

NGHIÊN CỨU DÒNG HẢI LƯU ẤN ĐỘ DƯƠNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ TRỊ

Phạm Xuân Dương

Viện Hải dương học-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
E-mail: duongpx63@yahoo.com

Ngày nhận bài: 5-6-2014

TÓM TẮT: Công nghệ OpeNDAP (Open-source Project for a Network Data Access Protocol) được sử dụng để truy cập lấy số liệu toàn cầu cho khu vực Ấn Độ Dương phục vụ nghiên cứu. Dòng hải lưu Ấn Độ Dương đã được tính toán trong thời gian dài hàng năm, các kết quả tính toán cho thấy: Tồn tại các dòng hải lưu mạnh chảy liên tục từ Tây sang Đông cách xa đất liền nằm trong khoảng vĩ độ từ $5^{\circ}S$ đến $5^{\circ}N$ và dòng hải lưu sát bờ phía Tây với tốc độ trên 100 cm/s . Ngoài ra ở Ấn Độ Dương, tại nhiều vùng xuất hiện các xoáy nước synop có kích thước lớn với đường kính đến hàng trăm km và tốc độ dòng trong các xoáy này rất lớn, trên 100 cm/s . Theo thời gian các vực xoáy nước này không hoàn toàn nằm một chỗ mà thường xuyên di chuyển. Đối chiếu các kết quả nghiên cứu với các bức ảnh công bố của NASA cho thấy có sự phù hợp.

Từ khóa: Ấn Độ Dương, Dòng hải lưu, ROMS, xoáy nước Synop.

MỞ ĐẦU

Ấn Độ Dương là đại dương lớn thứ ba trên thế giới, bao phủ khoảng 74 triệu km^2 , độ sâu trung bình khoảng 3.890 m . Địa hình đáy Ấn Độ Dương gồm các dãy núi lửa gồ ghề, còn hoạt động. Những dãy núi này có hình dạng chữ “Y” ngược, với đỉnh trên tại biển Aradian, còn hai nhánh của nó tuần tự trải dài bên dưới châu Phi và Úc. Các dòng hải lưu thịnh hành ở Ấn Độ Dương phức tạp và phần lớn bị ảnh hưởng bởi chế độ gió mùa. Gió mùa có tốc độ gió lên đến 45 km/h xuất hiện tại phía Bắc, tại biển Arabian và tại vịnh Bengal. Trong thời gian khoảng tháng 4 đến tháng 10, Ấn Độ Dương chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam và những tháng còn lại chịu ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc. Ấn Độ Dương có tầm quan trọng về mặt kinh tế và là vùng sản xuất dầu lớn nhất trên thế giới bao gồm ở vịnh Persia, Bengal và biển Arabia, ở đây có lượng dầu khổng lồ nằm dưới biển.

ROMS [1] là mã nguồn mở của mô hình hoàn lưu đại dương được sử dụng rộng rãi trong cộng đồng khoa học, lượng người nghiên cứu sử dụng và phát triển tăng nhanh trong những năm gần đây, đặc biệt là tại các nước và các cơ quan nghiên cứu có năng lực tính toán thấp. Độ tin cậy của mô hình ROMS được đánh giá cao qua so sánh các kết quả mô phỏng chế độ thủy động lực học trong vùng biển giả định trong trường hợp đơn giản đã có lời giải tích (Huang và Spaulding “1995” đã có lời giải tích khi tính dao động truyền vào kênh có độ sâu không đổi, không có ma sát đáy, dao động mực nước có biên độ 50 cm được đưa vào một đầu của kênh kín có kích thước $12 \times 12\text{ km}$. Trường hợp thứ hai là xem xét tính phù hợp về phân bố vận tốc dòng chảy theo phương phẳng đứng của một kênh kín cũng có kích thước $12 \times 12\text{ km}$ có độ sâu là 40 m dưới tác động của ứng suất gió $0,1\text{ N/m}^2$). ROMS được rất nhiều nhà nghiên cứu sử dụng và phát triển với nhiều qui mô không gian và thời gian khác nhau: từ dải ven

bờ tới các đại dương thế giới; mô phỏng cho vài ngày, vài tháng tới hàng chục năm.

Ngày 8/3/2014 máy bay MH370 của hãng hàng không Malaysia mất tích một cách bí ẩn sau khi cất cánh từ sân bay quốc tế Kuala Lumpur (Malaysia) để đến thủ đô Bắc Kinh, Trung Quốc. Trong việc tìm kiếm xác máy bay, lực lượng tìm kiếm sẽ phải tính toán và thu hẹp phạm vi nơi máy bay có thể lao xuống biển. Tuy nhiên nhiệm vụ đó không hề dễ dàng chút nào vì vùng biển Nam Ấn Độ Dương là một khu vực biển biến động vô cùng bất thường. Tại đây với những dòng hải lưu liên tục thay đổi vận tốc và hướng mỗi ngày, khiến lực lượng tìm kiếm gặp rất nhiều khó khăn trong việc lần tìm dấu vết của những vật thể trôi dạt, cũng như xác định xuất phát điểm của chúng.



Hình 1. Vùng biển phía tây Australia giáp với Ấn Độ Dương, nơi được cho là MH370 có thể bay qua (cho đến tháng 6/2014 vẫn chưa xác định được máy bay rơi ở đâu). Australia sẽ tìm kiếm ở vùng biển này, từ Ấn Độ Dương đến quần đảo Cocos (chấm đỏ, Đồ họa: *Mapsofworld*)

Các nghiên cứu, tính toán, mô phỏng dòng hải lưu Ấn Độ Dương của các nhà khoa học Việt Nam đăng trên các tạp chí không nhiều, mà thường đăng tải các kết quả nghiên cứu về các vùng, miền của Biển Đông là chủ yếu. Việt Nam đang trên đường hội nhập quốc tế về mọi

lĩnh vực và hiện nay việc hội nhập nghiên cứu các hoàn lưu đại dương thế giới của các nhà khoa học biển Việt Nam đang được đặt ra. Do vậy việc áp dụng mô hình số trị để nghiên cứu dòng hải lưu Ấn Độ Dương trong bối cảnh hiện nay là cần thiết để chúng ta có được những hiểu biết nhiều hơn nữa về tính chất, quy luật, hình thái của các dòng hải lưu Ấn Độ Dương cả về mặt định tính cũng như định lượng.

CƠ SỞ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Cơ sở nghiên cứu, tính toán dòng hải lưu Ấn Độ Dương trong nghiên cứu của tác giả là triển khai áp dụng và phát triển mô hình ROMS. Các phương trình chi phối của ROMS được thiết lập dựa trên ba hệ tọa độ: Đề Các - Sigma - Cong trục giao. Hệ tọa độ Đề Các với x tăng theo hướng Đông, y tăng theo hướng Bắc và z tăng theo hướng thẳng đứng từ dưới lên. Bề mặt tự do của biển được xác định tại vị trí $z = \zeta(x,y,t)$ và đáy tại vị trí $z = -H(x,y)$. Trong đó, \vec{v} là vector vận tốc theo phương ngang với các thành phần (u, v) , w là thành phần thẳng đứng, T-S là thành phần nhiệt - muối và ∇ là toán tử gradient theo phương ngang. Khi đó ROMS đưa ra bảy phương trình: Phương trình liên tục đối với chất lỏng không nén được, hai phương trình động lượng theo phương ngang, phương trình động lượng theo phương thẳng đứng, phương trình trạng thái, phương trình khuếch tán nhiệt độ, phương trình khuếch tán độ muối [2]. Bằng cách biến đổi từ tọa độ Đề Các (x, y, z) sang hệ tọa độ không thứ nguyên (Sigma) theo phương thẳng đứng (x', y', σ) , sau đó sử dụng các toán tử $x' = x$, $y' = y$, $\sigma = \frac{z - \zeta}{H + \zeta}$ ($z = \zeta$ “ $\sigma = 0$ ”, $z = -H$ “ $\sigma = -1$ ”), chúng ta thực hiện các phép biến đổi hệ tọa độ Đề Các sang hệ tọa độ Sigma ở mặt biển $z = \zeta$ đến đáy biển $z = -H$ có tọa độ không thứ nguyên $\sigma = 0$ và $\sigma = -1$. Khi đó nhận được 7 phương trình chi phối của ROMS trong hệ tọa độ Sigma [3]. Ở hệ tọa độ cong trục giao, bằng cách sử dụng các toán tử ξ, η vuông góc và các biên của miền tính trùng với các đường đẳng ξ, η , khi hàm ánh xạ được xác

định thì các hệ số đo $m(\xi, \eta)$, $n(\xi, \eta)$ cũng được xác định. Các hệ số đo m và n của hệ tọa độ cong trực giao liên kết các khoảng cách sai phân theo hướng ξ , η với các cung thực tế, thay thế và biến đổi các phương trình của ROMS trong hệ tọa độ Đề Các sẽ được 7 phương trình tương ứng trong hệ tọa độ cong trực giao [4, 5].

Miền nghiên cứu nằm trong khoảng từ 35°S - 30°N và 18°E - 120°E chia thành 137×199 điểm nút với kích thước bước lưới dy dao động trong khoảng 45,63 - 55,57 km và dx khoảng 45,51 - 55,57 km. Địa hình đáy biển được nội suy từ số liệu địa hình đáy biển toàn cầu ETOPO-2 có độ phân giải $2'$ và được chia thành 5 lớp theo hệ tọa độ Sigma (hệ tọa độ Sigma [6, 7]). Sử dụng điều kiện ổn định và hội tụ theo tiêu chuẩn *Courant - Fredrichs - Lewy* (điều kiện ổn định và hội tụ - xem chi tiết Durran [8]).

Nguồn số liệu

Số liệu nhiệt muối ở Ấn Độ Dương được sử dụng lấy từ các số liệu phân tích NOMADS (**NOAA Operational Model Archive and Distribution System**) do Trung tâm Dữ liệu Khí hậu Quốc gia (NCDC), Trung tâm Dự báo Môi trường Quốc gia (NCEP) và Phòng Thí nghiệm Thủy động lực (GFDL) cùng phối hợp xây dựng. Mục tiêu chính của NOMADS là tạo điều kiện cho mọi người truy cập vào các mô hình số trị dự báo thời tiết (NWP) cũng như hoàn lưu đại dương (GCM), phát triển mối liên kết giữa các cộng đồng nghiên cứu mô hình và hợp tác cộng đồng giữa các nhà khoa học biển, thời tiết và khí hậu. Số liệu gió được lấy thông qua mô hình khí quyển (COAMPS) và từ số liệu vệ tinh scatterometers (QuikSCAT). Chuỗi số liệu gió bề mặt được trích từ bộ số liệu Khí quyển - Đại dương tổng hợp (The Comprehensive Ocean - Atmospheric Data Set - COADS). Đây là cơ sở dữ liệu được xây dựng và duy trì tại Mỹ bởi Trung tâm Nghiên cứu Khí quyển Quốc gia (NCAR) và Cục Khí quyển - Đại dương Quốc gia (NOAA), đặc biệt là Trung tâm Chẩn đoán Khí hậu (Climate Diagnostics Center CDC), Viện hợp tác Nghiên cứu các Khoa học Môi trường (Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences - CIRES) thuộc trường Đại học Tổng

hợp Colorado và Trung tâm Dữ liệu Khí hậu Quốc gia (National Climatic Data Center - NCDC).

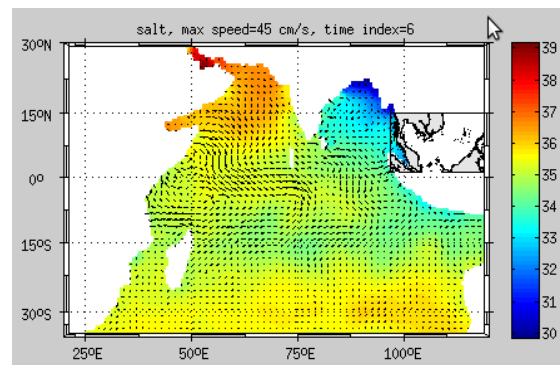
Tại biên lỏng số liệu thủy triều được tính từ mô hình thủy triều toàn cầu TPXO7.1 [9]. Mô hình TPXO7 sử dụng dữ liệu từ TOPEX/Poseidon toàn cầu phiên bản 7.1 (TPXO7.1), đây là một mô hình thủy triều đại dương toàn cầu rất hữu ích cho nghiên cứu đại dương thế giới. Trong mô hình này các sóng thành phần sẽ được tính toán và nội suy cho các điểm lưới của vùng Ấn Độ Dương [10].

Thông lượng nước ngọt bề mặt (freshwater flux), nhiệt độ, lượng bay hơi, lượng mưa, hệ số sức căng bề mặt biển theo suốt thời gian trong năm được lấy từ COADS.

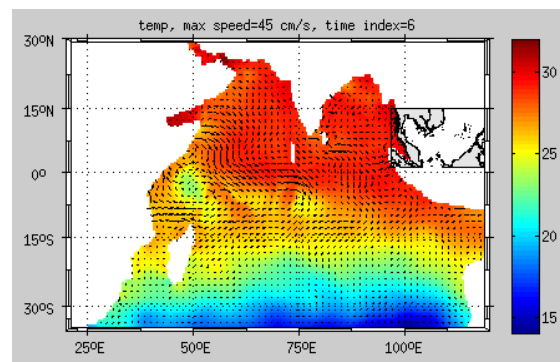
Biên lỏng hướng sóng không được sử dụng, vì độ sâu nhỏ nhất trong miền tính được lấy là $h_{min} = 30$ m.

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

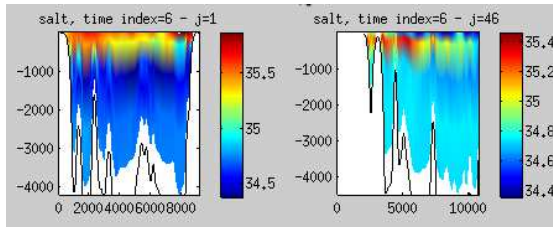
Số liệu đầu vào



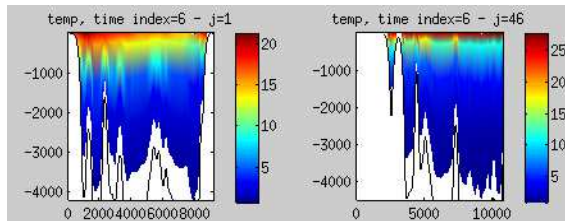
Hình 2. Độ muối bề mặt



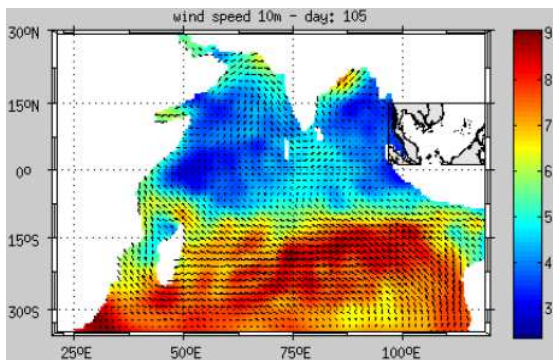
Hình 3. Nhiệt độ bề mặt



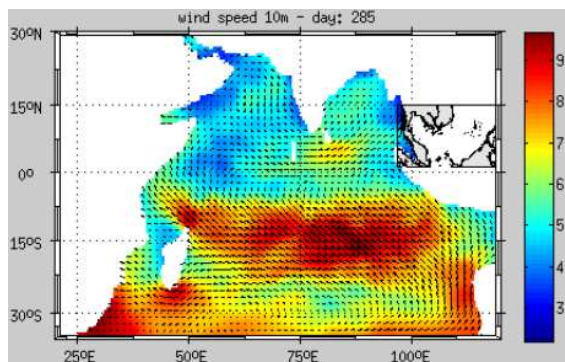
Hình 4. Độ muối tại các biên lũng



Hình 5. Nhiệt độ tại các biên lũng



Hình 6. Trường gió bề mặt ngày thứ 105

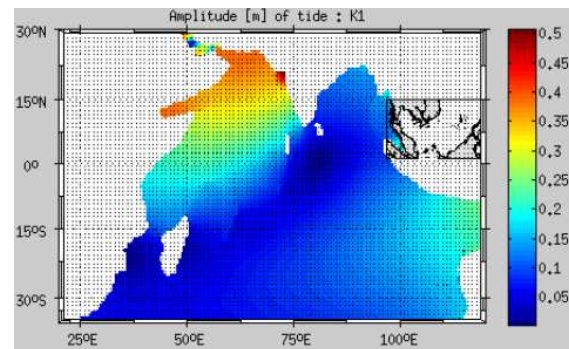


Hình 7. Trường gió bề mặt ngày thứ 285

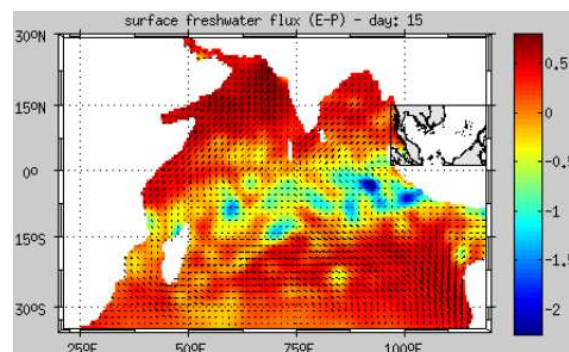
Trong nghiên cứu của tác giả bài báo các dòng hải lưu Ấn Độ Dương được tính toán bằng mô hình ROMS trong khoảng thời gian dài hàng năm. Kết quả tính toán, dữ liệu dòng

chảy, nhiệt độ, độ muối, dao động mực nước cho toàn vùng nghiên cứu được ghi vào một file có đuôi .nc (andoduong_his_0001.nc) liên tục 02 giờ một lần (từ 0 giờ ngày 1/1/2013 - 31/12/2013).

Khi mô phỏng các điều kiện thời tiết Ấn Độ Dương tại những thời điểm cụ thể trong quá khứ, tác giả đã sử dụng số liệu về điều kiện biên khai thác được từ các mô hình và cơ sở dữ liệu toàn cầu (OGCM). Tại biên lũng sử dụng các số liệu từ Atlas biên toàn cầu, với các biên lũng có thủy triều (mực nước và dòng triều) được tính từ mô hình thủy triều TPXO7.1. Các kết quả sử dụng TPXO7.1 cho nghiên cứu được thể hiện qua các hình 2-7, minh họa điều kiện tại các biên lũng của trường nhiệt muối, trường gió, biên độ sóng thành phần và thông lượng nước thẳng giáng bề mặt của vùng nghiên cứu trong năm 2013.



Hình 8. Biên độ sóng thủy triều K1



Hình 9. Thông lượng nước bề mặt ngày thứ 15

Kết quả tính toán và phân tích

Các kết quả tính toán được thể hiện qua bản đồ phân bố trường vector dòng chảy thể hiện

dòng hải lưu có tốc độ trên 100 cm/s và dưới 100 cm/s, cho phép nhận định các kết quả tính toán có các đặc điểm như sau:

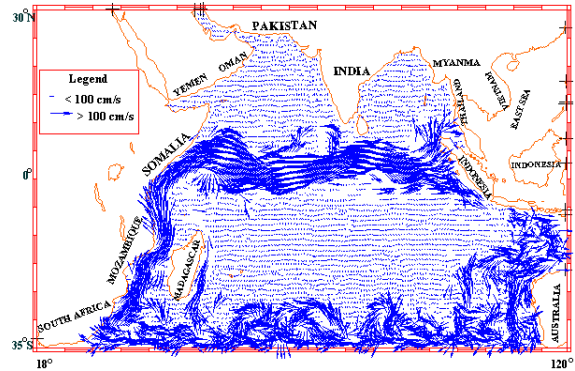
Tồn tại dòng hải lưu mạnh có tốc độ dòng trên 100 cm/s, chảy liên tục từ Tây sang Đông nằm trong khoảng vĩ độ từ 5°S đến 5°N. Theo thời gian dòng hải lưu biến đổi, trong nhiều khoảng thời gian dài, dòng hải lưu nằm trong một dải có hướng tập trung (từ Tây sang Đông, hình 10). Ở nhiều khoảng thời gian khác, dòng hải lưu không tập trung phân bố theo dải đó nữa mà lan rộng ra hai bên. Xu thế chung của dòng hải lưu này vẫn là Tây sang Đông, nhưng trong từng vùng của dải dòng hải lưu Tây Đông lại xuất hiện các xoáy nước lớn (hình 11). Theo một số ghi nhận về tư liệu của các tàu qua Ấn Độ Dương đánh giá ở đây là nơi duy nhất trên thế giới có các dòng hải lưu liên tục chảy về phía Đông với tốc độ rất cao, nhiều lúc lên tới 2 mét một giây, nước cuốn nhanh nhất so với tất cả các vùng biển khác trên thế giới.

Luôn xuất hiện và tồn tại dòng hải lưu mạnh ôm sát bờ phía Tây Ấn Độ Dương từ Nam Phi (South Africa) đến Sô Ma Li (Somalia) theo hướng Nam Bắc với tốc độ trên 100 cm/s. Khác với dòng hải lưu Tây Đông, dòng hải lưu bờ tây luôn tập trung, không mở rộng và hiếm xuất hiện các xoáy nước mạnh (từ các hình 10 trở lên). Ngay gần dòng hải lưu này, bên bờ đông Madagascar cũng có dòng hải lưu mạnh tập trung chảy theo hướng ngược lại (từ Bắc xuống Nam).

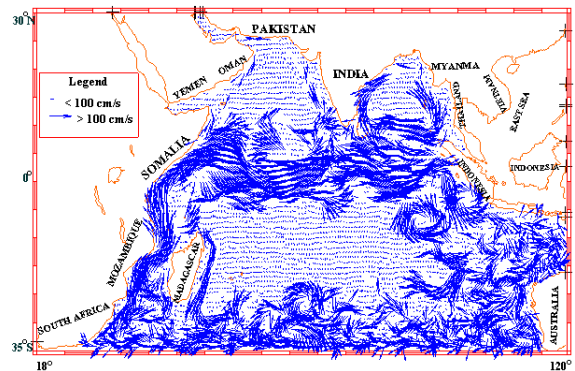
Xuất hiện và tồn tại nhiều xoáy nước, xoáy nước Ấn Độ Dương có kích thước lớn với đường kính có thể lên tới 50 km đến hàng trăm km, theo thời gian các xoáy nước này dịch chuyển sang ngang, lên và xuống. Các vực xoáy này xuất hiện gần khắp Ấn Độ Dương nhưng chủ yếu xuất hiện nhiều trong dải từ Nam Phi tới Australia. Vùng biển này có nhiều xoáy nước lớn tốc độ dòng trên 100 cm/s (xem từ các hình 10 trở lên). Với tốc độ này, các xoáy nước đại dương cũng sẽ cuốn trôi tất cả vật thể trên biển, giống vòi rồng hoặc lốc xoáy trên đất liền (tốc độ thấp hơn rất nhiều. Xoáy nước thường là những vùng nước hình tròn có áp suất cực cao hoặc cực thấp và vì chuyển động quay của trái đất nên nước biển bắt đầu chuyển động xung quanh chúng - bởi **hiệu ứng Coriolis**). Ngoài

đặc điểm ở trên, Ấn Độ Dương còn xuất hiện nhiều xoáy đối đi liên nhau.

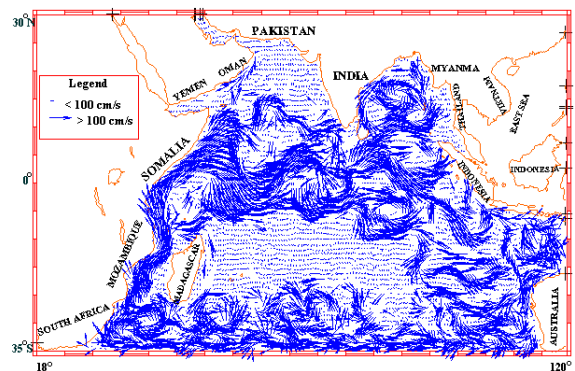
Vùng biển Thailand - Myanma - India thường xuất hiện xoáy nước đại dương tốc độ cao. Trong khi đó vùng India - Pakistan - Oman - Yemen lại hiếm khi xuất hiện các xoáy nước đại dương này.



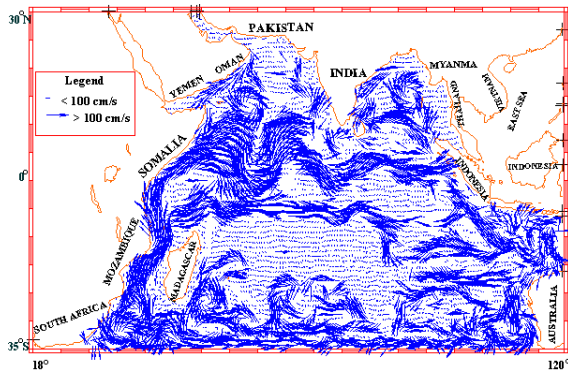
Hình 10. Dòng hải lưu mạnh tập trung từ Tây sang Đông Ấn Độ Dương (ở vĩ độ 5°S đến 5°N)



Hình 11. Dòng hải lưu Tây Đông mạnh mở rộng ra hai bên (vĩ độ 7°S đến 7°N)



Hình 12. Dòng hải lưu Tây Đông lại xuất hiện các xoáy nước (vĩ độ 8°S đến 8°N)

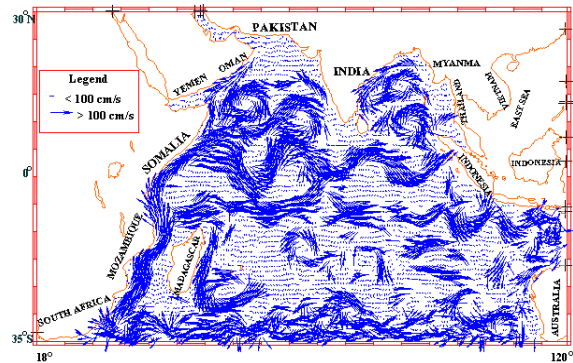


Hình 13. Dòng hải lưu Tây Đông chia thành hai nhánh chạy song song (phía Bắc)

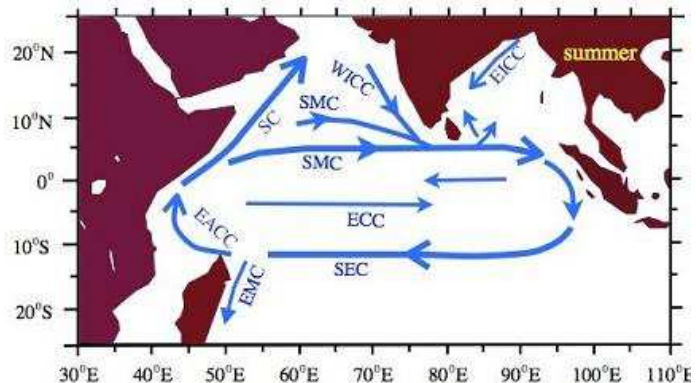
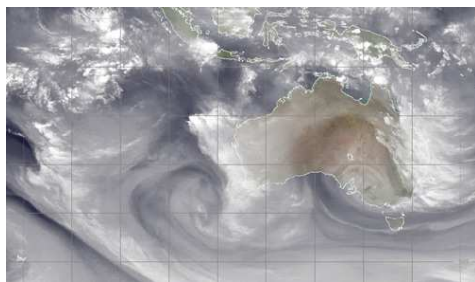
Ngày 8/3/2014 máy bay MH370 nói trên được cho là mất tích một cách bí ẩn trên vùng biển Nam Ấn Độ Dương. Với những kết quả nghiên cứu này cho thấy nếu máy bay rơi vào vùng có dòng hải lưu và các vực xoáy lớn thì các vật thể của máy bay trôi dạt rất nhanh và khó xác định. Trong một giờ các vật thể này đã bị đẩy đi một quãng đường xa dao động trong khoảng 36 km (thậm chí còn hơn) so với điểm xuất phát. Do chuyển động của dòng hải lưu mạnh và của các xoáy nước nên các bức ảnh chụp vật thể trên biển của vệ tinh các nước về rác (được cho là của MH370) không khiến mọi người ngạc nhiên. Vệ tinh của Trung Quốc chụp ảnh được những vật thể ở vị trí cách nơi vệ tinh Úc phát hiện vật thể khác chụp cách đó 2 ngày hơn 120 km, còn mảnh vỡ do vệ tinh Pháp chụp được lại nằm cách đó 800 km.

So sánh kết quả tính toán với các công bố ảnh vệ tinh

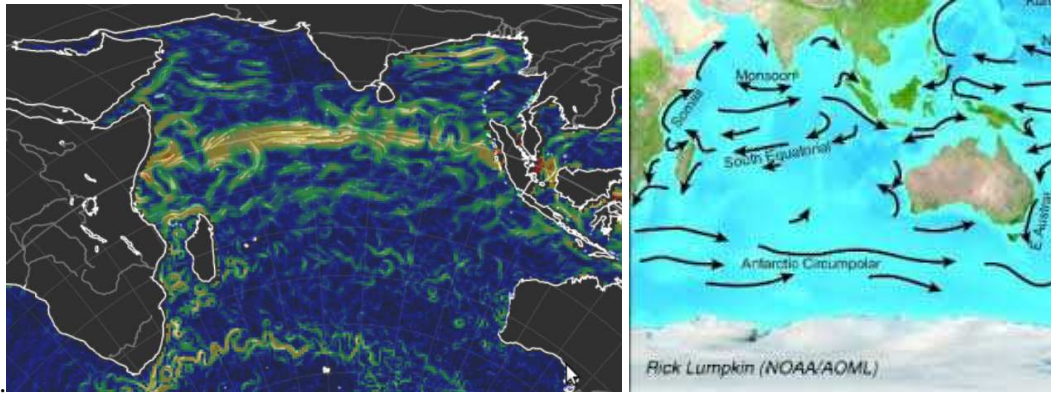
Dòng chảy của Ấn Độ Dương có dòng chảy mạnh biến động bất thường, nhiều vùng dòng chảy cuộn vào nhau và tạo thành các xoáy nước và các xoáy nước này có sức mạnh cũng giống như những vòi rồng trên đất liền. Theo công bố của NASA, những xoáy này đã được vệ tinh chụp được. So sánh ảnh vệ tinh (hình 15) về các vực xoáy và trường dòng chảy theo tính toán (hình 14) cho thấy các xoáy tính toán ở vài vùng Ấn Độ Dương tương thích với ảnh vệ tinh. Khi mô phỏng các dòng hoàn lưu Ấn Độ Dương tác động đến quá trình phát tán rác thải trong quá trình lưu thông, NOAA đã phác họa ra dòng hoàn lưu nhốt giữ rác thải (hình 15, 16 bên phải). Khi đưa ra vấn đề này NOAA đã khuyến cáo vùng Ấn Độ Dương có các dòng hải lưu liên tục chảy về phía Đông mà không đọng phải đất liền. Từ đó cho thấy các kết quả tính toán và phác thảo dòng hải lưu của NOAA là tương tối phù hợp.



Hình 14. Bức tranh của dòng hải lưu Ấn Độ Dương do tính toán



Hình 15. Bức tranh vực xoáy của NASA (bên trái) và bức tranh phác họa của NOAA về dòng hải lưu Ấn Độ Dương



Hình 16. Bức tranh mô phỏng dòng hải lưu đại dương thế giới (bên trái, nguồn [11]) và bức tranh dòng hải lưu Ấn Độ Dương (bên phải) của NOAA

KẾT LUẬN

Tồn tại dòng hải lưu mạnh có tốc độ dòng trên 100 cm/s, chảy liên tục từ Tây sang Đông nằm trong khoảng vĩ độ từ 5⁰S đến 5⁰N. Theo thời gian dòng hải lưu biến đổi, lan rộng ra hai bên và xuất hiện các xoáy nước lớn trong dải hải lưu này. Song song với dòng hải lưu Tây - Đông còn tồn tại dòng hải lưu mạnh ôm sát bờ phía Tây Ấn Độ Dương từ Nam Phi đến Sô Ma Li theo hướng Nam - Bắc và bên bờ đông Madagascar tồn tại dòng hải lưu mạnh chảy theo hướng từ Bắc xuống Nam.

Xuất hiện và tồn tại nhiều xoáy nước Ấn Độ Dương có kích thước lớn với đường kính có thể lên tới 50 km đến hàng trăm km. Theo thời gian các xoáy này dịch chuyển sang ngang, lên, xuống và những vực xoáy xuất hiện gần khắp Ấn Độ Dương nhưng chủ yếu xuất hiện nhiều dải từ Nam Phi tới Australia.

Đây là nghiên cứu hoàn lưu dòng chảy đại dương bên ngoài Biển Đông, sử dụng công nghệ OpenDAP để truy cập và lấy số liệu toàn cầu cho kết quả phù hợp với các ảnh vệ tinh của NASA công bố. Các kết quả nghiên cứu rất có giá trị tham khảo và cung cấp thông tin cho các hoạt động hàng hải, cứu hộ, giảng dạy và các nghiên cứu khác ở vùng biển Ấn Độ Dương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. <http://www.myroms.org>
2. Phạm Xuân Dương, 2013. “Mô hình hóa trường dòng chảy tại cửa sông Đồng Bò

(Nha Trang) dưới tác động của công trình lấn biển”, Kỷ yếu Hội nghị quốc tế “Biển Đông 2012”, tập 2, tr. 9-16.

3. Phạm Xuân Dương, 2012. “Nghiên cứu hoàn lưu vùng vịnh Bình Cang - Nha Trang bằng mô hình số trị”. Luận án tiến sĩ địa lý, Viện khoa học Khí tượng,Thủy văn và Môi trường, Hà Nội.
4. Bùi Hồng Long, Phạm Xuân Dương, 2010. “Một số kết quả tính toán dòng chảy theo mùa trong vùng vịnh Bình Cang - Nha Trang bằng mô hình ROMS, Tuyển tập nghiên cứu biển, tập XVII, tr. 30-42.
5. Arakawa, A. and V. R. Lamb, 1977. Methods of computational physics, Vol. 17, p. 174-265. Academic Press.
6. Arakawa, A., and Lamb, V. R., 1977. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. Methods in computational physics, 17, 173-265.
7. Mellor, G. L., and Blumberg, A. F., 1985. Modeling vertical and horizontal diffusivities with the sigma coordinate system. Monthly Weather Review, 113(8): 1379-1383.
8. Durrant, D. R., 1999. Numerical methods for wave equations in geophysical fluid dynamics (No. 32). Springer.
9. Da Silva, A. M., Young-Molling, C. C., and Levitus, S., 1994. Atlas of Surface Marine Data 1994, Vol. 1-5. NOAA Atlas

- NESDIS, 6-10. U. S. Gov. Printing Office, Washington D.C.
10. *Marchesiello, P., McWilliams, J. C., and Shchepetkin, A., 2001. Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. Ocean modelling, 3(1): 1-20.*
11. <http://earth.nullschool.net/#current/ocean/surface/currents/equirectangular=-283.96,-47.16,318>

STUDY ON OCEAN CURRENT IN INDIAN OCEAN USING NUMERICAL MODEL

Pham Xuan Duong

Institute of Oceanography-VAST

ABSTRACT: *OpeNDAP technology (Open-source Project for a Network Data Access Protocol) is used to get access to global data for Indian Ocean region for research. The ocean currents in the Indian Ocean has been computed for many years, results show that: The strong currents exist continuously in Indian Ocean. They flow from west to east that are away from the mainland and in the range from 5°S to 5°N latitude, and the current near west coast has speed of over 100 cm/s. Also, in many parts of Indian Ocean there are the large synop vortices that have diameter of about hundreds of kilometers, and the speed of vortices is very great, over 100 cm/s. Over time, these vortices do not stay at the same place, but move frequently. The results by using numerical modelling are compared with NASA satellite images and have the correspondence.*

Keywords: *Indian Ocean, ocean currents, ROMS, large Synop vortices.*