ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ SÓNG THẦN Ở CÁC VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

TRẦN THỊ MỸ THÀNH, NGUYỄN ĐÌNH XUYÊN,
NGUYỄN VĂN DƯƠNG, NGUYỄN LÊ MINH
E-mail: tmythanh@yahoo.com
Viện Vật lý Địa cầu - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Ngày nhận bài: 13-7-2010

1. Mở đầu

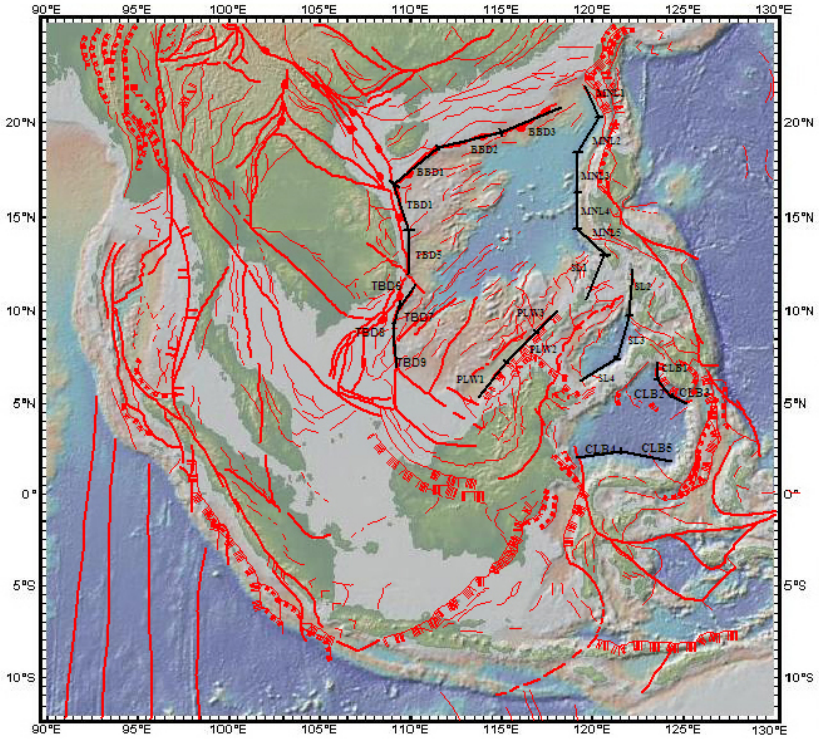
Từ sau thảm họa sóng thần gây ra bởi động đất Sumatra Mw 9.3 ngày 26-12-2004, vấn đề nguy hiểm sóng thần ở vùng bờ biển và hải đảo Việt Nam trở thành mối quan tâm lớn ở nước ta. Nghiên cứu đánh giá nguy cơ sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam là nhiệm vụ quan trọng cấp bách. Nhiều nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đã tiến hành các nghiên cứu quy mô khác nhau nhằm đánh giá nguy cơ sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam. Riêng ở Việt Nam, một số đề tài nghiên cứu theo hướng này đã được tiến hành [7, 10, 11] đem lại những kết quả đánh giá bước đầu về nguy cơ sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam. Một kết luận quan trọng từ các nghiên cứu này là: ở khu vực Đông Nam Á có hai vành đai động đất lớn thường gây ra các thảm hoạ động đất và sóng thần, đó là các siêu đới hút chìm máng biển Sumatra kéo dài từ phía rìa tây bắc Đông Nam Á (ĐNA) tới phía đông đảo Timor, và đới hút chìm máng biển Phillippin. Nhưng sóng thần từ các đới này không gây ảnh hưởng đáng kể tới vùng Biển Đông, do vùng biển này được che chắn bởi các vòng cung đảo Phillippin, Indonesia, Malaysia, Java. Nguy cơ sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam xuất phát từ các vùng nguồn tiềm ẩn trong vùng Biển Đông và vùng ven biển. Sau đó, các nhà khoa học đã nghiên cứu các điều kiện phát sinh sóng thần và khoanh định các vùng nguồn sóng thần trong vùng Biển Đông và sơ bộ đánh giá ảnh hưởng của sóng thần phát sinh trong các vùng nguồn này đối với bờ biển Việt Nam. Để góp phần đánh giá đúng đắn và chi tiết hơn nguy cơ sóng thần ở các vùng bờ biển và hải đảo Việt Nam, chúng tôi đã dựa trên các kết quả nghiên cứu điều kiện phát sinh sóng thần, bình đồ kiến tạo địa động lực Biển Đông, xem xét, hiệu chỉnh, chính xác hoá các vùng nguồn sóng thần tiềm ẩn trong vùng Biển Đông, xây dựng các kịch bản động đất sóng thần nguy hiểm phù hợp với từng vùng nguồn. Sau đó sử dụng chương trình MOST - chương trình được sử dụng rộng rãi ở USGS (Mỹ) và trên thế giới trong đánh giá sóng thần, để đánh giá chi tiết hơn nguy cơ sóng thần ở các vùng bờ biển và hải đảo Việt Nam: thời gian truyền, độ cao sóng thần trong từng kịch bản. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong bài báo này.

2. Các vùng nguồn có khả năng phát sinh động đất gây sóng thần khu vực Biển Đông

Khu vực ĐNA 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 [7]. Vành đai động ĐNA trên thực tế có cấu trúc rất phức tạp, bao gồm các mảng và tiểu mảng có nguồn gốc khác nhau. Chúng hoặc thuộc về lục địa châu Á, hoặc là các mảnh vỏ phiêu di từ phía Ấn-Úc hoặc Thái Bình Dương. Sự tồn tại và phát triển của các đới tích cực vành đai động ĐNA là các nguồn có khả năng gây động đất và sóng thần mạnh.

Dựa vào điều kiện phát sinh sóng thần, từ các tài liệu đã có về kiến tạo địa động lực khu vực ĐNA, kết quả nghiên cứu hoạt động núi lửa, khả năng trượt lở ở vùng thềm lục địa Việt Nam theo các tài liệu địa chấn thăm dò dầu khí, chúng tôi vạch ra các vùng nguồn sóng thần tiềm ẩn trong vùng Biển Đông.

Các đới đứt gãy có khả năng phát sinh động đất sóng thần (ĐSTT) (*hình 1*), còn gọi vùng nguồn



Hình 1. Các vùng nguồn dùng xây dựng kịch bản ĐĐST.
Chú thích: (BBĐ - vùng nguồn Bắc Biển Đông; TBĐ - vùng nguồn Tây Biển Đông; MNL - vùng nguồn Manila; PLW - vùng nguồn Parawan; SL - vùng nguồn Sulu; CLB - vùng nguồn Celebes)

ĐĐST, tập trung chủ yếu ở hai ranh giới thạch quyển chính, đó là các đới giáp nối các mảng thạch quyển lớn kiểu hút chìm và các đới đứt gãy kiến tạo kiểu chờm nghịch hoặc thuận tách. Các đới sụt lở ven bờ các vực biển có quy mô lớn cũng có thể gây nên sóng thần. Nguy cơ sóng thần đối với vùng bờ biển Việt Nam xuất phát từ một số vùng nguồn trong Biển Đông. Theo đánh giá của các nước có chung bờ Biển Đông như Thái Lan, Malaysia, Phillippin và các nghiên cứu trước [11] thì vùng nguồn sóng thần lớn nhất trong vùng Biển Đông là các đới hút chìm ở vùng biển phía tây Phillippin như: đới hút chìm Manila; đới hút chìm biển Sulu gồm hai đoạn với chiều dài 368km và 642km; đới hút chìm Celebes; đới hút chìm Makasart; các đới hút chìm biển Banda Bắc và Nam; đới đứt gãy thềm lục địa Bắc Biển Đông; đới đứt gãy Tây Biển Đông hay đứt gãy kinh tuyến 109°'; đới đứt gãy bắc Borneo; đới đứt gãy biển Jawa.

3. Tham số đặc trưng của các vùng nguồn

Đặc trưng của từng vùng nguồn có khả năng gây ĐĐST được đánh giá qua các tham số vùng nguồn như: vị trí, góc phương vị, magnitude cực đại, ... được xác định như sau:

- Vị trí, góc phương vị của các vùng xác định theo bản đồ, theo các tài liệu đã công bố;

- Hướng cắm, góc đổ xác định theo mặt cắt phân bố chấn tiêu theo độ sâu;

- Động đất cực đại Mmax xác định theo các phương pháp thống kê Gumbel, ngoại suy địa chất và quy mô đứt gãy;

- Dịch chuyển theo đứt gãy và các thông số động lực khác xác định theo các công thức Wells và Coppersmith [4] và các công thức Abe [1];

- Tần suất động đất đánh giá theo quan hệ magnitude tần suất, vận tốc dịch chuyển của đứt gãy.

Bảng 1 là thông số đặc trưng của các vùng nguồn có khả năng gây sóng thần vùng Biển Đông. Tham số của các kịch bản ĐĐST được xây dựng dựa trên số liệu bảng 1 và mối tương quan giữa magnitude động đất, moment động đất với các giá trị diện tích đứt gãy, chiều dài đứt gãy, và khoảng dịch trượt nguồn trung bình.

Bảng 1. **Đặc trưng các vùng nguồn có khả năng gây sóng thần**

TT	Tên vùng nguồn	Đặc trưng kiến tạo	độ dài, km	Mmax	B	V (M_0=5,5)
1	Máng sâu Malina	Đới hút chìm			0,88	0,95
	- Đoạn 1		1153	8,2		
	- Đoạn 2		292	7,3		
2	Bắc Biển Đông	Đứt gãy trượt bằng - thuận	1087		0,80	0,12
	- Bồn trũng Châu Giang.			7,2	0,80	0,06
	- Nam Hải Nam-nam			7,0	0,80	0,06
3	Tây Biển Đông	Đứt gãy trượt bằng- thuận			0,90	0,0103
	- Đoạn 1: nam Hải Nam-Tuy Hoà		548	6,1		
	- Đoạn 2: từ Tuy Hoà về phía nam		811	6,6		
4	Palawan	Đứt gãy nghịch			0,86	
	- Đoạn 1		158	6,9		
	- Đoạn 2		533	7,7		
5	Biển Sulu	Đới hút chìm			0,86	0,42
	- Đoạn 1		368	7,5		
	- Đoạn 2		642	7,8		
6	Biển Celebes	Đới hút chìm			0,86	
	- Đoạn 1(bắc Sel. Sea)		346	7,4		0,42
	- Đoạn 2 (nam Sel. Sea)		648	7,8		0,75
7	Biển Banda bắc	Đới hút chìm	632	7,8	0,86	
8	Biển Banda nam	Đới hút chìm	304	7,2	0,86	
9	Makasart	Đới hút chìm			0,86	0,33
	- Đoạn 1		167	7,0		
	- Đoạn 2		326	7,4		
10	Biển Jawa (nam Borneo)	Đứt gãy nghịch			0,86	0,57
	- Đoạn 1		592	7,8		
	- Đoạn 2		200	7,1		

4. Xây dựng các kịch bản ĐĐST vùng Biển Đông

Hình 1 là các vùng nguồn phát sinh ĐĐST trong khu vực Biển Đông. Mỗi vùng nguồn gắn liền với một đứt gãy hoặc một hệ đứt gãy sinh chấn. Để tiện cho việc phân biệt các vùng nguồn với nhau, chúng tôi đặt tên cho vùng là tên đứt gãy mà nó liên quan tới. Các kịch bản động đất sóng thần được xây dựng cho từng vùng nguồn riêng biệt và theo quan điểm kịch bản gây sóng thần có thể là một trận động đất mạnh hoặc tổ hợp của nhiều (hai hoặc hơn) trận động đất xảy ra ở các vị trí lân cận xác định khác nhau. Tham số dùng tính lan truyền sóng thần như: vị trí xảy ra động đất, góc phương vị, góc dốc, góc trượt, chiều dài đứt gãy được xác định trên bản đồ. Magnitude cực đại được xác định theo các công thức thực nghiệm liên quan tới kích thước đứt gãy. Giá trị dịch chuyển được tính bằng chương trình Coulomb3.1. Chương trình được viết dựa trên các nghiên cứu của Okada [6]. Sự dịch chuyển đáy biển theo phương thẳng đứng tại thời điểm xảy ra động đất được tính theo mô hình đứt gãy dưới dạng hình chữ nhật và được miêu tả bởi 6 tham số: chiều dài L, bề rộng W, độ sâu tới đỉnh đứt gãy h_{top}, góc dốc của mặt phẳng đứt gãy so với mặt đất, đường phương (hướng) đứt gãy, góc trượt. Thành phần dịch chuyển thẳng đứng sau khi tính toán là cơ sở để tính sự lan truyền sóng thần.

Trên bản đồ các vùng nguồn ở hình 1 chúng tôi xác định có 5 nguồn có khả năng gây sóng thần: vùng nguồn Bắc Biển Đông (đứt gãy Nam Hải Nam) và vùng nguồn Tây Biển Đông (đứt gãy 109°) và 3 đới hút chìm Manila, Celerbes và Sulu.

- Kịch bản ĐĐST vùng nguồn Bắc Biển Đông (BBD)

Đới đứt gãy thềm lục địa Bắc Biển Đông bao gồm chủ yếu các đứt gãy trượt bằng thuận có độ dài từ vài trăm đến 1000km. Trên hình 1 chúng tôi chia đứt gãy này thành 3 phân đoạn có các ký hiệu BBD1, BBD2 và BBD3. Các tham số của 3 trận động đất kịch bản được liệt kê trên *bảng 2*; ngoài ra chúng tôi tính thêm kịch bản là tổ hợp của 3 mô hình trên.

Bảng 2. Các kịch bản động đất gây sóng thần vùng Biển Đông

TT	Mô hình	Tọa độ		H	L	W	Đường phương	Góc dốc	Góc trượt	Mw
		Vùng nguồn Bắc Biển Đông - Đứt gãy trượt bằng								
1	BBD1	109,473	16,69	20	92,79	20	57,48	90	45	7,5
2	BBD2	110,12	17,22	20	93,07	20	44,69	90	45	7,5
3	BBD3	110,73	17,80	20	93,06	20	48,32	90	45	7,5
4	BBD1+2+3									
		Vùng nguồn Tây Biển Đông (TBĐ - 109) - Đứt gãy trượt bằng								
5	TBD1	109,361	15,48	20	120,0	20,30	160,41	80	160	7,7
6	TBD2	109,664	14,49	20	130,0	20,30	165,85	80	160	7,7
7	TBD3	109,827	13,50	20	110,0	20,30	175,30	80	160	7,7
8	TBD4	109,822	12,49	20	110,0	20,30	185,19	80	160	7,7
9	TBD5	109,705	11,48	20	110,0	20,30	188,02	80	160	7,7
10	TBD6	109,524	10,49	20	120,0	20,30	192,71	80	160	7,7
11	TBD7	109,361	9,496	20	120,0	20,30	185,90	80	160	7,7
12	TBD8	109,250	8,490	20	110,0	20,30	186,69	80	160	7,7
13	TBD9	109,185	7,507	20	110,0	20,30	180,69	80	160	7,7
		Vùng nguồn Manila - Đới hút chìm								
15	MNL1	120,00	20,8	40	201,3	154,55	334,46	15	90	8,5
16	MNL2	119,79	19,1	40	243,9	154,55	33,29	15	90	8,6
17	MNL3	119,18	17,1	40	234	116,95	359,81	20	90	8,5
18	MNL4	119,18	15,0	40	223,5	80,002	360,02	30	90	8,3
19	MNL5	120,01	13,3	40	242,3	94,650	311,69	25	90	8,4
20	MNL3+4									
21	MNL1+2+3+4+5									
		Celebes								
22	CLB1	123,598	6,559	25	100,1	66,74	10	22	90	7,9
23	CLB2	123,948	5,688	25	133,8	66,74	315	22	90	8,0
24	CLB3	124,788	5,022	25	109,6	66,74	300	22	90	7,9
25	CLB4	120,360	2,101	25	314,6	66,74	87	22	90	8,3
26	CLB5	123,010	2,020	25	281,1	66,74	105	22	90	8,3
27	CLB4+5	123,010	2,020	25	281,1	66,74	105	22	90	8,3
28	CLB1+2+3	123,010	2,020	25	281,1	66,74	105	22	90	8,3
		Sulu								
29	Sulu1	120,173	11,53	35	284,7	82,82	36	25	90	8,4
30	Sulu2	122,149	10,73	35	273,5	82,82	20	25	90	8,4
31	Sulu3	121,703	8,370	35	251,6	82,82	30	25	90	8,3
32	Sulu4	120,314	6,626	35	258	82,82	65	25	90	8,4
33	Sulu2+3	120,173	11,53	12	151	45	330	25	90	
34	Sulu3+4	120,173	11,53	12	151	45	330	25	90	
35	Sulu2+3+4	120,173	11,53	12	151	45	330	25	90	

- Kịch bản ĐĐST đới Tây Biển Đông (TBD)

Đới đứt gãy Tây Biển Đông 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 khoảng 550km tính đến đới trượt Tuy Hoà. Tuy nhiên, các biểu hiện đứt gãy gây động đất theo phương đứt gãy này còn tiếp tục ở phía nam, có thể đạt chiều dài tới 700km. Các tài liệu địa chất cho thấy trong giai đoạn hiện nay đứt gãy hoạt động yếu và không thể gây ra các trận động đất mạnh. Dựa trên sự đổi hướng và độ dài đứt gãy chúng tôi chia đứt gãy ra làm 9 phân đoạn

ứng với 9 kịch bản. Các tham số kịch bản trong đới được trình bày trên bảng 2 từ số 5 tới số 13.

- Kịch bản ĐĐST đới hút chìm Manila

Đới Manila với tổng chiều dài từ bắc xuống nam trên 1150km, được đánh giá là đới có nguy cơ gây ĐĐST lớn nhất trên Biển Đông, ảnh hưởng đến Việt Nam. Đới hút chìm này được nhiều nhà khoa học quan tâm và nghiên cứu [3, 5, 8, 10]. Đới hút chìm Manila có tốc độ tương đối là 98mm/năm ở phía bắc và khoảng 52mm/năm ở đoạn phía nam (theo tài liệu GPS toàn cầu). Hoạt động động đất ở khu vực này diễn ra hết sức phức tạp. Phần lớn động đất xảy ra ở lớp vỏ với độ sâu nhỏ hơn 65km [2]. Việc phân đoạn đứt gãy Manila trong nghiên cứu này được chúng tôi dựa trên biểu hiện sự khác biệt rõ rệt về đường phương khi chuyển từ đoạn này sang đoạn khác. Đới được chia làm 5 phân đoạn chính. Magnitude động đất cực đại của mỗi phân đoạn được tính theo Abe [1]. Theo số liệu của ANSS (Advanced National Seismic System - Hệ thống địa chấn quốc gia tiên tiến của Mỹ) từ năm 1970 tới nay, trên đới này có khoảng gần 300 trận động đất với magnitude M ≥ 5,0. Đồ thị lặp lại động đất được dựng cho riêng đới đứt gãy theo phương pháp cực đại hợp lý có dạng:

$$\lg N^*(M) = 4{,}95 - 0{,}859M \qquad (27)$$

Các tham số kịch bản trong đới được trình bày trên bảng 2 từ số 15 tới số 21.

- Kịch bản ĐĐST đới hút chìm Celebes

Đới chia thành hai đoạn với chiều dài 346km và 648km. Dựa trên sự đổi hướng và độ dài đứt gãy chúng tôi chia đứt gãy ra làm 5 phân đoạn ứng với 5 kịch bản. Các tham số kịch bản trong đới được trình bày trên bảng 2 từ số 22 tới số 28.

- Kịch bản ĐĐST đới hút chìm Sulu

Gồm hai đoạn với chiều dài 368km và 642km. Được chia làm 4 kịch bản động đất và 3 kịch bản tổ hợp từ số 29 tới 35 trên bảng 2.

5. Đánh giá nguy cơ sóng thần ảnh hưởng tới vùng bờ biển Việt Nam

Để đánh giá nguy cơ sóng thần tới vùng bờ biển Việt Nam chúng tôi tiến hành tính lan truyền sóng thần theo các kịch bản đã đưa trên bảng 2. Hai kết quả được chúng tôi dùng phân tích là độ cao sóng và thời gian sóng đạt tới bờ của từng kịch bản. Ngoài ra chúng tôi cũng đo độ cao sóng cực đại và khảo sát sự lan truyền sóng ở một số vị trí lân cận các tỉnh, thành phố lớn nằm gần bờ biển như Hải Phòng, Thanh Hóa, Đà Nẵng, Nha Trang,…

Chương trình MOST (Method Of Splitting Tsunami model) [9] được dùng tính lan truyền sóng thần vùng biển Việt Nam. Số liệu độ sâu đáy biển được lấy từ nguồn số liệu của Trung tâm dữ liệu biển Anh Quốc (BODC - British Oceanographic Data Centre) với độ phân giải 1’ × 1’. Độ sâu trung bình khu vực trũng Biển Đông khoảng 4-5km, xung quanh đới hút chìm Manila khoảng 4,8-4,9km có nơi sâu nhất lên đến 5,4km.

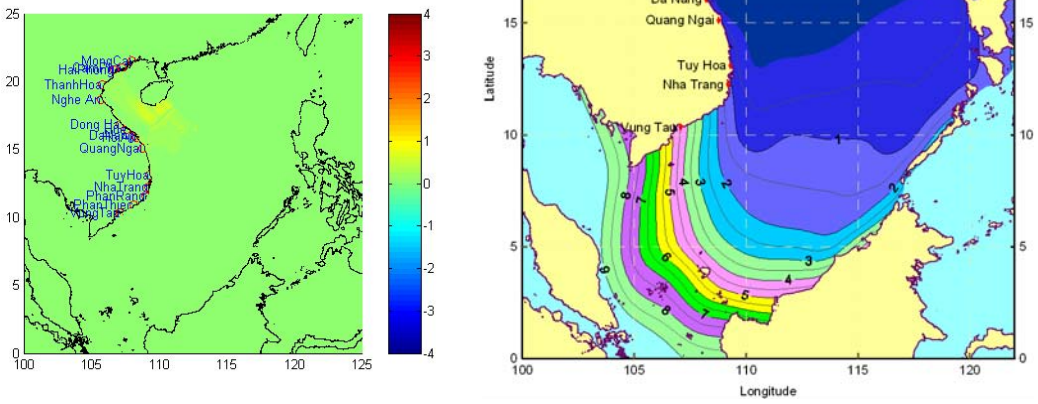
- Kết quả tính lan truyền sóng thần từ đới Bắc Biển Đông (BBĐ)

Các kịch bản 1-3 (bảng 2) là các mô hình (BBĐ1, BBĐ2, BBĐ3) ĐĐST tiềm ẩn trên đới. Magnitude của các kịch bản này được chúng tôi lấy chung là 7,5 theo đánh giá magnitude cực đại của đới như đã ghi trên bảng 1. Xem xét cả 3 kịch bản cho thấy độ cao sóng thần vùng Biển Đông là rất thấp, nhỏ hơn 1m. Kịch bản 4 được xây dựng như trận động đất mạnh là tổ hợp của 3 trận động đất nhỏ hơn BBD1, BBD2 và BBD3. Sóng thần đạt giá trị cao hơn ở kịch bản 4 và vùng đảo Hoàng Sa là cao nhất nhưng chưa tới 1m. Có thể kết luận rằng với động đất có M = 7,5 xảy ra trên đứt gãy Bắc Biển Đông rất ít có các ảnh hưởng sóng thần tới bờ biển Việt Nam (*hình 2*). Chúng tôi cũng đã thay đổi 3 kịch bản này về chiều dài đứt gãy ứng với động đất M = 8,2. Tính toán tương tự cho thấy độ cao sóng thần đã có nhiều thay đổi ở vùng Biển Đông. Cụ thể, với kịch bản là tổng của 3 mô hình cho độ cao sóng lớn hơn 1m ở vùng biển miền Trung, từ Nghệ An vào đến Phan Rang. Đặc biệt tại Quảng Ngãi độ cao sóng đo được lớn hơn 2,5m.

- Kết quả tính lan truyền sóng thần từ đới Tây Biển Đông (TBĐ)

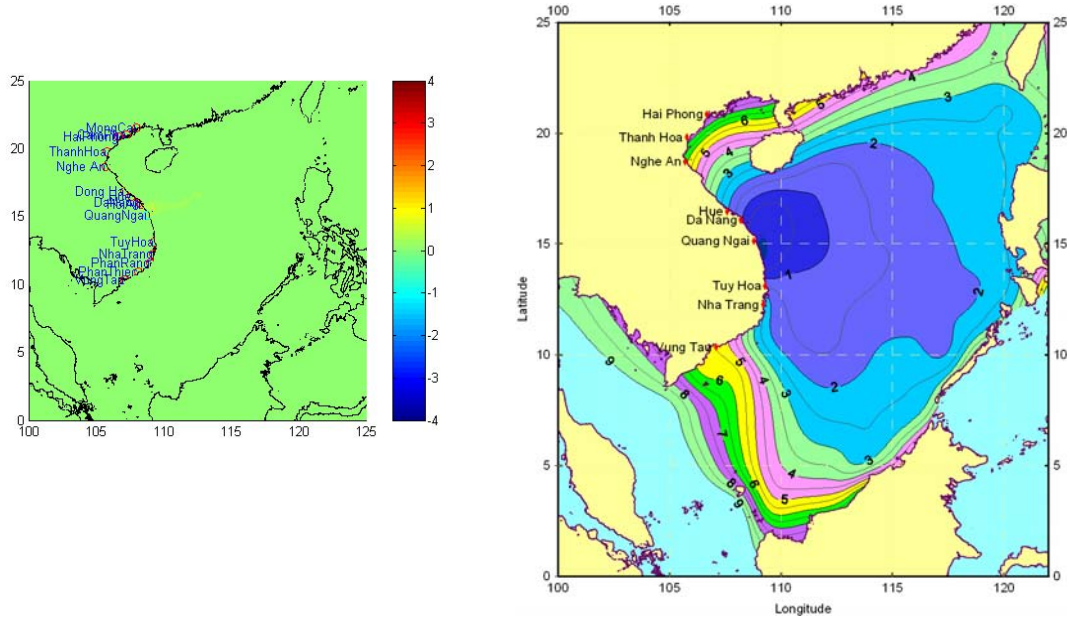
Theo bảng 2 kịch bản động đất đới Tây Biển Đông, hay còn gọi đứt gãy 109° là các kịch bản từ 5 tới 13. Đây là đứt gãy trượt bằng có magnitude cực đại ở cả 2 phân đoạn theo bảng 1 đều nhỏ hơn 7,0. Theo quan điểm của các nhà khoa học đứt gãy trượt bằng có magnitude cực đại thấp rất ít có khả năng gây sóng thần, nên trong đới này chúng tôi

cũng tiến hành tính với giả thiết magnitude của các kịch bản là 7,7. Có 9 mô hình được xây dựng dọc theo đới đứt gãy. Kết quả cho thấy độ cao sóng thần ở vùng Biển Đông là rất thấp, nhỏ hơn 1m (*hình 3*). Khu vực Quảng Ngãi là vùng có độ cao sóng thần lớn nhất. Có thể thấy các động đất xảy ra trên đới đứt gãy 109° khó có thể gây sóng thần tới vùng bờ biển Việt Nam.



a) Độ cao sóng thần theo kịch bản 4 b) Thời gian lan truyền sóng thần theo kịch bản 4

Hình 2. Kết quả lan truyền sóng thần đới đứt gãy Bắc Biển Đông



a) Độ cao sóng thần theo kịch bản 5 b) Thời gian lan truyền sóng thần theo kịch bản 5

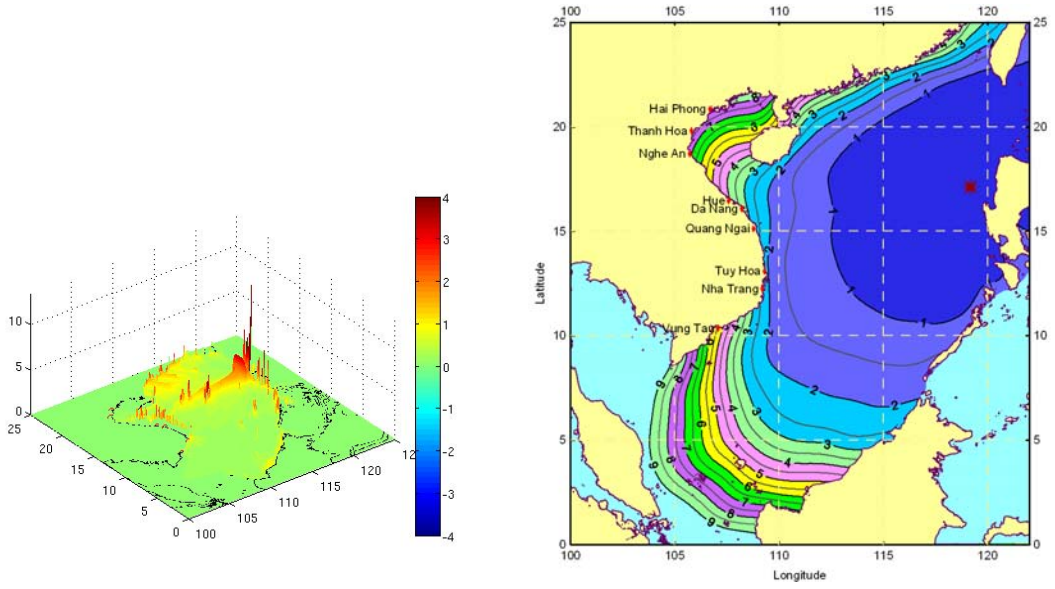
Hình 3. Kết quả lan truyền sóng thần đới đứt gãy Tây Biển Đông

- Kết quả tính lan truyền sóng thần từ đới hút chìm Manila

Đới hút chìm Manila được chia làm 5 kịch bản chính từ số 15 tới 19 với magnitude động đất trong khoảng từ 8,3 đến 8,6. Theo quan điểm của các nhà địa chấn học Philliphin, động đất với magnitude cỡ 8,2 là hoàn toàn có thể xảy ra trên đới Manila. Các kịch bản 20 và 21 là hai mô hình tổ hợp của mô hình MNL3 với MNL4; và tổ hợp của năm mô hình. Với mô hình 15, độ cao sóng cực đại tại vùng bờ biển Trung Quốc là lớn nhất, xấp xỉ 10m. Tuy nhiên, ở vùng biển Việt Nam biểu hiện ảnh hưởng sóng thần yếu hơn nhiều. Phần miền Bắc độ cao sóng có cao hơn so với các kịch bản từ đứt gãy Bắc Biển Đông và Tây Biển Đông nhưng cũng không đáng kể, vẫn ở mức dưới 1m. Vùng biển miền Trung, từ Đông Hà, Huế tới Nha Trang, Phan Rang,… là khu vực sóng thần có độ cao trên 2m và cũng là vùng độ cao sóng thần đạt giá trị cực đại. Giống như miền Bắc, khu vực bờ biển phía Nam sóng thần rất yếu. Thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ nguồn tới bờ biển miền Trung là hơn 2 giờ.

Kết quả lan truyền sóng thần từ kịch bản 16 do trận động đất có magnitude 8,6 gây ra. Giống như trường hợp mô hình MNL1, độ cao sóng cực đại của mô hình này tại vùng bờ biển Trung Quốc là lớn nhất, cao hơn 10m. Phần biển miền Trung Việt Nam có chỗ đã cao hơn 3,5m (gần Đông Hà). Đặc biệt ở khu vực nam đảo Hải Nam sóng thần lên tới 5-6m. Vùng biển miền Nam có chỗ sóng thần cao hơn 2m. Thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ nguồn tới bờ biển miền Trung giống như mô hình MNL1, hơn 2 giờ.

Hai kịch bản 17 và 18 là hai mô hình nguồn có đường phương gần giống nhau và gần với phương kinh tuyến và được cho là vị trí có khả năng tạo sóng thần nguy hiểm cho bờ biển Việt Nam. So sánh độ cao sóng thần ở cả 2 mô hình này thấy các vị trí gần Đông Hà, Huế, Hội An và Quảng Ngãi có độ cao sóng thần lớn nhất, nhiều chỗ cao tới 5m như ở Hội An, Huế,... đặc biệt ở vùng Quảng Ngãi cao tới hơn 6m (*hình 4*). Thời gian lan truyền sóng thần từ nguồn tới khu vực này là 2 giờ.



a) Độ cao sóng thần theo kịch bản 17

b)Thời gian lan truyền sóng thần theo kịch bản 17

Hình 4. Kết quả lan truyền sóng thần đới hút chìm Manila

Kịch bản 19 là mô hình động đất MNL5 có magnitude M = 8,4. Tuy magnitude của mô hình lớn hơn mô hình MNL4 nhưng độ cao sóng thần thấp hơn, vùng cực đại là khu vực Đông Hà và Hội An chỉ đạt tới 2,5m. Thời gian lan truyền sóng thần từ nguồn tới bờ biển Việt Nam là hơn 2 giờ.

Hai kịch bản sau 20 và 21 là hai trường hợp tổ

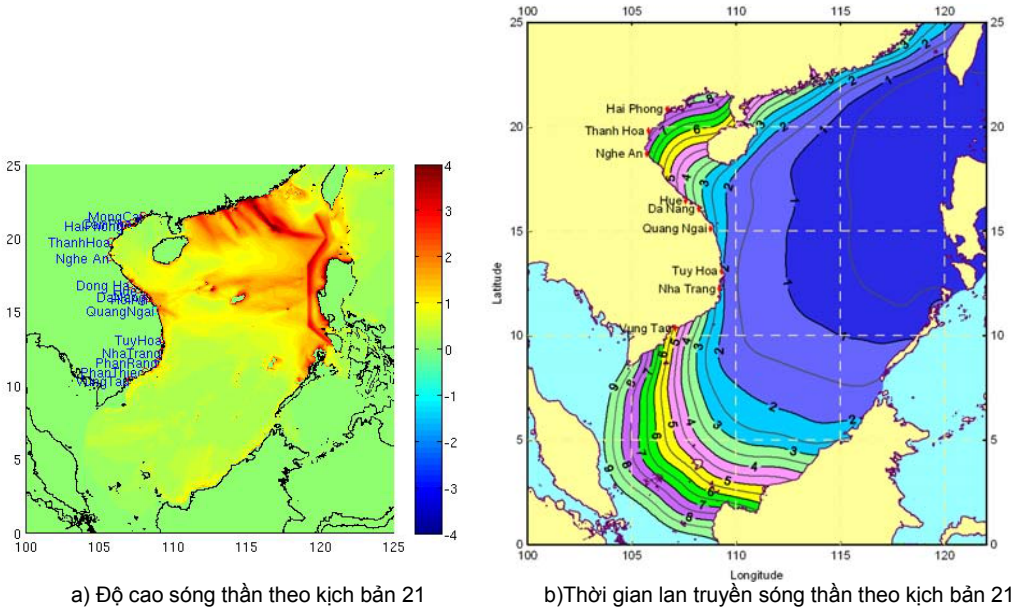
hợp của 2 và 5 mô hình. Đây là hai mô hình mang tính chất mô phỏng, ít có khả năng xảy ra, đặc biệt là kịch bản 21. Sóng thần trong cả hai trường hợp này rất cao có chỗ cao tới 7m và 11m. Thời gian lan truyền sóng thần là 2 giờ (*hình 5*).

- Kết quả tính lan truyền sóng thần từ đới hút chìm Celebes

Khi phân tích xây dựng mô hình sóng thần chúng tôi đã chia đới này ra làm 5 kịch bản. Tính toán các kịch bản tổ hợp (25 và 26) cho thấy sóng trong khu vực này ít có khả năng lan truyền trong khu vực Biển Đông. Độ cao sóng cực đại tới bờ biển Việt Nam không đạt tới 10cm. Như vậy có thể kết luận động đất xảy ra trong đới đứt gãy này không có khả năng gây sóng thần vùng bờ biển Việt Nam.

- Kết quả tính lan truyền sóng thần từ đới hút chìm Sulu

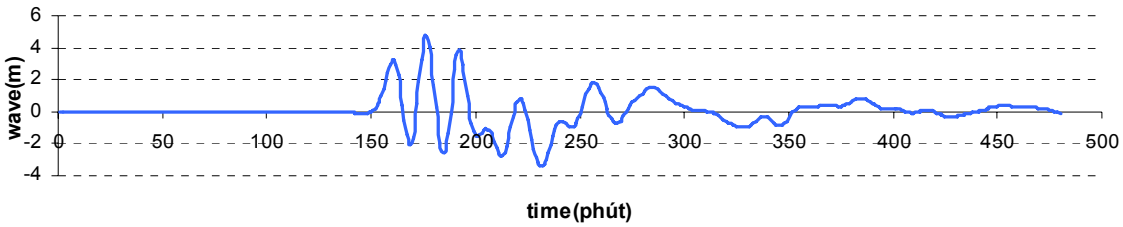
Để đánh giá khả năng lan truyền sóng thần của đới hút chìm SuLu chúng tôi đã tính lan truyền sóng thần từ 4 nguồn động đất kịch bản và 3 kịch bản tổ hợp (kịch bản 29 tới 35). Kết quả cho thấy trong tất cả các kịch bản độ cao sóng thần tới bờ biển Việt Nam là rất thấp, nhỏ hơn 1m. Có thể kết luận rằng động đất trên đới này cũng ít có khả năng gây sóng thần tới bờ biển Việt Nam.



a) Độ cao sóng thần theo kịch bản 21 b)Thời gian lan truyền sóng thần theo kịch bản 21

Hình 5. Kết quả lan truyền sóng thần đới hút chìm Manila

Bảng 3 dưới đây là độ cao sóng thần ở một số vị trí gần các thành phố ven biển. *Hình 6* là dao động của sóng thần ở một số vị trí quan sát của các mô hình khác nhau.



Hình 6. Độ cao sóng thần tại Quảng Ngãi Kịch bản 20

Bảng 3. Độ cao sóng thần tính được tại một số vị trí của các tỉnh, thành phố lớn trên bờ biển Việt Nam

STT	Mô hình	Móng Cái	Cẩm Phả	Hải Phong	Thanh Hóa	Nghệ An	Đông Hà	Huế	Đà Nẵng	Hội An	Quảng Ngãi	Tuy Hòa	Nha Trang	Phan Rang	Phan Thiết	Vũng Tàu
							Bắc Biển Đông									
1	BBD1	0,16	0,23	0,68	0,51	0,33	0,67	0,43	0,59	0,88	0,49	0,22	0,12	0,12	0,10	0,07
2	BBD2	0,08	0,09	0,29	0,15	0,14	0,24	0,31	0,24	0,28	0,19	0,30	0,22	0,11	0,10	0,10
3	BBD3	0,01	0,02	0,06	0,11	0,12	0,15	0,20	0,16	0,21	0,23	0,15	0,12	0,07	0,06	0,05
4	BBD1+2+3	0,24	0,29	0,92	0,62	0,40	0,65	0,64	0,60	0,76	0,58	0,45	0,32	0,25	0,16	0,16
							Tây Biển Đông									
5	TBD1	0,07	0,10	0,22	0,17	0,19	0,65	0,46	0,58	1,21	0,77	0,32	0,17	0,14	0,15	0,09
6	TBD2	0,06	0,07	0,20	0,15	0,13	0,69	0,85	0,56	1,03	1,03	0,41	0,18	0,16	0,24	0,12
7	TBD3	0,03	0,05	0,16	0,11	0,08	0,30	0,37	0,47	0,82	0,49	0,81	0,31	0,31	0,28	0,16
8	TBD4	0,02	0,02	0,06	0,04	0,04	0,17	0,17	0,15	0,63	0,30	0,83	0,58	0,48	0,41	0,25
9	TBD5	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,10	0,14	0,12	0,24	0,23	0,21	0,67	1,48	0,49	0,52
10	TBD6	0,01	0,02	0,05	0,04	0,03	0,13	0,16	0,16	0,25	0,18	0,15	0,38	0,62	0,62	0,35
11	TBD7	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,06	0,13	0,13	0,14	0,15	0,20	0,31	0,55	0,46	0,67
12	TBD8	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,07	0,06	0,09	0,08	0,08	0,14	0,33	0,31	0,35
13	TBD9	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,08	0,15	0,15	0,20	0,12	0,13	0,21	0,47	0,21	0,21
							Manila									
14	MNL1	0,10	0,19	0,33	0,39	0,39	1,47	1,40	1,08	2,03	2,40	1,10	0,98	0,99	0,88	0,62
15	MNL2	0,23	0,28	0,44	0,53	0,88	3,54	1,84	1,83	5,74	2,41	1,24	1,61	1,30	0,88	0,62
16	MNL3	0,22	0,28	0,49	0,55	0,91	4,64	4,81	2,99	4,98	3,44	2,78	2,67	2,39	1,29	0,74
17	MNL4	0,16	0,25	0,42	0,68	0,72	2,94	1,71	2,06	3,20	6,17	2,52	2,14	1,62	2,58	1,76
18	MNL5	0,18	0,29	0,44	0,49	0,75	2,30	1,39	1,06	2,58	1,88	1,45	1,33	1,32	1,34	0,66
19	M_0304	0,34	0,51	0,79	1,02	1,42	6,93	5,56	5,03	7,10	5,99	3,55	2,69	2,67	3,65	1,97
20	MNL1+2+	0,77	1,10	1,61	1,70	2,73	7,05	6,75	7,15	10,61	9,59	4,96	4,60	3,74	4,56	2,82

							Celebes									
21	CLB2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	CLB3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	CLB4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
24	CLB5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
25	CLB4+5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
27	CLB1+2+3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							Sulu									
28	Sulu1	0,00	0,11	0,15	0,18	0,20	1,22	0,69	0,37	1,85	0,49	0,45	0,37	0,42	0,43	0,39
29	Sulu2	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,09	0,15	0,08	0,33	0,18	0,13	0,11	0,11	0,06	0,04
30	Sulu3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,27	0,16	0,62	0,13	0,19	0,18	0,10	0,10	0,06
31	Sulu4	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,22	0,14	0,61	0,21	0,20	0,20	0,31	0,20	0,09
32	Sulu2+3	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,20	0,28	0,19	0,59	0,22	0,29	0,24	0,19	0,11	0,06
33	Sulu3+4	0,00	0,00	0,01	0,01	0,08	0,11	0,22	0,16	0,49	0,25	0,15	0,19	0,33	0,26	0,12
34	Sulu2+3+	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,17	0,24	0,15	0,32	0,27	0,25	0,16	0,33	0,23	0,11

Ghi chú: (Giá trị trên bảng là kết quả độ cao sóng ở vị trí 10m độ sâu đã được nhân với hệ số 2)

6. Kết luận

Kết quả lan truyền sóng theo các kịch bản của các vùng nguồn cho phép chúng tôi đưa ra một số kết luận sau:

- Vùng nguồn động đất gây sóng thần nguy hiểm nhất cho vùng ven biển Việt Nam là động đất xảy ra tại đới hút chìm Manila. Thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ đới này tới bờ biển Việt Nam là 2 giờ.

- Các vùng nguồn động đất sóng thần khác như Bắc Biển Đông, Tây Biển Đông, Celebes, ... là ít có khả năng gây sóng thần có tác động nghiêm trọng lên bờ biển Việt Nam.

- Vùng biển miền Trung từ Đông Hà tới Phan Rang là khu vực chịu ảnh hưởng sóng thần lớn nhất trên vùng lãnh thổ Việt Nam. Khu vực biển miền Bắc và miền Nam ít có khả năng bị ảnh hưởng của sóng thần.

- Cần tiếp tục nghiên cứu bổ sung để có thể nâng cao mức độ chính xác trong vấn đề xác định và đánh giá các tham số vùng nguồn có khả năng gây sóng thần ảnh hưởng tới bờ biển Việt Nam.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin gửi lời cám ơn các chuyên gia của Viện Địa chất và Hạt nhân New Zealand đã giúp đỡ trong công tác nghiên cứu sóng thần ở Việt Nam.

TÀI LIỆU DẪN

[1] *Abe K.*, 1975: Reliable estimation of the seismic moment of large earthquakes; J. Phys. Earth, 23, *381-390*.

[2] *Bartolome C. Bautista, Maria Leonila P. Bautista, Kazuo Oike, Trancis T. Wu, Raymundo S. Punongbayan*, 2001: A new insight on the geometry of subducting slabs in northern Luzon, Philippines. Tectonophysics 339, *279-310*.

[3] *Bautista P. Leonila Ma.*, 2001: Historical Tsunami of the Philippine (1589 to 1999) PHIVOLCS. Oct.4.

[4] *Donald L. Wells* and *Kevin J. Coppersmith*, 1994: "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and surface Displacement", *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84(4), *pp. 974-1002*.

[5] *Kirby S., Geist E., William H. K. Lee, Scholl D.*, and *Blakely R.*, 2006: Tsunami source characterization for western pacific subduction zones: A preliminary report. In *USGS Tsunami Sources Workshop 2006*. Houston,TX.

[6] *Okada, Y.*, 1992: Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bull. Seism. Soc. Am., 82, *1018-1040*.

[7] *Phùng Văn Phách, Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Ngọc Thuỷ, Bùi Công Quế, Cao Đình Triều, Đinh Văn Toàn, Phạm Năng Vũ*, 2006: Bản đồ kiến tạo khu vực Đông Nam Á, tỷ lệ 1:5.000 000. Viện Địa chất và địa vật lý biển. Hà Nội.

[8] *Philip Liu, Xiaoming Wang*, *Andrew John Salisbury* 2007: Tsunami Hazard and forecast study in South China Sea. School of Civil & Environmental Engineering, Cornell University Ithaca, NY 14853 USA.

[9] *Titov V.V.* and *Gonzalez F. I.*, 1997: Implementation and testing of the method of splitting tsunami (MOST) model. NOAA technical memorandum ERR PMER-112, Pacific Marine Environmental Laboratoty.

[10] *Trần Thị Mỹ Thành,* 2009: Quy trình công nghệ đánh giá độ nguy hiểm sóng thần và cảnh báo nguy cơ sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam (phù hợp yêu cầu của hệ thống cảnh báo khu vực). Báo cáo đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Lưu Viện Vật lý Địa cầu.

[11] *Nguyễn Đình Xuyên,* 2006: Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng biển Việt Nam và đề xuất các giải pháp cảnh báo, phòng tránh. Báo cáo đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Lưu Viện Vật lý Địa cầu.

[12] *Yingchun Liu, Angela Santos, Shuo M. Wang, Yaolin Shi, Hailing Liu, David A. Yuen*. 2007: Tsunami Hazard along Chinese coast from potential earthquakes in South China Sea. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 163, *233-244*.

SUMMARY

Evaluation of the Tsunami hazards along the coast of Vietnam

In this paper, based on current seismic and geological information and data, we have reviewed and rechecked the accuracy of the hidden Tsunami sources in the South China Seas that have been used in previous studies. We built various scenarios associated with each source and used MOST - a program commonly used by USGS and the rest of the world to study tsunamis - to evaluate the tsunami hazards along the coast of Vietnam and offshore islands. The tsunami wave propagation time, and wave heights at shore for each scenario have been calculated. The findings presented in this paper will provide a more accurate and detailed evaluation of the tsunami hazards along the coast of Vietnam and offshore islands.