

Bài báo khoa học

Giải pháp và kết quả tính tổng lượng hơi nước cột khí quyển (PWV) từ dữ liệu GNSS ở Việt Nam

Lại Văn Thủy^{1*}, Dư Đức Tiến², Mai Khánh Hưng²

¹ Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ; laivanthuy68@gmail.com

² Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; duductien@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com

*Tác giả liên hệ: laivanthuy68@gmail.com; Tel.: +84–0982964468

Ban Biên tập nhận bài: 5/11/2022; Ngày phản biện xong: 22/12/2022; Ngày đăng bài: 25/12/2022

Tóm tắt: Bài báo này trình bày giải pháp tính toán tổng lượng hơi nước cột khí quyển PWV (Precipitation water vapor) từ dữ liệu đo GNSS (Global Navigation Satellite System) ở Việt Nam và thông tin về kết quả đánh giá chất lượng tính PWV từ dữ liệu đo GNSS tại 5 trạm CORS cho trường hợp các điểm đo nằm trong khu vực Điện Biên (DIEB), Hà Nội (HNOI), Vinh (VINH), Đà Nẵng (DNAN), TP. Hồ Chí Minh (HOCHM) có số liệu đo thám không vô tuyến và trường hợp các điểm trạm CORS ở những khu vực không có số liệu đo thám không vô tuyến. Các kết quả tính toán có sai số trong khoảng từ 2 mm đến 6 mm, cho thấy tổng lượng hơi nước PWV tính được từ các trạm CORS đều có độ tin cậy cao và hoàn toàn có thể sử dụng được trong nghiên cứu và ứng dụng vào các vấn đề giám sát và dự báo khí tượng trong thời gian tới tại Việt Nam.

Từ khóa: GNSS; PWV; CORS; Tổng lượng hơi nước cột khí quyển.

1. Mở đầu

Xác định lượng hơi nước tích tụ (PWV) từ dữ liệu đo GNSS đã được thực hiện ở nhiều nước trên thế giới như: Mạng lưới quan sát trái đất (NOTA) [1] được thiết lập dựa trên 1257 trạm GPS/GNSS và 270 trạm khí tượng bề mặt. Mạng lưới NOTA của Mỹ là cơ sở quan trọng trong việc dự báo động đất hay chuyển động của các mảng kiến tạo. Đồng thời cảnh báo dự báo lũ lụt hay mưa lớn do bão thông qua xác định PWV cũng là một trong những nhiệm vụ quan trọng của mạng lưới quan sát ở Mỹ. Tại Nhật Bản, Cơ quan Thông tin Không gian Địa lý Nhật Bản (GSI) điều hành một mạng lưới quan sát GNSS liên tục trên mặt đất được gọi là Mạng lưới quan sát Trái đất (GEONET) [2–3], bao phủ toàn bộ quần đảo Nhật Bản với hơn 1300 trạm ở khoảng cách trung bình khoảng 20 km. Đây được xem là một trong những mạng GNSS dày đặc nhất trên thế giới. Bắt đầu từ năm 2013, GSI cung cấp dữ liệu QZSS (Hệ thống vệ tinh Quasi–Zenith) cùng với dữ liệu GPS. Cùng với sự phát triển của GNSS, các ứng dụng của độ trễ thiên đỉnh đã được nghiên cứu trong việc xác định sự biến đổi của hơi nước tại địa phương và vai trò của nó trong sự phát triển của đồng bão nguy hiểm, dữ liệu PWV nhận được theo thời gian thực sẽ giúp tăng cường chất lượng dự báo khí tượng (làm dữ liệu quan trắc đưa vào hệ thống đồng hoá số liệu cho các mô hình khu vực phân giải cao) [4–13].

Hiện nay, hệ thống trạm định vị vệ tinh quốc gia (VNGEONET– Viet Nam Geodetic Network) [5] gồm 65 trạm CORS bố trí trên phạm vi toàn quốc đã được đưa vào sử dụng. VNGEONET đã góp phần hoàn thiện và hiện đại hóa hạ tầng đo đạc và bản đồ cơ bản, cung cấp đầy đủ, kịp thời, chính xác thông tin, dữ liệu đo đạc và bản đồ phục vụ phát triển kinh

tế-xã hội, quốc phòng, an ninh, giám sát tài nguyên, bảo vệ môi trường, phòng chống thiên tai và nghiên cứu tầng khí quyển. Xác định lượng hơi nước tích tụ PWV bằng công nghệ GNSS đã là một trong những giải pháp có hiệu quả cao do chi phí thấp, phương pháp này được thực hiện thông qua kết quả tính độ trễ tầng đối lưu theo hướng đường truyền tín hiệu giữa vệ tinh và máy thu GNSS trong bài toán định vị điểm chính xác (*PPP – Precise point positioning*). Tuy nhiên, để kết quả tính toán PWV có độ tin cậy cao sẽ cần có những giải pháp xử lý dữ liệu đo phù hợp với từng điều kiện của mỗi quốc gia. Bài báo này trình bày giải pháp tính tổng lượng hơi nước cột khí quyển PWV từ dữ liệu đo GNSS trong điều kiện Việt Nam và kết quả đánh giá chất lượng tính toán PWV tại một số thời điểm cụ thể so với dữ liệu quan trắc thám không, dữ liệu tái phân tích của Châu Âu (ERA5), nhằm giới thiệu kết quả, độ chính xác tính PWV và khả năng ứng dụng PWV từ dữ liệu đo GNSS trong giám sát, dự báo khí tượng trong thời gian tới ở Việt Nam.

2. Số liệu và phương pháp tính PWV từ dữ liệu GNSS

2.1. Số liệu

Tổng lượng hơi nước cột khí quyển (PWV) được tính toán từ số liệu trị đo GNSS tại các trạm CORS phủ trùm trên lãnh thổ Việt Nam như Hình 1 dưới đây.



Hình 1. Sơ đồ vị trí các trạm CORS trên lãnh thổ Việt Nam [4].

Để đánh giá chất lượng dữ liệu PWV tính toán từ GNSS, chúng tôi sử dụng các giá tính tổng lượng hơi nước cột khí quyển PWV tính toán từ dữ liệu quan trắc tại 05 trạm thám không vô tuyến [5], gồm Điện Biên, Hà Nội, Vinh, Đà Nẵng và TP. Hồ Chí Minh tại một số ngày cụ thể, bao gồm các ngày 13 và 14 tháng 3 năm 2022 được tính từ số liệu đo áp suất, nhiệt độ điểm sương trên các tầng khí áp. Số liệu tính PWV tại các điểm kiểm tra còn lại trong ngày 13 tháng 3 năm 2022 được tính toán nội suy từ dữ liệu khí tượng tại các mực khí quyển cơ bản trong dữ liệu tái phân tích của Châu Âu (ERA5) tại đường dẫn: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>.

2.2. Phương pháp tính PWV từ dữ liệu GNSS

Thông qua phương pháp định vị điểm chính xác tại một điểm trạm CORS, ta nhận được độ trễ thiên đỉnh của tầng đối lưu ZTD (*zenith tropospheric delay*), độ trễ thiên đỉnh ZTD bao gồm 2 thành phần chính là độ trễ thiên đỉnh khô ZHD (*zenith hydrostatic delay*) và độ trễ thiên đỉnh ướt ZWD (*zenith wet delay*) [4, 8–10], quan hệ này được biểu thị bằng công thức:

$$ZTD = ZWD + ZHD \quad (1)$$

Từ công thức (1) có thể xác định được độ trễ thiên đỉnh ướt của tầng đối lưu của điểm:

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad (2)$$

Trong công thức (2), độ trễ thiên đỉnh khô ZHD được tính theo công thức:

$$ZHD = 2.2768 \frac{P_s}{1 - 0.00266 \cdot \cos 2\varphi - 0.00028 \cdot H} \quad (3)$$

Trong đó P_s là áp suất tại ăng ten của trạm đặt máy thu GNSS (hPa); φ là vĩ độ tại Ăng ten của trạm đặt máy thu GNSS (radian); H là độ cao ellipsoid tại ăng ten của trạm đặt máy thu GNSS (km).

Sau khi tính toán được độ trễ thiên đỉnh ướt ta sẽ tính được tổng lượng hơi nước tích tụ của cột khí quyển theo công thức sau:

$$PWV = ZWD \cdot \frac{10^6}{\rho_w R_v \left(\frac{k_3}{T_m} + k_2 \right)} \quad (4)$$

Trong đó ρ_w là tỷ trọng của nước $\rho_w = 999.97 \text{ kg m}^{-3}$; R_v là hằng số khí $R_v = 461.51 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$; k_2, k_3 là hằng số khúc xạ khí quyển $k_2 = 22.1 \pm 2.2 (\text{K hpa}^{-1})$.

$$k_3 = 373900 (\text{K}^2 \text{ hpa}^{-1})$$

T_m là nhiệt độ trung bình của khí quyển, ở Việt Nam giá trị này [5–6] được xác định theo công thức:

$$T_m = 154.7 + 0.422T - 4.0H \quad (5)$$

Trong đó T là nhiệt độ trên bề mặt đất tại điểm đo ($^{\circ}\text{K}$); H là độ cao của điểm so với mặt nước biển trung bình (km).

Để kết quả tính PWV từ số liệu đo GNSS đạt được độ chính xác cao hơn trong điều kiện của Việt Nam, tiếp tục làm khớp dữ liệu tính PWV theo các hệ số điều chỉnh cho trị đo áp suất, nhiệt độ và độ ẩm tại điểm trạm CORS [6] theo công thức:

$$PWV_{RNEW} = PWV - 0.013P_r + 0.433T_r + 0.099RH_r \quad (6)$$

Trong đó P_r là áp suất trên bề mặt đất tại điểm đo GNSS (mbar); T_r là nhiệt độ trên mặt đất tại điểm đo GNSS ($^{\circ}\text{C}$); RH_r là độ ẩm tương đối trên mặt đất tại điểm đo GNSS (%); PWV_{RNEW} là lượng hơi nước tích tụ tại điểm đo sau khi khớp dữ liệu (mm).

2.3. Phương pháp đánh giá sai số

Để đánh giá chất lượng tính PWV từ dữ liệu đo GNSS chúng tôi lựa chọn phương pháp đánh giá độ chính xác theo sai số trung phương trị thực [14] theo công thức sau:

$$m_{PWV_{GNSS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (PWV_{TK}^i - PWV_{RNEW}^i)^2} \quad (7)$$

Trong đó PWV_{TK}^i là giá trị tính PWV theo phương pháp đo thám không vô tuyến và theo mô hình tái phân tích của Châu Âu (ERA5) tại điểm đo thứ i ; PWV_{RNEW}^i là giá trị tính PWV từ dữ liệu đo GNSS tại điểm đo thứ i ; N là tổng số điểm được sử dụng để đánh giá độ chính xác tính PWV từ dữ liệu đo GNSS.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả đánh giá độ chính xác tính PWV

Để bước đầu đánh giá độ chính xác tính PWV tại Việt Nam, chúng tôi lựa chọn dữ liệu từ 5 điểm trạm CORS tại các vị trí trạm Điện Biên (DIEB), Hà Nội (HNOI), Vinh (VINH), Đà Nẵng (DNAN), TP. Hồ Chí Minh (HOCM) và so sánh tương ứng với số liệu tính toán PWV tại 5 trạm đo thám không vô tuyến này. Các kết quả tính được tổng hợp tại Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Đánh giá chất lượng tính PWV tại khu vực có trạm đo thám không vô tuyến.

STT	Tên điểm trạm CORS	Thời điểm tính	PWV đo thám không (mm)	PWV tính theo số liệu GNSS (mm)	Chênh lệch (mm)	Sai số bình phương chênh lệch (mm)
1	DIEB	2022031300	43,94	43,25	0,69	0,47
2	HNOI	2022031300	44,27	43,30	0,97	0,94
3	VINH	2022031300	41,88	39,92	1,96	3,84
4	DNAN	2022031300	24,78	25,54	-0,76	0,58
5	HOCM	2022031300	57,6	55,47	2,13	4,55
6	HNOI	2022031312	44,98	46,89	-1,91	3,64
7	DNAN	2022031312	25,26	28,47	-3,21	10,28
8	HOCM	2022031312	58,64	56,11	2,53	6,39
9	DIEB	2022031400	46,59	44,58	2,01	4,04
10	HNOI	2022031400	47,53	45,13	2,40	5,78
11	VINH	2022031400	44,75	43,53	1,22	1,49
12	DNAN	2022031400	24,69	26,56	-1,87	3,51
13	HOCM	2022031400	53,29	51,62	1,67	2,79
14	HNOI	2022031412	44,06	43,45	0,61	0,37
15	DNAN	2022031412	42,47	43,32	-0,85	0,73
16	HOCM	2022031412	50,83	51,07	-0,24	0,06
Tổng cộng:						49,46

Độ chính xác tính PWV từ số liệu đo GNSS tại khu vực có điểm đo thám không vô tuyến đạt được là:

$$m_{PWV_{GNSS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (PWV_{TK}^i - PWV_{RNEW}^i)^2} = \sqrt{\frac{49,46}{15}} = \pm 1,81 \text{ (mm)}$$

Đối với các điểm nằm trong khu vực không có trạm đo thám không vô tuyến, độ chính xác tính PWV trên các trạm CORS được đánh giá theo giá trị tính PWV từ dữ liệu tái phân tích của Châu Âu (ERA5) [15], kết quả đánh giá độ chính xác tính PWV tại các điểm CORS này được tổng hợp trong Bảng 2 dưới đây.

Bảng 2. Đánh giá chất lượng đo tại khu vực không có trạm đo thám không vô tuyến.

STT	Tên điểm trạm CORS	Thời điểm tính	PWV tính từ mô hình ERA5 (mm)	PWV tính theo số liệu GNSS (mm)	Chênh lệch (mm)	Bình phương chênh lệch (mm)
1	BAVI	2022031300	42,34	43,50	-1,16	1,34
2	BGIA	2022031300	39,10	34,35	4,75	22,58
3	BLIE	2022031300	54,35	51,04	3,31	10,96
4	BTRI	2022031300	53,62	48,56	5,06	25,59
5	CAOL	2022031300	50,40	55,88	-5,48	30,01
6	CBAN	2022031300	39,43	38,53	0,90	0,81

STT	Tên điểm trạm CORS	Thời điểm tính	PWV tính từ mô hình ERA5 (mm)	PWV tính theo số liệu GNSS (mm)	Chênh lệch (mm)	Bình phương chênh lệch (mm)
7	CCHI	2022031300	48,94	54,66	-5,72	32,75
8	CPHU	2022031300	41,45	42,74	-1,29	1,66
9	CRKH	2022031300	52,41	56,22	-3,81	14,55
10	CTHO	2022031300	53,40	57,00	-3,60	12,99
11	DLAP	2022031300	38,00	39,80	-1,80	3,22
12	DNON	2022031300	49,77	44,51	5,26	27,69
13	DOHA	2022031300	30,55	31,48	-0,93	0,86
14	DSON	2022031300	38,16	40,90	-2,74	7,51
15	HDUO	2022031300	39,34	42,92	-3,58	12,82
16	HGIA	2022031300	40,89	40,37	0,52	0,27
17	KANH	2022031300	37,46	35,04	2,42	5,87
18	KSAN	2022031300	31,94	25,34	6,60	43,51
19	KTUM	2022031300	33,40	19,59	13,81	190,71
20	LCAI	2022031300	41,66	41,53	0,13	0,02
21	LKHA	2022031300	51,11	50,50	0,61	0,38
22	MCAI	2022031300	39,51	43,60	-4,09	16,75
23	MGTE	2022031300	50,95	54,74	-3,79	14,40
24	MHOA	2022031300	49,04	56,21	-7,17	51,48
25	MTHO	2022031300	53,16	57,49	-4,33	18,72
26	NDON	2022031300	29,73	23,91	5,82	33,84
27	PGIA	2022031300	49,18	53,84	-4,66	21,72
28	PLON	2022031300	49,19	50,87	-1,68	2,83
29	QNAM	2022031300	31,68	27,01	4,67	21,82
30	QNIN	2022031300	37,58	40,98	-3,40	11,55
31	TDUO	2022031300	44,82	44,87	-0,05	0,00
32	THMY	2022031300	33,8	27,05	6,75	45,62
33	THOA	2022031300	42,48	43,40	-0,92	0,85
34	TLAI	2022031300	50,64	51,74	-1,10	1,20
35	TNIN	2022031300	47,86	55,85	-7,99	63,82
36	TPAO	2022031300	51,97	50,60	1,37	1,87
37	TPHU	2022031300	29,64	26,26	3,38	11,39
38	TQUA	2022031300	43,00	43,40	-0,40	0,16
39	TRMY	2022031300	35,37	27,10	8,27	68,40
40	TYEN	2022031300	38,08	43,30	-5,22	27,29
41	VANL	2022031300	40,95	42,19	-1,24	1,53
42	VLON	2022031300	52,69	57,22	-4,53	20,55
43	VNIN	2022031300	39,24	43,10	-3,86	14,88
44	VUNT	2022031300	52,47	46,78	5,69	32,38
45	ALUO	2022031306	33,96	24,32	9,64	93,01
46	BAVI	2022031306	40,98	47,40	-6,42	41,25
47	BGIA	2022031306	42,02	34,40	7,62	58,14
48	BLIE	2022031306	40,57	53,17	-12,60	158,77
49	BTRI	2022031306	52,56	51,94	0,62	0,39
50	CAOL	2022031306	52,15	59,76	-7,61	57,90
51	CBAN	2022031306	56,14	37,41	18,73	350,79

STT	Tên điểm trạm CORS	Thời điểm tính	PWV tính từ mô hình ERA5 (mm)	PWV tính theo số liệu GNSS (mm)	Chênh lệch (mm)	Bình phương chênh lệch (mm)
52	CCHI	2022031306	37,48	57,91	-20,43	417,36
53	CPHU	2022031306	52,67	45,08	7,59	57,66
54	CRKH	2022031306	41,63	55,85	-14,22	202,10
55	CTHO	2022031306	51,92	60,39	-8,47	71,74
56	DLAP	2022031306	50,84	40,05	10,79	116,46
57	DNON	2022031306	55,37	47,65	7,72	59,55
58	DOHA	2022031306	32,42	32,84	-0,42	0,18
59	DSON	2022031306	39,49	45,46	-5,97	35,60
60	EAHL	2022031306	46,56	38,38	8,18	66,96
61	HDUO	2022031306	41,68	43,71	-2,03	4,12
62	HGIA	2022031306	41,30	42,67	-1,37	1,86
63	KANH	2022031306	39,05	43,44	-4,39	19,26
64	KSAN	2022031306	32,88	28,89	3,99	15,91
65	KTUM	2022031306	34,62	25,63	8,99	80,73
66	LCAI	2022031306	45,34	45,75	-0,41	0,17
67	LKHA	2022031306	54,11	54,80	-0,69	0,47
68	MCAI	2022031306	39,88	47,37	-7,49	56,06
69	MGTE	2022031306	47,24	56,68	-9,44	89,19
70	MHOA	2022031306	55,27	59,20	-3,93	15,48
71	MTHO	2022031306	53,20	59,59	-6,39	40,89
72	NDON	2022031306	31,66	29,98	1,68	2,83
73	PHRI	2022031306	52,86	56,48	-3,62	13,08
74	PLON	2022031306	53,60	54,79	-1,19	1,41
75	QNAM	2022031306	31,29	28,97	2,32	5,40
76	QNIN	2022031306	38,37	42,59	-4,22	17,77
77	TDUO	2022031306	45,01	47,40	-2,39	5,72
78	THMY	2022031306	34,19	29,32	4,87	23,72
79	THOA	2022031306	41,88	45,30	-3,42	11,73
80	TLAI	2022031306	55,43	56,42	-0,99	0,98
81	TNIN	2022031306	53,27	56,40	-3,13	9,77
82	TPAO	2022031306	56,50	55,74	0,76	0,58
83	TPHU	2022031306	30,89	31,21	-0,32	0,10
84	TQUA	2022031306	42,35	44,65	-2,30	5,30
85	TRMY	2022031306	34,82	30,91	3,91	15,27
86	TYEN	2022031306	38,04	45,35	-7,31	53,51
87	VANL	2022031306	41,95	45,15	-3,20	10,22
88	VINH	2022031306	42,07	42,15	-0,08	0,01
89	VLON	2022031306	54,37	58,72	-4,35	18,90
90	VNIN	2022031306	41,58	46,03	-4,45	19,81
91	VUNT	2022031306	54,03	51,63	2,40	5,75
92	ALUO	2022031212	35,80	24,33	11,47	131,61
93	BAVI	2022031212	44,55	46,70	-2,15	4,60
94	BGIA	2022031212	41,73	35,63	6,10	37,15
95	BLIE	2022031212	46,95	45,95	1,00	0,99
96	BTRI	2022031212	52,33	52,27	0,06	0,00

STT	Tên điểm trạm CORS	Thời điểm tính	PWV tính từ mô hình ERA5 (mm)	PWV tính theo số liệu GNSS (mm)	Chênh lệch (mm)	Bình phương chênh lệch (mm)
97	CAOL	2022031212	51,96	57,22	-5,26	27,71
98	CBAN	2022031212	41,89	37,08	4,81	23,13
99	CCHI	2022031212	53,98	58,60	-4,62	21,38
100	CPHU	2022031212	43,55	44,65	-1,10	1,21
101	CRKH	2022031212	49,35	53,49	-4,14	17,12
102	CTHO	2022031212	50,8	57,14	-6,34	40,19
103	DLAP	2022031212	38,90	39,42	-0,52	0,27
104	DNON	2022031212	53,02	52,87	0,15	0,02
105	DOHA	2022031212	33,77	34,66	-0,89	0,80
106	DSON	2022031212	37,16	41,64	-4,48	20,09
107	HDUO	2022031212	41,36	44,44	-3,08	9,47
108	HGIA	2022031212	42,83	42,52	0,31	0,10
109	KANH	2022031212	37,94	43,00	-5,06	25,58
110	KSAN	2022031212	34,81	29,53	5,28	27,83
111	KTUM	2022031212	37,08	30,31	6,77	45,80
112	LCAI	2022031212	46,00	47,02	-1,02	1,04
113	LKHA	2022031212	52,24	53,72	-1,48	2,18
114	MCAI	2022031212	36,45	40,50	-4,05	16,42
115	MGTE	2022031212	52,23	57,51	-5,28	27,89
116	MHOA	2022031212	53,19	57,94	-4,75	22,56
117	MTHO	2022031212	52,36	59,88	-7,52	56,54
118	NDON	2022031212	32,36	28,93	3,43	11,77
119	PGIA	2022031212	54,75	57,72	-2,97	8,83
120	PLON	2022031212	54,96	59,13	-4,17	17,35
121	QNAM	2022031212	32,05	29,24	2,81	7,90
122	QNIN	2022031212	36,92	38,79	-1,87	3,48
123	TDUO	2022031212	47,32	47,81	-0,49	0,24
124	THMY	2022031212	34,62	31,47	3,15	9,93
125	THOA	2022031212	41,77	45,43	-3,66	13,36
126	TLAI	2022031212	54,24	58,64	-4,40	19,34
127	TNIN	2022031212	55,29	58,79	-3,50	12,26
128	TPAO	2022031212	53,00	52,64	0,36	0,13
129	TPHU	2022031212	32,75	30,76	1,99	3,96
130	TQUA	2022031212	44,04	45,62	-1,58	2,50
131	TRMY	2022031212	39,08	34,62	4,46	19,87
132	TYEN	2022031212	37,15	39,92	-2,77	7,67
133	VANL	2022031212	39,82	45,37	-5,55	30,82
134	VLON	2022031212	51,51	58,21	-6,70	44,88
135	VNIN	2022031212	38,84	45,76	-6,92	47,90
136	VUNT	2022031212	52,26	52,67	-0,41	0,17
137	BAVI	2022031318	43,76	46,26	-2,50	6,27
138	BGIA	2022031318	41,39	34,12	7,27	52,88
139	BLOC	2022031318	52,06	39,76	12,30	151,20
140	BTRI	2022031318	50,99	48,64	2,35	5,51
141	CAOL	2022031318	49,8	56,68	-6,88	47,35

STT	Tên điểm trạm CORS	Thời điểm tính	PWV tính từ mô hình ERA5 (mm)	PWV tính theo số liệu GNSS (mm)	Chênh lệch (mm)	Bình phương chênh lệch (mm)
142	CBAN	2022031318	42,16	40,26	1,90	3,60
143	CCHI	2022031318	48,99	54,80	-5,81	33,70
144	CPHU	2022031318	43,45	45,57	-2,12	4,50
145	CRKH	2022031318	50,02	51,49	-1,47	2,16
146	CTHO	2022031318	50,70	58,50	-7,80	60,79
147	DLAP	2022031318	38,57	37,45	1,12	1,25
148	DNON	2022031318	51,98	43,77	8,21	67,42
149	DOHA	2022031318	32,68	36,32	-3,64	13,27
150	DSON	2022031318	38,01	40,35	-2,34	5,48
151	HDUO	2022031318	41,62	43,74	-2,12	4,50
152	HGIA	2022031318	42,60	41,85	0,75	0,56
153	KANH	2022031318	36,07	39,04	-2,97	8,80
154	KSAN	2022031318	33,73	28,39	5,34	28,52
155	KTUM	2022031318	37,90	27,16	10,74	115,30
156	LCAI	2022031318	45,40	44,58	0,82	0,67
157	LKHA	2022031318	48,67	50,67	-2,00	4,00
158	MCAI	2022031318	38,00	41,26	-3,26	10,62
159	MGTE	2022031318	55,78	62,32	-6,54	42,73
160	MHOA	2022031318	49,50	56,08	-6,58	43,24
161	MTHO	2022031318	50,14	57,65	-7,51	56,34
162	NDON	2022031318	30,28	26,58	3,70	13,66
163	PGIA	2022031318	48,65	55,63	-6,98	48,76
164	PLON	2022031318	48,67	57,70	-9,03	81,52
165	QNAM	2022031318	31,46	30,89	0,57	0,33
166	QNIN	2022031318	36,96	40,12	-3,16	9,96
167	TDUO	2022031318	43,97	47,75	-3,78	14,26
168	THMY	2022031318	34,53	32,33	2,20	4,85
169	THOA	2022031318	43,55	47,82	-4,27	18,23
170	TLAI	2022031318	48,39	53,77	-5,38	28,97
171	TNIN	2022031318	49,99	56,39	-6,40	41,01
172	TPAO	2022031318	50,62	51,01	-0,39	0,15
173	TPHU	2022031318	30,39	30,98	-0,59	0,35
174	TQUA	2022031318	43,38	45,29	-1,91	3,65
175	TRMY	2022031318	36,81	31,71	5,10	26,01
176	TYEN	2022031318	36,76	41,82	-5,06	25,64
177	VANL	2022031318	41,33	45,44	-4,11	16,90
178	VLON	2022031318	50,00	57,70	-7,70	59,32
179	VNIN	2022031318	40,03	44,12	-4,09	16,70
180	VUNT	2022031318	49,99	48,62	1,37	1,88
Tổng cộng						5269,86

Độ chính xác tính PWV từ số liệu đo GNSS tại khu vực không có điểm đo thám không vô tuyến đạt được là:

$$m_{PWV_{GNSS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (PWV_{TK}^i - PWV_{RNEW}^i)^2} = \sqrt{\frac{5269,86}{179}} = \pm 5,42 \text{ (mm)}$$

3.2. Thảo luận

Từ các kết quả tính toán và đánh giá độ chính xác trong bảng 1 thấy rằng sai số trung phương tính PWV nhận được so với kết quả đo trực tiếp bằng phương pháp thám không đạt được trong khoảng 2 mm, điểm đo GNSS tại Đà Nẵng (DNAN) có giá trị lệch tuyệt đối lớn nhất trong kết quả so sánh là 3,21 mm là khá nhỏ, cho thấy các kết quả tính PWV từ dữ liệu đo GNSS khá sát với số liệu đo trực tiếp từ phương pháp thám không vô tuyến. Kết quả tính và đánh giá độ chính xác tính PWV so với mô hình tái phân tích của Châu Âu ERA5 nhận được trong bảng 2 đạt được trong khoảng 6 mm điểm đo GNSS tại Cù Chi (CCHI) có giá trị lệch tuyệt đối lớn nhất trong kết quả so sánh là 20,43 mm, cho thấy các kết quả đánh giá độ chính xác tính PWV từ dữ liệu đo GNSS theo mô hình tái phân tích có sai số lớn hơn so với đánh giá trực tiếp từ số liệu đo thám không vô tuyến, kết quả đánh giá so với mô hình tái phân tích là phù hợp bởi vì giá trị PWV nhận được từ mô hình ERA 5 có độ chính xác thấp hơn so với giá trị PWV nhận được từ đo thám không vô tuyến, kết quả đánh giá theo ERA5 cũng đã phản ánh khá khách quan về chất lượng tính PWV từ dữ liệu đo GNSS đạt được.

4. Kết luận

Hơi nước trong khí quyển có vai trò đặc biệt quan trọng trong chu trình nước trên Trái Đất và có tác động trực tiếp, mạnh mẽ tới hệ thống thời tiết. Chính vì vậy công tác đo đạc, tính toán lượng hơi nước PWV trong cột khí quyển thẳng đứng ngày càng được quan tâm đặc biệt. Do đặc tính thay đổi nhanh, biên độ thay đổi lớn khiến PWV là yếu tố khí quyển rất khó đo đạc, các nhà khoa học gặp khó khăn nghiên cứu sự phân bố của PWV theo không gian và thời gian. Các phương pháp đo PWV thường được sử dụng các thiết bị thám không vô tuyến, máy đo bức xạ sóng ngắn đặt trên mặt đất, hệ thống LIDAR, hệ thống LASER. Tuy nhiên, các phương pháp đo này có chi phí lớn, quan trắc được trong phạm vi không gian nhỏ. Nghiên cứu đã trình bày cụ thể phương pháp tính toán tổng lượng hơi nước cột khí quyển PWV từ dữ liệu đo GNSS trên lãnh thổ Việt Nam. Dựa trên cơ sở bài toán định vị điểm chính xác kết hợp với giải pháp tính toán nhiệt độ trung bình cột khí quyển trong điều kiện Việt Nam và giải pháp làm khớp kết quả tính PWV cho thấy kết quả tính PWV đã tiệm cận sát với số liệu đo trực tiếp bằng phương pháp đo thám không vô tuyến. Ngoài ra, những kết quả đánh giá độ chính xác các điểm nằm ở những khu vực khác điểm đo đạc thám không vô tuyến cũng cho thấy kết quả tính PWV ở những điểm này khá phù hợp với dữ liệu khí quyển tái phân tích ERA5. Với các kết quả đánh giá ở trên đã bước đầu khẳng định chất lượng tính tổng lượng hơi nước PWV từ các trạm CORS có độ tin cậy cao và hoàn toàn có thể sử dụng được trong nghiên cứu khoa học và dự báo khí tượng trong thời gian tới. Việc triển khai xác định được lượng hơi nước tích tụ (PWV) từ dữ liệu đo GNSS tại Việt Nam sẽ giúp tăng cường chất lượng dự báo khí tượng thông qua việc bổ sung dữ liệu giám sát trạng thái khí quyển và là cơ sở bổ sung thông tin về cấu trúc ẩm của khí quyển vào hệ thống đồng hoá số liệu cho các mô hình khu vực phân giải cao trong thời gian tới.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.V.T., M.K.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.V.T., D.Đ.T., M.K.H., Phân tích mẫu: L.V.T., M.K.H.; Lấy mẫu: L.V.T., M.K.H.; Viết bản thảo bài báo: L.V.T., D.Đ.T.; Chỉnh sửa bài báo: L.V.T., D.Đ.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Xác định tổng lượng điện tử tự do (TEC), lượng hơi nước tích tụ (PWV) từ dữ liệu GNSS trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam”.

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. Meghan Miller, M.; Charlevoix, D.; Mattioli, G.; Meertens, C. The Next Generation GNSS/GPS Network: The Network of the Americas (NOTA), 2019.
2. Sagiya, T.; Ohzono, Mako.; Hirahara, K.; Hashimoto, M.; Takeuchi, A.; Hoso, Y.; Wada, Y.; Doke, R.; Ozawa, K.; Asahi, Y.; Onoue, K.; Ohya, F. Interseismic deformation pattern tells the extent of a fault rupture: Lessons from dense GPS observation around the Atotsugawa Fault, central Japan. AGU Fall Meeting Abstracts, 2009.
3. Zhan, W.; Heki, K.; Arief, S.; Yoshida, M. Topographic Amplification of Crustal Subsidence by the Rainwater Load of the 2019 Typhoon Hagibis in Japan. *J. Geophys. Res.: Solid Earth* **2021**, 126(6), e2021JB021845.
4. Khiêm, M.V.; Thủy, L.V.; Tiến, D.Đ.; Hưng, M.K.; Nga, N.T.; Nam, H.G. Quan trắc tổng lượng hơi nước cột khí quyển (PWV) từ dữ liệu GNSS trên lãnh thổ Việt Nam và tiềm năng ứng dụng trong bài toán khí tượng thủy văn. Hội thảo Quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu, Hà Nội, 2021.
5. 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 quốc gia về công nghệ địa không gian trong khoa học Trái Đất và môi trường, Hà Nội, 2021.
6. Thủy, L.V.; Tiến, D.Đ.; Hưng, M.K.; Nhung, L.T.T. Xây dựng công thức tính nhiệt độ trung bình cột khí quyển trên lãnh thổ Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* **2021**, 50, 16–21.
7. Thủy, L.V và cs. Xác định tổng lượng điện tử tự do (TEC), lượng hơi nước tích tụ (PWV) từ dữ liệu GNSS trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam. Dự án SXTN cấp Bộ mã số: 2020.07.05, 2022.
8. Biyan, C.; Wujiao, D.; Zhizhao, L.; Lixin, W.; Cuilin, K.; Minsi, A. Constructing a precipitable water vapor map from regional GNSS network observations without collocated meteorological data for weather forecasting. *Atmos. Meas. Tech.* **2018**, 11, 5153–5166.
9. Bosy, J.; Kaplon, J.; Rohm, W.; Sierny, J.; Hadas, T. Near real-time estimation of water vapour in the troposphere using ground GNSS and the meteorological data. *Ann. Geophys.* **2012**, 30, 1379–1391.
10. Realini, E.; Sato, K.; Tsuda, T.; Susilo.; Manik, T. An observation campaign of precipitable water vapor with multiple GPS receivers in western Java, Indonesia, Progress in Earth and Planetary Science, 2014.
11. Meunram, P.; Satirapod, C. Spatial variation of precipitable water vapor derived from GNSS CORS in Thailand. *J. Geod. Geodyn.* **2019**, 10(2), 140–145.
12. Campos–Arias, P.; Esquivel–Hernández, G.; José Francisco Valverde–Calderón.; Rodríguez–Rosales, S.; Moya–Zamora; Sánchez–Murillo, R.; Jan Boll. GPS Precipitable Water Vapor Estimations over Costa Rica: A Comparison against Atmospheric Sounding and Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS). *Climate* **2019**, 7, 63. doi:10.3390/cli7050063.
13. Li, X.X.; Tan, H.; Xin Li.; Dick, G.; Wickert, J.; Schuh, H. Real-Time Sensing of Precipitable Water Vapor From BeiDou Observations: Hong Kong and CMONOC Networks. *J. Geophys. Res.: Atmos.* **AUG 2018**, 123(15), 7897–7909.

14. Kiên, T.B.; Ngà, P.T.T.; Thúc, T.D.; Linh, P.T.M.; Thăng, V.V. Đánh giá chất lượng dự báo mưa định lượng của mô hình WRF cho khu vực Việt Nam. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 738, 1–11. doi:10.36335/VNJHM.2022(738).1-11.
15. Alshawaf, F.; Balidakis, K.; Dick, G.; Heise, S.; Wickert, J. Estimating trends in atmospheric water vapor and temperature time series over Germany. *Atmos. Meas. Tech.* **2017**, 10, 3117–3132. <https://doi.org/10.5194/amt-10-3117-2017>

The solution and result of calculating total precipitation water vapor (PWV) from GNSS data in Vietnam

Lai Van Thuy^{1*}, Du Duc Tien², Mai Khanh Hung²

¹ Vietnam Institute of Geodegy and Cartography (VIGAC); laivanthuy68@gmail.com

² National Center for Hydro – Meteorological Forecasting (NCHMF);
duduction@gmail.com; maikhanhhung18988@gmail.com

Abstract: This article will present to you about the solution to calculate the total precipitation water vapor (PWV) and some information about the results of the evaluation of calculating PWV from Global Navigation Satellite System data (GNSS) from five different CORS stations; In which the measuring locations in Dien Bien (DIEB), Ha Noi (HNOI), Vinh (VINH), Da Nang (DNAN), Ho Chi Minh City (HOCH) have non–radio–sensing data or do not have non–radio–sensing data. The results have the standard deviation range from 2 to 5 mm, which shows that the PWV data calculated from CORS stations has high reliability and can be used in scientific research and meteorological forecast.

Keywords: GNSS; PWV; CORS; Precipitation water vapor.