

## MỘT SỐ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY TRONG VỊNH BẮC BỘ BẰNG MÔ HÌNH BA CHIỀU PHI TUYẾN

**Trần Văn Chung\***, **Bùi Hồng Long**

*Viện Hải dương học-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

\*E-mail: tvanchung@gmail.com

**TÓM TẮT:** Trong các hoạt động nghiên cứu biển thì các nghiên cứu, tính toán về chế độ động lực là rất cần thiết và khá quan trọng đặc biệt là vùng biển vịnh Bắc Bộ nơi các hoạt động kinh tế xã hội hết sức sôi động và là nơi ngoài việc chịu tác động của lượng nước ngọt từ hệ thống sông Hồng còn chịu tác động của hệ thống dòng chảy tây Biển Đông qua cửa vịnh và qua eo Quỳnh Châu (nằm giữa bán đảo Lô Châu và đảo Hải Nam). Cho đến nay các nghiên cứu tính toán, mô phỏng hệ thống dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ việc xét đến các yếu tố này và các tác động của biến đổi khí hậu dẫn đến sự thay đổi về thời gian xuất hiện, cường độ gió, độ dài của mùa gió còn rất hạn chế và thiếu tính hệ thống. Trong bài báo này chúng tôi sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn giải quyết bài toán ba chiều phi tuyến để mô phỏng hệ thống dòng chảy trong khu vực vịnh này trong các thời kỳ gió mùa điển hình đông-bắc, tây-nam. Các kết quả tính toán cho thấy sự phân bố của dòng chảy gió và dòng chảy tổng hợp (dòng chảy do gió, triều và mật độ) theo không gian và thời gian trong hai mùa gió và theo độ sâu. Từ các kết quả tính toán cho thấy rằng: Eo Quỳnh Châu đóng vai trò khá quan trọng trong trao đổi nước giữa vịnh Bắc Bộ và Biển Đông; Dòng chảy do gió đóng vai trò quan trọng bên trong vịnh Bắc Bộ còn dòng chảy mật độ (nhiệt - muối), dòng thường kỳ đóng vai trò quan trọng ở vùng cửa chính và bên ngoài cửa chính của vịnh; Trong vịnh Bắc Bộ, tồn tại dòng chảy mạnh thường kỳ (trong cả năm (thể hiện rõ trong hai mùa gió)) đi từ phía bắc xuống phía nam qua cửa vịnh (điều này đã được xác nhận từ một số kết quả nghiên cứu trước đây) mà vai trò chính là do dòng mật độ; Trong vịnh, hình thành các xoáy thuận vào mùa gió Đông Bắc và xoáy nghịch vào mùa gió Tây Nam.

**Từ khóa:** Thủy triều, dòng chảy, mô hình ba chiều phi tuyến, phương pháp phần tử hữu hạn, vịnh Bắc Bộ.

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Vịnh Bắc Bộ là một vịnh lớn thuộc Biển Đông có diện tích xấp xỉ 123.700 km<sup>2</sup>, nơi rộng nhất 320 km, nơi hẹp nhất là 220 km. Bờ vịnh phía Việt Nam trải dài 763 km, phần bờ phía Trung Quốc 695 km. Vịnh Bắc Bộ có một cửa chính (độ rộng xấp xỉ 207,4 km tính từ Cồn Cỏ (Việt Nam) đến đảo Hải Nam (Trung Quốc)) và một eo (eo Quỳnh Châu có độ rộng 35,2 km nằm giữa bán đảo Lô Châu và Đảo Hải Nam ở phía đông bắc). Một phần vịnh Bắc Bộ (khu vực vịnh Hạ Long - Bái Tử Long có 2.300 hòn đảo. Đảo lớn nhất trong vịnh Bắc Bộ là đảo Bạch Long Vĩ (Việt Nam). Vịnh Bắc Bộ là một

khu vực có ý nghĩa chiến lược về kinh tế xã hội và tiềm năng vị thế. Vịnh Bắc Bộ có tiềm năng lớn về tài nguyên sinh vật và phi sinh vật. Lượng nước sông và nguồn vật chất đổ vào vịnh chủ yếu từ sông Hồng (Việt Nam) với lượng vật chất 130 tấn/năm (Tanabe và nnk., 2003) [1] và sông Châu Giang (Trung Quốc) với tổng lượng 90 tấn/năm (Zong và nnk., 2009) [2] thông qua eo Quỳnh Châu.

Tác động chế độ gió là một trong những yếu tố có ảnh hưởng rất lớn đến các đặc điểm thủy văn động lực trong khu vực nghiên cứu. Trong Biển Đông mùa gió mùa Đông Bắc bắt đầu từ tháng 10 (mùa đông), mùa gió mùa Tây

Nam bắt đầu từ tháng năm và phát triển trên thủy vực nghiên cứu vào các tháng bảy và tám (Shaw and Chao, 1994) [3]. Theo các tài liệu của chuyến điều tra tổng hợp Việt Nam - Trung Quốc tiên hành từ 1959 - 1961, chuyến điều tra nghề cá Việt Nam - Liên Xô từ 1961 - 1964 và chuyến điều tra của trung tâm phát triển nghề cá đông nam Châu Á (SEAFDEC) tiên hành vào năm 1999 ở khu vực bờ tây Biển Đông (Penjan và nnk., 2000) [4]. Việc nghiên cứu và tính toán chế độ động lực ở khu vực này đã có một số kết quả mô phỏng dòng chảy khá mạnh (tốc độ lớn hơn 40 cm/s) đi qua khu vực eo Quỳnh Châu vào vịnh Bắc Bộ và khu vực ven bờ tây nam đảo Hải Nam của các tác giả Trung Quốc (Huang và nnk., 1994) [5]. Việc tính toán, mô phỏng thủy triều và dòng triều bằng mô hình ba chiều vịnh Bắc Bộ cũng và tính toán dòng chảy dư đã được trình bày trong (Đình Văn Mạnh và Tetsuo Yanagi, 1997, 2000) [6, 7]. Trải qua 50 năm tại khu vực nghiên cứu các điều kiện tự nhiên và môi trường do quá trình biến đổi khí hậu đã có nhiều thay đổi vì vậy các kết quả khảo sát và nghiên cứu trước đây cần phải bổ sung, cập nhật thêm. Các công trình gần đây của các tác giả Việt Nam về vấn đề nghiên cứu chế độ động lực cho vịnh Bắc Bộ như Đình Văn Ưu (2011) [8] sử dụng mô hình MDEC-VNU ứng dụng trong mô phỏng các trường thủy động lực, nhiệt độ, độ muối và các hợp phần môi trường bao gồm ô nhiễm dầu trong vịnh Bắc Bộ. Về nghiên cứu dòng triều cho vịnh Bắc Bộ có các công trình công bố gần đây gồm Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung (2007) dùng mô hình 3D [9] và Nguyễn Nguyệt Minh và nnk., (2014) áp dụng tính dụng mô hình ROMS [10].

Trong bài báo này, chúng tôi đã sử dụng mô hình ba chiều phi tuyến bằng phương pháp phân tử hữu hạn với mạng lưới tam giác vào tính toán chế độ dòng chảy do gió và dòng tổng hợp. Mô hình hình đã được chúng tôi áp dụng thành công cho nhiều khu vực tính khác nhau [11-15]. Trong nghiên cứu chế độ dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ, ngoài việc tính đến cửa vịnh lớn, chúng tôi có xét đến ảnh hưởng của eo Quỳnh Châu ở phía bắc-đông-bắc vịnh Bắc Bộ, đồng thời với xấp xỉ không gian tính toán bằng hệ thống lưới tính của phương pháp phân tử hữu hạn cho phép chúng ta xem xét chi tiết hơn khu vực nghiên cứu nơi có địa hình đáy và

đường bờ phức tạp (với sự có mặt của nhiều đảo ở phần phía tây vịnh).

## TÀI LIỆU, PHƯƠNG PHÁP

### Nguồn tài liệu

Một số nguồn tài liệu là tài liệu đầu vào được sử dụng trong mô hình này: Địa hình đáy, phân bố nhiệt - muối, khí tượng, ... đối với khu vực nghiên cứu như sau:

Nguồn số liệu về khí tượng gồm vận tốc gió (có 2 thành phần: về hướng đông và về hướng bắc) theo m/s tại độ cao 10 m trên bề mặt biển; áp suất không khí mực nước biển theo Pascal; nhiệt độ không khí theo Kelvin tại độ cao 2 m trên bề mặt biển; độ ẩm riêng theo g/kg tại độ cao 2 m trên bề mặt biển; tổng lượng mây che phủ theo %; lượng mưa theo kg/m<sup>2</sup>/s; thông lượng bức xạ sóng ngắn (hướng lên, hướng xuống) theo W/m<sup>2</sup>; thông lượng bức xạ sóng dài (hướng lên, hướng xuống) W/m<sup>2</sup> được cập nhật từ cơ sở dữ liệu của mô hình khí hậu toàn cầu CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) thuộc Trung tâm Quốc gia về dự báo môi trường Mỹ NCEP (National Centers for Environmental Prediction) (NCEP CFSR). Phạm vi thời gian cho chuỗi dữ liệu có thể được sử dụng từ 1979 - đến nay (2014), tần suất số liệu là 1 giờ/số liệu với bước lưới theo phương ngang thường được sử dụng xấp xỉ 0,2 - 0,25 độ (riêng độ âm tương đối có độ phân giải theo phương ngang 0,5 độ). Đối với các số liệu gió được chúng tôi đối chứng từ tài liệu gió thực đo tại các trạm ven bờ và các đảo của Việt Nam như Tuy Hòa, Nha Trang, Phú Quý và Vũng Tàu từ chuỗi số liệu từ năm 1987 đến 2007 với các ôp quan trắc mỗi 6 giờ hàng ngày.

Tài liệu nhiệt muối được lấy từ 5 nguồn: 1) Từ cơ sở dữ liệu VODC của viện Hải dương học; 2) Nguồn số liệu của Nga <http://pacificinfo.ru/>; 3) WOD 2013 <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/>; 4) Từ cơ sở dữ liệu POI; 5) Từ cơ sở dữ liệu của đề tài hợp tác quốc tế về nước trời Việt Nam - CHLB Đức từ 2003 - 2006.

Để tính các ảnh hưởng do thủy triều, các sóng triều được tính cho vùng kích thước lớn (toàn Biển Đông) với 9 sóng thành phần chính: M<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>, M<sub>4</sub>, K<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>, Q<sub>1</sub> và P<sub>1</sub>. Đây là kết

quả nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài hợp tác quốc tế về nước trời Việt Nam - CHLB Đức.

**Mô hình hóa các quá trình thủy động lực bằng phương pháp phân tử hữu hạn**

**Các phương trình trong mô hình và phương pháp số trị**

Mô hình được thực hiện trên các phương trình thủy động lực học ba chiều (3-D) với các thừa nhận xấp xỉ Boussinesq và áp suất thủy tĩnh. Mật độ nước biển liên quan đến nhiệt độ

và độ mặn nước biển bởi phương trình trạng thái. Sự tiêu tán năng lượng ở quy mô lưới nhỏ được thể hiện theo dạng độ nhớt rối (độ khuếch tán). Việc tham số hóa này thể hiện dưới dạng phân tầng kết hợp với động năng dòng rối và độ dài pha trộn ở quy mô lớn.

Các phương trình chủ đạo có sáu biến chính trong mô hình 3-D, được thể hiện trong các phương trình dưới đây. Hai thành phần nằm ngang (x,y) của các phương trình động lượng dạng véc tơ:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{f} \times \vec{v} = g \nabla_{xy} \zeta - \frac{\partial}{\partial z} \left( N_m \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right) = -\frac{g}{\rho_0} \int_z^{\zeta} \nabla_{xy} \rho dz + \vec{F}_m + \frac{\sigma}{\rho} (\vec{v}_\sigma - \vec{v}) \quad (1)$$

Phương trình bảo toàn nhiệt và muối:

$$\frac{dS}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left( N_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) = F_T + \frac{\sigma}{\rho} (S_\sigma - S) \quad (3)$$

$$\frac{dT}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left( N_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) = F_T + \frac{\sigma}{\rho} (T_\sigma - T) \quad (2)$$

Các phương trình đối với động năng dòng rối và độ dài pha trộn:

$$\frac{dq^2}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left( N_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) = 2 \left[ N_m \left( \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + \frac{g}{\rho_0} N_h \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] - 2 \left[ \frac{q^3}{B_l} \right] + \frac{\sigma}{\rho} (q_\sigma^2 - q^2) \quad (4)$$

$$\frac{dq^2 l}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left( N_q \frac{\partial q^2 l}{\partial z} \right) = l E_1 \left[ N_m \left( \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + \frac{g}{\rho_0} N_h \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] - l W \left[ \frac{q^3}{B_l} \right] + \frac{\sigma}{\rho} (q_\sigma^2 l - q^2 l) \quad (5)$$

Trong đó  $E_1$  và  $B_1$  là các hằng số thực nghiệm Mellor và Yamada, 1982 [16] và  $W$  là một hàm sát tường chắn được lấy từ Blumberg và nnk., 1992 [17].

Hệ thống khép kín với vài mối liên hệ cân bằng. Phương trình liên tục 3-D đưa ra cách thức cho tính toán vận tốc thẳng đứng  $w$  dưới dạng vận tốc nằm ngang:

Biến trạng thái sau cùng là bề mặt tự do  $\zeta(x, y, t)$ , sự tiến triển của chúng được xác định bởi tích phân theo phương thẳng đứng phương trình liên tục:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\nabla_{xy} \cdot \vec{v} + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\sigma}{\rho} \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla_{xy} \cdot \int_{-h}^{\zeta} \vec{v} dz = \int_{-h}^{\zeta} \frac{\sigma}{\rho} dz + (P - E) \quad (6)$$

Mật độ liên quan đến nhiệt độ và độ mặn bởi phương trình trạng thái Gill, 1982 [18], ước lượng tại áp suất không đổi:

$$\begin{aligned} \rho = \rho(T, S) = \rho_w + \\ + S \left( 0,824493 - 4,0899 \cdot 10^{-3} T + 7,6438 \cdot 10^{-5} T^2 - 8,2467 \cdot 10^{-7} + 5,3875 \cdot 10^{-9} T^4 \right) \\ + S^{3/2} \left( -5,72466 \cdot 10^{-3} + 1,0227 \cdot 10^{-4} T - 1,6546 \cdot 10^{-6} T^2 \right) + 4,8314 \cdot 10^{-4} S^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó:

$$\rho_w = 99,842594 + 6,79395 \cdot 10^{-2} T - 9,095290 \cdot 10^{-3} T^2 + 1,001685 \cdot 10^{-4} T^3 - 1,120083 \cdot 10^{-6} T^4 + 6,536332 \cdot 10^{-9} T^5$$

Khép kín đối với các hệ số pha trộn dòng rối thẳng đứng là:

$$N_m = qls_m \quad (9a)$$

$$N_h = qls_h \quad (9b)$$

$$N_q = qls_q \quad (9c)$$

Trong đó  $s_q$  là hằng số, các hàm ổn định  $s_m$  và

$s_h$  là các hàm đại số của phân tầng cục bộ

$$G_h \equiv \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (\text{Galperin và nnk., 1988}) [19].$$

$$s_m = \frac{(g_2 - g_3 G_h)}{(1 - g_4 G_h)(1 - g_5 G_h)} \quad (9d)$$

$$s_h = \frac{g_6}{(1 - g_4 G_h)} \quad (9e)$$

$$s_q = 0,2 \quad (9f)$$

**Bảng 1.** Tóm tắt các hằng số liên kết với khép kín thẳng đứng

I	II	III
$A_1 = 0,92$		
$A_2 = 0,74$	$g_0 \equiv 1 - 6A_1 / B_1$	$g_0 = 0,66747$
$B_1 = 16,6$	$g_1 \equiv 6A_1 + B_2$	$g_1 = 15,620$
$B_2 = 10,1$	$g_2 \equiv A_1 (g_0 - 3C_1)$	$g_2 = 0,39327$
$C_1 = 0,08$	$g_3 \equiv 3A_1 A_2 [(B_2 - 3A_2) g_0 - 3C_1 g_1]$	$g_3 = 3,0858$
$E_1 = 1,8$	$g_4 \equiv 3A_2 g_1$	$g_4 = 34,676$
$E_2 = 1,33$	$g_5 \equiv 9A_1 A_2$	$g_5 = 6,1272$
$E_3 = 0,25$	$g_6 \equiv A_2 g_0$	$g_6 = 0,49393$
$\kappa = 0,4$		

**Chú ý:** *Cột I* bao gồm các hằng số thực nghiệm Mellor-Yamada (1982) [16];  $E_3$  từ Blumberg và nnk., (1992) [17] và hằng số von Karman  $\kappa$ . *Cột II* bao gồm các công thức từ Galperin và nnk., (1988) [19] sử dụng trong phương trình (9). Các giá trị số của chúng được thể hiện trong *cột III*.

Các hằng số  $g_i$ , đưa vào ở đây được đơn giản hóa, liên quan trong bảng 1 đến các hằng số chuẩn của Mellor và Yamada (1982) [16] được dẫn ra từ thực nghiệm. Cũng từ Galperin nnk., (1988) [19], cần một biên cao hơn trên độ dài pha trộn dưới sự phân tầng bên:

$$l \leq \frac{0,53q}{\sqrt{-\frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}}} \quad (10)$$

Chọn  $-0,28 \leq G_h \leq 0,0233$ , nhằm ngăn ngừa sự tính toán độ khuếch tán âm phù hợp với (9d) và (9e). Sau cùng, các trao đổi nằm ngang không bình lưu  $\vec{F}_m, F_T, \dots$  được biểu diễn toàn bộ trong các dạng Lapcian, điển hình.

$$\vec{F}_m = \nabla_{xy} \cdot (A \nabla_{xy} \vec{v}) \quad (11)$$

Với A được cho dưới dạng trượt cục bộ và quy mô lưới  $\delta$  như trong Smagorinsky (1963) [20]:

$$A = 0,28\delta^2 \sqrt{\left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial x} - \frac{\partial \vec{v}}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial x} + \frac{\partial \vec{v}}{\partial y}\right)^2} \quad (12)$$

**Các điều kiện biên**

Bài toán này được giải bài trên cơ sở các điều kiện biên theo phương nằm ngang được bảo toàn. Theo phương thẳng đứng: đối với vận tốc nằm ngang, ứng suất trượt khí quyển được xác định tại bề mặt.

$$N_m \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \Big|_{z=\zeta} = H \vec{\psi} = \vec{\tau}_w \quad (13)$$

Với:  $\vec{\tau}_w = C_{ds} \rho_a \vec{W} \Big|_{z=\zeta}$  (14)

Trong đó:  $\vec{W}$ : Véc tơ vận tốc gió 10 m trên mặt biển;  $\rho_a$ : Mật độ không khí ( $\rho_a = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

Sử dụng hệ số cản phi tuyến (dựa trên công thức Large và Pond (1981) [21] được hiệu

chính đối với tốc độ gió thấp theo Trenberth và cộng sự (1990) [22]):

$$C_{ds} = \begin{cases} 0,00218 & \text{khi: } |\vec{v}| \leq 1(\text{m/s}) \\ (0,62 + \frac{1,56}{|\vec{v}|}) \times 10^{-3} & \text{khi: } 1(\text{m/s}) < |\vec{v}| < 3(\text{m/s}) \\ 0,00114 & \text{khi: } 3(\text{m/s}) \leq |\vec{v}| < 10(\text{m/s}) \\ (0,49 + 0,065|\vec{v}|) \times 10^{-3} & \text{khi: } |\vec{v}| \geq 10(\text{m/s}) \end{cases} \quad (15)$$

Tại đáy, sử dụng điều kiện trượt bậc hai thông thường quan hệ ứng suất trượt tới vận tốc đáy  $\vec{v}_b$  qua hệ số cản ứng suất đáy bậc hai không thứ nguyên,  $C_d$ .

$$N_m \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \Big|_{z=-h} = C_d |\vec{v}_b| \vec{v}_b = k \vec{v}_b \quad (16)$$

Trong đó:  $k$  - hệ số ứng suất đáy tuyến tính.

Đưa vào nhiệt độ không khí được xác định từ điều kiện bức xạ với tốc độ làm nóng  $\alpha$  và nhiệt độ cân bằng  $T_0$ :

$$N_h \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=\zeta} = -\alpha (T - T_0) \quad (17)$$

Tại đáy, thông lượng nhiệt được giả sử là không đáng kể.

$$N_h \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=-h} = 0 \quad (18)$$

$$W = 1 + E_2 \left[ \frac{l}{\kappa(z - z_b + \xi_b)} \right]^2 + E_3 \left[ \frac{l}{\kappa(\zeta - z + \xi_s)} \right]^2 \quad (21)$$

Với  $\frac{l}{\kappa d}$  cách tiếp cận đồng nhất ở khoảng cách  $d$  thì một trong hai tường chắn được loại bỏ. Cả hai  $\xi_b$  và  $\xi_s$  được đặt bằng 1. Sau cùng, điều kiện động học được áp đặt trên vận tốc thẳng đứng  $w$  tại bề mặt.

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla_{xy} \zeta - (P - E) \quad (22)$$

và tại đáy:

$$w = -\vec{v} \cdot \nabla_{xy} h \quad (23)$$

Cả hai được áp đặt như các điều kiện Dirichlet trên đạo hàm  $-z$  theo Lynch và Naimie (1993) [24].

Tương tự như  $T$ , các điều kiện không thông lượng cũng được áp đặt trên  $S$  tại bề mặt và đáy. Đối với  $q^2$ , các điều kiện Dirichlet là đòi hỏi tại đáy:

$$q^2 = B_1^{2/3} u_*^2 \quad (19)$$

Với vận tốc ma sát  $u_*^2 = \left| N_m \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right|$  xác định theo các điều kiện biên vận tốc. Phù hợp với điều kiện trượt tại đáy, biên được tính toán  $z_b = -h$  là vị trí trong phạm vi lớp ứng suất không đổi tại một độ cao  $\xi_b = 1m$  trên nền đáy thực tế (Lynch và nnk., 1996) [23]. Độ dài pha trộn được tính toán tại đáy được đặt cho phù hợp với quy luật của tường chắn:

$$l = \kappa \xi_b \quad (20)$$

Trong đó:  $\kappa=0,4$  là hằng số Von Karman. Tại bề mặt tự do, các điều kiện không thông lượng (Neuman) được ứng dụng tới cả hai  $q^2$  và  $q^2 l$ . Hàm sát tường chắn  $W$  được lấy từ Blumberg và nnk., (1992) [17] và được kết hợp chặt chẽ tính bất đối xứng giữa bề mặt và đáy “các tường chắn”:

Dưới đây là toàn bộ các ký hiệu sử dụng trong các phương trình trên:

$\vec{v}(x, y, z, t)$  - vận tốc dòng, với các thành phần trong tọa độ Đề các  $(u, v, w)$ ;  $\zeta(x, y, t)$  - độ cao bề mặt tự do;  $h(x, y)$  - độ sâu nước không bị xáo trộn;  $H(x, y, t)$  - tổng độ sâu,  $H=h+\zeta$ ;  $\rho(x, y, z, t)$  - mật độ nước biển,  $\rho_0$  - giá trị trung bình của mật độ nước biển;  $T(x, y, z, t)$  - nhiệt độ nước biển;  $S(x, y, z, t)$  - độ mặn nước biển;  $q^2(x, y, z, t)/2$  - động năng dòng rối;  $l(x, y, z, t)$  - độ dài pha trộn dòng rối;  $N_m(x, y, z, t)$  - độ nhớt rối thẳng đứng;  $N_h(x, y, z, t)$  - độ khuếch tán rối thẳng đứng đối với nhiệt độ và độ mặn;  $N_q(x, y, z, t)$  - độ khuếch tán rối thẳng



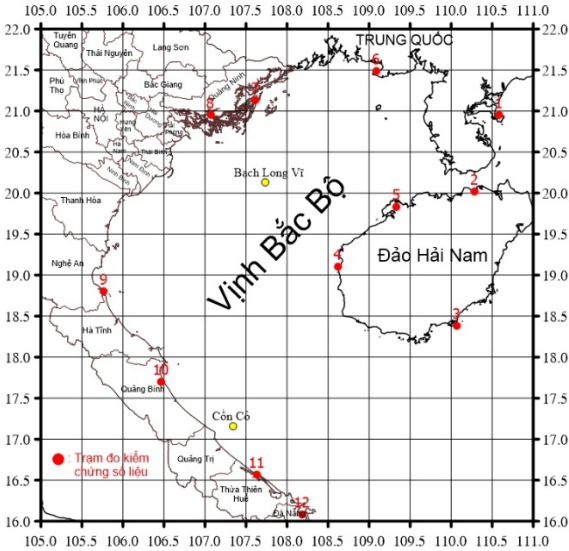
hình với số liệu thực đo được công bố của Fang và nnk. (1999) [25]. Các trạm dùng để kiểm tra được thể hiện trên hình 3 và so sánh giữa số liệu thực đo và mô hình được thể hiện trên bảng 2.

**Bảng 2.** So sánh kết quả tính với số liệu đo đạc tại các trạm thủy triều

STT	Trạm đo	Kinh độ (E)	Vĩ độ (N)	Sóng triều	Biên độ (cm)			Pha GMT (độ)		
					Thực đo	Mô hình	Sai số tương đối (%)	Thực đo	Mô hình	Sai số tương đối (%)
1	Naozhou I.	110 <sup>0</sup> 35'	20 <sup>0</sup> 57'	M <sub>2</sub>	78	63,5	19	80	74,0	8
				S <sub>2</sub>	35	36,2	3	115	132,1	15
				K <sub>1</sub>	44	35,5	19	205	219,4	7
				O <sub>1</sub>	38	40,8	7	164	166,8	1
2	Haikou	110 <sup>0</sup> 17'	20 <sup>0</sup> 01'	M <sub>2</sub>	20	18,9	6	32	30,6	5
				S <sub>2</sub>	12	12,8	7	88	94,7	8
				K <sub>1</sub>	39	39,9	2	336	325,4	3
				O <sub>1</sub>	49	48,1	2	282	263,3	7
3	Lingshuijiao	110 <sup>0</sup> 04'	18 <sup>0</sup> 23'	M <sub>2</sub>	18	20,1	11	78	72,0	8
				S <sub>2</sub>	8	7,0	13	100	107,3	7
				K <sub>1</sub>	30	31,8	6	197	195,2	1
				O <sub>1</sub>	23	27,5	20	145	154,4	6
4	Basuo	108 <sup>0</sup> 37'	19 <sup>0</sup> 06'	M <sub>2</sub>	18	17,2	4	189	189,1	0
				S <sub>2</sub>	6	5,1	15	238	239,2	1
				K <sub>1</sub>	54	53,3	1	311	311,7	0
				O <sub>1</sub>	62	64,5	4	252	259,6	3
5	Yangpu	109 <sup>0</sup> 20'	19 <sup>0</sup> 50'	M <sub>2</sub>	24	24,0	0	278	278,4	0
				S <sub>2</sub>	9	8,0	11	324	342,6	6
				K <sub>1</sub>	73	73,6	1	325	326,9	1
				O <sub>1</sub>	81	84,6	4	266	275,1	3
6	Beihai	109 <sup>0</sup> 05'	21 <sup>0</sup> 29'	M <sub>2</sub>	44	43,2	2	305	307,3	1
				S <sub>2</sub>	11	13,8	26	357	359,6	1
				K <sub>1</sub>	88	87,0	1	336	336,5	0
				O <sub>1</sub>	96	98,7	3	282	281,7	0
7	Tsieng mum	107 <sup>0</sup> 37'	21 <sup>0</sup> 08'	M <sub>2</sub>	18	20,8	15	307	315,4	3
				S <sub>2</sub>	6	7,2	20	350	345,1	1
				K <sub>1</sub>	73	75,7	4	336	340,1	1
				O <sub>1</sub>	82	93,6	14	278	293,8	6
8	Hòn Gai	107 <sup>0</sup> 04'	20 <sup>0</sup> 57'	M <sub>2</sub>	6	5,5	8	272	229,8	16
				S <sub>2</sub>	3	3,3	12	267	277,7	4
				K <sub>1</sub>	85	77,3	9	343	346,1	1
				O <sub>1</sub>	88	87,3	1	296	294,3	1
9	Hòn Niếu	105 <sup>0</sup> 46'	18 <sup>0</sup> 48'	M <sub>2</sub>	30	29,4	2	159	159,7	0
				S <sub>2</sub>	9	9,9	10	233	231,0	1
				K <sub>1</sub>	49	49,1	0	343	343,4	0
				O <sub>1</sub>	58	59,2	2	305	295,4	3
10	Quảng Khê	106 <sup>0</sup> 28'	17 <sup>0</sup> 42'	M <sub>2</sub>	18	20,7	15	169	156,1	8
				S <sub>2</sub>	5	5,7	15	211	199,3	6
				K <sub>1</sub>	21	23,1	10	350	347,6	1
				O <sub>1</sub>	27	30,0	11	301	291,2	3
11	Thuận An	107 <sup>0</sup> 38'	16 <sup>0</sup> 34'	M <sub>2</sub>	18	17,5	3	119	118,9	0
				S <sub>2</sub>	4	4,9	22	178	158,4	11
				K <sub>1</sub>	3	2,7	9	150	174,0	16
				O <sub>1</sub>	2	2,0	2	267	254,4	5
12	Đà Nẵng	108 <sup>0</sup> 11'	16 <sup>0</sup> 05'	M <sub>2</sub>	17	18,5	9	98	96,9	1
				S <sub>2</sub>	6	6,8	13	133	134,5	1
				K <sub>1</sub>	20	17,6	12	184	181,5	1
				O <sub>1</sub>	13	12,9	0	146	153,7	5

*Ghi chú:* Số liệu thực đo được lấy từ công trình của Fang và nnk., 1999 [25].

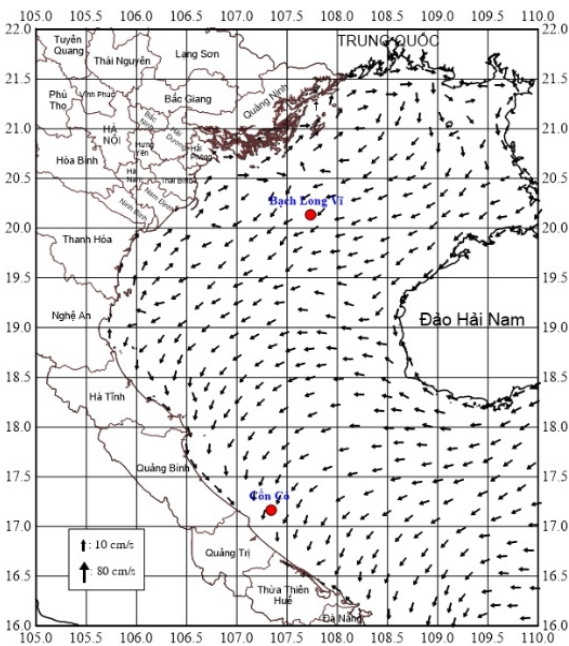




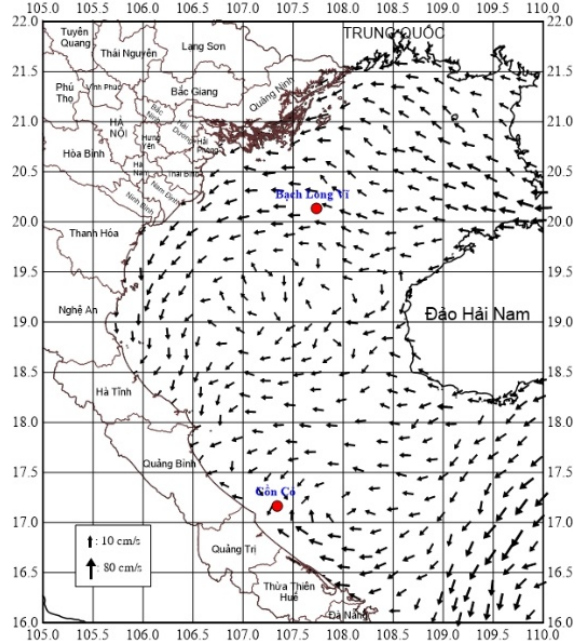
**Hình 3.** Vị trí các trạm đo kiểm chứng tính khả thi của mô hình FEM, chỉ số trên bản đồ là số “STT” trên bảng 2

**Phân bố trường dòng chảy trong hai mùa gió mùa điển hình**

**Mùa gió Đông Bắc**



**Hình 4a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Đông Bắc tại bề mặt biển

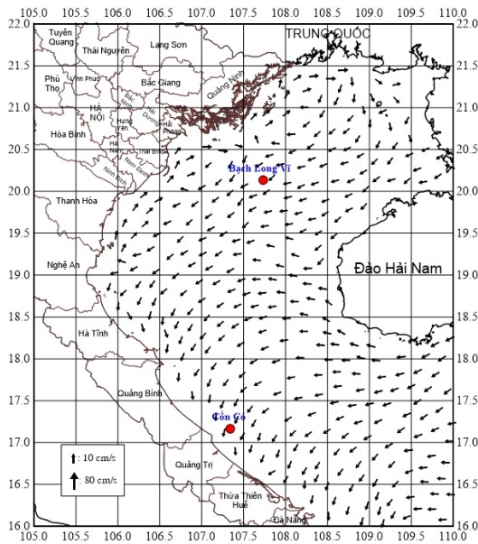


**Hình 4b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp trên bề mặt biển, mùa gió Đông Bắc

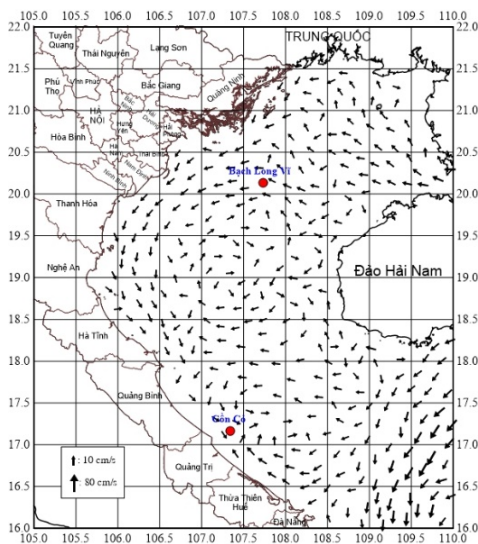
Trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc xuất hiện dòng chảy mạnh, thường xuyên qua eo Quỳnh Châu (từ phía Trung Quốc) tốc độ có thể đạt 52 cm/s chính do ảnh hưởng của dòng này tạo ra một khu vực dòng chảy mạnh ở khu vực tây bắc vịnh Bắc Bộ. Giữa vịnh Bắc Bộ tồn tại một khu vực có tốc độ dòng chảy yếu với vận tốc trung bình 10 cm/s, ngoài ra trong khu vực này còn xuất hiện một khu vực xoáy thuận. Bên ngoài cửa vịnh khu vực luồng chính đi giữa Côn Cỏ (Việt Nam) và đảo Hải Nam (Trung Quốc) tồn tại một hệ thống dòng do tác động của trường gió Đông Bắc và dòng chảy tổng hợp với tốc độ khá mạnh xấp xỉ 60 cm/s có một nhánh nhỏ đi vào vịnh còn dòng chính đi về phía bờ tây nam ngoài cửa vịnh. Hệ thống dòng này sẽ làm giảm cường độ của dòng triều pha triều lên (đi vào vịnh qua cửa chính). Để xét ảnh hưởng của hệ thống gió mùa lên vùng nghiên cứu, chúng tôi đã mô phỏng sự tác động tuần túy của ứng suất gió tạo nên hệ thống dòng chảy trong vịnh. Hệ thống dòng này được thể hiện cho trường gió đông bắc từ hình 4a - 8a và cho trường gió Tây Nam từ hình 9a - 13b. Từ trên các hình vẽ biểu diễn phân bố trường dòng chảy tính toán theo độ sâu từ mặt đến độ sâu 50 m chúng ta thấy rằng các đặc trưng cơ bản về phân bố trường dòng chảy gió và dòng



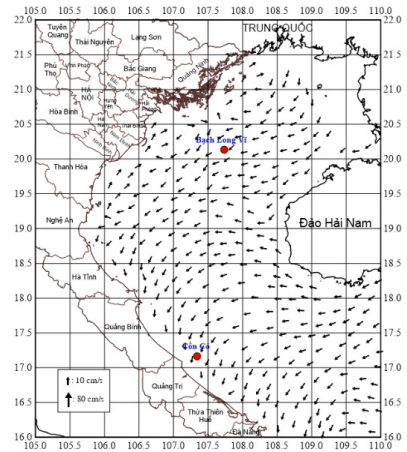
tổng hợp gần như không thay đổi theo độ sâu tuy nhiên về độ lớn dòng giảm dần và phạm vi của xoáy thuận nhỏ dần. Một điều nữa cần chú ý rằng: Dòng vật chất đi theo dòng ven bờ phía đông - nam Quảng Đông đi vào vịnh Bắc Bộ qua eo Quỳnh Châu trong mùa gió này có thể tác động tới vùng nước vùng đỉnh vịnh phía tây bắc. Một nhận định tương tự với vùng nước ven bờ từ Quảng Bình tới Thừa Thiên Huế cũng bị ảnh hưởng bởi dòng chảy ven bờ mạnh từ đông đảo Hải Nam.



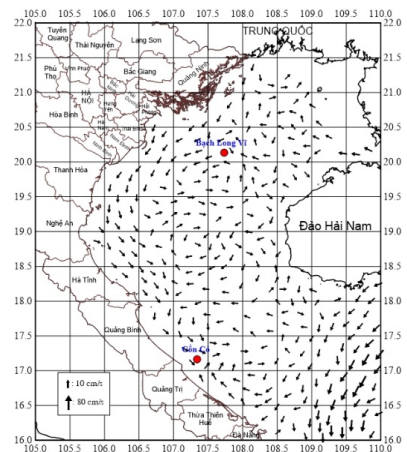
**Hình 5a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Đông Bắc tại độ sâu 10 m



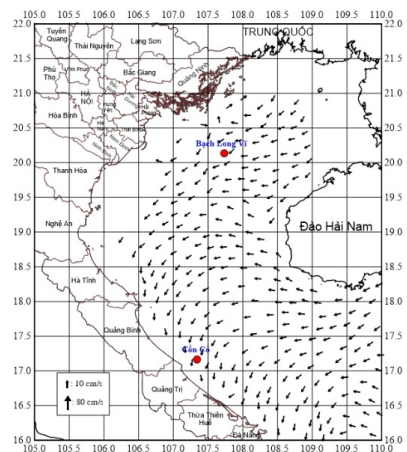
**Hình 5b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 10 m, mùa gió Đông Bắc



**Hình 6a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió NE tại độ sâu 20 m

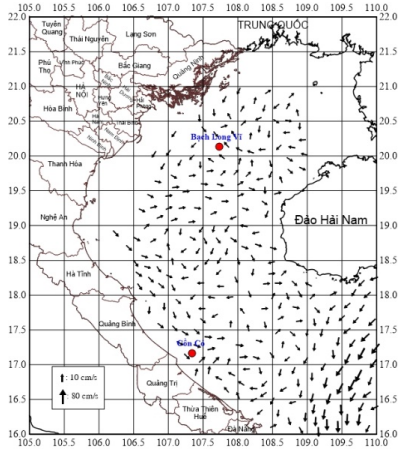


**Hình 6b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 20 m, mùa gió NE

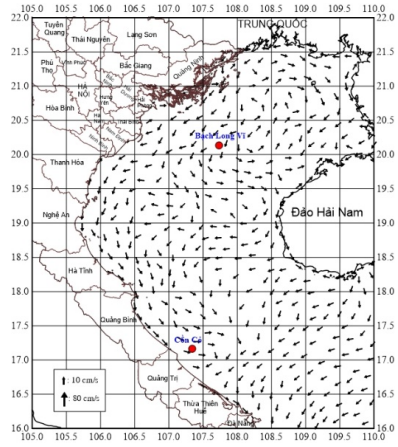


**Hình 7a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Đông Bắc tại độ sâu 30 m

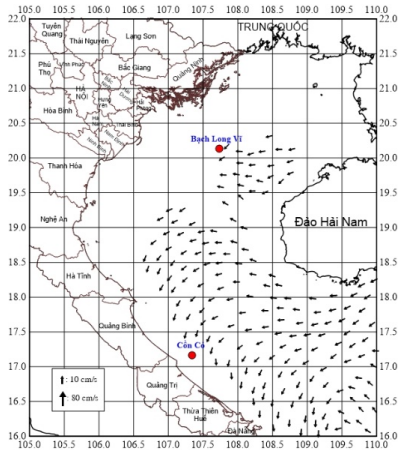
**Thời kỳ gió mùa Tây Nam**



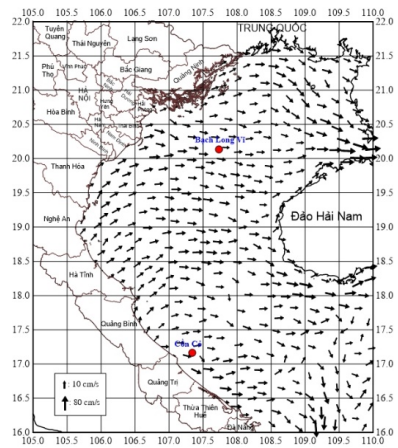
**Hình 7b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 30 m, mùa gió Đông Bắc



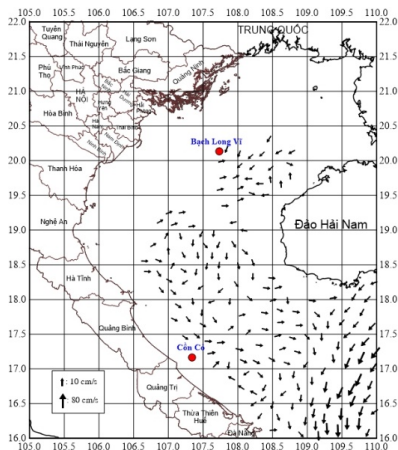
**Hình 9a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Tây Nam tại bề mặt



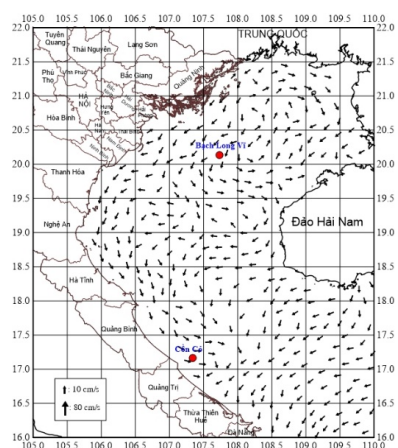
**Hình 8a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Đông Bắc tại độ sâu 50 m



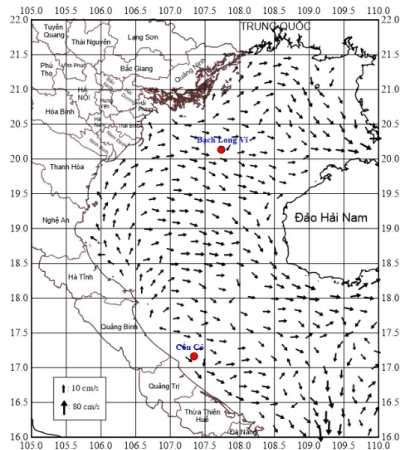
**Hình 9b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại bề mặt, mùa gió Tây Nam



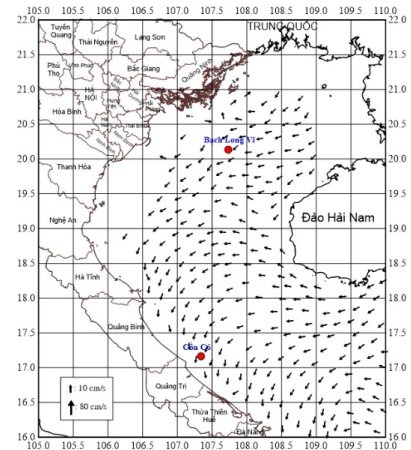
**Hình 8b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 50 m, mùa gió Đông Bắc



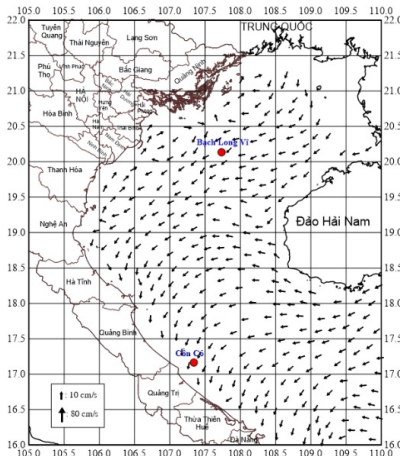
**Hình 10a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Tây Nam tại độ sâu 10 m



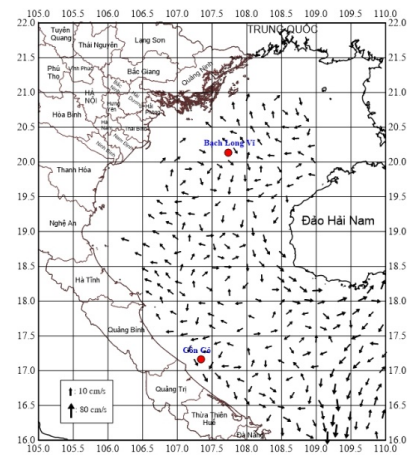
**Hình 10b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 10 m, mùa gió Tây Nam



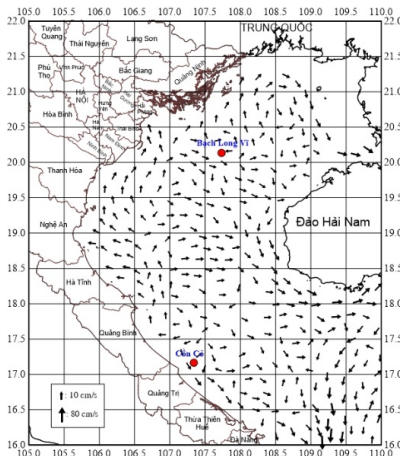
**Hình 12a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Tây Nam tại độ sâu 30 m



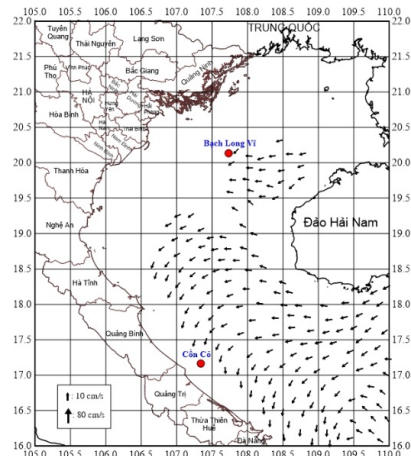
**Hình 11a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Tây Nam tại độ sâu 20 m



**Hình 12b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 30 m, mùa gió Tây Nam

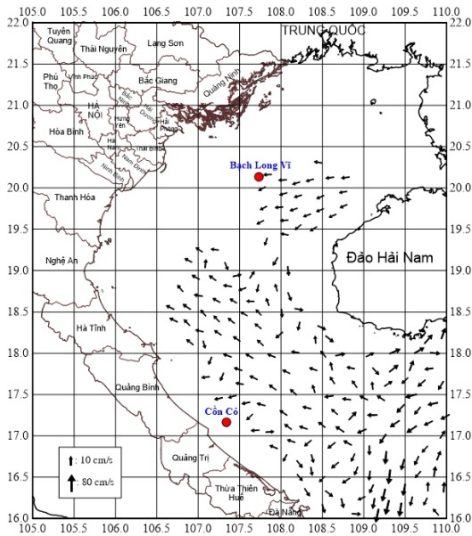


**Hình 11b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 20 m, mùa gió Tây Nam



**Hình 13a.** Phân bố dòng chảy gió, mùa gió Tây Nam tại độ sâu 50 m





**Hình 13b.** Phân bố trường dòng chảy tổng hợp tại độ sâu 50 m, mùa gió Tây Nam

Vào thời kỳ này dòng chảy đi ra ngoài cửa vịnh qua eo Quỳnh Châu có thể đạt 80 cm/s (vào thời gian triều xuống). Khu vực giữa vịnh dòng chảy bề mặt thường lớn hơn 20 cm/s có hướng về phía tây đảo Hải Nam. Ở khu vực này cũng tồn tại một xoáy thuận nhỏ. Tương tự như trong trường hợp mùa gió Đông Bắc, trường dòng chảy do gió không biến đổi nhiều về cường độ và hướng theo độ sâu (xem hình 9a - 13a). Bên ngoài cửa lớn của vịnh, dòng chảy mật độ thể hiện vai trò khá rõ ràng trong trường hợp dòng chảy gió và dòng triều không lớn (không đủ mạnh). Một điều đặc biệt có thể thấy rõ là vẫn tồn tại một dòng chảy từ phía bắc xuống đi về phía nam khi đi qua cửa vịnh (xem các hình từ 9b - 13b). Kết quả này cho thấy tồn tại một dòng chảy thường kỳ từ phía bắc đi về phía nam trong cả hai mùa gió chính mà nguyên nhân chính là do ảnh hưởng của dòng mật độ.

## THẢO LUẬN

Từ các kết quả tính toán cho thấy rằng:

Dòng chảy do gió đóng vai trò quan trọng bên trong vịnh Bắc Bộ còn dòng chảy mật độ, dòng thường kỳ đóng vai trò quan trọng ở vùng cửa chính và bên ngoài cửa chính của vịnh. Tồn tại dòng chảy mạnh thường kỳ đi từ phía bắc xuống phía nam qua cửa vịnh (điều này đã

được xác nhận từ một số kết quả nghiên cứu trước đây) mà vai trò chính là do dòng mật độ. Xuất hiện các xoáy thuận vào mùa gió Đông Bắc và xoáy nghịch vào mùa gió Tây Nam trong vịnh.

Từ kết quả kiểm chứng số liệu thực tại 12 trạm đo cho thấy sai số tương đối của mô hình tính về biên độ của các sóng triều cao nhất cũng chỉ 26%, trung bình 8% và sai số tương đối về pha, cao nhất chỉ khoảng 16% và trung bình 4%. Điều này cho thấy mô hình ba chiều (3D) phi tuyến với phương pháp phần tử hữu hạn với mạng lưới tam giác có thể áp dụng phù hợp vào mô phỏng trường dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ.

Một số vấn đề cần thiết cả về mặt khoa học và thực tiễn mà chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu để chi tiết hơn:

Làm rõ hơn vai trò của eo Quỳnh Châu thông qua quá trình trao đổi nước đối với chế độ thủy văn (khối nước ven bờ), động lực (dòng chảy ...), vận chuyển vật chất, chất lượng môi trường, đa dạng sinh học tại khu vực phía bắc và đỉnh vịnh Bắc Bộ.

Khả năng vận chuyển, phân tán vật liệu (dòng bồi tích) và trầm lắng vật chất từ khu vực cửa của hệ thống sông Hồng ra vịnh Bắc Bộ dưới tác động của biến đổi khí hậu và hoạt động của con người.

Tìm hiểu quá trình vận chuyển và phân bố nguồn giống sinh vật biển trong khu vực vịnh góp phần vào việc bảo tồn và phát triển bền vững kinh tế biển.

Về khả năng tồn tại khu vực nước trời cục bộ (thời gian và phạm vi) ở cửa vịnh Bắc Bộ vào mùa gió chuyển tiếp (NE - SW) và SW và nó có tác động gì tới nguồn lợi và đa dạng sinh học của vùng biển liền kề với cửa vịnh.

Chính xác hóa và làm rõ thiên vị trí của điểm vô triều (Tidal Amphidromia) tại vùng ven bờ khu vực cửa vịnh.

**Lời cảm ơn:** Để hoàn thành bài báo này chúng tôi đã sử dụng các tài liệu, sự hỗ trợ của nhiệm vụ Nghị định thư Hợp tác Quốc tế Việt Nam - Đức (2003 - 2008) và nhiệm vụ Nghị định thư Hợp tác Quốc tế Việt Nam - Hoa Kỳ (2013 -

2015). Chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự ủng hộ, giúp đỡ của 2 nhiệm vụ Nghị định thư hợp tác quốc tế trên.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Haruyama, S., Sato, Y., and Hiraide, S., 2003.* Sedimentary facies and radiocarbon dates of the Nam Dinh-1 core from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**(5): 503-513.
2. *Zong, Y., Huang, G., Switzer, A. D., Yu, F., and Yim, W. S., 2009.* An evolutionary model for the Holocene formation of the Pearl River delta, China. *The Holocene*, **19**(1): 129-142.
3. *Shaw, P. T., and Chao, S. Y., 1994.* Surface circulation in the South China Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **41**(11): 1663-1683.
4. *Penjan, R., Siriporn, P., Natinee, S., and Somboon, S., 2000.* Temperature, salinity, dissolved oxygen and water masses of Vietnam waters. In *Proceeding of the SEAFDEC seminar on fishery resources in the South China Sea area IV: Vietnamese water* (pp. 346-355). Southeast Asian Fisheries Development Center Thailand.
5. *Qi-zhou, H., Wen-zhi, W., and Jun-chang, C., 1994.* Tides, tidal currents and storm surge set-up of South China Sea. In *Oceanology of China seas* (pp. 113-122). Springer Netherlands.
6. *Manh, D. V., and Yanagi, T., 1998.* A three-dimensional numerical model of tide and tidal current in the Gulf of Tongking. *Oceanographic Literature Review*, **45**(1): 22.
7. *Manh, D. V., and Yanagi, T., 2000.* A study on residual flow in the Gulf of Tongking. *Journal of oceanography*, **56**(1): 59-68.
8. *Đình Văn Ưu, 2011.* Tiến tới xây dựng hệ thống mô hình dự báo và kiểm soát môi trường Biển Đông. Hội nghị Khoa học và Công nghệ biển toàn quốc lần thứ 5, Quyển 2: Khí tượng Thủy văn và Động lực học biển, tháng 10 - 2011, Hà Nội. Tr. 43-49.
9. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2007.* Một số kết quả tính toán dòng triều bằng mô hình ba chiều (3D) cho vịnh Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **7**(4): 10-26.
10. *Minh, N. N., Patrick, M., Florent, L., Sylvain, O., Gildas, C., Damien, A., and Van Uu, D., 2014.* Tidal characteristics of the gulf of Tonkin. *Continental Shelf Research*, **91**, 37-56.
11. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2007.* Tính toán dòng triều tại cụm Song Tử bằng phương pháp phân tử hữu hạn. *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Quốc gia “Biển Đông-2007”*, ISSN 1859-2430, 735-750.
12. *Bui Hong Long, Tran Van Chung, 2008.* Calculations of currents in Northeast Cay and Southwest Cay, South China Sea, using 3D linear model. *Proceedings on the Conference on the results of the Philippines-Vietnam joint oceanographic and marine scientific research expedition in the South China Sea (JOMSRE-SCS I to IV)*, 161-173.
13. *Bui Hong Long, Tran Van Chung, 2009.* Calculations of tidal currents in Van Phong bay using the finite element method. *Advances in Natural Science*, **10**(4): 495-478.
14. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2009.* Nghiên cứu chế độ dòng dư tại vùng biển Nam - Trung Bộ Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **9**(4): 5-24.
15. *Trần Văn Chung, Bùi Hồng Long, 2014.* Đặc trưng thủy động lực vực nước Bình Cang - Nha Trang qua mô hình FEM và ECOSMO. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **14**(4): 320 - 331.
16. *Mellor, G. L., and Yamada, T., 1982.* Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of geophysics and space physics*, **20**(4): 851-875.
17. *Blumberg, A. F., Galperin, B., and O'Connor, D. J., 1992.* Modeling vertical structure of open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, **118**(8): 1119-1134.
18. *Gill, A. E., 1982.* *Atmosphere-ocean dynamics* (Vol. 30). Academic press.
19. *Galperin, B., Kantha, L. H., Hassid, S., and Rosati, A., 1988.* A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical

- flows. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **45**(1): 55-62.
20. Smagorinsky, J., 1963. General circulation experiments with the primitive equations: I. the basic experiment\*. *Monthly weather review*, **91**(3): 99-164.
21. Large, W. G., and Pond, S., 1981. Open ocean momentum flux measurements in moderate to strong winds. *Journal of Physical Oceanography*, **11**(3): 324-336.
22. Trenberth, K. E., Large, W. G., & Olson, J. G., 1990. The mean annual cycle in global ocean wind stress. *Journal of Physical Oceanography*, **20**(11): 1742-1760.
23. Lynch, D. R., Ip, J. T., Naimie, C. E., and Werner, F. E., 1996. Comprehensive coastal circulation model with application to the Gulf of Maine. *Continental Shelf Research*, **16**(7): 875-906.
24. Lynch, D. R., and Naimie, C. E., 1993. The M2 tide and its residual on the outer banks of the Gulf of Maine. *Journal of Physical Oceanography*, **23**(10): 2222-2253.
25. Fang, G., Kwok, Y. K., Yu, K., and Zhu, Y., 1999. Numerical simulation of principal tidal constituents in the South China Sea, Gulf of Tonkin and Gulf of Thailand. *Continental Shelf Research*, **19**(7): 845-869.

## SOME CALCULATED RESULTS OF CURRENT IN THE GULF OF TONKIN BY USING NONLINEAR THREE DIMENSIONAL (3D) MODEL

Tran Van Chung, Bui Hong Long

*Institute of Oceanography-VAST*

**ABSTRACT:** Among marine investigation and study activities, the studies and calculation of dynamic system are very necessary and important, especially in the Gulf of Tonkin (Vietnam), where many economic and social activities are happening and where is affected not only by the fresh water from Red river but also by the western currents in the South China Sea through the gulf mouth and Quynh Chau Strait (between Leizhou Peninsula and Hainan Island). Up to now, the results of study, calculation and simulation of the currents in the Gulf of Tonkin with consideration on these factors and climate change effects leading to the change of occurring time, wind intensity, wind season length are very different compared to the previous results and they are still very limited and unsystematic. In this paper we tried to solve the three-dimensional (3D) nonlinear model of currents during northeast and southwest monsoons in this region using finite element method (FEM). The calculation results showed the main characteristics, the spatial and depth variation of intensity and direction of the current fields during typical monsoons in the Gulf of Tonkin. The calculation results showed that: Quynh Chau Strait plays an important role in water exchange between the Gulf of Tonkin and the South China Sea; The wind currents play an important role inside the Gulf of Tonkin and the density currents (thermo-haline, regular currents) play an important role inside and outside the main mouth of the gulf; Strong regular currents are existing (in the whole year with two wind seasons), flowing from north to south through the gulf mouth (this has been approved by some previous study results) in which the density currents play the main role; Cyclones have been formed in northeast monsoon and anticyclones have been formed in southwest monsoon in the gulf.

**Keywords:** Tide, current, three-dimensional (3D) nonlinear model, finite element method (FEM), Gulf of Tonkin.