

ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN CORA-3 DỰ BÁO ĐỘNG ĐẤT VỚI $M \geq 5,0$ VÙNG TUẦN GIÁO VÀ CÁC VÙNG KẾ CẬN

NGUYỄN HỮU TUYỀN¹, CHU VĂN NGỌI², CAO ĐÌNH TRIỀU¹

¹Viện Vật lý Địa cầu, Viện KH&CN Việt Nam, A8/18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

²Trường Đại học KHTN, ĐHQG Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội

Tóm tắt: Các nút giao cấu trúc với vai trò là nguồn sinh chấn có khả năng gây ra động đất với chấn cấp $\geq 4,0$ và $\geq 5,0$ được xác định ở vùng Tuần Giáo trên cơ sở phân chia các khối cấu trúc địa động lực kết hợp sử dụng phương pháp nhận dạng theo thuật toán CORA-3. Theo đó vùng nghiên cứu được phân chia thành hệ thống các khối cấu trúc cấp I, cấp II và cấp III với ranh giới phân chia là các đứt gãy cùng cấp, ranh giới nút giao cấu trúc. Sơ đồ cấu trúc địa động lực cho thấy rõ tính phân bậc về cấu trúc, hệ thống nút giao cấu trúc sinh chấn (seismogenic) và nút giao cấu trúc không sinh chấn (non-seismogenic) thông qua đối sánh với số liệu động đất đã quan sát được.

Kết quả cuối cùng đã chỉ ra các vị trí nút giao cấu trúc dễ có nguy cơ gây ra động đất với chấn cấp $M \geq 4,0$ và $\geq 5,0$ nhờ áp dụng thuật toán nhận dạng và chương trình CORA-3. Hệ thống các nút giao cấu trúc sinh chấn (D) được đưa ra mang nhiều thông tin dự báo, vì đây là các vùng mà trước đó chưa hề ghi nhận được sự xuất hiện của động đất có chấn cấp tương đương.

MỞ ĐẦU

Hoạt động động đất có quan hệ chặt chẽ với đặc trưng cấu trúc địa động lực hiện đại của một vùng đất, hay có thể hiểu động đất là hệ quả của chế độ kiến tạo, địa động lực hiện đại của khu vực [3, 4, 11, 12, 14, 21]. Nghiên cứu về điều kiện cấu trúc địa động lực hiện đại của một vùng nhằm gia tăng hiểu biết hơn về bản chất môi trường phát sinh động đất qua đó xác lập cơ sở khoa học cho luận giải chế độ hoạt động địa chấn liên quan. Ngược lại, khi chúng ta nghiên cứu tìm hiểu các quy luật hoạt động địa chấn cũng góp phần làm sáng tỏ cơ chế địa động lực và hoạt động kiến tạo trực tiếp phát sinh tai biến động đất, đồng thời cho ta biết xu thế phát triển địa động lực trong vùng nghiên cứu. Mọi quan hệ biện chứng giữa hoạt động động đất và chế độ địa động lực luôn được xem như một chỉnh thể cần phải tập trung nghiên cứu khi giải quyết nhiệm vụ đánh giá và dự báo động đất.

Vị trí có thể phát sinh động đất thường là nơi xung yếu của Trái đất như: ranh giới kiến tạo, ranh giới phân chia giữa các mảng, các khối cấu trúc vỏ Trái đất. Do đó, nghiên cứu phân định các khối cấu trúc hay cụ thể là xác định các ranh giới khối (đới đứt gãy, đới lineament, nút giao cấu trúc), đặc điểm cấu trúc địa chất và điều kiện địa động lực của các khối là cơ sở khoa học phục vụ cho nghiên cứu đánh giá nguồn phát sinh động đất. Nghiên cứu phân định các cấu trúc có nguy cơ tiềm ẩn phát sinh động đất phải dựa vào các đặc điểm cấu trúc, kiến tạo và địa động lực vùng nghiên cứu thông qua phân tích tổng hợp tài liệu địa chất, địa vật lý, cấu trúc sâu và địa chấn liên quan. Trong khi đó, hướng nghiên cứu đánh giá và dự báo động đất tuy đã được áp dụng nhiều ở Việt Nam bằng các phương pháp khác nhau [7, 20], nhưng chủ yếu là dựa trên cơ sở phân tích thống kê động đất. Kết quả phân tích theo hướng thống kê này về cơ bản đã bộc lộ rõ một số điểm hạn chế như: sự thiếu hụt số liệu động đất cũng như về độ dài thời gian quan trắc trong khi chu trình lặp lại của động đất có thể vượt quá khung số liệu ghi nhận được. Các nghiên cứu chỉ tập

trung phân tích các quy luật biểu hiện và phát sinh động đất trong khi các điều kiện trực tiếp về môi trường địa động lực phát sinh ra động đất lại ít được chú ý giải quyết. Hơn nữa, phần lớn các kết quả nghiên cứu này được dựa trên các mô hình, các bài toán xác suất với độ tin cậy chưa cao do dải số liệu đưa vào tính toán với thời gian quan trắc khá ngắn so với chu trình lặp lại động đất. Các yếu tố về môi trường phát sinh động đất như địa chất, địa mạo, kiến tạo, cấu trúc, địa động lực không được khai thác khi tính toán. Hướng nghiên cứu phân tích số liệu quan trắc biến dạng hay nghiên cứu động đất cổ gần đây bước đầu cũng chỉ ra dấu hiệu cảnh báo của hoạt động động đất cũng như đặc tính ứng suất - biến dạng cho một số vùng cụ thể [4, 5, 22]. Tuy nhiên, các phương pháp này cần thời gian kiểm chứng và áp dụng trên nhiều vùng địa chấn khác nhau nhằm đưa ra các kết luận tin cậy hơn.

Nhằm hạn chế những khiếm khuyết nói trên để phục vụ nghiên cứu đánh giá và dự báo động đất, trong bài báo này các tác giả áp dụng phương pháp nhận dạng tương đồng về điều kiện địa mạo, cấu trúc địa chất, địa vật lý, cấu trúc sâu, kiến tạo và địa chấn bằng thuật toán CORA-3. Hướng nghiên cứu dự báo các vùng phát sinh động đất theo phương pháp này đã được phát triển và áp dụng trong nhiều công trình nghiên cứu khác nhau ở Nga và các nước khác trên thế giới [1, 6, 9-17]. Kết quả nghiên cứu về dự báo động đất theo hướng này đã được tiến hành kiểm nghiệm ở nhiều nước trên thế giới với các vùng có chế độ địa chấn khác nhau. Kết quả luận giải cụ thể đã được kiểm chứng qua các nghiên cứu gần đây, theo đó đã dự báo thành công sự xuất hiện tiếp theo của các trận động đất lớn tại một số nút giao (node) với tỷ lệ là 84% [11]. Đây là phương pháp được áp dụng lần đầu tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu áp dụng thuật toán CORA-3 cho vùng nghiên cứu Tuần Giáo và lân cận, nơi có tần suất và cấp độ hoạt động động đất lớn nhất ở miền Tây Bắc Bộ sẽ cung cấp những kết quả khoa học mới, đồng thời bổ sung thông tin nhằm tăng thêm sự phong phú trong công tác nghiên cứu dự báo động đất ở nước ta trong thời gian tới.

II. PHÂN KHỐI CẤU TRÚC ĐỊA ĐỘNG LỰC VÙNG TUẦN GIÁO

Nguyên lý chung trong phân chia cấu trúc địa động lực (CTĐDL) đã được đề xuất và áp dụng trong nhiều công trình nghiên cứu trước đây theo quan điểm kiến tạo mảng. Thuyết kiến tạo mảng thừa nhận ưu thế các dịch chuyển ngang là động lực chính của quá trình vận động kiến tạo, tiến tới phân chia thạch quyển Trái đất thành các mảng, mà ranh giới chính là đới hút chìm, đứt gãy chuyển dạng và sống núi dưới đại dương. Trên quy mô nội mảng, hệ thống phân loại các đơn vị CTĐDL theo thuyết kiến tạo mảng lại được phân chia theo thứ cấp gồm: cấu trúc (khối) và ranh giới cấu trúc. Ví dụ, mảng - ranh giới mảng, siêu khối - ranh giới siêu khối, khối - ranh giới khối, và phụ khối - ranh giới phụ khối [21, 24]. Ranh giới cấu trúc ở đây bao gồm đứt gãy và nút giao cấu trúc (node). Cấp độ các siêu khối, khối và phụ khối được phân chia trong nội mảng cấu trúc dựa trên cấp độ các đứt gãy, đóng vai trò là ranh giới phân chia các khối cấu trúc địa động lực.

- **Khối cấu trúc:** Đơn vị khối cấu trúc (block) được đặc trưng bởi mức độ đồng nhất tương đối về các đặc trưng địa chất, thạch học, trường địa vật lý và có sự khác biệt so với các đơn vị cấu trúc gần kề. Theo cách phân chia này, ta sẽ phân ra các khối cấu trúc cấp I, cấp II, ... trên cơ sở xác lập các đặc trưng đồng nhất tương đối và ranh giới phân chia. Tùy thuộc vào mức độ tài liệu và dấu hiệu biểu hiện của các đơn vị cấu trúc độc lập mà ta có thể phân chia thành các cấp chi tiết nhỏ hơn trên cơ sở nghiên cứu cụ thể các đơn vị này trong khi phân chia.

- **Ranh giới khối (đứt gãy và nút giao cấu trúc):** Ranh giới khối cấu trúc là các đới đứt gãy, đới dập vỡ cả nát hay biến dạng tăng cao. Như vậy, tương ứng với mỗi cấp phân chia khối ta có cấp ranh giới khối tương đương. Các ranh giới khối về mặt không gian có vai trò là ranh giới phân chia các khối với nhau, tuy nhiên bản thân nó cũng là một đơn vị cấu trúc độc lập với các đặc trưng

địa chất địa vật lý khác biệt với các đơn vị cấu trúc mà chúng phân chia. Tính chất của các ranh giới khối sẽ là môi trường trung gian (chuyển tiếp) phản ánh đặc trưng vật chất cũng như các đặc điểm địa động lực của các khối kề cận. Nói cách khác, các ranh giới khối là một cấu trúc đặc biệt phản ánh tương tác và phân dị thành phần vật chất và đặc tính địa động lực giữa các đơn vị khối cấu trúc liền kề. Các ranh giới này là môi trường tiềm ẩn nguy cơ về tai biến địa chất như; động đất, sạt lở, sụt lún,...



Hình 1. Sơ đồ phân khối cấu trúc địa động lực hiện đại vùng Tuần Giáo và các vùng kế cận.



- **Nút giao cấu trúc:** Được xem như một ranh giới đặc biệt của khối, là nơi giao nhau của các đới ranh giới. Các nghiên cứu trước đây [12, 14, 15, 18, 21] đã chỉ ra mối quan hệ mật thiết giữa

hoạt động tại biến động đất và các nút giao cấu trúc này. Theo đó, nguy cơ tiềm năng của hoạt động địa chấn tăng cao tại các nút giao cấu trúc và luận giải mối quan hệ về sự phân bố không gian đó với xu thế xuất hiện động đất trong tương lai. Như vậy, việc nghiên cứu xác lập các nút giao cấu trúc này sẽ góp phần quan trọng, phục vụ cho nghiên cứu đánh giá và dự báo các vùng nhạy cảm có nguy cơ phát sinh động đất cao trong khu vực.

Kết quả phân tích trong nghiên cứu gần đây của tác giả [21] trên cơ sở tham khảo những công trình công bố trước đây [8, 19] cho thấy trong vùng nghiên cứu không kể đến 2 khối CTĐĐL cấp I chỉ chiếm một diện nhỏ trong phần nghiên cứu là khối cấp I Sông Hồng (phía đông bắc đứt gãy Sông Hồng) và khối cấp I Thượng Lào (phía tây nam đứt gãy Lai Châu - Điện Biên). Diện tích vùng Tuần Giáo và kế cận gồm 4 khối CTĐĐL cấp II sau đây: khối Hoàng Liên Sơn, khối Sông Đà - Sơn La, khối Sông Mã - Sốp Cộp và khối Điện Biên. Ranh giới phân chia các khối CTĐĐL cấp II này là các đứt gãy cùng cấp: Lào Cai - Ninh Bình, Phong Thổ, Than Uyên, Mường La - Chợ Bờ, Sơn La, Lai Châu - Điện Biên và Sốp Cộp (Phu May Tun). Các khối CTĐĐL cấp II tiếp tục được phân chia thành các khối bậc cao (bậc III) và phụ khối trên cơ sở phân tích số liệu có được trong vùng nghiên cứu, kết quả tổng hợp về CTĐĐL vùng nghiên cứu được thể hiện trên Hình 1.

III. THUẬT TOÁN CORA-3 VÀ KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ DỰ BÁO ĐỘNG ĐẤT VỚI $M \geq 4,0$

1. Mô tả thuật toán CORA-3 trong đánh giá dự báo động đất

Thuật toán CORA-3 và chương trình tính toán nhận dạng nhằm dự báo động đất được xây dựng và phát triển bởi các nhà khoa học Nga [6, 9, 10, 13]. Thuật toán CORA-3 được phát triển trên nguyên lý nhận dạng các điều kiện tương đồng từ các lớp thông tin có được của mỗi nút giao cấu trúc, nơi mà trước đó đã xuất hiện động đất, theo đó các vùng khác sẽ được nhận dạng trên cơ sở đối sánh các điều kiện tương đồng về cấu trúc, địa chất, địa vật lý và địa mạo. Theo đó, các tiềm năng địa chấn của mỗi nút giao cấu trúc sẽ được đánh giá với sự trợ giúp của các kỹ thuật nhận dạng mẫu. Các nút có nguy cơ tiềm ẩn địa chấn được khoanh định trên cơ sở phân chia các khối CTĐĐL dựa trên chồng chập các lớp thông tin nghiên cứu về địa chất, địa mạo, cấu trúc sâu và kết quả nghiên cứu địa vật lý, động đất bằng phương tiện của hệ thông tin địa lý (GIS). Nguyên lý của phương pháp này dựa trên một khái niệm đã được chấp nhận rộng rãi là thạch quyển được xây dựng bởi các khối quy mô khác nhau được phân cách bởi ranh giới di động (Sadovsky và Pisarenko, 1991). Kết quả tính toán cuối cùng sẽ khoanh định được các khu vực có nguy cơ phát sinh động đất trong tương lai. Ưu điểm của hướng nghiên cứu này là sử dụng tối đa các yếu tố địa chất, địa vật lý, địa hình, địa mạo và yếu tố động đất được đánh giá riêng rẽ khi đưa vào tính toán dự báo. Hơn nữa thuật toán cho phép mã hóa ở dạng vector toàn bộ các số liệu đầu vào tính toán (nhờ phần mềm CORA-3), qua đó lượng hóa tối đa các tham biến này trên cơ sở đối sánh với vùng nguồn đã phát sinh động đất nhằm chỉ ra các vùng nguy cơ tiềm năng cụ thể trong vùng nghiên cứu.

Mô hình nhận dạng theo thuật toán CORA-3 được xây dựng nhằm để xác định các khu vực dễ bị động đất. Việc sử dụng các phương pháp nhận dạng mẫu cho thấy các nút đã được đánh dấu bằng một hoặc nhiều trận động đất mạnh có thể có một vai trò tương tự có thể được sử dụng để xác định các nút cấu trúc khác mà chưa được hiển thị rõ ràng như là một cấu trúc ít có nguy cơ bị động đất. Mục tiêu của phép nhận dạng là phân loại tất cả các nút khoanh định trong một khu vực thành 2 lớp chính là Do (Dangerous) và No (Non-dangerous), ngoài ra nhóm trung gian sẽ gồm các nút giao cấu trúc không thuộc một trong hai nhóm nói trên (Xo).

Lớp thứ nhất - lớp Do gồm các nút giao cấu trúc ở nơi mà các trận động đất có chấn cấp $M \geq M_0$ có thể xảy ra;

Lớp thứ hai - lớp No chỉ gồm các nút giao cấu trúc ở nơi có trận động đất với $M < M_0$ có thể xảy ra.

Các nút giao cấu trúc này được đặc trưng bởi một tập hợp các thông số địa hình, địa chất và địa vật lý và cấu trúc sâu. Mỗi thông tin của một tham số tại mỗi nút giao cấu trúc được mã hóa ở dạng một vector (dạng nhị phân), tập hợp trường các tham số tại mỗi nút sẽ đại diện của nút cấu trúc này trong quá trình nhận dạng. Tập hợp của các vector (dạng nhị phân) là đầu vào cho thuật toán nhận dạng CORA-3.

Phương pháp nhận dạng theo thuật toán CORA-3 được sử dụng trong nghiên cứu này, cụ thể việc áp dụng thuật toán CORA-3 bao gồm 2 giai đoạn sau đây:

Giai đoạn I: giai đoạn học tập; giai đoạn này sẽ lựa chọn các tính năng đặc biệt của từng loại cơ sở dữ liệu gốc đưa vào trên cơ sở hai tập con Do và No đã phân loại, kết quả nhận dạng được đưa ra qua đặc trưng riêng biệt của tất cả các nút giao cấu trúc mẫu đại diện cho các lớp Do và No;

Giai đoạn II: giai đoạn phân loại; giai đoạn này sẽ xác định các nhóm nút giao cấu trúc thuộc về một trong 2 nhóm đã nêu ở trên. Trong trường hợp cụ thể có thể được phân ra các phụ nhóm với các đặc trưng gần kề với 2 nhóm chính Do và No. Các tính năng đặc biệt (những đặc điểm đặc trưng) cho các lớp Do và No được lựa chọn ở giai đoạn học tập theo điều kiện của công thức (1) dưới đây.

Theo công thức (1) thì l là số lượng các thành phần của vector nhị phân đại diện cho các nút giao cấu trúc. Đặc điểm của một ma trận A được định nghĩa như sau:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} i_1 & i_2 & i_3 \\ \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ở đây i_1, i_2, i_3 là các số tự nhiên, như thế $1 \leq i_1 \leq i_2 \leq i_3 \leq l$ và $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ tương ứng với giá trị bằng 0 hoặc 1. Một nút giao cấu trúc (vector nhị phân) thứ i , $\omega^i = (\omega_1^i, \omega_2^i, \dots, \omega_l^i)$ có đặc điểm A nếu $\omega_1^i = \delta_1, \omega_2^i = \delta_2, \omega_3^i = \delta_3$.

Các đặc điểm đặc trưng được lựa chọn với các thông số của thuật toán $k_1, \bar{k}_1, k_2, \bar{k}_2$, ở đây phải là số nguyên giá trị không âm. Như vậy ta coi W là tập hợp của tất cả các nút giao cấu trúc xem xét và $K(W, A)$ là số lượng các nút $\omega^i \in W$ mà có đặc điểm A . Đặc điểm A là dấu hiệu đặc trưng của lớp D , khi $K(D_0, A) \geq k_1$ và $K(N_0, A) \leq \bar{k}_1$, và đặc điểm A là một đặc điểm đặc trưng của lớp N khi $K(N_0, A) \geq k_2$ và $K(D_0, A) \leq \bar{k}_2$. Phân loại được thực hiện như sau: đối với mỗi nút ω^i thuật toán tính toán số lượng n_D^i những đặc điểm đặc trưng cho lớp D , số lượng n_N^i của các lớp N và sự khác biệt $\Delta_i = n_D^i - n_N^i$. Lớp D bao gồm các nút ω^i với $\Delta_i \geq \Delta$, trong khi lớp N bao gồm các nút mà $\Delta_i < \Delta$. Δ cũng như $k_1, \bar{k}_1, k_2, \bar{k}_2$ là một tham số của thuật toán.

Phương pháp CORA-3 cho phép nhận dạng các nút giao cấu trúc có nguy cơ xảy ra động đất trên cơ sở phân chia các khối cấu trúc địa động lực được thiết lập qua phân tích tổng hợp tập hợp dữ liệu bao gồm; địa hình, thông tin kiến tạo, địa chất, địa vật lý và cấu trúc vỏ Trái đất. Từ đó, phương pháp này cho phép khoanh định các cấu trúc địa chất không ổn định nhất như: các nút giao cấu trúc - nút chuyển đổi về cấu trúc, đây là nơi dễ phát sinh các trận động đất lớn. Các nút giao cấu trúc có nguy cơ tiềm ẩn về địa chấn sẽ được xác định và đánh giá bằng chương trình CORA-

3; đây là phương pháp mới được phát triển dựa trên thuật toán nhận dạng. Kết quả nghiên cứu sẽ chỉ ra các nút giao cấu trúc có nguy cơ phát sinh động đất cao trong tương lai.

Các nút giao cấu trúc được khoanh định trên cơ sở nguyên lý đã được chấp nhận rộng rãi, cho rằng thạch quyển được xây dựng bởi các khối có quy mô khác nhau được phân cách bởi các ranh giới động; việc xác định các nút giao cấu trúc có nhiều nguy cơ phát sinh địa chấn được sử dụng trên cơ sở nhận dạng các mẫu chuẩn qua thuật toán đã được áp dụng rộng rãi tại nhiều nơi trên thế giới.

2. Dự báo vùng phát sinh động đất vùng nghiên cứu theo CORA-3

2.1. Quy trình xác định nút giao cấu trúc có nguy cơ phát sinh động đất vùng Tuần Giáo và kế cận theo CORA-3: Quy trình nghiên cứu nhằm xác định các nút giao cấu trúc có nguy cơ phát sinh động đất trong khu vực được thực hiện theo hai bước chính dưới đây:

1/ *Bước thứ nhất:* Xác định các cấu trúc không ổn định nhất, các nút giao cắt sẽ được khoanh định theo trên cơ sở tài liệu về: cấu trúc, kiến tạo, địa mạo, cấu trúc sâu và các thông tin này là độ lặp với dữ liệu địa chấn của vùng nghiên cứu.

2/ *Bước thứ hai:* Các nút có nguy cơ tiềm ẩn về khả năng phát sinh địa chấn sẽ được đánh giá với sự trợ giúp của các kỹ thuật nhận dạng mẫu trên cơ sở thuật toán và bộ chương trình máy tính CORA-3.

Trên cơ sở kết quả tổng hợp từ các tài liệu địa chất, địa vật lý, cấu trúc sâu và địa chấn nhằm xác định các yếu tố cấu trúc địa động lực của vỏ Trái đất vùng nghiên cứu bằng công nghệ GIS, lần đầu tiên các nút giao cấu trúc (cấp địa phương với đường kính $D = 20$ km) có nguy cơ xuất hiện động đất sẽ được xác định cho vùng nghiên cứu Tuần Giáo và kế cận. Việc xác định đường kính bao quanh nút giao phụ thuộc vào cấp độ động đất và mức độ nghiên cứu khác nhau. Thông thường đường kính D được tính theo công thức thực nghiệm cho nhiều vùng trên thế giới cho ngưỡng chấn cấp $M_0 \geq 4,0$ với D khoảng 15-25 km [16, 17].

2.2. Xử lý số liệu của các nút giao cấu trúc: Nhiệm vụ cụ thể sẽ xác định và tính toán các tham số liên quan cho vùng nghiên cứu trên cơ sở mô hình cấu trúc địa động lực đã có. Tổng số 18 tham biến (Bảng 1) được tính toán đưa vào sử dụng đánh giá. Các tham số này được chia thành 3 nhóm chính: nhóm các thông số địa hình địa mạo (*nhóm A*), nhóm các thông số cấu trúc (*nhóm B*), nhóm các thông số phản ánh mức độ tương đồng về môi trường vật chất (*nhóm C*).

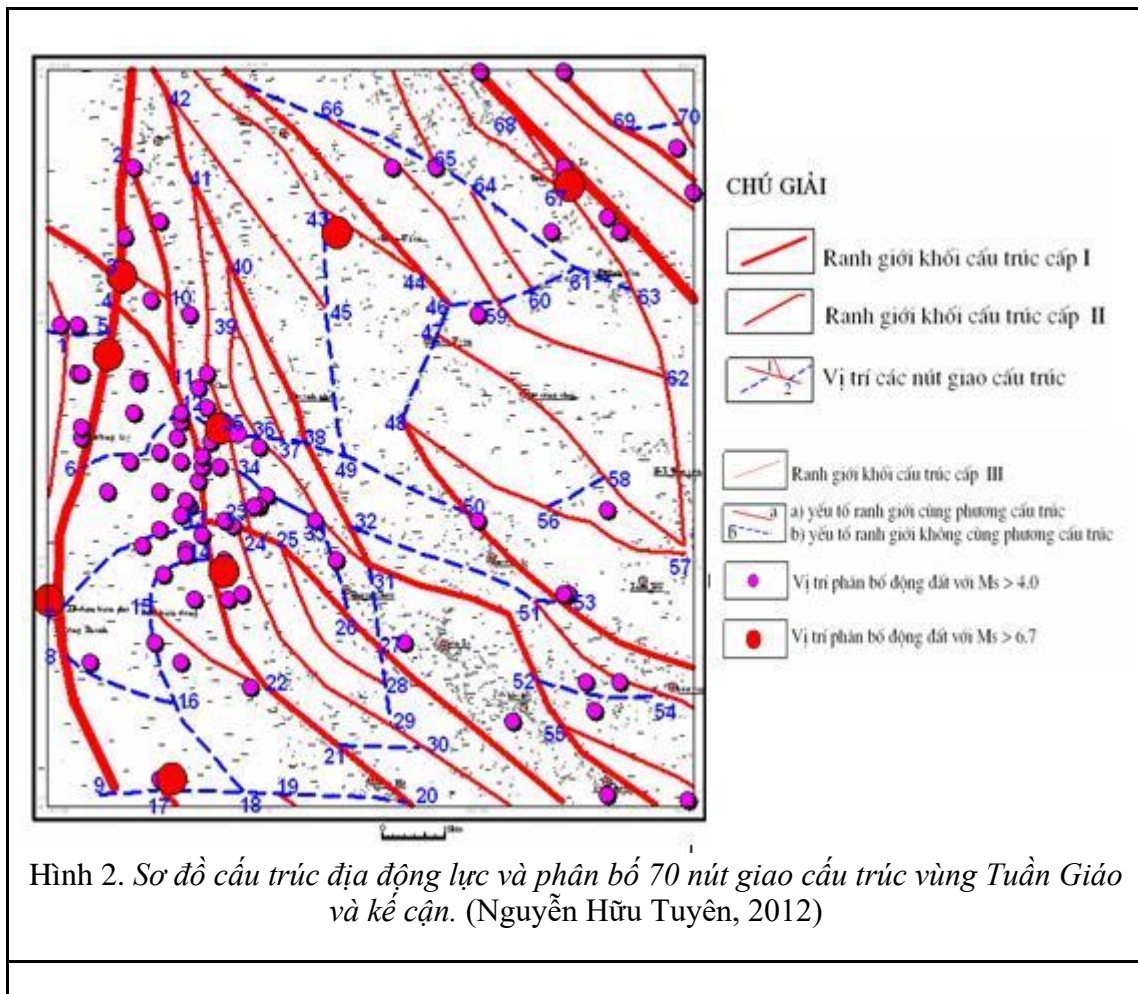
- *Nhóm A* bao gồm các yếu tố địa hình địa mạo cụ thể như sau:

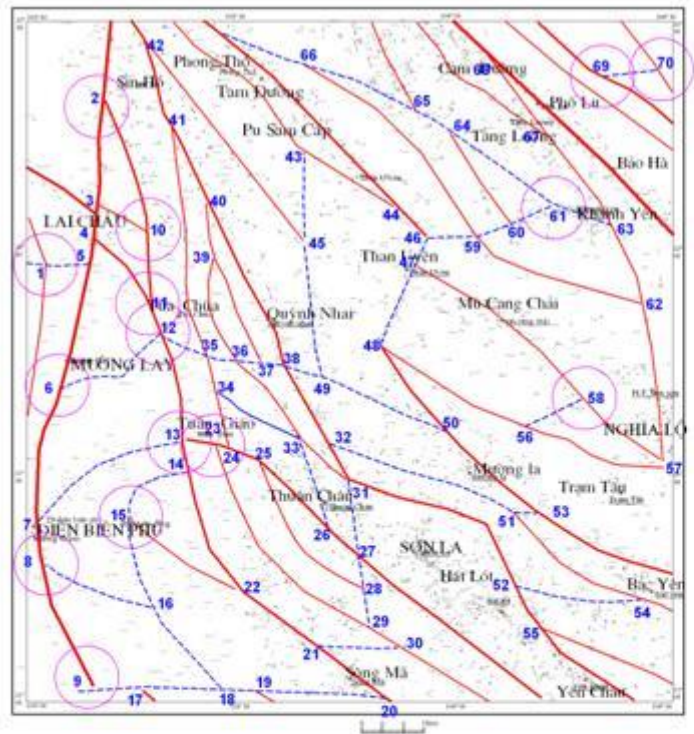
1. Độ cao cực đại của mỗi nút giao với bán kính cố định (H_{max});
2. Độ cao cực tiểu của mỗi nút giao với bán kính cố định (H_{min});
3. Khoảng cách trung bình giữa hai cực trị độ cao trong bán kính nút giao (L);
4. Độ tương phản của địa hình ($\Delta H = H_{max} - H_{min}$);
5. Độ nghiêng của sườn ($\Delta H/L$);
6. Dạng địa hình đặc trưng của nút giao so với nút giao liền kề (M_{or}) (m, p, h);
7. Hợp phần khối lượng trầm tích hiện đại (Q) có trong mỗi nút giao (%).

- *Nhóm B* gồm các yếu tố cấu trúc của nút giao:









8. Đứt gãy bậc cao nhất có trong nút giao (R_L);

9. Tổng số các lineament giao hội có trong mỗi nút giao (N_L);
 10. Khoảng cách ngắn nhất đến lineament bậc cao nhất kề cận (D_1);
 11. Khoảng cách đến ranh giới lineament bậc 2 liền kề (D_2);
 12. Khoảng cách đến nút cấu trúc gần nhất liền kề (D_n).
- Nhóm C gồm các yếu tố phản ảnh độ đồng nhất về môi trường:
13. Giá trị cực đại trường trọng lực Bouguer trong nút giao (B_{max});
 14. Giá trị cực tiểu trường trọng lực Bouguer trong nút giao (B_{min});
 15. Gradient trường trọng lực Bouguer trong nút giao ΔB ($B_{max} - B_{min}$);
 16. Giá trị cực đại trường dị thường Từ trong nút giao (T_{max});
 17. Giá trị cực tiểu trường dị thường Từ trong nút giao (T_{min});
 18. Gradient trường dị thường Từ trong nút giao ΔT ($T_{max} - T_{min}$).





CHÚ GIẢI

- | | |
|---|--|
|  Ranh giới khối cấu trúc cấp I |  Ranh giới khối cấu trúc cấp III |
|  Ranh giới khối cấu trúc cấp II |  a) yếu tố ranh giới cùng phương cấu trúc b) yếu tố ranh giới không cùng phương cấu trúc |
|  Vị trí các nút giao cấu trúc |  Vị trí phân bố động đất với $M_s > 4.0$ |
|  Vị trí khu vực dự báo suất hiện động đất với ngưỡng $M_0 > 5.0$ |  Vị trí phân bố động đất với $M_s > 6.7$ |

Hình 3. Sơ đồ dự báo các nút giao cấu trúc với nguy cơ động đất với $M_0 \geq 5,0$ vùng Tuần Giáo và kế cận.

3. Kết quả dự báo động đất vùng nghiên cứu

Trên cơ sở tài liệu địa chất, địa vật lý, địa hình và địa mạo từ các nghiên cứu ở trên, trong diện tích vùng Tuần Giáo và kế cận đã xác lập được 70 nút giao cấu trúc (Hình 2). Hệ thống nút giao cấu trúc được đánh số thứ tự và mỗi nút giao được gán giá trị bao gồm 18 tham biến (Bảng 1). Kết quả tính toán các tham số đầu vào phục vụ cho chạy chương trình đánh giá dự báo các nút có nguy cơ phát sinh động đất với $M_0 \geq 5,0$ trong vùng Tuần Giáo và kế cận được đưa ra. Kết quả phân tích cho thấy trong vùng nghiên cứu có 70 nút giao cắt, đây là các vùng có nhiều nguy cơ phát sinh động đất. Mỗi nút giao cấu trúc này được đặc trưng bằng 18 tham số bao gồm các số liệu địa chất, địa vật lý, địa hình, địa mạo và động đất như đã trình bày ở phần trên (2.2). Tập hợp giá trị của các nút giao được định dạng theo ma trận chuẩn theo mẫu phục vụ cho các bước tính toán tiếp sau của chương trình, trong đó các hàng là ký hiệu các nút giao đã xác định, các cột là giá trị thực của các thông số (địa chất, cấu trúc, kiến tạo, địa mạo, địa vật lý...) kết quả đầu vào được ghi trên file.

Bảng 1. Bảng giá trị tham số đầu vào của nút giao cấu trúc phức vụ chạy chương trình dự báo

| STT (1) | Hmax (2) | Hmin (3) | L (4) | ΔH (5) | dH/L (6) | Q (7) | HR (8) | NL (9) | D1 (10) | D2 (11) | Dn (12) | Bmax (13) | Bmin (14) | ΔB (15) | Mmax (16) | M (17) |
|------------|-------------|-------------|----------|----------------|-------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------------|--------------|-----------|
| V 1 | 1398 | 416,5 | 08,5 | 0981 | 115,44 | 00,12 | 3 | 2 | 10,20 | 20,10 | 10,40 | -90 | -112 | 022 | -250 | -3 |
| V 2 | 1809 | 224 | 04,5 | 1585 | 352,17 | 00,70 | 1 | 2 | 00,00 | 00,00 | 18,50 | -90 | -112 | 022 | -150 | -2 |
| V 3 | 1544 | 173,8 | 08,6 | 1370 | 159,84 | 01,20 | 1 | 3 | 00,00 | 00,00 | 06,70 | -108 | -116 | 008 | -250 | -2 |
| V 4 | 1500 | 187,6 | 06,6 | 1312 | 198,48 | 05,00 | 1 | 2 | 00,00 | 00,00 | 06,70 | -108 | -124 | 016 | -230 | -2 |
| V 5 | 1664 | 207 | 03,6 | 1457 | 404,76 | 00,10 | 1 | 2 | 00,00 | 00,00 | 06,70 | -100 | -118 | 018 | -230 | -3 |
| V 6 | 1275 | 347,9 | 03,9 | 0927 | 237,67 | 10,00 | 1 | 2 | 00,00 | 28,30 | 28,60 | -90 | -110 | 020 | -260 | -3 |
| V 7 | 1140 | 474 | 11,0 | 0666 | 060,59 | 08,10 | 1 | 2 | 00,00 | 39,40 | 10,40 | -92 | -100 | 008 | -270 | -3 |
| V 8 | 1507 | 468,6 | 06,5 | 1038 | 159,70 | 16,00 | 1 | 2 | 00,00 | 42,10 | 10,40 | -98 | -108 | 010 | -260 | -2 |
| V 9 | 1450 | 629,6 | 08,0 | 0820 | 102,15 | 13,00 | 1 | 2 | 00,00 | 11,20 | 11,80 | -98 | -102 | 004 | -260 | -2 |
| V 10 | 1621 | 161,8 | 06,5 | 1459 | 224,44 | 00,40 | 2 | 2 | 12,80 | 00,00 | 13,00 | -98 | -104 | 006 | -250 | -2 |
| V 11 | 1518 | 229,2 | 08,0 | 1289 | 160,26 | 00,10 | 2 | 2 | 16,40 | 00,00 | 09,20 | -92 | -108 | 016 | -210 | -2 |
| V 12 | 1570 | 253,7 | 03,8 | 1316 | 346,35 | 00,10 | 2 | 3 | 21,30 | 00,00 | 09,20 | -92 | -110 | 018 | -200 | -2 |
| V 13 | 1579 | 488,3 | 13,0 | 1091 | 083,91 | 00,10 | 2 | 3 | 33,50 | 00,00 | 07,20 | -96 | -104 | 008 | -170 | -2 |
| V 14 | 1843 | 483,7 | 08,2 | 1359 | 165,12 | 00,10 | 2 | 2 | 36,20 | 00,00 | 07,20 | -96 | -102 | 006 | -180 | -2 |
| V 15 | 1656 | 569,7 | 08,1 | 1087 | 133,65 | 00,10 | 3 | 2 | 22,40 | 16,90 | 17,50 | -96 | -104 | 008 | -220 | -2 |
| V 16 | 1360 | 456,5 | 10,2 | 0903 | 088,48 | 02,00 | 3 | 2 | 24,80 | 18,60 | 20,90 | -98 | -114 | -212 | -210 | -2 |
| V 17 | 1416 | 588,3 | 08,5 | 0828 | 097,95 | 00,36 | 2 | 2 | 12,20 | 00,00 | 11,80 | -98 | -104 | 006 | -210 | -2 |
| V 18 | 1712 | 846,9 | 11,2 | 0865 | 077,28 | 00,80 | 3 | 2 | 31,00 | 32,20 | 09,20 | -100 | -106 | 006 | 30 | -1 |
| V 19 | 1750 | 848,6 | 10,0 | 0902 | 090,61 | 00,50 | 3 | 2 | 38,90 | 27,30 | 09,20 | -92 | -100 | 008 | 10 | -1 |
| V 20 | 1313 | 310,3 | 08,3 | 1002 | 120,31 | 01,50 | 2 | 2 | 70,50 | 00,00 | 12,30 | -60 | -84 | 024 | 120 | - |
| V 21 | 1305 | 390,1 | 03,4 | 0915 | 267,53 | 00,37 | 2 | 2 | 57,50 | 00,00 | 12,90 | -76 | -94 | 018 | -70 | -1 |
| V 22 | 1411 | 368,3 | 03,5 | 1043 | 297,90 | 00,13 | 2 | 2 | 45,20 | 00,00 | 21,20 | -76 | -112 | 036 | -80 | -2 |
| V 23 | 1593 | 554 | 06,4 | 1039 | 162,84 | 00,10 | 2 | 2 | 41,80 | 00,00 | 03,50 | -96 | -100 | 004 | -160 | -1 |
| V 24 | 1631 | 558,2 | 08,1 | 1073 | 132,18 | 00,72 | 2 | 2 | 45,50 | 00,00 | 03,50 | -90 | -100 | 010 | -150 | -1 |
| V 25 | 1666 | 618,8 | 04,3 | 1047 | 243,54 | 00,15 | 2 | 2 | 53,20 | 00,00 | 08,00 | -88 | -94 | 006 | -100 | -1 |
| V 26 | 1467 | 542,8 | 10,1 | 0925 | 091,35 | 12,30 | 2 | 2 | 68,30 | 00,00 | 10,60 | -80 | -94 | 014 | -30 | -1 |
| V 27 | 1311 | 525,5 | 03,8 | 0786 | 206,79 | 05,70 | 2 | 2 | 76,50 | 00,00 | 07,80 | -86 | -92 | 006 | -20 | -1 |
| V 28 | 1781 | 469 | 11,3 | 1312 | 116,08 | 05,80 | 3 | 2 | 75,70 | 07,00 | 07,80 | -72 | -94 | 022 | 0 | - |
| V 29 | 1789 | 449,2 | 15,4 | 1340 | 087,22 | 03,70 | 3 | 2 | 75,00 | 19,00 | 09,30 | -72 | -90 | 018 | -20 | -1 |
| V 30 | 1755 | 531,8 | 06,0 | 1223 | 203,80 | 01,60 | 3 | 2 | 79,20 | 10,00 | 09,30 | -72 | -84 | 012 | 100 | - |
| V 31 | 923,4 | 208,8 | 08,2 | 0715 | 087,04 | 03,30 | 2 | 3 | 74,10 | 00,00 | 09,50 | -80 | -84 | 004 | -30 | -1 |
| V 32 | 993,3 | 159,2 | 09,1 | 0834 | 092,17 | 00,10 | 2 | 2 | 69,20 | 00,00 | 08,50 | -78 | -92 | 014 | -50 | -1 |
| V 33 | 1205 | 147,1 | 13,1 | 1058 | 080,98 | 06,70 | 3 | 3 | 69,40 | 05,00 | 08,50 | -82 | -102 | 020 | -90 | -1 |
| V 34 | 1653 | 433 | 12,6 | 1220 | 096,79 | 01,50 | 3 | 2 | 37,90 | 09,00 | 09,00 | -92 | -102 | 010 | -110 | -1 |
| V 35 | 1319 | 333,2 | 08,7 | 0986 | 113,04 | 09,70 | 3 | 3 | 33,00 | 08,50 | 08,00 | -88 | -112 | 024 | -110 | -2 |
| V 36 | 1500 | 373,6 | 07,2 | 1126 | 156,46 | 08,20 | 3 | 2 | 40,40 | 10,00 | 06,10 | -90 | -102 | 012 | -110 | -1 |
| V 37 | 1524 | 131,2 | 10,6 | 1393 | 131,16 | 11,60 | 3 | 2 | 46,00 | 05,20 | 06,10 | -90 | -106 | 016 | -110 | -1 |
| V 38 | 1182 | 130,8 | 12,7 | 1051 | 082,55 | 01,20 | 2 | 2 | 52,10 | 00,00 | 06,10 | -92 | -106 | 014 | -110 | -1 |
| V 39 | 1768 | 137 | 09,4 | 1631 | 172,75 | 09,30 | 3 | 2 | 29,40 | 05,70 | 14,40 | -84 | -92 | 008 | -70 | -2 |
| V 40 | 1135 | 145,3 | 09,3 | 0989 | 106,85 | 25,00 | 2 | 2 | 26,10 | 00,00 | 14,40 | -84 | -92 | 008 | -170 | -1 |
| V 41 | 1426 | 202,8 | 12,5 | 1223 | 098,27 | 80,00 | 2 | 2 | 17,60 | 00,00 | 22,50 | -86 | -102 | 016 | -130 | -2 |
| V 42 | 1719 | 307,9 | 09,1 | 1411 | 154,76 | 89,00 | 2 | 2 | 09,30 | 00,00 | 22,50 | -94 | -108 | 014 | -70 | -1 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|------|------|--------|-------|---|---|-------|-------|-------|------|------|-----|------|----|
| V 43 | 2420 | 503,4 | 12,2 | 1916 | 156,57 | 70,00 | 3 | 2 | 49,70 | 06,70 | 21,80 | -102 | -126 | 024 | -120 | -1 |
| V 44 | 2016 | 494,1 | 06,7 | 1522 | 227,18 | 32,00 | 2 | 2 | 61,30 | 00,00 | 10,90 | -96 | -118 | 022 | -10 | -1 |
| V 45 | 1292 | 437,5 | 03,0 | 0855 | 285,84 | 48,00 | 3 | 2 | 51,00 | 16,30 | 22,70 | -84 | -96 | 012 | -100 | -1 |
| V 46 | 2055 | 520 | 07,0 | 1535 | 219,27 | 92,00 | 2 | 3 | 56,70 | 00,00 | 08,10 | -98 | -124 | 026 | -10 | -1 |
| V 47 | 2071 | 467,1 | 13,9 | 1604 | 115,38 | 95,00 | 3 | 2 | 65,20 | 07,30 | 08,10 | -100 | -128 | 028 | -90 | -1 |
| V 48 | 1652 | 329,3 | 05,2 | 1323 | 256,83 | 95,00 | 2 | 3 | 73,00 | 00,00 | 16,30 | -82 | -112 | 030 | 140 | -1 |
| V 49 | 786,9 | 121,9 | 12,3 | 0665 | 053,89 | 97,00 | 3 | 2 | 60,80 | 06,20 | 09,50 | -88 | -104 | 016 | -80 | -1 |
| V 50 | 1674 | 131,6 | 07,4 | 1542 | 209,80 | 53,00 | 2 | 2 | 71,70 | 00,00 | 19,70 | -88 | -96 | 008 | 230 | -1 |
| V 51 | 1422 | 118,3 | 07,7 | 1304 | 169,33 | 72,00 | 3 | 3 | 74,30 | 03,30 | 07,00 | -70 | -84 | 014 | 270 | -1 |
| V 52 | 1138 | 259,1 | 05,4 | 0879 | 162,83 | 00,10 | 2 | 2 | 84,00 | 00,00 | 12,80 | -60 | -84 | 024 | 90 | -1 |
| V 53 | 2133 | 116 | 08,1 | 2017 | 249,01 | 00,12 | 2 | 2 | 72,00 | 00,00 | 07,00 | -72 | -98 | 026 | 290 | -1 |
| V 54 | 1756 | 116,9 | 09,5 | 1639 | 172,55 | 00,15 | 3 | 2 | 68,00 | 07,80 | 25,10 | -50 | -86 | 036 | 410 | -1 |
| V 55 | 1547 | 379,6 | 09,0 | 1167 | 129,69 | 00,94 | 2 | 2 | 85,00 | 00,00 | 12,80 | -60 | -76 | 016 | 30 | -1 |
| V 56 | 2408 | 869,2 | 12,6 | 1539 | 122,10 | 00,95 | 3 | 2 | 57,90 | 14,20 | 15,00 | -58 | -84 | 026 | 90 | -3 |
| V 57 | 1435 | 307,3 | 07,1 | 1127 | 157,91 | 01,08 | 3 | 3 | 43,40 | 25,40 | 25,60 | -88 | -116 | 028 | -50 | -2 |
| V 58 | 2329 | 1022 | 07,4 | 1307 | 176,61 | 00,58 | 3 | 2 | 42,50 | 28,60 | 15,00 | -68 | -108 | 040 | -250 | -3 |
| V 59 | 1937 | 403 | 07,2 | 1534 | 213,12 | 00,94 | 3 | 2 | 34,30 | 11,00 | 09,50 | -104 | -126 | 022 | -70 | -1 |
| V 60 | 1394 | 212,9 | 08,1 | 1181 | 145,79 | 01,52 | 3 | 2 | 26,00 | 20,00 | 09,50 | -94 | -118 | 024 | -140 | -1 |
| V 61 | 1234 | 159,1 | 05,3 | 1075 | 202,90 | 03,00 | 3 | 2 | 16,00 | 30,80 | 10,70 | -74 | -98 | 024 | -120 | -1 |
| V 62 | 1339 | 128,2 | 13,7 | 1210 | 088,34 | 05,20 | 3 | 2 | 17,00 | 53,80 | 21,70 | -60 | -92 | 032 | -110 | -1 |
| V 63 | 909,2 | 125,2 | 08,6 | 0784 | 091,17 | 00,72 | 3 | 2 | 09,20 | 43,60 | 14,40 | -60 | -88 | 028 | -130 | -1 |
| V 64 | 1733 | 186,2 | 10,5 | 1547 | 147,30 | 01,10 | 3 | 2 | 20,00 | 21,10 | 10,20 | -90 | -120 | 030 | 40 | -1 |
| V 65 | 2415 | 693,1 | 13,3 | 1722 | 129,47 | 00,65 | 3 | 2 | 21,50 | 19,20 | 10,20 | -96 | -124 | 028 | 60 | -1 |
| V 66 | 2883 | 770 | 11,4 | 2113 | 185,39 | 00,12 | 3 | 2 | 33,00 | 08,00 | 21,70 | -102 | -130 | 028 | -100 | -1 |
| V 67 | 465 | 59 | 11,6 | 0406 | 035,00 | 00,94 | 3 | 2 | 06,00 | 19,00 | 22,60 | -62 | -88 | 026 | -110 | -1 |
| V 68 | 466,5 | 64 | 09,5 | 0403 | 042,37 | 01,08 | 1 | 2 | 00,00 | 13,40 | 22,60 | -60 | -80 | 020 | -60 | -1 |
| V 69 | 1229 | 100,4 | 09,2 | 1128 | 122,64 | 00,14 | 2 | 2 | 15,00 | 00,00 | 14,20 | -60 | -74 | 014 | -130 | -1 |
| V 70 | 1146 | 151 | 05,3 | 0995 | 187,76 | 00,12 | 3 | 2 | 25,50 | 07,70 | 14,20 | -56 | -86 | 030 | -110 | -1 |

Chú thích: (1)- Số thứ tự các nút giao cắt ; (2)- Độ cao cực đại của mỗi nút giao cấu trúc Hmax (m) ; (3)- Độ cao cực tiểu của mỗi nút giao cấu trúc Hmin (m) ; (4)- Khoảng cách trung bình giữa hai cực trị độ cao mỗi nút giao cấu trúc L (m) ; (5)- Độ tương phản của địa hình ΔH (m); (6)- Độ nghiêng của sườn ΔH/L (m) ; (7)- Hợp phần phần trăm khối lượng trầm tích hiện đại Q có trong mỗi nút giao (%) ; (9)- Đứt gãy bậc cao nhất có trong nút giao (RL); (10)- Tổng số các lineament giao hội có trong mỗi nút giao (NL); (11)- Khoảng cách đến lineament bậc cao nhất kề cận (D1); (12)- Khoảng cách đến ranh giới lineament bậc 2 liền kề (D2) ; (13)- Khoảng cách đến nút cấu trúc gần nhất liền kề (Dn); (14)- Giá trị cực đại trường trọng lực Bouguer trong nút giao (Bmax) mgal ; (15)- Giá trị cực tiểu trường trọng lực Bouguer trong nút giao (Bmin), mgal; (16)- Gradient trường trọng lực Bouguer trong nút giao ΔB = (Bmax - Bmin) (mgal); (17)- Giá trị cực đại trường dị thường Từ trong nút giao (Mmax) (nT); (18)- Giá trị cực tiểu trường dị thường Từ trong nút giao (Mmin) nT; (19)- Gradient trường dị thường Từ trong nút giao ΔM = (Mmax - Mmin) nT; (19)- Các dạng địa hình đặc trưng của mỗi nút giao cấu trúc {núi-đồng bằng (1), đồi-đồng bằng (2), núi-núi (3),đồng bằng (4)}; (20)- Tọa độ tâm điểm của các nút giao cấu trúc.

Số liệu đầu vào được tiến hành qua các bước tuần tự gồm rời rạc hóa (Discretization) và mã hóa (Coding) các biến này về dạng nhị phân, phục vụ cho phân chia các trường giá trị ra các ngưỡng khác nhau ở dạng nhị phân (Binary). Kết quả tính toán đã tạo ra file có đuôi mở rộng ở dạng Cod.Pri, nội dung file kết quả này được in ra file riêng. Kết quả file đầu ra biểu thị mức độ đóng góp khác nhau hay trọng số theo (%) của từng tham biến trong quá trình tính toán theo các ngưỡng phân chia khác nhau. Theo đó mức độ chênh lệch (mức độ phân hóa về %) với mỗi tham số cho mỗi nút khác nhau càng cao thì càng có ý nghĩa cho việc phân loại. Kết quả mã hóa và rời rạc được thể hiện và lưu trữ trong file đầu ra và hình vẽ, kết quả tính toán dựa vào độ chênh lệch giữa giá trị dị thường cực tiểu và cực đại của từng tham số, qua đó sẽ cho ta thấy trị số % của tham biến này trong quá trình phân loại sau này. Điều kiện để cho giá trị này được đánh giá tốt khi tham gia phân loại và bỏ phiếu khi nó thỏa mãn điều kiện là hiệu số chênh lệch giữa hai cực trị, trong khi rời rạc với trị số phần trăm ≥ 42%.

Tương tự như vậy quá trình rời rạc và mã hóa sẽ thực hiện lần lượt cho tất cả 70 nút giao cấu trúc với 18 tham biến liên quan. Bảng giá trị tổng hợp cuối cùng cho thấy vai trò, hay trọng số % đóng góp khác nhau, mức độ sử dụng của từng tham biến trong quá trình tính toán. Kết quả chồng chập về phân bố của 70 nút giao cấu trúc và chế độ hoạt động địa chấn vùng Tuần Giáo với $M_0 \geq 5,0$ là cơ sở giúp cho việc phân loại các nút giao cấu trúc vào các lớp khác nhau, cụ thể: số lượng nút giao cấu trúc thuộc lớp Do = 8, số lượng nút giao thuộc lớp No = 58, và số lượng nút giao thuộc lớp Xo = 4 (Hình 2).

Sau các quá trình tính toán nêu trên, chương trình sẽ tự động thực hiện lựa chọn (voting) cho các nút giao cấu trúc có tổ hợp chập của các giá trị tham biến đã mã hóa và rời rạc hóa làm sao cho gần với tập giá trị của các nút giao cấu trúc đã từng xuất hiện động đất trong quá khứ. Như vậy kết quả tính toán cuối cùng là tập hợp chồng chập các yếu tố, giá trị riêng lẻ của mỗi nút giao cấu trúc chứa đựng những nét tương đồng với các nút đã được xác định là nút sinh chấn trong quá khứ. Bước tính toán này được thực hiện trên chương trình tính toán PRA với giá trị đầu vào là file *Cod.pri*. Kết quả tính toán tiếp theo trên chương trình PRA sẽ cho phép thay đổi các biến thể sử dụng khác nhau nhằm tạo ra môi trường quan cao nhất giữa các lớp đã xuất hiện động đất và các nút dự báo. Nói cách khác là phép toán này sẽ cho phép tạo nên tổ hợp chồng chập tối ưu các tham biến giá trị trong tập giá trị đưa vào để đưa ra kết quả dự báo *Pra.pri*, với xác suất xuất hiện của các nút dự báo và các nút đã xuất hiện động đất là cao nhất có thể.

Kết quả tính toán cuối cùng đã đưa ra bảng phân loại các nút có nguy cơ xảy ra động đất trong tương lai được tính trên cơ sở các phép đồng dạng khác nhau. Kết quả được tính toán với các kịch bản khác nhau với mục tiêu đánh giá các nút giao cấu trúc có nguy cơ phát sinh các động đất với ngưỡng chấn cấp $M_0 \geq 5,0$, các bước thực hiện cũng được tiến hành tuần tự như trên. Kết quả file các số liệu đầu vào được tính toán rời rạc hóa và mã hóa về dạng nhị phân. Sau quá trình trên chương trình sẽ thực hiện lựa chọn cho các nút giao cấu trúc. Kết quả tính toán cuối cùng đưa ra bảng phân loại các nút giao cấu trúc có nguy cơ xảy ra động đất trong tương lai được với ngưỡng chấn cấp $M_0 \geq 5,0$ được trình bày trong trường hợp với $k1/k1t = 1/8$, $k2/k2t = 26/1$, $\Delta = 0$ cho kết quả tối ưu nhất. Theo phương án này cho thấy tổng số các nút giao cấu trúc có nguy cơ phát sinh động đất được lựa chọn là 23/70 trong đó: số lượng các nút giao cấu trúc thuộc lớp Do là 8/8 (100%), nút thuộc lớp No là 12/58 (20,67%) và các nút thuộc lớp Xo là 3/4 (75%).

Sơ đồ phân bố các nút giao cấu trúc được dự báo có nguy cơ xuất hiện động đất với ngưỡng $M_0 \geq 5,0$ được thể hiện trên Hình 3. Danh mục dự báo các nút giao cấu trúc có nguy cơ xuất hiện động đất trong vùng Tuần Giáo và lân cận bao gồm: thuộc lớp Do đã lựa chọn 8 nút đã dự báo (đã xảy ra động đất trong quá khứ), còn lại 15 nút khác thuộc hai nhóm No và Xo được dự báo với các ký hiệu là: V1, V2, V6, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V15, V23, V58, V61, V69, V70 (Hình 3).

Kết quả bài toán dự báo cho thấy các nút giao cấu trúc có nguy cơ gây ra động đất với $M_0 \geq 5,0$ phân bố chủ yếu trên ranh giới các khối CTĐĐL bậc 2 trong vùng nghiên cứu như: khối CTĐĐL cấp II Sông Mã - Sốp Cộp và Sông Đà - Sơn La, khối cấu trúc địa động lực cấp II Mường Tè - Mường Mò và Sông Mã - Sốp Cộp, khối Phan Si Pan - Tú Lệ và khối Sông Hồng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Phương pháp nghiên cứu dự báo các nút giao cấu trúc có nguy cơ gây động đất với $M_0 > 5,0$ bằng thuật toán nhận dạng CORA-3 trên cơ sở phân chia khối CTĐĐL lần đầu tiên được áp dụng cho vùng Tuần Giáo, nơi có chế độ địa chấn mạnh nhất ở miền Tây Bắc Bộ.

Kết quả nghiên cứu dự báo vùng Tuần Giáo đã giúp xác định được các nút giao cấu trúc có nguy cơ gây ra động đất với chấn cấp $M_0 > 5,0$ gồm các nút: V1, V2, V6, V8, V9, V10, V11, V12, V13, V15, V23, V58, V61, V69 và V70 (Hình 3). Dự báo vị trí các nút giao cấu trúc có nguy cơ xảy ra động đất với $M_0 \geq 5,0$ phân bố chủ yếu trên các ranh giới khối CTĐDL bậc 2 trong vùng nghiên cứu.

Kết quả của nghiên cứu này nhằm đóng góp cho công tác nghiên cứu địa chấn phục vụ phòng chống và giảm thiểu rủi ro do động đất gây ra, đồng thời cung cấp thông tin cần thiết cho cơ quan quản lý trong việc quy hoạch phục vụ cho phát triển bền vững. Hơn thế nữa, các kết quả cụ thể của công trình nghiên cứu này sẽ cung cấp cơ sở khoa học góp phần bổ sung và hoàn thiện hệ các phương pháp nghiên cứu, nhằm xác định các nguồn nguy cơ phát sinh động đất trong tương lai.

Kiến nghị: Trong thời gian tới, để phục vụ nghiên cứu dự báo động đất chi tiết cho các khu xây dựng các công trình quan trọng theo bài toán nhận dạng cần phải bổ sung và cập nhật tài liệu nghiên cứu về địa chất, địa vật lý, địa mạo, địa hình và số liệu quan trắc về dịch chuyển hiện đại ở tỷ lệ lớn hơn.

VĂN LIỆU

1. Alexeevskaya M.A., Gabrielov A.M., Gvishiani A.D., Gelfand I.M., Rantsamn E.Ya., 1977. Formal morphostructural zoning of mountain territories. *J. of Geophysics*, 43 : 227-233.
2. Cao Đình Triều, 2005. Trường địa vật lý và cấu trúc thạch quyển lãnh thổ Việt Nam, *Nxb KHKT. Hà Nội*.
3. Cao Đình Triều, Nguyễn Hữu Tuyên, Thái Anh Tuấn, 2006. Mối quan hệ giữa đặc trưng cấu trúc vỏ Trái đất và hoạt động động đất Tây Bắc Việt Nam. *TC Các KH về TD*, 28/2 : 155-164. *Hà Nội*.
4. Cao Đình Triều, Ngô Thị Lư, Mai Xuân Bách, Nguyễn Hữu Tuyên, Phạm Nam Hưng, Thái Anh Tuấn, 2007. Dự báo cực đại động đất phần đất liền lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở phân loại dạng vỏ Trái đất. *Tuyển tập Báo cáo HN KHKT ĐVL VN lần thứ 5* : 159-171. *Tp. Hồ Chí Minh*.
5. Cao Đình Triều, Rogozhin E.A., Yunga S.L, Ngô Thị Lư, Nguyễn Hữu Tuyên, Lê Văn Dũng, Nguyễn Thanh Tùng, Lê Duy Bách, Vũ Minh Tuấn, 2009. Một số kết quả bước đầu khảo sát dấu vết nghi ngờ do hoạt động của động đất cổ để lại tại miền Tây Bắc Bộ, Việt Nam. *TC Địa chất*, A/311 : 1-10. *Hà Nội*.
6. Cisternas A., Godefroy P., Gvishiani A., Gorshkov A., Kossobokov V., Lambert M., Rantsman E., Sallantin J., Saldano H., Soloviev A., Weber C., 1985. A dual approach to recognition of earthquake prone areas in the Western Alps. *Annale Geophysica*, 3/2 : 249-270.
7. Đặng Thanh Hải, 2003. Nghiên cứu một số đặc điểm cấu trúc sâu vỏ Trái đất và phân vùng địa chấn kiến tạo miền Bắc Việt Nam. *Luận án TS Vật lý, Viện VLĐC, Hà Nội*.
8. Đovjikov A.E. (*Chủ biên*), 1965. Địa chất miền Bắc Việt Nam (bản tiếng Nga). *Tổng cục Địa chất, Hà Nội*.
9. Gelfand I., Guberman Sh., Izvekova M., Keilis-Borok V., Rantsman E., 1972. Criteria of high seismicity, determined by pattern recognition. *Tectonophysics*, 13 : 415-422.

10. Gelfand I., Guberman Sh., Keilis-Borok V., Knopoff L., Press F., Rantsman E., Rotwain I., Sadovsky A., 1976. Pattern recognition applied to earthquake epicentres in California. *Physics of the Earth and Planet Interiors*, 11 : 227-283.
11. Gorshkov A.I., Kuznetsov I.V., Panza G.F., Soloviev A.A., 2000. Identification of future earthquake sources in the Carpatho-Balkan orogenic belt using morphostructural criteria. *Pure and Appl. Geophysics*, 157: 79-95.
12. Gorshkov A.I., Panza G.F., Soloviev A.A., Aoudia A., 2002. Morphostructural zoning and preliminary recognition of seismogenic nodes around the Adria margin in peninsular Italy and Sicily. *J. of Seism. and Earthquake Engineering*, 4/1 : 1-24.
13. Gorshkov A.I., Kossobokov V., Soloviev A.A., 2003. Recognition of earthquake prone areas. In: Keilis-Borok V., Soloviev A.A. (Eds) *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*. pp. 235-320. Springer, Heidelberg.
14. Gorshkov A.I., Panza G.F., Soloviev A.A., Aoudia A., 2004. Identification of seismogenic nodes in the Alps and Dinarides. *Boll. della Soc. Geol. Italiana*, 123 : 3-18.
15. Gorshkov A.I., Panza G.F., Soloviev A.A., Aoudia A., Peresan A., 2009. Delineation of the geometry of the nodes in the Alps-Dinarides hinge zone and recognition of seismogenic nodes ($M \geq 6$). *Terra Nova*.
16. Gvishiani A., Gorshkov A., Kossobokov V., Cisternas A., Philip H., Weber C., 1987. Identification of seismically dangerous zones in the Pyrenees. *Ann. Geophysica*, 5/6 : 681-690.
17. Gvishiani A., Gorshkov A., Rantsman E., Cisternas A., Soloviev A., 1988. Identification of earthquake-prone areas in the regions of moderate seismicity. *Nauka, Moskov*, 175 p.
18. King G., 1986. Speculations on the geometry of the initiation a termination processes of earthquake rupture and its relation to morphology and geological structure. *Pure and Applied Geophysics*, 124 : 567-583.
19. Lê Đức An, 1994. Kiến trúc hình thái Việt Nam (phần lục địa). *Tuyển tập CTNC địa lý*, tr. 15-33. Viện Địa lý. Hà Nội.
20. Nguyễn Hồng Phương, 1997. Đánh giá động đất cực đại cho các vùng nguồn chấn động ở Việt Nam bằng tổ hợp các phương pháp xác suất. *Các công trình nghiên cứu ĐC và ĐVL biển*, III : 48-65. Viện Hải dương học. Hà Nội.
21. Nguyễn Hữu Tuyên, Chu Văn Ngợi, Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, 2010. Bình đồ cấu trúc Tây Bắc và hoạt động động đất liên quan. *Tuyển tập Báo cáo HNKH Trường ĐH KHTN*, tr. 227-244. Hà Nội.
22. Nguyễn Hữu Tuyên, Cao Đình Triều, 2010. Đặc điểm biến dạng hiện đại vỏ Trái đất vùng Thủy điện Hòa Bình dựa trên số liệu quan trắc thời kỳ 2002-2008. *TC Địa Chất*, A/316 : 24-35. Hà Nội.
23. Nguyễn Ngọc Thủy (Chủ nhiệm), 2005. Phân vùng dự báo chi tiết động đất ở vùng Tây bắc. *Báo cáo Đề tài cấp Nhà nước KC-08-10*. Lưu Viện VLĐC.

24. Talwani P., 1999. Fault geometry and earthquakes in continental interiors. *Tectonophysics* 305 : 371-379.