

TÍNH CHUYỂN VẬN TỐC DỊCH CHUYỂN VỎ TRÁI ĐẤT VÀ SAI SỐ TƯƠNG ỨNG TỪ HỆ TỌA ĐỘ ĐỊA DIỆN CHÂN TRỜI SANG HỆ TỌA ĐỘ ĐỊA TÂM

LÊ THỊ THANH TÂM⁽¹⁾, NGUYỄN VĂN SÁNG⁽¹⁾, DƯƠNG KIM ĐÔNG⁽²⁾
DƯƠNG ĐỨC TỐI⁽²⁾, NGUYỄN TUẤN ANH⁽²⁾, NGUYỄN THÀNH LÊ⁽³⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Mở - Địa chất

⁽²⁾Cục Chuyển đổi số và Thông tin dữ liệu tài nguyên môi trường

⁽³⁾Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu này là tính chuyển vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm. Công thức tính chuyển vận tốc được xây dựng trên cơ sở công thức tính chuyển tọa độ. Công thức tính chuyển sai số trung phương được xây dựng dựa vào quy luật lan truyền sai số. Việc kiểm tra được thực hiện bằng cách so sánh vận tốc tổng hợp và sai số tương ứng trước và sau tính chuyển. Trong phần thực nghiệm, vận tốc và sai số tương ứng của 29 điểm quan trắc đã được tính chuyển từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm. Kết quả kiểm tra cho thấy: công thức và kết quả tính toán hoàn toàn chính xác. Phương pháp tính chuyển này sẽ giúp cho việc nghiên cứu ảnh hưởng của dịch chuyển vỏ Trái đất đến các tham số chuyển đổi tọa độ được thuận lợi, không cần phải xử lý lại lưới quan trắc.

Từ khóa: Vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất; Hệ tọa độ địa diện chân trời; Hệ tọa độ địa tâm; Sai số trung phương.

1. Giới thiệu

Trong thời gian qua, ở Việt Nam đã có nhiều công trình nghiên cứu xác định vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất bằng công nghệ GNSS, tiêu biểu như: Trong tài liệu [5], các tác giả đã xử lý số liệu lưới GPS tại đứt gãy sông Hồng quan trắc từ năm 1994 đến 2007 và tính ra vận tốc dịch chuyển trong hệ tọa độ địa diện chân trời. Các điểm dịch chuyển về phía Đông - Nam với vận tốc $34,5 \pm 1$ mm/năm. Trong tài liệu [1], đã công bố vận tốc dịch chuyển của các điểm trong lưới Châu Á - Thái

Bình Dương và tính chuyển tọa độ các điểm thống nhất về ITRF2008. 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 các trạm IGS quốc tế để tính ra vận tốc dịch chuyển và sai số tương ứng trong hệ tọa độ địa diện chân trời [3]. Trong tài liệu [4], các tác giả đã xử lý số liệu lưới VNGEONET trong ITRF2014 bằng phần mềm BERNESE và công bố vận tốc dịch chuyển của các điểm trong hệ tọa độ địa diện chân trời.

Từ những phân tích, đánh giá các công

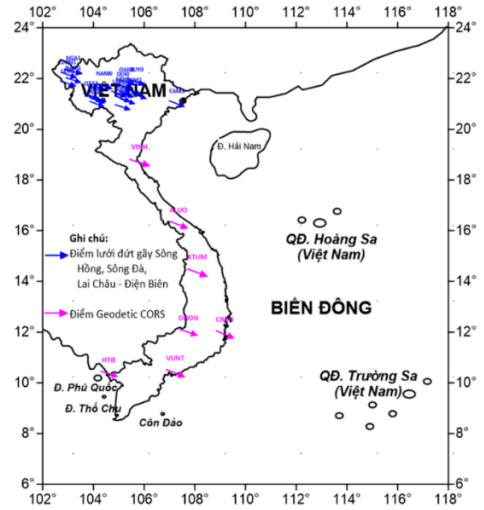
trình nghiên cứu về chuyển động hiện đại vỏ Trái đất cho thấy: Các công trình thường công bố vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất trong hệ tọa độ địa diện chân trời (V_N, V_E, V_U). Điều này giúp người đọc có được sự hiểu biết trực quan về dịch chuyển vỏ Trái đất tại khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, nếu muốn nghiên cứu ảnh hưởng của sự dịch chuyển này đến sự thay đổi của hệ tọa độ, tham số chuyển đổi hệ tọa độ hoặc để chuyển đổi vận tốc dịch chuyển giữa các ITRF khác nhau thì cần vận tốc dịch chuyển trong hệ tọa độ địa tâm (X, Y, Z). Bài báo này tập trung nghiên cứu phương pháp tính chuyển vận tốc và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm.

2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là lãnh thổ Việt Nam. Đây là khu vực nằm trên hai khối kiến tạo liên kề, khối Nam Trung Hoa (South China Block) và khối Sundaland (Sundaland Block). Ranh giới của 2 khối này là đứt gãy Sông Hồng. Xung quanh Việt Nam, các mảng kiến tạo hoạt động như sau: Mảng Ấn Độ xô húc vào lục địa Trung Hoa ở phía Tây Bắc. Phía Tây, mảng Philipin bị hút chìm dưới khối Sundaland theo hướng Tây Bắc với tốc độ khoảng 7 cm/năm ở khu vực gần Đài Loan, trên 9 cm/năm ở khu vực Mindanao. Mảng Australia bị hút chìm dưới khối Sundaland theo hướng Bắc-Đông Bắc với tốc độ trên 9 cm/năm ở phía Nam [7].

Trên lãnh thổ và vùng biển Việt Nam, theo các kết quả nghiên cứu địa chất và kiến tạo Việt Nam, có thể chia ra 5 khối cấu trúc kiến tạo, là các khối sau: Khối Đông Bắc, khối Mường Tè, khối Tây Bắc - Bắc Trung Bộ, khối Nam Trung Bộ - Nam Bộ và khối Biển Đông. Mỗi khối được hình thành và phát triển với những đặc trưng riêng [6].



Hình 1: Khu vực nghiên cứu và vị trí các điểm quan trắc GNSS

2.2. Số liệu nghiên cứu

a) Số liệu vận tốc dịch chuyển lưới đứt gãy Sông Hồng, Sông Đà, Lai Châu - Điện Biên.

Trong nghiên cứu này, số liệu vận tốc chuyển dịch trong hệ tọa độ địa diện chân trời của 22 điểm lưới GPS khi quan trắc các đứt gãy ở Miền Bắc của Việt Nam như: Đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Sông Đà, Lai Châu - Điện Biên được sử dụng. Các lưới này được đo đạc từ năm 1994 đến năm 2007 và được xử lý bằng phần mềm GAMIT/GLOBK trong ITRF2000 [5]. Các điểm này phân bố ở Miền Bắc Việt Nam (Hình 1).

b) Số liệu vận tốc dịch chuyển của một số điểm lưới Geodetic CORS

Trong nghiên cứu này, số liệu vận tốc 7 điểm lưới Geodetic CORS ở Miền Trung và Miền Nam của Việt Nam cũng được sử dụng. Số liệu này được đo đạc liên tục từ năm 2019 đến 2021, được xử lý bằng phần mềm BERNESSE trong ITRF 2014 [4]. Vị trí của các điểm này được trình bày trên Hình 1.

Các số liệu này được công bố ở dạng vận tốc dịch chuyển trong hệ tọa độ địa diện. Trên Bảng 1 là tổng hợp các số liệu được sử dụng.

Bảng 1: Tổng hợp các số liệu nghiên cứu

STT	Điểm	$V_E(mm)$	$m_{VE}(mm)$	$V_N(mm)$	$m_{VN}(mm)$	$V_U(mm)$	$m_{VU}(mm)$
22 điểm trong lưới quan trắc đứt gãy Sông Hồng, Sông Đà và Lai Châu - Điện Biên							
1	CAM1	34,60	1,08	-13,41	1,04	32,95	1,50
2	SOC1	32,88	0,81	-11,94	0,80	-1,84	1,51
3	XUY0	34,95	1,06	-12,46	1,04	0,53	1,48
4	TAM2	32,42	1,01	-12,24	0,99	-0,60	1,41
5	BAV1	32,14	0,79	-11,08	0,78	-1,28	1,11
6	OAN0	33,49	1,08	-11,85	1,05	-14,02	1,51
7	HUN1	33,14	0,76	-11,69	0,75	-5,24	1,07
8	DOI0	33,66	1,08	-11,83	1,06	-10,47	1,51
9	NTH0	33,27	0,78	-12,23	0,77	-10,70	1,10
10	SON1	32,80	0,77	-12,13	0,76	-3,73	1,08
11	HOA1	33,90	0,86	-11,34	0,84	-2,75	1,20
12	LAP1	32,92	0,79	-12,47	0,78	-4,99	1,11
13	NAM0	35,09	1,06	-12,04	1,04	3,23	1,48
14	MON1	32,43	2,01	-13,44	1,76	-1,05	2,67
15	NOI1	33,03	1,98	-12,08	1,74	-4,40	2,64
16	NAD2	32,36	2,04	-12,13	1,78	-10,19	2,71
17	LOT1	33,45	2,00	-13,56	1,75	-6,17	2,66
18	QTA2	33,91	2,01	-12,52	1,76	-9,63	2,67
19	NGA1	39,12	1,77	-9,74	1,70	12,09	2,45
20	HAM1	32,87	1,80	-10,47	1,73	15,33	2,50
21	DON1	35,17	1,78	-12,10	1,71	15,17	2,47
22	LEM1	34,83	1,79	-11,12	1,72	11,92	2,48
7 điểm Geodetic CORS							
23	ALUO	29,00	0,89	-10,60	0,85	12,40	1,23
24	CRKH	28,90	0,93	-11,60	0,97	1,50	1,34
25	DNON	28,60	1,02	-9,40	1,04	-0,30	1,46
26	HTIE	27,50	1,06	-8,50	1,07	-1,60	1,51
27	KTUM	31,00	0,99	-11,30	0,90	-0,90	1,34
28	VINH	31,50	0,95	-9,90	0,91	1,50	1,32
29	VUNT	29,50	1,06	-11,20	1,02	-0,50	1,47

3. Phương pháp tính chuyển vận tốc dịch chuyển từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm

3.1. Phương pháp tính chuyển vận tốc

Công thức tính chuyển tọa độ địa diện chân trời (N, E, U) sang tọa độ địa tâm (X, Y, Z) như sau [2]:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} N \\ E \\ U \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

trong đó: R là ma trận xoay, được tính:

$$R = \begin{bmatrix} -\sin B_0 \cos L_0 & -\sin L_0 & \cos B_0 \cos L_0 \\ -\sin B_0 \sin L_0 & \cos L_0 & \cos B_0 \sin L_0 \\ \cos B_0 & 0 & \sin B_0 \end{bmatrix}; \quad (2)$$

N_0 là bán kính vòng thẳng đứng thứ nhất, được tính theo công thức:

$$N_0 = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B_0}}; \quad (3)$$

a là bán trục lớn của ellipsoid; e là độ lệch tâm thứ nhất; B_0, L_0, H_0 là tọa độ trắc địa của điểm gốc hệ tọa độ địa diện chân trời, chính là tọa độ điểm quan trắc.

Xét véc tơ vận tốc chuyển dịch trong hệ tọa độ địa diện chân trời (V_N, V_E, V_U). Điểm đầu của véc tơ này có tọa độ là $D(0, 0, 0)$. Điểm cuối của véc tơ này có tọa độ là $C(V_N, V_E, V_U)$. Áp dụng công thức (1) cho điểm đầu, ta có tọa độ điểm đầu của véc tơ vận tốc trong hệ tọa độ địa tâm là:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_D = R \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Áp dụng công thức (1) cho điểm cuối, ta có tọa độ điểm cuối của véc tơ vận tốc trong hệ tọa độ địa tâm là:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_C = R \begin{bmatrix} V_N \\ V_E \\ V_U \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Véc tơ vận tốc trong hệ tọa độ địa tâm được tính:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_C - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_D \\ &= R \begin{bmatrix} V_N \\ V_E \\ V_U \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix} - R \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (N_0 + H_0) \cos B_0 \cos L_0 \\ (N_0 + H_0) \cos B_0 \sin L_0 \\ [N_0(1 - e^2) + H_0] \sin B_0 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (6)$$

Rút gọn ta có công thức tính chuyển vận tốc từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm:

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} V_N \\ V_E \\ V_U \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Khai triển ra ta được:

$$\begin{aligned} V_X &= (-\sin B_0 \cos L_0) V_N - (\sin L_0) V_E + (\cos B_0 \cos L_0) V_U \\ V_Y &= (-\sin B_0 \sin L_0) V_N + (\cos L_0) V_E + (\cos B_0 \sin L_0) V_U, \\ V_Z &= (\cos B_0) V_N + (\sin B_0) V_U \end{aligned} \quad (8)$$

3.2. Tính chuyển sai số

Từ công thức (8), áp dụng quy luật lan truyền sai số trung phương [2], công thức tính sai số vận tốc trong hệ tọa độ địa tâm ($m_{V_X}, m_{V_Y}, m_{V_Z}$) theo sai số trung phương trong hệ tọa độ địa diện chân trời ($m_{V_N}, m_{V_E}, m_{V_U}$) được xây dựng như sau:

$$\begin{aligned} m_{V_X} &= \sqrt{(\sin B_0 \cos L_0)^2 m_{V_N}^2 + (\sin L_0)^2 m_{V_E}^2 + (\cos B_0 \cos L_0)^2 m_{V_U}^2} \\ m_{V_Y} &= \sqrt{(\sin B_0 \sin L_0)^2 m_{V_N}^2 + (\cos L_0)^2 m_{V_E}^2 + (\cos B_0 \sin L_0)^2 m_{V_U}^2}, \\ m_{V_Z} &= \sqrt{(\cos B_0)^2 m_{V_N}^2 + (\sin B_0)^2 m_{V_U}^2} \end{aligned} \quad (9)$$

3.3. Phương pháp kiểm tra kết quả tính toán

Trước khi tính chuyển, từ các thành phần vận tốc V_N, V_E, V_U , vận tốc tổng hợp V_1 được tính theo công thức [2]:

$$V_1 = \sqrt{V_N^2 + V_E^2 + V_U^2} \quad (10)$$

Sai số trung phương được tính theo công thức [2]:

$$m_{V_1}^2 = \left(\frac{\partial V_1}{\partial V_N}\right)^2 m_{V_N}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial V_E}\right)^2 m_{V_E}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial V_U}\right)^2 m_{V_U}^2. \quad (11)$$

Triển khai ra ta được:

$$m_{V_1} = \sqrt{\left(\frac{V_N}{V_1}\right)^2 m_{V_N}^2 + \left(\frac{V_E}{V_1}\right)^2 m_{V_E}^2 + \left(\frac{V_U}{V_1}\right)^2 m_{V_U}^2}. \quad (12)$$

Sau khi tính chuyển, từ các thành phần vận tốc V_X, V_Y, V_Z , vận tốc tổng hợp V_2 cũng được tính theo công thức [2]:

$$V_2 = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2 + V_Z^2} \quad (13)$$

Sai số trung phương được tính theo công thức [2]:

$$m_{V_2}^2 = \left(\frac{\partial V_2}{\partial V_X}\right)^2 m_{V_X}^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial V_Y}\right)^2 m_{V_Y}^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial V_Z}\right)^2 m_{V_Z}^2. \quad (14)$$

Triển khai ra ta được:

$$m_{V_2} = \sqrt{\left(\frac{V_X}{V_2}\right)^2 m_{V_X}^2 + \left(\frac{V_Y}{V_2}\right)^2 m_{V_Y}^2 + \left(\frac{V_Z}{V_2}\right)^2 m_{V_Z}^2}. \quad (15)$$

Nếu việc xây dựng công thức và kết quả tính toán đúng thì V_1 phải bằng V_2 và m_{V_1} phải bằng m_{V_2} .

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Kết quả tính chuyển vận tốc và sai số

Theo lý thuyết trình bày ở trên, kết quả tính chuyển vận tốc và sai số trung phương tương ứng từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm được trình bày trên Bảng 2.

Bảng 2: Kết quả tính chuyển vận tốc và sai số tương ứng

<i>STT</i>	<i>Điểm</i>	V_X (mm)	m_{VX} (mm)	V_Y (mm)	m_{VY} (mm)	V_Z (mm)	m_{VZ} (mm)
1	CAM1	-43,62	1,12	23,66	1,42	-0,71	1,11
2	SOC1	-32,35	0,87	-6,44	1,40	-11,79	0,93
3	XUY0	-35,03	1,09	-4,54	1,40	-11,37	1,11
4	TAM2	-32,28	1,04	-4,97	1,34	-11,61	1,06
5	BAV1	-31,73	0,81	-5,83	1,06	-10,80	0,83
6	OAN0	-30,02	1,11	-17,15	1,43	-16,22	1,13
7	HUN1	-31,80	0,78	-9,36	1,02	-12,80	0,80
8	DOI0	-31,08	1,11	-14,00	1,43	-14,86	1,13
9	NTH0	-30,67	0,80	-14,00	1,04	-15,30	0,82
10	SON1	-31,89	0,79	-7,71	1,03	-12,66	0,81
11	HOA1	-33,10	0,88	-7,46	1,14	-11,58	0,89
12	LAP1	-31,77	0,81	-8,63	1,06	-13,43	0,83
13	NAM0	-35,84	1,09	-1,55	1,41	-9,99	1,11
14	MON1	-32,39	2,05	-4,22	2,54	-12,91	1,90
15	NOI1	-32,09	2,02	-7,84	2,51	-12,85	1,88
16	NAD2	-30,11	2,08	-12,93	2,58	-14,97	1,92
17	LOT1	-32,24	2,04	-8,95	2,53	-14,87	1,89

<i>STT</i>	<i>Điểm</i>	V_x (mm)	m_{vx} (mm)	V_y (mm)	m_{vy} (mm)	V_z (mm)	m_{vz} (mm)
18	QTA2	-31,85	2,05	-12,46	2,54	-15,16	1,91
19	NGA1	-41,49	1,81	5,52	2,33	-4,43	1,83
20	HAM1	-36,15	1,84	10,12	2,38	-3,99	1,86
21	DON1	-38,46	1,82	10,19	2,35	-5,49	1,84
22	LEM1	-37,36	1,83	6,95	2,36	-5,90	1,84
23	ALUO	-32,11	0,92	5,59	1,18	-6,71	0,89
24	CRKH	-28,57	0,98	-5,83	1,29	-11,04	0,99
25	DNON	-27,75	1,07	-7,10	1,41	-9,26	1,06
26	HTIE	-26,62	1,09	-6,90	1,47	-8,65	1,09
37	KTUM	-30,07	1,03	-7,76	1,29	-11,17	0,93
28	VINH	-31,57	0,98	-4,10	1,26	-8,90	0,96
29	VUNT	-28,64	1,10	-7,23	1,43	-11,11	1,04

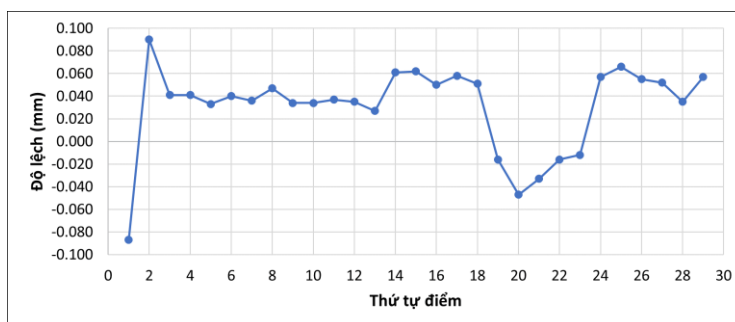
Để kiểm tra kết quả tính toán, vận tốc tổng hợp và sai số trung phương của nó trước và sau khi tính chuyển được tính toán và so sánh với nhau. Kết quả so sánh, kiểm tra được trình bày trên Bảng 3.

Bảng 3: Kết quả so sánh, kiểm tra

<i>STT</i>	<i>Điểm</i>	V_1 (mm)	m_{v1} (mm)	V_2 (mm)	m_{v2} (mm)	$\Delta V =$ $V_2 - V_1$ (mm)	$\Delta m_V =$ $m_{v2} - m_{v1}$ (mm)
1	CAM1	49,63	1,28	49,63	1,19	0,00	-0,09
2	SOC1	35,03	0,81	35,03	0,90	0,00	0,09
3	XUY0	37,11	1,06	37,11	1,10	0,00	0,04
4	TAM2	34,66	1,01	34,66	1,05	0,00	0,04
5	BAV1	34,02	0,79	34,02	0,82	0,00	0,03
6	OAN0	38,19	1,15	38,19	1,19	0,00	0,04
7	HUN1	35,53	0,77	35,53	0,80	0,00	0,04
8	DOI0	37,18	1,12	37,18	1,17	0,00	0,05
9	NTH0	37,03	0,81	37,03	0,85	0,00	0,03
10	SON1	35,17	0,77	35,17	0,81	0,00	0,03
11	HOA1	35,85	0,86	35,85	0,90	0,00	0,04
12	LAP1	35,56	0,80	35,56	0,83	0,00	0,04
13	NAM0	37,24	1,06	37,24	1,09	0,00	0,03
14	MON1	35,12	1,98	35,12	2,04	0,00	0,06
15	NOI1	35,44	1,97	35,44	2,03	0,00	0,06
16	NAD2	36,03	2,08	36,03	2,13	0,00	0,05
17	LOT1	36,62	1,99	36,62	2,05	0,00	0,06
18	QTA2	37,41	2,04	37,41	2,09	0,00	0,05
19	NGA1	42,09	1,83	42,09	1,82	0,00	-0,02
20	HAM1	37,75	1,93	37,75	1,88	0,00	-0,05
21	DON1	40,17	1,89	40,17	1,86	0,00	-0,03
22	LEM1	38,46	1,86	38,46	1,85	0,00	-0,02

23	ALUO	33,27	0,94	33,27	0,93	0,00	-0,01
24	CRKH	31,18	0,94	31,18	0,99	0,00	0,06
25	DNON	30,11	1,02	30,11	1,09	0,00	0,07
26	HTIE	28,83	1,06	28,83	1,12	0,00	0,06
37	KTUM	33,01	0,98	33,01	1,03	0,00	0,05
28	VINH	33,05	0,95	33,05	0,98	0,00	0,04
29	VUNT	31,56	1,06	31,56	1,11	0,00	0,06

Để có thể nhìn trực quan, độ lệch sai số trung phương của vận tốc tổng hợp trước và sau tính chuyển được trình bày ở dạng đồ thị trên Hình 2.



Hình 2: Độ lệch sai số trung phương trước và sau tính chuyển

Từ kết quả so sánh trên Bảng 3 và Hình 2, thấy rằng: Vận tốc tổng hợp trước và sau khi tính chuyển hoàn toàn bằng nhau đến 0,000 mm; Sai số trung phương của vận tốc tổng hợp trước và sau khi tính chuyển lệch nhau rất nhỏ (nhỏ hơn 0,1 mm), đây chỉ là sai số tính toán, làm tròn và sai số gây ra khi tính sai số trung phương theo quy luật lan truyền sai số đã bỏ qua các số hạng bậc cao của chuỗi Taylor. Điều này chứng tỏ công thức tính chuyển vận tốc và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm là hoàn toàn đúng đắn, kết quả tính toán chính xác.

5. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu phương pháp tính chuyển vận tốc dịch chuyển vỏ Trái đất và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện chân trời sang hệ tọa độ địa tâm. Công thức tính chuyển vận tốc được xây dựng dựa trên cơ sở công thức tính chuyển tọa độ.

Vận tốc dịch chuyển của 29 điểm quan trắc và sai số tương ứng từ hệ tọa độ địa diện

chân trời sang hệ tọa độ địa tâm. Kết quả kiểm tra cho thấy công thức và kết quả tính chuyển hoàn toàn chính xác.

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.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bui Thi Hong Tham (2013). Transformation coordinates between international terrestrial reference frames. *Journal of Mining and Earth Sciences*. 2013. Vol. 41, p. 53-57
- [2]. Đặng Nam Chinh (2013). Hệ quy chiếu trắc địa. Bài giảng cao học. Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
- [3]. Lê Huy Minh, Frédéric Masson, Alain Bourdillon, Rolland Fleury, Far-Ching Hu, Vũ Tuấn Hùng, Lê Trường Thanh, Nguyễn Chiến Thắng, Nguyễn Hà Thành (2014). 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*. 36(1), 1-13.

[4]. Nguyễn Việt Quân, Vũ Đức Trung & Thân Văn Nam (2021). 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.

[5]. Tran Dinh To, Nguyen Trong Yem, Duong Chi Cong, Vy Quoc Hai, Zuchiewicz Witold, Cuong Nguyen Quoc, Nghia Nguyen Viet (2013). Recent crustal movements of northern Vietnam from GPS

data. *Journal of Geodynamics*. 2013. Vol. 69, p. 5-10. DOI:10.1016/j.jog.2012.02.009.

[6]. Trần Đình Tô, Phạm Văn Hùng (2013). Xây dựng lưới GNSS thường trực tại Việt Nam dưới góc nhìn địa kiến tạo. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, số 41, tr.58-64.

[7]. W. J. F. Simons, A. Socquet, C. Vigny, B. A. C. Ambrosius, S. Haji Abu, Chaiwat Promthong, C. Subarya, D. A. Sarsito, S. Matheussen, P. Morgan, and W. Spakman (2007). A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, B06420, doi:10.1029/2005JB003868.

Summary

Conversion of crustal motion velocity and its uncertainties from the topocentric coordinate system to the geocentric coordinate system

Le Thi Thanh Tam, Nguyen Van Sang, Hanoi University of Mining and Geology.

Duong Kim Dong, Duong Duc Toi, Nguyen Tuan Anh, The Department of Digital Transformation and Data for Natural Resources and Environment (DINRE).

Nguyen Thanh Le, Le Quy Don Technical University.

This study aims to convert crustal motion velocity and its uncertainties from the topocentric coordinate system to the geocentric coordinate system. The formula for conversion of motion velocity is based on the formula for conversion coordinate. The formula for estimating the uncertainties of motion velocity is built based on the law of error propagation. The test is performed by comparing the combined velocity and the corresponding uncertainties before and after conversion. In the experiment, the motion velocity and corresponding uncertainty of 29 monitoring points were converted from the topocentric coordinate system to the geocentric coordinate system. The test results show that the formula and conversion results are completely accurate. This conversion crustal motion velocity method will facilitate the study of the effect of the crustal motion on the coordinate transformation parameters without having to reprocess the monitoring network.

Keywords: Crustal motion velocity; Topocentric coordinate system; Geocentric coordinate system; Uncertainties.