

XÁC ĐỊNH PHÂN BỐ MẬT ĐỘ TRONG ĐÁ MÓNG THEO MÔ HÌNH GIẢI BÀI TOÁN NGƯỢC TRỌNG LỰC 3D

ĐỖ ĐỨC THANH¹, NGUYỄN KIM DŨNG²

E - mail: doducthanh2008@yahoo.com

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Viện Địa chất và Địa Vật lý Biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 10 - 1 - 2013

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, với sự phát hiện ra dầu trong đá móng tại các bể trầm tích thuộc phần đông nam của thềm lục địa, ngoài việc xác định độ sâu tới móng kết tinh, việc nghiên cứu cấu trúc bên trong móng, mà trước hết là nghiên cứu sự thay đổi mật độ của nó đặc biệt trở nên quan trọng và thu hút sự quan tâm của nhiều nhà địa vật lý trong nước. Tuy nhiên, cho tới nay, sự phân bố mật độ của đá móng mới chỉ được xác định bằng các phương pháp tương quan [5]; việc xác định định lượng sự phân bố này bằng cách giải bài toán ngược theo phương pháp lựa chọn cũng mới chỉ dừng lại trong phạm vi bài toán hai chiều [5, 7] nên độ chính xác vẫn còn nhiều hạn chế. Để góp phần khắc phục những hạn chế đó, trong phạm vi của bài báo, chúng tôi tiến hành nghiên cứu kết hợp tổ hợp phương pháp bóc lớp dị thường với việc giải bài toán ngược 3D theo phương pháp cực tiểu hóa phiếm hàm có điều khiển quá trình hội tụ nghiệm của Marquart [9], xây dựng thuật toán và chương trình máy tính xác định sự phân bố định lượng mật độ trong đá móng theo tài liệu dị thường trọng lực. Thuật toán và chương trình xây dựng được tính toán thử nghiệm trên các mô hình 3D nhằm nghiên cứu khả năng áp dụng của phương pháp.

2. Cơ sở lý thuyết

Khi xem dị thường trọng lực quan sát như là một trường tổng bao gồm dị thường gây ra bởi các ranh giới trầm tích, bởi sự thay đổi mật độ trong đá móng và sự thay đổi địa hình mặt Moho, việc giải bài toán ngược theo phương pháp lựa chọn nhằm

xác định sự phân bố mật độ của đá móng trên cơ sở tính "bóc lớp" dị thường trọng lực gây ra bởi các ranh giới trầm tích phía trên và phần phong khu vực gây ra bởi sự thay đổi địa hình mặt Moho phía dưới đã được chúng tôi thực hiện trên cơ thuật toán được trình bày dưới đây.

Theo thuật toán này, để xác định sự phân bố mật độ của đá móng, trước hết theo thuật toán của Bhaskara Rao [1], tại mỗi điểm quan sát ta xác định dị thường trọng lực $\Delta g_{(i,j)}^{sed}$ của tất cả các ranh giới trầm tích nằm phía trên nó mà độ sâu tới mỗi ranh giới đã được xác định bằng các phương pháp địa vật lý khác. Phần dị thường dư $\Delta g_{(i,j)}^{bas}$ được thiết lập bằng cách loại bỏ phần trường phong khu vực và phần dị thường gây ra bởi các ranh giới trầm tích này từ trường quan sát tại tất cả các điểm quan sát trên tuyến:

$$\Delta g_{(i,j)}^{bas} = \Delta g_{(i,j)}^{obs} - \Delta g_{(i,j)}^{reg} - \Delta g_{(i,j)}^{sed}$$

sẽ là dị thường phản ánh sự bất đồng nhất của mật độ trong đá móng

Để xác định được sự phân bố mật độ của đá móng, ta chia nó thành các lăng trụ thẳng đứng đặt cạnh nhau. Mỗi lăng trụ (lăng trụ thứ (i,j)) có bề rộng bằng khoảng cách Δx , Δy giữa các điểm quan sát, có đáy trên $Z'_{(i,j)}$ là mặt trên của móng (xem như trùng với đáy của trầm tích Kainozoi), có đáy dưới $Z^b_{(i,j)}$ trùng với bề mặt Moho và có mật độ dư tương ứng là $\sigma_{(i,j)}^{bas}$. Quá trình tính toán được thực hiện theo các bước như sau :

(i) Từ các giá trị dị thường dư $\Delta g_{(i,j)}^{bas}$, đánh giá ban đầu về sự phân bố mật độ dư của đá móng được thực hiện theo phương pháp xác định trực tiếp. Theo phương pháp này mật độ dư của mỗi lăng trụ được xác định bởi:

$$\sigma_{(i,j)}^{bas} = \frac{\Delta g_{(i,j)}^{bas}}{2\pi f \Delta Z_{(i,j)}^{bas}} \quad (1)$$

khi mật độ dư không đổi theo chiều sâu ($\lambda = 0$), hoặc:

$$\sigma_{(i,j)}^{bas} = -\left(\frac{1}{\lambda}\right) \ln \left[1 + \frac{\Delta g_{(i,j)}^{bas}}{2\pi f \Delta Z_{(i,j)}^{bas}} \right] \quad (2)$$

khi mật độ dư thay đổi theo quy luật hàm mũ theo độ sâu ($\lambda \neq 0$) [2], trong đó:

$i = 1..M$, $j = 1..N$ là số thứ tự các điểm quan sát trên tuyến.

$\Delta g_{(i,j)}^{bas}$ là dị thường dư gây ra do sự bất đồng nhất mật độ dư của đá móng tại điểm quan sát thứ (i,j) .

$\Delta Z_{(i,j)}^{bas} = Z_{(i,j)}^b - Z_{(i,j)}^t$ là bề dày của móng tại điểm quan sát thứ (i,j) .

(ii) Theo thuật toán của Bhaskara Rao [1] xác định dị thường trọng lực của mỗi lăng trụ này rồi sau đó lấy tổng dị thường trọng lực của cả $(M*N)$ lăng trụ để thu được dị thường của móng $\Delta g_{(i,j)}^{cal}$ tại tất cả các điểm quan sát.

(iii) Ký hiệu $\Delta g_{(i,j)}^{dev}$ là độ lệch giữa dị thường $\Delta g_{(i,j)}^{bas}$ và dị thường tính toán $\Delta g_{(i,j)}^{cal}$ tại điểm thứ (i,j) trên mặt quan sát. Độ lệch này được sử dụng để thay đổi mật độ dư của móng sau mỗi lần lựa chọn:

$$\Delta \sigma_{(i,j)}^{bas} = \frac{\Delta g_{(i,j)}^{dev}}{2\pi f \Delta Z_{(i,j)}^{bas}} \text{ khi } \lambda = 0 \quad (3)$$

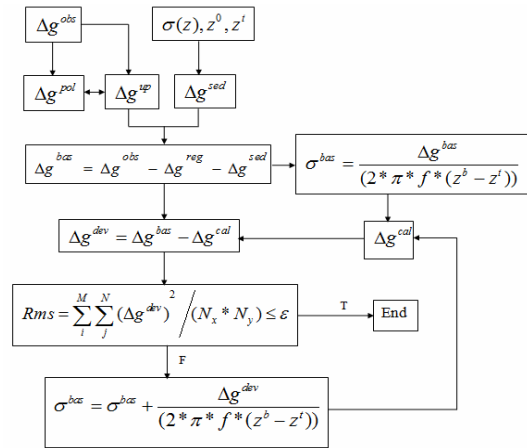
$$\Delta \sigma_{(i,j)}^{bas} = \frac{\Delta g_{(i,j)}^{dev}}{2\pi f \Delta Z_{(i,j)}^{bas} \exp(-\lambda \Delta Z_{(i,j)}^{bas})} \text{ khi } \lambda \neq 0 \quad (4)$$

Quá trình lựa chọn dừng lại khi sai số bình phương trung bình giữa dị thường dư $\Delta g_{(i,j)}^{bas}$ và dị thường tính toán $\Delta g_{(i,j)}^{cal}$ nhỏ hơn sai số cho phép hoặc số lần lựa chọn vượt quá số lần lựa chọn đã được định trước.

3. Mô hình hóa và các kết quả tính toán

3.1. Xây dựng chương trình tính

Trên cơ sở các thuật toán đã trình bày ở trên, chúng tôi đã tiến hành xây dựng chương trình máy tính nhằm xác định sự phân bố mật độ của đá móng trên một mô hình 3D theo tài liệu dị thường trọng lực. Chương trình được viết bằng ngôn ngữ Matlab, đảm bảo được tính tiện ích thông qua chế độ đồ họa của chương trình. Nó hoạt động theo sơ đồ khối được trình bày trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ khối của chương trình

Δg_{obs} , Δg_{reg} : Trường quan sát và trường phòng khu vực; Δg_{sed} , Δg_{bas} : Trường trầm tích và trường móng dư; Z^t , Z^b : Độ sâu đến đáy trầm tích, độ sâu đến mặt Moho; ε : Điều kiện dừng chương trình

Để nâng cao độ chính xác của việc xác định dị thường dư gây ra do sự bất đồng nhất mật độ trong đá móng, việc tính phần trường phòng khu vực được chúng tôi thực hiện theo cả hai phương pháp: nâng trường với các mức nâng khác nhau và xấp xỉ trường bởi đa thức bậc n. Mức nâng trường tối ưu được lựa chọn khi với mức nâng này, hệ số tương quan giữa kết quả tính theo cả hai phương pháp đạt giá trị lớn nhất. Theo [3] mối tương quan này được biểu diễn bởi

$$R = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \Delta g_{(i,j)}^{pol} \cdot \Delta g_{(i,j)}^{up}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\Delta g_{(i,j)}^{pol})^2 \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (\Delta g_{(i,j)}^{up})^2}} \quad (5)$$

trong đó: $\Delta g_{(i,j)}^{pol}$ là dị thường được xấp xỉ bởi đa thức bậc n; $\Delta g_{(i,j)}^{up}$ là dị thường được tiếp tục giải

tích lên các độ cao khác nhau; $\Delta g^{obs}, \Delta g^{reg}$: Trường quan sát và trường phồng khu vực; $\Delta g^{sed}, \Delta g^{bas}$: Trường trầm tích và trường móng dư; Z^t, Z^b : Độ sâu đến đáy trầm tích, độ sâu đến mặt Moho; ε : Điều kiện dừng chương trình.

3.2. Mô hình hóa và các kết quả tính toán

Để kiểm tra mức độ chính xác của chương trình cũng như tính đúng đắn của thuật toán, dưới đây việc giải bài toán ngược xác định sự phân bố mật độ của đá móng được chúng tôi tính toán thử nghiệm trên một mô hình 3D có phạm vi 330×330 km. Khoảng cách giữa các điểm quan sát theo cả hai chiều x và y đều là $\Delta x = \Delta y = 3,3$ km. Với mỗi mô hình, việc giải bài toán được thực hiện theo các bước sau:

Bước (i): Giải bài toán thuận xác định các thành phần trường gây ra bởi từng ranh giới, từ đó xác định trường tổng. Ở đây môi trường được phân chia thành 3 lớp: lớp trầm tích có mật độ dư thay đổi theo độ sâu, lớp đá móng có mật độ dư thay đổi theo diện và lớp dưới mặt Moho có mật độ dư không đổi. Kết quả của việc giải bài toán thuận được lấy làm dữ thường quan sát

Bước (ii): Tính trường phồng khu vực $\Delta g^{reg}_{(i,j)}$ theo hai phương pháp: phương pháp xấp xỉ nó

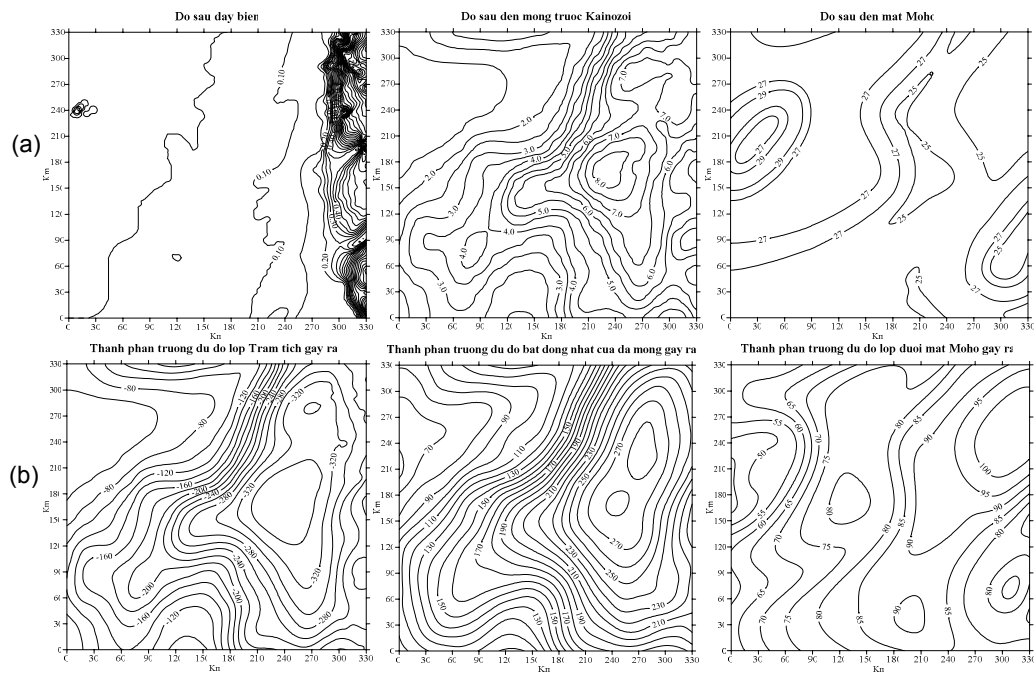
bằng đa thức bậc n và phương pháp nâng trường với các mức năng khác nhau. Mức năng tối ưu được xác định khi với mức năng này, hệ số tương quan giữa kết quả tính theo cả hai phương pháp đạt giá trị lớn nhất. Phần dư thường dư $\Delta g^{bas}_{(i,j)}$ thu được bằng cách loại bỏ phần trường phồng khu vực $\Delta g^{reg}_{(i,j)}$ và phần dư thường gây ra bởi lớp trầm tích từ trường quan sát được xem như dữ thường gây ra bởi sự bất đồng nhất của mật độ trong đá móng.

Bước (iii): Giải bài toán ngược đối với phần dư thường dư này theo các phương pháp lựa chọn đã trình bày ở trên, ta tìm được sự phân bố của mật độ trong đá móng.

3.2.1. Các tham số của mô hình

Tham số về địa hình của các mặt ranh giới:

Đối với mô hình này, độ sâu tới các ranh giới phân chia mật độ cũng như sự thay đổi mật độ dư của chúng được xây dựng trên cơ sở tham khảo các kết quả xác định cấu trúc địa chất sâu khu vực đông nam thềm lục địa [4, 5, 8] để đảm bảo tính hiện thực của mô hình, làm cho mô hình được xây dựng phù hợp với môi trường địa chất thực của thềm lục địa Việt Nam. Các thành phần trường tương ứng của chúng thu được khi giải bài toán thuận được biểu diễn trên hình 2.



Hình 2. Mô hình các ranh giới phân chia (a) và các thành phần trường tương ứng (b)

Tham số về mật độ:

- Mật độ dư của các lớp trầm tích suy giảm theo độ sâu theo quy luật hàm bậc hai [6]:

$$\sigma_z = -0.7862 - 0.3951 \cdot z + 0.0582 \cdot z^2;$$

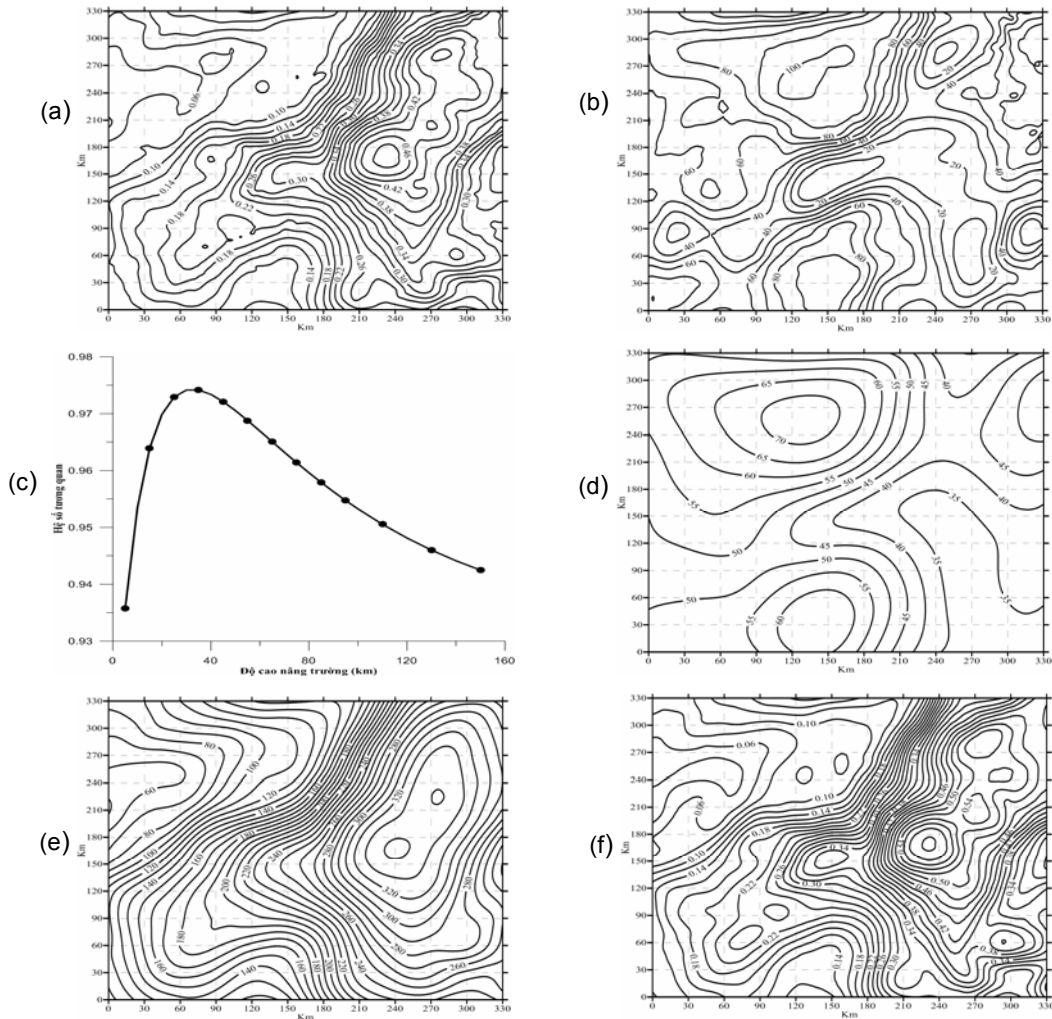
- Mật độ dư của lớp dưới mặt Moho được lấy đồng nhất là $0,53 \text{ g/cm}^3$;

- Sự thay đổi mật độ dư của đá móng được biểu diễn trên hình 3a.

3.2.2. Kết quả tính toán

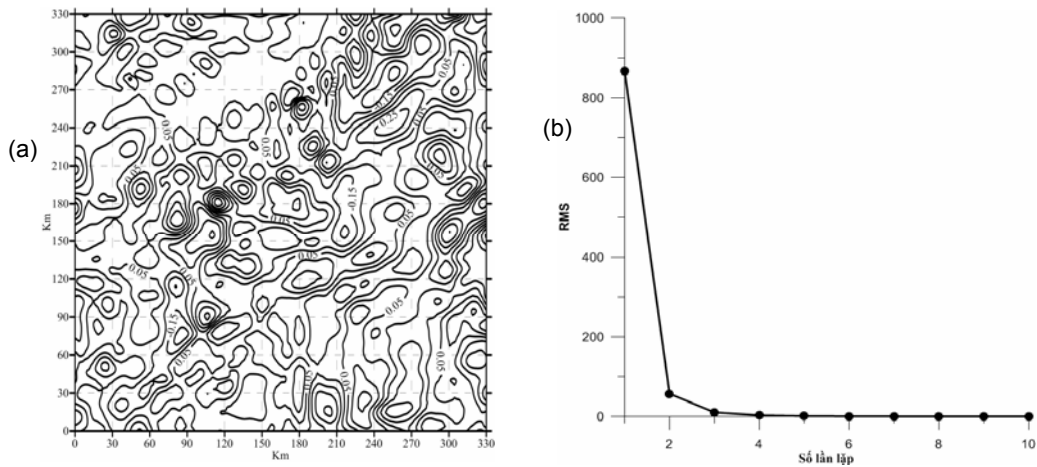
Kết quả tính toán đối với mô hình bao gồm dị thường quan sát (hình 3b); đường cong biểu diễn hệ số tương quan theo hai phương pháp tính trường

phòng khu vực (hình 3c); phòng khu vực được tính theo phương pháp nâng trường với mức nâng đã được tối ưu hóa (hình 3d); dị thường dư gây ra bởi sự bất đồng nhất mật độ trong đá móng (hình 3e); phân bố mật độ dư của đá móng ở lần lặp cuối cùng (hình 3f); sai lệch giữa dị thường tính toán ở lần lặp cuối với dị thường quan sát và đường cong biểu diễn tốc độ hội tụ của phương pháp (hình 4). Kết quả tính toán cho thấy phương pháp có độ chính xác khá cao và độ hội tụ nhanh. Chỉ sau 10 lần lặp, sai số bình phương trung bình của việc xác định mật độ dư của móng tại tất cả các điểm quan sát giảm nhanh xuống chỉ còn là $0,048 (\text{g/cm}^3)$; sai số bình phương trung bình giữa dị thường quan sát và tính toán là $0,12242 (\text{mgal})$.



Hình 3. Kết quả xác định sự phân bố mật độ của đá móng

- (a) Mô hình phân bố mật độ dư của đá móng; (b) Dị thường quan sát; (c) Hệ số tương quan giữa 2 phương pháp tính trường khu vực; (d) Phân trường phòng khu vực; (e) Phân dị thường dư phản ánh bất đồng nhất; (f) Phân bố mật độ dư của đá móng ở lần lặp cuối cùng



Hình 4. Sai lệch giữa dị thường dư (a) với dị thường tính ở lần lặp cuối (b) và tốc độ hội tụ của phương pháp

4. Kết luận

Dựa trên những kết quả thu được qua việc xây dựng thuật toán, thành lập chương trình và tính toán thử nghiệm trên mô hình nhằm giải bài toán ngược trọng lực 3D xác định sự phân bố mật độ trong đá móng, tác giả có một vài nhận xét sau:

- Thuật toán và chương trình xây dựng khá đơn giản nhưng mang lại kết quả tính khá chính xác, cho tốc độ hội tụ nhanh và ổn định.

- Khi giải bài toán ngược xác định sự phân bố mật độ của đá móng, việc lọc trường phòng khu vực cho kết quả tốt hơn khi có sự kết hợp giữa phương pháp xấp xỉ nó bởi đa thức bậc n với phương pháp nâng trường thông qua việc tính hệ số tương quan nhằm tìm ra mức nâng tối ưu.

- Kết quả tính trên mô hình cho thấy mặc dù môi trường địa chất có địa hình ranh giới khá phức tạp, việc xác định sự phân bố mật độ của đá móng theo mô hình giải bài toán ngược trọng lực 3D vẫn cho sai số chấp nhận được (Rms chỉ thay đổi trong khoảng từ 0,038 đến 0,048 g/cm³). Điều đó chứng tỏ tính ổn định của thuật toán và chương trình, vì vậy có thể áp dụng nó trong việc giải quyết các bài toán thực tế.

Lời cảm ơn: Công trình này được hoàn thành dưới sự tài trợ của đề tài QG 11-04.

TÀI LIỆU DẪN

- [1] Bhaskara Rao, D., Prakash, M.I., and Ramesh Babu, N., 1990: 3 and $2\frac{1}{2}$ D modelling of

gravity anomalies with variable density contrast, Geophys. Prosp, Vol.38, pp.411-422.

- [2] Chai, Y. and Hinze, W.J., 1988: Gravity inversion of interface above which the density contrast varies exponentially with depth. Geophysics, Vol.53, pp.837-845.

- [3] Hualin Zeng, Deshu Xu, and Handong Tan, 2007: A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China, Geophysics, Vol.72, No.4, pp. 145-150.

- [4] Bùi Công Quế (chủ biên), 1990: Đặc điểm của các trường địa vật lý thêm lục địa Việt nam và các vùng kế cận. Báo cáo Tổng kết Đề tài 48-B.03.02, Chương trình nghiên cứu Biên 48-B, Hà Nội.

- [5] Bùi Công Quế, Hoàng Văn Vượng, 1995: Nghiên cứu đặc điểm phân bố mật độ móng trước Kainozoi khu vực thêm lục địa Đông nam theo phương pháp mô hình hóa cấu trúc khối của vỏ Trái Đất. Các công trình nghiên cứu Địa chất và Địa vật lý Biển, Nxb. KH&KT, 115-122.

- [6] Đỗ Đức Thanh, 2006: Các phương pháp phân tích, xử lý tài liệu từ và trọng lực. Nxb. Đại học Quốc gia Hà Nội, 182tr.

- [7] Đỗ Đức Thanh, Giang Kiên Trung, 2007: Thử nghiệm xác định sự phân bố mật độ của đá móng trên cơ sở kết hợp phương pháp bóc lớp dị thường và giải bài toán ngược trọng lực. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam 45 (5), 107-115.

[8] *Cao Đình Triều*, 2005: Trường Địa vật lý và cấu trúc thạch quyển lãnh thổ Việt Nam, Nxb. KH&KT Hà Nội, 332tr.

[9] *William H. Press, Brian P. Flannery*, 1990: Numerical Recipes, Cambridge University Press.

SUMMARY

Determine density contribution of basement rock by modeling of 3D gravity inversion

In this paper, method based on the combine of anomaly "peeled layer" calculating with three - dimensional gravity inversion is researched in order to determine the density contribution of basement rock.

By this method, depth to bottom of sedimentary layers is defined by another geophysical methods. Gravity field component of upon sedimentary layers with suggestion that the variation of sedimentary basin's density contrast is approximated to a exponential function are calculated at each observed point. Residual field component separated from the total observed anomaly after removing this field components as well as regional field component is considered as the field component, that reflects inhomogenous of density of basement rock. It is used to determine density contribution of basement rock based on the nonlinear optimization technique of the Marquardt algorithm .

Algorithm is programed in Matlab code to attempt on three dimensional mathematical models. The results received by experimentally calculating in respect of precision, convergence as well as feasibility computer time show the ability of application of the method.