

Xác định các nguồn dị thường từ liên kê bằng phương pháp cực đại wavelet và sự chuẩn hóa tham số tỉ lệ

- **Dương Quốc Chánh Tín**
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM
- **Dương Hiếu Đầu**
- **Nguyễn Minh Tân**
Trường Đại học Cần Thơ
Email: dqctin@ctu.edu.vn

(Bài nhận ngày 03 tháng 05 năm 2017, nhận đăng ngày 23 tháng 05 năm 2017)

TÓM TẮT

Trong việc giải bài toán ngược trường thế, xác định tương đối chính xác vị trí các nguồn gây ra dị thường từ và trọng lực cùng các thuộc tính của chúng đóng một vai trò rất quan trọng. Với các nguồn dị thường từ liên kê, chúng luôn chồng lên nhau không chỉ trong miền không gian mà còn cả trong miền tần số, gây khó khăn lớn trong việc định vị các nguồn này. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã sử dụng một họ wavelet mới để phân tích hiệu quả những thuộc tính của các nguồn trường thế liên kê. Bằng những mô hình lý thuyết, sử dụng phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet, chúng tôi đã xây dựng được hàm tương

Từ khóa: bài toán ngược trường thế, nguồn dị thường từ liên kê, phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet, hàm tương quan, chuẩn hóa tham số tỉ lệ

MỞ ĐẦU

Biến đổi wavelet được ứng dụng vào địa vật lý từ đầu thập niên 1980 để phân tích tín hiệu địa chấn [1]. Kể từ đó, những tiến bộ đáng kể của lý thuyết wavelet đã mở ra nhiều ứng dụng trong các lĩnh vực khác. Trong vật lý địa cầu, wavelet đã và đang là một công cụ hữu ích trong phân tích các tín hiệu có sự thay đổi đột biến với thời gian [1-4]. Trong lĩnh vực này, phân tích dữ liệu trường thế đã có nhiều thành tựu đáng kể khi sử dụng công cụ wavelet để lọc nhiễu, tách trường, xác định vị trí, độ sâu và các đặc tính của nguồn trường đồng nhất [5].

quan giữa tham số tỉ lệ trong phép biến đổi wavelet và độ sâu của nguồn dị thường từ. Hơn thế nữa, sự chuẩn hóa tham số tỉ lệ cũng được áp dụng để cải thiện độ phân giải, giúp tách biệt các nguồn này trong tỉ lệ đồ, từ đó xác định được độ sâu của chúng. Sau khi kiểm chứng độ tin cậy và tính khả thi của phương pháp được đề xuất trên các số liệu mô hình, chúng tôi đã phân tích một số tuyến đo từ tiêu biểu ở đồng bằng Sông Cửu Long. Các kết quả phân tích trong nghiên cứu này là khá phù hợp với các phân tích được công bố trước đây, ngoài ra về mức độ chi tiết là khá trùng khớp với các số liệu địa chất khác.

Gần đây, biến đổi wavelet liên tục với hàm wavelet phức Morlet đã được Yang và ccs [6] sử dụng để xác định sự phân bố của các nguồn trường thế. Nhóm nghiên cứu này đã xây dựng được quan hệ xấp xỉ tuyến tính giữa độ sâu của nguồn và số sóng giả (pseudo - wavenumber), để ứng dụng phân tích các số liệu địa từ thực địa. Tuy nhiên, việc chuyển từ miền tham số tỉ lệ sang miền số sóng giả là khá phức tạp và mất nhiều thời gian tính toán, phân tích. Trong bài báo này, qua các mô hình lý thuyết chúng tôi đã xác lập mối tương quan trực tiếp giữa độ sâu của nguồn trường dị thường từ và

tham số tỉ lệ khi sử dụng phép biến đổi wavelet, để áp dụng vào phân tích một số tuyến đo từ ở vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Phép biến đổi wavelet liên tục và hàm phức Farshad - Sallhac

Phép biến đổi wavelet liên tục trên tín hiệu một chiều $f(x)$ cho bởi:

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{a}} \overline{\psi} \left(\frac{b-x}{a} \right) dx = \frac{1}{\sqrt{a}} (f * \overline{\psi}) \quad (1)$$

với, $a \in \mathbb{R}^+$: tham số tỉ lệ và $b \in \mathbb{R}$: tham số vị trí, $\overline{\psi}(x)$: liên hiệp phức của $\psi(x)$, là hàm wavelet dùng trong biến đổi, $f * \overline{\psi}$: ký hiệu tích chập của hàm $f(x)$ và $\overline{\psi}(x)$. Biến đổi wavelet có sự đa dạng khi sử dụng nhiều hàm wavelet chọn lọc khác nhau tùy theo dạng thông tin mà ta phân tích.

Để xác định vị trí theo phương ngang và độ sâu của nguồn dị thường từ, chúng tôi đã sử dụng hàm wavelet phức mới - Farshad – Sallhac [7] có dạng như sau:

$$\psi^{(FS)}(x) = \psi^{(F)}(x) + i\psi^{(S)}(x) \quad (2)$$

$$\text{trong đó, } \psi^{(F)}(x) = \frac{4-2x^2}{(x^2+2^2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{1-2x^2}{(x^2+1^2)^{\frac{5}{2}}} \quad (3)$$

$$\psi^{(S)}(x) = \text{Hilbert}(\psi^{(F)}(x)) \quad (4)$$

Phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet (wavelet transform modulus maxima – WTMM)

Phương pháp xác định biên theo đề xuất của Mallat và Hwang (1992) [8] liên quan đến việc xây dựng những đường đẳng trị của cực đại độ lớn biến đổi wavelet liên tục trên tín hiệu được phân tích. Điều kiện áp dụng là các hàm wavelet thực thì phải được xác định từ các đạo hàm bậc nhất hay đạo hàm bậc hai của một hàm đặc trưng liên quan đến phép chuyển trường trong bài toán trường thế. Hàm wavelet có tên là Farshad - Sallhac được kiểm chứng là thỏa mãn các yêu cầu của phương pháp Mallat và Hwang, vì thế việc tính toán, phân tích và minh giải vị trí theo phương ngang cũng như độ

sâu của các khu vực có dị thường từ mạnh đều dựa trên thành phần độ lớn của biến đổi wavelet này. Kỹ thuật phân tích biên này dựa vào việc xác định vị trí trên tỉ lệ đồ mà tại đó có sự hội tụ của các đường đẳng trị cực đại của độ lớn hệ số biến đổi wavelet nên được gọi là phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet (wavelet transform modulus maxima – WTMM).

Trong phương pháp khử nhiễu tín hiệu và tăng độ tương phản cho cách tính biên đa tỉ lệ sử dụng biến đổi wavelet thì Yansun Xu và ccs [9] có sử dụng cách tính wavelet trên gradient của dữ liệu, phương pháp này làm phát hiện rõ hơn vị trí của các nguồn dị thường nhỏ vì dữ liệu gradient liên quan các biến thiên nhanh của tín hiệu. Vì vậy, trong các phần tiếp theo của bài báo tác giả sẽ áp dụng đổi wavelet trên tín hiệu gradient dị thường từ toàn phần mà lại không áp dụng trên số liệu dị thường từ toàn phần khi phân tích các mô hình lý thuyết cũng như phân tích dữ liệu thực tế.

Xác định chỉ số cấu trúc

Giả sử $f(x, z=0)$ là trường từ đo trên mặt đất tạo bởi một nguồn từ trường đồng nhất nằm ở vị trí $x=0$ và độ sâu $z=z_0$ dưới mặt đất. Khi thực hiện biến đổi wavelet của $f(x, z=0)$ với các hàm wavelet được xây dựng từ đạo hàm bậc γ theo phương ngang của hàm nhân tử trong công thức chuyển trường lên, các hệ số của biến đổi wavelet sẽ tuân theo định luật tỉ lệ kép liên quan đến hai tham số mũ γ và β cho bởi Sallhac và CCS [10]:

$$W_{f(x,z=0)}^\gamma(x, a) = \left(\frac{a}{a'} \right)^\gamma \left(\frac{a'+z_0}{a+z_0} \right)^{-\beta} W_{f(x,z=0)}^\gamma(x', a') \quad (5)$$

Trong đó: x và a lần lượt là các tham số vị trí và tỉ lệ; β liên quan đến bậc đồng nhất của nguồn từ trường.

Theo Sallhac với các vật thể có từ tính thì mối liên hệ giữa bậc đồng nhất β , bậc γ của đạo hàm và chỉ số cấu trúc N thể hiện tương quan là:

$$N = -\beta - \gamma - 1 \quad (6)$$

Với các vị trí đo đạc x và x' khác nhau, mối quan hệ giữa hệ số a và a' là:

$$\frac{a'+z_0}{x'} = \frac{a+z_0}{x} = const \quad (7)$$

Trong bài báo này, chỉ số cấu trúc N của nguồn dị thường được xác định bởi hàm wavelet liên tục Farshard-Sailhac. Vì phần thực của wavelet này là $\psi^{(F)}(x)$ trong biểu thức (3) được tạo thành từ đạo hàm bậc 2 theo phương ngang của nhân Farshard [11]:

$$\theta(x) = \frac{1}{(x^2+1^2)^{\frac{1}{2}}} - \frac{1}{(x^2+2^2)^{\frac{1}{2}}} \text{ nên } \gamma=2 \text{ và do đó}$$

biểu thức (5) được viết lại như sau:

$$\left(\frac{1}{a}\right)^2 W_{f(x,z=0)}^2(x,a)(a+z_0)^{-\beta} = \left(\frac{1}{a'}\right)^2 W_{f(x,z=0)}^2(x,a')(a'+z_0)^{-\beta} = const \quad (8)$$

Đặt: $W_{f(x,z=0)}^2(x,a) = W_2(x,a)$ và lấy logarithm hai vế của biểu thức (8) sẽ được:

$$\log\left(\frac{W_2(x,a)}{a^2}\right) = \beta \log(a+z_0) + c \quad (9)$$

Như vậy, chỉ số cấu trúc N sẽ được xác định từ hệ số góc β của đường thẳng:

$$Y = \beta.X + c \quad (10)$$

ở đây, $Y = \log\left(\frac{W_2(x,a)}{a^2}\right)$ và $X = \log(a+z_0)$

Từ việc xác định chỉ số cấu trúc, có thể ước lượng được hình dạng tương đối của nguồn trường (Bảng 2).

Sự chuẩn hóa tham số tỉ lệ

Trong thực tế, với các nguồn trường thế liên kết, sự chồng chập trường từ liên quan đến nhiều yếu tố khác nhau như: vị trí, độ sâu và kích thước các nguồn thành phần. Trong trường hợp này, cực đại độ lớn của hệ số biến đổi wavelet trong tỉ lệ đồ tạo bởi nguồn dị thường lớn trội hơn hẳn so với các nguồn dị thường nhỏ, làm cho việc xác định các nguồn nhỏ này gặp không ít khó khăn. Để giải quyết vấn đề này, nhóm tác giả đã áp dụng việc điều chỉnh tham số tỉ lệ nhằm rút ngắn khoảng cách về độ lớn của hệ số biến đổi wavelet trong tỉ lệ đồ giữa nguồn dị thường lớn và các nguồn dị thường nhỏ. Từ đó, tạo điều kiện thuận lợi cho việc định vị

các nguồn liên kết được dễ dàng hơn, nhất là các nguồn bé.

Để tách các nguồn trường thế liên kết trong tỉ lệ đồ, chúng tôi đã đưa vào phép biến đổi wavelet một chiều trong biểu thức (1) một tham số hiệu chỉnh a^{-n} . Khi đó phép biến đổi wavelet một chiều trên tín hiệu $f(x)$ có thể viết lại như sau:

$$W'(a,b) = a^{-n} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{a}} \overline{\psi}\left(\frac{b-x}{a}\right) dx \quad (11)$$

Ở đây n là một hằng số dương, và khi $n = 0$ thì tham số tỉ lệ không được chuẩn hóa và phương trình (11) trở về phương trình (1). Trong quá trình phân tích một số mô hình dị thường từ đơn giản, chúng tôi nhận thấy với hàm wavelet Farshad – Sailhac thì n có thể thay đổi từ 0 đến 1,5. Khi n tăng thì các hệ số biến đổi wavelet $W'(a,b)$ trong biểu thức (11) giảm và khoảng cách về độ lớn của hệ số biến đổi wavelet trong tỉ lệ đồ giữa nguồn dị thường lớn và các nguồn dị thường nhỏ cũng được rút ngắn hơn, nên độ phân giải hình ảnh cũng được cải thiện hơn. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu chọn $n = 1,5$ (độ phân giải cao nhất) để phân tích các nguồn trường thế liên kết trong các mô hình lý thuyết cũng như các số liệu thực tế.

Mối quan hệ giữa hệ số tỉ lệ và độ sâu của nguồn dị thường từ

Trong biến đổi wavelet, tham số tỉ lệ có liên quan đến độ sâu của nguồn gây ra dị thường. Tuy nhiên, hệ số tỉ lệ không phải là độ sâu và cũng không cho ta thông tin trực tiếp về độ sâu. Bằng việc phân tích tỉ lệ đồ qua các mô hình lý thuyết với nguồn trường được tạo ra từ các vật có hình dạng khác nhau, nhóm tác giả đã chỉ ra được tương quan gần như tuyến tính giữa độ sâu của nguồn z và tích số giữa tỉ lệ a với bước đo Δ qua hệ số tỉ lệ k :

$$z = k.(a.\Delta) \quad (12)$$

Hệ số k ở đây phụ thuộc vào chỉ số cấu trúc của nguồn. Tiếp theo, trong phần kết quả nghiên cứu và thảo luận, hệ số k được xác định và ứng dụng để ước lượng độ sâu của các nguồn dị thường trong phân tích các số liệu thực tế.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình lý thuyết

Mô hình 1: Các nguồn dị thường đơn

Trong mô hình này, nguồn từ trường là một quả cầu đồng nhất, bán kính $R = 1,0$ km. Nguồn bị từ hóa theo phương thẳng đứng với cường độ từ hóa là $M = 6$ A/m. Tâm của quả cầu có tọa độ theo phương ngang $x = 50$ km, và độ sâu $z = 3,0$ km. Tuyến đo ở mặt đất có chiều dài 100 km đi qua quả cầu, khoảng cách các điểm đo là $\Delta = 0,2$ km; như vậy tọa độ các điểm đo lần lượt là: 0; 0,2; 0,4; ... 100 km (Hình 1a là đồ thị của trường từ toàn phần, 1b là đồ thị của gradient trường từ toàn phần).

Dựa vào kết quả vẽ đẳng trị (Hình 1C) có thể dễ dàng xác định tọa độ của điểm cực đại độ lớn biến đổi wavelet (điểm màu trắng nằm giữa đồ thị): $b = 250,0$; $a = 13,5$. Nhân giá trị của b với bước đo $\Delta = 0,2$ km sẽ được vị trí theo phương ngang của tâm nguồn dị thường: $x = 250,0 \times 0,2 = 50$ km. Giá trị này phù hợp với tọa độ thiết kế $x = 50$ km của mô hình. Do đó, cực đại độ lớn biến đổi wavelet trên tỉ lệ đồ là thông tin cho phép xác định chính xác vị trí theo phương ngang của nguồn trường.

Giá trị của hệ số tỉ lệ $a = 13,5$ có liên quan đến độ sâu của nguồn trường. Để tìm quy luật biến đổi của độ sâu z theo a chúng tôi lần lượt thay đổi z

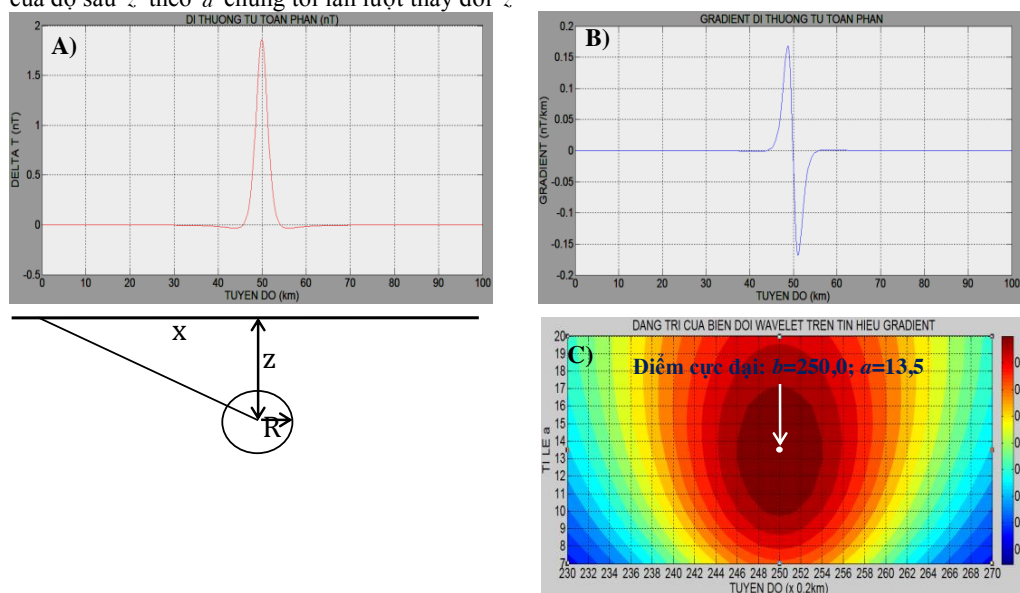
qua các giá trị từ 1,5 km đến 9,0 km (bước nhảy 0,5 km) và lặp lại quá trình khảo sát như khi $z = 3,0$ km. Kết quả khảo sát chỉ ra trong bảng 1 và đồ thị hình 2. Dựa vào đồ thị hình 2 của z theo a , xác định được hàm tương quan gần như tuyến tính giữa độ sâu và tham số tỉ lệ là:

$$z \approx 1,1247 \times (a \cdot \Delta) \text{ (km)} - \text{khi không chuẩn hóa} \quad (13)$$

$$z \approx 4,9918 \times (a' \cdot \Delta) \text{ (km)} - \text{sau khi chuẩn hóa với } n = 1,5 \quad (14)$$

Theo Yang và CCS (2010), khi nguồn trường ở xa mặt phẳng đo đạc, chúng thường được giả sử như một khối cầu đồng nhất [6]. Sau đó, độ sâu tương đối của nguồn có thể được ước lượng trực tiếp từ cực đại độ lớn hệ số biến đổi wavelet bởi phương trình (13) – khi không chuẩn hóa tham số tỉ lệ ($n = 0$), hoặc (14) – khi đã chuẩn hóa tham số tỉ lệ ($n = 1,5$).

Trên thực tế các nguồn từ trường có thể có các hình dạng đơn giản khác như: hình trụ, via, đứt gãy hay tiếp xúc. Do đó, cần thiết cho nhóm tác giả tiếp tục thử nghiệm phương pháp của mình với các nguồn từ trường có hình dạng khác. Kết quả tìm hệ số k tương ứng với các nguồn có dạng hình học khác nhau được mô tả ở Bảng 2.



Hình 1. Các dạng đồ thị của mô hình 1. A) Dị thường từ do một quả cầu đồng nhất gây ra, B) Gradient dị thường từ, C) Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu gradient

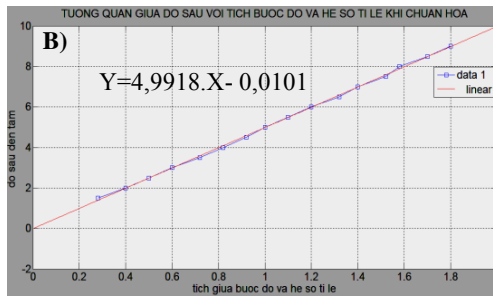
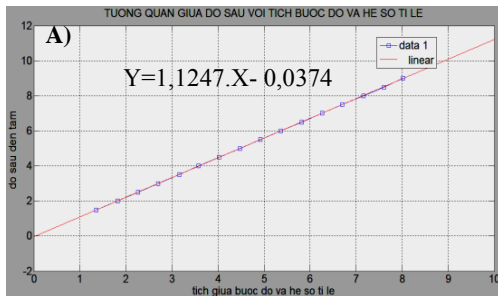
Bảng 1. Kết quả phân tích với hàm Farshard - Sailhac

z (km)	Δ (km)	a (n = 0)	(a. Δ)	a' (n = 1,5)	(a'.Δ)
1,5	0,2	6,8	1,36	1,4	0,28
2,0	0,2	9,1	1,82	2,0	0,40
2,5	0,2	11,3	2,26	2,5	0,50
3,0	0,2	13,5	2,70	3,0	0,60
3,5	0,2	15,8	3,16	3,6	0,72
4,0	0,2	17,9	3,58	4,1	0,82
4,5	0,2	20,1	4,02	4,6	0,92
5,0	0,2	22,4	4,48	5,0	1,00
5,5	0,2	24,6	4,92	5,5	1,10
6,0	0,2	26,8	5,36	6,0	1,20
6,5	0,2	29,1	5,82	6,6	1,32
7,0	0,2	31,3	6,26	7,0	1,40
7,5	0,2	33,5	6,70	7,6	1,52
8,0	0,2	35,8	7,16	7,9	1,58
8,5	0,2	38,0	7,60	8,5	1,70
9,0	0,2	40,1	8,02	9,0	1,80

Chỉ số cấu trúc N là một thông số giúp xác định hình dạng tương đối của các nguồn trường (từ hay trọng lực trên cột 2 của Bảng 2) là các số nguyên và nó được giới thiệu lần đầu bởi Thompson, D.T., 1982 [12] thông qua phương trình thuần nhất có dạng như sau:

$$(x-x_0)\frac{\partial T}{\partial x} + (y-y_0)\frac{\partial T}{\partial y} + (z-z_0)\frac{\partial T}{\partial z} = N(T_0 - T) \quad (15)$$

trong đó, (x_0, y_0, z_0) là vị trí của nguồn dị thường, T là cường độ từ toàn phần đo tại tọa độ (x, y, z) , T_0 là trường từ toàn phần khu vực, N là chỉ số cấu trúc của nguồn dị thường.



Hình 2. Tương quan giữa độ sâu với tích của bước đo và hệ số tỉ lệ A) Khi chưa chuẩn hóa tham số tỉ lệ; B) Khi đã chuẩn hóa tham số tỉ lệ với $n = 1,5$.

Bảng 2. Chỉ số cấu trúc N và tham số k tương ứng

Hình dạng	Chỉ số cấu trúc N	$k (n = 0)$	$k' (n = 1,5)$
Quả cầu	3	1,1247	4,9918
Hình trụ	2	1,0991	4,4214
Vía mỏng	1	0,5981	3,6475
Đứt gãy hoặc tiếp xúc	0	0,2026	2,0474

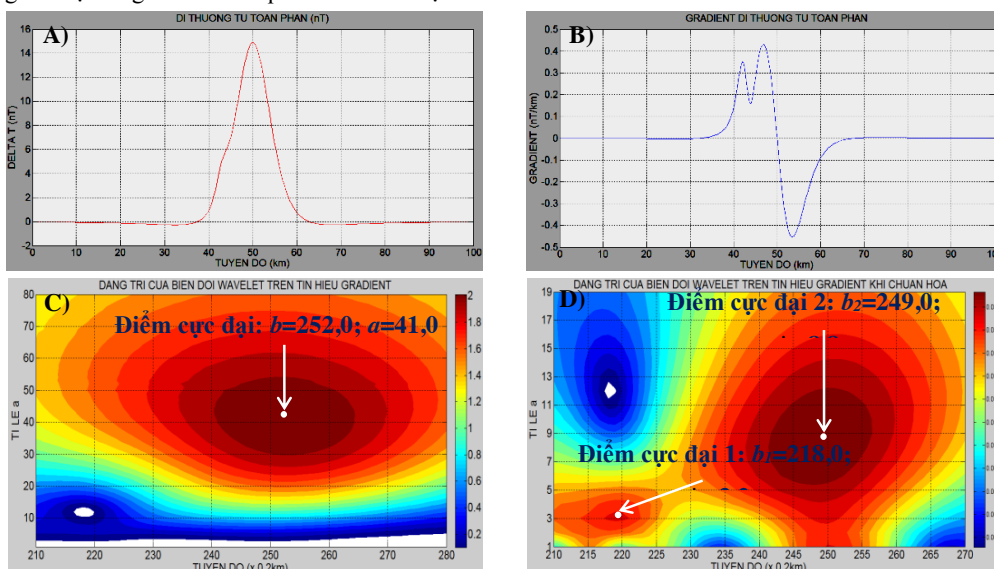
Mô hình 2: Nguồn dị thường từ gồm hai quả cầu liền kề

Trong mô hình này, trường từ toàn phần được tạo ra bởi hai quả cầu có kích thước khác nhau. Nguồn dị thường từ hóa theo phương thẳng đứng như nhau với cường độ từ hóa là $M = 6 \text{ A/m}$. Quả cầu thứ nhất có bán kính 1,0 km và ở tọa độ theo phương ngang $x_1 = 43 \text{ km}$, và độ sâu $z_1 = 3,0 \text{ km}$; quả cầu thứ hai ở tọa độ theo phương ngang $x_2 = 50 \text{ km}$, và độ sâu $z_2 = 9,0 \text{ km}$ có bán kính 6,0 km. Tuyến đo ở mặt đất có chiều dài 100 km đi qua hai quả cầu, khoảng cách các điểm đo là $\Delta = 0,2 \text{ km}$; như vậy tọa độ các điểm đo lần lượt là: 0; 0,2; 0,4; ... 100 km.

Trong trường hợp hai quả cầu liền kề, nếu chỉ áp dụng phương pháp như trong mô hình 1 thì rất khó xác định được vị trí của quả cầu thứ nhất vì ảnh hưởng rất mạnh của trường từ tạo bởi quả cầu thứ hai (Hình 3A và 3B lần lượt là đồ thị trường từ và gradient từ toàn phần của mô hình). Thật vậy, quan sát kết quả vẽ đẳng trị trong Hình 3C, chỉ thấy một điểm cực đại của biến đổi wavelet trên tỉ lệ đồ, vị trí điểm này có tọa độ ($b = 252,0; a = 41,0$) tương ứng với vị trí nguồn lớn do quả cầu thứ hai tạo ra.

Quả cầu thứ nhất tạo dị thường từ toàn phần khá nhỏ chỉ khoảng 1/10 quả cầu thứ hai, nên hệ số wavelet do nó đóng góp trong tỉ lệ đồ cũng rất nhỏ so với hệ số biến đổi wavelet do quả cầu thứ hai tạo ra tại cùng không gian và do đó, rất khó xác định nguồn thứ nhất trên tỉ lệ đồ.

Để giải quyết vấn đề này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng tham số chuẩn hóa a^{-n} (với $n = 1,5$) trong phương trình (11) trên dữ liệu gradient dị thường từ toàn phần tạo bởi hai quả cầu. Kết quả vẽ đẳng trị được cho bởi hình 3d cho thấy tồn tại hai điểm cực đại có tọa độ lần lượt là ($b_1=218,0; a_1=3,2$) và ($b_2=249,0; a_2=8,8$). Nhân b_1 rồi b_2 với bước đo $\Delta = 0,2 \text{ km}$ ta được tọa độ theo phương ngang của tâm hai nguồn dị thường: $x_1=2180 \times 0,2=43,6 \text{ km}$ và $x_2=2490 \times 0,2=49,8 \text{ km}$. Nhân a_1 rồi a_2 với bước đo $\Delta = 0,2 \text{ km}$ và hệ số $k = 4,9918$ (Bảng 2) ta được độ sâu đến tâm của hai nguồn dị thường: $z_1=4,9918 \times (0,3 \times 0,2)=3,2 \text{ km}$ và $z_2=4,9918 \times (8,8 \times 0,2)=8,8 \text{ km}$. Các giá trị này có lệch một ít với các thông số của mô hình do sự tương tác từ giữa hai quả cầu đã làm cho tâm của chúng có xu hướng xích lại gần nhau hơn.



Hình 3. Các dạng đồ thị của mô hình 2. A) Dị thường từ toàn phần do hai quả cầu đồng nhất gây ra, B) Gradient dị thường từ toàn phần, C) Đẳng trị của biến đổi wavelet trên tín hiệu gradient từ toàn phần, D) Đẳng trị của biến đổi wavelet trên gradient từ toàn phần khi chuẩn hóa

Nhằm tăng tính thuyết phục của phương pháp được đề xuất, nhóm nghiên cứu tiếp tục phân tích trên các số liệu mô hình được tạo bởi hai nguồn trường từ liên kết có dạng hình học khác nhau gồm một hình trụ nằm ngang và một vỉa mỏng nằm ngang.

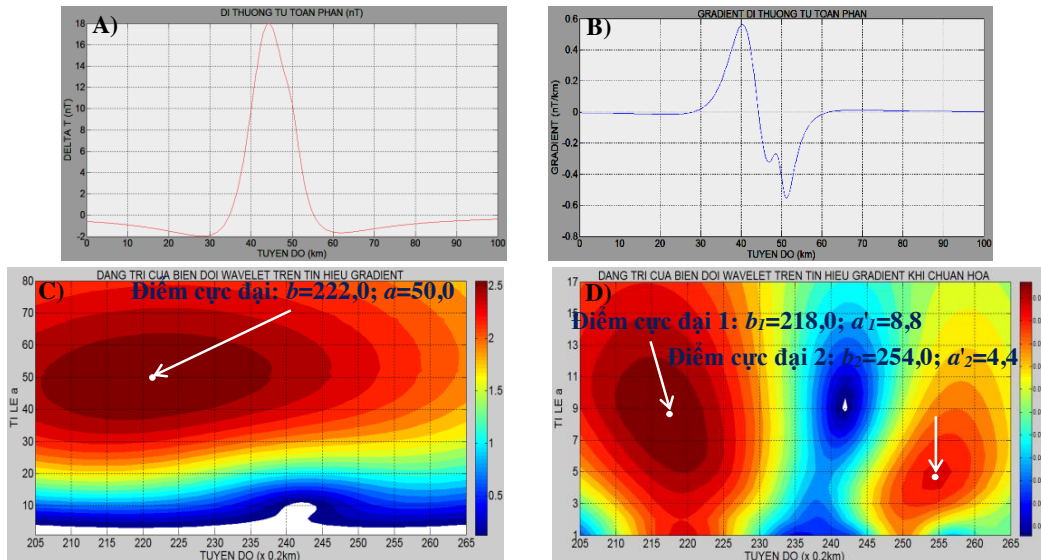
Mô hình 3: Nguồn dị thường từ gồm một hình trụ nằm ngang đặt liền kề với một vỉa mỏng nằm ngang

Trong mô hình này, trường từ toàn phần được tạo ra bởi một hình trụ nằm ngang đặt liền kề với một vỉa mỏng nằm ngang. Nguồn cùng bị từ hóa theo phương thẳng đứng với cường độ từ hóa là $M = 6 \text{ A/m}$. Hình trụ có bán kính 6 km và ở tọa độ theo phương ngang $x_1 = 44 \text{ km}$, và độ sâu $z_1 = 8,0 \text{ km}$, trong khi vỉa mỏng ở tọa độ theo phương ngang $x_2 = 50 \text{ km}$, và độ sâu $z_2 = 3,0 \text{ km}$; bề dày 40 m. Tuyến đo ở mặt đất, chiều dài 100 km đi qua hai nguồn, bước đo là $\Delta = 0,2 \text{ km}$ (Hình 4); như vậy tọa độ các điểm đo lần lượt là: 0; 0,2; 0,4;...100 km.

Kết quả vẽ đẳng trị (Hình 4c) cho thấy chỉ một điểm cực đại của hệ số wavelet xuất hiện trên tỉ lệ đồ, có tọa độ ($b = 222,0; a = 50,0$) tương ứng với

tọa độ của hình trụ ngang trong mô hình. Với vỉa ngang, vì dị thường từ toàn phần do nó gây ra không đáng kể so với hình trụ, nên hệ số wavelet do nó đóng góp trong tỉ lệ đồ cũng rất nhỏ so với hệ số biến đổi wavelet do hình trụ ngang tạo ra tại cùng không gian và do đó, rất khó xác định vỉa ngang trên tỉ lệ đồ.

Sử dụng tham số chuẩn hóa a^{-n} (với $n = 1,5$) trong phương trình (11) trên dữ liệu gradient từ toàn phần tạo bởi hai nguồn. Kết quả vẽ đẳng trị được cho bởi hình 4d cho thấy tồn tại hai điểm cực đại có tọa độ lần lượt là ($b_1=218,0; a'_1=8,8$) và ($b_2=254,0; a'_2=4,4$). Nhân b_1 rồi b_2 với bước đo $\Delta = 0,2 \text{ km}$ ta được tọa độ theo phương ngang của tâm hai nguồn dị thường: $x_1=218,0 \times 0,2=43,6 \text{ km}$ và $x_2=254,0 \times 0,2=50,8 \text{ km}$. Nhân a'_1 rồi a'_2 với bước đo $\Delta = 0,2 \text{ km}$ và hệ số $k' = 4,4214$ (tương ứng với hình trụ) hoặc $k' = 3,6475$ (tương ứng với vỉa mỏng) ta được độ sâu đến tâm của hai nguồn dị thường: $z_1=4,4214 \times (8,8 \times 0,2)=7,8 \text{ km}$ và $z_2=3,6475 \times (4,4 \times 0,2)=3,2 \text{ km}$. Các giá trị này có lệch chút ít với các thông số của mô hình do tương tác từ giữa hai nguồn dị thường.



Hình 4. Các dạng đồ thị của mô hình 3. A) Dị thường từ toàn phần do hình trụ ngang và vỉa mỏng ngang gây ra, B) Gradient dị thường từ toàn phần, C) Đẳng trị của biến đổi wavelet trên gradient từ toàn phần, D) Đẳng trị của biến đổi wavelet trên gradient từ toàn phần khi chuẩn hóa

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu tiếp tục thử nghiệm phương pháp trên mô hình có nhiều nguồn dị thường từ hơn, với nhiều hình dạng khác nhau và chúng được bố trí ở các tọa độ cũng rất gần với dữ liệu thực tế nhằm tăng thêm tính thuyết phục về khả năng ứng dụng của phương pháp.

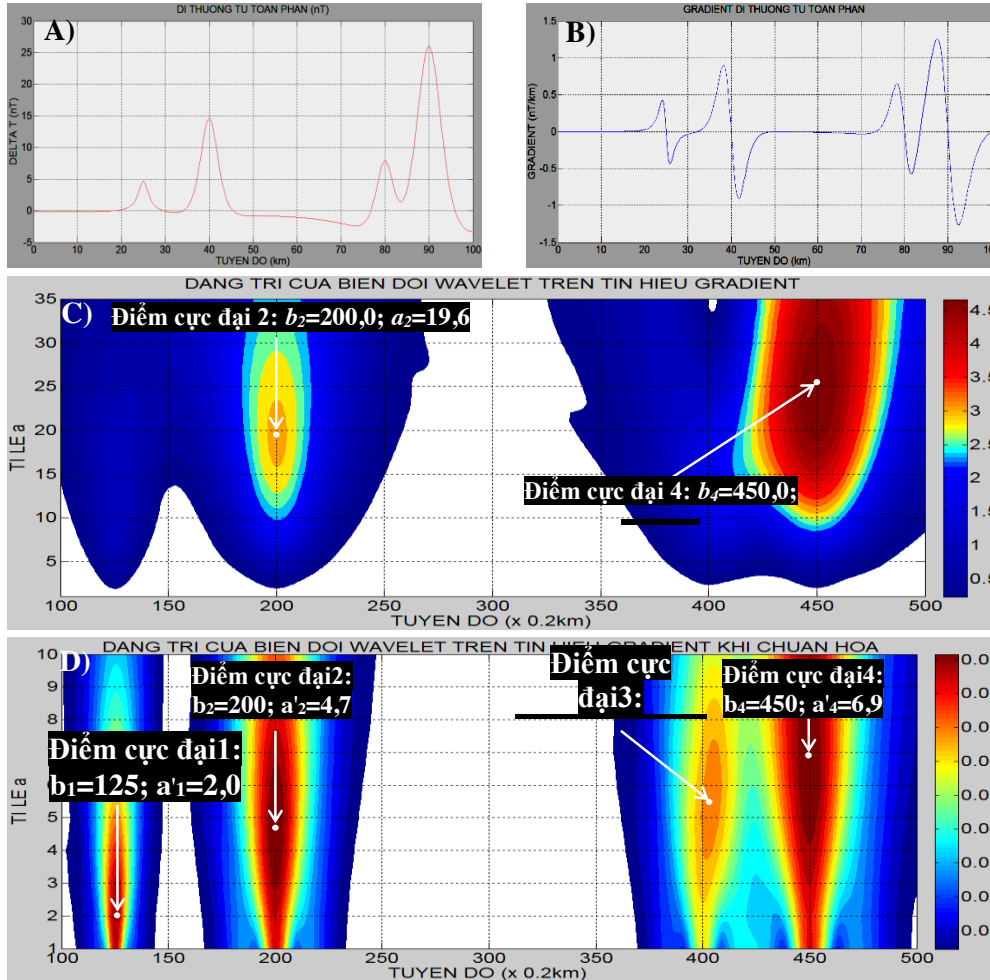
Mô hình 4: Nguồn dị thường từ gồm một via mỏng nằm gần một quả cầu lớn và một quả cầu nhỏ nằm gần một hình trụ lớn.

Trong mô hình này, trường từ toàn phần được tạo ra bởi một via mỏng nằm gần một quả cầu lớn và một quả cầu nhỏ nằm gần một hình trụ lớn. Nguồn cùng bị từ hóa theo phương thẳng đứng với cường độ từ hóa là $M = 6 \text{ A/m}$. Via mỏng ở tọa độ theo phương ngang $x_1 = 25 \text{ km}$, và độ sâu $z_1 = 1,5 \text{ km}$; bề dày 40 m ; quả cầu lớn có bán kính $3,0 \text{ km}$ và nằm ở tọa độ theo phương ngang $x_2 = 40 \text{ km}$, và độ sâu $z_2 = 4,5 \text{ km}$, trong khi quả cầu nhỏ có bán kính $1,5 \text{ km}$ và nằm ở tọa độ theo phương ngang $x_3 = 80 \text{ km}$, và độ sâu $z_3 = 5,0 \text{ km}$; hình trụ lớn có bán kính 5 km và ở tọa độ theo phương ngang $x_4 = 90 \text{ km}$, và độ sâu $z_4 = 6,0 \text{ km}$. Tuyến đo ở mặt đất, chiều dài 100 km đi qua bốn nguồn, bước đo là $\Delta = 0,2 \text{ km}$ (Hình 5); như vậy tọa độ các điểm đo lần lượt là: $0; 0,2; 0,4; \dots 100 \text{ km}$.

Kết quả vẽ đẳng trị (Hình 5C) cho thấy chỉ xuất hiện hai điểm cực đại của hệ số wavelet trên tỉ lệ đồ, có tọa độ $(b_2 = 200,0; a_2 = 19,6)$; $(b_4 = 450,0; a_4 = 25,5)$ tương ứng với tọa độ của quả cầu lớn ở km thứ 40 và hình trụ lớn ở km thứ 90 trong

mô hình. Với via mỏng ở km thứ 25, và quả cầu nhỏ ở km thứ 80, vì dị thường từ toàn phần do nó gây ra không đáng kể so với hình trụ lớn và quả cầu lớn, nên hệ số wavelet do nó đóng góp trong tỉ lệ đồ cũng rất nhỏ so với hệ số biến đổi wavelet do hình trụ lớn và quả cầu lớn tạo ra tại cùng không gian và do đó, rất khó xác định via mỏng và quả cầu nhỏ trên tỉ lệ đồ.

Sử dụng tham số chuẩn hóa a^{-n} (với $n = 1,5$) trong phương trình (11) trên dữ liệu gradient từ toàn phần tạo bởi bốn nguồn. Kết quả vẽ đẳng trị được cho bởi Hình 5D cho thấy tồn tại bốn điểm cực đại có tọa độ lần lượt là $(b_1=125,0; a'_1=2,0)$; $(b_2=200,0; a'_2=4,7)$; $(b_3=405,0; a'_3=5,4)$; $(b_4=450,0; a'_4=6,9)$. Nhân $b_1; b_2; b_3$ rồi b_4 với bước đo $\Delta = 0,2 \text{ km}$ được tọa độ theo phương ngang của tâm bốn nguồn dị thường: $x_1=125,0 \times 0,2=25,0$; $x_2=200,0 \times 0,2=50,0 \text{ km}$; $x_3=405,0 \times 0,2=81,0 \text{ km}$; và $x_4=450,0 \times 0,2=90,0 \text{ km}$. Nhân $a'_1; a'_2; a'_3$ rồi a'_4 với bước đo $\Delta = 0,2 \text{ km}$ và hệ số $k' = 3,6475$ (tương ứng với via mỏng) hoặc $k' = 4,9918$ (tương ứng với quả cầu) hay $k' = 4,4214$ (tương ứng với hình trụ) ta được độ sâu đến tâm của bốn nguồn dị thường: $z_1=3,6475 \times (0,2 \times 0,2)=1,5 \text{ km}$; $z_2=4,9918 \times (4,7 \times 0,2)=4,7 \text{ km}$; $z_3=4,9918 \times (5,4 \times 0,2)=5,4 \text{ km}$ và $z_4=4,4214 \times (6,9 \times 0,2)=6,1 \text{ km}$. Các giá trị này có lệch chút ít với các thông số của mô hình do tương tác từ giữa các nguồn dị thường gần nhau.



Hình 5. Các dạng đồ thị của mô hình 4. A) Dị thường từ toàn phần do via mỏng, hai quả cầu và hình trụ gây ra, B) Gradient dị thường từ toàn phần, C) Đăng trị của biến đổi wavelet trên gradient từ toàn phần, d) Đăng trị của biến đổi wavelet trên gradient từ toàn phần khi chuẩn hóa

Từ các kết quả khả quan khi phân tích các số liệu mô hình, chúng tôi đã xây dựng một quy trình xác định tọa độ và độ sâu của các nguồn dị thường từ liên kề để áp dụng phân tích các tuyến đo thực tế.

Quy trình xác định tọa độ và độ sâu các nguồn từ liên kề bằng phép biến đổi wavelet Farshard – Sailhac

Việc xác định tọa độ và độ sâu của nguồn từ liên kề sử dụng biến đổi wavelet Farshard –

Sailhac có thể tóm lược trong quy trình gồm các bước sau:

Bước 1: Lấy gradient ngang của trường từ toàn phần dọc theo tuyến đo.

Bước 2: Thực hiện biến đổi wavelet trên gradient ngang của trường từ bằng hàm wavelet Farshard – Sailhac.

Sau biến đổi wavelet liên tục phức, thu được bốn bộ số liệu khác nhau gồm: phần thực, phần

phức, phần độ lớn, và phần pha. Dữ liệu của phần độ lớn sẽ được sử dụng trong các bước kế tiếp.

Bước 3: Thay đổi hệ số tỉ lệ a và lặp lại biến đổi wavelet Farshard – Sailhac đa tỉ lệ.

Bước 4: Vẽ đồ thị của hệ số biến đổi wavelet Farshard – Sailhac trên gradient ngang trong tỉ lệ đồ (a, b).

Bước 5: Xác định tọa độ theo phương ngang của nguồn dị thường.

Trên đồ thị đồ thị, xác định các điểm cực đại của hệ số wavelet. Tọa độ theo phương ngang và phương thẳng đứng lần lượt là b_i và a_i , (i chỉ số thứ tự của nguồn). Tọa độ theo phương ngang của các nguồn gây ra dị thường từ được xác định bởi biểu thức sau:

$$x_i = b_i \times \Delta \quad (16)$$

Bước 6: Xác định độ sâu của nguồn trường.

Tính chỉ số cấu trúc của các nguồn đã xác định trong bước 5, từ đó ước lượng hình dạng tương đối của nguồn, rồi xác định hệ số k_i hoặc k'_i tương ứng từ bảng 2. Khi đó, độ sâu của các nguồn từ được xác định bởi biểu thức sau:

$$z_i = k_i \cdot (a_i \cdot \Delta) \quad (17)$$

$$z_i = k'_i \cdot (a'_i \cdot \Delta) \quad (18)$$

Phương trình (17) áp dụng khi không chuẩn hóa tham số tỉ lệ ($n=0$), và phương trình (18) áp dụng khi đã chuẩn hóa tham số tỉ lệ ($n=1,5$).

Phân tích tuyến đo từ ở vùng đồng bằng Nam bộ

Áp dụng quy trình trên để xác định tọa độ và độ sâu của nguồn từ với hàm wavelet Farshard – Sailhac trên các số liệu thực tế, chúng tôi đã phân tích sáu tuyến đo từ trên bản đồ cường độ từ toàn phần ở Đồng bằng Sông Cửu Long. Các kết quả phân tích đều cho thấy độ chính xác khá tốt, phù hợp với các công bố của các tài liệu địa chất trước đây. Tuy nhiên, trong bài báo này, nhóm chỉ trình bày kết quả phân tích tuyến Cà Mau – Sóc Trăng.

Chúng tôi sử dụng bản đồ cường độ từ toàn phần với tỉ lệ 1/500.000 được cung cấp bởi Cục

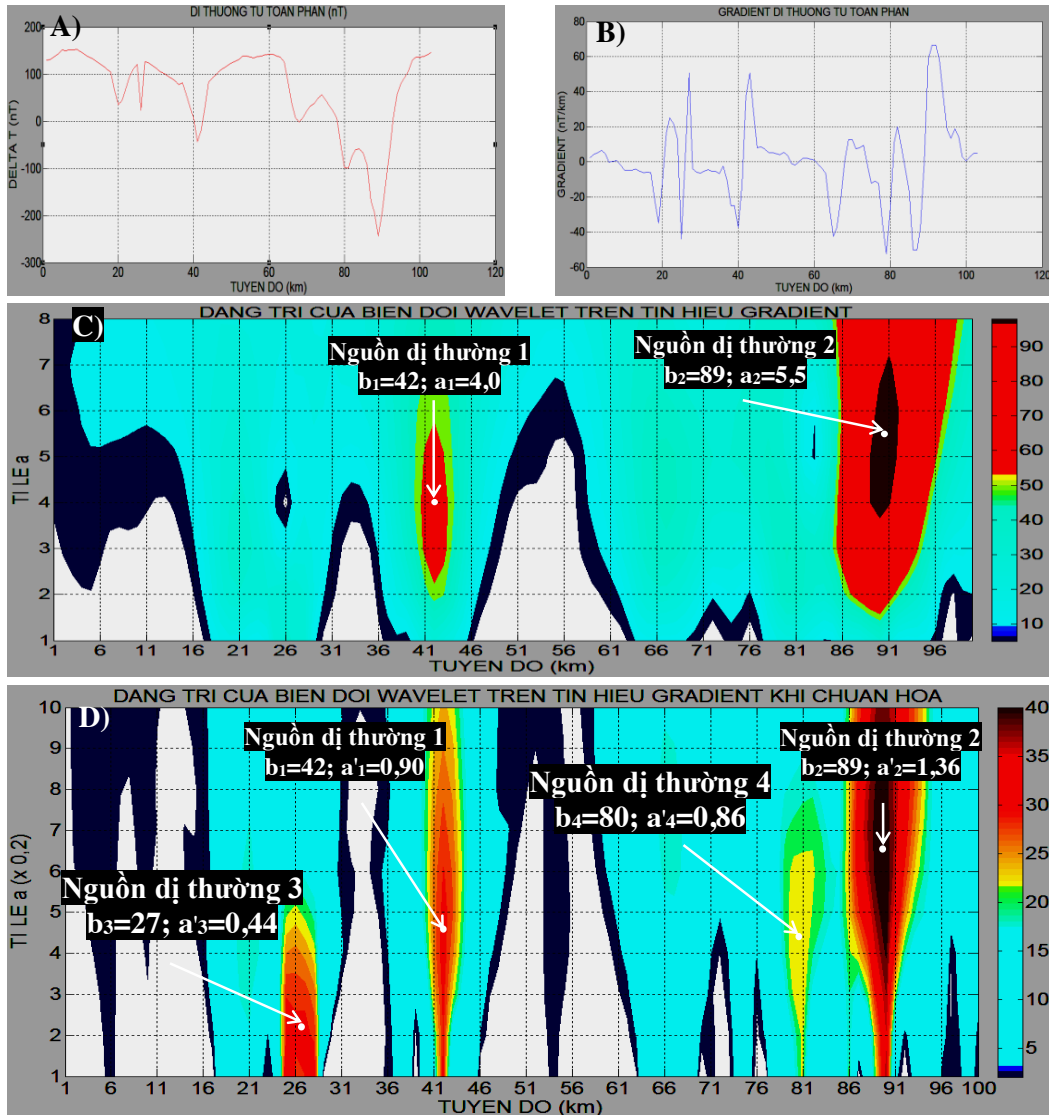
địa chất và khoáng sản Việt Nam. Chúng tôi chọn tuyến đo chạy dọc từ Cà Mau đến Sóc Trăng, độ dài 103 km, sau đó dữ liệu được nội suy với khoảng cách mỗi điểm đo cách đều nhau $\Delta = 1$ km. Sử dụng trường từ trung bình tham chiếu quốc tế của Đại học Kyoto, nhóm tác giả đã tính được cường độ dị thường từ toàn phần của tuyến đo. Kết quả được mô tả trên hình 5a, qua đồ thị phát hiện hai dị thường mạnh ở gần vị trí km thứ 42; 89 và hai dị thường yếu hơn ở km thứ 27 và 80. Các dị thường này có cả phần dị thường dương và dị thường âm kề nhau. Cực đại dị thường có giá trị khoảng 150 nT ở km thứ 8 và cực tiểu của dị thường có giá trị là -230 nT ở km thứ 89.

Dựa vào kết quả vẽ đồ thị trên hình 6c, có thể xác định được dọc theo tuyến đo có hai nguồn gây ra dị thường mạnh tương ứng với hai điểm cực đại độ lớn biến đổi wavelet: $b_1 = 42, a_1 = 4,0; b_2 = 89, a_2 = 5,5$. Trong đó, nguồn dị thường thứ hai có quy mô và cường độ lớn hơn hẳn nguồn dị thường thứ nhất.

Lấy các giá trị $b_1; b_2$ nhân với bước đo $\Delta = 1$ km ta được tọa độ của các nguồn gây ra dị thường từ dọc theo tuyến đo tương ứng tại các km thứ 42 và 89.

Để xác định tọa độ hai nguồn dị thường nhỏ ở km thứ 27 (gần nguồn dị thường mạnh hơn ở km thứ 42) và km thứ 80 (gần nguồn dị thường rất mạnh ở km thứ 89) nhóm nghiên cứu đã sử dụng tham số chuẩn hóa a^{-n} (với $n = 1,5$) trong biến đổi wavelet cho bởi phương trình (11) trên dữ liệu gradient dị thường từ toàn phần dọc theo tuyến đo. Kết quả vẽ đồ thị (hình 6d) cho thấy xuất hiện thêm hai vị trí cực đại độ lớn của hệ số wavelet: $b_3 = 27, a'_3 = 0,44; b_4 = 80, a'_4 = 0,86$. Lấy các giá trị $b_3; b_4$ nhân với bước đo $\Delta = 1$ km được tọa độ của hai nguồn gây ra dị thường từ nhỏ dọc theo tuyến đo tương ứng với các km thứ 27 và 80.

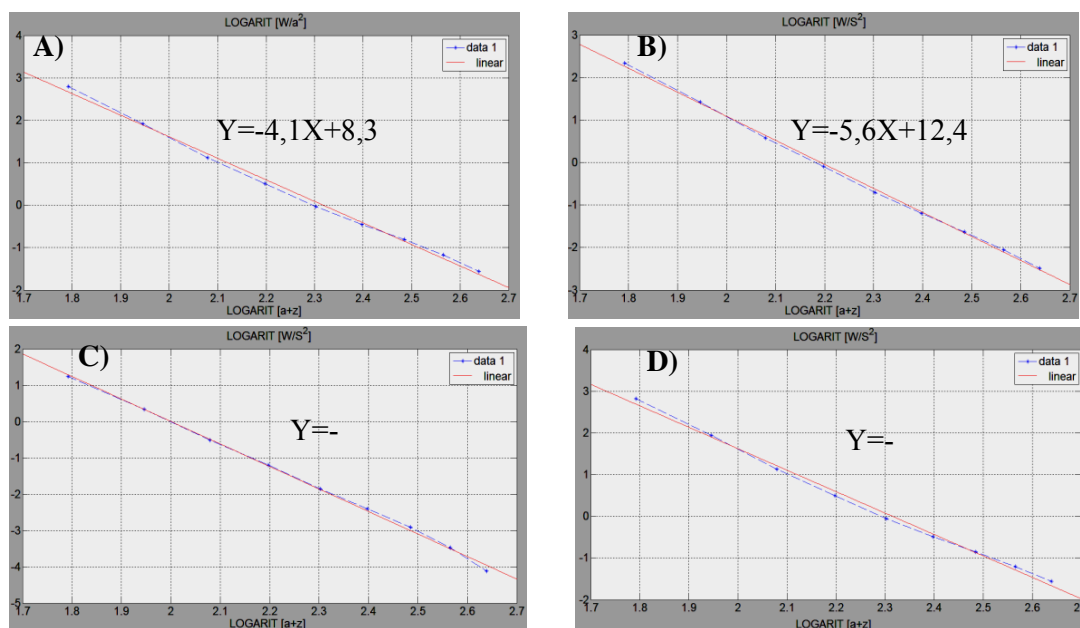
Tiếp theo, để xác định độ sâu của các nguồn dị thường này, chúng tôi bắt đầu với đường biểu diễn $\log(W/a_i^2)$ theo $\log(a_i + z)$ nhằm tính chỉ số cấu trúc.



Hình 6. Các dạng đồ thị của tuyến đo thực tế. A) Dị thường từ trên tuyến đo, B) Gradient dị thường từ, C) Đăng trị của biến đổi wavelet trên gradient dị thường từ, D) Đăng trị của biến đổi wavelet trên gradient dị thường từ khi đã chuẩn hóa

Hình 7D vẽ đường biểu diễn của $\log(W/a_i^2)$ theo $\log(a_i + z)$ khi phân tích dữ liệu của nguồn dị thường ở km thứ 89 trên tuyến đo. Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu, phương trình đường thẳng: $Y = -5,1X + 11,9$ đã được xác định, sau đó chúng tôi ước lượng giá trị của $\beta \approx -5$ (biểu thức 10), do đó chỉ số cấu trúc là $N = 5 - 2 - 1 = 2$ (phương trình 6). Như vậy nguồn dị thường từ này

có dạng tương đối là hình trụ, tương ứng với hệ số tỉ lệ $k = 1,0991$ hoặc $k' = 4,4214$ (Bảng 2). Nhân hệ số tỉ lệ k với $(a_2 \cdot \Delta)$ hoặc k' với $(a'_2 \cdot \Delta)$ ta được độ sâu của nguồn trường ở km thứ 89 khoảng 6,0 km. Phân tích tương tự cho các dị thường còn lại trên tuyến đo, thu được kết quả tổng hợp trong Bảng 3.



Hình 7. Các đồ thị biểu diễn đường $\log(W/a_i^2)$ theo $\log(a_i + z)$. A) Nguồn dị thường ở km thứ 27, B) Nguồn dị thường ở km thứ 42, C) Nguồn dị thường ở km thứ 80, D) Nguồn dị thường ở km thứ 89

Bảng 3. Tổng hợp kết quả phân tích các nguồn dị thường từ trên tuyến đo Cà Mau – Sóc Trăng

TT	Vị trí ngang (km)	Bậc đồng nhất β	Chỉ số cấu trúc N	Hình dạng tương đối	Độ sâu (km)
1	42	6	3	Cầu	4,5
2	89	5	2	Trụ	6,0
3	27	4	1	Via	1,6
4	80	6	3	Cầu	4,3

KẾT LUẬN

Chúng tôi đã sử dụng một họ wavelet mới có tên là Farshard – Sailhac để giải bài toán ngược trường thế nhằm xác định tọa độ, độ sâu và chỉ số cấu trúc của các nguồn gây ra dị thường từ liền kề. Qua việc phân tích các mô hình lý thuyết, sử dụng phương pháp cực đại độ lớn biến đổi wavelet, nhóm tác giả đã thiết lập được hàm tương quan gần như tuyến tính giữa độ sâu với hệ số tỉ lệ. Việc chuẩn hóa tham số tỉ lệ cũng được áp dụng để cải thiện độ phân giải, giúp tách biệt các nguồn dị thường liền kề trong tỉ lệ đồ, từ đó xác định được

độ sâu của chúng. Quy trình xác định tọa độ và độ sâu của nguồn dị thường từ bằng hàm wavelet Farshard – Sailhac đã được xây dựng và áp dụng. Kết quả phân tích tuyến đo từ Cà Mau - Sóc Trăng cho thấy có bốn nguồn gây ra dị thường từ. Trong đó, về quy mô thì có hai nguồn lớn gây ra dị thường mạnh và hai nguồn bé gây ra dị thường yếu hơn. Về hình dạng thì có hai nguồn dạng cầu, một nguồn dạng trụ, và một nguồn dạng via với tọa độ, độ sâu và chỉ số cấu trúc của chúng là khá trùng khớp với các công bố trước đó [13].

Identification of magnetic anomalies of adjacent sources using the wavelet transform modulus maxima and scale normalization

- **Duong Quoc Chanh Tin**
University of Science, VNU-HCM
- **Duong Hieu Dau**
- **Nguyen Minh Tan**
Cần Thơ University

ABSTRACT

In the potential field inverse problems, accurate determination of the location for the anomaly sources and their properties played an important role. For geomagnetic anomalies of adjacent sources, they always superimpose upon each other not only in the spatial domain but also in the frequency domain, making the identification of these sources significantly problematic. In this paper, a new mother wavelet for effective analysis the properties of the close potential field sources was used. By theoretical modeling, using the wavelet transform modulus maxima (WTMM) method, we set up a correlative function between

Keywords: *potential field inverse problems, geomagnetic anomalies of adjacent sources, the wavelet transform modulus maxima (WTMM) method, correlative function, scale normalization*

the scale parameter and geomagnetic source depth. Moreover, a scale normalization on the wavelet coefficients was introduced to enhance the resolution for the separation of these sources in the scalograms, thereby determining their depth. After verifying the reliability of the proposed method on the modeling data, we have analysed the geomagnetic data in the Mekong delta. The results of this interpretation were consistency with previously published ones, furthermore, the level of resolution for this technique was quite coincidental with other methods using different geological data.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. P. Kumar, E. Foufoula-Georgiou, Wavelet analysis for geophysical applications, *Reviews of Geophysics*, 35, 4, 385–412 (1997).
- [2]. S. Ouadfeul, Automatic lithofacies segmentation using the wavelet transform modulus maxima lines (WTMM) combined with the detrended fluctuation analysis (DFA), *17th International geophysical congress and exhibition of Turkey*, Expanded abstract (2006).
- [3]. S. Ouadfeul, Very fines layers delimitation using the wavelet transform modulus maxima lines WTMM combined with the DWT, *SEG SRW*, Expanded abstract, (2007).
- [4]. S. Ouadfeul, L. Aliouane, S. Eladj, Multiscale analysis of geomagnetic data using the continuous wavelet transform, Application to Hoggar (Algeria), *SEG Expanded, Abstracts* 29, 1222; doi:10.1190/1.3513065 (2010).
- [5]. M. Fedi, T. Quarta, Wavelet analysis for the regional – residual separation of potential field anomalies, *Geophysical Prospecting*, 46, 507–525 (1998).
- [6]. Y. Yang, Y. Li, T. Liu, Continuous wavelet transform, theoretical aspects and

- application to aeromagnetic data at the Huanghua Depression, Dagang Oilfield, China. *Geophysical Prospecting*, 58, 669–684, European Association of Geoscientists & Engineers (2010).
- [7]. D.Q.C. Tin., D.H. Dau., Interpretation of the geomagnetic anomaly sources in the Mekong Delta using the wavelet transform modulus maxima, *Workshop on Capacity Building on Geophysical Technology in Mineral Exploration and Assessment on Land, Sea and Island*, Ha Noi, 121–128 (2016).
- [8]. S. Mallat, W.L. Hwang, Singularity Detection and Processing with Wavelets, *IEEE Transactions on Information Theory*, 38, 2, 617–643 (1992).
- [9]. Y. Xu, J.B. Weaver, D.M. Healy Jr., J. Lu., Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique, *IEEE Transactions on Image Processing*, 3, 6, 747–758 (1994).
- [10]. P. Sailhac, A. Galdeano, D. Gibert, F. Moreau, C. Delor, Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: Complex wavelets and applications to magnetic profiles in French Guiana, *Journal of Geophysic. Research*, 105, 19455–19475 (2000).
- [11]. S. Farshard, R.K. Amin, H.R. SiahKoochi, Interpretation of 2-D Gravity Data using 2-D Continuous Wavelet Transform Introduction, *72nd EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC*, Barcelona, Spain (2010).
- [12]. D.T. Thompson, EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, 47, 31–37 (1982).
- [13]. Dương Hiếu Đầu, *Phân tích tài liệu từ và trọng lực sử dụng biến đổi wavelet liên tục*, NXB ĐHQG TPHCM (2013).