MÔ PHỎNG MỘT SỐ KỊCH BẢN LAN TRUYỀN DẦU VÙNG BIỂN ĐÔNG NAM BỘ

TS. Dư Văn Toán
Viện Nghiên cứu Quản lý Biển và Hải đảo
ThS. Nguyễn Quốc Trinh
Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương

Tóm tắt

Hoạt động khai thác, vận chuyển và giao thông vận tải phát triển mạnh ở vùng biển Đông Nam Bộ dẫn đến tăng nguy cơ xảy ra sự cố tràn dầu [1, 3]. Theo tính toán bằng mô hình số trị, chỉ sau 48 giờ xảy ra sự cố tràn dầu với hướng gió Đông Bắc tốc độ 7m/s thì toàn bộ vùng ven biển Đông Nam Bộ bị dầu bao phủ hoàn toàn, gây thiệt hại lớn về kinh tế và môi trường biển. Bài báo giới thiệu phương pháp mô phỏng lan truyền dầu trong môi trường biển bằng hệ thống các mô hình số trị liên hoàn của khí tượng, hải dương và lan truyền dầu. Hệ thống mô phỏng số lan truyền dầu có thể cung cấp các thông tin ngắn hạn (2 - 3 ngày) khi có sự cố tràn dầu xảy ra và hoạt động của dầu trên biển. Mô hình giúp thực hiện kế hoạch ứng phó và xử lý khi có sự cố tràn dầu trên biển hiệu quả và kịp thời hơn.

1. Cơ sở lý thuyết của các mô hình số trị

1.1. Mô hình truyền sóng trong vùng gần bờ

Mô hình tính toán sự lan truyền sóng ngẫu nhiên trong vùng gần bờ do Mase công bố năm 1998. Mô hình được xây dựng dựa trên việc giải phương trình cân bằng năng lượng sóng ngẫu nhiên đa hướng, có tính tới các quá trình phản xạ và nhiễu xạ của sóng trong vùng có địa hình biến đổi phức tạp và có vật che chắn [2, 5 - 10].

Phương trình cân bằng năng lượng sóng ngẫu nhiên được viết như sau:

$$\frac{\partial(v_x S)}{\partial x}+\frac{\partial(v_y S)}{\partial y}+\frac{\partial(v_\theta S)}{\partial \theta}=\frac{\kappa}{2\omega}\left\{\left(CC_g\cos^2\theta S_y\right)-\frac{1}{2}CC_g\cos^2\theta S_{yy}\right\}-\varepsilon_b S \quad (1)$$

Trong đó:

S: Hàm mật độ phổ năng lượng sóng;

C: Vận tốc truyền sóng;

C_g: Vận tốc nhóm sóng;

θ: Hướng truyền sóng;

w: Tần số góc;

k: Thông số tính tới sự nhiễu xạ sóng (k = 2,5) [9];

ε_b: Hệ số tiêu tán năng lượng sóng do sóng bạc đầu và sóng vỡ.

1.2. Mô hình dòng chảy hai chiều

Mô hình mô phỏng dòng chảy ven bờ được xây dựng dựa trên việc giải hệ phương trình chuyển động 2 chiều lấy tích phân theo độ sâu của dòng chảy (phương trình Sain - Vernant). Mô hình này có tính đến ảnh hưởng của gió, sóng và thủy triều tới dòng chảy vùng ven bờ [6].

Hệ phương trình vi phân cho cho dòng chảy gần bờ như sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}+\frac{\partial \eta}{\partial t}=0 \quad (2)$$

Hệ phương trình chuyển động:

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q_x^2}{d}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q_x q_y}{d}\right)+gd\frac{\partial \eta}{\partial x}-fq_y+\frac{\partial S_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial S_{xy}}{\partial y}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_{th}\frac{\partial q_x}{\partial x}\right)$$
$$-\frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_{th}\frac{\partial q_x}{\partial y}\right)+\frac{gn^2 u\sqrt{u^2+v^2}}{d^{1/3}}-C_z U_w\sqrt{U_w^2+V_w^2}=0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{q_x q_y}{d}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q_y^2}{d}\right)+gd\frac{\partial \eta}{\partial y}+fq_x+\frac{\partial S_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial S_{yx}}{\partial x}-\frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_{th}\frac{\partial q_y}{\partial x}\right)$$
$$-\frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_{th}\frac{\partial q_y}{\partial y}\right)+\frac{gn^2 v\sqrt{u^2+v^2}}{d^{1/3}}-C_z V_w\sqrt{U_w^2+V_w^2}=0 \quad (4)$$

Trong đó:

q_x, q_y: Lưu lượng dòng chảy trên 1 đơn vị chiều rộng ($m^2.s^{-1}$), tính từ đáy lên đến mặt và vuông góc với x, y;

η: Dao động mặt nước so với mực chuẩn (mực "0") (m);

u, v: Thành phần vận tốc dòng chảy theo trục x và y (m/s)

t: Thời gian (s);

d: Độ sâu (m);

g: Gia tốc trọng trường ($m.s^{-1}$);

f: Tham số Coriolis;

ν_{th}: Hệ số nhớt rối ngang ($m^2.s^{-1}$);

n: Độ nhám thủy lực;

U_w, V_w: Thành phần vận tốc gió theo trục x và y (m/s);

C_z: Hệ số ma sát gió;

S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}: Các thành phần ứng suất bức xạ của sóng.

1.3. Mô hình số tính toán tràn dầu trong vùng cửa sông và ven bờ

Thông thường, sau một khoảng thời gian nhất định, dầu tràn trở thành một lớp mỏng trên bề mặt biển, có độ dày khoảng vài cm. Quá trình lan truyền và biến đổi của dầu tràn trên mặt nước bao gồm quá trình lan truyền do trọng lực, quá trình bốc hơi của dầu, quá trình pha trộn của dầu vào nước, quá trình phân tán, quá trình nhũ tương hóa và quá trình dầu đọng tại bờ 0.

Với giả thiết độ dày lớp dầu không đáng kể so với độ sâu cột nước, phương trình tổng quát cho chuyển động và loang của dầu tràn trên mặt nước [2, 5, 10] được viết dưới dạng phương trình bình lưu - khuếch tán:

$$\frac{\partial C_S}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(u_S C_S\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(v_S C_S\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x\frac{\partial C_S}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y\frac{\partial C_S}{\partial y}\right)+$$
$$\alpha v_b C_V-\gamma C_S-C_S S_e-C_S S_d-D_S(x,y) \quad (5)$$

Trong đó:

x, y, t: Biến không gian và thời gian;

C_s: Mật độ dầu trên một đơn vị bề mặt nước;

C_v: Mật độ thể tích dầu trong lớp dưới (lớp lơ lửng);

u_s, v_s: Thành phần vận tốc theo trục x và y;

K_x, K_y: Hệ số khuếch tán dầu theo các trục x và y;

α: Hệ số thể hiện xác suất để dầu hòa tan trong nước nổi lên mặt nước;

V_b: Tốc độ nổi của dầu trong lớp nước lơ lửng;

γ: Hệ số mô tả tốc độ dầu tại bề mặt được phân tán hòa tan trong cột nước;

S_d, S_e: Tốc độ phân hủy và bốc hơi trên một đơn vị diện tích của bề mặt dầu loang;

D_s: Tốc độ lắng đọng và tái khuếch tán của dầu tại đường bờ.

Phương trình mô tả quá trình vận chuyển và biến đổi của dầu lơ lửng trong lớp nước dưới mặt [2, 10] có thể được viết như sau:

$$\frac{\partial HC_V}{\partial t}+\frac{\partial\left(HuC_V\right)}{\partial x}+\frac{\partial\left(HvC_V\right)}{\partial y}=$$
$$\frac{\partial}{\partial x}\left(HK_x\frac{\partial C_V}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(HK_y\frac{\partial C_V}{\partial y}\right) \quad (6)$$
$$+\gamma C_S-\alpha V_b C_V-\beta C_V$$

Trong đó:

C_v: Mật độ thể tích dầu trong lớp lơ lửng ngay dưới mặt nước;

u, v: Các thành phần dòng chảy trung bình theo độ sâu tương ứng các trục x và y;

β: Hệ số dùng để xác định tốc độ lắng đọng của dầu xuống đáy biển. Giá trị độ sâu nước H được lấy bằng 10m khi độ sâu nước thực tại vị trí xem xét lớn hơn 10m.

1.4. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên

Tại các điểm trên biên ngoài khơi, giá trị mực nước từng giờ được cho

trước dựa trên một mô hình truyền triều đơn giản tính toán mực nước tại các điểm trên biên ngoài khơi dựa vào sự biến đổi thời gian của mực nước tại trạm hải văn gần bờ. Tại các biên hở khác, điều kiện bức xạ sóng dài cho phép các sóng từ trong miền tính được tự do đi khỏi miền tính được áp dụng. Gradient của nồng độ dầu được cho bằng 0 tại các biên hở ngoài khơi. Điều kiện biên trượt được áp dụng cho tất cả biên cứng. Điều kiện ban đầu là độ dày của lớp dầu tại điểm tràn dầu được tính theo số lượng dầu thoát ra khỏi tàu 0.

1.5. Sơ đồ sai phân và lời giải số trị

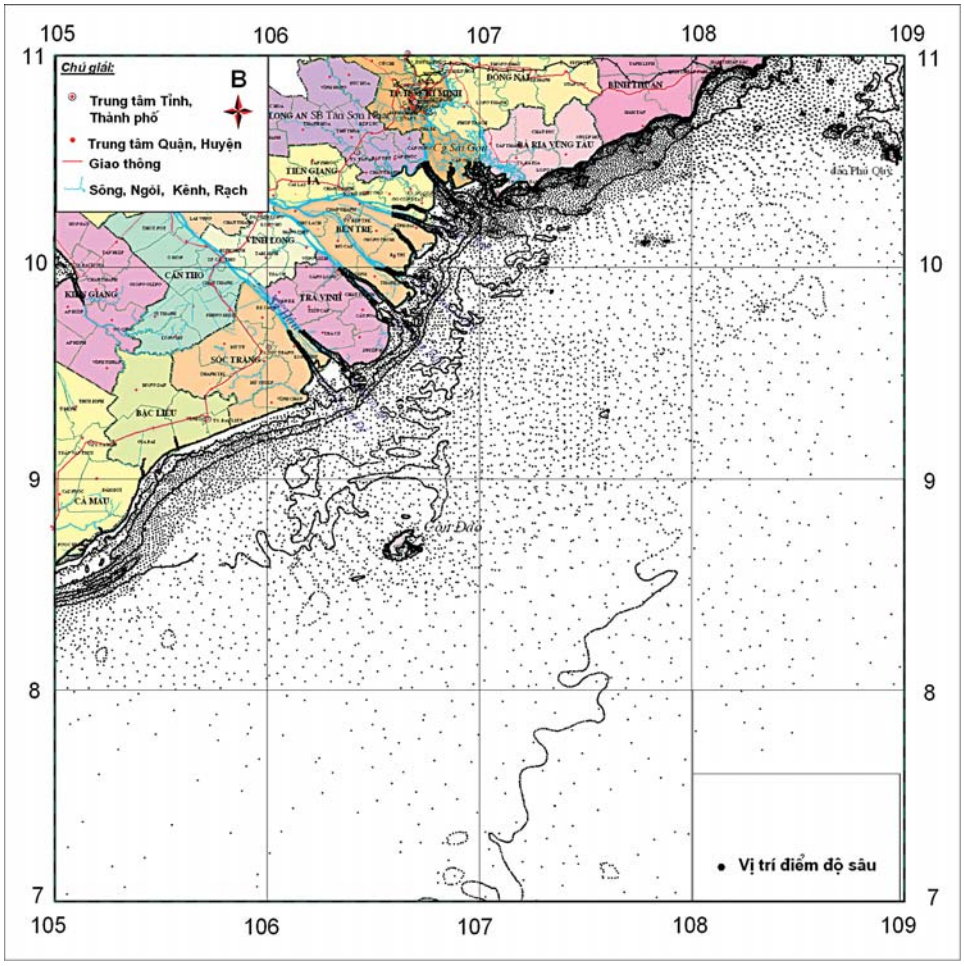
Các phương trình vi phân cho dòng chảy và nồng độ dầu được làm rời rạc trên một lưới hình chữ nhật. Để thuận tiện cho việc tính toán, một lưới tính so le với mực nước, nồng độ dầu được tính tại trung tâm trong khi các thành phần của véc tơ vận tốc dòng chảy được tính tại các biên của ô lưới. Giống như trong mô hình tính toán lan truyền sóng gần bờ, bước lưới tính 100m được dùng cho cả hai hướng. Hiện nay, sơ đồ sai phân được áp dụng để đơn giản và thuận tiện hơn trong việc lập chương trình. Với sơ đồ sai phân này, bước thời gian được chọn theo điều kiện ổn định Crank - Frich - Lewy [2, 5, 7].

2. Một số kịch bản tính toán lan truyền dầu bằng mô hình số trị vùng ven biển Đông Nam Bộ

2.1. Dữ liệu đầu vào

Thực hiện việc tính toán quá trình lan truyền sóng, hoàn lưu ven bờ và vận chuyển chất ô nhiễm trong khu vực nghiên cứu cần sử dụng các loại số liệu: độ sâu và các đặc trưng gió, đặc trưng sóng, mực nước và nguồn sinh ra vật chất đại diện 0. Mô hình 2 chiều này mới chỉ sử dụng số liệu sóng, gió và mực nước tại một vị trí để đại diện cho toàn vùng nên các dữ liệu động lực được làm đầu vào để áp dụng cho các mô hình chỉ sử dụng tại một vị trí đại diện cho toàn vùng. Do đó, dữ liệu đầu vào được lựa chọn như sau:

Độ sâu: Vì khu vực nghiên cứu nằm trong vùng có địa hình khá phức tạp, bị ảnh hưởng bởi chế độ thủy văn trong sông ra. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng miền tính với lưới tính có kích thước là 401 x 401 nút lưới tính và bước lưới là 1.100m x 1.100m tương ứng với từ 7° - 11° vĩ Bắc và 105° - 109° kinh Đông, bước lưới 0,01° x 0,01°. Bản đồ độ sâu của miền tính lớn được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. *Bản đồ địa hình khu vực nghiên cứu*

Gió - sóng: Sử dụng làm đầu vào tính toán cho vùng biển Đông Nam Bộ được lựa chọn là đặc trưng gió - sóng ngoài khơi Vũng Tàu - Côn Đảo (Bảng 1).

Mực nước: Dao động mực nước được sử dụng trong mô hình là trạm Vũng Tàu (Hình 2).

Nhiệt độ: Nhiệt độ được lựa chọn là 27,0°C.

Nguồn dầu: Dầu thải do khai thác, sự cố rò rỉ và do sự cố trên tuyến hàng hải quốc tế qua lại. Theo báo cáo năm 2010, tổng lượng dầu qua các cảng Việt Nam là 40 triệu tấn [1, 3]. Từ năm 1993 đến nay, tại Tp. Hồ Chí

Minh đã xảy ra 8 vụ tràn dầu, với lượng dầu tràn ước tính khoảng 2.520 tấn. Lượng dầu tràn giả định là 150 tấn, tràn ra trong 5 giờ.

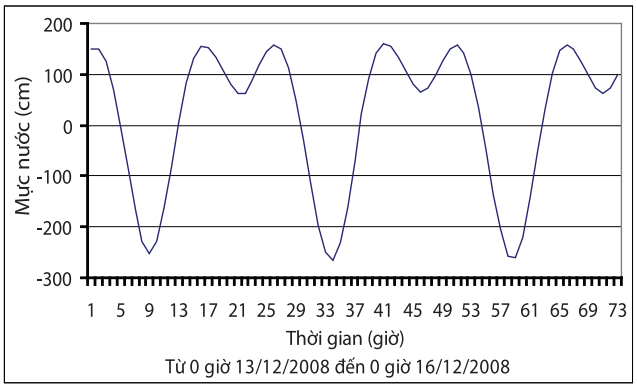
2.2. Kết quả - kịch bản mô phỏng dầu tràn ven biển Đông Nam Bộ

Các kết quả tính toán sóng được thể hiện trường sóng (Hình 3). Trường sóng biến đổi khá phù hợp với trường địa hình. Khi sóng truyền vào gặp địa hình phức tạp thì sóng thay đổi phức tạp. Sóng thể hiện các hướng truyền và khả năng xâm nhập sâu vào ven bờ khác nhau, cụ thể hướng Đông Bắc biến đổi mạnh nhất mặc dù độ cao sóng ngoài khơi lớn nhất, hướng Đông và Đông Nam ít thay đổi hơn với độ cao sóng ngoài khơi nhỏ.

Các kết quả kịch bản đầu ra của mô hình sóng làm đầu vào cho mô hình dòng chảy ven bờ. Kết quả các kịch bản về sự cố tràn dầu thể hiện trên Hình 4. Nhìn chung, khi xảy ra sự cố tràn dầu ở vùng biển Đông Nam Bộ thì khả năng ảnh hưởng của sự cố đó đến vùng biển là lớn. Đối với khu vực ven bờ khả năng ảnh hưởng phụ thuộc vào trường gió thổi. Ba trường hợp gió thổi khác nhau với ba thời đoạn thủy triều và cả trường sóng cũng khác nhau nên vết loang dầu trên bề mặt di chuyển khác nhau.

Bảng 1. *Đặc trưng gió - sóng khu vực nghiên cứu*

Hướng (độ)	Tốc độ gió (m/s)	Độ cao sóng (m)	Chu kỳ sóng (s)
Đông Bắc	7,0	2,0	6,5
Đông	6,5	1,5	5,6
Đông Nam	6,0	1,5	5,6

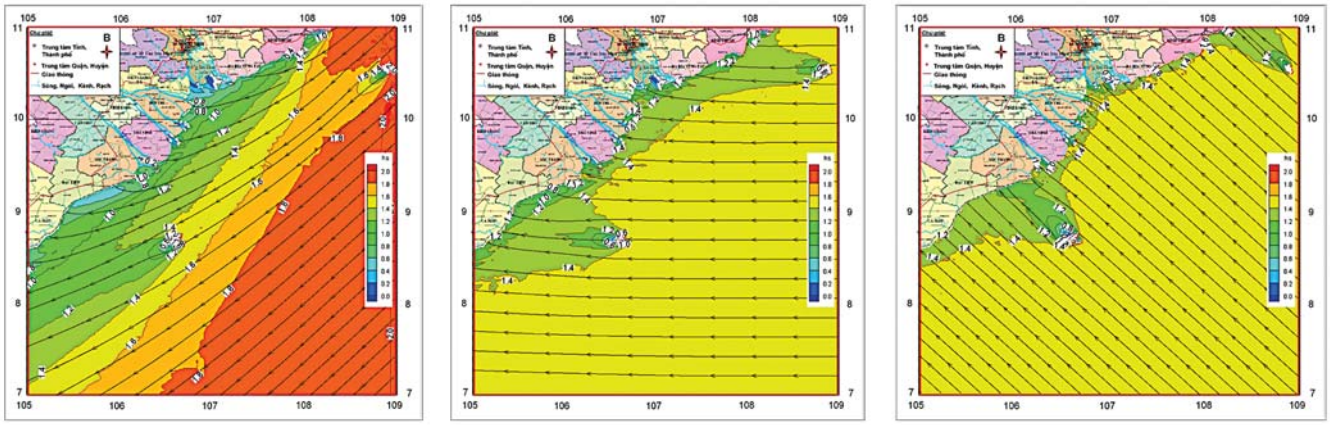


Hình 2. *Dao động thủy triều tại trạm Vũng Tàu*

Kịch bản 1: Trường gió Đông Bắc, sóng Đông Bắc và thủy triều (từ tháng 12 đến tháng 2) cho thấy sau 12 giờ có sự cố tràn dầu thì vết dầu loang bắt đầu ảnh hưởng đến ven bờ tỉnh Bến Tre, sau gần 24 giờ ảnh hưởng đến Côn Đảo và sau 60 giờ ảnh hưởng toàn bộ các tỉnh từ Tiền Giang đến mũi Cà Mau. Kết quả tính toán cho thấy, Kịch bản số 1 với gió Đông Bắc có tốc độ 7m/s là kịch bản có nguy cơ tác động xấu nhất, chỉ sau nửa ngày đến 2 ngày xảy ra sự cố dầu tràn ngoài khơi thì cả vùng ven biển Đông Nam Bộ bị bao phủ bởi váng dầu. Đây là kịch bản cần xây dựng kế hoạch ứng phó tràn dầu chi tiết liên tỉnh.

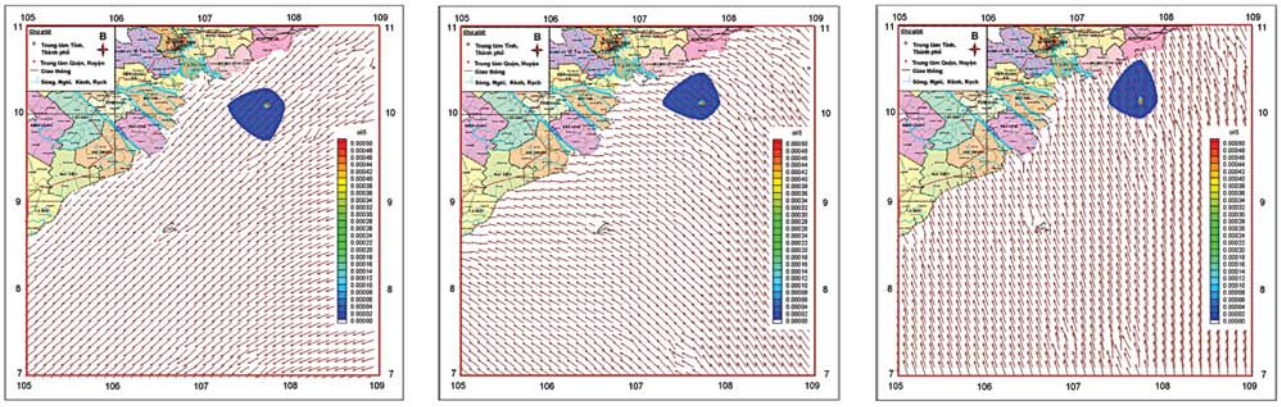
Kịch bản 2: Đối với trường gió Đông, sóng Đông và thủy triều tháng 10 (tháng chuyển mùa và gió thổi trực tiếp từ ngoài khơi vào bờ), vết dầu loang ảnh hưởng đến vùng ven bờ sớm hơn Kịch bản 1 sau 3 giờ - 6 giờ xảy ra sự cố và ảnh hưởng trực tiếp tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Sau 24 giờ, vết dầu đã loang ra và ảnh hưởng vùng ven bờ các tỉnh Bình Thuận, Bà Rịa - Vũng Tàu, Tp. Hồ Chí Minh, Tiền Giang và Bến Tre.

Kịch bản 3: Trường gió Đông Nam, sóng hướng Đông Nam (tháng 8 - 9), gió thổi trực tiếp từ ngoài khơi vào bờ nên vết dầu loang ảnh hưởng đến vùng ven bờ sớm hơn hướng Đông Bắc vào khoảng thời gian sau 6 giờ sau khi có sự cố và ảnh hưởng trực tiếp tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Sau 12 giờ, vết dầu đã loang ra và ảnh hưởng vùng ven bờ các tỉnh: Bình Thuận, Bà Rịa - Vũng Tàu, Tp. Hồ Chí Minh, Tiền Giang.

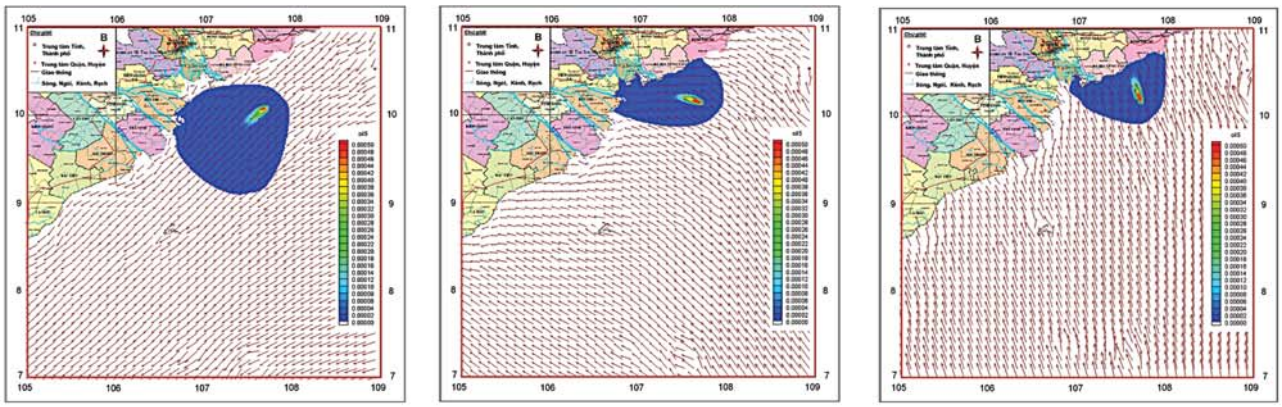


Hs = 2m, Ts = 5s, hướng Đông Bắc | *Hs = 1,5m, Ts = 4,3s, hướng Đông* | *Hs =1,5m, Ts = 4,3s, hướng Đông Nam*

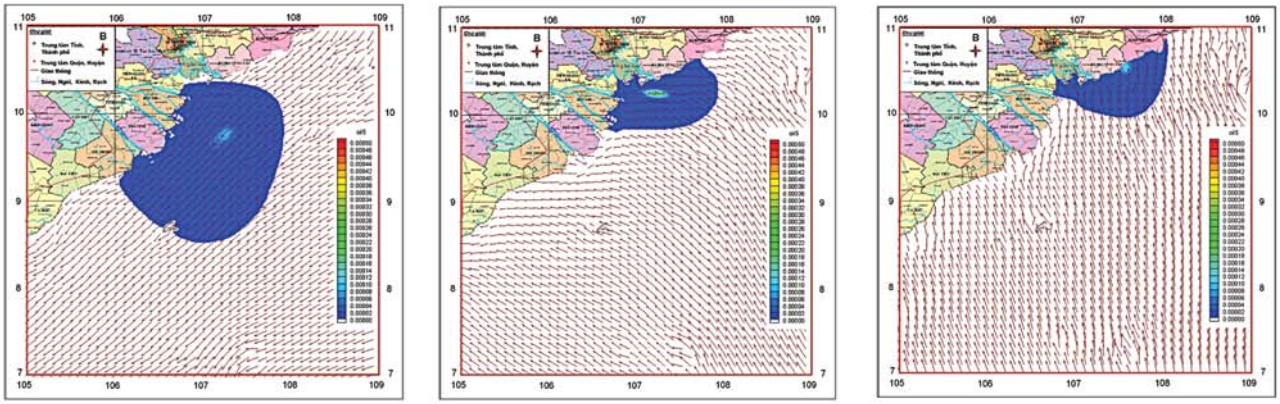
Hình 3. *Trường sóng theo các hướng khác nhau vùng biển Đông Nam Bộ*



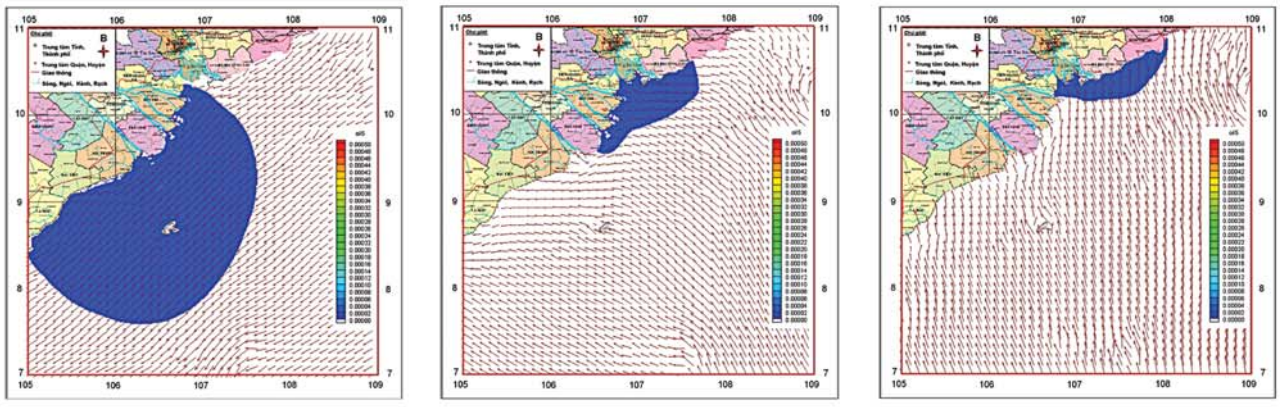
a. Sau 3 giờ xảy ra sự cố tràn dầu



b. Sau 12 giờ xảy ra sự cố tràn dầu



c. Sau 24 giờ xảy ra sự cố tràn dầu



d. Sau 48 giờ xảy ra sự cố tràn dầu

1.Hs = 2m, Ts = 5s, hướng Đông Bắc, Vgió = 7m/s, hướng Đông Bắc

2.Hs = 1,5m, Ts = 4,3s, hướng Đông, Vgió = 6,5m/s, hướng Đông

3.Hs = 1,5m, Ts = 4,3s, hướng Đông Nam, Vgió = 6,0m/s, hướng Đông Nam

Hình 4. *Trường dòng chảy và vết dầu theo các hướng vùng biển Đông Nam Bộ*

Có thể nói rằng vùng biển Đông Nam Bộ là vùng biển có khả năng nguy cơ cao về ô nhiễm dầu do hoạt động hàng hải khu vực này mạnh mẽ và đặc biệt là hoạt động về khai thác dầu khí tập trung nhiều, nguy cơ xảy ra sự cố lớn.

3. Kết luận

Nhóm tác giả cho rằng có thể áp dụng mô hình số trị để giải thích bài toán lan truyền dầu. Kết quả cho nhiều kịch bản các trường dòng chảy tổng hợp do sóng, gió, mực nước và trường dầu loang trên bề mặt do gió, dòng chảy và nhiệt bằng mô hình hai chiều. Kịch bản chế độ động lực biển đóng vai trò quan trọng trong quá trình lan truyền dầu tới vùng ven bờ. Do vậy có thể trợ giúp thông tin lập kế hoạch ứng phó và xử lý dầu loang trên biển, tránh tác động xấu tới sinh vật và hệ sinh thái rừng ngập mặn vùng ven bờ Đồng bằng sông Cửu Long và Đông Nam Bộ.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Đình Dương và nnk. *Ô nhiễm dầu trên vùng biển Việt Nam và Biển Đông*. Mã số: KC.09.22/06-10. Báo cáo tổng kết Đề tài thuộc Chương trình cấp Nhà nước KC 09/06-10 "Khoa học và công nghệ biển phục vụ phát triển bền vững kinh tế - xã hội". 2010.

2. Nguyễn Quốc Trinh, Nguyễn Minh Huấn, Phùng Đăng Hiếu, Dư Văn Toán. *Mô phỏng lan truyền dầu trong sự cố tràn dầu trên vịnh Bắc Bộ bằng mô hình số trị*. Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. 2013; 29(1S): P. 168 - 178.

3. Trần Thế Loan. *Báo cáo về ô nhiễm dầu vùng ven biển Việt Nam*. Dự án "Kiểm kê, đánh giá mức độ tổn thương môi trường biển" (thuộc "Đề án tổng thể về điều tra cơ bản và quản lý tài nguyên - môi trường biển đến năm 2010, tầm nhìn đến năm 2020"). 2011.

4. Phùng Chí Sỹ. *Nghiên cứu đề xuất biện pháp phòng ngừa và phương án ứng phó sự cố tràn dầu mức I tại Tp. Đà Nẵng*. Báo cáo đề tài của Phân viện Nhiệt đới và Môi trường Quân sự, Trung tâm Khoa học Kỹ thuật và Công nghệ Quân sự, Tp. Hồ Chí Minh. 2005.

5. Dư Văn Toán. *Bảo vệ môi trường biển*. Sách Bảo vệ môi trường. Đại học Quốc gia Hà Nội. 2005.

6. Nguyễn Quốc Trinh. *Nghiên cứu chế độ động lực và môi trường vùng biển Đông Nam Bộ*. Luận văn Thạc sỹ, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội. 2008.

7. Zygmunt Kowalik, Tadepalli Satyanarayana Murty. *Numerical modeling of ocean dynamics*. World Scientics. 1993.

8. J.R.Garrat. *Review of drag coefficients over oceans and continents*. Monthly Weather Review. 1997; 105: p. 915 - 929.

9. Mase Hajime, Takayama Tomotsuka, Kunitomi Shoji, Mishima Toyoaki. *Multi-directional spectral wave transformation model including diffraction effect*. Japan Society of Civil Engineers. 1999; 628: p. 177 - 187.

10. G.S.Reddy, M.Brunet. *Numerical prediction of oil slick movement in Gabes Estuary*. Transoft International, EPINAY/SEINE, Cedex, France. 2005.

Simulation of oil spill scenarios in the South-East coastal zone of Viet Nam

Du Van Toan
Research Institute for the Management of Sea and Islands
Nguyen Quoc Trinh
National Hydro-Meteorological Service of Viet Nam

Summary

The risk of environmental disasters related with the spilling of oil products into the sea forces the development of high-quality oil spill simulation and prediction system. In an worst-case scenario, only 48 hours after an oil spill occurs, with the speed of the north-east wind being 7 m/s, the entire Southeast coastal area of Viet Nam will be affected, resulting in great economic losses and serious damages to the marine environment. The article presents the method of simulation of the oil spreading and fate in the sea that integrates the results of meteorological, oceanographic and oil spill modeling. The oil spill numerical simulation system could facilitate more effective and timely short term planning of oil spill recovery operations.