

CHUYỂN ĐỘNG KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI VÀ ĐỘNG ĐẤT, SÓNG THẦN Ở VÙNG BIỂN VIỆT NAM VÀ LÂN CẬN

**Phan Trọng Trinh, Nguyễn Văn Hường, Ngô Văn Liêm, Trần Đình Tô,
Vy Quốc Hải, Hoàng Quang Vinh, Bùi Văn Thơm, Nguyễn Quang Xuyên,
Nguyễn Viết Thuận, Bùi Thị Thảo**

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

Tóm tắt:

Báo cáo trình bày tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại Việt Nam và lân cận nhờ phân tích đo lặp GPS trong các chu kỳ đo 2007-2010 của đề tài trọng điểm cấp nhà nước KC.09.11/06-10 "Nghiên cứu hoạt động kiến tạo trẻ, kiến tạo hiện đại và địa động lực Biển Đông Việt Nam làm cơ sở khoa học cho việc dự báo các tai biến liên quan và đề xuất các giải pháp phòng tránh" và đề tài bổ sung KC.09.11BS.06-10 "Nghiên cứu mối nguy cơ tràn dầu và các hiện cổ địa chất tự nhiên trên vùng biển Việt Nam". Chúng tôi đã xác định chuyển dịch và tốc độ chuyển dịch tuyệt đối của các điểm trong hệ tọa độ toàn cầu IGS05. Kết quả nhận được trạm LANG (LANG) chuyển dịch về phía Đông với tốc độ ~ 39 mm/năm, chuyển dịch về phía Nam với tốc độ ~ 11 mm/năm. Tốc độ chuyển dịch của trạm Bạch Long Vĩ (BLV1) về phía Đông là ~ 30 mm/năm đồng thời chuyển dịch về phía Nam với tốc độ ~ 11 mm/năm. Trạm Song Tử Tây (STT1) chuyển dịch về phía Đông với tốc độ ~ 24 mm/năm và chuyển dịch về phía Nam với tốc độ ~ 8 mm/năm. Tốc độ chuyển dịch về phía Đông của trạm Côn Đảo (CDA1) ~ 22 mm/năm và chuyển dịch về phía Nam ~ 6 mm/năm. Tốc độ chuyển dịch về phía Đông của trạm Đồng Hới (DOHO) là ~ 27 mm/năm và chuyển dịch về phía Nam là ~ 8 mm/năm. Tốc độ chuyển dịch về phía Đông của trạm Huế (HUES) ~ 30 mm/năm và chuyển dịch theo hướng Nam ~ 12 mm/năm. Tốc độ chuyển dịch về phía Đông của trạm Hồ Chí Minh (HOCHM) ~ 22 mm/năm và chuyển dịch theo hướng Nam ~ 10 mm/năm. Sai số tính toán theo các phương nằm trong khoảng 0,6 - 1mm/năm.

Trên cơ sở nghiên cứu mặt cắt đứt chắn, cơ cấu chấn tiêu động đất, trường ứng suất khu vực, chúng tôi đã vạch ra được các đới đứt gãy Pliocen - Đệ Tứ trên Biển Đông Việt Nam. Trong phạm vi thềm lục địa Việt Nam, các đứt gãy phân thành các đoạn ngắn không kéo dài quá 15 km. Các đới đứt gãy có khả năng sinh chấn là đứt gãy trượt bằng không có khả năng gây ra sóng thần gần bờ. Đới cuốn chìm bắc Borneo không hoạt động trong giai đoạn hiện tại. Chỉ duy nhất có đới cuốn chìm Manila có khả năng phát sinh các trận động đất gây sóng thần ảnh hưởng tới bờ biển và các đảo của Việt Nam. Phân tích địa thường trong lực, đặc điểm địa hình, địa mạo, phân bố chấn tiêu động đất, phân bố cơ cấu chấn tiêu động đất và tốc độ chuyển dịch kiến tạo có thể phân ra 5 đoạn của đới cuốn chìm Manila. Chúng tôi đánh giá 2 đoạn của đới cuốn

chìm F3 và F4 có khả năng phát sinh động đất gây sóng thần với Magnitude ngang bằng là 8.1 và 8.4. Mô phỏng sóng thần phát sinh liên quan đứt gãy F4 ở độ sâu chấn tiêu 15 km, chúng tôi đánh giá biên độ sóng thần cực đại 2 m tại Quảng Ngãi. Độ sâu ngập lụt đạt cực đại 4-5 m tại một số nơi của Quảng Ngãi, Đà Nẵng.

THE MOVEMENT OF MODERN TECTONIC AND EARTHQUAKE TSUNAMI IN VIETNAM SEA AND ADJACENT

**Phan Trọng Trinh, Nguyen Van Huong, Ngo Van Liem, Tran Dinh To,
Vũ Quốc Hải, Hoàng Quang Vinh, Bùi Văn Thom, Nguyen Quang Xuyen,
Nguyen Viet Thuan, Bùi Thị Thao**

Abstract:

This paper presents velocities of present-day tectonic movement in Vietnam and surroundings determined from GPS campaigns in 2007-2010. We determine absolute displacements and velocities of GPS stations in the IGS05 frame. The result indicates that Lang station (LANG) moves Eastward with slip rate of ~39 mm/yr. Southward with slip rate of ~11 mm/yr. The rate of Bach Long Vi (BLVI) is ~30 mm/yr for the Eastern component and ~11 mm/yr for Southern component. Song Tu Tay (STT1) moves Eastwards with the rate of ~24 mm/yr and Southwards of 8 mm/yr. Con Dao (CDA1) moves to the East with the rate of ~22 mm/yr and to the South with the rate of ~6 mm/yr. Dong Hoi (DOHO) moves to the East with the rate of ~27 mm/yr and to the South with the rate of ~8 mm/yr. Hue (HUES) moves to the East with the rate of ~30 mm/yr and to the South with the rate of ~12 mm/yr. HOCM moves to the East with the rate of ~22 mm/yr and to the South with the rate of ~10 mm/yr. Calculate errors for both direction vary in 0.6 - 1 mm/y.

Based on seismic profiles, focal mechanisms and regional stress field, we make in evidence of several fault segments in Pliocene - Quaternary sediments in East Vietnam Sea. These fault segments are located in Red river, Cui long and Nam Con Son basins of maximum of 15 km long. Actual stress regime in Vietnam and South Hai Nam basins being transitional demonstrate there is no source of large tsunami closing to Vietnam shelf. The subduction zone located at North Borneo is not active in present. There is only Manila subduction zone which 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, we devise Manila subduction zone into 5 fault zones. 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, we get 2m high of tsunami at Quảng Ngãi and

also estimate the 4-5 m depth of Tsunami flood at some places in Quang Ngai, Da Nung.

Mở đầu

Biển Đông Việt Nam được xem là biển rìa thuộc vành đai Tây Thái Bình Dương. Rìa Đông của Biển Đông Việt Nam khá phức tạp với hai đới hút chìm cầm ngược hướng, trong đó đới hút chìm chạy dọc máng Manilla có hướng cầm về phía Đông trong khi một đới hút chìm khác chạy dọc rìa Đông Philipin có hướng cầm về phía Tây. Về phía Nam, mảng Ấn - Úc hiện đang cầm xuống mảng 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 cầm của mảng Ấn - Úc chúi 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 biển Thái Bình Dương. Trận động đất tại Sumatra cũng không ngoại lệ và liên quan đới 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 Malaisia, Sumatra, Borneo, Java và hầu như toàn bộ Biển Đông Việt Nam được bao quanh bởi các đới cuốn chìm, gồm mảng Philipin, mảng Úc, mảng Ấn độ được xếp vào khối Sunda. Về phía Bắc khối Sunda bị bao bởi phần đông nam của đới dung độ Ấn Độ - Âu Á và Biển Đông. Hầu hết các trận động đất đều phân bố trong đới cuốn chìm và đới dung độ. Bên trong đới Sunda chỉ có những trận động đất yếu và 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.

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 qui luật chảy nhớt trong môi trường liên tục (England và Houseman, 1986). Luận điểm thứ 2 là chuyển dịch của khối thạch quyển cứng dọc theo các đới đứt gãy hẹp (Tapponnier và nnk., 1982). 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.

Trong bài viết này, chúng tôi trình bày kết quả mới đo GPS bốn chu kỳ 2007-2008-2009-2010 trên Biển Đông Việt Nam, 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 Việt Nam, bài viết còn đánh giá mức độ biến dạng của của đới đứt gãy Manilla, đứt gãy bắc Borneo, đứt gãy kinh tuyến 110, là những đứt gãy có khả năng sinh chấn cao nhất trên Biển Đông Việt Nam.

Đề nghiên cứu cảnh báo động đất và sóng thần thì vấn đề quan trọng bậc nhất là xác định được các nguồn phát sinh động đất gây sóng thần cũng như độ lớn của chúng, từ đó mới có quyết định về phòng tránh giảm nhẹ thiệt hại do động đất và sóng thần gây ra. Nguồn phát sinh động đất, sóng thần và mức độ của chúng được xác định với độ tin cậy cao nhờ các nghiên cứu về kiến tạo trẻ và kiến tạo hiện đại. Chúng ta cần phải trả lời các

câu hỏi sau: Những đứt gãy nào trên Biển Đông Việt Nam còn dấu hiệu hoạt động trong giai đoạn hiện đại? Nếu còn hoạt động thì quy mô, cường độ và diện phân bố của chúng ra sao? Động đất cực đại nếu có là bao nhiêu? Từ đó, đánh giá biên độ sóng cực đại và độ cao ngập lụt tại các vùng, làm cơ sở khoa học cho đề xuất các giải pháp giảm thiểu và phòng tránh.

Kết quả xác định tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông Việt Nam

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. 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) (Ngô Văn Liêm, và nnk., 2008), 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 tổ chức GPS quốc tế phục vụ địa động lực (IGS) như lịch vệ tinh chính xác, mô hình lăng điên 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 dẫn 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 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 Việt Nam 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 (Phan Trọng Trinh và nnk., 2009).

Chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong khối Sunda

Nghiên cứu về khu vực nam và đông nam Châu Á, đề án GEODYSSSEA (Geodynamics of South and South - Earth 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 chiều ngang và 10 mm theo chiều đứng (Michel và nnk., 2001). 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, Thái Lan với hơn 100 điểm đo, sự 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 "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, dãy Himalaya và Altyn Tagh đã hấp thụ 90% chuyển dịch tương đối giữa mảng Ấn Úc và mảng Châu Á (Zhang và nnk, 2004; Niu và nnk, 2005; Shen và nnk, 2005; Gan và nnk, 2007). 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 trong khi ở nam Vân Nam chuyển dịch chuyển thành nam-đông nam. Tại mảng Biển Đông, tốc độ chuyển dịch về phía Đông trong khoảng 6-10mm/năm (Zhang và nnk, 2004). 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 chồm 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) (Dawson và nnk, 2004). 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 4 điểm tại Điện Biên, Đồ Sơn, Đà Nẵng và Vũng Tàu.

Chúng ta đã có thể rút ra một số nhận xét về đặc điểm biến dạng của Biển Đông Việt Nam:

- 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 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 do 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).

- 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 cằm dưới Philippine tại mảng trùng Malina về phía Đông Đông Nam. Sự đóng lại của Biển Đông Việt Nam dọc theo đới cuốn 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 cuốn chìm Manila, ranh giới phía Đông Bắc của khối Sunda khá phức tạp. Đây là bằng chứng nói lên tính phân đoạn của đới cuốn 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 Việt Nam đã thay đổi so

với phần phía Bắc Biển Đông Việt Nam, tốc độ chuyển dịch ngang nhỏ hơn ở phía Bắc. Biển Đông Việt Nam ở phần phía Nam không bị đóng lại. Tốc độ biến dạng nhỏ hơn phía Bắc Biển Đông Việt Nam.

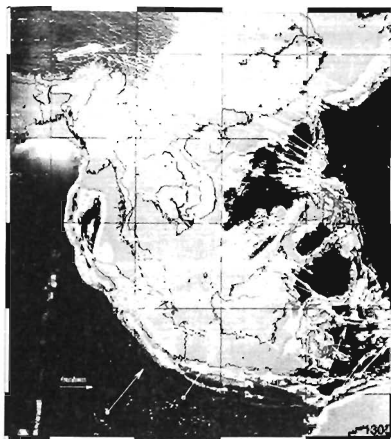
- So sánh các vectơ chuyển dịch ở Thái Lan, Vũng Tàu, Malaysia và Palawan, thì vectơ chuyển dịch ở Côn Đảo và Song Tử Tây có nhỏ hơn và hơi lệch về phía Đông nam. Nhìn chung, vùng nam và Tây Nam Biển Đông Việt Nam hầu như không bị biến dạng lớn. Với kết quả đo tại Côn Đảo, Hồ Chí Minh và Song Tử Tây, đối sánh với kết quả đo ở Palawan trong các đề án GEODYSEA và PCGIAP thì không thấy sự xiết ép xảy ra ở Bắc Borneo. Kết quả này trái ngược với kết quả của (Simons, 2007). 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 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.

- 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 tốc độ chuyển dịch rất nhỏ. Chúng tôi sẽ chính xác hoá tốc độ tối đa của đứt gãy này trong những đợt đo tiếp theo.

Bảng 1. Bảng tổng hợp kết quả tính vận tốc chuyển động tương đối với các phần mềm khác nhau với sự cố định của trạm STT1 (2007-2010)

TT	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	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	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
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
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
6	CDA1	GAMMIT	0.02	1.75	1.04	1.82	2.4	2.64
		BERNESE 5.0	1.20	0.20	0.70	0.50	-3.10	1.00

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



Hình 1: Sơ đồ tổng hợp các vec tơ 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. Beavan và nnk., 2004, Bock và nnk., 2003, Chamote-Rooke, 1999, Dawson và nnk., 2004, Gan và nnk., 2007, Galgana và nnk., 2007, Ivakuni và nnk., 2004, Michel và nnk., 2001, Shen và nnk., 2005, Simos và nnk., 2007, Socquet và nnk., 2006, Rangin và nnk., 1999, Zhang và nnk., 2004 và kết quả đo GPS của tập thể tác giả bài báo này.

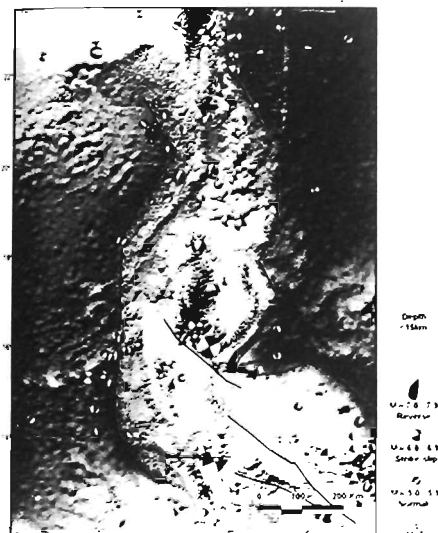
- Biến dạng giữa các mảng và trong mảng ở Đông Nam Á được thể hiện như trên hình 1. Từ phân tích tốc độ tensor biến dạng, có thể xác định được vùng có tốc độ biến dạng rất nhỏ dưới 7 nano biến dạng/năm, thể hiện vùng không biến dạng bên trong khối Sunda. Ranh giới được chính xác hoá và tóm tắt như sau: 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 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 chỉ 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). 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°N và 5°N, bắc Sulawesi, đới Philipin. Rìa Đông của Sunda là 3 mảng biển sâu vòng cung đảo Philipin Cotabato, Negros và vùng Manila. Về phía Bắc, ranh giới của Sunda khó có thể xác định nhờ phân tích tốc độ biến dạng:

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 15 km.

Đới đứt gãy sinh chấn lớn nhất trên Biển Đông Việt Nam và kế cận là đới cuốn chìm Manila với chiều dài tổng cộng hơn 900 km. Đới đứt gãy bắc Borneo trước đây được xem như là một đới cuốn chìm hiện đại (Simons và nnk., 2007). Dọc theo rìa phía Tây Biển Đông Việt Nam, 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 cuốn chìm Manila có khả năng phát sinh động đất lớn nhất. Động đất xảy ra ở đới cuốn chìm có khả năng gây ra sóng thần, ảnh hưởng tới bờ biển Việt Nam. Điểm mới trong

ngghiên cứu này là chúng tôi nhận thấy tính phân đoạn của đới cuốn chìm Manila vì thế đánh giá động đất cực đại cần dựa trên tính phân đoạn của đới cuốn chìm này. Chúng tôi cũng nhận thấy không có sự tồn tại đới cuốn chìm bắc Borneo do tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại ở bờ biển Việt Nam, Côn Đảo trùng với tốc độ và chuyển động kiến tạo hiện đại ở Bắc Borneo (Phan Trọng Trinh và nnk.) 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 dọc kinh tuyến 110, từng tồn tại như một đới đứt gãy trượt bằng trong Paleogen và



Miocen nhưng biểu hiện hoạt động trong Pliocen - Đệ Tứ rất yếu ớt. 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 trũng Sông Hồng, Bể Cửu Long và Bể 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 15 km. Hệ đứt gãy tây Phillipine 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 Philipin, áp gần sát và quần đảo Luzon ở khoảng vĩ tuyến 16. Có thể nhận thấy đới cuốn 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 cuốn chìm, phân bố chấn tiêu đông đất, cơ cấu chấn tiêu động đất, trường ứng suất theo độ sâu, tốc độ chuyển dịch. Về mặt địa hình, đới cuốn chìm Manila có phương của mảng 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 dĩ thường trọng lực Free air thể hiện rất khác nhau dọc theo các đoạn F1, F2, F3, F4 và F5. Độ sâu của từng mảng 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 cuốn chìm cũng có thể phân biệt dễ dàng nhờ góc cắm của đới cuốn 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 30 km, 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 đối 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 vết ép tập trung ở đới F4 ứng với độ sâu nhỏ hơn 15 km. Ở độ sâu dưới 15 km, chỉ quan sát thấy 1 cơ cấu chấn tiêu trượt bằng gần với đới F5, có lẽ không liên quan tới hoạt động của đới này.

Động đất cực đại

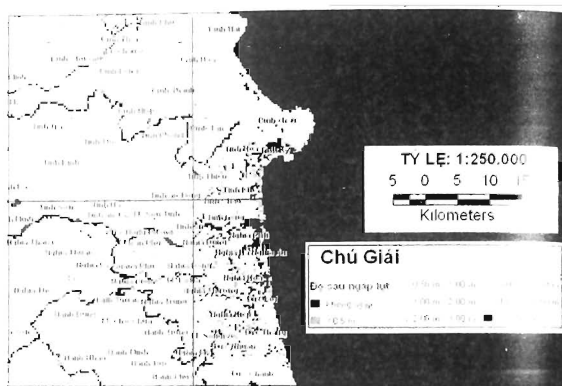
Ở những vùng có mặt đồ động đất cao hoặc những đới sinh chấn có tốc độ biến dạng lớn, nguy hiểm động đất thường được đánh giá bởi mô hình xác xuất từ số liệu của các động đất lịch sử và ghi được bằng máy. Phương pháp trên tỏ ra kém hiệu quả khi thời gian ghi quá ngắn và trên những vùng có chu kỳ lặp 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 xuất 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 qui 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, Wyss, Woodward-Clyde và tính từ Mômen động đất. Phương pháp moment động đất chiếm tỉ trọng cao so với các phương pháp khác do mang ý nghĩa vật lý cao nhất

Bảng 2: Động đất cực đại gây ra bởi F4 của trận cuốn chìm Phillipin

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:	8.3
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

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 - Coppersmith. 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 1 thể hiện kết quả đánh giá động đất cực đại cho đứt gãy F4 với chiều dài 256 km. Chiều rộng đứt gãy 50 km, góc cắm 30 độ, chuyển dịch cực đại đạt 3.7 m 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.



Hình 4: Sơ đồ dự báo ngập lụt cực đại gây ra do sóng thần tại thành phố Quảng Ngãi

DANH 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 cuốn 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 cuốn chìm Malina, trong đó có đứt gãy F3-F4 có khả năng phát sinh động đất gây sóng thần lớn nhất trên Biển Đông Việt Nam. Chúng tôi xét trường hợp xấu nhất là động đất xảy ra Trên toàn bộ F3- F4 và độ sâu chấn tiêu là 15 km. 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 1 mét ở Hoàng Sa, Trường Sa. Độ sâu ngập lụt lớn nhất 4-5m xảy ra một số cũng ở Quảng Ngãi, Đà Nẵng nhưng diện tích khá hạn chế. Độ sâu ngập lụt 2-3 m có thể thấy ở Quảng Ngãi, Đà Nẵng, Huế. Sóng thần có thể hình thành do động đất liên quan với núi lửa hoặc trượt đất theo dải đứt gãy I10. Tuy nhiên vấn đề này cần được nghiên cứu chi tiết trong thời gian tới.

KẾT LUẬN

Mặc dù mới chỉ qua 4 kỳ do năm 2007 - 2010, những nét cơ bản về chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông Việt Nam đã được xác định với tốc độ đồng o phía Bắc Biển Đông Việt Nam trong khoảng 80 mm/năm. Hoạt động xiết ép theo phương a vì tuyến ở khu vực bắc Biển Đông Việt Nam sẽ cản trở chuyển dịch của các đứt gãy thuận có phương a kinh tuyến và đứt gãy trượt bằng phương tây bắc- đông nam. Vai trò của đứt độ giữa

mảng Ấn Độ đối với mảng Âu Á đóng vai trò chủ đạo đối với biến dạng của Biển Đông Việt Nam. Hướng chuyển dịch thay đổi từ chuyển dịch theo hướng đông đông nam ở phần phía Bắc Biển Đông Việt Nam chuyển sang hướng đông nam ở phần phía Nam Biển Đông Việt Nam. Biến dạng xiết ép giảm ở phần phía Nam Biển Đông Việt Nam. Dải cuốn chìm bắc Borneo không còn hoạt động. Vùng nam và Tây Nam tốc độ biến dạng khá nhỏ, điều này càng khẳng định nguy cơ động đất sóng thần lớn nhất trên Biển Đông Việt Nam là đứt gãy ứng với trùng Manila - Philippin. Dấu hiệu hoạt động của đứt gãy rìa Tây Biển Đông Việt Nam không rõ ràng, nếu có thì tốc độ 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 trong 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 dải cuốn chìm Manila có magnitude 8.4 ± 0.2 có thể gây ra sóng thần có độ cao cực đại 2m và độ sâu ngập lụt 4-5 m ở một số vùng thuộc Quảng Ngãi, Đà Nẵng, Sông thần do núi lửa cần được tiếp tục nghiên cứu.

Có mối quan hệ chặt chẽ giữa trận dầu tự nhiên với hoạt động căng giãn xảy ra cuối Pliocen - đầu Đệ tứ ở hệ Sông Hồng và hệ Nam Côn Sơn. Trận dầu tự nhiên cũng liên quan với dị thường áp suất, quan sát thấy ở hệ Sông Hồng và hệ 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 trận dầu tự nhiên. Điều này có thể xảy ra ở hệ Sông Hồng, hệ Nam Côn Sơn và hệ Phú Khánh.

Lời cảm ơn

Bài viết này là kết quả của đề tài trong 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 THAM KHẢO

1. Bakijiz H. , J. Wang, and Y. Chen (1999); A Regional GPS Network Solution for Monitoring Deformations of the Southeastern Eurasian Plate; GPS Solutions, Vol. 2, No. 4, p. 44-55;
2. Becker M. , E. Reinhart, Soeb Bin Nordin, D. Angermann, G. Michel, and C. Reigber (2000); Improving the velocity field in South and South-East Asia: The third round of GEODYSEA; Earth Planets Space, v. 52, p721-726;
3. Beavan, J. , P. Tregoning, M. Bevis, T. Kato, and 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.
4. Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J. Genrich, C. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S. Puntodewo, and E. Calais (2003). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements, J. Geophys. Res. , 108(B8), 2367, doi 10.1029/2001JB000324.
5. 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.

6. Duquesnoy, T., O. Bellier, M. Sebrier, M. Kasser, C. Vigny, F. Ego, J. Baha, E. Putranto, and I. Effendi (1999). Geodetic study of a seismic segment of the Great Sumatran Fault (Indonesia). *Bull. Soc. Geol. France*, 170(1), 25- 30
7. 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.
8. 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 (2007) 63-87
9. 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
10. Iwakuni, M., T. Kato, H. Takiguchi, T. Nakaegawa, and M. Satomura (2001). Crustal deformation in Thailand and tectonics of Indochina peninsula as seen from GPS observations. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L11612. doi:10.1029/2004GL020347.
11. King, R., F. Shen, B. Burchfiel, L. Royden, E. Wang, Z. Chen, Y. Liu, X. Zhang, J. Zhao, and Y. Li (1997). Global Positioning System measurements from eastern Tibet and their implications for India/Eurasia intercontinental deformation. *Geology*, 25(2), 179-182.
12. Leloup, P., R. Lacassin, P. Tapponnier, U. Schärer, D. Zhong, X. Liu, L. Zhang, S. Ji, and Phan Trong Trinh (1995). The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 251(3- 4), 3 - 84
13. McCaffrey, R. (1991). Slip vectors and stretching of the Sumatran fore arc. *Geology*, 19(9), 881- 884.
14. McCaffrey, R., P. Zwick, Y. Bock, L. Prawirodirdjo, J. Genrich, C. Stevens, S. Puntodewo, and C. Subarya (2000). Strain partitioning during oblique plate convergence in northern Sumatra: Geodetic and seismologic constraints and numerical modeling. *J. Geophys. Res.*, 105(B12), 28,363-28,376.
15. Michel, G. W., M. Becker, D. Angermann, C. Reigber, and E. Reinhart (2000). Crustal motion in E- and SE-Asia from GPS measurements. *Earth Planets Space*, 52(10), 713-720.
16. Michel, G., et al. (2001). Crustal motion and block behaviour in SE-Asia from GPS measurements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 187, 239- 244.
17. Ngô Văn Liêm, Phan Trong Trinh, Nguyễn Tuấn Anh, Hoàng Quang Việt . 2008 Ứng dụng công nghệ GPS trong việc xác định chuyển dịch kiến tạo hiện đại, biên dạng mặt đất và công trình, *Địa Kỹ Thuật*, Năm thứ 12, số 2.
18. Nguyễn Đình Xuyên & nnk., Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần ở vùng biển Việt Nam và đề xuất các giải pháp phòng tránh, "*Báo cáo tổng kết đề tài cấp Liên KH&CN*" (2007)..

19. Nguyễn Hồng Phương. 2004. "*Bản đồ độ nguy hiểm động đất Việt Nam và Biển Đông TC Các khoa học về Trái đất*", v 26(2) tr 97-111.
20. Niu Z., Wang M. Et al. Contemporary velocity field of crustal movement of Chinese mainland from Global Positioning System measurments, Chinese Science Bulletin 2005, 50, 1-3.
21. Phạm Văn Thục và Nguyễn Thị Kim Thanh. 2004. "*Phân vùng động đất khu vực Biển Đông Việt Nam và ven bờ*". TC Địa chất, loạt A, số 285 (11-12).
22. Phan Trọng Trính, 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 Thề, 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
23. Peltzer, G., and F. Saucier (1996), Present-day kinematics of Asia derived from geologic fault rates, J Geophys. Res., 101, 27,943-27,956.
24. 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.
25. Prawirodirdjo, L., et al (1997), Geodetic observations of interseismic strain segmentation at the Sumatra subduction zone, Geophys. Res. Lett., 24(21), 2601-2604
26. Rangin, C., X. L. Pichon, S. Mazzotti, M. Pubellier, N. Chamot-Rooke, M. Aurelio, A. Walpersdorf, and 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.
27. Replumaz, A., R. Lacassin, P. Tapponnier, and P. Leloup (2001), Large river offsets and Plio-Quaternary dextral slip rate on the Red River fault (Yunnan, China). J. Geophys. Res., 106(B1), 819- 836.
28. Shen, Z.-K., C. Zhao, A. Yin, Y. Li, D. D. Jackson, P. Fang, and D. Dong (2000). Contemporary crustal deformation in east Asia constrained by Global Positioning System measurements, J. Geophys. Res., 105(5), 721-734.
29. Shen, Z. K., J. Lu, M. Wang, and R. Burgmann (2005), Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau, J. Geophys. Res., 110, B11409, doi:10.1029/2004JB003421.
30. Simons, W. J. F., B. A. C. Ambrosius, R. Noomen, D. Angermann, P. Wilson, M. Becker, E. Reinhart, A. Walpersdorf, and C. Vigny (1999), Observing plate motions in S. E. Asia: Geodetic results of the GEODYSSSEA project, Geophys. Res. Lett., 26(14), 2081- 2084.
31. Simons, W. J. F., A. Socquet, C. Vigny, B. A. C. Ambrosius, S. Haji Abu, Charwat Promthong, C. Subarya, D. A. Sarsito, S. Matheussen, P. Morgan, and 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.
32. Socquet, A., W. Simons, C. Vigny, R. McCaffrey, C. Subarya, D. Sarsito, B. Ambrosius, and W. Spakman (2006a). 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.
33. Socquet, A., C. Vigny, N. Chamot-Rooke, W. Simons, C. Rangin, and B. Ambrosius (2006b). India and Sunda plates motion and deformation along their boundary in Myanmar determined by GPS. *J. Geophys. Res.*, 111, B05406, doi:10.1029/2005JB003877.
34. Tapponnier, P., G. Peltzer, A. Y. Ledain, R. Armijo, and P. Cobbold (1982). Propagating extrusion tectonics in Asia—New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10(12), 611–616.
35. Trần Đình Tò, Nguyễn Trọng Yêm (2004): Chuyển động hiện đại vỏ Trái đất lãnh thổ Việt Nam theo số liệu do GPS. *Tạp chí các khoa học về Trái đất*, 26(4), 12/2004, tr.579-586, Hà Nội.
36. Vigny, C., A. Socquet, C. Rangin, N. Chamot-Rooke, M. Pubellier, M.-N. Bouin, G. Bertrand, and M. Becker (2003). Present day crustal deformation around Sogang Fault, Myanmar. *J. Geophys. Res.*, 108(B11), 2533, doi:10.1029/2002JB001999.
37. Vigny, C., et al. (2005). Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia. *Nature*, 436, 201–206, doi:10.1038/nature03937.
38. Vũ Thanh Ca chủ biên, Các kịch bản cảnh báo sóng thần trên Biển Đông. “*Báo cáo dự án Xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần cho các vùng bờ biển Việt Nam*”. Viện KHTV & MT - Bộ TN-MT, (2008).
39. Vỹ Quốc Hải (2004): So sánh kết quả xử lý số liệu GPS của lưới địa động lực bằng phần mềm GPSurvey 2.35 và Bernese 4.2. *Tạp chí các khoa học về Trái đất*, 26(4), 12/2004, tr.418-425, Hà Nội.
40. Vỹ Quốc Hải (2007). Kết quả bước đầu xác định chuyển động vỏ Trái đất bằng số liệu GPS vùng lân cận chấn tâm động đất Sumatra ngày 26/12/2004. *Tạp chí Địa chất*: loạt A, số 302, 9-10/2007, tr.1-9.
41. Wang, Q., et al. (2001). Present-day crustal deformation in China constrained by Global Positioning System measurements. *Science*, 294, 574–577.
42. Zhang, P., Z. Shen, M. Wang, W. Gan, R. Burgmann, P. Molnar, Q. Wang, Z. Niu, J. Sun, J. Wu, H. Sun, and X. You (2004). Continuous deformation of the Tibetan Plateau from Global Positioning System data. *Geology*, 32, 809–812.