

GRADIENT KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI KHU VỰC NINH THUẬN VÀ LÂN CẬN

Phan Trọng Trịnh*, Ngô Văn Liêm, Vy Quốc Hải, Trần Văn Phong, Nguyễn Văn Hường,
Nguyễn Việt Thuận, Nguyễn Quang Xuyên, Bùi Văn Thơm, Nguyễn Đăng Túc, Hoàng
Quang Vinh, Nguyễn Huy Thịnh, Bùi Thị Thảo, Trần Quốc Hùng

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

*E-mail: phantrongt@yahoo.com

Ngày nhận bài: 15-1-2015

TÓM TẮT: Đánh giá vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại và gradient kiến tạo hiện đại có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong việc đánh giá đứt gãy hoạt động nguy hiểm động đất phục vụ xây dựng nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận. Trên cơ sở đo 3 chu kỳ GPS vào các năm 2012 - 2013, sử dụng phần mềm BERNESE 5.0, chúng tôi đã xác lập được vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại tại 13 điểm đo GPS trong khu vực lân cận bao gồm kéo dài từ Nha Trang tới đảo Phú Quý. Vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại về phía đông thay đổi từ 22 - 25 mm/năm và chuyển dịch về phía nam với vận tốc giao động từ 5 - 10 mm/năm trên hệ tọa độ toàn cầu ITRF08. Sai số vận tốc chuyển dịch kiến tạo về phía đông giao động trong khoảng 1,2 - 1,5 mm/năm và về phía nam giao động trong khoảng 0,9 - 1,2 mm/năm. Liên kết với giá trị đo GPS từ đề tài nghiên cứu địa động lực hiện đại khu vực Tây Nguyên mã số TN3/T06, chúng tôi đã xác định được giá trị vận tốc biến dạng giao động từ 50 nano tới 100 nano biến dạng với sai số giao động trong khoảng 50 nano biến dạng. Trục biến dạng nén cực đại giao động theo phương thay đổi từ bắc nam sang đông bắc - tây nam. Trục biến dạng căng cực đại có phương thay đổi từ tây bắc - đông nam sang phương đông - tây.

Từ khóa: GPS, kiến tạo hiện đại, vận tốc, gradient kiến tạo, vận tốc biến dạng, trục biến dạng nén cực đại, trục biến dạng giãn cực đại.

MỞ ĐẦU

Đánh giá chuyển động kiến tạo hiện đại trong một khu vực hay một lãnh thổ có ý nghĩa vô cùng quan trọng. Trước hết cho phép làm sáng tỏ cơ chế biến dạng thạch quyển, phát hiện các đới đứt gãy đang hoạt động từ đó đặt cơ sở cho việc đánh giá tại biến địa chất như nguy hiểm động đất, sóng thần, trượt lở. Đối với việc xây dựng nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận, 2 tham số quan trọng có tính chất loại trừ trong việc lựa chọn địa điểm là đứt gãy đang hoạt động tồn tại lân cận nhà máy và gia tốc rung động cực đại không được vượt quá giá trị tới hạn 360 cm/s^2 với chu kỳ lặp lại 10.000 năm. Ngoài ra, theo tiêu chuẩn của Nga thì gradient

kiến tạo hiện đại mà thực chất là vận tốc biến dạng hiện đại cũng là một trong những tiêu chí ngoại trừ nếu khu vực nhà máy có gradient kiến tạo vượt quá giá trị $10^{-6}/\text{năm}$. Giá trị này còn là tham số đầu vào để đánh giá nguy hiểm động đất của các nhà tư vấn Nga.

Bài báo này trình bày những kết quả mới nhất về xác định vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên khu vực Ninh Thuận và lân cận trên cơ sở các số đo GPS trên 13 trạm trong 3 chu kỳ 2012 - 2013. Vận tốc chuyển dịch tuyệt đối được tính toán trên mạng lưới toàn cầu ITRF08. Trên cơ sở các số liệu về vận tốc chuyển dịch trên khu vực Ninh Thuận và lân cận, kết hợp với giá trị vận tốc chuyển động

hiện đại do từ mạng lưới Châu Á - Thái Bình dương [1, 2] và từ nhiều đề tài dự án như từ đề tài KC09.11/06-10 và đề tài đánh giá địa động lực hiện đại khu vực Tây nguyên, mã số TN3/T06 do Phan Trọng Trinh là chủ nhiệm [3, 4], chúng tôi đã xác định vận tốc biến dạng kiến tạo hiện đại cũng như tốc độ xoay, biến dạng cực đại, giá trị và phương biến dạng tiếp cực đại cho toàn khu vực Ninh Thuận và lân cận. Những kết quả được trình bày ở đây sẽ góp phần làm sáng tỏ đặc điểm địa động lực hiện đại khu vực Ninh Thuận từ đó đặt cơ sở cho việc lựa chọn nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận.

BỐI CẢNH KIẾN TẠO PLIOCEN - ĐỆ TƯ KHU VỰC NINH THUẬN VÀ LÂN CẬN

Đọc theo rìa lục địa Việt Nam, những sự thay đổi lớn về kiến tạo và trầm tích đã xảy ra từ khoảng ranh giới Paleogen - Neogen. Trong suốt Neogen sớm, sự phá vỡ lục địa ở phần phía nam của Biển Đông lan truyền về phía tây nam và đã kích thích quá trình tách giãn đáy biển trong khu vực giữa Việt Nam và Borneo ngày nay [5- 8]. Một sự thay đổi cấu trúc quan trọng trong Miocen sớm, đi kèm là biến tiến rộng khắp xảy ra trong các bể ngoài khơi ở miền Nam và miền Trung Việt Nam. Ở phía bắc bể Phú Khánh, sự phát triển rộng khắp của cacbonat bắt đầu do sự lún chìm tái xảy ra sau khi sự tạm ngừng của vận động trượt trái của đứt gãy ranh giới Đông Việt Nam chỉ ra rằng biến tiến Miocen sớm cũng đã ảnh hưởng đến khu vực này. Hoạt động núi lửa Neogen sớm trong bể Phú Khánh thể hiện bởi núi lửa bazan kiềm Miocen sớm - giữa gặp trong lỗ khoan phía bắc của bể [9, 10]. Hoạt động núi lửa rộng khắp trên khu vực Ninh Thuận và miền Trung Đông Dương có tuổi sau Neogen sớm, mặc dù, chỉ có một số lượng nhỏ bazan ở miền Trung Việt Nam có tuổi Miocen sớm và giữa cho thấy sự khởi đầu sớm hơn của hoạt động núi lửa [9, 11-15].

Trong bể Sông Hồng, một sự thay đổi từ căng ngang vừa phải tới ép ngang đã xảy ra ở khoảng ranh giới Miocen sớm - giữa [6, 7]. Trong suốt Neogen sớm, sự phá vỡ lục địa ở phần phía nam của Biển Đông lan truyền về phía tây nam và bởi vậy đã kích thích quá trình tách giãn đáy biển trong khu vực giữa Việt

Nam và Borneo ngày nay [5] đã minh giải sự lan truyền về phía tây nam đã dừng lại ở dị thường số 6 tương ứng với khoảng 19 - 20 Ma, vài triệu năm trước sự ngừng nghỉ cuối cùng của quá trình tách giãn đáy biển. Dựa trên vận tốc tách giãn không thay đổi sau sự thành tạo của dị thường trẻ nhất có thể nhận dạng (5D) [5] đã cho rằng quá trình tách giãn đáy biển kết thúc ở khoảng dị thường từ 5C tương ứng với khoảng thời gian 16 - 17 triệu năm, trái lại, nghiên cứu lại kiểu dị thường từ đã cho thấy rằng quá trình tách giãn đáy biển kết thúc sớm hơn cỡ khoảng 20.5 triệu năm tại dị thường từ 6A1.

Một sự thay đổi cấu trúc quan trọng trong Miocen sớm, đi kèm là biến tiến rộng khắp xảy ra trong các bể ngoài khơi ở miền Nam và miền Trung Việt Nam [8]. Trong bể Cửu Long, quá trình sụt lún hậu rift Neogen dẫn tới biến tiến quy mô toàn bể được minh giải là sự thay đổi lên phía trên từ các trầm tích silicic lục địa sang đại dương chiếm ưu thế trong suốt Miocen sớm [16].

Trong bể Nam Côn Sơn, quá trình rift mạnh tái hoạt hoá dọc theo các đứt gãy phương tây bắc - đông nam tới bắc - nam sau Paleogen nhằm phản ứng lại sự lan truyền về phía tây nam của sự phá vỡ lục địa [16]. Phản ứng lại cánh tách giãn mở rộng của tây nam Biển Đông đang tiến lại gần, có hiện tượng biến tiến dần dần trong bể này, nó tạo nên sự chiếm ưu thế của các trầm tích silicic biển Miocen dưới với các đới tương bị khống chế về mặt cấu trúc. Khi biến tiến tiếp tục, quá trình ngập sâu dần dần xảy ra ở các trung tâm sụt lún của bể và tích tụ cacbonat khắp nơi bắt đầu xảy ra. Trong suốt Miocen giữa - muộn, mực nước biển thấp tương đối tạm thời làm gián đoạn tích tụ cacbonat. Bất chính hợp này dễ thấy cắt cụt các thành tạo nằm dưới và đánh dấu hiện tượng giảm rõ rệt của quá trình rift.

Ở phía bắc bể Phú Khánh, các rift phương bắc - nam tới tây bắc - đông nam bị ảnh hưởng bởi sự lún chìm dọc theo rìa bể [7, 16-18] đã trình bày bằng chứng về các đứt gãy trượt phải phương tương tự ngay trên bờ và đã cho rằng sự khởi phát của vận động trượt phải là trong Neogen sớm.

làm mỏng vỏ hay manti trên nóng mang tính khu vực bên dưới khu vực tương ứng của Indochina [11, 12]. Ở nhiều nơi, hoạt động đứt gãy căng giãn đi kèm hoạt động núi lửa này được đề xuất qua bằng chứng là sự tiêm nhập của bazan dọc theo các mặt đứt gãy thuận và các đứt gãy dịch chuyển ngang bazan Miocen muộn tới gần hiện tại [7]. Các đứt gãy này thể hiện định hướng bắc - nam và đông bắc - tây nam, hầu hết là kế thừa các cấu trúc có trước.

Hoạt động núi lửa này dẫn tới hoạt động nâng mạnh và gia tăng hiện tượng bào mòn ở phần đông nam của Indochina. Mặc dù điểm khởi phát của hoạt động magma xảy ra trong suốt Neogen sớm, hiện tượng nâng nhanh chóng liên quan này chỉ được bắt đầu ở khoảng Miocen giữa - muộn khi hoạt động núi lửa trên đất liền được tăng cường. Hiện tượng nâng này đã ảnh hưởng đến khí hậu và hải dương cục bộ, cùng với sự tăng cường liên quan của việc cung cấp trầm tích trên bờ ảnh hưởng tới sự phát triển của bể bên trong và xung quanh các bể Sông Hồng, Cửu Long, Nam Côn Sơn và bể Phú Khánh [9, 10, 17].

Trong suốt đầu Neogen muộn, tích tụ cacbonat trong khu vực bể Nam Côn Sơn chủ yếu xảy ra trên các điểm cao cấu trúc. Theo cùng sự hạ xuống tương đối của mực nước biển Miocen giữa - muộn liên quan với sự khởi phát của nâng trời trên đất liền, các thềm cacbonat dọc theo rìa lục địa này rút lui xa hơn và cuối cùng biến mất [9, 10]. Kết quả là tích tụ silicic trở nên chiếm ưu thế cuối Neogen và sự mở rộng sau đó của thềm lục địa miền Trung và Nam Việt Nam đã xảy ra để phản ứng lại nguồn cung cấp trầm tích lục nguyên tăng lên.

Nhìn chung hoạt động kiến tạo trong giai đoạn Đệ tứ tập trung ở một số đứt gãy như đứt gãy Sông Hồng, Điện Biên - Lai châu, Sông Cả [19, 20]. Ở Khu vực Ninh Thuận, hoạt động kiến tạo trẻ thể hiện rõ nét nhất là dọc đới đứt gãy Sông Ba. Rất nhiều bằng chứng cho thấy hoạt động của đứt gãy xảy ra trong thời gian Đệ tứ. Tuy nhiên chúng tôi không đi vào chi tiết trong bài báo này. Một số đập hồ chứa dọc lưu vực sông này và vùng lân cận có thể bị ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo trẻ và địa động lực hiện đại. Hoạt động kiến tạo hiện đại trên toàn châu Á hoặc khối Sunda đã được công bố

trong các công trình trước đây [1, 21-35], hay ở Việt Nam [3, 4, 36-40]. Tuy nhiên ở khu vực Ninh Thuận hoàn toàn vắng mặt các số đo GPS, vì vậy trong đề tài này chúng tôi phải tạo lập các số đo nguyên thủy, từ đó cho phép xác định được vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong mạng lưới định vị toàn cầu mới nhất ITRF08, cũng như xác định vận tốc biến dạng hiện đại cho toàn khu vực và lân cận.

DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Số liệu

Bảng 1. Lịch đo GPS đợt tháng 3, 4 năm 2012 của mạng lớn

Ngày GPS	CAD1	NHAT	DALA	TUYP	PQUY	CUSV
59			x			x
60			x			x
61			x			x
62			x			x
...						
102	x	x	x	x	x	x
103	x	x	x	x	x	x
104	x	x	x	x	x	x
105	x	x	x	x	x	x
106	x	x	x	x	x	x
107	x	x	x	x	x	x

Trong khu vực Ninh Thuận, trong các đề tài và dự án trước đây vắng mặt hoàn toàn các dữ liệu đo GPS vì vậy chúng tôi phải tiến hành đo mới toàn bộ số liệu tại 12 trạm đo. Các trạm đo đều được đặt trên đá gốc. Phần lớn các trạm đều được xây dựng theo quy chuẩn của trạm đo địa động lực với việc xây cố định cột mốc, bắt vít ăng ten, việc này làm giảm sai số định tâm của ăng ten. Tại một số trạm, để đảm bảo an toàn cho các cột mốc nên chúng tôi giấu điểm mốc sau mỗi lần đo và sử dụng chân máy đo khi đo số liệu. Để giảm thiểu sai số định tâm, cứ sau mỗi ca đo chúng tôi lại định tâm lại để giảm thiểu sai số hệ thống gây ra do việc định tâm. Mỗi ca đo được thực hiện trong 23 h 45 phút. Các số liệu được ghi tự động trong mỗi khoảng thời gian 30 giây. Tại mỗi điểm đo, chúng tôi đã thực hiện tối thiểu 4 ca đo. Tại một số vị trí quan trọng, mỗi kỳ đo có thể thực hiện 8 - 10 ca đo. Ngoài ra, chúng tôi phải sử dụng các số đo từ các trạm đo quốc tế IGS để xác lập vị trí của các điểm đo trên mạng lưới

toàn cầu ITRF08. Để xác định vận tốc biến dạng của khu vực Ninh Thuận, chúng tôi đã sử dụng các giá trị về vận tốc chuyển động kiến tạo xác định được ở khu vực Ninh Thuận, kết hợp với các giá trị về vận tốc chuyển dịch từ dự

án Châu Á - Thái Bình Dương và đề tài KC09.11/06-10, đề tài nghiên cứu xác định gradient kiến tạo phục vụ xây dựng nhà máy điện Hạt nhân Ninh Thuận do chính tác giả làm chủ nhiệm.

Bảng 2. Lịch đo GPS tháng 5 năm 2012 của mạng nhỏ

STT	DOY	CAD	TUT	PMI	NPU	NSO	PKA	VIS	THA
1	129		x						
2	130			x	x				
3	131						x		
4	132							x	
5	133					x			x
6	134	x							
7	135	x		x	x				
8	136	x		x	x	x			
9	137	x			x	x	x		
10	138	x				x	x	x	
11	139	x					x	x	x
12	140	x	x					x	x
13	141	x	x	x					x
14	142		x	x			x		x
15	143		x	x		x		x	

Chu kỳ 2

Bảng 3. Lịch đo của đợt đo tháng 12/2012 và 01/2013 mạng lưới nhỏ

STT	DOY	CAD	TUT	PMI	NPU	NSO	PKA	VIS	THA
1	364	x	x	x					
2	365	x		x	x				
3	366	x			x	x			
4	001	x				x	x		
5	002	x					x	x	
6	003	x						x	x
7	004	x	x						x
8	005		x		x				x
9	006		x				x		x
10	007			x			x	x	
11	008			x		x		x	
12	009	x			x	x			

Bảng 4. Lịch đo GPS đợt đo tháng 3 năm 2013 mạng lưới lớn

Ngày GPS	CAD1	NHAT	DALA	TUYP	PQUY	CUSV
61	x	x		x	x	x
62	x	x		x	x	x
63	x	x		x	x	x
64	x	x		x	x	x
65	x	x				x
66	x	x				x
67	x	x	x			x
68	x	x	x			x
69	x	x	x			x
70	x	x	x			x

Bảng 5. Lịch đo của đợt đo tháng 9/2013 lưới nhỏ

STT	DOY	CAD	TUT	PMI	NPU	NSO	PKA	VIS	THA
1	262	x	x	x	x				
2	263	x		x	x	x			
3	264	x			x	x	x		
4	265	x				x	x	x	
5	266	x					x	x	x
6	267	x	x					x	x
7	268	x	x	x					x
8	269		x	x			x		x
9	270	x				x	x	x	

Bảng 6. Lịch đo GPS đợt đo tháng 10 năm 2013 lưới lớn

Ngày GPS	CAD1	NHAT	DALA	TUYP	PQUY	CUSV
275	x	x	x	x	x	x
276	x	x	x	x	x	x
277	x	x	x	x	x	x
278	x	x	x	x	x	x
279	x	x	x	x	x	x

Để thực hiện các nội dung trên, chúng tôi đã áp dụng các phương pháp chính sau:

Phương pháp phân tích hệ thống định vị toàn cầu GPS

Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng các phương pháp như: Phương pháp quan trắc, thu thập số liệu; Phương pháp kiểm tra chất lượng số liệu; Phương pháp xử lý số liệu; Phương pháp phân tích, so sánh, tổng hợp được áp dụng đồng thời các phương pháp hoặc riêng rẽ từng phương pháp nhằm lựa chọn phương án tiến hành các nội dung đề tài;

Với sự phát triển công nghệ sử lý GPS có độ chính xác cao, để xác định chuyển động kiến tạo hiện đại với vận tốc cỡ một vài mm/năm, bên cạnh việc kéo giãn khoảng thời gian giữa hai chu kỳ đo, sử dụng phần mềm tiên tiến, người ta còn phải nghiên cứu và áp dụng hàng loạt các biện pháp kỹ thuật nâng cao độ chính xác khi thiết lập lưới, thu thập cũng như xử lý số, điển hình như: áp dụng các giải pháp kỹ thuật thi công mốc, loại trừ tối đa các dịch chuyển do các yếu tố ngoại sinh, không có nguồn gốc kiến tạo, mốc ở vị trí thông thoáng thuận lợi thu tín hiệu vệ tinh; Lựa chọn phương pháp đo tĩnh (thu thập số liệu) với ca đo đủ dài, tần suất thu tín hiệu 30 giây. Tùy đồ hình lưới, lựa chọn và tiến hành số lượng ca đo đủ lớn, nhiều trị đo dư tạo điều kiện kiểm tra sai sót;

Chúng tôi đã tiến hành đo liên tục 5 ngày đêm tại mỗi điểm đo, lựa chọn phương án xử lý hậu kỳ (postprocessing) cho số liệu đã được kiểm tra và đánh giá chất lượng, bằng các phần mềm khác nhau. Phần mềm được chúng tôi sử dụng ở đây là BERNESE 5.0. Đây là phần mềm chuẩn quốc tế được sử dụng trong các tính toán vận tốc chuyển dịch GPS và công bố quốc tế.

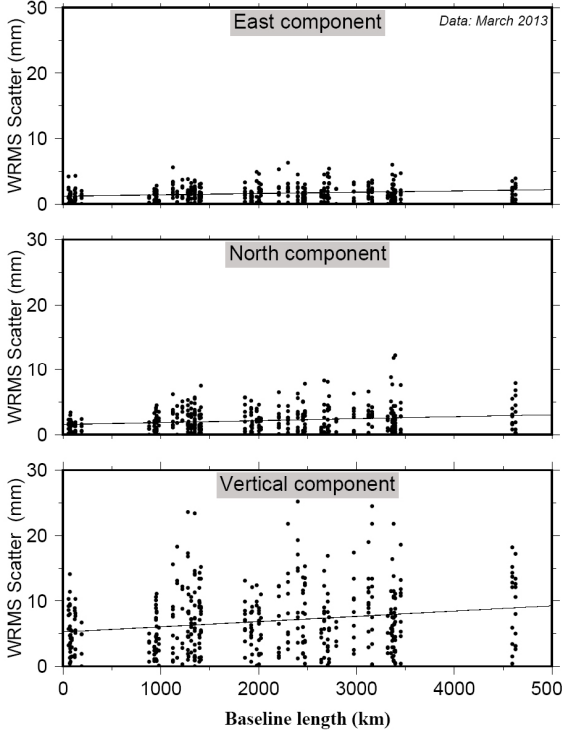
Phương pháp tính biến dạng

Để tính biến dạng, chúng tôi đã sử dụng phần mềm QOCA (Quasi-Observation Combination Analysis), là gói phần mềm cho phép kết hợp các lời giải vận tốc chuyển dịch khác nhau nhằm thu được thông tin về biến dạng của vỏ trái đất. Cơ sở lý thuyết của phần mềm được hoàn thiện và công bố năm 1998 [21]. QOCA chấp nhận nhiều định dạng kết quả tính khác nhau từ các phần mềm xử lý số liệu GPS như: GIPSY, GAMIT, FONDA, GLOBK, BERNESE. Trong quá trình phát triển, QOCA đã trải qua nhiều phiên bản khác nhau chạy trên hệ điều hành họ UNIX. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phiên bản 1.34 với chương trình tính biến dạng được gọi là *ANALYZE_STRAIN* thay thế cho chương trình tính biến dạng *CAL_STR* được phát triển trong các phiên bản trước phiên bản 1.27. Người sử dụng cần phải định dạng các đa giác cân tính biến dạng từ lưới quan trắc với các lựa chọn tính hoặc trong các tam giác Delauney hoặc tính biến dạng trung bình trong một tập hợp điểm quan trắc hoặc tính biến dạng trung bình trong các đa giác nhất định. Nghiên cứu áp dụng cách tính biến dạng trung bình trong các đa giác đã định sẵn [22, 23]. Từ trường vận tốc chuyển dịch, chương trình tính biến dạng này cho phép tính các tham số biến dạng, với kết quả đầu ra bao gồm: vận tốc biến dạng chính lớn nhất và nhỏ nhất, vận tốc xoay, góc lệch giữa phương của trục biến dạng chính nhỏ nhất

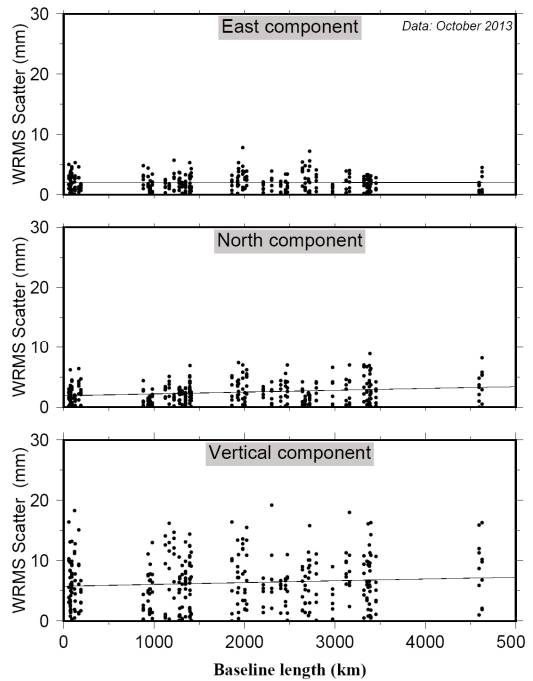
và phương bắc, vận tốc biến dạng trương nở và vận tốc biến dạng trượt cực đại ...

KẾT QUẢ

Chuyển động kiến tạo hiện đại



Hình 2. Biểu đồ sai số trung phương các thành phần theo chiều dài cạnh của các ngày đo chu kỳ tháng 3/2013 mạng lưới lớn



Hình 3. Biểu đồ sai số trung phương các thành phần theo chiều dài cạnh của tất cả các ngày đo chu kỳ tháng 10/2013 mạng lưới lớn

Từ kết quả của 3 đợt đo GPS của mạng lưới gồm 12 điểm đo thuộc lưới Ninh Thuận, chúng tôi đã tính được tọa độ chính xác của các điểm đo trong mạng lưới theo từng chu kỳ đo năm 2012 và 2013 với sai số trung phương của từng thành phần theo chiều dài cạnh như biểu đồ hình 2 và hình 3.

Bảng 7. Vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại tương đối so với điểm CAD1

Đơn vị tính: mm/năm

Station	Lon	Lat	V_e	V_n	V_u	R_e	R_n	R_u
NPU1	108,8627	11,4941	-2,9	-0,7	-6,3	0,7	0,5	1,5
NSO1	108,8794	11,6397	1,9	-1,8	-24,3	0,6	0,4	1,8
PKA1	109,0236	11,7452	-0,9	7,0	-6,8	0,4	0,7	1,6
PMI1	108,9030	11,4222	0,1	2,4	2,9	0,5	0,8	1,5
THA1	109,1602	11,6250	1,2	-0,8	-12,4	0,7	0,3	1,6
TUT1	108,9713	11,4672	-0,3	2,1	-9,4	0,4	0,6	1,5
VIS1	109,1963	11,7180	-0,2	0,3	3,2	0,8	0,6	1,7

Chú thích: V_e - Vận tốc theo hướng đông; V_n - Vận tốc theo hướng bắc, V_u - Vận tốc theo phương thẳng đứng, R_e , R_n và R_u là sai số tương ứng; đơn vị tính mm/năm.

Kết quả xác định vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại được trình bày trong bảng 7 và 8. Các giá trị trên là vận động tuyệt đối tính trong lưới chiếu toàn cầu ITRF08. Cột thứ nhất thể

hiện tên trạm đo, cột thứ 2 và cột thứ 3 thể hiện tọa độ điểm đo. Cột thứ 4 (V_e) thể hiện vận tốc chuyển dịch tuyệt đối trong mạng lưới ITRF08 theo phương vĩ tuyến, ở đây giá trị “+” thể hiện

chuyển dịch về phía đông, giá trị “-” thể hiện chuyển dịch về phía tây. Đơn vị là mm/năm. Cột thứ 5 (V_p) thể vận tốc chuyển dịch theo phương kinh tuyến trong cùng hệ lưới, giá trị “-” thể hiện

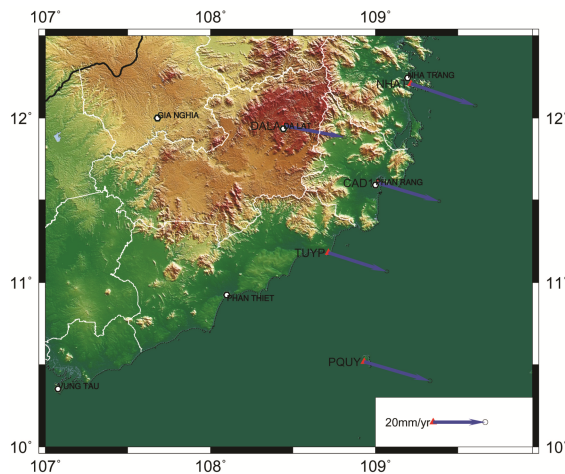
chuyển dịch về phía nam, giá trị “+” thể hiện chuyển dịch về phía bắc, V_u thể hiện vận tốc chuyển dịch theo phương thẳng đứng, giá trị “+” thể hiện nâng lên, giá trị “-” thể hiện hạ.

Bảng 8. Vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong mạng lưới toàn cầu ITRF08

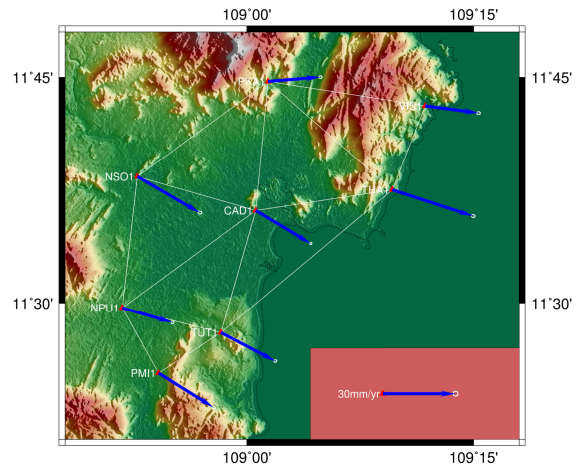
Đơn vị tính: mm/năm

Station	Lon	Lat	V_e	V_n	V_u	R_e	R_n	R_u
NPU1	108,8627	11,4941	22,8	-7,8	-15,7	0,5	0,4	1,7
NSO1	108,8794	11,6397	26,1	-10,0	-34,2	0,6	0,5	2,3
PKA1	109,0236	11,7452	21,4	-0,8	-25,0	0,5	0,4	2,0
PMI1	108,9030	11,4222	26,6	-4,3	-3,4	0,5	0,4	1,8
THA1	109,1602	11,6250	28,5	-5,8	0,9	0,5	0,5	2,2
TUT1	108,9713	11,4672	24,7	-6,3	-16,7	0,5	0,4	1,9
VIS1	109,1963	11,7180	24,8	-8,9	-12,3	0,5	0,4	1,9
CAD1	109,0100	11,6024	23,9	-7,1	-6,3	0,3	0,2	1,1
DALA	108,4456	11,9529	23,2	-4,4	-6,1	0,3	0,3	1,2
NHAT	109,2146	12,2073	24,7	-8,4	-4,7	0,3	0,2	1,1
PQUY	108,9320	10,5163	25,3	-7,4	-3,4	0,3	0,2	1,1
TUYP	108,7151	11,1807	22,5	-7,2	-0,2	0,3	0,2	1,1

Sơ đồ phân bố các vector chuyển dịch trên lưới toàn cầu ITRF08 thể hiện trên hình 4 với các mũi tên màu xanh. Các mũi tên màu vàng là các giá trị được sử dụng từ các đề tài khác để xác định vận tốc biến dạng cho khu vực Ninh Thuận và lân cận.



Hình 4. Sơ đồ phân bố vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong hệ thống định vị toàn cầu ITRF08 của các trạm đo GPS lưới Ninh Thuận mạng lưới lớn kéo dài từ Đà Lạt, Nha Trang, Ninh Thuận, Bình Thuận



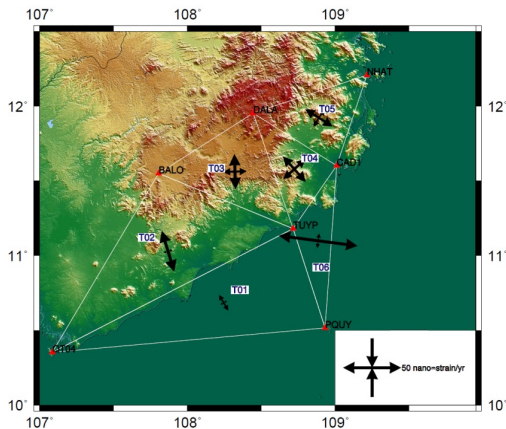
Hình 5. Sơ đồ phân bố vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại trong hệ thống định vị toàn cầu ITRF08 của các trạm đo GPS lưới Ninh Thuận mạng lưới nhỏ trong vòng bán kính 30 km của các vị trí dự kiến xây dựng nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận

Vận tốc biến dạng kiến tạo hiện đại

Từ các kết quả trên, bước đầu chúng tôi đã tính vận tốc chuyển dịch tuyệt đối của các điểm thuộc khu vực Ninh Thuận và vùng lân cận như được thể hiện trên bảng 8, hình 4.

Ngoài 13 điểm đo thuộc lưới Ninh Thuận, chúng tôi tham khảo thêm kết quả của các điểm đo điểm GPS ở vùng lân cận [2, 11, 16, 17, 24, 25, 41, 42] và đã tiến hành phân chia khu vực nghiên cứu thành các tam giác để tính vận tốc biến dạng. Để nâng cao tính chính xác, các tam giác được lựa chọn sao cho có diện tích và khoảng cách các cạnh đồng đều nhất (có thể). Trên cơ sở 7 điểm đo GPS được lựa chọn, đã tiến hành phân chia khu vực nghiên cứu thành một mạng lưới 6 đa giác. Việc này được tiến hành dựa trên nguyên tắc: lấy điểm CAD1 và TUYU làm trung tâm để kết nối với các điểm xung quanh sao cho diện tích của các đa giác không quá chênh lệch nhau, phù hợp với quy mô lưới tính biến dạng. Lưới đa giác được tạo thành có trọng tâm của mỗi đa giác thường nằm ở tâm của các cấu trúc quan trọng.

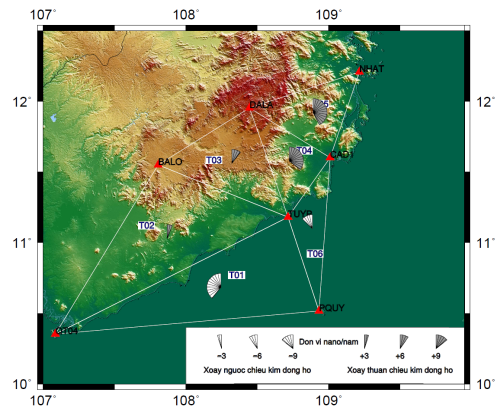
Kết quả các giá trị vận tốc biến dạng chính của các tam giác này được tính toán thể hiện ở trọng tâm của mỗi tam giác (hình 6).



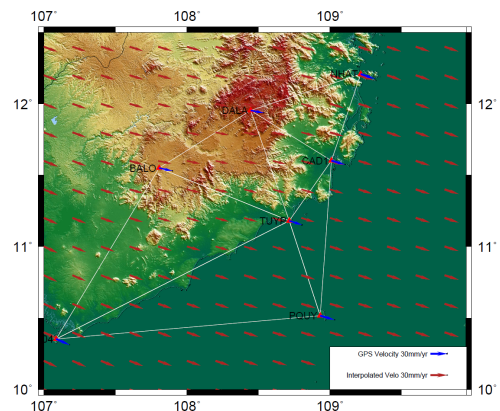
Hình 6. Vận tốc biến dạng trong các đa giác (từ T1 đến T6) tính từ số liệu chuyên dịch GPS thể hiện các trạng thái biến dạng nén ép, trượt bằng hoặc căng giãn trong các đa giác khác nhau

Khu vực nghiên cứu với quy mô lưới tính biến dạng lớn nhưng chỉ có 7 điểm đo GPS. Để thu được một trường biến dạng mang tính liên tục, cần phải có một trường vận tốc chuyển dịch với các điểm GPS phân bố tương đối đều trong lưới. Nhằm mô tả trường vận tốc biến dạng liên tục, đã tiến hành nội suy vận tốc chuyển dịch theo lưới $0,2^0 \times 0,2^0$ cho toàn vùng trên cơ sở vận tốc chuyển dịch của 7 điểm đã được lựa chọn kết hợp với số liệu đã công bố khu vực Nam Bộ (Trần Đình Tô), chương trình

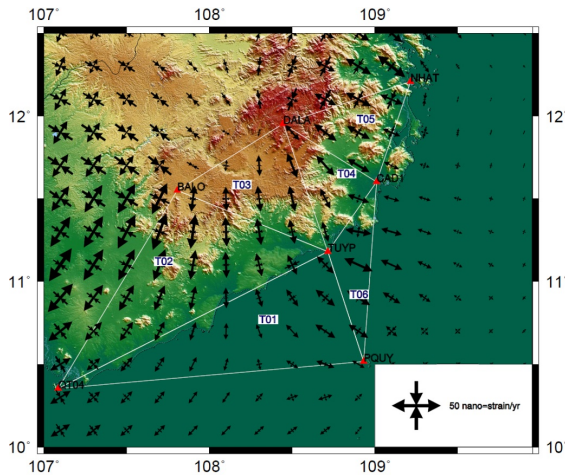
châu Á - Thái Bình Dương [1, 2] và Tây Nguyên (đề tài TN3/T06). Việc nội suy được tiến hành bằng phương pháp Kriging cho từng thành phần vận tốc. Kriging là phương pháp nội suy tìm ra đặc tính chung của toàn bộ bề mặt được thể hiện bởi các giá trị số đo, và áp dụng các đặc tính đó cho các phần khác của bề mặt. Kriging dựa trên phương pháp “phân tích bề mặt” và “trọng số trung bình”. Trọng số được xác định bởi xu hướng của những độ lệch giữa đường cong bề mặt toàn cầu và các điểm quan sát. Kết quả thu được một trường vận tốc chuyển dịch phân bố đều. Hình 7 giới thiệu trường vận tốc chuyển dịch nhận được cùng các vector vận tốc đo thực tế. Từ trường vận tốc chuyển dịch này, đã tiến hành tính biến dạng cho lưới tứ giác $0,2^0 \times 0,2^0$ trong phạm vi của các đa giác nội mạng. Mỗi ô lưới $0,2^0 \times 0,2^0$ tương đương với diện tích khoảng 484 km^2 .



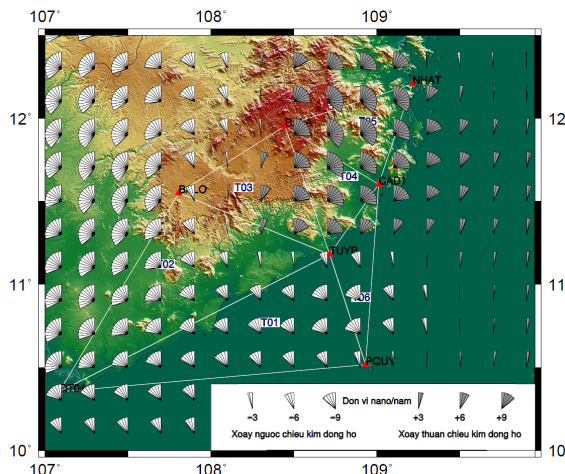
Hình 7. Vận tốc biến dạng xoay trong các đa giác nội mạng



Hình 8. Vận tốc chuyển dịch nội suy theo lưới $0,2^0 \times 0,2^0$ bằng phương pháp Kriging từ các giá trị đo chuyển dịch tuyệt đối của các điểm GPS



Hình 9. Vận tốc biến dạng tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy

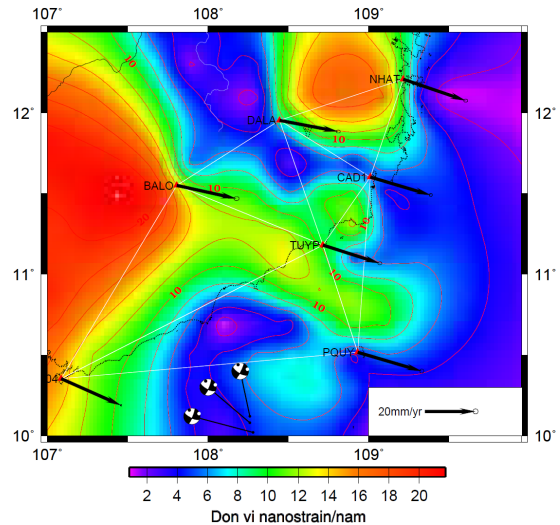


Hình 10. Vận tốc biến dạng xoay tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy

Độ lớn vận tốc biến dạng - đại lượng bất biến thứ hai

Ngoài các giá trị vận tốc biến dạng chính và vận tốc biến dạng xoay, chúng tôi còn xác định một số tham số như độ lớn biến dạng mà bản chất là bất biến thứ 2 trong tenxơ vận tốc biến dạng. “Độ lớn biến dạng” tính được nằm ở tâm của mỗi ô vuông kích thước $0,2^0 \times 0,2^0$. Kết quả cho phép nhận dạng các khu vực biến dạng mạnh yếu khác nhau trong khu vực nghiên cứu. Theo đó, biến dạng lớn nhất là ở phía tây Bảo Lộc (20 nano-strain/năm) và ở tây Nha Trang (14 nano-strain/năm). Biến dạng yếu nhất nằm

ở phía đông Nha Trang và vịnh Phan Thiết (< 2 nano-strain/năm). Khu vực Ninh Thuận có giá trị độ lớn biến dạng yếu, nhỏ hơn 14 nano-strain/năm (hình 11).

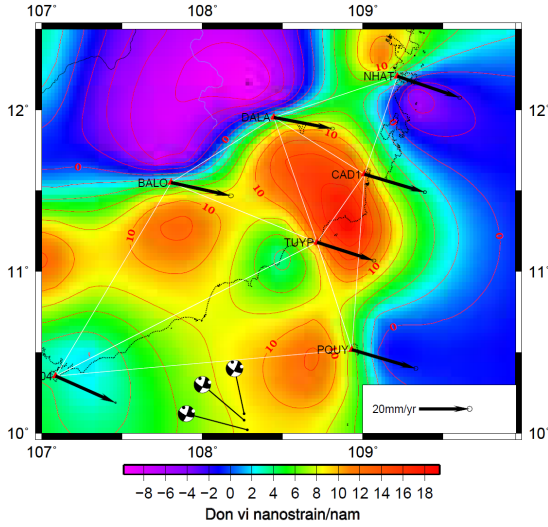


Hình 11. “Độ lớn biến dạng” tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy. Giá trị này tính theo đại lượng bất biến thứ hai của tenxơ biến dạng. Cơ cấu chấn tiêu động đất theo danh mục CMT (1976 - 2011)

Vận tốc biến dạng khối hai chiều - bất biến thứ nhất

Độ lớn biến dạng khối hai chiều (nền màu) tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy. Giá trị này tính theo đại lượng bất biến thứ nhất của tenxơ biến dạng. Độ lớn biến dạng khối 2D tính được nằm ở tâm của mỗi ô vuông kích thước $0,2^0 \times 0,2^0$. Các giá trị này được nội suy một lần nữa bằng phương pháp tương tự đã áp dụng cho tính độ lớn biến dạng. Kết quả thể hiện trên hình 12.

Các vùng có giá trị dương lớn nhất là phía nam và tây nam Phan Rang - Ninh Thuận và phía tây đảo Phú Quý (14 - 18 nano-strain/năm). Vùng có giá trị âm lớn nhất là phía tây bắc Đà Lạt và phía đông nam vịnh Nha Trang. Giá trị dương biểu thị biến dạng thuận lợi cho phát triển đứt gãy thuận. Giá trị dương của biến dạng trương nở hai chiều ở phía tây đảo Phú Quý phù hợp với sự có mặt của các trận động đất với cơ chế đứt gãy thuận ở lân cận đảo này (hình 12).

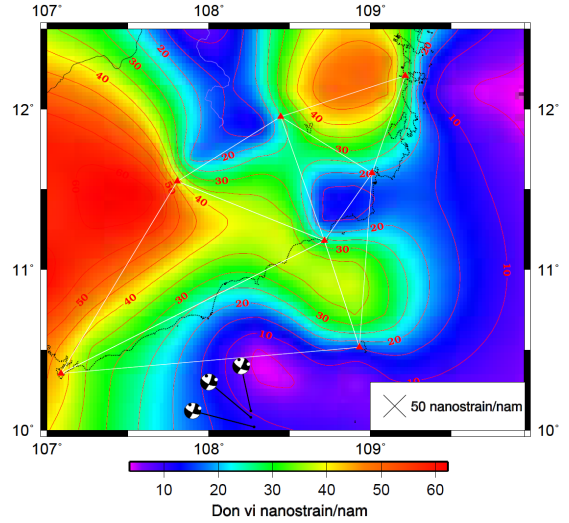


Hình 12. Độ lớn biến dạng trương nở 2D (nền màu) tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy. Giá trị này tính theo đại lượng bất biến thứ nhất của tenxơ biến dạng. Giá trị dương biểu thị biến dạng thuận lợi cho phát triển đứt gãy thuận, giá trị âm biểu thị biến dạng thuận lợi cho phát triển đứt gãy nghịch

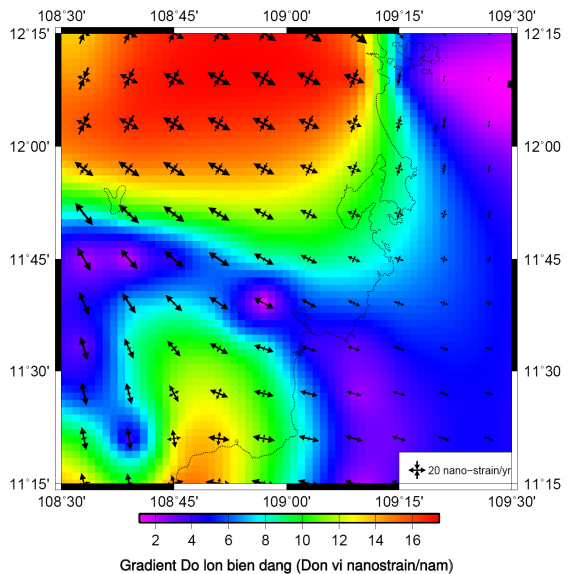
Vận tốc biến dạng trượt cực đại

Độ lớn biến dạng trượt cực đại (nền màu và kích thước dấu cộng) tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy. Phương của biến dạng trượt cực đại thể hiện thông qua định hướng của dấu cộng. Độ lớn biến dạng trượt cực đại tính được nằm ở tâm của mỗi ô vuông kích thước $0,2^{\circ} \times 0,2^{\circ}$. Các giá trị này được nội suy một lần nữa bằng phương pháp tương tự áp dụng cho tính độ lớn biến dạng. Kết quả thể hiện trên hình 13.

Biến dạng trượt cực đại lớn nhất là ở phía tây Bảo Lộc và tây Nha Trang (40 - 60 nano-strain/năm). Vùng Phan Rang có vận tốc biến dạng trượt cỡ 10 nano-strain/năm. Vùng đông Nha Trang và tây Phú Quý có vận tốc biến dạng trượt thấp nhất. Độ lớn biến dạng trượt cực đại và phương của nó đặc trưng cho tính cục bộ của biến dạng trượt lẫn phương mà dọc theo đó hoạt động đứt gãy trượt bằng dễ xảy ra nhất. Các đứt gãy trượt bằng nếu xảy ra sẽ có chuyển dịch phải nếu đứt gãy định hướng theo phương tây bắc - đông nam và chuyển dịch trái nếu đứt gãy định hướng theo phương đông bắc - tây nam. Các vùng nam và tây Phan Rang thuận lợi cho phát triển đứt gãy trượt bằng.



Hình 13. Độ lớn biến dạng trượt cực đại (thể hiện bằng nền màu - biểu diễn giá trị dương và kích thước dấu cộng) tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy. Phương của biến dạng trượt cực đại thể hiện thông qua định hướng của dấu cộng. Độ lớn biến dạng trượt cực đại và phương của nó đặc trưng tính cục bộ của biến dạng trượt lẫn phương mà dọc theo đó hoạt động đứt gãy trượt bằng dễ xảy ra nhất



Hình 14. Sơ đồ gradient vận tốc biến dạng chi tiết theo tài liệu đo GPS cho khu vực bán kính 25 km

Nhìn chung vận tốc dịch chuyển về phía đông giao động trong khoảng 22 mm/năm tới

26 mm/năm, dịch chuyển về phía nam từ 6 mm/năm tới 8 mm/năm. Tuy nhiên, điểm THA1 có vận tốc chuyển dịch về phía đông đạt tới 28,5 mm/năm, điểm PKA1 chuyển dịch về phía nam chỉ với vận tốc -0,8 mm/năm. Trong khi đó vận tốc dịch chuyển về phía nam của NSO1 đạt tới giá trị 10 mm/năm. Theo thông báo của phần mềm BERNESE, sai số vận tốc theo phương á vĩ tuyến thay đổi từ 0,3 - 0,6 mm/năm, theo phương kinh tuyến 0,2 - 0,5 mm/năm. Tuy nhiên sai số thực có thể gấp 3 lần ứng với 0,9 - 1,8 mm/năm đối với phương vĩ tuyến và 0,6 - 1,5 mm/năm đối với phương kinh tuyến.

THẢO LUẬN

Với thời gian thực hiện đo GPS chỉ trong khoảng thời gian ngắn, các kết quả đo GPS tại khu vực Ninh Thuận hoàn toàn tương tích với kết quả đo GPS tại HOCM, KT04, SRIS, SIEM là các trạm đo GPS trong khoảng thời gian trên 10 năm. Nhìn chung vận tốc dịch chuyển về phía đông giao động trong khoảng 22 mm/năm tới 26 mm/năm, dịch chuyển về phía nam từ 6 mm/năm tới 8 mm/năm. Tuy nhiên, một số vị trí có giá trị tương đối khác biệt như điểm THA1 có vận tốc chuyển dịch về phía đông đạt tới 28,5 mm/năm, điểm PKA1 chuyển dịch về phía nam chỉ với vận tốc -0,8 mm/năm. Trong khi đó vận tốc dịch chuyển về phía nam của NSO1 đạt tới giá trị 10 mm/năm. Giá trị sai số theo thông báo của phần mềm BERNESE đối với phương vĩ tuyến giao động trong khoảng 0,3 - 0,6 mm/năm, theo phương kinh tuyến 0,3 - 0,5 mm/năm. Tuy nhiên giá trị sai số thực có lẽ phải gấp 3 lần, tức là sai số chuẩn phải ít nhất trong khoảng 0,9 - 1,8 mm/năm đối với phương kinh tuyến. Chúng tôi cho rằng có thể do thời gian đo quá ngắn nên sai số còn lớn. Giá trị vận tốc biến dạng chính thay đổi từ 19 - 68 nano biến dạng/năm, với giá trị trung bình là 33 nano biến dạng/năm. Vận tốc biến dạng xoay nhìn chung nhỏ hơn 25 nano biến dạng/năm. Phương trục vận tốc biến dạng tách giãn giao động theo phương bắc nam, còn phương trục vận tốc biến dạng nén ép giao động quanh phương vĩ tuyến. Độ lớn biến dạng tính từ vận tốc chuyển dịch nội suy theo đại lượng bất biến thứ hai của tenxơ vận tốc biến dạng nhỏ hơn 22 nano biến dạng/năm. Vận tốc biến dạng khối hai chiều có giá trị giao động từ

-8 nano biến dạng/năm tới 18 nano biến dạng/năm. Độ lớn biến dạng trượt cực đại nhỏ hơn giá trị 60 nano biến dạng/năm. Giá trị sai số biến dạng nhỏ hơn 50 nano biến dạng/năm. Với giá trị vận tốc biến dạng như đã trình bày, vùng Ninh Thuận và khu vực lân cận có thể coi là vùng có chế độ phân dị kiến tạo rất yếu, khá phù hợp với mô hình vùng ổn định của khối Sunda mà một số tác giả đã đề cập trước đây [1, 2, 28]. Do là khu vực có tốc độ biến dạng yếu nên cần xem xét tích lũy động đất trong khoảng thời gian dài, chu kỳ tích lũy không chỉ là 10.000 năm mà cần thiết xem xét trong 100.000 năm thậm chí trong toàn bộ Đệ tứ. Theo khuyến cáo của cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế, những vùng có biến dạng kiến tạo yếu cần xem xét trong khoảng thậm chí dài hơn như Pliocen.

KẾT LUẬN

Với 3 chu kỳ đo GPS trong khoảng thời gian 2012 - 2013, chúng tôi nhận thấy chuyển động kiến tạo hiện đại thể toàn khu vực Ninh Thuận có vận tốc dịch chuyển về phía đông 22 - 26 mm/năm, dịch chuyển về phía nam 6 - 8 mm/năm. Giá trị sai số của vận tốc chuyển dịch kiến tạo hiện đại 0,9 - 1,8 mm/năm đối với phương kinh tuyến. Giá trị vận tốc biến dạng chính thay đổi từ 19 - 68 nano biến dạng/năm, Vận tốc biến dạng xoay nhỏ hơn 25 nano biến dạng/năm. Phương trục vận tốc biến dạng tách giãn giao động theo phương bắc nam, phương trục vận tốc biến dạng nén ép giao động quanh phương vĩ tuyến. Độ lớn biến dạng của bất biến thứ hai của tenxơ vận tốc biến dạng nhỏ hơn 22 nano biến dạng/năm. Vận tốc biến dạng khối hai chiều giao động từ -8 nano biến dạng/năm tới 18 nano biến dạng/năm. Độ lớn biến dạng trượt cực đại nhỏ hơn giá trị 60 nano biến dạng/năm. Giá trị sai số biến dạng nhỏ hơn 50 nano biến dạng/năm. Vùng Ninh Thuận và khu vực lân cận là vùng có chế độ kiến tạo ổn định, cần xem xét đứt gãy hoạt động và đứt gãy sinh chấn trong khoảng thời gian Pliocen - Đệ tứ như khuyến cáo của Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế IAEA.

Lời cảm ơn: Bài viết này là kết quả của đề tài độc lập cấp nhà nước “Đánh giá gradient chuyển dịch kiến tạo trong Pleistocen muộn và hiện đại khu vực dự kiến xây dựng nhà máy

điện hạt nhân Ninh thuận”, mã số 03/2012 và đề tài trọng điểm cấp nhà nước: “Nghiên cứu địa động lực hiện đại khu vực Tây Nguyên phục vụ dự báo các dạng tai biến địa chất ở các vùng đập, hồ chứa và đề xuất các giải pháp phòng tránh”. Mã số TN3/06. Tập thể tác giả cảm ơn sự tài trợ kinh phí của quỹ phát triển Khoa học và Công nghệ NAFOSTED và Bộ Khoa học và Công nghệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Dawson, J., Luton, G., and Govind, R., 2004. Permanent Committee for GIS Infrastructure for Asia and the Pacific, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 GPS Campaign Analysis. PCGIAP Report.
2. Guorong Hu and John Dawson, 2010. The Asia Pacific Regional Geodetic Project (APRGP) GPS Solution (1997 - 2008), XXIV FIG, (www.icsm.gov.au/icsm/FIG/-CongressPaper4113.pdf).
3. Phan Trọng Trinh, 2012. Kiến tạo trẻ và địa động lực hiện đại vùng biển Việt Nam và kế cận. Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 332 tr.
4. Phan Trọng Trinh, 2013. Tràn dầu tự nhiên và mối liên quan với kiến tạo vùng biển Việt Nam và kế cận. Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 308 tr.
5. Briais, A., Patriat, P., and Tapponnier, P., 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978 - 2012), **98**(B4): 6299-6328.
6. Leloup, P. H., Lacassin, R., Tapponnier, P., Schärer, U., Zhong, D., Liu, X., Zhang, L., Ji, S., and Trinh, P. T., 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, **251**(1): 3-84.
7. Rangin, C., Huchon, P., Le Pichon, X., Bellon, H., Lepvrier, C., Roques, D., Hoe, N. D., and Van Quynh, P., 1995. Cenozoic deformation of central and south Vietnam. *Tectonophysics*, **251**(1): 179-196.
8. Roques, D., Matthews, S. J., and Rangin, C., 1997. Constraints on strike-slip motion from seismic and gravity data along the Vietnam margin offshore Da Nang: implications for hydrocarbon prospectivity and opening of the East Vietnam Sea. *Geological Society, London, Special Publications*, **126**(1): 341-353.
9. Fyhn, M. B., Boldreel, L. O., and Nielsen, L. H., 2009a. Geological development of the Central and South Vietnamese margin: Implications for the establishment of the South China Sea, Indochinese escape tectonics and Cenozoic volcanism. *Tectonophysics*, **478**(3): 184-214.
10. Fyhn, M. B., Nielsen, L. H., Boldreel, L. O., Thang, L. D., Bojesen-Koefoed, J., Petersen, H. I., Huyen, N. T., Duc, N. A., Dau, N. T., Mathiesen, A., Reid, I., Huong, D. T., Tuan, H. A., Hien, L. V., Nytoft, H. P., and Abatzis, I., 2009b. Geological evolution, regional perspectives and hydrocarbon potential of the northwest Phu Khanh Basin, offshore Central Vietnam. *Marine and Petroleum Geology*, **26**(1): 1-24.
11. Hoang, N., Flower, M. F., & Carlson, R. W., 1996. Major, trace element, and isotopic compositions of Vietnamese basalts: Interaction of hydrous EM1-rich asthenosphere with thinned Eurasian lithosphere. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **60**(22): 4329-4351.
12. Hoang, N., and Flower, M., 1998. Petrogenesis of Cenozoic basalts from Vietnam: implication for origins of a 'diffuse igneous province'. *Journal of Petrology*, **39**(3): 369-395.
13. Nguyễn Kinh Quốc, Lê Ngọc Thuớc, 1979. Phun trào bazan Kainozoi muộn Nam Trung Bộ. *Địa chất và khoáng sản*, 1: 137-158. Liên đoàn Bản đồ địa chất, Hà Nội.
14. Nguyễn Xuân Hãn, Nguyễn Trọng Yên, Nguyễn Hoàng, Cung Thượng Chí, Phạm Tích Xuân, 1991. Hoạt động núi lửa Kainozoi muộn Nam Trung Bộ. *Địa chất*, 202-203: 33-41, Hà Nội.
15. Phạm Tích Xuân, Nguyễn Hoàng, Lee Hyun Koo, 2003. Đặc điểm thành phần nguyên tố vết và đồng vị trong bazan Kainozoi muộn

- tại Việt Nam và ý nghĩa kiến tạo của chúng. Tạp chí Các Khoa học về Trái đất, **25**(4): 449-510. Hà Nội.
16. Lee, G. H., Lee, K., & Watkins, J. S., 2001. Geologic evolution of the Cuu Long and Nam Con Son basins, offshore southern Vietnam, South China Sea. AAPG bulletin, **85**(6): 1055-1082.
 17. Clift, P. D., and Sun, Z., 2006. The sedimentary and tectonic evolution of the Yinggehai - Song Hong basin and the southern Hainan margin, South China Sea: Implications for Tibetan uplift and monsoon intensification. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), **111**(B6).
 18. Clift, P., Lee, G. H., Anh Duc, N., Barckhausen, U., Van Long, H., and Zhen, S., 2008. Seismic reflection evidence for a Dangerous Grounds miniplate: No extrusion origin for the South China Sea. Tectonics, **27**(3).
 19. Trinh, P. T., Van Liem, N., Van Huong, N., Vinh, H. Q., Van Thom, B., Thao, B. T., Tan, M. T., and Hoang, N., 2012. Late Quaternary tectonics and seismotectonics along the Red River fault zone, North Vietnam. Earth-Science Reviews, **114**(3): 224-235.
 20. Trinh, P., Vinh, H., Huong, N., and Liem, N., 2013. Active fault segmentation and seismic hazard in Hoa-Binh reservoir, Vietnam. Open Geosciences, **5**(2): 223-235.
 21. Beavan, J., Tregoning, P., Bevis, M., Kato, T., and Meertens, C., 2002. Motion and rigidity of the Pacific Plate and implications for plate boundary deformation. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), **107**(B10): ETG-19.
 22. Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J. F., Stevens, C. W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S. S. O., and Calais, E., 2003. Crustal motion in Indonesia from global positioning system measurements. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), **108**(B8).
 23. Calais, E., Vergnolle, M., San'Kov, V., Lukhnev, A., Miroshnitchenko, A., Amarjargal, S., and Déverchère, J., 2003. GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area (1994 - 2002): Implications for current kinematics of Asia. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), **108**(B10).
 24. Chamot-Rooke, N., and Le Pichon, X., 1999. GPS determined eastward Sundaland motion with respect to Eurasia confirmed by earthquakes slip vectors at Sunda and Philippine trenches. Earth and Planetary Science Letters, **173**(4): 439-455.
 25. Chen, Z., Burchfiel, B. C., Liu, Y., King, R. W., Royden, L. H., Tang, W., Wang, E., Zhao, J., and Zhang, X., 2000. Global Positioning System measurements from eastern Tibet and their implications for India/Eurasia. Journal of Geophysical Research, **105**(B7): 16215-16227.
 26. Gan, W., Zhang, P., Shen, Z. K., Niu, Z., Wang, M., Wan, Y., Zhou, D., and Cheng, J., 2007. Present-day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978 - 2012), **112**(B8).
 27. Galgana, G., Hamburger, M., McCaffrey, R., Corpuz, E., and Chen, Q., 2007. Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms. Tectonophysics, **432**(1): 63-87.
 28. Iwakuni, M., Kato, T., Takiguchi, H., Nakaegawa, T., & Satomura, M., 2004. Crustal deformation in Thailand and tectonics of Indochina peninsula as seen from GPS observations. Geophysical research letters, **31**.
 29. Michel, G. W., Yu, Y. Q., Zhu, S. Y., Reigber, C., Becker, M., Reinhart, E., Simons, W., Ambrosius, B., Vigny, C., Chamot-Rooke, N., Pichon, X. L., Morgan, P., and Matheussen, S., 2001. Crustal motion and block behaviour in SE-Asia from GPS measurements. Earth and Planetary Science Letters, **187**(3): 239-244.
 30. Zhijun, N., Min, W., Hanrong, S., Jianzhong, S., Xinzhao, Y., Weijun, G.,

- Guijiang, X., Jinxin, H., Shaohua, X., Yongqing, W., Yongxiang, W., and Bai, L., 2005. Contemporary velocity field of crustal movement of Chinese mainland from Global Positioning System measurements. *Chinese Science Bulletin*, **50**(9): 939-941.
31. Shen, Z. K., Lü, J., Wang, M., and Bürgmann, R., 2005. Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978 - 2012), **110**(B11).
32. Simons, W. J. F., Socquet, A., Vigny, C., Ambrosius, B. A. C., Haji Abu, S., Promthong, C., Subarya, C., Sarsito, D. A., Matheussen, S., Morgan, P., and Spakman, W., 2007. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978 - 2012), **112**(B6).
33. Socquet, A., Simons, W., Vigny, C., McCaffrey, R., Subarya, C., Sarsito, D., Ambrosius, B., and Spakman, W., 2006. Microblock rotations and fault coupling in SE Asia triple junction (Sulawesi, Indonesia) from GPS and earthquake slip vector data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978 - 2012), **111**(B8).
34. Vigny, C., Simons, W. J., Abu, S., Bamphenyu, R., Satirapod, C., Choosakul, N., Subarya, C., Socquet, A., Omar, K., Abidin, H. Z., and Ambrosius, B. A. C., 2005. Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia. *Nature*, **436**(7048): 201-206.
35. Zhang, P. Z., Shen, Z., Wang, M., Gan, W., Bürgmann, R., Molnar, P., Wang, Q., Niu, Z., Sun, J., Wu, J., Hanrong, S., and Xinzhao, Y., 2004. Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global positioning system data. *Geology*, **32**(9): 809-812.
36. Cong, D. C., and Feigl, K. L., 1999. Geodetic measurement of horizontal strain across the Red River fault near Thac Ba, Vietnam, 1963 - 1994. *Journal of Geodesy*, **73**(6): 298-310.
37. Feigl, K. L., Cong, D. C., Becker, M., To, T. D., Neumann, K., and Xuyen, N. Q., 2003. Insignificant horizontal strain across the Red River fault near Thac Ba, Vietnam from GPS measurements 1994-2000. In EGS-AGU-EUG Joint Assembly (Vol. 1, p. 4707).
38. Lê Huy Minh, Kurt Feigl, Frédéric Masson, Dương Chí Công, Alain Bourdillon, Patrick Lassudrie Duchesne, Nguyễn Chiến Thắng, Nguyễn Hà Thành, Trần Ngọc Nam, Hoàng Thái Lan, 2012. 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*, **32**(3): 249-260.
39. Trần Đình Tô và Nguyễn Trọng Yêm, 2004. Chuyển động hiện đại vỏ Trái đất lãnh thổ Việt Nam theo số liệu đo GPS. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, **26**(4): 579-586.
40. Trần Đình Tô, Vỹ Quốc Hải, 2005. Xác định chuyển động hiện đại đới đứt gãy Lai Châu-Điện Biên từ số liệu đo GPS (2002 - 2004). *Tạp chí các khoa học về Trái đất*, **27**(1): 6-13, Hà Nội.
41. Dong, D., Herring, T. A., and King, R. W., 1998. Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. *Journal of Geodesy*, **72**(4): 200-214.
42. Đỗ Tuyết, Nguyễn Tiến Tân, Đinh Văn Thành, 1980. Về các bề mặt san bằng ở vùng Đà Lạt. *Tạp chí địa chất*, **149**(5-6): 14-21.

PRESENT DAY TECTONIC GRADIENT IN NINH THUAN AND SURROUNDING REGION

Phan Trong Trinh, Ngo Van Liem, Vy Quoc Hai, Tran Van Phong, Nguyen Van Huong, Nguyen Viet Thuan, Nguyen Quang Xuyen, Bui Van Thom, Nguyen Dang Tuc, Hoang Quang Vinh, Nguyen Huy Thinh, Bui Thi Thao, Tran Quoc Hung

Institute of Geological Sciences-VAST

ABSTRACT: *The estimation of the present day tectonic movement and tectonic gradient (strain rate) has an important practical signification in the assessment of active fault and seismic hazards for the selection of Ninh Thuan nuclear power plant. Based on the three campaigns of GPS measurement between 2012 - 2013, we used BERNESE 5.0 software to determine present day slip rates of 13 stations in ITRF08 frame. The GPS stations move eastwards at the slip rates of 22 - 25 mm/yr, southwards at the velocities of 5 - 10 mm/yr. The standard errors in latitudinal and longitudinal directions are 1.2 mm/yr and 0.9 mm/yr, respectively. Combined with GPS data from the project of the study on actual geodynamics in Tay Nguyen TN3/06, we determined the strain rate ranging from 50 to 100 nanostrains with the standard error of 50 nanostrains. The direction of maximum compressive strain rate is from northwest - southeast to east - west.*

Keywords: *GPS, present-day tectonics, velocity, tectonic gradient, strain rate, maximum compressive axe, maximum extensive axe.*