

Proposal for appropriate solutions to reduce influences of sediment dumping activities in the Hai Phong open waters

Vu Duy Vinh*, Nguyen Minh Hai, Tran Dinh Lan

Institute of Marine Environment and Resources, VAST, Vietnam

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

Received: 18 May 2018; Accepted: 9 July 2018

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Located in the estuary region of the Red - Thai Binh river system, in which the estuarine turbidity maxima occur, the deposition of navigation in waterways to Hai Phong ports is always an urgent problem that needs to be solved. At the present time, it is not easy to use dredged sediment for landfilling or other purposes. Moreover, it is also difficult to dispose of them on the land because of requiring the design and construction of dikes, requiring compaction and drainage of dumped materials. Therefore, disposing of materials at dumping sites in Hai Phong open waters is still an alternative for considering. However, the suspended sediment from the dumping sites can cause influences on the marine environment and ecosystems. Based on the characteristics of natural conditions, socio-economy and ecological environment in Hai Phong coastal areas as well as results of the modeling application (Delft3D model), this paper gives some proposals for appropriate solutions to reduce influences of sediment dumping activities in the Hai Phong open waters. They are: (1) Planning a land for reclamation of dumped materials, (2) Research on the strategies to use dredged sediments as a resource, (3) Finding a best method of dumping, (4) Considering tidal current for daily dumping, (5) Choosing disposal time during neap tide, (6) Restricting disposal in case winds come from SW and S, (7) Reducing time and the number of dumping, increasing amount of sediments in each dumping, (8) Applying technologies in disposal monitoring, (9) Regularly monitoring the environment at the dumping sites and adjacent areas.

Keywords: Dumping, suspended sediment, modelling, hydrodynamics, Hai Phong.

Đề xuất các giải pháp giảm thiểu tác động do đổ thải bùn cát nạo vét ở vùng ven biển Hải Phòng

Vũ Duy Vinh*, Nguyễn Minh Hải, Trần Đình Lân

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

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

Nhận bài: 18-5-2018; Chấp nhận đăng: 9-7-2018

Tóm tắt

Nằm ở hạ lưu hệ thống sông Hồng-Thái Bình, nơi xuất hiện của các vùng đục cực đại, hiện tượng sa bồi luồng vào cảng Hải Phòng luôn là vấn đề cấp thiết cần giải quyết ở khu vực này. Trong điều kiện hiện nay, việc tái sử dụng vật liệu bùn cát do nạo vét hoặc đổ lên bờ còn gặp nhiều khó khăn và chưa có tính khả thi cao thì đổ thải ra biển vẫn là một phương án cần được cân nhắc, tính đến. Tuy nhiên, sự phát tán vận chuyển trầm tích lơ lửng từ các vị trí đổ thải trên biển ra các vùng nước xung quanh có thể gây ra những hậu quả lớn, tác động tiêu cực đến môi trường biển và các hệ sinh thái trong khu vực. Dựa vào đặc điểm điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội, môi trường sinh thái ở vùng ven biển Hải Phòng và kết hợp với công cụ mô hình toán (dựa trên mô hình Delft3D), bài viết này trình bày một số giải pháp nhằm giảm thiểu những tác động do sự phát tán, vận chuyển trầm tích lơ lửng ra các khu vực xung quanh do hoạt động đổ thải từ một số vị trí đổ thải dự kiến ở vùng ven biển Hải Phòng. Các giải pháp được đề xuất bao gồm: (1) Quy hoạch, (2) Nghiên cứu xử lý vật liệu nạo vét, (3) Lựa chọn phương pháp đổ thải tối ưu nhất, (4) Lựa chọn thời gian đổ thải trong ngày phù hợp, (5) Lựa chọn thời gian đổ thải vào kỳ triều kém, (6) Hạn chế các hoạt động đổ thải trong các điều kiện sóng gió hướng SW và S, (7) Rút ngắn thời gian đổ thải xuống thấp nhất đồng thời giảm số lần đổ, tăng khối lượng đổ mỗi lần, (8) Ứng dụng khoa học kỹ thuật trong việc giám sát hoạt động đổ thải, (9) Thường xuyên kiểm tra, giám sát môi trường tại khu vực đổ thải và vùng lân cận.

Từ khóa: Đổ thải, trầm tích lơ lửng, mô hình, thủy động lực, Hải Phòng.

MỞ ĐẦU

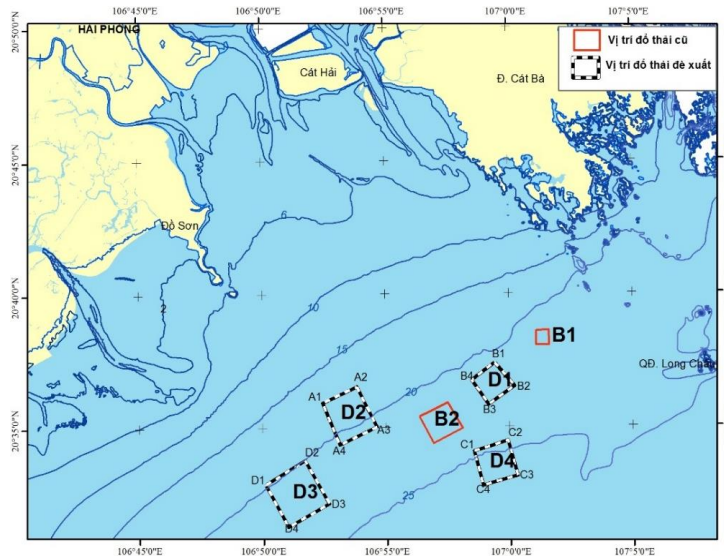
Nằm trong vùng chịu tác động của các điều kiện thủy thạch động lực phức tạp và tiếp nhận lượng lớn bùn cát từ hệ thống sông Hồng-Thái Bình [1], hiện tượng sa bồi luồng vào cảng Hải Phòng luôn là vấn đề lớn ở khu vực này. Theo tính toán của Tổng công ty Bảo đảm An toàn hàng hải miền Bắc, lượng bùn cát phải nạo vét hằng năm lên đến 2,5–3 triệu tấn và còn tiếp tục tăng lên trong thời gian tới trong quá trình tiếp nhận các tàu lớn khi vận hành cảng nước sâu Lạch Huyện và cảng nam Đình Vũ. Tuy nhiên, một vấn đề khác được đặt ra liên quan đến việc đổ thải vật chất nạo vét luồng ở đâu,

khi nào để giảm thiểu tối đa những tác động đến môi trường. Với đặc thù vật liệu nạo vét luồng cảng khu vực Hải Phòng được hình thành chủ yếu do lắng đọng trầm tích lơ lửng (TTL) thông qua các quá trình ngưng keo, kết bông [2] nên rất khó sử dụng cho các mục đích san lấp, tôn tạo mặt bằng mà chủ yếu phải đổ thải ra biển. Tuy nhiên, khi đổ thải ra biển, bùn cát từ vị trí đổ thải có thể gây ra dòng TTL phát tán từ khu vực này ra xung quanh, ảnh hưởng đến môi trường, sinh thái của khu vực. Chính vì vậy, trong bối cảnh vẫn phải chấp nhận đổ thải vật liệu bùn cát (VLBC) ra biển như hiện nay thì vẫn đề làm thế nào để giảm thiểu các tác

động do độ thoái bùn cát ở các bãi đò đã được đặt ra và được giải quyết với nhiều cách tiếp cận khác nhau [3, 4].

Trong khuôn khổ thực hiện đề tài nghiên cứu khoa học cấp thành phố Hải Phòng “Nghiên cứu xây dựng luận cứ phục vụ lập quy hoạch các bãi đò bùn cát do nạo vét trên địa bàn Hải Phòng - ĐT.MT.2015.721”, 4 vị trí đò thoái đã được đề xuất bao gồm: Vị trí D1: Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 8 km về phía đông nam, nằm giữa vị trí đò thoái hiện tại (điểm B1 và B2), độ sâu khoảng 22 m. Vị trí D2: Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 15 km về phía nam, phía tây điểm B2, độ sâu khoảng 18–22 m. Vị trí D3:

Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 21 km về phía nam, phía tây nam điểm B2, độ sâu khoảng 20–23 m. Vị trí D4: Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 13,5 km về phía đông nam, phía đông nam điểm B2, độ sâu khoảng 25–27 m (hình 1). Các kết quả của đề tài ĐT.MT.2015.721 cũng cho thấy nếu chỉ đò cho đến khi độ sâu của các bãi đò lên tới 15 m (so với 0 Hải đò) thì tổng lượng bùn cát có thể chứa ở 4 khu vực này khoảng 206 triệu m³. Như vậy với nhu cầu lượng bùn cát trong tương lai gần ở khu vực ven biển Hải Phòng tối đa hằng năm khoảng 4–5 triệu m³ thì các điểm đò thoái này có thể sử dụng trong khoảng 40–50 năm.



Hình 1. Các vị trí bãi đò đề xuất ở vùng ven biển Hải Phòng

Dựa trên cách tiếp cận và các kết quả mô phỏng từ mô hình toán học với những kịch bản khác nhau, bài viết này đưa ra một số đề xuất để giảm thiểu những tác động do sự phát tán TTLL từ các bãi đò thoái ở vùng ven biển Hải Phòng. Bài viết cũng sẽ cung cấp thêm những hiểu biết về sự phát tán, vận chuyển trầm tích từ các bãi đò dự kiến đổ ra khu vực xung quanh ở vùng ven biển Hải Phòng trong các điều kiện dòng lực, trầm tích khác nhau.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Tài liệu

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 hằng 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 trong các nghiên cứu trước kia cho thấy trầm tích của sông Hồng phần lớn là hạt mịn. Trong mùa mưa, TTLL có kích thước hạt D₅₀ phổ biến dao động trong khoảng 44–93 μm, trung bình khoảng

60 μm . Ngược lại, trong mùa khô TTLL có kích thước D_{50} phổ biến 56,7–152,0 μm , trung bình 81,2 μm . 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 μm [2]. Phân tích từ những số liệu đo hàm lượng TTLL ở các sông Cẩm, 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 VN 2000 tỷ lệ 1:50.000 và 1:25.000. Độ sâu của khu vực phía ngoài sử dụng cơ sở dữ liệu GEBCO -1/8 có độ phân giải 0,5 phút được xử lý từ ảnh vệ tinh kết hợp với các số liệu đo sâu [5].

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 [6].

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 thành phần thủy 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 [7, 8].

Các số liệu đo đạc về dòng chảy, trầm tích của đề tài *ĐT.MT.2015.721* 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 [9] 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 ARGOS (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 Cẩm (sông Cẩm)

và Trung Trang (sông Văn Úc) trong các năm 2008–2015.

Phương pháp

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 km^2 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 σ với 5 lớp nước với tỷ lệ đều nhau là 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 tạo điều kiện biên của mô hình lưới chi tiết (hay còn gọi là phương pháp NESTHD), cũng là hệ lưới cong trục giao. Phạm vi vùng tính của mô hình này mở rộng ra phía ngoài gắn 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 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.

Hệ thống mô hình thủy động lực (TĐL), sóng và vận chuyển bùn cát (VCBC) ở vùng ven biển Hải Phòng đã được hiệu chỉnh cho kết quả tốt. Các tham số tính toán và kết quả hiệu chỉnh mô hình so với số liệu đo đạc đã được trình bày trong [10].

Nhóm kịch bản dự báo ảnh hưởng của các vị trí đổ thải đề xuất

Đề dự báo ảnh hưởng của dòng bùn cát từ các bãi đổ thải VLBC đến khu vực nghiên cứu. Đối với mỗi khu vực đổ thải, các nhóm kịch bản tính toán sau đã được thiết lập:

Nhóm kịch bản tính trong mùa khô: Gồm các kịch bản trong điều kiện lặng sóng, gió, sóng gió từ hướng NE, E, SE, S và SW.

Nhóm kịch bản mùa mưa: Gồm các kịch bản trong điều kiện lặng sóng gió, sóng gió hướng NE, E, SE, S và SW.

Độ cao sóng với các hướng sóng khác nhau trong các kịch bản dự báo là 1,0 m, đây là độ cao sóng tối đa mà hoạt động đổ thải có thể tiến hành được.

Lượng bùn cát đổ thải

Trong các kịch bản đánh giá về các vị trí B1, B2 trước kia. Chúng tôi giả thiết 5 tàu hoạt động tối đa/ngày. Tuy nhiên những ảnh hưởng do phát tán, vận chuyển TTLL ra xung quanh thể hiện không rõ rệt vì vậy trong kịch bản dự báo này, giả thiết lượng bùn cát đổ thải tăng lên mạnh và đổ liên tục trong 10 giờ với lượng tàu hoạt động tối đa là 15 tàu/ngày, công suất mỗi tàu là 1.070 m³ bùn cát, mỗi tàu thực hiện được 3 chuyến/ngày. Như vậy khối lượng bùn cát lớn nhất đổ tại các vị trí này là 48.150 m³/ngày, tương ứng khoảng 4.815 m³/giờ.

Để đánh giá mức độ ảnh hưởng do khoảng thời gian đổ khác nhau, chúng tôi cũng đã thử tính toán cùng với khối lượng như vậy nhưng chỉ đổ trong vòng 2 giờ: Khoảng 24.075 m³ trong 1 giờ vào pha triều xuống.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các căn cứ đề xuất

Đặc điểm điều kiện tự nhiên

Các điều kiện TĐL, VCBC ở vùng ven biển Hải Phòng chịu tác động phức tạp và cộng hưởng của các yếu tố như thủy triều, các khối nước sông và các điều kiện khí tượng, hải văn khác. Vì vậy sự phát tán trầm tích tại các bãi đổ thải vật liệu nạo vét cũng chịu sự ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên, trong đó đáng chú ý là các đặc điểm sau:

Sự di chuyển của TTLL luôn biến động mạnh về hướng theo dao động mực nước triều. Do đặc điểm thủy triều ở khu vực này là nhật triều đều nên trong ngày luôn có sự đổi hướng di chuyển của dòng TTLL. Dòng trầm tích từ các vị trí đổ thải thường di chuyển ra ngoài theo một hướng nào đó trong khoảng 6–8 giờ sau đó di chuyển với hướng ngược lại. Cũng trong ngày thường có khoảng 6–8 giờ (vào thời điểm nước ròng hoặc nước lớn) vận tốc dòng chảy rất nhỏ, sự di chuyển của trầm tích hầu như không đáng kể.

Ngoài sự chi phối của dao động thủy triều, sự di chuyển phát tán của TTLL từ các bãi đổ ra khu vực xung quanh còn phụ thuộc vào hướng sóng gió tác động. Vào mùa mưa, khu

vực này chịu tác động nhiều của các hướng gió E, SE, S và SW. Trong khi vào mùa khô các hướng sóng gió có tần suất lớn là NE, E và SE.

Sự vận chuyển TTLL ở khu vực này cũng chịu sự tác động mạnh của các khối nước và dòng bùn cát từ sông đưa ra (biến động mạnh theo mùa). Tuy nhiên những ảnh hưởng này chỉ diễn ra ở vùng ven bờ. Trong khi ở các vị trí xa bờ (khu vực đổ thải) những biến động mùa của các khối nước sông và trầm tích hầu như không tác động đến các vị trí đó.

Các vị trí đề xuất khu vực đổ thải nằm khá xa vùng cửa sông, hầu như không tiếp nhận dòng trầm tích từ vùng cửa sông đưa ra. Địa hình nền đáy ở các khu vực đó ổn định, không chịu tác động do các điều kiện thời tiết cực đoan (như gió bão, áp thấp nhiệt đới) [10].

Điều kiện kinh tế xã hội và môi trường

Sự phát triển kinh tế xã hội (KTXH) của thành phố Hải Phòng luôn gắn liền với các hoạt động cảng. Tuy nhiên, do các đặc điểm về điều kiện tự nhiên sự bồi lắng luồng lạch và khu vực cảng Hải Phòng luôn diễn ra (trong cả hiện tại và tương lai). Vì vậy các hoạt động nạo vét luồng lạch khu vực cảng trong thời gian tới sẽ vẫn tiếp tục diễn ra, đặc biệt là các hoạt động liên quan đến dịch vụ cảng, hàng hải ngày càng diễn ra mạnh mẽ hơn trong thời gian tới. Mặt khác do đặc thù VLBC ở vùng ven biển Hải Phòng có thành phần bùn sét chiếm ưu thế tuyệt đối nên khó sử dụng loại vật liệu này cho các mục đích san lấp, tôn tạo bãi. Như vậy trong tương lai, việc đổ thải khoảng 2–3 triệu m³ bùn cát do nạo vét ra các bãi đổ là điều khó tránh khỏi.

Trong thời gian tới cùng với sự phát triển KTXH, các vấn đề về giữ gìn các nguồn tài nguyên, bảo vệ môi trường cũng luôn luôn được chú trọng. Ở khu vực này, vấn đề tác động do ảnh hưởng của các nguồn TTLL từ các vị trí đổ thải đến các vùng ven biển Cát Bà, Long Châu và khu vực bãi biển Đồ Sơn luôn được chú ý xem xét trong quá trình đổ thải vật liệu nạo vét. Ngoài ra bùn cát tại các bãi đổ cũng cần đảm bảo không di chuyển trở lại gây bồi lắng khu vực luồng vào cảng.

Đề xuất các giải pháp giảm thiểu tác động

Giải pháp quy hoạch

Với khối lượng bùn cát nạo vét hằng năm khá lớn nhưng chưa thể tái sử dụng trong tương

lai gần. Vì vậy nhu cầu quy hoạch các vùng đô thị hiện nay rất bức thiết. Cũng do chưa có quy hoạch các vùng đô thị nên không chỉ gây khó khăn cho các doanh nghiệp hoạt động trong lĩnh vực này trong việc tìm kiếm vị trí đô thị, làm các thủ tục xin cấp phép mà còn khó khăn trong việc quản lý, giám sát hoạt động đô thị vật liệu nạo vét được tốt hơn. Do đó cần quy hoạch các vị trí đô thị phù hợp để quản lý, giám sát các hoạt động đô thị, giảm thiểu những tác động do hoạt động này gây ra đối với môi trường sinh thái của khu vực.

Nghiên cứu xử lý vật liệu nạo vét

Do các đặc điểm về điều kiện tự nhiên ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng đã tạo thành VLBC nạo vét chủ yếu là bùn lỏng với thành phần bùn sét là chính. Cho đến nay loại vật liệu này khó sử dụng cho mục đích san lấp hay mục đích khác nên chủ yếu vẫn là đổ ra biển. Về lâu dài cần nghiên cứu xử lý các loại vật liệu nạo vét này thành nguyên liệu trong ngành xây

dựng. Mặc dù công nghệ mới tái chế bùn cát do nạo vét thành vật liệu xây dựng đã được nghiên cứu ứng dụng ở nhiều nơi trên thế giới [11–15]: Nhật Bản, Singapore, Hoa Kỳ với nguyên lý đơn giản gồm các bước chính như:

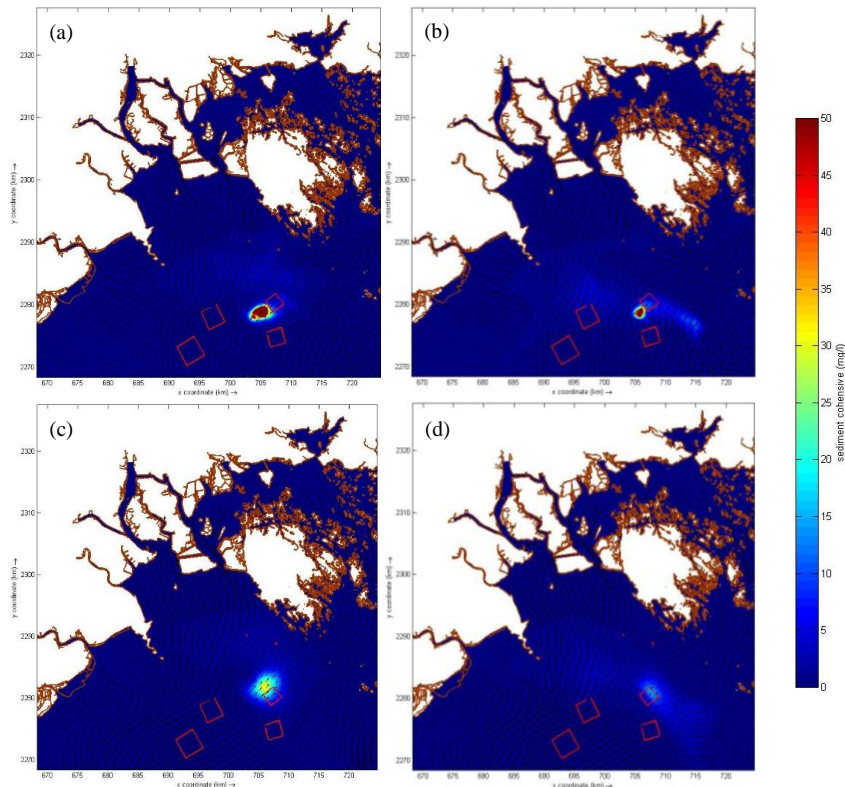
Làm giảm độ ẩm, tách riêng các thành phần bùn sét;

Trộn bùn sét với các chất phụ gia, xi măng, vôi để nâng cao độ cứng của vật liệu;

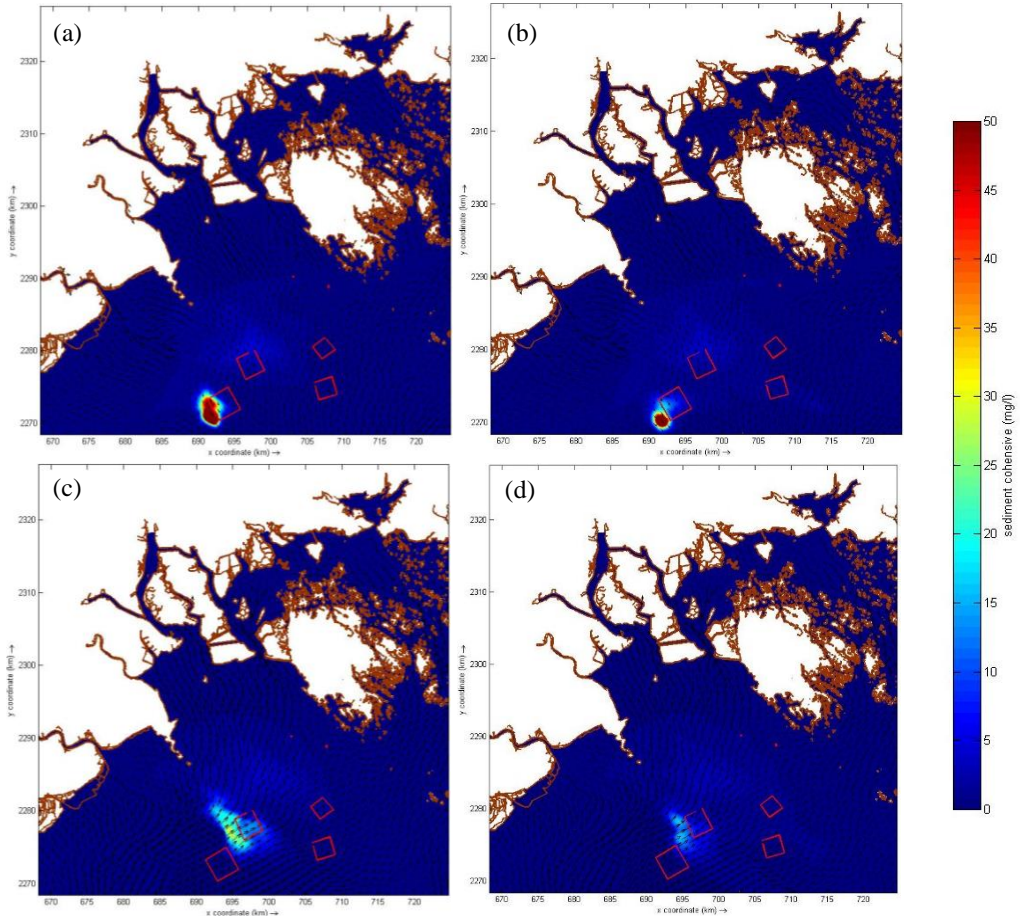
Chế tạo thành vật liệu, dạng hạt và các dạng khác.

Tuy nhiên ở thời điểm hiện tại, chi phí xử lý các loại bùn cát nạo vét này còn quá cao so với các loại vật liệu khác nên so với việc đổ thải ra biển thì giải pháp xử lý loại vật liệu này thành nguyên liệu phục vụ xây dựng hiện nay chưa phù hợp. Trong tương lai, cần nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật để hạ giá thành trong việc sản xuất nguyên vật liệu xây dựng từ bùn cát nạo vét.

Lựa chọn phương pháp đổ thải tối ưu nhất



Hình 2. So sánh phân bố TLL (mg/l) tầng đáy từ bãi đổ D1- sóng gió hướng SW mùa mưa: Sau 10 h: a- độ bùn cát từ mặt xuống đáy; b- độ bùn cát trực tiếp xuống đáy; sau 24 h: c- độ từ mặt xuống đáy; d- độ bùn cát trực tiếp xuống đáy



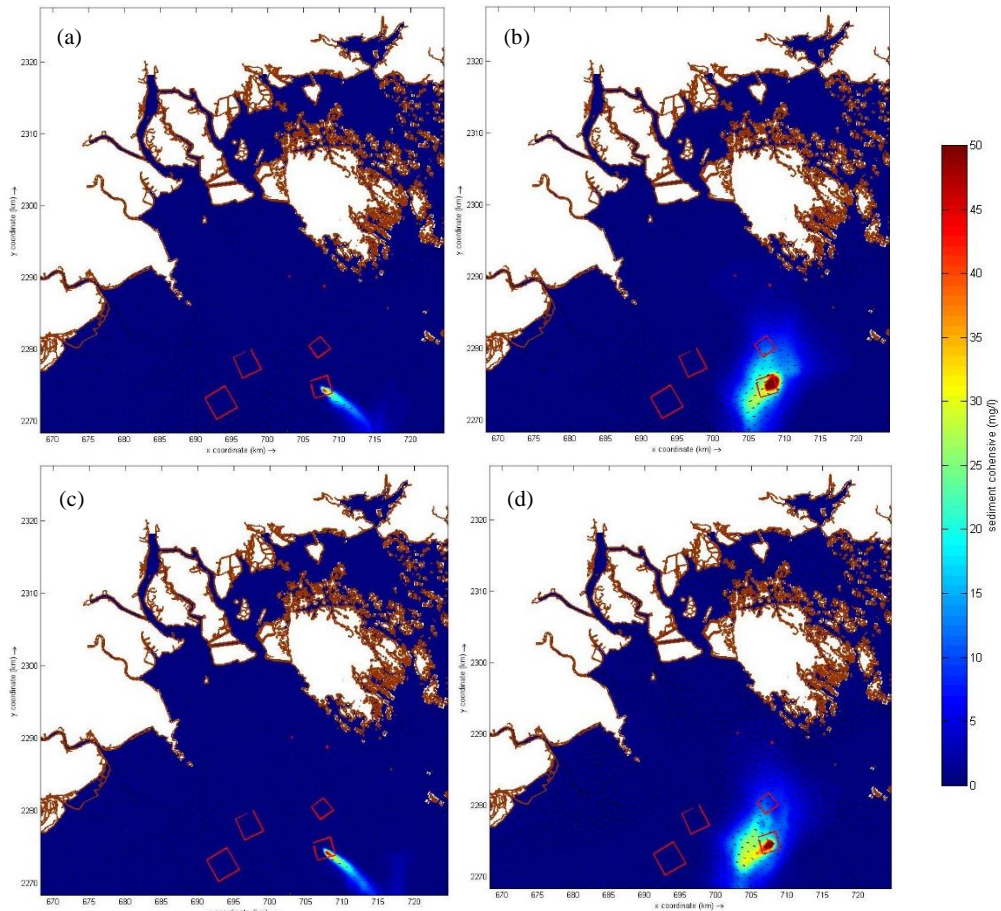
Hình 3. So sánh phân bố TTLL (mg/l) tầng đáy từ bãi đổ D3 sóng gió hướng SW mùa mưa:
 Sau 14 h: a- đổ bùn cát từ mặt xuống đáy; b- đổ bùn cát trực tiếp xuống đáy;
 sau 24 h: c- đổ mặt từ mặt xuống đáy; d- đổ bùn cát trực tiếp xuống đáy

Phương pháp đổ thải hiện nay chủ yếu vẫn là xả đáy. Khi sà lan VCBC đến vị trí đổ thải sẽ mở bụng, xả đáy, khi đó toàn bộ bùn đất sẽ di chuyển từ sà lan xuống đáy biển (từ mặt xuống đáy). Theo phương pháp này, khả năng bùn cát sẽ khuếch tán ra xung quanh theo toàn bộ cột nước và phát tán ra xung quanh. Để hạn chế sự phát tán cũng như ảnh hưởng của TTLL từ các vị trí đổ thải thì cần thiết lập một hệ thống ống dẫn từ sà lan chứa bùn cát xuống đáy biển. Như vậy dòng bùn cát từ sà lan chứa sẽ đi trực tiếp xuống đáy sẽ hạn chế di chuyển ra xung quanh hơn so với đổ thải từ mặt xuống (hình 2, 3).

Lựa chọn thời gian đổ thải trong ngày phù hợp

Do vùng ven biển Hải Phòng nói chung và khu vực các vị trí đổ thải nói riêng có điều kiện

dòng chảy luôn biến động rất mạnh theo thời gian và đổi hướng theo dao động của mực nước triều nên trạng thái dòng chảy tại các thời điểm đổ thải có ảnh hưởng lớn đến sự phát tán TTLL. Nếu đổ thải diễn ra trong pha triều lên thì dòng TTLL có xu hướng di chuyển nhiều hơn về phía bắc - đông bắc. Ngược lại nếu đổ thải vào kỳ triều xuống thì dòng chảy theo hướng nam-tây nam sẽ mang TTLL từ bãi đổ di chuyển nhiều hơn về phía nam tây nam. Trong khi đó trường hợp đổ thải vào thời điểm dừng chảy (nước lớn hoặc nước ròng), sự phát tán của TTLL từ các vị trí đổ thải ra khu vực xung quanh là nhỏ nhất (hình 4). Vì vậy thời điểm đổ thải trong ngày được đề xuất là 4-5 giờ quanh các thời điểm nước lớn hoặc nước ròng.



Hình 4. Phân bố TTLL (mg/l) từ bãi đổ D4- sóng gió hướng SW mùa mưa: Đổ thải vào thời điểm nước ròng, a- tầng mặt; b- tầng đáy; đổ thải vào thời điểm nước lớn: c- tầng mặt, d- tầng đáy

Lựa chọn thời gian đổ thải vào kỳ triều kém

Ở khu vực ven biển Hải Phòng do chịu ảnh hưởng của chế độ nhật triều đều nên hàng tháng thường có 5–7 ngày triều kém. Trong những ngày này, biên độ dao động mực nước khá nhỏ (nhỏ hơn 1,5 m) nên vận tốc dòng chảy thường rất nhỏ (lớn nhất chỉ dưới 0,3 m/s). Khi tiến hành đổ thải vào những ngày đó thì tốc độ lắng đọng và sự ổn định của bùn cát ở đáy biển sẽ lớn hơn và phạm vi phát tán của TTLL ra xung quanh cũng nhỏ nhất, hạn chế phạm vi ảnh hưởng do TTLL từ các bãi đổ.

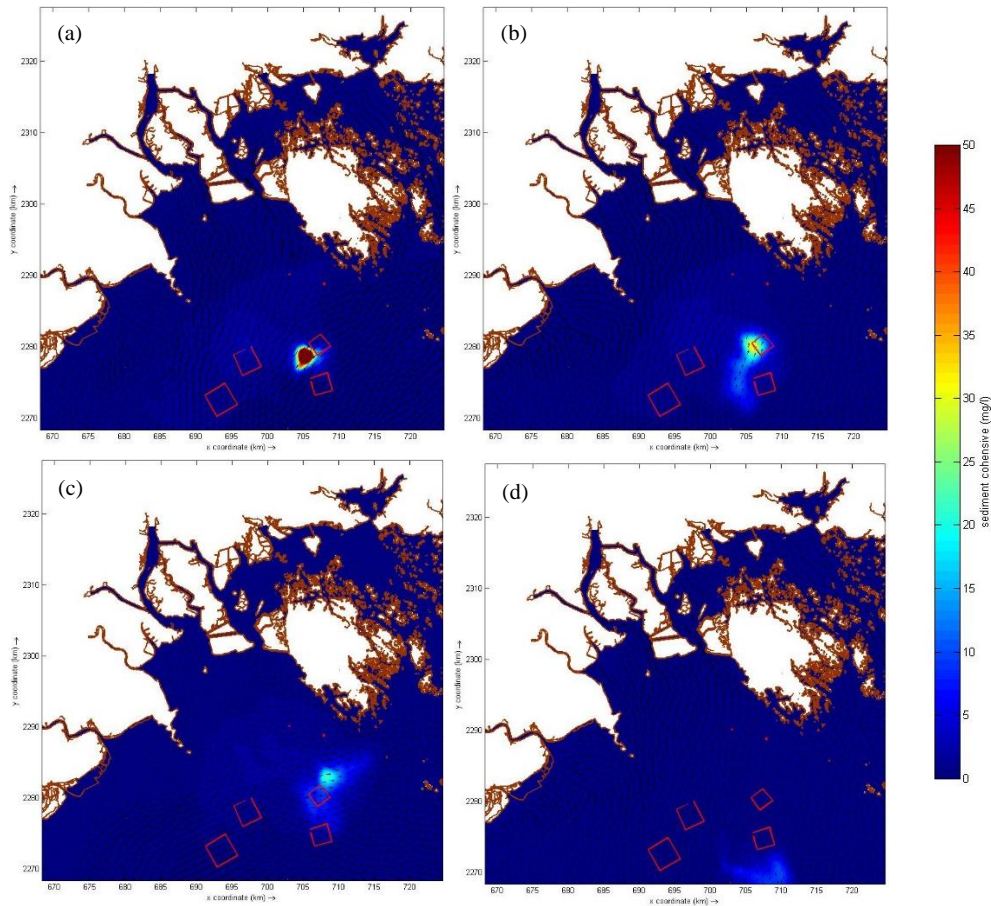
Các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy hướng sóng gió có ảnh hưởng nhiều đến hướng di chuyển của TTLL từ các vị trí đổ thải ra khu vực xung quanh. Với hướng gió tác động từ hướng NE, E và SE, dòng TTLL từ các bãi đổ sẽ di chuyển chủ yếu về phía S, SW nên ít gây tác động nhất đến vùng ven biển Cát Bà-Hạ

Long và khu vực quần đảo Long Châu, đồng thời cũng không ảnh hưởng đến khu vực bãi tắm Đồ Sơn. Ngược lại, khi sóng gió từ hướng SW, S tác động trong thời gian đổ thải, dòng TTLL từ các vị trí đổ thải sẽ di chuyển nhiều hơn về phía bắc, dòng bắc có khả năng ảnh hưởng nhẹ đến vùng ven biển Cát Bà, Hạ Long và khu vực Long Châu. Do đó, để hạn chế thấp nhất ảnh hưởng do TTLL phát tán, vận chuyển đến vùng ven biển Cát Bà, Hạ Long và Long Châu thì nên hạn chế các hoạt động đổ thải trong các điều kiện sóng gió hướng SW, S.

Lượng bùn cát đổ xuống cũng ảnh hưởng đến phạm vi lan truyền của TTLL, trong phân đánh giá ở trên với lượng bùn cát đổ xuống khoảng 48.150 m³ trong 10 giờ liên tục thì mức độ ảnh hưởng cũng chủ yếu tác động quanh các vị trí đổ thải. Những tác động đến khu vực ven biển Cát Bà, Long Châu và bãi biển Đồ Sơn là

rất nhỏ. Vì vậy, nếu đổ liên tục trong khoảng 10 giờ nên giới hạn lượng bùn cát đổ ra nhỏ hơn $5.000 \text{ m}^3/\text{giờ}$. Riêng tại khu vực điểm D1

do gần với khu vực Cát Bà hơn nên để đảm bảo ít tác động nhất thì nên giới hạn lượng bùn cát đổ thải tối đa nhỏ hơn $4.000 \text{ m}^3/\text{giờ}$.



Hình 5. Phân bố TTLL tầng đáy (mg/l) từ bãi đổ D1- sóng gió hướng S mùa khô (a- sau khi đổ 10 h; sau khi đổ 20 h; c- sau 30 h; d- sau 40 h)

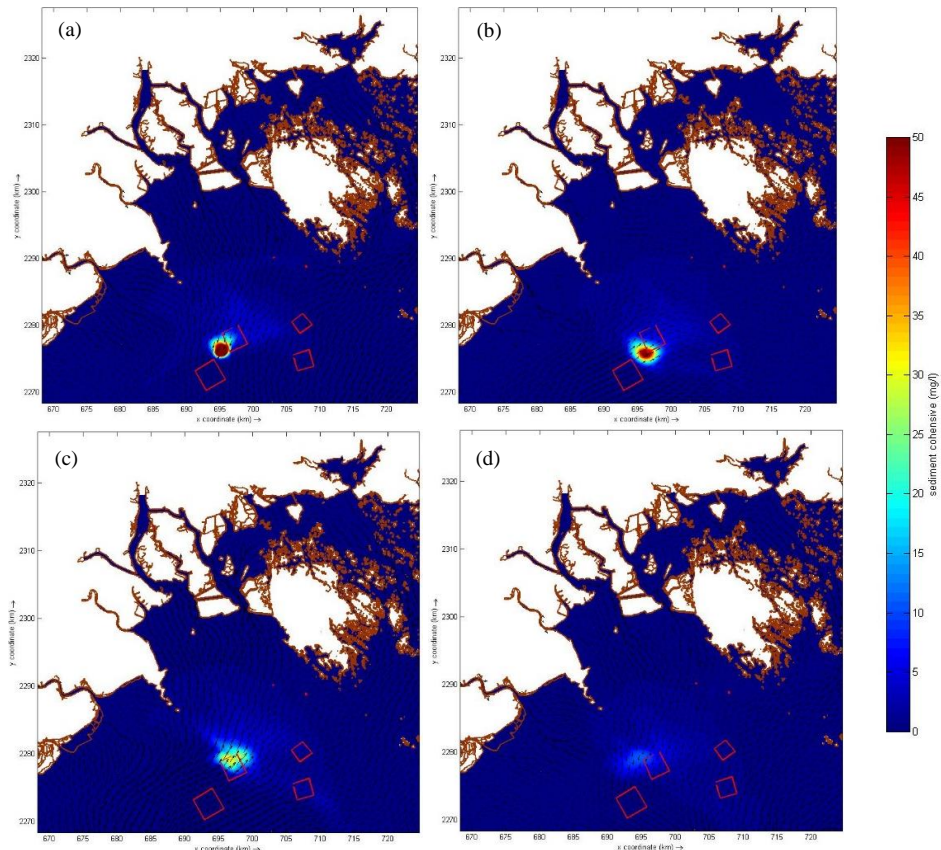
Các kết quả tính toán cũng cho thấy thời gian đổ bùn cát càng ngắn thì mức độ ảnh hưởng do sự phát tán của TTLL từ vị trí các bãi đổ ra khu vực xung quanh càng nhỏ. Với giả thiết tổng lượng bùn cát đổ thải xuống 4 vị trí như trên giữ nguyên là 48.150 m^3 nhưng chỉ được đổ xuống trong 2 giờ: 24.750 m^3 bùn cát/giờ (1 giờ trong pha triều lên và 1 giờ trong pha triều xuống), kết quả cho thấy phạm vi mức độ phát tán của TTLL giảm mạnh so với trường hợp đổ liên tục với khối lượng nhỏ. Phần lớn lượng TTLL tăng lên trong trường hợp này chỉ tồn tại trong khoảng 24–30 giờ sau khi đổ xuống. Phạm vi ảnh hưởng của TTLL do bùn cát đổ xuống cũng rất nhỏ và không có ảnh

hưởng đáng kể đến các vùng ven biển Cát Bà, Long Châu và Đồ Sơn (hình 5, 6). Như vậy có thể tăng khối lượng đổ lên tới 50.000 m^3 bùn cát nạo vét trong ngày nhưng giới hạn thời gian đổ dưới 2 giờ.

Các vị trí đề xuất khu vực đổ thải đều nằm khá xa bờ, xa khu vực nạo vét bùn cát: Điểm gần nhất là D1 cũng mất khoảng 8 km, các điểm còn lại cũng có khoảng cách từ 13,5–21 km. Độ sâu ở những vị trí này cũng phổ biến trong khoảng 18–27 m. Do đó các tàu nhỏ khi chờ VLBC ra khu vực các bãi đổ này sẽ không đảm bảo về các điều kiện an toàn hơn nữa việc kéo dài thời gian sẽ làm tăng mức độ ảnh hưởng do sự phát tán TTLL từ các vị trí đổ thải

này ra các khu vực xung quanh. Vì vậy cần tập hợp các doanh nghiệp tham gia hoạt động nạo vét luồng thành một số doanh nghiệp lớn, có tiềm lực về phương tiện để có thể gom bùn cát

từ khu vực nạo vét lên các tàu tải trọng lớn sau đó mang ra các vị trí đổ thải và đổ xuống trong khoảng thời gian ngắn nhất có thể.



Hình 6. Phân bố TTLL tầng đáy (mg/l) từ bãi đồ D2 sóng gió hướng SW (m18) mùa khô (a- sau 10 h; b- sau khi đổ 20 h; c- sau 30 h; d- sau 40 h)

Ứng dụng khoa học kỹ thuật trong việc giám sát hoạt động đổ thải

Ngoài việc cung cấp cho cơ quan quản lý về hành trình, kế hoạch chi tiết đồ VLBC nạo vét ra các bãi đổ, các phương tiện chứa, chuyên chở bùn cát từ vị trí nạo vét ra các vị trí đổ cần được gắn thiết bị giám sát hành trình và thiết bị kiểm soát khối lượng. Những thiết bị này sẽ giám sát quãng đường đi và khối lượng bùn cát trong quá trình chuyên chở từ các vị trí nạo vét đến các khu vực đổ thải.

Kiểm tra, giám sát môi trường tại khu vực đổ thải và vùng lân cận

Trong quá trình khai thác, thực hiện đổ thải tại các vị trí trên cần có kiểm tra chất lượng

môi trường nước khu vực đổ thải và lân cận theo định kỳ khoảng 3 tháng/1 lần và cả trong thời kỳ diễn ra hoạt động đổ thải. Ngoài việc đo, lấy mẫu chất lượng môi trường nước cũng cần khảo sát lại địa hình ở các khu vực đổ thải khoảng 1–2 lần/năm. Các kết quả khảo sát về chất lượng môi trường nước, địa hình đáy ở mỗi khu vực đổ thải sẽ là căn cứ để điều chỉnh các biện pháp đổ thải VLBC do nạo vét. Trong trường hợp kết quả kiểm tra giám sát môi trường tại các vị trí xung quanh khu vực đổ thải cho thấy hàm lượng TTLL hoặc độ đục tăng cao vượt các ngưỡng cho phép thì sẽ điều chỉnh hoạt động đổ thải, nhằm giảm thiểu những tác động của hoạt động này đến môi trường, sinh

thái của khu vực. Hiện nay các hoạt động đổ bùn cát của dự án cảng quốc tế Lạch Huyện ra khu vực bãi đổ B2 vẫn thường xuyên được quan trắc, giám sát môi trường. Các kết quả quan trắc phân tích được thực hiện trong quá trình thực hiện đổ thải của JICA cho thấy hầu hết các mẫu phân tích kiểm tra về hàm lượng TLL, độ đục do đổ thải ở khu vực B2 đều khá thấp và dưới các ngưỡng cho phép.

Thảo luận

Để đảm bảo duy trì các tuyến luồng vào cảng, hàng năm trên thế giới khối lượng bùn cát được nạo vét là rất lớn, lên đến nhiều trăm triệu tấn [16]. Những vật liệu nạo vét cũng rất đa dạng về thành phần, nhưng chủ yếu là bùn, cát, đá và chứa thành phần chất hữu cơ, lượng chất gây ô nhiễm khác nhau.

Việc quản lý vật liệu nạo vét là vấn đề không chỉ riêng ở từng địa phương hay quốc gia mà đã trở thành vấn đề toàn cầu. Sau khi nạo vét, phương pháp truyền thống đổ thải một cách miễn cưỡng ra các vùng biển theo qui định riêng của từng quốc gia. Một số sự lựa chọn là đổ vật liệu này lên đất liền. Giải pháp này khá tốn kém và đòi hỏi phải có vùng tiếp nhận rộng lớn [13, 17]. Trong bối cảnh đó, chiến lược sử dụng hợp lý bùn cát do nạo vét đã được đặt ra như một nhu cầu bức thiết, đặc biệt trong những năm gần đây, khi các nguồn tài nguyên ngày càng trở nên cạn kiệt và yêu cầu phát triển bền vững ở nhiều quốc gia. Vật liệu này đã được nghiên cứu sử dụng trong lĩnh vực dân dụng, nông nghiệp và chế tạo [11–15]. Ở Pháp, hàng năm có khoảng trên 400 triệu tấn bùn cát nạo vét đã được tái sử dụng cho các mục đích dân dụng [18, 19]. Trong đó, để sử dụng làm vật liệu làm đường, trước hết, các vật liệu nạo vét được nung trong 6 giờ ở nhiệt độ 450 độ C để loại bỏ các thành phần hữu cơ, sau đó người ta đưa thêm xi măng và các phụ gia khác vào để tạo ra loại vật liệu mới đảm bảo theo tiêu chuẩn [20]. Ở Nhật Bản, theo thông báo của PIANC [21], hơn 90% vật liệu nạo vét đã được tái sử dụng trong các công trình ven bờ và phục vụ cho các mục đích phục hồi môi trường. Ví dụ các sân bay Nagoya và sân bay Haneda được xây dựng như các đảo nhân tạo, họ đã dành các khoảng đất trống như các bể chứa để tiếp nhận dần các vật liệu nạo vét ở

xung quanh vùng này [22–24]. Sau một thời gian, khi vật liệu nạo vét đủ cứng, họ cải tạo các bể chứa này thành các đường băng trong sân bay. Tuy nhiên, một ví dụ cho việc sử dụng vật liệu nạo vét cho việc san lấp không thành công là ở cảng Leam Chabang (Thái Lan), người ta đã đổ khoảng 2,0 triệu m³ là bùn nạo vét để san lấp mặt bằng làm khu chứa hàng hóa cho cảng. Tuy nhiên, sau 8 năm trôi qua (từ 1990 đến 1998), khu vực san lấp vẫn không thể đông cứng được nên người ta đã phải tiến hành nạo vét toàn bộ phần bùn đổ xuống đó để thay thế bằng vật liệu cát [25]. Với các điều kiện như ở nước ta hiện nay, để có thể sử dụng VLBC do nạo vét trên bờ tránh phải đổ ra biển cần có các giải pháp tổng thể từ nghiên cứu sử dụng tái tạo đến các giải pháp về quy hoạch. Trong khi chờ các giải pháp sử dụng, tái tạo VLBC do nạo vét thì trước mắt vẫn phải đổ một lượng không nhỏ bùn cát nạo vét ra biển.

Phương pháp và kỹ thuật đổ VLBC nạo vét ra biển có ảnh hưởng rất lớn đến sự phát tán trầm tích ra xung quanh cũng như những tác động đến môi trường sinh thái của hoạt động này. Dựa trên các kết quả khảo sát của Bokuniewicz et al., [26] và kiểm chứng bằng các mô hình vật lý [27] đã cho thấy sau khi vật liệu nạo vét được đổ xuống, nói chung sẽ xảy ra 3 quá trình như sau:

- 1) Di chuyển xuống đáy dưới ảnh hưởng của trọng lực và chênh lệch tỷ trọng;
- 2) Sự sắp xếp lại khối bùn cát ở vị trí đổ, xảy ra khi bùn cát đi xuống gặp sức cản của nước, trượt sang vị trí lân cận, quá trình này cũng thúc đẩy sự phát tán theo phương ngang của VLBC sau khi đổ xuống;
- 3) Di chuyển bị động dưới ảnh hưởng của môi trường xung quanh như dòng chảy, xáo trộn rối [28].

Bokuniewicz et al., [26] sau khi khảo sát sự di chuyển của bùn cát do nạo vét khi đổ xuống biển ở nhiều trường hợp khác nhau đã thông báo rằng, một lượng bùn cát lơ lửng khá lớn bị vận chuyển và khuếch tán ra xung quanh trước khi có thể xuống tới đáy biển. Khối lượng bị vận chuyển, khuếch tán ra xung quanh phụ thuộc vào điều kiện dòng chảy và thành phần vật liệu nạo vét. Nếu bùn cát đổ thải có thành phần chủ yếu là bùn sét sẽ vận chuyển khuếch tán nhiều hơn là vật liệu với thành phần chủ

yếu là đá, sỏi. Theo kết quả nghiên cứu liên quan [29–31], TTLL sẽ di chuyển ra xung quanh khoảng 1–4% tổng lượng bùn cát trong thời gian đổ xuống. Trong khuôn khổ đề tài ĐT.MT.2015, để đánh giá dòng bùn cát di chuyển từ các vị trí đổ thải dự kiến (hình 1) ra vùng biển xung quanh trong các điều kiện động lực khác nhau (lặng sóng gió, ảnh hưởng của gió mùa và bão), chúng tôi đã thiết lập hệ thống mô hình TĐL-sóng-VCBC với các kịch bản tính toán khác nhau. Các kết quả tính toán, dự báo cho thấy dòng bùn cát lơ lửng từ các vị trí đề xuất đi ra ngoài khoảng 5–7% tổng lượng bùn cát trong thời gian đổ thải. Như vậy, sự phát tán TTLL từ các vị trí đổ thải đề xuất ra phía ngoài ở ven biển Hải Phòng cao hơn so với các nghiên cứu liên quan, điều này có thể được giải thích là do thành phần vật liệu nạo vét ở ven biển Hải Phòng chủ yếu là bùn lỏng, thành phần sét và bùn chiếm ưu thế.

Như vậy, rõ ràng sự đổ thải theo phương pháp bơm xả xuống đáy sẽ giảm tối đa những ảnh hưởng của điều kiện TĐL tại thời điểm đổ thải đến lượng bùn cát tại bãi đổ. Trong khi đó, theo nghiên cứu của May [32], phần lớn bùn cát sẽ bị lắng đọng nhanh chóng xuống đáy nhưng không tạo thành các khối kết dính vững chắc ở đáy ngay mà ở trạng thái rời rạc và có thể bị vận chuyển ra xung quanh vị trí đáy do tác động của dòng chảy và dòng mật độ. Nói chung các vị trí đổ thải có độ sâu càng lớn càng giảm tối đa sự VCBC từ bãi đổ ra các xung quanh. Scheffner [33] đề xuất độ dày của lớp bùn cát sau khi đổ không nên vượt quá 10% độ sâu của vị trí đổ, như vậy sẽ đảm bảo hoàn toàn bùn cát bị giữ lại tại vị trí đổ thải. Tuy nhiên, áp dụng đề xuất này sẽ rất khó khăn và chỉ phù hợp ở những vùng biển sâu [34–36].

Một khía cạnh khác cần đánh giá đó là sự tái lơ lửng và VCBC ra xung quanh sau khi quá trình đổ thải kết thúc. Quá trình tái lơ lửng xảy ra dưới tác động của ứng suất dòng chảy/sóng. Các yếu tố này cùng với độ sâu của vị trí đổ thải là những yếu tố chính không chỉ ảnh hưởng đến sự phát tán, VCBC từ vị trí đổ ra các khu vực khác trong quá trình diễn ra hoạt động đổ thải mà còn ảnh hưởng đến khả năng tái lơ lửng, di chuyển của dòng bùn cát sau khi đổ thải [28]. Chính vì vậy, ngoài xác định vị trí đổ thải phù hợp nhất theo các tiêu chí tổng hợp về

điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội và môi trường thì lựa chọn thời điểm đổ thải phù hợp nhất cũng góp phần quan trọng giảm thiểu những ảnh hưởng do sự phát tán bùn cát trong thời gian đổ thải. Điều này cũng đã được khẳng định trong các nghiên cứu liên quan [37–40].

Quản lý và giám sát hoạt động đổ thải tại các bãi đổ nhằm phát hiện kịp thời và điều chỉnh hoạt động này để giảm thiểu tối đa những tác động đến môi trường do hoạt động này gây ra [41]. Các kế hoạch quản lý giám sát tại vị trí đổ thải đã được đưa vào các điều luật, quy định của Hoa Kỳ [42]. Theo đó, để được chấp thuận, tất cả các vị trí đổ thải phải có kế hoạch quản lý, giám sát môi trường trước và được thực thi khi các hoạt động này diễn ra [43].

KẾT LUẬN

Với các đặc điểm về điều kiện tự nhiên, KTXH và môi trường ở khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng, trong một tương lai gần việc tái sử dụng hoặc đổ thải VLBC do nạo vét lên đất liền vẫn là các giải pháp khó khả thi. Vì vậy, việc tìm giải pháp tối ưu nhất để giảm thiểu những tác động đến môi trường và các hệ sinh thái do ảnh hưởng của TTLL từ hoạt động này ở vùng ven biển Hải Phòng là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn.

Dựa vào các kết quả nghiên cứu về điều kiện TĐL, VCBC, thành phần VLBC nạo vét ở khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng và khối lượng đổ thải giả thiết theo các kịch bản xây dựng trên cơ sở lượng đổ thải nhiều năm và theo kế hoạch xây dựng, mở rộng cảng, một số các giải pháp nhằm bảo vệ môi trường và các hệ sinh thái, các hoạt động kinh tế - xã hội trong vùng biển được đề xuất, gồm: (1) Giải pháp quy hoạch, (2) Nghiên cứu xử lý vật liệu nạo vét, (3) Lựa chọn phương pháp đổ thải tối ưu nhất, (4) Lựa chọn thời gian đổ thải trong ngày phù hợp, (5) Lựa chọn thời gian đổ thải vào kỳ triều kém, (6) Hạn chế các hoạt động đổ thải trong các điều kiện sóng gió hướng SW và S, (7) Rút ngắn thời gian đổ thải xuống thấp nhất đồng thời giảm số lần đổ, tăng khối lượng đổ mỗi lần, (8) Ứng dụng khoa học kỹ thuật trong việc giám sát hoạt động đổ thải, (9) Thường xuyên kiểm tra, giám sát môi trường tại khu vực đổ thải và vùng lân cận.

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 đánh giá ảnh hưởng của hoạt động khai thác cát đến môi trường vùng cửa sông ven biển Hải Phòng, ĐT.MT.2017.792. 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. doi:10.5194/hess-18-3987-2014.
- [2] Duy Vinh, V., Ouillon, S., and Van Uu, D., 2018. Estuarine Turbidity Maxima and variations of aggregate parameters in the Cam-Nam Trieu estuary, North Vietnam, in early wet season. *Water*, 10(1), 68.
- [3] Cục Hàng hải Việt Nam, 2013. Báo cáo đánh giá tác động môi trường dự án đầu tư xây dựng công trình cảng cửa ngõ quốc tế Hải Phòng - giai đoạn khởi động. *Công ty TNHH cảng Công-ten-nơ quốc tế Hải Phòng*.
- [4] Nguyễn Thị Minh Hải, 2016. Nghiên cứu cơ sở pháp lý và thực tiễn về quản lý hoạt động đổ thải chất nạo vét luồng cảng tại thành phố Hải Phòng. *Luận văn thạc sỹ, trường đại học Khoa học Tự nhiên*.
- [5] Weatherall, P., Marks, K. M., Jakobsson, M., Schmitt, T., Tani, S., Arndt, J. E., Rovere, M., Chayes, D., Ferrini, V., and Wigley, R., 2015. A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science*, 2(8), 331–345. doi:10.1002/2015EA000107.
- [6] Groenewoud, P., de Valk, C., and Williams, M., 2011. Overview of the Service and Validation of the Database. *Reference: RP_A870*.
- [7] 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. doi:10.1175/1520-0426(2002)019<1345:FAGTFE>2.0.CO;2.
- [8] 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. doi:10.1007/s10236-006-0086-x.
- [9] World Ocean Atlas 2013 Version 2 (WOA13 V2). Available online: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/> (accessed on 20 April 2016).
- [10] Vũ Duy Vĩnh, Trần Đình Lân, 2018. 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. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 18(1), 10–26.
- [11] Centre Saint-Laurent. Division des technologies de restauration, 1993. Guide pour l'évaluation et le choix des technologies de traitement des sédiments contaminés. *Division des technologies de restauration, Centre Saint-Laurent, Environnement Canada*.
- [12] Boutouil, M., 1998. Traitement des vases de dragage par stabilisation/solidification à base de ciment et additifs. *Doctoral dissertation, Thèse de doctorat, Université du Havre*, 245 p.
- [13] Agence de l'eau Artois-Picardie, 2001. Méthodes de gestion et de réutilisation des sédiments pollués: inventaire détaillé technique et financier des méthodes de curage, de traitement et des usages possibles: logiciel d'aide à la décision pour la gestion des sédiments.
- [14] Ulbricht, J. P., 2002. Contaminated sediments: raw materials for bricks. *Symposium dragage. Dunkerque. France*.
- [15] Colin, D., 2003. Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière. *Doctoral dissertation, Caen*.
- [16] Boutin, R., 1999. Amélioration des connaissances sur le comportement des rejets en mer de produits de dragage de type vase: phénomènes à court terme et dans le champ proche. *Doctoral dissertation, Lyon, INSA*.
- [17] Grégoire, P., 2004. Modèle conceptuel d'aide à la décision multicritère pour le choix négocié d'un scénario de dragage maritime. *Doctoral dissertation, Artois*.

- [18] Michel, F., 1997. Les granulés (aggregates). *Union Nationale des producteurs de granulés, France*, Pp. 40.
- [19] UNPG, 2005. Le marché des granulés en 2004 (the market of aggregates in 2004). *Union Nationale des Producteurs de Granulés, France*, Pp. 2.
- [20] Dubois, V., Abriak, N. E., Zentar, R., and Ballivy, G., 2009. The use of marine sediments as a pavement base material. *Waste Management*, 29(2), 774–782. doi:10.1016/j.wasman.2008.05.004.
- [21] PIANC, 2009. PIANC report no 104-2009 Dredged Material as a Resource: Options and Constraints. Available from <http://www.pianc.org>
- [22] Watabe, Y., Saegusa, H., Shinsha, H., and Tsuchida, T., 2011. Ten year follow-up study of airfoam-treated lightweight soil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 164(3), 189–200.
- [23] Watabe, Y., Noguchi, T., and Mitarai, Y., 2012. Use of cement-treated lightweight soils made from dredged clay. *Journal of ASTM International*, 9(4), 1–10.
- [24] Watabe, Y., 2015. Advanced Prediction Methods of Consolidation Settlement in Land Reclamation. *International Conference on Soft Ground Engineering. Singapore: Research Publishing*. (pp. 29–50).
- [25] Muttamara, S., and Baldesimo, J. M., 1988. Strategies for coastal water quality management: a case study of Laem Chabang (Thailand) deep-sea port development. *Water science and technology*, 20(6–7), 221–228.
- [26] Bokuniewicz, H. J., Gebert, J., Gordon, R. B., Higgins, J. L., and Kaminsky, P., 1978. Field Study of the Mechanics of the Placement of Dredged Material at Open-Water Disposal Sites. Volume II. Appendices JO. *Yale Univ. New Haven Conn. Dept. of Geology and Geophysics*.
- [27] Johnson, B. H. and Schroeder, P. R., 1993. Numerical Disposal Modeling. *Dredging Research Program Technical Notes DRP-1-02. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS*. <http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/drp1-02.pdf>
- [28] Moritz, H. R., Johnson, B. H., and Scheffner, N. W., 2000. Numerical Models for Predicting the Fate of Dredged Material Placed in Open Water. Chapter 16 in *Handbook of Coastal Engineering*, J.B. Herbich, ed., New York, McGraw-Hill.
- [29] Truitt, C. L., 1986. Fate of Dredged Material During Open Water Disposal. *Environmental Effects of Dredging Technical Note EEDP-01-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS*. <http://el.erdc.usace.army.mil/dots/pdfs/eedp01-2.pdf>
- [30] Land, J. M., and Bray, R. N., 2000. Acoustic measurement of suspended solids for monitoring of dredging and dredged material disposal. *Journal of Dredging Engineering*, 2(3), 1–17.
- [31] Barnard, W. D., 1978. Prediction and control of dredged material dispersion around dredging and open water pipeline disposal operations. Dredged Material Research Program Synthesis Report. *TR DS-78-13, US Army Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi*.
- [32] May, E. B., 1973. Environmental effects of hydraulic dredging in estuaries.
- [33] Scheffner, N. W., 1991. A systematic analysis of disposal site stability. In *Coastal Sediments* (pp. 2012–2026). ASCE.
- [34] Wolanski, E., Gibbs, R., Ridd, P., and Mehta, A., 1992. Settling of ocean-dumped dredged material, Townsville, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 35(5), 473–489.
- [35] Healy, T., and Tian, F., 1999. Bypassing of Dredged Muddy Sediment and Thin-Layer Disposal, Hauraki Gulf, New Zealand. In *Coastal Sediments* (pp. 2457–2470). ASCE.
- [36] Spanhoff, R., Van Heuvel, T., and De Kok, J. M., 1991. Fate of dredged material dumped off the Dutch shore. In *Coastal Engineering 1990* (pp. 2824–2837).

- [37] Li, C. W., and Ma, F. X., 2001. 3D numerical simulation of deposition patterns due to sand disposal in flowing water. *Journal of hydraulic engineering*, 127(3), 209–218.
- [38] Luger, S. A., Schoonees, J. S., Mocke, G. P., and Smit, F., 1999. Predicting and evaluating turbidity caused by dredging in the environmentally sensitive Saldanha Bay. In *Coastal Engineering 1998* (pp. 3561–3574).
- [39] Moritz, H. P., Kraus, N. C., and Siipola, M. D., 1999. Simulating the Fate of Dredged Material: Columbia River, USA. In *Coastal Sediments* (pp. 2487–2503). ASCE.
- [40] Smith, G., Mocke, G., and Van Ballegooyen, R., 1999. Modelling turbidity associated with mining activity at Elizabeth Bay, Namibia. In *Coastal Sediments* (pp. 2504–2519). ASCE.
- [41] Mathis, D. B., and Payne, B. S. 1984. Guidance for Designation of Ocean Sites for Dredged Material Dumping. Environmental Effects of Dredging Information Exchange Bulletin, Vol D-84-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- [42] United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2005. Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites. EPA-540-R-05-012, OSWER 9355.0-85, Office of Solid Waste and Emergency Response, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. <http://www.epa.gov/superfund/resources/sediment/guidance.html>
- [43] EPA/USACE. 2007. Identifying, Planning, and Financing Beneficial Use Projects Using Dredged.