

Mô hình quasigeoid quốc gia khởi đầu VIGAC2014 - Cơ sở để thành lập các mô hình mặt biển trung bình, cao nhất và thấp nhất trên vùng biển Việt Nam

Hà Minh Hòa*

Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

Ngày nhận bài 5.10.2015, ngày chuyển phản biện 9.10.2015, ngày nhận phản biện 14.12.2015, ngày chấp nhận đăng 26.12.2015

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu đánh giá các mặt chuẩn mực nước biển (mặt “0” độ sâu, trung bình và cao nhất) theo các phương pháp trắc địa, hải văn và kiến tạo hiện đại phục vụ xây dựng các công trình và quy hoạch đới bờ Việt Nam trong xu thế biến đổi khí hậu”, mã số KC09.19/11-15 liên quan đến việc xây dựng mô hình quasigeoid quốc gia khởi đầu VIGAC2014 làm cơ sở để xác định các độ cao quốc gia của các mặt biển trung bình, cao nhất, thấp nhất tại các trạm nghiệm triều được bố trí trên các đảo xa bờ, nhằm xây dựng các mô hình mặt biển trung bình, cao nhất, thấp nhất trên vùng biển Việt Nam.

Ngoài ra, bài báo cũng trình bày các phương pháp và các kết quả xây dựng các mô hình địa hình mặt biển trung bình MDTVN, mặt biển cao nhất HSS2015 và mặt biển thấp nhất LSS2015 trên vùng biển Việt Nam.

Từ khóa: GPS, mặt biển cao nhất, mặt biển thấp nhất, mặt biển trung bình, MDT, mặt geoid cục bộ, trạm nghiệm triều.

Chỉ số phân loại 1.5

Đặt vấn đề

Mô hình địa hình động lực trung bình MDTVN (Local Mean Dynamic Topography of Viet Nam) trên vùng biển Việt Nam thực chất là mô hình địa hình mặt biển trung bình cục bộ được sử dụng để làm nền thông tin địa lý trên biển, quy chiếu các độ sâu địa hình đáy biển đo được về hệ độ cao quốc gia HP72 phục vụ việc thành lập bản đồ địa hình đáy biển và các bản đồ chuyên đề về biển. Trong tài liệu [1] đã trình bày quy trình xây dựng mô hình MDTVN cùng với độ chính xác của mô hình này dựa trên các độ cao chuẩn nhà nước của các mặt biển trung bình cục bộ được tính toán theo phương pháp hải văn tại 9 trạm nghiệm triều cố định có thời gian đo mực nước biển lớn hơn 18,6 năm: Cô Tô, Hòn Dấu, Hòn Ngự, Tiên Sa (Sơn Trà), Quy Nhơn, Nha Trang, Phú Quốc, Vũng Tàu và Côn Đảo, trong đó có các trạm nghiệm triều nằm trên các đảo như Cô Tô, Hòn Ngự, Côn Đảo và Phú Quốc. Đối với các trạm nghiệm triều nằm dọc bờ biển Việt Nam, việc truyền độ cao nhà nước lên các mặt biển trung bình cục bộ được tính toán theo các số liệu đo mực nước lớn hơn 18,6 năm để dàng được thực hiện nhờ đo dẫn độ cao từ các điểm độ cao hạng I, II quốc gia vào các “0” trạm của các trạm nghiệm triều này. Tuy nhiên, vấn đề khoa học mấu chốt là truyền độ cao quốc gia lên các

mặt biển trung bình tại các trạm nghiệm triều được bố trí trên các đảo. Nội dung chính của bài báo này nhằm giải quyết vấn đề khoa học nêu trên.

Các mặt biển trung bình, cao nhất, thấp nhất được xác định dựa trên các số liệu đo mực nước biển nhiều năm theo phương pháp hải văn tại các trạm nghiệm triều có quan hệ mật thiết với nhau. Do đó, khi đã xác định được độ cao chuẩn của mặt biển trung bình trong hệ độ cao quốc gia HP72 tại một trạm nghiệm triều, chúng ta cũng sẽ xác định được các độ cao chuẩn của các mặt biển cao nhất, thấp nhất trong hệ độ cao quốc gia tại trạm nghiệm triều đó. Điều này tạo tiền đề để xây dựng mô hình mặt biển cao nhất HSS2015 (Highest Sea Surface of 2015) trên vùng biển Việt Nam phục vụ thiết kế, quy hoạch các công trình công nghiệp, dân sự, an ninh - quốc phòng, các tuyến đê biển dọc ven biển và ven các đảo thuộc lãnh thổ Việt Nam; xây dựng mô hình mặt biển thấp nhất LSS2015 (Lowest Sea Surface 2015) trên vùng biển Việt Nam phục vụ việc lựa chọn mặt quy chiếu hải đồ quốc gia, xác định các đường cơ sở cho công tác phân định lãnh hải.

Các kết quả xây dựng các mô hình MDTVN, HSS2015 và LSS2015 sẽ được trình bày trong bài báo này.

*Email: minhhoavigac@gmail.com

The preliminary national quasigeoid model VIGAC2014 - The basis for construction of the mean sea surface, highest sea surface and lowest sea surface models on territorial waters of Vietnam

Summary

This scientific article describes the research results of the national scientific and technological project “Estimative research of a standard surfaces of the sea level (“zero” depth, mean, and highest sea surfaces) by the methods of geodesy, oceanography and modern tectonics serving the construction of works and planning the coast of Vietnam in trend of climate changes” with the code KC09.19/11-15 related to the construction of the preliminary national quasigeoid model VIGAC2014 that creates the basis for the determination of national heights of the mean sea surface, highest sea surface, lowest sea surface at the tide gauges located on off-shore islands with the purpose of bulding the mean sea surface, highest sea surface, lowest sea surface models on the territorial waters of Vietnam.

Additionally, this paper introduces methods and results of constructing the mean sea surface model MDTVN, highest sea surface model HSS2015, lowest sea surface model LSS2015 on the territorial waters of Vietnam.

Keywords: GPS, highest sea surface, local geoid, lowest sea surface, MDT (Mean Dynamic Topography), mean sea surface, tide gauge station.

Classification number 1.5

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng cần xác định là độ cao chuẩn nhà nước của các mặt biển trung bình, cao nhất và thấp nhất trên các trạm nghiệm triều được bố trí trên các đảo xa bờ. Các phương pháp được sử dụng là phương pháp xây dựng mô hình quasigeoid quốc gia khởi đầu (preliminary national quasigeoid) VIGAC2014 (VIGAC- Vietnam Institute of Geodesy and Cartography) trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam, phương pháp xác định độ cao trắc

địa của điểm là hình chiếu của điểm GPS được bố trí tại trạm nghiệm triều dựa trên công nghệ GPS và phương pháp đo thủy chuẩn. Ngoài ra, chúng ta phải chuyển các đại lượng trắc địa như độ cao chuẩn, độ cao trắc địa, dị thường độ cao về hệ triều 0 theo quy định trong tài liệu [2].

Mặt geoid cục bộ Hòn Dấu sát nhất với mặt biển trung bình nhiều năm tại trạm nghiệm triều Hòn Dấu là mặt khởi tính cho hệ độ cao quốc gia HP72. Trong nhiều tài liệu nghiên cứu [3-6] đã công bố các kết quả xác định thể trọng trường $W_0 = 62636847,2911 \text{ m}^2.s^{-2}$ của mặt geoid cục bộ Hòn Dấu và độ cao

$$H_0 = \frac{\bar{W} - W}{\bar{\gamma}_N} = 0,890 \text{ m}$$
 của mặt geoid cục bộ

Hòn Dấu so với mặt geoid toàn cầu, thêm vào đó độ cao H_0 là không đổi trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam. Ở

đây $\bar{W}_0 = 62636856,0 \text{ m}^2.s^{-2}$ là thể trọng trường của mặt geoid toàn cầu [7], $\bar{\gamma}_N$ là giá trị trung bình của

gia tốc trọng trường chuẩn tại điểm N bất kỳ trên lãnh thổ Việt Nam.

Các kết quả nghiên cứu đã dẫn đến công thức chuyển đổi dị thường độ cao toàn cầu từ mô hình trọng trường trái đất EGM2008 tương ứng với mặt geoid toàn cầu về mặt geoid cục bộ Hòn Dấu dưới dạng sau:

$$\hat{\zeta}_z = \bar{\zeta} + 0,890 \text{ m} + \delta\zeta_{n-z} \quad (1)$$

Ở đây $\bar{\zeta}$ là giá trị dị thường độ cao toàn cầu từ mô hình trọng trường trái đất EGM2008 tương ứng với mặt geoid toàn cầu, $\delta\zeta_{n-z}$ là số cải chính chuyển dị thường độ cao toàn cầu từ hệ không phụ thuộc triều về hệ triều 0 (xem trong [6]) và có dạng:

$$\delta\zeta_{n-z} = (0,02871 - 0,08584 \cdot \sin^2 B) < m >, \text{ còn } B$$

là vĩ độ trắc địa của điểm.

Dựa trên công thức (1) đã xây dựng được mô hình quasigeoid quốc gia khởi đầu VIGAC2014 dựa trên cơ sở dữ liệu (CSDL) dị thường độ cao toàn cầu của mô hình EGM2008 bao gồm các ô chuẩn của mạng lưới các ô vuông (grid) kích thước $2,5' \times 2,5'$. Các dữ liệu trên mỗi đỉnh của ô chuẩn bao gồm các tọa độ trắc địa $\bar{B}, \bar{L}$ tương ứng với ellipsoid WGS84 quốc tế và dị

thường độ cao toàn cầu $\bar{\xi}$ trong hệ không phụ thuộc triều. Các đỉnh của các ô chuẩn trong CSDL dị thường độ cao toàn cầu được sắp xếp theo thứ tự tăng dần của vĩ độ trắc địa $\bar{B}$ theo các vĩ tuyến và trên một vĩ tuyến các kinh độ $\bar{L}$ được sắp xếp theo thứ tự tăng dần. Phần lãnh thổ Việt Nam, một phần lãnh thổ Trung Quốc, Lào, Campuchia, Thái Lan được sắp xếp lần lượt từ vĩ độ trắc địa 6^0 đến 25^0 với bước thay đổi $\Delta B = 2',5$ theo các vĩ tuyến và trên mỗi vĩ tuyến kinh độ $\bar{L}$ thay đổi từ 100^0 đến 118^0 với bước thay đổi $\Delta L = 2',5$. CSDL dị thường độ cao toàn cầu của mô hình EGM2008 được sử dụng có tổng số 65536 đỉnh của các ô chuẩn hình vuông kích thước $2,5' \times 2,5'$.

Các kết quả đánh giá trên 162 điểm độ cao hạng I quốc gia có đo GPS và xử lý dữ liệu đo GPS trong Khung quy chiếu trái đất quốc tế ITRF (International Terrestrial Reference Frame) tương ứng với ellipsoid WGS84 cho thấy, dị thường độ cao cục bộ $\hat{\xi}_z$ của điểm GPS được xác định từ mô hình VIGAC2014 có độ chính xác ở mức $\pm 7 \text{ cm}$ [8]. Khi xử lý dữ liệu đo GPS trong ITRF với việc sử dụng lịch vệ tinh chính xác ở mức 2,5 cm và 5 cm, chúng ta xác định được độ cao trắc địa H_z của điểm GPS với độ chính xác ở mức từ $\pm (1,4 - 2,8) \text{ cm}$. Điều này cho phép xác định được độ cao chuẩn quốc gia H_z^γ của điểm GPS theo công thức:

$$H_z^\gamma = H_z + \hat{\xi}_z \quad (2)$$

với độ chính xác tương đương hạng II.

Công thức (2) là cơ sở để xác định các độ cao chuẩn nhà nước của các mặt biển trung bình tại các trạm nghiệm triều được bố trí trên các đảo xa bờ.

Để kiểm tra độ tin cậy của mô hình VIGAC2014, dựa trên nguyên tắc nhỏ bỏ qua đã xác định được tiêu chí của điểm cơ sở của mô hình này, theo đó độ chênh của dị thường độ cao cục bộ được xác định từ mô hình VIGAC2014 so với dị thường độ cao GPS/thủy chuẩn không vượt quá $\pm 1 \text{ cm}$. Từ tiêu chí này đã xác định được 9 điểm độ cao hạng I quốc gia là các điểm cơ sở của mô hình VIGAC2014 bao gồm I(HN-VL)6-1, I(HN-VL)28-1, I(HN-VL)64, I(HN-VL)72, I(VL-HT)98, I(VL-HT)158, I(BH-HN)33, I(BH-TH)65, I(BH-TH)122A được phân bố tương đối

đều trên đất liền thuộc lãnh thổ Việt Nam. Các giá trị độ cao chuẩn H_z^γ , dị thường độ cao cục bộ $\hat{\xi}_z$ (được xác định từ mô hình VIGAC2014), độ cao trắc địa H_z (được xác định từ các kết quả đo và xử lý các dữ liệu GPS trong ITRF tương ứng với ellipsoid quốc tế WGS84) trong hệ triều 0 của các điểm cơ sở này đã được công bố trong tài liệu [6].

Từ 9 điểm này, chúng ta kiểm tra độ cao chuẩn của điểm j có đo GPS được xác định theo công thức (2) dựa trên công thức sau:

$$\left(\tilde{H}_j^\gamma \right)_z = \frac{\sum_{i=1}^9 \left(H_i^\gamma \right)_z}{9} \quad (3)$$

Ở đây độ cao chuẩn

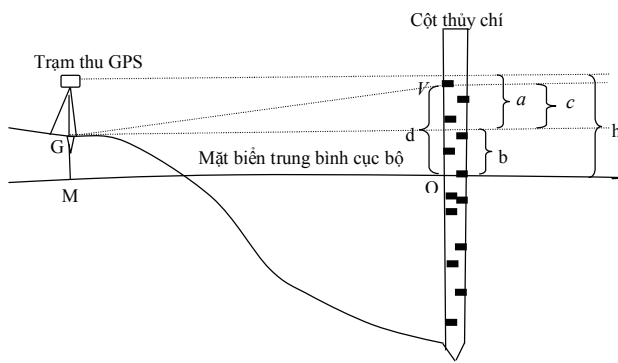
$$\left(H_j^\gamma \right)_z = \left(H_i^\gamma \right)_z + \left\{ \left(\bar{H}_j \right)_z - \left(\bar{H}_i \right)_z \right\} - \left\{ \left(\hat{\xi}_j \right)_z - \left(\hat{\xi}_i \right)_z \right\}, \text{ với}$$

$\left(H_i^\gamma \right)_z$, $\left(\bar{H}_i \right)_z$ và $\left(\hat{\xi}_i \right)_z$ là độ cao chuẩn, độ cao trắc địa và dị thường độ cao cục bộ đã biết của điểm cơ sở thứ i ; $\left(\bar{H}_j \right)_z$ và $\left(\hat{\xi}_j \right)_z$ là độ cao trắc địa và dị thường độ cao cục bộ của điểm kiểm tra j .

Các kết quả kiểm tra trên hai điểm trọng lực có đo GPS trên các đảo Phú Quốc, Côn Đảo, và trên 26 điểm GPS thuộc các mạng lưới trắc địa địa động lực miền Bắc và địa động lực Đồng bằng sông Cửu Long cho thấy các độ cao chuẩn (2) và (3) không chênh nhau quá 2 mm. Điều này khẳng định độ tin cậy của mô hình VIGAC2014.

Phương pháp xác định các tọa độ trắc địa B, L, H của điểm nằm trên mặt biển trung bình và là hình chiếu của điểm đo GPS được bố trí trên khu vực trạm nghiệm triều đã được trình bày trong tài liệu [6]. Trên hình 1, điểm G là mốc trạm thu tín hiệu GPS, điểm M là hình chiếu của điểm G lên mặt biển trung bình cục bộ được xác định theo các số liệu đo mực nước biển nhiều năm tại trạm nghiệm triều được bố trí trên đảo xa bờ, thêm vào đó mặt biển trung bình cục bộ cắt thước thủy chí tại vạch O. Chúng ta chọn trên thước thủy chí vạch V bất kỳ có hình ảnh rõ ràng. Tại vị trí gần mốc G đặt máy đo thủy chuẩn để xác định chênh cao c giữa vạch V trên thước thủy chí và mốc G. Chênh cao c chính là khoảng cách theo thước thủy chí giữa vạch V và mặt nằm ngang đi qua mốc G (hình 1). Với khoảng cách d

giữa mốc vạch V và vạch O trên thước thủy chí đã biết, chúng ta sẽ xác định được độ cao của mốc G so với điểm M theo công thức $b = d - c$. Với độ cao anten a của tâm pha máy thu GPS so với mốc G đã được xác định, chúng ta xác định độ cao h của tâm pha máy thu GPS so với mặt biển trung bình theo công thức $h = a + b$. Khi xử lý các dữ liệu đo GPS tại mốc G trong ITRF bằng phần mềm Bernese v. 5.2 với “độ cao anten” h , theo nguyên lý xử lý các dữ liệu GPS (xem [6]), chúng ta sẽ nhận được các tọa độ trắc địa B_M, L_M, H_M của điểm M trên mặt biển trung bình tại trạm nghiệm triều.



Hình 1: sơ đồ xác định độ cao của tâm pha máy thu GPS so với mặt biển trung bình

Độ cao trắc địa H_M được xác định trong ITRF tương ứng với hệ không phụ thuộc triều. Để chuyển về hệ triều 0 chúng ta sử dụng công thức [6]:

$$(H_M)_z = H_M + (0,062073 - 0,185592 \cdot \sin^2 B_M) < m >$$

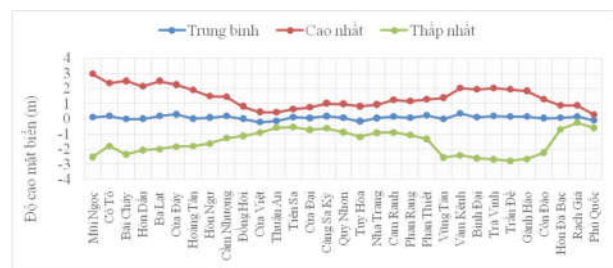
Độ cao chuẩn quốc gia của mặt biển trung bình tại trạm nghiệm triều được xác định theo công thức (2) và được kiểm tra theo công thức (3). Bằng cách như vậy, chúng ta đã xác định được các độ cao chuẩn quốc gia của các mặt biển trung bình trên các trạm nghiệm triều tại các đảo Cô Tô, Hòn Ngự, Côn Đảo, Phú Quốc. Các kết quả kiểm tra các độ cao chuẩn quốc gia theo công thức (3) cho thấy, các độ cao chuẩn quốc gia được xác định theo công thức (2) và được kiểm tra theo công thức (3) không chênh nhau quá 2 mm. Từ các độ cao chuẩn quốc gia của các mặt biển trung bình, thông qua quan hệ của mặt biển trung bình với các mặt biển cao nhất, thấp nhất tại trạm nghiệm triều, chúng ta xác định được các độ cao chuẩn quốc gia của các mặt biển cao nhất, thấp nhất trên các trạm nghiệm triều tại các đảo Cô Tô, Hòn Ngự, Côn Đảo, Phú Quốc.

Kết quả

Các kết quả xác định độ cao chuẩn quốc gia của các mặt biển trung bình, mặt biển cao nhất và mặt biển thấp nhất tại 9 trạm nghiệm triều cố định và 22 trạm nghiệm triều tạm thời (có thời gian đo mực nước biển liên tục trong 30 ngày đêm) được trình bày trong bảng dưới đây.

STT	Tên trạm	Độ cao chuẩn của các mặt biển trung bình tương ứng với geoid cực bộ Hòn Dấu (m)	Độ cao chuẩn của các mặt biển cao nhất tương ứng với geoid cực bộ Hòn Dấu (m)	Độ cao chuẩn của các mặt biển thấp nhất tương ứng với geoid cực bộ Hòn Dấu (m)
Các trạm nghiệm triều cố định có thời gian đo mực nước biển lớn hơn 18,6 năm				
1	Cô Tô	0,174	2,352	-1,798
2	Hòn Dấu	0,000	2,140	-2,070
3	Hòn Ngự	0,085	1,485	-1,635
4	Tiên Sa	0,103	0,623	-0,547
5	Quy Nhơn	0,076	0,976	-0,894
6	Nha Trang	0,050	0,930	-0,930
7	Vũng Tàu	-0,030	1,380	-2,550
8	Côn Đảo	0,044	1,294	-2,236
9	Phú Quốc	-0,098	0,272	-0,618
Các trạm nghiệm triều tạm thời có thời gian đo mực nước 30 ngày đêm liên tục				
10	Mũi Ngoc	0,115	2,945	-2,505
11	Bãi Cháy	-0,008	2,492	-2,348
12	Bà Lạt	0,189	2,479	-2,001
13	Cửa Đáy	0,290	2,240	-1,840
14	Hoàng Tân (Sầm Sơn)	0,007	1,897	-1,813
15	Cầm Nhượng	0,179	1,439	-1,281
16	Đồng Hới	-0,001	0,809	-1,141
17	Cửa Việt	-0,216	0,444	-0,916
18	Thuận An	-0,142	0,438	-0,592
19	Cửa Đại	0,049	0,759	-0,741
20	Cảng Sa Kỳ	0,171	1,011	-0,639
21	Tuy Hòa	-0,159	0,821	-1,189
22	Cam Ranh	0,162	1,232	-0,908
23	Phan Rang	0,059	1,149	-1,081
24	Phan Thiết	0,231	1,281	-1,349
25	Vàm Kênh	0,349	2,009	-2,411
26	Bình Đại	0,103	1,923	-2,597
27	Rạch Giá	0,153	0,883	-0,277
28	Trà Vinh	0,184	2,024	-2,686
29	Trần Đề	0,152	1,932	-2,768
30	Hòn Đá Bạc	0,065	0,885	-0,705
31	Gành Hào	0,155	1,825	-2,655

Biểu đồ mặt cắt của các mặt biển trung bình, cao nhất và thấp nhất dựa trên 31 trạm nghiệm triều được bố trí dọc theo ven bờ biển Việt Nam được trình bày ở hình 2.



Hình 2: biểu đồ mặt cắt của các mặt biển trung bình, cao nhất, thấp nhất trên 31 trạm nghiệm triều trong hệ độ cao quốc gia HP-72

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trong tài liệu [1] đã xây dựng được CSDL của mô hình MDTVN dựa trên CSDL của mô hình DTU10 MDT. Dựa trên các độ cao chuẩn quốc gia của các mặt biển trung bình tại 9 trạm nghiệm triều cố định đã đánh giá được độ chính xác của mô hình MDTVN ở mức $\pm 6,1$ cm. Dựa trên mô hình MDTVN đã tiến hành đánh giá được độ chính xác của các độ cao chuẩn quốc gia của các mặt biển trung bình tại 22 trạm nghiệm triều tạm thời ở mức $\pm 0,142$ m.

Dựa trên các độ cao chuẩn của các mặt biển cao nhất, thấp nhất tại 31 trạm nghiệm triều và phần mềm ArcGIS đã xây dựng được các CSDL của các mô hình HSS2015 và LSS2015.

Các CSDL MDTVN, HSS2015 và LSS2015 có độ phân giải $1' \times 1'$ và có các cấu trúc như nhau, cụ thể: trong các ô chuẩn (grid) của CSDL, thông tin tại một đỉnh của ô chuẩn bao gồm 3 số L (kinh độ, đơn vị độ), B (vĩ độ, đơn vị độ), H (đơn vị mét), ở đây

$H = MDTVN$ đối với mô hình MDTVN, $H = H'_{\max}$ đối với mô hình HSS2015, $H = H'_{\min}$ đối với mô hình LSS2015.

Các đỉnh bắt đầu từ vĩ tuyến 24^0 thay đổi với bước nhảy $\Delta B = 1'$ cho đến vĩ tuyến 8^0 . Tại một vĩ tuyến xác định, các đỉnh lại được bố trí theo kinh tuyến bắt đầu từ kinh tuyến 100^0 thay đổi với bước nhảy $\Delta L = 1'$ cho đến kinh tuyến 116^0 . Các đỉnh nằm trong đất liền có giá trị $\overline{MDT}_n$ bằng 0. Trong phạm vi vùng biển Việt Nam có tất cả 17.103 đỉnh của các ô chuẩn.

Kết luận

Mô hình quasigeoid quốc gia khởi đầu VIGAC2014 có độ chính xác cao ở mức ± 7 cm, Trên cơ sở mô hình VIGAC2014 kết hợp với công nghệ GPS, chúng ta đã giải quyết được bài toán chuyển các mặt biển trung bình, cao nhất, thấp nhất được xác định theo phương pháp hải văn tại các trạm nghiệm triều được bố trí trên các đảo xa thuộc vùng biển Việt Nam.

Các mô hình MDTVN, HSS2015, LSS2015 độ chính xác cao được xây dựng trên cơ sở các phương

pháp khoa học chặt chẽ sẽ đóng góp tích cực cho công tác quy hoạch, thiết kế các công trình dân sự, công nghiệp và an ninh - quốc phòng ven biển, xác định đường cơ sở phục vụ việc phân định lãnh hải, xác định mặt quy chiếu hải đồ quốc gia phù hợp, thành lập các bản đồ chuyên đề về biển phục vụ phát triển kinh tế biển.

Lời cảm ơn

Tác giả trân trọng cảm ơn Chương trình KH&CN trọng điểm cấp nhà nước KC09/11-15 “Nghiên cứu KH&CN phục vụ quản lý biển, hải đảo và phát triển kinh tế biển” đã hỗ trợ nội dung bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- [1] Hà Minh Hòa (2015), “Các kết quả xây dựng mô hình địa hình động lực trung bình cục bộ sát nhất với mặt biển trung bình trên lãnh hải Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, **3(10)**, tr.33-39.
- [2] International Association of Geodesy (IAG) (1984), *IAG Resolutions adopted at the XVIII General Assembly of the IUGG in Hamburg, August 1983, Bulletin Geodetique*, The Geodesist's handbook, p.321.
- [3] Hà Minh Hòa và nnk (2012), “Nghiên cứu cơ sở khoa học của việc hoàn thiện hệ độ cao gắn liền với việc xây dựng hệ tọa độ động lực quốc gia”, *Đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường giai đoạn 2010-2012*.
- [4] Hà Minh Hòa (2013), “Estimating the geopotential value W_0 of the local geoid based on data from local and global normal heights of GPS/Leveling points in Vietnam”, *Geodesy and Cartography*, **39(3)**, pp.99-105.
- [5] Hà Minh Hòa (2014), “Phương pháp chuyển độ cao chuẩn nhà nước lên các mặt biển trung bình tại các trạm nghiệm triều trên các đảo xa”, *Kỷ yếu Hội nghị khoa học trắc địa và bản đồ vì hội nhập quốc tế*, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ, Hội Trắc địa, Bản đồ và Viễn thám Việt Nam, tr.2-15.
- [6] Hà Minh Hòa (2014), *Lý thuyết và thực tiễn của trọng lực trắc địa*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 592 tr.
- [7] Petit G, Luzum B (2010), IERS Conventions (2010), *IERS Technical Note No 36*, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, p.179.
- [8] Hà Minh Hòa (2014), “Đánh giá độ chính xác của mô hình Quasigeoid EGM2008 trên lãnh thổ Việt Nam”, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, **No20**, tr.1-13.