

# TÍNH SỐ HIỆU CHỈNH DO ẢNH HƯỞNG CỦA THÀNH PHẦN TẦNG ĐỐI LƯU KHÔ ĐẾN SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH TRÊN BIỂN ĐÔNG

NGUYỄN VĂN SÁNG<sup>(1)</sup>, PHẠM LÊ PHƯƠNG<sup>(2)</sup>, NGUYỄN THANH THỦY<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>(2)</sup>Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

## Tóm tắt

Mục đích của bài báo là tính được số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô đến số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông. Công thức Saastamoinen được áp dụng để tính toán. Các tính toán thực nghiệm được thực hiện đối với số liệu vệ tinh Cryosat-2, chu kỳ 55, dựa trên 2 mô hình khí tượng NCEP và ECMWF. Các số hiệu chỉnh tính được và số hiệu chỉnh trung bình được so sánh với kết quả tính toán của Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA). Kết quả so sánh cho thấy, các số hiệu chỉnh tính từ hai mô hình khí tượng là phù hợp với các số hiệu chỉnh do ESA cung cấp. Độ chính xác của các hiệu chỉnh trung bình từ hai mô hình khí tượng được cải thiện.

## 1. Đặt vấn đề

Vấn đề an ninh trên biển trong đó có an ninh quốc phòng và an toàn hàng hải luôn là vấn đề cấp thiết trong công tác nghiên cứu biển và đại dương. Đối với công nghệ đo đạc truyền thống, việc thực hiện các công tác quan trắc trên biển luôn gặp rất nhiều khó khăn, tốn kém và không hiệu quả do phạm vi thực hiện rất nhỏ.

Công nghệ đo cao vệ tinh đã khắc phục được các điểm hạn chế của công nghệ đo đạc truyền thống trong các nghiên cứu quan trắc trên biển và đại dương. Với số liệu được cung cấp miễn phí bởi các tổ chức nghiên cứu, đo cao vệ tinh đã được sử dụng phổ biến trên thế giới với các ứng dụng như: xác định Geoid biển, địa hình mặt biển trung bình động học, dị thường trọng lực biển, địa hình đáy biển, nghiên cứu băng cực Trái đất [1].

Tuy nhiên, đo cao vệ tinh với việc sử dụng các sóng điện từ vẫn chịu nhiều ảnh hưởng gây ra độ trễ tín hiệu dẫn đến những sai số đo đạc. Việc hiệu chỉnh các trị đo có ý nghĩa rất lớn trong việc nâng cao độ chính xác cho kết quả đo. Đặc biệt trong đó, ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô gây ra độ trễ tín hiệu tương đối lớn và việc tìm hiểu, tính số hiệu chỉnh do ảnh

hưởng của yếu tố này có ý nghĩa rất quan trọng trong việc nâng cao độ chính xác cho kết quả đo.

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày cơ sở lý thuyết và cách tính số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô đến số liệu đo cao vệ tinh và thực nghiệm tính toán cho số liệu đo cao vệ tinh Cryosat-2 tại khu vực Biển Đông.

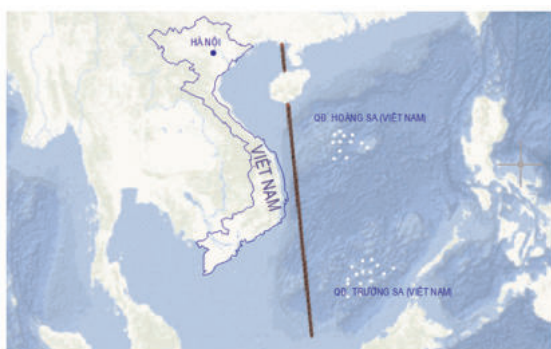
## 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Dữ liệu nghiên cứu

Số liệu đo cao vệ tinh được sử dụng cho bài viết này là số liệu đo cao vệ tinh Cryosat-2. Đây là vệ tinh nghiên cứu môi trường được nghiên cứu và phát triển bởi Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (ESA), được phóng lên quỹ đạo vào tháng 4 năm 2010. Số liệu bao gồm 255 điểm thuộc khu vực Biển Đông thuộc chu kỳ 55, được đo ngày 18 tháng 6 năm 2014. Vị trí các điểm đo được thể hiện theo hình 1.

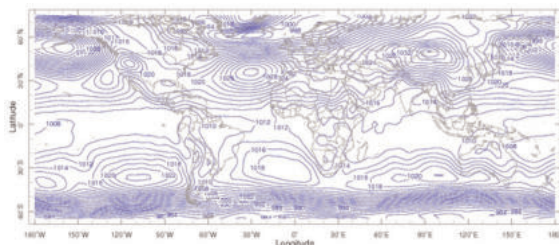
Để tính toán số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô, chúng tôi sử dụng các mô hình khí tượng NCEP và ECMWF. Đây là 02 mô hình dự báo, phân tích khí tượng, thời tiết và các biến động trong một khoảng thời gian nhất định.

Ngày nhận bài: 14/8/2018, ngày chuyên phân biện: 20/8/2018, ngày chấp nhận phân biện: 17/9/2018, ngày chấp nhận đăng: 18/9/2018



Hình 1: Sơ đồ các điểm đo Cryosat-2 khu vực Biển Đông

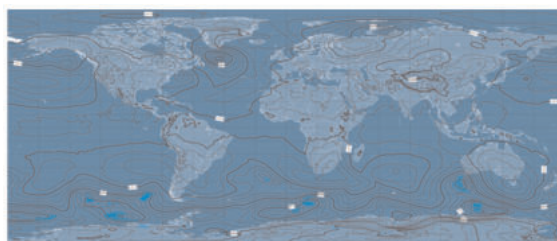
NCEP/NCAR là mô hình khí tượng được Trung tâm Dự báo môi trường quốc gia Mỹ xây dựng. Mô hình khí tượng này được cung cấp tại địa chỉ Website: <https://iridl.ldeo.columbia.edu>. Mô hình này cung cấp các file có độ lớn mắt lưới vào khoảng  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ . Trên hình 2 minh họa mô hình khí tượng NCEP/NCAR trên phạm vi toàn cầu.



Hình 2: Mô hình NCEP/NCAR thể hiện áp suất khí quyển tác động lên mặt biển (nguồn: <https://iridl.ldeo.columbia.edu>)

ECMWF là các mô hình khí tượng do Trung tâm khí tượng thủy văn châu Âu xây dựng và cung cấp. Đây là tổ chức liên chính phủ với sự hỗ trợ của 34 quốc gia khu vực châu Âu. Mô hình cung cấp các file lưới ô vuông (cao nhất  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ). Trên hình 3 minh họa mô hình khí tượng ECMWF trên phạm vi toàn cầu.

Mô hình NCEP hay ECMWF đều đưa ra các phân tích và dự đoán dựa trên toàn bộ hoạt động mô tả phạm vi kịch bản thời tiết, khí hậu có thể xảy ra và khả năng xảy ra của chúng. Dự báo của ECMWF bao gồm các khung thời gian khác nhau, từ trung bình hàng tháng, theo mùa, hoặc có thể lên tới một năm.



Hình 3: Mô hình ECMWF thể hiện áp suất khí quyển tác động lên mặt biển (nguồn: <https://www.ecmwf.in>)

## 2.2. Cơ sở lý thuyết tính số hiệu chỉnh do thành phần tầng đối lưu khô đến kết quả đo cao vệ tinh

Các sóng điện từ đều có đặc điểm chung là bị các lớp không khí trong khí quyển Trái Đất bẻ cong. Các sóng radar của vệ tinh đi qua khí quyển tạo ra độ trễ tín hiệu. Trong trường hợp này, các số hiệu chỉnh là biểu thị cho sự khúc xạ hai chiều đi của tín hiệu giữa vệ tinh ở độ cao  $R$  và mực nước biển thấp nhất. Số hiệu chỉnh đó được tính theo công thức sau [2]:

$$\Delta R = \bar{R} - R = \frac{c}{2} \int_0^{t_1/2} \frac{\eta - 1}{\eta} dt \quad (1)$$

trong đó:  $c$  là tốc độ ánh sáng trong môi trường chân không;

$\bar{R} = \frac{c \cdot t_1/2}{2}$  là giá trị khoảng cách ước tính nếu bỏ qua khúc xạ;

$\eta$  là phần chiết xuất của khúc xạ (bằng 1 trong môi trường chân không, và lớn hơn 1 trong môi trường không tán xạ).

Do chỉ số khúc xạ của khí quyển gần bằng 1 với sóng có tần số nhỏ, điều này phù hợp cho việc biểu thị tính chất khúc xạ của khí quyển được xác định bằng công thức:  $N=10^6(\eta-1)$ . Thời gian truyền và độ dài đường truyền liên hệ với nhau:  $dz = c/\eta' dt$  trong đó  $\eta = \eta'$  trong môi trường không tán xạ. Giá trị hiệu chỉnh theo công thức (1) có thể biểu thị theo khoảng cách đường truyền sóng xung radar như sau [2]:

$$\Delta R = \frac{10^{-8}}{2} \int_0^{2R} N_z dz = 10^{-6} \int_0^R N_z dz \quad (2)$$

Số hiệu chỉnh tầng đối lưu khô là số hiệu chỉnh lớn nhất trong các giá trị hiệu chỉnh do khí quyển gây ra. Theo (Smith và Weintraub, 1953) đã nêu ra sự khúc xạ của tầng đối lưu khô theo công thức:

$$N_{dry}(z) = \beta_{dry} \cdot P(z) / T(z), \quad (3)$$

trong đó: P là áp suất khí quyển đơn vị là mb (hoặc hPa);

T là nhiệt độ tính theo độ Kelvin (độ K);

$\beta_{dry}$  là hệ số thực nghiệm, theo Smith và Weintraub thì  $\beta_{dry} = 77,6$  (°K/mb);

Trong công thức (3), về giá trị áp suất khí quyển P bao gồm một phần rất nhỏ áp suất do thành phần hơi nước, còn phần lớn (khoảng 99%) là do thành phần không khí khô. Do đó, sự chênh lệch giữa P và  $P_{dry}$  là rất nhỏ và không đáng kể.

Trong trường hợp lý tưởng:  $P(z) = R_a \cdot \rho_a(z) \cdot T(z)$ , công thức (3) được biểu thị như sau:

$$N_{dry}(z) = \beta_{dry} \cdot R_a \cdot \rho_a(z), \quad (4)$$

trong đó:  $R_a = 2,8704 \times 10^6$  (ergs/g.°K) là hằng số khí cho 1g không khí (hay còn gọi là khối lượng mol);

$\rho_a$  là tổng tỷ trọng không khí (đơn vị g/cm<sup>3</sup>)

Giá trị hiệu chỉnh thành phần đối lưu khô, tính theo công thức (1) có thể viết lại thành:

$$\Delta R_{dry} = 10^{-6} \int_0^R N_{dry}(z) dz = \beta'_{dry} \int_0^R \rho_a(z) dz \quad (5)$$

trong đó:  $\beta'_{dry} = 10^{-6} \cdot \beta_{dry} \cdot R_a = 222,74$  (cm<sup>3</sup>/g)

Tích phân của tỷ trọng không khí ở công thức (5) có thể đạt giá trị gần đúng như sau:

$$\int_0^R \rho_a(z) dz \approx P_0 / g_0(B), \quad (6)$$

trong đó:  $g_0(B)$  là trọng lực trên bề mặt trái đất tại vĩ độ B (đơn vị cm/s<sup>2</sup>);

$P_0$  là giá trị áp suất khí quyển tác động lên mặt biển (đơn vị mb);

Từ (5) và (6), giá trị hiệu chỉnh do ảnh hưởng tầng đối lưu khô với đơn vị cm có giá trị gần đúng theo công thức sau:

$$\Delta R_{dry} \approx 222,74 \cdot P_0 / g_0(B) \quad (7)$$

Trong thực tế thì giá trị  $g_0(B)$  còn phụ thuộc vào độ vĩ khu đo và cần phải tính đến độ dẹt Trái đất. Sự biến thiên của  $g_0(B)$  từ 978,04 cm/s<sup>2</sup> ở Xích đạo đến 983,21 cm/s<sup>2</sup> ở các vùng cực dẫn đến sự thay đổi khoảng hơn 1cm của độ trễ tín hiệu. Sự phụ thuộc của  $g_0(B)$  vào độ vĩ được thể hiện bởi công thức:

$$g_0 = \bar{g}_0 (1 - 0,0026 \cdot \cos 2B) \quad (8)$$

trong đó:  $\bar{g}_0 = 980,6$  (cm/s<sup>2</sup>) là giá trị tham chiếu chuẩn của gia tốc trọng lực.

Thay (7) vào (8) và sử dụng khai triển Taylor với điều kiện phụ thuộc vĩ độ, ta được giá trị hiệu chỉnh do ảnh hưởng tầng đối lưu khô (đơn vị cm) theo công thức [2] (gọi là công thức Saastamoinen):

$$\Delta R_{dry} \approx 0.2277 \cdot P_0 \cdot (1 + 0.0026 \cdot \cos 2B) \quad (9)$$

Do đây là yếu tố gây độ trễ, số hiệu chỉnh phải mang dấu âm. Vậy công thức tính số hiệu chỉnh (9) có thể viết lại (đơn vị m) như sau [4]:

$$\Delta R_{dry} = -0.002277 \cdot P_0 \cdot (1 + 0.0026 \cdot \cos 2B) \quad (10)$$

Theo công thức (8) đã đề xuất, ta nhận thấy giá trị tăng giảm của số hiệu chỉnh phụ thuộc hoàn toàn vào giá trị  $P_0$  và giá trị B tức là chủ yếu phụ thuộc vào trí điểm đo, và áp suất khí quyển tác động lên mực nước biển ở thời điểm vệ tinh thực hiện công tác đo. Giá trị B có thể xác định một cách dễ dàng dựa vào vị trí điểm đo, tuy nhiên, việc xác định chính xác giá trị  $P_0$  tại thời điểm đo là không khả thi. Để thay thế giá trị này, ta sử dụng giá trị áp suất trong các mô hình khí tượng (tương ứng với thời gian vệ tinh thực hiện đo) được xây dựng và cung cấp bởi các tổ chức khí tượng trên thế giới và trong bài viết này là các mô hình NCEP và ECMWF.

### 3. Kết quả tính số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô đến số liệu đo cao vệ tinh trên Biển Đông

Trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở phần trên, trong phần này sẽ trình bày kết quả tính số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô đến số liệu đo vệ tinh Cryosat-2 (chu kỳ 55, ngày 18 tháng 6 năm 2014) theo 02 mô hình khí tượng NCEP và ECMWF. Các kết quả tính toán được so sánh với kết quả được cung cấp bởi Cơ quan Vũ trụ Châu Âu (European Space Agency - ESA).

#### 3.1. Kết quả tính số hiệu chỉnh

Các thông kê vắn tắt kết quả tính toán thực nghiệm 255 điểm đo khu vực Biển Đông như sau:

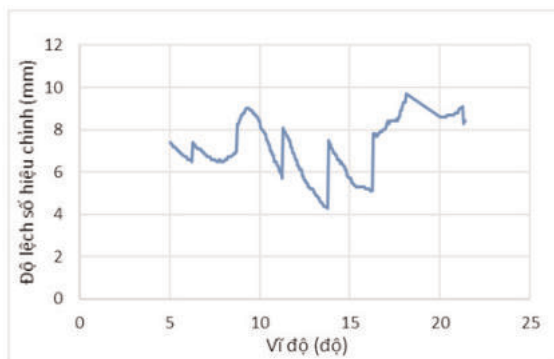
	Mô hình NCEP/NCAR	Mô hình ECMWF
Giá trị hiệu chỉnh lớn nhất $\Delta R_{dry,max}$ (m)	-2.2985	-2.3059
Giá trị hiệu chỉnh nhỏ nhất $\Delta R_{dry,min}$ (m)	-2.2857	-2.2945
Giá trị hiệu chỉnh trung bình $\Delta R_{dry,tb}$ (m)	-2.2929	-2.3000
Tổng số điểm tính	255	255

Giá trị hiệu chỉnh lớn nhất, nhỏ nhất trong bảng trên được tính theo giá trị tuyệt đối.

#### 3.2. So sánh số hiệu chỉnh tính từ 2 mô hình

Từ hai kết quả tính được trên hai mô hình khí tượng ta có thể tính được độ lệch của 2 mô hình. Độ lệch của số hiệu chỉnh độ trễ do ảnh hưởng của tầng đối lưu khô (trên 2 mô hình) được biểu diễn theo biểu đồ như sau: (Xem hình 4)

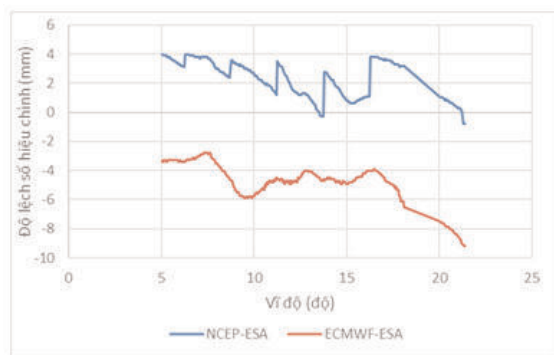
Ta có thể thấy, độ lệch giữa 02 mô hình nằm trong khoảng từ 4 đến 9 mm (tùy theo vị trí điểm đo), đây là độ lệch tương đối nhỏ so với số hiệu chỉnh tính được (khoảng 2.3m) từ hai mô hình. Độ lệch này có tính hệ thống do sự sai khác về giá trị  $P_0$  trên 2 mô hình khí tượng (giá trị đầu vào). Giá trị chênh lệch 1 mb trên mô hình khí tượng ứng với độ lệch 2mm về khoảng cách.



Hình 4: Độ lệch số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của tầng đối lưu khô được tính trên hai mô hình (ECMWF và NCEP)

#### 3.3. So sánh kết quả tính với kết quả được cung cấp bởi ESA

Để kiểm tra kết quả tính, chúng tôi so sánh kết quả tính với số hiệu chỉnh được cung cấp bởi ESA. Độ lệch của số hiệu chỉnh tính theo 2 mô hình so với số hiệu chỉnh của ESA được biểu diễn như sau:



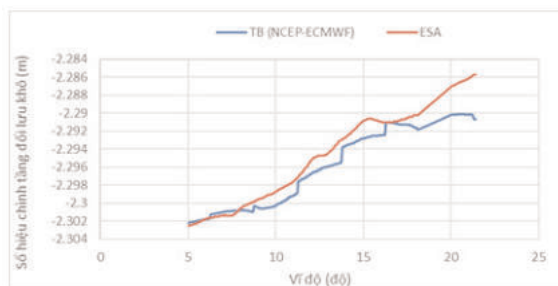
Hình 5: Biểu đồ độ lệch số hiệu chỉnh giữa hai mô hình với số hiệu chỉnh được cung cấp bởi ESA

Từ biểu đồ cho thấy, độ lệch số hiệu chỉnh tính theo Saastamoinen trên hai mô hình khí tượng lần lượt là:

- Với mô hình khí tượng NCEP: Độ lệch từ 0 đến 4 mm, giá trị độ lệch trung bình là 2,3 (mm).
- Với mô hình ECMWF: Độ lệch từ -2 đến -9 (mm), giá trị độ lệch trung bình là -4,8 (mm).

Như vậy số hiệu chỉnh tính theo 2 mô hình

lệch về 2 phía so với kết quả tính của ESA. Do đó chúng tôi lấy trung bình số hiệu chỉnh tính theo 2 mô hình sẽ được kết quả sát với kết quả của ESA hơn. Kết quả tính số hiệu chỉnh trung bình trên hai mô hình khí tượng và số hiệu chỉnh của ESA thể hiện trên hình 6.



Hình 6: Đồ thị biểu diễn số hiệu chỉnh trung bình trên cả hai mô hình và số hiệu chỉnh được cung cấp

Kết quả so sánh giá trị số hiệu chỉnh trung bình với kết quả tính của ESA như sau:

- Giá trị lệch nhỏ nhất: -0.0050 m
- Giá trị lệch lớn nhất: +0.0005 m
- Giá trị lệch trung bình: -0.0012 m

Từ kết quả so sánh trên ta thấy, tính trung bình số hiệu chỉnh từ 2 mô hình sẽ khớp hơn với kết quả tính của ESA cung cấp.

#### 4. Kết luận

Bài báo đã trình bày công thức tính số hiệu chỉnh do ảnh hưởng của thành phần tầng đối lưu khô đến kết quả đo cao vệ tinh và tính toán thực nghiệm trên Biển Đông dựa vào 2 mô hình NCEP và ECMWF. Các kết quả tính toán được so sánh với nhau và so sánh với kết quả tính do Cơ quan vũ trụ châu Âu (ESA) cung cấp.

Kết quả tính số hiệu chỉnh theo 2 mô hình lệch nhau khá nhỏ và rất khớp với kết quả tính do Cơ quan vũ trụ châu Âu cung cấp. Kết quả tính trung bình của 2 mô hình đã nâng cao được độ chính xác tính số hiệu chỉnh thể hiện ở độ lệch rất nhỏ so với kết quả tính của ESA. ○

#### Tài liệu tham khảo

[1]. Nguyễn Văn Sáng (2015), Đo cao vệ tinh, Giáo trình cao học, Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội.

[2]. Lee-Lueng Fu-Anny Cazenave (2001). Satellite altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications, pp 37-40, International Geophysics Series. Volume 69.

[3]. Saastamoinen J. (1972): Atmospheric Correction for Troposphere and Stratosphere in Radio Ranging of Satellites, pp. 247-251, in The Use of Artificial Satellites for Geodesy, geophysical monograph 15, American Geophysical Union, Washington D.C., 1972.

[4]. F.Blarel, S. Parouty, F. Remy (2010), ENVISAT RA2-Dry Troposphere correction for ice sheets, Legos, Toulouse, France. [http://www.legos.obs-mip.fr/members/blarel/Dry\\_tropo\\_Proceeding\\_1872899.pdf?lang=fr](http://www.legos.obs-mip.fr/members/blarel/Dry_tropo_Proceeding_1872899.pdf?lang=fr);

Proceeding 1872899.pdf?lang=fr;

[5]. M. Joana Fernandes, Clara Lázaro, Alexandra L. Nunes, Remko Scharroo (2014), Atmospheric Corrections for Altimetry Studies over Inland Water, Remote Sensing (ISSN 2072-4292), <https://pdfs.semanticscholar.org/a1f9/a77584048c49c7ee5159b44053454b70a078.pdf>

[6]. Gunter Seeber (2003), Satellite Geodesy, 2<sup>nd</sup> completely revised and extended edition, pp. 56-62, Walter de Gruyter, Berlin;

[7]. Helen S. Hopfield (1972), Tropospheric Refraction Effects on Satellite Range Measurements. <https://pdfs.semanticscholar.org/a18c/6b6d508a574d21626a130d182493e66-7c15a.pdf>;

[8]. John Paul Collins (1999), Assessment and Development of a Tropospheric Delay Model for Aircraft Users of the Global Positioning System, 13-21. M.Sc.E. thesis, Department of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 203, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada;

[9]. Dodo, J. D. and Idowu (2010), Regional Assessment of the GPS Tropospheric Delay Models on the African GNSS Network, Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences, Scholarlink Research Institute Journals, 2010;

(Xem tiếp trang 45)