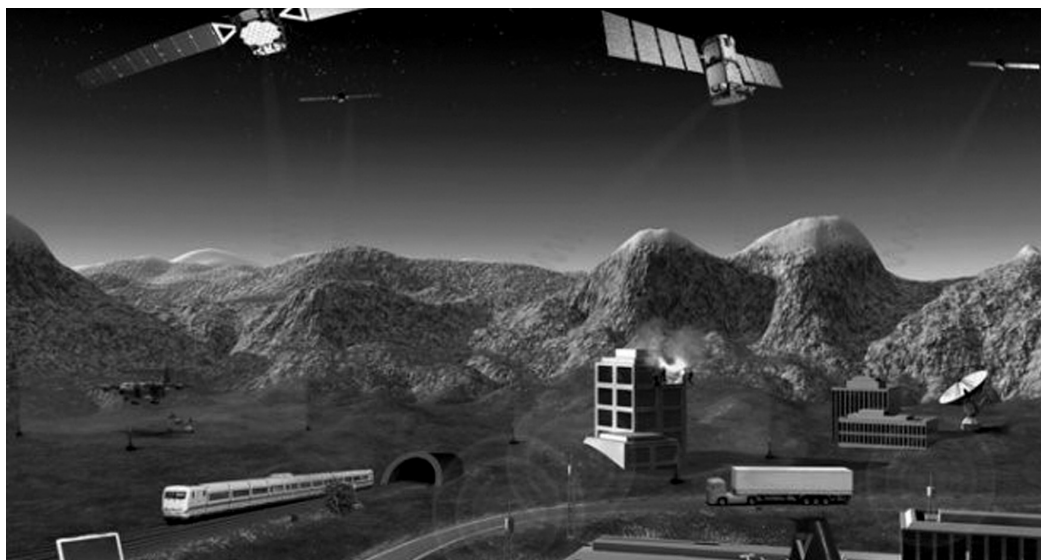


XÂY DỰNG GEOID ĐỘ CHÍNH XÁC CAO Ở VIỆT NAM

ThS. NGUYỄN TUẤN ANH

Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam



Tóm tắt

Bài báo phân tích nhu cầu và tổng hợp, kế thừa các công trình nghiên cứu xây dựng mô hình Geoid/Quasigeoid trên thế giới và ở Việt Nam, qua đó đưa ra định hướng cụ thể, khả thi và phù hợp với hiện trạng thực tế để xây dựng được mô hình Geoid với độ chính xác có thể dùng được cho hầu hết các ứng dụng thực tiễn ở Việt Nam. Độ chính xác đạt được từ 4 - 6 cm cho khu vực đồng bằng, từ 8 - 10 cm cho khu vực vùng núi.

Từ khóa: Geoid, đo cao bằng GNSS, mô hình Geoid.

1. Đặt vấn đề

Công nghệ GNSS (Global Navigation Satellite System) phát triển và phổ cập như ngày nay cho phép xác định tọa độ, độ cao trắc địa của một điểm đạt đến độ chính xác cỡ centimet trên phạm vi hàng nghìn kilomet. Tuy nhiên, việc xác định độ cao chính/độ cao chuẩn với độ chính xác cao bằng công nghệ GNSS thay cho phương pháp đo thủy chuẩn truyền thống đòi hỏi phải có được mô hình Geoid/Quasigeoid độ chính xác cao.

Như chúng ta đã biết, phương pháp đơn giản nhất

để xây dựng mô hình Geoid/Quasigeoid là nội suy từ các điểm có đo cả độ cao bằng công nghệ định vị toàn cầu GPS và độ cao thủy chuẩn (GPS-TC). Với quy mô lãnh thổ một quốc gia có nhiều đặc thù địa hình, địa mạo phức tạp khác nhau, phương pháp này trở nên kém hiệu quả, do không thể đo được các giá trị GPS-TC độ chính xác cao tại những vị trí có địa hình phức tạp, khó khăn, cũng như chi phí lớn cho việc tăng dày đủ mật độ các điểm GPS-TC tương ứng với bước sóng ngắn của mặt Geoid. Trong khi đó bản chất của Geoid là mặt đẳng thế, biến thiên của nó phụ thuộc vào phân bố tỉ trọng vật chất của lớp vỏ Trái đất gây ra sự thay đổi thế trọng trường tại các vị trí khác nhau trên mặt

đất.

Như vậy, bằng các công nghệ đo trọng lực vệ tinh, hàng không, tàu biển, mặt đất như hiện nay người ta có thể xây dựng được cơ sở dữ liệu trọng lực phủ trùm toàn bộ lãnh thổ một quốc gia rộng lớn phục vụ việc xây dựng mô hình Geoid/Quasigeoid với mật độ, độ chi tiết, độ chính xác cao và giá thành rẻ hơn phương pháp GPS-TC nhiều lần. Ngoài ra, để tăng tính hiệu quả của phương pháp này, xu hướng trên thế giới hiện nay là kế thừa mô hình Geoid toàn cầu ở bước sóng dài, sau đó tăng cường bằng các dữ liệu địa hình, trọng lực chi tiết và GPS-TC để xây dựng mô hình Geoid với mức độ chi tiết và độ chính xác cao.

Một trong các cơ quan đo đạc và bản đồ của Hoa Kỳ NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) đã xây dựng mô hình trọng trường Trái đất EGM-2008, cung cấp một cách chính thức cho người sử dụng toàn cầu dưới dạng các hệ số điều hòa cầu lên đến bậc 2190, cho phép không những có thể tính được giá trị Geoid, dị thường độ cao mà còn có thể tính được các giá trị vật lý Trái đất đặc trưng khác như thế trọng trường, độ lệch dây dọi, dị thường trọng lực.... Tuy nhiên, khi xây dựng EGM-2008 cũng như các mô hình trọng trường toàn cầu khác, Việt Nam thuộc nước ở khu vực “Fill in”, tức các dữ liệu trọng lực chi tiết của Việt Nam hầu như không được đưa vào để tính toán các hệ số điều hòa cầu này. Do đó độ chính xác của EGM-2008 ở khu vực Việt Nam không cao.

Mặt khác, ở Việt Nam trong những năm gần đây, nhận thức được tầm quan trọng của các đặc trưng của

vật lý Trái đất như bề mặt địa hình, trường trọng lực và các tính chất bề mặt khác của Trái đất, công tác đo địa hình, trọng lực hiện đại không ngừng được quan tâm. Chúng ta đang hoàn thiện hệ thống bản đồ địa hình 1/10.000 phủ trùm toàn quốc, hệ thống trọng lực cơ sở quốc gia và liên tục đo bổ sung các dữ liệu trọng lực chi tiết mới. Như vậy, nhiệm vụ cấp thiết lúc này là dùng các dữ liệu trọng lực chi tiết ngày càng hoàn thiện cùng với các dữ liệu địa hình ở Việt Nam để dần dần cải chính các hệ số điều hòa cầu trong các mô hình trọng trường toàn cầu nói chung và EGM-2008 nói riêng sao cho chúng ta thu được một mô hình mới với các hệ số điều hòa cầu được cải chính phù hợp nhất với trọng trường Trái đất thực ở khu vực Việt Nam. Cuối cùng là dùng một lượng ít các điểm GPS-TC tại các vị trí đặc trưng, có giá trị tin cậy để làm khớp về cơ sở toán học cục bộ theo hệ độ cao của Việt Nam.

2. Giải quyết vấn đề

2.1. Tổng hợp và kế thừa các kết quả trên thế giới và ở Việt Nam.

Theo ý kiến chung của cộng đồng khoa học thế giới, đến nay (năm 2018) mô hình Geoid EGM-2008 vẫn là mô hình toàn cầu có bậc (độ phân giải) cao nhất lên đến 2190 (tương đương với ô vuông chuẩn 5'x5', vẫn gọi là Grid 5'x5'), có độ chính xác đồng đều trên phạm vi toàn cầu và cung cấp một cách chính thức cho người sử dụng toàn cầu. Ngoài ra, những năm gần đây đã có một số mô hình Geoid khác đạt đến bậc tối đa là 2190 nhưng độ chính xác không

No	Mô hình	Bậc mô hình	Hoa Kỳ 6169 điểm	Canada 2691 điểm	Châu Âu 1047 điểm	Australia 201 điểm	Nhật 816 điểm	Brazil 1112 điểm	Tổng 12036 điểm
1	EGM2008	2190	0.248 m	0.128 m	0.125 m	0.217 m	0.083 m	0.460 m	0.2395 m
2	EIGEN-6C	1420	0.247 m	0.136 m	0.128 m	0.219 m	0.082 m	0.448 m	0.2380 m
3	EIGEN-6C2	1949	0.249 m	0.129 m	0.123 m	0.214 m	0.080 m	0.445 m	0.2373 m
4	EIGEN-6C3STAT	1949	0.247 m	0.129 m	0.121 m	0.213 m	0.078 m	0.447 m	0.2364 m
5	EIGEN-6C4	2190	0.247 m	0.126 m	0.121 m	0.212 m	0.079 m	0.446 m	0.2359 m
6	GECO	2190	0.246 m	0.131 m	0.123 m	0.216 m	0.080 m	0.451 m	0.2370 m

Bảng 1: Kết quả kiểm tra độ chính xác các mô hình Geoid trên phạm vi toàn cầu

đồng đều và đang ở giai đoạn thử nghiệm. Kết quả kiểm tra EGM-2008 tại 12036 điểm GPS-TC trên thế giới cho sai số trung phương trung bình đạt 0,2395m, trong đó:

- 6169 điểm ở Hoa Kỳ cho sai số trung phương trung bình là 0,248m;
- 2691 điểm ở Canada cho sai số trung phương trung bình là 0,128m;
- 1047 điểm ở Châu Âu cho sai số trung phương trung bình là 0,248m;
- 201 điểm ở Australia cho sai số trung phương trung bình là 0,217m;
- 816 điểm ở Nhật Bản cho sai số trung phương trung bình là 0,083m;
- 1112 điểm ở Brazil cho sai số trung phương trung bình là 0,460m.

Cụ thể kết quả kiểm tra EGM-2008 và một số mô hình Geoid khác có bậc tối đa tương đương được trình bày trong Bảng 1.

Từ Bảng 1 ở trên, có thể thấy rằng ở các khu vực Brazil, tương tự như ở Việt Nam, dữ liệu trọng lực chi tiết mặt đất không tham gia vào quá trình xây dựng Geoid (Trong biểu đồ tổng hợp dữ liệu trên toàn cầu để xây dựng Geoid thì các vùng này sử dụng dữ liệu trọng lực vệ tinh và được đánh dấu là vùng Fill-in) nên độ chính xác Geoid kém hơn.

Kiểm tra Geoid EGM-2008 trên các điểm GPS-TC hạng I, II, và III ở Việt Nam thu được kết quả được trình bày trong Bảng 2.

của Geoid EGM-2008. (Cụ thể là mặt khối tính độ cao và hệ triều).

Do vậy, ở Việt Nam, để sử dụng Geoid toàn cầu EGM-2008 và làm chính xác hóa nó phục vụ cho việc đo cao thủy chuẩn độ chính xác cao bằng công nghệ GNSS, chúng ta phải thực hiện theo các bước sau:

1. Cải chính sự khác biệt về cơ sở toán học giữa Geoid toàn cầu EGM2008 và hệ độ cao Việt Nam gồm: độ chênh mặt khối tính giữa Geoid toàn cầu EGM2008 và Geoid cục bộ theo hệ độ cao HN-72 của Việt Nam (tham khảo các công bố của Hà Minh Hòa (2014) và Lê Minh (2017) và khác biệt về hệ triều khoảng 2cm theo vĩ độ;

2. Bước 1 ở trên là cải chính các sai lệch hệ thống, có thể tính toán ra được con số cụ thể theo biểu thức toán học tuyến tính và chúng ta có thể gọi đây là bước cải chính thô. Sau khi hoàn thành bước cải chính thô này thì sai số của EGM-2008 trên các điểm GPS-TC chỉ còn lại sai số ngẫu nhiên, do sự thiếu hụt dữ liệu trọng lực chi tiết mặt đất khi đưa vào để xây dựng Geoid và do việc dùng địa hình khái quát 5'x5' khi xây dựng mô hình EGM-2008. Tổng hợp các sai số này trung bình khoảng 0,445m ở các khu vực "Fill-in" nói chung cũng như ở Việt Nam nói riêng (tương đương như ở Brazil). Sai số này biến thiên phi tuyến tại các khu vực khác nhau. Không có một công thức hay phương trình toán học cụ thể nào có thể dùng để hiệu chỉnh hết sai số này một cách tổng quát, trên thế giới đã có nhiều công trình khoa học nghiên cứu công phu

STT	Các điểm GPS-TC	Sai số trung phương trung bình
1	234 điểm GPS-TC hạng I	0.945 m
2	431 điểm GPS-TC hạng I+II	0.910 m
3	818 điểm GPS-TC hạng I+II+III	0.912 m

Bảng 2: Độ chính xác mô hình EGM-2008 tại Việt Nam

Qua bảng trên cho thấy, mặc dù Việt Nam và Brazil cùng nằm trên vùng Fill-in như nhau nhưng sai số kiểm tra trên các điểm GPS-TC ở Việt Nam lớn hơn ở Brazil rất nhiều, có thể lý giải đây là do cơ sở toán học của hệ thống độ cao ở Việt Nam mà các điểm GPS-TC tham chiếu tới không đồng nhất với cơ sở toán học

để cải chính sai số này. Trong bước cải chính này người ta gọi là bước tinh chỉnh làm chính xác hóa mô hình Geoid. Các công đoạn của bước tinh chỉnh này bao gồm:

- ♦ Phân tích, làm rõ cơ sở toán học và các thành phần dữ liệu đưa vào để xây dựng Geoid EGM-2008,

đặc biệt là khu vực “Fill-in” ở Việt Nam;

- Đánh giá xem tại các khu vực “Fill-in” thiếu hụt dữ liệu gì dẫn tới độ chính xác Geoid bị suy giảm so với các khu vực khác;

- Thu thập, chuẩn hóa các dữ liệu thiếu hụt gồm trọng lực chi tiết mặt đất, dữ liệu địa hình và dữ liệu GPS-TC tại Việt Nam về cùng cơ sở toán học với EGM-2008;

- Trên nền tảng EGM-2008, đưa dữ liệu trọng lực chi tiết và dữ liệu địa hình ở mật độ cao vào để xây dựng mô hình Geoid trọng lực độ phân giải tương đương ô vuông chuẩn 2'x2' ở Việt Nam;

Cuối cùng dùng các điểm GPS-TC có độ tin cậy cao ở các vị trí đặc trưng xung yếu để thực hiện bước làm khớp những sai số còn sót lại, kết quả sẽ thu được mô hình Geoid ở Việt Nam có độ chính xác từ 4 - 6cm tại khu vực đồng bằng, từ 8 - 10cm tại khu vực vùng núi.

2.2. Định hướng phương án xây dựng và khai thác Geoid độ chính xác cao (từ 4 - 6 cm tại khu vực đồng bằng, từ 8 - 10 cm tại khu vực vùng núi) ở Việt Nam, trên cơ sở sử dụng Geoid toàn cầu EGM-2008, kế thừa các Geoid đã có ở Việt Nam và bổ sung các dữ liệu trọng lực, địa hình, GPS-TC

Tổng kết từ lý luận và thực tiễn cho đến nay, có thể đưa ra quá trình xây dựng mô hình Geoid độ chính xác cao ở Việt Nam bao gồm các bước như sau:

- Phân tích, làm rõ cơ sở toán học và các thành phần dữ liệu đưa vào để xây dựng Geoid EGM-2008, đặc biệt là các khu vực “Fill-in” ở Việt Nam.

- Đánh giá xem tại các khu vực “Fill-in” thiếu hụt dữ liệu gì dẫn tới độ chính xác Geoid bị suy giảm so với các khu vực khác.

- Phân tích đánh giá các mô hình Geoid đã được xây dựng chính thức ở Việt Nam.

- Lựa chọn các điểm GPS-TC ở các vị trí đặc trưng và có giá trị tin cậy.

- Thực hiện phép tính toán số cải chính về sự khác biệt của cơ sở toán học giữa Geoid toàn cầu EGM-2008 và hệ độ cao Việt Nam bao gồm: độ chênh mặt khởi tính và khác biệt về hệ thủy triều (bước hiệu chỉnh thô).

- Phân tích hiện trạng và đánh giá mật độ, độ chính xác dữ liệu trọng lực chi tiết mặt đất và dữ liệu mô hình số độ cao địa hình (DEM) hiện có ở Việt Nam.

- Thiết kế mô hình Geoid mới ở Việt Nam bao gồm giới hạn tọa độ mô hình từ 8 - 24 độ vĩ, 102 - 116 độ kinh với kích thước ô vuông chuẩn 2'x2'.

- Xây dựng mô hình số độ cao độ chính xác đồng đều, nhất quán với ô vuông chuẩn 30mx30m, phần đất liền bao phủ trùm ra ngoài giới hạn mô hình Geoid 30km; mô hình DEM này sẽ dùng nhất quán để tính cải chính trọng lực không gian tự do (Free-Air), hiệu chỉnh địa hình do sai số “Omission” cho Geoid và để dùng cho giải pháp tính toán theo kỹ thuật “Rút ra - Hoàn trả” (Remove - Restore); phần bên trong lãnh thổ Việt Nam lấy từ nguồn bản đồ 1/10.000, phần bên ngoài lãnh thổ Việt Nam lấy từ nguồn DEM 30mx30m toàn cầu.

- Thiết kế những khu vực cần đo bổ sung dữ liệu trọng lực vùng núi, vùng đồng bằng và thu thập chuẩn hóa dữ liệu trọng lực vùng biển đảo; định lượng đặt ra là khu vực đồng bằng đảm bảo mỗi ô vuông chuẩn 2'x2' có 1 điểm trọng lực chi tiết độ chính xác 2mGal, khu vực miền núi bảo đảm mỗi ô vuông chuẩn 5'x5' có 1 điểm trọng lực chi tiết độ chính xác 3mGal, khu vực biển đảo có dữ liệu trọng lực biển hoặc/và vệ tinh ô vuông chuẩn 1x1 có độ chính xác 4mGal.

- Thiết kế các khu vực cần đo GPS-TC bổ sung.

- Chuẩn hóa dữ liệu địa hình ở Việt Nam bảo đảm nhất quán về cơ sở toán học như dữ liệu địa hình đã đưa vào xây dựng EGM-2008.

- Cải chính địa hình do sai số “Omission” cho mô hình Geoid EGM-2008 đối với khu vực Việt Nam.

- Chuẩn hóa các dữ liệu trọng lực chi tiết mặt đất ở Việt Nam để đưa cùng về cơ sở toán học như dữ liệu trọng lực dùng để xây dựng mô hình EGM-2008.

- Đưa dữ liệu trọng lực chi tiết mặt đất vào EGM-2008 đã cải chính địa hình để xây dựng lại mô hình Geoid trọng lực ở Việt Nam theo giới hạn và ô chuẩn như thiết kế.

- Lựa chọn các điểm GPS-TC khu vực đồng bằng với mật độ sao cho khoảng 20 km có một điểm, tại các vị trí có sự chênh tương đối giữa Geoid trọng lực với EGM-2008 gốc lớn hơn 10cm trong bán kính 10km, độ chính xác GPS-TC phải đạt dưới 2cm.

- Lựa chọn các điểm GPS-TC khu vực vùng núi với mật độ sao cho khoảng 40 km có một điểm, tại các vị trí có sự chênh tương đối giữa Geoid trọng lực với EGM-2008 gốc lớn hơn 20cm trong bán kính 30km, độ chính xác GPS-TC phải đạt dưới 3cm.

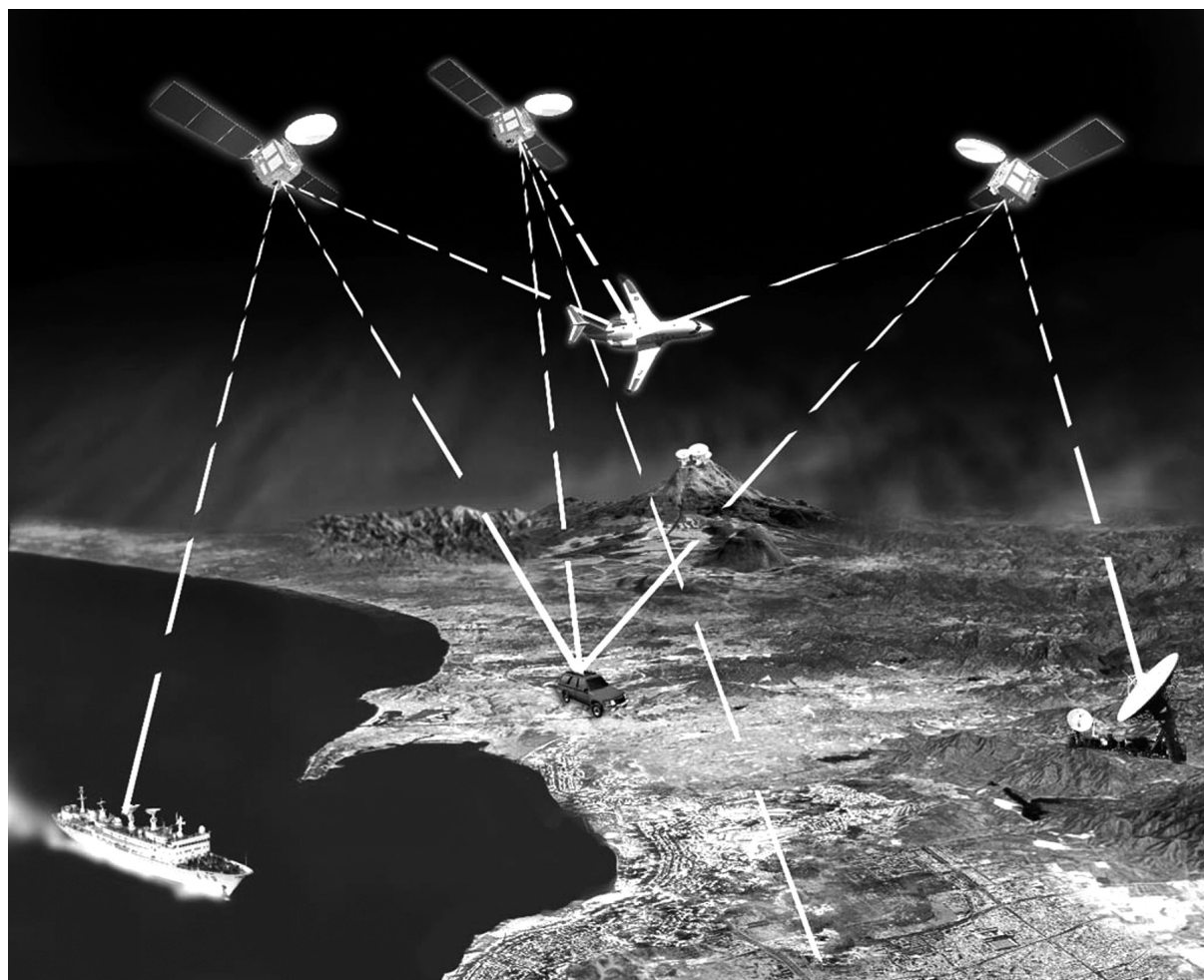
- Tính số cải chính cơ sở toán học (hiệu chỉnh thô) cho các điểm GPS-TC.
- Dùng các điểm GPS-TC sau khi hiệu chỉnh thô để làm khớp mô hình Geoid trọng lực 2x2 đã xây dựng.
- Gộp và làm trơn mô hình Geoid mới 2x2 ở 3 khu vực: đồng bằng, vùng núi và biển đảo.
- Đo GPS-TC độc lập để kiểm tra, đánh giá độ chính xác mô hình.
- Đưa mô hình vào ứng dụng, chia sẻ cung cấp cho người sử dụng.

3. Kết luận

Mô hình Geoid là thành phần không thể thiếu được trong hệ tọa độ, hệ quy chiếu không gian quốc gia hiện đại. Ở một số nước tiên tiến trên thế giới như Hoa Kỳ, Canada, Đức, Australia, Nhật Bản, người ta đã xây dựng được mô hình Geoid quốc gia độ phân giải 1'x1' với độ chính xác ở mức centimet và còn tiếp tục nâng

cao độ chính xác hơn nữa. Hiện đã có nhiều công trình khoa học được công bố ở trong nước và trên thế giới về vấn đề này. Ở Việt Nam, trong báo cáo xây dựng hệ tọa độ quốc gia VN-2000, phân kiến nghị cũng đặt ra vấn đề trong giai đoạn tiếp theo phải xây dựng được mô hình Geoid độ chính xác cao cho lãnh thổ Việt Nam. Trong thời gian qua, ở Việt Nam cũng đã có nhiều công trình, giải pháp và các mô hình Geoid cục bộ được xây dựng theo nhiều phương án khác nhau.

Bài báo này đã tổng hợp, kế thừa các giải pháp hiện đại, tiên tiến trên thế giới và ở Việt Nam, trên cơ sở phân tích nhu cầu và hiện trạng thực tế ở Việt Nam để đưa ra được một định hướng cụ thể, khả thi nhất cho việc xây dựng mô hình Geoid độ chính xác cao ở Việt Nam. Mô hình mục tiêu vừa phải đảm bảo tính khoa học chặt chẽ, vừa phải phù hợp với hạ tầng dữ liệu và khả năng phát triển, nâng cấp, mở rộng trong tương lai□



TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Andersen, O.B., P. Knudsen, P.A.M. Berry (2010), The DNSC08GRA global marine gravity field from double retracked satellite altimetry, *J. Geod.*, 84, 191–199, doi: 10.1007/s00190-009-0355-9.
- [2] Đặng Hùng Võ, Lê Minh, Trần Bạch Giang và nnk (2012), Nghiên cứu cơ sở khoa học xây dựng hạ tầng kỹ thuật thông tin địa lý phục vụ hợp tác giải quyết một số vấn đề cơ bản về khoa học Trái đất trên lãnh thổ Việt Nam, khu vực và toàn cầu. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Nhà nước. Viện Khoa học và Đo đạc Bản đồ - Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội – 2010.
- [3] F. Duquenne (2010). Evolution des references verticales. *Journee Geodesie*, 14 Octobre 2010. IGN (2010). Descriptifs quasi-geoides et grilles de conversion altimetrique sur la France metropolitaine. Laboratoire de Recherche en Geodesie, Service de Geodesie et Nivellement.
- [4] Hà Minh Hòa, Nguyễn Tuấn Anh (2015). Triển khai hiệu quả bài toán hiệu chỉnh các hệ số điều hòa cầu của mô hình trọng trường Trái đất theo thuật toán Colombo O.L. *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 25, tháng 09/2015, tr. 25 - 32
- [5] Hà Minh Hòa (2014). Lý thuyết và thực tiễn của Trọng lực Trắc địa. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội - 2014.
- [6] Hirt, C., U. Marti, B. Bürki, and W. E. Featherstone (2010), Assessment of EGM2008 in Europe using accurate astrogeodetic vertical deflections and omission error estimates from SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data, *J. Geophys. Res.*, 115, B10404, doi: 10.1029/2009JB007057.
- [7] J. Huang, M. Veronneau (2013). Canadian gravimetric geoid model 2010. *Journal of Geodesy*, 87(8), pp. 771-790.
- [8] Pavlis, N.K., S.A. Holmes, S.C. Kenyon, and J.K. Factor (2007a), Earth Gravitational Model to Degree 2160: Status and Progress, paper presented to the XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Perugia, Italy, July 2-13, 2007.
- [9] Pavlis, N.K., J.K. Factor, and S.A. Holmes (2007b), Terrain-Related Gravimetric Quantities Computed for the Next EGM, in: Gravity Field of the Earth, A. Kilicoglu and R. Forsberg (Eds.), *Proceedings of the 1st International Symposium of the International Gravity Field Service (IGFS)*, Harita Dergisi, Special Issue No. 18, General Command of Mapping, Ankara, Turkey.
- [10] Pavlis, N.K., S.A. Holmes, S.C. Kenyon, and J.K. Factor (2008), An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008, paper presented to the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.
- [11] Rapp, R.H. (1997), Use of potential coefficient models for geoid undulation determinations using a spherical harmonic representation of the height anomaly/geoid undulation difference, *J. Geod.*, 71, 282-289.
- [12] Rapp, R.H. (1998), Past and future developments in geopotential modeling, in: *Geodesy on the Move - Gravity, Geoid, Geodynamics and Antarctica*, R. Forsberg, M. Feissel, and R. Dietrich (Eds.), IAG Symposia, Vol. 119, Springer-Verlag, Berlin, Germany. Rapp, R.H. and N.K. Pavlis (1990), The development and analysis of geopotential coefficient models to spherical harmonic degree 360, *J. Geophys. Res.*, 95(B13), 21885-21911.
- [13] Rapp, R.H., Y.M. Wang and N.K. Pavlis (1991), The Ohio State 1991 geopotential and sea surface topography harmonic coefficient models, Rep. 410, Dep. of Geod. Sci. and Surv., Ohio State Univ., Columbus.
- [14] Rodriguez, E., C.S. Morris, J.E. Belz, E.C. Chapin, J.M. Martin, W. Daffer, S. Hensley (2005), An assessment of the SRTM topographic products, Tech. Rep. D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. Rowlands, D.D. (2012), personal communication.
- [15] Saleh, J. and N.K. Pavlis (2003), The development and evaluation of the global digital terrain model DTM2002, Gravity and Geoid 2002, Proc. of the 3rd Meeting of the IGGC, Tziavos, I.N. (Ed.), Ziti, Thessaloniki, Greece.
- [16] V. Corchete (2013). The first high-precision gravimetric geoid of Hungary: HGG2013. Online publication.
- [17] Wang, Y.M. and D. Roman (2004), Effect of High Resolution Altimetric Gravity Anomalies on the North America Geoid Computations, paper presented at the 2004 Spring Meeting of the American Geophysical Union, Montreal, Canada, May 17-21, 2004.
- [18] W.E. Featherstone, J.F. Kirby, C. Hirt, M.S. Filmer, S.J. Claessens, N.J. Brown, G. Hu, G.M. Johnston (2010). The AUSGeoid09 model of the Australian Height Datum. *Journal of Geodesy*, 85(3), pp. 133-150.
- [19] Y.M. Wang, J. Saleh, X. Li, D.R. Roman (2012). The U.S. Gravimetric Geoid of 2009 (USGG2009): Model Development and Evaluation. *Journal of Geodesy*, 86(3), pp. 165-180.