

CHUYỂN ĐỘNG HIỆN ĐẠI VỎ TRÁI ĐẤT THEO SỐ LIỆU GPS LIÊN TỤC TẠI VIỆT NAM VÀ KHU VỰC ĐÔNG NAM Á

LÊ HUY MINH¹, FRÉDÉRIC MASSON², ALAIN BOURDILLON³,
ROLLAND FLEURY⁴, JAR-CHING HU⁵, VŨ TUẤN HÙNG⁵,
LÊ TRƯỜNG THANH¹, NGUYỄN CHIẾN THẮNG¹, NGUYỄN HÀ THÀNH¹
Email: lhminhigp@gmail.com

¹*Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

²*Viện Vật lý Địa cầu Strasbourg, Pháp*

³*Trường Đại học Rennes 1, Pháp*

⁴*Trường Viễn thông Quốc gia Bretagne, Pháp*

⁵*Trường Đại học Quốc gia Đài Loan*

Ngày nhận bài: 21 - 7 - 2013

1. Mở đầu

Khu vực Đông Nam Á là nơi gặp gỡ của các mảng thạch quyển lớn của vỏ Trái Đất: mảng Âu - Á ở phía bắc, mảng Ấn - Úc ở phía tây và phía nam, mảng Philippine ở phía đông. Dịch chuyển kiến tạo và biến dạng vỏ Trái Đất ở đây chịu tác động chủ yếu bởi quá trình va chạm thúc ép mảng Ấn Độ vào mảng Âu - Á, cũng như sự hút chìm xuống dưới của mảng Úc và mảng Philippine. Khu vực Đông Nam Á tạo từ hai khối kiến tạo chủ yếu: (1) khối Sunda (bao gồm địa khu Đông Dương gồm phần lớn lãnh thổ Việt Nam, Lào và Campuchia), Thái Lan, bán đảo Malaysia, Sumatra, Borneo, Java và các vùng biển nông nằm giữa và (2) khối Nam Trung Hoa. Chuyển động của các mảng nói trên từ hàng triệu năm qua đã hình thành các hệ thống đứt gãy trong khu vực được cho là gây bởi sự thúc ép của mảng Ấn Độ, tạo nên bức tranh dịch chuyển và biến dạng vỏ Trái đất khu vực phức tạp. Sự biến dạng khu vực được giải thích bằng hai giả thiết chính: thứ nhất do chuyển động liên tục của vỏ Trái Đất và thạch quyển được xem là môi trường biến dạng nhớt [7, 8, 11] và thứ hai do chuyển động của các khối thạch quyển rắn dọc theo các vùng đứt gãy hẹp [1, 18, 23-25] Việc thu thập các chứng cứ mới về biến dạng và dịch chuyển hiện đại của vỏ Trái Đất sẽ cho phép hiểu được tính đúng đắn của các giả thiết trên. Trong khoảng 20 năm gần đây việc đo đạc dịch chuyển

vỏ Trái Đất ở khu vực Đông Nam Á bằng công nghệ GPS [3, 4, 14, 15, 21, 22, 31], đã cho thấy khối Sunda chuyển động như là một khối so với mảng Âu - Á. Trên lãnh thổ Việt Nam cũng đã có những kết quả nghiên cứu dịch chuyển kiến tạo ở khu vực một số đứt gãy hoạt động (đứt gãy Lai Châu - Điện Biên, đứt gãy Sơn La, đứt gãy Sông Hồng) dựa trên việc đo lặp GPS [5, 6, 9, 26, 27]. Tuy nhiên, do chuyển dịch tương đối trên các đứt gãy ở nước ta thường nhỏ, các kết quả đo lặp trong thời gian quan sát chưa đủ dài, nên thật sự chưa cho được những thông tin tin cậy về dịch chuyển tương đối trên các đứt gãy nghiên cứu. Sử dụng số liệu GPS liên tục ở các trạm Hà Nội, Huế (HUES) và Tp. Hồ Chí Minh (HOCH) cùng với các trạm IGS ở khu vực Đông Nam Á trong [17] chúng tôi chỉ ra rằng khối Sunda đang dịch chuyển về phía đông nam và có xu thế quay theo chiều kim đồng hồ. Tiếp tục nghiên cứu trong bài báo trước [17], trong bày báo này, bằng việc bổ sung số liệu mới của các trạm GPS liên tục tại Điện Biên (DBIV) và Vinh (VINH), chuỗi số liệu dài hơn ở HOCH, HUES, chuỗi số liệu tin cậy hơn tại trạm Phú Thụ (PHUT) - Hà Nội, chúng tôi trình bày những thông tin mới về dịch chuyển kiến tạo ở khu vực Đông Nam Á.

2. Số liệu và phương pháp phân tích

Số liệu được đưa vào sử dụng là số liệu các

trạm GPS liên tục ở Việt Nam: DBIV, PHUT, VINH, HUES, HOCM (bảng 1), và các trạm của Trung tâm dịch vụ IGS quốc tế: BAKO, NTUS, CUSV, KUNM, PIMO,... Trong [17] chúng tôi sử dụng số liệu của trạm Hà Nội trong khoảng thời gian 4/2005-12/2006, chuỗi số liệu tương đối ngắn. Từ tháng 2/2009 cho đến nay, máy thu GSV4004B được đặt hoạt động liên tục tại đài Vật lý địa cầu Phú Thụy có được chuỗi số liệu hơn 4 năm liên tục, do vậy chúng tôi chỉ sử dụng số liệu của trạm PHUT mà không sử dụng số liệu của trạm Hà Nội

như trước đây. Trong [17] chuỗi số liệu của các trạm từ 5/2005 cho tới 12/2009 được sử dụng, trong bài báo này số liệu được cập nhật đến tháng 11/2013. Bảng 1 liệt kê vị trí 05 trạm của Việt Nam, loại thiết bị và thời gian sử dụng số liệu để phân tích, trong số này trạm HOCM có độ dài chuỗi số liệu dài nhất là 92 tháng số liệu liên tục, trạm VINH có độ dài chuỗi thời gian ngắn nhất là 27 tháng. Phần nhiều số liệu các trạm của IGS được sử dụng thường có đầy đủ số liệu từ tháng 5/2005 đến nay, nghĩa là có số liệu 8 năm liên tục.

Bảng 1. Vị trí các trạm GPS liên tục ở Việt Nam

Tên trạm	Tọa độ		Máy thu	Anten	Thời gian
	Kinh độ (°E)	Vĩ độ (°N)			
DBIV	103,01829	21,38992	NetRS	Zephyr geodetic	11/2009 - 11/2013
PHUT	105,95871	21,02938	GSV4004B	NOV533+CR	2/2009 - 6/2013
VINH	105,69659	18,64999	Trimble 5700	Zephyr geodetic	9/2011 - 11/2013
HUES	107,59265	16,45919	GSV4004A	NOV503+CR	1/2006 - 10/2011
HOCM	106,55979	10,84857	GSV4004A	NOV533+CR	5/2005 - 10/2012

Một điều cũng được lưu ý là việc đặt các trạm đo GPS liên tục sao cho đảm bảo điều kiện nghiên cứu địa động lực. Tại các trạm DBIV và trạm VINH, các trạm địa chấn được xây dựng trên nền đá gốc, cột đặt anten được làm bằng beton trên nền đá gốc gắn với hầm đặt máy hoặc nhà đặt máy đảm bảo cột đo không bị biến dạng theo thời gian. Tại các trạm PHUT, HUES và HOCM, anten thu được đặt trên nóc nhà bằng beton xây dựng từ hàng chục năm qua, đảm bảo không còn bị lún hoặc biến dạng. Như thế các mốc đo GPS liên tục được sử dụng đều đảm bảo ổn định và vững chắc đáp ứng yêu cầu nghiên cứu địa động lực.

Phần mềm GAMIT/GLOBK được sử dụng để tính toán chuỗi thời gian của các tọa độ trạm và sau đó là tính toán tốc độ dịch chuyển của vỏ Trái Đất tại vị trí trạm [10]. Để chạy GAMIT, một số tệp quan trọng trong phần mềm phải được cập nhật: lfile, station.info, process.default, sites.default, sestbl,... Ngoài ra cần phải cập nhật thông tin lịch thiên văn vệ tinh, các mô hình triều Mặt Trăng và Mặt Trời, vị trí cực,... Số liệu quan sát ở các trạm thu GPS được chuyển đổi sang dạng rinex và đưa vào thư mục cùng tên rinex trong thư mục xử lý GAMIT. Việc xử lý bằng phần mềm GAMIT với khoảng cách các trạm lớn (trên 500 km) đòi hỏi dùng mode BASELINE và số liệu của hơn 10 trạm IGS/ITRF, như thế trong tệp glogr.com đòi hỏi

dùng ít nhất 10 trạm ITRF có vận tốc tương đối ổn định để ổn định trường vận tốc tại các trạm cần nghiên cứu. Sau khi xem xét chúng tôi đã sử dụng 13 trạm trong đó một số trạm ở lãnh thổ Trung Quốc như KUNM, SHAO và WUHN, một số trạm ở nền Âu - Á như ARTU, JOZE, ZECK, POL2, IRKT,... Phương pháp xử lý này sử dụng số liệu của nhiều trạm nên đòi hỏi thời gian cho việc xử lý nhiều hơn, tuy nhiên kết quả tính toán rất ổn định. Việc xử lý số liệu được thực hiện trong ITRF2005, như vậy, sau khi xử lý mỗi ngày số liệu phần mềm GAMIT sẽ tạo ra một thư mục ngày lưu trữ toàn bộ kết quả tính toán. Kết quả đầu ra sẽ là số liệu đầu vào cho việc chạy chương trình GLOBK để đánh giá vận tốc dịch chuyển vỏ Trái Đất.

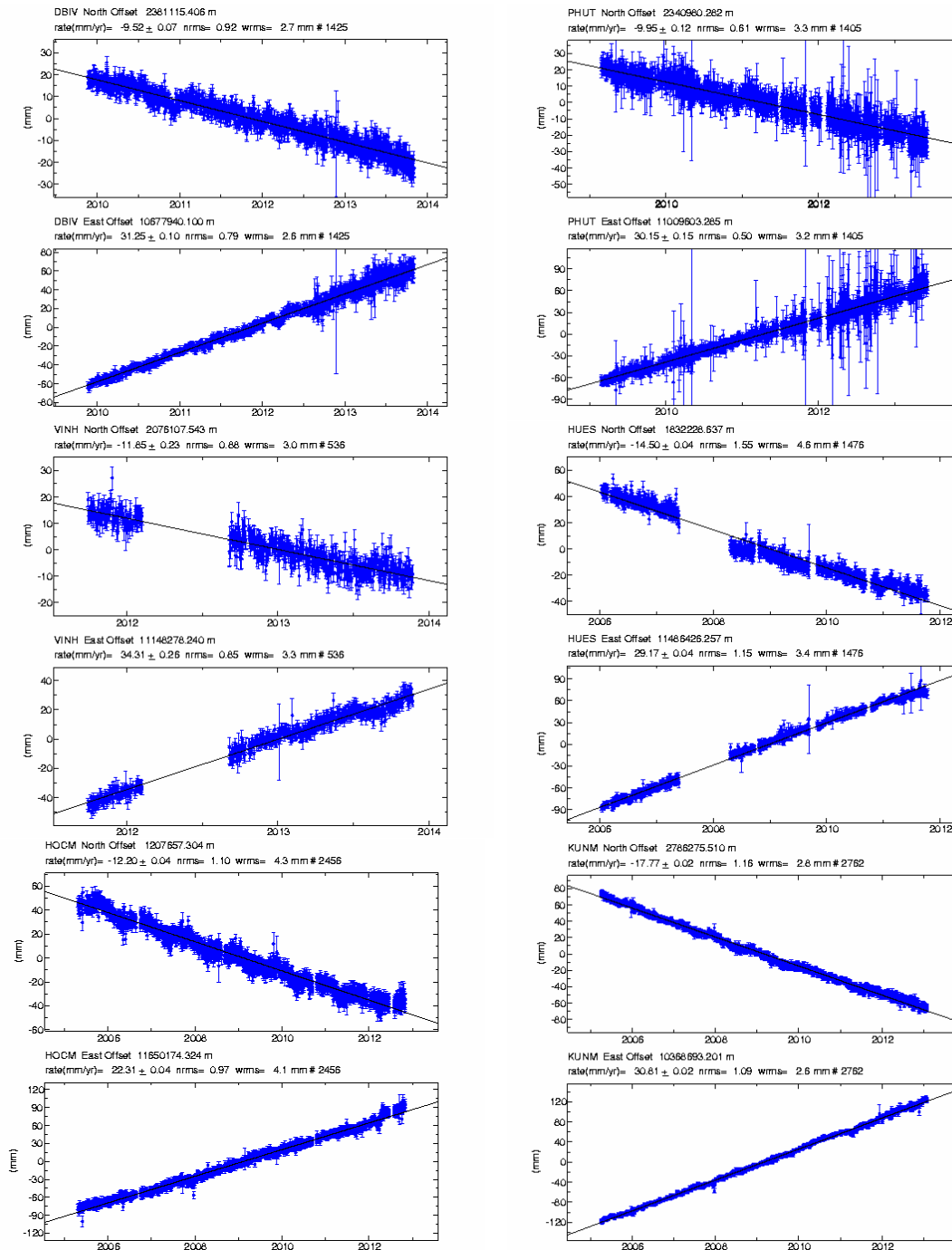
3. Kết quả và phân tích

3.1. Chuỗi thời gian các thành phần tọa độ

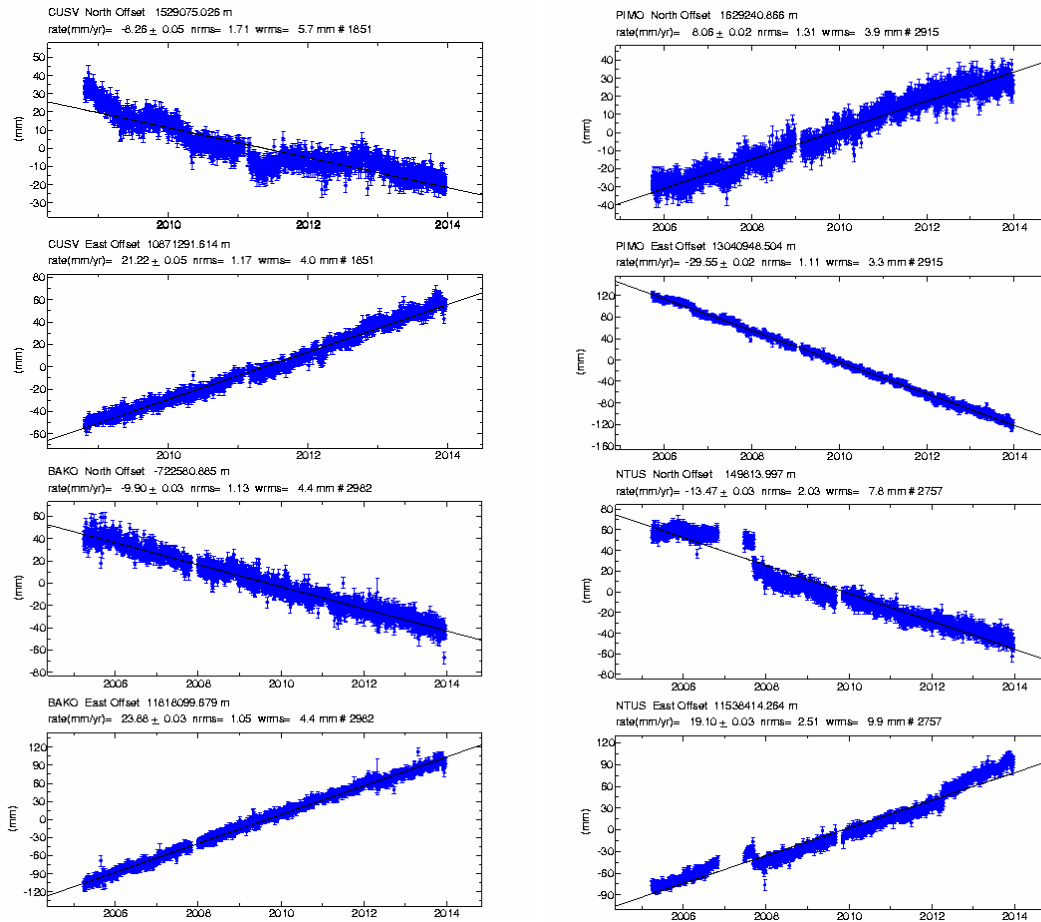
Kết quả xử lý số liệu GPS bằng phần mềm GAMIT sẽ cho chúng ta chuỗi thời gian theo từng ngày của 3 thành phần tọa độ trạm: thành phần bắc N, thành phần đông E và độ cao U. Nói chung, việc xác định độ cao U thường mắc sai số lớn nên kết quả tính U không được bàn luận trong bài báo này mà chỉ có hai thành phần nằm ngang N và E được quan tâm tới. Hình 1 biểu diễn chuỗi thời gian của hai thành phần nằm ngang dịch chuyển vỏ Trái Đất của 10 trạm ở Việt Nam và lân cận.

Để đánh giá chất lượng của chuỗi thời gian thu được, phần mềm GAMIT đã tính 2 tham số: độ lệch bình phương trung bình chuẩn hóa (normalized root mean square - NRMS) và độ lệch

bình phương trung bình lấy trọng số (weighted root mean square - WRMS) và thống kê số ngày có số liệu đã tính. Các tham số này của 10 trạm trong khu vực Đông Nam Á được liệt kê trong *bảng 2*.



Hình 1 xem chú giải trang bên



Hình 1. Biến đổi theo thời gian của thành phần N (trên) và thành phần E (dưới) tại 10 trạm GPS ở khu vực Đông Nam Á

Bảng 2. Số ngày có số liệu phân tích và các tham số độ lệch bình phương trung bình chuẩn hóa (NRMS) và độ lệch bình phương trung bình lấy trọng số (WRMS) của 10 trạm khu vực Đông Nam Á

Trạm	Số ngày có số liệu	Thành phần Bắc N		Thành phần Đông E	
		NRMS (mm)	WRMS (mm)	NRMS (mm)	WRMS (mm)
DBIV	1425	0,92	2,7	0,88	2,6
PHUT	1406	0,61	3,3	0,50	3,2
VINH	536	0,88	3,0	0,85	3,3
HUES	1481	1,55	4,6	1,15	3,4
HOCM	2456	1,10	4,3	0,97	4,1
KUNM	2762	1,16	2,8	1,09	2,6
PIMO	2915	1,31	3,9	1,11	3,3
NTUS	2757	2,03	7,8	2,51	9,9
BAKO	2982	1,13	4,4	1,05	4,4
CUSV	1851	1,71	5,7	1,17	5,0

Như đã nêu ở *bảng 1* và *bảng 2*, 5 trạm của IGS và các trạm HOCM, PHUT và HUES có hơn 4 năm số liệu, trạm DBIV có 47 tháng số liệu (1.425 ngày), trạm VINH có 27 tháng số liệu nhưng thực

tế có 536 ngày số liệu. Trong xử lý số liệu GPS bằng phần mềm GAMIT người ta thấy trong khoảng thời gian đủ dài chuỗi thời gian của trạm nào có NRMS xấp xỉ 1 mm hoặc nhỏ hơn, tương

ứng WRMS xấp xỉ 4 mm hoặc nhỏ hơn [10] thì chuỗi số liệu được xử lý tốt và kết quả đánh giá vận tốc tin cậy. Chuỗi thời gian của cả hai thành phần ở 5 trạm ở nước ta thỏa mãn điều kiện này, trong khi ở 5 trạm của IGS, các trạm KUNM, PIMO và BAKO thỏa mãn điều kiện trên, cả hai thành phần của trạm NTUS và thành phần N của CUSV tương ứng có NRMS=2,03 mm, 2,51 và 1,71 mm, WRMS=7,8 mm, 9,9 và 5,7 mm. Trên hình 1 chúng ta thấy ở thành phần N của trạm CUSV thay đổi xu hướng tuyến tính vào khoảng 3/2011, ở cả hai thành phần của trạm NTUS có nhảy bậc vào tháng 8/2007 và ở thành phần E của trạm NTUS có nhảy bậc nhỏ vào khoảng 2/2012, đó là những nguyên nhân làm cho các giá trị NRMS và WRMS ở hai trạm này có giá trị lớn như đã nêu. Do có sự nhảy bậc rõ rệt ở cả hai thành phần N và E ở trạm NTUS vào tháng 8/2007, và ở thành phần E từ tháng 4/2012 nên số liệu ở trước tháng 8/2007 và sau 1/4/2012 sẽ không được sử dụng để tính vận tốc của trạm. Chúng ta có thể thấy ở trạm PHUT, sai số xác định vị trí của trạm ở một ngày riêng lẻ có thể lớn hơn ở các trạm khác có thể do trạm ở khu vực đỉnh di thường điện ly xích đạo [16], nhiễu điện ly mạnh có thể gây sai số đáng kể trong việc xác định tọa độ trong một số ngày, nhưng các giá trị NRMS và WRMS lại khá nhỏ,

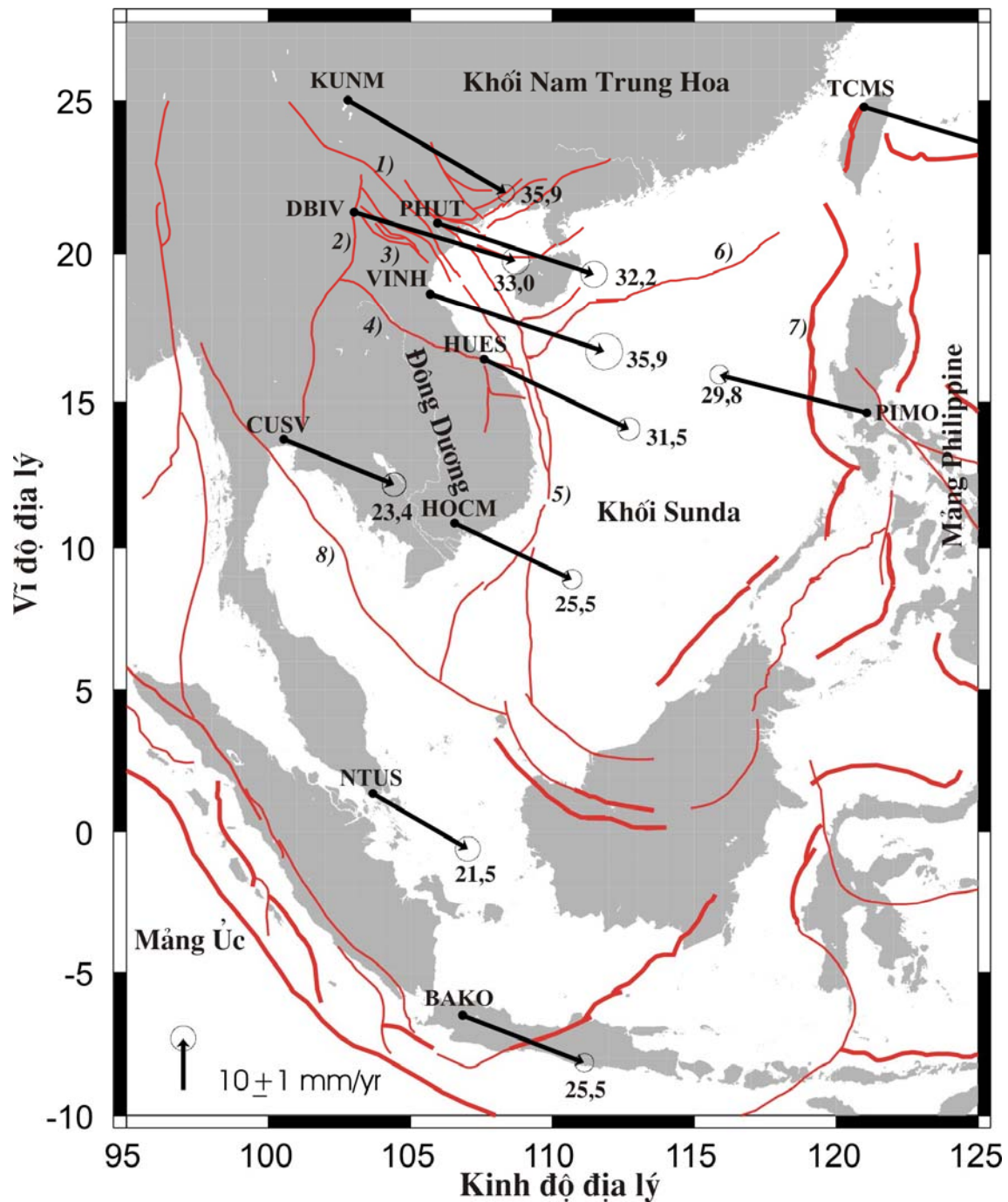
điều đó cho phép chúng ta thu được đánh giá vận tốc tin cậy ở trạm này.

3.2. Trường vận tốc

Từ các chuỗi thời gian của các thành phần tọa độ thu được ở trên nhờ phần mềm GAMIT, sử dụng phần mềm GLOBK chúng ta tính được tọa độ của các trạm và các thành phần vectơ vận tốc dịch chuyển tuyệt đối trong khung quy chiếu chuẩn ITRF2005 (thành phần Đông Ve và thành phần Bắc Vn cùng với các sai số tương ứng). Từ hai thành phần vận tốc chúng ta tính được các vectơ dịch chuyển tuyệt đối, sai số, độ tin cậy tương ứng và phương vị của chúng được trình bày ở bảng 3 và được biểu diễn ở hình 2. Như trên đã nêu, để tính toán trường vận tốc trong ITRF2005, chúng tôi sử dụng 13 trạm của IGS như những trạm chuẩn, kết quả cho thấy hai thành phần vectơ vận tốc của các trạm chuẩn sau khi tính toán sai lệch so với giá trị tương ứng trong ITRF2005 cỡ xấp xỉ 1 mm/năm hoặc nhỏ hơn, như vậy trường vận tốc dịch chuyển của vỏ Trái đất với phương pháp tính toán sử dụng phần mềm GAMIT/GLOBK đã trình bày cho kết quả ổn định và phù hợp. Trong bảng 3 cũng trình bày độ tin cậy của việc xác định vectơ dịch chuyển tuyệt đối tại 10 trạm ở khu vực Đông Nam Á mà chúng tôi quan tâm đều trong khoảng 96-98%.

Bảng 3. Tọa độ và vận tốc dịch chuyển vỏ Trái Đất tại các trạm GPS liên tục ở Việt Nam và Đông Nam Á

Trạm	Tọa độ		Thành phần Đông		Thành phần Bắc		Vectơ dịch chuyển tuyệt đối			
	Kinh độ (°)	Vĩ độ (°)	Ve mm/năm	Sai số mm/năm	Vn mm/năm	Sai số mm/năm	$ \vec{v} $ mm/năm	Sai số mm/năm	Phương vị (°)	Độ tin cậy (%)
KUNM	102,79720	25,02954	31,0	0,7	-18,2	0,7	35,9	0,7	120	98
DBIV	103,01829	21,38992	31,6	1,1	-9,5	1,1	33,0	1,1	107	97
PHUT	105,95871	21,02938	30,6	1,0	-10,0	1,0	32,2	1,0	108	97
VINH	105,69659	18,64999	34,1	1,5	-11,2	1,5	35,9	1,5	108	96
HUES	107,59265	16,45919	28,3	0,9	-13,6	0,9	31,5	0,9	116	97
HOCM	106,55979	10,84857	23,0	0,8	-11,0	0,8	25,5	0,8	116	97
NTUS	103,67996	1,34580	18,6	1,0	-10,8	1,0	21,5	1,0	120	95
CUSV	100,53392	13,73591	21,6	0,9	-8,9	0,9	23,4	0,9	112	96
BAKO	106,84891	-6,49106	23,8	0,7	-9,3	0,7	25,5	0,7	111	97
PIMO	121,07773	14,63572	-28,8	0,7	7,4	0,7	29,8	0,7	284	97



Hình 2. Chuyển dịch tuyệt đối của các trạm GPS khu vực Đông Nam Á trong ITRF2005. Các đường liền nét biểu thị các đứt gãy kiến tạo chính trong khu vực. Con số ở gần đầu vector biểu thị độ dài của vector, đơn vị mm/năm. Sơ đồ đứt gãy lực theo Nguyễn Đình Xuyên [29, 30], 1) Đ/g Sông Hồng, 2) Đ/g Lai Châu - Điện Biên, 3) Đ/g Sông Mã, 4) Đ/g Thà Khết - A Lưới, 5) Đ/g vách dọc đông Việt Nam, 6) Đ/g bắc Biển Đông, 7) Đới hút chìm Manila, 8) Đ/g Ba Thập

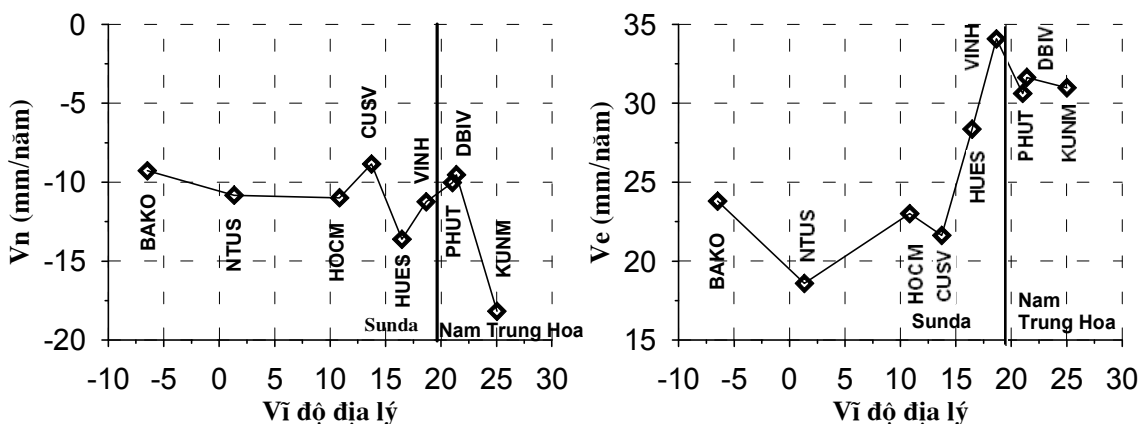
Như đã nêu khu vực Đông Nam Á là nơi giao lưu của các mảng Âu - Á, Úc, Philippine và Thái Bình Dương. Phần mảng Âu - Á ở khu vực này

được chia làm hai khối chính là khối Sunda và khối Nam Trung Hoa và đới đứt gãy Sông Hồng được cho là ranh giới giữa hai khối ở khu vực phía bắc

lãnh thổ nước ta [25-27]. Tuy nhiên, các công trình nghiên cứu của Sone và Metcalfe [13, 19] và một số tác giả Việt Nam [2] coi đứt gãy Sông Mã là ranh giới của các địa khu (Terrane) Nam Trung Hoa và Đông Dương, và theo khái niệm về khối Sunda của Hutchison [12] thì địa khu Đông dương là hợp phần của khối này và vì thế có thể coi đứt gãy Sông Mã là ranh giới của khối Sunda ở phần miền Trung lãnh thổ nước ta. Chuyển động hiện đại theo số liệu GPS trong khối Sunda và lân cận đã được đánh giá [14, 15, 21, 22], tuy nhiên trong nghiên cứu này còn chưa có số liệu tin cậy của các đo đạc trên lãnh thổ nước ta, mà chỉ có số liệu của 2 điểm đo lặp CAMP và NONN đã thực hiện trong chương trình GEODYSSSEA. Trong số 10 trạm GPS liên tục đang xem xét trong bài báo này các trạm VINH, HUES, HOCHM, CUSV, NTUS và BAKO thuộc khối Sunda, các trạm PHUT, DBIV và KUNM thuộc khối Nam Trung Hoa, trạm PIMO thuộc mảng Philippine.

Từ *bảng 3* và *hình 2* chúng ta có thể thấy rằng các trạm ở khu vực Đông Nam Á đang xem xét, trừ trạm PIMO, đều dịch chuyển về phía đông nam với vận tốc thay đổi trong khoảng từ 21,5 mm/năm ở trạm NTUS tới 35,9 mm/năm ở trạm VINH; phương vị thay đổi từ 107° ở trạm DBIV đến 120° ở trạm KUNM và NTUS; trạm PIMO dịch chuyển về phía tây - tây bắc (góc phương vị 284°) với vận tốc 29,8 mm/năm. Điều này hoàn toàn phù hợp với mảng Âu - Á đang dịch chuyển về phía đông nam, còn mảng Philippine dịch chuyển về phía tây bắc. Có sự giảm biên độ dịch chuyển rõ rệt từ trạm VINH là 35,9 mm/năm, HUES là 31,5 mm/năm, tới các trạm HOCHM, CUSV, NTUS và BAKO có biên độ dịch chuyển gần như nhau trong khoảng 21,5-25,5 mm/năm. Biên độ dịch chuyển ở trạm VINH lớn hơn biên độ dịch chuyển ở các trạm

PHUT, DBIV và KUNM. Chúng ta hãy xem xét chi tiết biến đổi theo vĩ độ của các thành phần vận tốc Vn và Ve của các trạm thuộc khối Sunda và khối Nam Trung Hoa minh họa trên *hình 3*. Vn biến đổi trong khoảng 5 mm/năm từ trạm BAKO đến trạm DBIV; khoảng 8,7 mm/năm giữa trạm DBIV và trạm KUNM; điều này có thể do trạm DBIV ở gần đứt gãy Lai Châu - Điện Biên, đứt gãy có phương á kinh tuyến phải có thành phần Bắc của dịch chuyển là đáng kể. Ve ở trạm VINH lớn hơn ở HUES 5,7 mm/năm và lớn hơn ở PHUT là 3,5 mm/năm, điều này có nghĩa là dịch chuyển trên các đứt gãy giữa VINH và HUES, cũng như giữa VINH và PHUT có thành phần theo phương vĩ tuyến là đáng kể. Giữa VINH và PHUT có hai hệ thống đứt gãy lớn là Sông Mã và Sơn La; trên cả hai hệ thống đứt gãy này đã xảy ra những trận động đất lớn như trận động đất Điện Biên năm 1935 có M=6,8 và trận động đất Tuần Giáo với M=6,8 năm 1983. Giữa VINH và HUES có hệ thống đứt gãy quan trọng là đới đứt gãy Sông Cả; động đất thường xuyên xảy ra trên đới đứt gãy này như động đất Nghệ An năm 1821 với Ms=6, động đất Sekon năm 1981 với Ms = 5,5, động đất Tương Dương năm 1957 với Ms = 5,2, động đất Đô Lương ngày 07/01/2005 với Ms = 4,7,... [20]. Cho tới nay còn chưa có những kết quả đo đạc dịch chuyển vô Trái Đất một cách tin cậy trên những đứt gãy đã nêu, những kết quả thu được ở đây cho thấy dịch chuyển kiến tạo trên các đứt gãy này có thể rất đáng kể và vì thế cần thiết phải tiến hành đo đạc các dịch chuyển này một cách chính xác để có được đánh giá đầy đủ về hoạt động kiến tạo hiện đại và độ nguy hiểm động đất của chúng. Cần phải nói rằng vận tốc thu được ở trạm VINH dựa trên số liệu của 27 tháng số liệu, và những thảo luận trên có thể còn thay đổi ít nhiều khi vận tốc ở trạm này được xác định với độ chính xác cao hơn dựa trên chuỗi số liệu thời gian dài hơn.



Hình 3. Thành phần Vn và thành phần Ve tại các trạm thuộc khối Sunda và khối Nam Trung Hoa ở khu vực Đông Nam Á

Để thấy được rõ hơn ý nghĩa kiến tạo của dịch chuyển tại các trạm GPS liên tục đã nêu chúng tôi tiến hành tính toán dịch chuyển tương đối của các trạm này so với mảng Âu - Á, khối Sunda, nghĩa là tính các chuyển dịch tương đối của các trạm so với cực Euler của mảng Âu - Á và cực Euler của khối Sunda được lấy theo Calais et al. [3] và Simons et al. [21] một cách tương ứng. Các kết quả được nêu ra trong *bảng 4*, *bảng 5* và được trình bày trên *hình 4* và *hình 5*.

Bảng 4. Dịch chuyển tương đối của các trạm so với mảng Âu - Á

Tên trạm	Ve (mm/năm)	Vn (mm/năm)	V (mm/năm)	Phương vị (°)
KUNM	5,3	-9,9	11,3	152
DBIV	6,3	-1,2	6,4	101
PHUT	5,5	-1,0	5,6	100
VINH	9,4	-2,2	9,4	104
HUES	3,8	-4,2	5,6	138
CUSV	-2,8	-1,2	3,1	248
HOCM	-0,8	-1,8	1,9	204
NTUS	-3,3	-2,3	4,0	235
BAKO	3,9	0,0	3,9	90
PIMO	-52,5	19,8	56,1	290

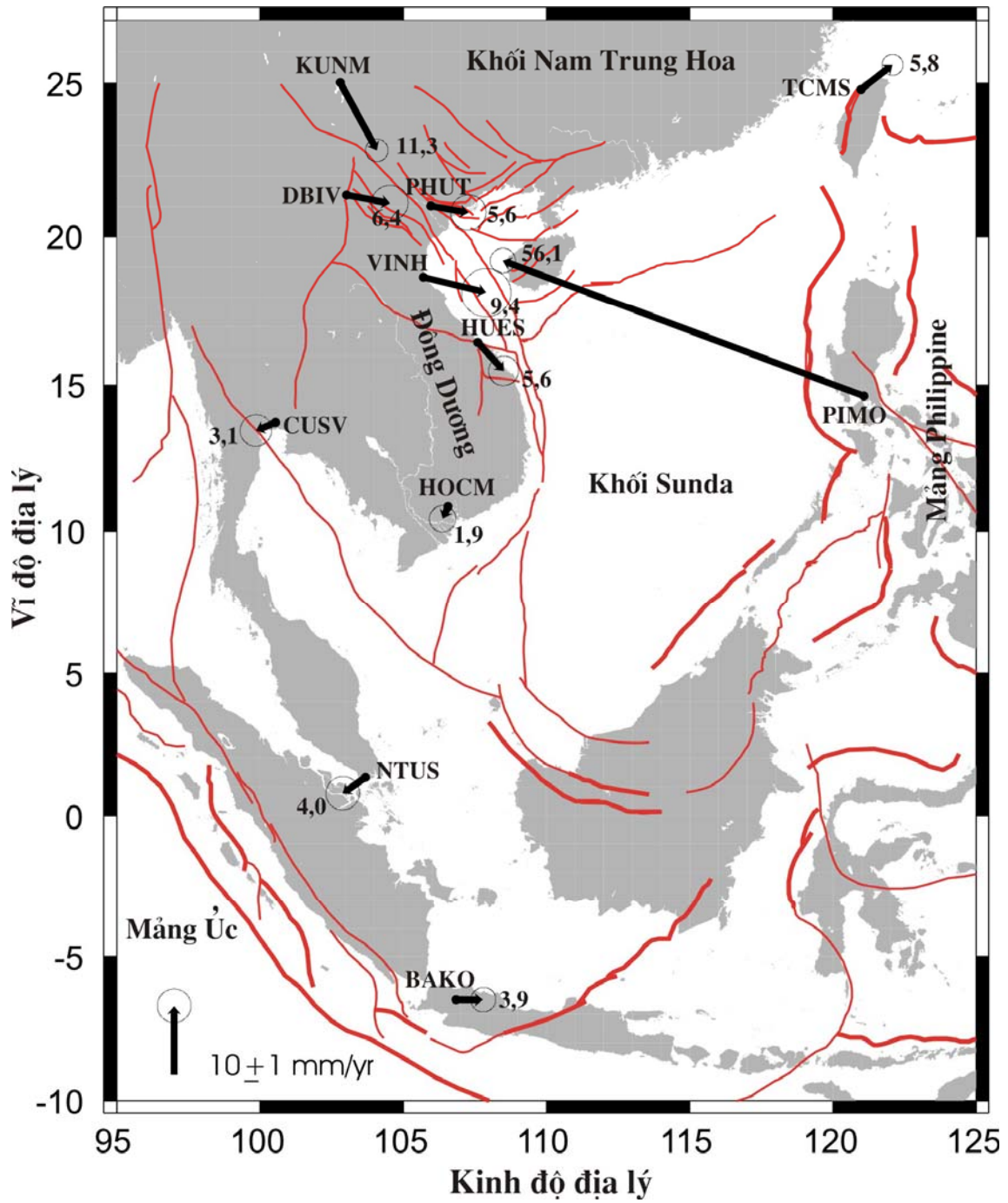
Bảng 5. Dịch chuyển tương đối của các trạm so với khối Sunda

Tên trạm	Ve (mm/năm)	Vn (mm/năm)	V (mm/năm)	Phương vị (°)
KUNM	-4,5	-11,0	11,9	202
DBIV	-3,2	-2,3	3,9	234
PHUT	-4,0	-1,6	4,3	248
VINH	0,0	-2,9	2,9	180
HUES	-5,1	-4,5	6,8	228
CUSV	-11,4	-2,6	11,7	257
HOCM	-9,0	-2,3	9,3	256
NTUS	-10,2	-3,3	10,7	252
BAKO	-1,6	-0,5	1,7	253
PIMO	-61,2	21,6	64,9	289

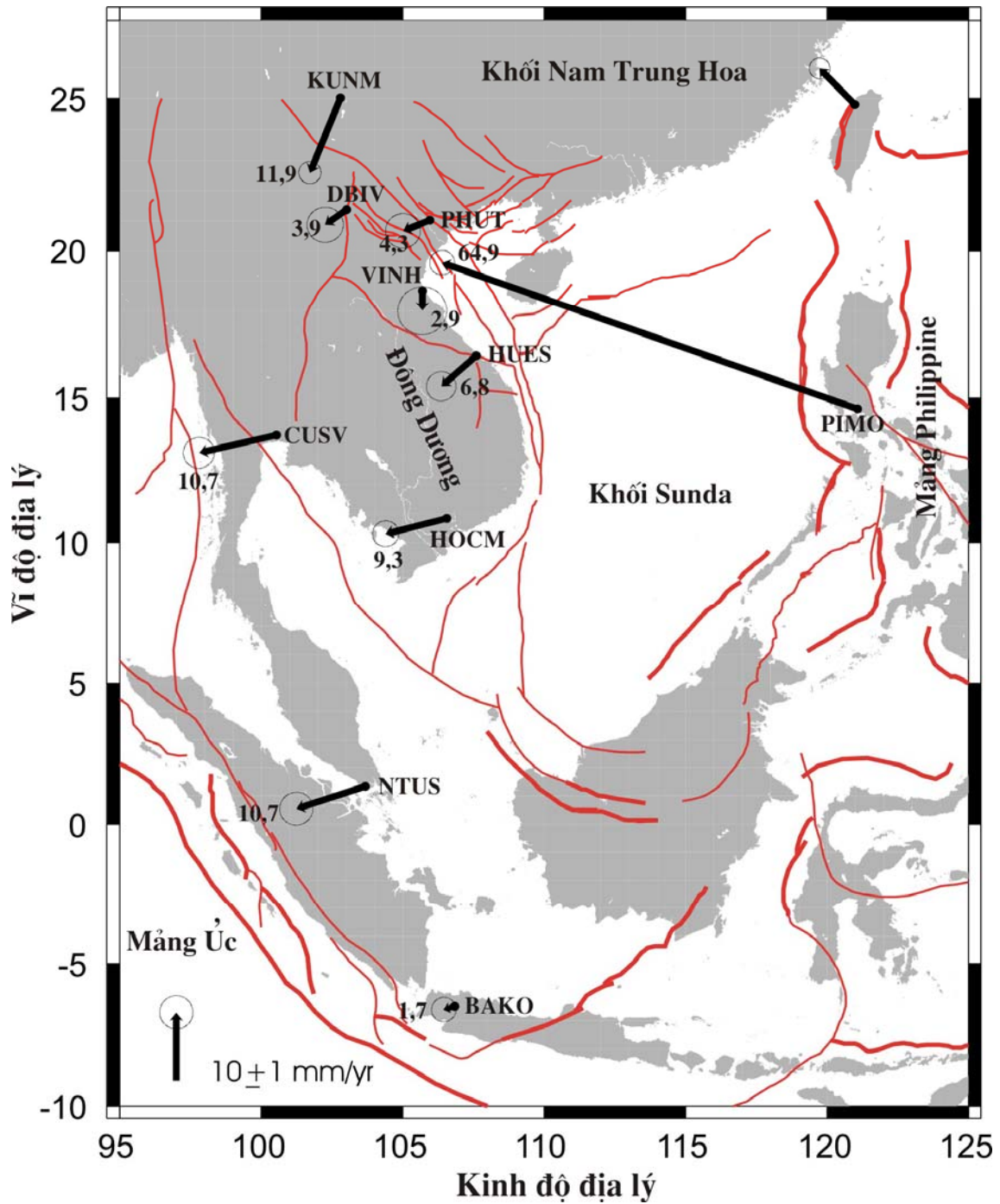
So với mảng Âu - Á, dịch chuyển tương đối của các trạm đang xem xét ở khối Nam Trung Hoa giảm dần từ KUNM (11,6 mm/năm) đến Điện Biên 6,4 mm/năm và PHUT 5,6 mm/năm. Biên độ dịch chuyển tương đối giảm dần từ VINH 9,4 mm/năm, HUES 5,6 mm/năm, CUSV 3,1 mm/năm tới HOCM 1,9 mm/năm, và có sự quay theo chiều kim đồng hồ rất rõ ràng với phương vị thay đổi từ 104° ở VINH, 138° ở HUES tới 204° ở HOCM và 235° ở CUSV, có nghĩa là phần phía bắc của địa khu Đông Dương quay nhanh hơn phần phía Nam. Các trạm BAKO và NTUS có biên độ dịch chuyển tương đối so với mảng Âu - Á tương ứng là 3,9 mm/năm và 4,0 mm/năm. Dịch chuyển tương đối so với mảng Âu - Á của trạm PIMO đạt tới 55,6 mm/năm với góc phương vị là 291°; điều đó chỉ ra rằng mảng Philippine đang hút chìm rất mạnh mẽ về phía tây bắc xuống dưới mảng Âu - Á.

Các nghiên cứu của Tapponnier và cộng sự cho rằng do quá trình xô húc của mảng Ấn Độ vào mảng Âu - Á làm cho khối Sunda thúc trượt dọc theo đới đứt gãy sông Hồng và quay theo chiều kim đồng hồ [23-25]. Trên *hình 4* cho thấy hướng dịch chuyển tương đối so với mảng Âu - Á ở BAKO không cùng hướng với dịch chuyển tương đối ở HOCM, CUSV và NTUS. Như vậy có thể hiện nay chỉ có khu vực Đông Dương vẫn còn quay theo chiều kim đồng hồ dưới tác dụng của sự thúc ép đã nêu, còn phần phía nam của khối Sunda chịu sự tác động nhiều hơn của quá trình hút chìm của mảng Úc xuống dưới mảng Âu - Á. Những thông tin có tính định lượng nêu ra trong bài báo này có thể giúp các nhà kiến tạo xây dựng các mô hình động học giải thích chuyển động hiện đại của khối Sunda như đã được đề cập bởi Nguyễn Văn Vượng và các cộng sự [29].

Biên độ dịch chuyển tương đối so với khối Sunda thu được trong bài báo khá phù hợp với kết quả của Simons và nnk [21]. Ví dụ, đối với trạm KUNM, BAKO, PIMO kết quả của Simons và nnk tương ứng là 13 mm/năm (hoặc 11 mm/năm), 2 mm/năm và 64 mm/năm (các kết quả trong bài báo tương ứng là 11,9 mm/năm, 1,7 mm/năm và 64,9 mm/năm với phương vị tương tự). Kết quả tính toán của Simons cho thấy biên độ dịch chuyển tương đối so với khối Sunda ở các trạm thuộc khối Sunda nằm trong khoảng 1-3 mm/năm và cho rằng hiện nay khối Sunda dịch chuyển như là một khối thạch quyển được cố kết tốt. Tuy nhiên, biên độ dịch chuyển tương đối tính được tại trạm CUSV là 11,7 mm/năm, tại HOCM là 9,3 mm/năm, tại HUES là 6,8 mm/năm, tại VINH là 2,9 mm/năm và tại NTUS là 10,7 mm/năm lại chứng tỏ rằng các dịch chuyển nội khối theo các đứt gãy đóng một vai trò quan trọng, và khối Sunda đang bị biến dạng đáng kể. Trong chương trình GEODYSSSEA [14, 15, 22], đã tiến hành đo lặp tại điểm NONN (Non Nước) (cách Huế khoảng 100 km về phía nam) cho kết quả dịch chuyển tương đối của điểm này so với khối Sunda chỉ khoảng 1mm/năm, trong khi dịch chuyển tương đối của HUES như đã nêu là 6,8 mm/năm. Tương tự ở khu vực miền Bắc, kết quả đo lặp tại điểm CAMP (Cầm Phả) cho thấy dịch chuyển tương đối của điểm này so với khối Sunda là 2mm/năm, trong khi dịch chuyển tương đối của trạm PHUT là 4,5 mm/năm; như vậy kết quả đo lặp của các điểm NONN và CAMP được tiến hành trong thời gian chưa đủ dài, có thể chưa phản ánh đầy đủ dịch chuyển kiến tạo tại những điểm này.



Hình 4. Chuyển dịch tương đối của các trạm so với mảng Âu-Á.
 Con số ở gần đầu vector biểu thị độ dài của vector, đơn vị mm/năm



Hình 5. Chuyển dịch tương đối của các trạm so với khối Sunda.
Con số ở gần đầu vector biểu thị độ dài của vector, đơn vị mm/năm

4. Kết luận

Từ các kết quả đánh giá tốc độ dịch chuyển vỏ Trái Đất tại các trạm GPS liên tục ở Việt Nam cùng với các trạm IGS trong khu vực Đông Nam Á

cho giai đoạn 2005 - 2014 có thể rút ra một số kết luận sau:

- Số liệu GPS thu được ở các trạm GPS liên tục ở Việt Nam có chất lượng tốt, đảm bảo thu được

những thông tin tin cậy về dịch chuyển kiến tạo vỏ Trái Đất. Tốc độ dịch chuyển thu được tại các trạm này có thể coi là những thông tin có độ chính xác cao để đánh giá chất lượng đo đạc GPS theo định kỳ ở các khu vực khác của nước ta.

- Các trạm DBIV, PHUT, VINH, HUES và HOCH có biên độ dịch chuyển tuyệt đối trong ITRF2005 tương ứng là 33,0 mm/năm, 32,2 mm/năm, 35,9 mm/năm, 31,5 mm/năm và 25,5 mm/năm về phía Đông Nam. Các kết quả này phù hợp với bối cảnh kiến tạo hiện nay ở khu vực Đông Nam Á thể hiện qua trường vận tốc dịch chuyển vỏ Trái Đất thu được tại các trạm KUNM (35,9 mm/năm), CUSV (23,4 mm/năm), NTUS (21,5 mm/năm), BAKO (25,5 mm/năm). Trạm PIMO nằm ở mảng Philippine dịch chuyển về phía tây bắc với vận tốc 29,8 mm/năm.

- Dịch chuyển tương đối so với mảng Âu - Á giảm từ 9,4 mm/năm tại VINH, 5,6 mm/năm ở HUES, 3,1 mm/năm ở CUSV tới 1,9 mm/năm ở HOCH và phương vị thay đổi từ 104° tại VINH, 138° tại HUES, 204° ở HOCH và 247° ở CUSV cho thấy rằng khối Đông Dương đang quay theo chiều kim đồng hồ với phần phía bắc quay nhanh hơn phần phía nam.

- Dịch chuyển tương đối so với khối Sunda của các trạm VINH, HUES, CUSV, HOCH, NTUS và BAKO tương ứng là 2,9 mm/năm, 6,8 mm/năm, 11,7 mm/năm, 9,3 mm/năm, 10,7 mm/năm và 1,4 mm/năm cho thấy rằng khối Sunda đang chịu những biến dạng nội khối đáng kể.

Lời cảm ơn: Đề tài được sự hỗ trợ kinh phí của đề tài nghiên cứu cơ bản mã số 105.01.42.09 “Sử dụng số liệu GPS liên tục ở Việt Nam và Đông Nam Á nghiên cứu nồng độ điện từ tổng cộng tầng điện ly và mối liên quan với biến thiên trường từ Trái Đất, đánh giá hàm lượng hơi nước tổng cộng tầng đối lưu và dịch chuyển vỏ Trái Đất ở các điểm quan sát tại Việt Nam”.

TÀI LIỆU DẪN

[1] *Avouac J. P. & P. Tapponnier*, 1993: Kinematic model of active deformation in Central-Asia, *Geophys. Res. Lett.*, 20 (10), 895-898.

[2] *Lê Duy Bách và Trần Văn Trị*, 2000: Chương 3, Kiến tạo, Sách tra cứu các phân vị địa chất Việt Nam. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam.

[3] *Calais E., M. Vergnolle, V. San'kov, A. Lukhnev, A. Miroshnitchenko, S. Amarjargal and J. Deverchere*, 2003: GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area (1992-2002); Implications for current kinematics of Asia, *J. Geophys. Res.*, 108(B10), 2501, doi:10.1029/2002JB002373.

[4] *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.

[5] *Duong Chi Cong*, 2006: GPS measurements of horizontal deformation across of Lai Chau-Dien Bien (Dien Bien Phu) fault in Northwest of Vietnam, 2002-2004, *Earth Planets Space*, 58, 523-528.

[6] *Duong Chi Cong & K. L. Feigl*, 1999: Geodetic measurement of horizontal strain across the Red River fault near Thac Ba, Vietnam, 1963-1994, *Journal of Geodesy*, 73, 298-310.

[7] *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.

[8] *England P. & P. Molnar*, 1997: Active deformation of Asia: from kinematics to dynamics, *Science*, 647-650, doi:10.1126/science.278.5338.647.

[9] *Vy Quốc Hải*, 2009: Xác định chuyển dịch tuyệt đối khu vực lưới GPS Tam Đảo - Ba Vì, Tạp chí Địa chất, A 311 (3-4), 22-30.

[10] *Herring T. A., R. W. King, S. C. McClusky*, 2009: GAMIT reference manual, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.

[11] *Houseman G. & P. England*, 1993: Crustal thickening versus lateral expulsion in the Indian-Asian continental collision, *J. Geophys. Res.*, 98(B7), 12233-12249.

[12] *Hutchison C. S.*, 1989: Geological evolution of South-East Asia, Oxford, Oxford University press.

[13] *Metcalfe I.*, 2011: Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland, Gondwana research, 19, 3-21.

- [14] Michel G. W., M. Becker, D. Angermann, C. Reigber & Reinhart, 2000: Crustal motion in E- and SE-Asia from GPS measurements, *Earth Planet Space*, 52, 713-720.
- [15] Michel G. W., Y. Q. Yu, S. Y. Zhu, C. Reigber, M. Becker, E. Reinhart, W. Simons, B. Ambrosius, C. Vigny, N. Chamote-Rooke, X. L. Pichon, P. Morgan, S. Matheussen, 2001: Crustal motion and block behaviour in SE-Asia from GPS measurement, *Earth Planet. Science Lett.*, 187, 239-244.
- [16] Lê Huy Minh, Nguyễn Chiến Thắng, Trần Thị Lan, R. Fleury, P. Lassudrie-Duchesne, A. Bourdillon, C. Amory-Mazaudier, Trần Ngọc Nam, Hoàng Thái Lan, 2007: Ảnh hưởng của bão từ tới nồng độ điện tử tổng cộng vùng dị thường điện ly xích đạo Đông Nam Á quan sát được từ số liệu GPS, *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, T.29, (2), 104-112.
- [17] Lê Huy Minh, K. Feigl, F. Masson, Dương Chí Công, A. Bourdillon, P. Lassudrie-Duchesne, Nguyễn Chiến Thắng, Nguyễn Hà Thành, Trần Ngọc Nam, Hoàng Thái Lan, 2010. Dịch chuyển vỏ Trái đất theo số liệu GPS liên tục tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á, *Tạp chí Các khoa học về Trái Đất*, T.32, (3), 249-260.
- [18] Peltzer G. & F. Saucier, 1996: Present-day kinematics of Asia derived from geologic fault rates, *J. Geophys. Res.*, 101, 27943-27956.
- [19] Sone M. & I. Metcalfe, 2008: Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: new insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny, *Comptes Rendus Geoscience*, 340, 166-179.
- [20] Lê Từ Sơn, Vũ Văn Chinh và nnk, 2006: Động đất Đô Lương, Nghệ An M4,7 ngày 7/1 và M4,6 ngày 12/1 năm 2005. *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, 28(1), 51-60.
- [21] Simons W. J. F., A. Socquet, C. Vigny, B. A. C. Ambrosius, S. H. Abu, C. 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.*, 112, B06420, doi:10.1029/2005JB003868.
- [22] 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 GEODYSEA project, *Geophys. Res. Lett.*, 26(4), 2081-2084.
- [23] Tapponnier P., G. Peltzer, A. Y. Le Dain, R. Armijo & P. Cobbold, 1982 : Propagating extrusion tectonics in Asia ; new insights from simple experiments with plasticine, *Geology*, 12, 611-616.
- [24] Tapponnier P., G. Peltzer, R. Armijo, 1986: On the mechanics of the collision between India and Asia, *Geological Society, London, Special Publications*, 19, 113-157.
- [25] Tapponnier P., R. Lacassin, P. H. Leloup, U. Schärer, D. Zhong, H. Wu, X. Liu, S. Ji, L. Zhang & J. Zhong, 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt : Tertiary east-lateral shear between Indochina and South China, *Nature*, 343, 431-437.
- [26] Trần Đình Tô, Nguyễn Trọng Yêm K. Feigl, Dương Chí Công, Vy Quốc Hải, 2001: Về hoạt động của đới đứt gãy Sông Hồng theo số liệu đo GPS, *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, T.23, (4), 436-441.
- [27] Tran Dinh To, Nguyen Trong Yem, Duong Chi Cong, Vy Quoc Hai, W. Zuchievicz, Nguyen Quoc Cuong, Nguyen Viet Nghia, 2012: Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data, *J. Geodynamics*, Doi:10.1016/j.jog.2012.02.009.
- [28] Nguyễn Văn Vương, Tạ Trọng Thắng, Vũ Văn Tích, 2002: A new kinematic model for the cenozoic deformation along the Red River shear zone: implication for the Song Hong basin formation, *J. Geology, Serie B*, 19-20, 79-89.
- [29] Nguyễn Đình Xuyên, 2004: Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền ở Việt Nam. Báo cáo tổng kết Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Viện Vật lý Địa cầu, Viện KH & CN VN, Bộ KH & CN.
- [30] Nguyễn Đình Xuyên, 2008: Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam và các giải pháp phòng tránh, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội.
- [31] Wilson P. et al., 1998: Study provides data on active plate tectonics in Southeast Asia region, *Eos Trans. AGU*, 79(45), 545-549.

SUMMARY

Recent crustal motion in Vietnam and in the Southeast Asia region by continuous GPS data

This paper presents an estimation of the velocity of the Earth's crust in Vietnam and the Southeast Asian region, determined from the GPS data in nearly 8 years (4/2005-11/2013) at 5 sites in Vietnam (DBIV, PHUT, VINH, HUES and HOVM) plus more than 20 ones in Southeast Asia and other regions using GAMIT software. The horizontal velocity vectors in ITRF2005 at the considered Southeast Asia stations show that they drive to the south-eastward, but the KUNM, DBIV, PHUT, VINH and HUES (with velocity of about 31-36mm/yr) move faster than the HOVM, CUSV, NTUS and BAKO (with the velocity of 21.5-25.5 mm/yr); meanwhile the PIMO drives to the northwest with the velocity of 29.8 mm/yr. The fact that the relative velocity vectors with respect to the Eurasian plate decrease from 9.4 mm/yr at VINH, 5.6 mm/yr at HUES, 3.1 mm/yr at CUSV to 1.9 mm/yr at HOVM, as well as the increase of the motion azimuths from 104° at VINH, 138° at HUES, 204° at HOVM to 247° at CUSV shows that the Indochina block rotate clockwise; however, its northern part moves faster than the southern one. The significant difference of the relative velocities with respect to Sundaland at the stations, 1.4 mm/yr at BAKO, 2.9 mm/yr at VINH, 6.8 mm/yr at HUES, 9.3 mm/yr at HOVM, 10.7 mm/yr at NTUS and 11.7 mm/yr at CUSV) implicates that the Sundaland also undergoes a significant internal deformation.