

MỘT SỐ KẾT QUẢ ỨNG DỤNG CỦA ĐO CAO VỆ TINH TRONG NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC ĐỊA CHẤT BIỂN ĐÔNG VIỆT NAM

TRẦN TUẤN DŨNG¹, NGUYỄN THỊ HẢI HÀ¹,
NGUYỄN QUANG MINH¹, BÙI THỊ NHUNG²

¹Viện Địa chất và Địa Vật lý Biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

Tóm tắt: Trong bài báo này, các tác giả tập trung vào phân tích đánh giá hiệu quả của việc sử dụng số liệu đo cao vệ tinh trong nghiên cứu địa chất Biển Đông. Một loạt các yếu tố địa chất như hệ thống các đứt gãy, trục tách dãn đáy biển, cũng như sự phân bố các núi lửa, các bề trầm tích được phát hiện, xác định bằng các phương pháp mô hình 2D, 3D minh giải tài liệu đo cao vệ tinh. Các kết quả nghiên cứu của bài báo là phù hợp và được kiểm tra xác thực bởi các tài liệu nghiên cứu trực tiếp trên biển hiện có trong Khu vực Biển Đông Việt Nam.

I. GIỚI THIỆU CHUNG

Khu vực Biển Đông Việt Nam, mặc dù đã trải qua nhiều năm nghiên cứu nhưng vẫn còn rất nhiều nơi chưa được khảo sát hoặc mới chỉ được thực hiện ở mức độ rất sơ lược, đặc biệt ở vùng trũng sâu và những khu vực xa xôi, khu vực nhạy cảm. Một hướng tiếp cận mới trong khảo sát nghiên cứu cấu trúc địa chất cũng như trong thăm dò khoáng sản biển đó là ứng dụng công nghệ đo cao vệ tinh. Đo cao vệ tinh là quá trình đo đạc sự biến đổi của địa hình bề mặt đại dương (so với mặt Elipsoid Trái đất) bằng ra đa sóng ngắn đặt trên vệ tinh. Bề mặt đại dương là một mô phỏng địa hình đáy, sự nhấp nhô, gồ ghề của nó được gây ra bởi sự biến đổi của lực trọng trường Trái đất. Dựa vào những định luật vật lý và mô hình toán học người ta có thể biến đổi độ cao bề mặt đại dương thành trường dị thường trọng lực và độ sâu đáy biển. Độ chính xác cũng như là độ phân giải của số liệu đo cao vệ tinh phụ thuộc vào mức độ bao phủ không gian của vệ tinh, chúng ngày

được tăng cường bởi sự đo lặp qua nhiều năm [7, 11].

Phép biến đổi địa hình bề mặt đại dương thành dị thường trọng lực (trọng lực vệ tinh) và độ sâu đáy biển không phải là một vấn đề mới. Vào những năm 80 của thế kỷ trước, đo cao vệ tinh đã bắt đầu trở thành một hướng được chú ý đến trong nghiên cứu biển. Từ đó đến nay đã có một số công trình nghiên cứu nhằm xây dựng hoàn thiện mạng lưới, cải thiện độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh. Trong những năm qua, các nhà khoa học Mỹ đã xây dựng được mạng lưới số liệu dị thường trọng lực mới nhất với độ chi tiết đạt đến $1' \times 1'$ (Sandwell and Smith, V22.1), cũng như độ sâu các đại dương trên thế giới $2,5 \times 2,5$ km [7]. Có thể nói, là những nguồn số liệu địa vật lý có độ phân giải đồng đều nhất, độ bao phủ rộng, với một mức độ chính xác phù hợp, được sử dụng một cách hiệu quả cho các nghiên cứu cấu trúc địa chất trên Biển Đông Việt Nam. Nguồn số liệu đo cao vệ tinh đã và đang được khai thác một cách có hiệu quả

nhằm lấp đầy những khoảng trống số liệu mà khảo sát bằng tàu trên biển chưa thực hiện được [7, 9].

Trong bài báo này, các tác giả sử dụng kết hợp nguồn số liệu đo cao vệ tinh và số liệu đo bằng tàu trực tiếp trên biển để tạo nên một nguồn số liệu có độ đồng nhất, độ chính xác cao hơn, có mức độ bao phủ đồng đều trên toàn bộ Biển Đông Việt Nam. Từ nguồn số liệu đó, tiến hành áp dụng tổ hợp các phương pháp minh giải mô hình 2D, 3D nhằm xác định và làm nổi bật một số yếu tố địa chất đặc trưng trong khu vực.

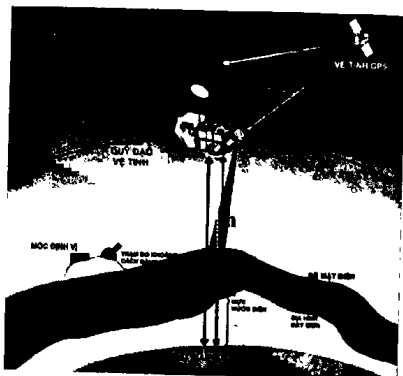
II. VÀI NÉT KHÁI QUÁT VỀ ĐO CAO VỆ TINH

Từ những năm 1980, kỹ thuật đo cao vệ tinh đã được ứng dụng để đo vẽ bản đồ địa hình bề mặt đại dương (mặt Geoid). Bề mặt đại dương không phải là một mặt phẳng (không tính đến ảnh hưởng của sóng, gió, thủy triều và dòng chảy), nhưng theo các định luật vật lý thì nó là một mặt đẳng thế của trường trọng lực Trái đất. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng sự chênh lệch độ cao giữa bề mặt thực tế của đại dương so với mặt Ellipsoid Trái đất khoảng 100 m. Sự gồ ghề lên xuống của bề mặt đại dương được gây ra bởi sự biến đổi của trường trọng lực Trái đất, chúng không thể nhìn thấy bằng mắt thường nhưng có thể đo được bằng một radar rất chính xác đặt trên vệ tinh.

Để thiết lập địa hình bề mặt đại dương, người ta tiến hành đo đạc chính xác hai khoảng cách. Thứ nhất, đó là độ cao của vệ tinh h^* so với mặt Elipsoid bằng hệ thống mạng lưới trạm Laser và Doppler đặt trên bề mặt Trái đất (Hình 1). Độ cao này của vệ tinh còn được hiệu chỉnh bằng quá trình tính toán quỹ đạo động của nó. Thứ hai, độ cao của vệ tinh so với bề mặt đại dương gần nó nhất h được đo bởi ra đa sóng ngắn đặt trên vệ tinh có tần số mang là 13,5 GHz (GeoSat). Nhằm loại bỏ nhiễu và làm tăng tín hiệu phản xạ sóng ra

đa từ bề mặt đại dương người ta sử dụng xung ra đa có độ lặp cao (1000 xung/giây). Ảnh hưởng của thủy triều, của tầng điện ly, của khí quyển cũng được hiệu chỉnh trong quá trình tính toán, đo đạc. Độ cao địa hình bề mặt đại dương có thể được đo với độ chính xác theo phương thẳng đứng là 0,03 m. Độ cao của bề mặt đại dương N (độ cao mặt Geoid) so với mặt Ellipsoid là hiệu giữa hai độ cao nói trên và được tính theo công thức sau [7, 11]:

$$N = h^* - h \quad (1)$$



Hình 1. Phép đo cao vệ tinh bởi hệ thống Topex/Poseidon.

III. XÁC ĐỊNH TRƯỜNG TRỌNG LỰC VÀ ĐỘ SÂU ĐÁY BIỂN BẰNG SỐ LIỆU ĐO CAO VỆ TINH

Sự nhấp nhô của bề mặt Geoid phản ánh sự biến đổi mật độ đất đá bên dưới đáy đại dương và nó có thể được biến đổi thành dị thường trọng lực qua phương trình Stoke (phương pháp *geoid-to-gravity*) hoặc tính đạo hàm của bề mặt Geoid bằng phương trình Laplace (phương pháp *slope-to-gravity*) qua phép biến đổi Fourier. Phương pháp *geoid-to-gravity* được sử dụng bởi GETECH, còn phương pháp *slope-to-gravity* được phát triển bởi Sandwell and Smith (2013) [7].

Mối quan hệ giữa độ cao Geoid $N(x)$ và lực hấp dẫn trọng trường Trái đất $V(x, z)$ được biểu diễn theo công thức sau:

$$N(x, y) = \frac{1}{g_0} V(x, y, z) \quad (2)$$

Độ dốc địa hình mặt Geoid theo hướng x và y được biến đổi thành dị thường trọng lực vệ tinh như sau [7]:

$$\Delta g(k_x, k_y, 0) = \frac{ig_0}{|k_x k_y|} [k_x T(k_x, k_y) + k_y S(k_x, k_y)] \quad (3)$$

Trong đó $k_x = \frac{1}{\lambda_x}$; $k_y = \frac{1}{\lambda_y}$, λ_x, λ_y là

bước sóng.

Số liệu đo cao vệ tinh với độ phân giải cao được sử dụng để xác định độ sâu đáy biển. Người ta sử dụng mô hình toán học biến đổi trường dị thường trọng lực vệ tinh thành độ sâu đáy biển. Mối tương quan giữa trường dị thường trọng lực $G(k)$ và độ sâu đáy biển $H(k)$ được thể hiện qua phép biến đổi Fourier như sau [7]:

$$G(k) = 2\pi(\rho_c - \rho_w) \exp(-2\pi|k|d) H(k) \quad (4)$$

Ở đây ρ_c là mật độ trung bình của vỏ trái đất, ρ_w là mật độ của nước biển, d là độ sâu trung bình địa hình đáy biển, Γ là hằng số lực hấp dẫn Newton.

IV. MỘT SỐ KẾT QUẢ ỨNG DỤNG TÀI LIỆU ĐO CAO VỆ TINH

1. Sử dụng kết hợp số liệu đo cao vệ tinh với số liệu đo bằng tàu trên biển

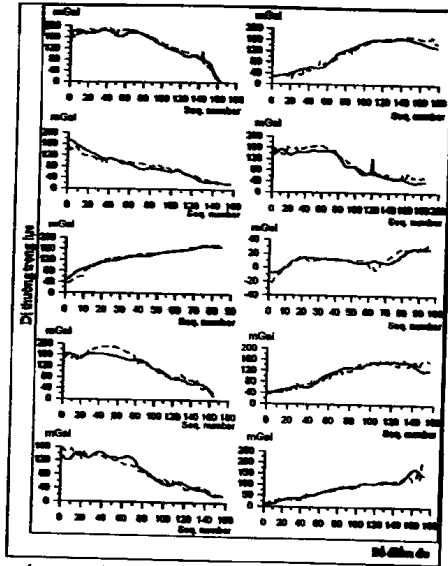
Nhằm nâng cao độ chính xác của số liệu đo cao vệ tinh, trong nghiên cứu này, các tác giả tiến hành sử dụng kết hợp số liệu vệ tinh với số liệu đo trực tiếp bằng tàu trên biển (số liệu thành tàu) hiện có trong khu vực nghiên cứu (*Geosat, ERS-1/2, các vệ tinh Topex/Poseidon, Cryosat* [7] và của các tàu khảo sát *Gagarinsky, Atalante* [1]). Độ chính xác của số liệu vệ tinh phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm

trạng thái tự nhiên của các đại dương và quan hệ không gian của chúng với các lục địa. Ngoài ra chúng còn phụ thuộc nhiều vào số lượng và chất lượng của số liệu thành tàu. Vì những lý do đó, để kết hợp với nguồn số liệu vệ tinh các tác giả đã lựa chọn và chỉ sử dụng các tuyến số liệu thành tàu có nguồn gốc rõ ràng, có độ chính xác và tin cậy cao. Trong nghiên cứu này các tác giả sử dụng nguồn số liệu được đo bởi tàu *Gagarinsky* và *Atalante* và từ satellite [1, 7].

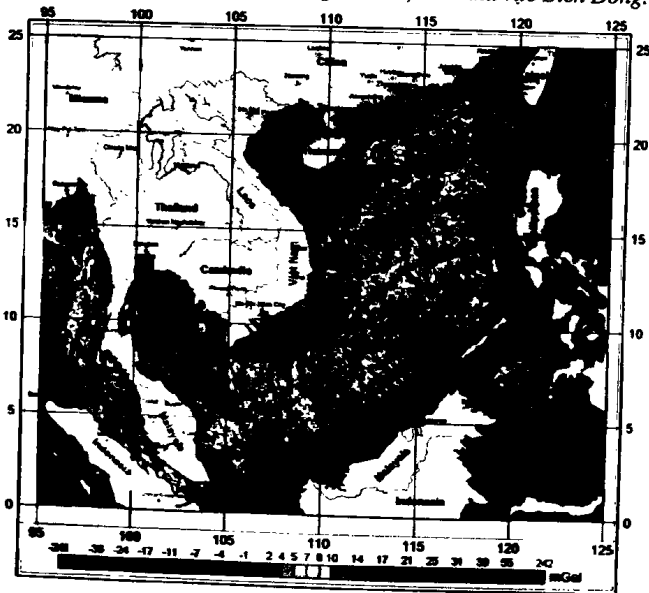
Ở đây, các tác giả đã sử dụng và so sánh số liệu của nhiều tuyến đo thành tàu và số liệu vệ tinh có tọa độ tương ứng với nhau. Tuy nhiên, trong khuôn khổ của bài báo chỉ biểu diễn kết quả so sánh kết hợp của 10 tuyến (Hình 2). Các đường màu xanh là số liệu đo cao vệ tinh, các đường màu đỏ là số liệu thành tàu hiện có trên Khu vực Biển Đông Việt Nam. Số liệu đo cao vệ tinh được hiệu chỉnh dựa theo số liệu thành tàu bằng phương pháp sai phân hữu hạn. Qua nhiều bước so sánh, tính toán biến đổi, trong nghiên cứu này, các tác giả đã xây dựng được một mạng lưới số liệu trọng lực *Fai, Bughe*, độ sâu đáy biển có độ tin cậy, với độ phân giải đồng nhất cho toàn bộ Khu vực Biển Đông Việt Nam và lân cận (Hình 3, 4, 5).

2. Một số yếu tố địa chất xác định theo số liệu đo cao vệ tinh

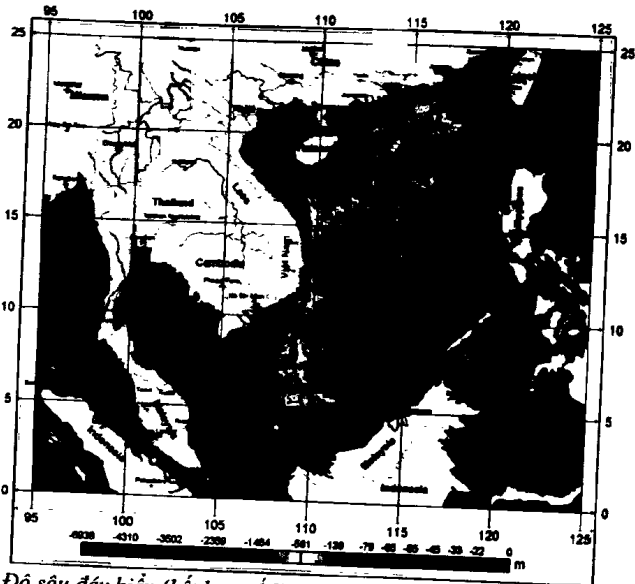
Trong khuôn khổ của bài báo, các tác giả không có ý định đi sâu một cách chi tiết đến các phương pháp minh giải địa chất từ số liệu đo cao vệ tinh mà chỉ đề cập một cách chung nhất đến một số kết quả đã đạt được. Ở đây, các tác giả đã sử dụng một số phương pháp mới: lọc trường theo tần số, gradient trọng lực cực đại, mô hình 3D dị thường trọng lực... minh giải số liệu đo cao vệ tinh để xác định các cấu trúc địa chất của vỏ Trái đất Khu vực Biển Đông Việt Nam và lân cận [7, 9].



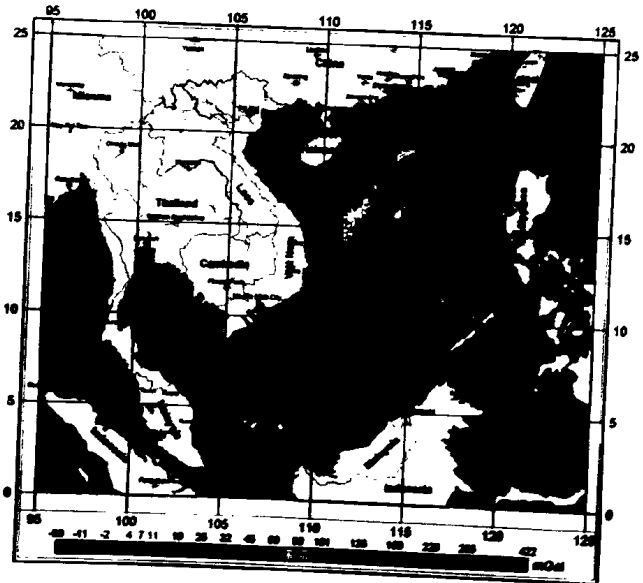
Hình 2. So sánh, kết hợp số liệu trường trọng lực vệ tinh (các đường màu xanh) và số liệu đo thành tàu (các đường màu đỏ) trên khu vực Biển Đông.



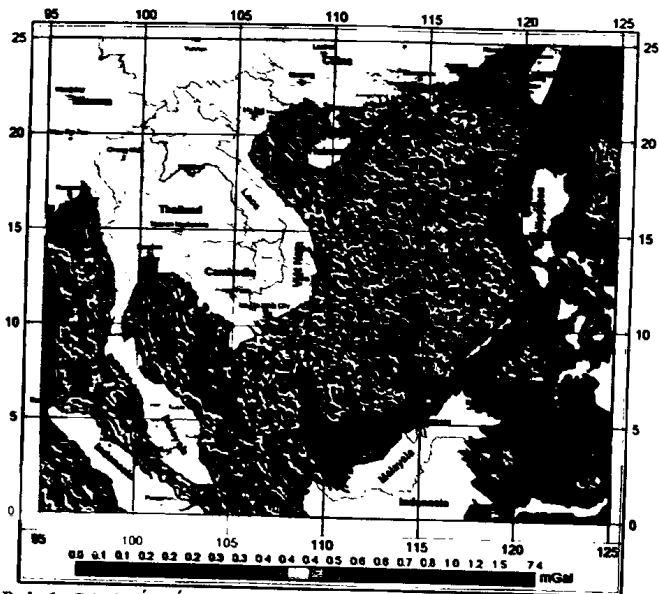
Hình 3. Dị thường trọng lực Fai (kết hợp số liệu đo vệ tinh với đo thành tàu) [1, 7, 10].



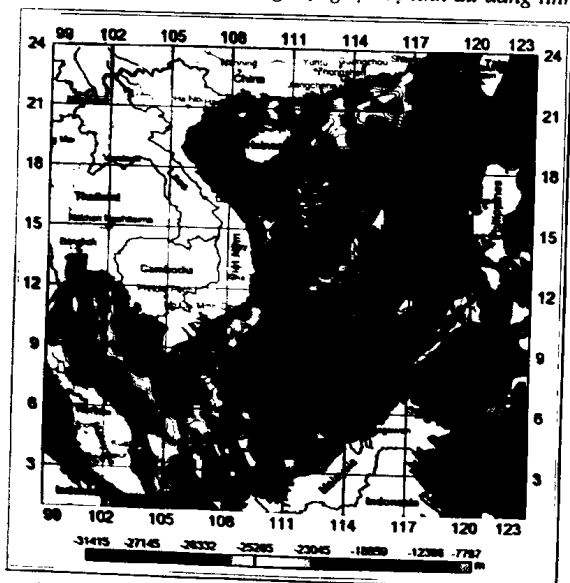
Hình 4. Độ sâu đáy biển (kết hợp số liệu đo vệ tinh với đo thành tàu) [1, 7, 10].



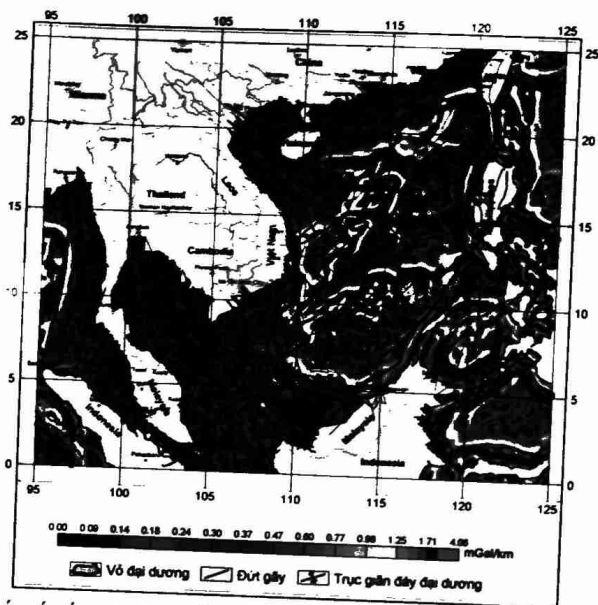
Hình 5. Dự thường trọng lực Bughe đầy đủ.



Hình 6. Các khối cấu trúc nâng hạ địa chất, phun trào bazan núi lửa được phát hiện bởi dị thường trọng lực vệ tinh dư đẳng tĩnh.



Hình 7. Cấu trúc mặt Moho xác định theo mô hình 3D dị thường trọng lực.



Hình 8. Các yếu tố cấu trúc địa chất như trục tách giãn đáy đại dương, ranh giới vỏ đại dương-lục địa, hệ thống đứt gãy được xác định bằng gradient ngang trọng lực cực đại.

Có thể nói, qua nghiên cứu này, rất nhiều các yếu tố cấu trúc địa chất như các kiểu vỏ lục địa, đại dương, các núi ngầm cũng như các chuỗi phun trào bazan núi lửa, trục tách giãn đáy biển, hệ thống đứt gãy, mặt Moho, đều được biểu lộ rõ qua các phép biến đổi và minh giải tài liệu trọng lực (Hình 6-8).

KẾT LUẬN

1/ Trong nghiên cứu biển, ứng dụng đo cao vệ tinh là hướng duy nhất có thể đạt được nguồn số liệu có độ phân giải đồng nhất, chấp nhận được cả về thời gian và giá thành, đặc biệt là đối với những khu vực biển sâu, biển xa, khu vực nhạy cảm.

2/ Nghiên cứu tích hợp số liệu đo cao vệ tinh và số liệu thành tàu, cùng với các phương pháp minh giải, mô hình mới 2D, 3D, cho phép đưa ra được một bức tranh trực quan, có độ tin cậy cao về hình thái

cấu trúc hệ thống đứt gãy, cũng như trục tách giãn đáy Biển Đông Việt Nam, ranh giới giữa vỏ lục địa-vỏ đại dương, mặt móng Kainozoi, mặt Moho.

Các tác giả cảm ơn Đề tài KC09.11/11-15 đã hỗ trợ các điều kiện cần thiết để hoàn thành nghiên cứu này.

VĂN LIỆU

1. Bùi Công Quế, Trần Tuấn Dũng, Lê Trâm, 2008. Thành lập bản đồ địa thường trọng lực thống nhất trên vùng biển Việt Nam. *TC Khoa học và Công nghệ Biển*, T8, số 2, p. 29-41.

2. Green Christopher M., Derek Fairhead and Stefan Maus, 2004. Satellite-derived gravity: Where we are and what's next. *GETECH, University of Leeds, UK*.

3. Derek Fairhead J., Christopher M., Green and Mark E., Odegar, 2004.

2001. Satellite-derived gravity having an impact on marine exploration. *The leading Edge*, August.
4. Li Shu-Ling, Meng Xiao-Hong et al, 2010. Gravity and magnetic anomalies field characteristics in the South China Sea and its application for interpretation of igneous rocks. *Applied geophysics*, vol.7, no.4 (December 2010), 295-305.
5. Parker R.L., 1973. The rapid calculation of potential anomalies. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 31, p. 447-455.
6. Phùng Văn Phách, Bùi Công Quế, 2001. Một số luận giải từ các tài liệu địa vật lý về cấu trúc và lịch sử phát triển vỏ đại dương trên Biển Đông. *TC KH&CN Biển N3*.
7. Sandwell D.T., Garcia E., Soofi K., Wessel P., and Smith W.H.F., 2013. Towards 1 mGal Global Marine Gravity from CryoSat-2, Envisat, and Jason-1. *The Leading Edge*, August, 2013.
8. Simpson R.W., Jachens R.C., Blakely R.J., and Saltus R.W., 1986. A new Isostatic Residual Gravity Map of the Conterminous United States With a Discussion on the Significance of Isostatic Residual Anomalies. *J. Geophys. Res.*, vol. 91 pp. 8348-8372.
9. Trần Tuấn Dũng, 2013. Đặc điểm cấu trúc kiến tạo khu vực nước sâu Biển Đông Việt Nam trên cơ sở minh giải tổng hợp các tài liệu trọng lực và từ. *Hội nghị 35 năm thành lập viện Dầu khí Việt Nam*, 6/2013, Tr. 55-66.
10. Trần Tuấn Dũng, Nguyễn Quang Minh, Vũ Thu Anh, 2012. Ảnh hưởng địa hình đáy biển lên dị thường trọng lực trên Khu vực Biển Đông và lân cận. *Báo cáo tại Hội nghị quốc tế Biển Đông 2012: 90 năm các hoạt động hải dương học trên vùng biển Việt Nam và lân cận*, Nha Trang, tr.111.
11. Yale M.M., Sandwell D.T., Herring A.T., 1998. What are the limitations of satellite altimetry?. *The Leading Edge*, January, 1998, pp. 73-76.

SUMMARY

Some results of satellite altimetry in studying geological structures of the East Việt Nam Sea

Trần Tuấn Dũng, Nguyễn Thị Hải Hà,
Nguyễn Quang Minh, Bùi Thị Nhung

In this paper, the authors concentrate on analyzing and assessing the effectiveness of satellite altimetry-derived data in studying geological researches of the East Việt Nam Sea. A series of geological features such as faulting system, seafloor spreading ridges, volcanoes, and sedimentary basins have been determined by 2D, 3D modelling based on the interpretation of satellite altimetry-derived data. The achieved results were cross-checked and confirmed by the available shipboard data.

Người biên tập: PGS. TS. Cao Đình Triều.