TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Xác định chuyển dịch trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu của các trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET

Nguyễn Gia Trọng[1], Nguyễn Viết Nghĩa[1*], Phạm Công Khải[1], Nguyễn Hà Thành[2], Lý Lâm Hà[3], Vũ Trung Dũng[4], Nguyễn Viết Quân[5], Phạm Ngọc Quang[1]

[1] Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất; nguyengiatrong@humg.edu.vn; nguyenvietnghia@humg.edu.vn; phamcongkhai@humg.edu.vn; phamngocquang@humg.edu.vn
[2] Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; hathanh5984@gmail.com
[3] Phòng kinh tế và hạ tầng huyện Cam Lâm, Khánh Hòa; funnylams@gmail.com
[4] Trường Đại học Nông lâm Bắc Giang; dungcnl@gmail.com
[5] Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam; vngeonet@monre.gov.vn

*****Tác giả liên hệ: nguyenvietnghia@humg.edu.vn; Tel.: +84–947868139

Ban Biên tập nhận bài: 13/6/2022; Ngày phản biện xong: 14/07/2022; Ngày đăng bài: 25/07/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng là một nhiệm vụ đã và đang được tiến hành thường xuyên và liên tục tại Việt Nam. Kết quả của nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng góp phần đánh giá mức độ tai biến địa chất cũng như góp phần vận hành các công trình trên khu vực một cách an toàn. Tại Việt Nam, từ năm 2016 đến cuối năm 2019, mạng lưới VNGEONET bao gồm 65 trạm CORS được xây dựng, phân bố trên toàn lãnh thổ Việt Nam phục vụ cho nhiều mục đích, trong đó có mục đích nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng. Dựa trên dữ liệu đo GNSS từ năm 2019 đến năm 2022, đã xác định chuyển dịch cho 17 điểm trên lãnh thổ Việt Nam. Kết quả tính toán trong nghiên cứu này cho thấy sự tương đồng về độ lớn cũng như hướng chuyển dịch khi so sánh với các kết quả đã công bố trước đó, tuy nhiên độ chính xác được nâng lên. Với chuỗi dữ liệu đo dài sẽ góp phần nâng cao độ chính xác xác định chuyển dịch lên 30%. Bên cạnh đó, sự khác biệt về tốc độ chuyển dịch lên tới xấp xỉ 1 cm giữa các điểm là điều cần chú ý khi tiến hành hiện đại hóa hệ quy chiếu trắc địa tại Việt Nam.

Từ khóa: Gamit/Globk; CORS; Chuyển dịch kiến tạo mảng; Xử lý số liệu GNSS; Định vị tuyệt đối chính xác.

1. Mở đầu

Lớp vỏ Trái đất được tạo thành từ các mảng kiến tạo, các mảng này liên tục dịch chuyển theo các hướng khác nhau và là nguyên nhân gây nên các tai biến địa chất cũng như ảnh hưởng đến sự đồng nhất tọa độ của các điểm trong cùng hệ quy chiếu. Do đó, quan trắc chuyển dịch vỏ trái đất là nhiệm vụ được thực hiện thường xuyên và liên tục. Trước đây, các điểm quan trắc hoạt động dịch chuyển kiến tạo bằng phương pháp đo đạc trắc địa được bố trí đơn giản và không cần nhiều điểm khi đứt gãy không bị phân đoạn và có biểu hiện hoạt động đồng nhất trong suốt chiều dài của nó. Trong trường hợp ngược lại, từng phân đoạn đứt gãy cần thiết phải có điểm quan trắc. Có như vậy, số liệu đo bằng phương pháp đo đạc trắc địa mới có thể cho phép xác định được mô hình biến dạng phản ánh chính xác và chi tiết hoạt

động của đứt gãy [1]. Khi hệ thống GNSS bắt đầu được đưa vào sử dụng trong quan trắc chuyển dịch kiến tạo mảng, phương pháp quan trắc bằng công nghệ GNSS này chủ yếu được thực hiện theo phương pháp đo tương đối tĩnh truyền thống. Theo đó, lựa chọn vị trí xây dựng các mốc quan trắc và đến thời điểm (theo chu kỳ xác định trước) sẽ đem máy đến lắp để đo. Từ khi, hệ thống mạng lưới các trạm thu tín hiệu GNSS liên tục (CORS) được triển khai đã cho phép xác định chuyển dịch với dữ liệu dài hơn, chính xác hơn cùng như cho phép thực hiện nhiều mục đích hơn so với phương pháp đo đạc trắc địa truyền thống. Hệ thống GNSS –CORS đã được xây dựng phổ biến trên thế giới, dựa trên dữ liệu thu được từ các mạng lưới này nhiều kết quả xác định chuyển dịch đã được công bố. [2] đã sử dụng phương pháp PPP để xác định tọa độ của 14 trạm CORS trước và sau trận động đất tại Thổ Nhĩ Kỳ năm 2011.

Như đã trình bày ở phía trên, các phần mềm Bernese, Gamit/Globk là các phần mềm được sử dụng một cách rộng rãi trong nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo mảng. [3] trên cơ sở sử dụng phầm mềm Gamit/Globk của các trạm CORS với thời gian đo 7 năm để phát hiện chuyển động kiến tạo dài hạn ở các tỉnh Pohang và Gyeongju từ đó cũng suy ra được các thông số chuyển động của lớp vỏ liên quan đến lý thuyết đàn hồi. [4] đã sử dụng phần mềm FEM để phân tích kết quả chuyển dịch bằng cách sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phân tích chuyển dịch của các trạm CORS tại Thổ Nhĩ Kỳ trong giai đoạn 2008–2014. Cũng tại Thổ Nhĩ Kỳ, [5] đã phân tích dữ liệu của 11 trạm CORS trong thời gian tháng 1 năm 2020 sử dụng phần mềm Gamit/Globk để phát hiện được lượng chuyển dịch 20 ÷ 60 mm tại các điểm gần tâm chấn. Lượng chuyển dịch về độ cao không được xem xét trong nghiên cứu này. [6] phân tích dữ liệu chuyển dịch tại trên cơ sở đó thiết lập mặt quy chiếu chuyển dịch cho phần đất liền của Trung Quốc.

Sử dụng mô đun FODITS trong bộ phần mềm Bernese, [7] đã phân tích lượng chuyển dịch tuyến tính và phi tuyến tính tại Cyprus với dữ liệu thu thập trong giai đoạn 2011–2017 trong khung tham chiếu IGb08. Lượng chuyển dịch của Cyprus được các tác giả tham chiếu đến 4 mảng liền kề của khu vực thực nghiệm. Cũng trên cơ sở sử dụng phần mềm Bernese, [8] đã phân tích chuỗi dữ liệu trong khoảng thời gian 2007–2014 để thiết lập lại mặt quy chiếu trắc địa cục bộ sau trận động đất ở Tohoku năm 2011.

Mạng lưới trạm CORS của Ai Cập thiết lập vào năm 2011 được xác định tọa độ trong ITRF2008, [9] đã sử dụng kết hợp cả phần mềm TBC (*Trimble Business Center*), Bernese, Gamit/Globk để cập nhật tọa độ cho các điểm trong ITRF 2014. Kết quả cập nhật cho thấy, trong giai đoạn 2011–2019, chênh lệch tọa độ đạt 0,237 m và 0,253 m tương ứng với thành phần tọa độ 2D và 3D. Vận tốc thay đổi tọa độ lần lượt là 29,7 và 31,7 mm/năm tương ứng với thành phần 2D và 3D.

Tại Việt Nam, đã có nhiều nghiên cứu dịch chuyển kiến tạo tại nhiều khu vực khác nhau, sử dụng phương pháp đo tương đối của công nghệ GNSS. Với dữ liệu đo GNSS tại 4 thời điểm từ năm 2002 đến năm 2004, tác giả Dương Chí Công (2006) đã sử dụng phần mềm Gamit/Globk và xác định được lượng chuyển dịch của đứt gãy Lai Châu–Điện Biên là khoảng 36 mm (theo hướng Đông) và –9 mm (theo hướng Bắc). Các kết quả nêu trên hoàn toàn phù hợp với chuyển dịch của khu vực Đông Dương [10]. Cũng với phương pháp tiếp cận như trên, Vy Quốc Hải đã xác định được chuyển dịch tuyệt đối khu vực Tam Đảo–Ba Vì bằng cách sử dụng phần mềm Bernese 4.2 để xử lý số liệu đo trong năm 1996 và 2006. Các kết quả tính toán của tác giả phù hợp với kết quả tính toán của đề án GEODYSSEA [11], [12] trên cơ sở xử lý dữ liệu thu thập được tại 27 trạm đo ở miền Bắc Việt Nam trong giai đoạn 1994–2007 đã xác định được tốc độ chuyển dịch về phía Đông của tất cả các trạm là 34,5±1 mm/năm và về hướng Bắc dao động từ -13±1 mm đến -12±1 mm/năm.

[13] trên cơ sở ứng dụng 7 điểm đo tương đối tĩnh GNSS để xác định chuyển dịch tân kiến tạo biển Đông thời kỳ 2007–2008 bằng phần mềm Bernese 5.0. Trên cơ sở sử dụng dữ liệu đo GNSS liên tục từ 2006 đến 2010 với giải pháp xử lý số liệu sử dụng phần mềm Gamit/Globk, [14] đã xác định dịch chuyển tương đối giữa 3 điểm đo GNSS tại Việt Nam và

4 điểm khác trong khu vực Đông Nam Á trong Khung quy chiếu ITRF2005 với sai số xác định các thành phần chuyển dịch lớn nhất là 1,7 mm/năm.

Đặc điểm chung của các nghiên cứu trên đó là: (1) sử dụng số liệu đo tương đối tĩnh theo phương pháp đo truyền thống; (2) sử dụng phần mềm xử lý theo phương án xử lý lưới khống chế; và (3) chưa bàn đến việc sử dụng các mô hình toán để phân tích dữ liệu quan trắc theo chuỗi thời gian.

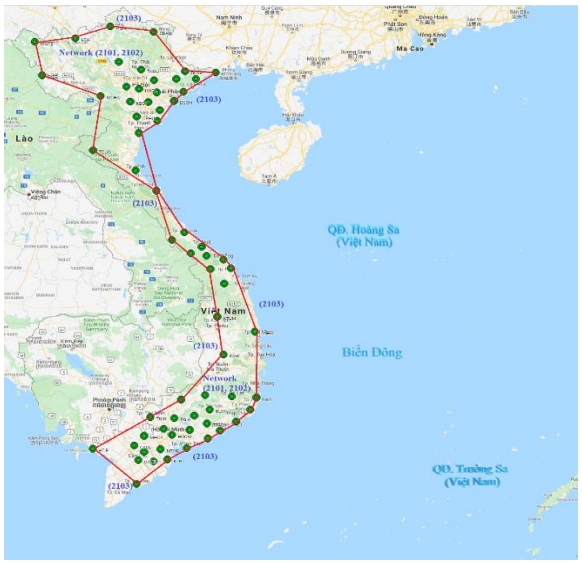
Trong thời gian gần đây, khi hệ thống định vị vệ tinh quốc gia Việt Nam (VNGEONET) sử dụng công nghệ GNSS–CORS được hoàn thiện, phương pháp định vị tuyệt đối chính xác (PPP) với thời gian đo từ 1 giờ trở lên cho độ chính xác ở mức cm và được áp dụng trong nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo ở Việt Nam. [15] đã sử dụng phương pháp này để xác định chuyển dịch cho một số trạm CORS trên lãnh thổ Việt Nam với dữ liệu đo trong giai đoạn 2016–2018. Độ chính xác xác định các thành phần tọa độ lớn nhất là 4 mm (theo hướng Bắc), 4 mm (theo hướng Đông) và 8 mm (về độ cao). Kết quả xác định chuyển dịch này cũng được so sánh với kết quả xác định sử dụng phần mềm Gamit/Globk và Bernese với độ lệch ở mức mm [15].

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Hệ thống trạm định vị vệ tinh quốc gia Việt Nam (VNGEONET) bao gồm 65 trạm GNSS–CORS bao gồm: 24 trạm Geodetic với khoảng cách trung bình giữa các trạm 150÷200 km và 41 trạm NRTK được bố trí tại 3 khu vực đó là: Đồng bằng Bắc Bộ và khu vực Thanh Hóa; khu vực miền Trung và Tây nguyên; khu vực Nam bộ với khoảng cách trung bình 50÷80 km. Sơ đồ phân bố các trạm CORS được cho trong Hình 1. Kết cấu các mốc của tất cả 65 trạm CORS thuộc VNGEONET đều là loại mốc chôn sâu tới tầng đá gốc, đảm bảo đủ điều kiện cung cấp dữ liệu cho các nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo, cũng như các yêu cầu khác trong các nghiên cứu khoa học về trái đất (Hình 2). Trong nghiên cứu này, dữ liệu của 17 trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET thu được trong giai đoạn 2019–2022 đã được sử dụng. Thông tin chi tiết về dữ liệu được trình bày trong Bảng 1. Trong Bảng 1, các điểm có chỉ số (1) là các trạm Geodetic CORS. Như đã trình bày ở phía trên, để xử lý số liệu GNSS trong nghiên cứu chuyển dịch kiến tạo, có thể sử dụng phương pháp định vị tuyệt đối chính xác hoặc xử lý dữ liệu lưới quan trắc GNSS bằng một phần mềm có độ chính xác cao như: Bernese, Gamit/Blobk. Với dữ liệu trong thời gian dài thu được bởi các trạm CORS, xác định được lượng chuyển dịch theo từng ngày trong chuỗi dữ liệu.

Bảng 1. Thông tin về dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu.

Tên các trạm, tỉnh	Loại ăng ten	Loại máy thu	Dạng dữ liệu	Tần suất (s)	Thời gian có dữ liệu
ANHO(1) (Bình Định) QNAM(1) (Quảng Nam) MCAI(1) (Quảng Ninh) SDON (Bắc Giang) HCMV (TP Hồ Chí Minh) BTRI (Bến Tre) KANH(1) (Hà Tĩnh) CLON (Trà Vinh) HYEN (Hưng Yên) THOA(1) (Thanh Hóa) CTHO (Cần Thơ) CPHU (Ninh Bình) VINV(1) (Nghệ An) TQUA(1) (Tuyên Quang) TDOU(1) (Nghệ An) HTIE(1) (Kiên Giang) MGTE (Lai Châu)	LEIAR25.R4 LEIT	LEICA GR50	RINEX; phiên bản 2.11	30	26/08/2019 – 18/03/2022



Hình 1. Sơ đồ phân bố trạm CORS tại Việt Nam.



Hình 2. Một trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET.

Tuy nhiên, giá trị chuyển dịch của các ngày có sai số lớn do ảnh hưởng của nhiều yếu tố khách quan sẽ không phản ánh hết quy luật chuyển dịch của đới đứt gãy, mảng kiến tạo theo thời gian. Để có thể phân tích và tìm ra quy luật chuyển dịch của các của đới đứt gãy, mảng kiến tạo dựa vào chuỗi thời gian, sử dụng các mô hình toán học để xác định được quy luật chuyển dịch theo mùa, xu hướng chuyển dịch theo năm … [16].

Trong nghiên cứu này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Gamit/Blobk để xử lý dữ liệu các dữ liệu của 17 điểm thuộc hệ thống VNGEONET từ ngày 26 tháng 08 năm 2019 đến ngày 18 tháng 03 năm 2022. Phần mềm Gamit/Globk được phát triển bởi Viện Công nghệ Massachusett (MIT), Viện Hải dương học Scipps và Đại học Harvard; chuyên dùng để phân tích số liệu GNSS phục vụ chủ yếu cho các mục đích về nghiên cứu biến dạng và chuyển dịch vỏ Trái đất, nghiên cứu khí quyển cũng như tính toán quỹ đạo. Trong đó, môdul Gamit (viết tắt của GNSS at MIT) là một bộ chương trình xử lý các dữ liệu pha để đưa ra các tính toán vị trí không gian 3 chiều của các trạm thu trên mặt đất và quỹ đạo vệ tinh, độ trễ khí quyển cũng như các tham số định hướng Trái đất. Môdul GLOBK (*Global Kalman filter*) là một bộ lọc Kalman với mục đích chính là kết hợp nhiều lời giải trắc địa khác nhau như GPS, VLBI, SLR. Đây là phần mềm được thiết kế để có thể chạy trên bất kỳ hệ điều hành UNIX nào, bao gồm LINUX và MacOS.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả xác định chuyển dịch từ phần mềm Gamit/Globk của 17 điểm trong thời gian 2 năm 7 tháng, được xác định với phương pháp tính toán như trên và được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả xác định chuyển dịch của 10 trạm CORS – VNGEONET.

TT	Tên điểm	Vĩ độ	Kinh độ	VE/ sai số (mm/năm)	VN/sai số (mm/năm)	VP (mm/năm)
1	ANHO	13.90600	109.10474	28,80/1,31	–11,10/1,30	30,87
2	BTRI	10.04683	106.59719	28,56/1,33	–9,41/1,31	30,07
3	CLON	9.99284	106.20316	34,48/1,33	–8,40/1,31	35,49
4	CPHU	20.24641	105.71999	31,80/1,31	–8,76/1,30	32,98
5	CTHO	10.02682	105.76838	26,00/1,32	–7,90/1,31	27,17
6	HCMV	10.79511	106.73414	27,64/1,31	–9,72/1,30	29,30
7	HTIE	10.36954	104.45289	25,56/1,34	–10,09/1,32	27,48
8	HYEN	20.66645	106.05089	32,42/1,31	–5,43/1,30	32,87
9	KANH	18.08687	106.28541	31,26/1,31	–8,35/1,30	32,36

TT	Tên điểm	Vĩ độ	Kinh độ	VE/ sai số (mm/năm)	VN/sai số (mm/năm)	VP (mm/năm)
10	MCAI	21.51838	107.98163	33,02/1,31	–9,70/1,31	34,42
11	MGTE	10.36954	104.45289	33,60/1,32	–7,65/1,31	34,46
12	QNAM	15.79284	108.41420	30,28/1,31	–10,24/1,30	31,96
13	SDON	21.33510	106.84935	33,91/1,31	–12,36/1,31	36,09
14	TDUO	19.26309	104.47053	32,07/1,32	–8,33/1,31	33,13
15	THOA	19.76207	105.77806	30,71/1,31	–9,22/1,30	32,06
16	TQUA	21.82360	105.21007	32,83/1,31	–8,63/1,30	33,95
17	VINH	18.67552	105.69104	31,02/1,31	–9,16/1,30	32,34

Trong Bảng 2:

$$V_p = \sqrt{V_E^2 + V_N^2} \quad (1)$$

Từ số liệu ở Bảng 2 có một số nhận xét như sau:

- Chuyển dịch trên toàn bộ phần đất liền của Việt Nam có xu hướng chuyển dịch theo hướng Đông Nam với giá trị chuyển dịch theo các hướng khác nhau. Lượng chuyển dịch nhỏ nhất, lớn nhất về hướng Đông trong một năm tương ứng là 25,56 mm và 34,48 mm. Đối với chuyển dịch theo hướng Bắc, các giá trị lần lượt là 5,43 mm và 12,36 mm về giá trị tuyệt đối.
- Sai số xác định chuyển dịch theo hướng Bắc và hướng Đông của tất cả các điểm đều xấp xỉ như nhau và đạt giá trị ±1,3 mm.

Dựa trên các kết quả xác định chuyển dịch được công bố của một số nghiên cứu gần đây [11, 17], cho thấy sự khác biệt về lượng chuyển dịch theo hướng Đông nhỏ nhất là -0,02 mm (điểm MGTE) và lớn nhất là 1,21 mm (điểm SDON); giá trị tương ứng về hướng Bắc lần lượt là -1,49 mm (điểm THOA) và 0,79 mm (điểm TQUA). Chuỗi dữ liệu được sử dụng để tính toán trong [17] là 1 năm 1 tháng, độ chính xác xác định các thành phần chuyển dịch (theo hướng Đông và hướng Bắc) xấp xỉ ±2 mm. Dữ liệu dùng để tính trong nghiên cứu này dài 2 năm 7 tháng cho độ chính xác xác định các thành phần chuyển dịch tốt hơn với giá trị xấp xỉ ±1,3 mm (tương ứng xấp xỉ 30%).

Cũng sử dụng phần mềm Gamit/Globk, [17] đã xác định chuyển dịch cho 4 điểm trên lãnh thổ Việt Nam với chuỗi thời gian đo tại mỗi điểm kéo dài từ 6 đến 11 năm với kết quả xác định các thành phần chuyển dịch tại các điểm nhỏ hơn ±1 mm.

Trên cơ sở so sánh vận tốc chuyển dịch của điểm HYEN với kết quả đã được công bố trong tài liệu [11] có thể thấy vận tốc chuyển dịch về cơ bản là tương đồng với nhau.

4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu và tính toán thực nghiệm, nhóm nghiên cứu rút ra một số nhận xét như sau:

- Kết quả xác định chuyển dịch của bề mặt Trái đất trên lãnh thổ Việt Nam dựa vào dữ liệu đo của 17 trạm CORS thuộc mạng lưới VNGEONET cho kết quả tương đồng với các kết quả xác định chuyển dịch được công bố trước đó. Theo đó, xu hướng chuyển dịch chung trên toàn bộ phần đất liền là theo hướng Đông Nam.
- Sự khác biệt về lượng chuyển dịch nhỏ nhất–lớn nhất theo hướng Đông, hướng Bắc lần lượt là 9 mm và 7 mm, đây là đại lượng sai lệch dịch chuyển giữa các điểm tương đối lớn và cần phải đặc biệt quan tâm khi tiến hành nâng cấp, hiện đại hóa hệ quy chiếu ở nước ta.
- Kết quả xác định chuyển dịch với thời gian đo dài hơn (2 năm 9 tháng) cho phép xác định chênh lệch lên tới mức xấp xỉ 1 mm/ năm so với kết quả xác định chuyển dịch của điểm tương ứng với thời gian đo ngắn hơn trước đây (1 năm 1 tháng). Bên cạnh đó, với việc sử dụng chuỗi thời gian đo dài hơn có thể nâng cao độ chính xác xác định các thành phần chuyển dịch sử dụng phần mềm Gamit/Globk.
- Trong thời gian tới, cần tiến hành nghiên cứu để đưa thêm các mô hình toán học để phân tích dữ liệu chuyển dịch theo chuỗi thời gian nhằm tìm ra các quy luật chuyển dịch cũng như loại trừ một số nguồn sai số ngẫu nhiên nếu có.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.G.T., N.V.N., N.H.T., L.L.H., V.T.D., N.V.Q., P.N.Q.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.G.T., P.N.Q., N.H.T., L.L.H.; Xử lý số liệu: N.G.T., P.N.Q., P.N.Q., N.V.Q., P.C.K.; Viết bản thảo bài báo: L.V.D., T.H.D.; Chỉnh sửa bài báo: N.G.T., N.V.N., N.H.T., L.L.H., V.T.D., N.V.Q., P.N.Q.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, đề tài cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.2022.04.09 đã cung cấp số liệu, tài liệu để có thể hoàn thành nội dung của bài báo này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Tô, T.Đ.; Hùng, P.V. Xây dựng lưới GNSS thường trực tại Việt Nam dưới góc nhìn địa kiến tạo. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2013**, *41*, 58–64.
2. Altiner, Y.; Söhne, W.; Güney, C.; Perlt, J.; Wang, R.; Muzli, M. A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake. *Tectonophysics* **2013**, *588*, 118–134. http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.12.005.
3. Jun, L.S.; Sic, J.H. Analysis of Plate Motion Parameters in Southeastern South Korea using GNSS. *J. Korean Soc. Surv. Geod. Photogramm. Cartography* **2020**, *38(6)*, 697–705. https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.6.697.
4. Tiryakioglu, İ.; Gulal, E.; Solak, H.I.; Ozkaymak, C. Crustal Deformation Modelling by GNSS Measurements: Southwestern Anatolia, Turkey. *Adv. Sci. Technol. Innovation* **2018**, 1895–1897. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70548-4_547.
5. Sefa Yalvaç. Determining the Effects of the 2020 Elazığ–Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS–TR GNSS Stations. *Turk. J. Geosicences* **2020**, *1(1)*, 15–21.
6. Yamin, D.; Peng, Z.; Zhihao, J.; Jinzhong, B. The Data Processing and Analysis of National GNSS CORS Network in China. China National Report on Geodesy (2007–2010), Report No.04, 2011.
7. Danezis, C.; Chatzinikos, M.; Kotsaki, C. Linear and Nonlinear Deformation Effects in the Permanent GNSS Network of Cyprus. *Sensors* **2020**, *20*, 1768. doi:10.3390/s20061768.
8. Kyung, K.S.; Tae–Suk, Bae. Long–Term GNSS Analysis for Local Geodetic Datum After 2011 Tohoku Earthquake, *J. Navig.* **2017**, *71(1)*, 1–17. doi:10.1017/S0373463317000595.
9. Abdallah, A.; Agag, T.; Dawod, G. ITRF–Based Tectonic Coordinates Changes using GNSS–CORS Networks: A Case Study of Egypt. *Surv. Land Inf. Sci.* **2021**, *80(2)*, 69–78.
10. Duong, C.C.; Yun, H.S.; Cho, J.M. GPS measurements of horizontal deformation across of Lai Chau – Dien Bien (Dien Bien Phu) fault in Northwest of Viet Nam 2002 – 2004. *Earth Planets Space* **2006**, *58*, 523–528.
11. Hải, V.Q. Xác định chuyển dịch tuyệt đối khu vực lưới GPS Tam Đảo – Ba Vì. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất* **2016**, *38(1)*, 14–21.
12. Tô, T.Đ.; Yêm, N.T.; Công, D.C.; Hải, V.Q.; Zuchiewicz, W.; Cường, N.C.; Nghĩa, N.V. Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data. *J. Geodyn.* **2013**, *69*, 5–10.
13. Trịnh, P.T.; Liêm, N.V.; Anh, N.T.; Hải, V.Q.; Tô, T.Đ.; Hướng, N.V.; Vinh, H.Q.; Thơm, B.V.; Túc, N.Đ.; Xuyên, N.Q.; Hùng, V.T.; Thịnh, N.H.; Hùng, T.Q.; Tùng, L.M.; Thảo, B.T.; Tiến, N.V.; Thế, Đ.V. Kết quả nghiên cứu ban đầu về tốc độ dịch chuyển kiến tạo hiện đại trên biển Đông. 2009, *http://idm.gov.vn/nguon_luc/Xuat_ban/2009/a310/a1.htm*.

14. Minh, L.H.; Masson, F.; Bourdillon, A.; Fleury, R.; Hu, J.C.; Hùng, V.T.; Thanh, L.T.; Thắng, N.C.; Thành, N.H. Chuyển động hiện đại 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* **2010**, *36(1)*, 1–13.
15. Lau, N.N. Richard Coleman, Ha Minh Hoa. Determination of tectonic velocities of some continuously operating reference stations (CORS) in Vietnam 2016–2018 by using precise point positioning. *VN J. Earth Sci.* **2020**, *43(1)*, 1–12,
16. Kowalczyk, K.; Rapinski, J. Verification of a GNSS Time Series Discontinuity Detection Approach in Support of the Estimation of Vertical Crustal Movements. *J. Geo–Inf.* **2018**, *7*, 149. doi:10.3390/ijgi7040149.
17. Trọng, N.G.; Thạch, L.T.; Thành, N.H.; Quang, P.N.; Cương, N.V. Bước đầu xác định chuyển dịch cho một số trạm CORS khu vực miền Bắc Việt Nam sử dụng phần mềm Gamit/Glock. Hội nghị Khoa học quốc gia về công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường, 2021, 137–146.

Determination of tectonic velocities in Vietnam territory based on data of CORS stations of VNGEONET network

Nguyen Gia Trong[1], Nguyen Viet Nghia[1*], Pham Cong Khai1, Nguyen Ha Thanh[2], Ly Lam Ha[3], Vu Trung Dzung[4], Nguyen Viet Quan[5], Pham Ngoc Quang[1]

[1] Faculty of Geomatics and Land administration, Hanoi University of Mining and Geology; nguyengiatrong@humg.edu.vn; nguyenvietnghia@humg.edu.vn; phamcongkhai@humg.edu.vn; phamngocquang@humg.edu.vn
[2] Vietnam Academy of Science and Technology; hathanh5984@gmail.com
[3] Department of Economy and Infrastructure of Cam Lam district, Khanh Hoa provice; funnylams@gmail.com
[4] Bac Giang Agriculture and Forestry University; dungcnl@gmail.com
[5] Department Of Survey, Mapping and Geographic Information Vietnam; vngeonet@monre.gov.vn

Abstract: Research on tectonic velocities (or plate tectonic) is a task that has been carried out regularly and continuously in Vietnam. The results of the study of tectonic velocities contribute to the possibility and extent of geological hazards as well as to the safe operation of works. GNSS–CORS technology is one of the technologies used in plate tectonic research. Built in 2016 and completed by the end of 2019, the VNGEONET network includes 65 stations distributed throughout Vietnam, serving many applications including plate tectonic shift. Based on measured data from August 2019 to March 2022, the authors determined displacement for 17 points in the territory of Vietnam. The experimental results show the similarity in magnitude and direction of displacement when compared with previously published results. Also, from the results of displacement determination, the use of long data series will contribute to improving the accuracy of displacement determination. Besides, the difference in the amount of displacement up to approximately 1 cm between points is something to pay attention to when modernizing the geodetic reference system in Vietnam.

Keywords: Gamit/Globk; CORS; Plate tectonic; GNSS data processing; PPP.