

# MÔ PHÒNG KỊCH BẢN SÓNG THẦN CỰC ĐẠI PHÁT SINH TRÊN VÙNG NGUỒN MÁNG BIỂN SÂU MANILA BẰNG MÔ HÌNH COMCOT

**Nguyễn Hồng Phương\*, Vũ Hà Phương, Phạm Thế Truyền, Vi Văn Vững**

*Viện Vật lý Địa cầu-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

\*E-mail: [phuong.dongdat@gmail.com](mailto:phuong.dongdat@gmail.com)

Ngày nhận bài: 14-4-2013

**TÓM TẮT:** Trong số các vùng nguồn sóng thần được xác định trên khu vực Biển Đông, vùng nguồn Máng biển sâu Manila được coi là nguy hiểm nhất đối với bờ biển Việt Nam. Theo các nghiên cứu gần đây, động đất cực đại dự báo trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila đạt tới 8,7 theo thang Mô men. Kết quả tính thời gian lan truyền sóng thần cũng cho thấy sau khi phát sinh trên vùng nguồn Máng biển Manila, sóng thần chỉ mất khoảng 2 giờ đồng hồ để tấn công vào bờ biển Việt Nam.

Bài báo này trình bày việc áp dụng mô hình COMCOT để mô phỏng một kịch bản động đất cực đại gây sóng thần phát sinh trên đới hút chìm Máng biển sâu Manila và đánh giá tác động của trận sóng thần này tới các vùng bờ biển của Việt Nam. Việc áp dụng mô hình COMCOT và hệ thống lưới tính lồng cho phép mô phỏng sự lan truyền sóng thần trong cả hai trường hợp nước sâu (giữa đại dương) và nước nông (gần bờ). Mô hình COMCOT cũng cho phép sử dụng thuật toán đường biên động để mô phỏng quá trình ngập lụt.

Mô hình nguồn động đất gây sóng thần cực đại được xây dựng trên cơ sở tham khảo các dữ liệu quan trắc động đất và GPS đã cập nhật và hai mô hình nguồn động đất gây sóng thần trên đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila được công bố gần đây của Wu T-R. (2009) và Megawati K. (2009). Kịch bản sóng thần được giả thiết là gây ra bởi động đất cực đại phát sinh trên đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila với độ lớn tương đương  $M_w=9,3$ .

Độ nguy hiểm sóng thần đối với các vùng bờ biển Việt Nam được đánh giá qua đại lượng độ cao sóng cực đại do sóng thần gây ra. Các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila được thể hiện dưới dạng các bản đồ độ cao sóng ở những khu vực và với độ chi tiết khác nhau bao gồm toàn bộ dải ven biển Việt Nam, dải ven biển miền Trung và khu vực ven biển của hai thành phố Đà Nẵng và Nha Trang (các hình 7, 8, 9 và 10). Các bản đồ độ cao sóng cho thấy độ nguy hiểm sóng thần tập trung chủ yếu dọc theo dải ven biển miền Trung Việt Nam (đoạn từ tỉnh Quảng Ngãi đến tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu), với độ cao sóng lớn nhất đạt tới trên 18m tại địa phận tỉnh Quảng Ngãi. Nghiên cứu chi tiết cho hai thành phố ven biển miền Trung cũng cho thấy độ cao sóng cực đại đạt tới 10,2m tại thành phố Đà Nẵng và 8,8m tại thành phố Nha Trang.

**Từ khóa:** Máng biển sâu Manila, mô hình COMCOT, kịch bản sóng thần cực đại, độ nguy hiểm sóng thần

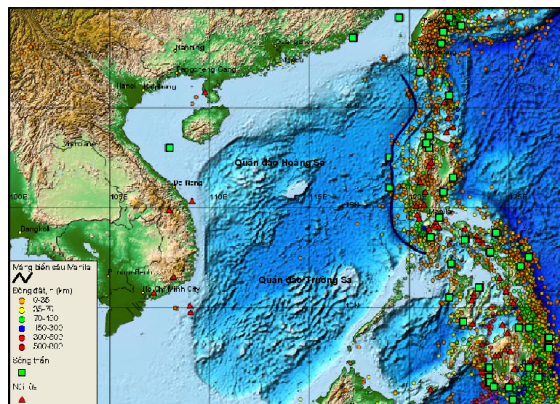
## MỞ ĐẦU

Chỉ trong vòng chưa đầy một thập kỷ, hai trận động đất có độ lớn tới 9,3 đã gây sóng thần hủy diệt tại Ấn Độ Dương và Thái Bình Dương. Trận động đất thứ nhất xảy ra ngày 26 tháng 12 năm 2004 tại bờ tây quần đảo Xumat'ra, Indônêxia đã cướp đi sinh mạng của gần 300.000 người trên 11 quốc gia nằm trên bờ biển Ấn Độ Dương, còn trận động đất thứ hai được biết dưới tên gọi động đất Tôhoku xảy ra ngày 11 tháng 3 năm 2011 ở phía Đông đảo Honshu của Nhật Bản cũng đã cướp đi sinh mạng của khoảng 20.000 người và gây ra sự cố hạt nhân nghiêm trọng tại Nhật Bản. Điều đáng chú ý là cả hai trận sóng thần hủy diệt nêu trên đều không gây thiệt hại gì cho các vùng bờ biển và hải đảo của Việt Nam, do Biển Đông được bao bọc bởi lục địa Trung Quốc về phía Bắc, hệ thống cung đảo dày đặc của Thái lan và Malayxia về phía Tây Nam, của Indônêxia và Malayxia về phía Nam và quần đảo Philíppin về phía Đông.

Mặc dù từ trước tới nay chưa có một tài liệu chính thức nào được công bố về thiệt hại do sóng thần gây ra đối với các vùng bờ biển và hải đảo của Việt Nam trong quá khứ, các chuyên gia vẫn không loại trừ khả năng hiểm họa sóng thần có thể đến từ ngay bên trong khu vực Biển Đông. Trên cơ sở nghiên cứu và phân tích các đặc trưng kiến tạo địa động lực khu vực Đông Nam Á, chín vùng nguồn sóng thần có khả năng gây thiệt hại tới vùng bờ biển Việt Nam được xác định trên khu vực Biển Đông và các vùng biển lân cận. Trong số các vùng nguồn sóng thần được xác định trên khu vực Biển Đông, vùng nguồn Máng biển sâu Manila được coi là nguy hiểm nhất đối với bờ biển Việt Nam. Theo các nghiên cứu gần đây, động đất cực đại dự báo trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila đạt tới 8,7 theo thang Mô men. Kết quả tính thời gian lan truyền sóng thần cũng cho thấy sau khi phát sinh trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila, sóng thần chỉ mất khoảng 2 giờ đồng hồ để tấn công vào bờ biển Việt Nam [11].

Bài báo cáo này trình bày việc áp dụng mô hình COMCOT để mô phỏng một kịch bản động đất cực đại gây sóng thần phát sinh trên đới hút chìm Máng biển sâu Manila và đánh giá độ nguy hiểm sóng thần do kịch bản này gây ra đối với các vùng bờ biển của Việt Nam. Các kết quả mô phỏng được thể hiện dưới dạng các bản đồ độ cao sóng ở những phạm vi khác nhau, từ khu vực đến địa phương và với độ chi tiết tăng dần.

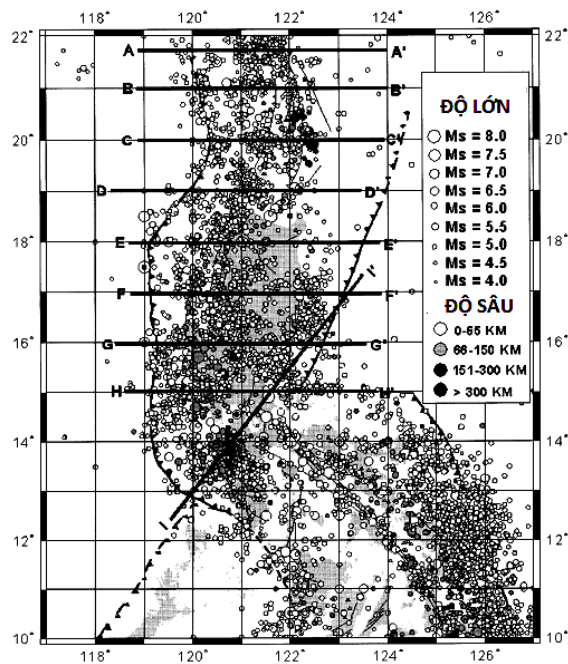
## CÁC ĐẶC TRƯNG ĐỊA CHẤN KIẾN TẠO VÀ ĐỊA ĐỘNG LỰC CỦA ĐỚI HÚT CHÌM MÁNG BIỂN SÂU MANILA



Hình 1. Vị trí đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila trên Biển Đông

Cho đến nay đã có nhiều công trình nghiên cứu về hoạt động kiến tạo và tính địa chấn của đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila. Máng biển sâu Manila là một đới hút chìm có chiều dài khoảng 1.200km chạy dọc theo thềm lục địa phía Tây quần đảo Philíppin với góc cắm về phía Đông. Đới hút chìm được cho là hình thành trong thời kỳ Mioxen sớm (khoảng 22-25 triệu năm trước đây) và vẫn còn hoạt động cho đến thời điểm hiện tại [4, 2, 17, 12]. Dọc theo đới hút chìm, lớp vỏ đại dương của Biển Đông hạ thấp dần về phía đông và chui dần xuống phía dưới lục địa Philíppin, phân lục địa cực nam Đài Loan và các khu vực thềm biển lân cận. Phần lồi ra và xoắn về phía Tây của Máng biển sâu Manila được giải thích là do sự dịch chuyển từ từ của đảo Luzon sang phía Tây trườn lên trên các mảng kiến tạo có tuổi đại dương, trong khi phần cực nam và phần cực bắc của máng biển sâu bị ghì lại do sự va chạm của các địa khối tại các vĩ tuyến của đảo Palaoan ( $12^{\circ}\text{N}$  -  $120^{\circ}\text{E}$ ) và Nam Đài Loan ( $23^{\circ}\text{N}$  -  $120^{\circ}\text{E}$ ) [12]. Cụ thể hơn, địa khối Sunda bị hút chìm xuống phía dưới của địa khối Biển Philíppin dọc theo máng biển sâu Manila ở độ sâu 5km từ Bắc xuống Nam. Đới hút chìm được phân bố theo nhiều đoạn với ba hướng chính: hướng Bắc-Nam tính từ vĩ tuyến  $14^{\circ}\text{N}$  đến vĩ tuyến  $18^{\circ}\text{N}$ , hướng Đông Bắc-Tây Nam tính từ phía Bắc vĩ tuyến  $18^{\circ}\text{N}$  và hướng Tây Bắc-Đông Nam tính từ phía Nam vĩ tuyến  $14^{\circ}\text{N}$ . Quá trình hút chìm được thay bởi sự va chạm kiến tạo trên đỉnh cực bắc của đới hút chìm gần lục địa Đài Loan [3, 1] và dưới đỉnh cực nam của đới hút chìm giữa Palaoan và Mindôrô [8]. Trên phần phía Đông của máng biển sâu Manila tồn tại hai bề

trầm tích trước cung mang tên trùng Bắc Luzon từ  $18^{\circ}\text{N}$  đến  $21^{\circ}\text{N}$  và trùng Tây Luzon từ  $14^{\circ}\text{N}$  đến  $16^{\circ}\text{N}$ . Độ dày trầm tích trong các trùng này lên tới 4 - 5km [7, 5]. Chuỗi các đỉnh núi ngầm Scarborough Seamount có thể quan sát thấy từ  $115^{\circ}\text{E}$  đến  $119^{\circ}\text{E}$ , có liên quan đến sự hút chìm theo hướng Đông Bắc-Tây Nam của rặng núi dưới đáy Biển Đông có tâm điểm nằm trên bờ phía Tây của máng biển sâu Manila. Các rặng núi dưới đáy biển này cũng đang bị hút chìm theo hướng xiên chéo dọc theo máng biển sâu Manila [9].

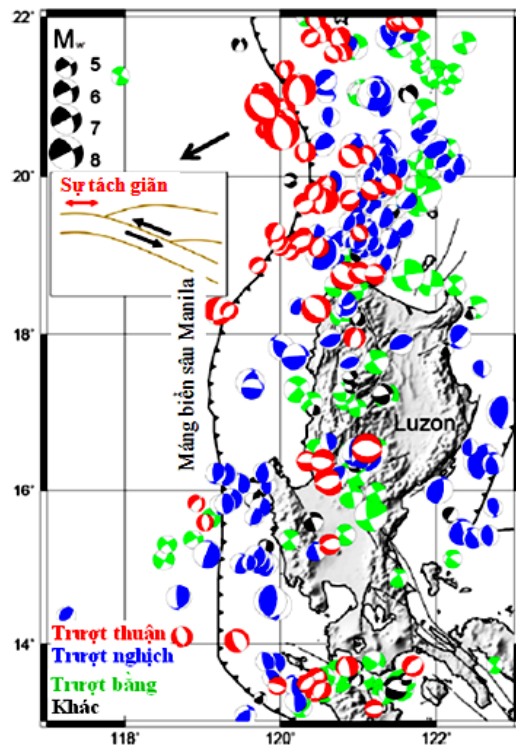


**Hình 2.** Phân bố chấn tâm động đất trên khu vực bắc Luzon từ năm 1619 đến năm 1997. Các đường có đánh dấu bằng chữ hoa (chẳng hạn A-A') là các mặt cắt tính địa chấn [1]

Trên hình 1 minh họa vị trí của đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila trên Biển Đông (các hệ thống đứt gãy khác không được đưa lên bản đồ). Hình 1 cũng minh họa phân bố các trận sóng thần, núi lửa và động đất đã ghi nhận được trên toàn khu vực Biển Đông. Các số liệu động đất được lấy từ Trung tâm thông tin động đất quốc gia của Tổng cục địa chất Hoa Kỳ (NEIC), được ghi nhận trong khoảng thời gian từ 1975 đến nay và có độ lớn từ 5,0 trở lên. Thang màu biểu thị độ sâu chấn tiêu. Có thể thấy rõ từ bản đồ này toàn bộ đới hút chìm Máng biển sâu Manila là cả một vùng nguồn động đất gây sóng thần lớn, bởi nó chính là một phần của một trong hai vành đai động đất lớn nhất hành tinh còn

được biết đến dưới tên gọi là Vành đai lửa Thái Bình Dương.

Sử dụng danh mục động đất và các dữ liệu về cơ cấu chấn tiêu động đất khu vực Luzon, Philippin, Bautista C. B. và cộng sự [1] đã nghiên cứu các đặc trưng kiến tạo và xây dựng mô hình mô phỏng quá trình hút chìm của khối Âu-Á xuống bên dưới đoạn phía Bắc của máng biển sâu Manila. Các tác giả đã xây dựng một loạt mặt cắt tính địa chấn dọc theo 9 tuyến chạy cắt ngang qua toàn bộ đới hút chìm để có được hình dung 3D về hình học và các chế độ ứng suất của các vùng phát sinh động đất. Trên hình 2 minh họa phân bố các mặt cắt tính địa chấn dọc theo đới hút chìm trong nghiên cứu của Bautista C. B. và cộng sự.



**Hình 3.** Phân bố cơ cấu chấn tiêu động đất có độ sâu dưới 50 km trong khoảng thời gian từ 1973 đến 2010. Màu sắc biểu thị phân loại cơ cấu chấn tiêu được chỉ ra ở góc dưới bên trái bản đồ [16]

Hsu Y. J. và cộng sự [16] đã tổng hợp các kết quả phân tích cơ cấu chấn tiêu động đất trên khu vực đới hút chìm Máng biển sâu Manila và phân loại các cơ cấu chấn tiêu bằng các màu sắc khác nhau như minh họa trên hình 3. Từ bản đồ này có

thể thấy rõ trên toàn đới hút chìm các cơ cấu chấn tiêu động đất dạng thuận tập trung chủ yếu trên đoạn phía Bắc đới, từ vĩ tuyến 22<sup>0</sup>N xuống vĩ tuyến 18<sup>0</sup>N, trong khi các cơ cấu dạng chòm nghịch tập trung trên phần còn lại của đới, từ vĩ tuyến 18<sup>0</sup>N xuống vĩ tuyến 12<sup>0</sup>N, với mật độ cao tập trung trong khoảng từ vĩ tuyến 16<sup>0</sup>N trở xuống vĩ tuyến 12<sup>0</sup>N. Điều này có ý nghĩa rất quan trọng trong việc đánh giá độ nguy hiểm sóng thần, bởi sóng thần chủ yếu được phát sinh bởi các đứt gãy chòm nghịch.

Nguyễn Hồng Phương và cộng sự [11] khi phân tích danh mục động đất ghi nhận được trên toàn đới hút chìm Máng biển sâu Manila đã nhận định là động đất mạnh nhất xảy ra tập trung trên đoạn phía Bắc đới, từ đó vạch ra ranh giới vùng nguồn mang tên gọi Máng biển sâu Manila Bắc. Phương pháp xác suất được áp dụng để ước lượng động đất động đất cực đại trên vùng nguồn này đạt tới giá trị  $M_{max} = 8,7$ .

### MÔ HÌNH NGUỒN ĐỘNG ĐẤT CỰC ĐẠI GÂY SÓNG THẦN TRÊN ĐỚI HÚT CHÌM MÁNG BIỂN SÂU MANILA

Do sóng thần được phát sinh ra do một trận động đất có chấn tâm nằm ở dưới biển, nên việc

nghiên cứu khả năng phát sinh sóng thần cũng được xuất phát từ việc nghiên cứu cơ chế nguồn phát sinh động đất. Trong nghiên cứu này, hai mô hình nguồn phát sinh động đất gây sóng thần (dưới đây sẽ gọi tắt là mô hình nguồn sóng thần) được tham khảo để xây dựng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới hút chìm Máng biển sâu Manila. Đó là: 1) mô hình nguồn do Wu T-R. và cộng sự đề xuất và 2) mô hình nguồn do Megawati K. và cộng sự đề xuất.

### Mô hình nguồn sóng thần của Wu T-R. và cộng sự

Trên cơ sở phân tích tham số nguồn của ba trận động đất gây sóng thần hủy diệt đã xảy ra trong quá khứ (bảng 1), Wu T-R. và cộng sự [13] đã đưa ra các giá trị ước lượng của các tham số nguồn của một trận động đất gây sóng thần mạnh nhất (cực đại) có thể xảy ra trên đới hút chìm Máng biển sâu Manila. Theo các tác giả, trận động đất cực đại này sẽ có các tham số nguồn như sau:

Độ lớn động đất  $M_w = 9,35$ ;

Độ sâu chấn tiêu  $H = 40\text{km}$ ;

Đứt gãy nguồn có độ dài  $L = 990\text{km}$ , chiều rộng  $W = 200\text{km}$  và dịch chuyển  $D = 20\text{m}$ .

**Bảng 1.** Tham số của ba trận động đất gây sóng thần mạnh nhất

Thời gian	Địa điểm	Kinh,vĩ	$M_w$	Dài (km)	Rộng (km)	Dịch chuyển (m)	Độ sâu chấn tiêu (km)	Độ cao sóng cực đại (m)
1960/5/22	Chile	74,5; 39,5	9,5	1.000	300	-	60	25
1964/3/28	Alaska	- 147,5; 61,1	9,2	540-740	300	18-22	23	67
2004/12/26	Sumatra	95,98; 3,3	9	1300	200	20	28,6	50

Dựa trên giả thiết ban đầu này, các tác giả chia toàn bộ đới đứt gãy Máng biển sâu Manila ra thành 6 đoạn, đánh số từ 1 đến 6 như trên hình 4 và ước lượng các tham số của 6 đoạn đứt gãy này như liệt kê trong bảng 2. Các tham số này được sử dụng để xây dựng kịch bản cực đại nhất phát sinh trên

vùng nguồn Máng biển sâu Manila [13]. Từ bảng 2, có thể nhận thấy tọa độ chấn tâm được lấy tại các điểm giữa của mỗi đoạn đứt gãy nguồn nhỏ, đồng thời các giá trị chiều rộng, độ dịch chuyển và góc trượt của cả 6 đoạn đứt gãy nguồn nhỏ đều được gán các giá trị bằng nhau.

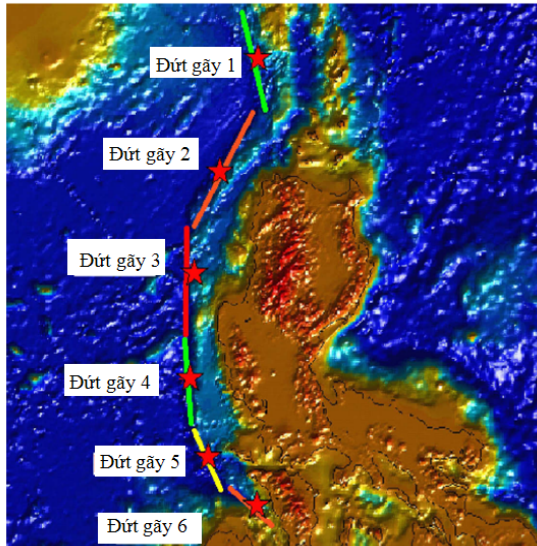
**Bảng 2.** Tham số nguồn của siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila [13]

Đoạn	Kinh	Vĩ	Dài (km)	Rộng (km)	Dịch chuyển (m)	Sâu (km)	Phương vị (độ)	Cắm (độ)	Trượt (độ)
1	120,5	20,2	160	200	20	40	354	10	90
2	119,8	18,7	180	200	20	40	22	20	90
3	119,3	18,7	180	200	20	40	2	28	90
4	119,2	15,1	170	200	20	40	356	20	90
5	119,6	13,7	140	200	20	40	344	22	90
6	120,5	12,9	100	200	20	40	331	26	90

Mô hình nguồn của Wu T-R. có ưu điểm là đã chi tiết hóa toàn bộ đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila thành 6 đoạn đứt gãy thành phần. Tuy nhiên

mô hình này lại có nhược điểm là hình dạng của các đoạn đứt gãy được mô phỏng khá thô, cụ thể là chiều rộng và đại lượng dịch trượt của tất cả các

đoạn đứt gãy thành phần đều được gán giá trị không đổi. Ngoài ra, chiều dài của một số đoạn đứt gãy thành phần được gán các giá trị không tương xứng với hình dạng thật của chúng trên bản đồ.



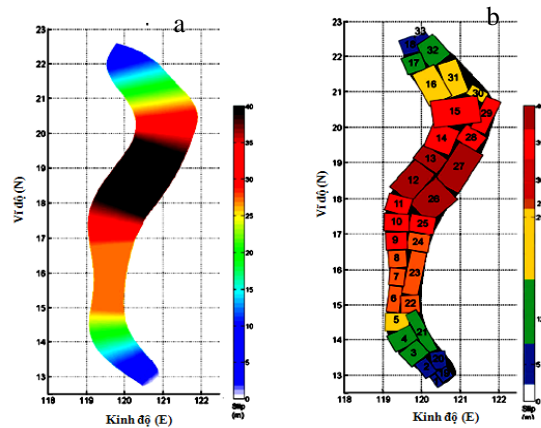
Hình 4. Phân đoạn siêu đứt gãy nguồn Máng biển sâu Manila [13]

**Mô hình nguồn động đất gây sóng thần của Megawati K. và cộng sự**

Megawati K. và cộng sự [6] đã xây dựng mô hình phá hủy bề mặt cho vùng nguồn Máng biển sâu Manila bằng cách ngoại suy từ 10 mặt cắt tính địa chấn của Bautista C.B. [1] và một mặt cắt của Wu Y.M. và cộng sự [15] trên toàn vùng nguồn. Trong mô hình này, các tác giả đã gán giá trị dịch chuyển trượt cực đại bằng 40m và áp dụng phương pháp ngoại suy để tính các giá trị trượt trên toàn vùng nguồn, với giả thiết là các giá trị trượt theo hướng vuông góc với trục của vùng nguồn là không đổi. Trên hình 5a minh họa mô hình trượt của vùng nguồn

nhận được bằng phương pháp ngoại suy. Để tính được giá trị dịch chuyển theo phương thẳng đứng của đáy biển phục vụ cho mô hình thủy lực, toàn bộ bề mặt của vùng nguồn Máng biển sâu Manila được rời rạc hóa thành 33 thành phần nguồn có dạng các đa giác nhỏ như minh họa trên hình 5b. Các giá trị dịch trượt dọc theo hướng dịch chuyển của siêu đứt gãy và góc cắm được cho tương ứng với mô hình trượt đã được xây dựng. Độ lớn của dịch chuyển trượt của 33 thành phần nguồn được gán cho tâm điểm của mỗi đa giác. Mô hình phá hủy này sẽ phát sinh ra động đất có độ lớn bằng  $M_w = 9,3$ .

So với mô hình của Wu T-R. và cộng sự, mô hình của Megawati K. và cộng sự có ưu điểm là kích thước ngang của từng đoạn đứt gãy thành phần được gán các giá trị có tỷ lệ tương ứng với các giá trị dịch trượt tính được theo phương pháp ngoại suy.



Hình 5. a) Mô hình dịch chuyển trượt cho vùng nguồn Máng biển sâu Manila (trái); và b) Mô hình nguồn rời rạc phục vụ tính toán dịch chuyển đáy biển (phải) theo [6]

**Mô hình nguồn động đất cực đại gây sóng thần áp dụng trong nghiên cứu này**

**Bảng 3.** Tham số nguồn của siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila (theo nghiên cứu này)

Đoạn	Kinh	Vĩ	Dài (km)	Rộng (km)	Dịch chuyển (m)	Sâu (km)	Phương vị (độ)	Cắm (độ)	Trượt (độ)
1	120,5	20,2	190	120	25	30	354	10	90
2	119,8	18,7	250	160	40	30	22	20	90
3	119,3	17,0	220	160	40	30	2	28	90
4	119,2	15,1	170	90	28	30	356	20	90
5	119,6	13,7	140	110	12	30	344	22	90
6	120,5	12,9	95	80	5	30	331	26	90

Mô hình nguồn động đất cực đại trên đới hút chìm Máng biển sâu Manila được chúng tôi xây

dựng trên cơ sở kết hợp những ưu điểm của hai mô hình mô tả trên đây. Mô hình này cũng bao gồm 6

đoạn đứt gãy thành phần như trong mô hình của Wu T-R. và cộng sự, nhưng với các tham số hình học của mỗi đoạn được hiệu chỉnh cho phù hợp hơn với thực tế, đồng thời các giá trị dịch chuyển trượt trên mỗi đoạn sẽ được xác định cho phù hợp với mô hình dịch chuyển trượt của Megawati K. và cộng sự. Tham số nguồn của siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila sử dụng trong nghiên cứu này được liệt kê trong bảng 3.

### ÁP DỤNG MÔ HÌNH COMCOT MÔ PHỎNG KỊCH BẢN SÓNG THẦN CỰC ĐẠI PHÁT SINH TRÊN VÙNG NGUỒN MÁNG BIỂN SÂU MANILA

#### Mô hình COMCOT

Trong nghiên cứu này, mô hình COMCOT được sử dụng để mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila. COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model) được xây dựng đầu tiên tại trường Đại học Cornell, Hoa Kỳ và cho đến nay đã được phát triển đến phiên bản 1.7 [10]. Đây là một trong ba mô hình mô phỏng và tính toán sóng thần được sử dụng rộng rãi trên thế giới và khu vực châu Á - Thái Bình Dương được viết bằng ngôn ngữ Fortran với mã nguồn mở.

COMCOT sử dụng phương trình tuyến tính và phi tuyến nước nông trong cả hệ tọa độ cầu và hệ

tọa độ Đề các. Trong hệ tọa độ cầu, hệ phương trình tuyến tính nước nông có tính đến lực Coriolis có dạng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} + fP = 0 \quad (3)$$

ở đây  $\eta$  là độ cao mặt nước; (P, Q) biểu thị các thông lượng theo hướng X (Đông - Tây) và Y (Nam - Bắc), tương ứng ( $\varphi, \psi$ ) biểu thị các vĩ độ và kinh độ của Trái đất; R là bán kính của Trái Đất; g là gia tốc trọng trường và h là độ sâu. Thành phần  $-\partial h/\partial t$  phản ánh hiệu ứng của chuyển động tức thời dưới đáy biển có thể áp dụng cho trường hợp trượt lở đất tạo ra sóng thần. Hệ số lực Coriolis  $f$  do tác động quay của Trái Đất được tính theo công thức:

$$f = \Omega \sin \varphi \quad (4)$$

với  $\Omega$  là vận tốc quay của Trái Đất.

Các phương trình phi tuyến nước nông có tính đến lực ma sát đáy có dạng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial P}{\partial \varphi} (\cos \varphi Q) \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \quad (5)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{gH}{R \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ + F_x = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} - fP + F_y = 0 \quad (7)$$

Trong đó,  $H$  là tổng chiều sâu của nước và  $H = \eta + h$ ;  $F_x$  và  $F_y$  là ma sát đáy của hướng X và Y tương ứng. Hệ số nhám  $n$  được tính theo công thức của Manning :

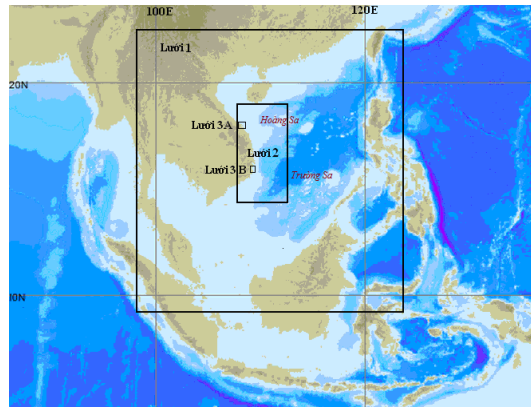
$$F_x = \frac{gn^2}{H^{7/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (8)$$

$$F_x = \frac{gn^2}{H^{7/3}} Q(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (9)$$

#### Hệ thống lưới tính và dữ liệu địa hình đáy biển

Để mô phỏng sự lan truyền của sóng thần trên Biển Đông, bốn lưới tính lồng nhau được sử dụng và được đánh số theo thứ tự 1, 2, 3A và 3B, trong đó

lưới tính 1 chứa toàn bộ khu vực Biển Đông, lưới tính 2 chứa vùng biển miền Trung, còn các lưới 3A và 3B chứa các khu vực lân cận của hai thành phố ven biển Đà Nẵng và Nha Trang (hình 6). Các lưới tính có độ chi tiết tỷ lệ nghịch với phạm vi của lưới, hay nói cách khác là phạm vi của lưới tính càng hẹp thì độ chi tiết của lưới tính càng tăng lên. Độ phân giải của các dữ liệu địa hình đáy biển cũng được thu thập và xử lý để có độ phân giải phù hợp tương xứng với mỗi lưới tính. Các lưới tính 3A và 3B có độ chi tiết và độ phân giải của dữ liệu cao nhất, được sử dụng với mục đích tính toán mức độ ngập lụt do sóng thần gây ra tại khu vực hai thành phố lớn ở ven biển miền Trung. Thông tin chi tiết về các lưới tính được liệt kê trong bảng 4.



**Hình 6.** Hệ thống lưới tính lồng sử dụng trong nghiên cứu này

**Bảng 4.** Thông tin các lưới tính áp dụng trong nghiên cứu này

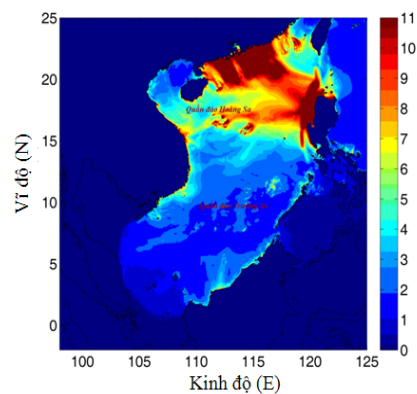
	Lưới 1	Lưới 2	Lưới 3A	Lưới 3B
Hệ tọa độ	Cầu	Cầu	Cầu	Cầu
Phương trình chính	tuyến tính nước nông	tuyến tính nước nông	phi tuyến nước nông	phi tuyến nước nông
Kích thước lưới	1'	0,5'	0,03125'	0,03125'
Sử dụng ma sát đáy	Không	Có	Có	Có
Hệ số nhám Manning	Không	0,025	0,025	0,025
Số ô lưới theo phương X	1.621	478	1.056	480
Số ô lưới theo phương Y	1.621	1.078	576	448

### KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

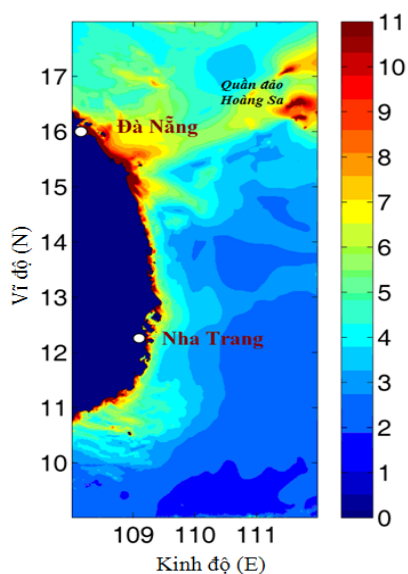
Các kết quả mô phỏng thời gian truyền sóng cho thấy sự phù hợp với các kết quả đã công bố trước đây, lưu ý rằng thời gian lan truyền sóng thần không phụ thuộc vào độ lớn của động đất phát sinh sóng thần [11]. Vì vậy, trong nghiên cứu này, độ nguy hiểm sóng thần được đánh giá qua đại lượng độ cao sóng thần cực đại tại các vùng bờ biển của Việt Nam.

Các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila được thể hiện dưới dạng các bản đồ độ cao sóng ở những khu vực và với độ chi tiết khác nhau bao gồm toàn bộ dải ven biển Việt Nam, dải ven biển miền Trung và khu vực ven biển của hai thành phố Đà Nẵng và Nha Trang (các hình 7, 8, 9, 10). Các bản đồ độ cao sóng cho thấy độ nguy hiểm sóng thần tập trung chủ yếu dọc theo dải ven biển miền Trung Việt Nam (đoạn từ tỉnh Quảng Ngãi đến tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu), với độ cao sóng lớn nhất đạt tới trên 18m tại địa phận tỉnh Quảng Ngãi. Nghiên cứu chi tiết cho hai thành phố ven biển miền Trung cũng

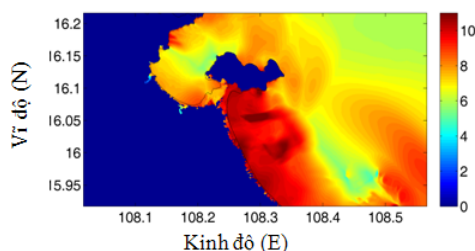
cho thấy độ cao sóng cực đại đạt tới 10,2m tại thành phố Đà Nẵng và 8,8m tại thành phố Nha Trang. Các kết quả này cũng cho thấy sự phù hợp với các kết quả tính toán các kịch bản sóng thần phát sinh trên cùng một vùng nguồn do Vũ Thanh Ca công bố trước đây [14].



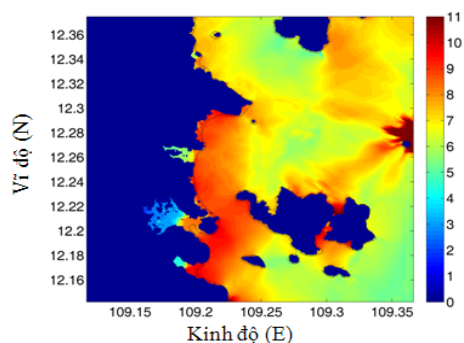
**Hình 7.** Độ cao sóng thần cực đại trên khu vực Biển Đông Việt Nam (theo kịch bản động đất cực đại phát sinh trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila,  $M_w=9,3$ )



**Hình 8.** Độ cao sóng thần cực đại trên khu vực biển miền Trung Việt Nam, đoạn từ Quảng Ngãi đến Bà Rịa-Vũng Tàu (theo kịch bản động đất cực đại phát sinh trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila,  $M_w=9,3$ )



**Hình 9.** Độ cao sóng thần cực đại trên khu vực ven biển miền thành phố Đà Nẵng (theo kịch bản động đất cực đại phát sinh trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila,  $M_w=9,3$ )



**Hình 10.** Độ cao sóng thần cực đại trên khu vực ven biển miền thành phố Nha Trang (theo kịch bản động đất cực đại phát sinh trên vùng nguồn Máng biển sâu Manila,  $M_w=9,3$ )

## KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình COMCOT được áp dụng để mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila và đánh giá tác động của trận sóng thần này tới toàn bộ dải ven biển của Việt Nam. Mô hình nguồn động đất gây sóng thần cực đại được xây dựng trên cơ sở tham khảo các dữ liệu quan trắc động đất và GPS đã cập nhật và hai mô hình địa động lực được công bố gần đây nhất về đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila. Kịch bản sóng thần được giả thiết là gây ra bởi động đất cực đại phát sinh trên đới phần phía bắc của siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila với độ lớn tương đương  $M_w=9,3$ .

Độ nguy hiểm sóng thần đối với các vùng bờ biển Việt Nam được đánh giá qua đại lượng độ cao sóng cực đại do sóng thần gây ra. Các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới siêu đứt gãy Máng biển sâu Manila được thể hiện dưới dạng các bản đồ độ cao sóng ở những khu vực và với độ chi tiết khác nhau bao gồm toàn bộ dải ven biển Việt Nam, dải ven biển miền Trung và khu vực ven biển của hai thành phố Đà Nẵng và Nha Trang (các hình 7, 8, 9, 10). Các bản đồ độ cao sóng cho thấy độ nguy hiểm sóng thần tập trung chủ yếu dọc theo dải ven biển miền Trung Việt Nam (đoạn từ tỉnh Quảng Ngãi đến tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu), với độ cao sóng lớn nhất đạt tới trên 18m tại địa phận tỉnh Quảng Ngãi. Nghiên cứu chi tiết cho hai thành phố ven biển miền Trung cũng cho thấy độ cao sóng cực đại đạt tới 10,2m tại thành phố Đà Nẵng và 8,8m tại thành phố Nha Trang.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Bautista, C. B., Bautista, M. L. P., Oike, K., Wu, F. T., Punongbayan, R. S., 2001.* A new insight on the geometry of subducting slabs in northern Luzon, Philippines. *Tectonophysics* 339, 279-310.
2. *Bellon, H., Yumul, G. P., 2000.* Mio-Pliocene magmatism in the Baguio Mining District (Luzon, Philippines): age clues to its geodynamic setting. *Comptes Rendus De L Academie Des Sciences Serie II Fascicule A-Sciences De La Terre Et Des Planetes* 331, 295-302.
3. *Bowin, C., Lu, R. S., Lee, C. S., Schouten, H., 1978.* Plate convergence and accretion in Taiwan-Luzon region. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 62, 1645-1672.
4. *Fuller, M., McCabe, R., Williams, S., Almasco, J., Encina, R. Y., Zanoria, A. S., 1983.* Paleomagnetism of Luzon. In: *Hayes, D.E.*



- (Ed.), The Tectonic and Geologic Evolution of South-East Asian Seas and Islands, Part II. Geophysics Monogram Series, vol. 27. AGU, Washington D.C., pp. 79-94.
5. Hayes, D. E., Lewis, S. D., 1984. A geophysical-study of the Manila Trench, Luzon, Philippines. 1. Crustal structure, gravity, and regional tectonic evolution. *Journal of Geophysical Research* 89, 9171-9195.
  6. Megawati, K., Shaw, F., Sieh, K., Huang, Z., Wu, T.-R., Lin, Y., Tan, S. K. and Pan, T.-C., 2009. Tsunami hazard from the subduction megathrust of the South China Sea Part I. Source characterization and the resulting tsunami. *JEAS* 36, 13-20.
  7. Ludwig, W. J., 1970. The Manila trench and West Luzon Trough - III. Seismicrefraction measurements. *Deep-Sea Research* 17, 553-571.
  8. Page, B. M., Suppe, J., 1981. The Pliocene Lichi melange of Taiwan: its plate tectonic and olistostromal origin. *American Journal of Sciences* 281, 193-227.
  9. Pautot, G., Rangin, C., 1989. Subduction of the South China Sea axial ridge below Luzon (Philippines). *Earth and Planetary Science Letters* 92, 57-69.
  10. Philip L. -F. Liu, Seung-Buhm Woo and Yong-Sik Cho, 1998. Computer Program for Tsunami Propagation and Inundation. School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA.
  11. Phuong Hong Nguyen, Que Cong Bui, Xuyen Dinh Nguyen. Investigation of tsunami sources, capable of affecting the Vietnamese coast. *Natural Hazards*, 64(1) pp. 311-327. DOI: 10.1007/s11069-012-0240-3, October 2012.
  12. Queano, K. L., Ali, J. R., Milsom, J., Aitchison, J. C., Pubellier, M., 2007. North Luzon and the Philippine Sea plate motion model: insights following paleomagnetic, structural, and age-dating investigations. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 112 (B05101).
  13. Wu T-R., Huang H-C., 2009. Modeling tsunami hazards from Manila trench to Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 36, 21-28.
  14. Vũ Thanh Ca (chủ nhiệm), 2009. Xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần cho các vùng bờ biển Việt Nam, *Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Bộ TNMT năm 2006-2008*.
  15. Wu, Y. M., Chang, C. H., Zhao, L., Shyu, J. B. H., Chen, Y. G., Sieh, K., Avouac, J. P., 2007. Seismic tomography of Taiwan: improved constraints from a dense network of strong motion stations. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* 112 (B08312).
  16. Hsu, Y. J., Yu, S. B., Song, T. R. A., Bacolcol, T., 2012. Plate coupling along the Manila subduction zone between Taiwan and northern Luzon. *Journal of Asian Earth Sciences* 51, 98-108.
  17. Yumul, G. P., Dimalanta, C. B., Tamayo, R. A., Maury, R. C., 2003. Collision, subduction and accretion events in the Philippines: a synthesis. *Island Arc* 12, 77-91.

## SIMULATION OF WORST CASE TSUNAMI SCENARIO FROM THE MANILA TRENCH USING THE COMCOT MODEL

Nguyen Hong Phuong, Vu Ha Phuong, Pham The Truyen, Vy Van Vung

*Institute of Geophysics-VAST*

**ABSTRACT:** *Among the tsunami source zones defined in the East Vietnam sea region, the Manila trench, west of the Philippines is considered as the most dangerous for the Vietnamese coast. The recent research results show that the maximum expected earthquake magnitude for the Manila Trench source zone may reach to the value of  $M_w = 8.7$ , and it takes approximately 2 hours for a tsunami from this source zone to hit the Vietnamese coast at the earliest.*

*In this study, we create a worst-case scenario of tsunami earthquake excited by Manila Trench megathrust and assess the impact to the Vietnamese coast. The source parameters are defined based on the models proposed by Wu T-R. et al (2009) and Megawati K. et al (2009). The earthquake magnitude,  $M_w$ , is assumed to be 9.3 generated on the Manila Trench. The tsunami propagation is numerically computed by using the COMCOT open source code. We focus the discussion in Central Vietnam coastal regions, and carefully describe the maximum tsunami wave heights around two coastal cities, Da Nang and Nha Trang. In Central Vietnam coast, the maximum tsunami wave high of 18m is observed at the Quang Ngai province coast. The maximum wave height is 10.2m recorded at the coast of Da Nang city and is 8.8m at the coast of Nha Trang city. It might be concluded that the tsunami hazards from Manila Trench source are devastating to Vietnamese coast, especially to the Central Vietnam coast.*

**Keywords:** *Manila Trench, COMCOT model, worst case scenario, tsunami hazards*