

VIỆN KHOA HỌC ĐO ĐẠC VÀ BẢN ĐỒ
VIETNAM INSTITUTE OF GEODESY AND CARTOGRAPHY



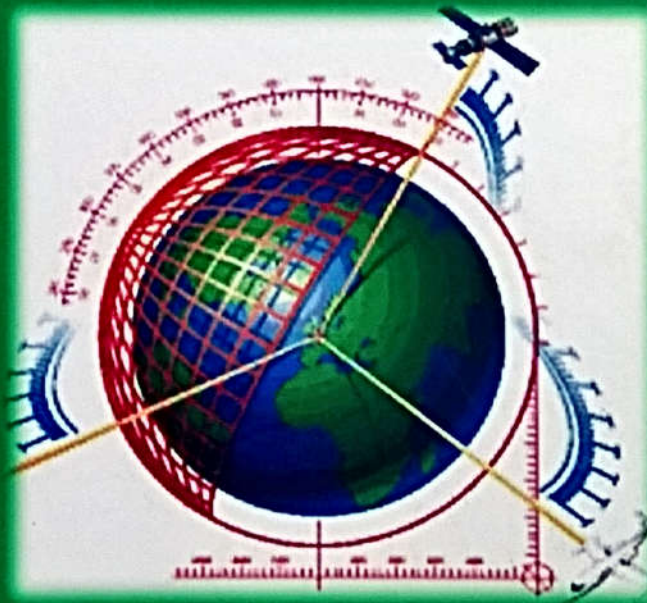
HỘI TRẮC ĐỊA BẢN ĐỒ VIỄN THÁM VIỆT NAM
VIETNAM ASSOCIATION OF GEODESY, CARTOGRAPHY AND REMOTE SENSING



**TUYÊN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
PROCEEDING OF THE CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY**

ISBN: 978-604-904-255-3

TRẮC ĐỊA VÀ BẢN ĐỒ VÌ HỘI NHẬP QUỐC TẾ



**KỶ NIỆM 20 NĂM NGÀY THÀNH LẬP VIỆN KHOA HỌC ĐO ĐẠC VÀ BẢN ĐỒ
09/7/1994 – 09/7/2014**

Hà Nội, tháng 7 - 2014

SỬ DỤNG SỐ LIỆU ĐO CAO TỪ VỆ TINH ĐỂ XÁC ĐỊNH BỀ MẶT TỰ NHIÊN ĐỘNG LỰC TRUNG BÌNH TRÊN BIỂN ĐÔNG

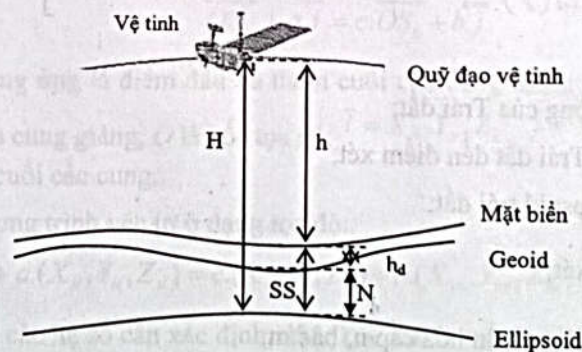
TS. Nguyễn Văn Sáng, KS. Nguyễn Văn Lâm
Đại học Mỏ - Địa Chất

Tóm tắt: Báo cáo trình bày phương pháp xác định độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình từ số liệu đo cao từ vệ tinh. Đo cao từ vệ tinh xác định ra được độ cao của mặt biển tức thời so với mặt ellipsoid. Các số liệu này, sau khi hiệu chỉnh ảnh hưởng của sóng, gió, thủy triều v.v và loại bỏ độ cao geoid từ mô hình trường trọng lực toàn cầu, được sử dụng để xác định ra độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình bằng kỹ thuật giao cắt theo các bước: xác định vị trí điểm giao cắt; mô hình hóa mặt biển; bình sai giao cắt để xác định các tham số mô hình; tính độ cao địa hình mặt biển. Trong phần thực nghiệm đã xác định độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình trên Biển Đông bằng số liệu đo cao từ vệ tinh ENVISAT.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, trên thế giới, đo cao từ vệ tinh (altimetry) phát triển rất mạnh mẽ, cung cấp nguồn số liệu quan trọng trong nghiên cứu đại dương, địa vật lý, khí tượng, môi trường v.v. Sự xuất hiện của đo cao từ vệ tinh đã cho hải dương học một công cụ duy nhất để lập bản đồ địa hình bề mặt đại dương toàn cầu phục vụ cho việc nghiên cứu các dòng hải lưu và những thay đổi của nó theo thời gian. Ở Việt Nam, nghiên cứu xử lý số liệu đo cao từ vệ tinh và ứng dụng kết quả của đo cao từ vệ tinh còn khá mới mẻ. Nghiên cứu ứng dụng đo cao từ vệ tinh trên Biển Đông là việc làm cần thiết trong giai đoạn hiện nay.

Vệ tinh đo cao phát tín hiệu rada xuống mặt biển, tín hiệu phản xạ trên mặt biển và quay lại vệ tinh. Đo khoảng thời gian tín hiệu đi và về sẽ xác định được khoảng cách từ vệ tinh đến mặt nước biển tức thời (h). Độ cao trắc địa của vệ tinh (H) được xác định bằng các kỹ thuật khác nhau như GPS, SLR (Satellite Laser Ranging) hay DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). Độ cao mặt biển (SSH – Sea Surface Height) được xác định bằng công thức (1) [11].



Hình 1. Sơ đồ đo cao từ vệ tinh

Người phản biện: TS. Dương Chí Công

Hà Nội, tháng 7 - 2014

$$SSH = H - h + h_{corr}, \quad (1)$$

trong đó: h_{corr} - các số hiệu chỉnh.

Mối quan hệ giữa độ cao động lực địa hình mặt biển (h_d), độ cao geoid (N) và độ cao mặt biển (SSH) được biểu thị bằng hình vẽ 1 và công thức (2)

$$SSH = N + h_d \quad (2)$$

Độ cao địa hình mặt biển động lực (h_d) được chia thành 2 phần là: bề mặt tự nhiên động lực trung bình (Mean Dynamic Topography - h_{MDT}) và địa hình mặt biển động lực biến đổi theo thời gian h_t [8]. Khi đó độ cao mặt biển được biểu diễn bằng công thức:

$$SSH = N + h_{MDT} + h_t \quad (3)$$

Mục tiêu của chúng ta là xác định bề mặt tự nhiên động lực trung bình h_{MDT} . Để thực hiện được việc này, trước hết chúng ta phải loại bỏ độ cao geoid bằng mô hình trường trọng lực toàn cầu EGM2008, sau đó, phần địa hình mặt biển động lực biến đổi theo thời gian sẽ được loại bỏ bằng kỹ thuật bình sai giao cắt.

2. Loại bỏ độ cao geoid từ mô hình trường trọng lực toàn cầu

Hiện nay, có rất nhiều mô hình trường trọng lực toàn cầu, trong đó có những mô hình được xây dựng trên cơ sở kết hợp nhiều loại số liệu như: EGM96, EGM2008, OSU91A, cũng có những mô hình được xây dựng chỉ bằng số liệu trọng lực vệ tinh GOCE01, GOCE TIM4, GOCE DIR4 v.v Các kết quả khảo sát cho thấy, trên Biển Đông, đến nay thì mô hình EGM 2008 vẫn là phù hợp nhất. Độ cao geoid được xác định từ các hệ số điều hòa của mô hình trường trọng lực toàn cầu theo công thức [8]:

$$N = \frac{GM}{\gamma \cdot r} \left[\sum_{n=2}^{n_{max}} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n (\bar{c}_{n,m} \cos m\lambda + \bar{s}_{n,m} \sin m\lambda) \bar{P}_{n,m}(\sin \phi) \right], \quad (4)$$

trong đó:

GM - hằng số trọng trường của Trái đất;

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

a - bán trục lớn của ellipsoid trái đất;

ϕ, λ - tọa độ của điểm xét;

$\bar{c}_{n,m}, \bar{s}_{n,m}$ - hệ số điều hòa chuẩn hóa cấp n , bậc m ;

$\bar{P}_{n,m}(\sin \phi)$ - hàm Legendre chuẩn hóa.

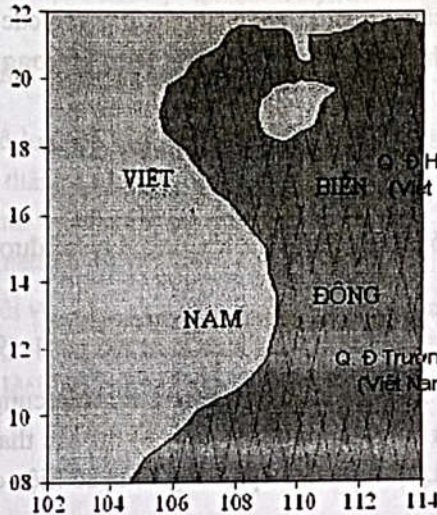
Độ cao geoid được tính toán bằng chương trình *GeoEGM* [10].

Độ cao mặt biển sau khi loại bỏ độ cao geoid được biểu diễn bằng công thức:

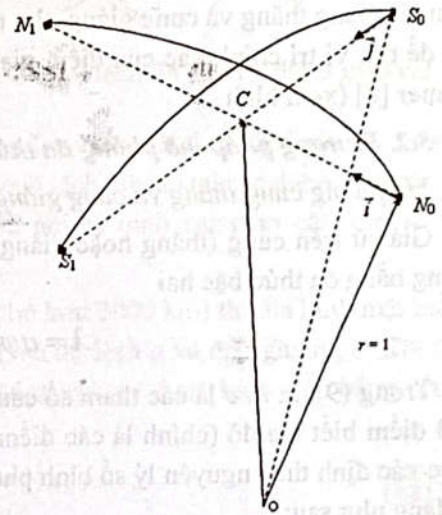
$$SSH' = SSH - N = h_{MDT} + h_t \quad (5)$$

3. Xác định vị trí điểm giao cắt

Vệ tinh đo cao được thiết kế sao cho tập hợp các điểm đo cao từ vệ tinh xuống mặt biển tạo thành các vết quét trên mặt biển (còn gọi là các cung). Các cung cắt nhau tạo thành các điểm giao cắt (xem hình 2). Các điểm giao cắt thường không trùng với các điểm đo cao vì vậy, để loại bỏ địa hình mặt biển biến đổi theo thời gian, bằng kỹ thuật giao cắt thì đầu tiên phải xác định được vị trí điểm giao cắt và chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt. Nhiệm vụ này có thể thực hiện bằng 2 phương pháp: phương pháp tọa độ không gian và phương pháp mô phỏng đa thức bậc hai [3], [9].



Hình 2. Các vết quét đo cao từ vệ tinh



Hình 3. Vị trí gần đúng của điểm giao cắt

3.1. Phương pháp tọa độ không gian

Theo phương pháp này, từ tọa độ trắc địa của các điểm đầu và điểm cuối của các vết quét ta tính ra tọa độ vuông góc không gian, dùng quan hệ véc tơ để xác định vị trí gần đúng của điểm giao cắt (hình 3).

Từ hình 3, ta lập được phương trình véc tơ:

$$\vec{ON}_0 + \vec{N}_0C = \vec{OS}_0 + \vec{S}_0C \tag{6}$$

$$\Leftrightarrow \vec{ON}_0 + a.\vec{i} = c.\vec{OS}_0 + b.\vec{j} \tag{7}$$

trong đó: \$N_0, N_1\$ tương ứng là điểm đầu và điểm cuối của cung thẳng; \$S_0, S_1\$ tương ứng là điểm đầu và điểm cuối của cung giáng; \$O\$ là gốc tọa độ; \$\vec{i} = X_N, Y_N, Z_N\$, \$\vec{j} = X_S, Y_S, Z_S\$ được tính từ tọa độ các điểm đầu và cuối các cung.

Có thể viết phương trình véc tơ ở dạng tọa độ:

$$(X_{N_0}, Y_{N_0}, Z_{N_0}) + a.(X_N, Y_N, Z_N) = c.(X_S, Y_S, Z_S) + b.(X_{S_0}, Y_{S_0}, Z_{S_0}) \tag{8}$$

trong đó: \$a, b, c\$ – là các hệ số cần xác định; \$X_{N_0}, Y_{N_0}, Z_{N_0}\$ là tọa độ không gian của điểm \$N_0\$; \$X_{S_0}, Y_{S_0}, Z_{S_0}\$ là tọa độ không gian của điểm \$S_0\$; Hệ số \$c\$ để đảm bảo cho hai đường thẳng trong không gian cắt nhau.

Từ phương trình này ta có thể giải ra được các hệ số \$a, b, c\$ và xác định được vị trí gần đúng

của điểm giao cắt C .

Sau khi xác định được tọa độ gần đúng của điểm giao cắt, so sánh tọa độ này với tọa độ các điểm của cung thẳng và cung giáng, tìm ra 4 điểm lân cận của điểm giao cắt rồi dựa vào các điểm này để tìm vị trí chính xác của điểm giao cắt và chênh lệch độ cao mặt biển theo phương pháp Cramer [8] (xem hình 4).

3.2. Phương pháp mô phỏng đa thức bậc 2

Mô phỏng cung thẳng và cung giáng theo đa thức bậc hai:

Giả sử trên cung (thẳng hoặc giáng) có i điểm có tọa độ là (φ_i, λ_i) . Cung này sẽ được mô phỏng bằng đa thức bậc hai

$$\lambda = a\varphi^2 + b\varphi + c. \quad (9)$$

Trong (9), a, b, c là các tham số cần xác định. Để xác định 3 tham số này thì trên cung cần có 3 điểm biết tọa độ (chính là các điểm đo cao). Nếu số điểm này là n ($n > 3$) thì các tham số được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất. Khi đó, ta có phương trình số hiệu chỉnh có dạng như sau:

$$v_i = a\varphi_i^2 + b\varphi_i + c - \lambda_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Các tham số a, b, c sẽ được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất.

Thay các tham số xác định được vào công thức (9) ta sẽ nhận được đa thức bậc hai mô phỏng các cung thẳng và cung giáng tương ứng.

Xác định vị trí điểm giao cắt:

Nếu cung thẳng được mô phỏng bằng đa thức $\lambda = a_t\varphi^2 + b_t\varphi + c_t$, và cung giáng được mô phỏng bằng đa thức $\lambda = a_g\varphi^2 + b_g\varphi + c_g$ thì vị trí của điểm giao cắt là nghiệm của hệ phương trình:

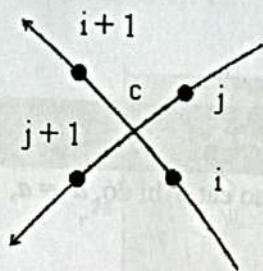
$$\begin{cases} \lambda = a_t\varphi^2 + b_t\varphi + c_t \\ \lambda = a_g\varphi^2 + b_g\varphi + c_g \end{cases} \quad (11)$$

Hệ phương trình (11) sẽ có 2 nghiệm, nghĩa là sẽ có 2 điểm giao cắt. Hai điểm giao cắt này nằm ở hai nửa của đồ thị parabol của đa thức bậc hai mô phỏng cung thẳng và cung giáng. Điểm giao cắt hợp lý sẽ là điểm nằm trên đoạn cung thẳng và đoạn cung giáng. So sánh hai điểm này với điểm đầu và điểm cuối của cung thẳng hoặc cung giáng sẽ tìm ra điểm giao cắt cần tìm.

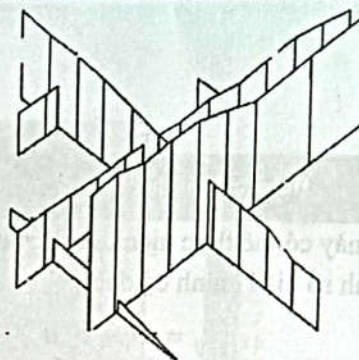
Vị trí điểm giao cắt tìm được chưa phải là vị trí chính xác mà chỉ là vị trí gần đúng. Sau khi tìm được điểm giao cắt gần đúng, so sánh tọa độ điểm này với các điểm trên cung thẳng và cung giáng sẽ tìm được 4 điểm lân cận của điểm giao cắt là $i, i+1, j$ và $j+1$ (hình 4). Dựa vào 4 điểm này sẽ xác định được vị trí điểm giao cắt chính xác (c) và chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt theo phương pháp Cramer.

4. Bình sai giao cắt

Do có thành phần địa hình mặt biển động lực biến đổi theo thời gian h_t nên tại điểm giao cắt, độ cao mặt biển tính theo cung thẳng và cung giáng chênh lệch nhau [[4]] (xem hình 5).



Hình 4. Vị trí điểm giao cắt chính xác



Hình 5. Chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt

Để loại bỏ thành phần độ cao địa hình mặt biển động lực biến đổi theo thời gian h , ta mô phỏng thành phần này bằng mô hình toán học, dựa vào chênh lệch độ cao tại các điểm giao cắt để xác định các tham số của mô hình. Bài toán này được gọi là bình sai giao cắt (crossover adjustment).

Đối với khu vực như Biển Đông (chiều dài vết quét nhỏ hơn 2000 km) thì địa hình mặt biển động lực biến đổi theo thời gian được mô hình bằng tham số độ lệch a và độ nghiêng b . Khi đó chênh lệch độ cao tại điểm giao cắt của cung thẳng i và cung giăng j được biểu diễn bằng công thức [1]:

$$dH_{ij} = (a_i + b_i \cdot \mu_{ij}) - (a_j + b_j \cdot \mu_{ij}) + v_{ij} \quad (12)$$

trong đó: a_i, a_j là các tham số độ lệch; b_i, b_j là các tham số độ nghiêng; μ_{ij}, μ_j - độ kinh tương đối của điểm so với độ kinh trung bình của vết quét i và j .

Phương trình được viết ở dạng ma trận:

$$d = Ax + v, \quad (13)$$

trong đó: x là ma trận ẩn số; v là ma trận số hiệu chỉnh; d là ma trận số hạng tự do.

Có thể viết hệ phương trình này ở dạng thường gặp:

$$v = Ax - d. \quad (14)$$

Đây là phương trình khuyết thiếu, không thể giải bằng cách thông thường được. Có các phương pháp giải như: Cố định hai vết quét hoặc thêm điều kiện phụ. Tuy nhiên, hai phương pháp này đều có nhược điểm là bề mặt xác định bởi tập hợp các điểm đo cao sau bình sai giao cắt cách xa mặt geoid [[1]]. Để khắc phục điều này, người ta mô hình độ cao địa hình mặt biển tại các điểm đo cao trên vết quét k bằng các tham số độ lệch (a_k^0) và độ nghiêng (b_k^0). Khi đó, ta có phương trình số hiệu chỉnh cho điểm i_1 trên vết quét k :

$$SSH_{i_1} = a_k^0 + b_k^0 \cdot \mu_{i_1} + V_{i_1} \quad (15)$$

trong đó: μ_{i_1} - độ kinh tương đối của điểm i_1 ; V_{i_1} - số hiệu chỉnh độ cao của điểm i_1 .

Các tham số a_k^0 và b_k^0 được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất theo điều kiện

$$\sum_{i=1}^{n_1} V_{i_1}^2 = \min, \quad n_1 - \text{là số điểm đo trên vết quét } k.$$

Việc làm này có thể thực hiện đồng thời với việc bình sai giao cắt. Khi đó, $a^0 = a$, $b^0 = b$ và hệ phương trình số hiệu chỉnh có dạng:

$$\begin{cases} v_{ij} = (a_i + b_i \cdot \mu_j) - (a_j + b_j \cdot \mu_i) - dH_{ij} \\ V_{ki} = (a_k + b_k \cdot \mu_{ki}) - SSH'_{ki} \end{cases} \quad (16)$$

Các tham số được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất với điều kiện:

$$\sum v_{ij}^2 + w \sum V_{ki}^2 = \min. \quad (17)$$

trong đó: w là trọng số tương quan.

Sau khi bình sai giao cắt, độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình được xác định bằng công thức:

$$h_{MDT} = SSH' - (a + b\mu). \quad (18)$$

5. Kết quả tính toán thực nghiệm

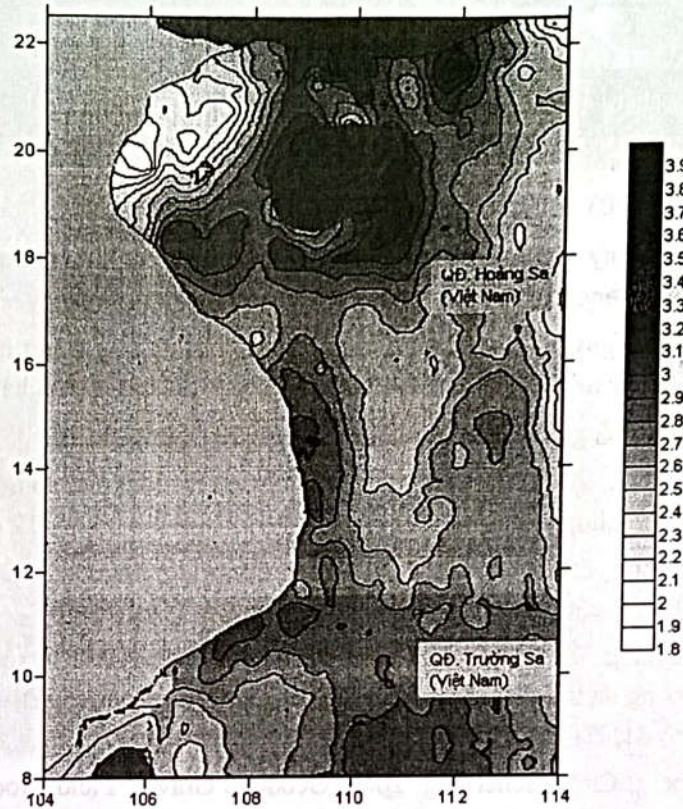
Trên cơ sở lý thuyết trình bày ở trên, chúng tôi tiến hành tính toán thực nghiệm cho số liệu đo cao từ vệ tinh ENVISAT trên Biển Đông ở chu kỳ 86. Chu kỳ này có 4261 điểm đo, chia làm 44 vết quét, có 95 điểm giao cắt. Số liệu được cung cấp bởi AVISO [[12]]. Các kết quả xác định các tham số độ lệch và độ nghiêng được trình bày trên bảng 1.

Bảng 1. Kết quả xác định các tham số độ lệch và độ nghiêng

| vết quét | a (m) | b (m/rad) | vết quét | a (m) | b (m/rad) | vết quét | a (m) | b (m/rad) | vết quét | a (m) | b (m/rad) |
|----------|-------|-----------|----------|-------|-----------|----------|-------|-----------|----------|-------|-----------|
| 21 | 0.25 | 0.00 | 36 | -0.02 | -0.11 | 49 | 0.06 | 0.10 | 64 | -0.07 | 0.00 |
| 107 | -0.86 | 0.00 | 122 | 0.04 | 0.04 | 135 | -0.03 | 0.05 | 150 | 0.00 | -0.13 |
| 193 | 0.11 | -0.09 | 221 | -0.09 | -0.06 | 236 | 0.06 | -0.17 | 279 | -0.09 | -0.01 |
| 307 | -0.07 | -0.11 | 322 | -0.25 | 0.44 | 350 | -0.04 | -0.02 | 365 | -0.23 | -0.13 |
| 393 | -0.01 | -0.03 | 408 | 0.07 | 0.12 | 421 | -0.04 | 0.00 | 436 | -0.06 | 0.24 |
| 479 | 0.08 | 0.12 | 494 | -0.13 | -0.24 | 507 | 0.08 | 0.35 | 522 | -0.08 | 0.06 |
| 565 | 0.13 | 0.00 | 580 | -0.15 | 0.12 | 593 | -0.03 | 0.04 | 608 | -0.02 | -0.01 |
| 651 | 0.43 | 0.72 | 666 | 0.20 | 0.07 | 679 | -0.05 | -0.05 | 694 | 0.22 | -0.15 |
| 737 | 0.09 | 0.05 | 765 | -0.09 | -0.08 | 780 | 0.11 | -0.08 | 823 | -0.03 | -0.03 |
| 851 | 0.00 | -0.04 | 866 | 0.23 | -0.14 | 894 | -0.10 | 0.25 | 909 | 0.07 | 0.00 |
| 937 | 0.20 | -0.12 | 952 | 0.11 | 0.14 | 965 | 0.06 | 0.31 | 980 | -0.04 | 0.13 |

Kết quả xác định bề mặt tự nhiên động lực trung bình được trình bày trên hình 6 với khoảng

cao đều đường bình độ là 0,1 m.



Hình 6. Bề mặt tự nhiên động lực trung bình trên Biển Đông

6. Kết luận

- Có thể xác định được độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình bằng số liệu đo cao từ vệ tinh.

- Quy trình xác định độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình bằng số liệu đo cao từ vệ tinh bao gồm các bước: Loại bỏ độ cao geoid; xác định vị trí và chênh lệch độ cao của điểm giao cắt; bình sai giao cắt; tính độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình.

- Trong phần thực nghiệm đã tiến hành tính toán độ cao bề mặt tự nhiên động lực trung bình bằng số liệu đo cao từ vệ tinh ENVISAT ở một chu kỳ trên Biển Đông. Đây mới chỉ là kết quả tính toán thực nghiệm bước đầu, cần tiếp tục tính toán với số liệu đo cao từ vệ tinh ở nhiều chu kỳ khác nhau, nhiều loại vệ tinh khác nhau để có những so sánh, đánh giá cần thiết.

7. Tài liệu tham khảo

[1]. Andersen O.B., 2010. Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. Geodetic Department, DTU – Space, Juliane Maries Vej 30, DK – 2100, Denmark.

[2]. AVISO, 2010. DT CorSSH and DT SLA Product Handbook, Toulouse – France.

[3]. Đặng Xuân Kỳ, 2014. Nghiên cứu phương pháp xác định vị trí điểm giao cắt trong xử lý số liệu đo cao từ vệ tinh trên Biển Đông. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, trường Đại học Mỏ – Địa

Chất, Hà Nội.

- [4]. Gunter Seeber, 2003. *Satellite Geodesy*. Berlin, Germany.
- [5]. Lee-Lueng Fu, Anny Cazenave, 2001. *Satellite Altimetry and Earth Sciences*. ACADEMIC PRESS, San Diego – San Francisco – New York – Boston – London – Sydney – Tokyo.
- [6]. Neiman. Y. M, Nguyễn Văn Sáng, 2011. Xác định dị thường trọng lực trên vùng biển Việt Nam bằng số liệu đo cao từ vệ tinh ENVISAT. Tạp chí Trắc địa và ảnh hàng không, № 5, Matxcova. Tr 15 – tr 21 (tiếng Nga).
- [7]. Nguyễn Văn Sáng, 2012. Bình sai điểm giao cắt của vệ tinh đo cao trên vùng biển Việt Nam. Tạp chí Trắc địa và chụp ảnh hàng không, № 3, Matxcova. Tr 08 – tr 12 (tiếng Nga).
- [8]. Nguyễn Văn Sáng, 2012. Xác định dị thường trọng lực cho vùng biển Việt Nam bằng kết quả đo cao từ vệ tinh. Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Matxcova (tiếng Nga).
- [9]. Nguyễn Văn Sáng, 2013. Xác định vị trí điểm giao cắt trong xử lý số liệu đo cao từ vệ tinh bằng cách mô phỏng đa thức bậc hai. Tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ – Địa Chất, trường Đại học Mỏ – Địa Chất, số 41, Hà Nội. Tr 43 – tr 47.
- [10]. Rene Forsberg, C.C. Tscherning, 2008. *Geodetic Gravity Field Modelling Programs*. National Space Institute and Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Denmark.
- [11]. Rosmorduc V., 2009. *Basic Radar Altimetry Toolbook practical*. Bergen, Norway.
- [12]. Veronique Amans, Henri Laur, 2007. *Access to Envisat data*, European Space Agency.

USING ALTRIMETRY DATA FOR DETERMINATION OF MEAN SEA DYNAMIC TOPOGRAPHY IN THE EAST SEA

Dr. Nguyen Van Sang, Eng. Nguyen Van Lam
Hanoi University of Mining and Geology

This paper presents method of determination of mean dynamic topography from altimetry data. Altimetry data give the rough sea surface height relative to the reference ellipsoid. First these data are corrected for effects of wave, wind, sea tide etc. and reduced by geoid height from Earth Gravitational Model. Then crossover adjustment technique is applied to estimate mean dynamic topography in the following steps: determination of crossover locations; modeling sea surface; crossover adjustment for determination of parameters of model; and computation of height of mean dynamic topography. In the experiment, mean dynamic topography height is estimated from altimetry data of satellite ENVISAT in the East Sea. ○