

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

Phạm Thành Luân

**NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP HIỆN ĐẠI
NÂNG CAO HIỆU QUẢ CÔNG TÁC PHÂN TÍCH XỬ LÝ
SỐ LIỆU TRƯỜNG THỂ Ở VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Vật lý Địa cầu

Mã số: 9440130.06

(DỰ THẢO) TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ

Hà Nội – 2020

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Khoa học tự nhiên,
Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học:

PGS. TS. Đỗ Đức Thanh

TS. Lê Huy Minh

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm
luận án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học
Quốc gia Hà Nội vào hồi giờ ngày tháng năm
2020

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam

- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

MỞ ĐẦU

Xử lý, phân tích tài liệu từ và trọng lực đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu cấu trúc vỏ trái đất, giải đoán các cấu trúc địa chất cũng như tìm kiếm và thăm dò khoáng sản. Thực tế hiện nay, các phương pháp xử lý, phân tích tài liệu từ và trọng lực vẫn được áp dụng thường xuyên và phổ biến như một trong những phương pháp cơ bản trong các nhiệm vụ điều tra, khảo sát trên mặt đất. Bên cạnh sự phát triển nhanh chóng của các phương pháp địa vật lý khác, các phương pháp từ và trọng lực cũng không ngừng được phát triển và mở rộng. Trong đó, phải kể đến hai nhóm phương pháp chính, gồm: nhóm phương pháp xác định biên ngang và nhóm phương pháp xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ, ranh giới từ tính. Tuy nhiên, các phương pháp này vẫn còn tồn tại một số hạn chế nhất định. Do đó, việc xây dựng các phương pháp mới, hoặc cải tiến các phương pháp hiện có là hết sức cần thiết. Vì lí do đó, nghiên cứu sinh đã lựa chọn đề tài “Nghiên cứu áp dụng các phương pháp hiện đại nâng cao hiệu quả công tác phân tích xử lý số liệu trường thế ở Việt Nam” làm đề tài nghiên cứu của mình.

Mục tiêu của luận án:

Nghiên cứu các phương pháp hiện đại từ đó đề xuất các phương pháp mới hoặc tổ hợp phương pháp hợp lý nhằm nâng cao hiệu quả công tác xử lý, phân tích số liệu trường thế.

Xây dựng một số chương trình phần mềm từ các phương pháp mới và tổ hợp phương pháp đề xuất.

Nhiệm vụ của luận án:

Đề xuất các phương pháp làm tăng độ phân giải và độ chính xác trong xác định biên của các nguồn gây dị thường trường thế.

Đề xuất cải tiến phương pháp xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ.

Đề xuất phương pháp xác định độ bề trầm tích.

Đề xuất phương pháp xác định độ sâu ranh giới từ tính.

Đánh giá hiệu quả của các phương pháp đề xuất trên các mô hình giả định và các tài liệu thực tế.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án:

1. Ý nghĩa khoa học:

Các phương pháp xác định biên mà chúng tôi đề xuất dựa trên các hàm cân bằng với các hệ số điều chỉnh độ phân giải được bổ sung sẽ góp phần cải thiện đáng kể kết quả xác định biên. Một ưu điểm khác bên cạnh việc tăng độ phân giải là các phương pháp chúng tôi đề xuất có thể tránh được việc sinh ra cấu trúc ảo trong bản đồ phân tích như khi sử dụng một số phương pháp truyền thống khác. Các phương pháp xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ và độ sâu ranh giới từ tính được đề xuất giúp giảm thời gian tính toán, làm tăng độ chính xác của các kết quả, trong đó phương pháp xác định độ sâu bề trầm tích không yêu cầu biết trước độ sâu trung bình và bộ lọc thông thấp.

2. Ý nghĩa thực tiễn:

Các phương pháp đề xuất được áp dụng cho dị thường từ hàng không và dị thường trọng lực Bouguer khu vực Tuần Giáo; dị thường từ khu vực trung tâm vùng đất thấp Puget và khu vực bán đảo Olympic, Hoa Kỳ; dị thường từ khu vực Narmada-Son Lineament,

Ấn Độ; dị thường từ khu vực Đông Bắc; dị thường trọng lực khu vực khu vực Brittany, Pháp; dị thường trọng lực trên bề trầm tích Chintalapudi, Ấn Độ; dị thường từ hàng không khu vực Tây Bắc Đức. Các kết quả thu được góp phần cung cấp các thông tin hữu ích cho việc nghiên cứu cấu trúc địa chất, tìm kiếm và thăm dò khoáng sản trên các khu vực này.

Điểm mới của luận án:

Đề xuất mới và đưa ra các giải pháp cải tiến một số phương pháp/tổ hợp phương pháp phân tích xử lý tài liệu từ và trọng lực. Các phương pháp đó bao gồm:

- ✓ Phương pháp Logistic của gradient ngang toàn phần
- ✓ Phương pháp Logistic cải tiến
- ✓ Phương pháp Gradient ngang toàn phần được tăng cường
- ✓ Phương pháp Logistic của biên độ tín hiệu giải tích
- ✓ Phương pháp Tang hyperbolic và phương pháp Logistic khác của biên độ tín hiệu giải tích
- ✓ Phương pháp xác định cực đại cải tiến
- ✓ Phương pháp xác định ranh giới phân chia mật độ
- ✓ Phương pháp xác định độ sâu bề trầm tích
- ✓ Phương pháp xác định ranh giới từ tính

Công bố một số chương trình phần mềm xử lý, phân tích số liệu trường thế.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH BIÊN VÀ ĐỘ SÂU CỦA NGUỒN GÂY DỊ THƯỜNG TỬ VÀ TRỌNG LỰC

1.1 Các phương pháp xác định biên của vật thể gây dị thường tử và trọng lực

Các phương pháp xác định biên đóng vai trò thiết yếu trong xử lý, phân tích tài liệu tử và trọng lực. Hiểu biết về vị trí biên của nguồn gây dị thường trường thế rất quan trọng trong việc lập bản đồ địa chất cũng như các ứng dụng môi trường và kỹ thuật. Có rất nhiều phương pháp được sử dụng để xác định các biên của nguồn, hầu hết được xây dựng dựa trên các đạo hàm ngang hoặc đạo hàm thẳng đứng của dị thường trường thế hoặc dựa trên sự kết hợp giữa các đạo hàm đó. Các phương pháp xác định biên ngang có thể được phân chia thành hai nhóm phương pháp chính gồm: nhóm phương pháp dựa trên biên độ đạo hàm và nhóm phương pháp pha. Nhóm phương pháp dựa trên biên độ đạo hàm gồm các phương pháp chính sau: phương pháp đạo hàm thẳng đứng, phương pháp gradient ngang toàn phần, phương pháp biên độ tín hiệu giải tích, phương pháp gradient ngang toàn phần được tăng cường, phương pháp biên độ tín hiệu giải tích được tăng cường, phương pháp gradient ngang theo hướng, phương pháp biên độ tín hiệu giải tích theo hướng. Hạn chế của các phương pháp này là không thể cân bằng các dị thường có biên độ khác nhau và kết quả thu được có độ phân giải thấp. Trong khoảng 25 năm gần đây, các phương pháp dựa trên pha của dị thường trường thế có một sự phát triển nhanh chóng. Trong đó, phải kể đến các phương pháp như: phương pháp góc nghiêng, phương pháp bản đồ

theta, phương pháp góc nghiêng ngang, phương pháp góc nghiêng của gradient ngang toàn phần, phương pháp góc nghiêng của biên độ tín hiệu giải tích. Mặc dù các phương pháp này có thể cân bằng các dị thường có biên độ khác nhau, nhưng chúng có thể sinh ra các cạnh thứ cấp, các kết quả có độ phân giải thấp, hoặc biên thu được khác với cấu trúc thực.

Một hướng xử lý khác thay vì phát triển các hàm cân bằng là sử dụng các phương pháp xác định cực đại để tìm các đỉnh của các hàm không cân bằng. Các đỉnh này nằm ngay trên biên của vật thể gây dị thường. Hai phương pháp được sử dụng phổ biến để giải quyết nhiệm vụ này là: phương pháp Blakely & Simpson và phương pháp độ cong. Gần đây nhất, Trần Văn Khá và nnk (2018) đã cải tiến phương pháp Blakely & Simpson để thu được nhiều vị trí cực đại hơn. Mặc dù các phương pháp này có thể cung cấp kết quả rõ ràng hơn về ranh giới ngang của các nguồn, nhưng chúng có thể mang đến những thông tin vô nghĩa, các cực đại thu được bị trượt ra khỏi vị trí thực, hoặc không thể xác định đầy đủ các cạnh.

1.2. Các phương pháp/tổ hợp phương pháp xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ và ranh giới từ tính

Giải bài toán ngược xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ và ranh giới từ tính là một kỹ thuật cổ điển và vẫn tiếp tục được phát triển trong thăm dò địa vật lý, đặc biệt là trong lĩnh vực tìm kiếm, thăm dò khoáng sản. Bốn nhóm phương pháp thường được sử dụng để giải quyết nhiệm vụ này là nhóm các phương pháp trong miền không gian, nhóm các phương pháp trong miền tần số, nhóm các phương pháp đánh giá độ sâu tự động (automated depth-estimation) và nhóm phương pháp phổ thống kê. Nhóm các phương pháp miền

không gian có độ chính xác cao nhưng tốc độ tính toán chậm do chia nhỏ mô hình thành các lăng trụ (hoặc các cạnh của đa giác). Nhóm phương pháp miền tần số có tốc độ tính toán nhanh nhưng yêu cầu biết trước độ sâu trung bình và bộ lọc thông thấp. Xác định các tham số của bộ lọc là công việc hết sức phức tạp. Hơn nữa, kết quả thu được từ các phương pháp miền tần số bị làm trơn đáng kể do ảnh hưởng của bộ lọc. Nhóm phương pháp đánh giá độ sâu tự động bao gồm phương pháp giải chập Werner, phương pháp giải chập Euler và phương pháp số sóng địa phương. Mặc dù còn tồn tại nhiều hạn chế, chẳng hạn như yêu cầu về chỉ số cấu trúc, kết quả tính toán phụ thuộc nhiều vào kích thước cửa sổ và đường phương của nguồn, nhưng các phương pháp này vẫn được sử dụng rộng rãi để xác định cấu trúc mặt móng. Tương tự nhóm phương pháp đánh giá độ sâu tự động, kết quả đánh giá độ sâu theo các phương pháp phổ thống kê cũng phụ thuộc nhiều vào việc lựa chọn kích thước cửa sổ.

CHƯƠNG 2

CÁC PHƯƠNG PHÁP MỚI TRONG VIỆC XÁC ĐỊNH BIÊN CỦA CÁC VẬT THỂ GÂY DỊ THƯỜNG TỪ VÀ TRỌNG LỰC

2.1. Các phương pháp xác định biên mới áp dụng cho dị thường trọng lực hoặc dị thường từ chuyển về cực

2.1.1. Cơ sở lý thuyết

Trong khoảng 25 năm trở lại đây, việc sử dụng hàm arctan để xác định biên ngang của các nguồn gây dị thường trường thế thu hút được sự quan tâm rộng rãi của các nhà khoa học. Một trong những phương pháp được áp dụng rộng rãi là phương pháp góc nghiêng của gradient ngang toàn phần. Phương pháp được giới thiệu bởi Ferreira và nnk (2013). Theo Ferreira và nnk (2013), góc nghiêng của gradient ngang được cho bởi biểu thức:

$$TTHG = atan \frac{\frac{\partial THG}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial THG}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial THG}{\partial y}\right)^2}} \quad (2.1)$$

trong đó THG là tổng gradient ngang toàn phần của dị thường trường thế F và được cho bởi biểu thức:

$$THG(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2} \quad (2.2)$$

Do sử dụng tỷ số của các đạo hàm, phương pháp của Ferreira và nnk (2013) có thể cân bằng các dị thường gây bởi các nguồn nằm ở

những độ sâu khác nhau. Tuy nhiên, trong trường hợp các nguồn nằm sâu, kết quả xác định biên sẽ bị phân tán một cách đáng kể.

Để khắc phục hạn chế của phương pháp TTHG, trong luận án này, nghiên cứu sinh sẽ giới thiệu ba phương pháp mới dựa trên tỷ số giữa các đạo hàm của gradient ngang toàn phần. Các phương pháp đó gồm:

Phương pháp được gọi là logistic của gradient ngang toàn phần (LTHG):

$$LTHG = [1 + \exp(-R_{THG})]^{-\alpha} \quad (2.3)$$

Phương pháp logistic cải tiến (IL):

$$IL = \frac{1}{1 + \exp[-p(R_{THG} - 1) + 1]} \quad (2.4)$$

Phương pháp gradient ngang toàn phần được tăng cường (ETHG):

$$ETHG = \frac{k(R_{THG} - 1) - 2}{1 + |k(R_{THG} - 1) - 1|} \quad (2.5)$$

trong đó

$$R_{THG} = \frac{\frac{\partial THG}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial THG}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial THG}{\partial y}\right)^2}}, \quad (2.6)$$

α , p và k là hằng số dương và được quyết định bởi người phân tích. Các hằng số đó giúp điều chỉnh độ phân giải của kết quả xác định biên. Kết quả thử nghiệm trên các mô hình giả định cho thấy, α nằm

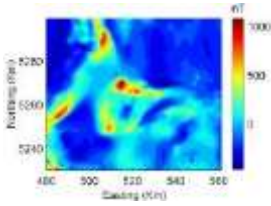
trong khoảng (2; 10), p nằm trong khoảng (2; 5) và k nằm trong khoảng (2; 10) sẽ cung cấp các kết quả với độ phân giải tốt nhất.

Ý tưởng của việc đề xuất các phương pháp này dựa trên đặc điểm toán học của các hàm đề xuất, đó là các hàm thuộc họ hàm sigmoid (hàm chữ “S”) với hình dáng đồ thị của nó có dạng đường cong chữ S. Dạng đồ thị này rất giống với hình dáng của hàm arctan. Đây cũng là một hàm thuộc họ hàm sigmoid và thường được sử dụng để xác định biên ngang của nguồn gây dị thường trường thế. Các đặc điểm chính của các hàm đề xuất là cung cấp biên độ cực đại trên biên của vật thể gây dị thường và cân bằng tín hiệu từ các nguồn nông và sâu.

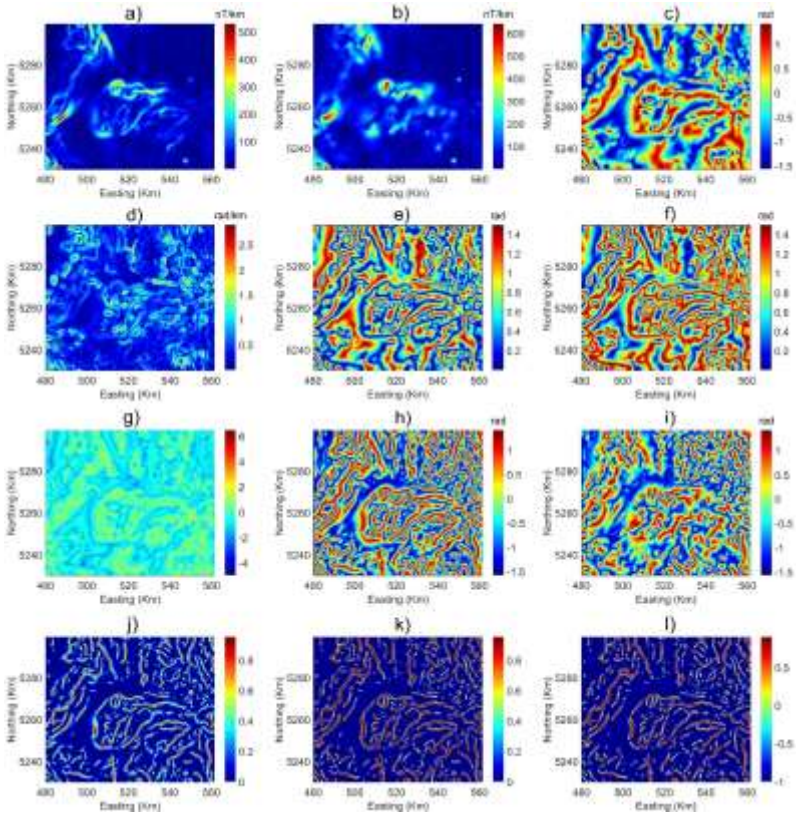
2.1.2. Kết quả áp dụng

Khả năng áp dụng của các phương pháp được khẳng định trên các mô hình và các tài liệu thực tế. Để chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất, nghiên cứu sinh sẽ so sánh các phương pháp đề xuất với các phương pháp xác định biên phổ biến khác như: phương pháp gradient ngang toàn phần (THG), phương pháp biên độ tín hiệu giải tích (AS), phương pháp góc nghiêng (TA), phương pháp gradient ngang của góc nghiêng (THG_TA), phương pháp bản đồ theta (TM), phương pháp góc nghiêng ngang (TDX), phương pháp góc nghiêng hyperbolic (HTA), phương pháp góc nghiêng của gradient ngang toàn phần (TTHG) và phương pháp góc nghiêng của tín hiệu giải tích (TAS). Trong phạm vi bản tóm tắt này, nghiên cứu chỉ trình bày một số kết quả phân tích bản đồ dị thường từ hàng không khu vực trung tâm vùng đất thấp Puget (Hoa Kỳ) (Hình 2.1) và kết quả phân tích bản đồ trọng lực Bouguer khu vực Tuần Giáo (Hình 2.3). Kết quả thu được chỉ ra rằng, ba phương pháp đề xuất không chỉ cân bằng các dị

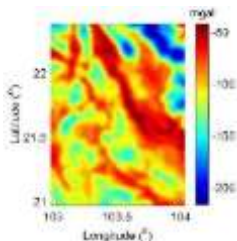
thường có biên độ khác nhau mà còn tránh được việc sinh ra các cấu trúc ảo và cung cấp các kết quả với độ phân giải cao.



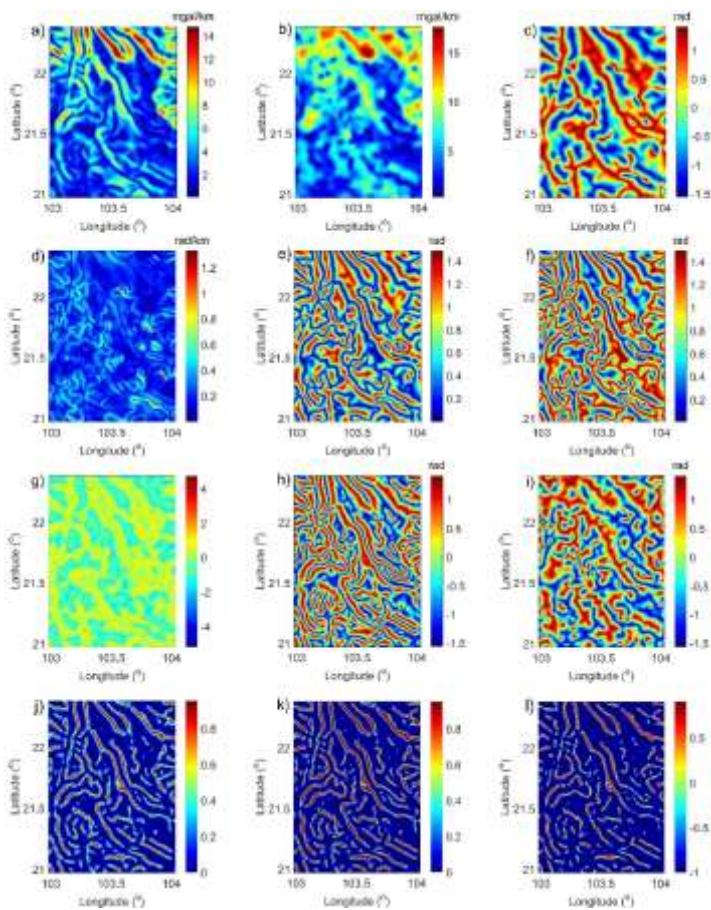
Hình 2.1: Bản đồ dị thường từ hàng không được tính chuyển về cực khu vực trung tâm vùng đất thấp Puget (Hoa Kỳ)



Hình 2.2: (a) THG, (b) AS, (c) TA, (d) THDR, (e) TM, (f) TDX, (g) HTA, (h) TTHG, (i) TAS, (j) LTHG, (k) IL, (l) ETHG.



Hình 2.3: Bản đồ dị thường trọng lực Bouguer khu vực Tuân Giáo.



Hình 2.4: (a) THG, (b) AS, (c) TA, (d) THDR, (e) TM, (f) TDX, (g) HTA, (h) TTHG, (i) TAS, (j) LTHG, (k) IL, (l) ETHG.

2.2. Các phương pháp xác định biên mới áp dụng trực tiếp cho dị thường từ

2.2.1. Cơ sở lý thuyết

Trong phần trước, nghiên cứu sinh đã giới thiệu phương pháp logistic của gradient ngang toàn phần. Tuy nhiên, phương pháp đó yêu cầu việc tính chuyển trường về cực trước khi áp dụng. Để có thể phân tích trực tiếp các dị thường từ, trong phần này, nghiên cứu sinh đề nghị thay thế gradient ngang toàn phần bởi biên độ tín hiệu giải tích AS. Vì biên độ tín hiệu giải tích là một hàm ít phụ thuộc vào hướng từ hóa, do đó, sử dụng các đạo hàm của biên độ tín hiệu giải tích cũng có thể giảm ảnh hưởng của vectơ từ hóa. Sử dụng biên độ tín hiệu giải tích, phương trình (2.3) có thể viết lại như sau:

$$LAS = [1 + \exp(-R_{AS})]^{-\alpha} \quad (2.7)$$

trong đó α là hệ số dương giúp điều chỉnh độ phân giải kết quả xác định biên. Phương pháp trên được gọi là Logistic của biên độ tín hiệu giải tích. Bên cạnh hàm LAS, nghiên cứu sinh cũng giới thiệu hai hàm khác là hàm Tang hyperbolic (HT_p) và một hàm Logistic khác của biên độ tín hiệu giải tích (L_k):

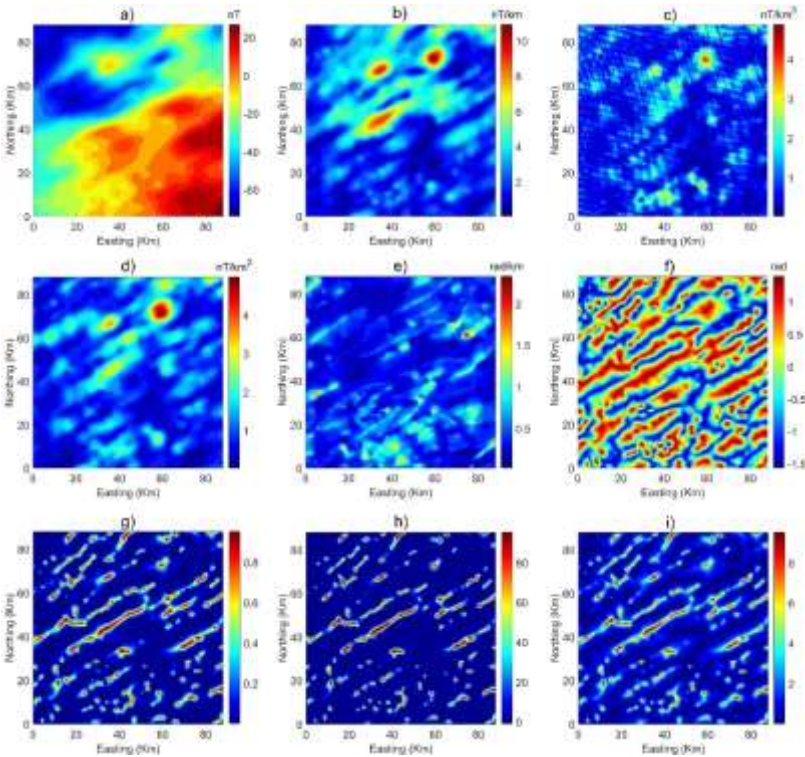
$$HT_p = \frac{e^{R_{AS}} - e^{-R_{AS}}}{p \times e^{R_{AS}} + e^{-R_{AS}}}. \quad (2.8)$$

$$L_k = \frac{1}{k + e^{-R_{AS}}} \quad (2.9)$$

Các hệ số điều chỉnh p và k được quyết định bởi người phân tích cho từng trường hợp cụ thể. Thông thường giá trị của p nằm trong khoảng (0,1; 0,01); và giá trị của k nằm trong khoảng (0; 0,1).

2.1.2. Kết quả áp dụng

Để đánh giá hiệu quả của ba phương pháp LAS, HT_p và L_k, nghiên cứu sinh tiến hành tính toán thử nghiệm trên các mô hình cũng như các ví dụ thực tế. Trong phạm vi bản tóm tắt này, nghiên cứu sinh chỉ trình bày kết quả phân tích bản đồ dị thường từ khu vực Đông Bắc (Hình 2.5a).



Hình 2.5: (a) Bản đồ dị thường từ khu vực Đông Bắc, (b) AS, (c) (AS)₂, (d) THG_AS, (e) AT, (f) TAS, (g) LAS, (h) HT_p, (i) L_k.

Các kết quả thu được từ ba phương pháp được so sánh các kết quả từ phương pháp biên độ tín hiệu giải tích (AS), phương pháp biên độ

tín hiệu giải tích được tăng cường (AS₂), phương pháp gradient ngang của biên độ tín hiệu giải tích (THG_AS), phương pháp biên độ tín hiệu giải tích của góc nghiêng (AT) và phương pháp góc nghiêng của biên độ tín hiệu giải tích (TAS). Quan sát hình vẽ, có thể thấy, cả bốn phương pháp AS, AS₂, THG_AS và AT đều không thể cân bằng các dị thường có biên độ khác nhau. Mặc dù phương pháp TAS không gặp phải vấn đề đó, nhưng các ranh giới thu được từ TAS có độ phân giải thấp. Các hàm LAS, HTp và Lk không những cân bằng các tín hiệu có biên độ khác nhau mà còn cung cấp các hình ảnh với độ phân giải cao hơn các phương pháp khác.

2.3. Phương pháp xác định cực đại cải tiến

2.3.1. Cơ sở lý thuyết

Phương pháp xác định cực đại cải tiến dựa trên phương pháp của Trần Văn Khá và nnk (2018). Sự khác biệt giữa thuật toán của nghiên cứu sinh và thuật toán được phát triển bởi Trần Văn Khá và nnk (2018) là phương pháp của nghiên cứu sinh sử dụng điều kiện $N \geq 1$ thay vì $N \geq 2$, và cách lựa chọn nghiệm. Nếu N vượt quá 1, vị trí cực đại được lựa chọn khi nó nằm trong khu vực trung tâm của cửa sổ 3×3 , và giá trị của nó phải lớn hơn giá trị của các đỉnh khác cùng nằm trong khu vực trung tâm. Trong trường hợp $N = 1$, tiêu chuẩn chấp nhận vị trí cực đại được đưa ra bởi tỉ số:

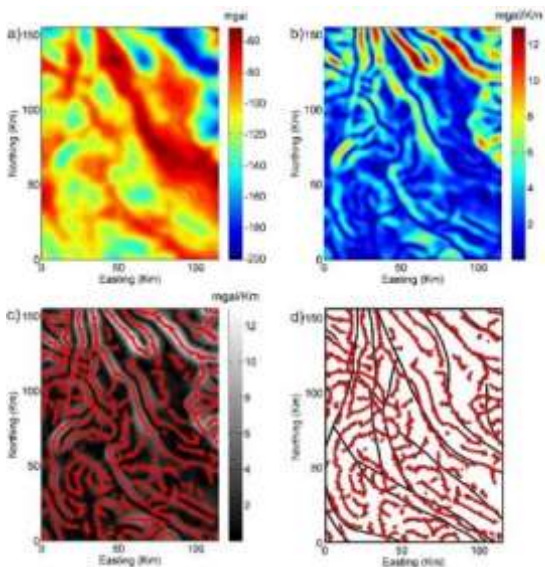
$$k = \frac{2a}{\frac{[1 + (2ax_{max} + b)^2]^{3/2}}{\max(g)}} \quad \text{hoặc} \quad k = \frac{2a}{\max(g)}. \quad (2.10)$$

Với $N = 1$, kết quả thử nghiệm trên các mô hình chỉ ra rằng, thông thường $k < -0.04$ sẽ sinh ra các kết quả tốt nhất. Trong trường hợp

này, cực đại của parabol cũng được chấp nhận chỉ khi nó nằm trong khu vực trung tâm của cửa sổ.

2.3.2. Kết quả áp dụng

Hiệu quả của phương pháp xác định cực đại cải tiến được đánh giá qua phân tích các mô hình và tài liệu thực tế. Ở đây, nghiên cứu sinh trình bày vắn tắt kết quả áp dụng phương pháp cho gradient ngang toàn phần (Hình 2.6b) của dị thường trọng lực Bouguer (Hình 2.6a) khu vực Tuần Giáo. Quan sát Hình 2.6c, có thể thấy, phương pháp đề xuất có thể xác định được tất cả các giá trị cực đại của gradient ngang toàn phần. Các cực đại thu được từ phương pháp đề xuất không chỉ trùng khớp với nhiều đứt gãy mà còn vạch ra nhiều cấu trúc khác trong khu vực (Hình 2.6d).



Hình 2.6. Dị thường trọng lực Bouguer, (b) Gradient ngang toàn phần, (c) Các cực đại của gradient ngang thu được từ phương pháp đề xuất (d) Các cực đại của gradient ngang và hệ thống đứt gãy trong khu vực (Cao Đình Triều và nnk, 1999; Zuchiewicz và nnk, 2004).

CHƯƠNG 3

CÁC PHƯƠNG PHÁP MỚI XÁC ĐỊNH ĐỘ SÂU RANH GIỚI PHÂN CHIA MẬT ĐỘ VÀ RANH GIỚI TỪ TÍNH

3.1. Phương pháp xác định ranh giới phân chia mật độ

3.1.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp

Công thức xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ:

$$h = F^{-1} \left[-\frac{F(\Delta g)e^{|k|z_0}}{2\pi\gamma\rho} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-|k|)^{n-1}}{n!} F[h^n] \right] \quad (3.1)$$

Trong đó: $F[\]$, $F^{-1}[\]$ là kí hiệu của phép biến đổi Fourier và Fourier ngược, Δg là dị thường trọng lực, γ là hằng số hấp dẫn, ρ là mật độ dư, k là số sóng, z_0 độ sâu trung bình. Công thức trên cho phép chúng ta xác định độ sâu giao diện thông qua thủ tục lặp. Sai số bình phương trung bình giữa hai độ sâu của hai vòng lặp liên tiếp là:

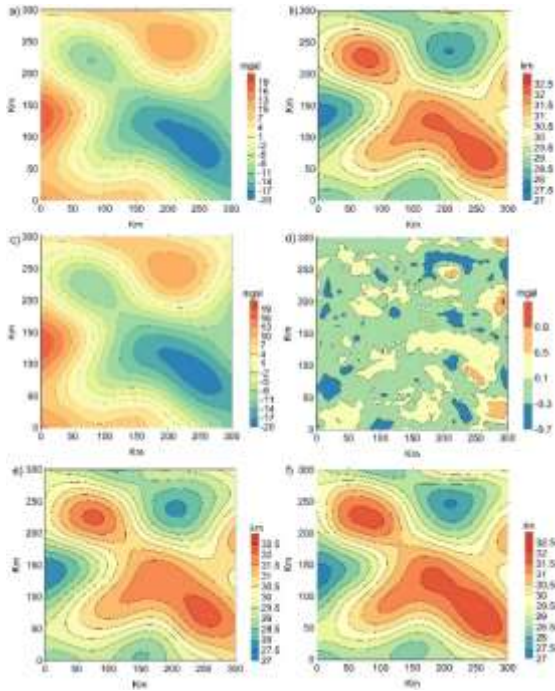
$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (h_{i,j}^{t+1} - h_{i,j}^t)^2}{M \times N}} \quad (3.2)$$

trong đó M và N là số điểm quan sát dọc theo hướng Bắc và hướng Đông, t là số vòng lặp.

Quá trình lặp tự động chấm dứt nếu sai số bình phương trung bình RMS giữa hai giao diện liên tiếp giảm xuống dưới một giá trị cho trước hoặc vượt quá số vòng lặp cho phép. Để giảm ảnh hưởng của hiệu ứng biên, nghiên cứu sinh sử dụng kỹ thuật “đệm không”. Các tham số của bộ lọc thông thấp (để đảm bảo sự hội tụ) được xác định theo đồ thị phổ mật độ năng lượng của dị thường trọng lực.

3.1.2. Kết quả áp dụng

Khả năng áp dụng của phương pháp được khẳng định thông qua phân tích các mô hình và tài liệu thực tế. Tóm tắt này trình bày vắn tắt kết quả phân tích tài liệu trọng lực thực tế (Hình 3.1a) từ khu vực Brittany, Pháp. Hình 3.1b biểu diễn độ sâu Moho thu được từ bài toán ngược. Kết quả này phù hợp với các kết quả được công bố trước đó bởi Gomez-Ortiz và Agarwal (2005) (Hình 3.1e) và Lefort và Agarwal (2000) (Hình 3.1f). Trường trọng lực tính toán từ độ sâu giải ngược cũng trùng khớp với trường quan sát (Hình 3.1c và d).



Hình 3.1: (a) Dị thường trọng lực Bouguer, (b) Độ sâu Moho ở vòng lặp cuối, (c) Dị thường trọng lực tính từ độ sâu giải ngược, (d) Chênh lệch giữa dị thường tính toán và dị thường quan sát, (e) Độ sâu Moho công bố bởi Gomez-Ortiz và Agarwal (2005). (f) Độ sâu Moho công bố bởi Lefort và Agarwal (2000).

3.1. Phương pháp xác định độ sâu bề trầm tích

3.1.1. Cơ sở lý thuyết

Phương pháp đề xuất dựa trên các tính toán thuận trong miền tần số và tính toán ngược trong miền không gian. Sự kết hợp này giúp thực hiện các tính toán nhanh và chính xác và tránh được sự phụ thuộc của bài toán vào độ sâu trung bình và bộ lọc thông thấp.

- Tính toán thuận (Granser, 1987)

$$\Delta g = \frac{2\pi\gamma\Delta\rho_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda z_0}) + 2\pi\gamma\Delta\rho_0 e^{-\lambda z_0} \times F^{-1} \left[\frac{e^{-|k|z_0}}{|k| + \lambda} \left(F(1 - e^{(-\lambda\Delta h)}) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-|k|)^n}{n!} F[e^{-\lambda\Delta h} \Delta h^n] \right) \right] \quad (3.3)$$

- Tính toán ngược (Cordell và Henderson (1968))

Phương pháp đề xuất bắt đầu quá trình lặp bằng một đoán định ban đầu về độ sâu bề trầm tích.

$$h_{(i,j)}^1 = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(1 - \frac{\lambda \Delta g_{obs(i,j)}}{2\pi\gamma\Delta\rho_0} \right) \quad (3.4)$$

trong đó $\Delta g_{obs(i,j)}$ là dị thường quan sát tại điểm (i, j).

Sử dụng độ sâu đoán định ban đầu, dị thường trọng lực của bề trầm tích sau đó được tính toán lại theo phương pháp tần số của Granser và sử dụng để tinh chỉnh độ sâu:

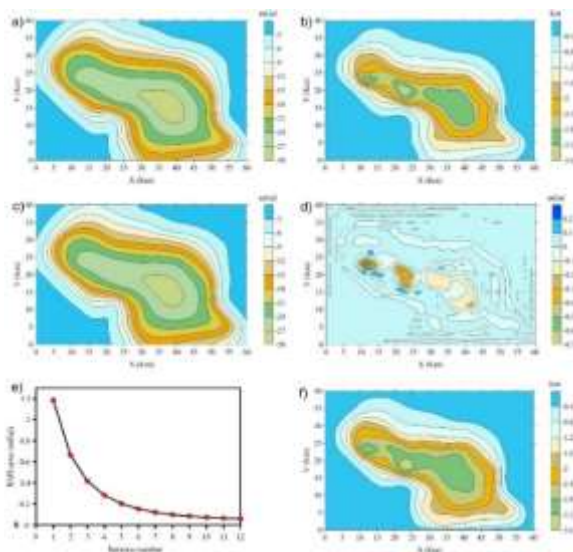
$$h_{(i,j)}^{(t+1)} = \frac{\Delta g_{obs(i,j)}^{(t)}}{\Delta g_{calc(i,j)}^{(t)}} h_{(i,j)}^{(t)} \quad (3.5)$$

Trong đó: t là số vòng lặp, $\Delta g_{calc(i,j)}$ là dị thường trọng lực tính toán tại điểm lưới (i, j). Quá trình lặp tự động chấm dứt khi sai số bình phương trung bình RMS giữa dị thường quan sát và dị thường

tính toán giảm xuống dưới một giá trị cho trước hoặc sai số bình phương trung bình RMS tăng so với giá trị của nó ở vòng lặp trước.

3.2.2. Kết quả áp dụng

Khả năng áp dụng thực tế của phương pháp đề xuất được khẳng định qua việc phân tích dị thường trọng lực (Hình 3.2a) trên bề trầm tích Chintalapudi (Ấn Độ). Có thể thấy từ Hình 3.2b và f, độ sâu thu được từ phương pháp đề xuất tương tự kết quả được công bố bởi Silva and Santos (2017). Hơn nữa, dị thường trọng lực tính toán từ độ sâu giải ngược gần như trùng khớp với dị thường quan sát (Hình 3.2a, c và d). Điều này góp phần khẳng định sự hơn nữa sự đúng đắn của kết quả giải ngược.



Hình 3.2: (a) Dị thường trọng lực. (b) Độ sâu giải ngược (c) Dị thường trọng lực tính toán từ độ sâu giải ngược, (d) Chênh lệch giữa dị thường quan sát và dị thường tính toán, (e) Tốc độ hội tụ của phương pháp, (f) Độ sâu bề Chintalapudi công bố bởi Silva and Santos (2017).

3.3. Phương pháp xác định ranh giới từ tính

3.3.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp

Công thức xác định độ sâu ranh giới từ tính:

$$F[h] = -\frac{F[\Delta T]}{2\pi M C_m \Theta_m \Theta_f |k| e^{(-|k|z_0)}} - \sum_{n=2}^t \frac{(-|k|)^{n-1}}{n!} F[h^n] \quad (3.6)$$

trong đó $F[]$ là biến đổi Fourier của các biến trong ngoặc vuông, ΔT là dị thường từ, M là độ từ hóa dư, $C_m = 10^{-7}$ H/m, Θ_m, Θ_f được cho bởi biểu thức:

$$\Theta_m = \hat{m}_z + i \frac{\hat{m}_x k_x + \hat{m}_y k_y}{|k|}$$
$$\Theta_f = \hat{f}_z + i \frac{\hat{f}_x k_x + \hat{f}_y k_y}{|k|}$$

với $\hat{m} = (\hat{m}_x, \hat{m}_y, \hat{m}_z)$ và $\hat{f} = (\hat{f}_x, \hat{f}_y, \hat{f}_z)$ là hướng từ hóa và hướng của từ trường khu vực.

Công thức trên cho phép chúng ta xác định độ sâu giao diện thông qua thủ tục lặp. Sai số bình phương trung bình giữa hai độ sâu của hai vòng lặp liên tiếp là:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (h_{i,j}^{t+1} - h_{i,j}^t)^2}{M \times N}} \quad (3.7)$$

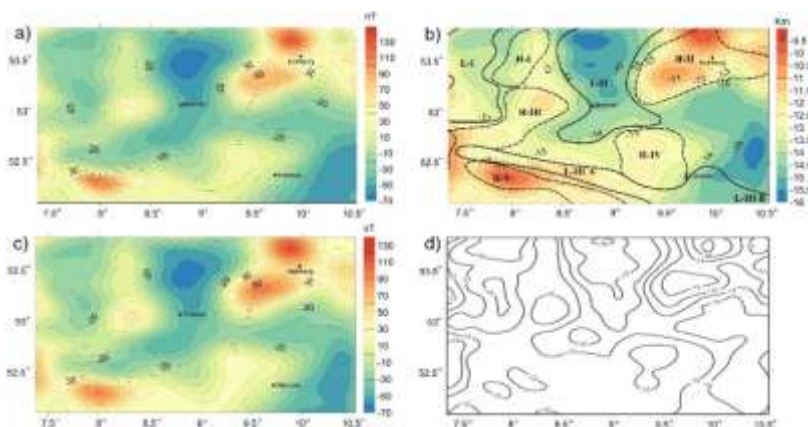
trong đó M và N là số điểm quan sát dọc theo hướng Bắc và hướng Đông, t là số vòng lặp.

Quá trình tinh chỉnh độ sâu được thực hiện đến khi kết thúc số vòng lặp đặt trước, hoặc sai số bình phương trung bình RMS giữa hai độ sâu liên tiếp nhỏ hơn một giá trị cho trước, hoặc sai số bình phương trung bình RMS lớn hơn giá trị của nó ở vòng lặp trước. Tương tự như bài toán xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ,

trong phần này, các thông số của bộ lọc cũng được nghiên cứu sinh xác định dựa trên phổ mật độ năng lượng của dị thường từ. Để giảm ảnh hưởng của lỗi cắt ngắn, kỹ thuật “đệm không” cũng sẽ được sử dụng khi xây dựng chương trình phần mềm.

3.2.2. Kết quả áp dụng

Hiệu quả áp dụng thực tế của thuật toán được khẳng định trong xác định cấu trúc móng từ khu vực Tây Bắc Đức. Có thể thấy, độ sâu móng từ thu được từ phương pháp đề xuất (Hình 3.3b) phù hợp với các đặc điểm và xu hướng cấu trúc móng từ công bố bởi Pratsch (1980) (Hình 3.3b) và cấu trúc móng từ tính toán bởi Hahn và nnk (1976) sử dụng phương pháp phổ thống kê (Hình 3.3d). Dị thường từ tính toán từ độ sâu giải ngược cũng gần như trùng khớp với dị thường quan sát (Hình 3.3a và c).



Hình 3.3: (a) Bản đồ dị thường từ, (b) Cấu trúc móng từ tính toán theo phương pháp trình bày và đặc điểm cấu trúc móng từ theo Pratsch (1980) (kí hiệu L là cấu trúc sâu, H là cấu trúc nông), (c) Dị thường từ tính toán từ độ sâu giải ngược, (d) Cấu trúc móng từ tính toán bởi Hahn và nnk (1976) sử dụng phương pháp phổ thống kê.

KẾT LUẬN

Trong thời gian thực hiện luận án tiến sĩ, nghiên cứu sinh đã:

- Đề xuất mới 03 phương pháp xác định biên ngang áp dụng cho dị thường trọng lực và dị thường từ chuyển về cực, bao gồm: Phương pháp logistic của gradient ngang toàn phần LTHG, phương pháp logistic cải tiến IL và phương pháp gradient ngang toàn phần được tăng cường ETHG.
- Đề xuất mới 03 phương pháp xác định biên ngang có khả năng phân tích trực tiếp các dị thường từ, bao gồm: Phương pháp logistic của biên độ tín hiệu giải tích LAS, phương pháp tang hyperbolic HT_p và một phương pháp logistic L_k khác của biên độ tín hiệu giải tích.
- Đề xuất cải tiến 01 phương pháp xác định cực đại nhằm xác định chính xác và đầy đủ hơn các vị trí cực đại phản ánh biên của nguồn.
- Nâng cao hiệu quả 01 phương pháp xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ bằng cách sử dụng phổ mật độ năng lượng dị thường và kỹ thuật “đệm không”.
- Đề xuất mới 01 phương pháp xác định độ sâu bề trầm tích.
- Đề xuất mới 01 phương pháp xác định độ sâu ranh giới từ tính.

Thông qua việc nghiên cứu, tính toán thử nghiệm trên mô hình cũng như áp dụng thực tế các phương pháp kể trên, có thể đưa ra một số kết luận sau:

1. Phương pháp LTHG, IL, ETHG, LAS, HT_p và L_k không chỉ hiệu quả trong việc cân bằng các dị thường có biên độ

khác nhau, mà còn cung cấp kết quả xác định biên với độ chính xác và độ phân giải cao hơn kết quả thu được từ các phương pháp được sử dụng phổ biến khác. Hơn nữa, các phương pháp LAS, HT_p và L_k có áp dụng để phân tích trực tiếp các dị thường từ.

2. So với các phương pháp hiện có, phương pháp xác định cực đại cải tiến có khả năng xác định chính xác và đầy đủ hơn các vị trí cực đại, do đó bổ sung và làm rõ hơn các biên của nguồn.
3. Hai phương pháp xác định ranh giới phân chia mật độ và độ sâu ranh giới từ tính có ưu điểm vượt trội về tốc độ tính toán. Việc sử dụng phổ năng lượng trung bình để xác định các thông số bộ lọc và kỹ thuật “đệm không” để giảm hiệu ứng biên đã góp phần nâng cao hiệu quả của các phương pháp đó.
4. Phương pháp xác định độ sâu ranh giới phân chia mật độ không chỉ hiệu quả trong việc cải thiện tốc độ tính toán mà còn cung cấp kết quả với độ chính xác rất cao. Khi sử dụng tổ hợp phương pháp đề xuất không yêu cầu phải biết trước độ sâu trung bình và bộ lọc thông thấp.

Danh mục công trình khoa học của tác giả liên quan đến luận án:

1. **Pham Thanh Luan**, Do Duc Thanh (2017), “Estimation of sedimentary basin depth using the hybrid technique for gravity data”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, 33(2), 48-52 (Tập chí trong nước).
2. **Luan Thanh Pham**, Erdinc Oksum, Thanh Duc Do (2018), “GCH_gravinv: A MATLAB-based program for inverting gravity anomalies over sedimentary basins”, *Computers & Geosciences*, 120, 40–47 (Tập chí SCI-ISI).
3. **Pham Thanh Luan**, Le Huy Minh, Erdinc Oksum, Do Duc Thanh, (2018), “Determination of maximum tilt angle from analytic signal amplitude of magnetic data by the curvature-based method”, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 40(4), 354-366 (Tập chí ESCI-ISI).
4. **Luan Thanh Pham**, Thanh Duc Do, Erdinc Oksum (2018), “A new method for edge detection in interpretation of potential field data”, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(4), 637-642 (Tập chí quốc tế).
5. **Luan Thanh Pham**, Erdinc Oksum, Thanh Duc Do, Le Huy Minh (2018), “New method for edges detection of magnetic sources using logistic function”, *Geofizicheskiy Zhurnal*, 40(6), 127-135 (Tập chí ESCI-ISI).
6. **Luan Thanh Pham**, Erdinc Oksum, Thanh Duc Do (2019), “Edge enhancement of potential field data using the logistic function and the total horizontal gradient”, *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54, 143-155 (Tập chí SCIE-ISI).
7. **Pham Thanh Luan**, Do Duc Thanh, Erdinc Oksum, Le Thi Sang (2019), “Estimation of Curie point depths in the Southern Vietnam continental shelf using magnetic data”, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 41(3), 216-228 (Tập chí ESCI-ISI).
8. **Luan Thanh Pham**, Erdinc Oksum, David Gómez-Ortiz, Thanh Duc Do (2020), “MagB_inv: A Hinh performance Matlab program for estimating the magnetic basement relief by inverting magnetic anomalies”, *Computers & Geosciences*, 134, 104347 (Tập chí SCI-ISI).
9. **Luan Thanh Pham**, Erdinc Oksum, Thanh Duc Do, Minh Le-Huy, Minh Duc Vu, Vinh Duc Nguyen (2019), “LAS: A combination of the analytic signal amplitude and the generalised logistic function as a novel edge enhancement of magnetic data”, *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 49 (4), 425-440 (Tập chí ESCI-ISI / Scopus).
10. Erdinc Oksum, Mustafa Nuri Dolmaz, **Luan Thanh Pham** (2019), “Inverting gravity anomalies over the Burdur sedimentary basin, SW

Turkey”, *Acta Geodaetica et Geophysica*, 54(4), 445–460 (Tập chí SCIE-ISI).

11. Mustafa Nuri Dolmaz, Erdinc Oksum, **Luan Thanh Pham** (2019), “An Attempt to Depth Estimate and Boundaries of Burdur Sedimentary Basin, SW Turkey Using Geophysical Methods”, *International Conferences on Science and Technology Engineering Science and Technology* (ICONST EST 2019) (Kỷ yếu hội nghị Quốc tế).
12. **Pham Thanh Luan**, Vu Duc Minh, Erdinc Oksum (2019), “Determination of Source Parameters of Simple-shaped Geologic Subsurface Structures from Self-potential Anomalies Using Enhanced Local Wavenumber Method”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, 35(1), 83-95 (Tập chí trong nước).
13. **Luan Thanh Pham**, Tich Van Vu, Sang Thi Le, Phuong Thi Trinh (2020), “Enhancement of potential field source boundaries using an improved logistic filter”, *Pure and Applied Geophysics*, 10.1007/s00024-020-02542-9 (Tập chí SCI-ISI).
14. **Luan Thanh Pham**, Erdinc Oksum, Thanh Duc Do, Minh Duc Vu (2020), “Comparison of different approaches of computing the tilt angle of the total horizontal gradient and tilt angle of the analytic signal amplitude for detecting source edges”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 16. DOI: 10.19111/bulletinofmre.746858 (Tập chí ESCI-ISI / Scopus).
15. Ahmed Mohammed Eldosouky, **Luan Thanh Pham**, Hassan Mohammed, Biswajeet Pradhan (2020), “A comparative study of THG, AS, TA, Theta, TDX and LTHG techniques for improving source boundaries detection of magnetic data using synthetic models: a case study from G. Um Monqul, North Eastern Desert, Egypt”, *Journal of African Earth Sciences*, 170, 103940 (Tập chí SCIE-ISI).
16. **Luan Thanh Pham** (2020), “A comparative study on different methods for calculating gravity effect of an uneven layer: Application to computation of Bouguer gravity anomaly in the East Vietnam Sea and adjacent areas”, *VNU Journal of Science: Mathematics – Physics*, 36(3), 106-114 (Tập chí trong nước).
17. **Luan Thanh Pham** (2020), “A comparative study on different filters for enhancing potential field source boundaries: synthetic examples and a case study from the Song Hong Trough (Vietnam)”, *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 723 (Tập chí SCIE-ISI).