

Bài báo khoa học

Ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ

Lê Thị Thanh Tâm¹, Nguyễn Văn Sáng^{1*}

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất; thanhtamtdcc@gmail.com;
nguyenvansangtd40@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nguyenvansangtd40@gmail.com; Tel.: +84-947368825

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2024; Ngày phản biện xong: 20/12/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2025

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ giữa hệ tọa độ tĩnh (VN2000) và hệ tọa độ động (ITRF). Phương pháp xác định tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo véc tơ vận tốc chuyển dịch vỏ Trái đất đã được xây dựng. Tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển đổi tọa độ trên lãnh thổ Việt Nam đã được tính toán theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất tại 21 điểm Geodetic CORS. Tốc độ này được kiểm tra bằng cách so sánh với phương pháp tính theo tọa độ ở 2 chu kỳ. Kết quả kiểm tra cho thấy chênh lệch giữa hai phương pháp: về tọa độ nhỏ hơn 0,11 mm; về hướng nhỏ hơn $0,38'' \times 10^{-5}$; về tỷ lệ chiều dài là $0,004 \times 10^{-9}$. Điều này chứng tỏ phương pháp xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ của bài báo và kết quả tính toán hoàn toàn chính xác.

Từ khóa: Dịch chuyển vỏ Trái đất; Tham số chuyển đổi tọa độ; Geodetic CORS.

1. Giới thiệu

Theo thuyết kiến tạo mảng, lớp vỏ cứng của Trái đất gọi là thạch quyển nằm trên lớp quyển mềm. Thạch quyển được chia ra làm nhiều phần được gọi là các mảng. Các mảng chuyển động theo các hướng khác nhau với vận tốc từ 1,0 cm/năm đến 16,0 cm/năm, ranh giới giữa các mảng gọi là đứt gãy. Trên lãnh thổ Việt Nam có hai khối kiến tạo liền kề: khối Nam Trung Hoa (*South China Block*) và khối Sunda (*Sundaland Block*). Ranh giới của hai khối này là đứt gãy Sông Hồng [1]. Lãnh thổ Việt Nam lại được chia ra các khối cấu trúc kiến tạo như: Khối Mường Tè, khối Đông Bắc, khối Tây Bắc - Bắc Trung Bộ ... Mỗi khối có đặc điểm hình thành và phát triển riêng. Giữa các khối là các đứt gãy như: Đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Lai Châu - Điện Biên ... [2].

Do các hoạt động kiến tạo mảng, tâm vật lý của Trái đất và cực trái đất bị dịch chuyển. Do đó, hệ tọa độ, khung tọa độ cũng bị thay đổi theo thời gian. Khung quy chiếu quốc tế (ITRF) là hiện thực hoá hệ quy chiếu ITRS tại một thời điểm cụ thể. Thế giới đã xây dựng khung tọa độ quốc tế ITRF theo các phiên bản khác nhau: ITRF1992 [3], ITRF1996 [4], ITRF1997 [5], ITRF2000 [6], ITRF2005 [7], ITRF2008 [3], ITRF2014 [8] và gần đây nhất là ITRF2020 [9]. Khi xây dựng ITRF, những công nghệ đo đạc và xử lý số liệu tiên tiến như VIBL [10] và phép lọc Kalman [11] đã được sử dụng. Những năm gần đây, nhiều quốc gia đã nghiên cứu ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo đến hệ tọa độ quốc gia và hiện đại hóa hệ tọa độ quốc gia gắn với ITRF ví dụ như: năm 2020, Malaysia đã xây dựng khung quy chiếu trắc địa bán động học dựa trên ITRF2014 cho Malaysia (GDM2020) [12]. Ở Việt Nam, có một số công trình nghiên cứu kết nối hệ tọa độ quốc gia với ITRF như: nghiên cứu [3] đã xây dựng được phần mềm tính chuyển tọa độ giữa hệ quy chiếu VN2000 với khung quy chiếu trái đất

quốc tế (ITRF); nghiên cứu [13] đã xác định được các tham số chuyển đổi tọa độ giữa hệ quy chiếu VN-2000 và ITRF2005; nghiên cứu [14] đã tổng hợp một số kết quả nghiên cứu quốc tế liên quan đến ITRF, phương pháp xác định độ lệch tâm của Trái đất, và ảnh hưởng của sự dịch chuyển tâm của Trái đất đến ITRF; nghiên cứu [15] đã nghiên cứu khả năng thích ứng của VN-2000 với ITRF.

Ở Việt Nam, nhiều công trình nghiên cứu xác định vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất bằng công nghệ GNSS đã được thực hiện, ví dụ như: Trong nghiên cứu [16] đã xử lý số liệu lưới GPS tại đứt gãy Sông Hồng, quan trắc từ năm 1994 đến 2007. Kết quả cho thấy rằng: các điểm dịch chuyển về phía Đông - Đông - Nam với vận tốc trung bình $34,5 \pm 1,0$ mm/năm. Trong nghiên cứu [17] đã sử dụng số liệu GPS để nghiên cứu chuyển động hiện đại vỏ Trái đất tại vùng Sơn La. Nghiên cứu [18] đã xác định chuyển động hiện đại đứt gãy Lai Châu - Điện Biên từ số liệu đo GPS đo trong giai đoạn 2002-2004. Năm 2014, số liệu của 5 trạm GNSS quan trắc liên tục ở Việt Nam từ năm 2005 đến 2013 đã được xử lý với số liệu các trạm IGS quốc tế để tính ra vận tốc dịch chuyển [19]. Số liệu lưới VNGEONET đã được xử lý trong ITRF2014 bằng phần mềm BERNESE và tính ra vận tốc dịch chuyển của các điểm trong hệ tọa độ địa diện chân trời [20]. Kết quả cho thấy chuyển dịch ngang các trạm là theo hướng Đông - Đông - Nam, có giá trị từ 2,7 cm/năm đến 4,0 cm/năm. Như vậy, do hoạt động kiến tạo mảng, lãnh thổ Việt Nam dịch chuyển theo hướng Đông - Đông - Nam với vận tốc trung bình khoảng 3 cm/năm.

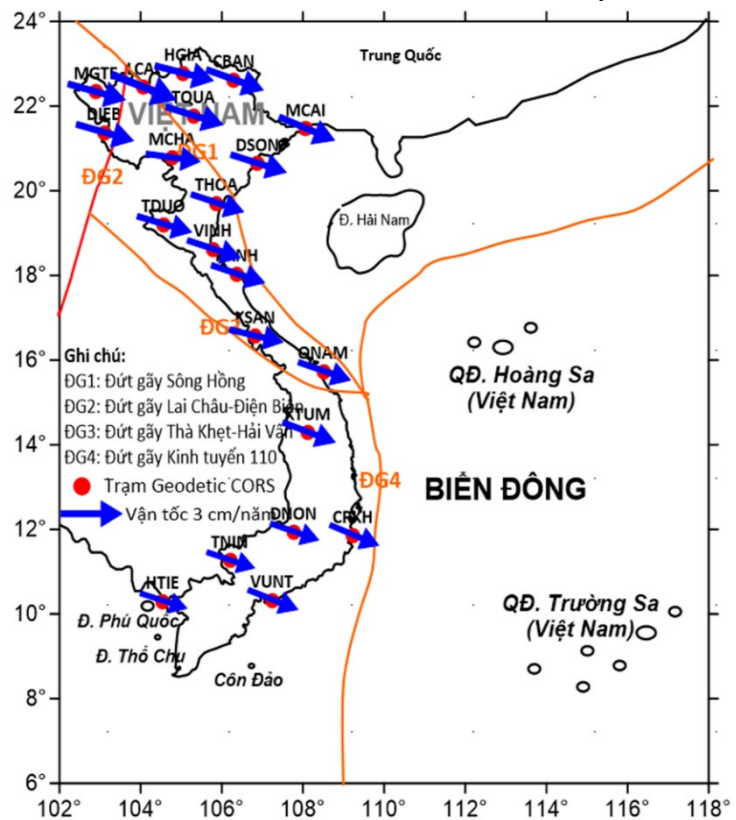
Hệ tọa độ VN2000 được xây dựng năm 2000 là hệ tọa độ tĩnh. Tọa độ của các điểm trong hệ này không thay đổi theo thời gian [21]. ITRF là khung quy chiếu trái đất động. Tọa độ của các điểm trong ITRF thay đổi theo thời gian [9]. Như vậy, các tham số chuyển đổi tọa độ từ VN2000 sang ITRF sẽ thay đổi theo thời gian. Tốc độ thay đổi này có thể được tính dựa vào tọa độ của các điểm khống chế ở các chu kỳ đo trong 2 hệ tọa độ. Tuy nhiên, không phải lúc nào cũng có được giá trị tọa độ này. Các công trình nghiên cứu thường chỉ công bố các giá trị vận tốc dịch chuyển của các điểm. Vậy, vận tốc chuyển dịch vỏ trái đất ảnh hưởng thế nào đến các tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ tĩnh sang hệ tọa độ động. Hay nói cách khác, từ các giá trị vận tốc chuyển dịch của các điểm, làm thế nào để tính được tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ tĩnh sang hệ tọa độ động. Đây là vấn đề mà bài báo này tập trung nghiên cứu.

2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện trên lãnh thổ Việt Nam (Hình 1). Đặc điểm của khu vực này là nằm trên hai khối kiến tạo liền kề: khối Nam Trung Hoa và khối Sundaland, có ranh giới là đứt gãy Sông Hồng.

Xung quanh khu vực nghiên cứu, mảng Ấn Độ xô vào lục địa Trung Hoa ở phía Tây Bắc; Mảng Philipin bị hút chìm xuống dưới khối Sundaland theo hướng Tây Bắc với tốc độ khoảng 7 cm/năm ở khu vực gần Đài Loan và trên 9 cm/năm ở khu vực Mindanao.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và vị trí các điểm Geodetic CORS [20].

Mảng Australia bị hút chìm xuống dưới khối Sundaland với tốc độ trên 9 cm/năm ở phía Nam theo hướng Bắc - Đông Bắc [22]. Theo các kết quả nghiên cứu địa chất và địa kiến tạo ở Việt Nam, khu vực nghiên cứu được chia ra các khối cấu trúc kiến tạo như: Khối Mường Tè, khối Đông Bắc, khối Biển Đông, khối Tây Bắc - Bắc Trung Bộ, và khối Nam Trung Bộ - Nam Bộ. Các khối này có những đặc trưng riêng về lịch sử hình thành và phát triển. Giữa các khối này là các đứt gãy nhỏ [2].

2.2. Số liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, số liệu vận tốc dịch chuyển của 21 điểm lưới Geodetic CORS trên lãnh thổ Việt Nam được sử dụng. Số liệu này được đo đạc từ năm 2019 đến 2021, được xử lý bằng phần mềm BERNESE trong ITRF 2014, được công bố trong tài liệu [20]. Vị trí và vận tốc dịch chuyển trong hệ tọa độ địa diện của các điểm này được trình bày trên Hình 1 và Bảng 1 [20].

Bảng 1. Số liệu vận tốc dịch chuyển của 21 điểm lưới Geodetic CORS trên lãnh thổ Việt Nam [20].

STT	Trạm	V _E (mm/năm)	V _N (mm/năm)	V _U (mm/năm)	STT	Trạm	V _E (mm/năm)	V _N (mm/năm)	V _U (mm/năm)
1	CBAN	33,7	-11,6	3,6	12	MCAI	32,7	-13,2	0,2
2	CRKH	28,9	-11,6	1,5	13	MCHA	32,1	-4,4	2,1
3	DIEB	33,8	-9,3	2,1	14	MGTE	34,0	-9,1	1,9
4	DNON	28,6	-9,4	-0,3	15	QNAM	30,9	-10,2	-1,2
5	DSON	32,8	-10,0	1,6	16	TDUO	32,2	-9,0	2,4
6	HGIA	34,5	-8,4	4,6	17	THOA	31,1	-9,9	0,9
7	HTIE	27,5	-8,5	-1,6	18	TNIN	28,3	-9,0	1,7
8	KANH	31,4	-9,9	3,0	19	TQUA	33,7	-10,1	4,1
9	KSAN	31,8	-7,1	0,1	20	VINH	31,5	-9,9	1,5
10	KTUM	31,0	-11,3	-0,9	21	VUNT	29,5	-11,2	-0,5
11	LCAI	38,0	-14,2	2,6	Trung bình		31,81	-9,87	1,40

2.3. Xây dựng phương pháp xác định tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo véc tơ vận tốc chuyển dịch vỏ Trái đất

2.3.1. Phương pháp xác định các tham số chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ

Gọi tọa độ vuông góc không gian trong hệ tọa độ thứ nhất ($X^{(1)}, Y^{(1)}, Z^{(1)}$). Tọa độ này được tính chuyển sang hệ tọa độ thứ 2 ($X^{(2)}, Y^{(2)}, Z^{(2)}$) theo công thức sau [23]:

$$\begin{bmatrix} X^{(2)} \\ Y^{(2)} \\ Z^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + m \begin{bmatrix} 1 & e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & e_x \\ e_y & -e_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{(1)} \\ Y^{(1)} \\ Z^{(1)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Trong đó X_0, Y_0, Z_0 là tham số lệch gốc giữa hai hệ tọa độ (tọa độ của gốc hệ tọa độ thứ nhất trong hệ tọa độ thứ 2); e_x, e_y, e_z là các tham số góc xoay Ôle, xoay cho các trục tọa độ của hai hệ về tương ứng song song với nhau; m là tham số tỷ lệ chiều dài giữa hai hệ tọa độ. Đây chính là 7 tham số chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ.

Để xác định 7 tham số trên cần có ít nhất 3 điểm song trùng (có tọa độ vuông góc không gian trong cả hai hệ tọa độ). Nếu số điểm song trùng nhiều hơn 3, các tham số sẽ được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất [23, 24]. Khi đó, với điểm j ta có phương trình số hiệu chỉnh:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dm & e_z & -e_y \\ -e_z & dm & e_x \\ e_y & -e_x & dm \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X^{(1)} \\ Y^{(1)} \\ Z^{(1)} \end{bmatrix}_j + \begin{bmatrix} X^{(1)} - X^{(2)} \\ Y^{(1)} - Y^{(2)} \\ Z^{(1)} - Z^{(2)} \end{bmatrix}_j \quad (2)$$

Trong đó $j = 1, 2, 3...n$, n là số điểm song trùng ($n \geq 3$); $dm = m-1$. Biến đổi ta được:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^{(1)} & Y^{(1)} & X^{(1)} \\ 0 & 1 & 0 & Z^{(1)} & 0 & -X^{(1)} & Y^{(1)} \\ 0 & 0 & 1 & Y^{(1)} & X^{(1)} & 0 & Z^{(1)} \end{bmatrix}_j \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \\ e_x \\ e_y \\ e_z \\ dm \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_j \quad (3)$$

Trong đó:

$$\begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} X^{(1)} - X^{(2)} \\ Y^{(1)} - Y^{(2)} \\ Z^{(1)} - Z^{(2)} \end{bmatrix}_j \quad (4)$$

Giải hệ phương trình (3) sẽ xác định được 7 tham số chuyển đổi tọa độ.

2.3.2. Xây dựng phương pháp xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ

Dịch chuyển vỏ Trái đất được biểu thị bằng các véc tơ vận tốc dịch chuyển tọa độ V_x, V_y, V_z . Ảnh hưởng của dịch chuyển này sẽ làm cho các tham số chuyển đổi tọa độ bị thay đổi. Trong phần này sẽ xây dựng phương pháp xác định tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo các véc tơ dịch chuyển vỏ Trái đất. Đây là vấn đề lý thuyết mới, chưa được trình bày trong các tài liệu trong và ngoài nước.

Giả sử hệ tọa độ thứ nhất là hệ tọa độ tĩnh $(X, Y, Z)_1$, không thay đổi theo thời gian; hệ tọa độ thứ hai là hệ tọa độ động $(X, Y, Z)_2$, thay đổi theo thời gian. Ở thời điểm khởi đầu t_1 , hệ tọa độ thứ nhất và thứ hai trùng nhau. Như vậy, tại điểm j , tọa độ của nó trong cả 2 hệ là như nhau, đều là $(X^{(1)}, Y^{(1)}, Z^{(1)})_j$. Các tham số chuyển đổi giữa hệ tọa độ thứ nhất và thứ hai đều bằng không.

Đến thời điểm t_2 , do hoạt động kiến tạo (chuyển dịch vỏ Trái đất) nên hệ tọa độ động $(X, Y, Z)_2$ thay đổi, làm cho hệ tọa độ thứ 2 khác hệ tọa độ thứ nhất bởi 7 tham số. Tọa độ điểm j trong hệ tọa độ thứ 2 là $(X^{(2)}, Y^{(2)}, Z^{(2)})_j$. Các tham số để chuyển đổi từ hệ tọa độ thứ nhất sang hệ tọa độ thứ hai được xác định theo lý thuyết trình bày ở mục 2.3.1.

Nếu $t_2 - t_1 = 1$ năm thì các tham số chuyển đổi chính là tốc độ thay đổi của các tham số đó trên năm ($V_{X0}, V_{Y0}, V_{Z0}, V_{ex}, V_{ey}, V_m$); độ lệch tọa độ của điểm j trong hệ tọa độ thứ 2 giữa thời điểm t_1 và t_2 chính là tốc độ thay đổi tọa độ (chính là vận tốc chuyển dịch của điểm trong hệ tọa độ vuông góc không gian địa tâm) V_x, V_y, V_z . Nghĩa là:

$$\begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} X^{(1)} - X^{(2)} \\ Y^{(1)} - Y^{(2)} \\ Z^{(1)} - Z^{(2)} \end{bmatrix}_j = - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

Thay vào phương trình (3), phương trình số hiệu chỉnh để xác định tốc độ thay đổi 7 tham số là:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^{(1)} & Y^{(1)} & X^{(1)} \\ 0 & 1 & 0 & Z^{(1)} & 0 & -X^{(1)} & Y^{(1)} \\ 0 & 0 & 1 & Y^{(1)} & X^{(1)} & 0 & Z^{(1)} \end{bmatrix}_j \begin{bmatrix} V_{X0} \\ V_{Y0} \\ V_{Z0} \\ V_{ex} \\ V_{ey} \\ V_{ez} \\ V_m \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j \quad (6)$$

Giải hệ phương trình này, sẽ xác định được tốc độ thay đổi của 7 tham số. Đặt:

$$V_j = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j; A_j = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z^{(1)} & Y^{(1)} & X^{(1)} \\ 0 & 1 & 0 & Z^{(1)} & 0 & -X^{(1)} & Y^{(1)} \\ 0 & 0 & 1 & Y^{(1)} & X^{(1)} & 0 & Z^{(1)} \end{bmatrix}_j \quad (7)$$

$$L_j = - \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_j; \Delta X = \begin{bmatrix} V_{X0} \\ V_{Y0} \\ V_{Z0} \\ V_{ex} \\ V_{ey} \\ V_{ez} \\ V_m \end{bmatrix}$$

Ta có hệ phương trình dạng ma trận đối với điểm j.

$$V_j = A_j \Delta X + L_j \tag{8}$$

Khi có n điểm ta sẽ lập được hệ 3n phương trình có dạng

$$V = A \Delta X + L \tag{9}$$

Trong đó:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \dots \\ A_n \end{bmatrix}; \quad V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}; \quad L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \dots \\ L_n \end{bmatrix} \tag{10}$$

Ta có hệ phương trình chuẩn với P là ma trận trọng số:

$$(A^T P A) \Delta X + (A^T P L) = 0 \tag{11}$$

Giải ra ta được:

$$\Delta X = -(A^T P A)^{-1} (A^T P L) \tag{12}$$

Kết quả xác định được tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển đổi giữa hai hệ tọa độ: $V_{X0}, V_{Y0}, V_{Z0}, V_{ex}, V_{ey}, V_{ez}, V_m$. Tốc độ này biểu thị ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả tính chuyển vận tốc dịch chuyển từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm

Để tính được tốc độ thay đổi 7 tham số, trước hết cần tính chuyển vận tốc dịch chuyển từ hệ tọa độ địa diện V_E, V_N, V_U sang hệ tọa độ địa tâm V_X, V_Y, V_Z . Phương pháp tính chuyển vận tốc đã được trình bày chi tiết trong tài liệu [25]. Kết quả tính chuyển vận tốc từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm được trình bày trên Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính chuyển vận tốc từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm.

STT	Điểm	V_x (mm/năm)	V_y (mm/năm)	V_z (mm/năm)	STT	Điểm	V_x (mm/năm)	V_y (mm/năm)	V_z (mm/năm)	
1	CBAN	-34,5	-1,9	-9,3	12	MCAI	-32,7	-5,3	-12,2	
2	CRKH	-28,6	-5,8	-11,0	13	MCHA	-31,9	-4,7	-3,4	
3	DIEB	-34,1	-2,4	-7,9	14	MGTE	-34,3	-2,4	-7,7	
4	DNON	-27,8	-7,1	-9,3	15	QNAM	-29,8	-8,2	-10,1	
5	DSON	-32,9	-4,7	-8,8	16	TDUO	-32,5	-3,0	-7,7	
6	HGIA	-35,3	-1,7	-6,0	17	THOA	-31,1	-4,4	-9,0	
7	HTIE	-26,6	-6,9	-8,6	18	TNIN	-28,1	-4,5	-8,5	
8	KANH	-31,8	-3,1	-8,5	19	TQUA	-34,5	-1,5	-7,9	
9	KSAN	-31,1	-7,1	-6,8	20	VINH	-31,6	-4,1	-8,9	
10	KTUM	-30,1	-7,8	-11,2	21	VUNT	-28,6	-7,2	-11,1	
11	LCAI	-38,8	-1,6	-12,1	Trung bình			-31,75	-4,54	-8,86

3.2. Kết quả tính tốc độ thay đổi các tham số chuyển đổi tọa độ theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất

Theo phương pháp được xây dựng trong mục 2.3, tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển tọa độ được tính toán theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất của 21 điểm Geodetic CORS. Kết quả thành lập hệ phương trình số hiệu chỉnh được trình bày trên Bảng 3.

Bảng 3. Hệ phương trình số hiệu chỉnh.

STT	V _{X0}	V _{Y0}	V _{Z0}	V _{ex}	V _{ey}	V _{ez}	V _m	L
1	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.44E+06	5.65E+06	-1.64E+06	3.45E-02
2	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.44E+06	0.00E+00	1.64E+06	5.65E+06	1.90E-03
3	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.65E+06	-1.64E+06	0.00E+00	2.44E+06	9.30E-03
4	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.31E+06	5.90E+06	-2.05E+06	2.86E-02
5	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.31E+06	0.00E+00	2.05E+06	5.90E+06	5.80E-03
6	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.90E+06	-2.05E+06	0.00E+00	1.31E+06	1.10E-02
7	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.32E+06	5.79E+06	-1.34E+06	3.41E-02
8	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.32E+06	0.00E+00	1.34E+06	5.79E+06	2.40E-03
9	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.79E+06	-1.34E+06	0.00E+00	2.32E+06	7.90E-03
10	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.32E+06	5.95E+06	-1.89E+06	2.78E-02
11	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.32E+06	0.00E+00	1.89E+06	5.95E+06	7.10E-03
12	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.95E+06	-1.89E+06	0.00E+00	1.32E+06	9.30E-03
13	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.24E+06	5.71E+06	-1.72E+06	3.29E-02
14	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.24E+06	0.00E+00	1.72E+06	5.71E+06	4.70E-03
15	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.71E+06	-1.72E+06	0.00E+00	2.24E+06	8.80E-03
16	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.46E+06	5.68E+06	-1.52E+06	3.53E-02
17	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.46E+06	0.00E+00	1.52E+06	5.68E+06	1.70E-03
18	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.68E+06	-1.52E+06	0.00E+00	2.46E+06	6.00E-03
19	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.14E+06	6.08E+06	-1.57E+06	2.66E-02
20	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.14E+06	0.00E+00	1.57E+06	6.08E+06	6.90E-03
21	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-6.08E+06	-1.57E+06	0.00E+00	1.14E+06	8.60E-03
22	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.97E+06	5.82E+06	-1.70E+06	3.18E-02
23	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.97E+06	0.00E+00	1.70E+06	5.82E+06	3.10E-03
24	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.82E+06	-1.70E+06	0.00E+00	1.97E+06	8.50E-03
25	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.81E+06	5.85E+06	-1.76E+06	3.11E-02
26	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.81E+06	0.00E+00	1.76E+06	5.85E+06	7.10E-03
27	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.85E+06	-1.76E+06	0.00E+00	1.81E+06	6.80E-03
28	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.57E+06	5.88E+06	-1.91E+06	3.01E-02
29	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.57E+06	0.00E+00	1.91E+06	5.88E+06	7.80E-03
30	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.88E+06	-1.91E+06	0.00E+00	1.57E+06	1.12E-02
31	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.43E+06	5.72E+06	-1.42E+06	3.88E-02
32	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.43E+06	0.00E+00	1.42E+06	5.72E+06	1.60E-03
33	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.72E+06	-1.42E+06	0.00E+00	2.43E+06	1.21E-02
34	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.32E+06	5.65E+06	-1.83E+06	3.27E-02
35	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.32E+06	0.00E+00	1.83E+06	5.65E+06	5.30E-03
36	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.65E+06	-1.83E+06	0.00E+00	2.32E+06	1.22E-02
37	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.25E+06	5.77E+06	-1.51E+06	3.19E-02
38	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.25E+06	0.00E+00	1.51E+06	5.77E+06	4.70E-03
39	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.77E+06	-1.51E+06	0.00E+00	2.25E+06	3.40E-03
40	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.41E+06	5.75E+06	-1.31E+06	3.43E-02
41	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.41E+06	0.00E+00	1.31E+06	5.75E+06	2.40E-03
42	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.75E+06	-1.31E+06	0.00E+00	2.41E+06	7.70E-03
43	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.72E+06	5.82E+06	-1.94E+06	2.98E-02
44	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.72E+06	0.00E+00	1.94E+06	5.82E+06	8.20E-03
45	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.82E+06	-1.94E+06	0.00E+00	1.72E+06	1.01E-02
46	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.09E+06	5.83E+06	-1.50E+06	3.25E-02
47	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.09E+06	0.00E+00	1.50E+06	5.83E+06	3.00E-03

STT	V _{X0}	V _{Y0}	V _{Z0}	V _{ex}	V _{ey}	V _{ez}	V _m	L
48	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.83E+06	-1.50E+06	0.00E+00	2.09E+06	7.70E-03
49	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.14E+06	5.78E+06	-1.63E+06	3.11E-02
50	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.14E+06	0.00E+00	1.63E+06	5.78E+06	4.40E-03
51	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.78E+06	-1.63E+06	0.00E+00	2.14E+06	9.00E-03
52	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.25E+06	6.01E+06	-1.73E+06	2.81E-02
53	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.25E+06	0.00E+00	1.73E+06	6.01E+06	4.60E-03
54	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-6.01E+06	-1.73E+06	0.00E+00	1.25E+06	8.50E-03
55	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.36E+06	5.72E+06	-1.55E+06	3.45E-02
56	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.36E+06	0.00E+00	1.55E+06	5.72E+06	1.50E-03
57	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.72E+06	-1.55E+06	0.00E+00	2.36E+06	7.80E-03
58	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.03E+06	5.82E+06	-1.63E+06	3.16E-02
59	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	2.03E+06	0.00E+00	1.63E+06	5.82E+06	4.10E-03
60	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-5.82E+06	-1.63E+06	0.00E+00	2.03E+06	8.90E-03
61	1.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.14E+06	6.00E+06	-1.85E+06	2.86E-02
62	0.00E+00	1.00E+00	0.00E+00	1.14E+06	0.00E+00	1.85E+06	6.00E+06	7.20E-03
63	0.00E+00	0.00E+00	1.00E+00	-6.00E+06	-1.85E+06	0.00E+00	1.14E+06	1.11E-02

Như vậy, với 21 điểm dịch chuyển, chúng ta lập được 63 phương trình số hiệu chỉnh. Từ hệ phương trình này, để giải ra 7 ẩn số, ta lập được hệ 7 phương trình chuẩn (Bảng 4).

Bảng 4. Hệ phương trình chuẩn.

V _{X0}	V _{Y0}	V _{Z0}	V _{ex}	V _{ey}	V _{ez}	V _m	L ^{TPL}
2.10E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.07E+07	1.22E+08	-3.50E+07	6.67E-01
	2.10E+01	0.00E+00	4.07E+07	0.00E+00	3.50E+07	1.22E+08	9.56E-02
		2.10E+01	-1.22E+08	-3.50E+07	0.00E+00	4.07E+07	1.86E-01
			7.95E+14	2.04E+14	6.67E+13	-1.30E-03	-9.13E+05
				1.43E+14	-2.36E+14	7.00E-04	-1.63E+06
					7.70E+14	-1.60E-03	4.04E+06
						8.54E+14	-1.90E+05
							2.36E-02

Giải hệ phương trình chuẩn, tốc độ thay đổi của 7 tham số do dịch chuyển của vỏ Trái đất được xác định. Kết quả tính toán được trình bày trên Bảng 5 (dòng thứ 2). Từ kết quả này cho thấy: do dịch chuyển vỏ Trái đất làm cho 7 tham số chuyển đổi tọa độ từ hệ tọa độ tĩnh (VN2000) sang hệ tọa độ động (ITRF) thay đổi. Tốc độ thay đổi theo trục X là 6,68 mm/năm, theo trục Y là 5,04 mm/năm, theo trục Z là 15,79 mm/năm. Các tham số về hướng và tỷ lệ chiều dài cũng thay đổi.

Bảng 5. Kết quả xác định tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển tọa độ do ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất.

Phương án tính toán	V _{X0} (mm/năm)	V _{Y0} (mm/năm)	V _{Z0} (mm/năm)	V _{ex} (0.001"/năm)	V _{ey} (0.001"/năm)	V _{ez} (0.001"/năm)	V _m (ppb/năm)
Theo phương pháp của bài báo	6,68	5,04	15,79	0,4241	1,3334	-0,9753	-0,9777
Theo tọa độ 2 chu kỳ	6,57	5,06	15,79	0,4212	1,3342	-0,9751	-0,9816
Chênh lệch	-0,11	0,02	-0,08	-0,0029	0,0003	-0,0038	-0,0040

Để kiểm tra phương pháp cũng như kết quả tính toán, chúng tôi tính toán tốc độ thay đổi của 7 tham số theo phương pháp khác đã có như sau: từ tọa độ của các điểm trong hai hệ tọa độ ở 2 chu kỳ tính ra 2 bộ tham số chuyển đổi. Sau đó, lấy hiệu 2 bộ tham số này và chia cho thời gian giữa 2 chu kỳ. Chi tiết về phương pháp tính này được trình bày trong các tài liệu như [3, 13, 15]. Kết quả tính theo phương pháp tọa độ này được trình bày ở dòng 3, Bảng 3. Chênh lệch giữa 2 phương pháp tính được trình bày trên Bảng 3 (dòng 4).

3.3. Thảo luận

Bảng 2 cho thấy: các điểm dịch chuyển theo các trục tọa độ không bằng nhau: dịch chuyển theo trục X là nhiều nhất, sau đó đến trục Z, ít nhất là trục Y. Trên mỗi trục, các điểm cũng dịch chuyển khác nhau: Theo trục X, dịch chuyển nhiều nhất là điểm LCAI (-38,8 mm/năm), ít nhất là điểm HTIE (-26,6 mm/năm). Theo trục Y, dịch chuyển nhiều nhất là điểm QNAM (-8,2 mm/năm), ít nhất là điểm TQUA (-1,5 mm/năm). Theo trục Z, dịch chuyển nhiều nhất là điểm MCAI (-12,2 mm/năm), ít nhất là điểm MCHA (-3,4 mm/năm). Mỗi năm tọa độ các điểm dịch chuyển trung bình theo trục X là -31,75 mm/năm, trục Y là -4,54 mm/năm, trục Z là -8,86 mm/năm. Sự dịch chuyển này sẽ ảnh hưởng đến tốc độ thay đổi của 7 tham số tính chuyển tọa độ.

Từ các kết quả tính toán trong Bảng 3, 4 và 5 thấy rằng: theo phương pháp của bài báo này xây dựng, chúng ta có thể tính ngay được ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất (V_x , V_y , V_z) đến các tham số chuyển đổi tọa độ mà không cần phải tính theo từng chu kỳ. Điều này rất thuận lợi khi sử dụng các kết quả nghiên cứu chuyển dịch trong quá khứ khi không còn lưu trữ được tọa độ hoặc không cần phải tính chuyển tọa độ sang hệ tọa độ mới. Kết quả xác định tốc độ dịch chuyển của các tham số sẽ được sử dụng để tính chuyển tọa độ giữa VN2000 và ITRF cho các điểm khác trên lãnh thổ Việt Nam theo từng thời điểm mà tại đó chỉ có tọa độ ở một trong hai hệ tọa độ.

Kết quả kiểm tra trong Bảng 5 cho thấy: chênh lệch giữa 2 phương pháp tính rất nhỏ: chênh lệch về tọa độ lớn nhất chỉ là 0,11 mm; chênh lệch về hướng lớn nhất là $0,38'' \times 10^{-5}$; chênh lệch về tỷ lệ chiều dài chỉ là 0,004 phần trăm. Chênh lệch này chỉ ở mức sai số tính toán, làm tròn. Điều này chứng tỏ phương pháp tính ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ mà bài báo xây dựng và kết quả tính toán là hoàn toàn đúng đắn, chính xác.

4. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu và xây dựng được phương pháp xác định trực tiếp tốc độ thay đổi của các tham số chuyển đổi tọa độ theo véc tơ vận tốc chuyển dịch vỏ Trái đất. Tốc độ thay đổi của 7 tham số chuyển đổi tọa độ được tính theo vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất tại 21 điểm Geodetic CORS trên lãnh thổ Việt Nam. Kiểm tra bằng cách so sánh với phương pháp tính theo tọa độ ở 2 chu kỳ cho thấy phương pháp mà bài báo xây dựng và kết quả tính toán hoàn toàn chính xác.

Phương pháp mà bài báo đưa ra có ưu điểm là có thể tính ngay được ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ mà không cần phải tính theo từng chu kỳ. Điều này rất thuận lợi khi sử dụng các kết quả nghiên cứu chuyển dịch đã có.

Phương pháp này sẽ được ứng dụng để nghiên cứu xác định ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ từ hệ tọa độ tĩnh sang hệ tọa độ động.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.V.S.; Xử lý số liệu: L.T.T.T.; Viết bản thảo bài báo: L.T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.V.S.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được sự hỗ trợ của đề tài cấp bộ của Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số: TNMT.2024.04.09.

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. Simons, W.J.F.; Socquet, A.; Vigny, C.B.; Ambrosius, A.C.; Haji Abu, S.; Chaiwat P.; Subarya, C.; Sarsito, D.A.; Matheussen, S.; Morgan, P.; Spakman, W. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *J. Geophys. Res.* **2007**, *112*, 96–108.

2. Tô, T.Đ.; Hùng, P.V. Xây dựng lưới GNSS thường trực tại Việt Nam dưới góc nhìn địa kiến tạo. *Tap chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2013**, 41, 58-64.
3. Hoa, P.T.; Quang, N.V.; Huynh, P.T.; Thu, T.T.H.; Khánh, Đ.V.; Thảo, N.T.P.; Hương, P.T.H.; Bình, N.V. Xây dựng phần mềm phục vụ tính chuyển tọa độ giữa hệ quy chiếu VN2000 với khung quy chiếu trái đất quốc tế (ITRF). *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất* **2019**, 60(5), 100-108.
4. Boucher, C.; Altamimi, Z.; Sillard, P. Results and analysis of the ITRF96. Technical Note 24. Paris, France, Central Bureau of the IERS, Observatoire de Paris, 1998.
5. Boucher, C.; Altamimi, Z.; Sillard, P. The 1997 international terrestrial reference frame (ITRF97). Technical Note 27. Paris, France, Central Bureau of the IERS, Observatoire de Paris, 1999.
6. Altamimi, Z.; Sillard, P.; Boucher, C. ITRF2000: A new release of the international terrestrial reference frame for earth science application. *J. Geophys. Res.* **2002**, 107(B10).
7. Altamimi, Z.; Collilieux, X.; Legrand, J.; Garayt, B.; Boucher, A.C. ITRF2005: A new release of the international terrestrial reference frame based on time series of station positions and earth orientation parameters. *J. Geophys. Res.* **2007**, 112, B09401.
8. Altamimi, Z.; Rebischung, P.; Metivier, L.; Collilieux, X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *J. Geophys. Res.* **2016**, 121(8), 6109-6131.
9. Altamimi, Z.; Rebischung, P.; Collilieux, X.; Metivier, L.; Chanard, K. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions. *J. Geod.* **2023**, 97, 47. <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01738-w>.
10. Nothnagel, A.; Artz, T.; Behrend, D.; Malkin, Z. International VLBI service for geodesy and astrometry. *J. Geod.* **2017**, 91, 711-721.
11. Abbondanza, C.; Chin, T.M.; Gross, R.S.; Heflin, M.B.; Parker, J.W.; Soja, B.S.; van Dam, T.; Wu, X. ITRF2014, the JPL Kalman filter and smoother realization of the international terrestrial reference system. *J. Geophys. Res. Solid Earth* **2017**, 122(10), 8474-8510.
12. Azhari, M.; Altamimi, Z.; Azman, G.; Kadir, M.; Simons, W.J.F.; Sohaime, R.; Yunus, M.Y.; Irwan, M.J.; Asyran, C.A.; Soeb, N.; Fahmi, A. and Saiful, A. Semi-kinematic geodetic reference frame based on the ITRF2014 for Malaysia. *J. Geod. Sci.* **2020**, 10, 91-109.
13. Chinh, D.N.; Trong, N.G. Determination of coordinate transformation parameters between Vietnam reference system (VN-2000) and ITRF-2005. International Mining Conference: Advanced mining for sustainable development, Ha Long 23-25 Sep. 2010, pp. 652-659.
14. Son, N.C.; Hằng, N.T.T.; Tân, V.D.; Long, P.D.T.; Hoàn, B.T.L.; Thành, V.T.; Hồng, D.T.B. Bàn về sự dịch chuyển tâm Trái đất trong việc xây dựng khung quy chiếu quốc tế. *Tap chí Khoa học Đo đạc và bản đồ* **2021**, 48, 59-64.
15. Nam, L.H.; Hà, H.N. Khả năng thích ứng của hệ tọa độ quốc gia VN-2000 với khung quy chiếu quốc tế ITRF dựa trên bài toán xác định bộ tham số tính chuyển tọa độ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, 767, 1-9.
16. Tô, T.Đ.; Yem, N.T.; Cong, D.C.; Hai, V.Q.; Zuchiewicz, W.; Cuong, N.Q.; Nghia, N.V. Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS data. *J. Geodyn.* **2013**, 69, 5-10.
17. Tô, T.Đ. Chuyển động hiện đại vỏ Trái đất vùng Sơn La qua kết quả đo GPS. *Tap chí Các khoa học về Trái đất* **2008**, 30 (2), 170-175.
18. Tô, T.Đ.; Hai, V.Q. Xác định chuyển động hiện đại đới đứt gãy Lai Châu - Điện Biên từ số liệu đo GPS (2002-2004). *Tap chí Các khoa học về Trái đất* **2005**, 1, 6-13.

19. Minh, L.H.; Frédéric, M.; Alain, B.; Rolland, F.; Far-Ching, H.; 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* 2014, 36(1), 1-13.
20. Quân, N.V.; Trung, V.Đ.; Nam, T.V. Ứng dụng mạng lưới trạm định vị vệ tinh quốc gia (VNGEONET) trong hoạt động đo đạc bản đồ, nghiên cứu khoa học trái đất và một số lĩnh vực khác trong thời kỳ chuyển đổi số. Hội nghị khoa học toàn quốc: Công nghệ địa không gian trong khoa học trái đất và môi trường, Hà Nội, 2021.
21. Tổng cục Địa chính. Xây dựng hệ quy chiếu và Hệ tọa độ quốc gia VN2000. Báo cáo khoa học, 2000.
22. 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.; Spakman, W. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *J. Geophys. Res.* 2007, 112, B06420.
23. Chinh, Đ.N. Hệ quy chiếu trắc địa. Bài giảng cao học. Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2013.
24. Chinh, Đ.N.; Bắc, N.X.; Thắm, B.T.H.; Trang, T.T.T.; Anh, N.T.K. Giáo trình lý thuyết sai số. Trường Đại học Tài nguyên và môi trường, 2015.
25. Tâm, L.T.T.; Sáng, N.V.; Đông, D.K.; Tới, D.Đ.; Anh, N.T.; Lê, N.T. Tính chuyển vận tốc dịch chuyển vỏ trái đất và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện sang hệ tọa độ địa tâm. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* 2024, 61, 1-8.

The effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters

Le Thi Thanh Tam¹, Nguyen Van Sang^{1*}

¹ Hanoi University of Mining and Geology; thanhtamtcc@gmail.com;
nguyenvansangtd40@gmail.com

Abstract: The paper presents the results of determining the effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters between static coordinate systems (VN2000) and dynamic coordinate systems (ITRF). A method for determining the velocity of coordinate transformation parameters according to the velocity vector of the crustal motion has been developed. The velocities of 7 coordinate transformation parameters in Vietnam territory have been calculated according to the crustal motion velocities at 21 Geodetic CORS points. These calculated velocities are checked by comparing with the results of calculation method according to the coordinates at two cycles. The test results show that the differences between the velocities of two calculation methods are: in coordinates less than 0.11 mm; in direction less than $0.38'' \times 10^{-5}$; in length ratio is 0.004×10^{-9} . This proves that the method of determining the effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters in this paper and the calculation results are completely accurate.

Keywords: Crustal motion; Coordinate transformation parameters; Geodetic CORS.