

Applying the SWAN model to predict wave fields in Hai Phong coastal area

Le Duc Cuong

Institute of Marine Environment and Resources, VAST, Vietnam

E-mail: cuongld@imer.vast.vn

Received: 26 April 2017; Accepted: 30 December 2017

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

This paper presents some results of studying the SWAN model, and application of SWAN model to simulate wave field representative of the rainy season and dry season in the coastal area of Hai Phong. During the dry season, the dominant wave direction is in a range from 60° to 100° , maximum height of waves near shore is in a range from 1,0 m to 1,5 m with wavelength of about 2,0 m to 5,0 m, maximum height of waves offshore is in a range from 2,0 m to 2,5 m with wavelength of about 6,0 m to 16 m. During the rainy season, wave height near shore is in a range from 0,2 m to 0,6 m, and that offshore is in a range from 0,8 m to 1,4 m, maximum height of waves is about 3,4 m, predominant wave directions in this season are E, SE and S. In this scenario that predicts waves generated by storms, wave height offshore is in a range from 8,0 m to 10 m with wavelength of about 60 m, and that near shore is in a range from 2,0 m to 4,0 m with wavelength of about 10–20 m.

Keywords: SWAN model, wave, Hai Phong.

Áp dụng mô hình SWAN dự báo trường sóng ven bờ biển Hải Phòng

Lê Đức Cường

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: 26-4-2017; Chấp nhận đăng: 30-12-2017

Tóm tắt

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về mô hình SWAN và áp dụng mô hình SWAN để mô phỏng trường sóng đại diện cho mùa mưa và mùa khô của khu vực ven biển Hải Phòng. Trong mùa khô, hướng sóng chiếm ưu thế nằm trong khoảng 60° – 100° , độ cao sóng lớn nhất ở khu vực ven bờ khoảng 1,0–1,5 m với tương ứng độ dài bước sóng lớn nhất khoảng 2,0–5,0 m, khu vực ngoài khơi khoảng độ cao sóng lớn nhất khoảng 2,0–2,5 m với độ dài bước sóng khoảng 6,0–16 m. Trong mùa mưa, độ cao sóng vùng bờ nằm trong khoảng từ 0,2–0,6 m, ở ngoài khơi độ cao sóng vào khoảng 0,8–1,4 m, độ cao sóng lớn nhất có thể đạt 3,4 m, hướng sóng chiếm ưu thế trong mùa này là đông, đông nam và nam. Trong kịch bản dự báo sóng trong bão, độ cao sóng ở khu vực ngoài khơi khoảng 8,0–10 m với độ dài bước sóng khoảng 60 m, ở các khu vực ven bờ độ cao sóng trong khoảng 2,0–4,0 m với độ dài bước sóng khoảng 10–20 m.

Keywords: Mô hình SWAN, sóng, Hải Phòng.

MỞ ĐẦU

Sóng biển là một yếu tố quan trọng khi nghiên cứu các quá trình liên quan đến động lực biển. Những hiểu biết đầy đủ về sóng biển và các đặc trưng của nó sẽ giúp ta giải thích và tính toán được nhiều quá trình diễn ra trong biển, đặc biệt là ở vùng ven bờ như: Biến động đường bờ, thay đổi địa hình đáy biển, tính toán áp lực sóng lên các công trình, tái phân bố trầm tích lơ lửng và các chất ô nhiễm, nước dâng do sóng. Ở Việt Nam, đã có một số nghiên cứu áp dụng mô hình SWAN mô phỏng trường sóng như [1–3]. Vùng biển ven bờ Hải Phòng có đường bờ và địa hình đáy biển đôi phức tạp, có sự tương tác mạnh mẽ sông - biển và chịu ảnh hưởng trực tiếp của gió mùa, trường sóng biển có những quy luật và đặc trưng riêng. Mặc dù đã có một số nghiên cứu có liên quan tới sóng biển ở khu vực Hải Phòng, nhưng những hiểu

biết về sóng biển và các đặc trưng của chúng vẫn còn rất hạn chế. Do đó việc nghiên cứu mô phỏng và dự báo trường sóng biển và các đặc trưng ở khu vực sẽ đóng góp thêm vào sự hiểu biết về mặt khoa học đối với vấn đề này. Về mặt thực tiễn kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp thêm thông tin và công cụ phục vụ các nghiên cứu về hiện tượng xói lở bồi tụ, biến đổi địa hình, quá trình vận chuyển và tái phân bố trầm tích lơ lửng và các chất gây ô nhiễm.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Tài liệu sử dụng

Số liệu độ sâu được số hóa từ bản đồ độ sâu khu vực ven biển Hải Phòng, sử dụng hệ tọa độ UTM, WGS84.

Số liệu trường gió ở Việt Nam trong tháng 7 và tháng 12 năm 2008, được lấy từ số liệu trường gió của tổ chức khí tượng Nhật Bản [4].

Số liệu mực nước: Sử dụng Bảng thủy triều năm 2008 tại trạm Hòn Dấu, Nhà xuất bản Quân đội Nhân dân, Hà Nội 2009.

Số liệu sóng ở biên (bước thời gian 3 h/1 số liệu) được trích xuất từ mô hình SWAN chạy cho toàn vùng Biển Đông Việt Nam trong mùa mưa và mùa khô năm 2008.

Việc thiết lập một số thông số đầu vào cho mô hình chạy theo kịch bản được lấy trên cơ sở của Thang sức gió Beaufort và phổ sóng Pierson-Moskowitz (P-M) [5, 6].

Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, mô hình sóng thế hệ thứ ba SWAN được nghiên cứu, và áp dụng để mô phỏng trường sóng khu vực ven biển Hải Phòng. Trong quá trình thực hiện, chúng tôi có

tham khảo một số tài liệu về phương pháp mô hình hóa [7] và ứng dụng ngôn ngữ lập trình Fortran [8, 9] để phân tích, định dạng trường dữ liệu đầu vào theo không gian và chuỗi thời gian và kết xuất kết quả đầu ra cho mô hình SWAN.

Cơ sở lý thuyết mô hình SWAN

Trong mô hình SWAN, các sóng được mô tả bằng phổ mật độ tác động sóng hai chiều, ngay cả khi hiện tượng phi tuyến chiếm ưu thế. Phổ sóng được xét đến trong mô hình SWAN là phổ mật độ tác động $N(\sigma, \theta)$ hơn là phổ mật độ năng lượng $E(\sigma, \theta)$. Các biến độc lập đó là tần số tương đối σ và hướng sóng θ . Sự phát triển của phổ được mô tả bằng phương trình cân bằng tác động phổ. Phương trình này viết trong hệ tọa độ Đề các có dạng như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

Phương trình (1) mô tả sự tiến triển của phổ sóng, thành phần đầu tiên trong vế trái biểu thị lượng thay đổi khu vực của mật độ tác động theo thời gian, thành phần thứ hai và thứ ba mô tả sự lan truyền của phổ mật độ tác động trong không gian địa lý (với vận tốc truyền là C_x và C_y tương ứng theo các hướng của trục x và y), thành phần thứ tư biểu thị sự thay đổi của tần số dưới ảnh hưởng của độ sâu và dòng chảy (với vận tốc truyền là C_σ). Thành phần thứ năm biểu thị sự khúc xạ do độ sâu và dòng chảy. Giá trị S trong vế phải của phương trình là giá trị hàm nguồn mật độ năng lượng đưa ra từ các hiệu ứng tạo sóng, tiêu tán và tương tác giữa các sóng.

Năng lượng gió truyền cho sóng (S_{in}) được mô tả qua hai cơ chế là cộng hưởng và phản hồi và giá trị của nó ứng với hai cơ chế trên được biểu thị bằng tổng của quá trình tăng tuyến tính và quá trình tăng theo hàm mũ và nó có dạng như sau:

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + BE(\sigma, \theta) \quad (2)$$

Trong phương trình (2): A là hệ số tăng tuyến tính, B là hệ số tăng theo hàm mũ, hệ số A và B phụ thuộc vào tần số và bước sóng đồng thời phụ thuộc vào vận tốc và hướng của gió. Tốc

độ gió đầu vào mô hình là tốc độ tại độ cao 10 m; σ và θ là tần số và hướng phổ sóng.

Ma sát đáy trong mô hình SWAN được sử dụng bằng công thức thực nghiệm của dự án JONSWAP [10] và mô hình sức cản của Collins (1972) [11]:

$$S_{ds,b}(\sigma, \theta) = -C_{bottom} \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2(kd)} E(\sigma, \theta) \quad (3)$$

Với: C_{bottom} là hệ số ma sát đáy, phụ thuộc vào tốc độ quỹ đạo chuyển động tại đáy; k là số sóng, $H = \zeta + h$ là độ sâu; E là phổ mật độ năng lượng; Hệ số C_{bottom} phụ thuộc vào quỹ đạo chuyển động dưới đáy U_{rms} . Theo mặc định, SWAN sử dụng kết quả thực nghiệm JONSWAP với $C_{bottom} = 0,038 \text{ m}^2/\text{s}^3$ [10], nhưng hệ số này có thể thay đổi tới $C_{bottom} = 0,038 \text{ m}^2/\text{s}^3$ trong điều kiện gió ở biên [12]. SWAN đã kết hợp công thức thay thế, bao gồm cả công thức của Madsen et al., (1988) [13].

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left(\frac{\sigma}{2\pi} \right) H_m^2 \quad (4)$$

Độ cao sóng cực đại được xác định trong SWAN là $H_m = \gamma d$. Chỉ số sóng vỡ thường bằng

một hằng số hoặc một hàm của độ dốc đáy hoặc độ dốc sóng tới. Trong SWAN giá trị này được lấy mặc định $\gamma = 0,73$.

Các tính năng của mô hình SWAN

Theo quá trình truyền sóng:

Truyền sóng trong không gian địa lý;
Khúc xạ sóng do thay đổi độ sâu và dòng chảy;

Biến dạng do thay đổi độ sâu và dòng chảy;
Bị chặn và phản xạ bởi dòng chảy ngược hướng;

Truyền qua, bị chặn hoặc phản xạ do các vật cản có kích thước dưới lưới.

Theo quá trình phát sinh và tiêu tán sóng:

Sự phát sinh sóng bởi gió;
Tiêu tán năng lượng do sóng bạc đầu;
Tiêu tán năng lượng do sóng đổ gây ra bởi độ sâu;

Tiêu tán năng lượng do ma sát đáy;
Tương tác giữa các sóng (bậc ba, bậc bốn);
Sự mô phỏng sóng từ phòng thí nghiệm đến quy mô toàn cầu;

Sự lan truyền và phản xạ sóng (phản hồi và khuếch tán) đối với những trở ngại.

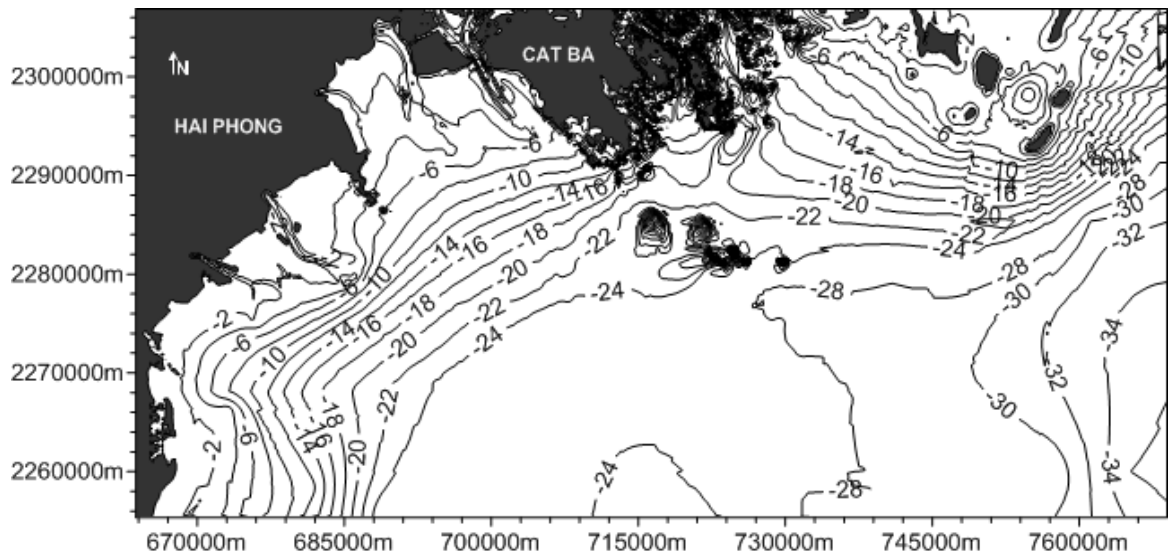
Ngoài ra, nước dâng do sóng so với mực biển trung bình cũng có thể tính được trong mô hình. SWAN là mô hình tính sóng với chế độ ổn định và không ổn định. Các tính toán của SWAN có thể được thực hiện trên lưới tuyến

tính, lưới cong và lưới tam giác trong hệ thống tọa độ cầu hoặc tọa độ Descartes.

Thiết lập mô hình SWAN và áp dụng mô phỏng trường sóng khu vực Hải Phòng

Điều kiện ban đầu, điều kiện biên: Số liệu độ sâu được số hóa từ bản đồ độ sâu khu vực ven biển Hải Phòng, sử dụng hệ tọa độ UTM, WGS84. Trường gió trong tháng 7 và tháng 12 năm 2008, được lấy từ số liệu trường gió của tổ chức khí tượng Nhật Bản (JMA). Số liệu mực nước tại trạm Hòn Dấu trong tháng 7 và tháng 12/2008. Số liệu sóng ở biên (bước thời gian 3 h/1 số liệu) được trích xuất từ việc chạy mô hình SWAN mô phỏng trường sóng áp dụng cho toàn vùng Biển Đông. Trong trường hợp mô phỏng trường sóng trong bão: Gió đầu vào là hằng số trên toàn miền tính, tốc độ gió bằng 32 m/s (tương ứng với cấp gió 12) và hướng gió trong mô hình là 160° (tọa độ Descartes). Giá trị mực nước được gán giá trị là 3,0 m. Biên sóng phía nam: Độ cao sóng 15,0 m, chu kỳ 15 s và hướng sóng 160° ; Biên sóng phía đông: Độ cao sóng 14,0 m, chu kỳ sóng 12 s và hướng sóng 200° .

Phạm vi tính toán, lưới tính: Kích thước lưới tính toán giới hạn theo trục X: 2255360 m đến 306860 m và trục Y: 663720 m đến 768970 m (hệ tọa độ Descartes: UTM, WGS84), độ dài mỗi bước lưới là 250×250 m. Phạm vi lưới độ sâu được lấy trùng với lưới tính toán.



Hình 1. Trường độ sâu khu vực ven biển Hải Phòng

Thời gian tính toán: Mô hình SWAN áp dụng tính toán trường sóng cho khu vực ven biển Hải Phòng vào hai mùa gió (Đông Bắc và Đông Nam) năm 2008: Một tháng đại diện cho mùa mưa (từ 00^h00' 1/7/2008 đến 06^h00' 31/7/2008); và một tháng đại diện cho mùa khô (00^h00' 1/12/2008 đến 06^h00' 31/12/2008). Kịch bản mô phỏng trường sóng trong bão, thời gian tính toán từ 06h00' 1/8/2012 đến 12h00' 1/8/2010. Bước tính toán cho mỗi kịch bản là 30 giây.

Hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng số liệu trung bình quan trắc nhiều năm để so sánh với kết quả tính toán của mô hình (bảng 1). Tuy

vậy, qua các kết quả tính toán và mô phỏng trường sóng cho hai mùa, ta thấy giá trị của các thông số sóng trong khu vực tương đối phù hợp với các tài liệu đã công bố trong lịch sử. Trong kịch bản mô phỏng sóng trong bão, kết quả mô phỏng cho thấy các thông số sóng (độ cao, chu kỳ, độ dài) là phù hợp với các đặc trưng của phổ P-M ứng với cấp gió Beaufort. Tuy nhiên, các thông số đầu vào cho mô hình còn hạn chế, lưới tính toán chưa được chi tiết. Số liệu trường gió, trường sóng với độ phân giải theo không gian và thời gian chưa đủ chi tiết, số liệu mực nước đầu vào cho mô hình sử dụng giá trị trung bình. Do đó, cần có những dữ liệu đầu vào chi tiết và đầy đủ hơn cho bước nghiên cứu tiếp theo.

Bảng 1. Độ cao sóng quan trắc và độ cao sóng tính toán tại khu vực ven biển Hải Phòng

Thời gian	Quan trắc (trung bình nhiều năm)		Tính toán (2008)	
	Độ cao sóng trung bình	Độ cao sóng cực đại	Độ cao sóng trung bình	Độ cao sóng cực đại
<i>Khu vực ven bờ (Cát Hải và Thái Bình)</i>				
Mùa mưa	1,0–1,2 m	4,0–5,0 m	0,6–0,8 m	1,8 m
Mùa khô	0,8 m	3,5 m	0,4–0,7 m	2,4 m
<i>Khu vực ngoài khơi (phía ngoài đảo Long Châu)</i>				
Mùa mưa	1,2–1,4 m	7,0–9,0 m	0,8–1,2 m	3,5 m
Mùa khô	1,2 m	6,0 m	0,6–1,0 m	2,4 m

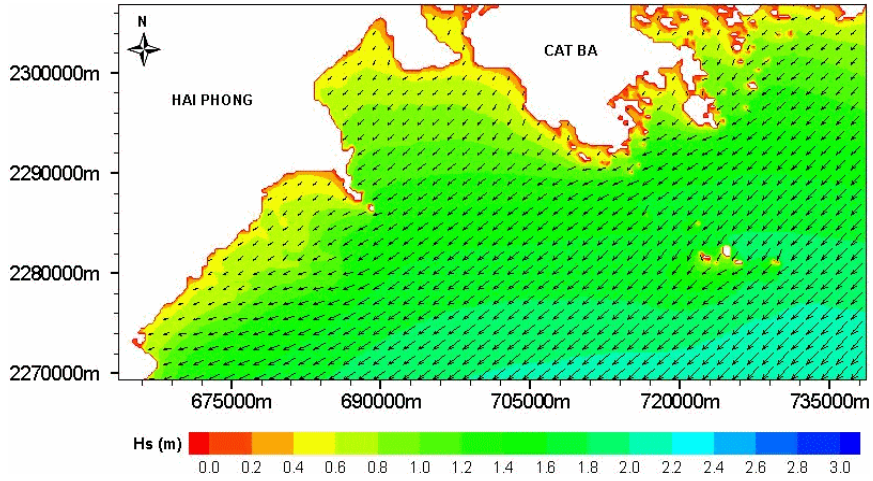
KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Mùa khô (mùa gió Đông Bắc): Trường sóng ngoài khơi chịu tác động của hướng đông bắc, kết hợp hình thái địa hình của vịnh Bắc Bộ, nên đã sóng ngoài khơi truyền vào vùng ven bờ yếu hơn so với mùa mưa, trung bình độ dài bước sóng nhỏ hơn trong so với mùa mưa, nhưng sự biến thiên của độ cao sóng lớn hơn so với mùa mưa. Trong mùa này, hướng sóng chiếm ưu thế là đông và đông bắc, các hướng khác chiếm tần suất không đáng kể. Hướng sóng trong khoảng 67,55° chiếm tần suất cao ở khu vực phía ngoài đảo Long Châu. Ở khu vực ven bờ do ảnh hưởng của địa hình đáy và hướng đường bờ nên hướng sóng thay đổi: Khu vực Cát Hải, hướng sóng chiếm ưu thế là 94°. Phía bắc mũi Đồ Sơn, hướng sóng chiếm ưu thế là 78°.

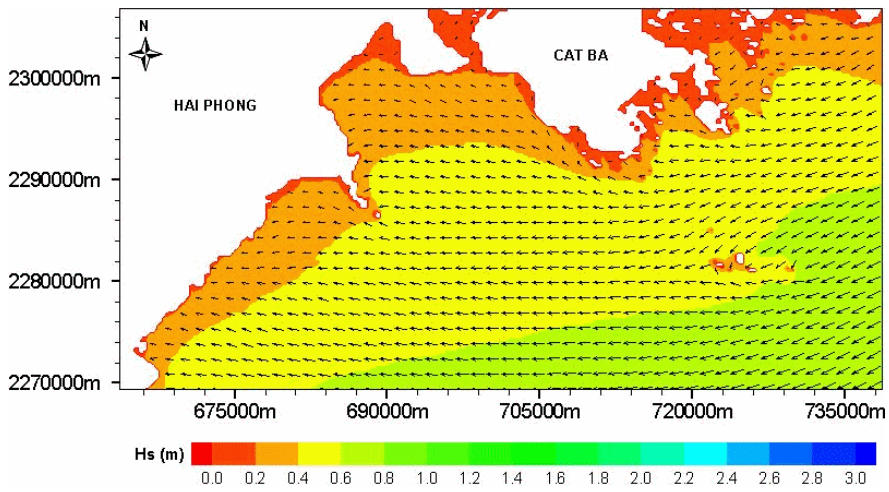
Mùa mưa (mùa gió Đông Nam): Trong mùa này, sóng có hướng nam và nam đông nam chiếm tần suất đáng kể. Độ cao sóng vùng bờ nằm trong khoảng từ 0,2–0,6 m, ở ngoài khơi độ cao sóng vào khoảng 0,8–1,4 m,

độ cao sóng lớn nhất có thể đạt 3,4 m. Trong mùa này, do chịu tác động của trường sóng đông nam từ ngoài khơi truyền vào, độ dài bước sóng lớn hơn so với mùa khô và nằm trong khoảng 3 m tới 13 m lớn nhất đạt 25 m ở khu vực ngoài khơi.

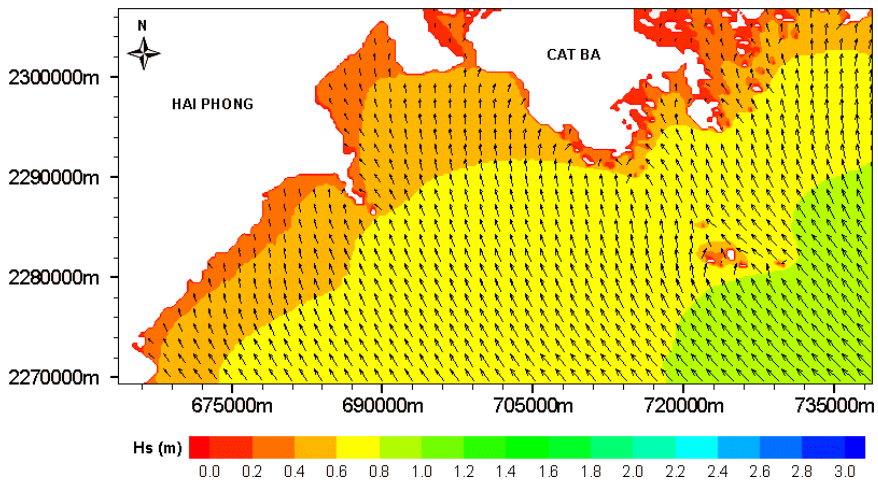
Kịch bản báo sóng trong bão: Gió đầu vào là hằng số trên toàn miền tính và không đổi trong suốt khoảng thời gian tính toán, tốc độ gió là 32 m/s (tương ứng với cấp gió 12) và hướng gió trong mô hình là 160° (tọa độ Descartes). Việc thiết lập một số thông số sóng đầu vào cho mô hình được dựa trên cơ sở của thang sức gió Beaufort và phổ sóng P-M. Kết quả mô phỏng cho thấy, ở khu vực ngoài khơi độ cao sóng trong bão trong khoảng 12–13 m, độ dài bước sóng khoảng 50–70 m với chu kỳ 8 s đến 12 s. Tại khu vực ven bờ các thông số sóng đã suy giảm đáng kể, độ cao sóng trung bình đạt 2,0–3,5 m, hướng sóng nằm trong khoảng 114,39°–115,75°, chu kỳ sóng khoảng 3,2–5,2 s và độ dài bước sóng khoảng 11–21 m (hình 6).



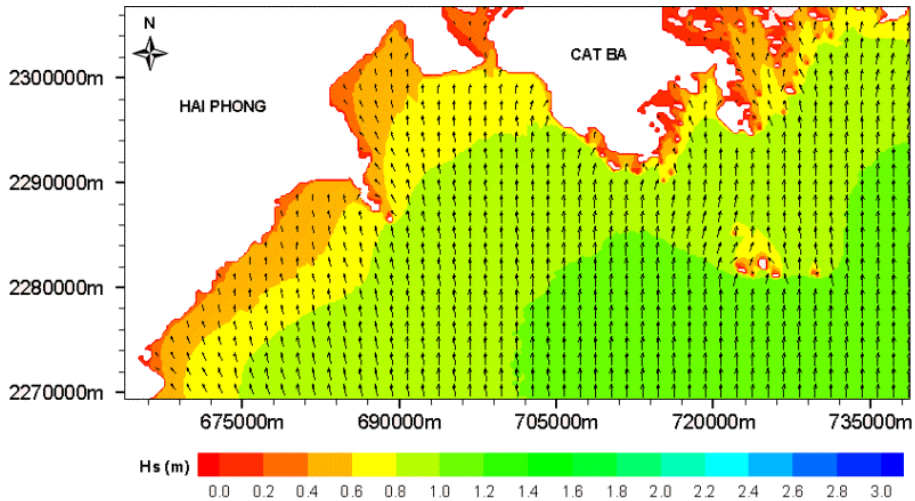
Hình 2. Trường độ cao và hướng sóng trong mùa gió Đông Bắc (15^h00' 5/12/2008)



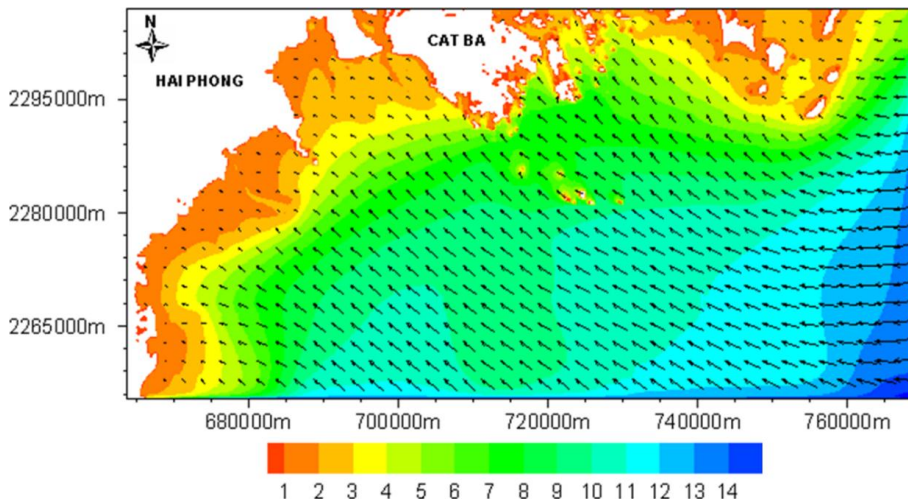
Hình 3. Trường độ cao và hướng sóng trong mùa gió Đông Bắc (06^h00' 24/12/2008)



Hình 4. Trường độ cao và hướng sóng trong mùa gió Tây Nam (06^h00' 13/7/2008)



Hình 5. Trường độ cao và hướng sóng trong mùa gió Tây Nam (00^h00' 23/7/2008)



Hình 6. Trường độ cao và hướng sóng trong kịch bản bão cấp 12 (gió 32 m/s)

KẾT LUẬN

Sau một thời gian nghiên cứu, tác giả đã áp dụng thành công mô hình SWAN vào mô phỏng và dự báo trường sóng cho khu vực ven biển Hải Phòng, các kết quả nhận được về các đặc trưng sóng tương đối phù hợp với các đặc trưng sóng ở khu vực theo các tài liệu quan trắc trong lịch sử. Do tính chất phức tạp của các hiện tượng vật lý liên quan và việc thu thập số liệu về địa hình, số liệu gió, mực nước và các số liệu sóng biên còn nhiều hạn chế nên việc nghiên cứu và dự báo sóng chưa có điều kiện được xem xét một cách thật chi tiết. Cần có những dữ liệu đầu vào đầy đủ và chi tiết hơn trong các bước nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Mạnh Hùng, Nguyễn Thọ Sáo, 2005. Mô hình tính sóng vùng ven bờ. *Nxb. Đại học Quốc gia Hà Nội*.
- [2] Hoàng Trung Thành, Nguyễn Thanh Trang, 2007. Quy trình dự báo sóng trong bão tại trung tâm khí tượng thủy văn biển. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 556*4/2007, Tr. 23–29.
- [3] Nguyễn Thanh Trang, Hoàng Trung Thành, 2007. Nghiên cứu, ứng dụng mô hình SWAN dự báo trường sóng ven bờ biển Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 556*4/2007, Tr. 38–43.

- [4] Japan Meteorological Agency (JMA); <http://ds.data.jma.go.jp>.
- [5] National Oceanic And Atmospheric Administration; Beaufort Wind Scale. <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>.
- [6] Pierson, W. J., and Moskowitz, L., 1964. A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of SA Kitaigorodskii. *Journal of Geophysical Research*, 69(24), 5181–5190.
- [7] Đinh Văn Ưu, 2006. Cơ sở phương pháp mô hình hóa trong hải dương. *Nxb. Đại học Quốc gia Hà Nội*.
- [8] Phan Văn Tân, 2005. Ngôn ngữ lập trình Fortran 90. *Nxb. Đại học quốc gia Hà Nội*.
- [9] Phạm Văn Huân, 2005. Ngôn ngữ lập trình fortran và ứng dụng trong khí tượng thủy văn. *Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội*.
- [10] Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Ewing, J. A., Gienapp, H., Hasselmann, D. E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D. J., Richter, K., Sell, W., and Walden, H., 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Ergänzungsheft 8-12*.
- [11] Collins, J. I., 1972. Prediction of shallow-water spectra. *Journal of Geophysical Research*, 77(15), 2693–2707.
- [12] Bouws, E., and Komen, G. J., 1983. On the balance between growth and dissipation in an extreme depth-limited wind-sea in the southern North Sea. *Journal of Physical Oceanography*, 13(9), 1653-1658.
- [13] Madsen, O. S., Poon, Y. K., and Graber, H. C., 1988. Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory. *Proceedings 21st international conference Coastal Engineering. ASCE*.
- [14] Cycle III, S. U. M. S., 2005. Version 40.41. *Delft University of Technology*.