



PHẦN THỨ HAI: NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG

Hiệu quả của việc hiệu chỉnh mô hình địa hình phần dư trong bài toán nội suy dị thường trọng lực

Nguyễn Văn Sáng

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam
Email tác giả liên hệ: nguyenvansang@humg.edu.vn

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14302202>

Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả của việc hiệu chỉnh mô hình địa hình phần dư (RTM) trong bài toán nội suy dị thường trọng lực. Để đánh giá, sau khi loại bỏ ảnh hưởng bước sóng dài từ mô hình thể trọng trường Trái đất và hiệu chỉnh RTM vào số liệu dị thường trọng lực, bài toán nội suy được thực hiện bằng phương pháp Collocation theo 2 phương án: (1) có hiệu chỉnh RTM và (2) không hiệu chỉnh RTM. Kết quả nội suy được so sánh với giá trị đã biết để đánh giá độ chính xác. Thử nghiệm được thực hiện ở Miền Trung của Việt Nam với 9871 điểm tính toán và 1060 điểm đánh giá. Kết quả thực nghiệm cho thấy: Sau khi hiệu chỉnh RTM, mô hình dị thường trọng lực trơn tru, ít biến thiên hơn; Độ chính xác nội suy dị thường trọng lực tăng lên; Độ lệch trung phương giảm 1,306 mGal, từ 4,559 mGal xuống 3,252 mGal. Như vậy, hiệu chỉnh RTM trước khi nội suy dị thường trọng lực là cần thiết, có hiệu quả tốt.

Từ khóa: Mô hình địa hình phần dư, Dị thường trọng lực, Nội suy, Miền Trung của Việt Nam.

Ngày nhận bài: 21/09/2024 Ngày sửa lại: 18/10/2024 Ngày chấp nhận đăng: 21/10/2024 Ngày xuất bản: 30/12/2024

The effectiveness of residual terrain model correction in the gravity anomaly interpolation

Nguyen Van Sang

¹Hanoi University of Mining and Geology Hanoi, Vietnam
Corresponding Author Email: nguyenvansang@humg.edu.vn

Abstract:

The purpose of this study is to evaluate the effectiveness of residual terrain model (RTM) correction in the gravity anomaly interpolation. To evaluate, after removing the long wavelength gravity anomaly by the global Earth Gravitational Model and correcting RTM to gravity anomaly data, the interpolation is performed using the Collocation method according to 2 options: (1) with RTM correction and (2) without RTM correction. The interpolated result is compared with known values to assess accuracy. The experiment was conducted in the Central Region of Vietnam with 9871 calculated points and 1060 test points. The experimental results show that: After RTM correcting, the gravity anomaly model is smoother and less variable; The accuracy of gravity anomaly interpolation increases; The Root Mean Square deviation (RMS) decreases by 1.306 mGal, from 4.559 mGal to 3.252 mGal. Thus, RTM correcting before interpolating gravity anomalies is necessary and effective.

Keywords: Residual terrain model, Gravity anomaly, Interpolation, Central Region of Vietnam.

Submission received: 21/09/2024

Revised: 18/10/2024

Accepted: 21/10/2024

Published: 30/12/2024

1. Giới thiệu

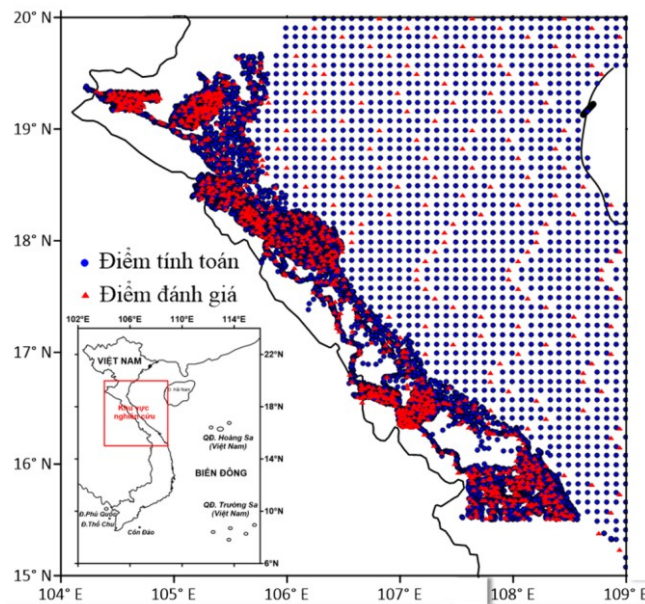
Hiệu chỉnh mô hình địa hình phần dư (Residual Terrain Model – RTM) là số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của địa hình đến các yếu tố của trường trọng lực như dị thường trọng lực, dị thường độ cao vv... RTM được Forsberg R. and C. C. Tsherning đề cập từ những năm 1981 [1]. Sau đó, được Forsberg R. trình bày chi tiết trong tài liệu [2]. Trên thế giới, nhiều công trình khoa học đã ứng dụng lý thuyết RTM để tính hiệu chỉnh địa hình khi xây dựng mô hình geoid/quasigeoid từ số liệu dị thường trọng lực: Trong tài liệu [3] mô hình geoid kết hợp mới của Thổ Nhĩ Kỳ có tên là Turkish Geoid Model-2020 (TG-20) đã được xây dựng bằng cách sử dụng dữ liệu trọng lực trên mặt đất và GPS-TC và các mô hình số độ cao, thể trọng trường toàn cầu mới nhất theo phương pháp LSMA. Kết quả xác định được mô hình geoid với độ chính xác từ 1,2 cm đến 6,3

cm. Trong nghiên cứu này, số hiệu chỉnh RTM đã được tính toán với bề mặt độ cao trung bình có độ phân giải 15 phút, được xây dựng từ DEM độ phân giải cao 7,2 giây bằng cách áp dụng bộ lọc Gaussian. Các tính toán được thực hiện bằng chương trình GRAVSOFIT với bán kính là 167 km. Số hiệu chỉnh này được sử dụng trong đánh giá độ chính xác dữ liệu trọng lực lịch sử đã có theo phương pháp LSC; Mô hình Geoid trọng lực của Canada được xây dựng vào năm 2010, đã sử dụng kỹ thuật Loại bỏ - Tính toán - Phục hồi. Nghiên cứu đã sử dụng mô hình số độ cao mới của Canada (CDED) để tính toán hiệu chỉnh địa hình. Độ chính xác của mô hình đạt được từ 2 cm đến 10 cm [4]... Ở Việt Nam, tác giả Hà Minh Hòa đã trình bày lý thuyết về RTM trong tài liệu [5] năm 2018. Trong tài liệu [6], tác giả đã tính hiệu chỉnh của RTM vào dị thường trọng lực và dị thường độ cao, sau đó tính dị thường độ cao từ số liệu dị thường trọng lực. Cho đến nay, ở Việt Nam chưa có công trình nào khảo sát, đánh giá ảnh hưởng của hiệu chỉnh RTM đến độ chính xác nội suy dị thường trọng lực. Bài báo này tập trung đánh giá xem khi tính hiệu chỉnh RTM thì đem lại hiệu quả như thế nào trong bài toán nội suy dị thường trọng lực. Thực nghiệm được thực hiện trên khu vực Miền Trung của Việt Nam.

2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là Miền Trung của Việt Nam, được giới hạn bởi vĩ độ từ $15^{\circ} \div 20^{\circ}$ Bắc, kinh độ từ $104^{\circ} \div 109^{\circ}$ Đông, phía Đông là Biển Đông, phía Tây là lãnh thổ của Lào (Hình 1). Khu vực nghiên cứu có địa hình đa dạng: có biển, có dải đồng bằng hẹp; địa hình ở phía Tây là núi cao thuộc dãy Trường Sơn, độ cao trung bình từ 1.000 - 1.500 m [6].



Hình 1. Khu vực nghiên cứu và số liệu nghiên cứu [7]

2.2. Số liệu nghiên cứu

Số liệu dị thường trọng lực tại 9897 điểm trên đất liền đã được sử dụng trong nghiên cứu này [6]. Trên phần biển, nghiên cứu đã sử dụng 1034 điểm số liệu dị thường trọng lực có nguồn gốc từ mô hình DTU17GRAV do Đan Mạch xây dựng [8]. Như vậy, tổng số liệu có 10931 điểm. Các điểm này có tọa độ trong WGS-84, giá trị dị thường trọng lực trong hệ không phụ thuộc triều. Số liệu này được chia thành 2 phần: Phần 1

gồm 9871 điểm hình tròn, màu xanh trên Hình 1, được dùng để tính toán; phần 2 gồm 1060 điểm hình tam giác, màu đỏ trên Hình 1, được dùng để đánh giá độ chính xác.

Ngoài ra, nghiên cứu này cũng sử dụng số liệu mô hình số địa hình SRTM3arc_v4.1 [9] và mô hình thế trọng trường Trái đất EIGEN6C4 [10].

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Tính toán và loại bỏ dị thường trọng lực bước sóng dài từ mô hình EIGEN6C4

Để loại bỏ ảnh hưởng của dữ liệu vùng xa đến bài toán nội suy dị thường trọng lực, dị thường trọng lực bước sóng dài tính từ mô hình EIGEN6C4 theo công thức [11] sẽ được loại bỏ khỏi dị thường trọng lực:

$$\Delta g_{EIGEN} = \frac{GM}{r^2} \left[\sum_{n=2}^{N_{max}} \left(\frac{a}{r}\right)^n (n-1) \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \right] \quad (1)$$

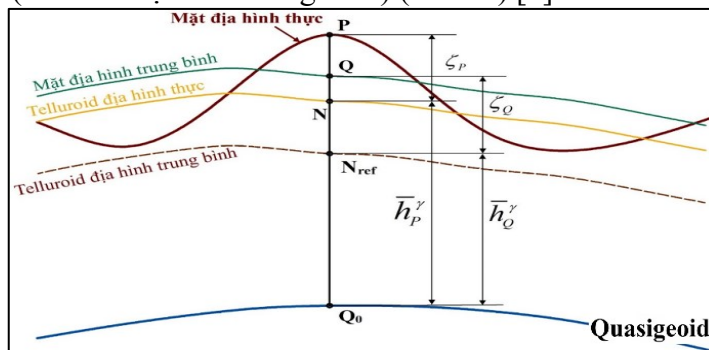
trong đó GM: Hằng số hấp dẫn của Trái đất; r: khoảng cách từ điểm xét tới tâm Trái Đất; a: bán trục lớn của ellipsoid tham chiếu; n, m: cấp và bậc tương ứng của hàm điều hòa cầu; N_{max} : bậc cực đại của hàm điều hòa cầu ($N_{max} = 2190$ đối với mô hình EIGEN6C4); φ : vĩ độ địa tâm; λ : kinh độ địa tâm; $\bar{C}_{n,m}, \bar{S}_{n,m}$: hệ số hàm điều hòa cầu chuẩn hóa; $\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$: hàm Legendre đã được chuẩn hóa. Các hệ số hàm điều hòa cầu $\bar{C}_{n,m}, \bar{S}_{n,m}$ của mô hình trường trọng lực trái đất toàn cầu (EIGEN6C4) có tại Trung tâm quốc tế về mô hình trái đất toàn cầu [10].

Dị thường trọng lực bước sóng dài tính từ mô hình EIGEN6C4 được loại bỏ khỏi giá trị dị thường trọng lực, còn lại phần dư dị thường trọng lực:

$$\delta g = \Delta g - \Delta g_{EIGEN} \quad (2)$$

3.2. Hiệu chỉnh RTM

Trong phần dư dị thường trọng lực tính theo công thức (2) vẫn còn chứa ảnh hưởng của mô hình địa hình phần dư RTM. Số hiệu chỉnh này là ảnh hưởng của phần địa hình còn dư giữa mặt phẳng nằm ngang đi qua điểm trọng lực P trên mặt địa hình thực và bề mặt tham chiếu (mô hình địa hình trung bình) (Hình 2) [5].



Hình 2. Mô hình địa hình phần dư RTM [5, 6]

Số hiệu chỉnh RTM cho dị thường trọng lực được xác định theo công thức [5, 6]:

$$\delta g_{RTM} = 2\pi G \rho (\bar{h}_Q^\gamma - \bar{h}_P^\gamma) \quad (3)$$

với: G là hằng số hấp dẫn, ρ là mật độ vật chất của lớp vỏ Trái Đất, \bar{h}_Q^γ là độ cao chuẩn của điểm Q trên mặt địa hình trung bình, tương ứng với điểm P trên mặt địa hình thực và \bar{h}_P^γ là độ cao chuẩn của điểm đo P tại mặt địa hình thực (xem Hình 2).

Để xác định được số hiệu chỉnh RTM, cần mô hình số độ cao của bề mặt thực địa hình, và 2 mô hình số độ cao nữa là: mô hình số độ cao thô (DTM Coarse) và mô hình số độ cao trung bình (mô hình số độ cao tham chiếu - DTM Reference) [6]. Hiệu chỉnh RTM được loại bỏ khỏi dị thường trọng lực theo công thức:

$$\delta'g = \Delta g - \Delta g_{EIGEN} - \delta g_{RTM} \quad (4)$$

3.3. Nội suy dị thường trọng lực theo phương pháp Collocation

Hai tập số liệu: (1) không hiệu chỉnh ảnh hưởng của RTM và (2) có hiệu chỉnh ảnh hưởng của RTM sẽ được sử dụng để nội suy ra dị thường trọng lực của các điểm kiểm tra bằng cùng phương pháp Collocation. Chênh lệch dị thường trọng lực so với điểm kiểm tra sẽ cho thấy hiệu quả của việc hiệu chỉnh RTM.

Giả sử có n điểm đã biết dị thường trọng lực $\delta'g_1, \delta'g_2, \dots, \delta'g_n$ trên khu vực nghiên cứu. Khi đó, dị thường trọng lực của điểm P được tính bằng công thức [12]:

$$\delta'g_P = C^T(\delta'g, \delta'g_P) \cdot [C(\delta'g, \delta'g) + C_{\delta'g}]^{-1} \cdot \delta'g, \quad (5)$$

trong đó: $\delta'g$ là ma trận các giá trị dị thường trọng lực đã biết; $C^T(\delta'g, \delta'g_P)$ là ma trận hiệp phương sai dị thường trọng lực giữa điểm P và các điểm đã biết dị thường trọng lực; $C(\delta'g, \delta'g)$ là ma trận hiệp phương sai dị thường trọng lực giữa các điểm đã biết dị thường trọng lực với nhau; $C_{\delta'g}$ là ma trận tương quan độ chính xác dị thường trọng lực.

Các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết được xác định dựa trên các giá trị hiệp phương sai thực nghiệm. Chi tiết đã được trình bày trong [13].

Sau khi nội suy, dị thường trọng lực của điểm P được khôi phục thành phần từ mô hình EIGEN6C4 và hiệu chỉnh RTM (đối với tập số liệu 2):

$$\Delta g_P = \delta'g_P + \Delta g_{EIGEN} + \delta g_{RTM} \quad (6)$$

3.4. Đánh giá độ chính xác kết quả nội suy dị thường trọng lực

Sau khi nội suy, dị thường trọng lực nội suy (Δg_i^{NS}) được so sánh với dị thường trọng lực đã biết trước (điểm kiểm tra), Δg_i^{do} . Từ đó, tính được độ lệch dị thường trọng lực [14, 15]:

$$\delta g_i = \Delta g_i^{NS} - \Delta g_i^{do}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad n \text{ là số điểm đánh giá} \quad (7)$$

Tính độ lệch trung bình theo công thức:

$$\delta g_{TB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta g_i \quad (8)$$

Độ lệch trung phương được tính theo công thức:

$$RMS_{\Delta g} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta g_i)^2}{n}} \quad (9)$$

Độ lệch chuẩn được tính:

$$STD_{\Delta g} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta g_i - \delta g_{TB})^2}{n - 1}} \quad (10)$$

Ngoài ra, biểu đồ độ lệch và biểu đồ tần suất độ lệch cũng được thành lập. Các giá trị của độ lệch cực đại (δg_{max}), độ lệch cực tiểu (δg_{min}), độ lệch trung bình, độ lệch chuẩn và độ lệch trung phương và các biểu đồ là căn cứ để đánh giá độ chính xác của dị thường trọng lực nội suy được.

4. Kết quả tính toán và thảo luận

4.1. Kết quả tính hiệu chỉnh RTM

Theo các công thức đã trình bày trong phần lý thuyết, trong phần này, số hiệu chỉnh RTM đã được tính toán với số liệu dị thường trọng lực trên khu vực thực nghiệm bằng phần mềm Gravsoft [16]. Các thống kê vắn tắt của số liệu dị thường trọng lực trước và sau khi hiệu chỉnh RTM được trình bày trên Bảng 1.

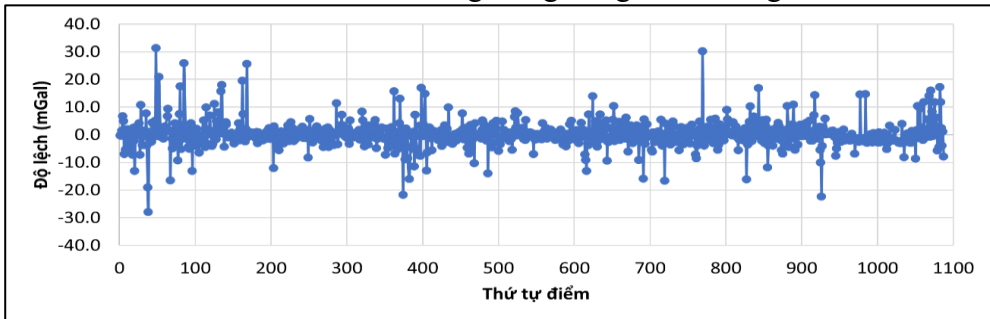
Bảng 1. Thống kê vắn tắt số liệu dị thường trọng lực

Đặc điểm	Số điểm	Max (mGal)	Min (mGal)	Mean (mGal)	STD (mGal)
Không hiệu chỉnh RTM	10931	90,221	-187,040	-10,493	$\pm 16,301$
Có hiệu chỉnh RTM	10931	37,951	-37,189	0,768	$\pm 10,288$

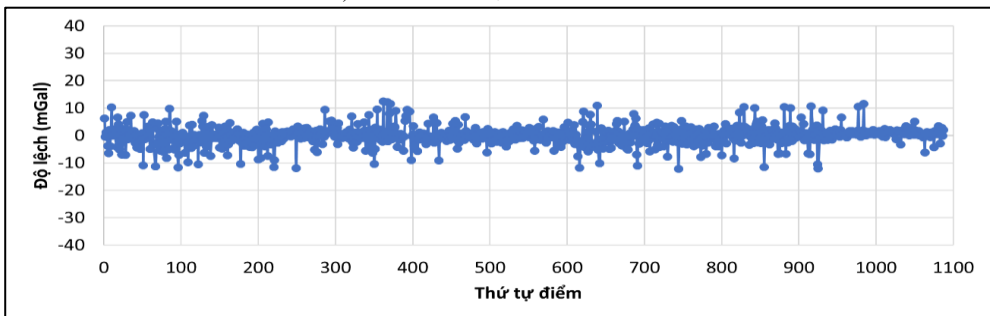
Nhận xét: Sau hiệu chỉnh RTM, Các giá trị dị thường trọng lực lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình đều giảm. Độ lệch chuẩn (STD) của bộ số liệu giảm từ $\pm 16,301$ mGal xuống $\pm 10,288$ mGal. Điều này chứng tỏ biến thiên dị thường trọng lực giảm, bề mặt mô hình dị thường trọng lực trơn tru hơn, kỳ vọng kết quả nội suy sẽ chính xác hơn.

4.2. Đánh giá kết quả nội suy dị thường trọng lực trước và sau hiệu chỉnh RTM

9871 điểm số liệu dị thường trọng lực phần 1 được sử dụng để nội suy ra dị thường trọng lực cho 1060 điểm kiểm tra theo 2 phương án: trước khi hiệu chỉnh RTM và sau hiệu chỉnh RTM. Kết quả nội suy được so sánh với giá trị đã biết. Trên Hình 3 là biểu đồ độ lệch dị thường trọng lực trước và sau khi hiệu chỉnh RTM. Từ Hình 3 cho thấy, sau khi hiệu chỉnh RTM, độ lệch dị thường trọng lực giảm đi đáng kể.



a) Trước khi hiệu chỉnh RTM



b) Sau khi hiệu chỉnh RTM

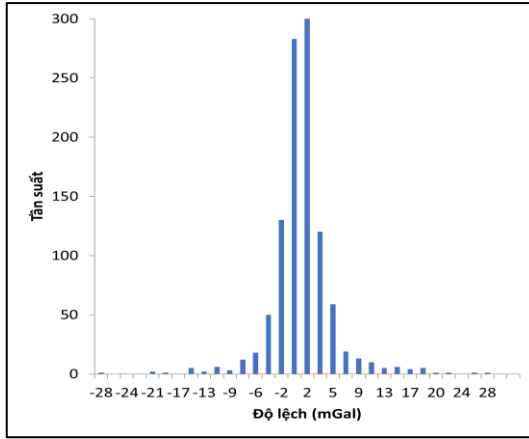
Hình 3. Biểu đồ độ lệch dị thường trọng lực

Các thống kê vắn tắt được trình bày trên Bảng 2. Bảng này cho thấy, sau khi hiệu chỉnh RTM, độ chính xác nội suy dị thường trọng lực tăng lên thể hiện ở độ lệch lớn nhất, nhỏ nhất, trung bình đều giảm. RMS giảm 1,306 mGal, từ 4,559 mGal xuống 3,252 mGal.

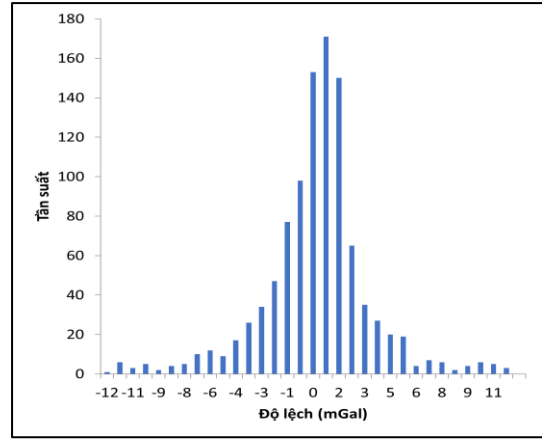
Bảng 2. Thống kê vắn tắt độ chính xác dị thường trọng lực nội suy

Đặc điểm	Số điểm	Max (mGal)	Min (mGal)	Mean (mGal)	RMS (mGal)	STD (mGal)
Không hiệu chỉnh RTM	1060	31,336	-27,926	0,125	4,559	4,557
Có hiệu chỉnh RTM	1060	12,464	-12,138	-0,004	3,252	3,252

Trên Hình 4 là biểu đồ tần suất độ lệch. Hình này cho thấy: trước và sau khi hiệu chỉnh RTM thì độ lệch đều tuân theo luật phân bố chuẩn, chứng tỏ độ lệch là ngẫu nhiên. Tuy nhiên, sau khi hiệu chỉnh thì độ lệch giảm đi nhiều.



a) Không hiệu chỉnh RTM



b) Có hiệu chỉnh RTM

Hình 4. Biểu đồ tần suất độ lệch

5. Kết luận

Bài báo đã đánh giá hiệu quả của việc hiệu chỉnh RTM trong bài toán nội suy dị thường trọng lực bằng cách so sánh độ chính xác nội suy trước và sau khi hiệu chỉnh RTM. Thực nghiệm được thực hiện ở Miền Trung của Việt Nam.

Sau khi hiệu chỉnh RTM, giá trị cực đại, cực tiểu và độ lệch chuẩn của bộ số liệu dị thường trọng lực giảm, chứng tỏ mô hình dị thường trọng lực trơn tru, ít biến thiên hơn, việc nội suy sẽ chính xác hơn.

Hiệu chỉnh RTM làm cho độ chính xác nội suy dị thường trọng lực tăng lên thể hiện ở độ lệch so với giá trị đã biết giảm, độ lệch trung phương giảm 1,3 mGal so với trước hiệu chỉnh, các giá trị độ lệch vẫn giữ được quy luật của độ lệch ngẫu nhiên. Hiệu chỉnh RTM trước khi nội suy dị thường trọng lực là cần thiết.

Lời cảm ơn:

Tác giả xin chân thành cảm ơn Đề tài cấp quốc gia Việt Nam ĐTĐLCN.07/23 đã tài trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Forsberg R. and C. C. Tsherning, "The use of height data in gravity field approximation by collocation", *Journal of Geophysical Research*, vol. 86, No. B9, pages 7843-7854, September 10, 1981.
- [2] Forsberg R., "A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling", *Reports of the Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio state University*, 1984.
- [3] Hasan Yildiz, Mehmet Simav, Yunus Akdoan, "Determination and validation of the Turkish Geoid Model-2020 (TG-20)", *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, May 2021. DOI: 10.4430/bgta0346.
- [4] Huang J. and Véronneau M., "Canadian gravimetric geoid model 2010", *Journal of Geodesy*. 87(8), pp. 771-790, 2013.



- [5] Hà Minh Hòa, “Một số vấn đề hiện đại của trắc địa vật lý”, *Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, Hà Nội*, 2018.
- [6] Nguyễn Thành Lê, “Nghiên cứu xác định dị thường độ cao trên cơ sở kết hợp các dữ liệu mặt đất và vệ tinh, áp dụng cho khu vực miền Trung Việt Nam”, *Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất*, 2023.
- [7] Nguyễn Văn Sáng, “Hiệu quả của việc sử dụng mô hình trường trọng lực trái đất toàn cầu trong nội suy trường trọng lực cục bộ bằng phương pháp Collocation”, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, vol. 57, tr 1–8, 2023. doi: 10.54491/jgac.2023.57.690.
- [8] Andersen O. and Knudsen P., "The DTU17 global marine gravity field: First validation results", *Fiducial Reference Measurements for Altimetry*, Springer, pp. 83-87, 2019.
- [9] Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E. and Roth L., "The shuttle radar topography mission", *Reviews of geophysics*, vol. 45 no. 2, 2007.
- [10] E. Sinem Ince, Franz Barthelmes, Sven Reißland, Kirsten Elger, Christoph Förste, Frank Flechtner and Harald Schuh, “ICGEM - 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans”, *Earth Syst. Sci. Data*, p. 647-674, vol. 11, 2019 doi: <https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019>.
- [11] Bernhard Hofmann-Wellenhof, Helmut Moritz, “Physical Geodesy”, *ISBN-10 3-211-23548-1 Springer Wien New York, ISBN-13 978-3-211-23584-3 Springer Wien New York*, 2005.
- [12] Neiman. Y. M., “Phương pháp hiệp phương sai trong trắc địa vật lý và Collocation”, *Matxcova (tiếng nga)*, 2010.
- [13] Nguyễn Văn Sáng, “Xác định các hàm hiệp phương sai khi tính dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh sử dụng phương pháp Collocation”, *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ – Địa Chất*, số 41, tr 48 – 51, 2013.
- [14] McKean J. W. and Sheather S. J. Statistic, Nonparametric. in R. A. Meyers Editor, “Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)”, *New York: Academic Press*, pp. 891-914, 2003.
- [15] William H Press and et al., “Numerical recipes”, *Cambridge university press, Cambridge The Art of Scientific Computing*, 1986.
- [16] Nielsen J., Tscherning C.C., Jansson T.R. and Forsberg R., "Development and user testing of a Python interface to the GRAVSOFTE gravity field programs", *Geodesy for Planet Earth*, Springer, pp. 443-449, 2012.

