

## VỀ THUẬT TOÁN TÍNH HIỆU CHỈNH ĐỊA HÌNH TRONG THẨM DÒ TRỌNG LỰC Ở VIỆT NAM

CAO ĐÌNH TRIỀU, LÊ VĂN DŨNG, THÁI ANH TUẤN

### I. MỞ ĐẦU

Thông thường các phép quan trắc trọng lực phục vụ công tác thăm dò địa chất được tiến hành trên bề mặt vật lí của Trái đất, tại các độ cao khác nhau so với mực nước biển. Các giá trị trọng lực này phụ thuộc không những vào bản chất cấu trúc địa chất bên trong Trái đất mà còn phụ thuộc vào các yếu tố địa hình quanh điểm quan sát, vào điều kiện khí tượng cũng như vị trí của các thiên thể (Mặt trăng, Mặt trời) so với điểm quan sát. Các yếu tố "ngoại lai" này với mức độ khác nhau đã làm sai lệch giá trị trọng lực do cấu trúc địa chất gây nên. Vì vậy, điều quan trọng nhất nhằm đảm bảo tính hiệu quả của phương pháp trọng lực thăm dò là tính toán loại trừ các giá trị ảnh hưởng không chứa đựng bản chất địa chất đó mà người ta thường gọi là việc tính toán các hiệu chỉnh trọng lực.

Theo lí thuyết chung thì nếu đòi hỏi độ chính xác xác định giá trị trọng lực lớn hơn 0,01 mGal [6] chúng ta phải đề cập tới một số hiệu chỉnh trọng lực sau:

1/ Hiệu chỉnh độ cao (hiệu chỉnh Fai); 2/ Hiệu chỉnh lớp trung gian (hiệu chỉnh Bouguer); 3/ Hiệu chỉnh địa hình; 4/ Hiệu chỉnh biến thiên trọng lực; 5/ Hiệu chỉnh áp suất không khí; 6/ Hiệu chỉnh lượng mưa; và 7/ Hiệu chỉnh Địa triều.

Tuy vậy, trong nhiều trường hợp, phụ thuộc vào nhiệm vụ nghiên cứu địa chất được xác định mà đòi hỏi mức độ sử dụng các hiệu chỉnh khác nhau. Chẳng hạn với những phương án thăm dò trọng lực chi tiết, từ tỉ lệ 1 : 50 000 đến 1 : 100 000 chúng ta có thể bỏ qua giá trị hiệu chỉnh áp suất không khí, hiệu chỉnh lượng mưa và hiệu chỉnh địa triều.

Trong các hiệu chỉnh vừa kể trên thì vấn đề tính hiệu chỉnh địa hình là gặp nhiều khó khăn và quyết định chính đến sai số của bản đồ dị thường trọng lực Bouguer [6]. Ở những vùng núi cao và địa hình phức tạp như lãnh thổ Việt nam thì vấn đề hiệu chỉnh địa hình lại càng ảnh hưởng nhiều tới công việc thăm dò trọng lực và khó khăn trong tính toán.

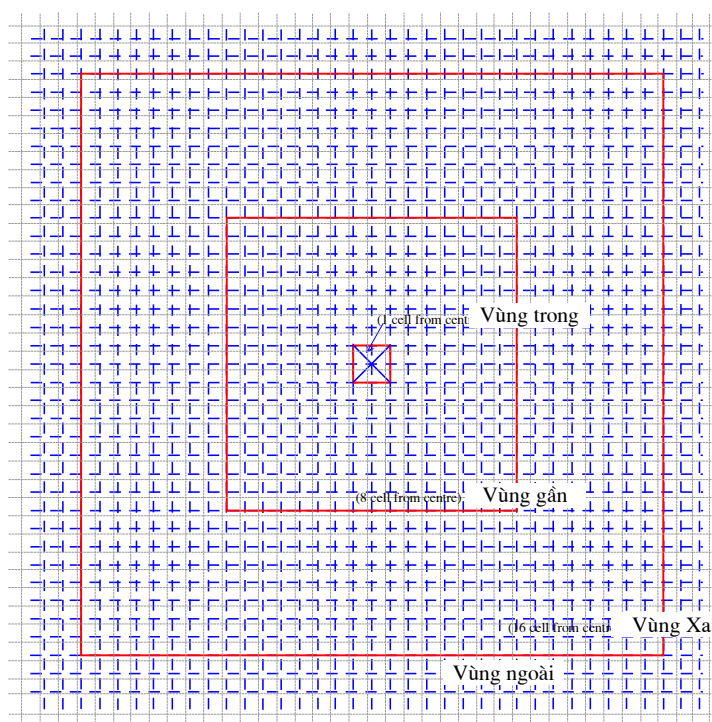
Trong thời gian qua, việc tính toán hiệu chỉnh địa hình phục vụ công tác đo đạc trọng lực từ tỉ lệ 1 : 50 000 đến 1 : 1 000 000 ở Việt Nam, đoàn thăm dò trọng lực 79 cũng như một số cơ sở khác sử dụng phương pháp Prisurvanko, dựa vào độ cao các điểm của Palét với bán kính xung quanh điểm trọng lực từ 30 m đến 7290 m. Việc tính toán như vậy đã bỏ qua nhiều yếu tố địa hình nằm ở vùng ngoài cũng như vùng trong cùng của điểm đo. Nhằm khắc phục những thiếu sót đó, trong công trình này các tác giả sẽ trình bày một thuật toán nhằm nâng cao hiệu quả của việc tính toán hiệu chỉnh địa hình đối với công tác thăm dò trọng lực chi tiết ở Việt Nam.

### II. BÀI TOÁN TÍNH HIỆU CHỈNH ĐỊA HÌNH

Tính toán hiệu chỉnh địa hình trọng lực là một công việc khó khăn nhưng rất cần thiết và đặc biệt có ý nghĩa quan trọng khi vùng nghiên cứu có địa hình phức tạp. Như đã đề cập ở phần trên, các toán đồ lập sẵn để tính toán hiệu chỉnh địa hình (Prisurvanco, Lucaptrenco) chủ yếu dựa trên nguyên lí phân chia độ cao gần đúng của địa hình thành các khu vực. Cách phân chia như vậy là không đảm bảo độ chi tiết cao và vì vậy việc tính toán hiệu chỉnh sẽ không đầy đủ, nhất là

đối với vùng trong cùng (bán kính nhỏ hơn 1 km). Để nâng cao độ chính xác của phép tính hiệu chỉnh địa hình đối với vùng trong và vùng gần, chúng tôi sử dụng phương pháp tính toán hiệu chỉnh địa hình mới với thuật toán được trình bày như sau:

Trước hết, để thuận tiện cho việc tính toán, ta chia địa hình cần hiệu chỉnh (có bán kính nhỏ hơn 50 km) thành một mạng lưới ô vuông bằng nhau (hình 1). Cạnh của mỗi ô vuông có chiều dài là 1 km (ta có thể thay đổi chiều dài của cạnh ô vuông này tùy theo đặc trưng biến đổi địa hình và mức độ chi tiết của bản đồ cần thành lập cũng như mục đích nghiên cứu). Điểm đo trọng lực không nhất thiết phải nằm tại tâm lưới ô vuông. Việc tính toán ảnh hưởng của hiệu chỉnh địa hình trong phạm vi bán kính nhỏ hơn 50 km được thiết lập trên cơ sở phân chia phạm vi tính toán thành 4 vùng riêng biệt. Đó là: Vùng ngoài, nằm ở khoảng cách có bán kính từ 16 km đến 50 km; Vùng xa là vùng nằm trong phạm vi từ khoảng cách 8 km đến 16 km; Vùng gần (1-8 km); và vùng trong, có bán kính nhỏ hơn 1 km.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý phân chia mạng lưới trong tính toán hiệu chỉnh địa hình

Công thức tính toán đối với mỗi vùng được thiết lập như sau:

a. Vùng ngoài ( $R \in 16 \div 50 \text{ km}$ )

Thông thường, đối với việc tính toán hiệu chỉnh địa hình vùng ngoài, có bán kính trên 16 km trở đi người ta hay sử dụng toán đồ lập sẵn. Các toán đồ này được xây dựng sẵn theo nguyên lý tính toán ảnh hưởng của địa hình tại các khuynh trụ với chiều cao bằng độ cao chênh lệch giữa độ cao trung bình của khuynh trụ so với độ cao của điểm quan sát trọng lực [6]. Tuy vậy, trong quá trình tự động hóa tính toán dị thường trọng lực Bouguer cũng như tính toán hiệu chỉnh địa hình người ta sử dụng công thức tính đường thẳng vật chất thẳng đứng (Bott, 1959; Karrlemo, 1963; Nagy, 1966; Hammer, S., 1939; Bible, J. L., 1962; Kane, M.F., 1962; Blais và Ferland,

1984; Loper 1990) [1 - 5]. Thành phần thẳng đứng của lực hấp dẫn do ảnh hưởng của khối địa hình chên lệch so với điểm đo được tính theo công thức:

$$g = G\rho A \int_0^h \frac{zdz}{\sqrt{(r^2 + h^2)^{3/2}}} = G\rho A \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{\sqrt{r^2 + h^2}} \right). \quad (1)$$

Công thức này được Bott đưa ra năm 1959, Nếu  $h < r/4$  thì ta có công thức rút gọn sau:

$$g = \frac{G\rho A}{2} \cdot \frac{h^2}{r^3} \quad (2)$$

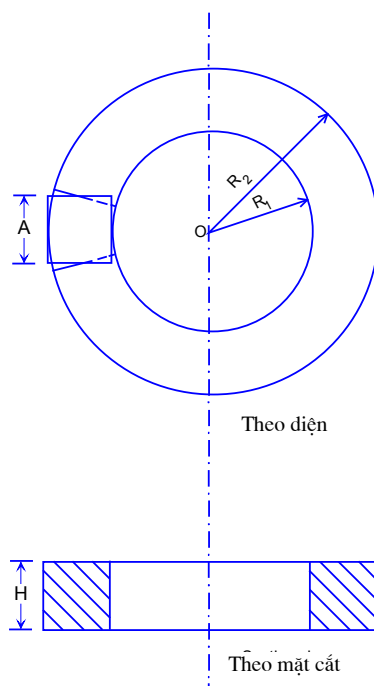
ở đây:  $G$  - là hằng số hấp dẫn;  $A$  - là diện tích cửa sổ tính toán;  $r$  - là khoảng cách từ điểm đo đến tâm của ô lưới cần tính toán hiệu chỉnh;  $h$  - là độ chên cao giữa điểm đo trọng lực và độ cao trung bình của ô lưới; và  $\rho$  - là mật độ của lớp địa hình.

*b. Vùng xa ( $R \in 8 \div 16$  km)*

Mô phỏng tính toán địa hình đối với vùng xa được mô tả trong hình 2. Ở đây chúng ta sử dụng mô hình vành khuyên trụ thẳng đứng và công thức tính toán có dạng:

$$g = 2G\rho A^2 \frac{R_2 - R_1 \sqrt{R_1^2 + H^2} - \sqrt{R_2^2 + H^2}}{(R_1^2 - R_2^2)} \quad (3)$$

trong đó:  $g$ : giá trị hiệu chỉnh địa hình (hiệu chỉnh đối với khối dư địa hình so với độ cao điểm đo);  $G$ : hệ số hấp dẫn trọng lực;  $\rho$ : mật độ của lớp địa hình;  $A$ : độ dài trung bình của cạnh đáy khuyên trụ;  $R_1$ : bán kính trong của khuyên trụ;  $R_2$ : bán kính ngoài của khuyên trụ;  $H$ : độ cao của khuyên trụ (độ chên cao giữa giá trị độ cao trung bình của ô cần tính toán hiệu chỉnh và độ cao điểm quan sát giá trị trọng lực).



Hình 2. Mô phỏng địa hình vùng xa trong tính toán hiệu chỉnh

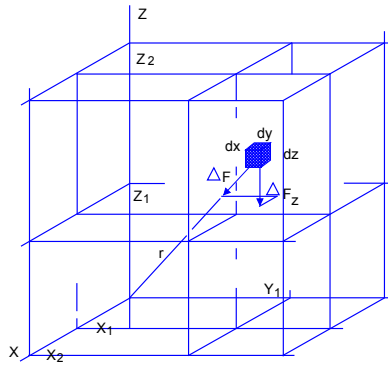
Để giảm thời gian tính toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác cao, đối với vùng này (cũng như vùng ngoài) ta có thể sử dụng mô hình đường thẳng vật chất thẳng đứng. Như vậy, thành phần thẳng đứng của lực hấp dẫn có thể được tính trên cơ sở công thức 1 hoặc 2.

*c. Vùng gần ( $R \in 1 \div 8 \text{ km}$ )*

Vùng gần là vùng nằm trong giới hạn khoảng cách  $1 < r < 8 \text{ km}$ . Địa hình ở vùng này được chia thành hệ thống các lăng trụ thẳng đứng mà các đáy của nó là các ô lưới phân chia, mỗi ô lưới có chiều cao bằng độ chênh lệch độ cao của địa hình của vùng này so với điểm quan sát. Thành phần thẳng đứng của lực hấp dẫn do từng yếu tố trụ gây ra được tính theo công thức.

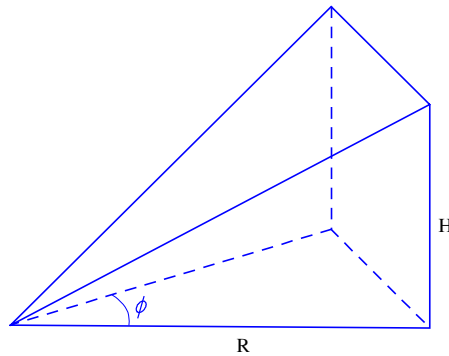
$$g = -G\rho \int_{Z_1}^{Z_2} \int_{Y_1}^{Y_2} \int_{X_1}^{X_2} x \cdot \ln(y+R) + y \cdot \ln(x+R) + Z \cdot \arctan \frac{Z \cdot R}{x \cdot y} \Bigg| \Bigg| \cdot \quad (4)$$

Tùy thuộc vào khoảng cách đến điểm quan sát mà ta có thể nhóm những ô vuông gần nhau lại thành một ô vuông lớn hơn.



Hình 3. Mô phỏng địa hình vùng gần trong tính toán hiệu chỉnh

*d. Vùng trong ( $R < 1 \text{ km}$ )*



Hình 4. Mô phỏng địa hình vùng trong cùng trong tính toán hiệu chỉnh

Vùng này là vùng có chứa điểm đo trọng lực. Lopez năm 1990 đã phát triển một phương pháp tính hiệu chỉnh địa hình mới. Phương pháp cho phép tính hiệu chỉnh với độ chính xác cao và rất thuận lợi cho việc xây dựng chương trình để tính toán một cách tự động. Để tiện lợi cho việc tính toán ta chia địa hình vùng này thành 4 lăng trụ tam giác. Các lăng trụ này được tạo thành từ mặt phẳng nằm ngang đi qua điểm quan sát, mặt địa hình và các mặt phẳng thẳng đứng

đi qua các cạnh của ô vuông chứa vùng này (hình 4). Lực hấp dẫn của mỗi lăng trụ tam giác được xác định bằng cách lấy tích phân khối theo từng lăng trụ tam giác, hiệu ứng của bốn lăng trụ tam giác được cộng lại với nhau và đó chính là giá trị hiệu chỉnh địa hình tại điểm đó.

Công thức tính hiệu ứng trọng lực vùng này có dạng [3]:

$$g = G\rho\phi\left(R - \sqrt{R^2 + H^2} + \frac{H^2}{\sqrt{R^2 + H^2}}\right). \quad (5)$$

### III. KẾT QUẢ ÁP DỤNG TÍNH HIỆU CHỈNH ĐỊA HÌNH TẠI KHU VỰC TÂY BẮC VIỆT NAM

Tháng 2 năm 2002 Phòng nghiên cứu Địa động lực thuộc Viện Vật lý Địa cầu kết hợp với đoàn trọng lực 79 tiến hành khảo sát trọng lực chi tiết tại khu vực Thuận Châu, tỉ lệ 1 : 50.000. Việc tính toán hiệu chỉnh địa hình được chúng tôi tiến hành bằng hai phương pháp:

1/ Sử dụng phương pháp tính truyền thống là dùng toán đồ Prisuvanco, dựa vào độ cao các điểm của Palét với bán kính xung quanh điểm trọng lực từ 30 m đến 7290 m.

2/ Sử dụng thuật toán mới trong tính toán hiệu chỉnh địa hình tới bán kính 50 km.

Kết quả tính toán dựa theo hai phương pháp này được trình bày trong bảng 1. Do số lượng điểm thăm dò là quá lớn nên chúng tôi chỉ đưa kết quả tại một số tuyến đặc trưng mà thôi.

*Bảng 1.* Đối sánh kết quả tính toán hiệu chỉnh địa hình theo thuật toán tính hiệu chỉnh địa hình tự động hóa và theo toán đồ Prisuvanco

Tên điểm / tuyến	X(m)	Y(m)	Hiệu chỉnh tự động hóa (mGal)	Hiệu chỉnh theo toán đồ (mGal)
1t1	425486	2330993	6,00	3,72
2t1	425402	2330784	4,61	3,51
3t1	425331	2330609	4,50	3,86
4t1	425211	2330312	4,18	2,77
5t1	425144	2330146	4,32	2,92
6t1	425057	2329931	4,71	3,37
7t1	424948	2329663	4,93	3,32
8t1	424846	2329410	4,99	2,95
9t1	424753	2329179	6,33	3,81
10t1	424665	2328960	7,16	3,52
11t1	424568	2328720	8,44	4,17
12t1	424465	2328467	9,91	5,32
13t1	424279	2328006	9,91	4,89
14t1	424089	2327535	16,26	7,81
2t31	439138	2325063	9,40	7,43
3t31	439029	2324794	6,86	6,52
5t31	438841	2324328	9,06	8,22
6t31	438770	2324153	10,01	8,02
7t31	438654	2323866	7,63	6,55

8T31	438560	2323633	7,93	6,66
9t31	438465	2323398	6,48	5,47
10t31	438370	2323164	6,70	5,05
11t31	438280	2322941	6,69	5,32
12t31	438185	2322706	7,34	5,99
13t31	438097	2322488	8,97	6,54
14t31	437996	2322238	6,40	6,65
15t31	437906	2322016	7,19	5,55
16t31	437807	2321770	8,03	6,19
17t31	437719	2321551	7,25	5,85
18t31	437538	2321103	7,11	6,32
19t31	437349	2320636	7,46	7,70
20t31	437167	2320185	6,67	7,17
21t31	436965	2319685	7,81	8,20
1T34	440163	2321714	13,18	7,16
2T34	439994	2321295	10,65	5,81
3T34	439830	2320891	7,72	5,40
4T34	439615	2320359	7,29	5,30
5T34	439427	2319892	8,22	5,97
6T34	439241	2319432	10,63	7,16
7T34	439053	2318967	7,97	5,67
8T34	438864	2318499	10,59	8,16
9T34	438685	2318057	9,18	8,20
1T35	440905	2321354	21,05	9,35
2T35	440812	2321125	15,21	6,79
3T35	440635	2320686	10,08	4,26
4T35	440443	2320212	8,15	4,41
5T35	440254	2319743	8,46	5,31
6T35	440072	2319294	12,03	7,35
7T35	439885	2318830	10,48	7,64
8T35	439711	2318399	7,95	6,26
9T35	439530	2317952	8,93	7,41
10T35	439345	2317495	10,85	9,80

*Chú thích bảng:* 1/ Cột 1 - kí hiệu điểm trên tuyến đo: số bên trái t là kí hiệu số thứ tự của điểm đo; số bên phải t là tuyến đo, ví dụ 1t23 là tuyến đo số 23; điểm đo là 1 trong tuyến 23. 2/ Cột 2 và cột 3 là tọa độ XY của điểm đo. 3/ Cột 4 là giá trị hiệu chỉnh địa hình tính theo thuật toán mới của các tác giả với bán kính tính toán đạt tới 50 km. 4/ Cột 5 là giá trị hiệu chỉnh địa hình tính theo cách truyền thống là dùng toán đồ lập sẵn với bán kính hiệu chỉnh nhỏ hơn 8 km.

Qua đối sánh được miêu tả trong bảng 1 ta dễ dàng nhận thấy sự chênh lệch về giá trị tính toán là rất lớn, có thể đạt xấp xỉ 11 mGal như trường hợp tại điểm 1t35. Theo kết quả tính toán của chúng tôi thì giá trị hiệu chỉnh địa hình tại điểm này đạt 21,05 mGal. Trong khi nếu dùng toán đồ lập sẵn chỉ xác định được giá trị là 9,35 mGal.

Cũng cần lưu ý rằng, sai số cho phép của giá trị trình toán hiệu chỉnh địa hình đối với việc thành lập bản đồ địa thường trọng lực Bouguer tỉ lệ 1 : 50.000 là nhỏ hơn 0,4 mGal [6]. Như vậy nếu chúng ta sử dụng toán đồ lập sẵn sẽ không đảm bảo độ chính xác tài liệu theo yêu cầu kỹ thuật của công tác đo vẽ bản đồ tỉ lệ 1 : 50 000.

Lí giải cho sự khác biệt kết quả xác định hiệu chỉnh địa hình của hai phương pháp tính toán trên theo chúng tôi là do các nguyên nhân sau đây:

1/ Việc tính toán hiệu chỉnh địa hình trong phạm vi bán kính nhỏ hơn 8 km đối với vùng núi cao như Tây Bắc là chưa đầy đủ vì rằng theo [1 - 5] thì đối với khoảng cách  $r > 8$  giờ vẫn còn ảnh hưởng đáng kể của hiệu chỉnh địa hình tới điểm quan sát trọng lực.

2/ Giá trị hiệu chỉnh địa hình tính theo toán đồ chỉ được lấy trên các tia lưới cách nhau một góc nào đó. Cách tính như vậy chưa phản ánh đầy đủ đặc trưng biến động mạnh của các địa hình phức tạp như Tây Bắc Việt nam.

3/ Ảnh hưởng lớn nhất của địa hình tới giá trị trọng lực quan sát nơi có địa hình phức tạp là vùng trong cùng. Giải pháp sử dụng mô hình lăng trụ tam giác của chúng tôi trong tính toán hiệu chỉnh của vùng này là phù hợp với thực tế hơn cả. Hơn nữa việc chia lưới theo các cạnh khác nhau tùy thuộc vào độ phức tạp của địa hình càng làm tăng thêm tính đầy đủ trong phép tính hiệu chỉnh vì vậy thuật toán mới sẽ cho kết quả chính xác hơn.

#### IV. KẾT LUẬN

Trên cơ sở thuật toán tính hiệu chỉnh mới được trình bày trên đây và kết quả tính toán áp dụng cho khu vực Thuận Châu của chúng tôi có thể rút ra một số kết luận sau:

1. Việc tính toán hiệu chỉnh địa hình theo toán đồ lập sẵn như đang được áp dụng ở Việt Nam hiện nay là chưa đầy đủ và gây sai sót lớn. Đặc biệt khi tiến hành thăm dò trọng lực chi tiết tại vùng núi cao. Phạm vi hiệu chỉnh địa hình tối thiểu phải có bán kính 50 km.

2. Ảnh hưởng lớn nhất của địa hình tới giá trị trọng lực quan sát nơi có địa hình phức tạp là vùng trong cùng. Giải pháp sử dụng mô hình lăng trụ tam giác của chúng tôi trong tính toán hiệu chỉnh của vùng này là phù hợp với thực tế hơn cả. Hơn nữa việc chia lưới theo các cạnh khác nhau tùy thuộc vào độ phức tạp của địa hình càng làm tăng thêm tính đầy đủ trong phép tính hiệu chỉnh vì vậy thuật toán mới sẽ cho kết quả chính xác hơn.

3. Thuật toán tính hiệu chỉnh địa hình với việc phân chia làm 4 vùng khác nhau với 4 dạng mô hình riêng biệt như đã trình bày là có độ tin tưởng cao và có thể được sử dụng rộng rãi trong thăm dò trọng lực tại mọi địa hình khác nhau.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. S. Hammer - Terrain corections for gravimeter surveys, *Geophysics* **9** (3) (1939).
2. J. L. Bible - Terrain corection Tables for gravity, *Geophysics* **27** (1962) 715.
3. M. F. Kane - A comprehensive system of terrain corections using a digital computer, *Geophysics* **27** (4) (1962).
4. T. R. LaFehr - An exact solution for the gravity curvature (Bullard) corection, *Geophysics* **56** (1961) 1179-1184.
5. D. Nagy - The gravitational attraction of a right rectangular prism, *Geophysics* **31** (2) (1966).
6. Cao Dinh Trieu - Giáo trình Trọng lực và thăm dò trọng lực, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 2002, tr. 276.

## SUMMARY

### ABOUT THE TERRAIN CORRECTION METHOD FOR GRAVIMETER SURVEYS IN VIETNAM

In this paper the authors present one method of terrain correction for gravimeter survey in Vietnam. According to this method the authors divide the terrain surround the gravity point into 4 zones:

- 1/ Outside zone, with the radius from 16 km to 50 km;
- 2/ Far zone, with the radius from 8 km to 16 km;
- 3/ Near zone, with the radius from 1 km to 8 km; and
- 4/ Inner zone, with the radius less than 1 km.

The terrain correction calculated according this method in comparison with the traditional method are higher precision and effectively = -0876543

*Địa chỉ:*

Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

*Nhận bài ngày 24 tháng 6 năm 2004*