

NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC SÂU, ĐỊA ĐỘNG LỰC VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN TRÊN VÙNG BIỂN VIỆT NAM VÀ KẾ CẬN

Bùi Công Quế^{1*}, Nguyễn Hồng Phương¹, Trần Thị Mỹ Thành¹, Trần Tuấn Dũng²

¹Viện Vật lý địa cầu-Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Viện Địa chất và địa vật lý biển-Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*E-mail: bcque2010@gmail.com

Ngày nhận bài: 16-1-2014

TÓM TẮT: Để nghiên cứu xác định các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực trên vùng biển Việt Nam và kế cận, toàn bộ số liệu và kết quả điều tra, khảo sát về địa chấn, kiến tạo, địa vật lý trong 50 năm qua đã được thu thập, liên kết xử lý và một hệ phương pháp phân tích, minh giải tổng hợp các nguồn số liệu đã được xây dựng để xác định định lượng và chi tiết các đặc trưng cấu trúc phân lớp ngang và thẳng đứng của vỏ Trái đất. Kết quả nghiên cứu và tính toán định lượng, có độ tin cậy đồng nhất đã được liên kết, xây dựng thành các bản đồ về các trường dị thường địa vật lý như trọng lực, từ, địa chấn, địa nhiệt, độ sâu đáy biển, cấu trúc các mặt ranh giới cơ bản của vỏ Trái đất, bản đồ phân bố và cấu trúc các hệ đứt gãy, các đặc trưng địa động lực như phân bố ứng suất, các đứt gãy hoạt động. Sử dụng các kết quả nghiên cứu cấu trúc sâu và địa động lực đã cho phép xác định các vùng nguồn động đất và các tham số nguồn, trên cơ sở đó xây dựng và tính toán các kịch bản động đất và sóng thần có thể xảy ra từ các vùng nguồn. Kết quả đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần được thể hiện trên các bản đồ cho thấy bức tranh độ nguy hiểm động đất và sóng thần khá phân dị với những khu vực có độ nguy hiểm tương đối cao và hiện hữu trên vùng biển và ven biển Việt Nam.

Từ khóa: Cấu trúc sâu, địa động lực, mô hình vùng nguồn, độ nguy hiểm động đất, sóng thần, độ rủi ro động đất, sóng thần.

MỞ ĐẦU

Để đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần, việc nghiên cứu và xác định các đặc trưng cấu trúc và địa động lực có tầm quan trọng đặc biệt. Cùng với những đặc trưng khác về trường chấn động, các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực như độ sâu nguồn, cấu tạo đứt gãy, hướng và biên độ dịch chuyển, đặc điểm trường ứng suất kiến tạo ... là các tham số đầu vào cơ bản để xác định quy mô và cơ chế dịch chuyển tại vùng nguồn, năng lượng phát sinh và lan truyền chấn động của động đất trong môi trường. Mức độ định lượng cũng như độ chi tiết của các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực

càng cao thì độ chính xác của việc đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần càng lớn. Đối với những vùng như lãnh thổ Việt Nam và vùng biển kế cận, nơi đã ghi nhận được không nhiều động đất mạnh và chủ yếu là động đất có magnitude nhỏ hơn 5, việc nghiên cứu, đánh giá độ nguy hiểm và dự báo nguy cơ động đất, sóng thần chủ yếu dựa vào những hiểu biết tin cậy và chi tiết về các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực khác ngoài động đất.

Trên vùng Biển Đông, trong khoảng 30 năm cuối thế kỷ XX đã có nhiều công trình nghiên cứu về lịch sử tiến hoá, cơ chế hình thành và phát triển kiến tạo cùng với bình đồ

cấu trúc kiến tạo ở quy mô khu vực, chủ yếu của các tác giả nước ngoài [1-3, 5, 6, 25, 31]. Đây là những kết quả ban đầu rất quan trọng, là cơ sở và định hướng cho những nghiên cứu tiếp theo nhằm bổ sung, chi tiết và chính xác hoá các đặc trưng cấu trúc sâu và địa kiến tạo đã được xác định.

Lịch sử điều tra nghiên cứu về địa chất và địa vật lý trên vùng biển Việt Nam và kề cận trong hơn nửa thế kỷ qua cho thấy một đặc điểm là sự gián đoạn, rời rạc và thiếu đồng bộ. Đó là bối cảnh hoàn toàn không thuận lợi cho việc nghiên cứu xác định các đặc trưng cấu trúc và địa động lực. Tuy đã có những khảo sát thăm dò địa chấn chi tiết ở các bể trầm tích kainozoi trên thềm lục địa Việt Nam nhưng độ sâu nghiên cứu của phương pháp này chưa vượt qua 10 km, đặc biệt là chưa ở đâu có các khảo sát địa chấn sâu (tới độ sâu hàng chục km) được thực hiện. Các lỗ khoan thăm dò tập trung ở một số bể dầu khí trên thềm lục địa cũng chỉ đạt độ sâu trung bình 3-4 km. Ở những vùng ngoài khơi và trung tâm Biển Đông hầu như không có các số liệu về khảo sát địa chấn. Các khảo sát trường dị thường trọng lực và từ được thực hiện bởi nhiều chủ thể trên các vùng khác nhau và với độ chi tiết rất khác biệt. Trong bối cảnh như vậy, để xác định được các đặc điểm cấu trúc sâu và địa động lực với độ chi tiết và độ chính xác cần thiết, đặc biệt là đi sâu làm rõ đặc điểm cấu trúc chia khối và phân lớp của vỏ và thạch quyển, trong các công trình nghiên cứu theo hướng này [4, 7, 9, 11, 12, 17, 18, 30] chúng tôi đã xây dựng và áp dụng một hệ phương pháp nghiên cứu phù hợp, khắc phục được sự thiết hụt số liệu chuẩn xác về độ sâu cũng như mức độ không đồng đều về độ chi tiết của các khảo sát địa chấn và địa vật lý. Kết quả nhận được là những đặc trưng định lượng về cấu trúc các mặt ranh giới sâu, cấu trúc của các đứt gãy, đặc điểm phân bố, tính phân đoạn, góc cắm, độ sâu về bề rộng đứt gãy, đặc điểm phân bố ứng suất, hướng dịch chuyển và biên độ dịch chuyển theo đứt gãy... Các đặc trưng này đều là các số liệu đầu vào cần thiết cho việc xác định các tham số của vùng nguồn và đánh giá độ nguy hiểm của động đất, đặc điểm lan truyền chấn động và sóng thần và đánh giá độ nguy hiểm của sóng thần như đã được thực hiện trong các công trình [11, 22, 23]. Báo cáo này trình bày cơ sở lựa chọn, xây dựng và ứng

dụng hệ phương pháp nêu trên cùng với những kết quả chủ yếu được sử dụng vào việc đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng biển và ven biển Việt Nam.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nguồn số liệu sử dụng

Yếu tố có ý nghĩa quyết định đối với kết quả nghiên cứu về cấu trúc sâu và địa động lực luôn là nguồn số liệu điều tra khảo sát trực tiếp về địa chất và các trường địa vật lý. Nguồn số liệu này trên vùng biển Việt Nam và kề cận được hình thành chủ yếu trong khoảng 50-60 năm qua kể từ những năm giữa thế kỷ 20 cho đến nay với khá nhiều dự án, chương trình và các chuyến điều tra, khảo sát của các nhà nghiên cứu, tìm kiếm, thăm dò tài nguyên, khoáng sản trong và ngoài nước qua nhiều giai đoạn.

Các số liệu địa chấn được sử dụng là các kết quả nghiên cứu về lịch sử tiến hoá địa chất, kiến tạo, bình đồ cấu trúc kiến tạo khu vực, đặc điểm phân bố các thành tạo trầm tích macma đã được công bố và đặc biệt là nguồn số liệu khảo sát, đo đạc về địa hình đáy biển luôn được bổ sung và cập nhật liên tục [1-3, 5-7, 14, 25, 31].

Nguồn số liệu địa vật lý được khai thác sử dụng rộng rãi và phong phú, đa dạng hơn. Nguồn số liệu điều tra khảo sát trực tiếp ở các quy mô, phạm vi và tỷ lệ khác nhau về các trường trọng lực, từ, địa nhiệt, trường chấn động tự nhiên (phân bố các chấn tâm và các đặc trưng của các trận động đất) và đặc biệt là kết quả và số liệu thăm dò địa chấn được thực hiện trên các vùng của thềm lục địa Việt Nam, các vùng quần đảo Trường Sa, Hoàng Sa và kề cận, các khảo sát địa chấn loại này có độ sâu nghiên cứu chủ yếu trong tầng trầm tích kainozoi và tới đa đạt tới móng trước kainozoi ở một số bể trầm tích trên vùng phía Nam và Đông Nam [1, 2, 12, 17, 18, 22, 24].

Trong quá trình thực hiện những nghiên cứu, tập hợp, xử lý số liệu để đánh giá các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực, một khối lượng lớn các đo đạc và khảo sát bổ sung về các trường địa vật lý đã được triển khai trên các khu vực và các vùng khác nhau. Các khảo sát này có ý nghĩa rất quan trọng để bổ sung, liên kết và thẩm định các kết quả phân tích đạt

được. Nguồn số liệu này bao gồm các khảo sát trọng lực vệ tinh, khảo sát trọng lực và từ trên thành tàu, các khảo sát địa chấn nông có độ phân giải cao, các số liệu quan sát động đất giai đoạn 1900 -2010 ... [2, 16, 17, 21, 22, 24].

Phân tích và minh giải các số liệu trọng lực và từ

Số liệu trọng lực và từ được khảo sát và thu thập phủ rộng khắp và khá đồng nhất trên nhiều vùng. Tuy nhiên, do quy trình khảo sát và phương pháp, thiết bị đo đạc trong các dự án đều khác nhau nên toàn bộ số liệu, kết quả khảo sát được thu thập, xử lý, liên kết để đưa về cùng thời điểm, cùng bề mặt quan sát và được đúc kết, xử lý thống nhất trên một tỷ lệ bản đồ chung [15-17, 19, 20]. Trên cơ sở các số liệu trọng lực và từ đã được xử lý, liên kết và đồng nhất về độ chính xác, các phương pháp phân tích biến đổi trường truyền thống, sử dụng các phần mềm tính toán mới như biến đổi bất đẳng hướng, biến đổi tương quan, tính các đạo hàm bậc cao, tiếp tục giải tích trường, biến đổi xác định điểm đặc biệt, tính và biến đổi gradien chuẩn hoá ... đã được áp dụng để phát hiện và xác định các đặc trưng cấu trúc sâu như các ranh giới cơ bản trong vỏ trái đất, các ranh giới nằm ngang trong tầng trầm tích, đặc biệt là vị trí, giới hạn phân bố và cấu trúc (bề rộng, góc nghiêng và hướng đổ) của các đứt gãy kiến tạo, những thông số liên quan chủ yếu với sự phát sinh các động đất trong vỏ và manti trên [12, 17, 20, 22, 30]. Có thể nói, việc phát triển và ứng dụng các phương pháp phân tích và biến đổi số liệu trường trọng lực và từ để xác định vị trí và các đặc trưng cấu trúc của đứt gãy như trên là hướng nghiên cứu mới, lần đầu được thực hiện ở Việt Nam và tạo ra được những kết quả định lượng tin cậy, phù hợp yêu cầu phục vụ nghiên cứu địa động lực và đánh giá tính địa chấn.

Phân tích xử lý nguồn số liệu động đất

Thu thập và khai thác thông tin từ nguồn số liệu động đất (trường chấn động tự nhiên) trên lãnh thổ và vùng biển Việt Nam để xác định các đặc trưng địa động lực đồng thời làm các số liệu tựa cho việc phân tích và xử lý các số liệu trọng lực và từ là hướng quan trọng trong hệ phương pháp nghiên cứu cấu trúc sâu và địa động lực của chúng tôi. Do hạn chế về phạm vi và quy mô cùng với khả năng xuống sâu của

các khảo sát địa chấn thăm dò được triển khai ở Việt Nam, việc thu thập số liệu quan trắc về động đất để xây dựng danh mục động đất trên lãnh thổ và vùng biển Việt Nam với số liệu được bổ sung, cập nhật liên tục là cơ sở chủ yếu để triển khai các phép phân tích và tính toán xác định đặc điểm phân bố của các chấn tâm động đất, xác định cơ cấu chấn tiêu đối với các động đất mạnh, xác định các bề mặt ứng lực (giải phóng ứng suất trong vùng nguồn mặt đứt gãy), xác định độ sâu chấn tiêu và khai thác các sóng mặt xác định độ sâu các mặt phản xạ, khúc xạ sóng liên quan với các ranh giới cơ bản trong vỏ Trái đất [4, 7, 13, 18, 22]. Số liệu động đất trên vùng ven biển Việt Nam và lân cận như các vùng Hải Phòng, Nha Trang, dọc thềm lục địa miền Trung và Nam Trung Bộ được phân tích, xử lý cho phép xác định những điểm có độ sâu chuẩn xác tới các mặt ranh giới Moho, Conrad, xác định chính xác vị trí các mặt đứt gãy cùng với góc nghiêng và hướng dịch trượt khi xảy ra các động đất mạnh.

Phân tích tương quan hồi quy các số liệu trọng lực và địa chấn

Phương pháp xác lập và sử dụng mối quan hệ tương quan hồi quy giữa các dị thường trọng lực và từ với các đặc trưng cấu trúc sâu theo số liệu địa chấn đã phát huy hiệu quả trong điều kiện có đủ số liệu chuẩn địa chấn về độ sâu mặt ranh giới mật độ hoặc bề mặt đứt gãy. Các phương trình và toán tử được thiết lập trên cơ sở mối tương quan được khảo sát và đánh giá giữa các số liệu định lượng nói trên có thể có dạng từ tuyến tính đơn giản đến phi tuyến phức tạp với sự phụ thuộc giữa đặc trưng cấu trúc sâu cần tìm với nhiều tham số dị thường trọng lực và từ [12, 14]. Một trong những điểm ưu việt của phương pháp này như một bài toán ngược trọng lực và từ là nó cho một nghiệm duy nhất và ổn định với cơ sở phép minh giải xác suất và thống kê. Độ chính xác của kết quả xác định đặc trưng cấu trúc càng cao nếu độ đại diện của số liệu chuẩn và mức độ tương quan giữa các đặc trưng cấu trúc cần tìm và dị thường trọng lực hoặc từ càng lớn. Phương pháp phân tích tương quan hồi quy đã được phát triển và ứng dụng để xác định độ sâu các ranh giới cơ bản như Moho, Conrad và móng trước kainozoi trên vùng biển Việt Nam, cũng như để xác định vị trí và cấu trúc của các hệ đứt

gãy theo dị thường trọng lực và từ với các số liệu chuẩn từ các kết quả quan trắc địa chấn và các khảo sát địa chấn thăm dò [12, 13, 17, 18].

Xây dựng các mặt cắt cấu trúc tổng hợp

Bản chất của phương pháp xây dựng các mặt cắt cấu trúc tổng hợp là kết hợp các quy trình giải bài toán thuận và nghịch trọng lực và từ trên một mặt cắt (bài toán 2 chiều) với các kết quả hay dịch chuyển nền D. Như vậy các bản đồ độ nguy hiểm động đất cung cấp các dữ liệu xác định các đặc trưng cấu trúc khác nhau bằng các phương pháp như đã nêu ở trên. Kết quả xác định độ sâu các ranh giới phân lớp ngang và các đứt gãy (phân lớp đứng) được đưa lên mặt cắt cùng với các giá trị chênh lệch mật độ (đã được xác định hoặc giả định) là cơ sở để tính hiệu ứng trọng lực tổng thể hoặc hiệu ứng từ tính, sử dụng các phần mềm tính hiệu ứng trọng lực và từ hiện có khá mới và phổ dụng. Trên cơ sở đối sánh giá trị tính được với giá trị của các dị thường quan sát thực tế trên mặt cắt, các đặc điểm cấu trúc có thể được điều chỉnh phù hợp để đạt được sự trùng lặp tốt nhất giữa các đường cong hiệu ứng tính toán và quan sát được trên thực tế và khẳng định độ tin cậy cao nhất. Các mặt cắt cấu trúc tổng hợp như trên là một trong những kết quả ứng dụng quan trọng của hệ phương pháp nghiên cứu xác định các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực ở Việt Nam trong nhiều công trình đã thực hiện trong những năm qua [4, 7, 12, 13, 17, 18, 30].

Đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần

Đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần cho một vùng là quá trình áp dụng các phương pháp và công cụ tính toán để xác định các hiệu ứng chấn động do động đất gây ra trong một khoảng thời gian cho trước. Các kết quả đánh giá độ nguy hiểm động đất cho một vùng thường được biểu diễn dưới dạng bản đồ hoặc đồ thị biểu thị phân bố không gian của một trong các thông số rung động nền như cấp chấn động trên bề mặt I, gia tốc nền A, vận tốc dịch chuyển V đầu vào cho các tính toán đánh giá rủi ro động đất.

Cho đến nay đang tồn tại song song hai cách tiếp cận chủ đạo trong phương pháp đánh giá độ nguy hiểm động đất. Cách tiếp cận tất định và cách tiếp cận xác suất. Phương pháp tất

định được áp dụng từ đầu thế kỷ 20. Trong phương pháp này các thông số rung động nền được xác định chủ yếu bằng các công thức thực nghiệm. Kết quả chính của phương pháp tất định thường được trình bày dưới dạng các bản đồ phân vùng động đất trong phạm vi quốc gia hoặc một khu vực lớn, trên đó phân định ra các vùng có đặc trưng rung động nền ở các cấp độ khác nhau [9, 10, 26, 28, 29].

Bắt đầu từ những năm 70 của thế kỷ 20, ở nhiều nước trên thế giới xuất hiện các bản đồ độ nguy hiểm động đất được thành lập theo phương pháp xác suất. Kết quả chính của phương pháp này được trình bày dưới dạng tập bản đồ biểu thị phân bố không gian của các thông số rung động nền như gia tốc cực đại (PGA) với xác suất xuất hiện và không vượt quá giới hạn thời gian cho trước [10, 22, 23].

Quy trình đánh giá độ nguy hiểm động đất bằng phương pháp xác suất gồm 4 bước thực hiện chính. Bước 1: Xác định nguồn chấn động. Xác suất phát sinh động đất tại mọi điểm trong một vùng nguồn được giả thiết là như nhau. Bước 2: Xác định độ lặp lại động đất. Mỗi vùng nguồn được gán một giá trị magnitude của động đất cực đại có khả năng phát sinh tại vùng đó, đồng thời độ lặp lại động đất được xác định cho mỗi vùng nguồn trên cơ sở tập hợp số liệu động đất đã quan sát thấy. Bước 3: Xác định quy luật tắt dần chấn động dưới dạng một họ đường cong tắt dần chấn động, trong đó mỗi đường được xác định ứng với một khoảng giá trị magnitude. Bước 4: Tính toán độ nguy hiểm động đất. Kết quả nhận được dưới dạng đồ thị biểu diễn xác suất cho một giá trị ngưỡng của một thông số rung động nền (cấp chấn động I, gia tốc nền A, vận tốc V hay dịch chuyển D) bị vượt quá trong một khoảng thời gian bất kỳ cho trước T. Các tính toán độ nguy hiểm động đất cho một mạng lưới các điểm tính cho phép xây dựng bản đồ nguy hiểm động đất (bản đồ rung động nền) [10, 22].

Để đánh giá độ nguy hiểm động đất trên vùng biển và ven biển Việt Nam đã sử dụng phương pháp đánh giá xác suất theo Cornell (1976) và chương trình tính toán EQRISK do R. K. McGuire xây dựng.

Theo phương pháp này, độ nguy hiểm động đất P được tính bởi công thức:

$$P[A] = \int_M \int_r P[A/M, r] f_M(m) f_r(r) d_M d_r$$

Trong đó A là biến cố có xác suất cần tìm và M, r là các biến cố ngẫu nhiên có ảnh hưởng tới biến cố A được coi là cường độ chấn động tại điểm đang xét và M là giá trị chấn cấp, r là khoảng cách tới nguồn động đất.

Để có các tham số làm cơ sở tính toán độ nguy hiểm động đất theo phương pháp này phải thực hiện theo một quy trình thống nhất gồm 3 bước: xác định các nguồn chấn động, ước lượng các tham số động đất cho từng vùng nguồn và thiết lập quy luật tính dân chấn động cho khu vực nghiên cứu. Các bước xác định các tham số nói trên hoàn toàn phải dựa trên kết quả xác định định lượng các tham số cấu trúc theo mô hình đứt gãy hoạt động [8-10, 22].

Độ nguy hiểm sóng thần được tính toán đánh giá theo phương pháp xác suất của Aida (1988), theo đó độ nguy hiểm sóng thần tại một điểm được đánh giá trên cơ sở tác động từ nhiều nguồn động đất khác nhau với độ cao sóng thần cực đại h_{max} do động đất từ mỗi nguồn gây ra. Với n nguồn, xác suất để từ đó biên độ sóng thần lớn hơn giá trị h_0 cho trước trong khoảng T năm được tính theo công thức:

$$P(r, h_0, T) = 1 - \prod_1^n [1 - P(r, r_{zone}, h_0, T)]$$

Để tính độ cao h của sóng thần từ các vùng nguồn đã sử dụng mô hình số trị của Okada (1985), theo đó, một trận động đất được đặc trưng bởi các thông số nguồn mô tả hướng và vị trí đứt gãy như tọa độ chấn tiêu, chiều dài đoạn đứt gãy L, bề rộng đứt gãy w, độ sâu chấn tiêu h, góc cắm δ , góc trượt λ , góc phương vị θ và độ dài trượt trung bình U_0 , cường độ moment động đất trong mô hình này tính theo Titov và Gonzales (1999) là $M_0 = \mu U_0 L W$, ở

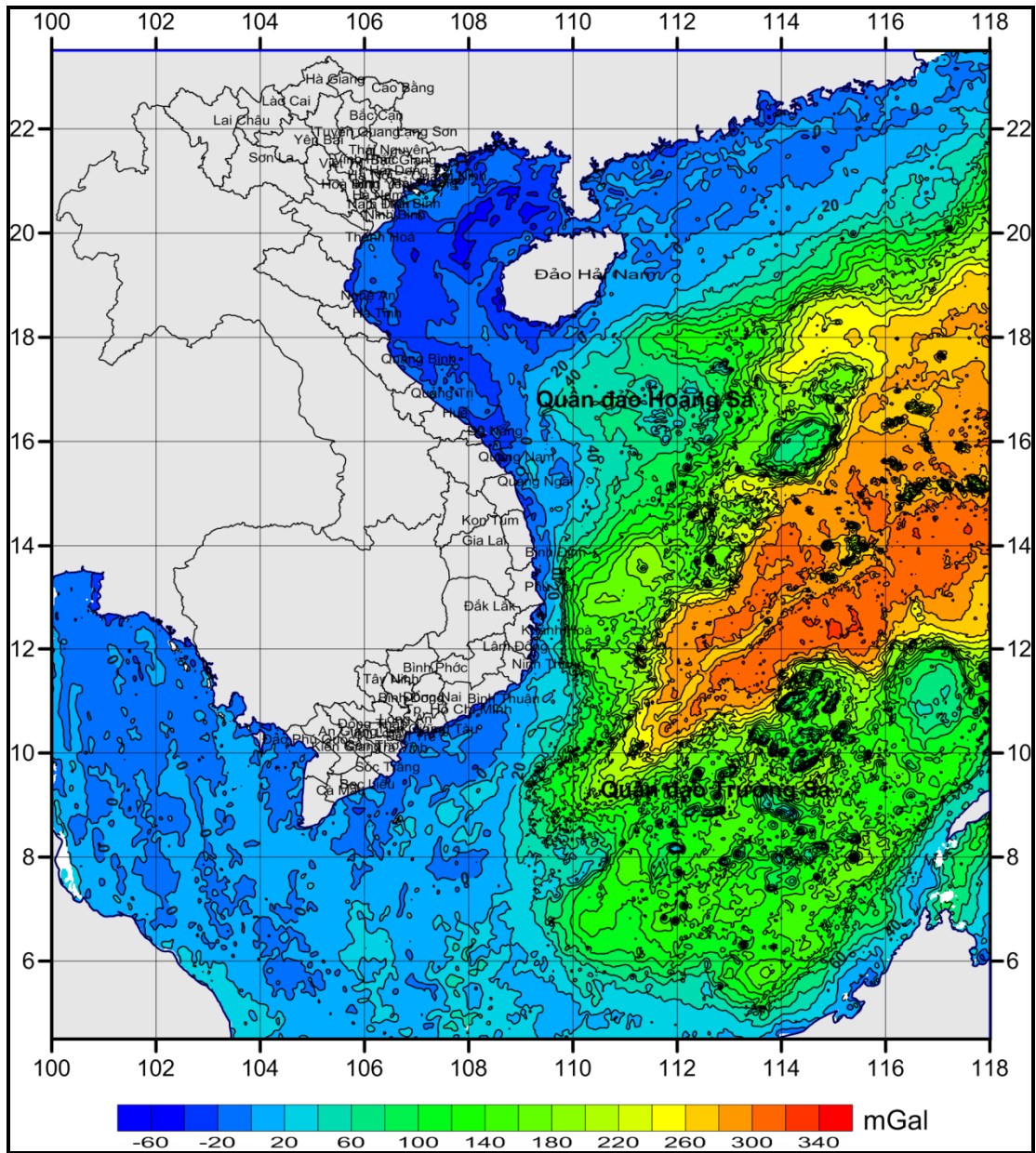
đây μ là độ cứng vỏ trái đất $\approx 1-6.10^{10} \text{N/m}^2$. Mô hình lan truyền sóng thần từ các vùng nguồn được tính theo mô hình của Titov và Gonzales (1997) [22, 23].

MỘT SỐ KẾT QUẢ CHỦ YẾU

Những đặc trưng cơ bản về các dị thường trọng lực, từ, địa chấn, địa nhiệt và địa hình đáy biển

Các đặc điểm cấu trúc khu vực và địa phương của trường dị thường trọng lực trên toàn vùng biển Việt Nam và kế cận được thể hiện rõ trên các bản đồ dị thường trọng lực Bughe [19], dị thường trọng lực Fai [20] được tính toán xây dựng ở tỷ lệ thống nhất 1:1.000.000 (như trên hình 1) và cho một số vùng ở tỷ lệ chi tiết hơn trên cơ sở những đo đạc, khảo sát bổ sung [15, 16]. Ngoài ra, những kết quả tính toán liên kết, khảo sát bổ sung số liệu đã cho phép xây dựng các bản đồ dị thường từ, địa nhiệt, bản đồ độ sâu đáy biển ở các tỷ lệ tương tự bản đồ dị thường trọng lực đã tạo nên cơ sở số liệu phong phú và đồng bộ về các trường địa vật lý và địa hình đáy biển dùng để tính các đặc trưng cấu trúc sâu và đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần [17, 18, 21, 22]. Phân tích và minh giải các bản đồ về phân bố chấn tâm động đất, phân bố dòng nhiệt và dị thường trọng lực đã cho những kết quả quan trọng về sự tồn tại những hệ đứt gãy hoạt động liên quan chặt chẽ với những hệ đứt gãy hoạt động trên vùng biển Việt Nam và kế cận [18, 22].

Sự phân bố các cặp dị thường từ dạng dải trên vùng trung tâm Biển Đông và các dải dị thường trọng lực tuyến tính dạng bậc thang trùng với chúng đã cho phép luận giải cụ thể và hợp lý về quá trình tiến hoá theo cơ chế tách giãn và phân bố trục tách giãn của Biển Đông [7].



Hình 1. Bản đồ dị thường trọng lực Bughe vùng biển Việt Nam và kế cận (tỷ lệ 1: 1.000.000 thu nhỏ)

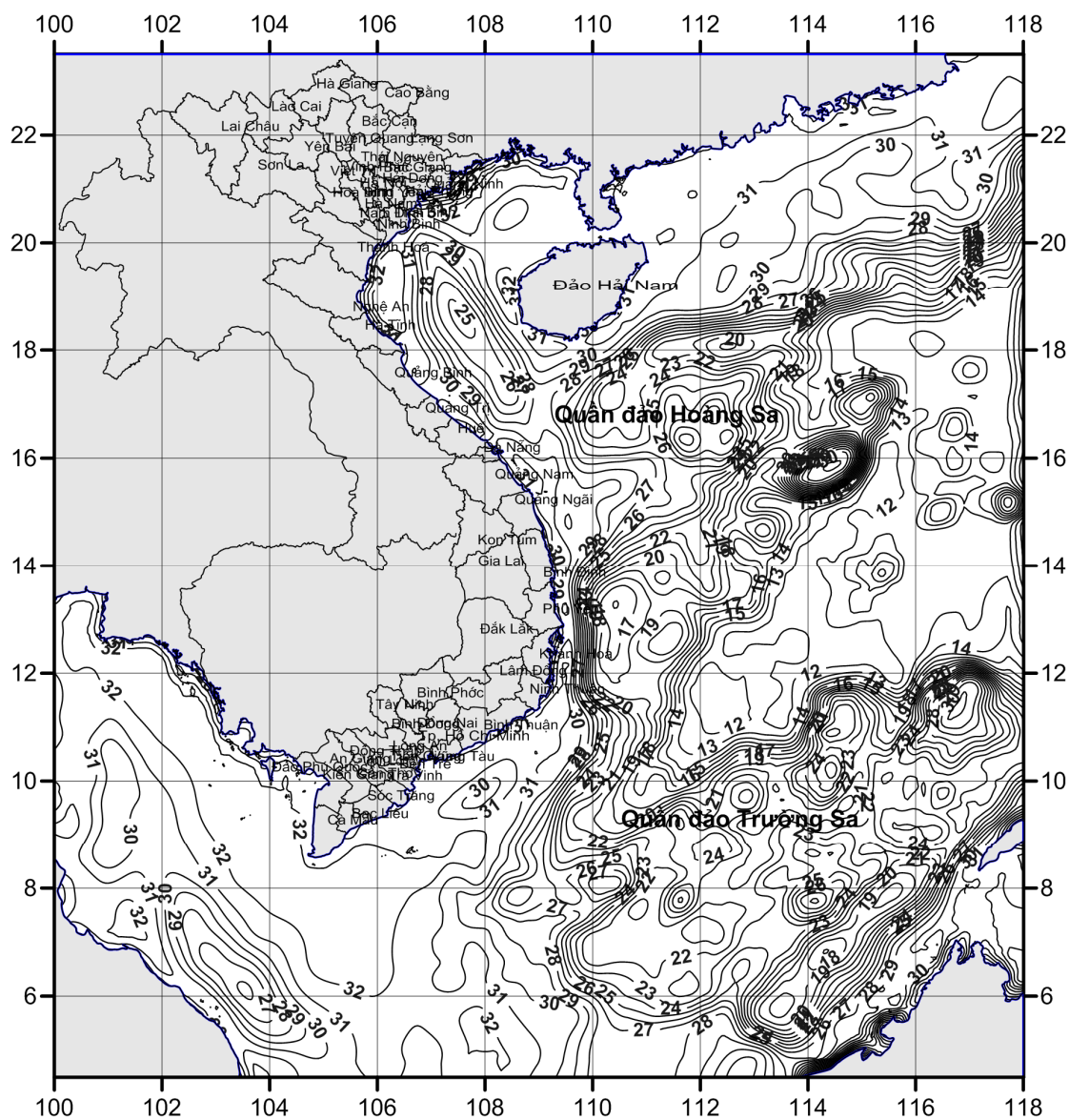
Đặc điểm cấu trúc các ranh giới cơ bản và tầng trầm tích kainozoi

Sử dụng chủ yếu các số liệu trọng lực, từ, địa chấn và địa hình đáy biển và ứng dụng các phương pháp tính toán đã xây dựng được các bản đồ với độ tin cậy đồng nhất về địa hình các ranh giới cơ bản như Môho, Conrad và mặt móng granit, móng trước kainozoi trên

toàn vùng biển Việt Nam và kế cận ở tỷ lệ 1:1.000.000 (hình 2). Trên một số vùng nhỏ hơn như các bể trầm tích kainozoi, một số ranh giới mật độ trong tầng trầm tích cũng đã được xác định [13, 17]. Trên cơ sở phân tích đối sánh các bản đồ, sơ đồ và các mặt cắt cấu trúc bề mặt các ranh giới cơ bản và cấu trúc bên trong của tầng trầm tích, đặc điểm biến đổi tương ứng của cấu trúc các trường dị

thường trọng lực, địa hình bề mặt đáy biển, những đặc điểm về quy luật phân bố bề dày của các lớp cơ bản trong vỏ trái đất đã được xác định cụ thể, chi tiết, theo đó lần đầu tiên xác định được ranh giới phân chia các kiểu vỏ “lục địa”, “đại dương” và “chuyển tiếp” trên vùng biển Việt Nam và Biển Đông. Phân tích và luận giải sơ đồ phân vùng các kiểu vỏ trái

đất trên Biển Đông đã cho thấy có sự phù hợp và tương quan khá rõ với đặc điểm địa hình đáy biển, từ đó có thể xác định và thẩm định vị trí đường chân dốc lục địa làm cơ sở cho việc xác định ranh giới ngoài của thềm lục địa Việt Nam theo công ước luật biển 1982 của Liên hợp quốc [7, 14, 17, 21].



Hình 2. Bản đồ độ sâu mặt ranh giới Moho vùng biển Việt Nam và kế cận (tỷ lệ 1:1.000.000 thu nhỏ)

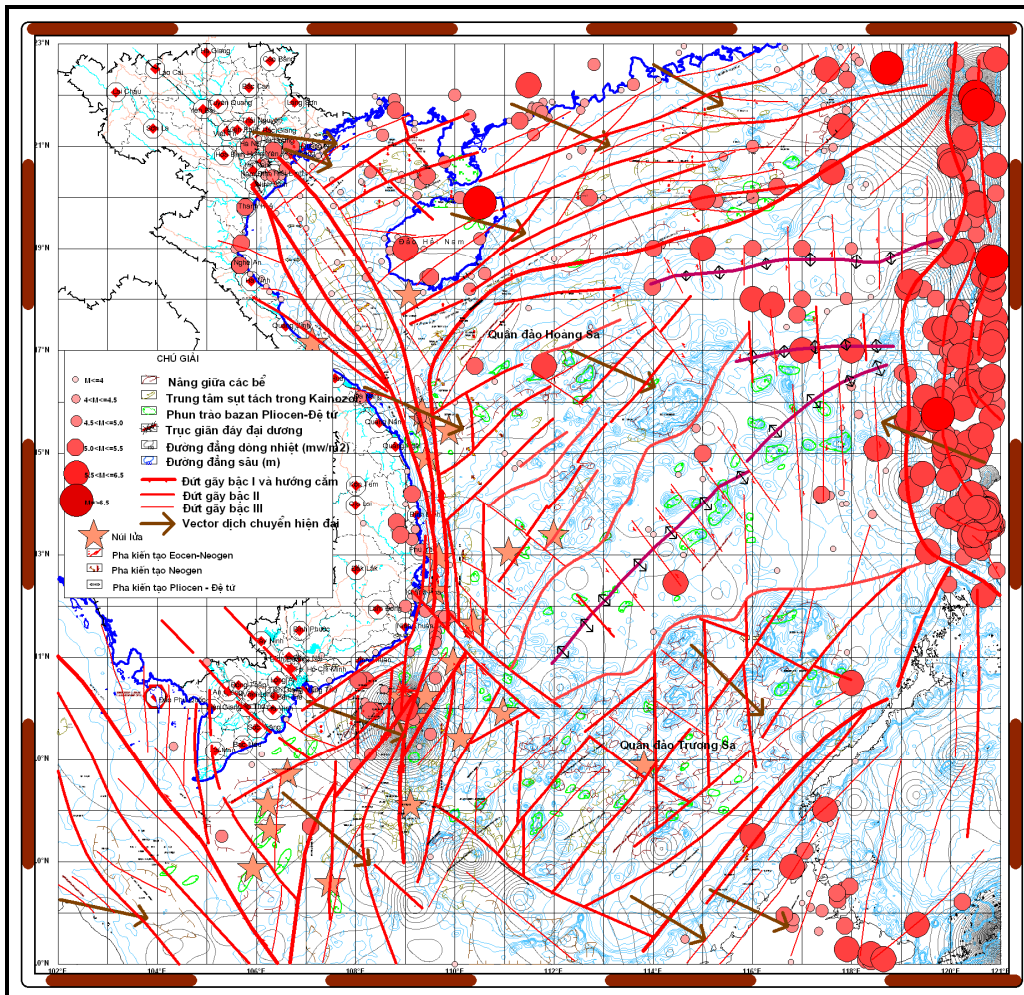
Đặc điểm cấu trúc và địa động lực các hệ đứt gãy

Các tác giả trong và ngoài nước đã công bố nhiều kết quả nghiên cứu liên quan với đặc

điểm kiến tạo đứt gãy trên vùng Biển Đông, đề cập đặc điểm phân bố và cấu trúc của một số hệ thống đứt gãy có biểu hiện địa chấn và núi lửa rõ rệt như hệ đứt gãy máng sâu Manila, hệ đứt gãy Palawan-Borneo, đứt gãy Bắc Biển Đông và đứt gãy Tây Biển Đông (còn gọi là đứt gãy kinh độ 109°E) [1-3, 5, 6, 25, 31].

Kết quả nghiên cứu của chúng tôi đã cho phép xây dựng bản đồ đứt gãy vùng biển Việt Nam và kế cận với mức độ tin cậy và chi tiết cao, đồng nhất, bao gồm 21 hệ thống đứt gãy phân bố theo 4 nhóm chính với các hướng chủ đạo là Đông Bắc - Tây Nam, Tây Bắc - Đông Nam, kinh tuyến, vĩ tuyến và á vĩ tuyến (hình 3). Các đứt gãy được phân theo 3 cấp theo quy mô cấu trúc và vai trò, vị trí của đứt gãy trong hoạt động kiến tạo. Các đứt gãy sâu

và khu vực được xác định về vị trí trên bề mặt, các đặc trưng cấu trúc và địa động lực như chiều dài, bề rộng, hướng và góc cắm của bề mặt đứt gãy, độ sâu mép trên và dưới của mặt đứt gãy, biên độ và hướng dịch chuyển theo bề mặt đứt gãy ... [17, 18, 21]. Các đặc trưng cấu trúc và địa động lực cho phép xác định mức độ hoạt động và luận giải đánh giá về cơ chế phát sinh động đất trong đứt gãy. Các kết quả nghiên cứu tổng hợp cùng với đặc điểm phân bố chấn tâm động đất núi lửa, trường dị thường trọng lực, trường ứng suất kiến tạo đã cho phép xác định các vùng nguồn động đất trên Biển Đông (hình 4) và xác định các tham số cho các kịch bản động đất và sóng thần làm cơ sở đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần [11, 17, 18, 22, 23].



Hình 3. Bản đồ đứt gãy trên vùng biển Việt Nam và kế cận (tỷ lệ 1:1.000.000 thu nhỏ)

Độ nguy hiểm động đất và sóng thần trên vùng biển và ven biển Việt Nam

Năm 1985 Phạm Văn Thục và Kijko A. đã áp dụng phân bố cực trị loại I của Gumbell để dự báo chu kỳ lặp lại và magnitude động đất cực đại cho toàn lãnh thổ Việt Nam và khu vực Đông Nam Á [27]. Tiếp đó là công trình phân vùng động đất cho lãnh thổ Việt Nam đã được các nhà nghiên cứu của Viện khoa học Việt Nam hoàn thành ở tỷ lệ 1:1.000.000 bằng phương pháp đánh giá tất định [26]. Năm 1993 Nguyễn Hồng Phương lần đầu tiên áp dụng phương pháp xác suất để tính toán thành lập bản đồ độ nguy hiểm động đất cho lãnh thổ Việt Nam [8]. Dựa trên bản đồ phân vùng địa chấn kiến tạo và thuật toán của A. C. Cornell cùng với chương trình EQRISK của McGuire đã tính toán và xác định gia tốc nền cực đại PGA cho lãnh thổ Việt Nam. Ngoài các phân bố cực trị của Gumbell, phương pháp hàm hợp lý cực đại cũng được áp dụng để ước lượng các tham số nguy hiểm cho các vùng nguồn. Năm 2005 các nhà khoa học của Viện Vật lý địa cầu của Việt Nam do Nguyễn Đình Xuyên chủ trì đã hoàn thành công trình nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất lãnh thổ Việt Nam bằng phương pháp xác suất trong khuôn khổ đề tài khoa học và công nghệ độc lập cấp nhà nước “Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền ở Việt Nam” [32].

Trên vùng thềm lục địa Việt Nam và Biển Đông phương pháp đánh giá xác suất độ nguy hiểm động đất và sóng thần lần đầu tiên được thực hiện trong khuôn khổ đề tài khoa học công nghệ độc lập cấp nhà nước do Bùi Công Quê chủ biên (2007- 2010). Các thông số đầu vào để đánh giá xác suất độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở đây chính là những kết quả xác định đặc điểm cấu trúc đứt gãy, các đặc trưng địa động lực và kiến tạo trẻ, các đặc trưng tính địa chấn của vùng nghiên cứu [11, 21, 22, 23].

Kết quả xác định định lượng các đặc trưng cấu trúc của các ranh giới sâu và đứt gãy kiến tạo trên vùng biển Việt Nam và kế cận cho phép phân chia và xác định các vùng nguồn động đất trên Biển Đông và kế cận với đầy đủ các tham số định lượng về vùng nguồn như động đất cực đại, đặc trưng kiến tạo và các thông số cấu trúc của đứt gãy. Các vùng nguồn động đất chính

trên Biển Đông như máng sâu Manila, vùng đứt gãy Bắc Philipin (Tây Đài Loan, Rikyu, Bắc Borneo-Palawan, Tây Biển Đông, bắc Biển Đông đã được nghiên cứu chi tiết và xác định tham số cho các kịch bản động đất. Trên cơ sở các tham số cụ thể các kịch bản động đất, sóng thần từ các vùng nguồn đã được tính toán và theo đó đã tính toán và xây dựng được các bản đồ độ nguy hiểm động đất và độ nguy hiểm sóng thần trên vùng biển và ven biển Việt Nam ở tỷ lệ 1:500.000. Đối với một số vùng có độ nguy hiểm cao đã xây dựng các bản đồ ở tỷ lệ 1:200.000 và lớn hơn [11, 22, 23].

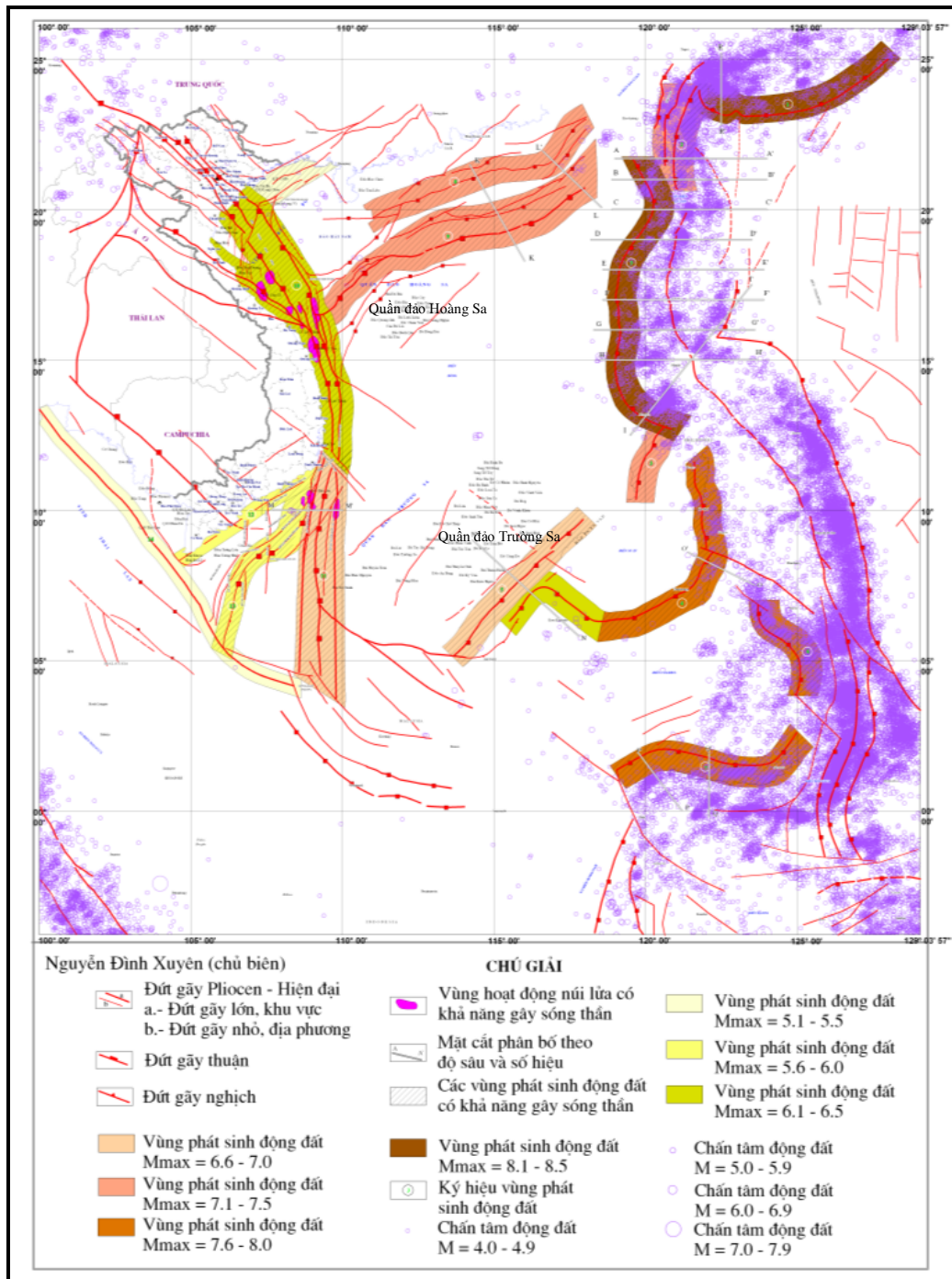
Kết quả tính toán đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần trên vùng biển và thềm lục địa Việt Nam cho thấy một bức tranh đa dạng và phân dị, có những vùng có độ nguy hiểm động đất cao, đạt chấn động cấp VII và cấp VIII như vùng ven biển Đông Bắc Việt Nam, vùng thềm lục địa Đông Nam, khu vực Vũng Tàu, Côn Đảo, những vùng có độ nguy hiểm sóng thần tương đối rõ và hiện hữu như ven biển Đà Nẵng - Quảng Ngãi và Nam Trung Bộ, các vùng quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa... với độ cao sóng cực đại có thể đạt từ 4 m đến 6 m với chu kỳ lặp lại là 950 năm.

Định hướng cơ bản trong công tác điều tra nghiên cứu tiếp theo

Tại các vùng nguồn động đất và sóng thần và các đứt gãy hoạt động trên vùng thềm lục địa và vùng ven bờ cần triển khai các khảo sát địa chấn có độ sâu nghiên cứu lớn và độ chính xác cao để có thể xác định chính xác hơn nữa các đặc trưng cấu tạo của đứt gãy cũng như đặc điểm địa động lực liên quan với đứt gãy. Cùng với các khảo sát địa chấn có độ chính xác cao cần tiếp tục nghiên cứu nâng cao độ tin cậy trong việc xác định các đặc trưng địa chấn của các vùng nguồn như magnitude cực đại, cơ chế phát sinh động đất sóng thần và các thông số về cơ cấu, độ sâu của chấn tiêu. Khi đã có được các tham số cần thiết để có mô hình nguồn động đất tin cậy và sát thực tế việc lựa chọn một mô hình tính và mô phỏng phát sinh động đất và lan truyền sóng thần trên biển và tràn vào đất liền phù hợp và chính xác là yếu tố rất quan trọng. Theo hướng này cần tính toán các kịch bản động đất và sóng thần với các mô hình khác nhau để đánh giá và lựa chọn mô hình phù

hợp. Một trong những mô hình tính và mô phỏng sóng thần mới được phát triển và sử dụng khá rộng rãi ở Mỹ và New Zealand và một số nơi khác nữa là mô hình COMCOT [22,

23]. Mô hình này cho phép tính và mô phỏng lan truyền sóng thần trên biển, vùng ven bờ và độ sâu ngập lụt trên đất liền đồng thời với độ chính xác ổn định.



Hình 4. Bản đồ các vùng nguồn động đất và sóng thần trên Biển Đông (tỷ lệ 1:1.000.000 thu nhỏ)

KẾT LUẬN

Đặc điểm cấu trúc địa chất và kiến tạo phức tạp trên vùng Biển Đông và tính đa dạng của các nguồn số liệu điều tra, khảo sát về địa chất, kiến tạo, địa vật lý trong toàn vùng là cơ sở để lựa chọn xây dựng hệ phương pháp nghiên cứu phù hợp xác định định lượng và chi tiết các đặc điểm cấu trúc sâu và địa động lực phục vụ đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần trên vùng biển Việt Nam và kế cận.

Kết quả điều tra, khảo sát về địa chất, địa vật lý trong khoảng 50 năm qua đã được thu thập và phân tích, liên kết và đồng nhất, làm rõ đặc điểm cấu trúc phân dị và phức tạp của các trường địa vật lý như trọng lực, từ, địa chấn, địa nhiệt, địa hình đáy biển làm cơ sở tính toán xác định các đặc trưng cấu trúc sâu và địa động lực trong toàn vùng nghiên cứu.

Các kết quả xác định định lượng và chi tiết đặc điểm cấu trúc của các ranh giới cơ bản và các ranh giới trong tầng trầm tích, đặc điểm phân bố và cấu trúc, địa động lực của các hệ đứt gãy đã làm nổi rõ tính chất và quy luật về cấu tạo khối và phân lớp mạnh mẽ và phức tạp trong vỏ trái đất và thạch quyển. Đặc điểm cấu trúc chia lớp ngang và thẳng đứng là cơ sở để đánh giá định lượng các đặc trưng địa động lực và phân bố ứng suất kiến tạo, xác định cơ chế phát sinh động đất và hướng dịch chuyển từ các vùng nguồn.

Kết quả nghiên cứu các đặc trưng cấu trúc đứt gãy và địa động lực đã cho phép xác định trên vùng biển Việt Nam và Biển Đông những vùng nguồn động đất chính với các tham số cơ bản về cơ chế phát sinh động đất làm cơ sở để tính toán và đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần. Các bản đồ độ nguy hiểm động đất và sóng thần được xây dựng cho thấy rõ bức tranh phân dị và phức tạp với những vùng, những khu vực có độ nguy hiểm động đất và sóng thần tương đối cao trên vùng biển và ven biển Việt Nam.

Triển khai các khảo sát địa chấn và áp dụng các phương pháp tính toán mới để nâng cao độ chính xác của mô hình các vùng nguồn. Xác định tin cậy các tham số địa chấn và cơ cấu các chấn tiêu cùng với những nghiên cứu lựa chọn mô hình tính phù hợp là những định hướng

chính và quan trọng để tiếp tục nâng cao hiệu quả đánh giá độ nguy hiểm và dự báo, cảnh báo động đất và sóng thần ở Việt Nam.

Lời cảm ơn: Bài báo này được thực hiện với tài trợ của Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia trong đề tài “Nghiên cứu mô hình các vùng nguồn động đất, sóng thần trên Biển Đông và đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro động đất, sóng thần ở vùng ven biển Việt Nam”, mã số 105.05-2013.14.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Atlas of geology and geophysics of South China Sea, 1987.* Map publishing House. Guangdong province. Guangzhou.
2. *Kulinhic R. G. (chủ biên), 1989.* Tiến hóa vỏ Trái đất trong Kainozoi và kiến tạo Đông Nam Á. Nxb. Nauka. Moscova (tiếng Nga) 270 tr.
3. *Ludwig W. J., 1970.* The Manila Trench and west Luzon trough, III. Seismic refraction measurement. Deep Sea research. 17, p. 553-571.
4. *Nguyễn Văn Lương, Bùi Công Quế, Nguyễn Văn Dương, 2008.* Trường ứng suất kiến tạo và chuyển động hiện đại trong vỏ trái đất khu vực Biển Đông. Tạp chí khoa học và công nghệ biển. Tập 8, Số 1. Tr. 45-58.
5. *Parke M. L., Emery K. O., Raymond Szymankiewics, Raynolds L. M., 1971.* Structural framework of continental margin in South China Sea. AAPG bull. P. 723-751.
6. *Pautot G., Rangin C., Brias A., Wu Ji, Han Sq., Li Hx-Lu, Yx. Zhao Jc., 1990.* The axial ridge of the South China Sea: A Seabeam and geophysical survey. Oceanologica Acta Vol. 13, No. 2. P. 129-143.
7. *Phùng Văn Phách, Bùi Công Quế, 2001.* Một số luận giải từ tài liệu địa vật lý về cấu trúc và lịch sử phát triển vỏ đại dương trên Biển Đông. Tạp chí khoa học và công nghệ biển. Tập 1. Số 3. Tr. 1-8.
8. *Nguyen Hong Phuong, 1991.* Probablistic assessment of earthquake hazard in Vietnam based on seismotectonic regionalization. Tectonophysics 198, pp. 81-93. Elsevier Publisher.
9. *Nguyen Hong Phuong, Bui Cong Que, 2008.* GIS application for deterministic

- seismic hazard assessment in Vietnam. Journal of geology. Series B. N31-32, p. 171-180.
10. Nguyễn Hồng Phương, 2008. Những tiến bộ trong phương pháp luận đánh giá độ nguy hiểm động đất ở Việt Nam. Tr. 70-87. Tuyển tập công trình nghiên cứu Vật lý địa cầu 2008. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội.
 11. *Phuong Hong Nguyen, Que Cong Bui, Xuyen Dinh Nguyen, 2012.* Investigation of earthquake tsunami sources, capable of affecting Vietnamese coasts. Natural Hazards. Springer. DOI 10-1007/S.11069-012-0240-3.
 12. Bùi Công Quế, 1982. Hiệu quả địa chất của phương pháp trọng lực trong nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ trái đất ở Việt Nam. Tạp chí các khoa học về Trái đất. Tập 4, Số 4. Tr. 107-112.
 13. *Bui Cong Que. 1993.* Some characteristics of the deep crustal structure and the geodynamics in the territory of Vietnam and neighbouring sea areas. Journal of geology. Serie B. N1-2, p. 39-50.
 14. Bùi Công Quế, Nguyễn Thế Tiếp, 1996. Mối tương quan giữa địa hình đáy biển và cấu trúc sâu vỏ Trái đất trên Biển Đông Việt Nam. Tạp chí các khoa học về Trái đất Tập 18, Số 4. Tr. 356-360.
 15. *Bui Cong Que, 1998.* Characteristic of the geophysical anomaly fields in the Truong Sa Archipelago. Review petro Vietnam. Vol. 3. p. 8-18.
 16. Bùi Công Quế, Trần Tuấn Dũng, Lê Trâm, 2008. Thành lập bản đồ dị thường trọng lực thống nhất trên vùng biển Việt Nam và kế cận. Tạp chí khoa học và công nghệ biển Tập 8, Số 2. Tr. 29-41.
 17. Bùi Công Quế, Trần Tuấn Dũng, 2008. Nghiên cứu đặc điểm cấu trúc sâu và địa động lực vùng biển Việt Nam và kế cận. Tạp chí các khoa học về Trái đất Tập 30, Số 4. Tr. 481-490.
 18. Bùi Công Quế, 2009. Nghiên cứu xác định các đặc trưng cấu trúc và địa động lực của các hệ đứt gãy trên thềm lục địa Việt Nam và Biển Đông. Tuyển tập công trình nghiên cứu vật lý địa cầu 2008. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội. Tr. 231-245.
 19. *Bùi Công Quế (chủ biên), Trần Tuấn Dũng, Nguyễn Văn Giáp, Nguyễn Như Trung, Lê Trâm, Nguyễn Thị Thu Hương, 2009.* Bản đồ dị thường trọng lực Boughe. Tập bản đồ các đặc trưng điều kiện tự nhiên và môi trường vùng biển Việt Nam và kế cận. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội.
 20. *Bùi Công Quế (chủ biên), Trần Tuấn Dũng, Hoàng Văn Vượng, Hà Văn Chiến, Nguyễn Như Trung, Nguyễn Văn Dương, Trần Văn Khá, 2009.* Bản đồ dị thường trọng lực Fai. Tập bản đồ các đặc trưng điều kiện tự nhiên và môi trường vùng biển Việt Nam và kế cận. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội.
 21. *Bùi Công Quế (chủ biên), Lê Trâm, Trần Tuấn Dũng, Nguyễn Thị Thu Hương, Phí Trường Thành, 2009.* Bản đồ cấu trúc sâu vỏ trái đất. Tập bản đồ các đặc trưng điều kiện tự nhiên và môi trường vùng biển Việt Nam và kế cận. Nxb. Khoa học tự nhiên và công nghệ. Hà Nội.
 22. *Bùi Công Quế (chủ biên), Nguyễn Đình Xuyên, Phạm Văn Thục, Nguyễn Hồng Phương, Trần Thị Mỹ Thành, Phan Trọng Trịnh, Cao Đình Triều, Ngô Thị Lư, Vũ Thanh Ca, Trần Tuấn Dũng, Nguyễn Văn Lương, 2010.* Nguy hiểm động đất sóng thần vùng ven biển Việt Nam. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội. 320 tr.
 23. *Bui Cong Que, Tran Thi My Thanh, Nguyen Dinh Xuyen, Le Tu Son, T. Webb, K. Berryman, Kent Gledhill, Noel Trustrum, M. Sterling, A. King, 2011.* Vietnam. New Zealand collaboration for Tsunami hazard, risk and preparedness assessment in coastal areas of Vietnam. International Workshop proceedings on Investigation and research of marine natural resource and Environment Hanoi Sept. 15-16, 2011. Natural science and Tech. Publishing House, p. 228-235.
 24. *Sandwell D. T. and Smith. W. H. F, 1997.* Marine gravity anomaly from GEOSAT and ERS1 satellite altimetry. Journal of geophysical research. 102. P. 10,039-10,054.
 25. *Taylor B. Hayes. D. E., 1983.* Origin and history of the South China Sea Basin. Part

2. Geoph.monograph. AGU. Washington 27. P. 23-56.
26. *Pham Van Thuc, Nguyen Dinh Xuyen, Bui Cong Que, Nguyen Kim Lap, 1985.* Seismic zoning of territory of Vietnam. Acta geophysica Polonica. Vol. 33, No. 2, pp. 147- 167.
27. *Pham Van Thuc, Kijko A., 1985.* Estimation of maximum magnitude and seismic hazard in Southeast Asia and Vietnam. Acta geophysica Polonica. Vol. 33, No. 4, pp. 377-387.
28. *Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Cao Đình Trọng, 2007.* Bước đầu áp dụng phương pháp tát định mới nghiên cứu tai biến động đất ở Việt Nam. Tạp chí Các khoa học về Trái đất. **29**(4). Tr. 337- 341.
29. *Cao Dinh Trieu, G. F. Panza, A. Peresan, F. Vaccari, F. Romanelli, Nguyen Huu Tuyen, Pham Nam Hung, Le Van Dung, 2008.* Seismic hazard assessment of Vietnam territory on the basis of Deterministic Approach. *Vietnam Journal of Geology Series B*, No. 31-32. P. 220-230.
30. *Nguyen Nhu Trung, Bui Cong Que, Sang Mook Lee, 2001.* Tectonic features in the eastern Sea Basin from satellite gravity data. Advances in Natural Sciences. Vol. 2, No. 3, p. 99-114.
31. *Wu Ji Min, 1994.* Evolution and model of cenozoic sedimentation in the South China Sea. Tectonophysics 235, p. 77-98. Elsevier Publisher.
32. *Nguyễn Đình Xuyên, Lê Tử Sơn, 2008.* Bản đồ phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam trong tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam. Tuyển tập công trình nghiên cứu Vật lý địa cầu 2008. Tr. 9-24. Nxb. Khoa học tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội.

STUDY OF THE CRUSTAL STRUCTURE, GEODYNAMICS AND THE EARTHQUAKE AND TSUNAMI HAZARD ASSESSMENT IN VIETNAM SEA AND ADJACENT AREAS

Bui Cong Que¹, Nguyen Hong Phuong¹, Tran Thi My Thanh¹, Tran Tuan Dung²

¹Institute of Geophysics-VAST

²Institute of marine geology and geophysics-VAST

ABSTRACT: *In order to study the characteristics of crustal structure and geodynamics in the Vietnam Sea and adjacent areas, all available data and results of survey and investigation on geology, geotectonics and geophysics for about 50 last years have been accumulated and the complex and systematic methods for analysis and interpretation of data sources have been built to determine the quantitative and detailed characteristics of horizontal and vertical layers of the Earth crust. In the base of the comprehensive analysis of available and updated data, the map of geophysical fields (such as gravity, magnetic field, seismology, heat flow), bathymetry, structure of the main boundaries in the Earth crust, structure and geodynamic of the fault systems have been compiled. With use of the deep crustal structure and geodynamics characteristics on the maps the earthquake source zones and their source parameters have been determined and in this base some tsunami scenarios that may be caused by these sources have been developed and calculated. The results of the earthquake and Tsunami hazards assessment presented in the maps of scale 1:500,000 and larger scale reflect the picture of differenced earthquake and Tsunami hazard with some areas of relatively high and clear hazards in the Vietnam sea and coastal zones.*

Keywords: *Deep crustal structure, geodynamics, source model, earthquake tsunami hazard, earthquake tsunami risk.*