

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG SỬ DỤNG MÔ HÌNH SỐ ĐỘ CAO TOÀN CẦU ĐỘ PHÂN GIẢI 1" x 1" TRONG VIỆC TÍNH TOÁN CÁC SỐ HIỆU CHỈNH BỀ MẶT ĐẤT Ở CÁC KHU VỰC RỪNG NÚI VIỆT NAM

HÀ MINH HÒA
ĐẶNG XUÂN THỦY

Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

Tóm tắt:

Việc sử dụng mô hình số độ cao toàn cầu để tính các số hiệu chỉnh Faye có ưu điểm nổi bật là bao phủ được các khu vực mà ở đó không có các dữ liệu địa hình quốc gia. Hiện nay các tổ chức khoa học - công nghệ quốc tế và các nước phát triển sử dụng rộng rãi các mô hình số độ cao toàn cầu để tính toán các số hiệu chỉnh Faye khi xây dựng các CSDL dị thường trọng lực toàn cầu hoặc quốc gia. Tiêu chuẩn cơ bản để làm điều này là sai số của các chênh cao được xác định từ mô hình số độ cao không được lớn hơn 50 m và các mô hình số độ cao toàn cầu đáp ứng được yêu cầu này. Bài báo khoa học này đã chứng minh tiêu chuẩn nêu trên và thực nghiệm đánh giá độ chính xác của mô hình số độ cao toàn cầu SRTM1 (1" x 1") dựa trên 89 điểm độ cao hạng I ở Việt Nam. Các kết quả thực nghiệm cho thấy rằng đa số các độ chênh giữa các độ cao chỉ ở mức một vài mét, riêng điểm độ cao I(DN-BT)28 có độ chênh lớn nhất bằng 19,577 m, sai số trung phương của độ cao từ mô hình SRTM1 ở mức $\pm 5,480$ m. Do đó mô hình số độ cao toàn cầu SRTM1 hoàn toàn đáp ứng yêu cầu tính toán các số chỉnh Faye để xây dựng cơ sở dữ liệu trọng lực ở Việt Nam.

1. Đặt vấn đề

Việc tính số hiệu chỉnh bề mặt đất (terrain correction) hay còn được gọi là số hiệu chỉnh Faye vào các giá trị gia tốc trọng trường tại các khu vực rừng núi là một trong những nhiệm vụ quan trọng của công tác xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL) dị thường trọng lực quốc gia. Các phương pháp tính số hiệu chỉnh Faye dựa trên mô hình số độ cao đã được trình bày trong tài liệu (Hà Minh Hòa, 2016). Vấn đề đặt ra là việc tính số hiệu chỉnh Faye vào giá trị gia tốc trọng trường tại điểm trọng lực ở khu vực rừng núi đòi hỏi phải sử dụng các dữ liệu độ cao trong bán kính 200 km. Tại các khu vực rừng núi biên giới với các nước Trung Quốc, Lào chúng ta không có dữ liệu độ cao ở các khu vực bên trong giáp biên của các nước này. Đây là vấn đề khó khăn đang gặp phải trong quá trình xây dựng CSDL dị thường trọng lực ở Việt Nam khi sử dụng mô hình số độ cao quốc gia.

Cơ quan Vũ trụ và Hàng không quốc gia (NASA) cùng với Cơ quan Tri thức Địa không gian quốc gia (NGA, trước đây là NIMA) của Mỹ cùng với các cơ quan vũ trụ của Đức, Italia đã thành lập mô hình số độ cao toàn cầu của Trái đất dựa trên giao thoa ladar. Tàu vũ trụ Space Shuttle Endeavour mang theo thiết bị SRTM được đưa lên vũ trụ từ Trung tâm vũ trụ Kennedy (Florida Mỹ) từ ngày 11/02/2000 và hoàn thành sứ mệnh vào ngày 22/02/2000. Thiết bị SRTM bao gồm tập hợp phần cứng radar ảnh vũ trụ - C (Spaceborne

Ngày nhận bài: 17/7/2017, ngày chuyển phản biện: 19/7/2017, ngày chấp nhận phản biện: 25/7/2017, ngày chấp nhận đăng: 01/8/2017

Imaging Radar - C (SIR-C)) được sửa đổi với cột và anten từ trạm vũ trụ tạo thành bộ giao thoa với cạnh đáy dài 60 m. Các dữ liệu radar Shuttle được xử lý bởi hệ thống siêu máy tính của hệ thống xử lý dữ liệu mặt đất Shuttle (SDPS) tại Phòng Thí nghiệm phản lực (JPL) và được chuyển thành khuôn dạng DTED và được chuyển về NGA. Dữ liệu SRTM1 độ phân giải 1" x 1" tương ứng với khuôn dạng DTED2, dữ liệu SRTM3 độ phân giải 3" x 3" tương ứng với khuôn dạng DTED1, còn dữ liệu SRTM30 độ phân giải 30" x 30" tương ứng với khuôn dạng DTED0 và tạo ra mô hình số độ cao GTOPO30.

Theo các tài liệu (Werner, M., 2001; Pavlis N.K., Factor J.K. and Holmes S.A., 2007), từ 11 - 22 tháng 02 năm 2000, dự án thành lập bản đồ địa hình Trái đất từ vũ trụ SRTM đã đo chụp được vùng lãnh thổ Trái đất từ 56°S đến 60°N bao phủ 80% phần lục địa của Trái đất và 90% dữ liệu độ cao có các sai số nằm trong khoảng $\pm (6 - 10)$ m. Theo kết quả so sánh với CSDL độ cao quốc gia (NED) của Mỹ, theo tài liệu (Smith, B., and D. Sandwell, 2003), SRTM và NED có cùng các bước sóng lớn hơn 200 m, tuy nhiên NED phù hợp hơn SRTM ở các bước sóng nhỏ hơn 350 m. Sai số trung phương của các hiệu độ cao giữa SRTM và NED ở mức $\pm 5,7$ m. Theo đánh giá trong tài liệu (Tighe M.L. and Chamberlain D., 2009), độ chính xác của độ cao từ SRTM trên một số khu vực thử nghiệm ở nước Mỹ ở mức $\pm 15,27$ m.

Khi so sánh các mô hình SRTM3 và GTOPO30 với DEM độ phân giải 1' x 1' của Đức, theo tài liệu (Denker, H., 2004), SRTM3 có độ lệch chuẩn 7,9 m, còn GTOPO30 có độ lệch chuẩn 6,8 m.

Hiện nay độ chính xác của gia tốc trọng trường nhận được từ các kết quả đo đạc trọng lực mặt đất, hàng không nằm ở mức ± 1 mGal. Khi tính đến các sai số của các mô hình số độ cao DEM, ở nước Mỹ đã đưa ra tiêu chuẩn độ chính xác của dị thường trọng lực ở mức $\pm 5,1$ mGal khi xây dựng các CSDL dị thường trọng lực quốc gia và toàn cầu, mà trong đó sai số trung phương của dị thường trọng lực chủ yếu được gây ra do sai số của độ cao trong quá trình giải quyết bài toán quy chiếu trọng lực. Hạn sai của dị thường trọng lực $\pm 15,3$ mGal. Khi lưu ý gradient của gia tốc trọng trường chuẩn 0,3086 mGal/m, sai số của độ cao ở mức $\pm 15,3 / 0,3086 = \pm 50$ m. Do đó hạn sai của độ cao trong mô hình số độ cao ở mức ± 50 m (Tscherning, C.C., and Richard H. Rapp, 1974; Roman, D. R., Y.M. Wang, J. Saleh, X. Li, W. Waickman, 2009).

Trong tài liệu (Jekeli, C., H.J. Yang, and J. H. Kwon, 2009) khi nhận độ phân giải 2' x 2' của CSDL dị thường trọng lực ở Hàn Quốc với việc sử dụng mô hình số độ cao toàn cầu ETOPO2 (2" x 2") để mô hình hóa các giá trị dị thường trọng lực ở các mức độ chính xác khác nhau và đã cho đánh giá độ chính xác của độ cao geoid phụ thuộc vào độ chính xác của dị thường trọng lực (xem bảng 1 ở dưới đây).

Bảng 1

Mức sai số của dị thường trọng lực	1 mGal	2 mGal	3 mGal	4 mGal	5 mGal
Sai số trung phương của độ cao geoid	1,38 cm	1,45 cm	1,83 cm	1,69 cm	2,11 cm

Từ bảng trên chúng ta thấy rằng với sai số trung phương giới hạn của dị thường trọng lực ở mức $\pm 5,1$ mGal hoàn toàn đạt được độ chính xác của độ cao quasigeoid (hoặc độ

cao geoid) ở mức $\pm (2 - 3)$ cm.

Hiện nay các mô hình số độ cao toàn cầu được sử dụng rộng rãi để tính toán các giá trị dị thường trọng lực ở các nước trên thế giới. Theo các tài liệu (Roman, D. R., Y.M. Wang, J. Saleh, X. Li, W. Waickman, 2009; Roman, D. R., Y.M. Wang, J. Saleh, X. Li, 2010), mô hình độ cao geoid USGG2009 độ phân giải $1' \times 1'$ của nước Mỹ bao phủ CONUS, Hawaii, Guam, đảo Mariana Bắc, Samoa thuộc Mỹ, Puerto Rico, đảo Virgin thuộc Mỹ và được xây dựng dựa trên CSDL dị thường RTM với việc sử dụng mô hình EGM2008, mô hình số độ cao SRTM – DTED1 độ phân giải $3'' \times 3''$.

Theo các tài liệu (Krynski, J., and A. Lyszkwicz, 2006; Godah, W., M. Szelachowska, J. Krynski, 2014), ở Ba Lan đã sử dụng các mô hình số độ cao toàn cầu DTED3 ($3'' \times 3''$) và SRTM3 ($3'' \times 3''$) để tính các số hiệu chỉnh Faye.

Theo tài liệu (Hirt C., 2011) ở Liên bang Đức đã sử dụng mô hình số độ cao toàn cầu SRTM3 để tính toán dị thường RTM và các số hiệu chỉnh Faye.

Như vậy các mô hình số độ cao toàn cầu được sử dụng rộng rãi ở các nước để tính các số hiệu chỉnh Faye và dị thường trọng lực RTM. Vậy nảy sinh câu hỏi: đối với mô hình số độ cao toàn cầu sai số của các hiệu độ cao (các chênh cao) đến 50 m có ảnh hưởng đến việc tính các số hiệu chỉnh Faye hay không ?. Trả lời câu hỏi này sẽ xác định được cơ sở khoa học của việc sử dụng các mô hình số độ cao toàn cầu để tính các số hiệu chỉnh Faye trong quá trình xây dựng CSDL dị thường trọng lực ở Việt Nam và là mục đích của bài báo khoa học này.

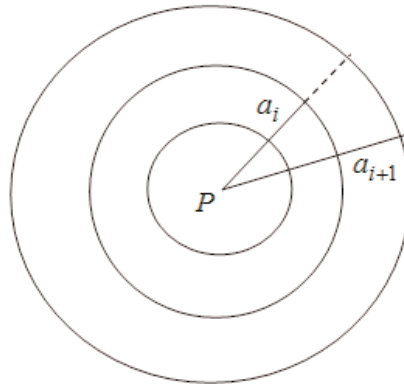
2. Giải quyết vấn đề

Sai số trung phương của dị thường trọng lực Faye được đánh giá theo công thức $m_{\Delta g_F}^2 = m_{\Delta g_{kktd}}^2 + m_{\sigma_F}^2$, ở đây $m_{\Delta g_{kktd}}$ - sai số trung phương của dị thường không khí tự do, m_{σ_F} - sai số trung phương của số hiệu chỉnh Faye. Theo nguyên tắc nhỏ bỏ qua, sai số trung phương của số hiệu chỉnh Faye được nhận bằng $m_{\sigma_F} \leq \frac{m_{\Delta g_{kktd}}}{3}$.

Khi nhận $m_{\Delta g_{kktd}} = \pm 1 \text{ mGal}$, sai số trung phương của số hiệu chỉnh Faye phải thỏa mãn điều kiện $m_{\sigma_F} \leq 0,333 \text{ mGal}$. Như vậy khi tính toán số hiệu chỉnh Faye, các sai số thành phần được gây ra bởi các sai số của mô hình số độ cao không được lớn hơn 0,333 mGal.

Không mất tính chất chung, với mục đích đánh giá ước tính chúng ta coi các ô chuẩn của mô hình số độ cao được bố trí theo dải hình vành khuyên như trên hình 1, thêm vào đó kích thước của các ô chuẩn hình vuông là 30 m (tương ứng với mô hình số độ cao độ phân giải $1'' \times 1''$). Khi đó theo hướng bán kính - vector từ điểm trọng lực P, bán kính $a_j = 30.i$ (đơn vị mét), hiệu của hai bán kính - vector $a_{j+1} - a_j = 30m$. Nằm giữa hai vành khuyên bán kính a_j và bán kính a_{j+1} có tất cả $k = \frac{2\pi.a_j}{30 m} = 2\pi.i$ ô chuẩn. Do bán kính tính số hiệu chỉnh Faye xung quanh điểm trọng lực P là 200 km, nên theo hướng bán kính - vector

a_i cần tối đa $n = \frac{200000 \text{ m}}{30 \text{ m}} = 6667$ ô chuẩn.



Hình 1: Mô hình số độ cao

Với các điều kiện nêu trên, số hiệu chỉnh Faye vào gia tốc lực trọng trường tại điểm trọng lực P được đánh giá theo công thức (Hà Minh Hòa, 2014):

$$\delta g_p = \frac{\pi}{n} \cdot G \cdot \sigma_{cr} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k h_j^2 \cdot \left[\frac{1}{a_i} - \frac{1}{a_{i+1}} \right] \right) \quad (1)$$

Lưu ý các điều kiện nêu ở trên, công thức (1) có dạng:

$$\delta g_p = \frac{\pi}{n} \cdot G \cdot \sigma_{cr} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k h_j^2 \cdot \left[\frac{30}{a_i(a_i + 30)} \right] \right) \quad (2)$$

Khi ký hiệu \tilde{h}_j là chênh cao chính xác từ ô chuẩn thứ j nằm giữa hai hình vành khuyên với các bán kính a_i và a_{i+1} , Δ là sai số lớn nhất của chênh cao, chênh cao $h_j = \tilde{h}_j + \Delta$. Khi đó công thức (2) lại có dạng mới:

$$\begin{aligned} \delta g_p = & \frac{\pi}{n} \cdot G \cdot \sigma_{cr} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k \tilde{h}_j^2 \cdot \left[\frac{30}{a_i(a_i + 30)} \right] \right) + \frac{2\pi \cdot \Delta}{n} \cdot G \cdot \sigma_{cr} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k \tilde{h}_j \cdot \left[\frac{30}{a_i(a_i + 30)} \right] \right) + \\ & + \frac{\pi \cdot \Delta^2}{n} \cdot G \cdot \sigma_{cr} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k \left[\frac{30}{a_i(a_i + 30)} \right] \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Thành phần đầu tiên ở vế phải của công thức (3) là giá trị chính xác của số hiệu chỉnh Faye, còn các thành phần thứ hai và thứ ba ở vế phải của công thức (3) là các sai số của số hiệu chỉnh Faye do sự tồn tại sai số trong các chênh cao giữa các ô chuẩn của mô hình số độ cao so với điểm P.

Chúng ta nghiên cứu thành phần thứ hai ở vế phải của công thức (3). Lưu ý $a_j = 30 \cdot i$ chúng ta có:

$$A = \frac{2\pi.\Delta}{n} . G.\sigma_{cr} . \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k \tilde{h}_j \left[\frac{30}{a_i(a_i + 30)} \right] \right) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k \tilde{h}_j \left[\frac{2\pi.\Delta.G.\sigma_{cr}}{30.n.i.(i+1)} \right] \right) \quad (4)$$

Lưu ý $k = 2\pi.i$, $n = 6667$, $G.\sigma_{cr} = 0,0178203276 \frac{mGal}{m}$, khi lấy trường hợp tới hạn với chênh cao đo bằng độ cao của đỉnh Phanxipan, tức $\tilde{h}_j = 3134 m$ và sai số của chênh cao $\Delta = 50 m$. Khi đó công thức (4) đưa về dạng giá trị cực đại:

$$A = \frac{4\pi^2 . \Delta . G . \sigma_{cr} . \tilde{h} . \sum_{i=1}^n \frac{1}{i+1}}{30.n} \quad (5)$$

Do đại lượng $\frac{4\pi^2 . \Delta . G . \sigma_{cr}}{30.n} = 5,6.10^{-5}$, $\sum_{i=1}^n \frac{1}{i+1} < \ln(n) = 8,804925$, nên đại lượng A < 0,0005 mGal. Như vậy trong trường hợp tới hạn nêu trên, đại lượng A (5) nhỏ hơn rất nhiều so với hạn sai 0,333 mGal và là giá trị nhỏ bỏ qua. Chúng ta nghiên cứu tiếp theo thành phần thứ ba ở vế phải của công thức (3). Khi ký hiệu

$$B = \frac{\pi.\Delta^2}{n} . G.\sigma_{cr} . \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^k \left[\frac{30}{a_i(a_i + 30)} \right] \right)$$

và lưu ý $k = 2\pi.i$, $a_i = 30.i$ công thức trên có dạng:

$$B = \frac{2\pi^2 . \Delta^2}{n} . G.\sigma_{cr} . \sum_{i=1}^n \frac{1}{30.(i+1)} = \sum_{i=1}^n B_i, \quad (6)$$

ở đây với các giá trị tới hạn $n = 6667$, $\Delta = 50 m$. đại lượng B_i có dạng:

$$B_i = \frac{2\pi^2 . \Delta^2 . G . \sigma_{cr}}{30.n.(i+1)} = \frac{0,0014}{i+1} < mGal > .$$

Do $\sum_{i=1}^n \frac{1}{i+1} < \ln(n) = 8,804925$, nên $B(6) < 0,0123 mGal$ và nhỏ hơn rất nhiều so với hạn sai 0,333 mGal. Do đó sai số B là số nhỏ bỏ qua.

Các chứng minh ở trên cho thấy rằng các thành phần thứ hai và thứ ba trong công thức (3) được coi là nhỏ bỏ qua khi tính số hiệu chỉnh Faye khi sai số giới hạn của chênh cao có thể đạt tới 50 m. Điều này cũng lý giải cho việc sử dụng các mô hình số độ cao độ phân giải cao toàn cầu để tính các số hiệu chỉnh Faye ở các nước trên thế giới.

Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ đã thu thập được mô hình số độ cao SRTM1 (1" x 1") từ Cơ quan hàng không vũ trụ Mỹ NASA theo địa chỉ Website của Phòng Thí nghiệm Oak Ridge (Oak Ridge National Laboratory – ORNL) thuộc Trung tâm Lưu trữ Phân phối Tích cực đối với động lực học địa hóa sinh (Distributed Active Archive Center for biogeochemi-

cal dynamics – DAAC):

https://lpdaac.usgs.gov/nasa_shuttle_radar_topography_mission_srtm_global_1_arc_second_data_re

Mô hình số độ cao SRTM1 được kiểm tra trên 89 điểm độ cao hạng I quốc gia phân bố đều trên lãnh thổ Việt Nam. Do các độ cao \bar{H}_{SRTM1}^y từ mô hình SRTM1 (1" x 1") được xác định tương ứng với mặt geoid toàn cầu có thế trọng trường $\bar{W}_0 = 62636856,88 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ được sử dụng trong mô hình trọng trường Trái đất EGM96, nên các độ cao quốc gia H_{HP72}^y của các điểm độ cao hạng I trong hệ độ cao quốc gia HP72 ở Việt Nam được chuyển về mặt geoid toàn cầu với thế trọng trường $\bar{W}_0 = 62636856,88 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ theo công thức sau:

$$\bar{H}_{EGM96}^y = H_{HP72}^y + 0.979 \text{ m.}$$

Các kết quả đánh giá so sánh các độ cao quốc gia \bar{H}_{HP72}^y trên 89 điểm độ cao hạng I được chuyển từ mô hình SRTM1 với các độ cao quốc gia của 89 điểm độ cao hạng I được trình bày bảng 2.

Bảng 2

STT i	Tên điểm	Vĩ độ (WGS84) 0' "	Kinh độ (WGS84) 0' "	Độ cao chuẩn \bar{H}_i^y từ SRTM 1" x 1" (m)	Độ cao chuẩn quốc gia đã được chuyển về geoid toàn cầu của mô hình EGM96 (m)	Độ chênh d _i (m)
1	I(BH-LS)97	21 54 57,095	106 43 22,364	283,320	281,706	1,614
2	I(BH-TH)122A	20 41 53,931	105 4 39,096	244,0	240,817	3,183
3	I(BH-TH)119	20 45 37,23	104 58 25,75	384,0	378,610	5,390
4	I(BH-HN)33	21 18 33,02	105 24 18,83	16,330	14,081	2,249
5	I(BH-HN)39	21 17 41,77	105 37 55,48	11,860	12,364	-0,504
6	I(BH-HN)42	21 14 23,26	105 44 14,55	12,760	8,537	-4,223
7	I(HN-HP)7	20 55 28,73	106 05 17,26	7,0	4,025	-2,975
8	I(HN-VL)10A	20 32 50,53	105 54 42,26	10,0	5,743	4,257
9	I(HN-VL)4-1	20 50 35,97	105 52 34,88	8,0	4,935	3,065
10	I(HN-VL)6-1	20 43 28,25	105 54 32,45	9,0	4,045	4,955
11	I(DN-BT)16	15 39 19,06	107 48 42,95	51,150	55,650	-4,500
12	I(DN-BT)28	15 18 28,62	107 43 48,27	580,320	560,743	19,577
13	I(VL-HT)150	12 40 50,48	109 12 47,86	5,020	3,642	1,378
14	I(VL-HT)152-1	12 36 07,54	109 10 45,22	12,960	11,214	1,746
15	I(HN-VL)34-1	19 25 22,43	105 46 01,00	8,0	4,797	3,203
16	I(HP-MC)48A	21 32 00,07	107 57 47,50	10,0	7,800	2,200
17	I(BH-TH)3-1	22 17 53,20	104 12 47,05	72,0	74,265	-2,265
18	I(VL-HT)181	11 44 54,18	109 04 14,56	19,0	21,359	-2,359
19	I(LS-TY)4	21 39 52,74	106 59 03,14	305,72	299,229	6,491
20	I(VL-HT)309A	09 57 08,26	105 07 16,76	4,0	1,680	2,320

Nghiên cứu

21	I(VL-HT)317	10 10 54,51	104 56 08,23	2,0	1,859	0,141
22	I(VL-HT)187	11 31 19,07	108 55 30,18	14,0	12,205	1,795
23	I(VL-HT)170-1	12 06 44,76	109 07 23,55	10,0	7,637	2,363
24	I(HP-MC)41	21 27 38,57	107 45 50,38	7,0	6,708	0,292
25	I(VL-HT)130	13 13 27,22	109 15 51,06	14,0	8,970	5,030
26	I(HN-VL)56	18 31 48,30	105 42 25,18	15,32	12,179	3,141
27	I(BH-TH)11	22 26 33,94	103 56 19,56	355,0	373,271	18,271
28	I(HN-VL)40-1	19 07 47,67	105 37 01,47	8,03	3,747	-4,283
29	I(BH-LS)77	22 36 03,86	106 18 21,65	205,05	208,358	-3,308
30	I(BH-TH)5	22 22 39,90	104 06 50,68	77,0	77,853	-0,853
31	I(HN-VL)38-1	19,14 13,14	105 41 54,08	9,0	4,626	4,374
32	I(VL-HT)197	11 13 45,09	108 43 08,06	20,0	17,876	2,124
33	I(BT-APD)63	10 58 52,70	106 39 25,55	12,8	10,798	2,002
34	I(VL-HT)127-3	13 24 59,26	109 12 46,42	9,402	3,775	5,627
35	I(BT-APD)59-1	11 07 52,65	106 36 23,29	23,1	19,052	4,048
36	I(VL-HT)278-1	10 24 23,02	106 07 45,01	5,4	2,667	2,733
37	I(VL-HT)108	14,10 20,99	109 02 52,13	24,89	24,759	0,131
38	I(DN-BT)77	13 45 42,05	108 01 37,25	641,5	648,14	-6,640
39	I(BT-NH)17-1	12 43 58,94	108 45 15,02	422,56	422,001	0,559
40	I(VL-HT)83	15 06 46,91	108 48 12,45	8,59	6,686	1,904
41	I(BH-HN)17	21 41 56,01	104 52 31,03	35,471	32,996	2,475
42	I(HN-VL)45-1	18 55 20,56	105 36 30,25	7,0	4,209	2,791
43	I(BH-TH)65	21 44 49,21	103 23 08,29	359,0	344,201	14,799
44	I(VL-HT)178	11 51 38,35	109 06 18,27	4,0	3,789	0,211
45	I(VL-HT)103	14 23 08,59	109 01 26,16	9,0	8,342	0,658
46	I(HN-VL)64	18 14 11,43	106 01 20,04	5,07	3,356	1,714
47	I(VL-HT)141-3	12 52 14,05	109 24 00,92	137,8	151,459	-13,659
48	I(VL-HT)329A	10 23 23,10	104 29 01,16	4,804	1,797	3,007
49	I(HN-VL)72	18 02 55,98	106 20 23,84	12,56	9,244	3,316
50	I(VL-HT)158	12 23 57,89	109 10 17,66	7,0	4,270	2,730
51	I(VL-HT)121	13 45 43,46	109 09 02,67	12,0	9,053	2,947
52	I(DN-BT)74	13 54 50,11	108 00 23,94	817,39	814,574	2,816
53	I(BH-LS)88-1	22 13 17,58	106 30 56,66	188,0	186,098	1,902
54	I(VL-HT)98	14 33 55,41	109 02 54,68	12,280	1,980	10,300
55	I(BH-LS)85-1	22 17 19,76	106 27 27,05	181,74	175,877	5,863
56	I(BH-LS)93	22 05 20,85	106 35 15,83	180,0	174,571	5,429
57	I(BH-LS)71	22 39 29,44	106 07 28,33	370,779	360,070	10,709
58	I(BT-APD)56	11 16 26,44	106 38 06,08	50,24	46,604	3,636
59	I(VL-HT)87	14 56 39,14	108 53 28,42	12,08	4,605	7,475
60	I(VL-HT)247A	10 56 25,64	106 51 59,23	14,02	10,210	3,810

61	I(LS-TY)1	21 51 11,28	106 46 42,36	272,22	270,346	1,874
62	I(VL-HT)325-1	10 17 32,21	104 32 33,09	3,0	1,546	1,454
63	I(DN-BT)83	13 34 34,29	108 06 00,88	386,62	386,880	-0,260
64	I(VL-HT)78	15 17 27,31	108 45 42,32	8,0	3,795	4,205
65	I(LS-HN)7	21 42 28,98	106 39 30,14	130,24	122,162	8,078
66	I(VL-HT)71	15 32 44,84	108 31 16,51	12,0	3,801	8,199
67	I(BH-TH)59	21 54 17,34	103 15 22,60	388,960	375,083	13,877
68	I(VL-HT)173-2	11 59 32,85	109 11 28,44	4,94	2,966	1,974
69	I(BH-TH)70A	21 35 22,85	103 25 13,97	567,7	564,627	3,073
70	I(HN-VL)50	18 41 07,34	105 40 25,22	8,16	6,322	1,838
71	I(VL-HT)123	13 41 01,58	109 10 37,38	241,36	233,751	-7,609
72	I(LS-HN)12	21 35 27,41	106 31 21,71	46,0	43,350	2,650
73	I(HP-C)4-1	21 00 59,38	106 42 07,34	3,478	2,541	0,937
74	I(BH-LS)80	22 29 34,77	106 21 20,01	478,320	486,353	-8,033
75	I(DN-BT)86	13 28 21,37	108 05 57,20	376,0	375,327	0,673
76	I(VL-HT)320A	10 15 57,52	104 48 22,82	9,0	2,531	6,469
77	I(BT-APD)49-1	11 26 21,22	106 39 22,70	73,0	68,707	4,293
78	I(HP-NB)14A	20 28 22,85	106 21 24,22	2,3	1,847	0,453
79	I(LS-HN)36	21 05 42,52	105 55 41,65	9,0	8,018	0,982
80	I(LS-HN)22	21 22 17,78	106 15 59,72	17,0	13,653	3,347
81	I(LS-HN)29	21 15 13,38	106 06 28,26	7,48	4,535	2,945
82	I(BH-HN)16A	21 41 51,66	104 52 32,70	35,0	33,439	1,561
83	I(HN-VL)28-1	19 46 33,05	105 46 34,18	9,28	3,270	6,010
84	I(BMT-APD)30	11 48 42,71	107 14 44,14	268,0	264,993	3,007
85	I(BH-HN)48	20 57 07,73	106 19 39,53	7,71	8,953	-1,243
86	I(HN-HP)2A	21 03 36,51	105 53 38,36	12,0	7,807	4,193
87	I(HN-HP)5	20 59 07,34	105 58 55,73	11,0	4,917	6,083
88	I(VL-HT)73	15 28 07,85	108 35 51,56	7,59	2,439	5,151
89	I(VL-HT)95	14 42 40,88	109 02 19,40	9,326	5,282	4,044

Khi coi các độ cao quốc gia của các điểm độ cao hạng I không có sai số, sai số trung phương của độ cao được xác định từ mô hình SRTM1 được đánh giá theo công thức Gauss và bằng:

$$m_{H_{SRTM1}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{89} d_i^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{2672,62124}{89}} = \pm 5,480 \text{ m.}$$

Mức sai số trung phương của các chênh cao được xác định cũng phù hợp với các đánh giá quốc tế được trình bày ở mục 1.

Từ bảng 2 chúng ta thấy chỉ có điểm độ cao I(DN-BT)28 có độ chênh lớn nhất bằng 19,577 m. Đại đa số các độ chênh trong bảng 2 có độ lớn khá nhỏ chỉ ở mức một vài mét.

Điều này cho thấy rằng các hiệu dH giữa các điểm trên lãnh thổ Việt Nam được xác định từ mô hình số độ cao toàn cầu SRTM1 có giá trị luôn nhỏ hơn mức cho phép 50 m và chúng ta hoàn toàn có thể sử dụng mô hình SRTM1 để tính các số hiệu chỉnh Faye trong quá trình xây dựng CSDL dị thường trọng lực quốc gia ở Việt Nam.

Các kết quả nội suy độ cao từ 04 đỉnh của ô chuẩn của mô hình số độ cao toàn cầu SRTM 1" x 1" theo các phương pháp nội suy song tuyến, tuyến tính và Lagrange trên 02 điểm độ cao hạng I là I(BH-TH)5 và I(VL-HT) 17 cho thấy các phương pháp nội suy song tuyến, tuyến tính cho các kết quả nội suy độ cao tin cậy hơn cả (*xem bảng 3*).

Bảng 3

Các phương pháp nội suy	Điểm độ cao I(BH-TH)5 với độ cao gốc 76,874 m	Điểm độ cao I(VL-HT)17 với độ cao gốc 2,810 m
Song tuyến	77 m	4 m
Tuyến tính	77 m	4 m
Lagrange	75,34 m	5,2 m

Như vậy với độ phân giải 1" x 1" của mô hình số độ cao SRTM1, các phương pháp song tuyến và tuyến tính cho các kết quả nội suy độ cao tin cậy nhất ./.

3. Kết luận

Bài báo khoa học này đã chứng minh được rằng với sai số giới hạn ở mức ± 50 m của các chênh cao trong mô hình số độ cao toàn cầu độ phân giải cao 1" x 1" hoàn toàn đáp ứng yêu cầu tính các số hiệu chỉnh Faye vào các giá trị gia tốc lực trọng trường ở các khu vực rừng núi. Điều này không chỉ luận chứng cho việc sử dụng rộng rãi các mô hình số độ cao toàn cầu độ phân giải cao để xây dựng các CSDL dị thường trọng lực quốc gia ở các nước phát triển trên thế giới, mà còn có ích lợi to lớn cho công tác xây dựng CSDL dị thường trọng lực quốc gia ở Việt Nam khi tính đến sự không có dữ liệu độ cao ở các nước lân cận khi nảy sinh nhu cầu tính toán các số hiệu chỉnh Faye ở các khu vực rừng núi Việt Nam. Các kết quả thử nghiệm ở Việt Nam cho thấy sai số trung phương của các chênh cao được xác định từ mô hình số độ cao toàn cầu SRTM1 độ phân giải 1" x 1" chỉ ở mức $\pm 5,480$ m. Điều này đảm bảo các hiệu dH giữa các điểm trên lãnh thổ Việt Nam được xác định từ mô hình số độ cao toàn cầu SRTM1 có giá trị luôn nhỏ hơn mức cho phép 50 m. Do đó việc sử dụng mô hình số độ cao toàn cầu SRTM1 để hiệu chỉnh các giá trị gia tốc lực trọng trường ở các khu vực rừng núi Việt Nam hoàn toàn khả thi và đáp ứng đầy đủ các yêu cầu hiện đại của việc xây dựng CSDL dị thường trọng lực quốc gia ở Việt Nam. ○

Tài liệu tham khảo

[1]. Denker, H., 2004. Evaluation of SRTM and GTOPO30 Terrain Data in Germany. In: C. Jekeli, L. Bastos, J. Fernandes (eds.): Gravity, Geoid and Space Missions GGSM 2004, IAG International Symposium, Porto, Portugal, August 30 –September 3, 2004, International Association of Geodesy Symposium, Vol. 129, pp. 218 – 223.

[2]. Godah, W., M. Szelachowska, J. Krynski, 2014. Accuracy assessment of GOCE – based geopotential models and their use for modeling the gravimetric quasigeoid – A case study of Poland. Geodesy and Cartography, Vol. 63, No. 1, pp. 3 – 24. Polish Academy of

Sciences.

[3]. Hà Minh Hòa, 2014. Lý thuyết và thực tiễn của Trọng lực trắc địa. Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 592 trg., Hà Nội - 2014.

[4]. Hà Minh Hòa, 2016. Hoàn thiện quy trình xử lý các dữ liệu trọng lực để xây dựng cơ sở dữ liệu dị thường trọng lực quốc gia ở Việt Nam. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 30, tháng 12/2016, trg. 1 - 9.

[5]. Hirt C., 2011. Assessment of EGM2008 over Germany using accurate quasigeoid heights vertical deflections, GCG05 and GPS/leveling. *Zeitschrift für Geoinformation und Landmanagement (zfv)* 136 (3): 138 – 149.

[6].Jekeli, C., H.J. Yang, and J. H. Kwon, 2009. Using gravity and topography - Implied anomalies to assess data requirement for precise geoid computations. *Journal of Geodesy*, 83: 1193 - 1202.

[7]. Krynski, J., and A. Lyszkowicz, 2006. Centimetre Level of Accuracy of Quasigeoid Model in Poland. Symposium of the IAG Subcommission for Europe, European Reference Frame – EUREF 2006, Riga, Litvia, 14 – 17 June 2006.

[8]. Pavlis N.K., Factor J.K. and Holmes S.A., 2007. Terrain - related Gravimetric Quantities Computed for the Next EGM. Proceedings of the 1st International Symposium of the International Gravity Field Service (IGFS), Istanbul, pp. 318-323.

[9]. Roman, D. R., Y.M. Wang, J. Saleh, X. Li, W. Waickman (2009). USGG2009 & GEOID09: New geoid height models for surveying/GPS. NOAA's National Geodetic Survey, ACSM – MARLS – UCLS – WFPS Conference 2009, 20 February 2009, Salt Lake City, UT.

[10]. Roman, D.R., Y. M. Wang, J. Saleh, X. Li, 2010. Geodesy, Geoids, and Vertical Datums: A Perspective from U.S. National Geodetic Survey. FIG Congress 2010, Sydney, Australia, 11 – 16, April 2010.

[11]. Smith, B., and D. Sandwell, 2003. Accuracy and Resolution of Shuttle Radar Topography Mission Data. *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No.9, 1467, doi: 10.1029/2002GL016643.

[12]. Tighe, M.L. and Chamberlain, D., 2009. Accuracy comparison of the SRTM, ASTER, NED, NEXTMAP^R USA Digital Terrain Model over several USA study sites. ASPRS/MAPPS2009 Fall Conference November 16-19, 2009, San Antonia, Texas, 12 p.

[13]. Tscherning, C.C., and Richard H. Rapp, 1974. Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulations and deflections of the vertical implied by anomaly degree variance models. Reports of the Department of Geodetic Science, report No. 208, the Ohio State University, Columbus, Ohio, 212 p.

[14]. Werner, M., 2001. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Mission overview. *J.Telecom.*, 55, pp. 75-79.○

(Xem tiếp trang 48)