

ĐẶC TRƯNG HOẠT ĐỘNG ĐỘNG ĐẤT KHU VỰC NAM TRUNG BỘ

CAO ĐÌNH TRỌNG¹, MAI XUÂN BÁCH¹, PHẠM NAM HÙNG¹, THÁI ANH TUẤN¹;
LÊ VĂN DŨNG¹; ĐÌNH QUỐC VĂN¹, CAO ĐÌNH TRIỀU²

¹ Viện Vật lý Địa cầu, Số A8/18 Hoàng Quốc Việt, Quận Cầu Giấy, TP Hà Nội

² Viện Địa vật lý ứng dụng, Số 210 Đội Cấn, Quận Ba Đình, TP Hà Nội

Tác giả liên hệ: cdtrieu@gmail.com

Tóm tắt: Nội dung chính của bài báo này là xác định: quy luật biểu hiện hoạt động, nguồn phát sinh và đánh giá động đất cực đại (M_{max}) khu vực Nam Trung Bộ. Kết quả nghiên cứu cho thấy: Đặc trưng hoạt động động đất biểu hiện qua các giá trị sau: độ dốc đồ thị lặp lại $b = 0,67$ và $a = 1,91$; động đất cực tiểu đại diện, $M_{min} = 2,6$; bề dày tầng hoạt động khoảng 16 km (từ độ sâu 2km đến độ sâu 18 km). Tồn tại 8 vùng nguồn có nguy cơ phát sinh động đất cấp độ mạnh trên 5,0 ($M \geq 5,0$), bao gồm: 1) Tánh Linh; 2) Thuận Hải - Minh Hải; 3) Bắc Cửu Long; 4) Cửu Long; 5) Nam Cửu Long; 6) Đông Phú Quý; 7) Cảnh Dương; và 8) Sông Sài Gòn. Động đất cực đại (M_{max}) xác định theo các phương pháp khác nhau có giá trị tương ứng: a) Bài toán mạng nơron nhân tạo, $M_{max} = 5,5$; b) Trên cơ sở tiếp cận hàm Gumbel loại I cải tiến, $M_{max} = 5,47$; c) Trên cơ sở quan hệ Tần số - Cấp độ mạnh, $M_{max} = 5,9$. Động đất mạnh nhất có thể xảy ra tại nguồn Thuận Hải - Minh Hải ($M_{max} = 6,0$). Các nguồn còn lại có giá trị cực đại động đất đạt 5,0 ÷ 5,5.

Từ khóa: nguồn phát sinh động đất, tính địa chấn, động đất cực đại, Nam Trung Bộ.

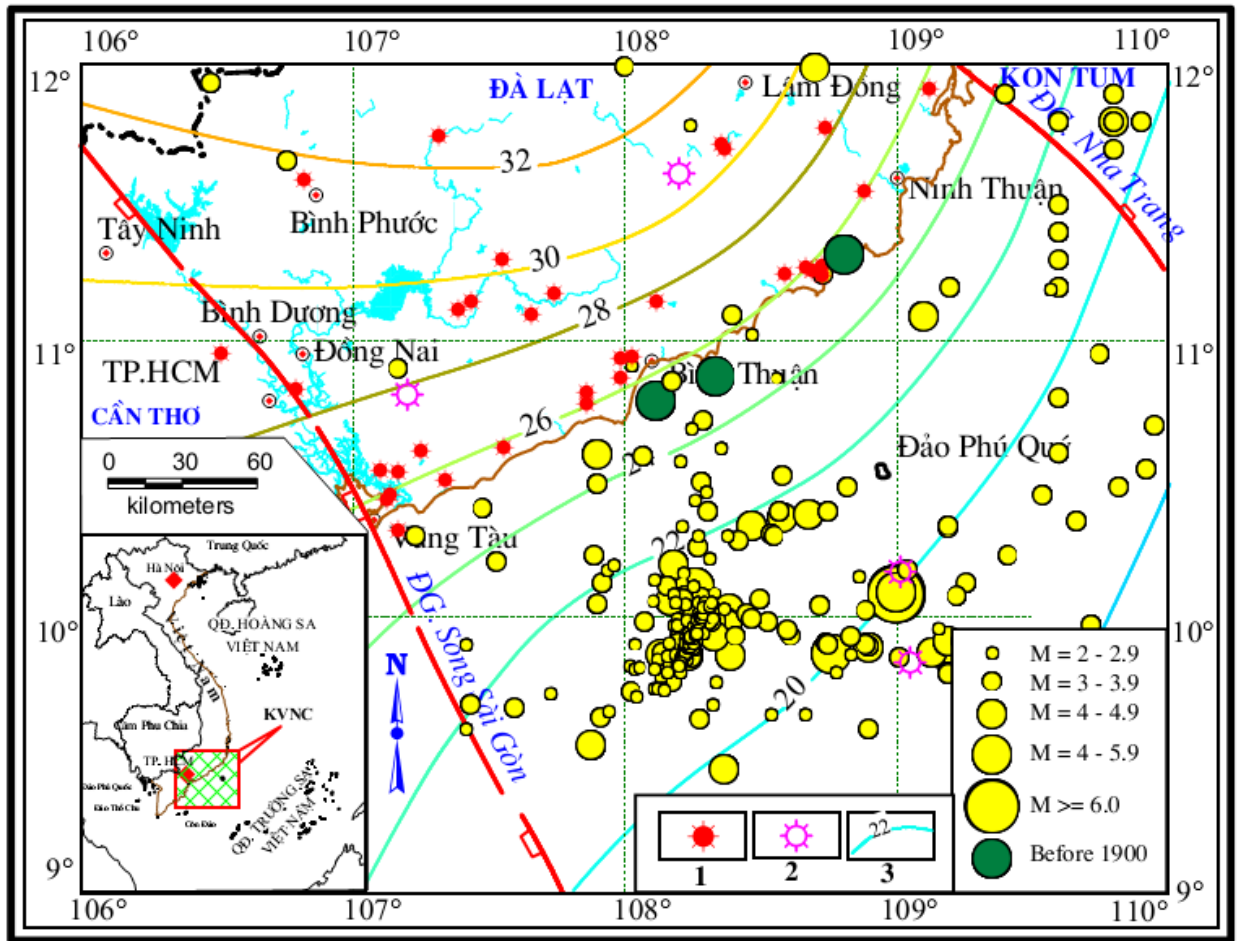
1. Mở đầu

Do có biểu hiện hoạt động động đất ít tích cực nên kết quả nghiên cứu về động đất tại Nam Trung Bộ chỉ được đề cập không nhiều, trong một số công bố mang tính khu vực. (Phuong và nnk, 2014, 2019; Triều, 2010; Xuyên, 2004). Trong khi đó, Nam Trung Bộ lại là nơi có tốc độ phát triển kinh tế lớn nhất Việt Nam. Một số lĩnh vực kinh tế chủ chốt như khai thác dầu khí, công nghiệp hóa dầu, năng lượng (điện hạt nhân Ninh Thuận, nhiệt điện Ninh Thuận, điện gió Bình Thuận, ...); cảng biển Vũng Tàu, Cam Ranh; khu kinh tế Bình Dương, Đồng Nai; các thành phố lớn với mật độ dân cư cao đã và đang được xây dựng và phát triển. Chính vì lẽ đó, việc nghiên cứu xác định vùng nguồn phát sinh động đất và đánh giá động đất cực đại là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao. Kết quả của hướng nghiên cứu này sẽ trực tiếp góp phần quan trọng trong đánh giá độ nguy hiểm động đất khu vực Nam Trung Bộ.

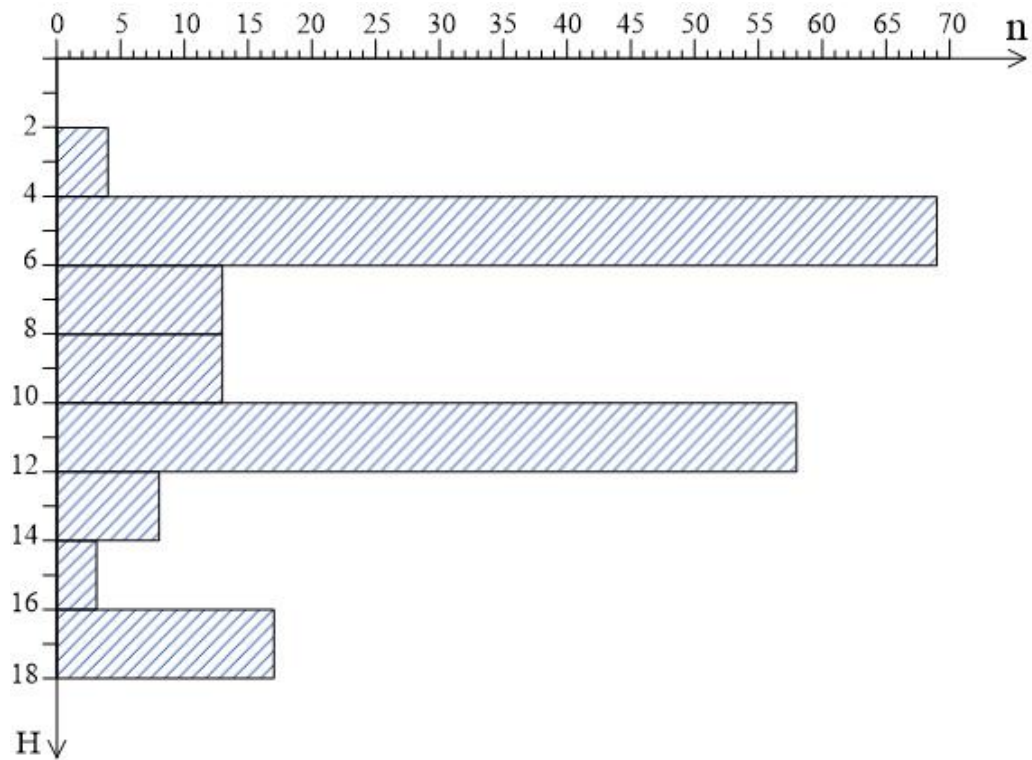
Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả đề cập tới vấn đề nghiên cứu đặc điểm biểu hiện hoạt động, xác định vùng nguồn phát sinh và đánh giá động đất cực đại (M_{max}).

2. Đặc điểm cấu trúc địa chất

Khu vực nghiên cứu (Hình 1) nằm gọn trong phụ khối Đà Lạt, thuộc khối địa động lực hiện đại Đà Lạt - Cần Thơ, mà đứt gãy Sông Sài Gòn là ranh giới phía Nam với phụ khối Cần Thơ. Trong khi đó, khối Đà Lạt - Cần Thơ nằm ở phần phía Đông - Đông Nam vi mảng Indosinia, một khối nâng phân dị kiểu khối tảng và bị bóc mòn trong Kainozoi (Bao và nnk, 2001; Xuyên, 1996; Kha, 2018; Linh, 2008; Triều, 2013; Trọng, 2012). Bề dày vỏ Trái đất phụ khối Đà Lạt có xu hướng tăng dần từ Đông Nam (khoảng 20km tại ven biển Vũng Tàu) lên Tây Bắc (Hình 1) và đạt 32 km tại Đà Lạt (Triều, 2005, 2019). Với biểu hiện hoạt động núi lửa trong Neogen (Đồng Nai, đảo Hòn Tro), xuất lộ nước nóng dọc ven biển từ Ninh Thuận đến Vũng Tàu cho thấy vỏ Trái đất tại phụ đới này có biểu hiện hoạt động tích cực trong hiện đại (Triều và nnk, 2013, 2019).



Hình 1. Bề dày vỏ Trái Đất, biểu hiện hoạt động động đất và địa nhiệt Nam Trung Bộ: 1/ Núi lửa trong Holocen; 2/ Xuất lộ nước nóng trên bề mặt; 3/ Đường đẳng dày vỏ Trái Đất; 4/ Chấn tâm động đất (Triều, 2005, 2013)

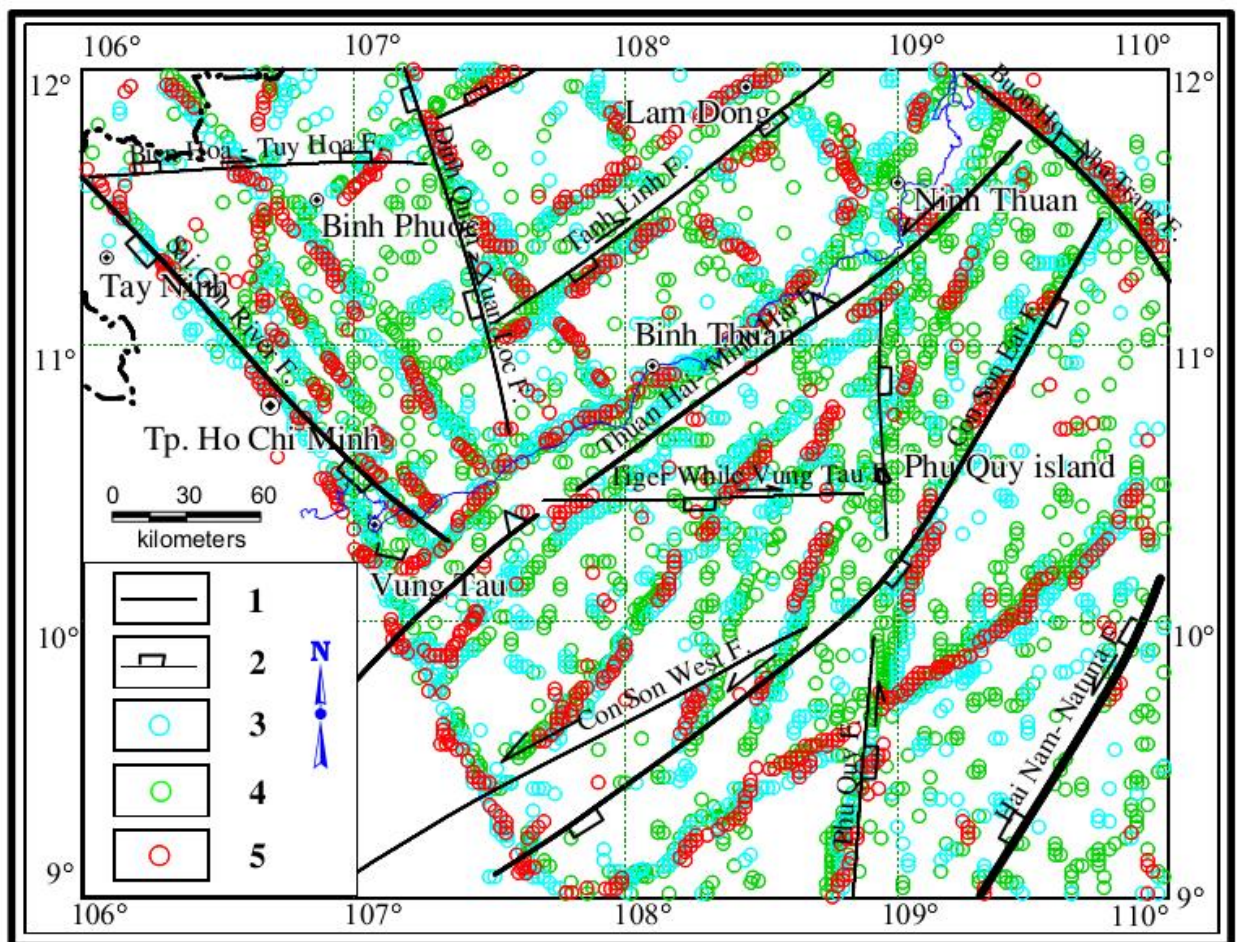


Hình 2. Phân bố chấn tiêu động đất theo độ sâu khu vực Nam Trung Bộ (phản ánh bề dày tầng phát sinh động đất)

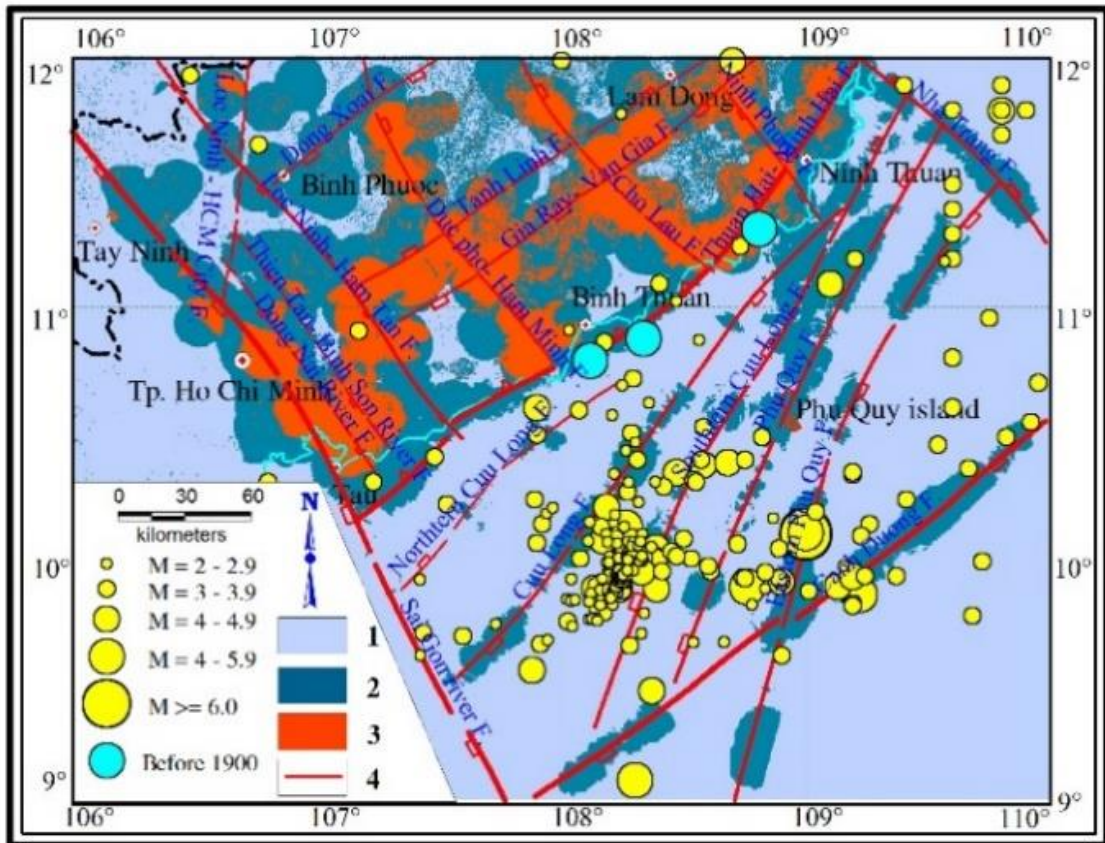
3. Đặc trưng hoạt động động đất

3.1. Danh mục động đất

Nguyễn Đình Xuyên và nkk, 2004 và Cao Đình Triều, 2010 đều cho rằng hoạt động động đất khu vực Nam Trung Bộ là không mạnh so với Tây Bắc Việt Nam và cho rằng cấp độ mạnh cực đại của động đất ở đây không vượt quá 6,0. Theo ghi chép lịch sử thì cũng đã có một số động đất có $M=5,0\div5,5$ xảy ra tại khu vực này trước thế kỷ 20, chẳng hạn: Tại Bình Thuận năm 1715 ($M=4,0\div5,0$) và năm 1877 ($M=5,0\div5,5$); Tại Ninh Thuận, năm 1882 ($M=5,0\div5,5$). Viện Vật lý Địa cầu (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) là cơ quan quản lý số liệu động đất ở Việt Nam, chịu trách nhiệm cập nhật số liệu động đất hàng năm (Hùng và nkk, 2009; Triều và nkk, 2010, 2013, 2019). Do chiến tranh và việc ít chú trọng đến động đất trong ghi chép lịch sử nên danh mục động đất có được tại Viện Vật lý Địa cầu còn thiếu tính đầy đủ về số liệu và độ chính xác xác định M cũng còn thấp. Sai số xác định M theo tài liệu ghi chép lịch sử và điều tra trong nhân dân có lẽ không nhỏ hơn 1,0 đơn vị M . Chỉ từ sau năm 2002, khi đã có 7 trạm quan sát động đất lắp đặt tại khu vực này thì các trận động đất có $M\geq 2,0$ mới có thông tin đầy đủ (Hùng và nkk, 2009; Triều và nkk, 2013, 2019; Phương và nkk, 2014, 2019). Chính vì vậy, để có một danh mục động đất tốt nhất các tác giả đã phải thu thập thêm tài liệu động đất của ISC (Xuyên, 1996). Thuật toán CN (Peresan và nkk, 2000; Triều, 2010) đã được sử dụng để phân tích, so sánh, đối chiếu và đưa ra một danh mục động đất đáng tin cậy nhất từ 1900 đến 2019 (Hình 1, Hình 2, Hình 4), phục vụ cho nghiên cứu quy luật biểu hiện, xác định nguồn phát sinh và dự báo M_{max} động đất Nam Trung Bộ.



Hình 3. Phân bố đứt gãy địa chất sâu (Triều, 2005, 2019) và giá trị gradient cực đại (G_{max}) trường trọng lực Bouguer tại các độ sâu khác nhau: 1-Đứt gãy thuận; 2-Đứt gãy nghịch; 3- G_{max} tại độ cao nâng trường 2 km; 4- G_{max} tại độ cao nâng trường 6km; 5- G_{max} tại độ cao nâng trường 10km.



Hình 4. Chấn tâm động đất và mức độ biểu hiện hoạt động của đứt gãy: 1-Không biểu hiện hoạt động; 2-Biểu hiện hoạt động mức trung bình; 3-Biểu hiện hoạt động mạnh; 4-Đứt gãy hoạt động được phát hiện theo nguyên lý địa mạo kiến tạo (sử dụng công nghệ GIS).

3.2. Biểu hiện hoạt động động đất

Động đất Nam Trung Bộ chủ yếu xảy ra tại đới bờ và ven biển từ Nha Trang tới Vũng Tàu. Cụm động đất theo tài liệu lịch sử, có cấp độ mạnh $M=5,0-5,5$, tập trung chủ yếu dọc ven biển Ninh Thuận – Bình Thuận. Trong khi đó, cụm động đất ghi nhận được trong thời kỳ 2004-2010 có cấp độ mạnh quan sát cực đại, $M=5,3$, lại tập trung tại vùng biển Vũng Tàu (Hình 1).

Động đất cực tiểu tin cậy (M_c) là giá trị quan trọng, thể hiện ngưỡng giá trị nhỏ nhất của tính địa chấn khu vực nghiên cứu. Việc lựa chọn ngưỡng M_c phụ thuộc vào chênh lệch giá trị hàm Gutenberg-Richter (GR) thu được theo thực tế và theo thống kê (So, 1983; Tuncel, 1974; Triều và nnk, 2010, 2013, 2019; Trong, 2012). Giá trị M_c Nam Trung Bộ được xác định 2,6 với các giá trị thông số tính toán của hàm GR theo phương pháp thống kê (Least Square Fit) đạt sai số thấp nhất, MSE (Mean Square Error) đạt giá trị 0,01183 (Bảng 1), tính toán được lập trình trong môi trường ngôn ngữ lập trình Matlab. Hàm phân bố GR khu vực nghiên cứu có dạng:

$$\log(N(M)/T) = 1,91 - 0,67 * M \quad (1)$$

Trong đó T-khoảng thời gian quan sát của danh mục động đất, N(M)-số trận động đất có magnitude lớn hơn hoặc bằng M. Trên cơ sở hàm (1) ta có: $b=0,67$ và hệ số $a=1,91$ (Hiền và nnk, 2016).

Bảng 1. Khoảng Magnitude và MSE trong tính toán hàm phân bố Gutenberg Richter

Khoảng magnitude	MSE
2,5-5,3	0,01227
2,6-5,3	0,01183

2,7-5,3	0,01206
2,8-5,3	0,01312
2,9-5,3	0,01428
3,0-5,3	0,01566

Độ sâu tầng hoạt động động đất được biểu diễn trong hình 2, được xác định trên cơ sở phân bố giữa độ sâu chấn tiêu và số trận động đất có chấn tiêu nằm ở độ sâu tương ứng, có giá trị khoảng 16km (từ độ sâu 2 km đến độ sâu 18 km, hình 2).

4. Nguồn phát sinh động đất

Một quy trình gồm ba bước được tiến hành nhằm phát hiện các nguồn phát sinh động đất khu vực Nam Trung Bộ, gồm (Peresan và nnk, 2000; Triều, 2010): 1/ Phát hiện các đứt gãy địa chất sâu trên cơ sở tài liệu địa chất - địa vật lý (đối với khu vực nghiên cứu các tác giả chỉ tính toán gradient cực đại (G_{max}) dị thường trọng lực Bouguer, kết hợp với tham khảo các kết quả nghiên cứu trước đó); 2/ Nhận dạng đứt gãy hoạt động trên cơ sở kỹ thuật GIS; và 3/ Đối phát sinh động đất được hiểu là đứt gãy hoạt động đã phát sinh động đất có cấp độ mạnh $M \geq M_{min}$.

4.1. Sơ đồ phân bố G_{max} dị thường trọng lực Bouguer

Phương pháp gradient ngang toàn phần cực đại cho tài liệu trọng lực hoặc từ lần đầu tiên được công bố bởi hai tác giả Blakely và Simpson năm 1986 để xác định biên cấu trúc địa chất với giá trị mật độ khác nhau. Định hướng này song song phát triển với phân tích đạo hàm giá trị biến thiên tài liệu địa vật lý (Triều, 2005; Kha và nnk, 2018).

Gradient ngang toàn phần (G) trên lưới số liệu dị thường trọng lực Bouguer (hay từ) được tính theo công thức (Kha và nnk, 2018):

$$G = \sqrt{\left(\frac{\Delta g(x,y)}{dx}\right)^2 + \left(\frac{\Delta g(x,y)}{dy}\right)^2} \quad (2)$$

Với $\Delta g(x,y)$ là biến thiên Bougure.

Khu vực nghiên cứu được chia lưới theo i và j , giá trị gradient ngang ở trung tâm sẽ được so sánh với 8 giá trị, tương đương với 4 đỉnh và 4 trung tâm của cạnh hình vuông mà điểm so sánh nằm ở trung tâm. Nếu tồn tại giá trị lớn nhất thì phải thỏa mãn ít nhất 2 trong số những điều kiện sau:

$$\begin{aligned} G_{i-1,j} < G_{i,j} > G_{i+1,j}, \\ G_{i,j-1} < G_{i,j} > G_{i,j+1}, \\ G_{i+1,j-1} < G_{i,j} > G_{i-1,j+1}, \\ G_{i-1,j-1} < G_{i,j} > G_{i+1,j+1} \end{aligned} \quad (3)$$

Giá trị lớn nhất của được tính toán theo đạo hàm đa thức bậc hai [22], ví dụ:

Nếu $G_{i-1,j} < G_{i,j} > G_{i+1,j}$, vị trí mà có giá trị đạt lớn nhất của $G_{i,j}$ là $x_{max} = \frac{-b}{2a}$,

Với $a = \frac{(G_{i-1,j} - 2G_{i,j} + G_{i+1,j}))}{2d^2}$, $b = \frac{(G_{i+1,j} - G_{i-1,j})}{2d}$, $d = \text{khoảng cách tới hai điểm gần nhất}$

trong lưới chia.

Giá trị gradient toàn phần cực đại tại điểm x_{max} được tính theo công thức:

$$G_{max} = ax_{max}^2 + bx_{max} + G_{i,j} \quad (4)$$

G_{max} phân bố theo dạng tuyến sẽ phản ánh sự tồn tại của đứt gãy (Triều và nnk, 2002, 2005, 2013, 219).

Nhằm mục đích tìm hiểu hướng cắm của đứt gãy, chúng tôi tính toán giá trị M_{max} tại các mức nâng trường lên độ cao tương ứng là 2km, 6km và 10km. Cho rằng: a) Thành phần trường được nâng lên cao sẽ phản ánh cấu trúc ở độ sâu tương ứng; b) Xu thế dịch chuyển của G_{max} theo độ sâu sẽ phản ánh hướng cắm của đứt gãy (Triều, 2019). Kết quả tính toán được thể hiện trên hình 3 và chúng ta cũng dễ dàng nhận

ra sự không trùng hợp hoàn toàn của hệ thống đứt gãy được xác lập trước đây (Triều, 2005, 2019) và phân bố Gmax. Tạo nên sự không trùng hợp hoàn toàn này là do tỷ lệ nghiên cứu và độ chi tiết của tài liệu sử dụng. Công bố (Triều, 2005, 2019) được thiết lập cho toàn lãnh thổ Việt Nam và ở tỷ lệ 1:1 000 000, trong khi tỷ lệ tài liệu sử dụng trong nghiên cứu này có độ chi tiết ở tỷ lệ 1:200 000. Với quan điểm cho rằng Gmax phản ánh vị trí của đứt gãy địa chất sâu nên chúng tôi sử dụng nó như một trong những đại lượng quan trọng cho việc xác lập đứt gãy hoạt động, sử dụng công nghệ GIS.

4.2. Nhận dạng đới đứt gãy hoạt động trên cơ sở kỹ thuật GIS

1. Xác lập hệ tiêu chí nhận dạng đứt gãy hoạt động

Bài toán nhận dạng được sử dụng nhằm mục đích sử dụng mẫu chuẩn là đứt gãy hoạt động đã xảy ra, từ đó so sánh đứt gãy đang nghiên cứu với mẫu chuẩn để xây dựng các tiêu chí nhận dạng đứt gãy hoạt động. Mẫu chuẩn được sử dụng cho bài toán này là đứt gãy Sơn La, đoạn chạy qua thị trấn Tuần Giáo, nơi xảy ra trận động đất Tuần Giáo năm 1983 (Hiền và nnk, 2016; Triều, 2010). Trận động đất này được xác định là có cấp độ mạnh 6,7 và là trận động đất duy nhất ở Việt Nam được nghiên cứu một cách chi tiết và định lượng nhất về cơ cấu chấn tiêu. Kết quả nghiên cứu trận động đất này có thể được sử dụng như một hình mẫu trong việc thẩm định các công thức thực nghiệm của thế giới khi áp dụng cho Việt Nam cũng như việc phân tích các tiêu chí nhận dạng đứt gãy hoạt động. Trên cơ sở nghiên cứu xác lập đứt đoạn đứt gãy trong động đất này, các tác giả đã đưa ra hệ thống gồm 9 tiêu chí nhận dạng đứt đoạn đứt gãy hoạt động phục vụ tính toán cực đại động đất cho Việt Nam. Đối với khu vực Nam Trung Bộ chỉ rút ra được 7 tiêu chí tiêu biểu nhận dạng đứt gãy hoạt động sau: DH1- Độ dốc địa hình biểu hiện sự phân cắt địa hình; DH2- Mật độ điểm xuất lộ nước nóng trong diện tích một ô lưới được chia theo diện phủ đầy; DH3- Mật độ, độ dài sông ngòi; DH4- Mật độ lineament theo tổng chiều dài; DH5- Mật độ điểm trượt- sạt lở đất; DH6- Mật độ điểm Gmax; và DH7- Mật độ độ dài của các đứt gãy địa chất.

2. Phân cấp các nhân tố

Phân cấp mức độ hoạt động của đứt gãy khu vực Nam Trung Bộ biểu thị sự phân loại các vùng có đặc trưng đứt gãy hoạt động khác nhau. Mức độ biểu hiện đặc trưng vùng đứt gãy hoạt động được phân loại theo ba cấp: 1/ Đứt gãy không có biểu hiện hoạt động (hoặc biểu hiện hoạt động rất yếu), 2/ Đứt gãy hoạt động trung bình, 3/ Đứt gãy hoạt động mạnh. Các yếu tố thành phần như mật độ lineament, đứt gãy địa chất, điểm nước nóng, ... đều được phân định thành 3 cấp theo mức độ đứt gãy hoạt động nêu trên.

3. Tính trọng số dựa trên phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (Analytic Hierarchy Process – AHP)

Có rất nhiều yếu tố biểu hiện cho một đứt gãy hoạt động, tuy nhiên vai trò của chúng là không hoàn toàn giống nhau. Vì vậy, việc xác định trọng số cho mỗi nhân tố này là rất cần thiết. Phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) (hay còn gọi là phương pháp mô hình p -trọng số) là một phương pháp bán định lượng được Saaty T.L. (1980) xây dựng và phát triển (Hiền và nnk, 2016; Saaty và nnk, 1994, 1995). Nội dung của phương pháp bao gồm việc xây dựng một hệ thống các cặp ma trận so sánh giữa các yếu tố khác nhau cho đứt gãy hoạt động. Giá trị so sánh giữa hai tiêu chí được lựa chọn như sau: 1 với tầm quan trọng như nhau; 3 quan trọng hơn một chút; 5 quan trọng hơn; 7 quan trọng hơn rất nhiều và quan trọng nhất. Việc lựa chọn giá trị so sánh giữa hai tiêu chí phụ thuộc vào kinh nghiệm đánh giá của chuyên gia cho từng bài toán cụ thể. Thước đo cho việc phân loại và đánh giá trọng số là chỉ tiêu nhất quán CR (consistency ratio). Giá trị của CR từ 0,1 trở về sẽ chứng tỏ bài toán phân cấp được sử dụng một cách hiệu quả. Cách tiếp cận này có thể được mô tả như là sự phân bậc tầm quan trọng của các nhân tố đối với việc nhận dạng đứt gãy hoạt động, mỗi nhân tố được so sánh với các nhân tố khác để xác định tầm quan trọng của chúng (Bảng 2).

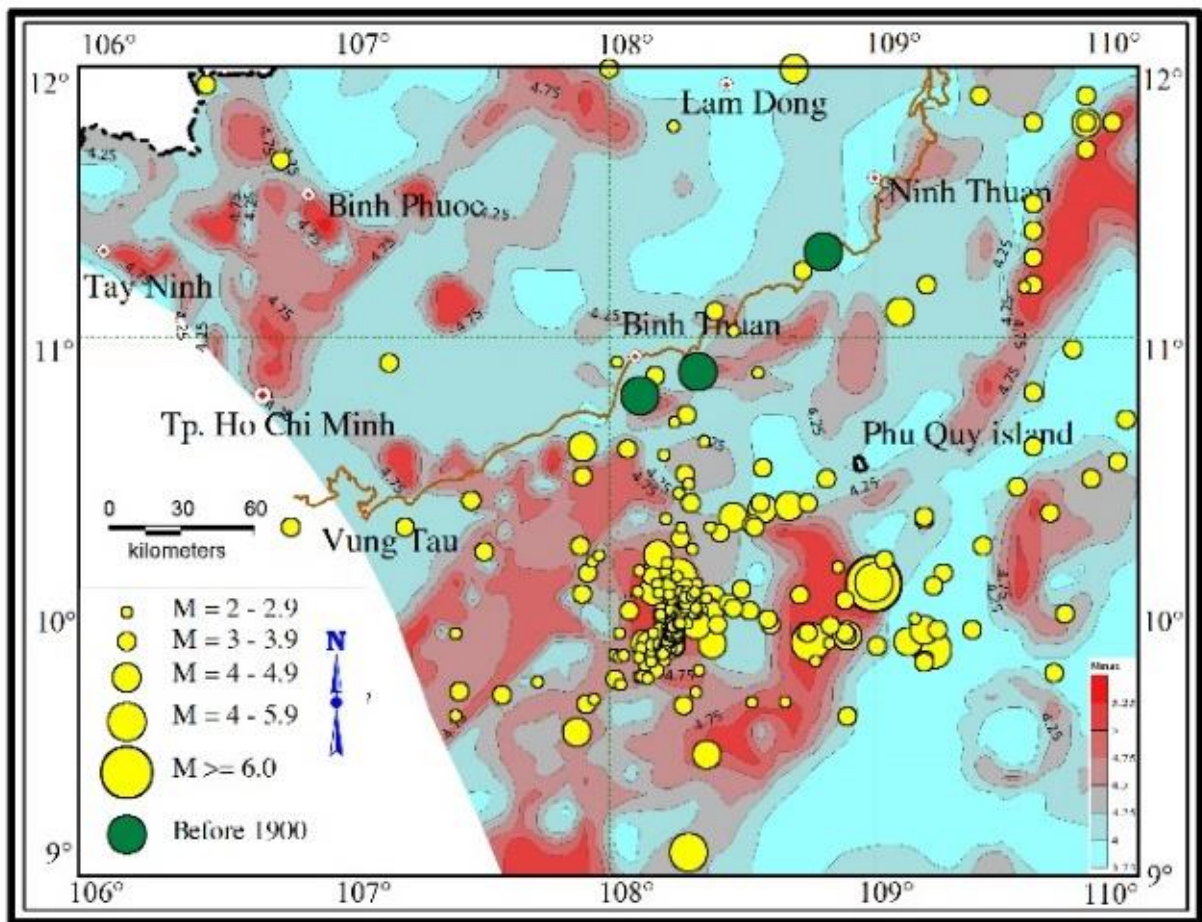
Để tính toán trọng số cho các thành phần sử dụng vector nguyên lý Eigen. Có thể tính toán gần đúng vector nguyên lý Eigen bằng cách chia từng giá trị mỗi cột cho tổng giá trị của từng cột để thiết lập ma trận mới. Lúc này giá trị trung bình của hàng là trọng số cho mỗi yếu tố theo công thức:

$$W_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (5)$$

Với n là số lượng các dấu hiệu, $i, j = \overline{1, n}$. Sau khi đã phân cấp và tính trọng số của các tiêu chí thì việc tích hợp chúng sẽ cho ta chỉ số nhạy cảm đứt gãy hoạt động. Để định lượng hóa mức độ nhạy cảm phản ánh nguy cơ đứt gãy hoạt động, các chỉ tiêu được tích hợp theo công thức:

$$LSI = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij} X_{ij} \quad (6)$$

Trong đó, LSI (Landslide Susceptibility Index)-chỉ số nhạy cảm biểu thị mức độ hoạt động của đứt gãy; W_j -trọng số của nhân tố thứ j ; X_{ij} -điểm số của lớp thứ i trong nhân tố biểu hiện j . Tỷ số nhất quán CR (consistency ratio) được tính theo $CR = CI/RI$, với $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$; CI-chỉ số nhất quán; RI-chỉ số ngẫu nhiên ứng với mỗi nhân tố (lấy theo bảng thống kê của tác giả Saaty khi đề xuất ra phương pháp); λ_{max} -giá trị riêng của từng ma trận so sánh.



Hình 5. Phân bố chấn tâm động đất và giá trị dự báo cấp độ mạnh động đất cực đại (M_{max}) trên cơ sở bài toán mạng nơron nhân tạo (Trọng và nnk, 2012).

Hình 6. Đồ thị phân bố hàm Gumbel loại I cải tiến và giá trị M_{max} . Trên cơ sở phân bố này ta có thể xác định được $M_{max}=5,47$ với hệ số tương quan đạt 0,9712.

Bảng 2: Ma trận so sánh các nhân tố thành phần

Dấu hiệu	DH1	DH2	DH3	DH4	DH5	DH6	DH7
DH1	1	1	3	3	5	7	9
DH2	1/1	1	1	3	3	5	7
DH3	1/3	1/1	1	3	5	5	9
DH4	1/3	1/3	1/3	1	3	3	7
DH5	1/5	1/3	1/5	1/3	1	3	5
DH6	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1	3
DH7	1/9	1/7	1/9	1/7	1/5	1/3	1

Trong bài báo này, trọng số của các nhân tố thành phần được tính toán tương quan theo công thức LSI:
 $LSI = 0,3215 \cdot DH1 + 0,2313 \cdot DH2 + 0,2172 \cdot DH3 + 0,1040 \cdot DH4 + 0,0644 \cdot DH5 + 0,0398 \cdot DH6 + 0,0217 \cdot DH7$ (7)

Độ tin cậy đánh giá trọng số được thể hiện qua giá trị $CR = 0,025$.

Từ các bản đồ thành phần, qua quá trình chồng chập, sử dụng phần mềm ArcGIS 10.0, các tác giả đã thành lập bản đồ đứt gãy hoạt động ở tỷ lệ 1:200 000 (Hình 4).

4.3. Các đới đứt gãy hoạt động chính

Các đới đứt gãy hoạt động Nam Trung Bộ được biểu diễn trong hình 4, cho thấy sự tồn tại của 19 đới đứt gãy có biểu hiện hoạt động, cụ thể là:

a) *Phương Đông Bắc – Tây Nam gồm (10 đứt gãy)*: Đồng Xoài, Tánh Linh, Giá Ray – Vạn Giã, Thuận Hải – Minh Hải, Bắc Cửu Long, Cửu Long, Nam Cửu Long, Phú Quý, Đông Phú Quý và Cảnh Dương.

b) *Phương Tây Bắc – Đông Nam gồm (8 đứt gãy)*: Nha Trang, Ninh Phước, Chợ Lâu, Đức Phổ – Hàm Minh, Lộc Ninh – Hàm Tân, Thiên Tân – Bình Sơn, Sông Đồng Nai và Sông Sài Gòn

c) *Phương kinh tuyến* chỉ có một đứt gãy là Lộc Ninh – Sài Gòn.

Đới đứt gãy hoạt động có phát sinh động đất với $M \geq M_{min}$ được chấp nhận là đới phát sinh động đất (Hình 4).

5. Dự báo cấp độ mạnh động đất

Nhằm đạt được mục đích ước lượng giá trị động đất cực đại có độ tin tưởng cao nhất, trong bài báo này các tác giả sử dụng tiếp cận thống kê trong dự báo cực đại động đất, gồm: 1/ Bài toán mạng nơ ron nhân tạo (Trong, 2012); 2/ Bài toán hàm cực trị loại I cải tiến của Gumbel (So, 1983; Tuncel, 1974); 3/ Xác định M_{max} trên cơ sở quan hệ Tần suất – cấp độ mạnh (Andrzel và nnk, 2004, 2012, 2016).

5.1. Dự báo M_{max} trên cơ sở bài toán mạng nơ ron nhân tạo

Trước hết, nhằm tìm hiểu khả năng ứng dụng mạng nơ ron nhân tạo trong nghiên cứu dự báo độ lớn động đất ở Việt Nam chúng tôi đã tiến hành thử nghiệm sử dụng mạng nơ ron FeedForward với thuật toán lan truyền ngược nhằm đánh giá độ tin cậy của thuật toán đối với một số mẫu chuẩn. Tài liệu đầu vào cho tính toán là: 1/ Giá trị mật độ lineament; 2/ Giá trị Gradient trường trọng lực Bouguer; 3/ Gradient dị thường từ hàng không; 4/ Gradient dịch chuyển thẳng đứng vỏ Trái đất trong tân kiến tạo; 5/ Gradient bề dày vỏ trầm tích; 6/ Gradient độ sâu mặt móng kết tinh; và 7/ Gradient bề dày vỏ Trái đất. Đây là những tài liệu được đánh giá là có liên quan trực tiếp với đứt gãy hoạt động và cấp độ mạnh động đất. Trước hết là việc tìm kiếm và xây dựng cấu trúc mạng, phương pháp kiểm tra – đánh giá kết quả được sử dụng đối với mỗi cấu trúc mạng nhận được (số lượng lớp, số lượng nơ ron trong mỗi lớp, loại hàm truyền, đánh giá sai số của mạng nơ ron). Các modul của phần mềm Matlab được sử dụng để xây dựng, lựa chọn và đánh giá kết quả (Triều và nnk, 2019). Kết quả nghiên cứu được trình bày trong hình 5.

5.2. Bài toán hàm cực trị loại I cải tiến của Gumbel trong đánh giá M_{max}

Nếu coi X là các biến ngẫu nhiên có hàm phân bố là $F(X) = P\{X \leq x\}$ thì xác suất để cho x là lớn nhất trong n mẫu độc lập của phân bố $F(X)$ sẽ là $G(x) = P\{X_1 \leq x, X_2 \leq x, \dots, X_n \leq x\} = F^n(x)$ và đó chính là hàm phân bố của các cực trị Gumbel (So, 1983; Tuncel, 1974).

Các cực trị nhận được từ việc chia chuỗi thời gian thành các khoảng bằng nhau và lấy các giá trị lớn nhất trong mỗi khoảng đó. Tiếp đến là xếp các cực trị mới nhận được theo thứ tự tăng dần, tức là xây dựng dãy số với các giá trị của x như sau: $x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_N$. Các giá trị $G(x)$ đối với các cực trị x khác nhau được tính như sau. Chuỗi thời gian đã quan sát được chia thành N khoảng bằng nhau và lấy các giá trị x lớn nhất trong mỗi khoảng đó. Trong địa chấn, nếu cực trị tính theo magnitude thì đó là các magnitude lớn nhất trong mỗi khoảng, như vậy đối với vị trí thứ j có giá trị x_j và tương ứng giá trị $G(x_j) = \frac{j}{N+1}, j = 1, 2, \dots, N$. Thông thường chỉ sử dụng hàm phân bố tiệm cận Gumbel có giới hạn trên, Gumbel loại I, loại III và loại I cải tiến. Sử dụng hàm phân bố tiệm cận loại I cải tiến (4) có hiệu quả hơn trong đánh giá Mmax so sánh với các hàm phân bố khác (Tuncel M. Yegulalp and Kuo J. T., 1974; So G. Kim, 1983):

$$G(x) = \exp\left(-e^{-\beta u} \frac{e^{-\beta x} - e^{-\beta v}}{1 - e^{-\beta v}}\right),$$

trong đó: $\beta > 0; v > u > 0$ (8)

ở đây, v - là giới hạn trên của cường độ (magnitude) các động đất xảy ra, còn β và u là các tham số của hàm phân bố cần tìm. Tính toán được lập trình trong môi trường ngôn ngữ Matlab. Kết quả tính toán được biểu thị trên hình 6 và cho phép xác định Mmax dự báo có giá trị 5,47 (Mmax=5,47) với hệ số tương quan đạt 0,9712.

5.3. Xác định Mmax trên cơ sở quan hệ Tần suất – cấp độ mạnh (hàm phân bố Gutenberg-Richter)

Cấp độ mạnh tối đa của động đất tại một khu vực nghiên cứu nào đó, M_{max} , được hiểu là giới hạn trên của cấp độ mạnh động đất đối với một khu vực nhất định và đồng nghĩa với cấp độ mạnh của trận động đất lớn nhất có thể. Nguyên tắc xác định giá trị M_{max} được ước tính bằng $M_{max}^{obs} + \Delta$, trong đó Δ là hệ số hiệu chỉnh dương, M_{max}^{obs} - giá trị động đất lớn nhất đã quan sát được tại khu vực nghiên cứu (Andrzel, 2004, 2012, 2016), ta có:

$$M_{max} = M_{max}^{obs} + \Delta \quad (9)$$

Giả sử trong khu vực nghiên cứu có n trận động đất với magnitude lớn hơn hoặc bằng M_{min} (tương đương với M_C) được tính toàn trong khoảng thời gian T . Những tính toán dựa trên giả thiết các trận động đất phân bố là độc lập và giá trị phân bố ngẫu nhiên theo hàm phân bố $F_M(m)$ (distribution function CDF). Giá trị cần tìm là giới hạn trên của dải giá trị magnitude và chính là giá trị magnitude của động đất lớn nhất có khả năng xảy ra được tính gần đúng theo công thức.

$$M_{max} = M_{max}^{obs} + \int_{M_C}^{M_{max}} [F_M(m)]^n dm \quad (10)$$

Trong đó giá trị M_{max} xuất hiện ở cả hai vế của phương trình. Giá trị gần đúng của M_{max} là \tilde{M}_{max} được tính toán theo cách thức vòng lặp chu trình.

Theo phân bố Bayes và phân bố Gutenberg - Richter, có thể xây dựng giải pháp phân bố Bayes trong xác định M_{max} từ tích phân hệ số dư:

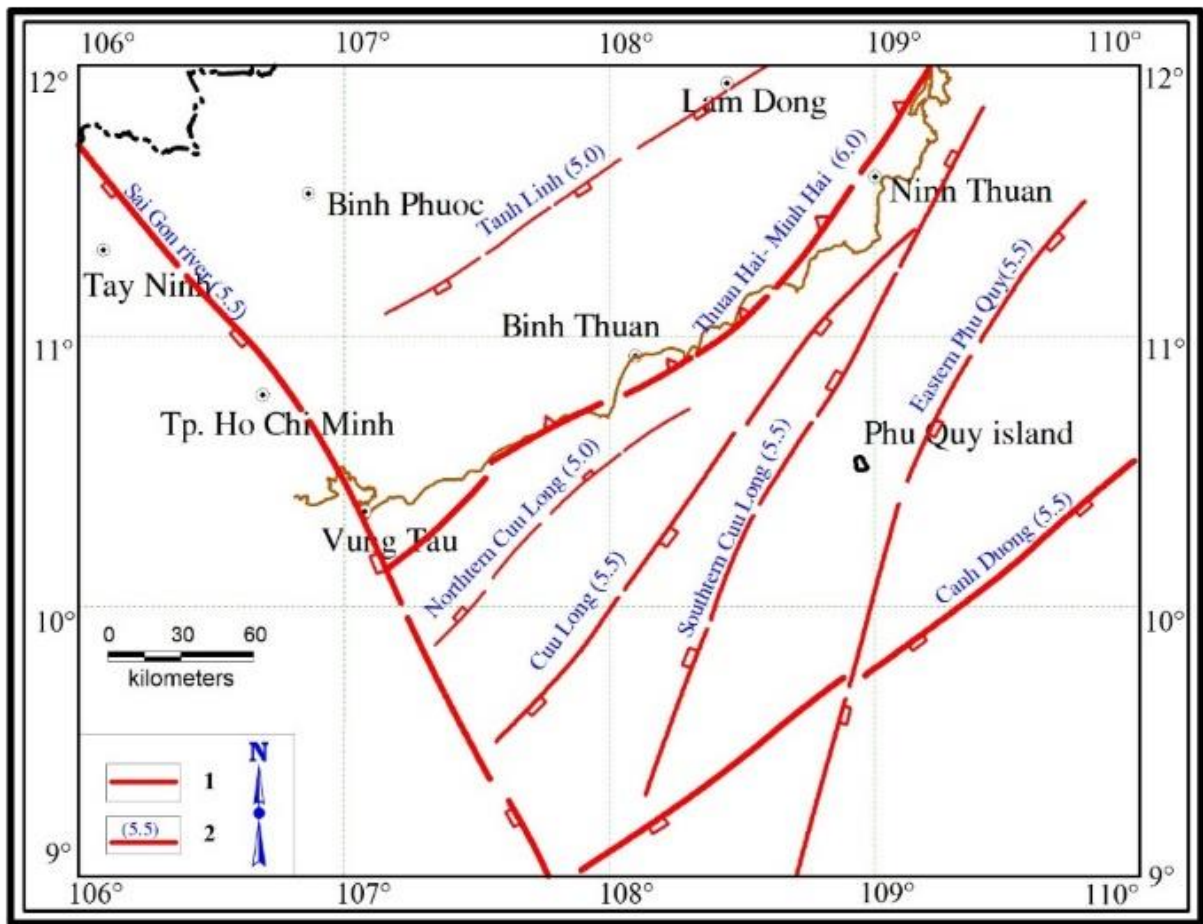
$$\Delta = (C_\beta)^n \int_{M_C}^{M_{max}} \left[1 - \left(\frac{p}{p+M-M_{min}}\right)^q\right]^n dm \quad (11)$$

Áp dụng xấp xỉ Cramér, (10) được viết lại thành:

$$\tilde{M}_{max} = M_{max}^{obs} + \frac{\delta^{2/q} \exp[nr^q/(1-r^q)]}{\beta} [\Gamma(-1/q, \delta r^q) - \Gamma(-1/q, \delta)] \quad (12)$$

Trong đó $r = p/(p + M_{max} - M_c)$; $c_1 = \exp[-n(1 - C_\beta)]$; $\delta = nC_\beta$ và $\Gamma(.,.)$ là hàm gamma; C_β hệ số chuẩn hóa với giá trị $\{1 - [p/(p + M_{max} - M_c)]^q\}^{-1}$; $p = \bar{\beta}/(\sigma_\beta)^2$ và $q = (\bar{\beta}/\sigma_\beta)^2$. $\bar{\beta}$ giá trị trung bình của tham số β ($\beta = b \ln(10)$); và giá trị b của hàm phân bố Gutenberg-Richter và σ_β độ lệch chuẩn của β .

Trên cơ sở phân bố cấp độ mạnh động đất cho phép xác định giới hạn trên một cách tin cậy để xác định M_{max} (Andrzel và nnk, 2004, 2012, 2016). Tại Nam Trung Bộ, động đất cực tiểu tin cậy đại diện M_{min} được xác định là 2,6 ($M_c = 2,6$). Từ công thức (10) ta có thể xác định được giá trị động đất cực đại, $M_{max} = 5,90 \pm 0,68$ (đối với động đất cực đại quan sát: $M_{max}^{obs} = 5,30 \pm 0,25$). Tính toán được thực hiện bằng toolbox HA3 trên nền tảng ngôn ngữ lập trình Matlab.



Hình 7. Nguồn phát sinh động đất khu vực Nam Trung Bộ: 1)-Các đoạn nguồn; 2)-Giá trị động đất cực đại (M_{max}) có nguy cơ xảy ra tại nguồn phát sinh.

6. Thảo luận kết quả

Các kết quả nghiên cứu của Nguyễn Đình Xuyên và nnk (2004) và của Cao Đình Triều (2010) đều cho thấy M_{max} Nam Trung Bộ không vượt quá 6,0 ($M_{max} \leq 6,0$). Dự báo M_{max} trên cơ sở bài toán mạng nơron nhân tạo cho $M_{max} = 5,5$. Theo phân bố tiệm cận Gubel loại I cải tiến cho kết quả dự báo $M_{max} = 5,47$. Dựa trên cơ sở phân bố tần số - magnitude cho kết quả $M_{max} = 5,90 \pm 0,68$. Từ những kết quả trên cho phép chúng ta ước lượng giá trị động đất cực đại tại các nguồn Nam Trung Bộ như sau: Tánh Linh ($M_{max} = 5,0$); Thuận Hải – Minh Hải ($M_{max} = 6,0$); Bắc Cửu Long ($M_{max} = 5,0$); Cửu Long ($M_{max} = 5,5$); Nam Cửu Long ($M_{max} = 5,5$); Đông Phú Quý ($M_{max} = 5,5$); Canh Dương ($M_{max} = 5,5$); và Sông Sài Gòn ($M_{max} = 5,5$).

7. Kết luận

1- Động đất Nam Trung Bộ tập trung chủ yếu tại khu vực ven bờ và vùng biển Vũng Tàu, nơi quá trình khai thác dầu khí đang được tiến hành. Động đất lớn nhất quan sát được tại đây đạt $M=5,3$ (năm 2005). Trong khi đó, theo tài liệu lịch sử thì động đất ven bờ Bình Thuận (năm 1715, năm 1877), Ninh Thuận (năm 1882) cũng có M không vượt quá 5,5. Đặc điểm hoạt động của động đất được đặc trưng bởi các đại lượng sau: $b=0,67$; $a=1,91$, $M_{min}=2,6$, bề dày tầng phát sinh động đất khoảng 16 km (từ độ sâu 2 km đến độ sâu 18 km).

2- Trên cơ sở 19 đứt gãy có biểu hiện hoạt động được phát hiện: Đồng Xoài, Tánh Linh, Giá Ray – Vạn Giã, Thuận Hải – Minh Hải, Bắc Cửu Long, Cửu Long, Nam Cửu Long, Phú Quý, Đông Phú Quý, Cảnh Dương, Nha Trang, Ninh Phước, Chợ Lâu, Đức Phổ - Hàm Minh, Lộc Ninh – Hàm Tân, Thiên Tân – Bình Sơn, Sông Đồng Nai, Sông Sài Gòn và Lộc Ninh – Sài Gòn. Nếu cho rằng đới đứt gãy hoạt động đã xảy ra động đất với $M \geq M_{min}$ thì mới được coi là đới phát sinh thì ta có 8 nguồn phát sinh động đất tại khu vực Nam Trung Bộ (có $M \geq 5,0$), bao gồm: 1) Tánh Linh; 2) Thuận Hải – Minh Hải; 3) Bắc Cửu Long; 4) Cửu Long; 5) Phú Quý; 6) Đông Phú Quý; 7) Cảnh Dương; và 8) Sông Sài Gòn.

3- Kết quả nghiên cứu dự báo động đất cực đại (M_{max}) theo một số phương pháp khác nhau cho kết quả như sau: a) Bài toán mạng nơron nhân tạo cho giá trị $M_{max}=5,5$; b) Theo hàm Gumbel loại I cải tiến cho giá trị $M_{max} = 5,47$; c) Theo phân bố hàm quan hệ tần số - cấp độ mạnh, $M_{max} = 5,9$. Động đất có cấp độ mạnh lớn nhất có nguy cơ xảy ra tại nguồn Thuận Hải – Minh Hải ($M_{max}=6,0$). Các nguồn còn lại có giá trị M_{max} biến đổi trong giới hạn $5,0 \div 5,5$, thấp nhất là nguồn Tánh Linh và Bắc Cửu Long ($M_{max}=5,0$).

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí cho nhiệm vụ nghiên cứu này thông qua đề tài cấp quốc gia, mã số: KC.09.38/16-20.

Văn liệu

Andrzej Kijko, 2004. Estimation of the Maximum Earthquake Magnitude, m_{max} . *Pure and Applied Geophysics*. 161, 1–270033 – 4553/04/000000 – 00. DOI 10.1007/s00024-004-2531-4.

Andrzej Kijko, 2012. On Bayesian procedure for maximum earthquake magnitude estimation. *Research in Geophysics; volume 2: e7*.

Andrzej Kijko, Ansie Smit, and Markvard A. Sellevoll, 2016. Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part III. Incorporation of Uncertainty of Earthquake-Occurrence Model. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 106, No. 3, pp. –, June 2016, doi: 10.1785/0120150252.

Cao Đ. Triều và Phạm H. Long, 2002. Kiến tạo đứt gãy lãnh thổ Việt Nam. *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 208 trang*.

Cao Đ. Triều, 2005. TrưTng Đga vật lý và cấu trúc thạch quyển lãnh thổ Việt Nam, *Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 330 trang*.

Cao Đ. Triều, 2010. Tai biến Đ ng đất ở Việt Nam, *Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 304 trang*.

Cao Đ. Triều, Phạm H. Long, Đỗ V. Lĩnh, Lê V. Dũng, Cao Đ. Trọng, 2013. Đga động lực hiện đại lãnh thổ Việt Nam. *Nxb Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 242 trang*.

Cao Đ. Triều (chủ biên), Phạm H. Long, Đào V. Cảnh, Đng T. Hải, Lê V. Dũng, Cao Đ. Trọng, Thái A. Tuấn, Phạm N. Hưng, Mai X. Bách, 2019. Biên dạng kiến tạo Biển Đông Việt Nam và vùng kề cận trong Kainozoi. *Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 308 trang*.

Cao Đ. Trọng, 2012. The application of neural network for earthquake prediction in North-West Vietnam. *9th General Assembly of Asian Seismological Commission: Extended abstract of the International Conference. Ulaanbaatar, Mongolia, p 149-151*.

Cát N. Hùng (chủ biên) và nnk, 2009. Phân vùng nhỏ động đất Tp. Hồ Chí Minh. Báo cáo tổng kết đề tài. *Lưu Liên đoàn Đ a chất Miền Nam, Viện Vật lý Đ a cầu. Tp. Hồ Chí Minh, 360 trang*.

Do V. Lĩnh, Vu D. Chinh, La T. Chich, 2008. The Pliocen - Quaternary tectonic stress field in South Vietnam and its influence on deformation of Precenozoic basement of Cuu Long basin. *The 2-nd International Scientific Conference “Fracture Basement Reservoir” Petrovietnam. 9-10/ September 2008, Vung Tau-Viet Nam, p.51-62*.

Đ V. Lĩnh, 2009. Lịch sử phát triển kiến tạo Kainozoi lãnh thổ Nam Trung Bộ và mối liên quan với động đất. *Luận án tiến sỹ địa chất. Lưu trữ thư viện Đ i học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 160 tr.*

Gomez. J and Pacheco. A, 2004. The minimalist model of characteristic earthquakes as a useful tool for description of the recurrence of large earthquakes. *Bulletin of Seismological Society of America 95(5) (2004) 1960–1967.*

Nguyễn Đ. Xuyên và nnk, 1996. Cơ sở dữ liệu cho các giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất ở Việt Nam. Phần thứ nhất Danh mục động đất Việt Nam. Báo cáo đề tài cấp nhà nước mã số KT-ĐL 92-07. Xem tại <http://www.isc.ac.uk/Bulletin/rectang.htm>.

Nguyễn Đ. Xuyên (chủ biên), 2004. Địa chất kiến tạo và các vùng phát sinh động đất mạnh trên lãnh thổ Việt Nam. Lưu Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, 330 trang.

Nguyen H. Phuong, Pham T. Truyen, 2014. Probabilistic seismic hazard assessment for the South Central Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences 35, Hanoi, 451 – 461p.*

Nguyen H. Phuong, Pham T. Truyen, Nguyen T. Nam, 2019. Investigation of long-term and short-term seismicity in Vietnam. *J Seismol. 23:951–966.*

Nguyễn X. Bao, Phạm H. Long, Trịnh V. Long, Nguyễn H. Tý, Nguyễn V. Bình, Nguyễn K. Hoàng, Đỗ V. Lĩnh, Mai K. Vinh và nnk, 2001. Báo cáo nghiên cứu “Kiến tạo và sinh khoáng Nam Việt Nam”. Lưu trữ Cục địa chất Việt Nam.

Peresan. A., Panza. G.F., and Costa, G., 2000. CN algorithm and long lasting changes in reported magnitudes: the case of Italy. *Geophys. J. Int., 141, 425-437.*

Phạm T. Hiền, Đ. T. Hải, Phan T. Quang, Cao Chiến, 2016. Phát hiện hệ thống đứt gãy hoạt động khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà. *Tạp chí Địa chất, loạt A, số 361-362, Hà Nội, trang 27-37.*

Saaty T.L. and Vargas L., 1994. Decision Making in Economic, Political, Social, and Technological Environments with the Analytic Hierarchy Process. *RWS Publication, Pittsburgh, PA, USA.*

Saaty T.L, 1995. Decisions Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World, *RWS Publications, Pittsburgh.*

So G. Kim, 1983. On the estimation of parameters in the statistical prediction of earthquakes. *J. Phys. Earth, 31, 251-264.*

Tran V. Kha, Hoang V. Vuong, Do D. Thanh, Duong Q. Hung, Le D. Anh, 2018. Improving a maximum horizontal gradient algorithm to determine geological body boundaries and fault systems based on gravity data. *Journal of Applied Geophysics 152, 161–166.*

Tuncel M. Yegulalp and Kuo. J.T, 1974. Statistical prediction of the occurrence of maximum magnitude earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America. Vol 64. No. 2. Pp. 393-414.*