

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP SỐ SÓNG ĐỊA PHƯƠNG ĐỂ KHẢO SÁT DỊ THƯỜNG TỪ Ở VÙNG NAM BỘ

Dương Hiếu Đầu¹, Trương Thị Bạch Yến¹ và Đặng Văn Liệt²

ABSTRACT

Beside solving the inverse problems of potential field by informatics, Geophysics purpose is also finding a simple and effective method to determine the locations and shapes of anomaly-sources. The local wave number technique is the most useful method to estimate the horizontal positions, depths and the structural index of the anomaly sources. This method was applied successfully for the interpretation of magnetic anomaly profile in the Mekong delta.

Keywords: Local wave-number, anomaly sources, structural index

Title: Using the local wave-number to determine the geomagnetic anomaly sources in Mekong delta

TÓM TẮT

Bên cạnh việc ứng dụng tin học để giải các bài toán ngược trường thế, mục tiêu quan trọng của Địa vật lý là tìm kiếm một phương pháp đơn giản nhưng hiệu quả cho việc định vị và xác định hình dạng của các dị thường từ. Kỹ thuật tính số sóng địa phương là một trong những phương pháp hiệu quả để xác định vị trí, độ sâu và chỉ số cấu trúc của các nguồn dị thường từ. Kết quả phân tích trên tuyến đo ở đồng bằng Nam Bộ cho thấy khả năng áp dụng tốt của phương pháp được đề xuất.

Từ khóa: Số sóng địa phương, nguồn dị thường, chỉ số cấu trúc

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp số sóng địa phương áp dụng cho các dị thường từ hai chiều, trong đó sử dụng đồng thời hai số sóng địa phương bậc nhất theo phương ngang và phương thẳng đứng để dẫn đến một phương trình tuyến tính dùng để xác định vị trí, độ sâu của nguồn. Ngoài ra, số sóng địa phương theo phương ngang cũng được sử dụng để tính chỉ số cấu trúc của nguồn.

2 PHƯƠNG PHÁP SỐ SÓNG ĐỊA PHƯƠNG

Đối với từ trường $T(x, z)$, số sóng địa phương hai chiều (2-D) k_x được định nghĩa là sự thay đổi vận tốc pha của tín hiệu giải tích (theo Bracewell, 1965) [1], (M. Pilkington and P. Keating, 2006) [4]:

$$k_x = \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (1)$$

trong đó, θ là pha địa phương của tín hiệu giải tích được cho bởi:

$$\theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{\partial T / \partial z}{\partial T / \partial x} \right\} \quad (2)$$

¹ Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

² Đại học Khoa học Tự nhiên Thành phố Hồ Chí Minh

Gọi f là tần số địa phương, chính là vận tốc thay đổi của pha địa phương theo x , cho bởi:

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{\partial}{\partial x} \tan^{-1} \left[\frac{\partial T}{\partial z} / \frac{\partial T}{\partial x} \right] \quad (3)$$

Trong phân tích trường thế, người ta thường sử dụng số sóng địa phương k_x trình bày ở biểu thức (1). Mọi quan hệ giữa k_x và f cho bởi biểu thức:

$$k_x = 2\pi f \quad (4)$$

Dùng công thức: $d(\tan^{-1}\phi)/dx = 1/(1+\phi^2)$, người ta tính được số sóng địa phương theo phương ngang k_x (J.B.Thurston and R.S. Smith, 1997) [7]:

$$k_x = \frac{1}{|A(x)|^2} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \frac{\partial T}{\partial z} \right\} \quad (5)$$

với $A(x)$ là biên độ của tín hiệu giải tích 2-D cho bởi:

$$|A(x)|^2 = \left\{ \frac{\partial T}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial T}{\partial z} \right\}^2 \quad \text{hay} \quad |A(x)| = \sqrt{\left\{ \frac{\partial T}{\partial x} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial T}{\partial z} \right\}^2} \quad (6)$$

Đạo hàm căn bậc hai của phương trình (6) theo phương z và sử dụng phương trình Laplace, chúng ta được:

$$\frac{\partial |A(x)|}{\partial z} = \frac{1}{|A(x)|} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \frac{\partial T}{\partial z} \right\} \quad (7)$$

Kết hợp phương trình (5) và (7), suy ra:

$$k_x = \frac{1}{|A(x)|} \frac{\partial |A(x)|}{\partial z} \quad (8)$$

Tương tự như trên, chúng ta cũng tính được số sóng địa phương theo phương thẳng đứng k_z :

$$k_z = \frac{-1}{|A(x)|^2} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \frac{\partial T}{\partial x} \right\} \quad (9)$$

và tìm được:

$$k_z = \frac{-1}{|A(x)|} \frac{\partial |A(x)|}{\partial x} \quad (10)$$

Vậy số sóng địa phương theo phương ngang và số sóng địa phương theo phương thẳng đứng tương đương với việc chuẩn hóa giá trị đạo hàm của biên độ của tín hiệu giải tích lần lượt theo phương thẳng đứng và phương ngang.

Phương trình (8) là dạng cơ bản của biểu thức tương đương giữa tín hiệu giải tích và số sóng địa phương trên một số nguồn có dạng hình học đơn giản. MacLeod và ccs. (1993) [3] chứng minh biểu thức của tín hiệu giải tích trên một số nguồn hai chiều nằm ở vị trí x_0 (phương ngang), z_0 (độ sâu) cho bởi:

$$\begin{aligned}
 |A(x)| &= \frac{\alpha}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{1/2}}, & (\text{vùng tiếp xúc}) \\
 |A(x)| &= \frac{\alpha}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]}, & (\text{vĩa}) \\
 |A(x)| &= \frac{2\alpha}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]^{3/2}}, & (\text{hình trụ nằm ngang})
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

trong đó, α là hằng số liên hệ với độ từ hóa của nguồn. Smith và ccs. (1998) [6], chứng minh số sóng địa phương trên một số nguồn hai chiều nằm ở vị trí $(x_0$ (phương ngang), z_0 (độ sâu)) cho bởi:

$$\begin{aligned}
 k_x &= \frac{z_0}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]}, & (\text{vùng tiếp xúc}) \\
 k_x &= \frac{2z_0}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]}, & (\text{vĩa}) \\
 k_x &= \frac{3z_0}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]}, & (\text{hình trụ nằm ngang})
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Lấy đạo hàm các biểu thức của (11) theo z rồi chuẩn hóa bằng $|A(x)|$ chúng ta sẽ được các giá trị nằm ở vế phải của (12), chúng cho thấy có sự tương đương giữa tín hiệu giải tích và số sóng địa phương.

Các công thức (12) được Salem (2005) [23] viết dưới dạng tổng quát:

$$k_x = \frac{(n+1)z_0}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]} \tag{12a}$$

và
$$k_z = \frac{-(n+1)(x-x_0)}{[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2]} \tag{12b}$$

trong đó, k_x và k_z là một cặp biến đổi Hilbert; n là chỉ số cấu trúc của nguồn: $n = 0$ cho vùng tiếp xúc, $n = 1$ cho nguồn là vĩa và $n = 2$ là nguồn dạng hình trụ nằm ngang.

Ngoài ra, dạng của các phương trình (8) và (10) còn được sử dụng cho các bậc cao hơn của số sóng địa phương. Thật vậy, số sóng địa phương bậc hai k_{xx} được cho bởi (Smith và ccs., 1998) [6]:

$$k_{xx} = \frac{\partial \theta'}{\partial x} \tag{13}$$

với, $\theta' = \tan^{-1} \left\{ \frac{\partial^2 T / \partial z^2}{\partial^2 T / \partial z \partial x} \right\}$

nên:

$$k_{xx} = \frac{1}{|A'(x)|^2} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial^3 T}{\partial x \partial z^2} - \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \frac{\partial^3 T}{\partial z \partial x^2} \right\} \tag{14}$$

với $|A'(x)|$ là tín hiệu giải tích bậc hai (Hsu và ccs., 1996) [2], cho bởi :

$$|A'(x)|^2 = \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \right\}^2 + \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\}^2 \quad (15)$$

một lần nữa, cho thấy mối quan hệ giữa tín hiệu giải tích nâng cao và số sóng địa phương bậc hai.

$$k_{xx} = \frac{1}{|A'(x)|} \frac{\partial |A'(x)|}{\partial z} \quad (16)$$

$$k_{zz} = \frac{-1}{|A'(x)|} \frac{\partial |A'(x)|}{\partial x} \quad (17)$$

Biểu thức (8) và (10) có thể mở rộng sang trường hợp 3-D cho số sóng địa phương theo phương ngang; nhưng không thể tìm được cho số sóng địa phương theo phương thẳng đứng.

3 TÍNH ĐỘ SÂU CỦA NGUỒN VÀ CHỈ SỐ CẤU TRÚC TỪ SỐ SÓNG ĐỊA PHƯƠNG

Smith và ccs. (1998) [5] đã kết hợp số sóng địa phương bậc nhất và bậc hai để xác định độ sâu của nguồn mà không cần biết trước dạng hình học của nguồn, và xác định chỉ số cấu trúc để từ đó xác định dạng hình học của nguồn. Thật vậy, độ sâu cho bởi:

$$z_0 = \frac{1}{(k_{xx} - k_x)} \quad (18)$$

và chỉ số cấu trúc n của nguồn cho bởi:

$$n = \frac{k_x}{(k_{xx} - k_x)} - 1 \quad (19)$$

Thế (8) và (16) vào (18), chúng ta có:

$$z_0 = \frac{|A(x)||A'(x)|}{|A(x)| \frac{\partial |A'(x)|}{\partial z} - |A'(x)| \frac{\partial |A(x)|}{\partial z}} \quad (20)$$

Nếu đặt $x = x_0$, nghĩa là tính các giá trị ngay tại nguồn và sử dụng ký hiệu:

$$\left. \frac{\partial |A(x)|}{\partial z} \right|_{x=x_0} = \frac{\partial |A|}{\partial z} = |A'| \quad \text{và} \quad \left. \frac{\partial |A'(x)|}{\partial z} \right|_{x=x_0} = \frac{\partial |A'|}{\partial z} = |A''|$$

phương trình (20) trở thành:

$$z_0 = \frac{|A||A'|}{|A||A''| - |A'|^2} \quad (21)$$

và tương tự, giá trị chỉ số cấu trúc:

$$n = \frac{2|A||A'| - |A''||A|}{|A||A''| - |A'|^2} \quad (22)$$

(21) và (22) cho chúng ta xác định được độ sâu và chỉ số cấu trúc của nguồn; tuy nhiên việc tính toán sẽ gặp khó khăn vì để tính được độ sâu và chỉ số cấu trúc thì chúng ta phải tính tới đạo hàm bậc ba của T.

Phương pháp số sóng địa phương nâng cao

Phương pháp số sóng địa phương nâng cao về bản chất chính là phương pháp số sóng địa phương nhưng nó khắc phục được nhược điểm của phương pháp số sóng địa phương là khi tìm vị trí và độ sâu của nguồn không cần phải tính các giá trị số sóng bậc hai k_{xx} và k_{zz} .

Xuất phát từ phương trình thuần nhất của phương pháp giải chập Euler, phương trình này viết lại trong trường hợp 2-D như sau:

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = -nT \tag{23}$$

trong đó x_0, z_0, n lần lượt là vị trí, độ sâu và chỉ số cấu trúc của nguồn.

Lấy đạo hàm phương trình Euler (23) lần lượt theo x và z, chúng ta được:

$$(x - x_0) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + (z - z_0) \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial x} = -(n+1) \frac{\delta T}{\delta x} \tag{24a}$$

và $(x - x_0) \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + (z - z_0) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = -(n+1) \frac{\delta T}{\delta z} \tag{24 b}$

Nhân phương trình (24a) cho $[(1/|A|^2)(\delta T/\delta z)]$ và phương trình (24b) cho $[(1/|A|^2)(\delta T/\delta x)]$ rồi trừ chúng với nhau, chúng ta được:

$$\frac{(x - x_0)}{|A(x)|^2} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \frac{\partial T}{\partial z} \right\} = \frac{(z - z_0)}{|A(x)|^2} \left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \frac{\partial T}{\partial x} \right\} \tag{25}$$

Phương trình (25) viết dưới dạng thành phần theo phương ngang k_x và thành phần theo phương thẳng đứng k_z của số sóng địa phương như sau [23]:

$$(k_x x + k_z z) = (k_x x_0 + k_z z_0) \tag{26}$$

Đây là một phương trình tuyến tính nên chúng ta dễ dàng xác định được vị trí của nguồn (x_0, z_0) bằng cách sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu ($z=0$):

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N k_x^2(i) & \sum_{i=1}^N k_z(i).k_x(i) \\ \sum_{i=1}^N k_z(i).k_x(i) & \sum_{i=1}^N k_z^2(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N k_x^2(i).x(i) \\ \sum_{i=1}^N k_z(i).k_x(i).x(i) \end{bmatrix} \tag{27}$$

với N là tổng số điểm được chọn để tìm (x_0, z_0) .

Thay (x_0, z_0) vào phương trình (12a) để xác định chỉ số cấu trúc n, từ đó suy ra dạng hình học của nguồn. Thường sử dụng số sóng địa phương theo phương ngang k_x và dùng phương pháp bình phương tối thiểu để tìm chỉ số cấu trúc của nguồn:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{k_x(x_i)z_0}{x_i^2 + z_0^2}}{\sum_{i=1}^N \left[\frac{z_0}{(x_i^2 + z_0^2)} \right]^2} - 1 \tag{28}$$

với N là số điểm giá trị của k_x chọn quanh x_0 và z_0 (vị trí và độ sâu của nguồn tính từ phương trình (27)).

4 KIỂM CHỨNG TRÊN MÔ HÌNH

Trong phần này chúng tôi áp dụng lý thuyết để tính toán trên mô hình một **hình trụ nằm ngang** nhằm kiểm tra tính chính xác của phương pháp xác định vị trí (x và z) và chỉ số cấu trúc n .

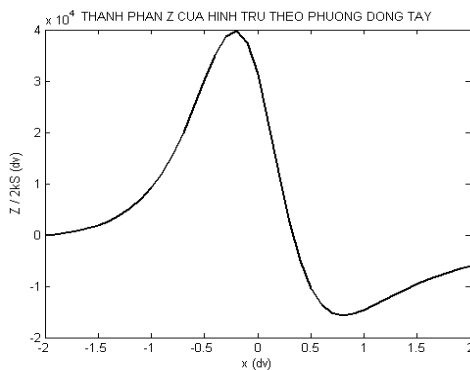
Xét một hình trụ được xem là dài vô hạn theo phương y , thành phần thẳng đứng Z của hình trụ được cho bởi:

$$Z = 2kS \{ 2H_0xz\sin\beta + Z_0(z^2 - x^2) \} \tag{29}$$

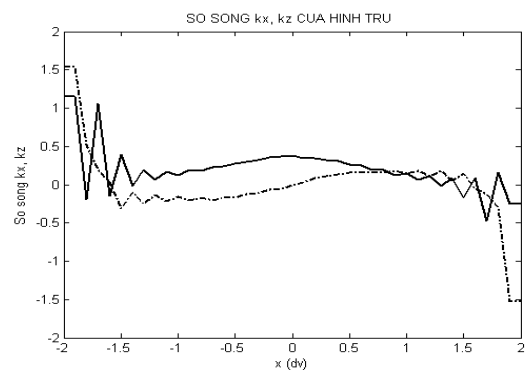
Chọn x biến thiên từ -2 đến 2; khoảng cách $\Delta x = 0,1$; $z = -0,8$; $\beta = \pi/2$ (theo phương Đông – Tây).

Kết quả tính toán thành phần $Z/2kS$ của hình trụ theo phương Đông – Tây cho bởi hình 1.

Sử dụng giá trị thành phần Z này để tính số sóng địa phương k_x và k_z ; kết quả nêu trong hình 2.



Hình 1: Thành phần Z của hình trụ ngang



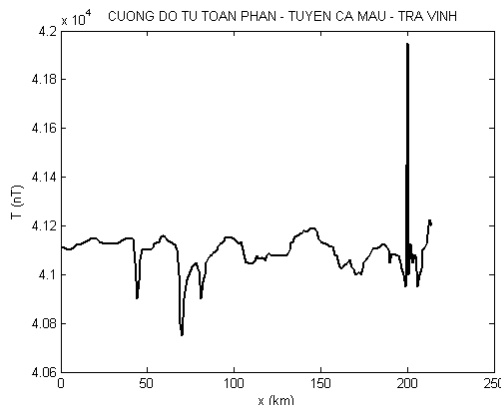
Hình 2: Số sóng địa phương k_x và k_z

Sử dụng số sóng địa phương k_x , k_z và công thức (27), (28) để xác định vị trí, độ sâu và chỉ số cấu trúc của mô hình, kết quả cho thấy dị vật nằm ở vị trí $x = 21,15$, độ sâu $z = 0,8$ và chỉ số cấu trúc $n = 2,21 \approx 2,0$ (hình trụ). Kết quả tính toán phù hợp với mô hình.

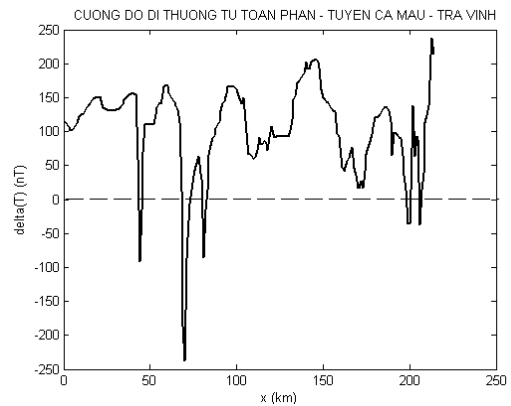
5 XÁC ĐỊNH MỘT SỐ DỊ THƯỜNG TỪ Ở TUYẾN ĐO CÀ MAU - TRÀ VINH

5.1 Mô tả dị thường từ

Tuyến đo dài 214 km, bắt đầu từ Cà Mau và kết thúc ở Trà Vinh có phương Đông Bắc – Tây Nam, nằm về phía Đông của kinh tuyến và hợp với phương Bắc của kinh tuyến một góc 66^0 . Cường độ từ toàn phần của tuyến đo có giá trị cực đại 41950 nT, giá trị cực tiểu là 40750 nT cho bởi hình 3.



Hình 3: Cường độ từ toàn phần của tuyến Cà Mau – Trà Vinh

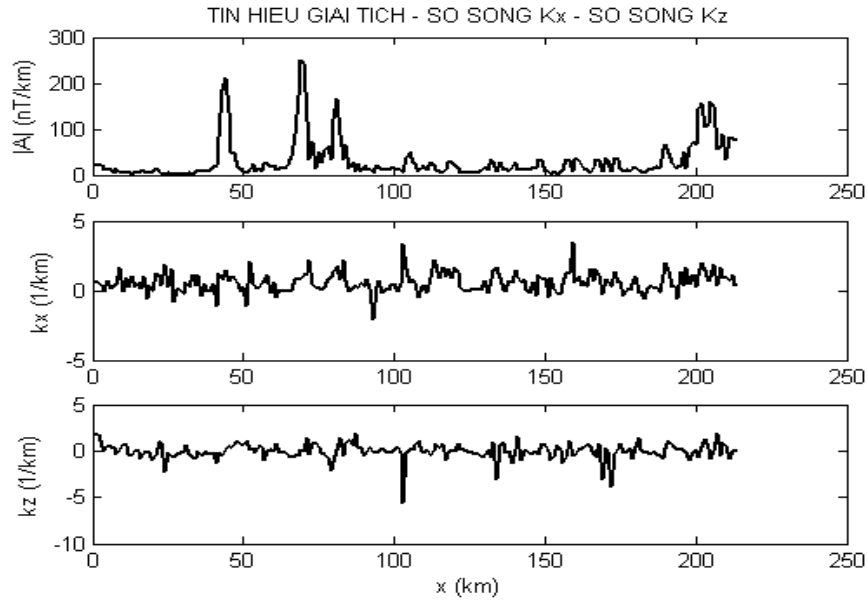


Hình 4: Cường độ dị thường từ toàn phần của tuyến Cà Mau – Trà Vinh

Hình 4 là đồ thị của cường độ dị thường từ toàn phần của tuyến đo; đồ thị cho thấy đa số là các dị thường từ dương, có ba dị thường từ dương đạt giá trị khá lớn, cực đại đạt giá trị 237,4179 nT; có ba dị thường âm biên độ khá lớn nổi rõ trên đồ thị, cực tiểu đạt giá trị -236,9100 nT. Các dị thường dương và âm kết hợp nhau cho sáu dị thường từ gồm phần dương và phần âm nằm kề nhau ở vị trí của km thứ 44, 69, 81, 119, 148 và 202.

5.2 Phân tích bằng số sóng địa phương

Từ giá trị cường độ dị thường từ toàn phần nêu trong hình 4, chúng tôi tính biên độ tín hiệu giải tích, số sóng địa phương k_x và số sóng địa phương k_z bằng chương trình viết trong matlab. Hình 5 là đồ thị của biên độ tín hiệu giải tích, số sóng k_x , số sóng k_z . Trên đồ thị của tín hiệu giải tích cho thấy có các cực đại nằm ở vị trí của km thứ 44, 69, 81, 119, 148 và 202.



Hình 5: Tín hiệu giải tích – số sóng địa phương k_x và số sóng địa phương k_z

Trên tuyến đo, có sáu dị thường được phát hiện và nêu chi tiết trong bảng 1. Các dị thường này trùng với các dị thường gồm hai phần dương và âm kề nhau.

Bảng 1: Vị trí, độ sâu và chỉ số cấu trúc của các dị vật của tuyến Cà Mau – Trà Vinh

	Vị trí x (km)	Độ sâu z (km)	Chỉ số cấu trúc (số nguyên)	Dạng hình học tương ứng
Dị thường 1	44	1,5	1,2 ≈ 1	Via mỏng
Dị thường 2	69	1,1	1,4 ≈ 1	Via mỏng
Dị thường 3	81	0,9	0,6 ≈ 1	Via mỏng
Dị thường 4	119	1,7	0,4 ≈ 0	Tiếp xúc
Dị thường 5	148	1,1	0,2 ≈ 0	Tiếp xúc
Dị thường 6	202	1,1	1,3 ≈ 1	Via mỏng

6 KẾT LUẬN

Áp dụng phương pháp số sóng địa phương sử dụng đồng thời hai số sóng bậc nhất theo phương ngang và phương thẳng đứng để dẫn đến một phương trình tuyến tính dùng để xác định vị trí, độ sâu của nguồn, chúng tôi đã xác định vị trí, độ sâu và chỉ số cấu trúc của các dị thường dọc theo tuyến Cà Mau – Trà Vinh thuộc vùng đồng bằng Nam Bộ, chúng tôi cũng thực hiện với một số tuyến đo khác ở vùng và nhận thấy các kết quả là đáng lưu ý nếu được phối hợp với các tài liệu địa chất khác trong vùng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- BRACEWELL, R., (1965), *The Fourier Transform and its applications*, McGraw-Hill, New York.
- HSU, S.K., SIBUET, J.C., SHYU, C.T., (1996), High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique, *Geophysics*, Vol. 61, pp. 373-386.
- MACLEOD, I. N., JONES, K., DAI, T. F., (1993), 3-D Analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes, *Exploration Geophysics*, pp. 679 - 688.
- PILKINGTON, M. AND KEATING, P., (2006), The relationship between local wavenumber and analytic signal in magnetic interpretation, *Geophysics*, Vol. 71, L1 – L3.
- SMITH, R.A., (1959), Some depth formula for local magnetic and gravity anomalies, *Geophysical Prospecting*, Vol 7, pp. 55-63.
- SMITH, R., THURSTON, B., DAI, T. AND MACLEOD, N., (1998), iSPI - The improved source parameter imaging method, *Geophysical Prospecting*, Vol. 46, 141-151.
- THURSTON, J. AND SMITH, R., (1997), Automatic conversion of magnetic data to dept, dip, and susceptibility contrast using the SPI method, *Geophysics*, Vol. 62, 807 – 813.