

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

PHẠM VĂN TUYẾN

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC XÁC ĐỊNH DỊ
THƯỜNG TRỌNG LỰC BẰNG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH TRÊN VÙNG
BIỂN VỊNH BẮC BỘ - VIỆT NAM

Ngành: Kỹ thuật trắc địa- bản đồ
Mã số: 9520503

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2023

Công trình được hoàn thành tại: **Bộ môn Trắc địa cao cấp,
Khoa Trắc địa – Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mở - Địa chất**

Người hướng dẫn khoa học: **1. PGS.TS Nguyễn Văn Sáng
2. TS Vũ Văn Trí**

Phản biện 1: **GS. TSKH Hoàng Ngọc Hà**

Trường Đại học Mở - Địa chất

Phản biện 2: **GS. TS Võ Chí Mỹ**

Hội Trắc địa, Bản đồ, Viễn thám Việt Nam

Phản biện 3: **TS Trần Hồng Quang**

Hội Trắc địa, Bản đồ, Viễn thám Việt Nam

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường họp tại Trường Đại học Mở - Địa chất vào hồi ... giờ ngày ... tháng ... năm ...

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện: **Thư viện Quốc Gia, Hà Nội**

Thư viện Trường Đại học Mở - Địa chất

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết đề tài

Việt Nam là một đất nước có vùng biển và thềm lục địa rộng lớn với diện tích gấp ba lần phần lãnh thổ trên đất liền. Các yêu cầu về đo đạc, khảo sát trường địa vật lý trong đó có trường trọng lực trên toàn vùng biển luôn là nhiệm vụ quan trọng và cấp bách phục vụ phát triển kinh tế biển, phòng tránh thiên tai, quản lý tài nguyên, môi trường, đảm bảo an ninh và quốc phòng.

Đối với Trắc địa, số liệu dị thường trọng lực dùng để nghiên cứu hình dáng, kích thước, thể trọng trường của Trái Đất, thiết lập số liệu gốc cho hệ tọa độ Quốc gia. Đối với Địa vật lý, số liệu dị thường trọng lực được dùng để phân tích cấu trúc vật chất trong lòng đất, lớp vỏ Trái Đất, góp phần thăm dò tài nguyên khoáng sản. Đối với quân sự, số liệu dị thường trọng lực còn có ý nghĩa trong việc xác định quỹ đạo chuyển động của tên lửa đạn đạo. Đối với các vùng biển, số liệu dị thường trọng lực có mối liên hệ mật thiết với địa hình đáy biển, vì vậy nó còn được dùng để nghiên cứu địa hình đáy biển.

Đo cao vệ tinh (Altimetry) là một trong các kỹ thuật tiên tiến của thế giới. Các sản phẩm của đo cao vệ tinh được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như: Hải dương học, Địa vật lý và Trắc địa... Trong Hải Dương học, số liệu đo cao vệ tinh cho phép xác định các dòng hải lưu, các xoáy nước trên biển, thành lập bản đồ băng biển và băng ở các cực, giám sát băng tan, nghiên cứu thủy triều. Đo cao vệ tinh cũng được ứng dụng để nghiên cứu khí hậu, cảnh báo sóng thần. Trong Trắc địa, từ số liệu đo cao vệ tinh có thể xác định Geoid biển, mặt biển trung bình động học (MDT) và đặc biệt hơn nữa là có thể xác định được dị thường trọng lực biển. Đo cao vệ tinh ngoài công tác nghiên cứu trên biển, hiện nay còn được sử dụng nghiên cứu trong đất liền như: theo dõi mực nước của các dòng chảy, hồ chứa và đầm lầy.

Trường trọng lực trên vùng biển Việt Nam có thể được đo đạc, khảo sát bằng các phương pháp đo trực tiếp trên tàu và đo trên máy bay. Tuy nhiên, do điều kiện địa hình và động lực, khí tượng biển phức tạp, nên có chi phí rất cao và thời gian kéo dài khi khảo sát với mật độ dày đặc trên phạm vi rộng lớn. Trong điều kiện đó thì việc xác định dị thường trọng lực biển bằng phương pháp gián tiếp kết hợp với ứng dụng một số giải pháp để nâng cao độ chính xác kết quả dị thường trọng lực biển được tính bằng số liệu đo cao vệ tinh sẽ là giải pháp khả thi và có tính hiệu quả cao.

Xuất phát từ những lý do trên, có thể thấy rằng lựa chọn đề tài luận án tiến sĩ: "***Nghiên cứu giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam***" sẽ có giá trị khoa học, vừa giải quyết được các vấn đề thực tiễn và đây cũng là một vấn đề mới góp phần phát triển khoa học và kỹ thuật của nước nhà.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Xác lập được cơ sở khoa học, xây dựng các giải pháp xử lý số liệu đo cao vệ tinh nhằm nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực trên biển nói chung và trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ, nói riêng.

Xác định được dị thường trọng lực biển có độ chính xác tốt hơn $\pm 4\text{mGal}$ cho vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam bằng số liệu đo cao vệ tinh.

3. Đối tượng nghiên cứu

Phương pháp xác định giá trị dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh;

Các giải pháp tính toán nhằm nâng cao độ chính xác của các kết quả dị thường trọng lực biển tính được bằng số liệu đo cao vệ tinh;

Các số liệu đo cao vệ tinh, các số liệu đo trọng lực trực tiếp bằng tàu biển;
Các số liệu dị thường trọng lực biển được xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh.

4. Phạm vi nghiên cứu

Trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam;
Đối với các loại số liệu đo cao vệ tinh;
Mô hình thế trọng trường toàn cầu (GGM);
Mô hình mặt biển trung bình động học (MDT).

5. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu tổng quan về các phương pháp xác định dị thường trọng lực đã sử dụng;
Nghiên cứu các chương trình đo cao vệ tinh, thu thập, lựa chọn số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam;
Nghiên cứu đề xuất một số các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam;
Xây dựng thuật toán và chương trình máy tính để phục vụ các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh;
Tính toán thực nghiệm xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

6. Phương pháp nghiên cứu

- a) *Phương pháp thống kê*: thu thập, tổng hợp và xử lý các thông tin, tài liệu liên quan đến vấn đề nghiên cứu;
- b) *Phương pháp phân tích*: tập hợp các kết quả nghiên cứu, phân tích, đánh giá kết quả thực nghiệm;
- c) *Phương pháp mô hình hóa*: nghiên cứu xác định vị trí điểm giao cắt của các vết quét trong đo cao vệ tinh và nghiên cứu xác định độ cao mặt biển động học biến đổi theo thời gian;
- d) *Phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất*: xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh;
- e) *Phương pháp so sánh*: đánh giá độ chính xác của kết quả dị thường trọng lực biển đạt được;
- f) *Phương pháp chuyên gia*: tiếp thu ý kiến của người hướng dẫn, tham khảo ý kiến của các nhà khoa học có uy tín trong và ngoài nước, các đồng nghiệp về các vấn đề trong nội dung đề tài nghiên cứu;
- g) *Phương pháp tin học*: xây dựng chương trình tính toán độ cao geoid, dị thường độ cao và dị thường trọng lực từ các hệ số hàm điều hòa cầu.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

a) Ý nghĩa khoa học

Thiết lập được cơ sở khoa học và đề xuất các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam. Góp phần phát triển lý thuyết xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.

b) Ý nghĩa thực tiễn

Cung cấp các giải pháp để nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu của luận án sẽ giúp cho các cơ quan quản lý trong việc nghiên cứu, ban hành các quy định kỹ thuật về xử lý toán học dữ liệu đo cao vệ tinh phục vụ xác định dị thường trọng lực trên vùng biển ven bờ Việt Nam.

Bộ số liệu dị thường trọng lực biển của vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam có độ chính xác và độ phân giải cao sẽ góp phần quan trọng làm phong phú cơ sở số liệu điều tra cơ bản về vùng biển này, có giá trị trong công tác nghiên cứu, quản lý, bảo vệ chủ quyền biển đảo, khai thác tiềm năng vùng biển này để phát triển kinh tế.

8. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh của luận án đưa ra, có cơ sở lý thuyết chặt chẽ và hoàn toàn khả thi trong tính toán thực nghiệm.

Luận điểm 2: Sử dụng mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4, mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT, số liệu đo cao từ các vệ tinh mới có độ chính xác cao như: Cryosat -2/GM, Saral/AltiKa/GM kết hợp với nhau và sử dụng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất để tính toán thực nghiệm, sẽ cho kết quả dị thường trọng lực có độ chính xác cao hơn so với các công trình nghiên cứu trước đó đã thực hiện trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

9. Những điểm mới của đề tài luận án

a) Đề xuất được các giải pháp và đưa ra được quy trình tính toán chặt chẽ về mặt lý thuyết, khả thi trong tính toán thực nghiệm, đảm bảo kết quả dị thường trọng lực biển tính được bằng số liệu đo cao vệ tinh có độ chính xác cao hơn so với các công trình nghiên cứu trước đó đã thực hiện trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam;

b) Đánh giá và lựa chọn được mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4, mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT và số liệu đo cao từ các vệ tinh mới có độ chính xác cao: Cryosat -2/GM và Saral/AltiKa/GM để tính toán thực nghiệm, kết quả dị thường trọng lực biển nhận được có độ chính xác tốt hơn $\pm 3\text{mGal}$.

10. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc của luận án gồm phần mở đầu, 4 chương, kết luận – kiến nghị và 70 danh mục tài liệu tham khảo. Toàn bộ nội dung luận án trình bày trong 133 trang khổ giấy A4, trong đó có 21 biểu bảng, 37 hình vẽ, 10 biểu đồ, 3 sơ đồ và 4 phụ lục với 19 trang A4.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC XÁC ĐỊNH DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC BIỂN BẰNG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH

1.1. Tổng quan về vấn đề đo trọng lực ở Việt Nam

1.1.1. Khái niệm về dị thường trọng lực

Dị thường trọng lực (Δg) tại một điểm quan sát là hiệu số giữa giá trị trọng lực thực đo được (g) với giá trị trọng lực chuẩn (γ) tại điểm quan sát đó và được biểu diễn bằng công thức tổng quát sau [5], [8], [9]:

$$\Delta g = g - \gamma \quad (1.1.1)$$

Nếu các giá trị trọng lực đo được (g) và giá trị chuẩn (γ) cùng tương ứng với một điểm thì dị thường trọng lực được gọi là "thuần nhất". Nếu các giá trị nêu trên tương ứng với các điểm khác nhau trong không gian, thì dị thường trọng lực được gọi là "hỗn hợp". Tùy vào số hiệu chỉnh mà có các loại dị thường trọng lực như: Dị thường trọng lực trong không khí tự do; dị thường trọng lực Faye; dị thường trọng lực Bughe.

1.1.2. Tổng quan về vấn đề đo trọng lực ở Việt Nam [20]

1.2. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

1.2.1. Tổng quan về các công trình nghiên cứu trên thế giới

Từ khi kỹ thuật đo cao vệ tinh được ra đời cho đến nay các nhà khoa học trên thế giới đã sử dụng số liệu đo cao vệ tinh để xây dựng thành các mô hình trường trọng lực biển toàn cầu với độ phân giải cao (grid 1'x1') có thể kể đến như: DNSC08GRA [29]; DTU10GRAV [23]; DTU13GRAV [30]; DTU15GRAV [28]; DTU17GRAV [66].

Để xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh, các nhà khoa học trên thế giới đã sử dụng các phương pháp như: LSC, FFT, công thức Stokes ngược và công thức Vening – Meinesz ngược ... để xác định dị thường trọng lực biển cho các khu vực nghiên cứu riêng và cho toàn cầu.

Các nghiên cứu đều sử dụng số liệu đo cao vệ tinh ở chế độ đo thực hiện nhiệm vụ trắc địa (GM), kết hợp nhiều loại vệ tinh để tăng mật độ số liệu đo và nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực. Độ chính xác của dị thường trọng lực biển tính được bằng số liệu đo cao vệ tinh tại một số vùng biển trên thế giới đạt được khoảng $\pm 3.0 \div \pm 9.0$ mGal, đặc biệt có chỗ đạt được ± 1.8 mGal.

Độ chính xác của dị thường trọng lực biển thuộc khu vực Biển Đông của Việt Nam nhận được từ các công trình trên là chưa cao (xấp xỉ ± 5.0 mGal). Như vậy khả năng ứng dụng kết quả xác định dị thường trọng lực từ các kết quả của thế giới tính với vùng biển của Việt Nam là chưa hiệu quả, đặc biệt là các khu vực gần bờ và khu vực nước nông.

Do đó, việc nghiên cứu các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh cho các vùng thực nghiệm của Việt Nam đạt độ chính xác cao hơn là rất cần thiết và khả thi.

1.2.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu trong nước

Ở trong nước, cho đến nay việc ứng dụng số liệu đo cao vệ tinh để xác định dị thường trọng lực biển cho vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam nói riêng và cho Biển Đông nói chung vẫn còn ít. Một số công trình chủ yếu mới tập trung khai thác các kết quả của thế giới đã tính mà chưa chú trọng nghiên cứu để tự xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh. Còn lại một số ít các công trình đã sử dụng số liệu đo cao vệ tinh để tính dị thường trọng lực biển, tuy nhiên lại cho các khu vực ngoài khơi xa [12]; [14]; [15]; [20].

Các công trình trong nước ở trên cho thấy: Hiện nay, các công trình trong nước chỉ mới sử dụng 1 loại vệ tinh đo cao để xác định dị thường trọng lực biển, điều này dẫn đến mật độ điểm chưa đủ để thể hiện hết được đặc điểm của trường trọng lực biển trong phạm vi nghiên cứu. Ngoài ra, chưa có công trình nghiên cứu nào sử dụng số liệu đo cao vệ tinh để xác định dị thường trọng lực biển cho các vùng biển ở gần bờ và vùng nước nông như vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam. Do điều kiện địa lý ở khu vực gần bờ biển, khu vực nước nông rất phức tạp, chịu nhiều tác động của sóng, gió, thủy triều, địa hình đáy biển và các yếu tố địa vật lý khác dẫn đến độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh sẽ kém hơn so với khu vực xa bờ. Điều này đồng nghĩa với kết

quả xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh, ở khu vực gần bờ, khu vực nước nông sẽ có độ chính xác thấp hơn so với khu vực xa bờ. Vì vậy cần nghiên cứu các giải pháp để nâng độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển cho các vùng biển ở gần bờ và vùng nước nông.

1.3. Hướng nghiên cứu của luận án

Để nâng cao được độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh cho vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam, trong luận án sẽ tập trung vào nghiên cứu các giải pháp như sau:

- (1) Sử dụng kết hợp số liệu của các loại vệ tinh mới có độ chính xác cao, ở chế độ đo GM nhằm tăng mật độ điểm đo, tăng độ chính xác xác định dị thường trọng lực;
- (2) Lựa chọn mô hình GGM phù hợp nhất với Việt Nam để sử dụng trong kỹ thuật “loại bỏ - phục hồi”;
- (3) Lựa chọn mô hình MDT phù hợp nhất với Việt Nam để sử dụng trong tính toán;
- (4) Lựa chọn phương pháp phù hợp trong bài toán xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh;
- (5) Kết hợp giữa số liệu đo cao vệ tinh và số liệu đo trọng lực trực tiếp để nâng cao độ chính xác.

Các giải pháp nêu trên hướng tới mục tiêu đặt ra là xác định được dị thường trọng lực biển cho vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam bằng số liệu đo cao vệ tinh có độ chính xác tốt hơn $\pm 4.0\text{mGal}$ và có độ phân giải lưới dị thường trọng lực là $(1.5' \times 1.5')$.

1.4. Kết luận chương 1

Trong chương 1, đã trình bày tổng quan về các công trình nghiên cứu trên thế giới và trong nước có liên quan đến vấn đề xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh và các giải pháp để nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển, đã phân tích, đánh giá và chỉ ra được các vấn đề mà luận án cần phải nghiên cứu.

CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC BIỂN BẰNG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH

2.1. Kỹ thuật đo cao vệ tinh

2.1.1. Nguyên lý đo cao vệ tinh

Nguyên lý cơ bản của đo cao vệ tinh (xem Hình 2.1) dựa trên nguyên lý của bài toán vật lý tính quãng đường khi đã biết vận tốc và thời gian.

Khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt biển được xác định bằng công thức cơ bản sau [54]:

$$d = c \frac{\Delta t}{2} \quad (2.1.1)$$

trong đó, c là vận tốc lan truyền tín hiệu; Δt là khoảng thời gian lan truyền tín hiệu 2 chiều; d là khoảng cách từ vệ tinh đến bề mặt biển.

2.1.2. Phương pháp xác định độ cao mặt nước biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

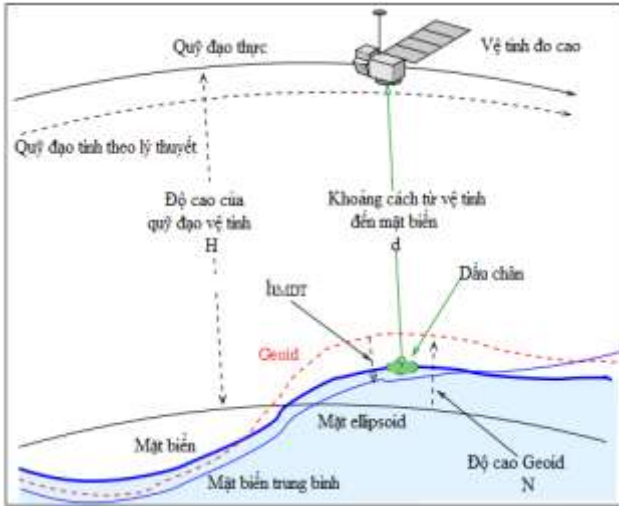
Độ cao mặt nước biển được ký hiệu SSH (Sea Surface Height) (xem Hình 2.2) là khoảng cách từ các điểm xét nằm trên mặt biển đến mặt ellipsoid tham chiếu tính theo phương pháp tuyến và là hiệu khoảng cách giữa: độ cao của quỹ đạo vệ tinh H và khoảng cách đo được từ vệ tinh đến mặt nước biển d [54]:

$$SSH = H - d \tag{2.1.2}$$

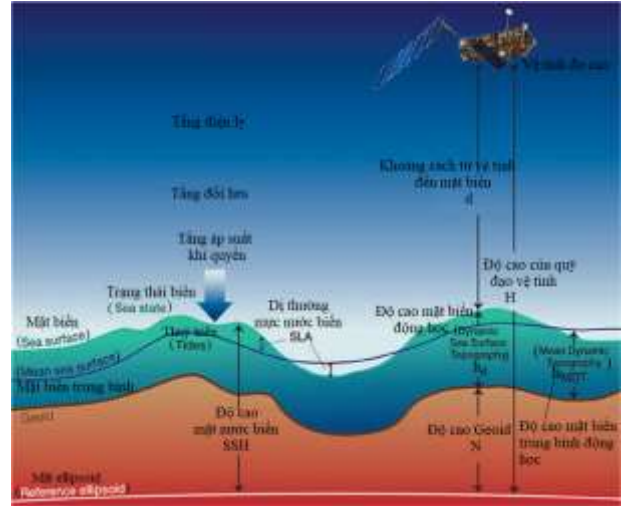
Công thức xác định độ cao mặt nước biển sau hiệu chỉnh (SSH_{corr}):

$$SSH_{corr} = H - (d + e) \tag{2.1.3}$$

trong đó, e là các số hiệu chỉnh vào khoảng cách đo được của vệ tinh



Hình 2.1. Nguyên lý của đo cao vệ tinh (nguồn [62])



Hình 2.2. Mối quan hệ giữa độ cao mặt nước biển và trị đo cao vệ tinh (nguồn: Internet)

2.1.3. Các số hiệu chỉnh trong kết quả đo cao vệ tinh

Theo các tài liệu [4], [20], [51] thì các số hiệu chỉnh (e) trong kết quả đo cao vệ tinh trong biểu thức (2.1.3) bao gồm các nhóm số hiệu chỉnh sau (xem Hình 2.4):

- Các số hiệu chỉnh của thiết bị đo cao;
- Các số hiệu chỉnh dọc đường truyền tín hiệu;
- Các số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của bề mặt;
- Các số hiệu chỉnh địa vật lý.



Hình 2.4. Mô phỏng các số hiệu chỉnh trong đo cao vệ tinh (nguồn [51])

Công thức tính độ cao mặt biển chính xác là [54]:

$$SSH_{corr} = H - (d + e_{Ins} + e_{Ion} + e_{Wet} + e_{Dry} + e_{EMBias} + e_{IB} + e_{O_tide} + e_{P_tide} + e_{E_tide}) \tag{2.1.16}$$

trong đó: H, d, e_{Ins}, e_{Ion}, e_{Wet}, e_{Dry}, e_{EMBias}, e_{IB}, e_{P_tide}, e_{O_tide}, e_{E_tide} lần lượt là độ cao của quỹ đạo vệ tinh, khoảng cách đo được từ vệ tinh đến mặt nước biển, số hiệu chỉnh của thiết bị đo cao, số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của tầng điện ly, số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của tầng đối lưu ướt; số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của tầng đối lưu khô, số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của tình trạng biển, số hiệu chỉnh do áp khí ngược, số hiệu chỉnh do triều cực, số hiệu chỉnh do thủy triều, số hiệu chỉnh do địa triều

2.1.4. Chương trình đo cao vệ tinh và dữ liệu đo cao vệ tinh

2.1.4.1. Các chương trình đo cao vệ tinh

- Các chương trình đo cao vệ tinh đã ngừng hoạt động bao gồm có 13 chương trình: Skylab, GEOS 3, Seasat, Geosat, ERS-1, TOPEX/ Poseidon, ERS-2, GFO, Jason-1, Envisat, Jason-2, HY-2A, Spot-1 ÷ Spot-5.
- Các chương trình đo cao vệ tinh đang hoạt động bao gồm có 10 chương trình: Cryosat-2/GM, Saral-DP/ AltiKa, Sentinel-3A, Jason-3, Sentinel-3B, CFOSAT, HY-2B, HY-2C, HY-2D, Jason-CS / Sentinel-6MF.
- Các chương trình đo cao vệ tinh chuẩn bị hoạt động: Swot

2.1.4.2. Số liệu đo cao vệ tinh

Số liệu đo cao vệ tinh được phân thành các cấp sau [33], [54]:

- Cấp 0 (L0): là dữ liệu đo cảm biến từ thiết bị đo cao xuống bề mặt biển (Sensor Data Records - SDR);
- Cấp 1 (L1): là dữ liệu cấp 0 đã được gắn với tọa độ không gian, thời gian và được hiệu chỉnh các sai số do thiết bị đo cao vệ tinh;
- Cấp 2 (L2): là dữ liệu cấp 1 đã hiệu chỉnh các số hiệu chỉnh địa vật lý. Ngoài ra, quỹ đạo chính xác của vệ tinh cũng được cung cấp cho cấp dữ liệu này.

2.2. Phương pháp xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

2.2.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp

Ta có công thức tính độ cao geoid dựa vào số liệu đo cao vệ tinh như sau:

$$N = SSH - (h_{MDT} + h_t) \quad (2.2.3)$$

Theo tài liệu [23], [28], [62] thì dị thường trọng lực (Δg), độ cao geoid (N) có mối quan hệ với thế nhiễu (T) bằng các biểu thức sau:

$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r}T \quad (2.2.4)$$

$$N = \frac{T}{\gamma} \quad (2.2.5)$$

$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r}T \approx -\frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial N}{\partial r} + \frac{2}{r}N \right) \quad (2.2.6)$$

Như vậy, từ độ cao geoid N trong công thức (2.2.3) ta sẽ tính được dị thường trọng lực bằng công thức (2.2.6).

Độ cao geoid còn được phân tích thành 2 thành phần: phần bước sóng dài độ cao geoid N_{EGM} được tính từ mô hình trường trọng lực toàn cầu và phần dư độ cao geoid ΔN .

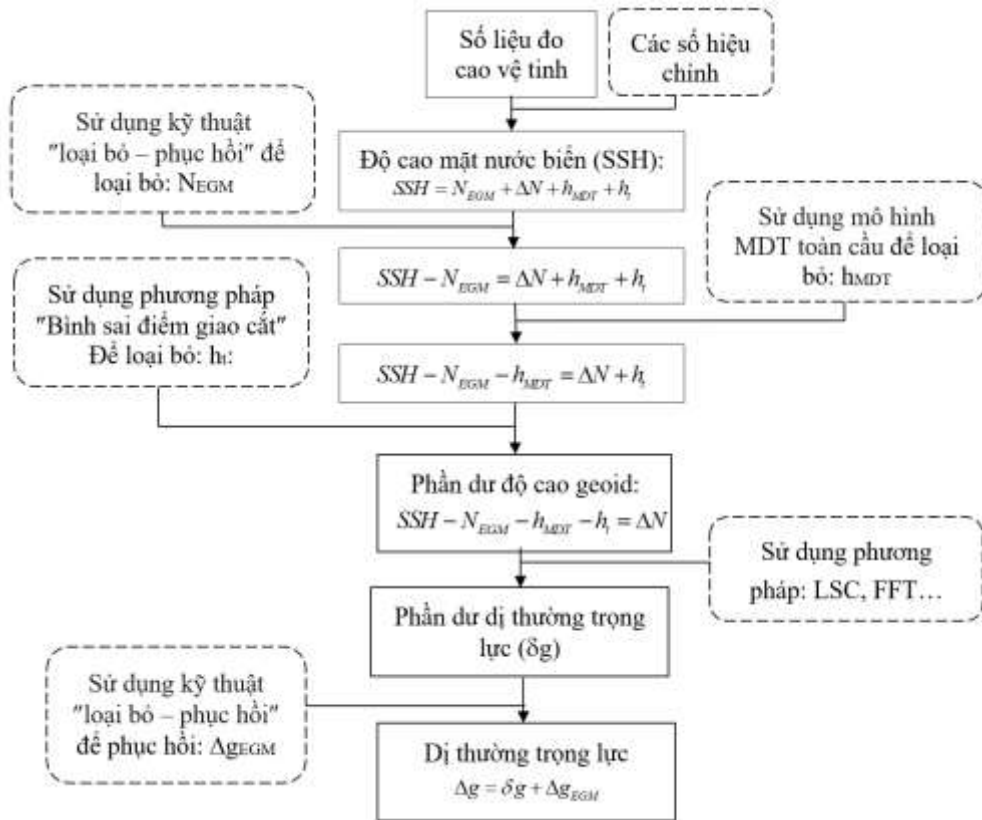
Khi đó, từ công thức (2.2.3) ta có công thức xác định phần dư độ cao geoid ΔN như sau:

$$\Delta N = SSH - (N_{EGM} + h_{MDT} + h_t) \quad (2.2.7)$$

Phần dư độ cao geoid ΔN sẽ được dùng để xác định phần dư dị thường trọng lực (δg) bằng các phương pháp như: LSC, FFT, công thức Stokes ngược và công thức Vening – Meinesz ngược. Sau đó, phục hồi phần bước sóng dài dị thường trọng lực (Δg_{EGM}) bằng các hệ số hàm điều hòa cầu đã chuẩn hóa của mô hình trường trọng lực toàn cầu theo kỹ thuật “loại bỏ - phục hồi”. Kết quả cuối cùng sẽ nhận được dị thường trọng lực (Δg) bằng công thức:

$$\Delta g = \delta g + \Delta g_{EGM} \quad (2.2.8)$$

2.2.2. Sơ đồ quy trình phương pháp xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.



Sơ đồ 1. Quy trình phương pháp xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.

2.2.3. Phương pháp xác định độ cao geoid và dị thường trọng lực từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thế trọng trường toàn cầu

Công thức tổng quát xác định độ cao geoid từ các hệ số hàm điều hòa cầu như sau [43], [46], [50], [59]:

$$N = \zeta_0 + \frac{GM}{r \cdot \gamma} \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{n,m}(\sin \bar{\varphi}) \right] + \frac{\Delta g_B h}{\bar{\gamma}} \quad (2.2.16)$$

Với lưu ý: $\zeta_0 = \frac{GM - GM_0}{r \cdot \gamma} - \frac{W_0 - U_0}{\gamma}$ gọi là đại lượng mức "0" của dị thường độ cao.

Công thức tổng quát xác định dị thường trọng lực hỗn hợp từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thế trọng trường toàn cầu có dạng:

$$\Delta g = \Delta g_0 + \frac{GM}{r^2} \left[\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r}\right)^n (n-1) \sum_{m=0}^n (\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)) \bar{P}_{n,m}(\sin \bar{\varphi}) \right] \quad (2.2.18)$$

Với lưu ý: $\Delta g_0 = -\frac{GM - GM_0}{r^2} + \frac{2(W_0 - U_0)}{r}$

trong đó, GM là hằng số trọng trường địa tâm của Trái Đất; GM_0 là hằng số trọng trường địa tâm của ellipsoid tham chiếu quốc tế; r là bán kính địa tâm của điểm xét; γ là trọng lực chuẩn tại điểm xét; a là bán kính bán trục lớn của ellipsoid; $\bar{\varphi}, \lambda$ lần lượt là vĩ độ và kinh độ địa tâm của điểm xét; \bar{C}_{nm} và \bar{S}_{nm} lần lượt là các hệ số điều hòa cầu của mô hình thế trọng trường toàn cầu đã được chuẩn hóa đầy đủ; $\bar{P}_{n,m}(\sin \bar{\varphi})$ là hàm Legendre kết hợp đã chuẩn hóa; Δg_0 là đại lượng mức "0" của dị thường trọng lực.

Trước khi tính toán, các số liệu cần quy về cùng một hệ triền. Công thức thực dụng để chuyển đổi độ cao geoid và dị thường trọng lực giữa các hệ thống triền của thủy triền như sau [37], [50]:

a) *Mối liên hệ của độ cao geoid giữa các hệ thống triều của thủy triều*

$$N_m = N_z + 9.9 - 29.6 \sin^2 \bar{\varphi} (cm) \quad (2.2.37)$$

$$N_z = N_n + k(9.9 - 29.6 \sin^2 \bar{\varphi}) (cm) \quad (2.2.38)$$

$$N_n = N_m + (1+k)(-9.9 + 29.6 \sin^2 \bar{\varphi}) (cm) \quad (2.2.39)$$

b) *Mối liên hệ của dị thường trọng lực giữa các hệ thống triều của thủy triều:*

$$\Delta g_m = \Delta g_z - 30.4 + 91.2 \sin^2 \bar{\varphi} (\mu Gal) \quad (2.2.40)$$

$$\Delta g_z = \Delta g_n + (\delta - 1)(-30.4 + 91.2 \sin^2 \bar{\varphi}) (\mu Gal) \quad (2.2.41)$$

$$\Delta g_n = \Delta g_m - \delta(-30.4 + 91.2 \sin^2 \bar{\varphi}) (\mu Gal) \quad (2.2.42)$$

trong đó, k và δ là hệ số love ($k=0.3$; $\delta=1.16$); $N_n, \Delta g_n$ là độ cao geoid và dị thường trọng lực thuộc hệ thống triều không phụ thuộc; $N_m, \Delta g_m$ là độ cao geoid và dị thường trọng lực thuộc hệ thống triều trung bình; $N_z, \Delta g_z$ độ cao geoid và dị thường trọng lực thuộc hệ thống triều Zero; $\bar{\varphi}$ là vĩ độ địa tâm của điểm xét.

2.2.4. Độ cao địa hình mặt biển trung bình động học

Độ cao mặt biển trung bình động học (h_{MDT}) là khoảng cách từ các điểm xét nằm trên mặt biển trung bình đến mặt geoid tính theo phương pháp tuyến và là hiệu khoảng cách giữa: độ cao mặt biển trung bình (h_{MSS}) và độ cao geoid (N) (xem Hình 2.2), được xác định bằng biểu thức sau:

$$h_{MDT} = h_{MSS} - N \quad (2.2.43)$$

trong đó, h_{MSS} là độ cao mặt biển trung bình; N là độ cao geoid.

2.2.5. Phương pháp bình sai mạng lưới điểm giao cắt để loại bỏ độ cao địa hình mặt biển biến đổi theo thời gian h_t

Độ cao mặt biển động học được chia thành 2 phần là: Độ cao mặt biển trung bình động học (h_{MDT}) và độ cao mặt biển động học biến đổi theo thời gian h_t . Để loại bỏ thành phần độ cao mặt biển động học biến đổi theo thời gian ta sử dụng kỹ thuật bình sai giao cắt [58], [62]. Phương trình số hiệu chỉnh trong bài toán bình sai mạng lưới điểm giao cắt như sau:

(1) Đối với khu vực có chiều dài vết đo ngắn ($L < 1000$ km):

$$\begin{cases} v_{ij} = a_j - a_i + dH_{ij} \\ V_{ki} = -a_k + SSH'_{ki} \end{cases} \quad (2.2.56)$$

(2) Đối với khu vực có chiều dài vết đo trung bình ($L < 2000$ km):

$$\begin{cases} v_{ij} = (a_j + b_j \cdot \mu_i) - (a_i + b_i \cdot \mu_j) + dH_{ij} \\ V_{ki} = -(a_k + b_k \cdot \mu_{ki}) + SSH'_{ki} \end{cases} \quad (2.2.57)$$

(3) Đối với khu vực có chiều dài vết đo lớn ($L > 2000$ km):

$$\begin{cases} v_{ij} = (a_j + c_j \cdot \sin \mu_i + d_j \cdot \cos \mu_i) - (a_i + c_i \cdot \sin \mu_j + d_i \cdot \cos \mu_j) + dH_{ij} \\ V_{ki} = -(a_k + c_k \cdot \sin \mu_{ki} + d_k \cdot \cos \mu_{ki}) + SSH'_{ki} \end{cases} \quad (2.2.58)$$

Các tham số a, b, c, d được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất với điều kiện:

$$\sum v^T P v + w \sum V_k^T P_k V_k = \min \quad (2.2.59)$$

trong đó, w là trọng số tương quan.

2.3. Kết luận chương 2

Trong chương 2, đã trình bày nguyên lý về đo cao vệ tinh; các số hiệu chỉnh trong kết quả đo cao vệ tinh; các chương trình đo cao vệ tinh và dữ liệu đo cao vệ tinh. Ngoài ra luận án đã trình bày chi tiết cơ sở lý thuyết về phương pháp xác định độ cao mặt nước biển bằng số liệu đo cao vệ tinh; phương pháp xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh và rút ra được quy trình các bước tính toán xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh. Lý thuyết của phương pháp xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh sẽ là cơ sở để đề xuất ra các giải pháp thích hợp nhằm nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh.

CHƯƠNG 3: GIẢI PHÁP NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC XÁC ĐỊNH DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC BIỂN BẰNG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH

3.1. Cơ sở lý thuyết về các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

3.1.1. Cơ sở lý thuyết

Phương pháp xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh đã được trình bày chi tiết ở mục 2.2. Các phần dư độ cao geoid ΔN được xác định bằng công thức (2.2.7) sẽ được dùng để xác định phần dư dị thường trọng lực (δg) bằng các phương pháp như: LSC, FFT, công thức Stokes ngược và công thức Vening – Meinesz. Như vậy, độ chính xác của phần dư dị thường trọng lực biển nhận được sẽ phụ thuộc vào độ chính xác của các thành phần: SSH, N_{EGM} , h_{MDT} , h_i .

Do đó, để nâng cao độ chính xác của kết quả dị thường trọng lực biển được xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh, luận án sẽ đề xuất các giải pháp sau:

(1) Lựa chọn các loại vệ tinh có độ chính xác cao, ở chế độ đo phù hợp, kết hợp với nhau để tạo ra bộ số liệu trị đo độ cao mặt nước biển (SSH) có độ chính xác cao và mật độ điểm đo được tăng cường trên khu vực nghiên cứu.

(2) Sử dụng số liệu GNSS/thủy chuẩn để đánh giá và lựa chọn mô hình thế trọng trường toàn cầu phù hợp nhất với lãnh thổ Việt Nam để nhận được các giá trị bước sóng dài độ cao geoid (N_{EGM}) có độ chính xác cao sử dụng trong kỹ thuật “loại bỏ – phục hồi”.

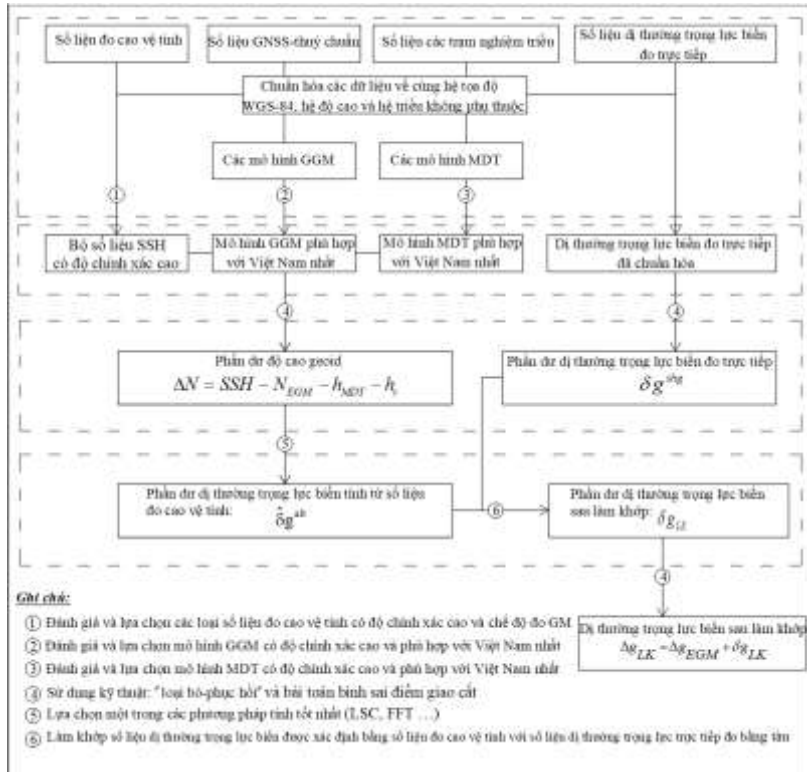
(3) Sử dụng các số liệu của trạm nghiệm triều dọc bờ biển Việt Nam có thời gian quan trắc nhiều năm, đánh giá và lựa chọn mô hình mặt biển trung bình động học MDT phù hợp nhất với vùng biển của Việt Nam để nhận được giá trị (h_{MDT}) có độ chính xác cao sử dụng trong tính toán.

(4) Lựa chọn phương pháp phù hợp để tính các phần dư dị thường trọng lực từ các phần dư độ cao geoid.

(5) Sử dụng số liệu đo trọng lực trực tiếp bằng tàu để đánh giá kết quả cũng như để làm khớp với dị thường trọng lực biển xác định được bằng số liệu đo cao vệ tinh.

Các giải pháp sẽ được nghiên cứu chi tiết ở các tiết tiếp theo.

3.1.2. Sơ đồ quy trình nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh



Sơ đồ 2. Quy trình nâng cao độ chính xác xác định đi thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

3.2. Giải pháp 1 - kết hợp các loại số liệu đo cao vệ tinh có độ chính xác cao ở chế độ GM để nâng cao độ chính xác xác định đi thường trọng lực

3.2.1. Lựa chọn số liệu của các vệ tinh thực hiện nhiệm vụ trắc địa

a) Chế độ đo ERM

Chế độ đo ERM được hiểu là chế độ đo mà vị trí các vết đo số liệu ở các chu kỳ đo khác nhau sẽ không thay đổi mà được lặp lại tương đối chính xác. Sự sai lệch về quỹ đạo giữa 2 chu kỳ liên tiếp nằm trong phạm vi $\pm 1\text{km}$ [33].

Do đó, nếu sử dụng số liệu của các vệ tinh khi thực hiện chế độ đo ERM để nghiên cứu chi tiết sự biến đổi của trường trọng lực biển sẽ không khả thi về mật độ điểm đo.

b) Vệ tinh có chế độ đo GM

Chế độ đo GM được hiểu là chế độ đo mà vị trí các vết đo số liệu ở các chu kỳ đo khác nhau sẽ luôn thay đổi. Do vị trí các vết đo số liệu ở các chu kỳ đo khác nhau luôn được thay đổi và có xu hướng đan xen vào nhau theo hướng từ Tây sang Đông tạo nên một mạng lưới các điểm đo dày đặc. Vì vậy mà sau nhiều chu kỳ quan sát của một vệ tinh thì khoảng cách giữa các vết đo số liệu tại xích đạo đạt từ $4\text{km} \div 8\text{km}$ tương ứng với mật độ điểm là $(3.5' \times 3.5')$. Như vậy nếu lựa chọn số liệu của các vệ tinh có chế độ đo GM để nghiên cứu chi tiết sự biến đổi của trường trọng lực biển thì mật độ điểm đã được tăng dày lên rất nhiều so với chế độ đo ERM.

3.2.2. Kết hợp số liệu vệ tinh mới có độ chính xác cao với nhau

Số lượng vệ tinh đã và đang thực hiện chế độ đo GM bao gồm có 6 vệ tinh đó là: Geosat, ERS-1, J1, HY-2A, Cryosat-2/GM và SARAL-DP/AltiKa. Số liệu của các loại vệ tinh này đáp ứng yêu cầu về mật độ

điểm đo độ cao mặt nước biển. Sai số trung phương của độ cao mặt nước biển SSH của 6 loại vệ tinh thực hiện chế độ đo GM này được nêu trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Bảng thống kê sai số xác định độ cao mặt nước biển của các vệ tinh thực hiện chế độ đo GM [36], [35], [69].

Sai số	Geosat	ERS-1	Jason-1	Cryosat-2/GM	HY-2A	SARAL/AltiKa
Thiết bị (cm)	5.0	3.0	1.6	0.2	-	1.0
Tầng Ion (cm)	2.0-3.0	2.0-3.0	0.5	0.2	-	0.3
Tình trạng mặt biển (cm)	2.0	2.0	2.0	0.2	-	2.0
Tầng đối lưu khô (cm)	1.0	1.0	0.7	0.2	-	0.7
Tầng đối lưu ướt (cm)	4.0	1.2	1.2	0.2	-	1.0
Khoảng c từ vệ tinh đến mặt biển sau khi đã hiệu chỉnh (cm)	7.0	4.6	3.0	0.4	4.0	2.6
Quỹ đạo vệ tinh (cm)	20.0	18.0	1.5	1.0	3.0	2.0
Độ cao mặt nước biển (cm)	21.0	18.6	3.3	1.0	5.0	3.2

Căn cứ vào Bảng 3.3 ta thấy: Vệ tinh SARAL/AltiKa và Cryosat-2/GM là 02 vệ tinh có độ chính xác xác định độ cao mặt nước biển cao hơn các vệ tinh khác. Ngoài ra, vệ tinh SARAL/AltiKa và Cryosat-2/GM có góc nghiêng quỹ đạo khác nhau. Do đó, nếu kết hợp nhiều chu kỳ số liệu của 2 loại vệ tinh này lại với nhau thì sẽ hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu về mật độ điểm đo cũng như yêu cầu về độ chính xác khi sử dụng số liệu đo cao vệ tinh để nghiên cứu đặc điểm của trường trọng lực biển.

3.3. Giải pháp 2 - lựa chọn mô hình thế trọng trường toàn cầu phù hợp với Việt Nam

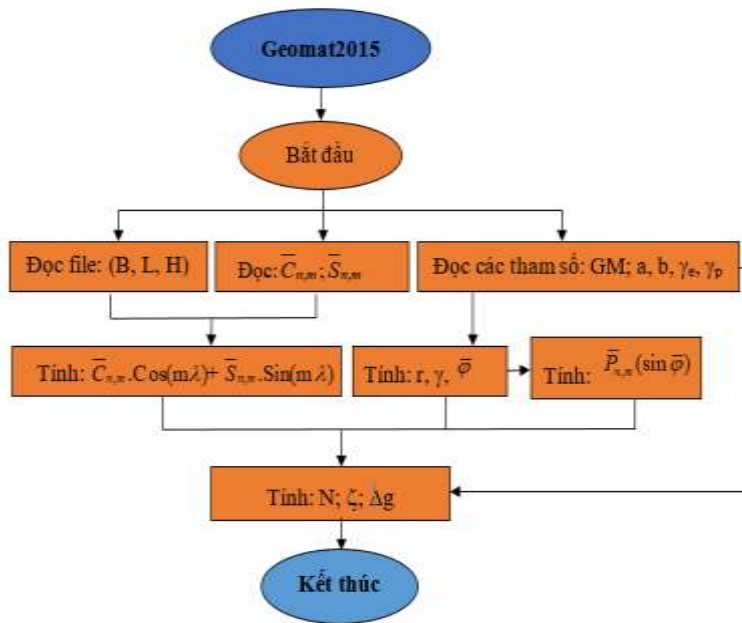
3.3.1. Kết quả đánh giá độ chính xác của các mô hình thế trọng trường toàn cầu

Theo kết quả đánh giá của ICGEM, các mô hình: EGM2008 [52]; GECO [42]; EIGEN-6C4 [40]; SGG-UGM-1 [63], [64] là 4 trong số các mô hình có số cấp n, bậc m lên đến 2190 và có độ chính xác cao. Độ lệch trung phương tương ứng của các mô hình nêu trên là: $\pm 0.1877\text{m}$; $\pm 0.1763\text{m}$; $\pm 0.1780\text{m}$; $\pm 0.1764\text{m}$. Vì vậy, sử dụng các mô hình này để đánh giá và tìm ra mô hình phù hợp nhất với Việt Nam.

3.3.2. Xây dựng chương trình tính độ cao geoid, dị thường độ cao và dị thường trọng lực từ các hệ số điều hòa cầu của mô hình thế trọng trường toàn cầu

Trên cơ sở các công thức (2.2.16) và (2.2.18), tiến hành xây dựng chương trình tính độ cao geoid, dị thường độ cao và dị thường trọng lực từ các hệ số hàm điều hòa cầu của các mô hình thế trọng trường toàn cầu cho các điểm bất kỳ khi biết các thành phần tọa độ trắc địa (B, L, H). Chương trình có tên là Geomat2015 [18], [70]. Sơ đồ khối của chương trình được thể hiện ở Hình 3.5.

Chương trình **Geomat2015** là một tổ hợp của 9 chương trình con được viết bằng ngôn ngữ lập trình Matlab.



Hình 3.5. Sơ đồ khối của chương trình Geomat2015



Hình 3.6. Biểu diễn sự phân bố của 818 điểm đo GPS - Thủy chuẩn (màu đen) và 31 trạm nghiệm triều (màu đỏ) trên lãnh thổ Việt Nam.

3.3.3. Đánh giá độ chính xác các mô hình thế trọng trường toàn cầu EGM2008, GECO, EIGEN-6C4 và SGG-UGM-1 ở khu vực Việt Nam

Đối với khu vực Việt Nam, sử dụng nguồn số liệu đo song trùng GPS - Thủy chuẩn để đánh giá độ chính xác của 4 mô hình này. Nguồn dữ liệu GPS - Thủy chuẩn bao gồm có 818 điểm, được phân bố đồng đều trên lãnh thổ Việt nam (xem Hình 3.6). Tại mỗi điểm đo nêu trên, đều có đo GPS để xác định tọa độ trắc địa (B, L) và độ cao trắc địa H_{GPS} thuộc hệ tọa độ WGS-84, cũng như có kết quả đo thủy chuẩn trong hệ thống độ cao quốc gia, để tính ra giá trị độ cao chuẩn h_{TC} , với điểm gốc độ cao lấy theo mặt biển trung bình tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu (Hải Phòng) [10].

Trước khi đánh giá độ chính xác, tiến hành lọc bỏ các trị đo thô trong dãy các trị đo với tiêu chí: lọc bỏ các số liệu $>$ (giá trị trung bình + 3*độ lệch chuẩn) và $<$ (giá trị trung bình - 3*độ lệch chuẩn). Các kết quả đánh giá độ chính xác được nêu trong Bảng 3.5.

Bảng 3.5. Tóm tắt kết quả so sánh dị thường độ cao tính từ các hệ số hàm điều hòa cầu của các mô hình thế trọng trường toàn cầu EGM2008, GECO, EIGEN-6C4, SGG-UGM-1 với dị thường độ cao được tính từ số liệu GPS - Thủy chuẩn.

STT	Các chỉ tiêu so sánh	EGM2008	GECO	EIGEN-6C4	SGG-UGM-1
		ζ (m)	ζ (m)	ζ (m)	ζ (m)
Hệ triều không phụ thuộc					
1	Độ lệch nhỏ nhất: δ_{ζ}^{\min}	-1.650	-1.401	-1.433	-1.354
2	Độ lệch lớn nhất: δ_{ζ}^{\max}	+0.036	-0.328	-0.0310	-0.252

STT	Các chỉ tiêu so sánh	EGM2008	GECO	EIGEN-6C4	SGG-UGM-1
		ζ (m)	ζ (m)	ζ (m)	ζ (m)
Hệ triều không phụ thuộc					
3	Độ lệch trung bình: δ_{ζ}^{tb}	-0.802	-0.873	-0.886	-0.845
4	Độ lệch chuẩn: σ_{ζ}	± 0.280	± 0.183	± 0.179	± 0.180

Dựa vào kết quả đánh giá độ chính xác của 04 mô hình thế trọng trường toàn cầu được nêu trong Bảng 3.5 cho thấy: Mô hình EIGEN-6C4 là mô hình có độ chính xác cao và phù hợp với lãnh thổ của Việt Nam nhất.

3.4. Giải pháp 3- lựa chọn mô hình mặt biển trung bình động học MDT phù hợp với vùng biển của Việt Nam

Công tác đánh giá độ chính xác của các mô hình MDT trên vùng biển Việt Nam được dựa vào số liệu của 31 trạm nghiệm triều (nằm trong phạm vi có tọa độ địa lý: $8.5^{\circ} < B < 21.5^{\circ}N$; $103.5^{\circ} < L < 109.5^{\circ}E$). Số liệu các trạm nghiệm triều được tham khảo trong tài liệu [6]. Vị trí các trạm nghiệm triều (xem Hình 3.6).

Bảng 3.6. Bảng thống kê kết quả đánh giá độ chính xác các mô hình MDT trên lãnh thổ Việt Nam

STT	Các chỉ tiêu so sánh	DNOSC08 MDT	DTU10MDT	DTU13MDT	DTU15MDT
		Hệ triều không phụ thuộc			
1	Độ lệch nhỏ nhất: $\delta_{h_{MDT}}^{\min}$ (m)	+0.350	+0.641	+0.869	+0.794
2	Độ lệch lớn nhất: $\delta_{h_{MDT}}^{\max}$ (m)	+1.182	+1.366	+1.444	+1.361
3	Độ lệch trung bình: $\delta_{h_{MDT}}^{tb}$ (m)	+0.900	+1.100	+1.123	+1.053
4	Độ lệch chuẩn: $\sigma_{h_{MDT}}$ (m)	± 0.208	± 0.172	± 0.132	± 0.131

Dựa vào kết quả đánh giá độ chính xác của các mô hình MDT cho thấy mô hình DTU15MDT là mô hình có độ chính xác cao và phù hợp với vùng biển của Việt Nam nhất.

3.5. Giải pháp 4 - lựa chọn phương pháp chuyển đổi phần dư độ cao geoid sang phần dư dị thường trọng lực

Trường trọng lực của Trái Đất là một đối tượng thống kê đa dạng, do vậy không thể có được các khu vực với các đặc trưng trọng trường giống nhau. Sau khi loại bỏ ảnh hưởng của mô hình trọng trường (các uốn, nếp có bước sóng dài) cũng như ảnh hưởng của địa hình cục bộ (phần lồi, lõm so với bề mặt cục bộ), trường dữ liệu còn lại được gọi là trường "phần dư" (residual field). Có nhiều phương pháp để chuyển đổi phần dư độ cao geoid thành phần dư dị thường trọng lực, ví dụ như phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất, FFT, công thức Stokes ngược và công thức Vening – Meinesz ngược...

Trong các phương pháp nêu trên thì phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất có nhiều tính ưu việt hơn trong việc giải quyết các bài toán của trắc địa vật lý, phương pháp này cho phép sử dụng kết hợp đồng thời các loại số liệu khác loại, trong khi công thức Stokes ngược và công thức Vening - Meinesz ngược chỉ sử dụng một loại số liệu. Trong các công thức tích phân thì các phép xử lý được thực hiện với số liệu đầu vào là ở dạng trị số, do vậy thường phải dùng phép nội suy; còn trong phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất các phép biến đổi tuyến tính lại được tiến hành ở dạng hàm hiệp phương sai và dựa trên cơ sở giải tích

chặt chẽ. Không những thế, các phép biến đổi toán học trong phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất về bản chất là các phép vi phân, nên đơn giản hơn các phép tích phân.

Do đó, trong luận án sẽ lựa chọn phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất để chuyển đổi phần dư độ cao geoid thành phần dư dị thường trọng lực.

3.5.1. Cơ sở lý thuyết phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất

Cơ sở lý thuyết của phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất như sau: Giả thiết rằng có hai tập hợp đại lượng ngẫu nhiên [3], [5]:

Tập hợp "trị đo" L_1, L_2, \dots, L_q , được biểu thị bởi vector q- chiều:

$$L = [L_1 L_2 \dots L_q]^T \quad (3.5.1)$$

và tập hợp "tín hiệu" cần xác định là S_1, S_2, \dots, S_m , được biểu thị bằng vector m- chiều:

$$S = [S_1 S_2 \dots S_m]^T \quad (3.5.2)$$

như vậy các vector L và S đều là vector cột

Ước lượng tuyến tính tốt nhất của vector S được ký hiệu là \hat{S} , được viết ở dạng:

$$\hat{S} = C_{SL} C_{LL}^{-1} L \quad (3.5.20)$$

Đây là ước lượng tuyến tính tốt nhất của vector "tín hiệu" dưới dạng hàm tuyến tính của vector số liệu quan trắc L (tức là ước lượng không chệch với phương sai nhỏ nhất).

Công thức (3.5.20) được gọi là công thức nội suy bình phương nhỏ nhất, hay nội suy Collocation bình phương nhỏ nhất.

3.5.2. Áp dụng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất để xác định phần dư dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

Giả sử có n giá trị phần dư độ cao geoid $\Delta N_1, \Delta N_2, \dots, \Delta N_n$ được xác định theo công thức (2.2.7). Theo [15], [20], [21], [22], [34], [57], [58], [62] và áp dụng công thức (3.5.20) ta có giá trị phần dư dị thường trọng lực tại điểm P (δg_p) được tính bằng công thức:

$$\delta g_p = C_{\Delta N \delta g_p}^T \cdot [C_{\Delta N \Delta N} + C_{\Delta}]^{-1} \cdot \Delta N \quad (3.5.21)$$

Độ chính xác của phần dư dị thường trọng lực nhận được tương ứng được đánh giá bằng công thức:

$$\sigma_{\delta g_p}^2 = C_{\delta g_p \delta g_p} - C_{\Delta N \delta g_p}^T \cdot [C_{\Delta N \Delta N} + C_{\Delta}]^{-1} \cdot C_{\Delta N \delta g_p} \quad (3.5.22)$$

trong đó:

$C_{\Delta N \delta g_p}$ là ma trận hiệp phương sai chéo giữa phần dư dị thường trọng lực cần xác định và phần dư độ cao geoid;

$C_{\Delta N \Delta N}$ là ma trận hiệp phương sai của phần dư độ cao geoid;

$C_{\Delta} = \sigma^2 \cdot E$ là ma trận phương sai sai số đo (σ^2 là phương sai của giá trị độ cao mặt nước biển (SSH), E là ma trận đơn vị (hạng n));

$C_{\delta g_p \delta g_p}$ là ma trận hiệp phương sai của phần dư dị thường trọng lực.

3.6. Giải pháp 5 – làm khớp phần dư dị thường trọng lực biển nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh với phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp

Do nhiều nguyên nhân khác nhau mà kết quả tính dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh có sự chênh lệch một đại lượng (ε) so với số liệu đo trọng lực trực tiếp. Sự chênh lệch này bao gồm: chênh lệch hệ thống (ε_{ht}) và chênh lệch ngẫu nhiên (ε_{nn}) [57].

$$\varepsilon = \varepsilon_{ht} + \varepsilon_m \tag{3.6.1}$$

Chênh lệch hệ thống (ε_{ht}) được xác định bằng công thức sau:

$$\varepsilon_{ht} = \frac{\sum_{i=1}^m (\delta_i^{shg} - \delta_i^{shg-alt})}{m} \tag{3.6.2}$$

trong đó, δ_i^{shg} và $\delta_i^{shg-alt}$ là các giá trị song trùng giữa phần dư dị thường trọng lực được đo trực tiếp và phần dư dị thường trọng lực xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh tương ứng, m là tổng số điểm song trùng.

Do tính chất của phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất nên trước khi làm khớp (*fitting*) giữa phần dư dị thường trọng lực nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh với phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất ta cần làm khớp lần thứ nhất giá trị độ lệch hệ thống ε_{ht} vào các giá trị phần dư dị thường trọng lực nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh bằng công thức:

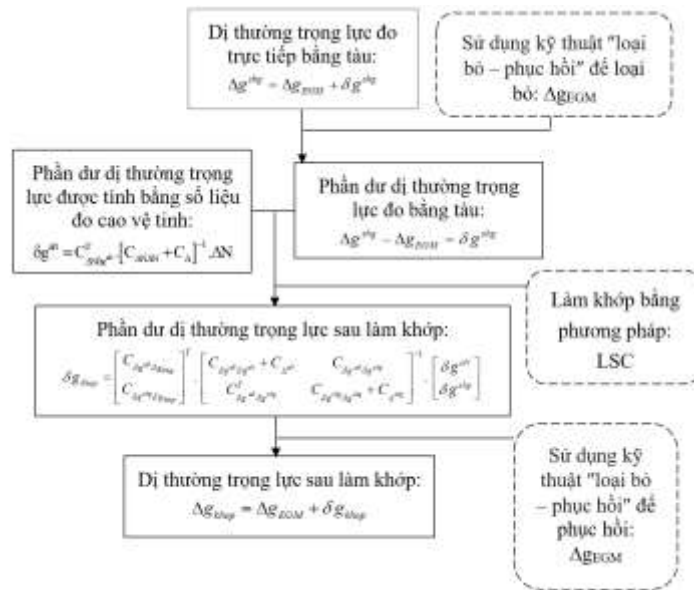
$$\delta_i^{alt} = \varepsilon_{ht} + \delta_i^{alt}, \text{ với } i=1,2,3,\dots,k. \tag{3.6.3}$$

Làm khớp lần thứ hai: Sử dụng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất để làm khớp phần sai lệch ngẫu nhiên ε_m vào các giá trị phần dư dị thường trọng lực nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh sau khi đã được làm khớp lần thứ nhất.

Theo công thức (3.5.20) ta có phần dư dị thường trọng lực của điểm P (δg_P) sau làm khớp được tính bằng công thức [15, 20, 34, 58, 62]:

$$\delta g_P = \begin{bmatrix} C_{\delta g^{alt} \delta g_P} \\ C_{\delta g^{shg} \delta g_P} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} C_{\delta g^{alt} \delta g^{alt}} + C_{\Delta^{alt}} & C_{\delta g^{alt} \delta g^{shg}} \\ C_{\delta g^{alt} \delta g^{shg}}^T & C_{\delta g^{shg} \delta g^{shg}} + C_{\Delta^{shg}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \delta g^{alt} \\ \delta g^{shg} \end{bmatrix} \tag{3.6.4}$$

Sau đây là quy trình làm khớp giữa phần dư dị thường trọng lực nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh với phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp bằng tàu.



Sơ đồ 3. Sơ đồ khối của phương pháp làm khớp giữa phần dư dị thường trọng lực nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh với phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp bằng tàu

3.7. Kết luận chương 3

- Kết hợp số liệu của vệ tinh Cryosat - 2/GM và SARAL/AltiKa/GM với nhau sẽ tạo ra được bộ số liệu trị đo độ cao mặt nước biển (SSH) có độ chính xác cao và có mật độ điểm đo tăng cường trên khu vực nghiên cứu.
- Mô hình thể trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4 là mô hình phù hợp nhất với lãnh thổ Việt Nam để sử dụng trong kỹ thuật “loại bỏ – phục hồi”.
- Mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT là phù hợp nhất với vùng biển của Việt Nam để sử dụng trong bài toán tính dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh.
- Phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất là phương pháp phù hợp để tính phần dư dị thường trọng lực từ phần dư độ cao geoid.
- Kết hợp dị thường trọng lực nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh với dị thường trọng lực đo trực tiếp sẽ loại bỏ được sai số hệ thống và nâng cao độ chính xác dị thường trọng lực xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh.

CHƯƠNG 4: ÁP DỤNG CÁC GIẢI PHÁP ĐỂ NÂNG CAO ĐỘ CHÍNH XÁC XÁC ĐỊNH DỊ THƯỜNG TRỌNG LỰC BIỂN BẰNG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH TRÊN VÙNG BIỂN VỊNH BẮC BỘ - VIỆT NAM

4.1. Khu vực nghiên cứu và số liệu thực nghiệm

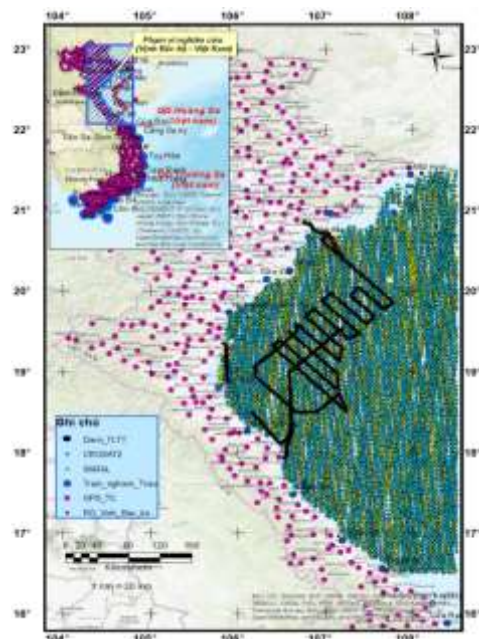
4.1.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thực nghiệm của luận án là vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam (xem Hình 4.2). Phạm vi tính toán thực nghiệm của luận án được giới hạn bởi tọa độ địa lý: $16^{\circ}30' \leq B \leq 22^{\circ}00'$ và $105^{\circ}30' \leq L \leq 108^{\circ}30'$.

4.1.2. Số liệu thực nghiệm

4.1.2.1. Số liệu đo cao vệ tinh

Số liệu đo cao vệ tinh được cung cấp bởi trung tâm lưu trữ dữ liệu vệ tinh AVISO bao gồm: 105 chu kỳ số liệu (từ chu kỳ 5 – ngày 31 tháng 07 năm 2010 đến chu kỳ 109 - ngày 22 tháng 09 năm 2018) tương ứng với 30810 điểm đo của vệ tinh Cryosat-2/GM và 54 chu kỳ số liệu (từ chu kỳ 36 – ngày 04 tháng 07 năm 2016 đến chu kỳ 89 - ngày 06 tháng 09 năm 2021) tương ứng với 16062 điểm đo của vệ tinh Saral/AltiKa. Tổng số điểm độ cao mặt nước biển do vệ tinh Cryosat – 2/GM và Saral/AltiKa đo được trong khu vực của vùng biển Vịnh Bắc Bộ -Việt Nam là 46872 điểm. Tại mỗi điểm đo nêu trên đều có tọa độ trắc địa (B, L) thuộc hệ tọa độ WGS-84 và độ cao mặt biển (SSH) đã được hiệu chỉnh các sai số và thuộc hệ triều không phụ thuộc. Với số lượng các điểm đo và sự phân bố các vết đo của 2 loại vệ tinh nêu trên thì số liệu đo cao vệ tinh có trên khu vực nghiên cứu có mật độ tương ứng ($1.5' \times 1.5'$) (xem Hình 4.2).



Hình 4.2. Vị trí các số liệu thực nghiệm

4.1.2.2. Số liệu đo trọng lực trực tiếp bằng tàu biển

Bảng 4.2. Bảng tổng hợp các loại số liệu được sử dụng trong luận án.

Dạng dữ liệu	Số điểm	Giá trị trung bình	Giá trị nhỏ nhất, lớn nhất	Hệ tọa độ	Hệ triều
SSH – Cryosat-2/GM (m)	30810	-18.609	-23.882 -10.336	WGS-84	Hệ triều không phụ thuộc
SSH - Saral/AltiKa (m)	16062	-18.643	-23.768 -10.056		
DTTL đo trực tiếp bằng tàu dùng để đánh giá: $\Delta g_{KKTĐ} = g - \gamma_0$ (mGal)	56978	-31.014	-61.460 +27.912		
DTTL đo trực tiếp bằng tàu dùng để làm khốp: $\Delta g_{KKTĐ} = g - \gamma_0$ (mGal)	2011	-30.219	-59.176 +11.210		

Để chứng minh cho các giải pháp nâng cao độ chính xác đã đề xuất ở chương 3 có cơ sở lý thuyết chặt chẽ và đảm bảo nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh trên khu vực Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam. Ở chương 4 sẽ tiến hành tính toán thực nghiệm với các phương án cụ thể như sau:

- **Phương án 1:** Sử dụng 105 chu kỳ số liệu của vệ tinh Cryosat-2/GM; mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4 và mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT để tính dị thường trọng lực biển bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất.
- **Phương án 2:** Sử dụng 54 chu kỳ số liệu của vệ tinh Saral/AltiKa; mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4 và mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT để tính dị thường trọng lực biển bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất.
- **Phương án 3:** Kết hợp 105 chu kỳ số liệu của vệ tinh Cryosat-2/GM với 54 chu kỳ số liệu của vệ tinh Saral/AltiKa; sử dụng mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4; mô hình địa hình mặt biển trung bình DTU15MDT để tính dị thường trọng lực biển bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất.

4.2. Kết quả thực nghiệm của các phương án.

4.2.1. Thực nghiệm xác định phần dư độ cao geoid.

Áp dụng quy trình tính toán được nêu trong Sơ đồ 1 và Sơ đồ 2 ta có kết quả phần dư độ cao geoid của các phương án được nêu tóm tắt trong Bảng 4.3.

Bảng 4.3. Bảng tổng hợp kết quả tính phần dư độ cao geoid của các phương án

Phương án tính	Vệ tinh	Số điểm	Hệ triều	$\Delta N = SSH - N_{EIGEN-6C4} - h_{MDT15} - h_t$ (phần dư độ cao geoid)		
				Giá trị trung bình (m)	Giá trị nhỏ nhất (m)	Giá trị lớn nhất (m)
Phương án 1	Cryosat-2/GM	30810	Hệ triều không phụ thuộc	+0.112	-0.496	+0.705
Phương án 2	Saral/AltiKa	16062		+0.134	-0.656	+0.673
Phương án 3	Cryosat-2/GM & Saral/AltiKa	46872		+0.120	-0.656	+0.705

4.2.2. Xác định phần dư dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh

4.2.2.1. Xác định các tham số hàm hiệp phương sai lý thuyết từ phần dư độ cao geoid

Kết quả xác định các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết của các phương án nhận được nêu trong Bảng 4.5.

Bảng 4.5. Kết quả tính các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết của các phương án

Phương án	N	a	R_B-R (km)	A (m/s) ⁴	Phương sai dị thường trọng lực (mGal ²)
Phương án 1	320	25.4263	-1.000	0.1451.10 ⁻²	60.88
Phương án 2	315	26.8046	-1.000	0.1217.10 ⁻²	58.96
Phương án 3	320	25.2415	-1.000	0.1451.10 ⁻²	60.44

4.2.2.2. Xác định phần dư dị thường trọng lực biển từ phần dư độ cao geoid.

Kết quả phần dư dị thường trọng lực biển nhận được trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam theo các phương án được thống kê vắn tắt và được nêu trong Bảng 4.6.

Bảng 4.6. Thống kê vắn tắt về kết quả phần dư dị thường trọng lực biển (δg) được xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh theo các phương án

Phương án tính	Vệ tinh	Grid	Hệ triều	Giá trị phần dư dị thường trọng lực biển (δg)		
				Trung bình (mGal)	Nhỏ nhất (mGal)	Lớn nhất (mGal)
Phương án 1	Cryosat-2/GM	2'x2'	Hệ triều không phụ thuộc	-0.85	-20.37	+20.88
Phương án 2	Saral/AltiKa	2'x2'		-1.05	-19.88	+18.02
Phương án 3	Cryosat-2/GM & Saral/AltiKa	1.5'x1.5'		-0.86	-20.17	+20.79

4.2.2.3. Đánh giá độ chính xác kết quả tính phần dư dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

Sử dụng 56978 điểm dị thường trọng lực biển được đo trực tiếp bằng tàu trong vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam để đánh giá độ chính xác kết quả tính phần dư dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh của 3 phương án tính.

Sau khi lọc bỏ các trị đo thô trong dãy các trị đo, tiến hành đánh giá độ chính xác. Các kết quả đánh giá độ chính xác được nêu trong Bảng 4.7.

Bảng 4.7. Tóm tắt kết quả so sánh phần dư dị thường trọng lực biển tính được bằng số liệu đo cao vệ tinh của 3 phương án tính với phần dư dị thường trọng lực biển đo trực tiếp trên khu vực Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam

STT	Các chỉ tiêu so sánh	Phương án 1	Phương án 2	Phương án 3
1	Độ lệch nhỏ nhất: $\Delta_{\delta g}^{\min}$ (mGal)	-7.43	-7.60	-7.32
2	Độ lệch lớn nhất: $\Delta_{\delta g}^{\max}$ (mGal)	+11.63	+12.04	+11.59
3	Độ lệch trung bình: $\Delta_{\delta g}^{tb}$ (mGal)	+2.12	+2.27	+2.16
4	Độ lệch chuẩn: $\sigma_{\delta g}$ (mGal)	±2.80	±2.89	±2.77

Kết quả so sánh cho thấy độ chính xác của phần dư dị thường trọng lực biển xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh theo phương án 3 có độ chính xác và độ phân giải cao hơn phương án 1 và phương án 2 (đánh giá theo độ lệch chuẩn đạt được: ± 2.77 mGal).

4.2.3. Làm khớp phần dư dị thường trọng lực biển nhận được bằng số liệu đo cao vệ tinh với phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp bằng phương pháp collocation bình phương nhỏ nhất.

4.2.3.1. Làm khớp lần thứ nhất (hiệu chỉnh độ lệch hệ thống)

Độ lệch trung bình giữa phần dư dị thường trọng lực biển tính bằng số liệu đo cao vệ tinh và phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp theo các phương án là: +2.12 mGal (Phương án 1); +2.27 mGal (Phương án 2); +2.16 mGal (Phương án 3). Đây chính là giá trị độ lệch hệ thống mà ta cần tìm.

Áp dụng công thức (3.6.3) ta có các giá trị phần dư dị thường trọng lực biển tính bằng số liệu đo cao vệ tinh sau khi làm khớp lần thứ nhất của 3 phương án như sau:

Phương án 1: $\delta_i^{alt} = \widehat{\delta}_i^{alt} - 2.12$ (mGal).

Phương án 2: $\delta_i^{alt} = \widehat{\delta}_i^{alt} - 2.27$ (mGal).

Phương án 3: $\delta_i^{alt} = \widehat{\delta}_i^{alt} - 2.16$ (mGal).

4.2.3.2. Làm khớp lần thứ hai bằng phương pháp collocation bình phương nhỏ nhất.

a) Xác định các tham số hàm hiệp phương sai lý thuyết của phần dư dị thường trọng lực.

Kết quả xác định các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết nhận được của các phương án được nêu trong Bảng 4.9.

Bảng 4.9. Kết quả tính các tham số của hàm hiệp phương sai lý thuyết

Phương án	<i>N</i>	<i>a</i>	<i>R_B-R</i> (km)	<i>A</i> (m/s) ⁴	Phương sai dị thường trọng lực (mGal ²)
Phương án 1	315	33.9946	-0.99997	0.1217.10 ⁻²	74.77
Phương án 2	312	34.6422	-0.99993	0.6306.10 ⁻²	72.32
Phương án 3	315	32.9702	-0.99997	0.1217.10 ⁻²	72.52

b) Xác định phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp phần dư dị thường trọng lực đo trực tiếp.

Kết quả phần dư dị thường trọng lực biển sau khi được làm khớp với số liệu đo trực tiếp trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam theo các phương án được thống kê vắn tắt và được nêu trong Bảng 4.10

Bảng 4.10. Thống kê vắn tắt về kết quả phần dư dị thường trọng lực biển được xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh sau khi được làm khớp với số liệu đo trực tiếp.

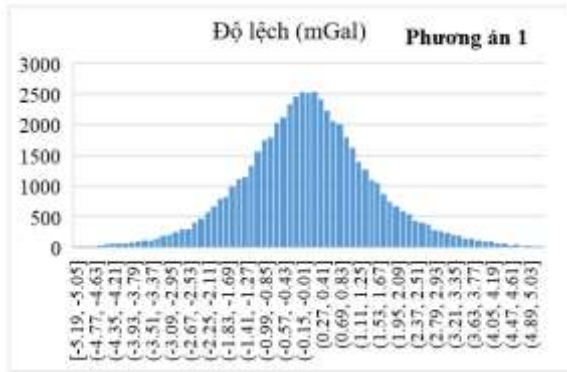
Phương án tính	Vệ tinh	Grid	Hệ triều	Giá trị phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp		
				Trung bình (mGal)	Nhỏ nhất (mGal)	Lớn nhất (mGal)
Phương án 1	Cryosat-2/GM	2'x2'	Hệ triều không phụ thuộc	-2.91	-22.14	+21.33
Phương án 2	Saral/AltiKa	2'x2'		-3.21	-23.13	+22.91
Phương án 3	Cryosat-2/GM & Saral/AltiKa	1.5'x1.5'		-2.98	-23.84	+23.61

c) Đánh giá độ chính xác phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp với số liệu đo trực tiếp.

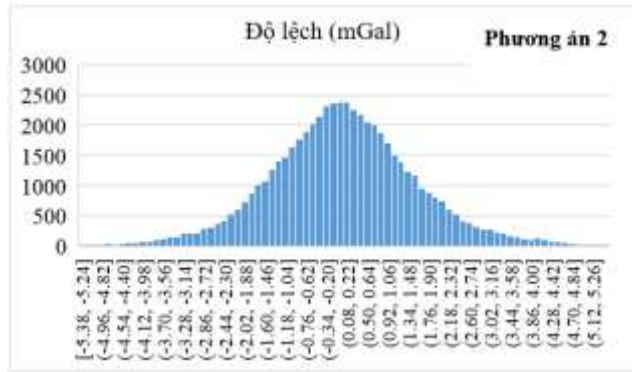
Các kết quả đánh giá độ chính xác được nêu trong Bảng 4.11. Biểu đồ tần suất độ lệch giữa kết quả dị thường trọng lực biển sau làm khớp với dị thường trọng lực biển đo trực tiếp bằng tàu được trình bày trong Biểu đồ 4.4; Biểu đồ 4.5; Biểu đồ 4.6 cho thấy: độ lệch tuân theo quy luật của sai số ngẫu nhiên.

Bảng 4.11. Kết quả đánh giá độ chính xác của các phương án tính sau khi đã làm khớp với số liệu dị thường trọng lực biển đo trực tiếp trên khu vực Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

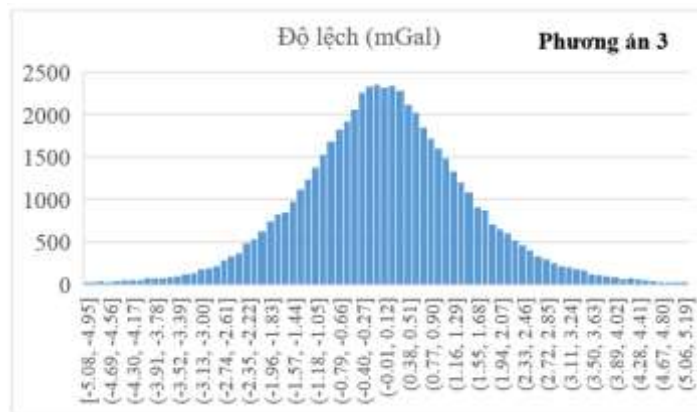
STT	Các chỉ tiêu so sánh	Phương án 1	Phương án 2	Phương án 3
1	Độ lệch nhỏ nhất: $\Delta_{\delta g}^{\min}$ (mGal)	-5.19	-5.38	-5.08
2	Độ lệch lớn nhất: $\Delta_{\delta g}^{\max}$ (mGal)	+5.29	+5.50	+5.18
3	Độ lệch trung bình: $\Delta_{\delta g}^{tb}$ (mGal)	+0.05	+0.07	+0.06
4	Độ lệch chuẩn: $\sigma_{\delta g}$ (mGal)	± 1.48	± 1.54	± 1.45



Biểu đồ 4.4. Biểu đồ tần suất độ lệch giữa phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp và số liệu đo trực tiếp trên khu vực Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam (Phương án 1)



Biểu đồ 4.5. Biểu đồ tần suất độ lệch giữa phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp và số liệu đo trực tiếp trên khu vực Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam (Phương án 2).

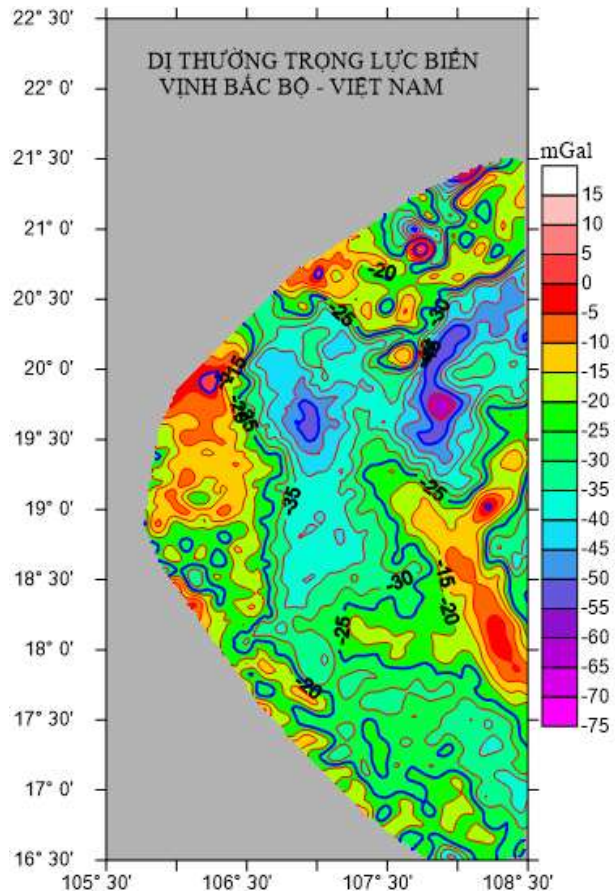


Biểu đồ 4.6. Biểu đồ tần suất độ lệch giữa phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp và số liệu đo trực tiếp trên khu vực Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam (Phương án 3).

Kết quả so sánh cho thấy: Phần dư dị thường trọng lực biển xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh sau khi được làm khớp với phần dư dị thường trọng lực biển đo trực tiếp gần như không còn sai số hệ thống và độ chính xác đạt được: ± 1.48 mGal (Phương án 1); ± 1.54 mGal (Phương án 2); ± 1.45 mGal (Phương án 3).

Như vậy, kết quả của phương án 3 có độ chính xác cao nhất. Phần dư dị thường trọng lực biển sau khi làm khớp có độ chính xác cao hơn so với trước khi làm khớp là: ± 1.45 mGal (Phương án 3). Sai số hệ thống giữa kết quả tính và số liệu đo trực tiếp cũng đã giảm từ $+2.16$ mGal xuống còn xấp xỉ 0.0 mGal ($+0.06$) (PA3). Điều này chứng minh rằng các giải pháp mà luận án đưa ra đã nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.

Sau khi có kết quả phần dư dị thường trọng lực biển (δg) đã làm khớp (phương án 3 – phương án có độ chính xác cao nhất), tiến hành khôi phục phần bước sóng dài dị thường trọng lực Δg_{EGM} từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình EIGEN-6C4 và tính dị thường trọng lực sau làm khớp bằng công thức (2.2.8).



Hình 4.10. Kết quả dị thường biển xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh Cryosat – 2/GM và Saral/Altika (Phương án 3) sau khi đã làm khớp với số liệu đo trọng lực trực tiếp được biểu diễn bằng đường bình độ và màu sắc trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

4.3. Đánh giá độ chính xác của các kết quả tính dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh đã có trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam.

Để so sánh độ chính xác của dị thường trọng lực do nghiên cứu sinh xác định được bằng số liệu đo cao vệ tinh với các kết quả nghiên cứu đã có trước đó trên khu vực Vịnh Bắc bộ - Việt Nam, sử dụng 56978 điểm trọng lực đo trực tiếp bằng tàu để đánh giá độ chính xác của các mô hình dị thường trọng lực toàn cầu xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh (DTU10GRA, DTU13GRA, DTU15GRA, DTU17GRA) trên phạm vi vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam. Kết quả đánh giá được nêu trong Bảng 4.14.

Bảng 4.14. Tổng hợp kết quả đánh giá độ chính xác của các mô hình trường trọng lực toàn cầu DTU10GRA, DTU13GRA, DTU15GRA, DTU17GRA và kết quả của luận án trên phạm vi vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam

STT	Mô hình	Độ lệch trung bình $\Delta_{\delta g}^{tb}$ (mGal)	Độ lệch chuẩn $\sigma_{\delta g}$ (mGal)
1	DTU10GRA	+2.99	± 5.80

STT	Mô hình	Độ lệch trung bình $\Delta_{\delta_g}^{tb}$ (mGal)	Độ lệch chuẩn σ_{δ_g} (mGal)
2	DTU13GRA	+2.95	± 5.73
3	DTU15GRA	+3.19	± 5.63
4	DTU17GRA	+3.11	± 5.76
5	Phương án 1	+0.05	± 1.48
6	Phương án 2	+0.07	± 1.54
7	Phương án 3	+0.06	± 1.45

So sánh các kết quả của 3 phương án tính của luận án với kết quả do thể giới tính nêu trong Bảng 4.14 trên phạm vi vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam cho thấy: Sau khi áp dụng các giải pháp nâng cao độ chính xác thì kết quả tính dị thường trọng lực biển có độ chính xác cao hơn rất nhiều, sai số đánh giá theo độ lệch chuẩn: ± 1.45 mGal. Các công trình do thể giới tính, kết quả tốt nhất đạt được có sai số đánh giá theo độ lệch chuẩn: ± 5.63 mGal (mô hình DTU15GRA). Điều này đã khẳng định rằng, các giải pháp mà luận án đưa ra có lý thuyết chặt chẽ và hoàn toàn khả thi trong tính toán thực nghiệm, đảm bảo nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.

4.4. Kết luận chương 4

- Sử dụng 105 chu kỳ số liệu của vệ tinh Cryosat-2/GM; mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4 và mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT để tính dị thường trọng lực biển bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất. Dị thường trọng lực biển đạt được có độ chính xác đánh giá theo độ lệch chuẩn: ± 2.80 mGal. Sau khi làm khớp với số liệu dị thường trọng lực đo trực tiếp, đã loại bỏ được sai số hệ thống cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, độ chính xác đạt được đối với khu vực có số liệu đo trực tiếp và trong phạm vi cách số liệu đo trực tiếp 0.5^0 là ± 1.48 mGal;

- Sử dụng 54 chu kỳ số liệu của vệ tinh Saral/AltiKa; mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4 và mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT để tính dị thường trọng lực biển bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất. Dị thường trọng lực biển đạt được có độ chính xác đánh giá theo độ lệch chuẩn: ± 2.89 mGal. Sau khi làm khớp với số liệu dị thường trọng lực đo trực tiếp, đã loại bỏ được sai số hệ thống cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, độ chính xác đạt được đối với khu vực có số liệu đo trực tiếp và trong phạm vi cách số liệu đo trực tiếp 0.5^0 là ± 1.54 mGal;

- Kết hợp 105 chu kỳ số liệu của vệ tinh Cryosat-2/GM với 54 chu kỳ số liệu của vệ tinh Saral/AltiKa; sử dụng mô hình thế trọng trường toàn cầu EIGEN-6C4; mô hình địa hình mặt biển trung bình DTU15MDT để tính dị thường trọng lực biển bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất. Dị thường trọng lực biển đạt được có độ chính xác đánh giá theo độ lệch chuẩn: ± 2.77 mGal. Sau khi làm khớp với số liệu dị thường trọng lực đo trực tiếp, đã loại bỏ được sai số hệ thống cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, độ chính xác đạt được đối với khu vực có số liệu đo trực tiếp và trong phạm vi cách số liệu đo trực tiếp 0.5^0 là ± 1.45 mGal.

Kết quả dị thường trọng lực biển nhận được của phương án 3 (kết hợp số liệu của vệ tinh Cryosat-2/GM với số liệu của vệ tinh Saral/AltiKa) đạt độ chính xác cao hơn so với 2 phương án còn lại. Các giải pháp mà luận án đưa ra có lý thuyết chặt chẽ, đã nâng cao được độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Nội dung luận án đã đạt được mục tiêu đề ra là nghiên cứu giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh. Các kết quả đã đạt được và có đóng góp mới về khoa học của luận án có thể kể đến như sau:

a) Luận án đã đề xuất được các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh, cụ thể là:

- Lựa chọn các loại vệ tinh mới có độ chính xác cao đang thực hiện nhiệm vụ GM, kết hợp với nhau để có được trị đo độ cao mặt nước biển (SSH) có độ chính xác cao và tăng thêm mật độ điểm đo cho khu vực nghiên cứu;

- Sử dụng số liệu GPS - Thủy chuẩn để đánh giá và lựa chọn mô hình thế trọng trường toàn cầu phù hợp với lãnh thổ Việt Nam nhất (mô hình EIGEN6-C4) để nhận được các giá trị bước sóng dài độ cao geoid (N_{EGM}) có độ chính xác cao để sử dụng trong kỹ thuật “loại bỏ – phục hồi”;

- Sử dụng các số liệu của trạm nghiệm triều dọc bờ biển Việt Nam để đánh giá và lựa chọn mô hình mặt biển trung bình động học MDT phù hợp nhất với vùng biển của Việt Nam (mô hình DTU15MDT) để sử dụng trong tính toán;

- Phân tích, so sánh các phương pháp và lựa chọn phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất là phương tốt nhất để chuyển đổi phần dư độ cao geoid thành phần dư dị thường trọng lực biển;

- Sử dụng số liệu đo trọng lực trực tiếp bằng tàu để làm khớp với dị thường trọng lực biển được xác định bằng số liệu đo cao vệ tinh theo 2 bước: (1) hiệu chỉnh sai lệch hệ thống; (2) làm khớp bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất;

Các giải pháp này có lý thuyết chặt chẽ, khả thi và đã nâng cao được độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh.

b) Luận án đã xây dựng được chương trình máy tính "*GEOMAT2015*" cho phép xác định độ cao geoid; dị thường độ cao; dị thường trọng lực từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thế trọng trường toàn cầu để phục vụ tính toán thực nghiệm các giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực biển bằng số liệu đo cao vệ tinh. Kết quả tính bằng chương trình này có độ chính xác và độ tin cậy cao.

c) Luận án đã xác định được dị thường trọng lực biển trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam từ số liệu đo cao vệ tinh Cryosat-2/GM kết hợp với Saral/Altika ở chế độ đo GM bằng phương pháp Collocation bình phương nhỏ nhất, sử dụng mô hình EIGEN6-C4, mô hình mặt biển trung bình động học DTU15MDT và làm khớp với số liệu đo trọng lực trực tiếp. Dị thường trọng lực biển xác định được có mật độ ($1.5^\circ \times 1.5^\circ$) và có độ chính xác đánh giá theo độ lệch chuẩn khi so sánh với số liệu đo trực tiếp đạt là ± 2.77 mGal. Sau khi làm khớp với số liệu dị thường trọng lực đo trực tiếp, đã loại bỏ được sai số hệ thống cho toàn bộ khu vực nghiên cứu, độ chính xác đạt được đối với khu vực có số liệu đo trực tiếp và trong phạm vi cách số liệu đo trực tiếp 0.5° là ± 1.45 mGal. Kết quả có độ chính xác cao hơn nhiều so với các kết quả xác định dị thường trọng lực biển trước đó ở những khu vực gần bờ.

Với các kết quả đạt được như trên, luận án đã đạt được các kết quả như mục tiêu đề ra.

2. Kiến nghị về những nghiên cứu tiếp theo

- Từ các kết quả nghiên cứu của luận án, nên tiến hành nghiên cứu thêm trên các vùng biển khác, đặc biệt là các vùng biển gần bờ và vùng nước nông nơi bị chịu nhiều các yếu tố sóng, gió, thủy triều và địa vật lý phức tạp.

- Có thể ứng dụng các giải pháp mà luận án đưa ra để xây dựng bộ số liệu dị thường trọng lực cho cả Biển Đông bằng số liệu đo cao vệ tinh.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Nguyễn Văn Sáng, Nguyễn Văn Lâm và Phạm Văn Tuyên (2015). "Khảo sát một số phương pháp xác định vị trí điểm giao cắt trong xử lý số liệu đo cao vệ tinh", *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*. 49, tr. 105-108.
2. Nguyễn Văn Sáng, Phạm Văn Tuyên (2015), "Khảo sát ảnh hưởng của thủy triều đến đo cao GPS-thủy chuẩn và đo cao vệ tinh", *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*. 50, tr. 101 - 104.
3. Nguyễn Văn Sáng, Phạm Văn Tuyên (2016), "Xác định độ cao geoid và dị thường trọng lực từ các hệ số hàm điều hòa cầu.", *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*. 53, tr. 58 - 62.
4. Nguyễn Văn Sáng, Lê Thị Thanh Tâm, Vũ Văn Trí, Trần Thị Thu Trang và Phạm Văn Tuyên (2016). "Xác định dị thường mực nước biển trên Biển Đông bằng số liệu đo cao vệ tinh", *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*. 55, tr. 66 - 71
5. Nguyễn Văn Sáng và Phạm Văn Tuyên (2017). "Xác định thể trọng trường thực từ các hệ số hàm điều hòa cầu của mô hình thể trọng trường toàn cầu", *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*. 58, tr. 82 - 86.
6. Vũ Văn Trí, Nguyễn Văn Sáng và Phạm Văn Tuyên (2017), *Nghiên cứu phương pháp xác định dị thường trọng lực cho vùng biển xung quanh quần đảo Trường Sa bằng số liệu đo cao vệ tinh và số liệu trọng lực vệ tinh*, Đề tài cấp bộ - B2016-MDA-11ĐT, Bộ giáo dục và đào tạo, Hà Nội.
7. Nguyễn Văn Sáng, Vũ Văn Trí và Phạm Văn Tuyên (2018). Xác định dị thường trọng lực từ số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển xung quanh Quần đảo Trường Sa, Hội nghị khoa học, công nghệ toàn quốc ngành đo đạc bản đồ, Hà Nội, tr. 105 - 112.
8. Phạm Văn Tuyên, Nguyễn Văn Sáng (2018), "Kết quả xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh Cryosat-2 trên vùng biển Vịnh Bắc Bộ - Việt Nam", *Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa Chất*. 59(2), tr. 60-68.
9. Phạm Văn Tuyên, Nguyễn Văn Sáng (2018), Một số giải pháp nâng cao độ chính xác xác định dị thường trọng lực bằng số liệu đo cao vệ tinh trên vùng biển vịnh Bắc bộ - Việt Nam, Hội nghị toàn quốc khoa học Trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2018), tr. 62 - 68.
10. Nguyen Van Sang, Pham Van Tuyen, Nguyen Van Lam, Ole Baltazar Andersen, Rene Forsberg and Bui Tien Dieu (2020), "Marine gravity anomaly mapping for the Gulf of Tonkin area (Vietnam) using Cryosat-2 and Saral/AltiKa satellite altimetry data", *Advances in Space Research*. 66(3), pp. 505-519. ISSN: 0273-1177 (ISI, Q1). <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.04.051>.
11. Pham Van Tuyen và Nguyen Van Sang (2016), Assessment of precision of height anomalies and gravity anomalies calculated from the global geopotential models in Vietnam territory, *International Symposium on Geo-Spatial and Mobile Mapping Technologies and Summer School for Mobile Mapping Technology_GMMT*, ISBN: 978-604-93-8868-2, Bach Khoa Publishing House, Vietnam, pp. 193 - 197.
12. Nguyen Van Sang, Vu Van Tri và Pham Van Tuyen (2019), Determination of Marine Gravity Anomalies in the Truong Sa Archipelago's Sea Territory Using Satellite Altimeter Data, FIG Working Week 2019. Geospatial information for a smarter life and environmental resilience, Hanoi, Vietnam.