

KHẢO SÁT CÁC VÙNG NGUỒN SÓNG THẦN CÓ KHẢ NĂNG GÂY NGUY HIỂM TỚI VÙNG BỜ BIỂN VIỆT NAM

NGUYỄN HỒNG PHƯƠNG, BÙI CÔNG QUẾ,
NGUYỄN ĐÌNH XUYÊN

I. MỞ ĐẦU

Từ sau thảm họa động đất - sóng thần Sumatra-Andaman năm 2004, do sự đổi mới trong cách nhìn nhận của thế giới đối với thảm họa thiên nhiên động đất và sóng thần, vấn đề nghiên cứu sóng thần đã chuyển sang bước ngoặt mới. Nhiều phương pháp khác nhau đã được các nhà khoa học áp dụng để đánh giá độ nguy hiểm sóng thần cho các vùng biển trên thế giới. Các nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần thường được tiến hành theo hai cách tiếp cận khác nhau: tất định và xác suất. Phương pháp tất định đánh giá độ nguy hiểm sóng thần thường dựa trên việc mô hình hóa và mô phỏng hiện tượng sóng thần dựa trên những dữ liệu sóng thần hủy diệt đã biết trong lịch sử [2, 5]. Kết quả của việc mô phỏng các dữ liệu sóng thần đơn lẻ là bức tranh gần với hiện thực về thời gian lan truyền sóng, độ cao sóng và khả năng ngập lụt do hiện tượng sóng thần gây ra. Gần đây, phương pháp luận đánh giá độ nguy hiểm sóng thần theo cách tiếp cận xác suất cũng đã được xây dựng, cho phép hiển thị kết quả dưới dạng các đồ thị độ nguy hiểm sóng thần biểu thị mối tương quan giữa độ cao sóng khi tới bờ và chu kỳ lặp lại sóng thần, hay tập bản đồ độ nguy hiểm sóng thần biểu thị phân bố không gian của độ cao sóng cực đại tại đường bờ dự báo cho các chu kỳ thời gian khác nhau, ứng với các xác suất bị vượt quá khác nhau [16]. Phương pháp luận xác suất cũng đã được áp dụng để đánh giá độ nguy hiểm sóng thần cho nhiều vùng biển thuộc các quốc gia nằm trên bờ Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương như Nhật, Mỹ, Úc và Đông Nam Á [1, 6, 17].

Cho đến nay, các nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần thường tập trung sự chú ý vào các đối tượng kiến tạo tâm cỡ khu vực, ít để ý đến khả năng gây sóng thần từ các nguồn có tâm cỡ trung bình hay địa phương. Chẳng hạn, khi đánh

giá độ nguy hiểm sóng thần cho khu vực Đông Nam Á, Hong Kie Thio và cộng sự [17] đã chỉ dựa vào các nguồn sóng thần dưới dạng các đới hút chìm rất lớn trên các vùng biển xung quanh Nhật Bản, đông Philippine và nam Indonesia - Malaysia mà không chú ý tới các nguồn sóng thần dạng các đới đứt gãy trung bình và nhỏ trên Biển Đông Việt Nam. D. Burbridge và nnk. cũng chỉ quan tâm tới một vùng nguồn lớn là đới siêu hút chìm Sumatra-Andaman kéo dài hàng nghìn kilomet khi đánh giá độ nguy hiểm sóng thần cho vùng bờ tây bắc nước Úc [6]. Sự cảnh giác của các quốc gia có biển trước hiểm họa sóng thần đòi hỏi phải có những nghiên cứu chi tiết hơn về các đới đứt gãy kiến tạo có kích thước trung bình và nhỏ trong khu vực, đặc biệt bên trong các vùng biển rìa kín, tiềm ẩn khả năng phát sinh các trận sóng thần địa phương.

Mục đích của nghiên cứu này là khảo sát các nguồn sóng thần có khả năng ảnh hưởng gây thiệt hại tới vùng bờ biển Việt Nam. Trên cơ sở nghiên cứu các đặc trưng địa chấn kiến tạo và địa động lực, ranh giới các vùng nguồn sóng thần được xác định trên khu vực Biển Đông và các vùng biển lân cận. Các phương pháp xác suất thống kê được áp dụng để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn, phục vụ các nghiên cứu đánh giá chi tiết độ nguy hiểm sóng thần trong tương lai. Cuối cùng, thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ các vùng nguồn đến bờ biển Việt Nam được tính toán để phục vụ công tác cảnh báo sóng thần ở Việt Nam trong tương lai.

II. CÁC ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤN KIẾN TẠO CHÍNH KHU VỰC BIỂN ĐÔNG

Khu vực Đông Nam Á nói chung và Biển Đông Việt Nam nói riêng có cấu trúc kiến tạo và lịch sử phát triển địa động lực rất độc đáo và phức tạp. Một

mặt đây là vùng chuyển tiếp giữa một bên là lục địa Âu-Á và một bên là lục địa châu Úc, mặt khác nó đóng vai trò là vùng ngăn cách Ấn Độ Dương với Thái Bình Dương. Các mảng vỏ thạch quyển trong khu vực dịch chuyển tương đối với nhau, với xu hướng hội tụ ở Biển Đông : mảng Thái Bình Dương di chuyển về phía tây và tây bắc, mảng Ấn-Úc di chuyển về phía bắc, đông bắc và tiểu mảng Ấn Độ di chuyển về phía bắc, xô húc vào mảng châu Á. Hệ quả của các chuyển động trong Kainozoi đã tạo nên ở khu vực này một số cấu trúc tích cực cơ bản sau :

1. Các siêu đới hút chìm

Đới hút chìm máng biển Sumatra kéo dài đến 8.000 km, từ phía rìa tây bắc Đông Nam Á tới phía đông đảo Timor, đới hút chìm máng biển Philippin kéo dài trên 3.000 km từ phía nam Đài Loan tới vùng đảo Timor. Ngoài ra còn phải kể đến đới hút chìm có quy mô nhỏ hơn như đới hút chìm máng biển Manila (dài 1.150 km), đới hút chìm rìa phía đông biển Sulu (dài trên 650 km).

2. Loại các biển rìa

Hình thành do tách giãn sau cung như biển Celebes từ khoảng 54-42 tr.n, Biển Đông Việt Nam từ 32-15,5 tr.n, biển Sulu từ 19-17 tr.n, biển Molucca từ 40-35 tr.n, biển Banda từ 20-15 tr.n, biển Makassar từ 23-17 tr.n, biển Andaman từ 11 tr.n đến nay.

3. Các đứt gãy trượt bằng lớn

Đứt gãy phương á kinh tuyến Sagang trượt phải trong giai đoạn hiện nay với đứt gãy phương tây bắc - đông nam Sông Hồng-Ailao Shan trượt phải trong giai đoạn hiện tại, đứt gãy phương tây bắc đông nam Sumatra (trên đảo Sumatra) trượt phải, đứt gãy phương á kinh tuyến Philippine (qua quần đảo Philippine) trượt trái.

4. Sự tồn tại kiểu cặp đới các đới hút chìm lớn và các đới đứt gãy trượt bằng

Cặp hút chìm và trượt bằng cùng tên Sumatra, cặp hút chìm - trượt bằng cùng tên Philippin, cặp hút chìm Timor (đoạn phía đông của đới hút chìm Sumatra) và trượt bằng Sorong.

Bản đồ (*hình 1*) minh họa các cấu trúc kiến tạo chính trên khu vực Đông Nam Á [18]. Từ bản đồ này, có thể nhận thấy vị trí khá đặc biệt của bờ biển Việt Nam. Do Biển Đông Việt Nam bị bao bọc bởi lục địa Trung quốc về phía bắc, hệ thống cung đảo đầy đặc của Thái Lan và Malaysia về phía

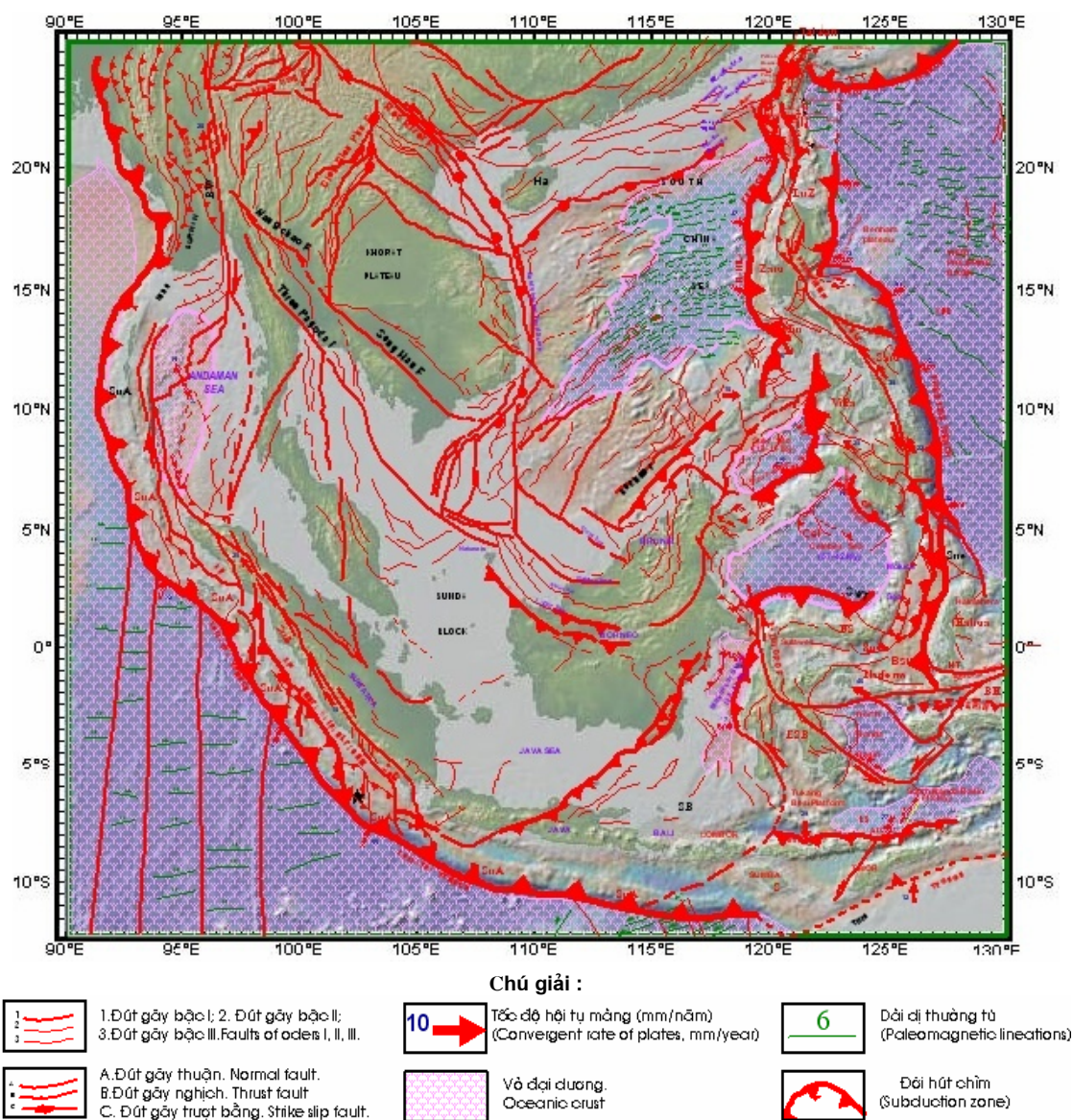
tây nam, của Indonesia và Malaysia về phía nam và quần đảo Philippin về phía đông, bờ biển Việt Nam sẽ chỉ phải chịu ảnh hưởng đáng kể nhất của những trận sóng thần được phát sinh bên trong khu vực Biển Đông. Những trận sóng thần hủy diệt phát sinh trên khu vực trung tâm Thái Bình Dương, từ biển Nhật Bản, biển Đông Trung Hoa hay thậm chí từ hai siêu đới hút chìm là Sumatra (từ phía nam) và quần đảo Philippin (từ phía đông) cũng khó có khả năng tác động mạnh tới bờ biển Việt Nam. Thực tế cũng cho thấy, trận sóng thần Sumatra năm 2004 cũng không gây bất kỳ một thiệt hại nào cho Việt Nam, do bị chặn đứng trước sự che chắn của vòng cung dãy đặc các hòn đảo thuộc Indonesia và Malaysia. Cho đến nay, mới chỉ có một trận sóng thần lịch sử được ghi nhận trong khu vực vịnh Bắc Bộ và có nguồn gốc từ một trận động đất có magnitud 7,3 xảy ra vào năm 1992, và không có số liệu về thiệt hại [20].

Như vậy, từ góc độ thực tiễn của việc cảnh báo sóng thần tại Việt Nam, bài báo này sẽ chỉ xem xét đến các nguồn sóng thần nguy hiểm nhất đối với bờ biển Việt Nam. Trong vùng Biển Đông, các yếu tố kiến tạo địa động lực có khả năng lớn nhất gây ra sóng thần tác động tới bờ biển Việt Nam bao gồm : 1) đới hút chìm Manila, 2) đới đứt gãy Tây Biển Đông, 3) đới đứt gãy thêm lục địa Bắc Biển Đông và 4) đới đứt gãy tây bắc Borneo-Palaoan. Dưới đây sẽ khảo sát chi tiết hơn các đặc trưng địa chấn kiến tạo và địa động lực của các nguồn sóng thần tiềm ẩn này.

1. Đới hút chìm Manila

Đới hút chìm Manila có tổng chiều dài từ bắc xuống nam trên 1.150 km. Đới này gồm một vài đoạn máng biển chạy gấp khúc dọc theo bờ tây quần đảo Philippin từ vĩ độ 20° Bắc xuống vĩ độ 12° Bắc. Máng biển Manila tạo nên ranh giới máng hội tụ giữa địa mảng Biển Philippin và mảng Sunda chạy từ nam Luzon tới tây nam Đài Loan. Dọc theo đới hút chìm Manila đã ghi nhận được nhiều trận động đất mạnh có magnitud lên đến 8,2 độ Richter. Trong khoảng thời gian từ năm 1589 đến năm 2005, trên đới hút chìm máng biển Manila đã xảy ra ít nhất 6 trận động đất làm phát sinh sóng thần (*hình 2*), gây nên những thiệt hại về người và của đáng kể [3]. Các trận động đất gây sóng thần quan trọng nhất trong đới đứt gãy này được liệt kê dưới đây :

⊙ Trận ngoài khơi tây Luzon 1677 với Ms = 7,3 gây sóng thần cao khoảng 1 mét ;



Hình 1. Bản đồ kiến tạo khu vực Đông Nam Á [18]

② Trận động đất ngày 6-5-1924 với $M_s=7,0$, gây sóng thần có độ cao hơn 2 m tại bờ tây Philippin ;

③ Trận động đất xảy ra ngày 14-2-1934 với $M_s = 7,6$, gây sóng thần có độ cao từ 2 đến 4 mét tại bờ tây Philippin ;

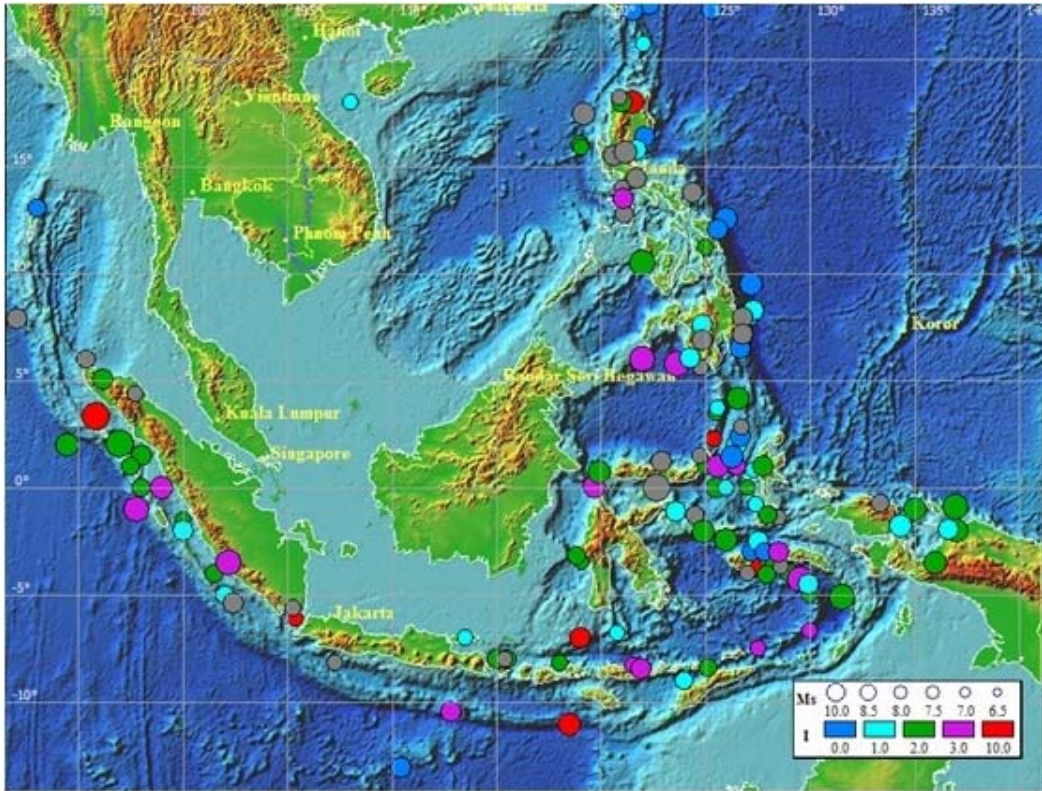
④ Trận động đất xảy ra ngày 12-12-1999 với $M_s = 6,8$, gây sóng thần có độ cao từ 1 đến 4 mét tại bờ tây Philippin ;

⑤ Trận động đất xảy ra ngày 9-9-1828 với $M_s = 6,6$ gây sóng thần có độ cao từ 1 đến 2 mét tại bờ tây Philippin ;

⑥ Trận động đất xảy ra ngày 3-6-1863 với $M_s = 6,5$, gây sóng thần có độ cao từ 1 đến 2 mét tại thủ đô Manila.

2. Đới đứt gãy Tây Biển Đông

Đới đứt gãy này (hình 1) bắt đầu từ chạc ba đứt gãy phía nam đảo Hải Nam, kéo xuống phía nam, dọc theo sườn lục địa phía đông miền Trung Việt Nam. Chiều dài đới đứt gãy khoảng 550 km tính đến đới trượt Tuy Hòa. Tuy nhiên các biểu hiện đứt gãy này còn tiếp tục ở phía nam theo phương á kinh tuyến với chiều dài có thể đạt tới 700 km. Đây



Hình 2. Các trận sóng thần ghi nhận được tại Đông Nam Á trong khoảng thời gian 1600-2006 [20]

là đứt gãy sâu đóng vai trò ranh giới giữa địa khối Indosini và vỏ đại dương Biển Đông; các hoạt động chính đã kết thúc vào Miocene sớm. Các tài liệu địa chấn cho thấy trong giai đoạn hiện nay đứt gãy hoạt động yếu và khó có thể gây ra các trận động đất mạnh. Tuy nhiên trên các mặt cắt địa chấn ngang qua đới, từ tây sang đông cho thấy trên đới đứt gãy này rất phát triển các đới sụt lớn về phía biển thẳm. Các trận động đất nhỏ năm 2005 ngoài khơi Vũng Tàu có liên quan đến đứt gãy này.

Đới này bao gồm 2 đến 3 đứt gãy bậc 1 đến bậc 3 phát triển dọc thêm và rìa thêm lục địa Trung Bộ và Nam Trung Bộ. Hoạt động của chúng phát triển kéo dài trong suốt Kainozoi đến Pliocen - Đệ Tứ và làm móng Granit trước Kainozoi sụt dần ra phía trung sâu Biển Đông. Nếu ở khu vực nằm sát bờ biển Khánh Hòa - Ninh Thuận chiều sâu móng Kainozoi chỉ nằm ở khoảng một vài trăm mét thì ở khu vực cách bờ 50 km, móng đã chìm đến độ sâu 2-3 km, còn ở khu vực cách bờ 100 km nó chìm xuống 4-5 km. Hoạt động của hệ thống đứt gãy Tây Biển Đông vùng biển Nam Trung Bộ có thể đã làm đáy biển sụt bậc từ độ sâu từ 300-4.000 m trong Holocen và hiện đại, dấu hiệu hoạt động này là địa hình đáy

biển tại đây sụt bậc từ độ sâu 150 m xuống độ sâu 200 m, ở khu vực rìa thêm hoạt động, độ sâu 700-800 m, đôi chỗ trên 1.000 m.

Ngoài các biểu hiện trên địa hình đáy biển, hoạt động của đứt gãy Tây Biển Đông còn tạo ra quá trình phun trào núi lửa phát triển dọc dải biển miền Trung từ đảo Lý Sơn đến đảo Phú Quốc, Hòn Tro và các hiện tượng trượt lở kiến tạo, phát hiện được theo các tài liệu địa chấn thăm dò.

3. Đới đứt gãy thêm lục địa Bắc Biển Đông

Đây là một đới rìa lục địa kiểu Đại Tây Dương với một loạt đới sụt tách thuận tạo nên các địa hào, máng trung phương ĐB - TN hoặc ĐDB - TTN. Các đới đứt gãy này có độ dài từ vài trăm đến 1.000 km, về nguyên tắc có thể tạo nên các trận động đất gây sụt lở đáy biển đáng kể, tạo nên sóng thần. Đáng chú ý nhất là các đứt gãy ở phần rìa tiếp giáp với khu vực vỏ đại dương Biển Đông. Tuy nhiên các trận động đất trong đới này là không mạnh.

4. Đới đứt gãy tây bắc Borneo - Palawan

Đây là một đới đứt gãy nghịch, cắm về phía đông nam. Mặc dù động đất có magnitud 6 đã xảy

ra trên đới này, nhiều chuyên gia kiến tạo vẫn cho đới đứt gãy này đã ngừng hoạt động từ lâu [Phan Trọng Trinh, H.D. Tjia (2009), trao đổi cá nhân].

5. Các nguồn sóng thần tiềm ẩn khác

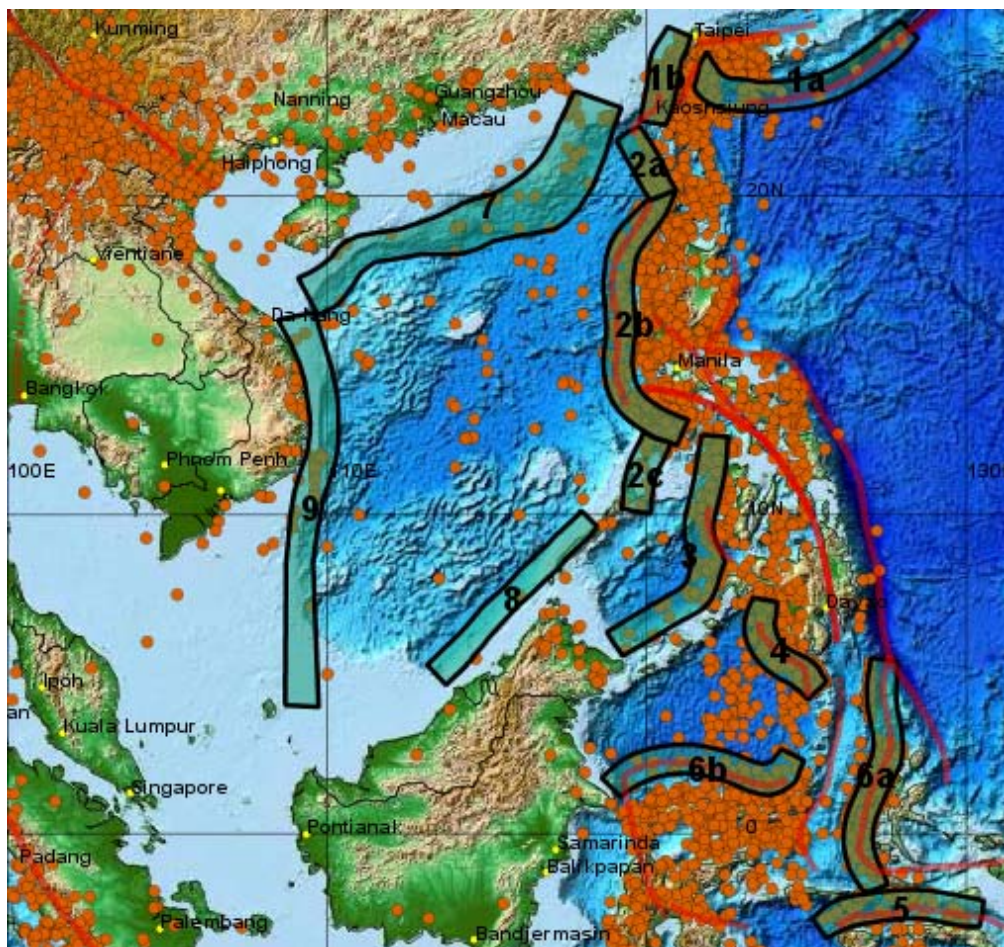
Ngoài các đới kiến tạo có khả năng gây sóng thần trong khu vực Biển Đông đã nêu ở trên, một số đới hút chìm có kích thước nhỏ hơn trong các vùng biển Sulu và Ban Đa cũng cần xem xét như các nguồn sóng thần có thể tác động tới bờ biển Việt Nam. Trong số này có máng biển Negro là một vùng hội tụ ngắn dọc theo bờ tây miền Trung Philippin và máng biển Cotabato là một hệ thống máng biển ngắn khác chạy dọc theo bờ biển tây nam Mindanao.

III. CÁC VÙNG NGUỒN SÓNG THẦN CÓ KHẢ NĂNG ẢNH HƯỞNG TỚI BỜ BIỂN VIỆT NAM

Ranh giới các vùng nguồn sóng thần có khả năng ảnh hưởng tới bờ biển Việt Nam được xác định theo

nguyên tắc : các vùng nguồn được coi là tổng cộng các vùng cực động của tất cả các trận động đất cực đại có khả năng xảy ra trong mỗi đới phá hủy kiến tạo. Đó chính là hình chiếu của các mặt đứt gãy kiến tạo (kể từ ranh giới bên dưới của tầng hoạt động) lên mặt biển. Trên hình 3 minh họa bản đồ các vùng nguồn sóng thần trên khu vực Biển Đông có khả năng ảnh hưởng tới dải ven biển và hải đảo của Việt Nam, bao gồm 9 vùng nguồn sau :

1. Vùng nguồn biển Đài Loan,
2. Vùng nguồn Máng sâu Manila,
3. Vùng nguồn Biển Sulu,
4. Vùng nguồn Biển Celebes,
5. Vùng nguồn Biển Ban Đa bắc,
6. Vùng nguồn Biển Ban Đa nam,
7. Vùng nguồn Bắc Biển Đông,
8. Vùng nguồn Palawan,
9. Vùng nguồn Tây Biển Đông.



Hình 3. Sơ đồ các vùng nguồn sóng thần trên khu vực Biển Đông (bảng 1)

IV. ƯỚC LƯỢNG CÁC THAM SỐ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT CHO CÁC VÙNG NGUỒN SỐNG THẦN

1. Xử lý các số liệu động đất

Trong bài báo này, các phương pháp hợp lý cực đại và cực trị được áp dụng đồng thời để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho từng vùng nguồn sống thần trên khu vực Biển Đông. Các tham số sau đây được ước lượng cho mỗi vùng nguồn :

a) *Magnitud* động đất cực đại dự báo M_{max} ;

b) Các tham số a và b trong biểu thức phân bố động đất theo *magnitud* của Gutenberg-Richter và các đại lượng suy diễn tương ứng α và β . Các tham số này phản ánh tần suất động đất trong mỗi vùng ;

c) Chu kỳ lặp lại dự báo $T(M)$ của các động đất mạnh trong vùng.

Danh mục động đất sử dụng bao gồm 6.267 trận động đất, được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau, chủ yếu từ các trung tâm địa chấn quốc tế và mạng lưới đài trạm Việt Nam (hình 3). Danh mục động đất này chứa cả các số liệu ghi chép trong lịch sử đến các số liệu quan trắc bằng máy tới năm 2007. Số liệu động đất được nhóm theo từng vùng nguồn. Chín vùng nguồn lớn chia nhỏ thêm thành 14 vùng nguồn căn cứ vào số các chấn đoạn có mức độ hoạt động địa chấn khác nhau trên từng đới, trong đó vùng nguồn biển Đài Loan được chia thành hai vùng nguồn nhỏ, vùng nguồn máng biển Manila chia thành 3 vùng nguồn nhỏ, vùng nguồn Ban Đa bắc được chia thành hai vùng nhỏ. Số lượng các kích động chính của 14 vùng nguồn động đất - sống thần trên Biển Đông liệt kê trong bảng 1.

Danh mục động đất của từng vùng nguồn được xử lý để loại bỏ các tiền chấn và dư chấn nhằm đảm bảo tính độc lập thống kê cho các sự kiện. Nguyên lý loại bỏ dư chấn (hoặc tiền chấn) đã được biết đến rộng rãi. Giả sử t - thời điểm xảy ra động đất, h - độ sâu chấn tiêu, M - *magnitud*, i và j - số thứ tự của hai trận động đất trong danh mục, $j > i$. Trận động đất thứ hai được coi là dư chấn của trận động đất thứ nhất nếu các điều kiện sau đây được thỏa mãn : khoảng cách chấn tâm giữa hai trận động đất này nhỏ hơn giá trị cho trước $R(M_i)$, $h_j - h_i \leq H(M)$ và $M_j \leq M_i$, với $T(M)$, $R(M)$ và $H(M)$ là các hàm thực nghiệm [11]. Thuật toán loại bỏ tiền chấn cũng hoàn toàn tương tự.

Bảng 1. Danh mục động đất các vùng nguồn sống thần trên Biển Đông (đã loại dư chấn)

Tên vùng nguồn	Thời gian quan trắc	Số động đất
1a. Riukiu - Đài Loan	1965-2008	89
1b. Tây Đài Loan	1964-2008	49
2a. Đới hút chìm Manila Bắc	1958-2006	36
2b. Đới hút chìm Manila Trung	1872-2008	193
2c. Đới hút chìm Manila Nam	1974-1993	16
3. Biển Sulu	1964-2006	95
4. Biển Celebes	1964-2007	139
5. Biển Ban Đa Nam	1998-2006	29
6a. Biển Ban Đa Bắc 1	1608-2008	156
6b. Biển Ban Đa Bắc 2	1966-2007	61
7. Bắc Biển Đông	1913-2000	34
8. Palawan	1930-1995	7
9. Tây Biển Đông	1919-2005	18

2. Ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn bằng phương pháp cực trị

Lý thuyết cực trị được áp dụng lần đầu tiên ở Việt Nam từ năm 1991 để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ Việt Nam [14]. Lý thuyết này do F.J. Gumbel đề xuất và dựa trên những giả thiết cơ sở sau [10] :

1) Các điều kiện tồn tại trong quá khứ vẫn còn có hiệu lực trong tương lai ; và

2) Các giá trị cực đại quan sát được trong một khoảng thời gian cho trước độc lập về mặt thống kê.

Giả sử X là một biến ngẫu nhiên có phân bố $F(x)$:

$$F(x) = P\{X \leq x\}$$

Xác suất để cho x là giá trị cực đại trong số n mẫu độc lập có cùng phân bố $F(x)$ sẽ bằng :

$$G(X) = P\{X_1 \leq x, X_2 \leq x, \dots, X_n \leq x\} = F^n(x),$$

với $G(x)$ là hàm phân bố các cực trị X_i , $i = 1, n$. Trong phần lớn trường hợp, hàm phân bố ban đầu $F(x)$ không được biết trước. Tuy nhiên, có thể tính được các hàm phân bố tiệm cận của nó dưới dạng các hàm phân bố cực trị.

Như vậy, nếu xét đến tính ngẫu nhiên của quá trình phát sinh động đất, có thể coi *magnitud* của các động đất cực đại hàng năm quan sát được trong

một khoảng thời gian cho trước là tập hợp các cực trị có phân bố $G(x)$. E.J. Gumbel đã đưa ra ba loại hàm phân bố tiệm cận cực trị, trong đó các hàm loại I và loại III được áp dụng rộng rãi trong lĩnh vực nghiên cứu động đất.

Phân bố cực trị loại I của E.J. Gumbel có dạng :

$$G1(x) = \exp[-\exp(-\beta_1(x-u))] \quad (1)$$

ở đây β_1 và u là các tham số cần xác định của hàm phân bố, $\beta_1 > 0$. Nếu đặt $\ln\alpha_1 = \beta_1 u$ và lấy logarit tự nhiên hai vế biểu thức (1) hai lần, ta được :

$$\ln[-\ln G1(x)] = \ln\alpha_1 - \ln\beta_1 x \quad (2)$$

Phân bố cực trị loại III của E.J. Gumbel có dạng :

$$G3(x) = \exp\left[-\left(\frac{\omega-x}{\omega-u}\right)^{\beta_3}\right], \beta_3 > 0, x < \omega, u < \omega \quad (3)$$

ở đây ω - cận trên của các cực trị x , β_3 và u là các tham số cần xác định của hàm phân bố. Nếu đặt $\alpha_3 = (\omega-u)^{\beta_3}$ và lấy logarit tự nhiên hai vế biểu thức (3) hai lần, ta được :

$$\ln[-\ln G3(x)] = \ln\alpha_3 + \beta_3 \ln(\omega-x) \quad (4)$$

Để tìm các hàm phân bố cực trị $G1(x)$ và $G3(x)$, các tham số α_i , β_i , $i = 1, 3$ và ω được ước lượng bằng phương pháp bình phương tối thiểu, sử dụng các công thức (2) và (4).

3. Ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn bằng phương pháp hợp lý cực đại

a) Hàm hợp lý cực đại của các tham số nguy hiểm động đất cho phân số liệu cực trị (không đầy đủ) của các danh mục động đất.

Mỗi danh mục động đất thường chứa đựng hai mảng số liệu có mức độ thông tin về động đất rất khác nhau. Mảng thứ nhất bao gồm các động đất ghi nhận được trong lịch sử, từ các kết quả điều tra thực địa..., thường bao quát một chu kỳ quan trắc rất dài, có khi tới vài thế kỷ, nhưng với số lượng động đất rất ít ỏi và độ tin cậy rất thấp. Mảng thứ hai là tất cả các số liệu động đất được ghi bằng máy, ngược lại, chỉ có bề dày thời gian khoảng vài chục năm trở lại đây, nhưng với độ thông tin đầy đủ hơn rất nhiều về các trận động đất ghi nhận được. Ta sẽ quy ước gọi mảng thứ nhất là phần không đầy đủ (hay phần cực trị) của danh mục, còn mảng thứ hai là phần đầy đủ của danh mục động đất.

Thuật toán ước lượng các tham số độ nguy hiểm động đất sử dụng cả hai phần số liệu của danh mục

động đất, với giả thiết là sự phát sinh các động đất tuân theo luật phân bố Poát xông, có chỉ số hoạt động λ và phân bố bị chặn hai đầu $F(x)$ của các magnitud động đất x , một dạng khác của biểu thức Gutenberg-Richter :

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{A_1 - A_x}{A_1 - A_2}; M_{\min} \leq x \leq M_{\max} \quad (5)$$

ở đây $A_1 = \exp(\beta M_{\min})$, $A_2 = \exp(\beta M_{\max})$,
 $A_x = \exp(-\beta M_{\max})$; M_{\max}

là magnitud cực đại của vùng nguồn đang xét, M_{\min} là cận dưới magnitud và β là tham số độ nguy hiểm động đất. Nói cách khác, các động đất có magnitud vượt quá giá trị cho trước có thể được coi là một quá trình Poát xông với độ lặp lại trung bình là $\lambda[1-F(x)]$ [4]. Từ đây ta có xác suất để cho giá trị magnitud lớn nhất X nhỏ hơn một giá trị x nào đó cho trước trong suốt khoảng thời gian quan sát t là :

$$G(x|t) = P(X \leq x) = \exp\left\{-v_0 t \left[\frac{A_2 - A_x}{A_2 - A_{10}}\right]\right\} \quad (6)$$

ở đây $v_0 = \lambda [1 - F(M_0)]$, $A_{10} = \exp(\beta M_0)$ và M_0 là cận dưới magnitud của toàn bộ số liệu phân cực trị của danh mục động đất, ($M \geq M_{\min}$) .

Trong trường hợp đặc biệt, khi $M_{\min} \rightarrow \infty$, $M_0 = M_{\min} = 0$ và $t = 1$, ta có $A_{10} = 1$, $A_2 = 0$ và biểu thức (6) sẽ có dạng :

$$G(x) = \exp[-\lambda \exp(-\beta x)] \quad (7)$$

Để thấy rằng (7) chính là phân bố tiệm cận cực trị loại I của E.J. Gumbel, đã xét đến ở trên.

Trong trường hợp đang xét, số liệu sử dụng để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất là các cực trị magnitud $X_0 = (X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n})$, được chọn trong các khoảng thời gian $t = (t_1, t_2, \dots, t_{n_0})$ bao trùm phần cực trị của danh mục động đất. Các tham số cần tìm là $\theta = (\beta, \lambda)$ và M_{\max} . Từ biểu thức (6) ta có hàm hợp lý cực đại của θ là [13] :

$$L_0(\theta|X_0) = \prod_{i=1}^{n_0} g(X_{0i}, t_i|\theta) \quad (8)$$

trong đó

$$\ln g(x, t|\theta) = \frac{A_2 - A(x)}{A_{10} - A_2} + \ln \frac{v_0 \beta t}{A_{10} - A_2} - \beta x \quad (9)$$

b) Hàm hợp lý cực đại của các tham số nguy hiểm động đất cho phân số liệu đầy đủ của danh mục động đất

Giả sử phần thứ hai của danh mục động đất có thể chia thành s danh mục động đất nhỏ, và mỗi danh

mục động đất nhỏ này có chu kỳ quan trắc T_i và được coi là đầy đủ kể từ một cận dưới magnitud xác định M_i nào đó, $i = 1, 2, \dots, s$. Gọi $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in_i})$ là các giá trị magnitud lấy từ danh mục nhỏ thứ i . Theo định nghĩa này ta có $X_{ij} \geq M_i$, $i = 1, 2, \dots, s$, $j = 1, 2, \dots, n_i$.

Nếu các giá trị magnitud và số động đất là các đại lượng độc lập thì hàm hợp lý cực đại của θ ứng với mỗi danh mục nhỏ có thể biểu diễn dưới dạng tích của hai hàm thành phần :

$$L_i(\theta X_i) = L_{i\beta} \cdot L_{i\lambda} \quad (10)$$

Theo nguyên lý tổng hợp số liệu [15], hợp lý cực đại tổng hợp trên cơ sở tất cả các số liệu, tức là hàm hợp lý cực đại ứng với toàn bộ chu kỳ quan trắc của danh mục động đất lớn sẽ có dạng :

$$L(\theta | X) = \prod_0^s L_i(\theta | X_i) \quad (11)$$

c) Ước lượng các tham số

Phương pháp hợp lý cực đại được áp dụng để đánh giá các tham số $\theta = (\beta, \lambda)$. Các ước lượng $\hat{\beta}$ và $\hat{\lambda}$ tìm được bằng cách giải hệ phương trình :

$$\begin{aligned} \frac{\delta \ln L(\theta | X)}{\delta \lambda} &= 0 \\ \frac{\delta \ln L(\theta | X)}{\delta \beta} &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

theo λ và β .

Với mỗi giá trị xác định của M_{max} , dễ dàng tìm được cặp ước lượng $\hat{\beta}$ và $\hat{\lambda}$ bằng các phép lập. Tuy nhiên, do hàm hợp lý cực đại L là một hàm đơn điệu giảm khi $M_{max} \rightarrow \infty$ [9], phép ước lượng M_{max} đòi hỏi điều kiện bổ sung. A. Kijko đã thỏa mãn được điều kiện cho phép tính M_{max} bằng cách giả thiết :

$$X_{max} = EXPEC(x_{max} | T) \quad (13)$$

Với X_{max} là magnitud cực đại quan sát được trong phạm vi vùng nguồn đang xét, còn $EXPEC(x_{max} | T)$ là giá trị magnitud cực đại dự báo cho toàn bộ chu kỳ quan trắc của danh mục động đất lớn, được tính bởi công thức [12] :

$$EXPEC(x_{max} | T) = M_{max} - \frac{E_1(TZ) - E_1(TZ_1)}{\beta \exp(-TZ_2)} - M_{min} \exp(-\lambda t) \quad (14)$$

ở đây $Z_i = \lambda A_i / (A_2 - A_1)$, $i = 1, 2$ và $E(.)$ là hàm tích phân mũ áp dụng cho trường hợp chu kỳ quan trắc

của danh mục động đất lớn chứa hai khoảng thời gian chính : thời gian quan trắc các số liệu cực trị $T_0 = \sum_{i=1}^{T_0} T_i$ và thời gian quan trắc các số liệu đầy đủ $\sum_{i=1}^s T_i$.

4. Kết quả ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn sóng thần

Kết quả ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho từng vùng nguồn sóng thần trên khu vực Biển Đông bằng hai phương pháp cực trị và hợp lý cực đại được liệt kê trong các bảng 2 và 3. Động đất cực đại lớn nhất được dự báo xảy ra tại các vùng nguồn máng biển Manila, biển Sulu và biển Celebes. Trong khu vực Biển Đông, đới hút chìm Manila được coi là vùng nguồn sóng thần nguy hiểm nhất đối với bờ biển Việt Nam. Trong ba vùng nguồn nhỏ thuộc vùng nguồn máng biển Manila, hai vùng nguồn ở phía bắc có mức độ nguy hiểm cao hơn vùng nguồn nhỏ phía nam. Việc so sánh các kết quả trong hai bảng 2 và 3 cũng cho thấy giá trị M_{max} ước lượng được bằng phương pháp hợp lý cực đại thường cao hơn các giá trị tương ứng được ước lượng bằng phương pháp cực trị khoảng 0,4 đơn vị magnitud.

Bảng 2. Kết quả ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn sóng thần trên Biển Đông bằng phân bố cực trị loại 3 của E.J. Gumbel

Tên vùng nguồn	β	M_{max} (G3)
1a. Riukiu - Đài Loan	1,89	7,3± 0,1
1b. Tây Đài Loan	1,37	6,8± 0,1
2a. Đới hút chìm Manila Bắc	1,18	8,3± 0,1
2b. Đới hút chìm Manila Trung	1,76	8,1± 0,1
2c. Đới hút chìm Manila Nam	1,09	6,3± 0,1
3. Biển Sulu	1,47	8,0± 0,1
4. Biển Celebes	1,74	8,1± 0,1
5. Biển Ban Đa Nam	1,34	6,4± 0,1
6a. Biển Ban Đa Bắc 1	1,51	7,7± 0,1
6b. Biển Ban Đa Bắc 2	1,67	6,6± 0,1
7. Bắc Biển Đông	1,07	6,6± 0,1
8. Palawan	0,38	6,4 ± 0,1
9. Tây Biển Đông	0,58	6,2± 0,1

V. ƯỚC LƯỢNG THỜI GIAN LAN TRUYỀN TRUNG BÌNH CỦA SÓNG THẦN TỪ CÁC VÙNG NGUỒN TỚI BỜ BIỂN VIỆT NAM

Sơ đồ các vùng nguồn sóng thần trên khu vực Biển Đông được áp dụng đánh giá sơ độ mức độ nguy hiểm sóng thần đối với vùng bờ biển Việt Nam

Bảng 3. Kết quả ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn sóng thần trên Biển Đông bằng phương pháp hợp lý cực đại

Tên vùng nguồn	β	b	λ	M_{max}
1a. Riukiu - Đài Loan	2,34±0,26	0,99±0,11	18,81±4,79	7,7±1,60
1b. Tây Đài Loan	2,68±0,43	1,14±0,18	11,85±4,90	7,2±0,99
2a. Đới hút chìm Manila Bắc	1,53±0,28	0,65±0,12	2,96±0,90	8,7±0,93
2b. Đới hút chìm Manila Trung	2,06±0,15	0,88±0,06	16,50±2,55	8,5±0,85
2c. Đới hút chìm Manila Nam	1,33±0,57	0,56±0,24	3,17±1,69	6,7±0,28
3. Biển Sulu	2,07±0,22	0,88±0,09	16,09±3,56	8,4±1,17
4. Biển Celebes	2,06±0,18	0,87±0,08	22,77±4,20	8,5±1,03
5. Biển Ban Đa Nam	2,84±0,55	1,21±0,23	50,58±26,12	6,8±0,76
6a. Biển Ban Đa Bắc 1	2,52±0,15	1,07±0,06	32,95±5,72	8,1±0,53
6b. Biển Ban Đa Bắc 2	2,69±0,37	1,14±0,16	18,64±0,61	7,0±0,61
7. Bắc Biển Đông	0,70±0,23	0,30±0,10	0,38±0,07	7,0±0,23
8. Palawan	0,94±0,79	0,40±0,33	0,07±0,03	6,5±0,42
9. Tây Biển Đông	0,66±0,58	0,28±0,25	0,07±0,03	6,6±0,28

Các tình huống tiêu biểu được xây dựng cho từng vùng nguồn sóng thần, với giả thiết là động đất phát sinh tại tâm điểm của mỗi vùng nguồn với độ lớn ứng với các giá trị M_{max} đã ước lượng trong mục trước và phát sinh sóng thần lan truyền tới bờ biển Việt Nam. Để tính toán thời gian lan truyền sóng thần từ chấn tâm các động đất giả định đến bờ biển Việt Nam, phần mềm TTT được sử dụng với các số liệu địa hình đáy biển mặt định [1].

Kết quả tính thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ các vùng nguồn khác nhau tới bờ biển Việt Nam liệt kê trong *bảng 4* (ở đây nguồn gây sóng thần được chọn là điểm giữa của mỗi vùng nguồn). Các kết quả này cho thấy sóng thần từ các vùng nguồn máng biển Manila Bắc và Trung tới bờ biển Việt Nam là vào khoảng trên dưới 2 giờ đồng hồ. Các vùng nguồn gần bờ biển Việt Nam nhất như vùng nguồn Bắc Biển Đông và vùng nguồn Tây Biển Đông đều có thời gian truyền sóng thần dao động trong khoảng 1 giờ 30 phút. Các vùng nguồn xa hơn như biển Sulu hay tây Đài Loan đều có thời gian truyền sóng thần từ trên 3 giờ trở lên.

Bảng 5 liệt kê chi tiết thời gian lan truyền sóng thần từ vùng nguồn Manila Bắc, vùng nguồn được coi là nguy hiểm nhất đối với Việt Nam, tới một số thành phố lớn nằm trên dải ven biển Việt Nam. Các kết quả từ bảng này cho thấy các thành phố thuộc bờ biển miền Trung Việt Nam sẽ là những địa điểm đầu tiên phải hứng chịu sự tấn công của

Bảng 4. Kết quả ước lượng thời gian lan truyền trung bình của sóng thần từ các vùng nguồn khác nhau trong khu vực Biển Đông đến bờ biển Việt Nam (Tp Tuy Hoà)

Tên vùng nguồn	Mã vùng nguồn	Thời gian truyền ngắn nhất
Tây Đài Loan	1b	5h20'25"
Đới hút chìm Manila Bắc	2a	2 23 47
Đới hút chìm Manila Trung	2b	1 43 05
Đới hút chìm Manila Nam	2c	4 03 49
Biển Sulu	3	3 37 51
Bắc Biển Đông	7	1 43 24
Palawan	8	1 51 33
Tây Biển Đông	9	1 29 38

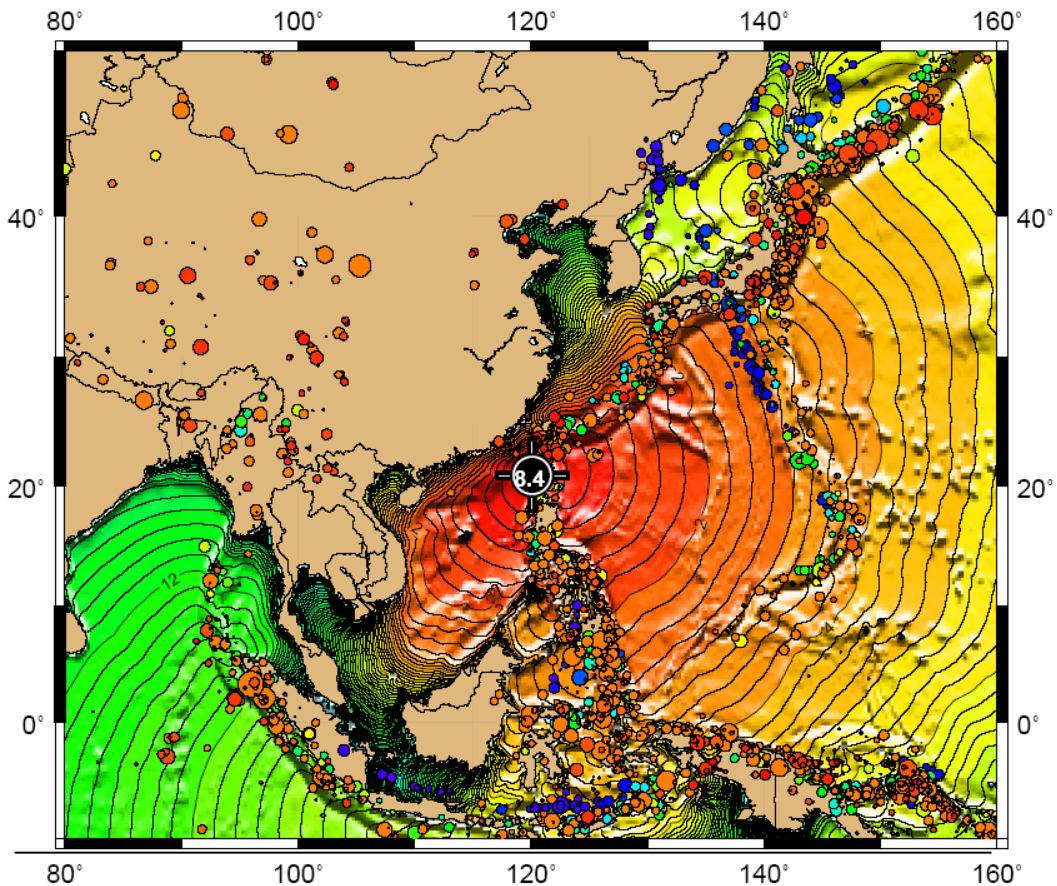
sóng thần. Thời gian lan truyền sóng thần từ nguồn tới miền Trung Việt Nam dao động trong khoảng trên dưới 2 giờ. Dải ven biển miền Bắc Việt Nam từ Đông Hới trở ra có thời gian lan truyền trên 5 giờ. Các thành phố thuộc dải ven biển miền Nam Việt Nam từ Phan Thiết trở vào cũng chỉ đón đợt sóng thần đầu tiên sau 4 giờ. Đặc biệt, kết quả của nhiều tình huống đều cho thấy điểm đến đầu tiên của sóng thần từ các nguồn đã xác định đều tập trung vào Tuy Hòa, một thành phố miền Trung Việt Nam.

Trên *hình 4* minh họa thời gian truyền sóng từ tình huống động đất gây sóng thần xảy ra tại máng Manila Bắc trong khu vực Biển Đông.

Bảng 5. Kết quả ước lượng thời gian lan truyền sóng thần từ nguồn máng biển Manila Bắc đến các thành phố ven biển của Việt Nam*

No	Kinh	Vĩ	Thành phố ven biển	Dân số	Thời gian lan truyền
1	105°865	19°720	Sầm Sơn	56.000	8h 03m 23s
2	105 662	18 987	Diễn Châu	220.000	7h 50m 13s
3	106 553	17 528	Đồng Hới	103.000	5h 42m 55s
4	108 229	16 122	Đà Nẵng	777.000	3h 44m 02s
5	109 197	15 345	Lý Sơn	20.000	2h 40m 17s
6	109 302	13 772	Quy Nhơn	280.000	2h 38m 13s
7	109 370	13 091	Tuy Hòa	148.000	2h 23m 47s
8	109 339	12 240	Nha Trang	350.000	2h 47m 16s
9	109 074	11 560	Phan Rang	102.000	2h 46m 31s
10	108 196	10 882	Phan Thiết	205.000	4h 12m 33s
11	109 035	10 481	Phú Quý	24.000	3h 00m 14s
12	107 140	10 346	Vũng Tàu	240.000	5h 52m 28s
13	106 666	8 601	Côn Đảo	5.000	5h 44m 16s
14	111 916	8 633	Trường Sa	2.000	2h 23m 17s
15	105 038	10 014	Rạch Giá	205.000	19h 05m 42s

* Tọa độ chấn tâm động đất giả định : kinh độ = 20.83, vĩ độ = 120.1



Hình 4. Thời gian lan truyền sóng thần từ vùng nguồn máng biển Manila Bắc theo giả định M = 8,4

KẾT LUẬN

Do có vị trí khá đặc thù, vùng bờ biển Việt Nam có nhiều khả năng phải chịu sự tác động chủ yếu từ các vùng nguồn sóng thần nằm bên trong khu vực Biển Đông. Khả năng sóng thần hủy diệt phát sinh trên khu vực trung tâm Thái Bình Dương, từ vùng biển Nhật Bản, biển đông Trung Hoa hay thậm chí từ các siêu đới hút chìm như Sumatra hay Đông Philippin có thể gây thiệt hại cho bờ biển Việt Nam là rất thấp. Trong nghiên cứu này, 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 trên cơ sở nghiên cứu và phân tích các đặc trưng kiến tạo địa động lực trên toàn vùng Đông Nam Á.

Sử dụng danh mục động đất toàn khu vực Đông Nam Á, các phương pháp xác suất thống kê được áp dụng để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho từng vùng nguồn sóng thần. Động đất cực đại được dự báo trên các vùng nguồn máng biển Manila Bắc (8,3 - 8,7), vùng nguồn Biển Sulu (8,0 - 8,4) và vùng nguồn biển Celebes (8,1 - 8,5).

Trong khu vực Biển Đông, vùng nguồn máng biển Manila Bắc được coi là vùng nguồn sóng thần nguy hiểm nhất đối với bờ biển Việt Nam, trong khi vùng nguồn Palawan được coi là ít có khả năng gây ra sóng thần nhất. Kết quả tính thời gian lan truyền sóng thần cho thấy, sau khi phát sinh trên vùng nguồn, sóng thần chỉ mất khoảng 2 giờ đồng hồ để tấn công vào bờ biển Việt Nam. Đối với hai vùng nguồn gần là Tây Biển Đông và Bắc Biển Đông, thời gian lan truyền sóng thần trung bình từ nguồn tới bờ biển Việt Nam là khoảng 1 giờ 30 phút. Sóng thần từ các nguồn xa như Biển Sulu hay Tây Đài Loan phải mất hơn 3 giờ mới tới được bờ biển Việt Nam.

Những kết quả nghiên cứu bước đầu trong bài báo này sẽ là cơ sở cho các nghiên cứu chi tiết trong tương lai về đánh giá độ nguy hiểm sóng thần ở Việt Nam. Các kết quả của nghiên cứu này cũng có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho công tác cảnh báo sóng thần ở nước ta.

TÀI LIỆU DẪN

[1] TADASHI ANAKA, KENJI SATAKE, TSUTOMU SAKAKIYAMA, KEN YANAGISAWA, NOBUO SHUTO, 2007 : Logic-tree Approach for Probabilistic Tsunami Hazard Analysis and its Application to the Japanese Coasts. *Pure appl. Geophys.* **164**, 577-592.

[2] D. ARCAS, V. TITOV, 2006 : Sumatra tsunami: lessons from modeling, *Srv Geophys.* **27**, 679-705.

[3] M.L.P. BAUTISTA, B.C. BAUTISTA, J.C. SALCEDO and I.C. NARAG, 2006 : Tsunami catalog of the Philippines (1589 to 2005). *Proceedings of 6th ASC Symposium*, Bangkok, Thailand.

[4] R.J. BENJAMIN and C.A. CORNELL, 1970 : *Probability, Statistics and Decisions for Civil Engineers*, McGraw Hill.

[5] J. BORRERO, S. CHO, J.E. MOORE, H.W. RICHARDSON and C. SYNOLAKIS, 2005 : Could it happen here ? *Civil Eng.*, **75**, 54-65.

[6] D. BURBRIDGE, PHIL R. CUMMINS, R. MLECZKO and HONG KIE THIO, 2008 : A Probabilistic Tsunami Hazard Assessment for Western Australia. *Pure appl. Geophys.* **165**, 2059-2088.

[7] VŨ THANH CA (chủ nhiệm), 2008 : 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.

[8] A.C. CORNELL, 1968 : Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seis. Soc. Am.* **58**, 1583-1606.

[9] COSENTINO P., FICARA V. and LUZIO D., 1977 : Truncated exponential frequency-magnitude relationship in earthquake statistics, *Bull. Seis. Soc. Am.* **67**, 1615-1623.

[10] E.J. GUMBEL, 1958 : *Statistics of Extremes*, Columbia University Press.

[11] V.I. KEILIS-BOROK, L. KNOPOFF and I.M. ROTWAIN, 1980 : Burst of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes, *Nature*, Vol. **283**, 259-263.

[12] A. KIJKO, 1984 : Maximum likelihood estimation of Gutenberg-Richter b parameter for uncertain magnitude values, *Pageoph*, **127**, 573-579.

[13] A. KIJKO and M. DESSOKEY, 1987 : Application of extreme magnitude distribution to incomplete earthquake files, *Bull. Seis. Soc. Am.* **77**, 1429-1436.

[14] NGUYEN HONG PHUONG, 1991 : Probabilistic Assessment of Earthquake Hazard in Vietnam based on Seismotectonic Regionalization, *Tectono-physics*, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, **198**, 81-93.

[15] C.R. RAO, 1973 : Linear statistical inference and its applications, Edit. 2, John Wiley and Sons, N.Y., p. 625.

[16] H.K. THIO, P. SOMERVILLE, G. ICHINOSE, 2006 : Probabilistic Tsunami Hazard Analysis, Geophys. Res. Lett., in prep.

[17] H.K. THIO, P. SOMERVILLE, G. ICHINOSE, 2007 : Probabilistic Analysis of Strong Ground Motion and Tsunami Hazards in South East Asia, Proceedings from 2007 NUS-TMSI Workshop, National University of Singapore, Singapore, 7-9 March, 2007.

[18] NGUYỄN ĐÌNH XUYÊN (chủ nhiệm), 2006 : Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần vùng ven biển Việt Nam, đề xuất các biện pháp cảnh báo và phòng tránh, Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Viện KH&CN Việt Nam năm 2005-2006.

[19] A NOAA-UNESCO/IOC Partnership. TTT Software Package v2.21, May 2009.

[20] ITDB/WRL (2005). Integrated Tsunami Database for the World Ocean, Version 5.15, July 2005. CD-ROM, Tsunami Laboratory, ICMMG SD RAS, Novosibirsk, Russia.

SUMMARY

Investigation of tsunami sources, capable affecting to the Vietnamese coast

Based on the analysis of tectonic feature and geodynamic characteristics of regional faults systems in the South East Asia, nine capable source zones of generating tsunamis that can be affected to the Vietnamese coast were delineated in the East Vietnam Sea and adjacent sea areas. Statistical methods were applied to estimate the seismic hazard parameters for each source zone, which can be used for the detailed tsunami hazard assessment in the future. Maximum earthquake magnitudes are predicted for the Manila Trench (8.3 - 8.7), the Sulu Sea (8.0 - 8.4) and the Selebes Sea source zones (8.1 - 8.5) as well. In the East Vietnam Sea region, the Manila Trench source zone is considered to be the most dangerous to the Vietnamese coast.

The estimated M_{max} values were used to develop simple scenarios (with a point source assumption) to calculate the tsunami travel time from each source zone to the Vietnamese coast. The results show that for the Manila Trench source zone, tsunamis can hit the Vietnamese coast in two hours at the earliest.

Ngày nhận bài : 19-11-2009

Viện Vật lý Địa cầu

(Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam)