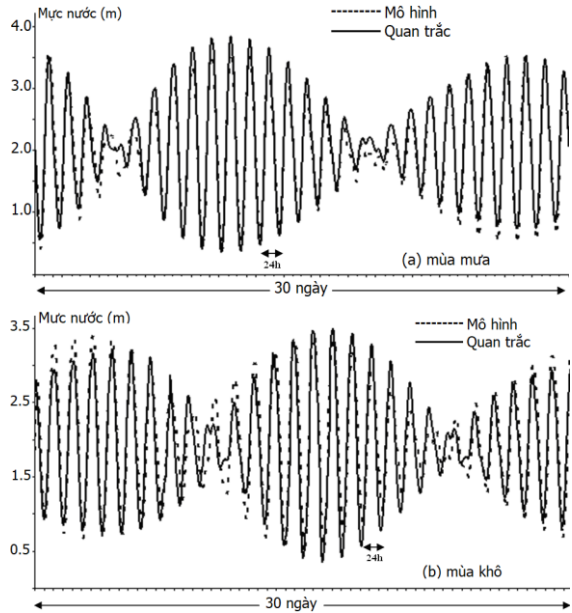
Biên mở phía sông: Gồm lưu lượng nước sông trung bình qua các mặt cắt trong mùa mưa và mùa khô tại cửa Bạch Đằng, sông Giá, sông Gianh, sông Hốt, cửa Lục và Tiên Yên. Sử dụng số liệu nhiệt độ, độ muối trung bình mùa từ các kết quả thu thập và số liệu khảo sát của các đề tài, dự án do Viện Tài nguyên và Môi trường biển thực hiện.

Biên mở phía biển: Sử dụng 8 sóng triều chính (O_1 , K_1 , Q_1 , P_1 , N_2 , M_2 , S_2 , K_2) trích xuất từ FES2004 [5] áp dụng cho mô hình ở vùng phía ngoài, sau đó trích xuất mực nước làm đầu vào cho vùng vịnh Hạ Long. Số liệu nhiệt độ, độ muối lấy từ số liệu đo đạc, thu thập kết hợp với số liệu lấy từ các đề tài, dự án do Viện Tài nguyên và Môi trường biển thực hiện.

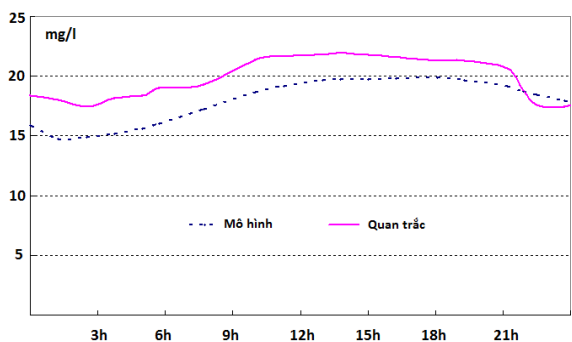
Thời gian tính toán là 45 ngày cho mỗi kịch bản, thời gian tính toán để mô hình đạt độ ổn định là 15 ngày.

Hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình

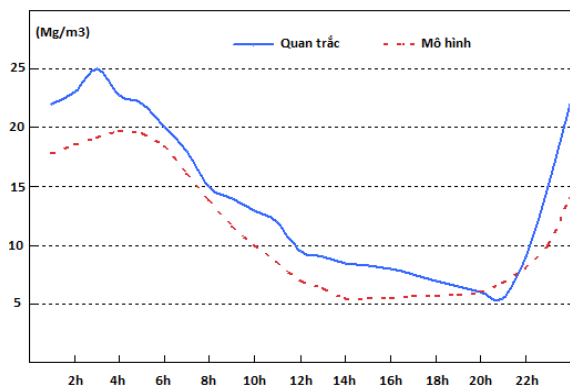
Để đánh giá và hiệu chỉnh cho mô hình khu vực vịnh Hạ Long, chúng tôi sử dụng kết quả tính toán mực nước của mô hình so sánh với mực nước quan trắc cho mùa mưa và mùa khô. Sau lần hiệu chỉnh cuối, sai số bình phương trung bình (RMSE) của kết quả tính toán có giá trị 0,19 cho mùa mưa và 0,21 cho mùa khô (hình 2). Sai số này có thể chấp nhận được trong điều kiện địa hình khu vực tính phức tạp và biên độ dao động mực nước lớn như ở khu vực vịnh Hạ Long. Dao động mực nước tính toán của mô hình với kết quả quan trắc được vẽ trên hình cũng cho thấy sự phù hợp tương đối cả về pha triều và độ lớn.



Hình 2. So sánh mực nước tính toán từ mô hình và quan trắc



Hình 3. Hàm lượng TTLL tầng mặt giữa mô hình với quan trắc tại khu vực Cửa Lục trong một ngày đêm, mùa mưa



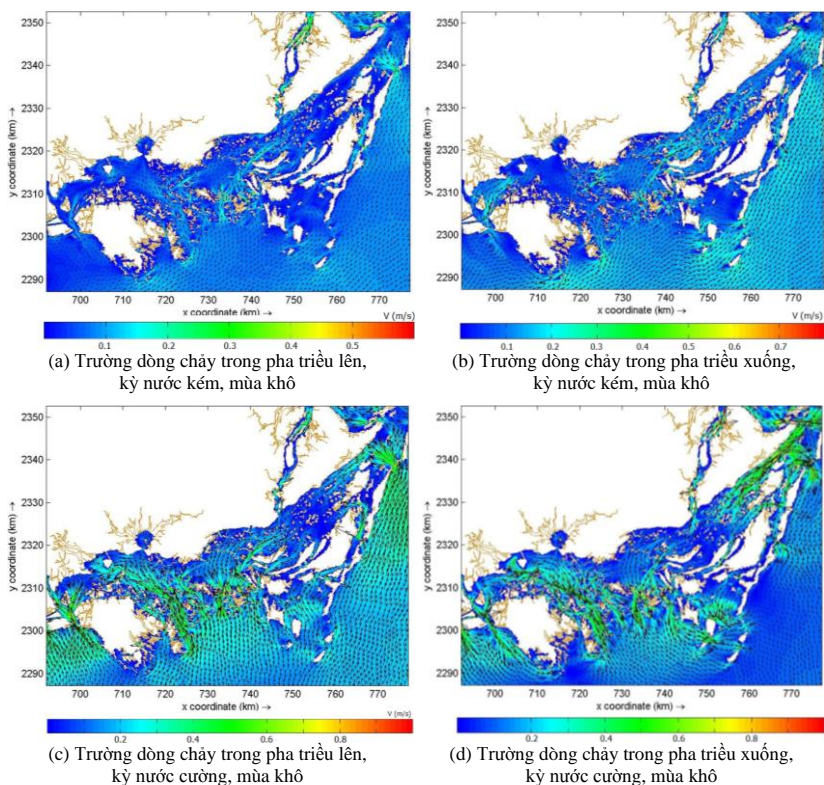
Hình 4. Hàm lượng BC tầng mặt giữa mô hình và quan trắc tại khu vực Cửa Lục trong một ngày đêm, mùa khô

Qua nhiều lần hiệu chỉnh, các kết quả mô phỏng về hàm lượng trầm tích lơ lửng và muối than dạng hạt tổng số tại vị trí Cửa Lục (hình 3 và hình 4) thể hiện quy luật khá phù hợp giữa kết quả tính toán từ mô hình và số liệu đo đạc bằng máy Compact CTD cũng như phân tích ảnh viễn thám.

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Kết quả mô phỏng trường dòng chảy

Trong mùa khô, ở khu vực biển phía ngoài của vịnh Hạ Long, dòng chảy có hướng nam tây nam, nam và đông nam chiếm ưu thế với tốc độ khoảng 50–80 cm/s. Đôi khi mạnh hơn, khoảng 120 cm/s nhưng tần suất nhỏ, chỉ khoảng 4–5%. Ngoài ra, trong mùa này cũng xuất hiện dòng chảy có hướng bắc, tây bắc với tốc độ tương đương và có hướng ngược lại. Trong mùa này dòng chảy có hướng phân tán mạnh hơn so với mùa mưa, đặc biệt là vào thời kỳ chuyển giao giữa hai pha triều. Vào mùa mưa, dưới tác động của nước lục địa do các sông đổ ra gây ảnh hưởng đến hoàn lưu nước, hướng thịnh hành của dòng chảy là nam tây nam và tây nam và hướng ngược với nó là bắc đông bắc và đông bắc là chủ yếu. Ở một số cửa lạch hẹp có thể quan sát thấy triều lưu chảy mạnh với tốc độ trên dưới 90–100 cm/s. Ở luồng Cửa Ông, triều lưu khá mạnh theo trục của luồng. Tại Cửa Lục triều lưu chảy ra mạnh hơn triều lưu chảy vào, đạt tốc độ 80–90 cm/s, trong các pha triều xuống có thể lớn trên 1 m/s (hình 5).



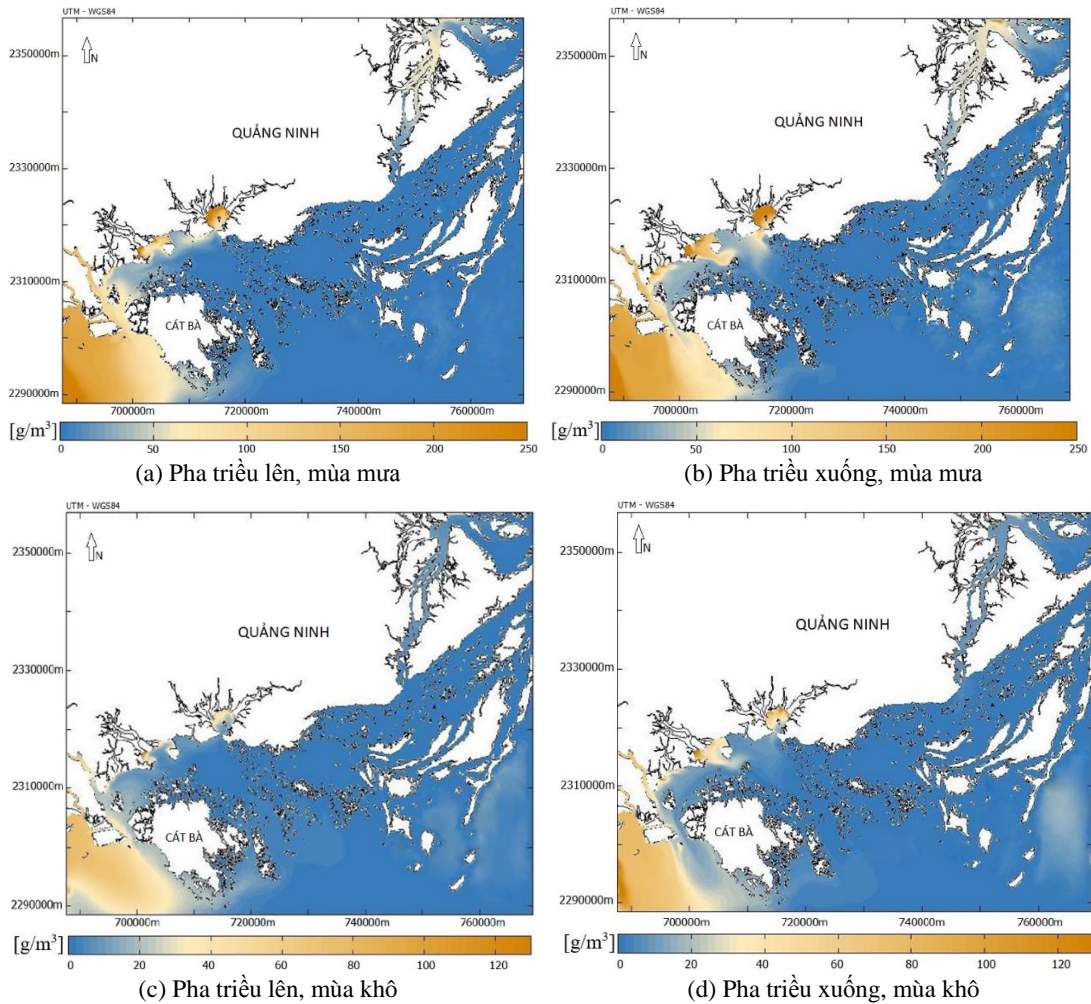
Hình 5. Kết quả mô phỏng trường thủy động lực vùng vịnh Hạ Long

Kết quả mô phỏng TTLL

Vào mùa khô, hàm lượng TTLL ở khu vực phía tây, tây nam đảo Cát Bà và ven bờ từ Cửa Lục trở xuống phía nam khoảng $60\text{--}80\text{ g/m}^3$ và có xu hướng phát tán mở rộng kém hơn so với mùa mưa. Hàm lượng TTLL trung bình trong mùa này thấp hơn, khoảng $110\text{--}150\text{ g/m}^3$ so với mùa mưa. Trong thời kỳ nước kém, sự phát tán của TTLL ra phía ngoài khơi không có sự khác biệt nhiều trong cả pha triều lên và xuống, vùng nước có hàm lượng TTLL cao tập trung chủ yếu ở khu vực cửa sông. Dải ven bờ khu vực Bãi Cháy ngược lên phía bắc, hàm lượng

TTLL khá nhỏ. Ở các khu vực khác hàm lượng TTLL có giá trị tương đối nhỏ và nằm trong khoảng $1,5\text{--}2,5\text{ g/m}^3$ (hình 6).

Trong mùa mưa, hàm lượng TTLL trong lớp nước bề mặt với hàm lượng cao ($50\text{--}130\text{ g/m}^3$) tập trung chủ yếu ở khu vực phía tây, tây nam đảo Cát Bà, ven bờ từ Cửa Lục trở xuống phía nam và ở khu vực ngoài khơi và ven bờ Bãi Cháy ngược lên phía bắc. Vùng ven bờ từ Cửa Lục ngược lên phía bắc, hàm lượng TTLL khoảng $20\text{--}50\text{ g/m}^3$, ở khu vực ngoài khơi trong khoảng $2\text{--}20\text{ g/m}^3$ (hình 6).



Hình 6. Kết quả mô phỏng TTLL (g/m^3) tầng mặt trong khu vực vịnh Hạ Long

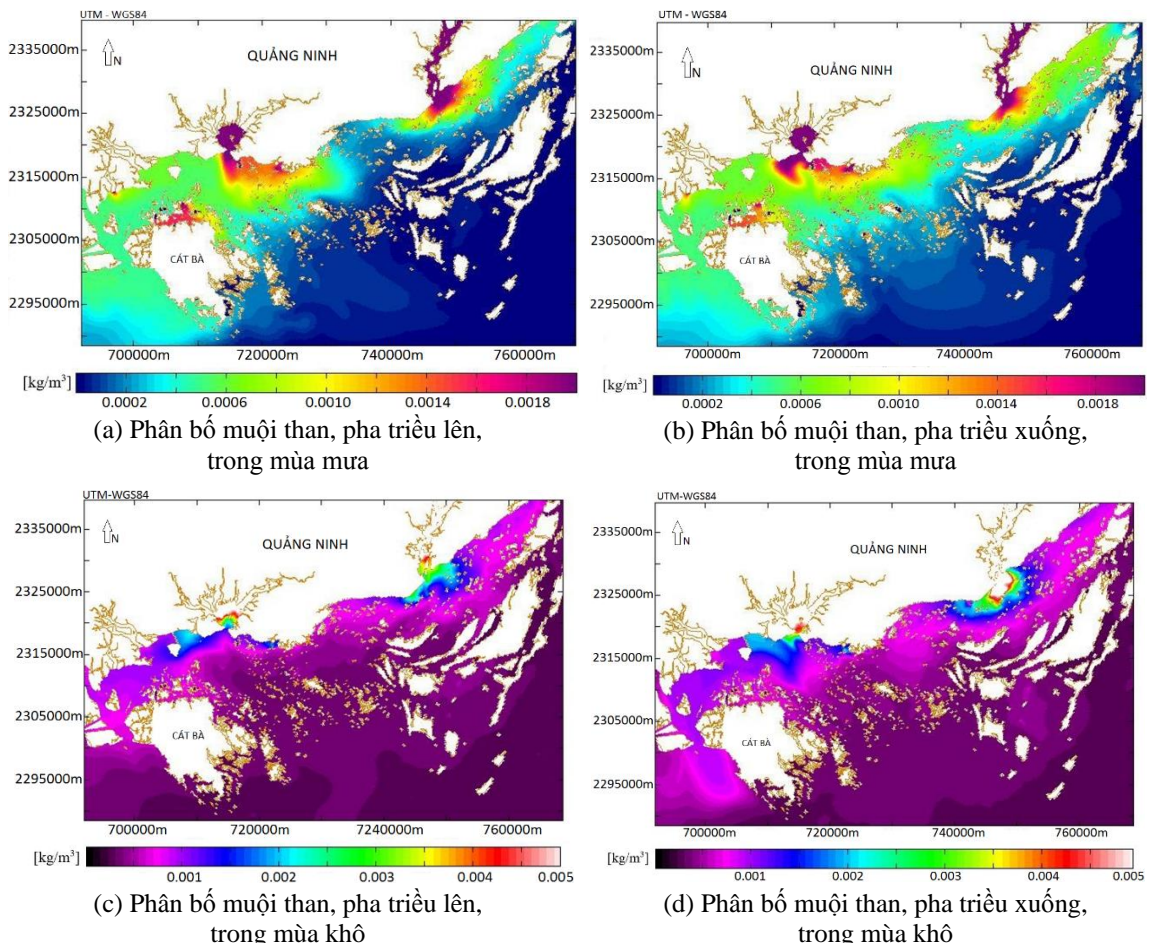
Kết quả mô phỏng lan truyền BC

Vào mùa mưa, vùng có BC với hàm lượng cao ($0,002\text{--}0,003\text{ kg/m}^3$) có xu hướng phát tán

mở rộng hơn so với mùa khô, trong mùa này BC có điều kiện phát tán mạnh ra phía ngoài khơi, hàm lượng BC trung bình thấp hơn

khoảng $0,001-0,002 \text{ kg/m}^3$ so với mùa khô, tuy nhiên hàm lượng BC cực tiểu ($0,0016 \text{ kg/m}^3$) lại lớn hơn so với mùa khô ($0,001 \text{ kg/m}^3$), tức là biên độ dao động của BC trong lớp nước bề mặt nhỏ hơn mùa khô. Vùng nước ven bờ có hàm lượng BC cao tập trung chủ yếu ở khu vực Cửa Lục và Cửa Ông. Trong thời kỳ nước kém, sự phát tán của BC ra phía ngoài khơi không khác biệt nhiều trong cả pha triều lên và pha triều xuống. Trong thời kỳ nước kém với biên độ thủy triều nhỏ, sự phát tán của BC ra phía ngoài khơi không có

sự khác biệt nhiều trong cả pha triều lên và pha triều xuống, phạm vi phát tán về phía ngoài khơi cũng hẹp hơn so với thời kỳ nước cường, trong kỳ nước kém vùng nước ven bờ có hàm lượng BC cao tập trung chủ yếu ở khu vực Cửa Lục và Cửa Ông. Trong thời kỳ nước cường, vùng nước có hàm lượng BC cao này cũng được mở rộng hơn so với thời kỳ nước kém. Trong mùa khô, hàm lượng BC trong lớp nước bề mặt dao động trong khoảng $0,001-0,003 \text{ kg/m}^3$ (hình 7).



Hình 7. Phân bố BC (kg/m^3) khu vực vịnh Hạ Long

Trong thời kỳ nước kém, hàm lượng BC biến đổi biên độ dao động trong khoảng từ $0,001-0,005 \text{ kg/m}^3$. Tuy nhiên, hàm lượng BC ở khu vực ven bờ phía đông bắc và phía tây vịnh Hạ Long có sự biến động mạnh hơn so với khu vực phía đông và phía nam. Trong

pha triều lên, dưới sự ảnh hưởng của khối nước biển hàm lượng BC có xu thế tập trung cao ở khu vực cửa sông và dọc bờ. Trong pha triều xuống, BC trong lớp nước bề mặt có điều kiện mở rộng ra phía ngoài khơi về phía nam và nam đông nam. Hàm lượng cao nhất

tập trung ở khu vực Cửa Lục và Cửa Ông, đạt trên $0,005 \text{ kg/m}^3$, ở khu vực giữa vịnh Hạ Long, hàm lượng BC biến đổi trong khoảng $0,001-0,0015 \text{ kg/m}^3$.

THẢO LUẬN

Qua kết quả tính toán và mô phỏng ta thấy, dòng triều quyết định đến hàm lượng và quá trình vận chuyển của TTLL và BC trong nước. Trong mùa mưa, TTLL có hàm lượng trung bình cao hơn so với mùa khô, vùng nước có hàm lượng TTLL cao chủ yếu tập ở khu vực phía tây, tây nam đảo Cát Bà và ven bờ từ khu vực Cửa Lục xuống phía nam, do lưu lượng nước sông lớn nên phạm vi phân bố của TTLL ra phía ngoài khơi mạnh hơn so với mùa khô, đặc biệt là trong pha triều xuống. Nhìn chung, hàm lượng trung bình của TTLL trong mùa mưa lớn hơn mùa khô, vùng nước có hàm lượng TTLL cao chủ yếu tập trung ở vùng ven bờ Cửa Lục xuống phía nam nơi có những cửa sông nhỏ đổ ra biển. Ở khu vực phía tây nam đảo Cát Bà, do chịu tác động của lưu lượng nước sông Cẩm và Bạch Đằng, hàm lượng TTLL ở khu vực này luôn đạt giá trị cao nhất. Đặc biệt, vùng nước có hàm lượng TTLL cao này phát tán mạnh mẽ trong các pha triều xuống, một phần TTLL theo khối nước sông di chuyển sang vịnh Hạ Long làm cho hàm lượng TTLL ở xung quanh khu vực phía tây và tây nam đảo Cát Bà tăng cao.

Theo kết quả nghiên cứu của Trần Đức Thịnh và nnk., (2007), trầm tích lơ lửng ở khu vực có liên quan nhiều đến dao động mực nước và biến động rõ rệt theo mùa. Vào mùa mưa, hàm lượng trầm tích lơ lửng trong nước trung bình $27,6 \text{ g/m}^3$, biến đổi trong khoảng $5-60 \text{ g/m}^3$, thường $20-40 \text{ g/m}^3$, đạt đến $40-60 \text{ g/m}^3$ ở khu vực Bãi Cháy và khu luồng tàu chạy từ Cửa Lục tới Hòn Một. Khu vực có hàm lượng trầm tích lơ lửng cao với hàm lượng từ $25-40 \text{ g/m}^3$ là phía tây nam đảo Tuần Châu, khu vực các cửa sông (phía trong vịnh Cửa Lục) và khu vực cửa sông Mông Dương (Cửa Ông). Các khu vực còn lại đều có hàm lượng trầm tích lơ lửng trong nước hầu hết nhỏ hơn 25 g/m^3 . Phân bố không gian của các khu vực có hàm lượng trầm tích lơ lửng cao trong vịnh Hạ Long - Bái Tử Long biến đổi rõ rệt theo pha triều. Khi triều lên thì khối nước có hàm lượng trầm tích

lơ lửng cao bị thu hẹp và đẩy sát lên phía trên trong khi pha triều xuống các khối nước sông có hàm lượng trầm tích lơ lửng cao có điều kiện mở rộng ra biển. Vào mùa mưa, sự kết hợp của nước từ sông chảy ra khi pha triều xuống làm cho khu vực có hàm lượng trầm tích lơ lửng cao mở rộng ra phía ngoài biển lớn hơn trong pha triều xuống trong mùa khô [12]. Như vậy, kết quả nghiên cứu này khá tương đồng với kết quả nghiên cứu ở trên, phù hợp cả về hàm lượng TTLL trung bình trong nước và khoảng biến động, không gian phân bố, quy luật vận chuyển và phát tán của TTLL dưới các điều kiện thủy động lực.

Muội than cũng là một dạng của trầm tích lơ lửng, sự phát tán của BC cũng tuân theo quy luật vận chuyển và phát tán của trầm tích lơ lửng. Trong mùa mưa sự biến động hàm lượng BC theo không gian lớn hơn so với mùa khô, tuy nhiên hàm lượng BC trung bình trong mùa khô lại lớn hơn mùa mưa. Nguyên nhân là do trong mùa khô do ảnh hưởng của hướng gió đông bắc và áp suất khí quyển trong mùa khô cao hơn so với mùa mưa, điều này làm cho muội than phát tán ra phía ngoài biển kém hơn mùa mưa, lượng muội than từ khí quyển đi vào môi trường nước cũng diễn ra mạnh hơn. Trong thời kỳ nước kém, do biên độ thủy triều nhỏ nên sự phát tán của BC ra phía ngoài khơi không có sự khác biệt nhiều trong cả pha triều lên và pha triều xuống, phạm vi phát tán ra phía ngoài khơi cũng hẹp hơn so với thời kỳ nước cường, trong kỳ nước kém vùng nước ven bờ có hàm lượng BC cao tập trung chủ yếu ở khu vực Cửa Lục và Cửa Ông. Trong thời kỳ nước cường, vùng nước có hàm lượng BC cao này cũng được mở rộng hơn so với thời kỳ nước kém. Tuy nhiên, theo chu kỳ ngày hàm lượng BC ở khu vực ven bờ phía đông bắc và phía tây vịnh Hạ Long có sự biến động mạnh hơn so với khu vực phía đông và phía nam. Trong pha triều lên, dưới sự ảnh hưởng của khối nước biển, hàm lượng BC có xu thế tập trung với hàm lượng cao ở khu vực cửa sông và dọc theo ven bờ. Trong pha triều xuống, BC trong lớp nước bề mặt có điều kiện mở rộng ra phía ngoài khơi về phía nam và nam đông nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Jones, M. T., Weatherall, P., and Cramer, R. N., 2009. User guide to the Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas and its data sets. *Natural environment research council*.
- [2] Nguyễn Thế Tường, 2000. Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thềm lục địa Việt Nam. *Trung Tâm Khí tượng Thủy văn biển - Tổng Cục Khí tượng Thủy văn. Nxb. Nông nghiệp*.
- [3] Trạm dự báo và phục vụ Khí tượng Thủy văn Quảng Ninh, 1997. Đề tài khoa học “Số liệu khí tượng thủy văn tỉnh Quảng Ninh 50 năm 1946–1995”, Quảng Ninh.
- [4] Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng, Phần I. Quy chuẩn xây dựng Việt Nam. QCVN 02: 2008/BXD.
- [5] 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.
- [6] World Ocean Atlas, National Geophysical Data Center - <http://www.ngdc.noaa.gov>
- [7] Chu Văn Thuộc, 2015. Nghiên cứu sự ảnh hưởng của muội than (black carbon) tới hệ sinh vật và môi trường biển vịnh Hạ Long nhằm đề xuất giải pháp bảo vệ tài nguyên và môi trường biển.
- [8] WL|Delft Hydraulics, 1999. Delft3D-FLOW User Manual Version 3.05, Delft3D - Wave User Manual, Delft3D-Waq User Manual Version 3.01 WL| Delft Hydraulics, Delft, Netherlands, 2010.
- [9] Maiwada, A. D., Adamu, A. A., 2015 Analysis of Black Carbon Density from 30 kva Tata and 30 kva Perkins Generator Exhausts. *American Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 2(6), 59–62.
- [10] Current Trends in The Global Plasticizer Industry, 2001. Tarun Khemlani, Chemical Market Resources, Inc., USA. Organised by Rapra Technology Ltd. The 7th International Plastics Additives and Modifiers Conference. Conference Proceedings, 8th–9th October 2001. ISBN: 14 85957 2952.
- [11] Chai, T., and Draxler, R. R., 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? *Geoscientific Model Development Discussions*, 7, 1525–1534.
- [12] Trần Đức Thạnh và nnk., 2007. Sức tải môi trường vịnh Hạ Long - Bái Tử Long. *Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*.