

Assessment of possibility of dumping site selection for dredged materials from shipping channels in Hai Phong coastal waters

Tran Dinh Lan^{1,*}, Vu Duy Vinh¹, Do Thi Thu Huong¹, Do Gia Khanh²

¹*Institute of Marine Environment and Resources, VAST, Vietnam*

²*Hai Phong Department of Science and Technology, Hai Phong, Vietnam*

*E-mail: lantd@imer.ac.vn

Received: 21 December 2018; Accepted: 15 April 2019

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

In order to keep essential depths in shipping channels to and from Hai Phong ports, regular dredging activities are maintained with about 3.6 million tons of sediments per year. Due to almost all the sediments of dredged material in the channels are composed of mud and silt, they are not easy to be used for land filling or other purposes. Moreover, disposing these materials on land is facing difficulties because of requiring the design and construction of dikes, requiring compaction and drainage of dumped materials. Therefore, disposal of dredged material from shipping channels in Hai Phong sea has become urgent. Based on integrated approach, the combination of numerical modeling and multicriteria decision analysis-GIS (natural condition, socio-economic and environment-ecosystem conditions) was made and the most suitable dumping sites were proposed in the regions with water depth ranging between 18–27 m. Their total receiving capacity was estimated about 206 million tons for 40–50 years.

Keywords: Shipping channels, modeling, sea bed, dumping sites, Hai Phong.

Đánh giá khả năng lựa chọn vị trí đổ vật liệu nạo vét luồng vào cảng trên vùng biển Hải Phòng

Trần Đình Lâm^{1,*}, Vũ Duy Vĩnh¹, Đỗ Thị Thu Hương¹, Đỗ Gia Khánh²

¹Viện Tài nguyên và Môi trường biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

²Sở Khoa học và Công nghệ Hải Phòng, Hải Phòng, Việt Nam

*E-mail: lantd@imer.ac.vn

Nhận bài: 21-12-2018; Chấp nhận đăng: 15-4-2019

Tóm tắt

Để đảm bảo duy trì cho các tuyến luồng hàng hải vào cảng Hải Phòng, khối lượng nạo vét hàng năm ở khu vực này khoảng 3,6 triệu tấn bùn cát với thành phần chủ yếu là bùn lóng, khả năng sử dụng và đổ lên bờ rất hạn chế, nên nhu cầu xác định các vị trí đổ vật liệu này ngoài khơi đã được đặt ra và ngày càng trở lên bức thiết. Dựa trên cách tiếp cận tổng hợp phương pháp mô hình (mô hình Delft3D và phương pháp MORFAC) và phương pháp phân tích đa chỉ tiêu (điều kiện tự nhiên- ĐKTN, kinh tế xã hội- KTXH và môi trường sinh thái), các vị trí phù hợp nhất có thể tiếp nhận vật liệu bùn cát do nạo vét luồng cảng Hải Phòng đã được xác định. Đó là các vị trí nằm ở khu vực có độ sâu 18–27 m, với khả năng tiếp nhận khoảng 206 triệu m³ bùn cát và có thể sử dụng trong khoảng 40–50 năm.

Từ khóa: Luồng cảng, mô hình, đáy biển, vị trí đổ, Hải Phòng.

MỞ ĐẦU

Vùng cửa sông ven biển Hải Phòng hàng năm nhận khoảng 14,6 triệu tấn bùn cát, trong đó các sông Bạch Đằng, Cấm và Lạch Tray đưa ra khoảng 7,3 triệu tấn [1]. Lượng bùn cát này một phần được vận chuyển ra xa bờ nhưng một phần khác khá lớn lắng đọng ở khu vực cửa sông ven biển gây sa bồi luồng tàu và vùng nước cảng khu vực Hải Phòng. Để đảm bảo an toàn cho tàu cập cảng, việc duy tu luồng phải thường xuyên, liên tục hàng năm. Theo Cảng vụ Hàng hải Hải Phòng, mặc dù khó khăn về kinh phí nhưng chỉ riêng trong năm 2013 đã có 29 công trình đã phải tiến hành nạo vét khẩn cấp với tổng khối lượng lên đến 1,74 triệu m³ bùn cát. Khi cảng nước sâu Lạch Huyện hoàn thành, lượng hàng hóa vào khu vực cảng Hải Phòng sẽ được giảm tải. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của các hoạt động trên thượng nguồn, đặc biệt các đập chứa, dòng bùn cát từ lục địa

có xu hướng tập trung ở khu vực gần bờ hơn. Đối lắng đọng bùn cát, ngưng bông kết keo của trầm tích lơ lửng (TTLL) bị đẩy sâu vào khu vực cửa Nam Triệu - Bạch Đằng [2–4]. Do đó, xu hướng bồi lắng khu vực cảng Hải Phòng vẫn tiếp tục tăng lên trong tương lai. Theo tính toán của Dự án đầu tư xây dựng cảng Lạch Huyện giai đoạn khởi động, trong quá trình xây dựng, khoảng 37 triệu tấn bùn cát sẽ được nạo vét và trong quá trình hoạt động, khoảng 3,6 triệu tấn bùn cát sẽ được nạo vét hàng năm ở vùng cảng này.

Mặc dù hàng năm, khối lượng nạo vét ở khu vực cảng Hải Phòng khá lớn và nhu cầu có các khu vực đổ ngày càng cấp bách, nhưng cho đến nay thành phố chưa có qui hoạch các bãi đổ bùn cát nạo vét từ vùng cảng do thiếu các cơ sở khoa học và thực tiễn. Do vậy, việc xác định các khu vực có khả năng đổ vật liệu nạo vét mà giảm thiểu ảnh hưởng đến môi trường, sinh thái

là phần cốt lõi trong xây dựng luận cứ phục vụ qui hoạch các vùng đổ vật liệu nạo vét.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Tài liệu

Tài liệu chính sử dụng trong bài viết này là các kết quả nghiên cứu, thu thập, khảo sát của đề tài cấp thành phố Hải Phòng “*Nghiên cứu xây dựng luận cứ phục vụ lập qui hoạch các bãi đổ bùn cát do nạo vét trên địa bàn Hải Phòng - ĐT.MT.2015.721*” được thực hiện trong giai đoạn 2016–2017.

Các tài liệu liên quan từ báo cáo ĐTM của dự án xây dựng cảng cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện giai đoạn khởi động.

Nhóm tài liệu như địa hình, khí tượng, hải văn, thủy văn ở khu vực nghiên cứu [5–7] được sử dụng để thiết lập các điều kiện biên, điều kiện ban đầu và các kịch bản tính toán mô phỏng của mô hình. Các số liệu đo đạc về dòng chảy, mực nước, hàm lượng TTLL của đề tài ĐT.MT.2015.721 trong mùa mưa, mùa khô và hai mùa chuyển tiếp ở vùng ven biển Hải Phòng đã được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm chứng kết quả tính toán mô phỏng của mô hình.

Nhóm tài liệu liên quan đến thực trạng nạo vét luồng hàng hải khu vực Hải Phòng, các hoạt động cảng, môi trường nước khu vực cửa sông ven biển Hải Phòng.

Nhóm tài liệu liên quan đến điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội của khu vực nghiên cứu để phục vụ phương pháp phân tích đa chỉ tiêu, bao gồm: Điều kiện dòng chảy, khả năng bồi lắng, sơ đồ luồng tàu, bản đồ địa hình đáy (độ sâu), khu dân cư, du lịch ven biển, phân bố hệ sinh thái (HST) san hô, cỏ biển, rừng ngập mặn, phân bố động vật đáy, vườn Quốc gia Cát Bà...

Phương pháp

Trong nghiên cứu này, hai phương pháp chủ đạo được sử dụng gồm: Phương pháp mô hình hóa sử dụng mô hình số trị Delft3D và phương pháp GIS (hệ thông tin địa lý) và phân tích đa chỉ tiêu. Đây là các phương pháp hiện đại nhưng khá thông dụng hiện nay trong nghiên cứu đánh giá các vấn đề về môi trường, sinh thái ở vùng biển.

Phương pháp mô hình sử dụng lưới lồng (NESTING trong Delft3D) để tạo các điều kiện biên mở của mô hình [8], cách tiếp cận MORFAC được sử dụng để thiết lập mô hình

theo các nhóm kịch bản tính khác nhau, qua đó đánh giá ảnh hưởng của các quá trình động lực đến biến động địa hình đáy.

Hệ thống mô hình (dựa trên mô hình Delft3D) đã được thiết lập với 4 kịch bản hiện trạng và 52 kịch bản dự báo để tính toán mô phỏng các điều kiện thủy động lực-sóng-vận chuyển bùn cát và biến động địa hình đáy ở vùng cửa sông ven biển Hải Phòng. Các kết quả tính toán của mô hình trong kịch bản hiện trạng đã được kiểm chứng với các số liệu đo đạc khảo sát của đề tài ĐT.MT.2015.721 và cho kết quả khá phù hợp, đủ tin cậy cho dự báo. Những kết quả tính toán dự báo của mô hình vừa làm cơ sở, khẳng định cho việc lựa chọn vị trí đổ phù hợp đồng thời làm đầu vào cho phương pháp phân tích đa chỉ tiêu.

Phương pháp phân tích đa chỉ tiêu kết hợp với GIS đã góp phần quan trọng trong giải quyết bài toán xác định vị trí phù hợp cho đổ vật liệu nạo vét. Trong đó, GIS đóng vai trò phân tích không gian, phân tích đa chỉ tiêu đóng vai trò đánh giá mức độ phù hợp của các khu vực và vị trí theo các tiêu chí kinh tế - xã hội, sinh thái và môi trường. Trong bài toán lựa chọn vị trí tối ưu cho đổ vật liệu nạo vét, quan trọng nhất là xác định các tiêu chí cần đánh giá. Bước tiếp theo là đánh giá so sánh các thành phần: Lượng hóa các tiêu chí, xác định tầm quan trọng tương đối của những phương án tương ứng với mỗi tiêu chí. Việc chồng lớp thông tin trong GIS chỉ được thực hiện sau khi đã xác định và thu thập đầy đủ thông tin cần thiết để đạt được mục tiêu xác định được vị trí đổ phù hợp có tính đến việc so sánh các tác động về môi trường - kinh tế - xã hội.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Thực trạng nạo vét luồng hàng hải và đổ vật liệu bùn cát do nạo vét ở vùng biển Hải Phòng

Hiện nay, hoạt động nạo vét luồng hàng hải ở Hải Phòng cơ bản được chia ra hai hình thức: Hoạt động nạo vét thi công xây dựng cầu cảng, bến cảng, luồng hàng hải và các công trình khác và nạo vét thi công luồng hàng hải mới như Lạch Huyện và thi công các công trình khác như Cầu Tân Vũ - Lạch Huyện, cầu Hoàng Văn Thụ, cầu Bạch Đằng. Theo tính toán của Tổng công ty Bảo đảm An toàn hàng hải miền Bắc, lượng bùn cát sạ bồi hằng năm vào luồng cảng ở Hải Phòng cần nạo vét lên

đến 2,5–3 triệu tấn, chưa kể khối lượng nạo vét khi xây dựng cảng Lạch Huyện. Kinh phí hàng năm dành cho việc duy tu nạo vét định kỳ đối với các tuyến luồng ra vào cảng Hải Phòng ước tính nhỏ nhất cũng phải từ 40–50 tỷ đồng.

Theo kết quả nghiên cứu của đề tài ĐT.MT.2015.721 và dự án xây dựng cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện giai đoạn khởi động, thành phần cơ học vật liệu nạo vét chủ yếu là bùn và sét (chiếm 57,1%), bột đường kính nhỏ hơn 0,1 mm chiếm 14,1% và cát đường kính 0,1–0,5 mm chiếm 28,6%, không có khả năng sử dụng cao trong san lấp, đồng thời có khả năng phát tán mạnh trong môi trường nước. Trong khi đó, vật liệu lắng đọng chủ yếu từ TLL trong giai đoạn gần đây và vật liệu nạo vét có thành phần hóa học môi trường không chứa chất phóng xạ cũng như hàm lượng các chất ô nhiễm đều nằm trong giới hạn cho phép theo QCVN 10-MT:2015/BTNMT.

Vị trí đổ vật liệu nạo vét là vấn đề cấp bách ở Hải Phòng. Hiện nay, Hải Phòng có một số bãi đổ vật liệu nạo vét đang hoạt động như sau:

Các vị trí đổ ven bờ và trên đất liền gồm: các vị trí tại khu đất thuộc Trạm quản lý luồng Vật Cách (Nhà Vàng), vị trí bãi thuộc khu vực xã Dương Quan, huyện Thủy Nguyên; bãi B-3 trên Đảo Vũ Yên - huyện Thủy Nguyên; Khu vực phía nam kênh Cái Tráp. Hiện tại, các bãi này đều không còn khả năng chứa thêm. Năm khu khác đã được qui hoạch gồm: Khu vực đang san lấp mặt bằng thuộc Khu công nghiệp Nam Đình Vũ, khả năng chứa 4 triệu m³; Khu vực xã Nghĩa Lộ, Đông Bài có khả năng chứa 2,4 triệu m³; Khu vực nam đảo Cát Hải có khả năng chứa 44 triệu m³; Khu du lịch quốc tế Đồi Rồng (Đồ Sơn) có khả năng chứa 1,8 triệu m³; Khu vực quai đê lấn biển Tiên Lãng có khả năng chứa 61.500.000 m³. Các khu vực đổ thải ven bờ Hải Phòng được qui hoạch hiện nay có thể tiếp nhận một lượng khá lớn bùn cát do nạo vét. Tuy nhiên, khó khăn liên quan đến chi phí rất lớn cho vận chuyển vật liệu nạo vét đến nơi đổ, xây dựng đê bao tạo các vùng cách ly để ngăn dòng bùn cát trở lại, phát tán ra xung quanh sau khi đổ thải. Ngoài ra hầu hết những khu vực đổ dự kiến ở vùng ven bờ hiện nay đã được giao cho các tổ chức, cá nhân khai thác, quản lý, vì vậy nếu sử dụng, cần có kế hoạch thu hồi, đền bù, đánh giá tác động môi trường...

Các vị trí đổ ngoài biển đã và đang hoạt động gồm 4 khu vực: khu vực 1 cách đảo Hòn Dấu khoảng 5 km, độ sâu khoảng –5,0 m (so với số “0” Hải đồ) (20°41’56”N; 106°51’19”E); khu vực 2 cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 6 km về phía đông Nam, độ sâu khoảng –20 m, đã được sử dụng nhiều năm và hiện nay không có khả năng tiếp nhận thêm vật liệu nạo vét; khu vực 3 cách cảng cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện khoảng 20–25 km về phía đông nam, đã được lựa chọn cho dự án cảng cửa ngõ quốc tế Lạch Huyện, độ sâu khoảng 20–25 m, khả năng chứa khoảng 75 triệu m³ và được giới hạn bởi các tọa độ sau: A (20°35’24,9”, 106°56’20,6”), C (20°36’33,00”, 106°58’57,4”), D (20°34’05,4”, 107°00’09,72”), E (20°32’57,3”, 106°57’33,00”).

Hiện trạng môi trường và hệ sinh thái vùng cảng biển Hải Phòng

Môi trường nước vùng cảng biển Hải Phòng được đánh giá với các thông số thuộc nhóm dinh dưỡng, chất hữu cơ, dầu mỡ, xyanua. Các kết quả nghiên cứu, đánh giá của đề tài ĐT.MT.2015.721 cho thấy: Nitrit có biểu hiện ô nhiễm ở khu vực ven biển về mùa mưa so với giới hạn cho phép của Bộ Thủy sản cũ. Nitrat chưa có biểu hiện ô nhiễm, amoni (NH₄⁺) có biểu hiện ô nhiễm cục bộ ở một vài nơi ven biển vào mùa mưa, phosphat có hàm lượng vượt giới hạn cho phép trong QCVN 10-MT:2015/BTNMT đối với vùng nuôi trồng thủy sản, bảo tồn thủy sinh (là 200 µg/l) ở một số khu vực cửa sông ven bờ, gần các điểm nguồn thải. Oxy hoà tan có hàm lượng trong giới hạn cho phép, nhu cầu oxy sinh hoá (BOD₅) và COD đều xấp xỉ giới hạn cho phép (QCVN 10-MT:2015/BTNMT). Dầu mỡ có biểu hiện gây ô nhiễm ở vùng cửa sông Bạch Đằng và cửa Lạch Huyện. Coliform và xyanua có giá trị trong giới hạn cho phép (QCVN 10-MT: 2015/BTNMT). Môi trường trầm tích vùng cảng biển chưa có biểu hiện ô nhiễm ở tất cả các nhóm thông số về dinh dưỡng, chất hữu cơ và kim loại nặng.

Hệ sinh thái (HST) rừng ngập mặn có 31 loài thực vật ngập mặn, diện tích gần 18 nghìn ha, phân bố chính ở khu vực Phù Long, Cát Hải, cửa Bạch Đằng, Cầm, Lạch Tray, Bàng La, Văn Úc, cửa Thái Bình. Các nhóm sinh vật sống trong RNM có rong biển 7 loài thuộc rong

lam, rong lục, rong đỏ; động vật đáy có các nhóm: Nhóm sống trên cây với hai loài ốc, nhóm phân bố dạng khảm với loài hàu, hà, nhóm sống trên bề mặt nền đáy với các loài ốc thuộc nhóm thân mềm chân bụng, nhóm sống trong nền đáy với cua bùn (*Scylla serrata*), tôm gõ mõ (*Alpheus*), tôm tít (*Squilla*), sò (*Arcidea*), sêu đất (*Sipunculidae*), ngán (*Eamesiella corrugata*), nhóm sống trong thân cây với họ Teredinidae, nhóm di cư tạm thời bao gồm các con non, các cá thể trưởng thành của các nhóm tôm, cua: Tôm he (*Penaeus*), tôm rảo (*Metapenaeus*), cua bùn (*Scylla serrata*); Nhóm cá khoảng 90 loài; Nhóm chim gồm chim biển, chim trên đảo, chim ven bờ, chim di cư; Ngoài ra còn có bò sát, ong sống trong thân cây ngập mặn [9].

HST vùng triều gồm 3 dạng sinh cảnh chính: Bãi triều cát ven các đảo khu vực Cát Bà, Đồ Sơn, bãi triều rạn đá ở khu vực Cát Bà, Long Châu và bãi triều đáy bùn, bùn cát ven biển Hải Phòng kéo dài từ Đồ Sơn đến cửa Thái Bình, khu vực cửa Cấm, Bạch Đằng. Nhìn chung, các loài động vật đáy rất đa dạng và tập trung đông đúc tại các bãi triều ở vùng ven biển Hải Phòng. Tuy nhiên, sự phân bố của chúng lại không đều, phụ thuộc vào chất đáy. Phong phú về số loài là các bãi triều đáy bùn, bùn cát ven biển [10].

HST san hô chỉ phân bố ở khu vực đông nam đảo Cát Bà và đảo Long Châu với 177 loài san hô. Mặc dù phân bố trên phạm vi hẹp của vùng biển ven bờ Hải Phòng, đây là HST có tính đa dạng sinh học cao đặc biệt. Ngày nay, giá trị này càng được nổi trội khi môi trường biển ven bờ suy thoái kéo theo sự suy thoái nguồn lợi hải sản ven bờ, nhiều loài sinh vật bị đe dọa diệt chủng. Sự tồn tại của HST rạn san hô là cơ sở để bảo tồn nguồn gen và bảo vệ tính đa dạng sinh học biển [11].

HST đáy mềm có thể là đối tượng chịu ảnh hưởng nhiều nhất khi đổ vật liệu nạo vét ở vùng biển. Ở Hải Phòng, HST đáy mềm gồm phần đáy biển rộng lớn cùng với các thủy vực nước bao quanh phần đáy biển. Bốn nhóm sinh vật điển hình cho HST này là động vật đáy với 340 loài, 186 giống, 84 họ thuộc 4 ngành. Kết quả khảo sát năm 2015–2016 của đề tài ĐT.MT.2015.721 ở vùng ven biển Hải Phòng cho thấy ở vùng nước từ 10 m đến 30 m độ sâu

phát hiện 60 loài động vật đáy, kém đa dạng nhất so với vùng triều, rừng ngập mặn, vùng cửa sông và vùng rạn san hô. Chỉ số đa dạng H' trung bình 1,02, nhiều trạm khảo sát chỉ phát hiện có một loài thậm chí một số điểm lấy mẫu không thu được loài sinh vật đáy nào. Trong vùng khảo sát có một số loài có giá trị kinh tế như tôm rảo, tôm tít, vẹm xanh, ngao, sò... với mật độ và sinh lượng thấp. Ngoài ra, có khoảng 400 loài và dưới loài thực vật phù du, 131 loài động vật phù du, 196 loài cá biển.

Ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường của vật liệu nạo vét ở các vị trí đổ trên biển

Các ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường chủ yếu của hoạt động nạo vét luồng hàng hải và đổ ở Hải Phòng đã được nhận dạng bao gồm: Làm tăng hàm lượng TTLL; làm thay đổi địa hình đáy ở khu vực đổ thải vật liệu nạo vét, biến đổi nơi sinh cư, bãi giống bãi đẻ, ảnh hưởng xấu đến các HST có giá trị bảo tồn như các HST san hô, cỏ biển, rừng ngập mặn thuộc vùng biển đảo Cát Bà và tác động đến một số lĩnh vực sản xuất, dịch vụ như nuôi trồng, khai thác hải sản ven bờ Hải Phòng, du lịch biển ở Đồ Sơn - Cát Bà.

Tăng hàm lượng TTLL, gây đục nước là một trong những tác động chính do hoạt động đổ bùn cát do nạo vét. Ở ba khu vực biển hiện đang sử dụng để đổ bùn cát ở Hải Phòng, kết quả mô hình số trị 3 chiều (Delft3D) cho thấy những ảnh hưởng nhất định đến từng vùng biển khác nhau theo các pha triều và mùa gió (bảng 1) với hàm lượng TTLL tăng trong khoảng 3–8 mg/l. Đồng thời, xu hướng di chuyển của dòng bùn cát tại các điểm B1, B2 chủ yếu là về phía nam-tây nam, ít tác động đến các khu vực ven bờ Cát Bà, Long Châu và Đồ Sơn. Ngược lại, ở khu vực bãi đổ A1, dòng bùn cát di chuyển ra phía ngoài đi lên phía bắc nhiều hơn, có thể sẽ trở lại vùng cửa Lạch Tray, Nam Triệu gây bồi lắng cho các khu vực đó (bảng 2). Kết quả mô phỏng cho thấy dòng bùn cát di chuyển ra ngoài nhỏ, có giá trị gần như tương đương nhau giữa các mùa, điều này cho thấy phần lớn lượng bùn cát lắng đọng tại các vị trí đổ. Vì vậy địa hình đáy biển ở vùng bãi đổ được nâng cao và làm thay đổi chế độ động lực biển. Mô phỏng dự báo trong điều kiện sóng gió lớn, quá trình bồi - xói mạnh lên ở khu vực ven biển Hải Phòng. Khi đó, khu vực

A1 đã có sự thay đổi mạnh về địa hình nền đáy với đặc điểm bồi xói xen kẽ theo hướng tác động của trường sóng gió. Nhưng tại các vị trí ngoài khơi (B1 và B2), địa hình nền đáy hầu như không thay đổi đáng kể khi xuất hiện sóng

gió lớn theo các hướng khác nhau. Sự thay đổi địa hình đáy tại bãi đổ cũng làm thay đổi sinh cảnh của HST đáy mềm khu vực bãi đổ. Tuy nhiên, khu vực bãi đổ có khu hệ sinh vật nghèo nàn và không có các loài quý hiếm cần bảo vệ.

Bảng 1. Ảnh hưởng tăng độ đục do đồ vật liệu nạo vét ở vùng biển Hải Phòng hiện tại

Mùa	Pha triều	Vùng biển bị ảnh hưởng từ vị trí đổ vật liệu nạo vét		
		A1	B1	B2
Mùa khô	Triều lên	Cửa Cấm - Bạch Đằng	Đông nam Cát Bà	Ven bờ Cát Hải và cửa Nam Triệu
	Triều xuống	Phía ngoài bán đảo Đồ Sơn	Vùng biển phía nam, xa bờ	Vùng biển phía nam và tây nam, xa bờ
Mùa mưa	Triều lên	Tây nam Cát Hải	Tây, tây nam đảo Cát Bà	
	Triều xuống	Nam, đông nam vùng biển Hải Phòng	Vùng nước phía tây bãi đổ B1, đông nam Cát Bà và Long Châu khi có gió Tây Nam	Vùng nước nam, tây nam bãi đổ, bờ tây Cát Bà khi có gió Tây Nam

Nguồn: Đề tài ĐT.MT.2015.721.

Bảng 2. Dòng bùn cát ($m^3/ngày$) di chuyển từ khu vực A1, B1 và B2 ra vùng xung quanh

Bãi đổ	Mùa	Hướng di chuyển từ vị trí đổ ra xung quanh								Tổng cộng
		NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	
A1	Khô	24,5	36,5	24,5	5,5	7,2	27,6	18,6	4,9	149,3
	Mưa	25,6	38,1	25,6	6,4	7,3	25,2	17,0	5,7	150,9
B1	Khô	35,1	44,0	45,4	21,3	24,1	77,6	69,5	35,0	352,0
	Mưa	31,4	39,0	40,5	28,9	30,9	79,2	70,8	33,6	354,2
B2	Khô	23,0	25,4	26,2	3,5	14,1	97,3	86,7	22,0	298,3
	Mưa	21,5	22,6	23,5	9,2	19,9	100,0	89,0	24,0	309,8

Nguồn: ĐT.MT.2015.721.

Ngoài ra, việc đổ chất nạo vét ở các bãi đổ hiện nay trên biển cũng có những ảnh hưởng tiêu cực nhất định đến một số ngành, chủ yếu là khai thác hải sản và du lịch. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng lan truyền chất nạo vét cho thấy khu vực du lịch ở Đồ Sơn và Cát Bà ít chịu ảnh hưởng do dòng bùn cát chủ yếu di chuyển quanh các vị trí đổ. Đối với ngành khai thác hải sản, thì khu vực bãi đổ không phải là ngư trường quan trọng hoặc bãi giống, do vậy tác động tiêu cực đến ngành này cũng không đáng kể. Riêng với ngành hàng hải và hoạt động cảng thì khả năng di chuyển vật liệu nạo vét từ bãi đổ về bồi lấp lại các luồng lạch sẽ là tác động cần tính đến.

Xác định các vị trí đổ vật liệu nạo vét trên biển ở Hải Phòng
Thiết lập bài toán

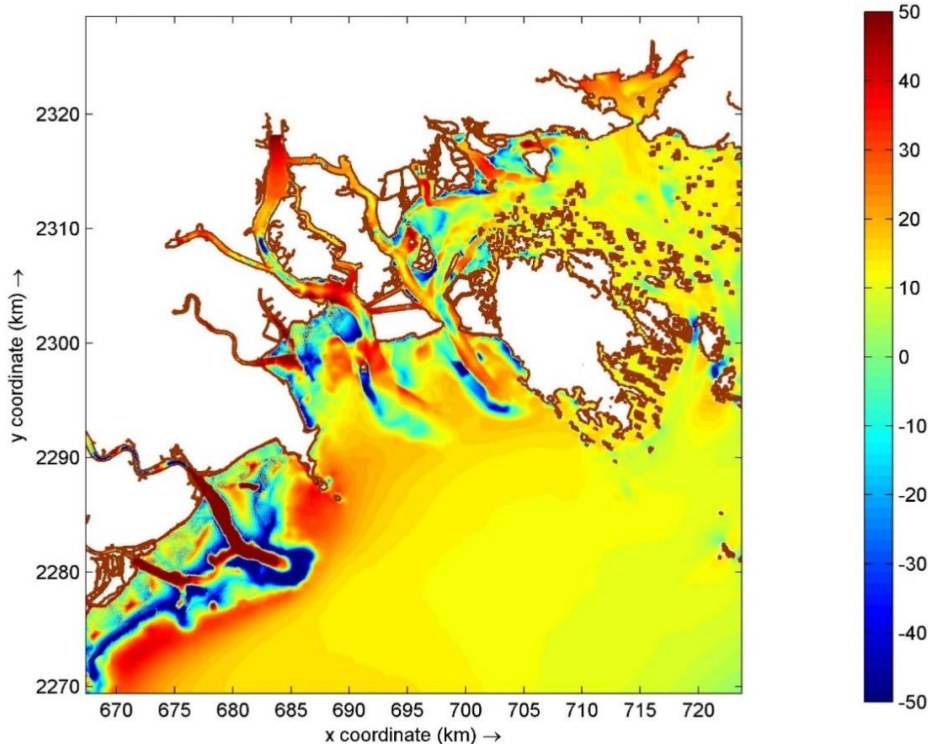
Việc đánh giá khả năng lựa chọn vị trí phải thỏa mãn ở mức độ chấp nhận được theo các

nhóm tiêu chí được thiết lập trên nguyên tắc giảm thiểu mọi tác động môi trường đến khu vực đổ chất nạo vét và xung quanh, cụ thể theo sáu nguyên tắc: Không gây bồi lắng ngược lại luồng hàng hải hoặc các công trình khác; không phát tán chất ô nhiễm tác động đến khu bảo tồn tự nhiên, danh thắng, gây tổn thất đa dạng sinh học; ít hoặc ảnh hưởng mức tối thiểu đến hoạt động kinh tế khác trong vùng; vùng lựa chọn có qui mô đủ lớn để duy trì hoạt động ổn định lâu dài, an toàn cho quá trình vận chuyển và chi phí không quá lớn; phù hợp và tuân thủ được các quy định về luật pháp có liên quan; không tạo ra các xung đột về môi trường và lợi ích, ưu tiên các lợi ích kết hợp. Trên cơ sở sáu nguyên tắc trên đồng thời tiếp cận sử dụng bền vững tài nguyên và bảo vệ môi trường biển, ba nhóm tiêu chí đã được xây dựng gồm: Nhóm tiêu chí về điều kiện tự nhiên, nhóm tiêu chí về kinh tế - xã hội và nhóm tiêu chí về môi trường - sinh

thái. Tiêu chí về điều kiện tự nhiên gồm 2 tiêu chí phụ là độ sâu đáy (với các 4 thuộc tính theo độ sâu khác nhau từ nhỏ hơn 6 m đến lớn hơn 30 m) và khả năng tích tụ trầm tích (xói lở và bồi tụ). Tiêu chí về kinh tế - xã hội gồm 4 tiêu chí phụ là: khoảng cách đến khu dân cư, điểm du lịch, khoảng cách đến luồng tàu, khoảng cách đến khu nuôi trồng thủy sản và khoảng cách đến các khu bảo tồn, bảo vệ biển. Tất cả các tiêu chí phụ thuộc tiêu chí về kinh tế - xã hội đều có các thuộc tính (< 5 km, 5–10 km và > 10 km). Tiêu chí về môi trường-sinh thái gồm 5 tiêu chí phụ là: HST san hô, HST rừng ngập mặn, HST cỏ biển, HST tầng áng và phân bố sinh vật đáy (trong HST đáy mềm). Mỗi tiêu chí phụ HST đều có 3 thuộc tính về khoảng cách (< 5 km, 5–10 km và > 10 km), tiêu chí phân bố sinh vật đáy có thuộc tính là chỉ số đa dạng sinh học ($H' < 1$, $1 < H' < 3$ và $H' > 3$). Các tiêu chí này cũng là đầu vào cho việc phân tích đa tiêu chí sử dụng GIS kết hợp mô hình số trị để phân vùng và lựa chọn các vị trí phù hợp nhất với sáu nguyên tắc đã nêu.

Mô phỏng biến động địa hình đáy biển

Kết quả mô phỏng biến động địa hình đáy chính là tích hợp tất cả các điều kiện thủy thạch động lực, bồi xói của khu vực trong tất cả các điều kiện thời tiết khác nhau. Vì vậy, có thể dùng kết quả mô phỏng biến động địa hình làm đại diện cho các tiêu chí tự nhiên, làm đầu vào cho mô hình GIS. Tổng hợp tất cả các kịch bản mô phỏng bằng mô hình số trị Delft3D với khoảng độ cao sóng, vận tốc gió, hướng truyền sóng tới và dòng nước-bùn cát từ sông đưa ra đã cho bức tranh chung về biến động địa hình đáy trung bình năm ở vùng biển ven bờ Hải Phòng như sau: Xu thế bồi tụ vẫn là chủ yếu với giá trị phổ biến trong khoảng 10–40 mm/năm [12]. Một số khu vực bồi tụ với tốc độ cao là ven bờ phía bắc Đình Vũ, cửa Nam Triệu, tây nam Cát Hải và tây nam Đồ Sơn. Dưới những ảnh hưởng do tương tác sóng-dòng chảy sông-triều, hình thành một số khu vực xói lở ở gần bờ. Tuy nhiên, những vùng bồi xói này liên tục biến đổi, thay đổi theo các điều kiện thủy động lực. Ở phía ngoài khơi, xu thế bồi tụ được thể hiện với tốc độ bồi khoảng 10–25 mm/năm và khá ổn định do ít chịu ảnh hưởng của các trường sóng gió (hình 1).



Hình 1. Tổng hợp biến động địa hình đáy trung bình năm (mm) ven bờ biển Hải Phòng [12]

Phân tích đa tiêu chí sử dụng GIS

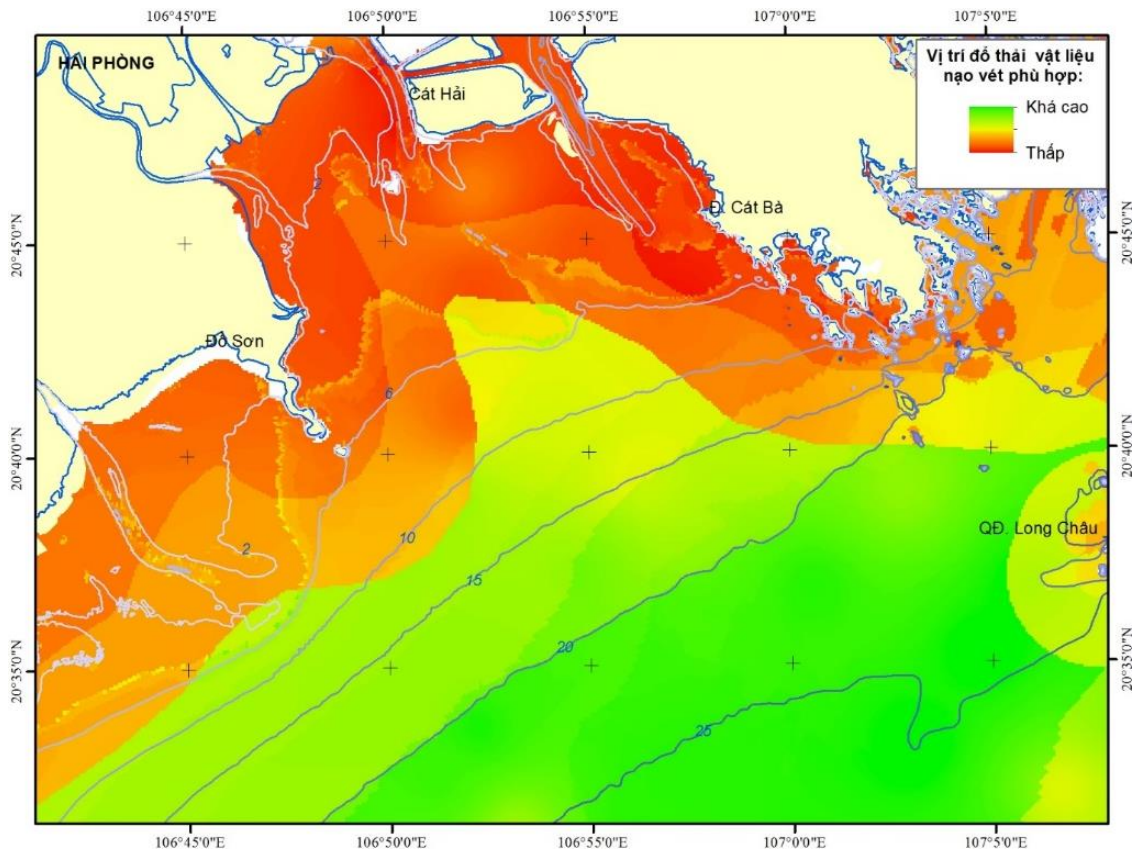
Kết quả phân tích đa tiêu chí trong GIS sử dụng tổng hợp kết quả mô phỏng biến động địa hình đáy và các tiêu chí kinh tế - xã hội, môi trường, sinh thái đã thiết lập trên cho thấy mức độ phù hợp cho việc đổ vật liệu nạo vét với các trọng số phù hợp nằm trong khoảng từ 0–1. Các vị trí có trọng số càng tiệm cận.

Giá trị đạt tới 1 là các vị trí thỏa mãn được tất cả các tiêu chí về điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội và môi trường - sinh thái, do đó sẽ là vị trí phù hợp nhất cho việc đổ vật liệu nạo vét và ngược lại các vị trí có giá trị càng gần với 0 là các vị trí không phù hợp. Các lớp thông tin đầu vào bao gồm: Điều kiện dòng chảy, khả năng bồi lắng, sơ đồ luồng tàu, bản đồ địa hình đáy (độ sâu), khu dân cư, du lịch ven biển, phân bố HST san hô, cỏ biển, rừng ngập mặn, phân bố động vật đáy, vườn Quốc gia Cát Bà... Các lớp thông tin được phân tích, phân vùng, đánh giá mức độ phù hợp các thuộc tính của đối tượng không gian. Trên cơ sở đó, các thuộc tính được

gán trọng số theo mức độ phù hợp. Việc gán trọng số không chỉ xác định mức độ phù hợp của các thuộc tính mà còn có vai trò đồng nhất dữ liệu để có thể tiến hành chồng lớp trong GIS. Trọng số được xác định thông qua đánh giá so sánh các chuỗi cặp thuộc tính của các yếu tố liên quan về khả năng phù hợp của các pixel được đánh giá. Quy trình đánh giá xác định trọng số được thực hiện theo ma trận cặp đôi Saaty [12]. Trọng số của các nhóm tiêu chí có sự khác biệt không đáng kể, trong đó các tiêu chí về điều kiện tự nhiên và môi trường có trọng số cao hơn so với tiêu chí kinh tế - xã hội (bảng3).

Bảng 3. Trọng số của các tiêu chí trong lựa chọn vị trí đổ bùn cát do nạo vét

STT	Tiêu chí	Trọng số
1	Điều kiện tự nhiên	0,36
2	Kinh tế xã hội	0,31
3	Sinh thái – môi trường	0,33



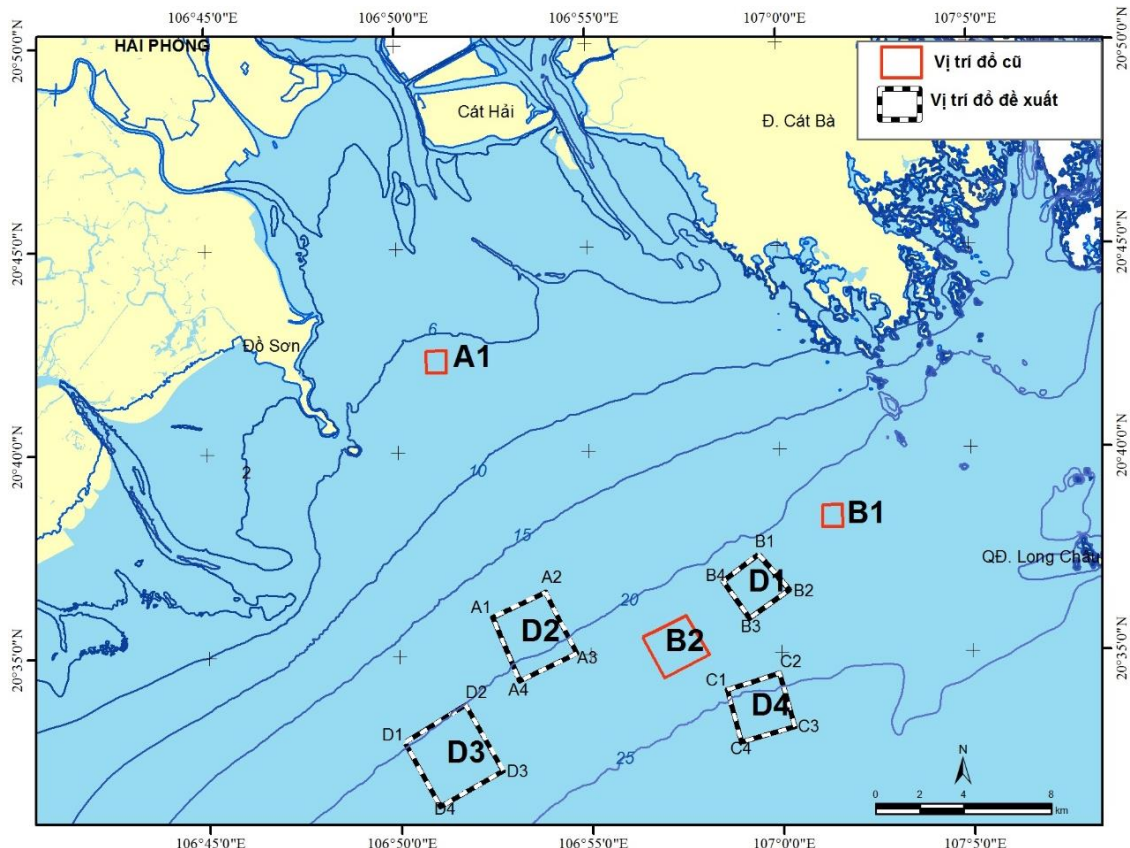
Hình 2. Sơ đồ phân vùng mức độ phù hợp cho đổ bùn cát do nạo vét trên biển (ĐT.MT.2015.721)

Mỗi tiêu chí lại gồm các tiêu chí phụ, thuộc tính khác nhau và có tầm quan trọng khác nhau đối với việc lựa chọn vị trí đổ và được xác định trọng số theo ma trận Saaty [12]. Bản đồ đánh giá mức độ phù hợp cho đổ vật liệu nạo vét được xây dựng bằng cách tổ hợp có trọng số các lớp thông tin về điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, sinh thái - môi trường trong phần mềm GIS. Theo đó, các khu vực có mức độ phù hợp cho đổ bùn cát từ trung bình đến khá cao nằm ở phía tây nam vùng biển ven bờ Hải Phòng, từ độ sâu 18 m đến sâu hơn (hình 2).

Đánh giá tổng hợp lựa chọn vị trí bãi đổ

Với kết quả phân vùng các khu vực bãi đổ có khả năng phù hợp, 4 vị trí bãi đổ có mức độ phù hợp từ trung bình đến khá cao đã được lựa chọn để đánh giá khả năng chứa của từng vị trí (hình 3), gồm: **Vị trí D1:** Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 15 km về phía nam, phía tây điểm B2, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 17 km và 24 km, độ sâu khoảng 18–22 m, diện tích khoảng 8,66 triệu m². **Vị trí D2:** Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 21 km về phía nam, phía tây nam điểm B2, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 25 km và 29 km, độ sâu khoảng 20–23 m, diện tích khoảng 11,0 triệu m². **Vị trí D3:** Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 13,5 km về phía đông nam, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 17 km và 15 km, phía đông nam điểm B2, độ sâu khoảng 25–27 m, diện tích khoảng 6,2 triệu m².

luồng Lạch Huyện khoảng 8 km về phía đông nam, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 12 km và 13,2 km nằm giữa vị trí điểm B1 và B2, độ sâu khoảng –22 m, diện tích khoảng 4,48 triệu m². **Vị trí D4:** Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 15 km về phía nam, phía tây điểm B2, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 17 km và 24 km, độ sâu khoảng 18–22 m, diện tích khoảng 8,66 triệu m². **Vị trí D3:** Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 21 km về phía nam, phía tây nam điểm B2, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 25 km và 29 km, độ sâu khoảng 20–23 m, diện tích khoảng 11,0 triệu m². **Vị trí D4:** Cách phao số “0” luồng Lạch Huyện khoảng 13,5 km về phía đông nam, cách Cát Bà và Long Châu lần lượt 17 km và 15 km, phía đông nam điểm B2, độ sâu khoảng 25–27 m, diện tích khoảng 6,2 triệu m².



Hình 3. Các vị trí bãi đổ đề xuất ở vùng bờ biển Hải Phòng (ĐT.MT.2015.721)

Khả năng chứa của các vị trí đổ được tính toán một cách tương đối dựa theo diện tích của

các vị trí đổ và độ sâu hiện tại của các vị trí đề xuất. Với giá thiết chỉ đo cho đến khi độ sâu

của các bãi đổ lên tới 15 m (so với 0 Hải đồ), ở độ sâu này, bùn cát ở lớp đáy ít bị ảnh hưởng do tác động của sóng. Các kết quả tính toán về khả năng chứa của mỗi khu vực được tổng hợp (bảng 4) cho thấy 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 đầm đổ này có thể sử dụng trong khoảng 40–50 năm.

Bảng 4. Đánh giá khả năng chứa của các vị trí đề xuất

Khu vực	Diện tích (triệu m ²)	Độ sâu trung bình (m)	Độ sâu sau tiếp nhận bùn cát (m)	Thể tích bùn cát có thể tiếp nhận thêm (triệu m ³)
D1	4,48	21,0	6,0	26,9
D2	8,66	19,5	4,5	39,0
D3	11,00	21,5	6,5	71,5
D4	6,20	26,0	11,0	68,2

Nguồn: ĐT.MT.2015.721.

Với 4 khu vực đề như trên, vị trí khu vực D1 gần phao số 0 luồng Lạch Huyện nhất sẽ là vị trí ưu tiên sử dụng trước tiên. Trong những năm tiếp theo khi điều kiện phương tiện kỹ thuật chuyên chở hiện đại hơn sẽ đổ ở các khu vực D2, D3 và D4.

THẢO LUẬN

Khả năng lựa chọn khu vực và các vị trí đổ vật liệu nạo vét đảm bảo giảm thiểu các tác động môi trường, sinh thái và kinh tế xã hội biểu hiện thông qua hai yếu tố cơ bản: Biến động địa hình đáy biển gây biến đổi các sinh cảnh, hệ sinh thái, điều kiện động lực biển và phát tán các chất ô nhiễm mà chủ yếu là TTLL ảnh hưởng đến các hệ sinh thái, nguồn lợi và các ngành kinh tế.

Biến động địa hình đáy ven biển Hải Phòng

Kết quả đánh giá tốc độ bồi tụ đáy biển bằng mô hình trong nghiên cứu này (10–25 mm/năm, hình 2) cao hơn so với kết quả nghiên cứu gần đây dựa trên phương pháp nuclit phóng xạ ²¹⁰Pb và ¹³⁷Cs (khoảng từ 6,3–10,03 mm/năm) [14]. Sự chênh lệch này có thể do điều kiện động lực biển tác động lên đáy trong điều kiện thời tiết cực đoan liên quan đến bão và áp thấp nhiệt đới thay đổi. Phân tích từ số liệu thống kê của Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia từ 1962–2014 cho thấy trung bình 1,6 cơn bão/năm. Tuy nhiên, trong khoảng từ 1992–2014, trung bình chỉ có 1,5 cơn bão/năm. Số lượng bão lớn (từ cấp 11 trở lên) đổ bộ vào vùng ven biển Hải Phòng trong thời gian 1992–2014 cũng thấp hơn (trung bình 0,22 cơn/năm) đáng kể so với giai đoạn 30 năm

trước đó (1962–1991) với khoảng 0,4 cơn/năm. Các nghiên cứu liên quan cũng chỉ ra rằng sóng, gió cực trị tác động mạnh đến quá trình xói đáy [15] và có thể làm tăng mức độ xói đáy biển lên tới 17 lần so với các điều kiện lặng sóng [16]. Vì vậy, biến động địa hình đáy biển sau khi xuất hiện thời tiết cực đoan có thể ngang bằng với diễn biến của quá trình đó trong nhiều tháng hoặc nhiều năm [17, 18]. Như vậy, xu thế bồi ở đáy biển lớn hơn trong kết quả mô hình một phần do tác động của sự suy giảm cả về số lượng và cường độ bão và áp thấp nhiệt đới ở khu vực này trong những năm gần đây. Điều này hoàn toàn trái ngược với xu thế xói lở tăng trong những năm gần đây ở vùng ven bờ châu thổ sông Mê Kông [19, 20].

Sự phát tán, vận chuyển bùn cát từ các vị trí đổ dự kiến

Một tiêu chuẩn quan trọng để đánh giá sự phù hợp của các vị trí đổ là khả năng phát tán TTLL thấp nhất và ảnh hưởng không đáng kể tới môi trường xung quanh trong thời gian đổ và sự tái lơ lửng, vận chuyển bùn cát ra xung quanh sau khi quá trình đổ kết thúc dưới ảnh hưởng của các điều kiện động lực khác nhau [21, 22]. Các vị trí đổ được xác định trong nghiên cứu này đều nằm ở độ sâu không lớn, khoảng từ 18–27 m so với 0 Hải đồ. Tuy vậy, các kết quả tính toán phân tích với nhiều kịch bản khác nhau trong khuôn khổ đề tài ĐT.MT.2015.721 cho thấy trong quá trình đổ, vùng nước đục tầng đáy ở cả 4 khu vực dự kiến đổ (D1, D2, D3, D4) chỉ phát tán ở phạm vi hẹp do sự chuyên hướng của dòng triều và trong một số trường hợp có ảnh hưởng rất nhỏ đến

vùng biển ven bờ Cát Bà với giá trị hàm lượng TTLL tăng lên dưới 10 mg/l ở tầng đáy. Ảnh hưởng của vùng đục từ các vị trí đổ dự kiến ở các lớp nước tầng trên không đáng kể với hàm lượng TTLL phổ biến dưới 5 mg/l. Sự xuất hiện của nước đục ở khu vực các bãi đổ dự kiến chỉ diễn ra trong thời gian đổ. Rõ ràng, tải lơ lửng của bùn cát sau khi đổ rất nhỏ và hầu như không làm tăng đáng kể độ đục trong nước ở khu vực đổ dự kiến. Các kết quả mô phỏng dự báo này cũng phù hợp với kết quả quan trắc giám sát môi trường do đổ bùn cát của dự án cảng quốc tế Lạch Huyện ở bãi đổ B2 (hình 3). Các kết quả quan trắc phân tích được thực hiện bởi Trung tâm Quan trắc Môi trường Hải Phòng (Sở Tài nguyên và Môi trường Hải Phòng) cho thấy hầu hết các mẫu phân tích kiểm tra về hàm lượng TTLL, độ đục do đổ ở khu vực B2 đều thấp dưới các ngưỡng cho phép.

Nói chung, các vị trí đổ có độ sâu càng lớn càng ít tác động tiêu cực đến môi trường. Scheffner [23] 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. Đề xuất này chỉ phù hợp vùng biển sâu [22, 24, 25]. Trong điều kiện ở vùng biển ven bờ Hải Phòng, kết quả nghiên cứu cho thấy địa hình đáy rất ít biến động ở khoảng độ sâu lớn hơn 10 m trong các điều kiện động lực, sóng và gió khác nhau [12]. Với độ sâu đề xuất đổ bùn cát đến khoảng từ 15 m so với 0 Hải đồ với độ dày lớp bùn cát ở các vị trí biển đổi khoảng 4,5–11 m (bảng 4). Để đánh giá dòng bùn cát di chuyển từ các vị trí đổ dự kiến (hình 3) ra vùng biển xung quanh trong các điều kiện động lực khác nhau (lặng sóng gió, ảnh hưởng của sóng gió lớn), trong khuôn khổ đề tài ĐT.MT.2015.721, hệ thống mô hình thủy động lực-sóng vận chuyển bùn cát với các kịch bản tính toán khác nhau được thiết lập. Các kết quả tính toán, dự báo cho thấy dòng bùn cát từ các vị trí đề xuất đi ra ngoài khu vực chiếm khoảng 5–7% tổng lượng bùn cát trong thời gian đổ và không đáng kể trong điều kiện lặng sóng gió. Khi có sóng lớn (độ cao sóng 3,5–5,8 m, vận tốc gió 8–13 m/s), dòng bùn cát đi ra ngoài từ các bãi đổ dự kiến biển đổi khác nhau: Khoảng 18–32 m³/ngày tại bãi đổ D1; 18–23 m³/ngày tại bãi đổ D2, 17–32 m³/ngày tại bãi đổ D3; 17–19 m³/ngày tại bãi đổ D4. Các kết quả này cũng cho thấy sự phù hợp với

các nghiên cứu liên quan dùng mô hình để đánh giá ảnh hưởng của bùn cát do đổ chất nạo vét [26–28].

Lựa chọn vị trí đổ tối ưu dựa trên kết quả của mô hình GIS kết hợp với phân tích đa tiêu chí

Mô hình GIS kết hợp với phân tích đa tiêu chí là công cụ mạnh trong đánh giá tổng hợp nhằm lựa chọn vị trí đổ thích hợp, giảm nhẹ các tác động đến môi trường - sinh thái. Kết quả của mô hình hỗ trợ giải quyết bài toán ra quyết định lựa chọn vị trí tối ưu [29, 30]. Trong nghiên cứu này, việc lựa chọn vị trí đổ vật liệu nạo vét được tối ưu dựa trên cơ sở kết quả phân tích đa tiêu chí trong môi trường GIS với đầu vào là kết quả của mô hình vật lý thủy văn về sự phát tán và vận chuyển bùn cát và biến động địa hình đáy ven biển cùng với các dữ liệu tĩnh theo các tham số. Hạn chế của phương pháp phân tích đa chỉ tiêu là yêu cầu cao về dữ liệu đầu vào về cả chất lượng dữ liệu cũng như mức độ chi tiết của dữ liệu. Các tiêu chí được lựa chọn trong nghiên cứu phù hợp với các tiêu chí đã được sử dụng trên thế giới [31–34] và phù hợp với hoàn cảnh thực tế của vùng biển Hải Phòng. Tuy nhiên, số liệu thu thập được còn khá hạn chế, đặc biệt là các dữ liệu về phân bố không gian các loại hải sản quý trên vùng biển Hải Phòng.

KẾT LUẬN

Với nhu cầu cấp bách trong việc qui hoạch các vị trí bãi đổ vật liệu nạo vét luồng hàng hải vùng biển Hải Phòng, từ cơ sở thực tiễn và kết quả áp dụng phương pháp mô hình và phương pháp phân tích đa chỉ tiêu ở vùng ven biển Hải Phòng, có thể xác định được vùng phù hợp để qui hoạch làm bãi đổ vật liệu nạo vét. Trong đó, khu vực phù hợp nhất cho bãi đổ mà tác động môi trường đến các khu vực nhạy cảm về môi trường và sinh thái thấp nhất là vùng nước từ độ sâu 18 m trở ra phía biển và kéo dài từ khu vực cách phao số 0 luồng Lạch Huyện 7 km về phía nam đến khu vực cách luồng Lạch Huyện khoảng 22 km về phía nam. Trong vùng này, bốn vị trí được xác định bãi đổ trong nhiều năm bao gồm: Khu vực D1, D2, D3 và D4.

Lời cảm ơn: Bài báo được hoàn thành với sự hỗ trợ về tài liệu của đề tài nghiên cứu khoa

học cấp thành phố Hải Phòng: “Nghiên cứu xây dựng luận cứ phục vụ lập qui hoạch các bãi bồi bùn cát do nạo vét trên địa bàn Hải Phòng” và đề tài NĐT.01.CHN/15, các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ quý báu đó.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vinh, V. D., Ouillon, S., Thanh, T. D., and Chu, L. V., 2014. Impact of the Hoa Binh dam (Vietnam) on water and sediment budgets in the Red river basin and delta. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(10), 3987–4005, doi:10.5194/hess-18-3987-2014.
- [2] Lefebvre, J. P., Ouillon, S., Vinh, V. D., Arfi, R., Panché, J. Y., Mari, X., ... and Torréton, J. P., 2012. Seasonal variability of cohesive sediment aggregation in the Bach Dang-Cam Estuary, Hai Phong (Vietnam). *Geo-Marine Letters*, 32(2), 103–121.
- [3] Mari, X., Torréton, J. P., Trinh, C. B. T., Bouvier, T., Van Thuoc, C., Lefebvre, J. P., and Ouillon, S., 2012. Aggregation dynamics along a salinity gradient in the Bach Dang estuary, North Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 96, 151–158.
- [4] Vu Duy Vinh, Tran Duc Thanh, 2012. Application numerical model to study on maximum turbidity zones in Bach Dang estuary. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 12(3), 1–12. Doi: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/12/3/2369>
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] World Ocean Atlas, 2013. Version 2 (WOA13 V2). Available online: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/> (accessed on 20 April 2016).
- [8] Hydraulics, D., 2014. Delft3D-Flow user’s manual: simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments. *Deltares, Delft, The Netherlands*, 1–683.
- [9] Nguyen Thi Minh Huyen, Nguyen Thi Thu, Do Manh Hao, Le Thi Thanh, 2013. Some studied data on the current status of mangrove ecosystem in Phu Long (Cat Hai - Haiphong). *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 13(1), 41–50.
- [10] Do Thi Thu Huong, Tran Dinh Lan, 2013. DPSIR analysis for tidal wetland ecosystems in Hai Phong. *Marine Resources and Environment (Collection of Research Works)*, XVII. *Sciences and Technics Publishing House*, ISBN: 978-604-913-106-6. Pp. 31–39.
- [11] Do Cong Thung, Le Thi Thuy, Do Van Khuong, 2014. Zoobenthos biodiversity in coastal areas of islands in Vietnam’s sea. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 14(3A), 103–112.
- [12] Vu Duy Vinh, Tran Dinh Lan, 2018. Influences of the wave conditions on the characteristics of sediments transport and morphological change in the Hai Phong coastal area. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 18(1), 10–26. Doi: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/18/1/9045>
- [13] Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process* Mcgraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70.
- [14] Bui Van Vuong et al., 2013. Initial results of study in sedimentation rate and geochronology of modern sediments in the Bach Dang estuary by the methods of ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs radio tracer. *Proceedings of the second national scientific conference on Marine geology, Ha Noi-Ha Long*, October 2013, pp. 306–315
- [15] Dyer, K., 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. *John Wiley and Sons, Chichester, Sussex(UK)*, 1986, 358.
- [16] Yang, S. L., Friedrichs, C. T., Shi, Z., Ding, P. X., Zhu, J., and Zhao, Q. Y., 2003. Morphological response of tidal

- marshes, flats and channels of the outer Yangtze river mouth to a major storm. *Estuaries*, 26(6), 1416–1425.
- [17] Goodbred Jr, S. L., and Hine, A. C., 1995. Coastal storm deposition: Salt-marsh response to a severe extratropical storm, March 1993, west-central Florida. *Geology*, 23(8), 679–682.
- [18] Nyman, J. A., Crozier, C. R., and DeLaune, R. D., 1995. Roles and patterns of hurricane sedimentation in an estuarine marsh landscape. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40(6), 665–679.
- [19] Vu Duy Vinh, Tran Dinh Lan, Tran Anh Tu, Nguyen Thi Kim Anh, Nguyen Ngoc Tien, 2016. Influence of dynamic processes on morphological change in the coastal area of Mekong river mouth. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 16(1), 32–45, Doi: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/16/1/8016>.
- [20] Duy Vinh, V., Ouillon, S., Van Thao, N., and Ngoc Tien, N., 2016. Numerical simulations of suspended sediment dynamics due to seasonal forcing in the Mekong coastal area. *Water*, 8(6), 255.
- [21] Teeter, A. M., Moritz, H. R., Wang, H. V., and Johnson, B. H., 1999. Modeling the Fate of Dredged Material Placed at an Open Water Disposal Site in Upper Chesapeake bay, USA. In *Coastal Sediments* (pp. 2471–2486). ASCE.
- [22] 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.
- [23] Scheffner, N. W., 1991. A systematic analysis of disposal site stability. In *Coastal Sediments* (pp. 2012–2026). ASCE.
- [24] 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.
- [25] Spanhoff, R., van Heuvel, T., and de Kok, J. M., 1990. Fate of dredged material dumped off the dutch shore. *Coastal Engineering Proceedings*, (22).
- [26] 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.
- [27] Luger, S. A., Schoonees, J. S., Mocke, G. P., and Smit, F., 1998. Predicting and evaluating turbidity caused by dredging in the environmentally sensitive Saldanha bay. *Coastal Engineering Proceedings*, (26).
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] Kapsimalis, V., Panagiotopoulos, I., Kanellopoulos, T., Hatzianestis, I., Antoniou, P., and Anagnostou, C., 2010. A multi-criteria approach for the dumping of dredged material in the Thermaikos Gulf, Northern Greece. *Journal of environmental management*, 91(12), 2455–2465.
- [31] Le Canh Dinh, Tran Trong Duc, 2011. The integration of gis and fuzzy ahp for land suitability analysis. *Proceedings of the 12th Scientific and Technology conference, Ho Chi Minh city*.
- [32] Blažauskas, N., Boniecka, H., Dembska, G., Staniszevska, M., Pazikowska-Sapota, G., and Suzdalev, S., 2014. Guidelines for the location of new offshore dumping sites. 10.13140/RG.2.1.1569.8323.
- [33] Aquafact, 2012. Dumping at sea: Dumping site selection guidance note. *The Environment Protection Agency, 2012*.
- [34] Triwong, T., and Meethom, W., 2015. The criteria establishment for the dumping site selection of urban metro construction by the application of the analytical hierarchy process. *International Journal of Computer Science and Electronics Engineering*, 3(1), 17–21.