

TẬP BẢN ĐỒ XÁC SUẤT NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VIỆT NAM VÀ BIỂN ĐÔNG

Nguyễn Hồng Phương*, Phạm Thế Truyền

Viện Vật lý Địa cầu-Viện Hàn lâm khoa học và công nghệ Việt Nam
*E-mail: phuong.dongdat@gmail.com

Ngày nhận bài: 23-10-2014

TÓM TẮT: Bài báo này trình bày phiên bản mới nhất của tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông. Danh mục động đất cập nhật tới năm 2014 và các thông tin mới được công bố gần đây nhất về địa chấn kiến tạo và địa động lực khu vực Đông Nam Á được sử dụng để xác định ranh giới của 37 vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông giới hạn bởi kinh tuyến 125⁰ Đông. Mô hình tắt dần chấn động của Toro và cộng sự (1997) được áp dụng cho các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ và thềm lục địa Việt Nam, trong khi mô hình tắt dần chấn động xây dựng cho các đới hút chìm của Youngs, Chiou, Silva và Humphrey (1997) được áp dụng cho vùng nguồn máng biển sâu Manila. Các bản đồ nguy hiểm động đất biểu thị phân bố không gian của giá trị trung vị của gia tốc cực đại nền (PGA) với các xác suất bị vượt quá lần lượt bằng 10%, 5%, 2% và 0,5% trong vòng 50 năm. Các khu vực có độ nguy hiểm cao nhất bao gồm 1) vùng Tây Bắc Việt Nam, nơi có các vùng nguồn chấn động Điện Biên - Lai Châu và Sơn La, có giá trị PGA cực đại đạt tới 180 g và 272 g tương ứng với các chu kỳ thời gian từ 475 năm và 9975 năm; và 2) ngoài khơi Nam Trung Bộ, nơi có các vùng nguồn chấn động kinh tuyến 109⁰ và Cửu Long - Côn Sơn, có giá trị PGA cực đại đạt tới 118 g và 285 g tương ứng với các chu kỳ thời gian từ 475 năm và 9975 năm. Tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất cung cấp những thông tin dự báo định lượng ngắn hạn, trung bình và dài hạn về độ nguy hiểm động đất trên lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông và có thể được sử dụng trong thiết kế kháng chấn và nhiều ứng dụng địa chấn công trình.

Từ khóa: Bản đồ xác suất nguy hiểm động đất, gia tốc cực đại nền, vùng nguồn chấn động, mô hình tắt dần chấn động.

MỞ ĐẦU

Độ nguy hiểm động đất được định nghĩa như là xác suất xuất hiện một giá trị rung động nền do động đất gây ra tại một điểm trên bề mặt của Trái đất. Các kết quả đánh giá độ nguy hiểm động đất được sử dụng như dữ liệu đầu vào cho các tính toán đánh giá rủi ro động đất, khi được kết hợp với các kết quả đánh giá hiệu ứng nền địa phương (như khuếch đại rung động nền địa phương gây ra bởi các trầm tích bờ rời trên bề mặt, bởi cấu trúc địa chất hay địa hình địa phương) và các yếu tố dễ bị tổn thương (như thể loại, kết cấu hay tuổi thọ các công trình chịu rủi ro) để ước lượng các thiệt hại do

động đất gây ra tại khu vực đang xét. Vì vậy, việc tính toán và vẽ bản đồ xác suất nguy hiểm động đất luôn đóng vai trò quan trọng và không thể thiếu trong việc đánh giá độ nguy hiểm động đất cho một khu vực nghiên cứu.

Ở phạm vi quốc gia hay khu vực, các bản đồ nguy hiểm động đất thường được xây dựng bằng phương pháp xác suất và biểu diễn phân bố không gian của một trong số các tham số rung động nền như gia tốc, vận tốc hay dịch chuyển nền. Ở Việt Nam, tham số rung động nền thường được lựa chọn để xây dựng các bản đồ xác suất nguy hiểm động đất là đại lượng gia tốc cực đại nền (viết tắt tiếng Anh là PGA),

đo bằng đơn vị gal hay cm/s^2 . Giá trị thực tiễn của tham số này là ở chỗ, nó thường được sử dụng trực tiếp làm đầu vào cho các tính toán tải trọng công trình và thiết kế kháng chấn.

Tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất đầu tiên được Nguyễn Hồng Phương thành lập cho lãnh thổ Việt Nam năm 1993 [1]. Dựa trên bản đồ phân vùng địa chấn kiến tạo, thuật toán của A. C. Cornell và chương trình EQRISK của R. K. McGuire được sử dụng để tính toán và lập bản đồ gia tốc cực đại nền cho lãnh thổ Việt Nam. Đây là lần đầu tiên các mô hình xác suất được áp dụng trong toàn bộ quy trình đánh giá độ nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam, từ khâu xử lý thông kê các tài liệu động đất, ước lượng các tham số cho các vùng nguồn đến tính toán và thành lập các bản đồ gia tốc cực đại nền. Tuy nhiên, do những hạn chế về số liệu động đất và hiểu biết về kiến tạo khu vực lúc bấy giờ, trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam mới chỉ có 7 vùng nguồn chấn động xác định, trong đó toàn bộ phần lãnh thổ miền Nam Việt Nam được sử dụng như một vùng nguồn đơn lẻ. Ngoài ra, ảnh hưởng của các chấn động từ phía Biển Đông cũng chưa được xét đến trong công trình này. Nhược điểm nêu trên đã được khắc phục trong các bản đồ gia tốc cực đại nền thành lập cho lãnh thổ Việt Nam và các vùng lân cận công bố năm 1997 của cùng tác giả. Trong công trình này, ảnh hưởng do lan truyền chấn động từ các quốc gia lân cận tới lãnh thổ Việt Nam đã được tính đến bằng việc bổ sung thêm các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ Trung Quốc, Lào, Myanmar và Thái Lan. Ngoài ra, để tính đến ảnh hưởng lan truyền chấn động từ các vùng biển tới lãnh thổ Việt Nam, ranh giới của một vùng nguồn chấn động trên Ấn Độ Dương và 6 vùng nguồn khác trên khu vực Thái Bình Dương cũng được xác định. Tổng cộng có 17 vùng nguồn chấn động được sử dụng cho các tính toán và vẽ bản đồ xác suất nguy hiểm động đất được sử dụng trong công trình này [2]. Đến năm 2004, tập bản đồ này được tác giả cập nhật lại một lần nữa, với việc hiệu chỉnh lại ranh giới các vùng nguồn trên khu vực Biển Đông Việt Nam [3].

Trên thế giới, vào năm 1998, nhân thập kỷ giảm nhẹ thiên tai toàn thế giới (IDNDR), Chương trình đánh giá độ nguy hiểm động đất toàn cầu của Liên hợp quốc (GSHAP) cho ra đời bản đồ phân bố gia tốc nền thành lập cho

phạm vi toàn thế giới [4]. Trên bản đồ này, khu vực Việt Nam chỉ chiếm một vị trí rất không đáng kể, hơn nữa các vùng nguồn chấn động có ảnh hưởng tới Việt Nam lại không phải do các nhà địa chấn Việt Nam thành lập. Cũng cần nói thêm rằng, các hiệu ứng chấn động trên biển đối với lãnh thổ Việt Nam đã không được tính đến trong công trình này.

Từ những năm 2000, nhiều đề tài, dự án với quy mô lớn được triển khai thực hiện trong lĩnh vực nghiên cứu địa chấn đã cho phép thu thập và bổ sung thêm rất nhiều dữ liệu về động đất, địa chất và địa vật lý, làm thay đổi rất đáng kể bức tranh về địa chấn kiến tạo trên lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông. Việc phát hiện thêm và chi tiết hóa hệ thống các đới đứt gãy sinh chấn trên lãnh thổ và lãnh hải nước ta cũng làm thay đổi đáng kể phân bố không gian của các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ và các vùng biển Việt Nam dẫn đến nhu cầu thiết yếu là việc hiệu chỉnh các bản đồ xác suất nguy hiểm động đất đã xây dựng. Năm 2004, trong khuôn khổ của đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước của Viện Vật lý Địa cầu, Nguyễn Đình Xuyên và cộng sự đã sử dụng chương trình CRISIS99 để thành lập bản đồ PGA cho lãnh thổ Việt Nam với chu kỳ lặp lại chấn động bằng 500 năm. Ưu điểm chính của bản đồ này là nó đã được thành lập dựa trên bản đồ các vùng nguồn chi tiết nhất trên lãnh thổ và thềm lục địa Việt Nam tính đến thời điểm đó. Mặc dù vậy, công trình này chỉ giới hạn khuôn khổ tính toán trên lãnh thổ và một đới hẹp trên thềm lục địa Việt Nam mà không tính đến ảnh hưởng của các vùng nguồn chấn động trên khu vực Biển Đông. Bản đồ này sau đó được sử dụng trong Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 375:2006 được ban hành vào năm 2006 [5].

Năm 2010, cũng trong khuôn khổ hai đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước, Nguyễn Hồng Phương đã sử dụng chương trình CRISIS99 để cập nhật tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông [6]. Ưu điểm lớn nhất của bản đồ này là nó được xây dựng trên cơ sở một sơ đồ các vùng nguồn chấn động đầy đủ nhất từ trước đến nay trên cả lãnh thổ Việt Nam lẫn khu vực Biển Đông. Trên lãnh thổ Việt Nam, toàn bộ các vùng nguồn được kế thừa từ bản đồ của Nguyễn Đình Xuyên và Nguyễn Hồng Phương năm 2004 [3, 5]. Trên bản đồ này, các vùng

nguồn trên khu vực Biển Đông và các vùng biển thuộc các quốc gia lân cận như Philippines, Malaysia, Thái Lan và Đài Loan cũng được xây dựng chi tiết và với độ tin cậy cao. Tuy là tập bản đồ đầy đủ nhất từ trước đến nay, các kết quả của bản đồ năm 2010 chỉ được công bố cho dải ven biển Việt Nam và khu vực Biển Đông bao gồm hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa.

Mục đích của nghiên cứu này là hiệu chỉnh và hoàn thiện tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông đã xây dựng trên cơ sở cập nhật các số liệu động đất và hiệu chỉnh ranh giới các vùng nguồn chấn động có lưu ý tới các tài liệu mới nhất về địa chấn kiến tạo khu vực. Có thể coi công trình này như là sự hiệu chỉnh tập bản đồ độ nguy hiểm động đất đã được công bố năm 2010 [6]. Do khuôn khổ của bài viết, và cũng để tránh lặp lại những thông tin đã công bố trước đây, trong bài này sẽ chỉ tập trung mô tả những thay đổi và hiệu chỉnh được áp dụng cho tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất mới thành lập.

CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Trong nghiên cứu này, phương pháp xác suất kinh điển đánh giá độ nguy hiểm động đất do Cornell và Esteva cùng đề xuất lần đầu tiên năm 1968 được áp dụng [7, 8]. Phương pháp xác suất dựa trên giả thiết cho rằng nếu các vùng nguồn chấn động khác nhau được xác định trong phạm vi khu vực nghiên cứu thì sự phát sinh của các trận động đất xảy ra trong phạm vi mỗi vùng nguồn có tính độc lập thống kê và do đó tần suất bị vượt quá $\lambda(M)$ của các giá trị độ lớn động đất M bị vượt quá trong một đơn vị thời gian có thể tính được bằng cách sử dụng các số liệu trong danh mục động đất. Đại lượng $\lambda(M)$ được tính bằng số trận động đất có độ lớn M bị vượt quá trong một đơn vị thời gian và đặc trưng cho tính địa chấn của vùng nguồn chấn động.

Phương pháp xác suất cũng giả thiết là tất cả các điểm nằm bên trong phạm vi một vùng nguồn chấn động đều có thể được coi là một chấn tiêu động đất. Khi đó, tần suất bị vượt quá của một giá trị gia tốc nền a gây ra bởi một nguồn điểm đơn lẻ (nguồn thứ i) được tính theo công thức:

$$v_i(a) = \sum_j w_{ij} \int_{M_0}^{M_u} \left(-\frac{d\lambda_i(M)}{dM} \right) \Pr(A > a | M, R_{ij}) dM \quad (1)$$

Ở đây M_0 và M_u lần lượt là các giá trị cận dưới và cận trên của độ lớn động đất, $\Pr(A > a | M, R_{ij})$ là xác suất đề gia tốc nền A tại điểm đang xét vượt quá một giá trị a cho trước dưới tác động của một trận động đất có độ lớn M và có chấn tiêu nằm cách điểm tính một khoảng bằng R_{ij} . Trong các chương trình tính toán, R_{ij} là khoảng cách giữa điểm tính và một đơn vị nguồn, tức là một trong các thành phần nhỏ nhất mà vùng nguồn chấn động được chia đều ra. Các trọng số w_{ij} được gán cho mỗi đơn vị nguồn với giả thiết là $\sum w_{ij} = 1$. Cuối cùng, ảnh hưởng của tất cả N nguồn chấn động tới điểm đang xét được tính bởi công thức:

$$v(a) = \sum_{i=1}^N v_i(a) \quad (2)$$

Mô hình tính địa chấn được sử dụng trong nghiên cứu này là mô hình Gutenberg-Richter cải tiến, theo đó tần suất bị vượt quá của giá trị độ lớn động đất được tính bằng công thức:

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{e^{-\beta M} - e^{-\beta M_0}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}}, M_0 \leq M \leq M_u \quad (3)$$

Trong đó λ_0 là tần suất bị vượt quá của độ lớn động đất M_0 , β là đại lượng tương đương với “tham số b ” của mỗi vùng nguồn chấn động và M_u là độ lớn động đất cực đại ước lượng cho mỗi vùng nguồn chấn động.

Với giả thiết là sự phát sinh động đất trong mỗi vùng nguồn tuân theo luật phân bố Poát xông, hàm mật độ xác suất của đại lượng độ lớn động đất M được cho bởi:

$$p(M) = -\frac{d\lambda(M)}{dM} = \lambda_0 \beta \frac{e^{-\beta M}}{e^{-\beta M_0} - e^{-\beta M_u}}, M_0 \leq M \leq M_u \quad (4)$$

MÔ HÌNH NGUỒN CHẤN ĐỘNG

Danh mục động đất

Danh mục động đất tổng hợp được thành lập cho khu vực nghiên cứu bao gồm 4.496 trận động đất, được tập hợp từ các nguồn số liệu chính sau đây:

Danh mục động đất Việt Nam thời kỳ 114 - 2014, lưu trữ tại Trung tâm báo tin động đất và cảnh báo sóng thần, Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Danh mục này bao gồm cả các số liệu

động đất lịch sử và các số liệu đo được bằng máy, thu thập từ mạng lưới đài trạm quan trắc động đất của Việt Nam và các trung tâm địa chấn thế giới như *ISC, USGS, NEIS, BEJ*.

Danh mục động đất ghi nhận được bên ngoài lãnh thổ Việt Nam và trên các vùng biên lân cận Việt Nam trong khoảng thời gian 1524 - 2014, giới hạn trong phạm vi $\varphi=4,0 - 23,5^{\circ}\text{N}$; $\lambda=100 - 125^{\circ}\text{E}$.

Các đới đứt gãy hoạt động trên lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông

Việc xác định các đới đứt gãy hoạt động có quy mô, mức độ và cơ chế hoạt động khác nhau có ý nghĩa rất lớn trong việc xác định các vùng nguồn phát sinh động đất và đánh giá mức độ nguy hiểm của chúng trong vùng nghiên cứu. Để phục vụ công tác đánh giá độ nguy hiểm động đất, các đới đứt gãy kiến tạo có biểu hiện hoạt động đương đại trên toàn vùng nghiên cứu được phân cấp theo vai trò phân chia các yếu tố kiến trúc kiến tạo. Việc phân cấp đứt gãy theo vai trò cấu trúc dựa trên luận thuyết kiến tạo mảng (mảng, vi mảng, khối cấu trúc ...) và tiến hóa địa động lực (ép, tách, trượt bằng) của đứt gãy theo thời gian, độ sâu ảnh hưởng của đứt gãy (vỏ, xuyên vỏ). Các đứt gãy cấp I là ranh giới các mảnh, vi mảng, các đơn vị cấu trúc - hệ địa động lực khác nhau trong Kainozoi. Các đứt gãy cấp II là các đứt gãy sinh kèm hoặc lồng chìm của các đứt gãy cấp I khu vực nghiên cứu, đóng vai trò ranh giới các khối cấu trúc - địa động lực, các đới cấu trúc - địa động lực, các phụ khối cấu trúc - địa động lực. Các đứt gãy cấp III là các đứt gãy lồng chìm hoặc sinh kèm của các đứt gãy cấp II đóng vai trò ranh giới các phụ khối - địa động lực, thường bị khống chế hoặc giới hạn trong các khối - địa động lực hoặc miền cấu trúc - địa động lực. Những đới đứt gãy có quy mô lớn (bậc I, II, III) với độ sâu $\geq 15 - 20$ km đóng vai trò ranh giới các khối kiến tạo có quy mô khác nhau là những đới có khả năng phát sinh động đất.

Các vùng kiến tạo trên lãnh thổ Việt Nam bị chia cắt thành các đới nhỏ hơn, thường hẹp và kéo dài theo phương cấu trúc địa chất, bởi một mạng lưới các đới đứt gãy có kích thước khác nhau. Mức độ hoạt động của các đứt gãy được đánh giá ngoài thực địa dựa trên các dấu hiệu: địa chất, địa mạo, viễn thám, sự xuất lộ

các nguồn nóng - nước khoáng, nứt - trượt đất, dị thường thoát khí Radon, thủy ngân, mêtan, cacbonic, dị thường địa nhiệt. Dấu hiệu tin cậy cao là các biểu hiện hoạt động động đất trong thời kỳ hiện đại hay biên độ dịch trượt tính được từ đo lặp trắc địa chính xác. Đôi khi có thể là các biên vị của các thành tạo trầm tích Đệ tứ khi bị đứt gãy cắt qua cho phép xác định được tuổi bằng phương pháp huỳnh quang kích hoạt (OSL).

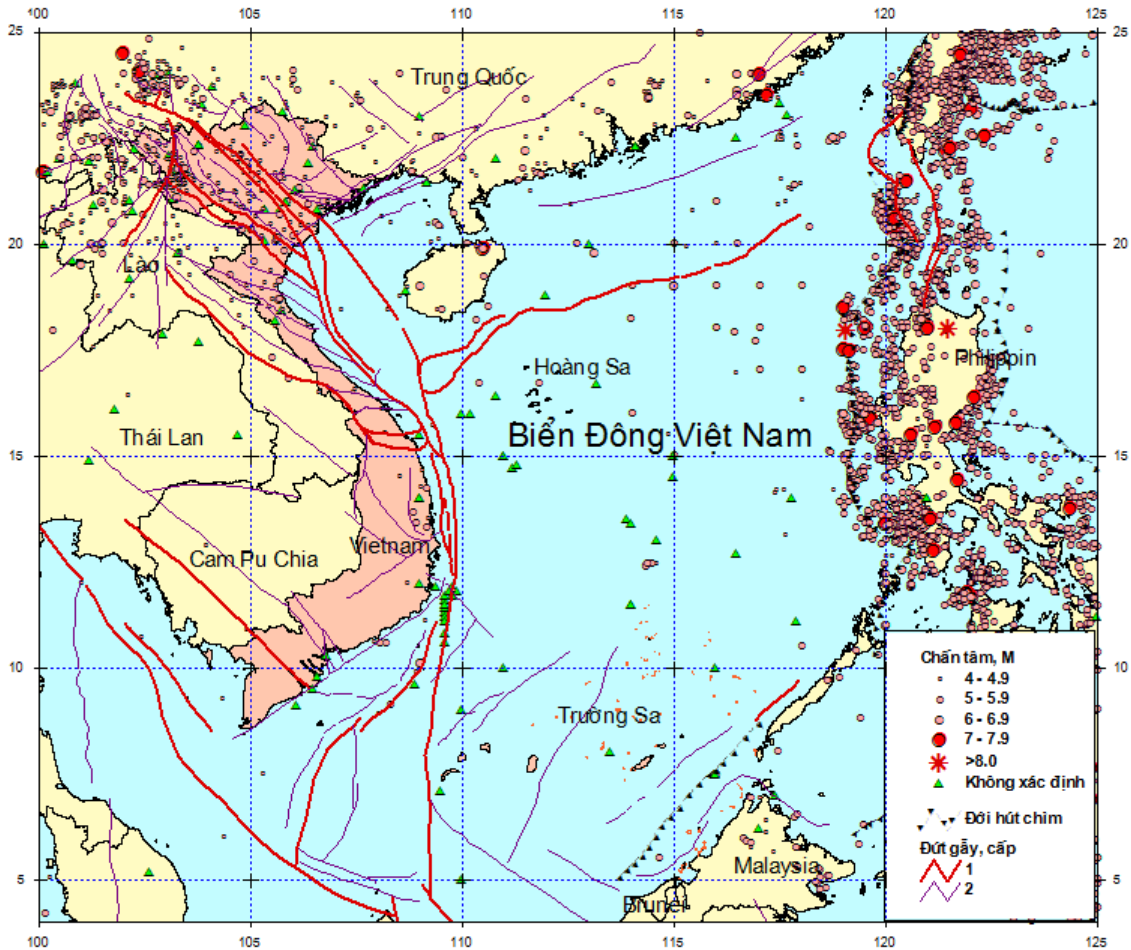
Năm 2007, để xây dựng mô hình nguồn tuyến phát sinh động đất phục vụ cho việc đánh giá độ nguy hiểm và độ rủi ro động đất ở Việt Nam, Nguyễn Hồng Phương và Phạm Thế Truyền đã thu thập, tổng hợp và thành lập một danh mục bao gồm 46 hệ thống đứt gãy sinh chấn đã được xác định trên toàn lãnh thổ và thêm lục địa Việt Nam [9]. Các đứt gãy được phân ra thành hai nhóm với cấp độ hoạt động khác nhau, trong đó cấp 1 bao gồm các đứt gãy phân chia các miền kiến tạo (mảng bậc 2) và cấp 2 bao gồm các đứt gãy đóng vai trò phân chia các cấu trúc chính trong các miền.

Từ năm 2010, các nghiên cứu chi tiết về đặc trưng địa chấn kiến tạo khu vực Đông Nam Á đã làm sáng tỏ cơ chế phát sinh động đất và sóng thần trên khu vực Biển Đông Việt Nam và các vùng biên lân cận [6, 10, 11]. Danh mục các đứt gãy sinh chấn trên lãnh thổ Việt Nam nhờ đó được chi tiết hóa và bổ sung thêm các tham số về tính phân đoạn của các đứt gãy hoạt động. Ngoài ra, các đới hút chìm và đứt gãy hoạt động phạm vi khu vực trên vùng Biển Đông Việt Nam cũng được nghiên cứu chi tiết và bổ sung vào danh mục các hệ thống đứt gãy sinh chấn. Bản đồ địa chấn kiến tạo lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông minh họa trên hình 1 cho thấy các đới hút chìm và đứt gãy khu vực chính sau đây có khả năng phát sinh động đất mạnh ảnh hưởng tới Việt Nam:

Đới hút chìm máng biển sâu Manila dài 1.150 km chạy dọc bờ tây quần đảo Philippines. Cho đến nay, trên đới hút chìm Manila đã từng ghi nhận được động đất có độ lớn vượt quá 8 độ theo thang Mô men và một số trận sóng thần gây thiệt hại cho khu vực ven biển của Philippines. Đối với Việt Nam, đới hút chìm Manila được coi là nguồn phát sinh động đất mạnh nguy hiểm nhất, có thể phát sinh sóng thần gây ảnh hưởng tới các vùng bờ biển Việt Nam [10, 11].

Các đứt gãy trượt bằng có kích thước khu vực như: đứt gãy kinh tuyến 109⁰ có cơ chế trượt phải trong giai đoạn hiện tại chạy dọc

ven biển miền Trung Việt Nam, đứt gãy á vĩ tuyến Nam Hải Nam và đứt gãy Ba Chùa chạy theo phương tây bắc - đông nam.



Hình 1. Bản đồ địa chấn kiến tạo Việt Nam và Biển Đông, số liệu động đất bao gồm cả các động đất lịch sử, được cập nhật đến năm 2014

Kèm theo các đới đứt gãy nêu trên còn có một số đới đứt gãy có kích thước và phạm vi nhỏ hơn, nhưng cũng có khả năng sinh chấn như Cửu Long - Côn Sơn, Thuận Hải - Minh Hải nằm trên thềm lục địa đông nam Việt Nam và Borneo - Palawan nằm trên vùng biển giữa Malaysia và Philippines.

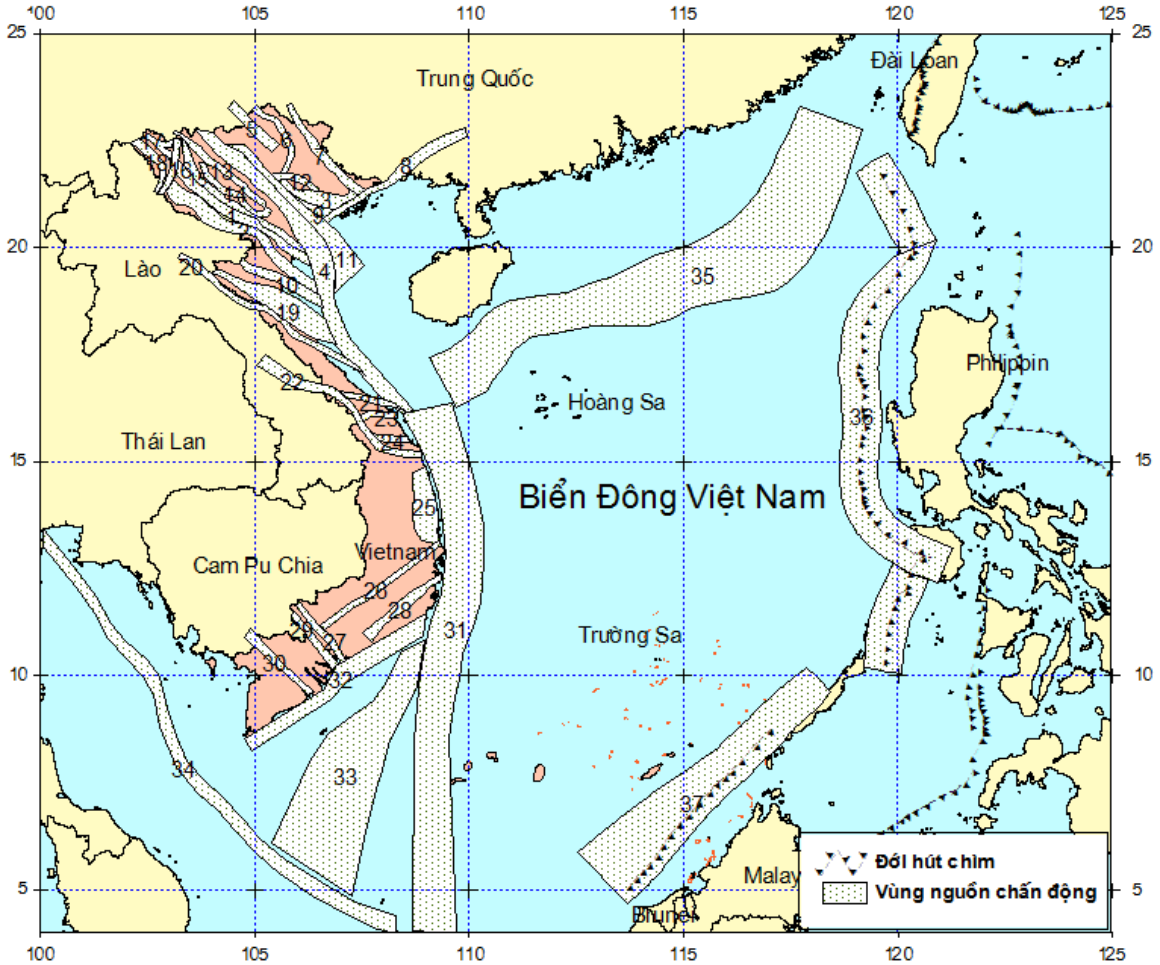
Các vùng nguồn chấn động

Trên cơ sở danh mục động đất và thông tin về các đới đứt gãy hoạt động đã biết, các vùng nguồn chấn động được xác định trên lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông. Các vùng phát sinh

động đất được coi là tổng cộng các vùng cực động của tất cả các trận động đất cực đại có khả năng xảy ra trong mỗi đới phá hủy kiến tạo. Đó chính là hình chiếu của các mặt đứt gãy kiến tạo (kể từ ranh giới bên dưới của tầng hoạt động) lên mặt đất. Tuy nhiên, trong nhiều trường hợp, do điều kiện số liệu động đất không đầy đủ, việc đánh giá mức độ hoạt động của đứt gãy dựa trên những số liệu địa vật lý, địa chất, và các bằng chứng tự nhiên. Ranh giới vùng nguồn do vậy được xác định theo mật độ phân bố các chấn tâm quan sát được, hay căn cứ vào tổ hợp phân bố của các đứt gãy, các

cung núi lửa liên quan. Ranh giới cuối cùng nhận được này, vẫn phản ánh trung thực các đặc trưng địa chấn kiến tạo cơ bản của đới như thể nằm, phương của các cấu trúc chính và

phân bố không gian của các chấn tâm, sẽ xác định các vùng nguồn động đất trong khu vực nghiên cứu.



Hình 2. Sơ đồ các vùng nguồn phát sinh động đất trên lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông, (Các số trên bản đồ trùng với số thứ tự của các vùng nguồn liệt kê trong bảng 2)

Áp dụng nguyên tắc trên, ranh giới của 37 vùng nguồn chấn động được vạch ra trên khu vực nghiên cứu gồm toàn bộ lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông. Đây là mô hình các vùng nguồn đầy đủ nhất, được hiệu chỉnh trên cơ sở kế thừa các nghiên cứu trước đây của Nguyễn Đình Xuyên (2004) và Nguyễn Hồng Phương (2004, 2010) [3, 5, 6]. Ở đây, giới hạn phía đông của khu vực nghiên cứu được lấy tới sát bờ tây của quần đảo Philippines. Như vậy,

có tất cả 30 vùng nguồn chấn động nằm trên phần lục địa của lãnh thổ Việt Nam và 7 vùng nguồn chấn động nằm trên Biển Đông. Trên hình 2 minh họa bản đồ các vùng nguồn chấn động sử dụng trong nghiên cứu này. Cần nhận xét rằng hai vùng nguồn máng biển sâu Manila và Palawan trên Biển Đông do nằm cách bờ biển Việt Nam trên 1.000 km sẽ gần như không gây ảnh hưởng chấn động tới lãnh thổ Việt Nam. Hai vùng nguồn này được đưa vào tính

toán với mục đích không bỏ sót những chấn động tác động tới hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa.

Ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn chấn động

Việc xử lý các số liệu động đất đóng một vai trò rất quan trọng trong quy trình đánh giá độ nguy hiểm động đất, đặc biệt là trong trường hợp áp dụng các phương pháp xác suất, bởi một trong những nguyên lý cơ bản và quan trọng của phương pháp đánh giá độ nguy hiểm động đất theo cách tiếp cận xác suất là các trận động đất sử dụng vào việc tính toán phải là các sự kiện độc lập với nhau về mặt thống kê. Vì thế, các số liệu động đất sau khi đã được đồng nhất đơn vị đo độ lớn và được nhóm theo từng vùng nguồn phải được tiếp tục xử lý để loại bỏ tất cả các tiền chấn và dư chấn, chỉ giữ lại các rung động chính trong chuỗi số liệu động đất. Chỉ có các động đất có độ lớn từ 4,0 trở lên được sử dụng cho các tính toán.

Nguyên lý loại bỏ dư chấn (hoặc tiền chấn) đã được biết đến rộng rãi. Giả sử t là thời điểm xảy ra động đất, h là độ sâu chấn tiêu, M là độ lớn động đất, i và j là số thứ tự của hai trận động đất trong danh mục, $j > i$. Trận động đất thứ hai được coi là dư chấn của trận động đất thứ nhất nếu các điều kiện sau đây được thoả mãn: khoảng cách chấn tâm giữa hai trận động đất này nhỏ hơn giá trị cho trước $R(M_i)$, $h_j - h_i \leq H(M)$; và $M_j \leq M_i$, với $T(M)$, $R(M)$ và $H(M)$ là các hàm thực nghiệm [12]. Thuật toán loại bỏ tiền chấn cũng hoàn toàn tương tự.

Trong công trình này, phần mềm Main.exe được sử dụng để loại bỏ tự động các tiền chấn - dư chấn của mỗi chuỗi số liệu động đất ứng với từng vùng nguồn chấn động. Các chuỗi số liệu đưa vào tính toán chỉ chứa toàn bộ các động đất chính để đảm bảo độ tin cậy cho các kết quả tính toán.

Để phục vụ tính toán và vẽ bản đồ độ nguy hiểm động đất, các tham số sau đây được ước lượng cho mỗi vùng nguồn:

Độ lớn động đất cực đại dự báo M_{max} ;

Các tham số a và b trong biểu thức tương quan giữa độ lớn và tần suất động đất (biểu thức Gutenberg - Richter) và các đại lượng suy diễn tương ứng λ và β .

Chu kỳ lặp lại dự báo $T(M)$ của các động đất mạnh trong vùng.

Các phương pháp hợp lý cực đại và cực trị được áp dụng đồng thời để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất. Cơ sở lý thuyết của hai phương pháp này đã được mô tả chi tiết trong nhiều công trình trước đây [1, 3, 6, 10]. Các nghiên cứu trước đây cho thấy phương pháp hợp lý cực đại cho các kết quả ước lượng tham số nguy hiểm động đất xác thực hơn so với phương pháp cực trị, đặc biệt là các giá trị M_{max} . Vì vậy, trong nghiên cứu này, phương pháp hợp lý cực đại được ưu tiên áp dụng cho các vùng nguồn chấn động.

Trong trường hợp số liệu động đất thu thập được tại một vùng nguồn quá ít để có thể áp dụng phương pháp xác suất - thống kê, phương pháp “tương đồng địa chấn kiến tạo” được áp dụng. Nguyên tắc của phương pháp này được phát biểu như sau: cho hai vùng nguồn động đất 1 và 2 có các điều kiện địa chấn kiến tạo và địa động lực tương đồng, nếu vùng nguồn 1 không có đủ số liệu động đất để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất và vùng nguồn 2 đã có các tham số nguy hiểm địa chấn được ước lượng, thì cho phép gán các tham số của vùng nguồn 2 cho vùng nguồn 1 [5, 6].

Phương pháp “tương đồng địa chất kiến tạo” được áp dụng để ước lượng tham số nguy hiểm động đất cho vùng nguồn Tuy Hòa - Củ Chi. Ngoài ra do không ghi nhận được số liệu động đất đủ lớn, vùng nguồn sông Sài Gòn được gán tham số của vùng nguồn Sông Vàm Cỏ Đông, được coi là có các điều kiện địa chất kiến tạo tương tự là trên khu vực nghiên cứu.

Kết quả ước lượng các tham số động đất cho các vùng nguồn trên lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông được liệt kê trong bảng 2.

Bảng 2. Tham số nguy hiểm động đất của các vùng nguồn trên lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông

TT	Tên vùng nguồn	λ_0	N	$M_{max_obs.}$	M_{max_HLCD}	M_0	b_{HLCD}	H (km)
1	Sơn La	0,11	45	6,7	$7,2 \pm 0,54$	4,0	0,49	22
2	Sông Mã - Pumaytun	0,227	18	6,8	$7,3 \pm 0,77$	4,0	0,59	22
3	Đông Triều - Uông Bí	0,084	9	5,6	$6,1 \pm 0,54$	4,0	0,48	22
4	Sông Hồng - Sông Chảy	0,051	37	5,8	$6,3 \pm 0,54$	4,0	1,00	17
5	Văn Sơn - Hà Giang		3	4,6	$5,1 \pm 0,82$	4,0	1,21	10
6	Thái Nguyên - Bắc Cạn	0,117	4	5,2	$5,7 \pm 0,26$	4,0	0,33	10
7	Cao Bằng - Tiên Yên	0,13	9	5,0	$5,5 \pm 0,92$	4,0	1,18	12
8	Cẩm Phả	0,034	2	4,8	$7,3 \pm 0,24$	4,0	0,16	12
9	Đông Bắc Trùng Hà Nội	0,006	4	5,5	$6,0 \pm 0,54$	4,0	0,63	12
10	Sông Hiếu	0,011	4	5,2	$5,7 \pm 0,37$	4,0	0,61	12
11	Sông Lô	0,10	4	4,8	$5,3 \pm 0,21$	4,0	0,25	12
12	Quốc Lộ 13A	0,04	3	4,8	$5,3 \pm 0,34$	4,0	0,58	10
13	Phong Thổ - Thanh Sơn	0,111	5	5,1	$5,6 \pm 0,23$	4,0	0,29	10
14	Mường La - Bắc Yên	0,121	10	4,9	$5,4 \pm 0,54$	4,0	0,44	12
15	Sông Đà	0,087	8	4,8	$5,3 \pm 0,54$	4,0	1,30	12
16	Lai Châu - Điện Biên	0,238	21	5,6	$6,5 \pm 0,54$	4,0	0,32	12
17	Mường Tè	0,083	3	4,7	$5,2 \pm 0,45$	4,0	0,79	12
18	Mường Nhé	0,476	10	5,3	$5,8 \pm 0,54$	4,0	0,66	12
19	Sông Cả - Khe Bó	0,016	14	6,0	$6,5 \pm 0,54$	4,0	0,74	17
20	Rào Nậy	0,027	2	4,2	$6,0 \pm 0,51$	4,0	0,58	12
21	Dakrong - Huế	0,016	2	4,8	5,3	4,0	1,0	12
22	Trà Bồng		2	-	$6,2 \pm 0,54$	4,0	0,63	12
23	Đà Nẵng	0,02	1	4,8	5,3	4,0	1,0	12
24	Tam Kỳ - Phước Sơn	0,02	1	4,7	5,2	4,0	1,0	12
25	Ba Tơ - Củng Sơn	0,034	9	5,3	$5,8 \pm 0,54$	4,0	0,14	12
26	Tuy Hòa - Củ Chi	0,02	1	4,8	5,3	4,0	1,0	10
27	Sông Sài Gòn	0,02	0	0	$4,5 \pm 1,56$	4,0	1,16	10
28	Nha Trang - Tánh Linh	0,4	2	4	$4,5 \pm 0,47$	4,0	0,59	10
29	Sông Vàm Cỏ Đông	0,02	3	4,0	$4,5 \pm 1,56$	4,0	1,16	10
30	Sông Hậu	0,02	2	4,4	$4,9 \pm 0,35$	4,0	0,36	12
31	Kinh tuyến 109 ^o	0,437	21	6,1	$6,6 \pm 0,28$	4,0	0,28	12
32	Thuận Hải - Minh Hải	0,434	5	5,1	$5,6 \pm 0,30$	4,0	0,32	12
33	Cửu Long - Côn Sơn	0,181	2	5,1	$5,7 \pm 0,38$	4,0	0,51	10
34	Ba Thập	0,02	1	4,5	5,1	4,0		10
35	Bắc Biển Đông	0,306	27	6,5	$7,0 \pm 0,23$	4,0	0,30	33
36a	Máng biển sâu Manila Bắc	4,72	236	8,2	$8,7 \pm 0,93$	5,0	0,65	35
36b	Máng biển sâu Manila Trung	6,04	490	8,0	$8,5 \pm 0,85$	5,0	0,88	35
36c	Máng biển sâu Manila Nam	1,4	28	6,2	$6,7 \pm 0,28$	5,0	0,56	35
37	Palawan	0,285	2	6,0	6,4	4,0		30

Chú thích: λ_0 - tần suất động đất có độ lớn M_0 bị vượt quá hàng năm; N - số động đất ghi nhận được trong phạm vi mỗi vùng nguồn; $M_{max_obs.}$ - giá trị độ lớn động đất cực đại quan sát; M_{max_HLCD} - giá trị độ lớn động đất cực đại tính bằng phương pháp hợp lý cực đại; M_0 - cận dưới giá trị độ lớn động đất; b_{HLCD} - giá trị b suy diễn từ kết quả của phương pháp hợp lý cực đại; H - bề dày tầng hoạt động của mỗi vùng nguồn chấn động.

QUY LUẬT TẮT DẦN CHẤN ĐỘNG

Việc xác lập biểu thức tắt dần chấn động cho khu vực nghiên cứu đóng vai trò quan trọng và thường được xem xét như là một bước

độc lập của quy trình đánh giá độ nguy hiểm động đất. Ở Việt Nam, do thiếu số liệu gia tốc từ những trận động đất mạnh nên trong một thời gian dài việc đánh giá nguy hiểm động đất phải sử dụng các biểu thức tắt dần chấn động

được xây dựng cho các khu vực khác trên thế giới. Mặc dù từ năm 2011, đã có hai biểu thức tắt dần chấn động được xây dựng cho miền Bắc Việt Nam, cho đến nay chúng vẫn chưa được áp dụng rộng rãi do độ tin cậy của các biểu thức này vẫn còn đang được kiểm nghiệm [13, 14].

Cho đến nay, đã có nhiều biểu thức tắt dần chấn động khác nhau được áp dụng để đánh giá độ nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam. Bản đồ xác suất nguy hiểm động đất đầu tiên do Nguyễn Hồng Phương thành lập năm 1993 sử dụng biểu thức tắt dần chấn động của McGuire [1, 15]. Tập bản đồ được tác giả hiệu chỉnh vào các năm 1997 và 2004, sử dụng biểu thức tắt dần chấn động xây dựng cho khu vực Vân Nam, Trung Quốc [2, 3, 25]. Năm 2004, bản đồ xác suất nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam do Nguyễn Đình Xuyên và cộng sự thành lập áp dụng đồng thời hai biểu thức tắt dần chấn động của Campbell (1997) và Toro và cộng sự (1997) [5]. Năm 2010, Nguyễn Hồng Phương và cộng sự sử dụng biểu thức tắt dần chấn động của Campbell (1997) để thành lập các bản đồ xác suất nguy hiểm động đất cho dải ven biển Việt Nam và Biển Đông [6], và đến năm 2014, cùng một tập thể tác giả đã sử dụng các mô hình NGA08 để thành lập các bản đồ xác suất nguy hiểm động đất cho vùng Nam Trung Bộ.

Trong nghiên cứu này, biểu thức tắt dần chấn động của Toro, Abrahamson và Schneider (1997) được sử dụng để thành lập tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam. Biểu thức này được xây dựng cho miền Đông Hoa Kỳ, một khu vực bình ổn về tính địa chấn so với miền Tây nước Mỹ và do đó theo chúng tôi là phù hợp với điều kiện của Việt Nam. Biểu thức tắt dần chấn động của Toro, Abrahamson và Schneider (1997) có dạng tổng quát như sau [23]:

$$\ln Y = c_1 + c_2(M - 6) + c_3(M - 6)^2 - c_4 \ln R_M - (c_5 - c_6) \max \left[\ln \left(\frac{R_M}{100} \right), 0 \right] - c_6 R_M + \varepsilon_e + \varepsilon_a \quad (5)$$

$$R_M = \sqrt{R_{jb}^2 + C_7^2} \quad (6)$$

Ở đây Y là giá trị gia tốc cực đại nền (đo bằng g), các hệ số từ c_1 đến c_7 được xác định bằng

mô hình lý thuyết, M là độ lớn động đất theo thang mô men, R_M là khoảng cách chân tiêu, và R_{jb} là khoảng cách gần nhất theo phương nằm ngang tới đứt gãy (còn gọi là khoảng cách Joyner-Boor), đo bằng km.

Cũng cần lưu ý rằng, việc áp dụng một biểu thức tắt dần chấn động duy nhất cho một khu vực rộng lớn sẽ dẫn đến những sai số trong các kết quả ước lượng độ nguy hiểm động đất. Vì vậy, đối với vùng nguồn máng biển sâu Manila, nghiên cứu này sử dụng quy luật tắt dần chấn động xây dựng cho các đới hút chìm do Youngs, Chiou, Silva và Humphrey (1997) đề xuất [26]:

$$\ln Y = a_{IF} \cdot G_{IF} + a_{IS} \cdot G_{IS} + 1,414M + b(10 - M)^3 + c \cdot \ln(R + 1,782e^{0,554M}) + 0,00607H \quad (7)$$

Ở đây Y là giá trị gia tốc cực đại nền (đo bằng g), M là độ lớn động đất theo thang mô men, R là khoảng cách gần nhất tới hình chiếu của đứt gãy trên mặt đất, a_{IF} , a_{IS} là các hệ số ứng với các trường hợp động đất nội mảng và rìa mảng, G_{IF} , G_{IS} là các chỉ số chi loại nguồn, trong đó $G_{IF}=1$ đối với các động đất nội mảng và $G_{IF}=0$ trong trường hợp ngược lại, $G_{IS}=1$ đối với các động đất rìa mảng và $G_{IS}=0$ trong trường hợp ngược lại, H là độ sâu chân tiêu, đo bằng km.

TẬP BẢN ĐỒ ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT LÃNH THỔ VIỆT NAM VÀ BIỂN ĐÔNG

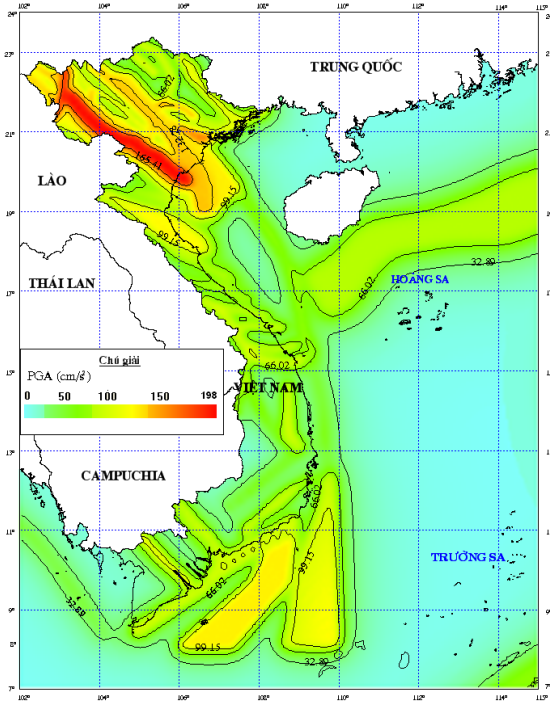
Chương trình CRISIS2007 của Ordaz và cộng sự được áp dụng để tính toán độ nguy hiểm động đất cho khu vực nghiên cứu, với các số liệu đầu vào sau đây [16]:

Bản đồ các vùng nguồn chấn động trong khu vực nghiên cứu (hình 3).

Các tham số nguy hiểm động đất và các tham số phục vụ tính toán độ nguy hiểm động đất xác định cho từng vùng nguồn (bảng 2).

Bảng 2 liệt kê toàn bộ 37 vùng nguồn chấn động và các tham số tương ứng được sử dụng trong việc tính toán và thành lập bản đồ độ nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông. Đối với tất cả các vùng nguồn, giá trị cận dưới độ lớn động đất được chọn là $M_0=4,0$. Gia tốc cực đại nền (đo bằng đơn vị % gal) được tính tại mỗi điểm của mạng

lưới $0,2^0 \times 0,2^0$ phủ lên toàn vùng nghiên cứu và được sử dụng để xây dựng các bản đồ độ nguy hiểm động đất.



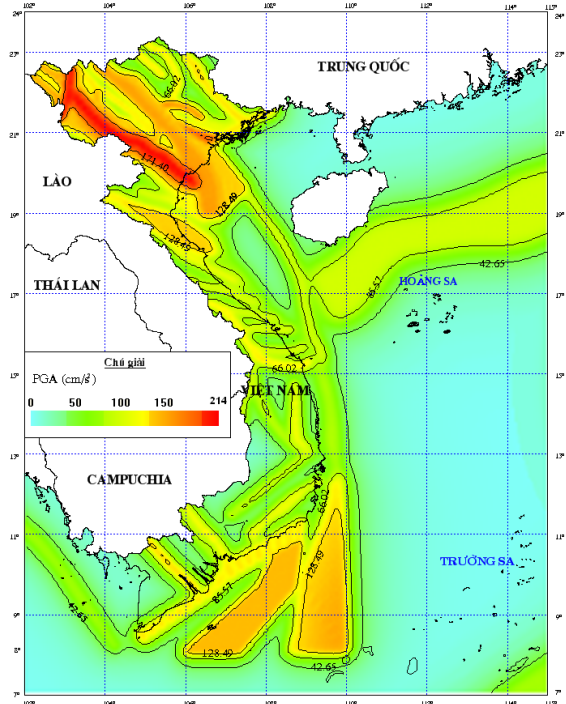
Hình 3. Bản đồ gia tốc cực đại nền (PGA) lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông tính cho nền đá với 10% xác suất bị vượt quá trong vòng 50 năm

Trên các hình 3, 4, 5 và 6 minh họa tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất thành lập cho lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông với ranh giới phía đông của khu vực nghiên cứu được thu nhỏ đến kinh tuyến 125^0N . Các bản đồ biểu thị phân bố không gian của đại lượng gia tốc cực đại nền (PGA) đo bằng đơn vị cm/s^2 (hay gal) tính cho nền đá, tương ứng với 10%, 5%, 2% và 0,5% xác suất bị vượt quá trong vòng 50 năm. Với giả thiết về phân bố Poát xông của sự phát sinh động đất, các giá trị PGA thể hiện trên các bản đồ ứng với các chu kỳ lặp lại lần lượt bằng 475, 975, 2475 và 9975 năm [3].

Từ các bản đồ kết quả có thể đưa ra một số nhận định sau đây:

Phân bố không gian của các giá trị PGA trên các bản đồ phản ánh khá rõ nét ranh giới của các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông. Cường độ

chấn động mạnh nhất tập trung tại vùng Tây Bắc lãnh thổ Việt Nam, nơi có các đới đứt gãy Điện Biên - Lai Châu và Sông Mã và trên thêm lục địa Nam Trung Bộ, nơi có đới đứt gãy Kinh tuyến 109^0 .

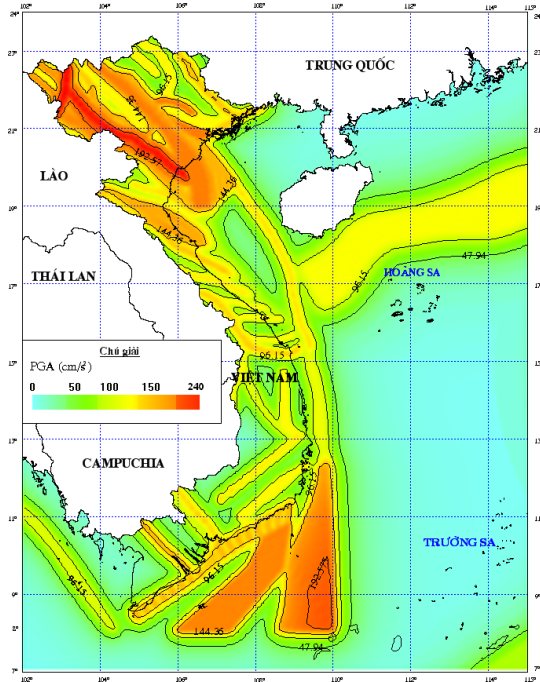


Hình 4. Bản đồ gia tốc cực đại nền (PGA) lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông tính cho nền đá với 5% xác suất bị vượt quá trong vòng 50 năm

Trên lãnh thổ Việt Nam, rung động nền mạnh nhất quan sát thấy tại khu vực tây bắc đất nước, tập trung trên hai vùng nguồn Điện Biên - Lai Châu và Sơn La. Ứng với các chu kỳ lặp lại lần lượt bằng 475, 975, 2475 và 9975 năm, gia tốc cực đại nền trên vùng nguồn Điện Biên - Lai Châu đạt các giá trị lần lượt bằng $180 cm/s^2$, $202 cm/s^2$, $235 cm/s^2$ và $272 cm/s^2$, còn trên vùng nguồn Sơn La đạt các giá trị lần lượt bằng $194 cm/s^2$, $210 cm/s^2$, $232 cm/s^2$ và $264 cm/s^2$. Cần lưu ý rằng đối với chu kỳ lặp lại khoảng 10.000 năm, các giá trị rung động nền tại hai vùng nguồn nêu trên tương đương với cường độ chấn động trên bề mặt cấp IX theo thang MSK-64.

Ngoài hai vùng chấn động mạnh nhất nêu trên, trên lãnh thổ Việt Nam còn quan sát thấy

một loạt các vùng nguồn có rung động nền mạnh. Ứng với chu kỳ lặp lại 9975 năm, các vùng nguồn có rung động nền mạnh tới cấp VIII có thể liệt kê bao gồm : Sông Hồng - Sông Chảy, Rào Nậy, Sông Cả - Khe Bô và Trà Bông.

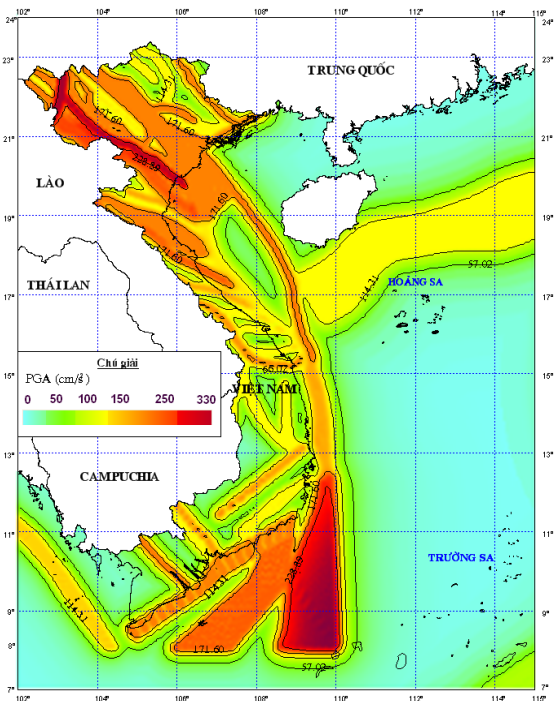


Hình 5. Bản đồ gia tốc cực đại nền (PGA) lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông tính cho nền đá với 2% xác suất bị vượt quá trong vòng 50 năm

Giá trị gia tốc cực đại nền lớn nhất quan sát thấy trên thềm lục địa Nam Trung Bộ, tại vùng nguồn Kinh tuyến 109⁰. Ứng với các chu kỳ lặp lại lần lượt bằng 475, 975, 2475 và 9975 năm, gia tốc cực đại nền trên vùng nguồn Kinh tuyến 109⁰ đạt các giá trị lần lượt bằng 118, 151 cm/s², 200 cm/s² và 285 cm/s². Cần lưu ý rằng đối với chu kỳ lặp lại khoảng 10.000 năm, các giá trị rung động nền tại vùng nguồn này tương đương với cường độ chấn động trên bề mặt cấp IX theo thang MSK-64. Ngoài ra, trên thềm lục địa Nam Trung Bộ Việt Nam còn có hai vùng nguồn có rung động nền mạnh là Cửu Long - Côn Sơn và Thuận Hải - Minh Hải. Ứng với chu kỳ lặp lại 9975 năm, rung động cực đại trên hai vùng nguồn này đạt tới giá trị tương

đương với cường độ chấn động trên mặt tới cấp VIII theo thang MSK-64.

Trên vùng thềm lục địa miền Trung Việt Nam, chấn động với gia tốc cực đại 122 gal (tương đương cường độ trung bình tới cấp VIII theo thang MSK-64) ứng với chu kỳ thời gian bằng 9975 năm còn xuất hiện trên vùng nguồn Bắc Biển Đông. Khả năng rung động nền tại hai vùng quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa là không cao. Giá trị gia tốc cực đại nền tại cả hai khu vực này chỉ dao động trong khoảng từ 28 đến 44 gal cho tất cả 4 chu kỳ đang xét, tương đương với cường độ chấn động trên mặt tới cấp VI theo thang MSK-64.



Hình 6. Bản đồ gia tốc cực đại nền (PGA) lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông tính cho nền đá với 0,5% xác suất bị vượt quá trong vòng 50 năm

Bảng 3 liệt kê các giá trị gia tốc cực đại nền (PGA) và cường độ chấn động trên mặt I theo thang MSK-64 tương ứng tính được trên số vùng nguồn chấn động tiêu biểu trên lãnh thổ và thềm lục địa Việt Nam theo bốn chu kỳ thời gian khác nhau.

Bảng 3. Gia tốc cực đại nền và cường độ chấn động trên mặt theo thang MSK-64 tính được tại các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ và thêm lục địa Việt Nam

N ^o	Tên vùng nguồn	Chu kỳ thời gian (năm)			
		475	975	2475	9975
31	Kinh tuyến 109 ^o	118/VIII	151/VIII	200/VIII	285/IX
16	Điện Biên - Lai Châu	180/VIII	202/VIII	235/VIII	272/IX
1	Sơn La	194/VIII	210/VIII	232/VIII	264/IX
33	Cửu Long - Côn Sơn	124/VIII	144/VIII	178/VIII	198/VIII
20	Rào Nậy	110/VII	125/VIII	150/VIII	194/VIII
32	Thuận Hải - Minh Hải	98/VII	126/VIII	150/VIII	181/VIII
4	Sông Hồng - Sông Chảy	134/VIII	152/VIII	179/VIII	181/VIII
19	Sông Cả - Khe Bó	120/VIII	135/VIII	160/VIII	180/VIII
22	Trà Bồng	100/VII	121/VIII	142/VIII	171/VIII
35	Bắc Biển Đông	85/VII	98/VII	118/VIII	122/VIII

Chú thích: Cột đầu tiên liệt kê mã vùng nguồn tương ứng với minh họa trên hình 2 và trong bảng 2. Các số trong tử số biểu thị giá trị gia tốc cực đại nền tính bằng gal, còn các số trong mẫu số biểu thị cường độ chấn động trên mặt tương ứng.

KẾT LUẬN

Nghiên cứu này trình bày các kết quả hiệu chỉnh tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông đã xây dựng năm 2010. Trên cơ sở cập nhật danh mục động đất đến năm 2014 và sử dụng những kết quả nghiên cứu mới nhất về kiến tạo - địa động lực của khu vực Đông Nam Á, ranh giới của 37 vùng nguồn chấn động trên toàn lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông tới kinh độ 125^oE được xác định. Để tính toán độ nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam, quy luật tắt dần chấn động của Toro và cộng sự (1997) xây dựng cho các vùng có tính địa chấn ổn định được lựa chọn. Ngoài ra, ảnh hưởng của rung động động đất trên Biển Đông cũng được tính đến bằng việc áp dụng quy luật tắt dần chấn động xây dựng cho các đới hút chìm do Youngs, Chiou, Silva và Humphrey (1997) đề xuất cho vùng nguồn máng biển sâu Manila ở bờ tây Philippines. Các kết quả được trình bày dưới dạng tập bản đồ biểu thị phân bố không gian của đại lượng gia tốc cực đại nền (PGA) dự báo với xác suất bị vượt quá lần lượt bằng 10%, 5%, 2% và 0,5% trong vòng 50 năm.

Tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất được thành lập là những kết quả dự báo ngắn hạn, trung bình và dài hạn về độ nguy hiểm động đất trên lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông. Ở phạm vi quốc gia và khu vực, các bản đồ này cung cấp những thông tin tham

chiếu quan trọng phục vụ công tác quy hoạch và phát triển kinh tế, quốc phòng của đất nước. Ngoài ra, các giá trị gia tốc cực đại nền nhận được từ các bản đồ này có thể được sử dụng trực tiếp trong các tính toán thiết kế kháng chấn cho các công trình xây dựng dưới tải trọng của động đất và các nghiên cứu liên quan đến phân vùng động đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Hồng Phương, 1993. Đánh giá xác suất độ nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam. Luận án tiến sĩ, Viện Vật lý Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học Liên bang Nga, Matxcova (Tiếng Nga).
2. Nguyen Hong Phuong, 1997. Probabilistic earthquake hazard assessment for Vietnam and adjacent regions. Proceedings of the National Centre for Science and Technology of Vietnam, 9(1): 115-130.
3. Nguyễn Hồng Phương, 2004. Bản đồ độ nguy hiểm động đất Việt Nam và Biển Đông. Tạp chí Các khoa học về Trái đất, 26(2): 97-111.
4. GSHAP Final Report, 1997.
5. Nguyễn Đình Xuyên, Lê Tử Sơn, 2009. Bản đồ phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam trong tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam: TCXDVN 375-2006: Thiết kế công trình chịu động đất. Tạp chí Các khoa học về Trái đất 30(4): 503-513.

6. *Bùi Công Quế (Chủ biên), 2010.* Nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng ven biển Việt Nam. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Chương V. Tr. 169-185.
7. *Cornell, C. A., 1968.* Engineering seismic risk analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, **58**(5): 1583-1606.
8. *Esteve, L., 1968.* Bases para la formulación de decisiones de diseño sísmico. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
9. *Nguyễn Hồng Phương, Phạm Thế Truyền, 2007.* Xây dựng mô hình nguồn tuyến đánh giá rủi ro động đất ở Việt Nam. Tạp chí các Khoa học về Trái đất, **29**(3): 228-238.
10. *Nguyen Hong Phuong, Bui Cong Que and Nguyen Dinh Xuyen, 2012.* Investigation of earthquake tsunami sources, capable of affecting Vietnamese coast. Natural hazards, **64**(1): 311-327.
11. *Nguyen Hong Phuong, Bui Cong Que, Vu Ha Phuong and Pham The Truyen, 2014.* Scenario-based tsunami hazard assessment for the coast of Vietnam from the Manila Trench source. Physics of the Earth and Planetary Interiors, **236**, 95-108.
12. *Keilis-Borok, V. I., Knopoff, L., and Rotvain, I. M., 1980.* Bursts of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes. Nature, **283**, 259-263.
13. *Tran Viet Hung and Kiyomiya, O., 2012.* Ground motion attenuation relationship for shallow strike-slip earthquakes in Northern Vietnam Based on Strong motion records from Japan, Vietnam and adjacent regions. Structural Eng./Earthquake Eng., **68**(3): 509-525.
14. *Nguyen, L. M., Lin, T. L., Wu, Y. M., Huang, B. S., Chang, C. H., Huang, W. G., ... and Dinh, V. T., 2012.* The first peak ground motion attenuation relationships for north of Vietnam. Journal of Asian Earth Sciences, **43**(1): 241-253.
15. *McGuire, R. K., 1976.* FORTRAN computer program for seismic risk analysis (No. 76-67). US Geological Survey.
16. *Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J., (?).* Phần mềm CRISIS99. University of Mexico (UNAM). (TL tiếng Anh, tiếng Việt lẫn lộn)
17. *Nguyen Hong Phuong, 1991.* Probabilistic assessment of earthquake hazard in Vietnam based on seismotectonic regionalization. Tectonophysics, **198**(1): 81-93.
19. *Nguyen Hong Phuong, 2001.* Probabilistic seismic hazard assessment along the Southeastern coast of Vietnam. Natural hazards, **24**(1): 53-74.
22. *Nguyen Hong Phuong, Pham The Truyen, 2014.* Probabilistic seismic hazard assessment for the South Central Vietnam. Vietnam Journal of Earth Science (đang in).
23. *Toro, G. R., Abrahamson, N. A., and Schneider, J. F., 1997.* Engineering model of strong ground motions from earthquakes in the central and eastern United States. Seismological Research Letters, **68**(1): 41-57.
24. *Gusiakov, V. K., 2005.* Integrated tsunami database for the world ocean, version 5.15. Tsunami Laboratory, ICMMG SD RAS, Novosibirsk, Russia.
25. *Xiang, J., and Gao, D., 1994.* The attenuation law of horizontal peak acceleration on the rock site in Yunnan area. Earthquake Research in China, **8**(4): 509-516.
26. *Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., and Humphrey, J. R., 1997.* Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes. Seismological Research Letters, **68**(1): 58-73.

PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD MAPS OF VIETNAM AND THE EAST VIETNAM SEA

Nguyen Hong Phuong, Pham The Truyen

Institute of Geophysics-VAST

ABSTRACT: *In this paper, the probabilistic seismic hazard maps for the territory of Vietnam and the East Vietnam Sea revised from the existing 2010 ones are presented. An earthquake catalog updated until 2014 and most recent seismotectonic and geodynamic information of South East Asia were used for delineation of 37 seismic source zones in the whole territory of Vietnam and the East Vietnam Sea area extended to 125°E. While the Toro et al. (1997) ground motion prediction equation was used for most seismic sources, the equation developed for the subduction zones by Youngs, Chiou, Silva and Humphrey (1997) was used for the Manila Trench source zone. The hazard maps show distribution of the mean peak ground acceleration (PGA) with 10%, 5%, 2% and 0.5% probability of exceedance in 50 years. The highest hazard areas were revealed in northwestern part of the country, in Dien Bien - Lai Chau and Son La source zones, with the maximum values of PGA for 475 - 9975 years of 180 - 272 gals; and off-shore Vietnam's South Central coast, in the 109° Meridian Fault source zone, where the maximum values of PGA for 475 - 9975 years are 118 - 285 gals. These PGA maps present both short - term and long - term forecasts of seismic hazard in Vietnam and the East Vietnam Sea and can be used as a reference for antiseismic design and many engineering applications.*

Keywords: *Probabilistic seismic hazard maps, peak ground acceleration, seismic source zones, ground motion prediction equation.*