MÔ PHỎNG CHUYỂN ĐỘNG TRÔI CỦA VẬT THỂ TRÊN BIỂN ĐÔNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

Nguyễn Quốc Trinh - Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương
Nguyễn Minh Huấn - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học quốc gia Hà Nội
Phùng Đăng Hiếu, **Dư Văn Toán** - Tổng cục Quản lý Biển và Hải đảo

Các vật thể trôi dạt trên biển tiềm ẩn sự nguy hiểm đối với hoạt động của con người và các hệ sinh thái biển. Chuyển động trôi của vật thể trên biển là kết quả tác động của môi trường không khí (gió) và biển (dòng chảy, sóng, thủy triều), và nội lực (trọng trường và nổi) của vật thể. Chúng tôi có thể xác định quỹ đạo chuyển động trôi của vật thể khi biết thông tin về môi trường (gió, dòng chảy, sóng, thủy triều) và tính chất vật thể (hình dạng, trọng lượng và độ nổi).

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày phương pháp và một số kết quả mô phỏng chuyển động trôi của vật thể ở khu vực Biển Đông. Phương pháp sử dụng trong việc xác định khả năng quỹ đạo di chuyển của vật thể thông qua sử dụng phương pháp Monte Carlo mô phỏng và sử dụng thông tin dữ liệu đầu vào là các trường gió và dòng chảy trung bình tháng đại diện cho hai mùa (đông và hè) tại các vùng tìm kiếm cứu nạn trên khu vực Biển Đông.

1. Mở đầu

Trong những ăm gần đây, điều kiện tự nhiên, khí hậu biển ngày càng khắc nghiệt, thời tiết diễn biến phứ tạp trên các vùng biển Việt Nam nói riêng và trên khu vực Biển Đông nói chung. Cá hiện tượng thời tiết cực đoan diễn ra càng phổ biến hơn, xuất hiện những cơn bão mạnh, áp thấp nhiệt đới, lốc rất bất thường và cả về quy mô cấp độ, cường độ, hướng di chuyển…

Hiện cả nước có gần 130.000 tàu thuyền đánh bắt cá, trong đó có hơn 20.000 tàu thuyền đánh bắt xa bờ (chưa tính các phương tiện khác như tàu, thuyền du lịch, hàng hải…). Thống kê cho thấy, hàng năm, Trung tâm phối hợp Tìm kiếm Cứu nạn Hàng hải Việt Nam (TKCN) thu nhận và xử lý từ 150 - 200 thông tin có liên quan đến tai nạn, sự cố hàng hải trên vùng biển Việt Nam nói riêng và khu vực Biển Đông, trong đó trực tiếp tham gia hoạt động TKCN và phối hợp TKCN từ 50 - 100 vụ tai nạn lớn nhỏ, vì vậy công tác tìm kiếm cứu nạn tại hiện trường là một công tác thường xuyên. Hầu hết các vụ tai nạn xảy ra do các nguyên nhân như tàu mất khả năng điều động, đâm va, thủng tàu gây chìm... trong điều kiện thời tiết xấu. Trong các trường hợp này, tàu TKCN chuyên dụng phải tìm cách tiếp cận, chống chìm và cứu nạn nhân khỏi khu vực nguy hiểm nên việc dự báo quỹ đạo chuyển động trôi của người, phương tiện trên biển để xác định vị trí hoặc thu hẹp diện tích tìm kiếm là yếu tố quyết định sống còn đến thành công và chi phí của công tác tìm kiếm cứu nạn.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ trình bày những điểm cơ bản về cơ sở khoa học của mô hình số trị mô phỏng quỹ đạo trôi của vật thể sinh ra do hoạt động tàu thuyền của con người và nền tảng thông tin cần thiết đối với phục vụ các hoạt động cảnh báo, dự báo và những kết quả ban đầu mô phỏng trên khu vực Biển Đông.

2. Chuyển động trôi của các vật thể nổi

Chuyển động trôi của vật thể nổi trên biển là kết quả của các lực lên vật thể bao gồm ngoại lực hay gọi là lực môi trường xung quanh (gió, dòng chảy, sóng và thủy triều) và nội lực (trọng lực và lực nổi). Ngoài ra, khả năng tính toán quỹ đạo chuyển động trôi của vật thể cần có thêm thông tin về hình dạng và kích thước của vật.

Để xác định được vị trí của vật thể di chuyển được thể hiện theo sự tiến triển của vị trí và vận tốc của vật thể được xem xét như sau:

$$\frac{dX}{dt} = V \qquad (1)$$

Người đọc phản biện: ***Nguyễn Thọ Sáo***

trong đó, X là vị trí của vật thể (m); V là vận tốc trôi của vật (m/s).

Vậy, vận tốc trôi của vật có thể được xác định bằng phép tích thành phần vận tốc như sau:

$$V = V_C + V' \quad (2)$$

trong đó Vc là vận tốc dòng chảy tác động lên vật (m/s) và V' là vận tốc trôi của vật thể tương đối do gió và sóng (m/s).

Vận tốc dòng chảy tác động lên vật thể được tạo thành từ các thành phần như dòng chảy mặtEk-man, dòng chảy tà áp, dòng chảy triều, dòng chảy quán tính. Mà dòng chảy này được coi là tác động lên các vật thể là như nhau mà thông thường được sử dụng từ các sản đầu ra của các mô thình hoàn lưu hoặc bằng phương pháp tham số hóa từ vận tốc gió và hoặc số liệu quan trắc địa phương. Vận tốc trôi là kết quả từ tác động của gió và sóng lên các vật thể, độ lớn của đại lượng này phụ thuộc vào các đặc điểm của vật thể.

Ngoài ra, vật thể di chuyển phụ thuộc vào kích thước có thể phân chia thành hai nhóm:

+ Nhóm thứ nhất các vật thể có kích thước nhỏ, có thể bỏ qua tác động của sóng mà phụ thuộc chủ yếu vào dòng chảy mặt và gió thổi lên phần nổi của vật thể. Các vật thể thuộc loại này bao gồm người, bè, các tàu nhỏ ....

+ Nhóm thứ hai còn lại là các vật thể có kích thước lớn (quy mô độ dài của vật thể là tương đương với độ dài sóng.

Mô hình cơ sở trên phương trình (1) và (2) có thể phân tách thành hai nhóm dựa trên các lực để xác định vận tốc trôi của vật thể tương đối. Theo Hod-gins và Hodgins (1998) [4] tác động của sóng sẽ nhỏ khi quy mô độ dài của vật thể nhỏ hơn độ dài sóng và tăng lên đáng kể khi độ dài vật thể tương ứng .

Do đó, nhóm thứ nhất sẽ dành cho các vật thể tương đối nhỏ, có thể bỏ qua tác động của sóng và tác động của gió là quan trọng phụ thuộc vào cấu trúc phần nổi của vật thể, các vật thể thuộc loại này bao gồm tàu đánh bắt, người, bè, các tàu nhỏ. Nhóm thứ hai còn lại là đối với các vật thể lớn có nghĩa là V' chỉ thực sự có ý nghĩa tác động sóng với các vật thể có độ dài lớn hơn hoặc bằng chiều dài sóng (thường độ dài >50m).

a. Chuyển động trôi dạt do gió của các vật thể

Trong hàng hải, có thể thấy rằng do tính chất không đối xứng của hầu hết các vật thể nổi, sẽ tồn tại lực tác động từ một phía làm cho vật thể trôi dưới một góc nhất định so với hướng gió. Vì vậy, chúng ta có thể phân tách vận tốc trôi của vật thể thành hai thành phần: thành phần theo chiều gió và thành phần vuông góc với chiều gió, các thành phần này được thể hiện trên hình vẽ 1.

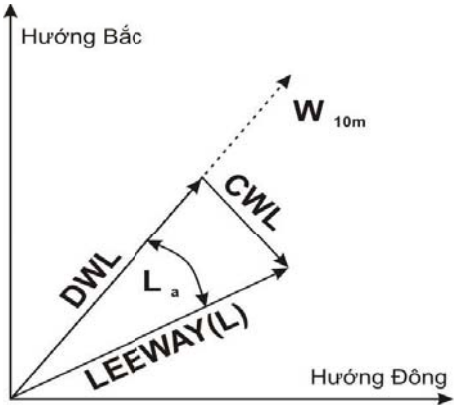
Khái niệm của trôi dạt do gió là một phương án tiếp cận thực nghiệm đối với vấn đề rất khó khăn là xác định lực tác động tịnh lên một vật thể trôi do các vật thể rất đa dạng về kích thước và hình dạng, do đó các nghiên cứu thực nghiệm của các vật thể trên thực tế vẫn còn xa mới hoàn thiện. Allen năm 1999 và 2005 [1,2] công bố kết quả các thử nghiệm trên thực địa để xác định phản ứng đối với gió của các loại vật thể khác nhau (Hình 1). Các thành phần Các thành phần DWL (viết tắt của cụm từ "Down Wind Leeway component" nghĩa là thành phần theo song song hướng gió) và CWL (viết tắt của cụm từ "Cross Wind Leeway component" nghĩa là thành phần theo vuông góc hướng gió) đối với mỗi phân loại vật thể được xác định bằng phương pháp hồi quy tuyến tính với vận tốc gió. Độ lệch chuẩn của DWL và CWL được xác định theo các đặc điểm trôi và cần phải được coi như là sai số tổng cộng liên quan tới số liệu gió và dòng chảy cũng như các biến động của đặc điểm trôi dạt do gió của các vật thể giống nhau tuyệt đối.

$$\begin{aligned} L_d &= a_d W10 + b_d + \varepsilon_d, \\ L_c+ &= a_{c+} W10 + b_{c+} + \varepsilon_{c+} \\ L_c- &= a_{c-} W10 + b_{c-} + \varepsilon_{c-} \end{aligned} \quad (3)$$

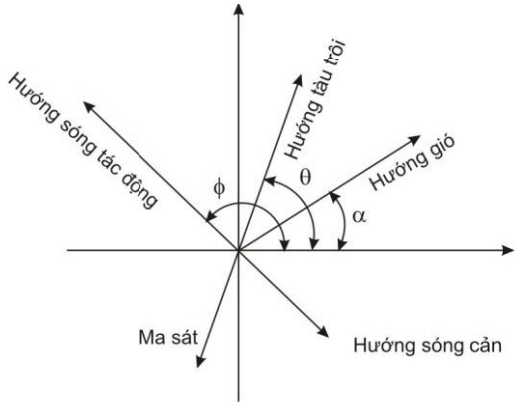
trong đó, W10 là vậ tốc gió (m/); Ld là thành phần vận tốc trôi (cm/s) xuôi theo chiều gió (DWL); ad là hệ số suy giảm theo DWL (%); bd là độ lệch vận tốc theo DWL(cm/s); εd là thành phần sai số hay chênh lệnh vận tốc theo DWL(cm/s). Quan hệ hồi quy tuyến tính tương tự cũng có thể thực hiện đối với cả hai thành phần vuông góc với hướng gió về phía phải (+) và về phía trái (-) (cho phép các hệ số chuyển động trôi không đối xứng, nghĩa là các vật thể trôi về phía trái và phía phải khác biệt nhau). Giả

thiết tồn tại sai số Gauss đối với quan hệ hồi quy tuyến tính, ba tham số εd , εc+ , εc- đủ để xác định sai số đối với thành phần xuôi chiều gió cũng như đối với các thành phần vuông góc về phía phải và phía trái của chiều gió.

Để áp dụng tính toán chuyển động trôi trong các dự báo nghiệp vụ, các thành phần DWL và CWL được xác định trực tiếp từ các công thức hồi quy tuyến tích là hàm của vận tốc gió khi xác định được dạng của vật thể. Độ lệch chuẩn được sử dụng trong việc xác định sự bất định khi xác định hướng và vận tốc trôi do gió. Định hướng ban đầu của vật thể trôi thông thường là không rõ ràng do đó dự báo được thực hiện cho cả hai khả năng.



Hình 1. Mối quan hệ giữa vận tốc di chuyển (L) và véc tơ vận tốc gió W10m. DWL là thành phần vận tốc theo chiều gió, CWL là thành phần vận tốc vuông góc với chiều gió, La là góc trôi (được xác định chiều dương theo phía tay phải của hướng gió)



Hình 2. Sơ đồ các lực tác động lên thân tàu trôi trên bề mặt biển

b. Chuyển động trôi của tàu

Chuyển động trôi của tàu được tiếp cận theo phương pháp giải tích dựa trên các thành phần lực tác động. Mô hình chuyển động trôi của vật thể dựa trên các kết quả được Sorgard và Vada (1998) [5] công bố mà trong đó việc xác định lực tác động lên vật thể do gió và sóng (V'). Phương pháp này đã thể hiển sự khác biếth ở chỗ các vật thể có thể được biểu diễn bằng việc tham số hóa một số tính chất cơ bản .

Các kết quả nghiên cứu của Sorgard và Vada (1998) [5] cho thấy rằng vận tốc trôi tương đối của vật thể sẽ tăng lên nhanh chóng (trong khoảng 2 – 10 phút) và đạt đến độ ổn định trong quá trình di chuyển. Do đó, Chúng ta không cần thiết phải tích phân gia tốc theo thời gian khi vận tốc trôi do gió và sóng được tính toán mô phỏng trong vài giờ và đạt được độ ổn định cho phép có thể sử dụng như một xấp xỉ tốt.

Cân bằng lực tác động do gió và sóng lên vật thể có thể viết dưới dạng:

$$F_{wind} + F_{wave} + f_{form} + f_{wave} = 0 \quad (4)$$

trong đó: + Fwind là lực do gió lên vật, lực này phụ thuộc diện tích đón hướng gió có nghĩ là phụ thuộc hình dạng, kích thước phần nổi của vật. Lực này được thể hiện dưới dạng:

$$F_{wind} = \frac{1}{2}\rho_a (A_h + A_s) C_d \|U_w\| U_w \quad (5)$$

với ρa là mật độ của không khí, As là diện tích phần nổi, Ah diện tích mạn đón gió, Cd hệ số ma sát gió và Uw vận tốc gió;

+ Fwave là lực tác động sóng lên mạn tàu;

+ fform trong phương trình (4) là dạng ma sát hình dạng vật hoặc lực cản của nước tác động lên vật do sự chuyển dịch tương đối, lực này phụ thuộc vào diện tích ướt tiếp diện vật là diện tích ngập trong nước của vật chịu tác động của lực.

$$f_{form} = \frac{1}{2}\rho_w A_w C_d \|V'\| V' \quad (6)$$

+ fwave là lực cản sóng xuất hiện khi vật chuyển động phản lại lực tác động do sóng từ vật thể.

Vậy, thực tế đã có rất nhiều nghiên cứu thực hiện để xác định di chuyenr trôi của vật thể do sóng và lực cản. Các mô phỏng số của nhiều loại vật thể với các hình dạng kích thước khác nhau và các vật thể được lý tưởng hóa theo các công trình nghiên cứu của Sorgard và Vada (1998) [5] cho thấy rằng các hình dạng vật thể đại diện có thể xấp xỉ hóa tương tự như hộp chữ nhật đơn giản có cùng kích thước với các tham số như độ dài, độ mớm nước hay độ nổi của vật thể. Lực của sóng tác động lên vật thể được xác định như là các hàm của phổ sóng. Sorgard và Vada đã thành lập bảng hàm chuyển đổi cho chuyển động trôi vật thể do sóng và lực cản sóng cho toàn bộ không gian phổ tần số. Các lực tác động lên một vật thẻ có thể xác định bằng cách nội suy từ các giá trị trong cơ sở dữ liệu sắn có mà ông đã nghiên cứu.

Hình 2 thể hiện sơ đồ lực tác động lên vật thể trôi trên biển. Thông thường, các lực của gió và sóng sẽ tác động trên cùng một hướng, nhưng để tổng quát chúng được xác định trên hướng khác nhau.

c. Phương pháp tiếp cận ngẫu nhiên dự báo vị trí tàu trôi

Trong dự báo chuyển động trôi trên bề mặt biển, tồn tại các điều bất định tồn tại trên hầu hết các khía cạnh khi thực hiện tính toán như (1) Mô hình hóa các vật thể và tàu thường sử dụng các tham số thực nghiệm (hoặc các công thức thực nghiệm); (2) Xấp xỉ không hoàn toàn của các quy luật thủy động lực; (3) Thiếu hụt thông tin chính xác về các vật thể và vị trí của chúng (có thể ở một vài thời điểm); (4) Bất định tồn tại trong các số liệu về gió, sóng và dòng chảy được sử dụng để điều khiển các mô hình dự báo vật thể trôi.

Do đó, phương pháp xác suất là cách tiếp cận phù hợp nhất. Bằng cách gán các xác suất vào các tham số tương ứng và tập hợp của các phép tích phân số trị có thể xác định nơi các tham số tác động một cách ngẫu nhiên. Các biến động được điều khiển bằng các phân bố xác suất thích hợp mà chúng ta sẽ có một "đám mây" tập hợp các vị trí có thể của vật thể trôi. Các đám mây này sẽ là phép đo các vị trí vật thể có xác suất cao nhất (Berloff và McWilliams, 2002 [3]). Kỹ thuật này được gọi là phương pháp Monte Carlo.

Phương pháp Monte Carlo (Priestley, 1981 [6]; Wilks, 1995 [7]) , đề xuất sử dụng phương pháp xác suất ngẫu nhiên các thông số tương ứng và thiết lập các phép phân tích số có thể xác định nơi các hiệu ứng ngẫu nhiên các thông số, kết quả sẽ là một "đám mây" của vị trí của vật thể có thể trôi dạt, các đám mây sẽ được đo vị trí vật thể có xác suất cao nhất . Phương pháp này tiếp cận dưới một số góc độ sau: (1) Đối tượng đại diện bởi các hạt, mỗi hợp với đặc điểm của đối tượng; (2) Sự biến động trong mô hình, điều kiện ban đầu và giải bằng phân tán bình lưu và khuếch tán rối; (3) Sóng Stokes tác động lên vận thể được sử dụng; (4) Vị trí các hạt thay đổi đại diện cho một mật độ xác suất của vật thể.

Hướng của các vật thể trôi cũng chịu chi phối mạnh của hướng gió, chuyển động trôi do gió của hầu hết các vật thể đều chứa đựng thành phần vuông góc với hướng gió. Điều này sẽ là một sự khác biệt lớn giữa hướng trôi của vật thể với hướng xuôi chiều gió. Khi hướng trôi của vật thể về phía bên phải hay bên trái của hướng gió không được xác định và ngay cả có nhiều thông tin hơn về vật thể trôi thì cũng phải gán cùng một xác suất cho tất cả các phương án tính toán, kết quả là sẽ tồn tại hai vùng tìm kiếm tách biệt với xác suất cao.

Hơn nữa, một hiện tượng có thể tác động đến các lớp vật thể nếu không có thông tin nào về vật thể, trên thực tế điều này có thể thực hiện khi thực hiện một số phép tích phân từ cùng một lớp điều kiện ban đầu thí dụ như người trôi trong nước hoặc xuồng cứu sinh hay tàu bị tràn nước. Chồng phủ các lớp quỹ đạo khác nhau sẽ có được vùng tìm kiếm tổng cộng.

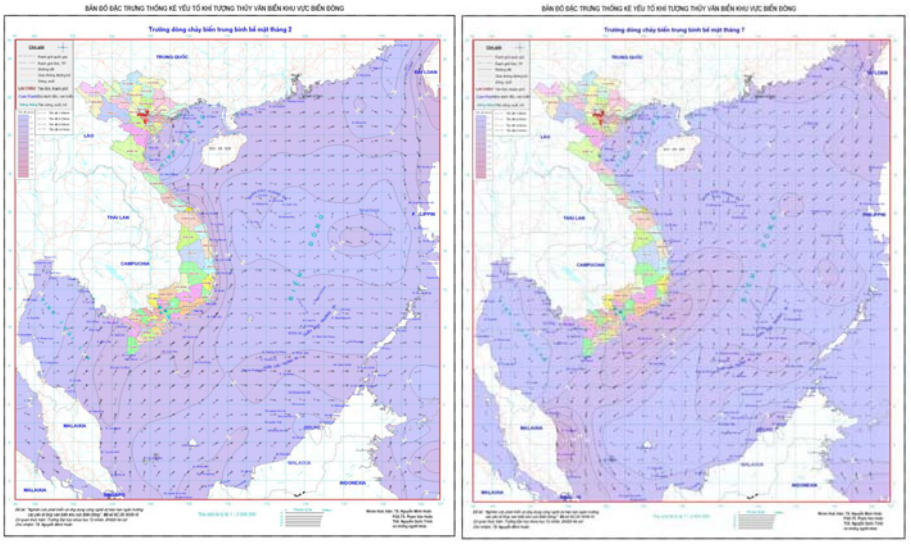
3. Kết quả tính toán quỹ đạo chuyển động trôi sử dụng số liệu trung bình tháng tại vùng biển việt nam và khu vực Biển Đông

Kết quả bao gồm các quỹ đạo của vật thể tương ứng với các chuỗi số liệu các yếu tố động lực (gió và dòng chảy mặt biển) trung bình theo thời gian

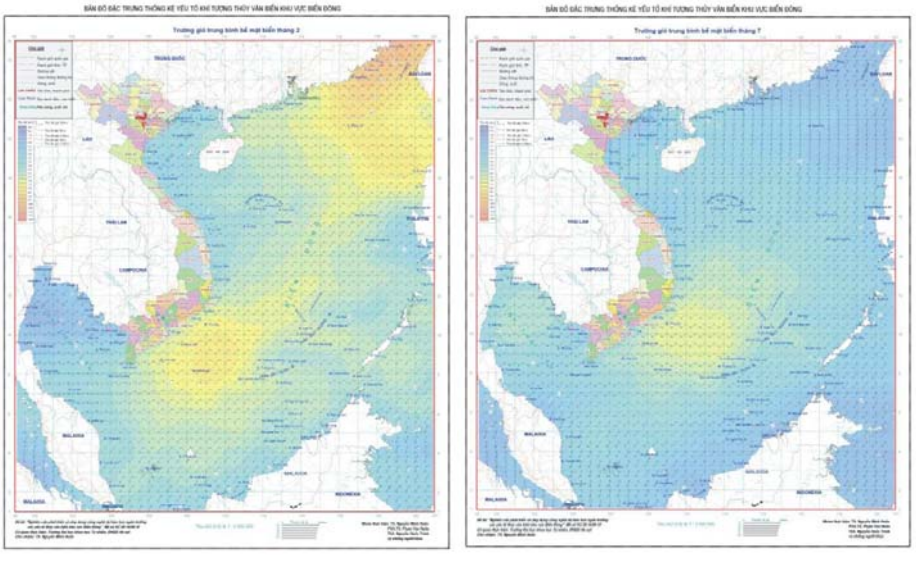
đại diện cho chế độ khí hậu tại 03 vùng cứu nạn của vùng biển Việt Nam.

a. Số liệu và các phương án tính toán

Các bộ số liệu về trường gió tại bề mặt biển và dòng chảy trên bề mặt trung bình của tháng 2 và tháng 7 đại diện cho hai mùa khí hậu của vùng biển Việt Namvà khu vực Biển Đông là sản phẩm của Nguyễn Minh Huấn và nnk (2010) [8] được sử dụng làm đầu vào để điều khiển mô hình dự báo quỹ đạo chuyển động của tàu đánh bắt giả định mất điều khiển trôi dạt trong thời gian 07 ngày với các vị trí gặp nạn và bắt đầu trôi dạt tại 3 vùng tìm kiếm cứu nạn trên biển Việt Nam.



Hình 3. Trường dòng chảy trung bình trên bề mặt biển tháng 2 (trái) và tháng 7 (phải) trên khu vực Biển Đông. (Nguồn: Nguyễn Minh Huấn và nnk, 2010 [8])



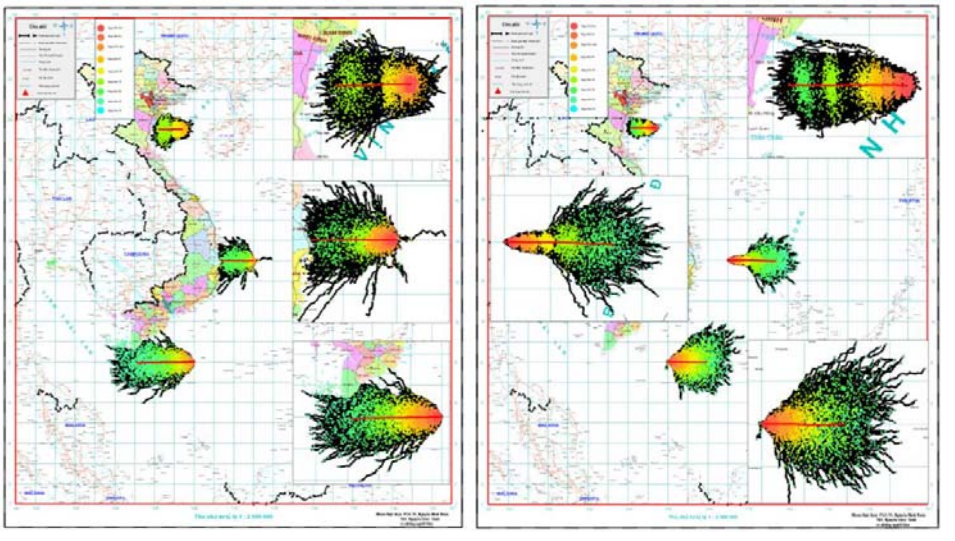
Hình 4. Trường gió trung bình trên bề mặt biển tháng 2 (trái) và tháng 7 (phải)trên khu vực Biển Đông. (Nguồn: Nguyễn Minh Huấn và nnk, 2010 [8])

Hình vẽ 3 thể hiện các đặc điểm chính của các hệ thống dòng chảy tầng mặt trong các mùa, dòng chảy tầng mặt trong mùa đông bị chi phối chủ yếu bởi trường gió đông bắc thịnh hành trên Biển Đông và một phần bị ảnh hưởng của hệ thống dòng chảy địa chuyển tạo nên do các trường nhiệt độ và độ muối nước biển; dòng chảy tầng mặt mùa hè hình thành chủ yếu do trường gió tây nam với đặc điểm bị phân hóa mạnh bởi tác động của dải hội tụ nhiệt đới có vị trí trung bình nằm trên đường chéo qua biển theo hướng từ tây bắc đến đông nam. Về tổng thể trục chính của dòng chảy trên mặt biển hướng từ tây nam đến đông bắc kèm theo hệ thống các xoáy quy mô vừa.

Hình vẽ 4 thể hiện trường gió trung bình trên bề mặt biển tháng 2 (trái) và tháng 7 (phải) trên khu vực Biển Đông, các bản đồ này cho thấy sự chuyển biến hợp quy luật thực tế là gió mạnh vào các tháng mùa đông và mùa hè mà hướng gió tồn tại theo hai hướng chính (đông bắc và tây nam) là đặc trưng điển hình cho vùng nhiệt đới gió mùa.

b. Thảo luận kết quả

Các kết quả tính toán quỹ đạo chuyển động trôi của tàu đánh bắt giả định mất điều khiển trôi dạt trong thời gian 07 ngày đối với 03 trường hợp TN01; TN02; TN03 xảy ra ở các tọa độ TN01(107^{0}24'E; 19^{0}30'N); TN02 (111^{0}00'E; 13^{0}00'N) và TN03 (108^{0}00'; 8^{0}00'N) thuộc các vùng cứu nạn trên biển Việt Nam trong các tháng 02 và tháng 07 được thể hiện trên hình vẽ 5 cho thấy chuyển động trôi trung bình của tàu trong tháng 02 có hướng đông – tây từ ngoài khơi vào bờ, vùng tìm kiếm tổng cộng có xác suất vị trí tàu trôi theo chiều gió về phía trái quỹ đạo trung bình cao hơn phía phải đối với cả ba trường hợp tại ba vùng cứu nạn, quỹ đạo chuyển động trôi trung bình của tàu trong tháng 07 có hướng tây – đông từ bờ ra khơi riêng đối với trường hợp TN01 tại vùng cứu nạn 1, quỹ đạo chuyển động trôi của tàu vẫn có xu thế theo hướng đông – tây như trong tháng 02.



Hình 5. Quỹ đạo chuyển động trôi tính toán của tàu đánh bắt cá giả định mất điều khiển trong các tháng 02 (trái) và tháng 07 (phải)

Nhìn chung, các kết kết quả trên bước đầu mô phỏng sự di chyển của vật thể trôi nổi trên biển nên các thông tin về vật thể chưa được cụ thể hóa. Mà chúng chỉ ở dạng mặc định dưới tác động của gió và dòng chảy gây nên quá trình trôi nổi trên biển.

Trên hình 5 đã được thể hiện quỹ đạo vật thể trôi nổi theo hai mùa tác của gió và dòng chảy với giả định ban đầu là 500 vị trí ngẫu nhiên trong phạm vi bán kính 1km xung quanh vị trí sự cố. Các điểm đen thể hiện cho quỹ đạo của từng trường hợp trong 500 trường hợp. Các điểm màu khác nhau thể hiện theo từng thời gian sau khi sự cố xảy ra tương ứng 02, 03, 05, 07, 10, 15, 20, 25 và 30 ngày.

Khai thác và thử nghiệm thành công phương pháp tính toán dự báo chuyển động trôi của vật thể ở vùng biển ven bờ với thông tin về gió địa phương, dòng chảy bề mặt, hình dạng và độ nổi của vật thể.

Phương pháp sử dụng bao gồm việc xác định xác suất của các sự kiện liên quan tới chuyển động trôi sử dụng các mô phỏng Monte Carlo và tính toán các quỹ đạo của vật thể tương ứng với các chuỗi số liệu trung bình theo thời gian trong các tháng 02 và 07 đại diện cho chế độ khí hậu, hải văn tại các vùng tìm kiếm cứu nạn trên vùng biển Việt Nam và khu vực Biển Đông, các kết quả này sẽ được sử dụng như các chỉ dẫn ban đầu về hướng chuyển động trôi tổng quát khi tai nạn mới xảy ra, quỹ đạo cụ thể hơn phục vụ cho công tác tìm kiếm cứu nạn sẽ được xác định với các tính toán chi tiết sử dụng số liệu dự báo gió và dòng chảy.

Tài liệu tham khảo

1. Allen, A A, 2005: Leeway divergence, Technical Report CG-D-05-05, US Coast Guard Research and Development Center, 1082 Shennecossett Road, Groton, CT, USA.

2. Allen, A A and JV Plourde, 1999: Review of Leeway: Field Experiments and Implementation, Technical Report CG-D-08-99, US Coast Guard Research and Development Center, 1082 Shennecossett Road, Groton, CT, USA.

3. Berloff, P. S and J. C McWilliams, 2002. Material Transport in Oceanic Gyres. Part II: Hierarchy of Stochastic Models. J Phys Oceanogr 32(March), 797–830.

4. Hodgins DO, Hodgins SLM., 1998 Phase II leeway dynamics program: development and verification of a mathematical drift model for liferafts and small boats. Technical report. 5741. Canada (Nova Scotia): Canadian Coast Guard.

5. Sorgard, E and T Vada, 1998. Observations and modelling of drifting ships. Report DnV 96-2011, Det norske Veritas (DnV), Norway, Oslo.

6. Priestley, M.B., 1981. Spectral Analysis and Time Series. Academic Press, London

7. Wilks, D.S., 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press, London.

8. Nguyễn Minh Huấn và nnk. 2010. Nghiên cứu phát triển và ứng dụng công nghệ dự báo hạn ngắn trường các yếu tố thủy văn biển khu vực Biển Đông. Báo cáo tổng hợp kết quả khoa học công nghệ đề tài KC.09.16/06-10. Hà Nội.