

XÁC ĐỊNH ĐỘ SÂU ĐÁY BIỂN TỪ DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC

ĐINH XUÂN MẠNH⁽¹⁾, NGUYỄN VĂN SÁNG⁽²⁾

⁽¹⁾Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

⁽²⁾Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt:

Mục đích của nghiên cứu này là xác định được độ sâu địa hình đáy biển từ dị thường trọng lực có nguồn gốc từ đo cao vệ tinh. Mối liên hệ giữa độ sâu đáy biển và dị thường trọng lực đã được nghiên cứu; Tương phản mật độ vật chất phù hợp được xác định bằng phương pháp lặp; Dị thường trọng lực bước sóng dài được nội suy bằng phương pháp Collocation. Trong phần thực nghiệm, mô hình DTU21GRAV được đánh giá độ chính xác bằng cách so sánh với trọng lực đo trực tiếp, đạt $\pm 4,509$ mGal; chín phương án với tương phản mật độ khác nhau đã được tính lặp. Sau khi làm khớp với dị thường trọng lực đo trực tiếp, dị thường trọng lực từ mô hình DTU21GRAV đã được sử dụng để tính ra độ sâu đáy biển trên khu vực nghiên cứu. Kết quả thực nghiệm cho thấy: tương phản mật độ phù hợp nhất trên khu vực nghiên cứu là $1,29$ g/cm³. Độ chính xác của độ sâu trọng lực trên khu vực nghiên cứu đạt $\pm 70,833$ m. Độ chính xác này cao hơn của mô hình độ sâu toàn cầu DTU18BAT ($\pm 181,864$ m) và GEBCO2022 ($\pm 143,232$ m).

Từ khóa: Dị thường trọng lực; độ sâu đáy biển; Biển Đông.

1. Giới thiệu

Địa hình đáy biển đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Trên toàn cầu, diện tích bề mặt đại dương vào khoảng 362 triệu km² [5], chiếm khoảng 71% bề mặt trái đất. Tuy nhiên, mới chỉ có khoảng 18% tổng địa hình đáy biển được lập bản đồ bằng dữ liệu đo độ sâu từ tàu. Do đó, việc nghiên cứu xác định độ sâu đáy biển vẫn là vấn đề thời sự.

Hiện nay, có các phương pháp đo độ sâu đáy biển như: Đo sâu hồi âm đơn tia và đa tia. Phương pháp này được sử dụng phổ biến hiện nay, có độ chính xác cao, tuy nhiên, chi phí đo đạc tốt kém và phải tiếp cận trực tiếp với khu vực khảo sát; Công nghệ LiDAR là công nghệ

sử dụng các loại tia laser để khảo sát đối tượng từ xa và có thể xác định độ sâu địa hình đáy biển tới độ sâu 70 m trong điều kiện nước trong; Sử dụng của các kênh phổ của ảnh viễn thám quang học có thể xác định độ sâu lên đến 25-30 m... Như vậy, các phương pháp trên đều có những ưu điểm và nhược điểm. Để đo đạc thành lập bản đồ đáy biển phủ chòm toàn bộ Biển Đông bằng các phương pháp trực tiếp là rất khó khăn và tốn kém, đặc biệt, ở những vùng biển không thể tiếp cận trực tiếp để đo đạc được. Do đó, việc nghiên cứu phương pháp gián tiếp xác định độ sâu đáy biển là cần thiết.

Đã có một số nghiên cứu về xác định độ sâu

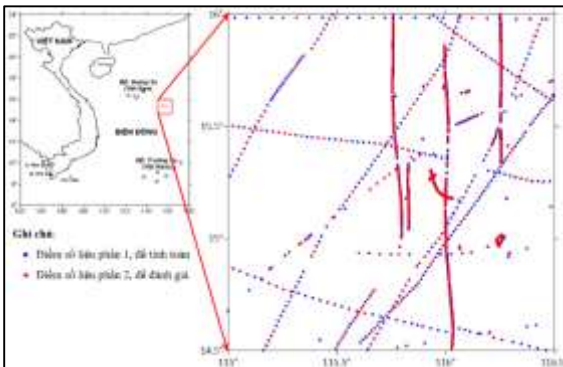
đáy biển gián tiếp từ dữ thường trọng lực như: Xueshuang, Xiaoyun, Running và các cộng sự năm 2017 đã nghiên cứu thiết lập mô hình dữ thường trọng lực bước sóng dài nhằm xác định độ sâu [10]. Trong [8], các tác giả đã xác định được độ sâu trên khu vực giữa Biển Đông từ dữ thường trọng lực của mô hình DTU17GRAV kết hợp với số liệu đo trực tiếp, đạt độ chính xác $\pm 84,0$ m.

Bài báo này tập trung nghiên cứu ứng dụng phương pháp xác định gián tiếp độ sâu đáy biển từ dữ thường trọng lực của mô hình DTU21GRAV để xác định độ sâu cho khu vực Đông - Nam Quần đảo Hoàng Sa của Việt Nam.

2. Khu vực và số liệu nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu nằm ở phía Đông – Nam Quần đảo Hoàng Sa, được giới hạn bởi: độ vĩ từ $14,5^{\circ}$ đến 16° ; độ kinh từ 115° đến $116,5^{\circ}$ (Hình 1). Đây là vùng biển thuộc trũng sâu của Biển Đông. Độ sâu lớn nhất gần -5000 m. Địa hình đáy biển có một số núi ngầm với độ sâu đỉnh núi chỉ khoảng -300 m. Độ sâu trung bình khoảng hơn -4000 m.



Hình 1: Khu vực nghiên cứu và số liệu đo sâu trực tiếp

2.2. Số liệu nghiên cứu

a) Số liệu dữ thường trọng lực xác định từ đo cao vệ tinh DTU21GRAV

DTU21GRAV là mô hình dữ thường trọng lực toàn cầu xác định từ số liệu đo cao vệ tinh do Đại học kỹ thuật Đan Mạch xây dựng. Đây là mô hình được nâng cấp từ mô hình DTU17GRAV, có bổ sung số liệu vệ tinh SARAL/AltiKa mới ở chế độ nhiệm vụ trắc địa và vệ tinh Cryosat-2. Mô hình này ở dạng lưới ô vuông với kích thước mắt lưới là $1' \times 1'$, tọa độ trong hệ WGS-84. Số liệu này lấy rộng ra mỗi bên khoảng hơn $0,2$ độ so với giới hạn khu vực nghiên cứu. Thống kê vắn tắt về số liệu này như sau: Tổng số điểm là 12 996 điểm; Giá trị lớn nhất là $137,573$ mGal; Giá trị nhỏ nhất là $-43,770$ mGal; Giá trị trung bình là $6,84$ mGal.

b) Số liệu đo trực tiếp

Trong nghiên cứu này đã sử dụng các số liệu đo sâu và đo trọng lực trực tiếp do Tổ chức trọng lực quốc tế (BGI) cung cấp. Độ chính xác của dữ thường trọng lực là ± 1.0 mGal. Độ chính xác đo sâu đạt tiêu chuẩn theo quy định của Tổ chức thủy đạc quốc tế (IHO). Trên khu vực nghiên cứu có tổng số 4298 điểm. Tọa độ các điểm trong hệ tọa độ WGS-84, độ sâu so với mặt biển trung bình toàn cầu. Các điểm đo được phân bố như trên Hình 1.

Để phục vụ mục đích nghiên cứu, 4298 điểm đo trực tiếp được chia làm 2 phần: Phần 1 dùng để tính toán, gồm 3224 điểm, chiếm khoảng 75%; Phần 2 dùng để đánh giá, gồm 1074 điểm, chiếm khoảng 25% (xem Hình 1).

3. Phương pháp xác định độ sâu đáy biển từ số liệu dữ thường trọng lực

3.1. Mối liên hệ giữa độ sâu đáy biển và dữ thường trọng lực

Theo các tài liệu [9], [10] dữ thường trọng lực (Δg) được chia làm 2 phần: dữ thường trọng lực bước sóng ngắn ($\Delta g^{ngắn}$) liên quan đến sự lồi lõm của địa hình đáy biển; và dữ thường trọng lực bước sóng dài ($\Delta g^{dài}$) liên

quan đến vật chất ở sâu và rộng lớn hơn. Tại các điểm đo trực tiếp trọng lực và độ sâu, dị thường trọng lực bước sóng ngắn được tính bằng công thức:

$$\Delta g^{ngắn} = 2\pi G\delta(D^{do} - D_{max}), \quad (1)$$

trong đó: δ là tương phản mật độ vật chất giữa nước biển và vật chất đáy biển; G là hằng số hấp dẫn; D^{do} là độ sâu đáy biển đo trực tiếp; D_{max} là độ sâu đáy biển lớn nhất trên khu vực nghiên cứu.

Khi đó, dị thường trọng lực bước sóng dài được tính:

$$\Delta g^{dài} = \Delta g^{do} - \Delta g^{ngắn}. \quad (2)$$

Đối với các điểm cần tính độ sâu (có dị thường trọng lực xác định từ số liệu đo cao vệ tinh, Δg^{vt}), dị thường trọng lực bước sóng dài được nội suy từ các điểm đã tính được $\Delta g^{dài}$, khi đó, dị thường trọng lực bước sóng ngắn được tính:

$$\Delta g^{ngắn} = \Delta g^{vt} - \Delta g^{dài}. \quad (3)$$

Độ sâu của các điểm này được tính theo công thức:

$$D^{tính} = \frac{\Delta g^{ngắn}}{2\pi G\delta} + D_{max}. \quad (4)$$

Như vậy, để xác định độ sâu theo phương pháp này, cần phải xác định được dị thường trọng lực bước sóng dài; và tương phản mật độ vật chất phù hợp nhất với khu vực nghiên cứu.

3.2. Nội suy dị thường trọng lực bước sóng dài bằng phương pháp Collocation

Theo phương pháp Collocation, dị thường trọng lực bước sóng dài của điểm P được nội suy từ n điểm đã biết dị thường trọng lực bước sóng dài $\Delta g_1^{dài}, \Delta g_2^{dài}, \dots, \Delta g_n^{dài}$ bằng công thức [7]:

$$\Delta g_p^{dài} = K^T(\Delta g^{dài}, \Delta g_p^{dài}) \cdot [K(\Delta g^{dài}, \Delta g^{dài}) + K_{\Delta g^{dài}}]^{-1} \cdot \Delta g^{dài}, \quad (5)$$

trong đó: $K(\Delta g^{dài}, \Delta g^{dài})$ là ma trận tương quan dị thường trọng lực bước sóng dài; $K_{\Delta g^{dài}}$ là ma trận tương quan độ chính xác dị thường trọng lực bước sóng dài; $\Delta g^{dài}$ là ma trận các giá trị dị thường trọng lực bước sóng dài đã biết.

3.3. Xác định tương phản mật độ vật chất phù hợp

Để xác định tương phản mật độ vật chất phù hợp, bài toán tính độ sâu từ dị thường trọng lực được thực hiện lặp nhiều lần. Mỗi lần tính với tương phản mật độ vật chất khác nhau. Độ sâu đáy biển tính được của mỗi lần tính được so sánh với độ sâu đo trực tiếp để đánh giá như sau:

Độ lệch độ sâu được tính theo công thức:

$$\delta D_i = D_i^{tính} - D_i^{do}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

trong đó: n là số điểm đo độ sâu trực tiếp; D_i^{do} là độ sâu đo trực tiếp; $D_i^{tính}$ là độ sâu tính từ dị thường trọng lực.

Độ lệch trung bình, Độ lệch chuẩn và độ lệch trung phương được tính:

$$\begin{aligned} \delta D_{TB} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta D_i. \\ STD_D &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta D_i - \delta D_{TB})^2}. \\ RMS_D &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta D_i^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Hệ số tương quan giữa độ sâu tính và độ sâu đo trực tiếp [6]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i^{do} - D_{TB}^{do}) \cdot (D_i^{tính} - D_{TB}^{tính})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (D_i^{do} - D_{TB}^{do})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (D_i^{tính} - D_{TB}^{tính})^2}}. \quad (8)$$

Dựa vào độ lệch trung bình, độ lệch chuẩn, độ lệch trung phương, hệ số tương quan giữa độ sâu tính và độ sâu đo trực tiếp sẽ

xác định được tương phản mật độ vật chất phù hợp nhất trên khu vực nghiên cứu. Cần lưu ý rằng: trong các độ lệch tính theo công thức (6) và (7) có chứa cả sai số của độ sâu đo trực tiếp.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Đánh giá độ chính xác mô hình mô hình DTU21GRAV trên khu vực nghiên cứu

Bảng 1: Kết quả đánh giá độ chính xác mô hình DTU21GRAV

Số điểm đánh giá	Max (mGal)	Min (mGal)	Mean (mGal)	RMS (mGal)	STD (mGal)
1074	18,998	-18,949	0,628	±4,509	±4,467

Kết quả đánh giá cho thấy: độ chính xác của dị thường trọng lực của mô hình DTU21GRAV đạt ±4,509 mGal trên khu vực nghiên cứu. Độ lệch trung bình rất nhỏ (0,628 mGal) đối chiếu với tiêu chuẩn kiểm tra sai số hệ thống thấy rằng: giữa mô hình DTU21GRAV và số liệu đo trực tiếp không có độ lệch hệ thống.

4.2. Làm khớp mô hình DTU21GRAV với số liệu trọng lực đo trực tiếp

Để bài toán làm khớp mô hình DTU21GRAV với số liệu trọng lực đo trực tiếp được chính xác, kỹ thuật “Loại bỏ - Tính toán - Phục hồi” được sử dụng. Đầu tiên, số liệu dị thường trọng lực sẽ được “loại bỏ” đi phần dị thường trọng lực từ mô hình thể trọng trường toàn cầu. Tiếp theo, phần dư dị thường trọng lực được đưa vào tính toán làm khớp.

Bảng 2: Thống kê kết quả đánh giá độ chính xác mô hình DTU21GRAV sau khi làm khớp

Số điểm đánh giá	Max (mGal)	Min (mGal)	Mean (mGal)	RMS (mGal)	STD (mGal)
1074	15,387	-16,327	-0,302	±4,063	±4,054

Sau khi làm khớp, độ chính xác của mô hình DTU21GRAV tăng lên 0,446 mGal thể hiện ở độ lệch trung phương giảm từ ±4,509 mGal xuống ±4,063 mGal.

Mô hình DTU21GRAV được so sánh với dị thường trọng lực đo trực tiếp (số liệu phần 2). Các thống kê kết quả đánh giá độ chính xác của mô hình DTU21GRAV được trình bày trên Bảng 1.

Cuối cùng, phần dư dị thường trọng lực sau khi làm khớp được “phục hồi” phần dị thường từ mô hình thể trọng trường toàn cầu để nhận được dị thường trọng lực đầy đủ.

Theo tài liệu [1], mô hình **SGG-UGM-2** chính xác nhất trên khu vực Biển Đông, do đó, mô hình này sẽ được sử dụng trong kỹ thuật “Loại bỏ - Tính toán - Phục hồi”. Số liệu đo trực tiếp phần 1 được sử dụng để làm khớp.

Các modul GEOEGM, EMPCOV, COVFIT và GEOCOL trong phần mềm GRAVSOFT [3] được sử dụng trong tính toán. Dị thường trọng lực sau khi làm khớp lại được so sánh với dị thường trọng lực đo trực tiếp (số liệu phần 2) để đánh giá.

Thống kê kết quả đánh giá độ chính xác mô hình DTU21GRAV sau khi làm khớp được trình bày trên Bảng 2 .

4.3. Kết quả xác định tương phản mật độ phù hợp nhất trên khu vực nghiên cứu

Để tìm tương phản mật độ vật chất phù hợp nhất cho khu vực nghiên cứu, phương

pháp tính lặp được sử dụng, mỗi lần lặp thực hiện theo các bước: 1) Gán giá trị tương phản mật độ; 2) Tính dị thường trọng lực bước sóng dài từ các điểm đã biết dị thường trọng lực và độ sâu; 3) Nội suy dị thường trọng lực bước sóng dài cho các điểm đánh giá; 4) Tính độ sâu từ dị thường trọng lực cho các điểm đánh giá, so sánh với độ sâu đã biết để đánh giá độ chính xác. Cuối cùng, căn cứ vào các yếu tố đánh giá độ chính xác để tìm ra phương án tối ưu.

Vì theo kết quả nghiên cứu trong tài liệu [9], tương phản mật độ tối ưu trên khu vực giữa Biển Đông là $1,40 \text{ g/cm}^3$ nên giá trị này cũng được gán trong phương án đầu tiên. Sau đó, giá trị tương

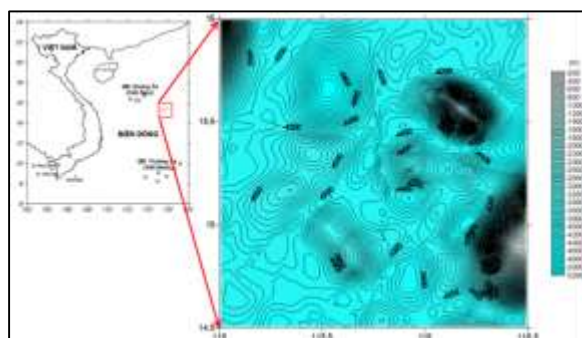
phản mật độ của các phương án tính tiếp theo được quyết định căn cứ vào kết quả đánh giá độ chính xác của các phương án trước. Tổng hợp lại, 9 phương án với tương phản mật độ khác nhau đã được thực nghiệm. Kết quả đánh giá độ chính xác độ sâu trọng lực của 9 phương án được trình bày trên Bảng 3. Bảng này cho thấy: Phương án có tương phản mật độ là $1,29 \text{ g/cm}^3$ có độ chính xác tốt nhất, thể hiện ở RMS nhỏ nhất đạt $\pm 70,833 \text{ m}$. Ngoài ra, độ lệch lớn nhất, độ lệch nhỏ nhất, độ lệch trung bình và độ lệch chuẩn của phương án này cũng khá nhỏ so với các phương án khác. Như vậy, trên khu vực nghiên cứu, tương phản mật độ phù hợp nhất là $1,29 \text{ g/cm}^3$.

Bảng 3: Kết quả đánh giá độ chính xác của độ sâu trọng lực của 9 phương án tính

STT	Tương phản mật độ (g/cm^3)	Số điểm đánh giá	δD_{\max} (m)	δD_{\min} (m)	δD_{TB} (m)	RMS _D (m)	STD _D (m)
1	1,40	1074	354,054	-213,069	-0,070	$\pm 72,672$	$\pm 72,638$
2	1,50	1074	399,379	-208,207	-0,104	$\pm 74,005$	$\pm 73,971$
3	1,30	1074	347,512	-217,690	-0,015	$\pm 71,317$	$\pm 71,284$
4	1,20	1074	531,701	-206,067	0,018	$\pm 86,921$	$\pm 86,881$
5	1,35	1074	347,070	-215,178	-0,035	$\pm 72,240$	$\pm 72,206$
6	1,32	1074	347,363	-216,615	-0,019	$\pm 71,804$	$\pm 71,771$
7	1,25	1074	508,346	-187,450	0,044	$\pm 79,471$	$\pm 79,434$
8	1,29	1074	347,508	-218,344	-0,021	$\pm 70,833$	$\pm 70,800$
9	1,28	1074	469,812	-168,254	0,054	$\pm 71,858$	$\pm 71,824$

4.4. Tính độ sâu đáy biển từ dị thường trọng lực cho khu vực thực nghiệm

Sau khi làm khớp với dị thường trọng lực đo trực tiếp, mô hình DTU21GRAV đã được sử dụng để tính toán ra độ sâu đáy biển trên khu vực nghiên cứu với tương phản mật độ $1,29 \text{ g/cm}^3$. Thống kê vắn tắt độ sâu tính từ trọng lực: tổng số 8100 điểm; độ sâu lớn nhất: $-4544,387 \text{ m}$; độ sâu nhỏ nhất: $-300,431 \text{ m}$; độ sâu trung bình: $-4034,611 \text{ m}$. Độ sâu tính từ trọng lực được thể hiện bằng đường đẳng sâu và màu sắc trên Hình 3.



Hình 3: Độ sâu tính từ trọng lực tính được trên khu vực nghiên cứu

4.5. Đánh giá độ chính xác của độ sâu xác định được từ dữ thường trọng lực

Độ sâu trọng lực được so sánh với độ sâu đo trực tiếp để đánh giá độ chính xác. Kết quả thống kê cho thấy: Độ lệch trung phương đạt $\pm 70,833$ m, và xấp xỉ bằng độ lệch chuẩn. Độ lệch lớn nhất là 347,508 m; độ lệch nhỏ nhất là -218,344 m; Độ lệch trung bình rất nhỏ, đạt

-0,021 m, theo tiêu chuẩn kiểm tra sai số hệ thống thì không có độ lệch hệ thống giữa độ sâu trọng lực và độ sâu đo trực tiếp. Như vậy, độ chính xác độ sâu trọng lực trên khu vực nghiên cứu đạt $\pm 70,833$ m.

Để biết số lượng các điểm có độ lệch vượt quá 3 lần RMS, một thống kê được thực hiện và trình bày trên Bảng 4.

Bảng 4: Thống kê theo các khoảng độ lệch

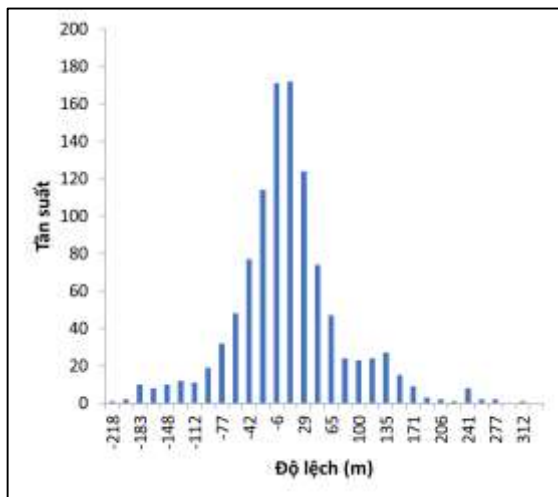
Đặc điểm thống kê	Số điểm	%	Ghi chú
-70,833 m < độ lệch < 70,833 m	820	76,35%	1*RMS
-141,667 m < độ lệch < 141,667 m	1004	93,48%	2*RMS
-212,500 m < độ lệch < 212,500 m	1057	98,42%	3*RMS
Độ lệch < -212,500 m và độ lệch > 212,500 m	17	1,58%	

Từ kết quả trên Bảng 4 ta thấy: Các độ lệch cơ bản tuân theo quy luật ngẫu nhiên; chỉ có 17 điểm (chiếm 1,58%) có độ lớn vượt quá 3 lần RMS.

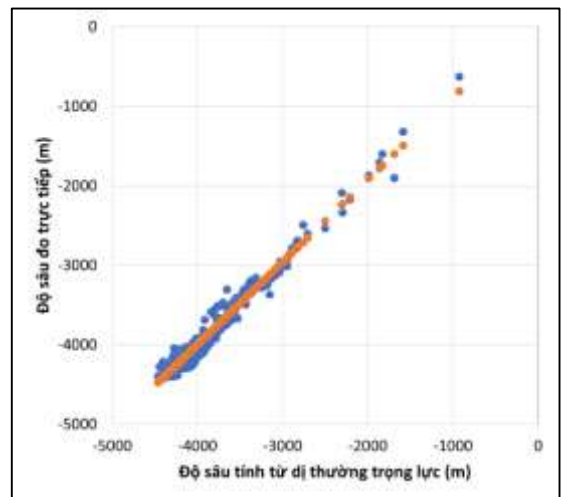
Tần suất phân bố của độ lệch độ sâu được biểu diễn trên Hình 4. Hình này cho thấy: Các điểm có giá trị độ lệch lớn thì có tần suất thấp, các điểm có giá trị độ lệch nhỏ có tần suất xuất

hiện nhiều. Biểu đồ tuân theo luật phân bố chuẩn, chứng tỏ độ lệch là ngẫu nhiên.

Tương quan giữa độ sâu trọng lực và độ sâu đo trực tiếp được biểu diễn trên Hình 5. Từ hình này ta thấy: Tương quan giữa độ sâu trọng lực và độ sâu đo trực tiếp rất tốt, phù hợp với hệ số tương quan cao ($R = 0,98280$).



Hình 4: Tần suất phân bố của độ lệch độ sâu



Hình 5: Tương quan giữa độ sâu trọng lực và độ sâu đo trực tiếp

Để có cái nhìn tổng quan về độ chính xác độ sâu đạt được trong nghiên cứu này so với các mô hình độ sâu trên thế giới, kết quả so sánh về độ chính xác độ sâu trọng lực với độ chính xác của mô hình DTU18BAT [2] và GEBCO2022 [4] được trình bày trên Bảng 5.

Bảng 5: Kết quả thống kê đánh giá độ chính xác

Độ sâu	Số điểm đánh giá	Max (m)	Min (m)	Mean (m)	RMS (m)	STD (m)	R
DTU18BAT	1074	751,073	-645,408	56,609	±181,864	±172,910	0,88956
GEBCO2022	1074	571,747	-615,597	46,469	±143,232	±135,547	0,93593
Kết quả của nghiên cứu này	1074	347,508	-218,344	-0,021	±70,833	±70,800	0,98280

Nhận xét: Độ chính xác của độ sâu trọng lực tính được trong nghiên cứu này có độ chính xác là $\pm 70,833$ m, cao hơn độ chính xác của mô hình DTU18BAT ($\pm 181,864$ m) và của mô hình GEBCO2022 ($\pm 143,232$ m). Độ lệch trung bình giữa độ sâu tính từ trọng lực của nghiên cứu này so với độ sâu đo trực tiếp bằng $-0,021$ m nhỏ hơn rất nhiều so với mô hình DTU18BAT (56,609 m) và GEBCO2022 (46,469 m). Các giá trị độ lệch lớn nhất, độ lệch nhỏ nhất của kết quả nghiên cứu này cũng nhỏ hơn mô hình DTU18BAT và GEBCO2022.

5. Kết luận

Bài báo đã nghiên cứu ứng dụng phương pháp xác định độ sâu đáy biển từ số liệu dị thường trọng lực. Thực nghiệm đã xác định được độ sâu đáy biển trên một khu vực ($1,5^0 \times 1,5^0$), nằm ở phía Đông - Nam Quần đảo Hoàng Sa của Việt Nam, từ số liệu dị thường trọng lực xác định từ đo cao vệ tinh DTU21GRAV.

Tương phản mật độ phù hợp nhất với khu vực nghiên cứu được xác định bằng phương pháp tính lặp, đạt giá trị là $1,29 \text{ g/cm}^3$.

Độ chính xác của độ sâu tính từ trọng lực, khi so sánh với độ sâu đo trực tiếp, đạt $\pm 70,833$ m. Độ lệch trung bình là rất nhỏ. So

với các mô hình độ sâu toàn cầu DTU18BAT và GEBCO2022 thì độ sâu trọng lực xác định được trong nghiên cứu này có độ chính xác cao hơn nhiều. ○

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được sự hỗ trợ của đề tài cấp bộ của Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số: B2021-MDA-06. Các tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn đến Tổ chức trọng lực quốc tế (BGI) và Giáo sư Ole Baltazar Andersen và ReneForsberg của Đại học Kỹ thuật Đan Mạch (DTU) đã hỗ trợ chúng tôi về số liệu và phần mềm trong nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

[1]. Do Van Mong, Nguyen Van Sang, Tran Tuan Dung, Nguyen Thanh Le, Khuong Van Long, Nguyen Dinh Hai, Tran Manh Cuong, Nguyen Trong Dai, Tran Tuan Duong (2023). Evaluation of the precision of some new global Earth Gravitational Models in the East Vietnam Sea. Vietnam Journal of Marine Science and Technology 2023, 23(3) 265–277. ISSN 1859-3097; e-ISSN 2815-5904/© 2023 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST). <https://doi.org/10.15625/1859-3097/18635>.

[2]. DTU Space (2018). DTU18BAT. DTU Space.

[3]. Forsberg, R., Tscherning, C.C. (2008). An overview manual for the GRAVSOFT Geodetic Gravity Field Modelling Programs.

[4]. GEBCO Bathymetric Compilation Group (2022). The GEBCO_2022 Grid - a continuous terrain model of the global oceans and land. NERC EDS British Oceanographic Data Centre NOC.

[5]. Mathez, E., Smerdon, J. (2018). Greenland, Antarctica, and Sea-Level Rise. *Climate Change*. Columbia University Press, 305-30. <https://doi.org/10.7312/math17282-012>.

[6]. McKean J. W. and Sheather S. J. (2003). Statistic, Nonparametric. in R. A. Meyers Editor, *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third Edition) (pp. 891-914). New York: Academic Press.

[7]. Neiman. Y. M. (2010). Phương pháp hiệp phương sai trong trắc địa vật lý và Collocation, Matxcova (tiếng Nga).

[8]. Nguyễn Văn Sáng, Đinh Xuân Mạnh và nnk (2021-2023). *Nghiên cứu đề xuất*

phương pháp xác định độ sâu đáy biển từ số liệu dị thường trọng lực trên khu vực Biển Đông. Đề tài cấp bộ mã số: B2021-MDA-06, Bộ Giáo dục và Đào tạo, Hà Nội.

[9]. Nguyen Van Sang, Khuong Van Long, Tran Tuan Dung, Lam Van Nguyen, Bui Cong Que, Do Van Mong, Bui Dang Quang, Ole Baltazar Andersen, Rene Forsberg, Dieu Tien Bui (2023). Seafloor depth mapping of central Vietnam's sea area and its surrounding using gravity anomaly data and gravity geological method. *Advances in Space Research*. Volume 72, Issue 5, 2023, Pages 1721-1738, ISSN 0273-1177, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.04.033>.

[10]. Xueshuang Xiang, Xiaoyun Wan, Running Zhang, Yang Li, Xiaohong Sui and Wenbin Wang (2017). Bathymetry inversion with Gravity-Geologic Method: A study of long-wavelength gravity modeling based on adaptive mesh. *Marine Geodesy*. ISSN: 0149-0419 (Print) 1521-060X (Online), DOI: 10.1080/01490419.2017.1335257.○

Summary

Determination of the seafloor depth of gravity anomalies

Đinh Xuân Mạnh, The Viet Nam Institute of Surveying and Mapping.

Nguyen Van Sang, Hanoi University of Mining and Geology.

The purpose of this study is the determination of the seafloor depth from altimetry satellite-derived gravity anomalies. The relationship between seafloor depths and gravity anomalies has been studied. The substance density contrast between the seabed and the seawater is determined by the iterative method. The long-wavelength gravity anomalies are interpolated using the Collocation method. In the experiment, the DTU21GRAV model was evaluated for accuracy by comparing with ship-borne-derived gravity anomalies, reaching ± 4.509 mGal. The nine options with different density contrasts were calculated iteratively. After fitting with ship-borne-derived gravity anomalies, the DTU21GRAV gravity anomalies were used to calculate the seafloor depth in the study area (between latitudes 14.5°N and 16°N and longitudes 115°E and 116.5°E). The experimental results show that the most suitable density contrast in the study area is 1.29 g/cm^3 . The accuracy of the gravity derived-depth in the study area reaches ± 70.833 m. This accuracy is higher than that of the global bathymetry model DTU18BAT (± 181.864 m) and GEBCO2022 (± 143.232 m).○

Keywords: Gravity anomaly; Seafloor depth; East Sea.