# ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH EGM2008, EIGEN-6C4 VÀ SGG-UGM-2 DỰA TRÊN SỐ LIỆU TRỌNG LỰC CHI TIẾT TẠI KHU VỰC ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG

**Bùi Thị Hồng Thắm**
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

**Tóm tắt**

*Mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 được xác định độ chính xác dựa trên số liệu trọng lực chi tiết tại khu vực đồng bằng Sông Hồng thuộc miền Bắc Việt Nam. Số liệu trọng lực chi tiết và số liệu trọng lực tương ứng khai thác từ mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 của 677 điểm được thống nhất trong 1 hệ triều. Số hiệu chỉnh khi chuyển đổi giữa các hệ triều trong nghiên cứu này có giá trị không đáng kể so với độ chính xác của mô hình vì vậy nên nó chỉ có ý nghĩa về mặt lý thuyết. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, tại khu vực thực nghiệm, giá trị độ lệch trọng lực trung bình của các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4, SGG-UGM-2 lần lượt là +2.453 mgal, -4.193 mgal, -4.380 mgal. Độ chính xác của các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 được coi là tương đương nhau, cỡ khoảng 13 mgal. Đây là thông tin hữu ích cho người sử dụng khi ứng dụng các mô hình này trong thực tiễn. Việc xác định độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu bằng số liệu trọng lực chi tiết được thực hiện dựa trên cơ sở khoa học chặt chẽ, chính xác. Các bước xác định độ chính xác của các mô hình trong nghiên cứu này hoàn toàn có thể áp dụng được đối với các khu vực khác với nguồn dữ liệu tương tự.*

**Từ khóa:** Dị thường trọng lực; Trọng lực; Mô hình trường trọng lực toàn cầu.

**Abstract**

***Evaluation of the accuracy of the global gravity field models EGM2008, EIGEN-6C4 and SGG-UGM-2 based on the detailed gravity data in the Red River delta***

*The accuracy of global gravity field models EGM2008, EIGEN-6C4 and SGG-UGM-2 are evaluated based on detailed gravity data in the Red River delta in the North of Vietnam. The detailed gravity data and the respective gravity data from global gravity field models EGM2008, EIGEN-6C4, SGG-UGM-2 of 677 points are fixed to the same tidal system. In this research, correction values of the conversion between tidal systems are small so it is only theoretically significant. Research results have shown that, in the experimental area, the average gravity deviation of models EGM2008, EIGEN-6C4 and SGG-UGM-2 is +2,453 mgal, -4,193 mgal, -4,380 mgal, respectively. The accuracy of models EGM2008, EIGEN-6C4, and SGG-UGM-2 are equivalent, about 13 mgal. The information is useful for users when applying these models in practice. The accuracy of global gravity field models is determined scientifically and accurately. The process can be applied to other regions with similar data sources.*

**Keywords:** Gravity anomaly; Gravity; Global gravity field model.

## 1. Đặt vấn đề

Mô hình trường trọng lực toàn cầu do các tổ chức quốc tế xây dựng là nguồn dữ liệu quan trọng phục vụ cho việc xây dựng hệ độ cao quốc gia, mô hình geoid/ quasigeoid,… Ngày nay, dữ liệu của các mô hình này có thể dễ dàng khai thác được từ các trang web của các tổ chức quốc tế uy tín. Khi ứng dụng dữ liệu của mô hình trường trọng lực toàn cầu trong phạm vi khu vực, quốc gia người sử dụng cần phải biết độ chính xác của chúng để từ đó có quyết định phù hợp khi sử dụng dữ liệu.

Việc xác định độ chính xác trọng lực của mô hình trường trọng lực toàn cầu trong phạm vi khu vực, quốc gia đã được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu thể hiện qua các công bố khoa học. Một số công trình tiêu biểu được đề cập ở đây là: Dữ liệu trọng lực từ năm 1988 đến năm 1975 được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình EGM2008, EIGEN-6C4, GECO và SGG-UGM-1 phục vụ cho việc xây dựng mô hình geoid tại Kenya. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy dữ liệu của mô hình EIGEN-6C4 tích hợp với dữ liệu trọng lực mặt đất cho kết quả tốt khi xây dựng mô hình geoid trọng lực tại khu vực này [11]. Dữ liệu trọng lực tuyệt đối cùng với dữ liệu gradient trọng lực được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình TIM_R5, DIR_R5, SPW_R5, EIGEN_6S4, GOCE, GOCO5C, XGM2016, EGM2008 nhằm xác định mô hình phù hợp nhất tại Thổ Nhĩ Kỳ (được bao quanh bởi biển Đen, biển Địa Trung Hải, biển Aegean và biển Marmara - một vùng biển nội địa của Thổ Nhĩ Kỳ, ngăn cách Anatolia và Thrace) phục vụ cho mục đích trắc địa và địa vật lý như xác định geoid, thống nhất dữ liệu độ cao, tìm hiểu cấu trúc sâu của Trái đất [14]. Dữ liệu trọng lực hàng không và dữ liệu trọng lực đo bằng tàu được dùng để đánh giá độ chính xác của các mô hình như EGM2008, EIGEN-6C4, GECO, SGG-UGM-1, XGM2019e_2159, GOCO05c, XGM2016, XGM2019 tại vùng biển phía Nam của Trung Quốc nhằm so sánh độ chính xác của các mô hình này [13]. Dữ liệu trọng lực mặt đất trên bán đảo Malaysia được thu thập để đánh giá độ chính xác của các mô hình như GOCO-06S, EGM2008, XGM2019e_2159, SGG-UGM-2, EIGEN-CHAMP05S, ITG-GRACE03. Kết quả cho thấy dị thường trọng lực thu được từ SGG-UGM-2 với bậc cực đại và bậc 2190 của các hệ số điều hòa hình cầu là phù hợp nhất có thể được sử dụng làm tham chiếu ở bán đảo Malaysia [10]. Số liệu đo trọng lực trực tiếp của 28158 điểm đo trọng lực bằng tàu trên vùng biển xung quanh đảo Bạch Long Vĩ, thuộc Biển Đông được sử dụng để đánh giá độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM96, EGM2008, GO_CONS_EGM_DIR_2I, GOCE-DIR4 để tìm ra mô hình nào là chính xác nhất. Kết quả cho thấy, mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008 là mô hình chính xác nhất, phù hợp nhất tại khu vực này [8]. Dữ liệu dị thường trọng lực đo bằng tàu được sử dụng để đánh giá dị thường trọng lực của mô hình trọng trường toàn cầu EGM2008, GECO, EIGEN-6C4, SGG-UGM-1 bằng các dữ liệu dị thường trọng lực đo trực tiếp tại khu vực Vịnh Bắc Bộ và biển Hà Tiên - Phú Quốc. Kết quả nghiên cứu cho thấy, mô hình GECO được đề xuất sử dụng phục vụ cho việc

làm khớp (Fitting) mô hình vệ tinh với các dữ liệu đo trọng lực ở vùng biển Việt Nam [5]. Số liệu đo trọng lực trực tiếp của 58.989 điểm đo trọng lực trực tiếp bằng tàu trong phạm vi Vịnh Bắc Bộ, Việt Nam được sử dụng để đánh giá độ chính xác của các mô hình dị thường trọng lực toàn cầu DNSC08GRAV, DTU10GRAV, DTU13GRAV, DTU15GRAV nhằm khai thác sử dụng hiệu quả các mô hình này vào mục đích nghiên cứu Biển Đông. Tại khu vực nghiên cứu, mô hình DTU15GRAV có độ chính xác cao nhất [9]. Số liệu dị thường trọng lực của 28 điểm do Tổ chức Trọng lực quốc tế BGI (International Gravimetric Bureau) cung cấp và số liệu trọng lực của 12 điểm trọng lực hạng I khu vực miền Bắc Việt Nam được sử dụng để đánh giá độ chính xác của các mô hình EGM96, EGM2008, EIGEN-1, EIGEN-6C2 [7]. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, mô hình EGM2008, EIGEN-6C2 cho độ chính xác cao hơn so với các mô hình EGM96, EIGEN-1.

Qua các nghiên cứu trên cho thấy, để ứng dụng mô hình trường trọng lực trong thực tiễn, độ chính xác của các mô hình này đã được xác định trong phạm vi khu vực, vùng, quốc gia. Độ chính xác của các mô hình phụ thuộc vào số lượng, chất lượng số liệu cũng như vị trí của khu vực thực nghiệm.

Tại Việt Nam, một số mô hình trường trọng lực toàn cầu cũng đã được xác định độ chính xác tại các vùng, khu vực cụ thể tuy nhiên chưa có công bố nào về độ chính xác trọng lực của mô hình SGG-UGM-2. Độ chính xác trọng lực của mô hình EIGEN-6C4 tại khu vực đồng bằng cũng chưa được công bố. Vì vậy, trong nghiên cứu này, các mô hình trường trọng lực toàn cầu có số bậc/hạng cao (2190) chưa được công bố độ chính xác tại phần đất liền của Việt Nam đó là EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 được lựa chọn để nghiên cứu. Bên cạnh đó, trong [7], khi nghiên cứu về độ chính xác trọng lực của mô hình EGM2008, số lượng điểm trọng lực được sử dụng quá ít, chỉ có 12 điểm, các điểm này phân bố trên một không gian rộng toàn miền Bắc, như vậy nó sẽ ảnh hưởng đến độ tin cậy khi xác định độ chính xác của mô hình. Vì vậy, trong nghiên cứu này, xác định độ chính xác của mô hình EGM2008 với số lượng điểm trọng lực dày đặc hơn, các điểm này phân bố trên phạm vi không gian hẹp hơn cũng là vấn đề đặt ra để giải quyết.

Để xác định được độ chính xác của các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 số liệu trọng lực chi tiết của các điểm khu vực đồng bằng Sông Hồng được thu thập, sử dụng. Vấn đề chuyển đổi giữa hệ triều trọng lực cũng sẽ được đề cập trong nghiên cứu này.

## 2. Cơ sở lý thuyết

Số liệu trọng lực khi khai thác từ mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 ở hệ triều tự do [15], khi khai thác từ mô hình SGG-UGM-2 ở hệ triều 0 [15], số liệu trọng lực chi tiết ở trong hệ triều trung bình [4]. Do đó, để đánh giá độ chính xác mô hình trường trọng lực toàn cầu thì giá trị trọng lực chi tiết và giá trị trọng lực tương ứng khai thác từ mô hình trường trọng lực toàn cầu phải trong cùng 1 hệ triều. Theo [3, 6] công thức chuyển đổi trọng lực giữa các hệ triều như sau:

$$g_m - g_z = -30{,}4 + 91{,}2\sin^2\varphi \ \ (\mu gals) \quad (1)$$

$$g_z - g_n = (\delta - 1)(-30{,}4 + 91{,}2\sin^2\varphi) \ \ (\mu gals) \quad (2)$$

$$g_m - g_n = \delta(-30{,}4 + 91{,}2\sin^2\varphi) \ \ (\mu gals) \quad (3)$$

Trong đó:

$g_n$ là trọng lực trong hệ triều tự do;

$g_m$ là trọng lực trong hệ triều trung bình;

$g_Z$ là trọng lực trong hệ triều 0;

δ là hằng số trọng lực triều.

Hằng số trọng lực triều phụ thuộc vào Trái đất. Nếu coi Trái đất là một khối cứng thì δ được chọn là 1, nếu không tính đến tác động gián tiếp của đại dương đến Trái đất thì δ được chọn là 1,16, nếu coi Trái đất là một thể lỏng có mật độ vật chất thì δ được chọn là 1,53.

Các giá trị trọng lực chi tiết và mô hình sau khi được chuyển đổi để trong cùng một hệ triều sẽ được sử dụng để tính toán.

Gọi:

$g^i_{sur}$ là giá trị trọng lực chi tiết;

$g^i_{model}$ là giá trị trọng lực khai thác từ mô hình trường trọng lực toàn cầu;

$\Delta g^i$ là độ lệch trọng lực giữa giá trị trọng lực chi tiết và giá trị trọng lực mô hình;

n là tổng số điểm trọng lực tham gia tính toán.

Giá trị $\Delta g^i$ được tính theo công thức sau:

$$\Delta g^i = g^i_{sur} - g^i_{model} \quad (4)$$

Từ các giá trị độ lệch trọng lực, tính độ lệch trọng lực trung bình theo công thức:

$$\Delta g_{aver} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta g^i \quad (5)$$

Tính giá trị sai khác giữa Δg và độ lệch trọng lực trung bình của các điểm (ký hiệu là δg) theo công thức sau:

$$\delta g^i = \Delta g^i - \Delta g_{aver} \quad (6)$$

Sai số trung phương của dãy số liệu (ký hiệu là m) được tính theo công thức [2]:

$$m = \pm\sqrt{\frac{[\delta g \delta g]}{n-1}} \quad (7)$$

Những điểm có giá trị δg trong khoảng từ -3 m đến +3 m được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình trường trọng lực toàn cầu. Các điểm không nằm trong khoảng nêu trên bị loại bỏ, không tham gia vào quá trình tính toán độ chính xác [1].

Quá trình tính toán độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu được thực hiện theo trình tự sau:

- Chuẩn hóa số liệu trọng lực chi tiết và mô hình trong 1 hệ triều.

- Tính độ lệch giữa trọng lực chi tiết và mô hình.

- Tính độ lệch trọng lực trung bình.

- Đánh giá chất lượng dãy số liệu Δg. Loại bỏ điểm không đạt yêu cầu.

- Xác định độ chính xác của mô hình trường trọng lực toàn cầu.

## 3. Dữ liệu thực nghiệm

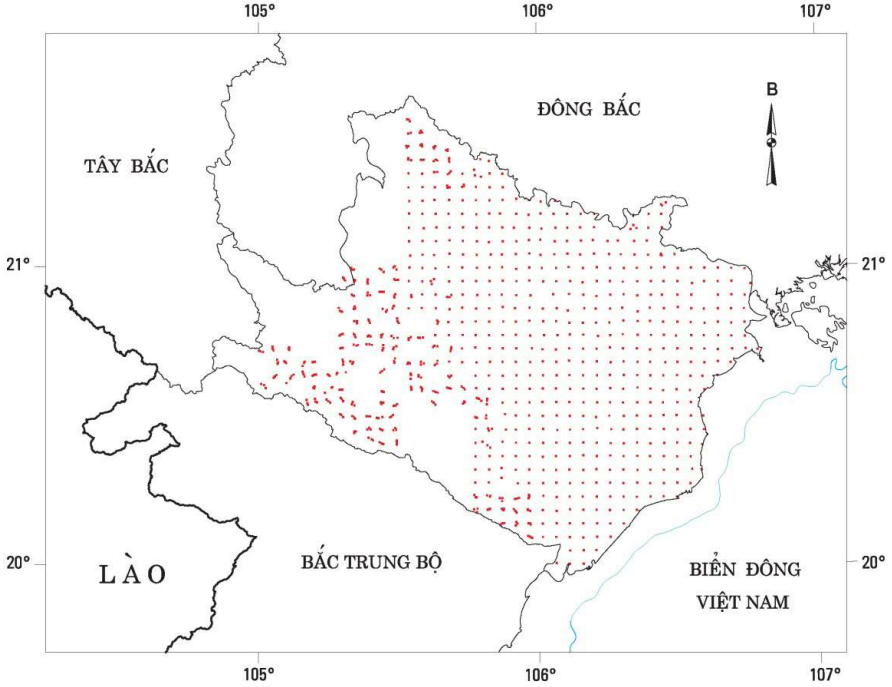
### *3.1. Dữ liệu trọng lực*

Khu vực thực nghiệm là đồng bằng Sông Hồng (hay còn gọi là châu thổ Bắc

Bộ) thuộc miền Bắc của Việt Nam. Tổng số 677 điểm trọng lực chi tiết khu vực này (Hình 1) thuộc Dự án "Xây dựng và hoàn chỉnh hệ thống trọng lực Nhà nước" của Bộ Tài nguyên và Môi trường do Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ thực hiện hoàn thành vào năm 2012 được thu thập, sử dụng để đánh giá độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu. Theo [12], các điểm trọng lực chi tiết có độ chính xác ≤ 1.0 mgal. Tọa độ của các điểm trọng lực chi tiết trong hệ VN2000 và giá trị trọng lực của các điểm được thể hiện ở Bảng 1.

***Bảng 1. Số liệu các điểm trọng lực chi tiết***

| STT | X (m) | Y (m) | Giá trị trọng lực (mgal) | STT | X (m) | Y (m) | Giá trị trọng lực (mgal) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2326753.243 | 581348.068 | 978661.331 | 16 | 2347581.714 | 596000.184 | 978688.590 |
| 2 | 2326943.469 | 586623.060 | 978670.780 | … | … | … | … |
| 3 | 2331506.232 | 585838.016 | 978675.619 | 665 | 2341979.547 | 596067.943 | 978685.689 |
| 4 | 2331818.877 | 581372.883 | 978674.531 | 666 | 2341705.247 | 600573.529 | 978687.233 |
| 5 | 2336784.214 | 581211.810 | 978681.013 | 667 | 2336858.152 | 600921.004 | 978683.812 |
| 6 | 2341893.537 | 581185.041 | 978675.883 | 668 | 2331806.120 | 596117.017 | 978669.119 |
| 7 | 2347010.317 | 586076.566 | 978680.580 | 669 | 2337016.083 | 585922.802 | 978676.309 |
| 8 | 2347102.149 | 581032.824 | 978675.499 | 670 | 2336996.260 | 590859.233 | 978676.007 |
| 9 | 2342104.403 | 586010.397 | 978674.068 | 671 | 2336838.385 | 595177.849 | 978677.539 |
| 10 | 2342128.737 | 589979.419 | 978677.682 | 672 | 2332358.800 | 604977.127 | 978681.114 |
| 11 | 2347214.086 | 590928.229 | 978685.790 | 673 | 2332243.103 | 600791.899 | 978675.199 |
| 12 | 2351832.824 | 591029.804 | 978687.893 | 674 | 2331820.198 | 591031.829 | 978673.741 |
| 13 | 2356948.933 | 590855.464 | 978686.769 | 675 | 2326894.137 | 590675.655 | 978674.692 |
| 14 | 2351929.905 | 586168.528 | 978681.226 | 676 | 2327067.404 | 595877.412 | 978671.591 |
| 15 | 2347088.464 | 600889.093 | 978689.318 | 677 | 2327290.013 | 600963.907 | 978661.088 |




***Hình 1: Khu vực thực nghiệm đồng bằng Sông Hồng***

### *3.2. Dữ liệu trọng lực mô hình trường trọng lực toàn cầu*

Dữ liệu trọng lực của mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 tương ứng với 677 điểm được khai thác từ trang web http://icgem.gfz-potsdam.de/home. Số liệu cụ thể của các điểm này được trình bày trong Bảng 2.

***Bảng 2. Số liệu trọng lực được khai thác từ các mô hình***

| STT | B (độ) | L (độ) | Giá trị trọng lực (mgal) | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | EGM2008 | EIGEN-6C4 | SGG-UGM-2 |
| 1 | 21.03881736 | 105.78673261 | 978649.132 | 978661.339 | 978660.324 |
| 2 | 21.04029347 | 105.83750625 | 978652.606 | 978664.792 | 978663.836 |
| 3 | 21.08155358 | 105.83017997 | 978654.458 | 978666.742 | 978665.770 |
| 4 | 21.08458308 | 105.78721217 | 978653.838 | 978666.082 | 978664.993 |
| 5 | 21.12945072 | 105.78589772 | 978657.509 | 978669.713 | 978668.293 |
| 6 | 21.17561297 | 105.78588347 | 978658.328 | 978670.425 | 978669.039 |
| 7 | 21.22161506 | 105.83325958 | 978668.076 | 978680.066 | 978678.973 |
| 8 | 21.22267764 | 105.78466575 | 978666.834 | 978678.718 | 978677.503 |
| 9 | 21.17729564 | 105.83237369 | 978662.016 | 978674.173 | 978672.831 |
| 10 | 21.17732294 | 105.87060603 | 978666.438 | 978678.601 | 978677.046 |
| 11 | 21.22321875 | 105.88001736 | 978671.088 | 978683.092 | 978681.628 |
| 12 | 21.26494097 | 105.88124411 | 978674.725 | 978686.528 | 978685.248 |
| 13 | 21.31117028 | 105.87983875 | 978677.023 | 978688.513 | 978687.158 |
| 14 | 21.26605656 | 105.83439583 | 978667.520 | 978679.259 | 978678.145 |
| 15 | 21.22155617 | 105.97598408 | 978673.956 | 978685.823 | 978684.273 |
| 16 | 21.22627811 | 105.92890744 | 978673.847 | 978685.818 | 978683.971 |
| … | … | … | … | … | … |
| 665 | 21.17566297 | 105.92924369 | 978672.735 | 978684.836 | 978683.278 |
| 666 | 21.17294083 | 105.97262525 | 978672.373 | 978684.330 | 978683.346 |
| 667 | 21.12913186 | 105.97568514 | 978668.861 | 978680.794 | 978679.973 |
| 668 | 21.08375000 | 105.92914347 | 978659.790 | 978671.817 | 978670.749 |
| 669 | 21.13132900 | 105.83127328 | 978659.162 | 978671.425 | 978670.109 |
| 670 | 21.13090994 | 105.87880697 | 978661.810 | 978674.055 | 978672.673 |
| 671 | 21.12926278 | 105.92038317 | 978666.201 | 978678.360 | 978677.088 |
| 672 | 21.08825456 | 106.01446467 | 978665.410 | 978676.983 | 978676.030 |
| 673 | 21.08744544 | 105.97416986 | 978663.328 | 978675.147 | 978674.155 |
| 674 | 21.08413817 | 105.88019319 | 978657.508 | 978669.717 | 978668.697 |
| 675 | 21.03965111 | 105.87650383 | 978652.977 | 978665.036 | 978664.144 |
| 676 | 21.04095100 | 105.92657186 | 978655.454 | 978667.295 | 978666.321 |
| 677 | 21.04268822 | 105.97553381 | 978657.826 | 978669.419 | 978668.429 |

## 4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Do các giá trị trọng lực thuộc các hệ triều khác nhau như hệ triều trung bình, hệ triều tự do và hệ triều 0 vì vậy trong nghiên cứu này, các giá trị trọng lực này được tính chuyển về hệ triều 0 được thể hiện ở Bảng 3.

***Bảng 3. Chuyển giá trị trọng lực về hệ triều 0***

| STT | Giá trị trọng lực chi tiết trong hệ triều 0 (mgal) | Giá trị trọng lực mô hình trong hệ triều 0 (mgal) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | EGM2008 | EIGEN-6C4 | SGG-UGM-2 |
| 1 | 978661.373 | 978649.123 | 978661.329 | 978660.324 |
| 2 | 978670.822 | 978652.596 | 978664.782 | 978663.836 |
| 3 | 978675.661 | 978654.448 | 978666.732 | 978665.770 |

| STT | Giá trị trọng lực chi tiết trong hệ triều 0 (mgal) | Giá trị trọng lực mô hình trong hệ triều 0 (mgal) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | EGM2008 | EIGEN-6C4 | SGG-UGM-2 |
| 4 | 978674.573 | 978653.828 | 978666.072 | 978664.993 |
| 5 | 978681.055 | 978657.499 | 978669.703 | 978668.293 |
| 6 | 978675.925 | 978658.319 | 978670.415 | 978669.039 |
| 7 | 978680.622 | 978668.066 | 978680.056 | 978678.973 |
| 8 | 978675.541 | 978666.824 | 978678.708 | 978677.503 |
| 9 | 978674.110 | 978662.006 | 978674.163 | 978672.831 |
| 10 | 978677.724 | 978666.428 | 978678.592 | 978677.046 |
| 11 | 978685.832 | 978671.078 | 978683.082 | 978681.628 |
| 12 | 978687.935 | 978674.715 | 978686.518 | 978685.248 |
| 13 | 978686.811 | 978677.013 | 978688.503 | 978687.158 |
| 14 | 978681.268 | 978667.510 | 978679.249 | 978678.145 |
| 15 | 978689.360 | 978673.946 | 978685.813 | 978684.273 |
| 16 | 978688.632 | 978673.837 | 978685.809 | 978683.971 |
| … | … | … | … | … |
| 665 | 978685.731 | 978672.725 | 978684.827 | 978683.278 |
| 666 | 978687.275 | 978672.363 | 978684.320 | 978683.346 |
| 667 | 978683.854 | 978668.851 | 978680.784 | 978679.973 |
| 668 | 978669.161 | 978659.781 | 978671.807 | 978670.749 |
| 669 | 978676.351 | 978659.152 | 978671.415 | 978670.109 |
| 670 | 978676.049 | 978661.800 | 978674.046 | 978672.673 |
| 671 | 978677.581 | 978666.191 | 978678.350 | 978677.088 |
| 672 | 978681.156 | 978665.400 | 978676.973 | 978676.030 |
| 673 | 978675.241 | 978663.318 | 978675.137 | 978674.155 |
| 674 | 978673.783 | 978657.498 | 978669.708 | 978668.697 |
| 675 | 978674.734 | 978652.967 | 978665.026 | 978664.144 |
| 676 | 978671.633 | 978655.444 | 978667.285 | 978666.321 |
| 677 | 978661.130 | 978657.816 | 978669.409 | 978668.429 |

Từ các công thức (1), (2), (3) cho thấy, số hiệu chỉnh khi chuyển đổi các hệ triều phụ thuộc vào giá trị độ vĩ của các điểm. Từ Bảng 3 cho thấy, các giá trị hiệu chỉnh khi chuyển đổi giữa các hệ triều không lớn, trong vùng thực nghiệm, giá trị hiệu chỉnh lớn nhất là 0.043 mgal, giá trị hiệu chỉnh nhỏ nhất là -0.010 mgal.

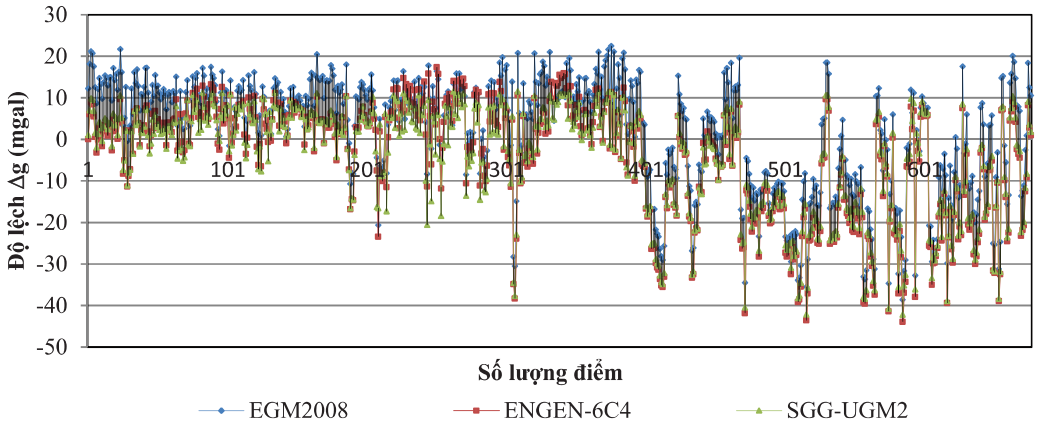
Giá trị độ lệch giữa trọng lực chi tiết và mô hình sau khi đã được đưa về hệ triều 0 tính theo công thức (4) được thể hiện ở Bảng 4.

***Bảng 4. Độ lệch giữa trọng lực chi tiết và mô hình***

| STT | Giá trị độ lệch giữa trọng lực chi tiết và mô hình trong hệ triều 0 (mgal) | | |
|---|---|---|---|
| | EGM2008 | EIGEN-6C4 | SGG-UGM-2 |
| 1 | 12.250 | 0.044 | 1.049 |
| 2 | 18.226 | 6.040 | 6.986 |
| 3 | 21.213 | 8.929 | 9.891 |
| 4 | 20.745 | 8.501 | 9.580 |
| 5 | 23.556 | 11.352 | 12.762 |
| 6 | 17.606 | 5.510 | 6.886 |
| 7 | 12.556 | 0.566 | 1.649 |
| 8 | 8.717 | -3.167 | -1.962 |
| 9 | 12.104 | -0.053 | 1.279 |
| 10 | 11.296 | -0.868 | 0.678 |
| 11 | 14.754 | 2.750 | 4.204 |
| 12 | 13.220 | 1.417 | 2.687 |
| 13 | 9.798 | -1.692 | -0.347 |

| STT | Giá trị độ lệch giữa trọng lực chi tiết và mô hình trong hệ triều 0 (mgal) | | |
|---|---|---|---|
| | EGM2008 | EIGEN-6C4 | SGG-UGM-2 |
| 14 | 13.758 | 2.019 | 3.123 |
| 15 | 15.414 | 3.547 | 5.087 |
| 16 | 14.795 | 2.823 | 4.661 |
| … | … | … | … |
| 665 | 13.006 | 0.904 | 2.453 |
| 666 | 14.912 | 2.955 | 3.929 |
| 667 | 15.003 | 3.070 | 3.881 |
| 668 | 9.380 | -2.646 | -1.588 |
| 669 | 17.199 | 4.936 | 6.242 |
| 670 | 14.249 | 2.003 | 3.376 |
| 671 | 11.390 | -0.769 | 0.493 |
| 672 | 15.756 | 4.183 | 5.126 |
| 673 | 11.923 | 0.104 | 1.086 |
| 674 | 16.285 | 4.075 | 5.086 |
| 675 | 21.767 | 9.708 | 10.590 |
| 676 | 16.189 | 4.348 | 5.312 |
| 677 | 3.314 | -8.279 | -7.299 |

Số liệu ở Bảng 4 được mô hình hóa dưới dạng đồ thị Hình 2.




***Hình 2: Độ lệch trọng lực giữa đo đạc và mô hình***

Kết quả ở Bảng 4 và Hình 2 cho thấy, khoảng giao động Δg của mô hình EGM2008 là từ -38.543 mgal đến +22.528 mgal, của mô hình EIGEN-6C4 là từ -43.904 mgal đến +17.375 mgal, của mô hình SGG-UGM-2 là từ -42.188 mgal đến +11.565 mgal.

Độ lệch trọng lực trung bình tính theo công thức (5) có giá trị như sau:

$$\Delta g_{aver}^{EGM2008} = \frac{1}{677}\sum_{i=1}^{677}\Delta g^{i} = +2.453 \ (mgal)$$

$$\Delta g_{aver}^{EIGEN-6C4} = \frac{1}{677}\sum_{i=1}^{677}\Delta g^{i} = -4.193 \ (mgal)$$

$$\Delta g_{aver}^{SGG-UGM-2} = \frac{1}{677}\sum_{i=1}^{677}\Delta g^{i} = -4.380 \ (mgal)$$

Sai khác giữa Δg và độ lệch trọng lực trung bình của các điểm được tính theo công thức (6), sai số trung phương được xác định theo công thức (7):

$$m^{EGM\ 2008} = \pm\sqrt{\frac{[\delta g \delta g]}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{120308.824}{677-1}} = \pm 13.341 \quad (\text{mgal})$$

$$m^{EIGEN-6C4} = \pm\sqrt{\frac{[\delta g \delta g]}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{120275.682}{677-1}} = \pm 13.339 \quad (\text{mgal})$$

$$m^{SGG-UGM-2} = \pm\sqrt{\frac{[\delta g \delta g]}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{111812.788}{677-1}} = \pm 12.861 \quad (\text{mgal})$$

Nhận thấy, giá trị δg của các điểm trọng lực chi tiết khi tính toán theo mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 đều nằm trong khoảng từ -3 m đến +3 m nên không có điểm nào bị loại bỏ. Giá trị sai số trung phương của mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 lần lượt là ±13.341 mgal, ±13.339 mgal và ±12.861 mgal tại khu vực thực nghiệm. Các giá trị sai số trung phương này chênh nhau không nhiều nhưng phần nào cũng thể hiện xu thế của mô hình, đó là mô hình EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 là thế hệ mô hình mới hơn mô hình EGM2008, được xây dựng dựa trên số liệu của mô hình EGM2008 có bổ sung thêm dữ liệu của vệ tinh.

Khi nghiên cứu độ chính xác của các mô hình trường trọng lực Trái đất tại khu vực miền Bắc Việt Nam, trong [7] đã chỉ ra rằng, sai số trung phương của mô hình EGM2008 khi sử dụng 12 điểm trọng lực hạng I thì giá trị lần lượt là ±22.6 mgal. Như vậy, giá trị sai số trung phương của các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 trong nghiên cứu này đều nhỏ hơn giá trị sai số trung phương của các mô hình trong nghiên cứu [7]. Có thể thấy, khi đánh giá độ chính xác của mô hình EGM2008, số lượng điểm trọng lực được sử dụng trong nghiên cứu [7] ít (chỉ có 12 điểm), phân bố trên không gian lớn (toàn miền Bắc Việt Nam). Trong nghiên cứu này, số lượng điểm trọng lực chi tiết được sử dụng để đánh giá độ chính xác của các mô hình có mật độ đày đặc hơn (677 điểm), phân bố trong không gian hẹp hơn (tập trung ở khu vực đồng bằng Sông Hồng) vì vậy có thể nói độ chính xác của mô hình EGM2008 trong nghiên cứu này có độ tin cậy cao hơn.

## 5. Kết luận và kiến nghị

Qua quá trình nghiên cứu, một số nhận xét được rút ra như sau:

- Số liệu trọng lực chi tiết của 677 điểm được sử dụng để tính toán độ chính xác mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 tại khu vực đồng bằng Sông Hồng thuộc miền Bắc của Việt Nam. Quá trình xác định độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu được thực hiện theo các bước chặt chẽ, rõ ràng. Giá trị trọng lực chi tiết và giá trị tương ứng khai thác từ các mô hình được chuẩn hóa trong cùng 1 hệ triều. Số hiệu chỉnh để chuyển từ hệ triều trung bình, hệ triều tự do sang hệ triều 0 có giá trị lớn nhất là 0.043 mgal, nhỏ nhất là -0.010 mgal. Giá trị hiệu chỉnh này đáng kể so với độ chính xác của mô hình vì vậy nó không có ý nghĩa về mặt thực tiễn nhưng nó có ý nghĩa lớn về mặt lý thuyết. Khi thực hiện xác định độ chính xác của mô hình trường trọng lực toàn cầu thì cần phải thống nhất trong cùng 1 hệ

triều các giá trị trọng lực của các điểm chi tiết và giá trị trọng lực tương ứng của nó từ mô hình.

- Tại khu vực thực nghiệm, độ chính xác của các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 có thể coi là tương đương nhau, cỡ khoảng 13 mgal. Đây là thông tin quan trọng cho các nhà khoa học và các nhà quản lý khi ứng dụng các mô hình này trong thực tiễn.

- Trong khuôn khổ của nghiên cứu này, các mô hình EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 được đánh giá độ chính xác tại khu vực đồng bằng Sông Hồng. Vậy, cần có những đánh giá tiếp theo về độ chính xác của các mô hình đối với các khu vực khác trên lãnh thổ Việt Nam để từ đó có cơ sở sử dụng giá trị trọng lực của mô hình này trong thực tiễn.

- Các bước đánh giá độ chính xác của mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-2 dựa trên số liệu trọng lực chi tiết trong nghiên cứu này hoàn toàn có thể áp dụng được đối với các khu vực khác với nguồn dữ liệu tương tự.

**Lời cảm ơn:** Trân trọng cảm ơn Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ đã cung cấp số liệu cho nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đặng Nam Chinh, Bùi Thị Hồng Thắm (2022). *Giáo trình Xử lý số liệu trắc địa nâng cao*. Nhà xuất bản Lao động.

[2]. Đặng Nam Chinh, Nguyễn Xuân Bắc, Bùi Thị Hồng Thắm, Trần Thị Thu Trang, Ninh Thị Kim Anh (2022). *Giáo trình Lý thuyết sai số*. Nxb. Lao động, ISBN: 9786043860672.

[3]. Diego Alejandro Pinon (2016). *Development of a precise gravimetric geoid model for Argentina*. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Geospatial Sciences, School of Mathematical and Geospatial Sciences, College of Science Engineering and Health, RMIT University.

[4]. Hà Minh Hòa (2015). *Nghiên cứu đánh giá các mặt chuẩn mực nước biển (mặt "0" độ sâu, trung bình và cao nhất) theo các phương pháp trắc địa, hải văn và kiến tạo hiện đại phục vụ xây dựng các công trình và quy hoạch đới bờ Việt Nam trong xu thế biến đổi khí hậu.* Chương trình KH&CN trọng điểm cấp Nhà nước. Mã số: KC-09/11-15.

[5]. Lê Minh, Nguyễn Tuấn Anh (2019). *Đánh giá dị thường trọng lực của mô hình trọng trường toàn cầu bằng dữ liệu dị thường trọng lực đo trực tiếp trên biển Việt Nam*. Tạp chí Khoa học Đo dạc và Bản đồ. Vol. 41. Doi: 10.54491/jgac.2019.41.289.

[6]. Martin Ekman (1989). *Impacts of geodynamic phenomena on systems for height and gravity*. Bulletin Géodésique. Vol. 63. p. 281 - 296. Doi: 10.1007/BF02520477.

[7]. Ngô Thị Mến Thương (2019). *Đánh giá chất lượng mô hình trọng trường toàn cầu bằng số liệu trọng lực mặt đất khu vực miền Bắc Việt Nam*. Đề tài NCKH cấp cơ sở. Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, Mã số: 13.01.19.O.06.

[8]. Nguyễn Văn Sáng (2015). *Khảo sát độ chính xác của một số mô hình trường trọng lực trên Biển Đông.* Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất. Vol. 55. p. 60 - 65.

[9]. Nguyễn Văn Sáng (2020). *Đánh giá độ chính xác của mô hình dị thường trọng lực toàn cầu xác định từ độ cao vệ tinh trên Biển Đông*. http://vinamin.vn/modules.php?name=Content&op=details&mid=10273.

[10]. Nur Sofia Erina Ariff, Adolfientje Kasenda Olesen, Norehan Md Yaacob, Saiful Aman Hj Sulaiman (2021). *Evaluation of gravity anomaly and geoid height derived from various global geopotential model.* 2021 IEEE 12th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC). p. 34 - 39. Doi: 10.1109/ICSGRC53186.2021.9515205.

[11]. Patroba Achola ODERA (2020). *Evaluation of the recent high-degree combined global gravity-field models for geoid modelling over Kenya*. Geodesy and Cartography. Vol. 46. p. 48 - 54. Doi: https://doi.org/10.3846/gac.2020.10453.

[12]. Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ (2012). *Báo cáo tổng kết dự án "Xây dựng và hoàn chỉnh hệ thống trọng lực nhà nước"*. Dự án Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[13]. Yihao Wu, Xiufeng He, Zhicai Luo, Hongkai Shi (2021). *An assessment of recently released high-degree global geopotential models based on heterogeneous geodetic and ocean data*. Frontiers in Earth Science. Vol. 9. Doi: 10.3389/feart.2021.749611.

[14]. Yunus Aytaç Akdoğan, Hasan Yildiz, Gonca Okay Ahi (2019). *Evaluation of global gravity models from absolute gravity and vertical gravity gradient measurements in Turkey*. IOP Publishing, Measurement Science and Technology. Vol. 30, Number 11. Doi: https://doi.org/10.1088/1361-6501/ab2f1c.

[15]. http://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime.

BBT nhận bài: 29/5/2023; Phản biện xong: 08/6/2023; Chấp nhận đăng: 29/6/2023