

KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI VÀ CÁC TAI BIẾN ĐỊA CHẤT LIÊN QUAN Ở VÙNG BIỂN VIỆT NAM VÀ LÂN CẬN

PHAN TRỌNG TRINH, NGUYỄN VĂN HƯỚNG, NGÔ VĂN LIÊM,
TRẦN ĐÌNH TÔ, VY QUỐC HẢI, HOÀNG QUANG VINH, BÙI VĂN THƠM,
NGUYỄN QUANG XUYỀN, NGUYỄN VIỆT THUẬN, BÙI THỊ THẢO

E - mail: phantrongt@yahoo.com

Viện Địa chất - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 15 - 6 - 2011

1. Mở đầu

Biển Đông được xem là biển rìa thuộc vành đai Tây Thái Bình Dương. Rìa đông Biển Đông khá phức tạp với hai đới hút chìm ngược hướng, trong đó đới hút chìm chạy dọc máng Manilla có hướng cắm về phía đông trong khi một đới hút chìm khác chạy dọc rìa đông Philippin có hướng cắm về phía tây. Về phía nam, mảng Ấn - Úc hiện đang cắm xuống mảng Âu - Á dọc theo đới hút chìm Sunda với vận tốc 6-7cm/năm. Phân bố chấn tiêu động đất chính và dư chấn theo mặt cắt cũng phản ánh hướng cắm của mảng Ấn - Úc chủ yếu xuống dưới mảng Âu - Á. Những trận động đất lớn nhất trên thế giới thường xảy ra tại ranh giới hội tụ của hai mảng, nơi có sự xiết ép mạnh mẽ. Trong 10 trận động đất lớn nhất trong thời gian gần đây, 9 trận động đất trước đều gắn liền với hoạt động xiết ép của đới hút chìm ở rìa Thái Bình Dương. Trận động đất tại Sumatra cũng không ngoại lệ và liên quan tới hoạt động xiết ép của đới hút chìm Sunda giữa mảng Ấn - Úc và mảng Âu - Á. Phần lớn vùng Đông Nam Á hiện nay gồm Việt Nam, Lào, Campuchia, Thái Lan, bán đảo Malaysia, Sumatra, Borneo, Java và hầu như toàn bộ Biển Đông được bao quanh bởi các đới hút chìm, gồm mảng Philippin, mảng Úc, mảng Ấn Độ được xếp vào khối Sunda (theo định nghĩa của Simons và nnk., 2007 [16]). Về phía bắc khối Sunda bị bao bởi phần đông nam của đới đụng độ Ấn Độ - Âu Á và nam Trung Hoa. Hầu hết các trận động đất đều phân bố trong đới hút chìm và đới đụng độ. Bên

trong khối Sunda chỉ có những trận động đất yếu và độ sâu chấn tiêu nông. Điều đó cho thấy khối Sunda tồn tại như một khối thạch quyển cứng, mặc dù nguồn gốc địa chất của nó không đồng nhất.

Trải qua ba thập kỷ, nhiều mô hình về biến dạng thạch quyển đã được đề xuất. Có thể chia ra hai luận điểm chính. Luận điểm thứ nhất cho rằng biến dạng thạch quyển tuân theo quy luật chảy nhớt trong môi trường liên tục [5]. Luận điểm thứ 2 là chuyển dịch của khối thạch quyển cứng dọc theo các đới đứt gãy hẹp [19]. Việc xác định chính xác chuyển dịch cho phép hiểu rõ hơn các mô hình này hoặc hiệu chỉnh các mô hình trên.

Trước đây, khối Sunda thường được xem là phần mở rộng của mảng Âu - Á. Tuy nhiên, những nghiên cứu địa chất và địa vật lý ở Indonesia cho thấy Đông Nam Á chuyển dịch khác hẳn mảng Âu - Á. Khẳng định những quan sát đó chỉ được kiểm chứng nhờ tiến bộ quan trọng trong trắc địa vũ trụ, kể từ năm 1990. Sử dụng độ chính xác cao của GPS cho phép xác định chính xác chuyển dịch của vỏ Trái Đất. Mạng đo địa động lực của Nam và Đông Nam Á (GEODYSSSEA) với gần 40 trạm phân bố trên toàn Đông Nam Á, khẳng định Sunda là một khối gắn kết, chuyển dịch so với mảng Âu - Á và tách biệt với nền Siberi qua một loạt các khối biến dạng và chuyển dịch [22]. Mặc dù tất cả các trạm đo GPS với xấp xỉ bậc nhất cho thấy Đông Nam Á chuyển dịch về phía đông cỡ 1cm/năm so với nền Siberi, vẫn có sự khác biệt đáng kể về phân định ranh giới của khối Sunda so với mảng Âu - Á

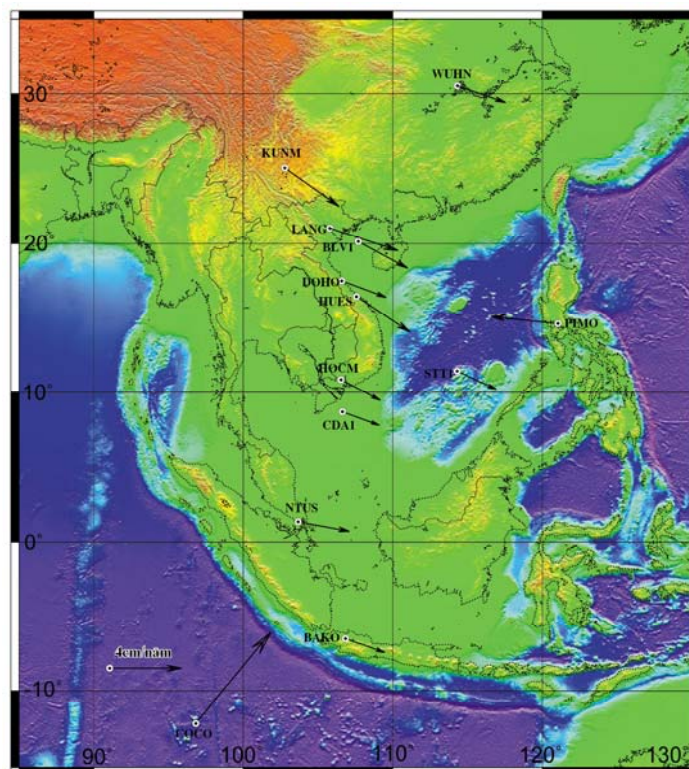
và khối nam Trung Hoa. Từ năm 1998, mạng đo GPS ở Đông Nam Á đã được mở rộng đáng kể cả đo theo các đợt đo và trạm ghi liên tục. Điều đó được thực hiện với sự tham gia của các cơ quan trắc địa các địa phương “Đông Nam Á: Nghiên cứu môi trường với công nghệ trắc địa vũ trụ” (SEAMERGES), hợp tác giữa Châu Âu, Indonesia, Nhật, Malaysia, Thái Lan. Kết quả nghiên cứu này giúp mở rộng thời gian đo trong một thập kỷ với gần 100 điểm đo. Tất cả các số đo đã được xử lý trên thành tựu mới nhất về công nghệ xử lý GPS để xác định được vận tốc chuyển dịch trên hệ thống tọa độ quốc tế ITRF2000. Kể từ 1994, các số đo GPS kéo dài trong 10 năm theo từng đợt đo. Vận tốc chuyển dịch của các trạm tạo thành đường tuyến tính minh chứng chuyển dịch ổn định. Điều này có thể kiểm chứng nhờ phân tích độ sai lệch so với đường tuyến tính. Hầu như chỉ quan sát thấy sai lệch nhỏ trên cả ba chiều. Phương sai lần lượt là 3, 5 và 11mm theo phương bắc-nam, đông-tây và thẳng đứng. Ở một số trạm, dạng tuyến tính không được trơn, đó là các vùng có chế độ địa chấn cao như Sulawesi và cung đảo Banda. Một số trạm có đường thẳng trơn, không có các sự kiện động đất, ở một số trạm chịu tác động của động đất. Trong

mạng, những điểm chịu tác động của động đất bị loại trừ và sự nhảy vị trí đã được xác định (với các trạm đo liên tục).

Trong bài viết này, chúng tôi trình bày kết quả mới đo GPS ba chu kỳ 2007-2008-2009 trên Biển Đông, đồng thời tổng hợp các kết quả nghiên cứu trước đây của các tác giả khác nhau về chuyển dịch kiến tạo hiện đại có tính tới kết quả mới nhất đo chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong khuôn khổ đề tài trọng điểm KC09.11/06-10 và KC09.11BS.06-10. Với mục đích chính làm sáng tỏ quá trình chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông, bài viết còn đánh giá mức độ biến dạng của đới đứt gãy Manila, đứt gãy bắc Borneo, đứt gãy rìa tây Biển Đông (kinh tuyến 110), là những đứt gãy có khả năng sinh chấn cao nhất trên Biển Đông.

2. Kết quả xác định tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông

Chúng tôi đã tiến hành đo ba đợt tại các trạm Láng, Bạch Long Vỹ, Song Tử Tây, Côn Đảo, Đồng Hới, Huế, Hồ Chí Minh trong ba năm 2007, 2008 và 2009 (hình 1). Tại mỗi đợt đo, chúng tôi



Hình 1. Sơ đồ vận tốc chuyển dịch tuyệt đối trong IGS05 của các trạm GPS trên Biển Đông, theo 4 đợt đo các năm 2007-2010

đã tiến hành đo liên tục 7 ca, mỗi ca 23 giờ 40 phút. Cơ sở dữ liệu được sử dụng trong tính toán này, ngoài dữ liệu của trạm GPS Láng (LANG) [11], Bạch Long Vĩ (BLV1), Song Tử Tây (STT1), Côn Đảo (CDA1), Huế (HUES), Đồng Hới (DOHO), Hồ Chí Minh (HOCM), chúng tôi sử dụng dữ liệu đo liên tục của 6 trạm IGS (COCO, NTUS, PIMO, BAKO, KUNM, WUHN) làm trạm tham chiếu. Các dữ liệu của IGS như lịch vệ tinh chính xác, mô hình tầng điện ly, các tệp hiệu chỉnh giữa P1-C1, P1-P2 đối với vệ tinh và máy thu, tọa độ cũng như vận tốc chuyển dịch của các trạm IGS trong hệ quy chiếu toàn cầu IGS05 đã được sử dụng trong tính toán. Khoảng cách gần nhất giữa hai trạm là 223km (Láng - Bạch Long Vĩ).

Sử dụng hệ tọa độ toàn cầu IGS05, với vận tốc đã biết của các trạm IGS: COCO, NTUS, PIMO, BAKO, KUNM và WUHN, chúng ta có thể tính được chuyển dịch tuyệt đối của các trạm đo. Các kết quả tính theo các phần mềm khác nhau và được

4 nhóm tính toán độc lập được thể hiện ở *bảng 1*. Với tính toán trên BERNESE 4.2, giả thiết các giá trị chuyển dịch tại các điểm IGS coi như đã biết, sai số coi như bằng không. Nói cách khác, trong quá trình tính toán các điểm IGS coi như cố định với vận tốc đã biết. Các chuyển dịch thẳng đứng tại các điểm coi như bằng không. Sai số sẽ dồn hết cho các điểm cần tính như BLV1, LANG, STT1,...

Các tính toán trên GAMIT và trên BERNESE 5.0 của Viện Địa chất (VĐC) và Viện Địa chất và Hạt nhân New Zealand (GNS) đều dàn sai số cho cả các trạm IGS và các trạm đo tại Việt Nam. Nói cách khác, tại các điểm đo IGS khớp nối với các trạm đo Việt Nam theo “constraint” chứ không phải khớp cố định (Fixed) (*bảng 1*). Mỗi điểm đo được lần lượt trình bày kết quả tính theo phần mềm BERNESE 4.2, GAMIT, BERNESE 5.0 (*bảng 2*). Kết quả này có sai lệch nhẹ với kết quả sơ bộ trước đây, có bổ sung thêm số liệu của các trạm Đồng Hới, Huế và Hồ Chí Minh [20].

Bảng 1. Kết quả xử lý số liệu GPS, chuyển dịch tuyệt đối trong hệ IGS05 chu kỳ 2007-2010

TT	Tên trạm GPS	Phần mềm xử lý	Vận tốc chuyển dịch về phía bắc		Vận tốc chuyển dịch về phía đông		Vận tốc chuyển dịch thẳng đứng (tham khảo)	
			Giá trị (mm/năm)	sai số (mm/năm)	Giá trị (mm/năm)	sai số (mm/năm)	Giá trị (mm/năm)	sai số (mm/năm)
1	BLV1	BERNESE 4.2	-12,42	0,10	29,84	0,12	0,00	0,02
		GAMMIT	-12,46	1,29	30,12	1,36	3,96	1,70
		BERNESE 5.0	-10,80	0,10	30,10	0,10	-38,30	0,50
2	LANG	BERNESE 4.2	-12,62	0,11	40,20	0,13	-0,02	0,02
		GAMMIT	-12,71	1,29	39,33	1,34	-4,72	1,84
		BERNESE 5.0	-10,80	0,10	39,30	0,10	-14,2	0,50
3	DOHO	BERNESE 4.2	-7,25	0,13	23,42	0,15	-0,02	0,03
		GAMMIT	-9,48	1,31	26,63	1,37	-1,67	2,02
		BERNESE 5.0	-7,70	0,10	27,40	0,10	-11,10	0,50
4	HUES	BERNESE 4.2	-16,91	0,09	22,45	0,11	0,01	0,02
		GAMMIT	-16,54	1,35	31,17	1,53	9,13	2,54
		BERNESE 5.0	-11,80	0,10	29,70	0,10	4,30	0,40
5	STT1	BERNESE 4.2	-10,43	0,10	23,32	0,13	0,00	0,02
		GAMMIT	-10,57	1,34	23,40	1,44	-1,48	2,64
		BERNESE 5.0	-7,80	0,10	23,60	0,20	54,90	0,60
6	CDA1	BERNESE 4.2	-9,13	0,10	21,26	0,13	0,00	0,02
		GAMMIT	-9,84	1,32	21,76	1,39	-2,64	1,80
		BERNESE 5.0	-5,50	0,10	22,00	0,10	-10,00	0,50
7	HOCM	BERNESE 4.2	-12,93	0,10	22,35	0,12	-0,01	0,02
		GAMMIT	-13,75	1,36	22,00	1,47	-2,41	2,63
		BERNESE 5.0	-10,10	0,10	22,20	0,10	-4,30	0,50

Bảng 2. Tổng hợp kết quả tính vận tốc chuyển động tương đối bởi các phần mềm khác nhau với sự cố định của trạm STT1 (2007-2010)

TT	Tên trạm GPS	Phần mềm xử lý	Vận tốc chuyển dịch về phía bắc		Vận tốc chuyển dịch về phía đông		Vận tốc chuyển dịch thẳng đứng (tham khảo)	
			Giá trị (mm/năm)	sai số (mm/năm)	Giá trị (mm/năm)	sai số (mm/năm)	Giá trị (mm/năm)	sai số (mm/năm)
1	BLV1	BERNESE 4.2	-4,41	0,13	8,07	0,16	0,00	0,02
		GAMMIT	-3,91	1,76	9,89	1,88	9,92	2,66
		BERNESE 5.0	-4,60	0,20	9,30	0,50	2,30	0,90
2	LANG	BERNESE 4.2	-5,16	0,14	18,75	0,16	-0,01	0,02
		GAMMIT	-4,45	1,79	19,41	1,91	1,31	2,79
		BERNESE 5.0	-4,60	0,20	20,10	0,50	-8,80	0,90
3	DOHO	GAMMIT	-0,66	1,77	6,30	1,89	4,15	2,93
		BERNESE 5.0	-0,90	0,20	7,90	0,50	-2,80	0,90
		BERNESE 4.2	-8,34	0,12	0,41	0,15	0,02	0,02
4	HUES	GAMMIT	-7,63	1,78	10,95	1,98	15,41	3,32
		BERNESE 5.0	-5,10	0,20	8,40	0,40	3,20	0,80
		BERNESE 4.2	-0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02
5	STT1	GAMMIT	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		BERNESE 5.0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		BERNESE 4.2	0,76	0,12	-0,81	0,16	0,00	0,02
6	CDA1	GAMMIT	0,02	1,75	1,04	1,82	2,41	2,64
		BERNESE 5.0	1,20	0,20	0,70	0,50	-3,10	1,00
		BERNESE 4.2	-3,62	0,12	0,26	0,16	0,00	0,02
7	HOCM	GAMMIT	-4,20	1,78	1,31	1,92	2,91	3,39
		BERNESE 5.0	-3,50	0,20	1,90	0,60	-4,20	1,00

Chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong khối Sunda:

Nghiên cứu về khu vực nam và đông nam châu Á, đề án GEODYSSSEA thông qua ba chu kỳ đo 1994, 1996 và 1998 đã xác định được vận tốc và hướng chuyển dịch tuyệt đối của vỏ Trái Đất trong khu vực này với sai số 4-7mm theo chiều ngang và 10 mm theo chiều đứng [12]. Tiếp tục chương trình GEODYSSSEA là chương trình SEAMERGES, gồm hơn 100 điểm đo nhằm mở rộng phạm vi nghiên cứu. Trung Quốc đã thiết lập mạng lưới quan trắc chuyển dịch vỏ Trái Đất từ 1997 trong chương trình CMONOC với 27 trạm đo liên tục và 1100 điểm đo không liên tục. Các đợt đo 1999, 2001 và 2004 cho thấy biến dạng trên cao nguyên Tây Tạng, các rìa của nó, đới Himalaya và Altyn Tagh đã hấp thụ 90% chuyển dịch tương đối giữa mảng Ấn - Úc và mảng châu Á [7, 13, 15, 25]. Ở rìa đông của cao nguyên Tây Tạng, chuyển dịch về phía đông về rìa tây của Tứ Xuyên trong khi ở bắc Vân Nam chuyển dịch về đông nam còn ở nam Vân Nam chuyển dịch chuyển thành nam-đông nam. Tại khối Nam Trung Hoa, vận tốc chuyển dịch về phía đông trong khoảng 6-10mm/năm [25].

Trận động đất xảy ra ở Tứ Xuyên ngày 12 tháng 5 năm 2008 với magnitude 7,9 là kết quả hấp thụ của chuyển dịch về phía đông qua ranh giới đứt gãy chòem nghịch ở rìa tây Tứ Xuyên.

Đáng chú ý là kết quả của các nhà trắc địa của các nước châu Á, Thái Bình Dương, “Permanent Committee for GIS Infrastructure for Asia and the Pacific” (PCGIAP) [4]. Hợp tác 11 nước trong đó có Úc, Newzeland, Hàn Quốc, Lào, Thái Lan, Việt Nam,... và cơ quan trắc địa quốc tế IGS đã tiến hành đo tại 433 điểm từ 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002. Phía Việt Nam tham gia đo bốn điểm tại Điện Biên, Đồ Sơn, Đà Nẵng và Vũng Tàu.

So với kết quả đo của Trung Quốc và các nước châu Á và Thái Bình Dương, kết quả đo lập của ba kỳ đo trong khoảng thời gian 2007-2009 của chúng tôi là tương đối gần. Tuy nhiên, với sai số nhỏ nên giá trị chuyển dịch tuyệt đối hoàn toàn có ý nghĩa. Chúng ta đã có thể rút ra một số nhận xét về đặc điểm biến dạng của Biển Đông Việt Nam:

- Tiếp tục với xu thế chuyển dịch về phía đông - đông nam đã quan sát thấy trên đất liền của

Việt Nam, chúng ta quan sát thấy toàn bộ các trạm đo GPS đều chuyển dịch về phía đông - đông nam. Kết quả trên cũng phù hợp với quan sát ở đảo Hải Nam, Quảng Tây, Quảng Đông cũng như toàn rìa đông nam Trung Quốc. Điều này cho thấy biến dạng trên Biển Đông Việt Nam chịu sự chi phối chủ yếu của đưng độ giữa mảng Ấn - Úc và mảng Âu - Á.

- Sự suy giảm vận tốc chuyển dịch theo hướng từ tây sang đông của các trạm đo GPS phía bắc (Láng, Bạch Long Vĩ, Hải Nam) cho thấy hiện nay Vịnh Bắc Bộ bị biến dạng nén và chịu xiết ép theo phương á vĩ tuyến hoặc lệch một chút về phía đông đông nam. Trường lực này không thuận lợi cho hệ thống đứt gãy đang hoạt động tách dần phương á kinh tuyến và cũng không thuận lợi cho các đứt gãy trượt bằng phương tây bắc - đông nam. Các hướng chính và giá trị chính của trục ứng suất - biến dạng sẽ được chúng tôi chính xác hoá ở các chu kỳ đo sau. Theo tính toán sơ bộ của chúng tôi, vận tốc biến dạng nén tính từ trạm Láng tới trạm Bạch Long Vĩ đạt giá trị xấp xỉ 10^{-8} /năm (~10 nano biến dạng/năm).

- Phía bắc Biển Đông đang đóng lại theo phương tây tây bắc - đông đông nam với vận tốc cỡ 77mm/năm. Hướng của vectơ chuyển dịch tại Láng, Bạch Long Vĩ, Hải Nam, Hoàng Sa hầu như ngược với hướng vectơ chuyển dịch ở PIMO, phản ánh hướng chuyển dịch của mảng bắc Biển Đông cắm dưới Philippin tại trung Manila về phía đông đông nam. Sự đóng lại của Biển Đông dọc theo đới hút chìm Manila có vận tốc không đều nhau phía bắc đảo Luzon vận tốc chuyển dịch về phía tây bắc là lớn nhất sau giảm nhanh về phía đông nam. Điều đó chứng tỏ hoạt động của đới hút chìm Manila, ranh giới phía đông bắc của khối Sunda khá phức tạp. Đây là bằng chứng nói lên tính phân đoạn của đới hút chìm Manila.

- Các trạm đo GPS phía nam (Song Tử Tây, Côn Đảo) có hướng chuyển dịch về phía đông nam cho thấy chế độ địa động lực ở phía nam Biển Đông đã thay đổi so với phần phía bắc Biển Đông, vận tốc chuyển dịch ngang nhỏ hơn ở phía bắc. Biển Đông ở phần phía nam không bị đóng lại. Vận tốc biến dạng nhỏ hơn phía bắc Biển Đông.

- So sánh các vectơ chuyển dịch ở Thái Lan, Vũng Tàu, Malaysia và Palawan, thì vectơ chuyển dịch ở Côn Đảo và Song Tử Tây có nhỏ hơn và hơi lệch về phía đông nam. Nhìn chung, vùng nam và

tây nam Biển Đông hầu như không bị biến dạng lớn. Với kết quả đo tại Côn Đảo, Hồ Chí Minh và Song Tử Tây, đối sánh với kết quả đo ở Palawan trong các đề án GEODYSSSEA và PCGIAP thì không thấy sự xiết ép xảy ra ở Bắc Borneo. Kết quả này trái ngược với kết quả của Simons và nnk., (2007) [16]. Khi cố định khối Sunda, Simons và nnk., (2007) [16] đã tính chuyển dịch tại một số trạm đo bắc Borneo có hướng quay về tây bắc hoặc tây tây bắc, từ đó tác giả giả định rằng có một phần ranh giới của khối Sunda đi qua rìa phía bắc của Borneo. Theo chúng tôi ranh giới của khối Sunda dịch về phía nam của Borneo vì thực tế có sự thay đổi rất lớn về vận tốc chuyển dịch tại đây, lớn hơn rất nhiều so với thay đổi vận tốc ở rìa bắc Borneo với khối Sunda.

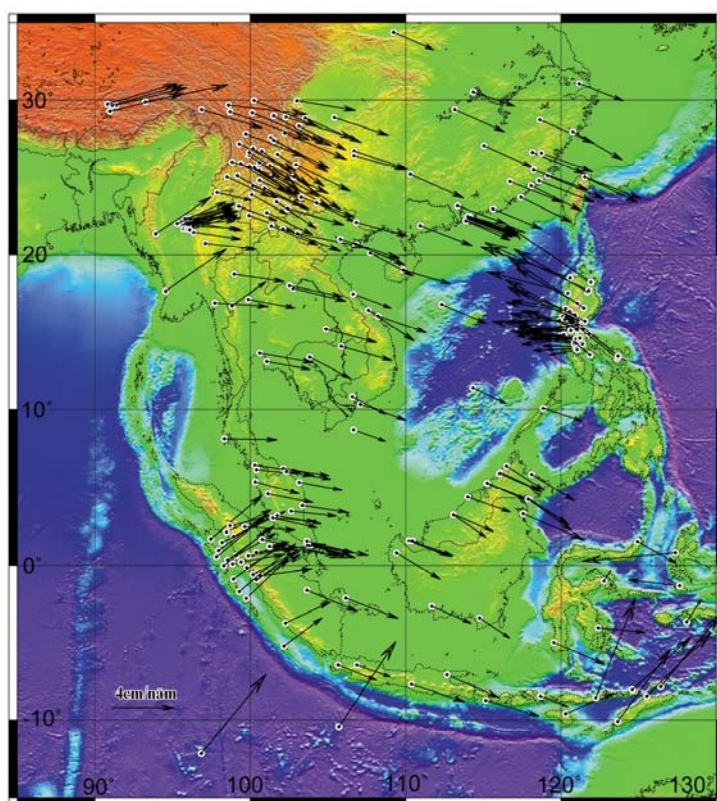
- So sánh các vectơ chuyển dịch tại DOHO, CDA1, STT1 thì có thể thấy biến dạng rất nhỏ, điều đó chứng tỏ nếu đứt gãy 110 đang hoạt động thì vận tốc chuyển dịch rất nhỏ. Chúng tôi sẽ chính xác hoá vận tốc tối đa của đới đứt gãy này trong những đợt đo tiếp theo.

- Biến dạng giữa các mảng và trong mảng ở Đông Nam Á được thể hiện như trên hình 2. Từ phân tích vận tốc tensor biến dạng, có thể xác định được vùng có vận tốc biến dạng rất nhỏ dưới 7 nano biến dạng/năm, thể hiện vùng không biến dạng bên trong khối Sunda. Ranh giới được chính xác hoá và tóm tắt như sau: Về phía tây, khối Sunda được bao bởi đứt gãy trượt bằng phải, xác định rõ ràng hướng của tensor biến dạng. Nó kéo dài từ Myanmar tới Sumatra dọc theo đứt gãy Sagaing, hệ thống pull-apart Andaman. Về phía nam Java, khối bị giới hạn bởi mảng nước sâu Java. Tuy nhiên vòng cung đảo Java chịu biến dạng rất lớn và gắn liền với động đất, gần đây vừa xảy ra trận động đất Yogyakarta năm 2006. Nếu như đứt gãy đang hoạt động đó được khẳng định thì chi phần tây của Java là thuộc về Sunda và đứt gãy trượt bằng, hướng về đông bắc được coi là của Sunda (hoặc thêm Sunda). Vận tốc biến dạng cao giữa Borneo và Sulawesi với mật độ GPS rất cao, theo chúng tôi ranh giới mảng Sunda sẽ đi qua đường phân cắt giữa Borneo và Sulawesi. Biến dạng tiếp tục tới rìa đông giữa vĩ tuyến 10° N và 5° N, bắc Sulawesi, đới Philippin. Rìa đông của Sunda là ba mảng biển sâu vòng cung đảo Philipin Cotabato, Negros và trung Manilla. Về phía bắc, ranh giới của Sunda khó có thể xác định nhờ phân tích vận tốc biến dạng: Biển Đông hầu như không

biến dạng và khối nam Trung Hoa biến dạng rất yếu. Mặc dù trong khối nam Trung Hoa, không có dấu hiệu biến dạng nhưng nó có ranh giới về phía tây là đứt gãy Longmenshan và đứt gãy Xiaojiang. Dọc theo đới đứt gãy này là một đới biến dạng mạnh gây ra do đụng độ giữa mảng Ấn - Úc và mảng Âu - Á. chuyển dịch từ Tây Tạng theo chiều kim đồng hồ, quanh đông Himalaya. Biến dạng này mở rộng sang Malaysia và thể hiện ở bắc Thái Lan bởi tách giãn đông - tây. Vận tốc biến dạng tăng cao ở tây bắc Thái Lan khẳng định ranh giới phía bắc của Sunda nằm gần Myanmar. Về phía

đông bắc, phần tây nam của đới đứt gãy sông Hồng [10], biến dạng tương thích với chuyển dịch trượt bằng phải. Tuy nhiên, vận tốc biến dạng qua ranh giới mảng này rất nhỏ trong giai đoạn hiện tại. Tại điểm này, chỉ sử dụng phân tích biến dạng từ mạng lưới lớn rất khó có thể kết luận khối Nam Trung Hoa và Sunda có khác nhau về chuyển dịch hay không [16].

- Chuyển dịch của khối Sunda cho thấy khá phù hợp với mô hình chuyển dịch khối, xảy ra chủ yếu dọc đới đứt gãy, thường gọi là mô hình thúc trượt [19] hơn là mô hình chảy nhớt và biến dạng liên tục [5].



Hình 2. Sơ đồ tổng hợp các vectơ vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại theo kết quả đo của các chương trình GEODYSSEA, PCGIAP, SEAMERGES và CMONOC theo [1-4, 6, 7, 9, 12, 14-16, 18, 25] và kết quả đo GPS của tập thể tác giả bài báo này

3. Các đới sinh chấn chính trên Biển Đông và kế cận

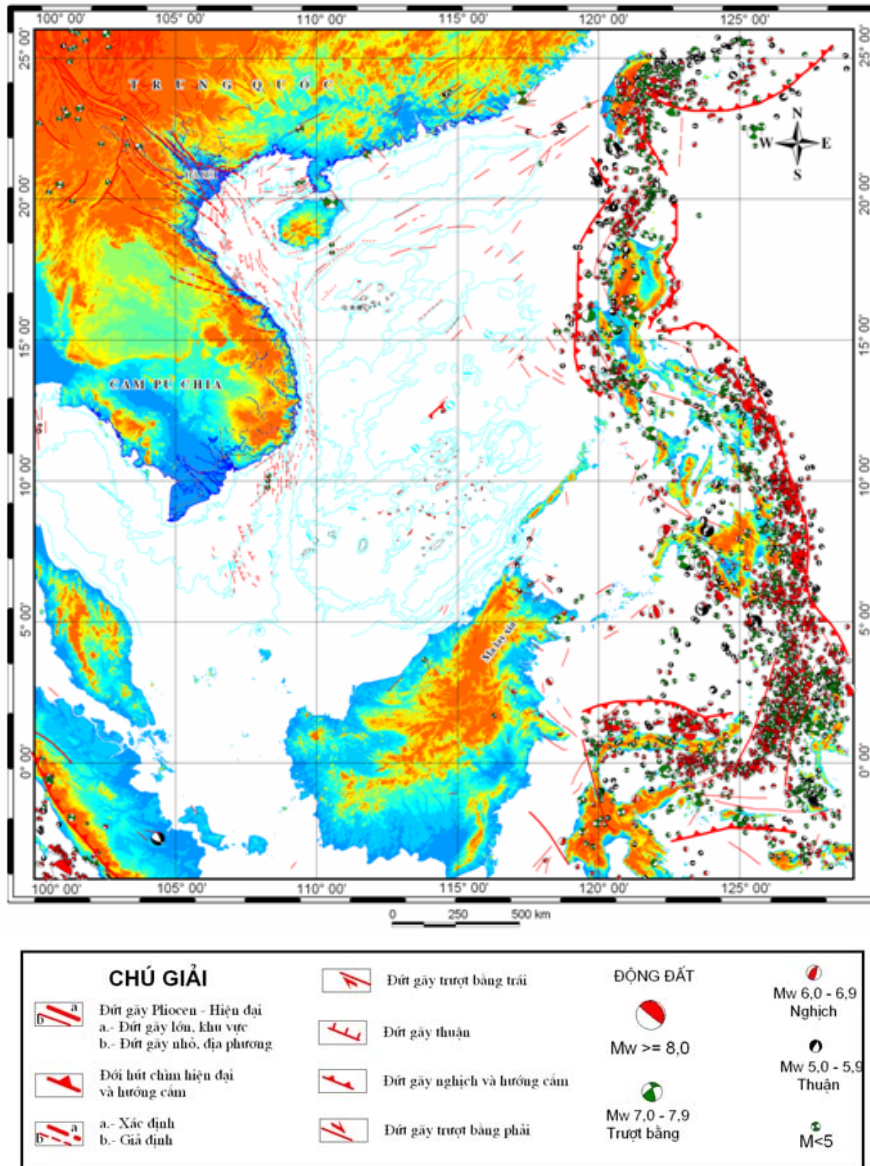
3.1 Đánh giá địa chấn kiến tạo dựa trên kích thước của các đới đứt gãy đang hoạt động

Trên cơ sở nghiên cứu hàng chục nghìn km mặt cắt địa chấn bao gồm mặt cắt địa chấn hai chiều từ công tác thăm dò dầu khí tới mặt cắt địa chấn nông phân giải cao, hàng nghìn chấn tiêu động đất, hàng

trăm cơ cấu chấn tiêu động đất, trường ứng suất khu vực, chúng tôi đã vạch ra được các đới đứt gãy sinh chấn trên Biển Đông (hình 3). Các đường đứt gãy gần bờ biển Việt Nam phần lớn là các đứt gãy ngắn, rời rạc. Chúng tôi nhận thấy đới đứt gãy rìa tây Biển Đông (đứt gãy 110) không phải là đường đứt gãy kéo dài liên tục hàng trăm km mà chỉ phân thành những đoạn đứt gãy, phương bắc tây bắc, không kéo dài liên tục, thậm chí nhiều đoạn dài

không có biểu hiện của đứt gãy gây chuyển dịch trầm tích Pliocen - Đệ Tứ. Trên các bồn Cửu Long, Nam Côn Sơn có thể phát hiện hàng loạt các đứt

gãy có biểu hiện hoạt động trong Pliocen - Đệ Tứ. Đó là các đứt gãy thuận, phân thành các đoạn ngắn thường không kéo dài quá 15km.



Hình 3. Phân bố các đứt gãy trẻ và động đất khu vực Biển Đông và kế cận

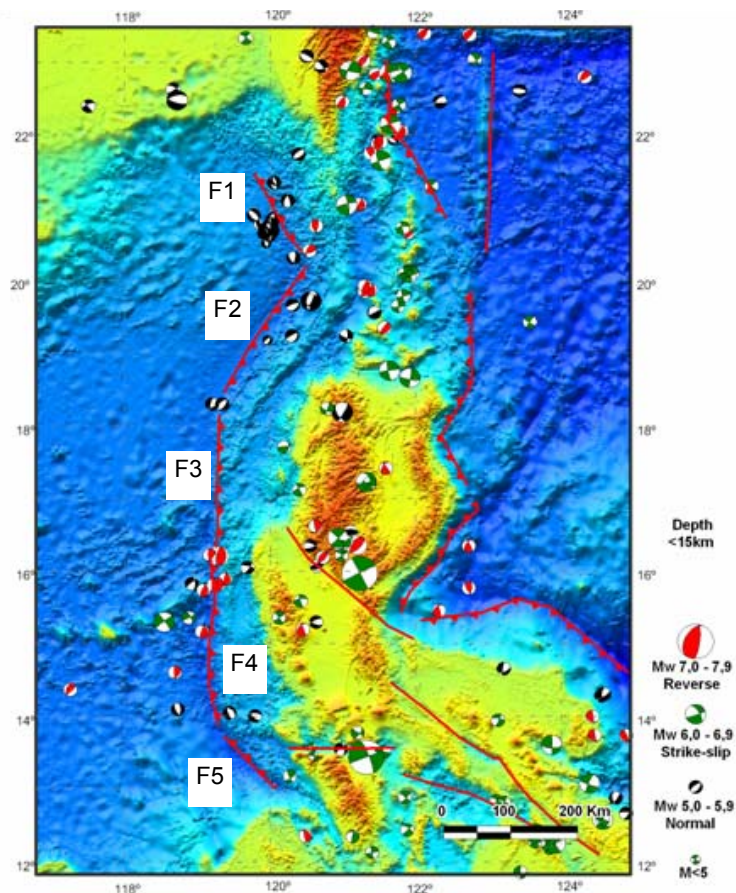
Đới đứt gãy sinh chấn lớn nhất trên Biển Đông và kế cận là đới hút chìm Manila với chiều dài tổng cộng hơn 900km. Đới đứt gãy bắc Borneo trước đây được xem như là một đới hút chìm hiện đại [16]. Dọc theo rìa phía tây Biển Đông, đới đứt gãy dọc kinh tuyến 110 luôn được xem là đứt gãy đang hoạt động và có khả năng gây ra động đất lớn nhất trên vùng biển Việt Nam. Nhìn chung, có thể nhận

thấy đới hút chìm Manila có khả năng phát sinh động đất lớn nhất. Động đất xảy ra ở đới hút chìm có khả năng gây ra sóng thần, ảnh hưởng tới bờ biển Việt Nam. Điểm mới trong nghiên cứu này là chúng tôi nhận thấy tính phân đoạn của đới hút chìm Manila vì thế đánh giá động đất cực đại cần dựa trên tính phân đoạn của đới hút chìm này (hình 4). Chúng tôi cũng nhận thấy không có sự tồn tại

đới hút chìm bắc Borneo do vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại ở bờ biển Việt Nam, Côn Đảo trùng với vận tốc và chuyển động kiến tạo hiện đại ở Bắc Borneo [20] nên không có khả năng phát

sinh động đất gây ra sóng thần ở khu vực này.

Chúng tôi cũng nhận thấy đới đứt gãy rìa tây Thái Bình Dương dọc kinh tuyến 110, từng tồn tại



Hình 4. Cơ cấu chấn tiêu động đất ở độ sâu 0-15km khu vực Philippin. Ở các đứt gãy F1, F2 chỉ tồn tại các cơ cấu chấn tiêu phản ứng suất tách giãn (màu đen), đoạn F3 hầu như vắng mặt các trận động đất. Động đất nông khá dày đặc dọc F4

như một đới đứt gãy trượt bằng trong Paleogen và Miocen nhưng biểu hiện hoạt động trong Pliocen - Đệ Tứ rất yếu. Điều này có vẻ mâu thuẫn từ quan sát địa mạo vì dọc theo đới đứt gãy này là một vách kiến tạo rất rõ rệt. Trong bể sông Hồng, Bể Cửu Long và Nam Côn Sơn, chúng tôi đã quan sát được nhiều chấn đoạn đứt gãy, có biểu hiện là những đoạn đứt gãy rời rạc với chiều dài không vượt quá 15km. Hệ đứt gãy tây Philippin có đặc điểm không liên tục, chúng được chia thành nhiều chấn đoạn có kích thước khác nhau bắt đầu từ tây nam đảo Đài Loan tới chạy theo phía tây Philippin, áp gần sát và quần đảo Luzon ở khoảng vĩ tuyến 16. Có thể nhận thấy đới hút chìm Manila không

kéo dài liên tục từ Đài Loan tới tây nam đảo Luzon mà có thể phân thành các đoạn khác nhau. Cơ sở cho việc phân đoạn đó được dựa trên nhiều nguồn số liệu khác nhau: địa hình, địa mạo, trường trọng lực, góc cắm của đới hút chìm, phân bố chấn tiêu động đất, cơ cấu chấn tiêu động đất, trường ứng suất theo độ sâu, vận tốc chuyển dịch. Về mặt địa hình, đới hút chìm Manila có phương của máng biển sâu thay đổi chuyển từ phương tây bắc đông nam ở rìa tây Đài Loan sang phương đông bắc tây nam rồi lại chuyển sang phương bắc-nam rồi lại chuyển sang phương tây bắc đông nam. Trước hết dự thường trọng lực free-air thể hiện rất khác nhau dọc theo các đoạn F1, F2, F3, F4 và F5. Độ sâu của

từng máng biển sâu cũng khác nhau, trong đó các đoạn sâu nhất là đoạn F5. Đặc điểm địa mạo của từng đoạn cũng có sự khác biệt. Các đoạn của đới hút chìm cũng có thể phân biệt dễ dàng nhờ góc cắm của đới hút chìm. Các đoạn trên còn có thể phân biệt rất rõ ràng đặc điểm phân bố cơ cấu chấn tiêu, phản ánh trạng thái ứng suất kiến tạo theo độ sâu khác nhau. Ở độ sâu nhỏ hơn 30km, ta nhận thấy cơ cấu chấn tiêu phản ánh trạng thái tách giãn phân bố dọc theo đới F2 về phía hướng cắm, trong khi đó đới với đoạn F1 thì lại phân bố ngược với hướng cắm. Đoạn F3 hầu như vắng mặt các trận động đất trạng thái ứng suất tách giãn. Đáng lưu ý phần lớn các cơ cấu chấn tiêu phản ánh trạng thái xiết ép tập trung ở đới F4 ứng với độ sâu nhỏ hơn 15km. Ở độ sâu dưới 15km, chỉ quan sát thấy một cơ cấu chấn tiêu trượt bằng gần với đới F5, có lẽ không liên quan tới hoạt động của đới này.

3.2. Động đất cực đại

Ở những vùng có mật độ động đất cao hoặc những đới sinh chấn có vận tốc biến dạng lớn, nguy hiểm động đất thường được đánh giá bởi mô hình xác suất từ số liệu của các động đất lịch sử và ghi được bằng máy. Phương pháp trên tỏ ra kém hiệu quả khi thời gian ghi quá ngắn và trên những vùng có chu kỳ lặp động đất lâu dài. Khi đó, người ta có thể đánh giá nguy hiểm động đất bằng phương pháp địa chấn kiến tạo kết hợp với phân tích xác suất trong việc dự báo nguy hiểm động đất cho từng vị trí hay từng vùng nhất định. Độ chính xác của đánh giá nguy hiểm động đất phụ thuộc rất lớn vào việc hiểu biết chế độ địa động lực ở quy mô khác nhau ở vùng nghiên cứu. Biên độ chuyển dịch, tính phân đoạn, mức độ hoạt động của mỗi đứt gãy sẽ được đánh giá từ cự li chuyển dịch của các đặc trưng địa mạo và địa chất. Động đất cực đại (MCE) là giá trị đặc trưng của nguồn động đất tức là khả năng xuất hiện một trận động đất lớn nhất dọc một đoạn đứt gãy nào đó. Trong nghiên cứu của chúng tôi ở đây có sử dụng các phương pháp tính magnitude cực đại từ diện tích mặt đứt gãy của Well-Coppersmith (1994) [21], Wyss (1979) [24], Woodward-Clyde (1983) [23] và tính từ Moment động đất. Phương pháp moment động đất chiếm tỷ trọng cao so với các phương pháp khác do mang ý nghĩa vật lý cao nhất.

Quá trình tính toán là quá trình lặp. Bước khởi đầu ước lượng biên độ chuyển dịch cực đại dựa trên kết quả đánh giá động đất cực đại bằng các phương pháp khác nhau để xác định moment động đất, sau khi lấy trung bình trọng số và sai số chuẩn

lại suy ra biên độ chuyển dịch nhờ công thức của Well - Copersmith (1994) [21]. Ở bước thứ hai cho phép xác định động đất cực đại bằng phương pháp moment động đất và cứ thế lặp lại cho tới khi kết quả ổn định.

Để có thể sử dụng tổng hợp các phương pháp khác nhau chúng tôi đã lấy trung bình theo trọng số. Chúng tôi chọn hệ số 1 với phương pháp dựa trên chiều dài đứt gãy, hệ số 2 với phương pháp dựa trên diện đứt gãy và hệ số 3 với phương pháp dựa trên mặt và chuyển dịch đứt gãy hay còn gọi là phương pháp moment động đất. Trên *bảng 3* thể hiện kết quả đánh giá động đất cực đại cho đứt gãy F4 với chiều dài 256km. Chiều rộng đứt gãy 50km, góc cắm 30 độ, chuyển dịch cực đại đạt 3,7m tính theo Well - Coppersmith. Giá trị trung bình trọng số tính được là 8,4 với độ lệch chuẩn 0,2. Bằng phép tính tương tự, có thể đánh giá động đất cực đại cho bể sông Hồng, Bể Cửu Long và Nam Côn Sơn là 6,4; bể Phú Khánh là 6,2.

Bảng 3. Động đất cực đại gây ra bởi F4 của đới hút chìm Manila

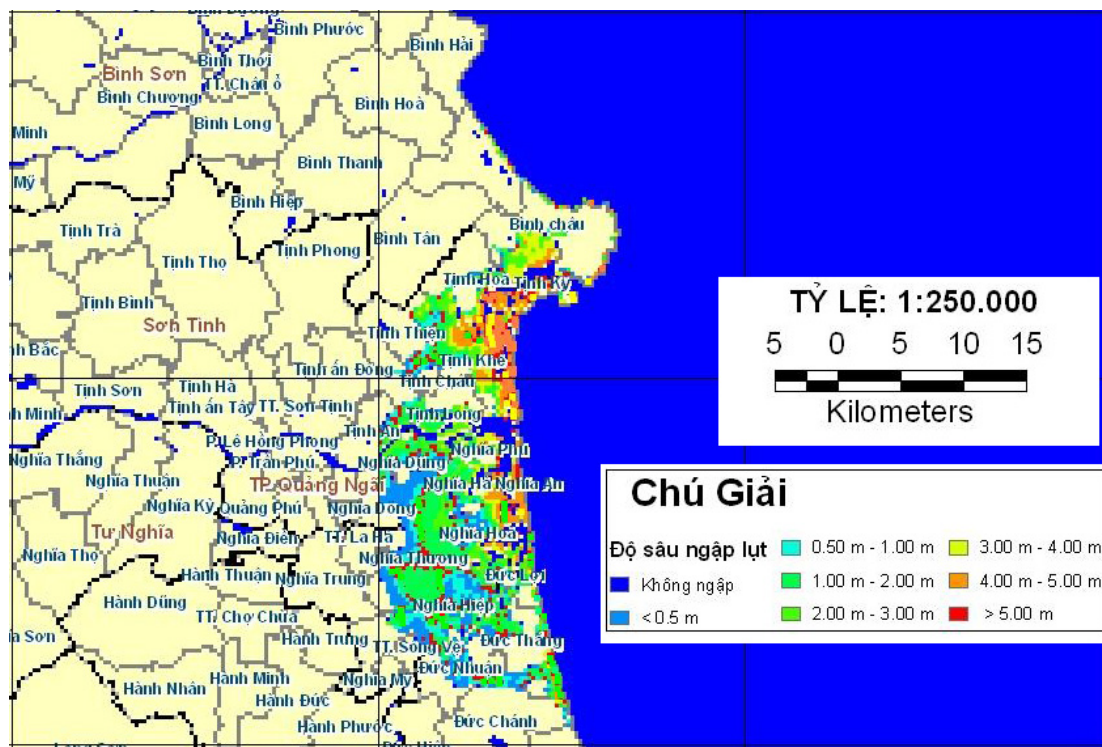
Phương pháp	Magnitude
Magnitude theo Slemmons, 1982 cho chiều dài đứt gãy:	8,2
Magnitude theo Well-coppersmith cho chiều dài đứt gãy:	8,0
Magnitude theo Well-coppersmith cho mặt đứt gãy:	8,3
Magnitude theo Wyss, 1979 cho mặt đứt gãy:	8,6
Magnitude theo Woodward-clyde, 1983 cho mặt đứt gãy:	8,6
Magnitude theo moment động đất, Hanks- Kanamori[8]:	8,3
Chuyển dịch (m) dự đoán theo Slemmons, 1982:	11,9
Tốc độ (mm) dự đoán theo Woodward-clyde, 1983:	13,16
Chuyển dịch cực đại (m) theo Well-Coppersmith, 1994:	3,7
Chuyển dịch trung bình (m) theo Well-Coppersmith, 1994:	0,84

4. Đánh giá nguy hiểm sóng thần

Do trạng thái ứng suất kiến tạo trên các bể Bắc Bộ, sông Hồng, Nam Hải Nam, Phú Khánh, Cửu Long và Nam Côn Sơn là trạng thái ứng suất trượt bằng nên không có nguồn sinh ra động đất gây sóng thần. Đới hút chìm bắc Borneo cũng bị loại vì không thấy biến dạng kiến tạo hiện đại, vắng mặt hoàn toàn các trận động đất có cơ cấu chấn tiêu xiết ép nên chỉ duy nhất có đới hút chìm Manila, trong đó có đứt gãy F4 có khả năng phát sinh động đất gây sóng thần lớn nhất trên Biển Đông. Chúng tôi xét trường hợp xấu nhất là động đất xảy ra trên toàn bộ F4 và độ sâu chấn tiêu là 15km. Khi đó sử

dụng mô hình Okada, có thể đánh giá được biên độ sóng thần lớn nhất 2m ở một số vùng của Quảng Ngãi, Đà Nẵng và 1m ở Hoàng Sa, Trường Sa. Độ sâu ngập lụt lớn nhất 4-5m xảy ra một số vùng ở Quảng Ngãi (hình 5), Đà Nẵng nhưng diện tích khá

hạn chế. Độ sâu ngập lụt 2-3m có thể thấy ở Quảng Ngãi, Đà Nẵng, Huế. Sóng thần có thể hình thành do động đất liên quan với núi lửa, theo dải đứt gãy 110. Tuy nhiên, vấn đề này cần được nghiên cứu chi tiết trong thời gian tới.



Hình 5. Sơ đồ dự báo ngập lụt cực đại gây ra do sóng thần tại thành phố Quảng Ngãi

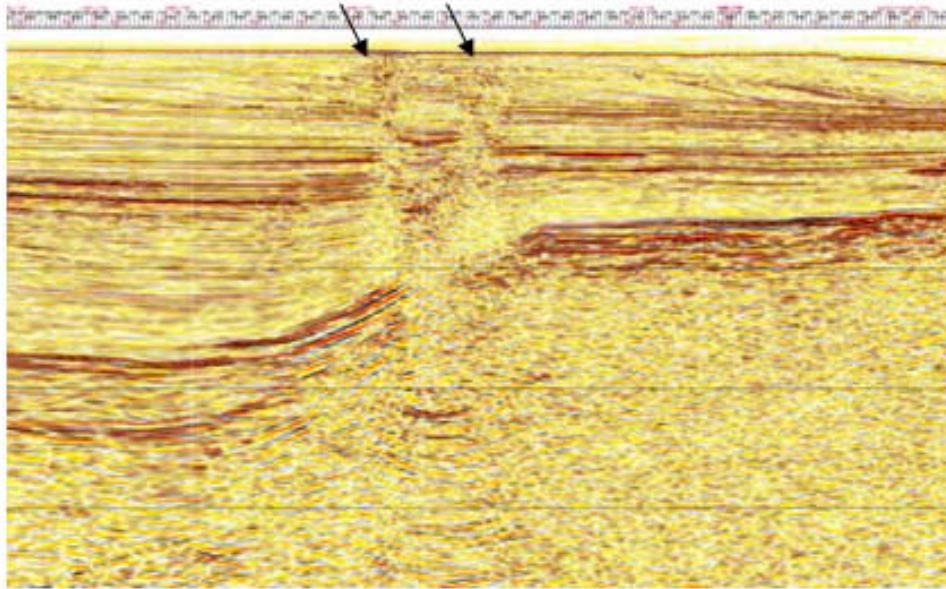
5. Tràn dầu tự nhiên

Trên cơ sở phân tích viễn thám, quan sát địa chất-địa vật lý, hiện tượng tràn dầu tự nhiên trên Biển Đông có thể quan sát thấy tại vùng đầm Thị Nại, trên các bể Sông Hồng, Phú Khánh, Nam Côn Sơn, Cửu Long và Nam Hải Nam, trong đó dấu hiệu tràn dầu thể hiện mạnh mẽ nhất ở bể Sông Hồng (hình 6, 7) và Nam Côn Sơn (hình 8). Hiện tượng tràn dầu tự nhiên xảy ra mạnh mẽ trong giai đoạn cuối Pliocen - đầu Đệ Tứ, thể hiện rất rõ trong các mặt cắt địa chấn. Hiện tượng tràn dầu tự nhiên suy giảm dần trong giai đoạn hiện đại. Có mối quan hệ chặt chẽ giữa tràn dầu tự nhiên với hoạt động căng giãn xảy ra cuối Pliocen - đầu Đệ Tứ ở bể Sông Hồng và bể Nam Côn Sơn. Mối quan hệ chặt chẽ giữa tràn dầu tự nhiên và dị thường áp suất, quan sát thấy ở bể Sông Hồng và bể Nam Côn Sơn. Hoạt động kiến tạo trẻ với việc phát triển một

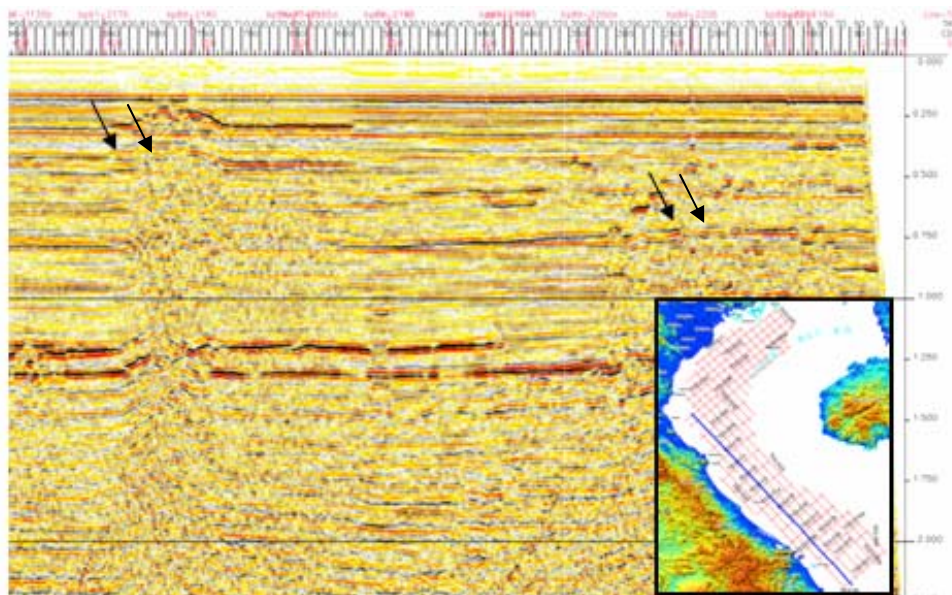
số đứt gãy trẻ cắt qua tầng Pliocen - Đệ Tứ làm phá vỡ tầng chắn cũng ảnh hưởng tới hiện tượng tràn dầu tự nhiên. Điều này có thể xảy ra ở bể Sông Hồng, bể nam Côn Sơn và bể Phú Khánh. Đặc điểm chuyển động kiến tạo hiện đại và địa động lực hiện đại không thuận lợi cho quá trình tràn dầu tự nhiên với đặc điểm chung là biến dạng xiết ép thể hiện cả trên bể Sông Hồng, bể Phú Khánh, bể Cửu Long và bể Nam Côn Sơn. Hoạt động diapiric sét và hoạt động núi lửa trẻ có biểu hiện liên hệ chặt chẽ với tràn dầu tự nhiên. Nhiều nơi như ở bể Sông Hồng, bể Phú Khánh và bắc Cửu Long, quan sát thấy hai quá trình này xuất hiện đồng thời. Đây là vấn đề lý thú cần được tiếp tục nghiên cứu trong tương lai. Nghiên cứu mô hình cho thấy có khả năng xảy ra tràn dầu tự nhiên, liên quan với hoạt động của đứt gãy, liên quan các pha khí có thể làm giảm độ nhớt của dầu dẫn tới tràn dầu tự nhiên. Các bản đồ dự báo tràn dầu tự nhiên có ý nghĩa

thực tiễn trong việc tìm kiếm dầu khí, bảo vệ môi trường, ví dụ ở những nơi tràn dầu tự nhiên cao có khả năng thấy các sinh vật có khả năng ăn dầu. Có

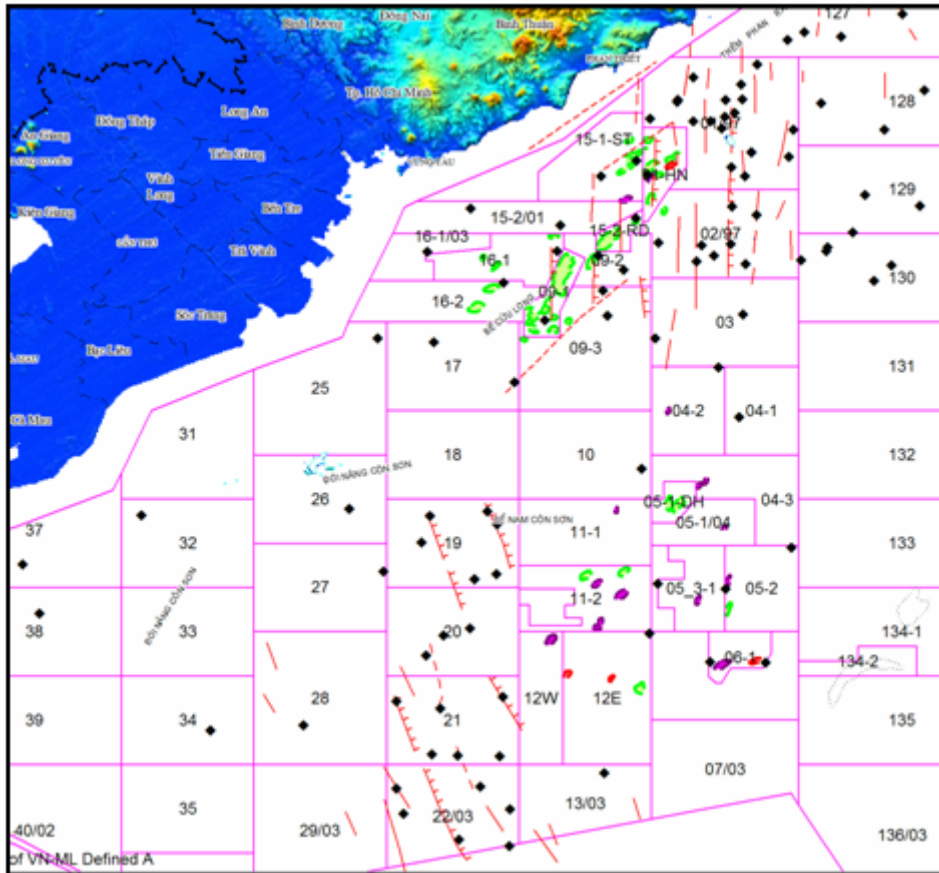
khả năng phát triển những loài sinh vật đó trong việc làm sạch dầu khi có sự cố tràn dầu do hoạt động của con người.



Hình 6. Biểu hiện của một đới thoát lộ trên tuyến địa chấn BP89 2190. Hiện tượng mất phản xạ được minh giải là cột thoát khí. Một số đới phản xạ tăng cường cho thấy quá trình di chuyển khí đã được nạp vào một số khoang chứa ở phần nông hơn. Nguồn mặt cắt địa chấn gốc: PetroVietnam, kết quả của đề tài KC09.11BS/06-10



Hình 7. Đới thoát lộ tạo nên các cấu trúc gò nổi cao trên tuyến địa chấn T03-26. Hiện tượng dị thường biên độ và đảo pha cũng có thể quan sát thấy trên mặt cắt này cho thấy sự có mặt của chất lỏng và khí phía dưới các mặt phản xạ tăng cường. Kiểu phân xạ nhiễu loạn (mũi tên phía phải) cũng được ghi nhận ở phía phải của mặt cắt cho thấy trầm tích bùn và cát có thể bị tái di chuyển. Nguồn mặt cắt địa chấn gốc: PetroVietnam, kết quả của đề tài KC09.11BS/06-10



Hình 8. Bản đồ liên hệ giữa các yếu tố kiến tạo trẻ và hiện tượng tràn dầu-khí ở khu vực bể Cù Long và Nam Côn Sơn. Trên bản đồ thể hiện các đứt gãy trẻ, các cấu trúc chứa dầu và khí đã phát hiện, các điểm phát hiện có cột thoát khí trên mặt cắt địa chấn và các biểu hiện dầu tại các vết lộ trên đất liền

6. Kết luận

Mặc dù mới chỉ qua 4 kỳ đo năm 2007 - 2010, những nét cơ bản về chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông đã được xác định với vận tốc đóng ở phía bắc Biển Đông trong khoảng 80mm/năm. Hoạt động xiết ép theo phương á vĩ tuyến ở khu vực bắc Biển Đông sẽ cản trở chuyển dịch của các đứt gãy thuận có phương á kinh tuyến và đứt gãy trượt bằng phương tây bắc - đông nam. Vai trò của đụng độ giữa mảng Ấn - Úc đối với mảng Âu - Á đóng vai trò chủ đạo đối với biến dạng của Biển Đông. Hướng chuyển dịch thay đổi từ chuyển dịch theo hướng đông đông nam ở phần phía bắc Biển Đông chuyển sang hướng đông nam ở phần phía nam Biển Đông. Biến dạng xiết ép giảm ở phần phía nam Biển Đông. Đới hút chìm bắc Borneo không còn hoạt động. Vùng nam và tây nam vận

tốc biến dạng khá nhỏ, điều này càng khẳng định nguy cơ động đất sóng thần lớn nhất trên Biển Đông là đứt gãy ứng với trùng Manila - Philippin. Dấu hiệu hoạt động của đứt gãy rìa tây Biển Đông không rõ ràng, nếu có thì vận tốc chuyển dịch rất nhỏ.

Trên cơ sở nghiên cứu đứt gãy trẻ Pliocen- Đệ Tứ, chuyển động kiến tạo hiện đại và trường ứng suất kiến tạo hiện đại có thể thấy trên các bề trầm tích trên thềm lục địa Việt Nam không phát sinh động đất vượt quá magnitude 6,4 và động đất lớn nhất xảy ra ở đoạn đứt gãy F4 của đới hút chìm Manila có magnitude 8,4 có thể gây ra sóng thần có độ cao cực đại 2m và độ sâu ngập lụt 4-5m ở một số vùng thuộc Quảng Ngãi, Đà Nẵng. Sóng thần do núi lửa cần được tiếp tục nghiên cứu.

Có mối quan hệ chặt chẽ giữa tràn dầu tự nhiên với hoạt động căng giãn xảy ra cuối Pliocen - đầu

Đệ tứ ở bể Sông Hồng và bể Nam Côn Sơn. Tràn dầu tự nhiên cũng liên quan với dị thường áp suất, quan sát thấy ở bể Sông Hồng và bể Nam Côn Sơn. Hoạt động kiến tạo trẻ với việc phát triển một số đứt gãy trẻ cắt qua tầng Pliocen - Đệ Tứ làm phá vỡ tầng chắn cũng ảnh hưởng tới hiện tượng tràn dầu tự nhiên. Điều này có thể xảy ra ở bể Sông Hồng, bể nam Côn Sơn và bể Phú Khánh.

Lời cảm ơn: Bài báo này là kết quả của đề tài trọng điểm cấp Nhà nước, KC09.11/06-10, nhiệm vụ bổ sung KC09.11BS/06-10 và hỗ trợ của đề tài nghiên cứu cơ bản mã số: 105.06.36.09.

TÀI LIỆU DẪN

- [1] *Beavan, J., P. Tregoning, M. Bevis, T. Kato, & C. Meertens*, 2002: Motion and rigidity of the Pacific Plate and implications for plate boundary deformation, *J. Geophys. Res.*, 107(B10), 2261, doi:10.1029/2001JB000282.
- [2] *Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J. Genrich, C. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S. Puntodewo, & E. Calais*, 2003: Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements, *J. Geophys. Res.*, 108(B8), 2367, doi:10.1029/2001JB000324.
- [3] *Chamote-Rooke, N., & X. L. Pichon*, 1999: GPS determined eastward Sundaland motion with respect to Eurasia confirmed by earthquake slip vectors at Sunda and Philippine Trenches, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 173, 439-455.
- [4] *Dawson, J., Luton, G., & Govind, R.*, 2004: Permanent Committee for GIS Infrastructure for Asia and the Pacific, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 GPS Campaign Analysis. *Geoscience Australia.*, 566p.
- [5] *England, P., & G. Houseman*, 1986: Finite strain calculations of continental deformation: 2. Comparison with the India-Asia collision zone, *J. Geophys. Res.*, 91(B3: 3664-3676).
- [6] *Galgana G., M. Hamburger, R. McCaffrey, E. Corpuz, Q. Chen*, 2007: Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms, *Tectonophysics* 432, 63-87.
- [7] *Gan W., Zhang P., Shen Z. K., Niu Zh., Wang M., Wan Y., Zhou D., Cheng*, 2007: Present-day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements, *J. VOL.* 112, B08416, doi:10.1029/2005JB004120.
- [8] *Hanks, T.C. & Kanamori, H.*, 1979: A moment magnitude Scale. *Journal of Geophysical Research*, vol. 82, p.2981-2987.
- [9] *Iwakuni, M., T. Kato, H. Takiguchi, T. Nakaegawa, & M. Satomura*, 2004: Crustal deformation in Thailand and tectonics of Indochina peninsula as seen from GPS observations, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L11612, doi:10.1029/2004GL020347.
- [10] *Leloup, P., R. Lacassin, P. Tapponnier, U. Scharer, D. Zhong, X. Liu, L. Zhang, S. Ji, & Phan Trong Trinh*, 1995: The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina, *Tectonophysics*, 251(1-4), 3-84.
- [11] *Ngô Văn Liêm, Phan Trọng Trinh, Nguyễn Tuấn Anh, Hoàng Quang Vinh*, 2008: Ứng dụng công nghệ GPS trong việc xác định chuyển dịch kiến tạo hiện đại, biến dạng mặt đất và công trình, *Địa Kỹ Thuật*, Năm thứ 12, 2, 21-32.
- [12] *Michel G. W., Yue Qui Yu, Sheng Yuan Zhu, Christoph Reigber, Matthias Becker, Ewald Reinhart, Wim Simons, Boudewijn Ambrosius, Christophe Vigny, Nicolas Chamot-Rooke, Xavier Le Pichon, Peter Morgan, Saskia Matheussen*, 2001. Crustal motion and block behaviour in SE-Asia from GPS measurements, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 187, 239- 244.
- [13] *Niu Zhijun, Wang Min, Sun Hanrong, Sun Jianzhong, You Xinzhao, Gan Weijun, Xue Guijiang, Hao Jinxin, Xin Shaohua & Wang Yongqing*, 2005: Contemporary velocity field of crustal movement of Chinese mainland from Global Positioning System measurements, *Chinese Science Bulletin* 2005, 50, 1-3.
- [14] *Rangin, C., X. L. Pichon, S. Mazzotti, M. Pubellier, N. Chamot-Rooke, M. Aurelio, A. Walpersdorf, & R. Quebral*, 1999: Plate convergence measured by GPS across the Sundaland/Philippine Sea plate deformed boundary: The Philippines and eastern Indonesia, *Geophys. J. Int.*, 139, 296-316.
- [15] *Shen, Z. K., J. Lu, M. Wang, & R. Burgmann*, 2005: Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau, *J. Geophys. Res.*, 110, B11409, doi:10.1029/2004JB003421.
- [16] *Simons, W. J. F., A. Socquet, C. Vigny, B. A. C. Ambrosius, S. Haji Abu, Chaiwat Promthong*,

C. Subarya, D. A. Sarsito, S. Matheussen, P. Morgan, & W. Spakman, 2007: A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries, *J. Geophys. Res.*, VOL. 112, B06420, doi:10.1029/2005JB003868.

[17] *Slemmons, D.B., 1982*: Determination of design earthquake magnitude for micronation. P. 119-130, in University of Washington. Proceedings of the 3rd International Earthquake Microzonation Conference. Seattle, 28 juin-1er juillet 1982, Earthquake Society, vol. 1., 805 p.

[18] *Socquet, A., W. Simons, C. Vigny, R. McCaffrey, C. Subarya, D. Sarsito, B. Ambrosius, & W. Spakman, 2006*: Microblock rotations and fault coupling in SE Asia triple junction (Sulawesi, Indonesia) from GPS and earthquake slip vector data, *J. Geophys. Res.*, 111, B08409, doi:10.1029/2005JB003963.

[19] *Tapponnier, P., G. Peltzer, A. Y. Ledain, R. Armijo, & P. Cobbold, 1982*: Propagating extrusion tectonics in Asia-New insights from simple experiments with plasticine, *Geology*, 10(12), 611-616.

[20] *Phan Trọng Trịnh, Ngô Văn Liêm, Vy Quốc Hải, Trần Đình Tô, Nguyễn Văn Hương, Hoàng Quang Vinh, Bùi Văn Thơm, Nguyễn Đăng Túc, Nguyễn Quang Xuyên, Vũ Tuấn Hùng, Nguyễn Huy Thịnh, Trần Quốc Hùng, Lê Minh*

Tùng, Đinh Văn Thế, Bùi Thị Thảo, Nguyễn Việt Tiến và Nguyễn Tuấn Anh, 2009: Kết quả ban đầu về tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông, Tạp chí Địa chất số: 310/1-2.

[21] *Well, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994*: New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 84, p.974-1002.

[22] *Wilson P., J. Rais, Ch. Reigber, E. Reinhard, B. A. C. Ambrosius, X. Le Pichon, M. Kasser, P. Suharto, D. A. Majid, D. Yaakub, R. Almeda & C. Boonphakdee, 1998*: Study Provides Data on Active Plate Tectonics in Southeast Asia Region, *Eos Trans. AGU*, 79(45), 545-549.

[23] *Woodward - Clyde Consultants, 1983*: Seismic exposure study, offshore, southern California. Report to Texaco USA, New Orleans, 178p.

[24] *Wyss, M., 1979*: Estimating maximum expectable magnitude of earthquake from fault dimension. *Geology*, vol. 7, no 7, p.336-340.

[25] *Zhang, P., Z. Shen, M. Wang, W. Gan, R. Burgmann, P. Molnar, Q. Wang, Z. Niu, J. Sun, J. Wu, H. Sun, & X. You, 2004*: Continuous deformation of the Tibetan Plateau from Global Positioning System data, *Geology*, 32, 809-812.

SUMMARY

Neotectonics and geological hazards in Vietnam Sea and surroundings

This paper presents velocities of present-day tectonic movements in Vietnam and surroundings determined from GPS campaigns from 2007 to 2010. Absolute displacements and velocities of GPS stations in the IGS05 frame were determined. The result indicates that Lang station (LANG) moves eastward with slip rate of ~39mm/yr, southward with slip rate of ~11 mm/yr. The rate of Bach Long Vi (BLV1) is ~30mm/yr for the eastern component and ~11mm/yr for southern component. Song Tu Tay (STT1) moves eastwards with the rate of ~24mm/yr and southwards of 8mm/yr. Con Dao (CDA1) moves to the east with the rate of ~22mm/yr and to the south with the rate of ~6mm/yr. Dong Hoi (DOHO) move to the east with the rate of ~27mm/yr and to the south with the rate of ~8mm/yr. Hue (HUES) moves to the east with the rate of ~30 mm/yr and to the south with the rate of ~12mm/yr. HOCHM move to the east with the rate of ~22mm/yr and to the south with the rate of ~10mm/yr. Calculate errors for both direction vary in 0.6 - 1mm/yr.

Based on seismic profiles, focal mechanisms and regional stress field, several fault segments in Pliocene - Quaternary sediments in East Vietnam Sea has been identified in Red River, Cuu Long and Nam Con Son basins with maximum of 15 km in length. Actual stress regimes in Vietnam and south Hainan basins being transitional demonstrate no source of large tsunami closing to Vietnam shelf. The subduction zone located at north Borneo is not active at present. Only Manila subduction zone is the source for large tsunami in East Vietnam Sea. Based on gravimetric field, topography, distribution of focal mechanisms in various depths and the rate of actual tectonic movement, 5 fault zones of the Manila subduction zone have been divided. The fault zones F3 and F4 can produce respectively maximum earthquake of 8.1 and 8.4. Modeling of displacement of fault zone F4 from the depth 15 to 20 km, 2m high of tsunami at Quang Ngai can be occurred. The depth of tsunami flood can be up to 4-5 m at some places in Quang Ngai and Da Nang.