

CHUYỂN ĐỘNG KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ CÁC VÙNG LÂN CẬN

PHAN TRỌNG TRỊNH¹, NGÔ VĂN LIÊM¹, TRẦN ĐÌNH TÔ¹, VY QUỐC HẢI¹, JOHN BEAVAN³, NGUYỄN VĂN HƯỚNG¹, HOÀNG QUANG VINH¹, BÙI VĂN THOM¹, NGUYỄN QUANG XUYỀN¹, NGUYỄN ĐĂNG TÚC¹, ĐINH VĂN THUẬN¹, NGUYỄN TRỌNG TẤN¹, NGUYỄN VIỆT THUẬN¹, LÊ HUY MINH², BÙI THỊ THẢO¹, NGUYỄN HUY THỊNH¹, ĐINH VĂN THẾ¹, LÊ MINH TÙNG¹, TRẦN QUỐC HÙNG¹, NGUYỄN VIỆT TIÊN¹

¹ Viện Địa chất, Viện Khoa học và Công nghệ VN, ² Viện Vật lý Địa cầu, Viện Khoa học và Công nghệ VN, ³ Viện Khoa học Địa chất và Hạt nhân, New Zealand

Tóm tắt: Bài báo trình bày những kết quả mới nhất về chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên khu vực Biển Đông dựa vào phân tích đo lập GPS của đề tài KC09,11/06-10, KC09,11BS/06-10 và tổng hợp số liệu của nhiều tác giả trong khoảng thời gian 1994-2009. Đáng lưu ý là tài liệu của các đề án GEODYSSSEA, Trung Quốc, Tổ chức Trắc địa các nước châu Á - Thái Bình Dương và các kết quả đo khu vực ở Philippines, Indonesia, Thái Lan, Đài Loan. Các trạm đo GPS Láng (LANG), Bạch Long Vĩ (BLV1), Song Tử Tây (STTI), Côn Đảo (CDA1), Huế (HUES), Đông Hới (DOHO) và Hồ Chi Minh (HOCM) đã được liên kết với các trạm đo GPS trong hệ thống đo IGS quốc tế là COCO, BAKO, NTUS, PIMO, KUNM và WUHN. Chúng tôi đã xác định sự chuyển dịch và tốc độ chuyển dịch tuyệt đối của các điểm trong hệ tọa độ toàn cầu IGS05. Kết quả nhận được là trạm LANG chuyển dịch về phía đông với tốc độ ~39 mm/năm, về phía nam là ~13 mm/năm; trạm BLV1 chuyển dịch về phía đông với tốc độ ~29 mm/năm, và về phía nam ~14 mm/năm; trạm STTI chuyển dịch về phía đông với tốc độ ~22,5 mm/năm và về phía nam ~10,5 mm/năm; trạm CDA1 chuyển dịch về phía đông ~21 mm/năm và về phía nam ~10 mm/năm; trạm DOHO chuyển dịch về phía đông ~26,8 mm/năm và về phía nam ~9 mm/năm; trạm HUES chuyển dịch về phía đông ~30 mm/năm và về phía nam ~20 mm/năm; cuối cùng, trạm HOCM chuyển dịch về phía đông ~21,5 mm/năm và về phía nam ~12 mm/năm.

MỞ ĐẦU

Biển Đông được xem là biển rìa thuộc vành đai Tây Thái Bình Dương. Rìa đông của Biển Đông khá phức tạp với hai đới hút chìm ngược hướng, trong đó đới hút chìm chạy dọc máng Manila có hướng cắm về phía đông, trong khi một đới hút chìm khác chạy dọc rìa đông Philippines có hướng cắm về phía tây. Về phía nam, máng Ấn-Úc hiện đang cắm xuống máng Âu-Á dọc theo đới hút chìm Sunda với tốc độ 6-7 cm/năm. Phân bố chấn tiêu động đất chính và dư chấn theo mặt cắt cũng phản ánh hướng cắm của máng Ấn-Australia chúi xuống dưới máng Âu-Á. Những trận động đất lớn nhất trên thế giới thường xảy ra tại ranh giới hội tụ của hai máng, nơi có sự xiết ép mạnh mẽ. Trong 10 trận động đất lớn nhất trong thời gian gần đây, 9 trận đều gắn liền với hoạt động xiết ép của đới hút chìm ở rìa biển Thái Bình Dương. Trận động đất tại Sumatra cũng không ngoài ngoại lệ là liên quan tới đới hoạt động xiết ép của đới hút chìm Sunda giữa máng Ấn- Australia và máng Âu-Á. Phần lớn vùng ĐN Á hiện nay được xếp vào khối Sunda gồm Việt Nam, Lào, Campuchia, Thái Lan, bán đảo Malaysia, Sumatra, Borneo, Java và phía đông và nam biển Đông bị bao bọc bởi các đới hút chìm tiếp giáp với máng Philippines, máng Australia, máng Ấn Độ. Về phía bắc khối Sunda bị bao bởi phần đông nam của đới va chạm Ấn Độ - Âu Á và Hoa Nam. Hầu

hết các trận động đất đều phân bố trong đới hút chìm và đới va chạm. Bên trong đới Sunda chỉ có những trận động đất yếu và với độ sâu chấn tiêu rất 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. Tuy nhiên, xác định chuyển dịch giữa khối Sunda và các khối lân cận khó có thể xác định được từ các vectơ chuyển dịch suy ra từ động đất.

Trải qua 3 thập kỷ, nhiều mô hình về biến dạng thạch quyển đã được đề xuất. Có thể chia ra 2 luận điểm chính. Luận điểm thứ nhất cho rằng, biến dạng thạch quyển tuân theo quy luật chảy nhớt trong môi trường liên tục [4]. Luận điểm thứ 2 là chuyển dịch của khối thạch quyển cứng dọc theo các đới đứt gãy hẹp [20]. Việc xác định chính xác chuyển dịch cho phép hiểu rõ hơn các mô hình này hoặc cho phép hiệu chỉnh các mô hình trên.

Trước đây, khối Sunda thường được xem là phần mở rộng của mảng Châu Á. Tuy nhiên, những nghiên cứu địa chất và địa vật lý ở bán đảo Indonesia cho thấy ĐN Á chuyển dịch khác hẳn mảng Âu-Á. Khẳng định những quan sát đó chỉ trở thành hiện thực 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 ĐN 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 [Wilson *et al.*, 1998]. Mặc dù tất cả các trạm đo GPS với xấp xỉ bậc nhất cho thấy ĐN Á chuyển dịch về phía đông cỡ 1 cm/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 Hoa Nam. Từ năm 1998, mạng đo GPS ở ĐN 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 và Thái Lan. Kết quả nghiên cứu này giúp mở rộng thời gian đo trong 1 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 tốc độ 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. Tốc độ 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 3 chiều. Phương sai lần lượt là 3, 5 và 11 mm theo phương B-N, Đ-T 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 3 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 các Đề tài trọng điểm KC09,11/06-10 và KC09,11BS,06-10. Với mục đích chính là làm sáng tỏ quá trình chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông, bài viết còn đánh giá mức độ biến dạng của của đới đứt gãy Manila, đứt gãy Bắc Borneo, đứt gãy Sườn dốc Đông Việt Nam (Kinh tuyến 110), là những đứt gãy có khả năng sinh chấn cao nhất trên Biển Đông.

I. KẾT QUẢ XÁC ĐỊNH TỐC ĐỘ CHUYỂN DỊCH KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI TRÊN BIỂN ĐÔNG

Để xác định được tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại, các phương pháp trắc địa truyền thống từng được sử dụng, như phương pháp đo thủy chuẩn và phương pháp tam giác đạc. Trong quy mô

nhỏ, các phương pháp trên có độ chính xác cao nhưng tỏ ra hạn chế trên một quy mô rộng lớn. Để liên kết trên diện rộng các phương pháp trắc địa không gian như DOPPLER, VLBI (Very Long Baseline Interference), định vị toàn cầu GPS đã được áp dụng. Công nghệ GPS, với việc sử dụng các máy thu 2 tần số và các phần mềm xử lý chuyên dụng có kết hợp với các dữ liệu hỗ trợ được mô hình hoá như tầng điện ly, tầng đối lưu, mô hình khí quyển, mô hình thủy triều, đã giúp các tính toán về vị trí và vận tốc chuyển dịch của vỏ Trái đất đạt tới sai số cỡ milimet trong phạm vi rộng tới hàng ngàn km. Để tính toán với độ chính xác cao các chuyển dịch kiến tạo hiện đại bằng công nghệ GPS, các trạm phục vụ GPS quốc tế (International GPS Service - IGS) đã xây dựng, thu và xử lý số liệu liên tục của mạng lưới các trạm IGS trên phạm vi toàn cầu và đã tính được hướng cũng như vận tốc chuyển dịch của các mảng kiến tạo của Trái đất ở nhiều quy mô và mức độ khác nhau với độ chính xác ngày càng cao. Nhờ những số liệu đo liên tục tại các trạm IGS, cũng như các tham số hỗ trợ về tốc độ chuyển dịch của các trạm IGS, ta có thể xác định được tốc độ chuyển dịch tuyệt đối của các trạm GPS.

Chúng tôi đã tiến hành đo 3 đợt tại các trạm Láng, Bạch Long Vĩ, Song Tử Tây, Côn Đảo, Đồng Hới, Huế, Hồ Chí Minh trong 3 năm 2007, 2008 và 2009. Tại mỗi đợt đo, chúng tôi 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), Tp. 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 tổ chức GPS quốc tế phục vụ địa động lực (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 223 km (Láng - Bạch Long Vĩ).

Sử dụng hệ tọa độ toàn cầu IGS05, với tốc độ 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 tốc độ 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, v.v..

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 do Viện Địa chất và Hạt nhân New Zealand thực hiện (GNS), BERNESE 5,0 do Viện Địa chất, Viện Khoa học và Công nghệ VN thực hiện (VĐC). 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 [13].

II. CHUYỂN DỊCH KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI TRONG KHÓI SUNDA

Nghiên cứu về khu vực Nam và Đông Nam châu Á, đề án GEODYSSSEA (Geodynamics of South and South-East Asia) thông qua 3 chu kỳ đo 1994, 1996 và 1998 đã xác định được tốc độ và hướng chuyển dịch tuyệt đối của vỏ Trái đất trong khu vực này với sai số 4-7 mm theo mặt bằng và 10 mm theo chiều cao [10]. Tiếp tục Chương trình GEODYSSSEA là chương trình hợp tác giữa châu Âu và ASEAN “Southeast Asia: Mastering Environmental Research with

Geodetic Space Techniques” (SEAMERGES) với sự tham gia của các nước châu Âu với Nhật, Indonesia, Malaysia và Thái Lan với hơn 100 điểm đo và sự mở rộng phạm vi nghiên cứu. Trung Quốc đã thiết lập mạng lưới quan trắc chuyển dịch vỏ Trái đất từ năm 1997 trong Chương trình “Crustal Movement Observation Network of China” (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 Alty Tagh đã hấp thụ 90% chuyển dịch tương đối giữa mảng Ấn-Australia và mảng Châu Á [6, 12, 16, 21]. Ở rìa đông của cao nguyên Tây Tạng, chuyển dịch về phía đông, tức là rìa tây của Tứ Xuyên, trong khi ở bắc Vân Nam, chuyển dịch về đông nam và ở nam Vân Nam chuyển dịch chuyển thành nam-đông nam. Tại mảng Hoa Nam, tốc độ chuyển dịch về phía đông đạt khoảng 6-10 mm/năm [21]. Trận động đất xảy ra ở Tứ Xuyên ngày 12/5/2008 với chấn cấp 7,9 là kết quả hấp thụ của chuyển dịch về phía đông qua ranh giới đứt gãy chòm nghịch ở rìa tây Tứ Xuyên.

Đáng chú ý là kết quả của các nhà trắc địa của các nước châu Á và Thái Bình Dương, “Permanent Committee for GIS Infrastructure for Asia and the Pacific” (PCGIAP) [Dawson *et al.*, 2004]. Hợp tác 11 nước trong đó có Australia, New Zealand, 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 đến 2002. Phía Việt Nam tham gia đo 4 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 lặp của 3 kỳ đo trong khoảng thời gian 2007-2009 của chúng tôi là tương đối ngắn, 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:

1. 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 chịu sự chi phối chủ yếu của va chạm giữa mảng Ấn-Australia và mảng Âu-Á.

2. Sự suy giảm tốc độ 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 giãn 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 trực 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, tốc độ 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).

Bảng 1. Kết quả xử lý số liệu GPS chu kỳ 2007-2009

Tên trạm GPS	Phần mềm xử lý	Tốc độ chuyển dịch về phía bắc		Tốc độ chuyển dịch về phía đông		Tốc độ 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)
BLV1	BERNESE 4,2	-15,54	0,15	30,37	0,17	0,00	0,02
	GAMMIT	-14,76	1,58	29,36	1,63	-0,17	1,95
	BERNESE 5,0	-14,70	0,20	27,40	0,30	-0,40	0,90

	(GNS)						
	BERNESE 5,0 (VĐC)	-13,70	0,30	29,50	0,40	11,30	1,30
LANG	BERNESE 4,2	-13,09	0,16	41,18	0,19	-0,01	0,02
	GAMMIT	-12,43	1,58	39,47	1,63	-15,03	2,24
	BERNESE 5,0 (GNS)	-12,50	0,20	38,00	0,20	-22,70	0,70
	BERNESE 5,0 (VĐC)	-12,40	0,30	40,20	0,40	-16,40	1,40
DOHO	BERNESE 4,2	-7,68	0,17	28,21	0,20	-0,01	0,03
	GAMMIT	-10,26	1,60	26,79	1,68	-2,19	2,45
	BERNESE 5,0 (GNS)	-9,10	0,30	24,60	0,40	-15,20	1,50
HUES	BERNESE 4,2	-21,82	0,17	29,88	0,21	0,00	0,02
	GAMMIT	-20,43	1,63	30,06	1,72	7,30	2,80
	BERNESE 5,0 (GNS)	-19,80	0,20	29,70	0,30	10,10	0,90
STT1	BERNESE 4,2	-11,63	0,15	23,46	0,19	0,00	0,02
	GAMMIT	-10,11	1,65	22,55	1,76	-0,95	3,37
	BERNESE 5,0 (GNS)	-10,30	0,30	21,60	0,30	-7,60	1,30
	BERNESE 5,0 (VĐC)	-11,60	0,30	23,10	0,40	6,30	1,40
CDA1	BERNESE 4,2	-12,38	0,15	22,15	0,18	0,00	0,02
	GAMMIT	-10,76	1,63	20,85	1,70	-6,06	2,46
	BERNESE 5,0 (GNS)	-7,40	0,20	20,40	0,30	-9,70	1,00
	BERNESE 5,0 (VĐC)	-9,80	0,30	21,30	0,40	-7,20	1,50
HOCM	BERNESE 4,2	-11,24	0,17	22,83	0,21	-0,01	0,03
	GAMMIT	-13,46	1,65	21,50	1,76	-4,64	3,07
	BERNESE 5,0 (GNS)	-11,50	0,20	21,70	0,30	-3,10	1,00
	BERNESE 5,0 (VĐC)	-13,20	0,30	20,90	0,50	-1,20	1,50

3. Phía bắc biển Đông đang đóng lại theo phương tây tây bắc - đông đông nam với tốc độ cỡ 77 mm/năm. Hướng của véc tơ chuyển dịch tại Láng, Bạch Long Vĩ, Hải Nam, Hoàng Sa hầu như ngược với hướng véc tơ chuyển dịch ở PIMO, phản ánh hướng chuyển dịch của mảng bắc Biển Đông cắm dưới Philippines tại vực Manila về phía đông đông nam. Sự đóng lại của biển Đông dọc theo đới hút chìm Manila có tốc độ không đều nhau, phía bắc đảo Luzon tốc độ 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 ủng hộ cho tính phân đoạn của đới hút chìm Manila.

4. 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, tốc độ chuyển dịch ngang nhỏ hơn ở phía bắc. Biển Đông ở phần phía nam không bị đóng lại. Tốc độ biến dạng nhỏ hơn phía bắc biển Đông.

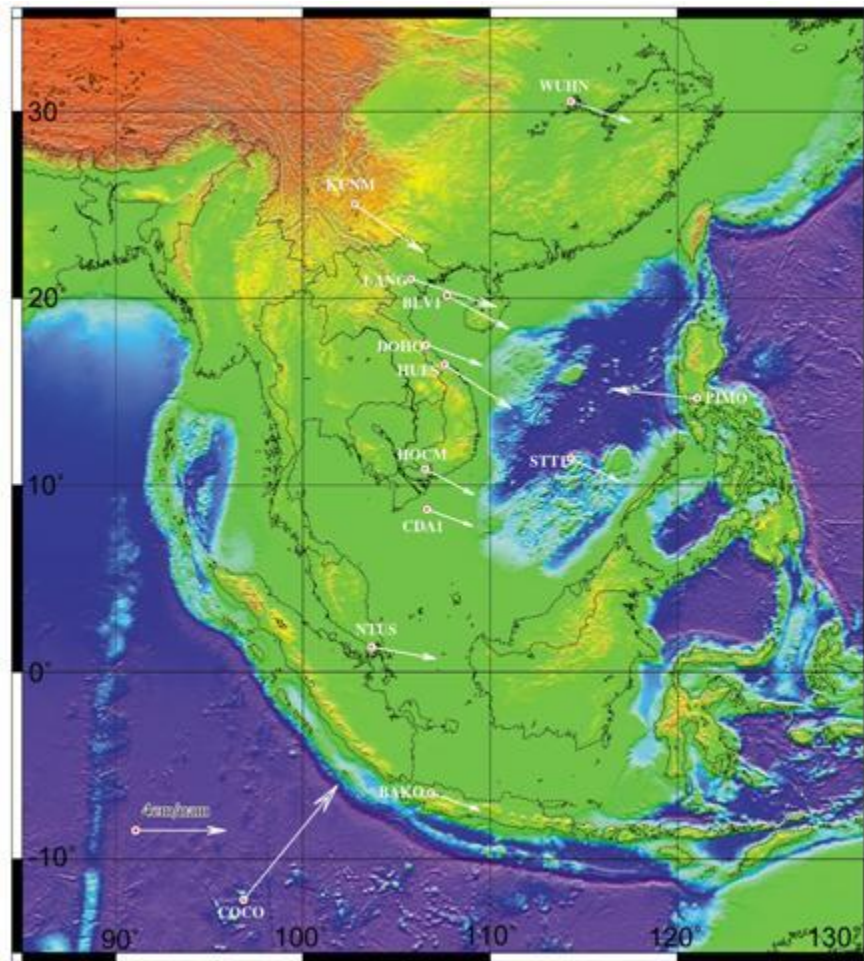
5. So sánh các vectơ chuyển dịch ở Thái Lan, Vũng Tàu, Malaysia và Palawan, thì vectơ chuyển dịch ở Côn Đảo và Song Tử Tây có nhỏ hơn và hơi lệch về phía đông nam. Nhìn chung, vùng nam và tây nam biển Đông hầu như không bị biến dạng lớn. Với kết quả đo tại Côn Đảo, Tp. Hồ Chí Minh và Song Tử Tây, đối 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 [18]. Khi cố định khối Sunda, Simons 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 tốc độ chuyển dịch tại đây, lớn hơn rất nhiều so với thay đổi tốc độ ở rìa bắc Borneo với khối Sunda.

6. 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 Kinh tuyến 110 đang hoạt động thì tốc độ chuyển dịch rất nhỏ. Chúng tôi sẽ chính xác hoá tốc độ tối đa của đới đứt gãy này trong những đợt đo tiếp theo.

7. Biến dạng giữa các mảng và trong mảng Đông Nam Á được thể hiện trên Hình 2. Từ phân tích tốc độ tensor biến dạng, có thể xác định được vùng có tốc độ 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 kéo tách 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 Yjogakarta năm 2006. Nếu như đứt gãy đang hoạt động đó được khẳng định thì chỉ phần tây của Java thuộc về Sunda và là đứt gãy trượt bằng, hướng về đông bắc được coi là một phần của Sunda (hoặc thêm Sunda). Tốc độ 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°B và 5°B, bắc Sulawesi, đới Philippines. Rìa đông của Sunda là 3 mảng biển sâu tây vòng cung đảo Philippines Cotabato, Negros và vực Manila. Về phía bắc, ranh giới của Sunda khó có thể xác định nhờ phân tích tốc độ biến dạng: biển Đông hầu như không biến dạng và khối Hoa Nam biến dạng rất yếu. Mặc dù trong khối Hoa Nam không có dấu hiệu biến dạng, nhưng nó có ranh giới về phía tây là đứt gãy Longmenshan và đứt gãy Xiaojiang. Dọc theo các đới đứt gãy này là một đới biến dạng mạnh, gây ra do va chạm giữa mảng Ấn-Australia và mảng Âu-A, 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. Tốc độ biến dạng tăng cao ở tây bắc Thái Lan khẳng định ranh giới phía bắc của Sunda nằm gần Myanmar.

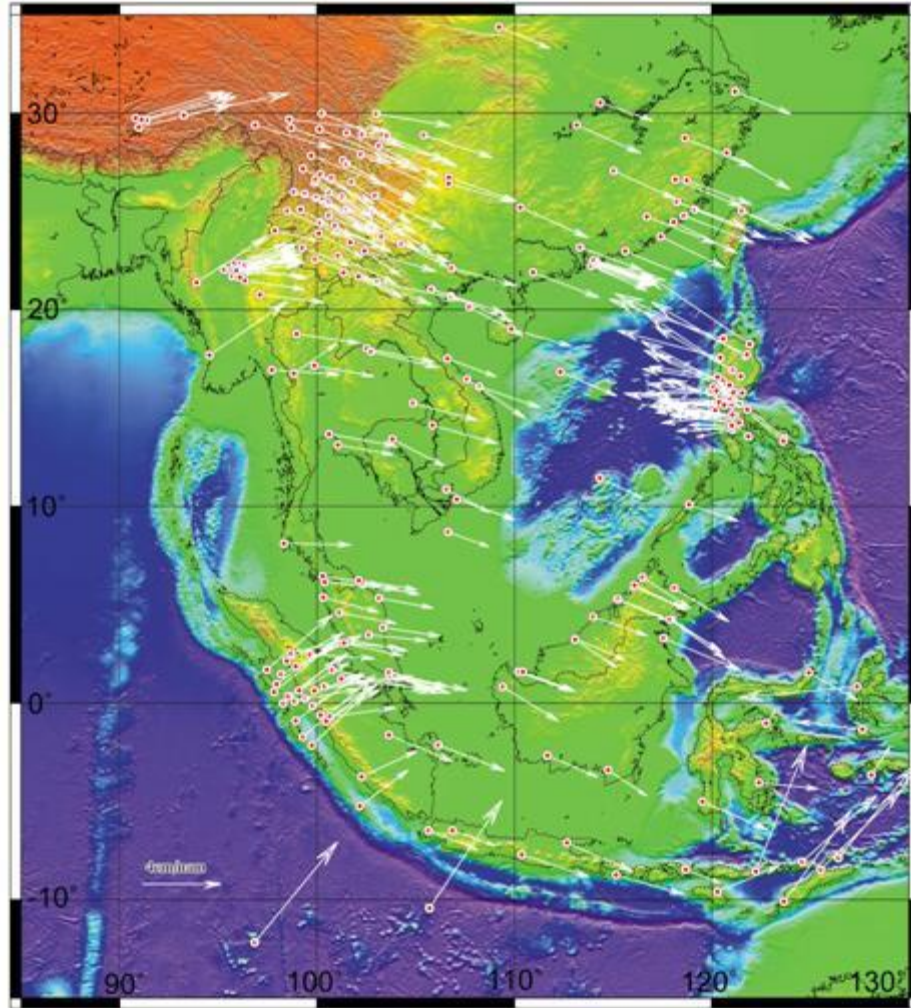
Về phía đông bắc, phần tây nam của đới đứt gãy Sông Hồng [8] biến dạng tương thích với chuyển dịch trượt băng phải. Tuy nhiên tốc độ biến dạng qua ranh giới mảng này rất nhỏ trong giai đoạn hiện tại. Tại điểm này, chỉ sử dụng phân tích biến dạng từ mạng lưới lớn rất khó có thể kết luận các khối Hoa Nam và Sunda có sự khác nhau về chuyển dịch hay không [18].

8. 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 trời (extrusion) [20] hơn là mô hình chảy nhớt và biến dạng liên tục [4].



Hình 1. Sơ đồ tốc độ chuyển dịch tuyệt đối trong IGS05 của các trạm GPS trên Biển Đông, theo 3 đợt đo trong các năm 2007-2008-2009.

Trong bài viết này, chúng tôi chưa tính tốc độ xoay của biển Đông do khoảng thời gian đo quá ngắn, tuy nhiên có thể tổng hợp tốc độ xoay của biển Đông nói riêng và khối Sunda nói chung theo các tác giả khác nhau, được trình bày ở Bảng 2.



Hình 2. Sơ đồ tổng hợp các vectơ vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại theo kết quả đo của chương trình GEODYSSSEA, chương trình PCGIAP, chương trình SEAMERGES, chương trình CMONOC, [1-3; Dawson và nnk., 2004; 5-7, 15, 16, 18, 19, 21] và kết quả đo GPS của tập thể tác giả bài báo này.

KẾT LUẬN

Mặc dù mới chỉ qua 3 kỳ đo trong các năm 2007-2008-2009, những nét cơ bản về chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên biển Đông đã được xác định với tốc độ đóng ở phía bắc biển Đông trong khoảng 80 mm/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 TB-ĐN. Vai trò của va chạm giữa mảng Ấn-Australia 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 ĐĐN ở phần phía bắc biển Đông chuyển sang hướng ĐN 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. Ở vùng nam và tây nam tốc độ biến dạng khá nhỏ, điều này càng khẳng định nguy cơ động đất và sóng thần lớn nhất trên biển Đông là đứt gãy ứng với vực Manila-Philippines. Dấu hiệu hoạt động của đứt gãy Sườn dốc Đông Việt Nam (Kinh tuyến 110) không rõ ràng, nếu có thì tốc độ chuyển dịch rất nhỏ.

Bài viết này là kết quả của Đề tài trọng điểm cấp Nhà nước KC.09,11/06-10, nhiệm vụ bổ sung KC.09,11BS/06-10 và sự hỗ trợ của Đề tài Nghiên cứu cơ bản mã số: 105,06,36,09.

Bảng 2. Các vectơ xoay tuyệt đối và tương đối của Biển Đông, Âu-Á và Hoa Nam

Tác giả	Hệ tọa độ	Số trạm tính toán	Các tham số về xoay			Sai số			
			Vĩ B	Kinh Đ	w/triệu năm	smaj/vĩ	smin/kinh	Góc phương vị	X2
Vectơ xoay tuyệt đối									
<i>Khối Sunda</i>									
Wilson et al. [1998]	ITRF94	12	31,8	-46	0,28	-	-	-	-
Simons et al. [17]	ITRF96	12	51	-113	0,23	-	-	-	-
Michel et al. [9]	ITRF97	15	59,7	-102,7	0,34 ± 0,01	2,9	3,9	NA	-
Michel et al. [10]	ITRF97	10	56,0	-102,7	0,339 ±	-	-	-	-
Simons et al. [18]	ITRF00	28	49,0	-94,2	0,007	1,9	0,3	111	1,03
Sella et al. [2002]	ITRF97	2	38,9	-86,9	0,336 ±	10,2	0,8	110	0,24
Kreemer et al. [2003]	NNR	9	47,3	-90,2	0,007	1,9	0,5	109	3,11
Bock et al. [2]	ITRF00	16	49,8	-95,9	0,393 ±	3,5	1,0	121	1,20
Prawiro et al. [14]	ITRF00	2	32,6	-86,8	0,062	7,0	0,8	113	4,00
					0,392 ±				
					0,008				
					0,320 ±				
					0,010				
					0,462 ±				
					0,064				
<i>Khối Yangtze (Hoa Nam)</i>									
Shen et al. [16]	ITRF00	81	61,2	-115,6	0,322 ±	1,4	0,1	134	1,04
Australian Plate					0,002				
Altamimi et al. [2002]	ITRF00	4	32,3	39,4	0,614 ±	0,7	0,8	NA	-
Beavan et al. [1]	ITRF00	11	32,8	37,5	0,006	0,4	0,1	161	1,08
Fernandes et al. [2003]	ITRF00	11	32,4	38,8	0,621 ±	15	0,5	151	-
Wallace et al. [2004]	ITRF00	11	32,0	39,1	0,002	0,6	0,3	163	-
Wallace et al. [2004]	ITRF00	6	32,9	38,1	0,621 ±	0,9	0,3	151	1,01
					0,005				
					0,621 ±				
					0,003				
					0,621 ±				
					0,004				
Vectơ xoay tương đối									
<i>Sunda /Âu-Á</i>									
Simons et al. [18]	Calais et al. [2003]	28/15d	36,2	-70,0	0,101 ±	5,8	2,2	78	1,02
					0,010				
<i>Sunda/Australia</i>									
Simons et al. [18]	Simons et al. [18]	28/6d	-6,9	-128,2	0,694 ±	1,2	0,5	14	1,03
					0,009				
<i>Sunda/Yangtze</i>									
Simons et al. [18]	Shen et al. [16]	28/81d	-17,1	57,2	0,099 ±	2,9	1,7	153	1,03
					0,015				

VĂN LIỆU

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. and 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. **England P. and G. Houseman, 1986.** Finite strain calculations of continental deformation: 2. Comparison with the India-Asia collision zone. *J. Geophys. Res.*, 91/B3 : 3664-3676.
5. **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.
6. **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. Geophys. Res.*, 112/B08416, doi: 10,1029/2005JB004120.
7. **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.
8. **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.
9. **Michel G. W., M. Becker, D. Angermann, C. Reigber, E. Reinhart, 2000.** Crustal motion in E and SE Asia from GPS measurements. *Earth Planet. Space*, 52/10 : 713-720.
10. **Michel G. et al., 2001.** Crustal motion and block behaviour in SE Asia from GPS measurements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 187 : 239-244.
11. **Ngô Văn Liêm, Phan Trọng Trịnh, 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*, 2. Hà Nội.
12. **Niu Z., Wang M. et al., 2005.** Contemporary velocity field of crustal movement of Chinese mainland from Global Positioning System measurements. *Chinese Sci. Bull.* 2005/50 : 1-3. Beijing.
13. **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, Nguyễn Tuấn Anh, 2009.** Kết quả ban đầu về tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên biển Đông. *TC Địa chất*, A/310 : 1-9. Hà Nội.
14. **Prawirodirdjo L. and Y. Bock, 2004.** Instantaneous global plate motion model from 12 years of continuous GPS observations. *J. Geophys. Res.*, 109/B08405, doi:10.1029/2003JB002944.
15. **Rangin C., X. le Pichon, S. Mazzotti, M. Pubellier, N. Chamot-Rooke, M. Aurelio, A. Walpersdorf, R. Quebral, 1999.** Plate convergence measured by GPS across the

Sundaland/Philippines Sea plate deformed boundary: The Philippines and eastern Indonesia. *Geophys. J. Int.*, 139 : 296-316.

16. 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.

17. Simons W.J.F., B.A.C. Ambrosius, R. Noomen, D. Angermann, P. Wilson, M. Becker, E. Reinhart, A. Walpersdorf, C. Vigny, 1999. Observing plate motions in SE Asia: Geodetic results of the GEODYSSSEA Project. *Geophys. Res. Lett.*, 26/14 : 2081-2084.

18. 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 SE Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *J. Geophys. Res.*, 112/B06420, doi:10.1029/2005JB003868.

19. Socquet A., W. Simons, C. Vigny, R. McCaffrey, C. Subarya, D. Sarsito, B. Ambrosius, W. Spakman, 2006. Microblock rotation 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.

20. 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.

21. 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.