

# ÁP DỤNG TỔ HỢP CÁC PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH THỐNG KÊ VÀ VẬT LÝ KIẾN TẠO ĐỂ DỰ BÁO ĐỘNG ĐẤT LÃNH THỔ VIỆT NAM VÀ LÂN CẬN

NGÔ THỊ LƯ, TRẦN VIỆT PHƯƠNG,  
NGUYỄN QUANG, VŨ THỊ HOÀN, PHÙNG THỊ THU HẰNG

*Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,  
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội*

**Tóm tắt:** Trên cơ sở áp dụng tổ hợp các phương pháp mô hình thống kê và vật lý kiến tạo, các tác giả đã tiến hành thử nghiệm dự báo động đất đối với lãnh thổ Việt Nam và các vùng lân cận trong hai trường hợp khác nhau. Các kết quả nhận được cho thấy: các trận động đất được dự báo trong cả hai trường hợp chủ yếu phân bố ở khu vực Tây Bắc Việt Nam và tập trung theo một số các đới đứt gãy lớn như Lai Châu - Điện Biên, Mường Tè, Nậm Khum, Sông Đà - Sơn La và Sông Mã, hoặc gần các nút giao của các đới đứt gãy trên. Từ các kết quả này, các tác giả đã thành lập các bản đồ dự báo động đất theo tổ hợp các phương pháp nghiên cứu đối với khu vực nghiên cứu và đã phát hiện một loạt các khu vực có độ nguy hiểm địa chấn cao ( $M_{max} \geq 6,0$ ) tại các khu vực miền Bắc, miền Trung và miền Nam Việt Nam.

## I. MỞ ĐẦU

Những năm gần đây, thảm họa động đất, sóng thần trên toàn cầu ngày một gia tăng, nhất là đối với khu vực Đông Nam Á nói riêng và Châu Á nói chung. Thảm họa động đất sóng thần Sumatra ngày 26/12/04 ( $M=9$ ), động đất Tứ Xuyên ngày 12/5/08 ( $M=7,9$ ), động đất Thanh Hải (Trung Quốc) ngày 14/4/2010 ( $M=6,9$ ) và gần đây nhất là động đất Mien Ma ngày 24/3/11 ( $M=6,9$ ); đặc biệt thảm họa do động đất, sóng thần Honshu, Nhật Bản ngày 11/3/11 ( $M=8,8$ ) đã gây tổn thất vô cùng nghiêm trọng về người, của và sự phá huỷ môi trường. Gần đây nhất, hiện tượng động đất liên tục xảy ra tại khu vực đập thủy điện sông Tranh 2 gây hoang mang trong dư luận cả nước nói chung và tỉnh Quảng Nam nói riêng. Tình hình thực tế nêu trên làm cho vấn đề dự báo động đất, sóng thần, vốn là vấn đề nan giải và luôn mang tính thời sự trên quy mô toàn cầu, càng trở nên cấp thiết hơn và đang được các nhà khoa học vô cùng quan tâm. Lãnh thổ Việt Nam nằm trong khu vực Đông Nam Á (ĐNA), nên ít nhiều chịu ảnh hưởng của vùng hoạt động kiến tạo tích cực và vùng nguy hiểm địa chấn cao của khu vực này. Do đó, nghiên cứu dự báo động đất đối với lãnh thổ Việt Nam và các vùng lân cận không những là vấn đề có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao mà còn là nhiệm vụ có tính cấp thiết đối với thực tế địa chấn Việt Nam. Trong công trình này, tác giả sẽ áp dụng Bộ chương trình được thiết lập trong [12] trên cơ sở mô hình thống kê kết hợp với phương pháp vật lý kiến tạo để dự báo động đất đối với lãnh thổ Việt Nam và lân cận.

## II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Như chúng ta đã biết, nghiên cứu dự báo động đất ở Việt Nam chủ yếu được tiến hành theo hai nhóm phương pháp chính là dự báo động đất cực đại ( $M_{max}$ ) trên cơ sở các tài liệu địa chất - địa vật lý và trên cơ sở phân tích thống kê địa chấn.

Dự báo động đất cực đại theo các tài liệu địa chất - địa vật lý gồm một số phương pháp chính như:

- *Phương pháp tính  $M_{max}$  theo quy mô vùng phát sinh động đất* đã được áp dụng trong các công trình [1, 14, 15, 17]. Độ chính xác của phương pháp này phụ thuộc vào độ chính xác của việc xác định kích thước của đoạn đứt gãy sinh chấn và bề dày tầng sinh chấn. Nó áp dụng tốt cho vùng có đứt gãy hoạt động nhưng đồng thời nó lại không thể dự báo được  $M_{max}$  cho những vùng khác không có đứt gãy hoạt động.

Các phương pháp *kiến tạo vật lý; phương pháp đánh giá chuyên gia; phương pháp sử dụng kết hợp các tài liệu địa chất – địa vật lý*: bước đầu đã được áp dụng ở Việt Nam trên cơ sở sử dụng các đặc trưng cấu trúc vỏ Trái đất [2, 3, 8].

Các phương pháp dự báo động đất cực đại trên cơ sở phân tích thống kê phân bố cực trị Gumbel, là phương pháp đã được ứng dụng trong một loạt các công trình nghiên cứu ở Việt Nam và thế giới [5, 9, 10, 12, 13, 20]; Các phương pháp *hợp lý cực đại; Sử dụng quy luật biểu hiện hoạt động động đất; phương pháp ngoại suy địa chấn; phương pháp dự báo  $M_{max}$  dựa vào hoạt động tiền chấn - dư chấn* [16] và *mô hình thời gian – magnitude để đánh giá khả năng phát sinh động đất* cũng đã được áp dụng ở Việt Nam và nhận được một số kết quả trong nhiều công trình khác nhau. Chẳng hạn như: bài toán dự báo động đất theo *mô hình thời gian – magnitude* đã được áp dụng lần đầu cho khu vực Lai Châu - Điện Biên [4]. Sau đó, tác giả lại tiếp tục áp dụng phương pháp này cho phần phía Bắc lãnh thổ Việt Nam và cũng đã nhận được một số kết quả đáng khích lệ [5].

Như vậy, dự báo động đất ở Việt Nam chủ yếu mới chỉ là dự báo trung hạn và dài hạn trên cơ sở các quy luật phát sinh động đất thông qua thuật toán thống kê. Các phương pháp "dự báo động đất" cực đại và sử dụng hàm phân bố Gumbel đều mang bản chất của xác suất thống kê. Chúng có ưu điểm là áp dụng thuận tiện, dễ dàng. Tuy nhiên, nhược điểm của chúng là không xác định được thời gian, tọa độ xảy ra động đất và độ tin cậy của kết quả phụ thuộc khá nhiều vào tính đầy đủ và độ chính xác của số liệu sử dụng.

Phương pháp ngoại suy địa chấn dựa trên cơ sở: động đất cực đại đã xảy ra trên đoạn này của đứt gãy thì cũng có thể xảy ra ở những đoạn khác của đứt gãy đó, hoặc ở trên những đoạn đứt gãy khác tương đồng với nó về vai trò và đặc trưng kiến tạo khu vực. Nguyên lý này có thể dẫn đến đánh giá sai về  $M_{max}$  vì động đất mạnh nhất đã quan sát thấy có thể chưa phải là động đất cực đại xảy ra, thêm vào đó, các điều kiện địa chấn kiến tạo khó có thể xem là đồng nhất.

Vì vậy, kết hợp cả hai phương pháp vật lý kiến tạo và mô hình thống kê chắc chắn sẽ là phương án hiệu quả hơn, cho phép loại bỏ được những hạn chế nêu trên. Ngô Thị Lư và nnk đã xây dựng bộ chương trình dự báo ngắn hạn động đất trên cơ sở cách tiếp cận này [12].

### **1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp và quy trình dự báo động đất theo mô hình thống kê**

Bản chất của phương pháp là dựa trên ý tưởng về khái niệm tập hợp các trận động đất với chấn tiêu trong một tiểu vùng S nào đó ở dạng chuỗi thời gian của các tham số ngẫu nhiên (thời điểm xảy ra động đất  $T_i$ , độ lớn của trận động đất  $M_i$ ) với các khoảng cách thời gian ngẫu nhiên giữa chúng ( $\Delta t_i$ ). Theo đó, có thể mô tả mô hình và thuật toán dự báo như sau:

Giả sử, một tiểu vùng S trong khu vực nguy hiểm địa chấn có danh mục động đất độc lập (đã được loại bỏ khỏi các TC và DC), đã biết thời điểm xảy ra động đất và magnitude của trận động đất sau cùng trong tiểu vùng S với magnitude M không nhỏ hơn ngưỡng  $M_{min}$  cho trước. Ngưỡng  $M_{min}$  được xác định tùy theo mục đích dự báo. Trận động đất sau cùng này được gọi là trận động đất tựa (sự kiện tựa) và được ký hiệu là  $Z_{op}$ . Trong các trường hợp còn lại, giá trị  $M_{min}$  được xác định bởi mức đại diện của danh mục động đất theo ngưỡng magnitude.

Nhiệm vụ của mô hình thống kê là dự báo thời điểm xảy ra động đất và magnitude của trận động đất với chấn tâm trong tiểu vùng S, xảy ra sau sự kiện tựa. Trận động đất đó được gọi là trận động đất dự báo. Thời điểm xảy ra và magnitude của trận động đất dự báo được coi là các đại lượng ngẫu nhiên. Khi đó, khái niệm dự báo động đất được hiểu là xác định kỳ vọng toán học và khoảng tin cậy của chúng khi cho trước xác suất đảm bảo  $P_g$ , đặc trưng cho độ chính xác của dự báo. Theo đó, dựa trên cơ sở lý thuyết về cách tiếp cận, phương pháp nghiên cứu và các đặc điểm của mô hình thống kê [6, 7], có thể biểu diễn một cách tóm lược các bước cơ bản của quy trình dự báo động đất theo mô hình thống kê như sau:

1/ Thành lập danh mục động đất (DMĐĐ) chứa  $T_s, M_s, \varphi_s, \lambda_s$  ( $s = 1, 2, \dots, n$ ) đối với một vùng nguy hiểm động đất.

2/ Tách các nhóm tiền chấn và dư chấn khỏi DMĐĐ.

3/ Chọn tiểu vùng nghiên cứu S giới hạn bởi các tọa độ như sau:

$$S\{ \lambda, \varphi \mid \lambda_1 \leq \lambda^{(0)} E \leq \lambda_2, \varphi_1 \leq \varphi^{(0)} N \leq \varphi_2 \}$$

4/ Thành lập danh mục động đất độc lập (DMĐĐDL) (đã loại tiền chấn, dư chấn) và lọc DMĐĐDL theo các điều kiện:

$$\lambda_1 \leq \lambda_s \leq \lambda_2, \varphi_1 \leq \varphi_s \leq \varphi_2, T_0 \leq T_s \leq T_k \text{ và } M_0 \leq M_s$$

Trong đó:  $T_0, T_k$ : các ranh giới đối với ngày xảy ra động đất thuộc DMĐĐ;  $M_0$ : ranh giới dưới của magnitude động đất trong khoảng thời gian từ  $T_0$  đến  $T_k$  ( $M \geq M_0$ ). Tập hợp các trận động đất này được gọi là tập hợp chạy. Sự kiện cuối cùng trong tập hợp chạy gọi là sự kiện tựa, ngày xảy ra nó sẽ kí hiệu là  $t_{op} = t_n$ . Động đất xảy ra ngay sau sự kiện tựa là động đất dự báo, xảy ra ở thời điểm  $T_k$  với  $M \geq M_0$ . Tất cả các sự kiện của tập hợp chạy sẽ có  $M \geq M_0$ . Nhiệm vụ của mô hình là đánh giá các đại lượng  $T_{pr}$  và  $M_{pr}$ .

5/ Thành lập chuỗi các khoảng thời gian ngẫu nhiên  $\Delta t_j = t_{j+1} - t_j$  và chuỗi các số gia  $\Delta m_j = m_{j+1} - m_j$  giữa các trận động đất liên nhau trong phép chọn.

6/ Xác định trên khoảng thời gian đã chọn  $[T_0, T_k]$  các khoảng thời gian chạy  $\{t_i, t_{i+1}\}$  với  $i = 1, 2, \dots, n$ , sao cho trong mỗi khoảng chạy có từ 10 đến 20 sự kiện tính  $t_{si} = (t_{i+1} + t_i)/2$ .

7/ Tìm kỳ vọng toán học và độ lệch bình phương trung bình theo chuỗi.

8/ Xác định ngày và magnitude của động đất dự báo tiếp sau động đất tựa.

9/ Lập bản đồ dự báo thông kê động đất chứa họ các đường đồng mức magnitude.

10/ Thành lập danh mục các sự kiện dự báo chứa các tham số cơ bản của các sự kiện: ngày, tháng, năm, giờ phút giây, tọa độ địa lý (kinh độ, vĩ độ), độ lớn động đất ( $M$ ).

## 2. Cơ sở lý thuyết của phương pháp vật lý kiến tạo phục vụ dự báo động đất

**Khái niệm phương pháp vật lý kiến tạo:** trong công trình này được hiểu là phương pháp xây dựng sơ đồ phân vùng dự báo động đất cực đại, trên cơ sở liên kết và đối sánh các kết quả dự báo động đất bằng phân loại vỏ Trái đất theo các đặc trưng vật lý kiến tạo của nó, sự phân bố các hệ thống đứt gãy kiến tạo trong khu vực.

Với ý nghĩa đó, trong công trình này tác giả áp dụng phương pháp phân loại vỏ Trái đất để dự báo động đất trên cơ sở sử dụng các dấu hiệu đặc trưng trong sự phù hợp với các công trình [18, 19]:

1/ Mật độ dòng nhiệt ( $Q$ ) (tính bằng  $mW/m^2$ );

2/ Bề dày vỏ Trái đất ( $T$ ), (km);

3/ Độ cao địa hình ( $R$ ) (hay là độ sâu đáy biển), (km);

4/ Độ thường đẳng tĩnh vỏ Trái đất ( $I$ ), (đơn vị ước định, tùy thuộc giá trị của tham số  $I$  đối với mỗi khu vực nghiên cứu);

5/ Độ sâu tới móng kết tinh hay bề dày lớp trầm tích ( $F$ ), (km).

Cửa sổ phân chia lưới tọa độ thông thường có kích thước là  $20' \times 30'$ , tương đương với kích thước một tờ bản đồ địa hình tỷ lệ 1/ 100.000.

Để phục vụ cho việc tính toán, giải quyết nhiệm vụ phân loại vỏ Trái đất theo các đặc trưng cấu trúc của nó, trước hết cần quy chuẩn giá trị số liệu ban đầu. Trên cơ sở kinh nghiệm thực tế giải

quyết nhiệm vụ này ở một loạt lãnh thổ thuộc Châu Âu, các nhà khoa học Nga đã đưa ra một số quy chuẩn sau đây:

1/ Các giá trị số liệu ban đầu được chuyển về một thang điểm quy chuẩn tới 32.000 đơn vị.

2/ Sử dụng 20 cấp phân chia giá trị, như vậy 1/20 khoảng phân chia sẽ tương đương với 1.600 đơn vị.

3/ Quy chuẩn các giá trị của tài liệu ban đầu theo khoảng phân chia và giá trị chuẩn của số liệu. Ví dụ giá trị thấp nhất của số liệu là Min, giá trị cao nhất là Max ta có giá trị vật lý là  $(M_{\max} - M_{\min}) / 20 = 32.000 / 20 = 1.600$  đơn vị quy chuẩn.

Trong công trình này, chúng tôi sử dụng thang phân cấp các tham số đặc trưng của vỏ Trái đất ( $\Delta Q, \Delta T, \Delta R, \Delta I, \Delta F$ ) theo tỷ lệ phần trăm (%). Sau khi đã phân chia vỏ Trái đất theo các dấu hiệu đặc trưng của cấu trúc thành các ô lưới, bằng cách so sánh các ô mà tại đó xảy ra động đất cực đại nhưng có tính tương đồng về đặc điểm cấu trúc vỏ Trái đất để cho rằng khả năng tích lũy và giải phóng năng lượng của chúng là như nhau.

Quá trình phân tích và xây dựng sơ đồ dự báo động đất cực đại ( $M_{\max}$ ) được tiến hành như sau:

- Chồng chập đối phân miền đặc trưng vỏ Trái đất với sơ đồ đặc điểm hoạt động động đất cực đại đã quan sát thấy ( $M_{\max}$ ).

-  $M_{\max}$  có trong ô bất kỳ sẽ được ghi nhận tại các ô khác cùng chung một đặc trưng vỏ Trái đất mà không cần quan tâm tại đó xảy ra động đất yếu hơn hay chưa xảy ra động đất.

- Tiến hành khoanh vùng dự báo  $M_{\max}$  trên cơ sở so sánh và liên kết các kết quả dự báo  $M_{\max}$  tại các ô lưới theo phân loại vỏ Trái đất với sự phân bố các hệ thống đứt gãy kiến tạo trong khu vực.

Như vậy qua quá trình phân tích, rõ ràng chúng ta đã thấy được ưu điểm nổi bật của phương pháp dự báo động đất theo các đặc trưng cấu trúc vỏ Trái đất cho phép dự báo động đất cực đại đối với những vùng thiếu số liệu địa chấn.

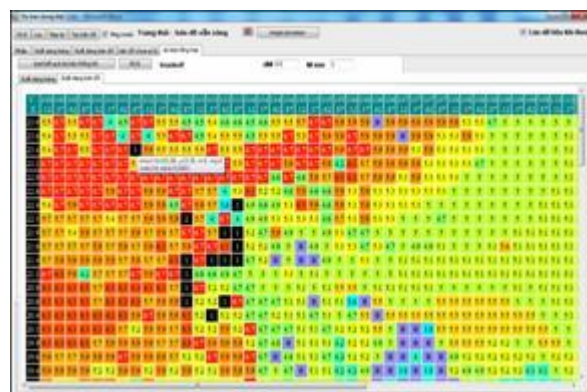
### III. KẾT QUẢ DỰ BÁO ĐỘNG ĐẤT THEO TỔ HỢP CÁC PHƯƠNG PHÁP

Trên cơ sở các phương pháp đã trình bày, tập thể tác giả công trình [12] đã xây dựng bộ chương trình dự báo ngắn hạn động đất theo tổ hợp các phương pháp.

Áp dụng bộ chương trình này để dự báo động đất đối với lãnh thổ Việt Nam và các vùng lân cận trong hai trường hợp dưới đây. Các kết quả được trình bày tại Hình 1.



a. Lựa chọn kích thước cửa sổ phân chia lưới tọa độ cho khu vực nghiên cứu ( $\Delta\varphi \times \Delta\lambda = 0,33^0 \times 0,50^0$ ;  $\Delta R, \Delta F, \Delta T, \Delta I = 5\%$ . riêng  $\Delta Q$



b. Lựa chọn kích thước cửa sổ phân chia lưới tọa độ cho khu vực nghiên cứu ( $\Delta\varphi \times \Delta\lambda = 0,25^0 \times 0,25^0$ ;  $\Delta R, \Delta F, \Delta T, \Delta I = 7\%$ , riêng  $\Delta Q$  để 100%; yêu cầu về độ chính xác dự báo với xác suất  $P_g = 80\%$ ).

đề 100 %; yêu cầu về độ chính xác dự  
báo với xác suất  $P_g = 80\%$ .

Hình 1. Kết quả áp dụng Bộ chương trình dự báo  $M_{max}$  trên cơ sở kết hợp mô hình thống kê với phương pháp phân loại vỏ Trái đất theo [12] ở dạng bản đồ.

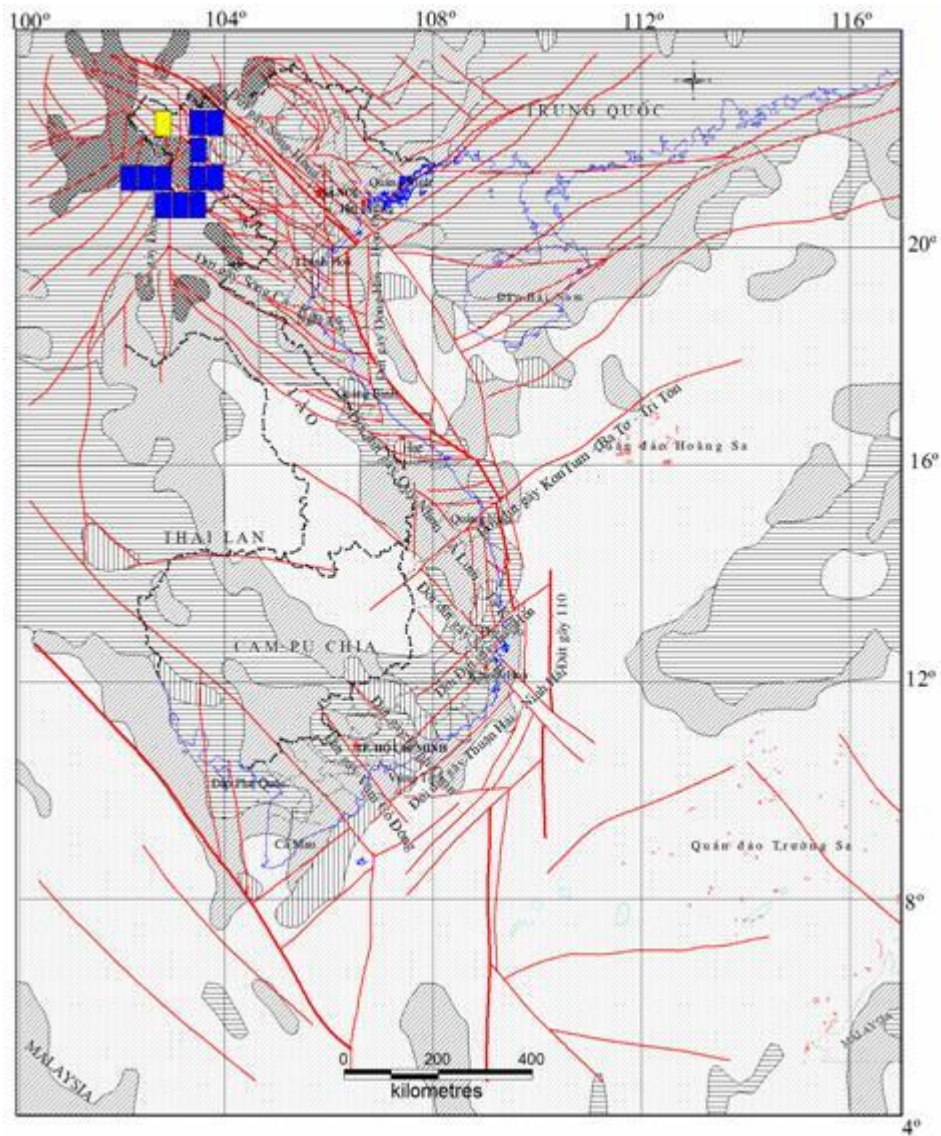
**1. Lựa chọn cửa sổ phân chia lưới tọa độ cho khu vực nghiên cứu với kích thước ( $\Delta\phi \times \Delta\lambda = 0,33^\circ \times 0,50^\circ$ ) cho mỗi ô;  $\Delta R, \Delta F, \Delta T, \Delta I$  đều để 5 %. Riêng  $\Delta Q$  để 100 %; yêu cầu về độ chính xác dự báo với xác suất  $P_g = 80\%$  (Hình 1a):**

Với các số liệu đầu vào được lựa chọn như trên, tác giả tiến hành thử nghiệm dự báo động đất cho lãnh thổ Việt Nam và lân cận. Kết quả dự báo trong trường hợp này được trình bày tại Hình 1a. Trên cơ sở so sánh và liên kết các kết quả nhận được với sự phân bố các hệ thống đứt gãy kiến tạo trong khu vực, tác giả đã xây dựng được sơ đồ tổng hợp dự báo động đất theo tổ hợp các phương pháp đối với khu vực nghiên cứu (Hình 2).

Các kết quả nhận được trên Hình 2 cho thấy sơ đồ dự báo động đất cực đại  $M_{max}$  thể hiện sự phù hợp tốt giữa đặc điểm phân bố các khối cấu trúc địa động lực với đặc điểm phân bố nhóm các kiểu vỏ Trái đất và các đặc trưng biểu hiện khả năng sinh chấn  $M_{max}$  của chúng. Những vùng được dự báo với độ nguy hiểm động đất cao ( $M_{max} \geq 6,0$ ) phần lớn có vị trí thuộc nơi giao nhau của các hệ thống đứt gãy khác nhau. Khu vực Tây Bắc Việt Nam là nơi có biểu hiện hoạt động động đất mạnh nhất với mức  $M_{max}$  dự báo  $\geq 6,0$ . Các khu vực khác có mức  $M_{max}$  dự báo chủ yếu dao động trong khoảng 4,0-4,9 và 5,0-5,9 tùy từng khu vực.

Các kết quả này cũng phù hợp tốt với các kết quả đã công bố bởi tập thể tác giả trong công trình [11], nhưng có độ chi tiết cao hơn so với các kết quả trong công trình [11].





**CHÚ GIẢI**

**Các vùng dự báo nguy hiểm địa chấn tiềm năng**

- Vùng không đủ dữ liệu để dự đoán.
- Vùng dự đoán với  $M_{max} = 3.0 - 3.9$
- Vùng dự đoán với  $M_{max} = 4.0 - 4.9$
- Vùng dự đoán với  $M_{max} = 5.0 - 5.9$
- Vùng dự đoán với  $M_{max} = 6.0 - 6.9$

**Vị trí dự báo động đất**

- 1 trận động đất dự báo sẽ xảy ra trong ô
- 2 trận động đất dự báo sẽ xảy ra trong ô

**Ký hiệu khác**

- Đứt gãy cấp 1
- Đứt gãy cấp 2 và cao hơn

Hình 2. Sơ đồ tổng hợp dự báo động đất theo tổ hợp các phương pháp. ( $\Delta\phi \times \Delta\lambda = 0,33^0 \times 0,50^0$ ) cho mỗi ô;  $\Delta R, \Delta F, \Delta T, \Delta I$  đều để 5%. Riêng  $\Delta Q$  để 100%; yêu cầu về độ chính xác dự báo với xác suất  $P_g = 80\%$ .

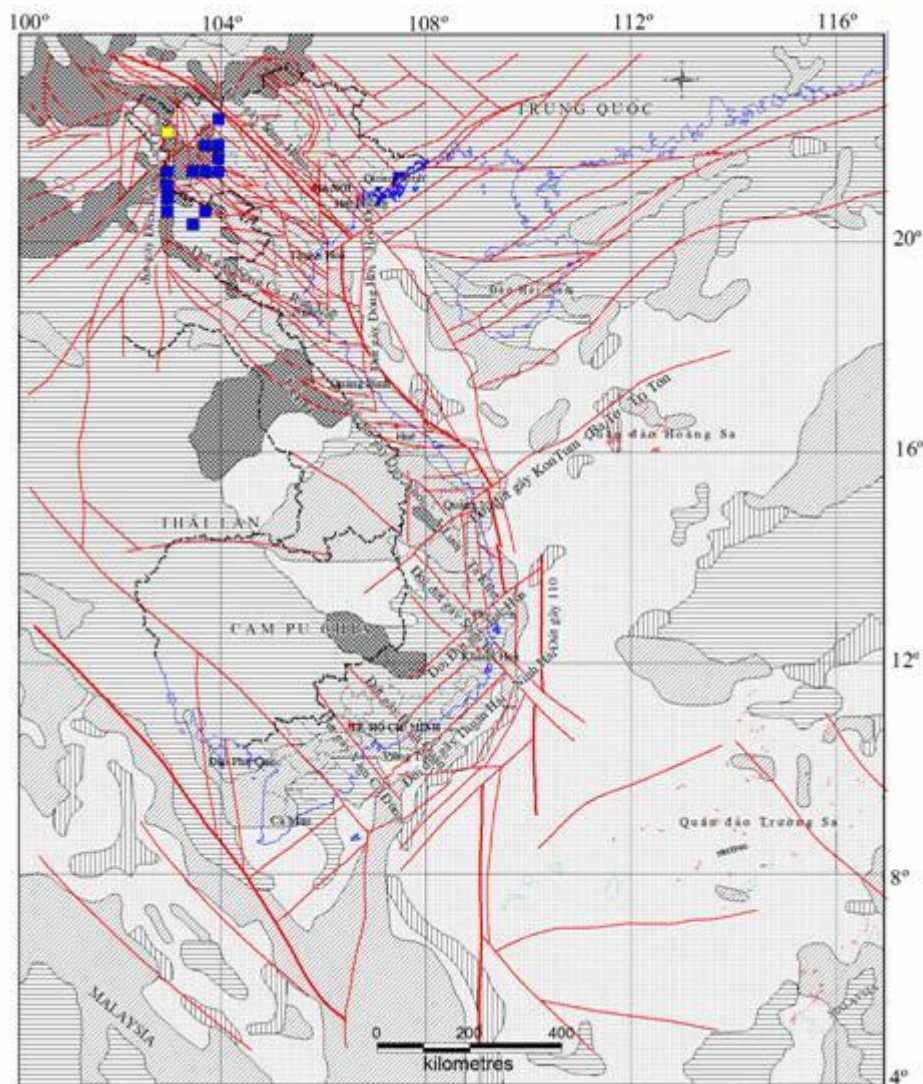
2. Lựa chọn cửa sổ phân chia lưới tọa độ cho khu vực nghiên cứu với kích thước ( $\Delta\phi \times \Delta\lambda = 0.25^0 \times 0.25^0$ ) cho mỗi ô, cửa sổ các tham số đặc trưng  $\Delta R, \Delta F, \Delta T, \Delta I$  đều chọn = 7 %, riêng  $\Delta Q$  để 100 %; yêu cầu về độ chính xác dự báo với xác suất  $P_g = 80\%$  (Hình 1b):

Hoàn toàn tương tự như đối với trường hợp trên, chúng tôi tiến hành dự báo động đất cho lãnh thổ Việt Nam và lân cận và nhận được kết quả trên Hình 1b.

So sánh các kết quả trên Hình 1a và 1b cho thấy: khi sử dụng các số liệu đầu vào (kích thước cửa sổ phân chia lưới tọa độ cho khu vực nghiên cứu và ranh giới phân chia giá trị các tham số

đặc trưng của vỏ Trái đất) khác nhau sẽ nhận được các kết quả dự báo động đất với mức độ chi tiết khác nhau. Ở đây, trong trường hợp thứ nhất chương trình đã dự báo được 13 trận động đất tại 13 ô lưới (Hình 2), còn trong trường hợp thứ hai chương trình dự báo được 16 trận tại 16 ô lưới (Hình 3).

So sánh và liên kết các kết quả nhận được với sự phân bố các hệ thống đứt gãy kiến tạo trong khu vực cho phép xây dựng được sơ đồ tổng hợp dự báo động đất theo tổ hợp các phương pháp đối với khu vực nghiên cứu trong trường hợp thứ hai (Hình 3).



Hình 3. Bản đồ tổng hợp dự báo động đất theo tổ hợp các phương pháp đối với lãnh thổ Việt Nam và lân cận ( $\Delta\varphi \times \Delta\lambda = 0.25^\circ \times 0.25^\circ$ );  $\Delta R, \Delta F, \Delta T, \Delta I = 7\%$ ;  $\Delta Q = 100\%$ ;  $P_g = 80\%$ ); (Các chú giải xem Hình 2).

Từ các kết quả nhận được trong cả hai trường hợp cho thấy: mặc dù số lượng các trận động đất được dự báo trong hai trường hợp là khác nhau, nhưng vị trí của chúng trong cả hai trường hợp chủ yếu phân bố ở khu vực Tây Bắc Việt Nam và tập trung theo một số các đới đứt gãy lớn như Lai Châu - Điện Biên, Mường Tè, Nậm Khum, Sông Đà - Sơn La và Sông Mã, hoặc gần các nút giao của các đới đứt gãy trên. Một số sự kiện được dự báo theo các phương án khác nhau cũng có vị trí gần trùng nhau.

Đáng chú ý, là theo kết quả dự báo bằng Bộ chương trình tổng hợp với việc sử dụng mô hình thống kê kết hợp với phương pháp vật lý kiến tạo đã phát hiện được một số khu vực có độ nguy hiểm địa chấn cao ( $M_{\max} \geq 6,0$ ).



Vùng có  $M_{\max} \geq 6,0$  thể hiện rõ nhất ở khu vực Tây Bắc, nơi phân bố các đứt gãy Lai Châu - Điện Biên (LC-ĐB) và nơi giao nhau của các đứt gãy LC-ĐB với đứt gãy Tuần Giáo, Sơn La, Sông Đà, Sông Mã. Dọc đới đứt gãy Sông Hồng và khu vực Đông Bắc Việt Nam chủ yếu được dự báo với mức  $M_{\max}$  trong khoảng 5,0 đến 5,9.

Ngoài ra, còn dự báo được các vùng có mức  $M_{\max} \geq 6,0$  phân bố gần nơi giao nhau của đới đứt gãy Quy Nhơn - A Lưới - Tà Khệt và đới đứt gãy Kon Tum - Ba Tơ - Tri Tôn (Hình 3). Các kết quả nhận được, không những là các kết quả mới so với các kết quả đã công bố bởi tập thể tác giả công trình [11] mà còn là một bằng chứng khẳng định khả năng dự báo động đất với mức độ chi tiết cao, khẳng định khả năng áp dụng của bộ chương trình trong thực tiễn địa chấn Việt Nam [12].

#### IV. KẾT LUẬN

Trên cơ sở áp dụng bộ chương trình được xây dựng theo tổ hợp các phương pháp mô hình thống kê và vật lý kiến tạo để thử nghiệm dự báo động đất đối với lãnh thổ Việt Nam và các vùng lân cận, đã nhận được các kết quả dự báo động đất trong 2 trường hợp khác nhau. Các kết quả này cho thấy: vị trí các trận động đất được dự báo trong cả 2 trường hợp chủ yếu phân bố ở khu vực Tây Bắc Việt Nam và tập trung theo một số các đới đứt gãy lớn như Lai Châu - Điện Biên, Mường Tè, Nậm Khum, Sông Đà - Sơn La và Sông Mã hoặc gần các nút giao của các đới đứt gãy trên. Một số sự kiện được dự báo theo các phương án khác nhau cũng có vị trí gần trùng nhau. Trên cơ sở các kết quả nhận được đã thành lập các bản đồ tổng hợp dự báo động đất theo tổ hợp các phương pháp đối với khu vực nghiên cứu. Từ đó đã phát hiện một loạt các khu vực có độ nguy hiểm địa chấn cao ( $M_{\max} \geq 6,0$ ) tại các khu vực miền Bắc, miền Trung và miền Nam Việt Nam.

#### VĂN LIỆU

1. Cao Đình Triều, 1999. Về một số quy luật hoạt động và khả năng dự báo khu vực phát sinh động đất mạnh ở Việt Nam. *TC Địa chất, A/251:14-21. Hà Nội.*

2. 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 Khoa học về Trái đất, T.28:155-164. Hà Nội.*

3. Cao Đình Triều, Ngô Thị Lư, Mai Xuân Bách và nnk, 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 khoa học tại Hội nghị Khoa học Kỹ thuật Địa Vật lý Việt Nam lần thứ 5, NXB KH&KT, Hà Nội, tr. 159-171.*

4. Đặng Thanh Hải, Nguyễn Đức Vinh, Cao Đình Triều, 2002. Dự báo dài hạn động đất khu vực Lai Châu - Điện Biên trên cơ sở mô hình thời gian - cấp độ mạnh. *TC Khoa học và Công nghệ, 40/4:45-53. Hà Nội.*

5. 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 Tiến sĩ Vật lý, Hà Nội, 170 tr.*

6. Grishin A.P., 2001. Mô hình thống kê dự báo thời gian và magnitude động đất. *TC Địa chấn và Núi lửa. Viện Hàn lâm Khoa học Nga. № 4. Moscow, 2001. Tr. 60-65. (Tiếng Nga).*

7. Grishin A.P., Kondoskaya N.V., Levin L.E., Solodinov L.N., Petrov A.L., Petrov O.M., 2001. Thử nghiệm dự báo thống kê ở vùng Kaspì (dự báo thời gian, tọa độ chấn tâm và magnitude động đất). Địa vật lý thế kỷ XXI. *Tuyển tập các tài liệu đọc về địa vật lý lần thứ 3 mang tên Pheđurnski V.V. Moscow, Thế giới khoa học, Tr. 149-156.*

8. Gubin I.E., 1950. Phương pháp kiến tạo phân vùng động đất. *Các công trình của Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học Liên Xô, (13).*

9. Gumbel E.J., 1958. Statistics of Extremes. *Columbia Univ. Press.*

10. Gutenberg B., Richter G.F., 1954. Seismicity of the Earth and associated phenomena. *Princeton Univ. Press.*



**11. Ngô Thị Lư (Chủ nhiệm), 2011.** Đánh giá tiềm năng địa chấn lãnh thổ Việt Nam theo tổ hợp các tài liệu địa chất – địa vật lý và địa chấn. *Nhiệm vụ hợp tác khoa học quốc tế giữa hai viện Hàn lâm Khoa học Việt Nam và Viện HLKH Liên bang Nga theo Nghị định thư cấp Nhà nước (giai đoạn 2008-2010), Hà Nội, 2011, báo cáo tổng kết đề tài. 163tr.*

**12. Ngô Thị Lư (Chủ nhiệm), 2013.** Xây dựng bộ chương trình thử nghiệm dự báo ngắn hạn động đất trên cơ sở mô hình thống kê kết hợp sử dụng các phương pháp vật lý kiến tạo, áp dụng đối với lãnh thổ Việt Nam và các vùng lân cận. *Đề tài độc lập cấp Viện HLKH&CN Việt Nam. Mã số VAST.ĐL.09/11-12. Hà Nội. 125tr.*

**13. 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 địa chất và địa vật lý biển, 3, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, tr. 48-65.*

**14. Nguyễn Đình Xuyên (Chủ biên), Nguyễn Ngọc Thủy và nnk, 1996.** Cơ sở dữ liệu cho các giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất ở Việt Nam. *Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp nhà nước mã số KT – ĐL 92 – 07, 3 tập, Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hà Nội.*

**15. Nguyễn Đình Xuyên, 2002.** Động đất và độ nguy hiểm động đất. *Tài liệu nội bộ, Lưu trữ tại Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hà Nội.*

**16. Nguyễn Đình Xuyên, Phạm Đình Nguyên, Phạm Quang Hùng, Nguyễn Ánh Dương, 2003.** Thử nghiệm dự báo động đất dài hạn theo quy luật hoạt động tiền chấn. *TC Các khoa học về Trái đất, 25/3:193-200. Hà Nội.*

**17. Phạm Văn Thục, 2007.** Địa chấn học và động đất tại Việt Nam, Bộ sách chuyên khảo Tài nguyên thiên nhiên và môi trường Việt Nam. *Nxb Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Viện KH&CN Việt Nam, Hà Nội. 378 tr.*

**18. Reisner G.I., Ioganson L.I., Reisner M.G., Baranov Iu.E., 1993.** Phân loại đặc trưng vỏ Trái đất và quá trình địa chất hiện đại. *Nxb Viện Hàn lâm Khoa học Liên Bang Nga, Moscow - 1993, 210 trang (Tiếng Nga).*

**19. Reisner G.I., Ioganson L.I., 1996.** The Extraregional Seismotectonic Method for the Assessment of Seismic Potential. *Natural Hazards 14. Kluwer Academic Publishers, printed in Netherland): 3-10.*

**20. Trần Thị Mỹ Thành, 2002.** Đánh giá độ nguy hiểm địa chấn lãnh thổ Việt Nam và lân cận. *Luận án Tiến sĩ Vật lý, Hà Nội, 161 tr.*