



## Khảo sát độ chính xác của một số mô hình trường trọng lực trên Biển Đông

Nguyễn Văn Sáng\*

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 22/6/2016

Chấp nhận 25/7/2016

Đăng online 30/8/2016

Từ khóa:

Mô hình trường trọng lực

Trái đất

Dị thường trọng lực

Trọng lực biển

### TÓM TẮT

Hiện nay tồn tại một số mô hình trường trọng lực toàn cầu. Từ các mô hình này có thể tính được dị thường trọng lực, dị thường độ cao, độ lệch dây dọi và thể trọng trường của các điểm. Vấn đề đặt ra là trên khu vực Biển Đông, mô hình nào là chính xác nhất? Để giải quyết vấn đề này, bài báo đã giới thiệu 4 mô hình trường trọng lực toàn cầu là EGM96, EGM2008, GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I, GOCE-DIR4 và cách tính dị thường trọng lực từ các hệ số điều hòa của các mô hình này. Các kết quả tính dị thường trọng lực từ các mô hình này được so sánh với 28 158 số liệu đo trọng lực biển trực tiếp. Kết quả so sánh cho thấy mô hình EGM2008 là chính xác nhất trên Biển Đông. Dị thường trọng lực tính từ mô hình này có độ lệch chuẩn 4,9 mgal. Tuy nhiên, trong độ lệch dị thường trọng lực vẫn còn chứa sai số hệ thống.

© 2016 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

### 1. Đặt vấn đề

Xác định hình dáng, kích thước và thể trọng trường của Trái đất là bài toán quan trọng của Trắc địa cao cấp. Thể trọng trường của Trái đất là một hàm tích phân ba lớp và phụ thuộc vào mật độ vật chất trong lòng đất và không thể xác định được một cách chặt chẽ được. Để khắc phục điều này, Laplace đã đề xuất phương pháp triển khai thể trọng trường vào chuỗi hàm điều hòa cầu (Bernhard Hofmann, Wellenhof Helmut Moritz. 2005). Theo phương pháp này thì thể trọng trường, dị thường trọng lực, dị thường độ cao hay độ lệch dây dọi của một điểm sẽ được xác định

nếu biết các hệ số của hàm điều hòa cầu  $S_{n,m}$  và  $C_{n,m}$ . Từ đó, các nhà trắc địa trên thế giới tập trung đi xác định các hệ số của hàm điều hòa cầu. Mỗi bộ hệ số khác nhau cho ta một mô hình trường trọng lực của Trái đất khác nhau. Gần đây, cùng với sự phát triển khoa học và công nghệ, đặc biệt là sự xuất hiện của đo cao vệ tinh (Altimetry), các chương trình vệ tinh trọng lực như CHAMP, GRACE, GOCE, nhiều mô hình thể trọng trường đã được xây dựng. Trong số đó, có thể kể tên các mô hình như: EGM96, EGM2008, GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I, GOCE-DIR4, ...

Các nghiên cứu gần đây cho thấy mô hình EGM2008 tốt hơn nhiều mô hình EGM96; các mô hình được thành lập dựa vào số liệu của vệ tinh trọng lực GOCE có độ chính xác tốt hơn

\*Tác giả liên hệ.

E-mail: [nguyenvansang@humg.edu.vn](mailto:nguyenvansang@humg.edu.vn)

mô hình EGM2008 ở những vùng không có số liệu đo trực tiếp.

Trên lãnh thổ Việt Nam, kết quả nghiên cứu cho thấy dị thường độ cao xác định từ mô hình GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I đến cấp và bậc 240 có độ chính xác không thua kém dị thường độ cao xác định từ mô hình EGM2008 (Nguyễn Văn Sáng, 2013). Vấn đề đặt ra là trên Biển Đông, mô hình trường trọng lực nào chính xác nhất, phù hợp nhất? Bài báo sẽ trả lời câu hỏi này bằng cách tính toán dị thường trọng lực từ các mô hình và so sánh chúng với kết quả đo trọng lực trực tiếp.

## 2. Một số mô hình trường trọng lực

### 2.1. Mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM96

EGM96 (Earth Gravitational Model 1996) là mô hình trường trọng lực toàn cầu do NASA (National Aeronautics and Space Administration) và DMA (Defense Mapping Agency) xây dựng năm 1996. Mô hình có các hệ số hàm điều hòa cầu đến cấp và bậc 360. Số liệu đầu vào có sử dụng số liệu của vệ tinh đo cao GEOSAT. Các tham số cơ bản của mô hình này là:

$$GM = 3986004.415E+08 \text{ m}^3/\text{s}^2,$$

$$a = 6378136.3 \text{ m}.$$

Các hệ số điều hòa của mô hình EGM96 được chứa trong file `egm96_to360.ascii` bao gồm 65 338 dòng, mỗi dòng có 6 thành phần:  $(n, m, C_{nm}, S_{nm}, \sigma C_{nm}, \sigma S_{nm})$  ở dạng format số liệu (2I4, 2E20.12, 2E16.8). Trong đó  $n, m$  là cấp và bậc của hệ số điều hòa;  $C_{nm}, S_{nm}$  là giá trị của các hệ số điều hòa;  $\sigma C_{nm}, \sigma S_{nm}$  là độ chính xác của các hệ số điều hòa ([http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/egm96/general\\_info/](http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/egm96/general_info/))

### 2.2. Mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008

EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008) là mô hình trường trọng lực toàn cầu do NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) xây dựng năm 2008. Mô hình có các hệ số điều hòa đến cấp và bậc 2160 mở rộng

đến 2190. Trong các loại số liệu được sử dụng để xây dựng mô hình này có số liệu của vệ tinh trọng lực GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), số liệu địa hình mặt biển động học DOT (Dynamic Ocean Topography) và số liệu đo cao vệ tinh của nhiều loại vệ tinh đo cao. Các hằng số cơ bản của mô hình này gồm:

Bán trục lớn của ellipsoid WGS 84,  $a = 6378137.00 \text{ m}$ ;

Độ dẹt của ellipsoid WGS 84,  $f = 1/298.257223563$ ;

Hằng số trọng trường trái đất,  $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ ;

Tốc độ góc quay của Trái đất,  $\omega = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$ .

Các hệ số điều hòa của mô hình EGM2008 được lưu trong file `EGM2008_TideFree` với 2 401 333 dòng, mỗi dòng có 6 thành phần  $(n, m, C_{nm}, S_{nm}, \sigma C_{nm}, \sigma S_{nm})$  và có định dạng (2I5, 2D25.15, 2D20.10) (<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>).

### 2.3. Mô hình trường trọng lực toàn cầu GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I

GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I là kết quả sản phẩm cấp 2 của vệ tinh gradient trọng lực GOCE, là mô hình trường trọng lực toàn cầu được xây dựng trên cơ sở sử dụng số liệu của gradient trọng lực vệ tinh GOCE giai đoạn từ 01-11-2009 đến 30-06-2010 (Bruinsma S.L., et al, 2010). Bậc lớn nhất của hàm điều hòa là 240. Mô hình được công bố bởi ESA. Các thông số cơ bản của mô hình:

Hằng số trọng trường trái đất,  $GM = 0,3986004415E+15 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ;

Bán trục lớn của ellipsoid trái đất,  $a = 0,6378136460E+07 \text{ m}$ .

Các hệ số điều hòa được trình bày trong tệp `EGM_GOCE.txt` bao gồm 29 161 dòng, mỗi dòng có 6 thành phần  $(n, m, C_{nm}, S_{nm}, \sigma C_{nm}, \sigma S_{nm})$  có định dạng (2I5, 2D19.12, 2D11.8).

### 2.4. Mô hình trường trọng lực toàn cầu GOCE-DIR4

GOCE-DIR4 cũng là sản phẩm cấp 2 của vệ tinh trọng lực GOCE, là mô hình trường trọng lực toàn cầu được xây dựng trên cơ sở số liệu của GOCE giai đoạn từ 01-11-2009 đến 01-8-2012. Bậc cao nhất của hàm điều hòa cầu là 260. Các thông số cơ bản của mô hình:

Hằng số trọng trường trái đất,  $GM = 0,3986004415E+15 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ;

Bán trục lớn của ellipsoid trái đất,  $a = 0,6378136460E+07 \text{ m}$ .

Các hệ số điều hòa được trình bày trong tệp Goce\_Dir4.txt bao gồm 34 191 dòng, mỗi dòng có 6 thành phần ( $n, m, C_{nm}, S_{nm}, \sigma C_{nm}, \sigma S_{nm}$ ) có định dạng (2I5, 2D19.15, 2D11.8) (<http://www.esa.int/SPECIALS/GOCE/index.html>).

### 3. Xác định dị thường trọng lực từ các mô hình trường trọng lực toàn cầu

Dị thường trọng lực của các điểm được xác định từ các hệ số điều hòa của mô hình trường trọng lực toàn cầu theo phương trình:

$$\Delta g = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=2}^N \left( \frac{a}{r} \right)^n (n-1) \quad (1)$$

$$\sum_{m=0}^n (C_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) \bar{P}_{n,m}(\sin \phi)$$

trong đó:

GM - hằng số trọng trường của Trái đất;

r - khoảng cách từ tâm trái đất đến điểm xét;

a - bán trục lớn của ellipsoid trái đất;

$\phi, \lambda$  - tọa độ của điểm xét;

$C_{n,m}, S_{n,m}$  - hệ số điều hòa cấp n, bậc m;

$\bar{P}_{n,m}(\sin \phi)$  - hàm Legendre chuẩn hóa, được tính bằng phương trình (Bernhard Hofmann, Wellenhof Helmut Moritz. 2005):

$$\bar{P}_{nm}(\sin \phi) = \left[ \frac{(n-m)!(2n+1)k}{(n+m)!} \right]^{1/2} P_{nm}(\sin \phi), \quad (3)$$

$$P_{nm}(\sin \phi) = (\cos \phi)^m \frac{d^m}{d(\sin \phi)^m} [P_n(\sin \phi)], \quad (4)$$

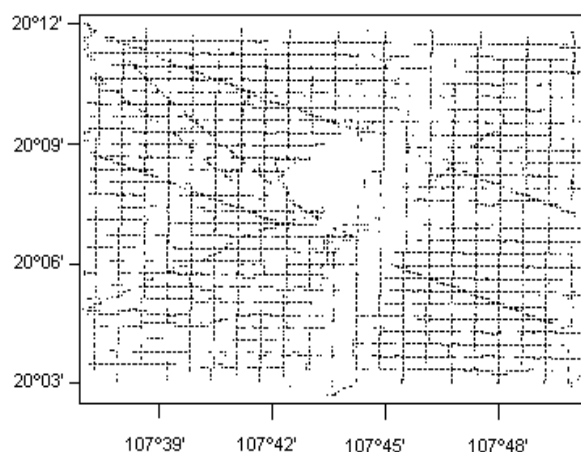
Đa thức Legendre  $P_n(\sin \phi)$  được tính theo phương trình:

$$P_n(\sin \phi) = \frac{1}{2^n n!} \frac{d^n}{d(\sin \phi)^n} (\sin^2 \phi - 1)^n, \quad (5)$$

### 4. So sánh kết quả tính dị thường trọng lực từ các mô hình với số liệu đo trọng lực trực tiếp

#### 4.1. Số liệu đo trọng lực trực tiếp

Số liệu đo trọng lực trực tiếp được sử dụng ở đây là số liệu của 28 158 điểm đo trọng lực bằng tàu trên vùng biển xung quanh đảo Bạch Long Vĩ, thuộc Biển Đông. Các điểm đo tạo thành các tuyến đo dọc, ngang hoặc xiên. Số liệu này được đo trực tiếp bằng máy đo trọng lực ZLS Dynamic Gravity Meter D06 do hãng ZLS Corporation sản xuất năm 2005, được thực hiện bởi Phân viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ phía Nam - Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ - Bộ Tài nguyên và Môi trường vào khoảng thời điểm từ tháng 8 đến tháng 12 năm 2007 (Nguyễn Phúc Hồng, 2013). Tọa độ của các điểm đo đã được tính chuyển sang hệ tọa độ phù hợp với các mô hình trường trọng lực được sử dụng. Độ chính xác đo trọng lực trực tiếp đạt 1.9 mal.



Hình 1. Sơ đồ các điểm đo trọng lực khu vực xung quanh đảo Bạch Long Vĩ

Để đánh giá độ chính xác của các mô hình nêu trên đối với khu vực Biển Đông, chúng tôi tiến hành tính toán dị thường trọng lực từ mô hình theo phương trình (1), bằng chương trình GeoEGM (Rene Forsberg, C.C.

Tscherning, 2008) và so sánh với số liệu đo trọng lực trực tiếp.

Kết quả so sánh được trình bày trên Bảng 1. Trong đó:  $\delta g$  là chênh lệch dị thường trọng lực giữa kết quả tính từ mô hình trường trọng lực và số liệu đo trực tiếp;  $\delta g_{\max}$  là chênh lệch lớn nhất;  $\delta g_{\min}$  là chênh lệch nhỏ nhất;  $\delta g_{\text{mean}}$  là chênh lệch trung bình được tính bằng phương trình:

$$\delta g_{\text{mean}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta g_i, \quad (6)$$

$n$  là số điểm so sánh ( $n = 28\,158$ );

$\sigma_{\delta g}$  là độ lệch chuẩn, được tính bằng phương trình:

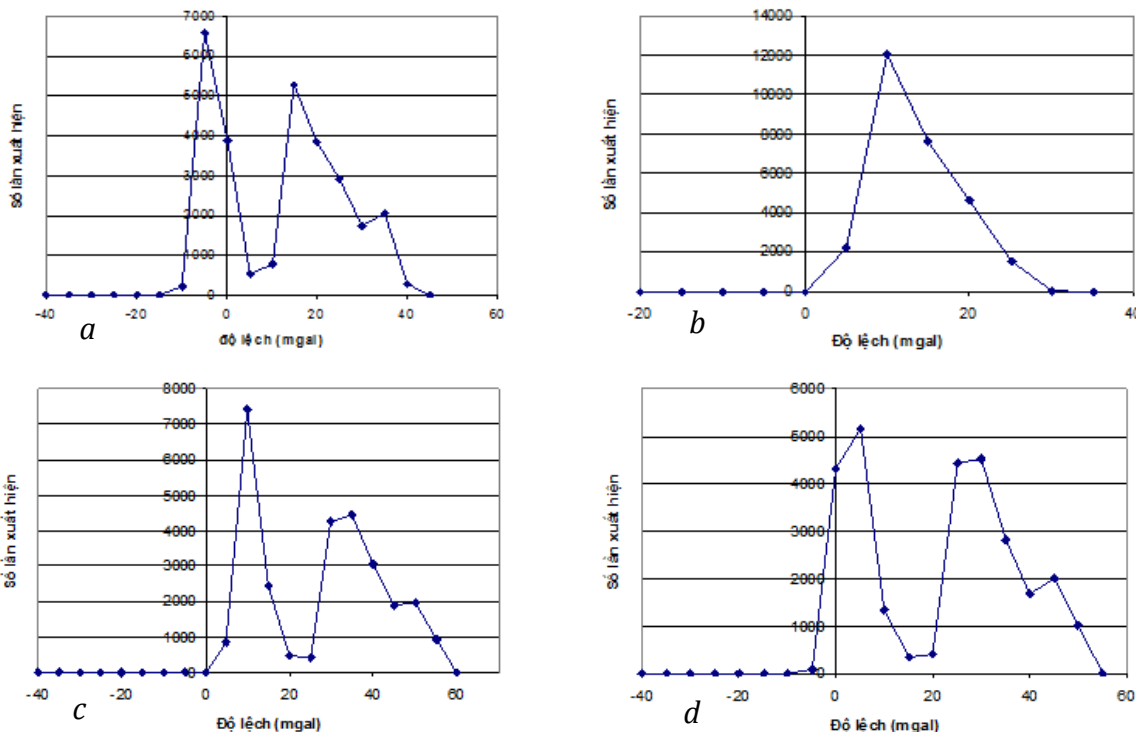
$$\sigma_{\delta g} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta g_i - \delta g_{\text{mean}})^2}. \quad (7)$$

Hình 2 là biểu đồ tần suất xuất hiện của độ lệch dị thường trọng lực tính theo mô hình trường trọng lực toàn cầu và số liệu đo trực tiếp. Từ kết quả so sánh ở Bảng 1 và Hình 2 ta thấy:

Độ lệch dị thường trọng lực của mô hình EGM96, GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I và GOCE-DIR4 so với số liệu đo trực tiếp không tuân theo luật phân bố chuẩn của sai số ngẫu nhiên. Độ lệch của mô hình EGM2008 tuân theo luật phân bố chuẩn nhưng đỉnh của đồ thị lệch khỏi trục tung khoảng 14 mgal.

Bảng 1. Kết quả so sánh dị thường trọng lực tính từ các mô hình trường trọng lực toàn cầu với số liệu đo trực tiếp

Mô hình	$\delta g_{\max}$ (mgal)	$\delta g_{\min}$ (mgal)	$\delta g_{\text{mean}}$ (mgal)	$\sigma_{\delta g}$ (mgal)
EGM96	41.5	-13.1	12.1	13.6
EGM2008	32.7	-1.9	13.4	4.9
GO_CONS_EGM_DIR_2I	58.1	-1.1	27.5	14.7
GOCE-DIR4	53.8	-7.9	21.5	15.7



Hình 2. Biểu đồ tần suất xuất hiện của độ lệch dị thường trọng lực của các mô hình so với số liệu đo trực tiếp: a) Mô hình EGM96; b) Mô hình EGM2008; c) Mô hình GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I; d) Mô hình GOCE-DIR4

Cả bốn mô hình đều có giá trị độ lệch trung bình ( $\delta g_{\text{mean}}$ ) lớn chứng tỏ giữa kết quả tính từ mô hình trường trọng lực và kết quả đo trực tiếp vẫn còn chứa sai số hệ thống. Cần nghiên cứu tìm ra sai số hệ thống này và có biện pháp để hiệu chỉnh trước khi sử dụng kết hợp hai loại số liệu này.

Kết quả so sánh của mô hình EGM2008 có độ lệch chuẩn nhỏ nhất (4,9 mgal) chứng tỏ mô hình EGM2008 trên Biển Đông phù hợp nhất, chính xác nhất, phù hợp hơn cả các mô hình có sử dụng số liệu trọng lực vệ tinh GOCE. Điều này được lý giải là do mô hình EGM2008 đã sử dụng số liệu đo cao vệ tinh của nhiều loại vệ tinh đo cao nên mô hình này rất phù hợp trên biển nói chung và Biển Đông nói riêng.

Hai mô hình trường trọng lực được xây dựng từ số liệu của vệ tinh trọng lực GOCE là GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I và GOCE-DIR4 có độ chính xác tương đương nhau, thể hiện ở độ lệch chuẩn tương ứng là 14.7 mgal và 15.7 mgal.

## 5. Kết luận

Giữa dị thường trọng lực tính từ mô hình trường trọng lực toàn cầu và kết quả đo trực tiếp vẫn còn chứa sai số hệ thống. Cần loại bỏ sai số này trước khi sử dụng kết hợp hai loại số liệu này.

Độ lệch dị thường trọng lực của mô hình EGM96, GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I và GOCE-DIR4 so với số liệu đo trực tiếp không tuân theo luật phân bố chuẩn của sai số ngẫu nhiên.

Trên Biển Đông, mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM 2008 là mô hình chính xác nhất, phù hợp nhất, dị thường trọng lực tính từ mô hình này có độ lệch chuẩn 4,9 mgal.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

Bruinsma, S. L., Marty, J. C., Balmino, G., Biancale, R., Foerste, C., Abrikosov, O., and Neumayer, H. (2010). GOCE Gravity Field Recovery by Means of the Direct Numerical Method. ESA Living Planet Symposium, Bergen, Norway.

Forsberg, R., and Tscherning, C. C. (2008). Geodetic Gravity Field Modelling Programs. National Space Institute and Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark.

Hofmann, B., and Moritz, W. H. (2005). Physical Geodesy, ISBN-10 3-211-23584-1, Springer, NewYork.

[http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/egm96/general\\_info/](http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/egm96/general_info/)

<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>

<http://www.esa.int/SPECIALS/GOCE/index.html>

Nguyễn Phúc Hồng (2013). Nghiên cứu sử dụng máy đo trọng lực biển Micro-G Lacoste Air-sea System II và khả năng ứng dụng số liệu đo trọng lực biển ở Việt Nam. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Đại học Mỏ - Địa Chất, Hà Nội.

Nguyễn Văn Sáng (2013). Xác định dị thường trọng lực và dị thường độ cao từ kết quả của vệ tinh Gradient trọng lực GOCE tại Việt Nam. Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất, 42:83-87.

## **ABSTRACT**

### **Consideration of accuracy of some Earth Gravitational Models in the East Sea**

**Sang Van Nguyen**

*Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

There are several earth gravitational models (EGM). Gravity anomalies, vertical deflections, and gravity potential can be computed from these models. The question arises which model is the most accurate model in East sea. To answer this question, the paper presents four earth gravitational models: EGM96; EGM2008; GO\_CONS\_EGM\_DIR\_2I; GOCE-DIR4. The computational method of the gravity anomalies is achieved from the gravitational coefficients of the spherical harmonic function. These computed results of the gravity anomalies from the earth gravitational models are compared with the marine gravity observations. The results of comparison show that the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) is the most accurate model in the East Sea. The computed gravity anomalies from this model have standard deviation of 4.9mgal. However, the gravity deviations contain the system errors.