

VL00004815



VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

BÙI CÔNG QUẾ (Chủ biên)

NGUYỄN ĐÌNH XUYÊN, PHẠM VĂN THỰC, NGUYỄN HỒNG PHƯƠNG,
TRẦN THỊ MỸ THÀNH, PHAN TRỌNG TRỊNH, CAO ĐÌNH TRIỀU,
NGÔ THỊ LỰ, VŨ THANH CA, TRẦN TUẤN DŨNG, NGUYỄN VĂN LƯƠNG

NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

2010

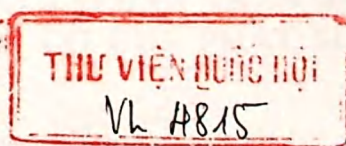
VL00004815

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

BÙI CÔNG QUẾ (Chủ biên)

**NGUYỄN ĐÌNH XUYÊN, PHẠM VĂN THỰC, NGUYỄN HỒNG PHƯƠNG,
TRẦN THỊ MỸ THÀNH, PHAN TRỌNG TRINH, CAO ĐÌNH TRIỀU,
NGÔ THỊ LƯU, VŨ THANH CA, TRẦN TUẤN DŨNG, NGUYỄN VĂN LƯƠNG**

**NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT
VÀ SÓNG THẦN Ở VÙNG
VEN BIỂN VIỆT NAM**



MỤC LỤC

	Trang
MỤC LỤC	3
LỜI GIỚI THIỆU	7
LỜI NÓI ĐẦU	9
Chương I. ĐẶC ĐIỂM TỰ NHIÊN, KINH TẾ XÃ HỘI, LỊCH SỬ NGHIÊN CỨU VÀ HỆ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM	13
I.1. Đặc điểm điều kiện tự nhiên và kinh tế xã hội vùng ven biển và hải đảo Việt Nam.	13
I.2. Tình hình nghiên cứu động đất và sóng thần ở Việt Nam và vùng Đông Nam Á.	19
I.3. Hệ phương pháp nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng ven biển và hải đảo Việt Nam.	26
Chương II. TÍNH ĐỊA CHẤN KHU VỰC BIỂN ĐÔNG VÀ VÙNG ĐÔNG NAM Á	57
II.1. Chế độ động đất khu vực Biển Đông và các vùng kế cận	57
II.2. Tổng quan về tính địa chấn khu vực Đông Nam Á	81
Chương III. CÁC ĐẶC TRƯNG KIẾN TẠO, ĐỊA ĐỘNG LỰC, TRƯỜNG ỨNG SUẤT CƠ BẢN TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ NGUYÊN NHÂN, CƠ CHẾ PHÁT SINH ĐỘNG ĐẤT SÓNG THẦN	91
III.1. Đặc điểm của các hệ đứt gãy hoạt động trên thềm lục địa Việt Nam và Biển Đông	91
III.2. Đặc điểm hoạt động kiến tạo trẻ và địa động lực hiện đại trên Biển Đông và kế cận	112
III.3. Đặc điểm trường ứng suất kiến tạo hiện đại khu vực Biển Đông Việt Nam và kế cận	126

Chương IV. CÁC VÙNG NGUỒN ĐỘNG ĐẤT - SÓNG THẦN TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM	135
IV.1. Các vùng có khả năng phát sinh động đất và sóng thần trên Biển Đông và biển Việt Nam	135
IV.2. Hoạt động núi lửa và nguy cơ trượt lở đất trên dải ven biển Việt Nam	151
IV.3. Bản đồ vùng nguồn động đất và sóng thần vùng Biển Đông và ven biển Việt Nam	161
Chương V. ĐỘ NGUY HIỂM VÀ ĐỘ RỦI RO ĐỘNG ĐẤT Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM	169
V.1. Kết quả ước lượng tham số nguy hiểm động đất	169
V.2. Bản đồ độ nguy hiểm động đất các tỉnh ven biển và hải đảo Việt Nam	172
V.3. Đánh giá độ rủi ro động đất cho khu vực đô thị dải ven biển Việt Nam: Ví dụ cho thành phố Nha Trang	176
V.4. Một số nhận định	184
Chương VI. ĐỘ NGUY HIỂM VÀ ĐỘ RỦI RO SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM	187
VI.1. Đánh giá mô phỏng sự lan truyền sóng thần trên Biển Đông và khả năng tác động tới vùng ven biển và hải đảo Việt Nam	187
VI.2. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam	196
VI.3. Đánh giá độ rủi ro sóng thần thành phố Nha Trang (Khánh Hòa)	203
Chương VII. ĐÁNH GIÁ BƯỚC ĐẦU VỀ CỎ SÓNG THẦN TRÊN VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM	215
VII.1. Các điểm dấu tích nghi ngờ do cỏ sóng thần ở Việt Nam tạo nên	215
VII.2. Đặc điểm địa chất, địa mạo khu vực dấu tích nghi ngờ cỏ sóng thần	218
Chương VIII. CÁC GIẢI PHÁP PHÒNG TRÁNH VÀ GIẢM NHỆ HẬU QUẢ ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VIỆT NAM	243
VIII.1. Phân vùng độ nguy hiểm động đất và sóng thần trên vùng ven biển và hải đảo để có các biện pháp phòng ngừa và ứng phó thích hợp	243

VIII.2. Hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam	245
VIII.3. Các giải pháp nâng cao khả năng phòng tránh, ứng phó và giảm nhẹ hậu quả động đất và sóng thần	251
VIII.4. Các giải pháp khắc phục hậu quả động đất và sóng thần	254
VIII.5. Các giải pháp phòng chống và giảm nhẹ hậu quả động đất, sóng thần trên các hải đảo của Việt Nam	255
KẾT LUẬN	257
TÀI LIỆU THAM KHẢO	259
PHỤ LỤC ẢNH VÀ HÌNH VẼ	271

Bản sao lưu trữ

LỜI GIỚI THIỆU

BỘ SÁCH CHUYÊN KHẢO VỀ BIỂN, ĐẢO VIỆT NAM

Việt Nam là một quốc gia biển, có vùng biển chủ quyền rộng khoảng một triệu kilômét vuông, đường bờ biển trải dài hơn 3.260 km bờ biển, một hệ thống đảo ven bờ và vùng khơi chiếm một vị trí cực kỳ quan trọng về mặt an ninh quốc phòng cũng như kinh tế-xã hội của đất nước. *Chiến lược Biển Việt Nam tới năm 2020* được Đảng và Nhà nước ta xây dựng, đã xác định những nhiệm vụ chiến lược phải hoàn thành, nhằm khẳng định chủ quyền Quốc gia trên biển, phát triển kinh tế biển, khoa học công nghệ biển, đưa nước ta trở thành một Quốc gia mạnh về biển, phù hợp với xu thế khai thác đại dương của thế giới trong thế kỷ XXI. Việc thực hiện có kết quả các nhiệm vụ trên, phải dựa trên một cơ sở khoa học, kỹ thuật đầy đủ, vững chắc về điều kiện tự nhiên, sinh thái môi trường và tiềm năng tài nguyên thiên nhiên biển của nước ta.

Công cuộc điều tra nghiên cứu biển ở nước ta được bắt đầu từ những năm 20 của thế kỷ XX, song phải tới giai đoạn từ năm 1954, và nhất là sau năm 1975, khi chiến tranh kết thúc, đất nước thống nhất, hoạt động điều tra nghiên cứu biển nước ta mới được đẩy mạnh, nhiều chương trình cấp Nhà nước, các đề án, đề tài ở các ngành, các địa phương ven biển mới được triển khai. Qua đó, các kết quả nghiên cứu đã được công bố, đáp ứng một phần yêu cầu tư liệu về biển, cũng như góp phần vào việc thực hiện các nhiệm vụ bảo đảm an ninh quốc phòng biển, các hoạt động khai thác, quản lý, bảo vệ tài nguyên môi trường biển trong giai đoạn vừa qua. Tuy nhiên, các nhiệm vụ lớn của *Chiến lược Biển Việt Nam tới năm 2020* đang đặt ra nhiều yêu cầu cấp bách và to lớn về tư liệu biển. Để góp phần đáp ứng nhu cầu trên, Nhà Xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tổ chức biên soạn và xuất bản bộ sách Chuyên khảo về Biển, Đảo Việt Nam. Việc biên soạn bộ sách này dựa trên các kết quả đã có từ việc thực hiện các Chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp Nhà nước do Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam chủ trì trong nhiều năm, cũng như các kết quả nghiên cứu ở các ngành trong thời gian qua. Bộ sách được xuất bản gồm nhiều lĩnh vực:

- Khoa học Công nghệ biển
- Khí tượng Thủy văn Động lực biển
- Địa lý, Địa mạo, Địa chất biển
- Sinh học Sinh thái Môi trường biển
- Đa dạng sinh học và Bảo tồn thiên nhiên biển
- Tài nguyên thiên nhiên biển

và các lĩnh vực khác.

Đề đảm bảo chất lượng các ấn phẩm, việc biên soạn và xuất bản được tiến hành nghiêm túc qua các bước tuyển chọn ở Hội đồng xuất bản và bước thẩm định của các chuyên gia chuyên ngành có trình độ. Trong hai năm 2008 và 2009, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ đã biên soạn và xuất bản 10 cuốn đầu tiên của Bộ Chuyên khảo này. Công việc biên soạn và xuất bản Bộ sách hiện vẫn được tiếp tục trong năm 2010.

Đề mục tiêu trên đạt kết quả tốt, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ rất mong nhận được sự hưởng ứng rộng rãi của các nhà khoa học thuộc các lĩnh vực khoa học công nghệ biển trong cả nước cùng tham gia biên soạn và xuất bản Bộ sách Chuyên khảo về Biển, Đảo Việt Nam, kịp thời đáp ứng nhu cầu tư liệu biển hiện nay cho công tác nghiên cứu, đào tạo và phục vụ yêu cầu các nhiệm vụ bảo vệ chủ quyền Quốc gia trên biển, đồng thời phát triển kinh tế, khoa học công nghệ biển và quản lý tài nguyên, môi trường biển, góp phần thiết thực vào việc thực hiện *Chiến lược Biển Việt Nam tới năm 2020* của Đảng và Nhà nước, cũng như các năm tiếp theo.

Nhà xuất bản

Khoa học tự nhiên và Công nghệ

LỜI NÓI ĐẦU

Vùng ven biển và hải đảo Việt Nam với dải bờ biển dài hơn 3200km và trên 2600 hải đảo, nơi tập trung tới trên 20 triệu dân, đã và đang là địa bàn phát triển kinh tế, xã hội, quốc phòng và an ninh vô cùng quan trọng, đặc biệt là trong sự nghiệp công nghiệp hoá và hiện đại hoá của đất nước. Để tăng cường hiệu quả phòng tránh thiên tai, đảm bảo phát triển bền vững vùng ven biển và hải đảo Việt Nam, điều tra, nghiên cứu về nguy cơ động đất và sóng thần để có cơ sở phòng chống và giảm thiểu thiệt hại do thiên tai cho toàn vùng luôn là yêu cầu cấp thiết. Trong hơn 50 năm qua, chúng ta đã có nhiều nỗ lực điều tra, nghiên cứu và đánh giá về chế độ động đất trên lãnh thổ Việt Nam, từng bước triển khai mở rộng phạm vi nghiên cứu ra toàn vùng biển Việt Nam và kế cận. Những kết quả điều tra nghiên cứu chủ yếu được phản ánh trong những công trình như “Phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam” (Phạm Văn Thục và n.n.k, 1985) “Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền lãnh thổ Việt Nam” (Nguyễn Đình Xuyên và n.n.k, 2004), “Phân vùng động đất vùng biển Việt Nam và kế cận” (Phạm Văn Thục và n.n.k, 2005, và nhiều công trình đã công bố khác (Phạm Văn Thục 2001, Nguyễn Kim Lạp, 1984, Nguyễn Ngọc Thuý 2005, Nguyễn Văn Lương, 2004, Nguyễn Hồng Phương 1993, 2004, Cao Đình Triều, 2008, Ngô Thị Lư, 2003).

Từ sau khi xảy ra thảm hoạ sóng thần ở Ấn Độ Dương ngày 26/12/2004 làm chết gần 300000 người và thiệt hại vật chất, môi trường sinh thái nặng nề cho các nước như Indonexia, Thái Lan, Malaysia, Sri Lanka, Bangladesh, Ấn Độ và nhiều nước khác, nhận thức và sự quan tâm của Nhà nước và nhân dân ta về dạng thiên tai động đất và sóng thần ngày càng nâng cao. Thủ tướng Chính phủ đã ban hành “Quy chế báo tin động đất và cảnh báo sóng thần” (11/2006) và “Quy chế phòng chống động đất và sóng thần” (5/2007). Đây là những văn bản pháp quy quan trọng, đòi hỏi phải tăng cường công tác điều tra nghiên cứu về nguy cơ động đất sóng thần và đảm bảo an toàn phục vụ sự nghiệp phát triển kinh tế xã hội và quốc phòng an ninh của đất nước. Trong giai đoạn này đã có một số công trình nghiên cứu điều tra về nguy cơ sóng thần đối với Việt Nam được triển khai thực hiện như các đề tài KHCN cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam “Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam và các giải pháp phòng tránh” (Nguyễn Đình Xuyên và n.n.k, 2006-2007), “Quy trình công nghệ đánh giá độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam” (Trần Thị Mỹ Thành 2007-2008), Dự án KHCN cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường “Xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần cho các vùng bờ biển Việt Nam” (Vũ Thanh Ca, 2007-2008) và Dự án hợp tác khoa học giữa Viện Vật lý địa cầu Việt Nam và Viện Khoa học Địa chất và Hạt nhân Niu Zilân “Đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro sóng thần và sự ứng phó của Việt Nam” (2007-2009). Cùng với sự quan tâm và đẩy mạnh điều tra nghiên cứu về sóng thần của Việt Nam, các nước trong vùng Biển Đông và khu vực Đông Nam Á cũng tăng cường nỗ lực và đẩy mạnh sự hợp tác điều tra nghiên cứu về lĩnh vực này bằng những kết quả bước đầu phong phú được phản ánh trong 3 cuộc Hội thảo khoa học quốc tế với chủ đề “Sóng thần ở Biển Đông” được tổ chức lần lượt tại Đài Loan (2007),

Thượng Hải, Trung Quốc (2008) và Penang, Malaysia (2009). Tại các hội thảo nói trên đều có sự tham gia và báo cáo, thảo luận của các tác giả công trình nghiên cứu này.

Ngoài chủ đề đánh giá nguy cơ sóng thần trong mối liên quan với tính địa chấn khá cao của vùng Đông Nam Á, trong những năm qua vùng Biển Đông tiếp tục là đối tượng điều tra nghiên cứu và khảo sát đánh giá về đặc điểm cấu trúc kiến tạo, tiềm năng tài nguyên khoáng sản và hiện trạng môi trường liên quan với chiến lược ứng phó biến đổi khí hậu và phát triển bền vững của các nước trong khu vực, trong đó có Việt Nam. Nhiều công trình điều tra, nghiên cứu mới về các lĩnh vực địa chất, địa vật lý, khí tượng, môi trường và phòng chống thiên tai đã và đang được thực hiện với nhiều kết quả phong phú, đã liên tiếp được bổ sung tạo ra những điều kiện mới để tiếp tục đi sâu xác định làm rõ hơn những đặc trưng cơ bản của các nguồn và cơ chế phát sinh động đất, phát triển hoàn thiện phương pháp và công nghệ mới trong đánh giá độ nguy hiểm của động đất và sóng thần đối với từng vùng và khu vực cụ thể.

Các tác giả của công trình này đặt cho mình nhiệm vụ kế thừa những kết quả của những công trình nghiên cứu đã nêu trong lĩnh vực liên quan, cập nhật, bổ sung những số liệu điều tra khảo sát mới, sử dụng những công cụ tính toán và công nghệ mới được hoàn thiện để xác định và đánh giá cụ thể và làm rõ hơn về nguyên nhân phát sinh, các vùng nguồn động đất và sóng thần, về độ nguy hiểm của động đất và sóng thần đối với vùng ven biển và hải đảo nước ta, từ đó đề xuất những giải pháp phòng tránh và ứng phó hợp lý.

Nội dung chuyên khảo được trình bày trong 8 chương và được phân công thực hiện như sau:

Chương I : GS. TS. Bùi Công Quế, GS.TS. Nguyễn Đình Xuyên, PGS.TS. Nguyễn Hồng Phương, TS. Trần Thị Mỹ Thành, TS. Trần Tuấn Dũng.

Chương II: PGS. TSKH. Phạm Văn Thục, TSKH. Ngô Thị Lư.

Chương III: GS.TS. Bùi Công Quế, PGS.TS. Phan Trọng Trinh, TS. Trần Tuấn Dũng, TS. Nguyễn Văn Lương, ThS. Dương Quốc Hưng.

Chương IV: GS.TS. Nguyễn Đình Xuyên, PGS.TS. Nguyễn Hồng Phương, GS.TSKH. Phạm Năng Vũ, TS. Nguyễn Văn Lương

Chương V: PGS.TS. Nguyễn Hồng Phương

Chương VI: TS. Trần Thị Mỹ Thành, PGS.TS. Vũ Thanh Ca

Chương VII: PGS.TS. Cao Đình Triều

Chương VIII: GS.TS. Bùi Công Quế, GS.TS. Nguyễn Đình Xuyên.

Ngoài ra, trong các nội dung trên còn có sự tham gia đóng góp có hiệu quả của đông đảo cán bộ khoa học trong và ngoài Viện Vật lý địa cầu bao gồm: TS. Đinh Văn Mạnh, TS. Ngô Gia Thắng, TS. Nguyễn Quang Miên, TS. Lê Từ Sơn, CN. Phạm Thế Truyền, ThS. Bùi Thị Nhung, KS. Nguyễn Thanh Hải, ThS. Nguyễn Văn Dương, ThS. Nguyễn Lê Minh, ThS. Nguyễn Ánh Dương, KS. Đinh Quốc Văn, KS. Nguyễn Tiến Hùng, KSC. Nguyễn Quốc Dũng, KS. Bùi Văn Duân, ThS. Bùi Nhị Thanh, CN. Bùi Thị Xuân, CN. Nguyễn Thị Kim Thanh, ThS. Lê Văn Dũng, KS. Mai Xuân Bách, ThS. Nguyễn Hữu Tuyên, ThS. Thái Anh Tuấn, CN. Trần Việt Phương, ThS. Vũ Thị Hoãn, CN. Phùng Thị Thu Thủy.

Các kết quả mới và nổi bật được giới thiệu trong chuyên khảo là những nhận định và đánh giá làm rõ về các vùng nguồn, cơ chế phát sinh, phát triển ứng suất và cường độ động đất cực đại, kết quả nghiên cứu đánh giá mới, chi tiết và cụ thể về độ nguy hiểm và rủi ro động đất, sóng thần cho các vùng ven biển và hải đảo, các đề xuất về giải pháp phù hợp phòng tránh và giảm nhẹ hậu quả động đất, sóng thần trên cơ sở thu thập, bổ sung, hoàn thiện, xử lý và phân tích một khối lượng lớn dữ liệu và tư liệu thực tế gồm danh mục động đất vùng Biển Đông, danh mục động đất mạnh vùng Đông Nam Á, tập số liệu khảo sát mới địa chấn nông phân giải cao về vùng đứt gãy ven biển miền Trung. Các bản đồ số về độ nguy hiểm và rủi ro động đất và sóng thần vùng ven biển và hải đảo gồm những bản đồ được tính toán xây dựng lần đầu tiên ở các tỷ lệ 1:1000000, 1:500000, 1:200000 và lớn hơn cũng được giới thiệu ở tỷ lệ thu nhỏ

Xin trân trọng giới thiệu những kết quả chủ yếu của công trình nghiên cứu nói trên và chân thành cảm ơn mọi ý kiến đóng góp, phê bình nhằm sửa chữa những thiếu sót và tiếp tục hoàn thiện nội dung cũng như hình thức của chuyên khảo .

Các tác giả

Bản sao lưu trữ

Chương I

ĐẶC ĐIỂM TỰ NHIÊN, KINH TẾ XÃ HỘI, LỊCH SỬ NGHIÊN CỨU VÀ HỆ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

I.1. ĐẶC ĐIỂM ĐIỀU KIỆN TỰ NHIÊN VÀ KINH TẾ XÃ HỘI VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

I.1.1. Một số đặc điểm điều kiện tự nhiên

I.1.1.1. Vị trí địa lý

Vùng bờ biển Việt Nam kéo dài theo đường bờ biển từ Móng Cái đến Hà Tiên với tổng chiều dài 3260 km. Phạm vi mở rộng của vùng vào phía đất liền tính theo ảnh hưởng của thủy triều trung bình tới 30 – 40 km, về phía biển là vùng nước ven bờ, bao gồm cả vùng ngập triều, có bề rộng trung bình tới 50 km và lớn hơn. Khái niệm thêm lục địa Việt Nam trên Biển Đông đương nhiên đã bao gồm vùng nước ven bờ và vùng lãnh hải và vùng đặc quyền kinh tế theo quy định của Công ước Luật Biển của Liên hợp quốc.

Các hải đảo của Việt Nam gồm trên 2600 đảo lớn nhỏ phân bố trên vùng ven bờ biển, thêm lục địa và trên Biển Đông, trong đó các đảo ven bờ là chủ yếu với gần 2500 đảo phân bố ở trong vịnh Bắc Bộ, dọc ven bờ miền Trung, Nam Trung Bộ và trong vịnh Thái Lan. Vùng quần đảo Trường Sa với trên 130 đảo và bãi ngầm, nằm rải rác trên vùng Đông Nam và Tây Nam Biển Đông, vùng quần đảo Hoàng sa với 37 đảo và bãi ngầm nằm ở vùng Tây Bắc Biển Đông.

I.1.1.2. Đặc điểm địa hình địa mạo

Ngoài một số đảo có diện tích lớn nằm trong vùng ven bờ như các đảo Bạc Long Vĩ, Cô Tô, Cồn Cỏ, Cái Bầu, Cát Bà, Lý Sơn, Phú Quý, Côn đảo, Phú Quốc... các đảo trong vùng quần đảo Trường Sa và Hoàng Sa có kích thước nhỏ, chiều dài nhất thường nhỏ hơn 1 km và địa hình thấp, độ cao trung bình 2 – 3m trên mực nước biển.

Vùng ven bờ có địa hình phức tạp và phân dị trong vùng Đông Bắc thuộc Quảng Ninh và Hải Phòng, địa hình đáy biển phức tạp với hàng trăm đảo lớn nhỏ, chia cắt vùng nước ven bờ thành các vịnh nhỏ với các đặc điểm vật lý, hải văn rất khác nhau. Vùng ven bờ từ Hải Phòng đến Đà Nẵng có địa hình đáy thoải độ sâu không lớn nhưng biến động do tác động của dòng chảy ven bờ và các cửa sông luôn làm thay đổi chế độ bồi lắng phù sa. Vùng ven bờ từ Đà Nẵng đến Phú Yên có địa hình đáy dốc đứng, độ

sâu tăng nhanh theo hướng ra xa bờ. Từ Phú Yên đến Vũng Tàu, từ Vũng Tàu đến Cà Mau và Cà Mau – Hà Tiên, địa hình vùng ven bờ tương đối thoải nhưng có cấu trúc phân dị, chia cắt và biến động mạnh phụ thuộc các hệ thống sông với chế độ thủy văn rất phức tạp.

Địa hình vùng ven biển (từ bờ biển vào đất liền) cũng biến đổi phức tạp với các vùng khác nhau. Vùng ven biển Đông Bắc (Quảng Ninh – Hải Phòng) có địa hình dốc thoải và độ sâu biến động liên quan với các dải núi phát triển dọc bờ biển theo hướng đông – đông bắc. Độ cao trung bình đường bờ biển trên 3m.

Địa hình ven biển từ Hải Phòng đến Đà Nẵng và Đà Nẵng – Quảng Ngãi tương đối thấp, thoải với nhiều bãi bồi, cửa sông và ngập triều khá rộng. Độ cao địa hình trung bình 1 – 2m.

Vùng ven biển Quảng Ngãi – Vũng Tàu có địa hình phức tạp, chia cắt và gắn với nhiều đồi núi phát triển từ trong đất liền ra phía biển, độ cao trung bình của đường bờ từ 2 – 3m và lớn hơn.

Vùng ven bờ từ Vũng Tàu đến Cà Mau và Cà Mau – Hà Tiên có địa hình thoải, thấp với nhiều bãi bồi và cửa sông lớn.

1.1.1.3. Đặc điểm thủy văn và khí hậu – khí tượng

Vùng ven biển Việt Nam có chế độ thủy văn phức tạp do tương tác của nước biển với hệ thống cửa sông và các thủy vực dọc theo đường bờ. Đặc biệt ở phía Bắc là các hệ thống cửa Sông Hồng, sông Thái Bình. Ở vùng miền Trung là hệ thống các đầm phá, thủy vực lớn như Tam Giang, Nha Phu, Ô Loan, Thị Nại, Văn Phong. Ở phía Nam là hệ thống các sông Đồng Nai, Cừ Long.

Chế độ khí tượng, khí hậu vùng ven biển luôn biến động và mang đặc điểm khí hậu nhiệt đới, gió mùa, phụ thuộc chủ yếu vào chế độ khí tượng thủy văn trên Biển Đông. Sự khác biệt đặc trưng là các mùa gió Đông Bắc trên phần phía bắc, mùa gió Tây Nam trên phần phía nam. Vùng ven biển miền Trung từ Nghệ An đến Vũng Tàu có chế độ khí hậu khắc nghiệt, khô nóng và thường xuyên xảy ra mưa bão, lụt lội do địa hình đồi núi với sườn dốc đứng về phía bờ biển tạo nên dòng chảy mạnh ở sông suối và vùng ven biển.

1.1.1.4. Đặc điểm địa chất và khoáng sản

Vùng ven biển và các hải đảo Việt Nam nằm trên các đơn vị cấu trúc địa chất và kiến tạo khác nhau và rất đa dạng. Vùng ven biển trên đất liền liên quan với các cấu trúc địa chất như đới uốn nếp Katazia đông bắc (Móng Cái – Hải Phòng), vùng trũng Kainozoi Hà Nội (Hải Phòng – Ninh Bình), vùng uốn nếp Mezozoi Trung Bộ Việt Nam (Ninh Bình – Đà Nẵng), Vùng địa khối Công Tum (Quảng Nam – Phú Yên) vùng rìa địa khối Indosinia (Khánh Hòa – Vũng Tàu), vùng trũng Kainozoi Mekong (Vũng Tàu – Hà Tiên).

Vùng nước ven bờ theo hướng đi từ phía bắc vào nam gắn liền với miền rìa của các bồn trầm tích Kainozoi trên thềm lục địa Việt Nam, như bể Bắc Bộ, bể Sông Hồng, bể Quảng Đà, bể Phú Khánh, bể Cừ Long và sườn Tây Bắc của bể Malay – Thổ Chu.

Đọc theo đường bờ hiện đại từ bắc vào nam có nhiều mỏ khoáng sản, đặc biệt là than ở vùng ven biển đông bắc và Đồng bằng Bắc Bộ, Đồng bằng Nam Bộ, các mỏ sa khoáng dọc ven biển Trung Bộ và Nam Trung Bộ, các mỏ kim loại như sắt, đồng, chì, vàng, dọc ven biển Bắc và Trung Trung Bộ...

Trên vùng ven biển và thềm lục địa Việt Nam phát triển các bể trầm tích Kainozoi có triển vọng dầu khí lớn như bể Sông Hồng trên vịnh Bắc Bộ, bể Phú Khánh dọc ven biển miền Trung, bể Cửu Long dọc ven biển Nam Trung Bộ, bể Nam Côn Sơn và bể Tư Chính, Vũng Mây ở thềm lục địa đông nam, và nhóm bể ở các vùng quần đảo Trường Sa và Hoàng Sa.

I.1.2. Đặc điểm phân bố dân cư và hoạt động kinh tế trên dải ven biển Việt Nam

I.1.2.1. Một số đặc điểm phân bố dân cư

Đọc theo dải ven biển Việt Nam hiện có 27 tỉnh và thành phố trực thuộc trung ương với tổng dân số trên 30 triệu người, trong đó khoảng 20 triệu người sống và hoạt động chủ yếu gắn liền với biển.

Mật độ dân trung bình trên dải ven biển cao hơn so với những vùng ở sâu trong nội địa. Tuy nhiên, giữa các vùng khác nhau trên dải ven biển, mật độ dân cư cũng khác nhau. Mật độ dân cao nhất ở những thành phố, thị xã và thị trấn nằm trên bờ biển.

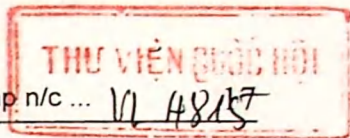
Theo đơn vị hành chính hiện hành thì các xã, phường, thị trấn nằm trực tiếp trên đường bờ biển là những nơi chịu ảnh hưởng trực tiếp của sóng thần hoặc sóng do bão và nước dâng. Thống kê về dân số của tất cả các xã, phường, thị trấn nói trên như sau:

- Tổng số xã, phường, thị trấn trên đường bờ biển = 1440 đơn vị.
- Dân số trung bình của một đơn vị cấp xã, phường, thị trấn rất khác nhau giữa các vùng, miền và các tỉnh.
- Miền Bắc \approx 6000 người/ đơn vị
- Miền Trung (từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận) \approx 7500 người/ đơn vị
- Miền Nam \approx 6700 người/ đơn vị
- Những xã, phường có số dân đông nhất \approx 18000 người.
- Xã, phường, thị trấn có dân số thấp \approx 1000 – 2000 người.

Cũng cần lưu ý là số dân của các đơn vị nêu trên là số dân sống cố định. Tuy nhiên, do hoạt động phát triển kinh tế, dân số ở các vùng này rất biến động, hàng năm số này thay đổi và tăng cao theo mùa, đặc biệt vào mùa hè và mùa thu ở các nơi có hoạt động kinh tế cao, con số trung bình nêu trên có thể tăng gấp 2 hoặc 3 lần.

Bảng I-1. Dân số một số xã, phường, thị trấn ven biển miền Trung Việt Nam

Xã, phường, thị trấn	Huyện, xã	Tỉnh Thành phố	Dân số (người)	Xã, phường, thị trấn	Huyện Thị xã	Tỉnh Thành phố	Dân số (người)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Phú An	Phú Vang	T.T. Huế	7859	Bình Chương	Bình Sơn	Quảng Ngãi	6687
				Trà Sơn	Trà Bồng	Quảng Ngãi	3478
Phú Long	Phú Vang	T.T. Huế	5206	Trà Bình	Trà Bồng	Quảng Ngãi	4932
Thủy Vân	Hương Thủy	T.Thiên Huế	4744	Trình Phong	Sơn Tịnh	Quảng Ngãi	8758
				Trình Sơn	Sơn Tịnh	Quảng Ngãi	8796
Lộc Bồn	Phú Lộc	T.Thiên Huế	10213	Hành Dương	Nghĩa Hành	Quảng Ngãi	6903
Lộc Điền	Phú Lộc	T.Thiên Huế	14920	Long Mai	Minh Long	Quảng Ngãi	2719
Hương Nguyên	A Lối	T.Thiên Huế	865	Đức Tân	Mộ Đức	Quảng Ngãi	6090
Tân Chinh	Thanh Khê	Đà Nẵng	15875	Ba Vinh	Ba Tơ	Quảng Ngãi	3274
An Hải Tây	Sơn Trà	Đà Nẵng	14149	Ba Trang	Ba Tơ	Quảng Ngãi	2794
Hoà Nhơn	Hoà Vang	Đà Nẵng	11535	Lê Hồng Phong	Quy Nhơn	Bình Định	19620
An Sơn	Tam Kỳ	Quảng Nam	7340	Hải Cảng	Quy Nhơn	Bình Định	17635
Cẩm An	Hội An	Quảng Nam	8811	Hoài Phú	Hoài Nhơn	Bình Định	9082
				Hoài Mỹ	Hoài Nhơn	Bình Định	13322
Đại Hiệp	Đại Lộc	Quảng Nam	6823	Ân Thạnh	Hoài Ân	Bình Định	8735
Đại Minh	Đại Lộc	Quảng Nam	8287	Mỹ Chánh	Phù Mỹ	Bình Định	17500
Điện Ngọc	Điện Bàn	Quảng Nam	12275	Vĩnh Kim	Vĩnh Thạnh	Bình Định	2943
Điện Thọ	Điện Bàn	Quảng Nam	13530	Vĩnh Thanh	Vĩnh Thạnh	Bình Định	5774
Điện Minh	Điện Bàn	Quảng Nam	9765	Cát Hanh	Phù Cát	Bình Định	12825
				Tân Bình	Tây Sơn	Bình Định	6318



Chương I. Đặc điểm tự nhiên, kinh tế xã hội, lịch sử n/c và hệ phương pháp n/c ...

11 48157

Duy Tân	Duy Xuyên	Quảng Nam	6280	Tây Phú	Tây Sơn	Bình Định	1052
Duy Trinh	Duy Xuyên	Quảng Nam	17310	Bình Kim	Tuy Hoà	Phú Yên	13982
Duy Vinh	Duy Xuyên	Quảng Nam	6351	Phú Mỹ	Đông Xuân	Phú Yên	2377
Bình Giang	Thăng Bình	Quảng Nam	9721	Xuân Phước	Đông Xuân	Phú Yên	6882
Bình Phú	Thăng Bình	Quảng Nam	4073	Xuân Lộc	Sông Cầu	Phú Yên	13157
Bình Sa	Thăng Bình	Quảng Nam	7160	Xuân Phong	Sông Cầu	Phú Yên	6383
Bình Phước	Bình Sơn	Quảng Ngãi	5483	An Dân	Tuy An	Phú Yên	6947

I.1.2.2. Phân bố các công trình kinh tế, xã hội

Chỉ tính trong những phạm vi chịu ảnh hưởng của sóng thần, sóng bão và nước dâng trên dải ven biển và dọc bờ biển Việt Nam tình trạng của các công trình kinh tế, xã hội rất đa dạng.

- Các thành phố, thị xã tập trung ở các vùng ven biển, gồm có: Móng Cái, Hạ Long, Cát Bà, Hải Phòng, Đồ Sơn, Cửa Lò, Đồng Hới, Đà Nẵng, Hội An, Tuy Hoà, Sông Cầu, Nha Trang, Phan Rang, Phan Thiết, Mũi Né, Bà Rịa, Vũng Tàu, Sóc Trăng, Rạch Giá, Hà Tiên...

- Các cảng lớn có: Cửa Ông, Cái Lân, Hải Phòng, Diêm Điền, Hải Hậu, Nghi Sơn, Cửa Lò, Vũng Áng, Chân Mây, Dung Quất, Đà Nẵng, Quy Nhơn, Nhơn Hội, Vũng Rô, Văn Phong, Nha Trang, Cam Ranh, Vũng Tàu, Rạch Giá và một số cảng lớn khác... Theo quy hoạch giao thông vận tải biển của Việt Nam đến 2020 sẽ có trên 200 cảng.

Các bến cá trên vùng ven biển và cửa sông là nơi xuất phát hoặc neo đậu của các tàu và thuyền cá liên tục trong năm, hiện có khoảng trên 500 bến cá.

- Các khu công nghiệp và cơ sở sản xuất công nghiệp khoảng trên 200 trong đó có nhiều khu công nghiệp lớn và quan trọng như Nghi Sơn, Dung Quất, Chu Lai, Bà Rịa, Long Khánh... Đặc biệt phải kể đến 2 nhà máy điện hạt nhân đầu tiên của Việt Nam sẽ được xây dựng trong giai đoạn 2010-2020 với địa điểm được xác định là tại các xã ven biển của tỉnh Ninh Thuận, nằm ở những khu vực có độ nguy hiểm động đất và sóng thần khá cao.

- Hiện tại ở các đô thị và các khu du lịch, nghỉ mát trên bờ biển có hàng trăm toà nhà kiên cố, cao tầng, các khách sạn hiện đại đã được xây dựng.

- Ở các vùng còn lại như thị xã, thị trấn, các điểm dân cư trên dải bờ biển thì nhà ở và các công trình kinh tế như xưởng, kho tàng, nhà nghỉ, trường học, bệnh viện đều đa phần là nhà 1-3 tầng, dạng bán kiên cố và có độ bền yếu. Nhà ở của dân thường bị đổ hoặc bay mái khi có gió bão cấp 10-12. Ở các tỉnh ven biển phía Nam và Nam Trung Bộ, đặc biệt là vùng Đồng bằng sông Cửu Long, ở các vùng cửa sông, nhân dân làm nhà và lều trên mặt nước, ven sông, tập trung sinh sống làm ăn với mật độ rất lớn. Các công trình này dễ dàng bị sóng bão đánh sập.

1.1.2.3. Đặc điểm hoạt động kinh tế

Hoạt động phát triển kinh tế trên dải ven biển Việt Nam rất năng động và diễn ra liên tục, quanh năm với quy mô và cường độ ngày một tăng cao. Đặc điểm hoạt động này liên quan với số người dân tham gia và số lượng công trình các loại được đầu tư xây dựng và phân bố trên mặt nước hoặc trên bờ biển đều là đối tượng bị huỷ hoại do tác động của thiên tai như động đất và sóng thần. Một số lĩnh vực hoạt động chính như sau:

- Hoạt động khai thác thủy, hải sản: là ngành nghề hoạt động, sinh sống chủ yếu của nhân dân dải ven biển và cửa sông, lĩnh vực này gồm 2 dạng hoạt động là đánh bắt, khai thác thủy, hải sản và nuôi thủy sản. Dạng hoạt động khai thác, đánh bắt thủy hải sản gồm hàng nghìn tàu cá các loại hàng ngày làm ăn trên mặt nước từ gần bờ (1-10km) và xa bờ hàng chục và hàng trăm kilômét. Trên mỗi tàu thuyền là cả gia đình hoặc hàng chục ngư dân liên tục ngày và đêm lên đênh trên mặt nước.

- Hoạt động nuôi thủy - hải sản hiện rất phát triển trên toàn vùng ven biển, nhất là ở các vùng ven biển phía Nam và Đồng bằng sông Cửu Long gắn với cuộc sống của hàng vạn dân cư ngành nông nghiệp.

- Hoạt động giao thông vận tải biển: là hoạt động liên quan đến hàng trăm cảng biển nơi có các kho tàng bến bãi và nơi trú, đỗ của hàng nghìn tàu, thuyền và các con tàu vận tải chờ người và hàng hoá đi theo các tuyến đường biển chằng chịt trên dải ven bờ và ngoài khơi. Hoạt động giao thông vận tải biển của Việt Nam rất lớn và sôi động do đường bờ biển của ta dài và do hệ thống hạ tầng giao thông đường bộ còn chậm phát triển.

- Hoạt động khai thác dầu khí và khoáng sản: hoạt động thăm dò khai thác và chế biến dầu khí ở Việt Nam hoàn toàn tập trung ở các vùng biển ven bờ, thềm lục địa và trên bờ biển. Hiện tại hoạt động này diễn ra chủ yếu ở vùng biển và ven biển phía nam và đông nam, chủ yếu ở các vùng từ Phan Thiết đến Rạch Giá với trọng tâm ở khu vực Vũng Tàu – Côn Đảo với hàng chục dàn khoan và tàu chứa dầu hoạt động trên biển, hàng trăm cây số đường ống dẫn khí, hàng trăm nhà kho, bể chứa dầu khí và nhiều nhà máy, công trình năng lượng sử dụng khí đang đi vào hoạt động. Khu công nghiệp chế biến dầu ở Dung Quất và cảng nước sâu Dung Quất (Quảng Ngãi) đang hoạt động. Khu chế biến dầu khí tiếp theo có quy mô tương tự Dung Quất đang được xây dựng tại Nghi Sơn (Thanh Hoá) cùng với cảng nước sâu Nghi Sơn. Hàng vạn công nhân và chuyên gia Việt Nam và nước ngoài đang liên tục làm việc cùng với các công trình và thiết bị nói trên. Ngoài hoạt động thăm dò khai thác và chế biến dầu khí, ở các vùng ven biển của các tỉnh Trung và Nam Trung Bộ có hàng trăm điểm khai thác, chế biến khoáng sản như sa khoáng, vật liệu xây dựng và các khoáng sản quý hiếm khác. Hoạt động này liên quan với các điểm tập trung của hàng nghìn công nhân và chuyên gia cùng với các trang thiết bị và kỹ thuật đất tiền ngay trên bờ biển với lán trại và nhà cửa xây dựng tạm thời kém kiên cố.

- Hoạt động du lịch vùng ven biển Việt Nam: là hoạt động phát triển du lịch gắn với biển và hưởng khí hậu, sản phẩm biển, với địa bàn là dải bờ biển và các đảo có tiềm năng du lịch. Hiện tại trên dải ven biển Việt Nam từ Bắc vào Nam có hàng trăm điểm du lịch, trong đó có những địa điểm nổi tiếng đang phát triển hoạt động du lịch biển rất lớn, quanh năm như Trà Cổ, Hạ Long, Cát Bà, Đồ Sơn, Sầm Sơn, Cửa Lò, Đồng Hới, Đà Nẵng, Hội An, Tuy Hoà, Nha Trang, Phan Thiết, Mũi Né, Vũng Tàu, Cà Mau, Hà

Tiên, Côn Đảo, Phú Quốc... Con số khách du lịch biển tại ven biển và hải đảo Việt Nam hàng năm đạt trên một triệu người, nhiều bãi tắm và nhà nghỉ khách sạn ven biển vào giờ cao điểm có thể tập trung hàng nghìn người. Trừ các địa điểm du lịch ở Bắc và Bắc Trung Bộ chỉ hoạt động chủ yếu trong mùa hè, mùa thu, còn lại các vùng ở Trung Bộ và Nam Bộ hoạt động du lịch diễn ra quanh năm với cao điểm vào mùa hè và mùa thu.

I.2. TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THÀN Ở VIỆT NAM VÀ VÙNG ĐÔNG NAM Á

I.2.1. Nghiên cứu đánh giá tính địa chấn vùng Đông Nam Á

Có thể cho rằng lần đầu tiên Đông Nam Á (ĐNA) đã được xem xét như một vùng riêng biệt trong công trình [31]. Trong công trình này tác giả đã xem xét sơ bộ tần suất động đất trên lãnh thổ ĐNA. Tuy nhiên, vì các vấn đề giải quyết trong công trình này chủ yếu là mang tính lý thuyết nên các kết luận dẫn ra trong đó cũng chỉ mang các đặc trưng khái quát mà chưa phản ánh được tính quy luật chung của hoạt động địa chấn toàn khu vực ĐNA.

Trong các công trình của Phạm Văn Thục [52], [58] lãnh thổ nghiên cứu được chọn giới hạn bởi các toạ độ: 0-25N, 90-115E. Tác giả đã sử dụng số liệu của 386 trận động đất với magnitude $M \geq 5.0$ thuộc chu kỳ 1912-1976 để nghiên cứu. Tuy nhiên, do số liệu gốc được thu thập từ các thông báo và danh mục động đất của các nước khác nhau và theo các nguồn gốc khác nhau (số liệu lịch sử, số liệu máy và số liệu điều tra thực địa), thiếu chính lý và thống nhất hoá số liệu. Đồng thời, số liệu động đất sử dụng trong nghiên cứu rất hạn chế, vì vậy các kết quả nhận được trong các nghiên cứu này cũng không thể phản ánh được tính quy luật của chế độ hoạt động địa chấn khu vực ĐNA một cách đầy đủ và đáng tin cậy.

Trong một loạt các nghiên cứu khác của tác giả Nguyễn Kim Lạp đối với khu vực ĐNA, diện tích lãnh thổ nghiên cứu được chọn giới hạn bởi các toạ độ: $\varphi = 10^{\circ}\text{S}-30^{\circ}\text{N}$; $\lambda = 90-130^{\circ}\text{E}$ và đã xem xét số liệu địa chấn chu kỳ từ 1904 đến 1977 với việc sử dụng các phương pháp nghiên cứu khác nhau (chủ yếu là của các nhà khoa học Liên Xô (cũ)). Trong các công trình của các tác giả Phạm Văn Thục [49], [50], [52], Nguyễn Kim Lạp [42], [44], đã sử dụng các tài liệu địa chấn thu thập được từ các nguồn khác nhau (lịch sử, điều tra thực địa và số liệu máy) và theo các hệ thống quan sát địa chấn khác nhau để xem xét và giải quyết các vấn đề địa chấn mà không có sự thống nhất hoá số liệu. Vì vậy các kết quả nhận được vẫn còn sơ lược, chưa phản ánh tính quy luật chung của chế độ hoạt động địa chấn khu vực ĐNA một cách đầy đủ và đáng tin cậy.

Đáng chú ý là trong các công trình nghiên cứu nói trên, vùng nghiên cứu đối với khu vực Đông Nam Á được chọn giới hạn bởi toạ độ $\varphi = 0-30^{\circ}\text{N}$; $\lambda = 90-120^{\circ}\text{E}$ và bao gồm lãnh thổ của các nước Việt Nam, Lào, Campuchia, Thái Lan, Malayxia, Miến Điện, và một phần diện tích lãnh thổ Trung Quốc, Ấn Độ, Indonexia, Philippin, Bangladet và Butan. Trên bản đồ phân vùng địa chấn toàn thế giới, lãnh thổ nghiên cứu bao gồm các vùng địa chấn số 25, một phần diện tích của các vùng số 21, 22, 23, 26, 43 và 46 [107].

Từ các công trình [20], [140] tác giả đã tiến hành xem xét và nghiên cứu tính địa chấn và các đặc điểm hoạt động của các trận động đất mạnh khu vực Đông Nam Á trên cơ sở số liệu động đất thu thập được bởi tác giả theo tài liệu của danh mục địa chấn khu vực và quốc tế của Trung tâm địa chấn Quốc tế ISC [102], [149], [153] chu kỳ 1970-1993. Danh mục động đất này bao gồm khoảng 5000 trận động đất với magnitude theo sóng khối $M_b = 2.4-6.6$. Ngoài việc thành lập bản đồ chấn tâm động đất mạnh và phân chia khu vực thành 4 vùng với các đặc điểm hoạt động địa chấn khác nhau, trong các công trình này còn tiến hành tính toán và phân tích các đặc trưng năng lượng của các trận động đất mạnh và đặc biệt đã nghiên cứu chi tiết một số trận động đất mạnh đại diện cho từng vùng chấn tâm đã phân chia. Điểm mới, khác biệt và sáng tạo trong các công trình này là việc xem xét sự phân bố chấn tâm của các kích động chính và các dư chấn mạnh nhất của chúng theo các hệ thống quan sát khác nhau để làm sáng tỏ đặc điểm phát triển của quá trình trong vùng chấn tiêu động đất mạnh đối với từng khu vực.

Ở giai đoạn tiếp theo (là giai đoạn nghiên cứu vừa tổng thể, vừa toàn diện và chi tiết hơn đối với khu vực Đông Nam Á) tác giả đã vừa mở rộng chu kỳ số liệu địa chấn đến hết năm 1996, vừa phát triển và đề xuất các phương pháp nghiên cứu và cách tiếp cận mới với việc áp dụng công nghệ máy tính và tin học hiện đại, đảm bảo tính thống nhất và tính khoa học của các kết quả nghiên cứu [21]. Điểm mới và khác biệt nổi bật đã được đánh giá rất cao trong công trình [21] là lần đầu tiên đã đề xuất và thực hiện một loạt các cách tiếp cận có tính phương pháp luận để thành lập danh mục động đất thống nhất đối với khu vực Đông Nam Á với mục đích làm sáng tỏ các đặc điểm biểu hiện của tính địa chấn, các đặc trưng cơ bản của động đất mạnh và các quá trình trong vùng chấn tiêu của chúng. Các cách tiếp cận được đề xuất đã cho phép giải quyết hàng loạt các vấn đề khác nhau [21].

Tiếp đến, để vận dụng kế thừa những kết quả nhận được qua 2 giai đoạn trên trong thực tế và tiếp tục hướng nghiên cứu chỉ ra đối với khu vực ĐNA tác giả công trình này đã tiến hành các nghiên cứu khác nhau trong loạt các công trình [21], [25]. Điểm đáng lưu ý là ở giai đoạn này, tác giả không những đã nghiên cứu sâu hơn, chi tiết hơn về quá trình trong vùng nguồn của các trận động đất mạnh nhất trong mối liên quan với quá trình hoạt động kiến tạo địa động lực hiện đại khu vực Đông Nam Á, mà còn nghiên cứu các đặc điểm của động đất có khả năng gây sóng thần nói chung và nghiên cứu chi tiết trận động đất Sumatra ngày 26.12.2004 (với magnitude $M=9$ tại toạ độ $\varphi=3,30^{\circ}\text{N}$; $\lambda=95,78^{\circ}\text{E}$) gây sóng thần thảm hoạ trong lịch sử và diễn biến dư chấn của nó [21].

1.2.2. Nghiên cứu điều tra về tính địa chấn của Việt Nam và Biển Đông

Các nghiên cứu và điều tra về tính địa chấn của lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông được bắt đầu ngay từ sau khi thành lập và đưa vào hoạt động các trạm động đất đầu tiên của Việt Nam tại Nha Trang, Phù Liễn và Sa Pa vào khoảng những năm từ 1924-1957 với các công trình công bố đầu tiên về tính địa chấn của Việt Nam của Nguyễn Hải, Phạm Văn Thục, Nguyễn Khắc Mão, Nguyễn Hữu Thái và n.n.k. Những nghiên cứu ban đầu về tính địa chấn lãnh thổ Việt Nam và vùng biển kế cận liên quan đến những

đánh giá về quy luật biểu hiện của chế độ động đất trên cơ sở phân tích kết quả quan trắc và số liệu lịch sử thu thập sau vụ phun núi lửa tại Hòn Tro vào năm 1923, tại Hòn Nước vào năm 1960, các động đất mạnh tại Điện Biên năm 1935 và các động đất lịch sử tại vùng ven biển tỉnh Bình Thuận vào cuối thế kỷ 19, đặc biệt là động đất tại Tuần Giáo (vùng Tây Bắc Việt Nam) vào năm 1983. Trên vùng ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ, tính địa chấn liên quan với hoạt động núi lửa và các biểu hiện ba zan trẻ đã được nghiên cứu đánh giá trong công trình của Saurin (1965, 1967) Flower (1992) và của các nhà địa chất Việt Nam Nguyễn Xuân Hãn (1991), Phạm Văn Thục (1996), Đỗ Minh Tiệp (1995).

Trong những năm 1981-1985, những kết quả điều tra nghiên cứu về chế độ động đất trên lãnh thổ Việt Nam và vùng lân cận trong giai đoạn từ sau năm Vật lý địa cầu Quốc tế (1957-1958) đã được tập hợp và hệ thống trong công trình phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam do Phạm Văn Thục chủ biên. Tiếp theo đó, bản đồ phân vùng động đất Việt Nam được Nguyễn Đình Xuyên và các cộng sự hoàn thiện, bổ sung và công bố ở tỷ lệ 1:1000000. Bản đồ đã khoanh định trên lãnh thổ Việt Nam những vùng chấn động từ cấp VI đến cấp IX (thang MSK-94) và các vùng phát sinh động đất với Magnitude cực đại từ 5 đến 7. Bản đồ phân vùng động đất Việt Nam tỷ lệ 1:1000000 vạch ra những vùng động đất khá mạnh cấp VII, cấp VIII trên phần phía Bắc Việt Nam và Bắc Trung Bộ chạy theo hướng Tây Bắc – Đông Nam phát triển theo các hệ đứt gãy sinh chấn và kéo ra đến vùng ven biển Việt Nam. Trên phần Nam Trung Bộ và Nam Việt Nam có vùng động đất cấp VIII chạy dọc ven biển Trung và Nam Trung Bộ liên quan với hệ đứt gãy Tây Bắc Đông và vùng động đất cấp VII trên vùng ven biển Đông Nam và phát triển dọc theo các đới đứt gãy hướng Đông Bắc – Tây Nam. Bản đồ phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam là cơ sở để tiếp tục điều tra, nghiên cứu, đánh giá chi tiết về tính địa chấn và các đặc trưng liên quan với kháng chấn với mục đích ứng dụng trong địa chấn công trình ở Việt Nam.

Trong những năm 2000-2004, Nguyễn Đình Xuyên và các cộng sự ở Viện Vật lý địa cầu hoàn thành công trình nghiên cứu về dao động nền, thực chất là đánh giá độ nguy hiểm động đất của lãnh thổ Việt Nam. Các tác giả đã sử dụng công thức Campbell 97 và phần mềm CRISIS99 để tính và xây dựng bản đồ gia tốc nền chu kỳ 500 năm, 1000 năm, 2500 năm với sự phân bố trị số gia tốc rung động nền cực đại PGA trên lãnh thổ Việt Nam ở tỷ lệ 1:1000000 và sử dụng làm căn cứ để xây dựng tiêu chuẩn cho thiết kế xây dựng các công trình kháng chấn ở Việt Nam (Nguyễn Đình Xuyên, 2007, 2008). Theo kết quả này, ở vùng ven biển Việt Nam, giá trị PGA được đánh giá cho chu kỳ 500 năm, nền loại A cho thấy sự phân bố phân dị và biến động trong khoảng giá trị 0,05 – 0,15 và được đưa vào tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 375/2006 - Thiết kế công trình chịu động đất.

Trên vùng Biển Đông và thềm lục địa Việt Nam, trong những năm 2000-2005, Phạm Văn Thục và các cộng sự ở Phân viện Hải dương học tại Hà Nội đã tổng hợp các kết quả quan trắc động đất, nghiên cứu chế độ động đất trên Biển Đông và kế cận, cùng với những nghiên cứu điều tra về các đặc điểm cấu trúc, kiến tạo và các trường địa vật lý, tiến hành đánh giá phân vùng động đất Biển Đông. Bản đồ phân vùng động đất Biển Đông ở tỷ lệ 1:1000000 lần đầu tiên phân định ra những vùng có đặc điểm cấu kiến tạo

- địa động lực khác biệt với những đặc trưng chấn động từ cấp VI đến cấp VIII và những đới đứt gãy phát sinh các động đất mạnh. Bản đồ phân vùng động đất này là cơ sở ban đầu để tiếp tục đi sâu nghiên cứu về nguyên nhân và các đặc điểm kiến tạo - địa động lực liên quan đến cơ chế phát sinh động đất, núi lửa trên Biển Đông và thềm lục địa Việt Nam.

Nguyễn Văn Lương và các cộng sự (2007, 2008) đã đi sâu nghiên cứu các cơ cấu chấn tiêu động đất và trường ứng suất kiến tạo trên Biển Đông, đặc biệt là trên các hệ đứt gãy sinh chấn. Kết quả cho thấy những biểu hiện phong phú nhưng rất phù hợp về cơ chế địa động lực trên các hệ đứt gãy sinh chấn (các vùng nguồn động đất) khác nhau đặc biệt rõ là trên đới hút chìm Manila (nén ép nghịch chòm) và trên các hệ đứt gãy Bắc Biển Đông và Tây Biển Đông (nén ép, trượt bằng)... Nguyễn Hồng Phương (2004) đã đi sâu nghiên cứu, áp dụng phương pháp tiếp cận xác suất đánh giá độ nguy hiểm động đất cho một số vùng trên lãnh thổ Việt Nam, trên cơ sở đó đi sâu áp dụng phương pháp đánh giá rủi ro, thiệt hại do động đất cho một số vùng đô thị như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh (Nguyễn Hồng Phương 2008). Những kết quả đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro động đất được thực hiện cho một số vùng với tính chất dự báo trên cơ sở những kết quả điều tra quan sát thực tế và cách tiếp cận xác suất đã nâng cao độ tin cậy và mức độ phù hợp thực tế để đề xuất những giải pháp phòng tránh hợp lý, có thể phát huy hiệu quả.

Các nghiên cứu và đánh giá bước đầu về nguy cơ sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam được thực hiện bởi Phạm Văn Thục (1985, 2004, 2007). Trong những công trình của mình, tác giả chỉ ra những vùng có khả năng phát sinh động đất mạnh có thể gây ra sóng thần trên Biển Đông như đới hút chìm Manila có thể xảy ra động đất với $M \geq 8$ và có thể gây nên những cơn sóng thần lan truyền đến vùng ven biển Việt Nam. Sau thảm họa sóng thần năm 2004 ở Ấn Độ Dương, các tác giả Nguyễn Ngọc Thủy (2005), Phan Trọng Trịnh (2005), Cao Đình Triều (2007) Ngô Thị Lư (2007), Trần Thị Mỹ Thành (2008) và Nguyễn Đình Xuyên (2008), Vũ Thanh Ca (2008) đã có những công trình nghiên cứu đánh giá về nguy cơ sóng thần đối với vùng ven biển Việt Nam.

Cao Đình Triều, Ngô Thị Lư và các nhà khoa học Nga thuộc Viện Vật lý Trái đất (Viện Hàn lâm khoa học Nga) trong những năm 2005-2006 đã đi khảo sát một số địa điểm được cho là có dấu tích cổ sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam (Trà Cổ, Diễn Châu, Nha Trang), phân tích đặc điểm địa chất, địa mạo, xác định tuổi tuyệt đối của các mẫu địa chất nguồn gốc từ biển và đưa ra luận giải về khả năng đã có sóng thần tràn vào những vùng này trong một số thời kỳ lịch sử nhất định.

Trong khuôn khổ đề tài KHCN cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, năm 2007-2008, Trần Thị Mỹ Thành đã thử nghiệm các phương pháp tính toán và đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam. Với những tham số giả định và những kịch bản bước đầu về động đất xảy ra tại vùng nguồn Manila (đới hút chìm Manila) tác giả đã tính toán xác định thời gian sóng thần có thể lan truyền đến bờ biển Việt Nam, mức cao cực đại sóng thần có thể đạt tới tại vùng bờ biển và rủi ro, thiệt hại có thể xảy ra khi có sóng thần tại một vài địa điểm cụ thể. Phương pháp tính và đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro do sóng thần đã được các chuyên gia của Viện Khoa học Địa chất và Hạt nhân Niu Zilân phát triển và cùng với các chuyên gia của Viện Vật lý địa cầu thử nghiệm (Bùi Công Quế, Trần Thị Mỹ Thành, 2007-2009) trong khuôn khổ dự án hợp tác KHCN giữa Việt Nam và Niu Zilân "Đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro sóng

thần và sự ứng phó cho Việt Nam”. Lần đầu tiên những phương pháp, mô hình tính toán và lập bản đồ về độ nguy hiểm và rủi ro sóng thần đã được nghiên cứu phát triển và chuyên giao sử dụng cho Viện Vật lý địa cầu phục vụ nghiên cứu và cảnh báo sóng thần.

Trong những năm 2006-2007, Nguyễn Đình Xuyên và cộng sự đã thực hiện đề tài KHCN trọng điểm cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam về “Đánh giá độ nguy hiểm sóng thần ở vùng ven biển Việt Nam và các giải pháp phòng tránh”. Trong khuôn khổ của đề tài, tác giả đã thu thập các kết quả nghiên cứu mới nhất tiến hành xác định các tham số các vùng nguồn động đất trên Biển Đông như Manila Trench, đứt gãy Tây Biển Đông và Bắc Biển Đông, tính sơ bộ độ mạnh của sóng thần và mức độ ảnh hưởng lớn nhất đến vùng ven biển Việt Nam. Tác giả đã đi đến nhận định thận trọng về khả năng sóng thần có thể ảnh hưởng đến ven biển Việt Nam, nhưng tác động là không quá nghiêm trọng, sóng thần có thể đạt độ cao tối đa 3-4m chỉ ở một vài khu vực trên dải bờ biển Trung Bộ. Trên cơ sở đó, một số giải pháp phòng tránh có tính truyền thống đã được nêu ra và tác giả cũng đã kiến nghị thành lập trung tâm cảnh báo sóng thần và cơ chế tổ chức vận hành ở Việt Nam (Nguyễn Đình Xuyên, 2008).

Vũ Thanh Ca, 2007-2008 trong khuôn khổ dự án KHCN của Bộ Tài nguyên và Môi trường “Nghiên cứu xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam” đã nghiên cứu lựa chọn thử nghiệm và áp dụng mô hình số trị lan truyền sóng thần để tính và mô phỏng sự lan truyền sóng thần từ một số vùng nguồn trên Biển Đông như Manila Trench, vùng đứt gãy Tây Nam Đài Loan, vùng Bắc Biển Đông, vùng Tây Biển Đông. Với sự hợp tác của Nguyễn Ngọc Thủy và Nguyễn Đình Xuyên, tác giả đã xác định 25 kịch bản sóng thần, xác định độ cao sóng thần có thể lan tới vùng bờ biển Việt Nam, trên cơ sở đó, tính toán xây dựng các bản đồ ngập lụt chi tiết trên các vùng ven biển. Kết quả tính toán tác động sóng thần và ngập lụt trên vùng ven biển theo các kịch bản của Vũ Thanh Ca là những đánh giá giả định nhưng định lượng cho thấy mức độ tác động cụ thể đến Việt Nam nếu sóng thần xảy ra trên những vùng cụ thể ở Biển Đông. Đây là một trong những kết quả đầu tiên đánh giá định lượng, độc lập và hệ thống phục vụ cho việc cảnh báo về nguy cơ sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam.

I.2.3. Nghiên cứu về các hệ đứt gãy trên Biển Đông và thềm lục địa Việt Nam

Các hệ thống đứt gãy trên Biển Đông được khảo sát và nghiên cứu từ những thập niên đầu của thế kỷ 20 liên tục cho đến nay. Bắt đầu là những công trình điều tra nghiên cứu về địa chất kiến tạo Biển Đông Việt Nam của các nhà địa chất Pháp, Hà Lan, Tây Ban Nha vào những năm 1920 – 1930 và tiếp theo đó vào từ năm 1950-1960 trở đi các nhà địa chất của châu Âu, châu Mỹ, châu Á như Pháp, Anh, Đức, Hà Lan, Mỹ, Canada, Nga, Nhật, Trung Quốc, Việt Nam ... đã lần lượt công bố nhiều chương trình điều tra nghiên cứu về địa chất, kiến tạo của Biển Đông, trong đó lần lượt phát hiện và mô tả về cấu trúc và địa động lực của các hệ thống đứt gãy lớn trên Biển Đông và vai trò của chúng trong việc hình thành, phát triển của Biển Đông cũng như các hoạt động kiến tạo trong những giai đoạn khác nhau. Điển hình trong số các công trình này là Fromaget 1942, Shepard, 1949 Saurin E 1957, 1962 Ben-Avraham, Uyeda, 1973, Parke et al,

1977, Hayes D.E, 1976, 1983, 1986, Hinz.K, 1985 Hinz. K et al, 1985, 1989, Taylor B and Hayes D.E, 1983, 1990, Tapponier P.et al 1982, 1986. Kulinich R.G, 1989, Wu Jimin, 1988, 1990, 1994.

Từ sau ngày miền Nam Việt Nam được giải phóng và thống nhất đất nước, trên các vùng ven biển và thềm lục địa Việt Nam, trên vùng quần đảo Trường Sa đã tiến hành nhiều hoạt động điều tra thăm dò nghiên cứu về địa chất và kiến tạo gắn với mục tiêu tìm kiếm dầu khí, khoáng sản và phòng tránh thiên tai địa chất, các nhà địa chất Việt Nam và nước ngoài đã công bố nhiều chương trình với kết quả nghiên cứu phong phú về địa chất, kiến tạo và vai trò của các hệ đứt gãy vùng ven biển và thềm lục địa Việt Nam. Đó là các công trình của Lê Duy Bách, 1987, 1990; Nguyễn Biểu, 1995, 1990; Brias, A. et al, 1989, 1990; Hồ Đắc Hoài 1991, 1995; Ngô Thường San, 1986; Lê Như Lai, 1995; Bùi Công Quế, Nguyễn Giao, 1996; Bùi Công Quế, 2000; Bùi Công Quế, Phùng Văn Phách 2005 và nhiều công trình khác.

Trong những năm gần đây với kết quả điều tra, khảo sát về địa chất và địa vật lý ngày một phong phú và có độ chi tiết, độ chính xác cao, trong các công trình nghiên cứu về địa chất và kiến tạo của Biển Đông và thềm lục địa Việt Nam, các hệ đứt gãy chính đã được phát hiện khẳng định và chính xác hoá về vị trí làm sáng tỏ từng bước về quy mô và mức độ, lịch sử phát triển cũng như vai trò của chúng trong quá trình hình thành và tiến hoá bình đồ kiến tạo khu vực. Căn cứ vào mục tiêu tìm kiếm phát hiện khoáng sản cũng như phân vùng dự báo tai biến địa chất (động đất, núi lửa...) Các đặc trưng cấu trúc và địa động lực của các hệ đứt gãy đã được khảo sát, nghiên cứu và đánh giá chi tiết và tìm hiểu sự liên quan với các chuyển động kiến tạo và phân bố ứng suất.

Các đứt gãy hoạt động ngoài những biểu hiện về đặc điểm cấu trúc như vị trí, quy mô phát triển, kích thước vùng phá huỷ, độ sâu và hướng cắm bề mặt đứt gãy còn phải biểu hiện trực tiếp trên bề mặt hoặc các lớp gần bề mặt và liên quan với các đặc điểm địa động lực hiện đại như hoạt động kiến tạo trẻ, hoạt động động đất và núi lửa, biểu hiện của dòng nhiệt tăng cao, thay đổi ứng suất làm biến dạng địa hình bề mặt...

Phương pháp và nguồn tài liệu sử dụng để nghiên cứu xác định hệ đứt gãy hoạt động trên Biển Đông cũng như vùng ven bờ và thềm lục địa Việt Nam đều phải tập trung phân tích để phát hiện và làm rõ những đặc điểm cấu trúc và địa động lực liên quan được nêu trên đây (Nguyễn Biểu, 1990); Phạm Năng Vũ, Nguyễn Đình Xuyên, 2007; Phan Trọng Trịnh, 2009; Bùi Công Quế, Trần Tuấn Dũng, 2009).

I.2.4. Nghiên cứu hoạt động kiến tạo trẻ và địa động lực hiện đại Biển Đông và vùng biển Việt Nam

Nghiên cứu hoạt động kiến tạo trẻ và địa động lực hiện đại trên Biển Đông và vùng ven biển Việt Nam có ý nghĩa rất quan trọng phục vụ đánh giá nguy hiểm

và dự báo, cảnh báo tai biến động đất và sóng thần và những dạng tai biến địa chất khác.

Các nghiên cứu về kiến tạo Plioxen-Đệ tứ trên Biển Đông và ở vùng biển Việt Nam của các nhà địa chất Pháp (Rangin, 1995) và của các nhà địa chất Việt Nam như Phạm Năng Vũ, 2004, Nguyễn Biểu, 2005, Võ Năng Lạc 1997, Lê Duy Bách 2007, Mai Thanh Tân, 2004, Trần Nghi, 2008, Lê Văn Dung, 2008 đều cho thấy hoạt động kiến tạo Plioxen-Đệ tứ khá mạnh dọc theo vùng ven biển Việt Nam từ trong vịnh Bắc Bộ đến vùng ven biển Trung Bộ, Nam Trung Bộ cũng như trên vùng ven bờ phía đông của Biển Đông.

Hoạt động kiến tạo trẻ được phát hiện trên các băng địa chấn thăm dò, đặc biệt là các dự án thăm dò địa chấn nông vùng ven bờ của Việt Nam do trung tâm địa chất khoáng sản biển của Cục Địa chất Khoáng sản Biển Việt Nam thực hiện và các dự án địa chấn thăm dò dầu khí trên vùng ven biển Trung Bộ và Nam Trung Bộ Việt Nam. Đó là các biểu hiện của đứt gãy, núi lửa trẻ khá rõ trong tầng Plioxen-Đệ tứ.

Các dấu hiệu về hoạt động động đất gia tăng và dấu tích hoạt động phun trào núi lửa trên các khu vực đảo Phú Quý, Hòn Tro ở thềm lục địa Đông Nam được điều tra, đánh giá chi tiết trong các công trình của Phạm Văn Thục, Nguyễn Xuân Hân và Đỗ Minh Tiệp (1996,2000). Các chuyển động kiến tạo hiện đại trên Biển Đông và vùng ven biển Việt Nam đã được nhiều tác giả nước ngoài và Việt Nam nghiên cứu bằng những phương pháp mới và hiện đại, đặc biệt là các phương pháp và công nghệ GPS, viễn thám và hệ thống tin địa lý.

Đề án nghiên cứu chuyển động hiện đại ở vùng Đông Nam Á với tên gọi GEODYSSSEA có quy mô lớn với sự tham gia của nhiều nước châu Âu và các nước ASEAN đã tiến hành đo GPS tại 43 trạm phân bố ở các nước Indonesia, Malaysia, Philipin, Bruney và Việt Nam. Đề án đã tiến hành 2 chu kỳ đo vào các năm 1994 và 1996, đồng thời sau đó tiến hành xử lý, tính toán số liệu các chuỗi đo, đến năm 1998 đề án tiến hành thêm một chu kỳ đo tương tự như các đợt đo trước. Kết quả là xác định được trường vận tốc chuyển động ngang của các điểm đo với sai số khoảng 3mm/năm.

Cũng từ năm 1998 trong các nước ASEAN đã có trương trình quan trắc mở rộng và bổ sung những kết quả của đề án GEODYSSSEA, đó là chương trình SEAMERGES, nhờ đó tạo nên bộ số liệu đo GPS từ hơn 100 trạm. Đến những năm 2004 – 2005 đã có nhiều công trình phân tích, xử lý các số liệu đo GPS của các trạm trong toàn vùng Đông Nam Á để đánh giá chuyển động ngang trong vùng nghiên cứu và qua đó bức tranh chuyển động hiện đại trên vùng Biển Đông cũng được rõ dần làm cơ sở cho những đo đạc, khảo sát chi tiết tiếp theo do Phan Trọng Trịnh, Lê Huy Minh và các nhà nghiên cứu khác của Việt Nam hợp tác với các nhà khoa học Pháp tiến hành. Kết quả của những nghiên cứu đó đã được sử dụng trong đề tài với nhiệm vụ nghiên cứu xác định các đặc điểm địa động lực hiện đại trên vùng Biển Đông và ven biển Việt Nam.

I.3. HỆ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

I.3.1. Đánh giá một số đặc trưng tính địa chấn cho vùng Biển Đông và vùng Đông Nam Á

I.3.1.1. Thành lập danh mục động đất Biển Đông và vùng Đông Nam Á

Thành lập danh mục động đất trên Biển Đông và cho vùng Đông Nam Á. Trong quá trình thành lập các danh mục động đất đã áp dụng phương pháp xác định và tách các dư chấn và tiền chấn, sử dụng phương pháp cửa sổ không và thời gian (Ngô Thị Lư, 2008).

I.3.1.2. Đồ thị lặp lại động đất

Hàm số xác suất của n động đất xảy ra trong khoảng thời gian cho trước được biểu thị bằng hàm phân số Poisson có dạng:

$$P(n) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^n}{n!} \quad (I.1)$$

Với λ là hệ số và n là hằng số

Cách cơ bản nhất thống kê động đất được dùng để mô tả sự xuất hiện động đất là sự liên hệ giữa động đất và Magnitude, biểu thị dưới dạng:

$$\text{Log}N = a - bM \quad (I.2)$$

N là số các động đất có Magnitude bằng hoặc lớn hơn M . a , b là các hằng số phụ thuộc và các điều kiện của khu vực.

Sự liên hệ như trên đã được các nhà địa chấn thế giới xác định theo các dạng hàm phân bố như Hàm cực đại Gumbel. Hàm Poisson... để xác định Magnitude cực đại cho mỗi vùng hoặc tính các chu kỳ của động đất với các Magnitude khác nhau.

Hàm Gutenluerg-Richter là phổ biến hơn cả dưới dạng đồ thị lặp lại:

$$\text{Log}N(M)dM = (a - bM)dM \quad (I.3)$$

Mối tương quan $N(M)$ là cơ sở cho tất cả các tính toán về chu kỳ xảy ra động đất, do bản chất vật lý, nó được giới hạn bởi 2 giá trị M_{\max} và M_{\min} đến với toàn bộ vùng nghiên cứu. M_{\max} có ý nghĩa thực tiễn quan trọng vì xác định được nó là nhiệm vụ chủ yếu khi nghiên cứu về động đất.

I.3.1.3. Độ hoạt động động đất A_{15}

Bản đồ độ hoạt động động đất A_{15} phản ánh mật độ phân bố các tâm động đất ở bậc năng lượng $K=15$, với giá trị A_{15} được xác định như sau:

$$A_{15} = \frac{N_{\Sigma}(1 - 10^{-8})1000}{10^{-\gamma(K_{\min} - K_0)ts}} \quad (I.4)$$

Ở đây N_{Σ} là tổng số động đất có giá trị $K \geq K_{\min}$ của đô thị lặp lại trên diện tích 1000km^2 quan sát được trong vùng phát sinh động đất trong khoảng thời gian t năm. K_{\min} là mức đại diện của động đất yếu nhất quan sát cũng trong thời gian đó, K_0 là giá trị bậc năng lượng tiêu chuẩn dùng để thành lập bản đồ độ hoạt động, ở đây $K_0=15$, t là thời gian quan sát, s là diện tích vùng nghiên cứu, γ là hệ số góc của đường cong đô thị lặp lại với giá trị K được tính theo công thức:

$$K = \log E(jul) = 1,87M + 4 \quad (I.5)$$

1.3.1.4. Xác định magnitude cực đại

Có thể áp dụng hàm cực trị Gumbel để xác định khả năng xảy ra động đất cực đại tại các vùng nghiên cứu **Error! Reference source not found., Error! Reference source not found., Error! Reference source not found.**

Vì phải tồn tại một giới hạn trên của Magnitude M_{\max} nên người ta áp dụng hàm phân bố Gumbel 3 trong đó có giá trị M_{\max} là giới hạn của hàm.

Cũng có khi áp dụng loại phân bố khác của Magnitude cực đại, đó là phân bố Gumbel loại 1 bị chặn trên.

Việc tồn tại những động đất có năng lượng cực đại tại mỗi vùng chấn tiêu xuất phát từ cơ sở vật lý về sự tồn tại các giá trị xác định độ bền vững đối với môi trường tại đó. Bằng phương pháp bình phương tối thiểu xác định các thông số ω, K_n và u_n và giả sử rằng x_1, x_2, \dots, x_n là các magnitude cực đại quan sát được trong vùng tương ứng với các giá trị P_1, P_2, \dots, P_n trên đồ thị

$$P_i = \exp - [(\omega - x_i) / (\omega - u)]^k \quad \text{với } i = 1, 2, \dots, N. \quad (I.6)$$

Với mỗi tập hợp u, ω và k đường cong biểu diễn phương trình (I.6) ở trên với x_i sẽ cách một đại lượng nào đó từ giá trị x_i , do đó mỗi giá trị p_i sẽ là:

$$P_i = \exp - [(\omega - x'_i) / (\omega - u)]^k \quad (I.7)$$

ở đây $x'_i = \omega - (\omega - u)x_i^\lambda$ và $z_i = -\ln P_i$ và $\lambda = 1/k$ lấy cực tiểu biểu thức:

$$\eta = \sum_{i=1}^N (x_i - x'_i)^2 \quad \text{với } \omega > 0; 0 < u < \omega; k > 0$$

Điều kiện cần và đủ để η cực tiểu là:

$$\frac{\partial \eta}{\partial u} = \frac{\partial \eta}{\partial \omega} = \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} = 0 \quad (I.8)$$

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial \omega \partial u}, \frac{\partial^2 \eta}{\partial \omega^2}, \frac{\partial^2 \eta}{\partial u \partial \lambda}, \frac{\partial^2 \eta}{\partial \lambda^2}, \frac{\partial^2 \eta}{\partial u^2}, \frac{\partial^2 \eta}{\partial \lambda \partial u} > 0 \quad (I.9)$$

Từ việc phối hợp hàm phân bố tần số bị chặn trên Gutenberg- Richter với hàm phân bố Poisson sự phân bố các giá trị magnitude cực trị có dạng sau:

$$G(x) = \exp\left[-\lambda \frac{A_2 - A(x)}{A_2 - A_1}\right] \quad (I.10)$$

ở đây $A_1 = \exp(-\beta M_{\min})$, $A_2 = \exp(-\beta M_{\max})$, $A(x) = \exp(-\beta x)$, M_{\min} là ngưỡng của đại lượng magnitude, β và λ là các thông số cần xác định. Do những hạn chế của những phương pháp khác ở đây phương pháp hợp lẽ cực đại đã được dùng để xác định các thông số này. Các phương trình hợp lẽ cực đại để xác định β và λ (với 1 giá trị M_{\max}) có dạng:

$$\lambda = \frac{A_2 - \langle A \rangle}{A_2 - A_1} \quad \frac{1}{\beta} = \frac{\langle XA \rangle - M_{\max} A_2}{A_2 - \langle A \rangle} + X \quad (I.11)$$

với

$$\langle X \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \quad \langle A \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N A X_i}{N}, \quad \langle XA \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N A_i A X_i}{N} \quad (I.12)$$

và X_i ($i=1 \dots N$) là magnitude cực đại trong một vùng cho trước trong một khoảng thời gian quan sát cho trước. Bởi hàm hợp lẽ giảm từ từ khi $M_{\max} \rightarrow \infty$, việc xác định các thông số β, λ và M_{\max} có thể thực hiện được nếu ta thêm vào điều kiện dưới đây:

$$\min |E(x_{\max}) - X_{\max}| \quad (I.13)$$

$E(x_{\max})$ trong đẳng thức (10) thể hiện giá trị magnitude lớn nhất có thể xảy ra trong N khoảng thời gian và X_{\max} là magnitude lớn nhất ta quan sát được.

$$X_{\max} = m \cdot (X_i), \quad i = 1 \dots N$$

Magnitude lớn nhất có thể xảy ra $E(X_{\max})$ có dạng sau đây:

$$E(x_{\max}) = \frac{E_1(NZ_2) - E_1(NZ_1)}{\beta \exp(-NZ_2)} \quad (I.14)$$

Ở đây

$$Z_1 = \frac{\lambda A_1}{A_1 - A_2}, \quad Z_2 = \frac{\lambda A_2}{A_1 - A_2}$$

và $E(x)$ ký hiệu hàm tích phân số mũ

$$E_1(x) = \int_x^{\infty} \frac{\exp(-\xi)}{\xi} d\xi$$

1.3.2. Hệ phương pháp phát hiện và nghiên cứu các đứt gãy

1.3.2.1. Phát hiện đứt gãy theo các dị thường địa vật lý

- Trên dị thường trọng lực đứt gãy biểu hiện và liên quan với một trong số những dấu hiệu sau đây:

- Dải dị thường trọng lực dạng bậc có dạng tuyến tính kéo dài (thể hiện bằng nhóm các đường đẳng trị trọng lực chạy sít và song song nhau).

- Vùng có sự thay đổi đột ngột về hướng và cường độ dị thường.

- Vùng ranh giới giữa 2 vùng dị thường có kích thước và đặc điểm cấu trúc khác hẳn nhau.
- Dải dị thường cục bộ trọng lực dạng mắt xích nối tiếp nhau và kéo dài theo một đường liên tục.
- Dải dị thường cục đại gradient ngang trọng lực.
- Trên trường dị thường từ đứt gãy biểu hiện và liên quan với một trong số những dấu hiệu sau:
 - Vùng trường dị thường đổi hướng đột ngột.
 - Dải dị thường cục bộ âm và dương xen kẽ kéo dài liên tục.
 - Dải dị thường cục đại dạng mắt xích kéo dài.
 - Ranh giới giữa 2 miền dị thường có đặc điểm cấu trúc và cường độ dị thường khác biệt nhau.
 - Trên trường sóng địa chấn (ở dạng bản đồ các đặc trưng trường sóng hoặc trên băng sóng địa chấn):
 - Vùng thay đổi đột ngột các đặc trưng tốc độ, cường độ hoặc năng lượng sóng địa chấn.
 - Vùng gián đoạn hoặc sụt giảm mạnh năng lượng và cường độ sóng.
 - Vùng xuất hiện những khối dị thường trên băng địa chấn.
 - Đới mắt sóng nằm giữa các thành tạo trầm tích phân lớp.
 - Đới dịch chuyển hệ thống theo phương thẳng đứng của các bề mặt phân lớp (phan xạ) nằm ngang.
 - Trên trường chấn động tự nhiên:
 - Dải các tâm động đất và núi lửa phân bố nối sát nhau và kéo dài theo một hướng rõ rệt
 - Dải tuyến tính dị thường năng lượng động đất cục đại hoặc độ hoạt động động đất.

1.3.2.2. Xác định độ sâu của đứt gãy

Độ sâu của đứt gãy biểu hiện bằng 2 đại lượng:

- Độ sâu đến mép trên của đứt gãy chính là bề dày của lớp trầm tích phủ phía trên mặt đứt gãy. Sự tồn tại lớp phủ này chứng tỏ đứt gãy đã ngừng hoạt động. Đối với các đứt gãy đang hoạt động thì mặt đứt gãy xuyên lên đến bề mặt đất và không có lớp phủ bên trên (độ sâu mép trên mặt đứt gãy bằng 0).
- Độ sâu đến mép dưới của đứt gãy thể hiện mức độ, quy mô hoạt động xuyên cắt các tầng đất đá trong vỏ và thạch quyển của đứt gãy. Độ sâu đến mép dưới còn được gọi chung là độ sâu hay độ cắm sâu của đứt gãy và được coi là đặc trưng quan trọng về cấu trúc và độ hoạt động của đứt gãy.
- Độ sâu tới mép trên của đứt gãy, tuy nhiên cũng là đại lượng có ý nghĩa quan trọng liên quan đến xác định tuổi của đứt gãy vì có thể căn cứ vào tuổi của tập trầm tích phủ phía trên đứt gãy để xác định tuổi của đứt gãy bị chôn vùi đã ngừng hoạt động.

Độ sâu tới mép trên của đứt gãy thông thường được xác định chính xác trên băng địa chấn đồng thời với cả hướng cắm của mặt đứt gãy căn cứ vào đới dị thường trường sóng

phát hiện được. Còn độ sâu tới mép dưới của đứt gãy trong trường hợp nó lớn hơn độ sâu của phương pháp địa chấn thăm dò thì phải sử dụng phương pháp trọng lực (phương pháp Vaisilop [6]).

1.3.2.3. Xác định hướng cắm của đứt gãy

Hướng cắm của mặt đứt gãy trong mặt cắt có ý nghĩa quan trọng khi xác định đặc điểm địa động lực và trường ứng suất kiến tạo liên quan. Dựa vào hướng cắm của đứt gãy có thể dễ dàng xác định dạng đứt gãy thuận hoặc nghịch chòm liên quan với các cơ chế tách giãn, sụt lún hoặc do nén ép.

Hướng cắm của đứt gãy xác định theo dị thường trường sóng trên các băng địa chấn thăm dò.

Đối với trường địa chấn tự nhiên người ta xây dựng mặt cắt phân bố chấn tiêu động đất theo độ sâu và căn cứ vào đặc điểm phân bố chấn tiêu trên mặt cắt để xác định hướng cắm của đứt gãy trên mặt cắt đó.

Theo các dị thường trọng lực: trường trọng lực phía trên đứt gãy được lần lượt nâng lên các mức cao khác nhau, tại mỗi mức đó xác định vị trí của cực đại gradien ngang ứng với vị trí của mặt đứt gãy. Theo hướng lên cao dần, vị trí của cực đại gradien trọng lực xô dịch về phía nào thì trong mặt cắt ở phía dưới mặt đứt gãy cắm nghiêng về cùng hướng đó.

1.3.2.4. Phương pháp xác định cơ chế địa động lực trên mặt cắt (dựa theo tài liệu địa chấn và trọng lực kết hợp)

Trên mặt cắt địa chấn được xác định các ranh giới phân xạ (ranh giới địa chấn) và các mặt đứt gãy (thẳng đứng hoặc gần thẳng đứng) phân chia mặt cắt thành các khối nằm kề sát nhau. Đường cong trọng lực Bughe nằm phía trên mặt cắt và là hiệu ứng trọng lực trực tiếp của các khối trên mặt cắt. Trong trường hợp này và tương tự, dựa vào hình dạng của đường cong trọng lực và hình dạng các khối tạo thành trên mặt cắt để xác định các kiểu cơ chế địa động lực cụ thể như sau:

- Đường cong trọng lực gần như song song với mặt cắt ngang, chỉ tạo nên các uốn lượn nhỏ dạng gợn sóng: cơ chế địa động lực tách giãn sụt lún yếu, trầm tích bình ôn.
- Đường cong trọng lực uốn võng tạo thành các dị thường âm ứng với các khối trên mặt cắt bị sụt xuống tương ứng với các khối liền kề: cơ chế địa động lực chủ đạo là tách giãn (về 2 phía đối nghịch) và sụt lún theo phương thẳng đứng.
- Đường cong trọng lực uốn cong về phía trên tạo thành dị thường dương rõ nét tương ứng với các khối trong mặt cắt bị đẩy trôi lên so với các khối liền kề, đứt gãy nghiêng và dẫn rộng về 2 phía của mặt cắt: cơ chế địa động lực chủ đạo là lực đẩy từ dưới lên và lực tách dẫn ngang về hai phía đối nghịch của mặt cắt.
- Đường cong trọng lực uốn cong mạnh tạo thành dị thường dương và dị thường âm liền kề, tương ứng với các khối trong mặt cắt bị xô dịch theo phương thẳng đứng ở 2 phía của đứt gãy. Cơ chế địa động lực chủ đạo là chòm nghịch do nén ép ngang từ 2 phía đối nghịch của mặt cắt. Trường hợp tương ứng với 2 khối liền kề xô dịch theo dạng trượt thuận do tách dẫn phụ thuộc vào vị trí xô dịch cụ thể phản ánh trên mặt cắt .

1.3.2.5. Phương pháp xác định ứng suất cơ chế địa động lực đứt gãy theo cơ cấu chấn tiêu động đất

Mô hình cơ cấu chấn tiêu (CCCT) thường được xác định thông qua 7 thông số động lực gồm 3 trục ứng suất cơ bản: nén, dẫn và trung gian (P,T và N), 2 bề mặt biến dạng trượt cực đại (nP_1 và nP_2), 2 góc trượt (Rake angles) là φ_1 (trên nP_1) và φ_2 (trên nP_2).

Để xác định các đặc điểm ứng suất và địa động lực liên quan với đứt gãy, nơi phát sinh ra chấn tiêu, có thể sử dụng các phương pháp sau:

1.3.2.5.1. Phương pháp phân loại cơ cấu chấn tiêu

Cho đến nay các nhà địa chấn thường phân loại CCCT dựa vào tương quan về độ dốc giữa các trục ứng suất cơ bản là:

- CCCT loại trượt bằng (strike – slip faulting) tương ứng với trường hợp khi các ứng suất nén và dẫn cực đại gần nằm ngang ứng suất trung gian gần thẳng đứng, trong đó trượt bằng tách thuận ứng với trường hợp $\delta_P > \delta_P$.

- CCCT loại chồm nghịch (thrust dip – slip faulting) tương ứng với các trường hợp khi ứng suất nén cực đại và ứng suất trung gian gần nằm ngang, ứng suất dẫn gần thẳng đứng ($\delta_{P,N} \approx 0^\circ$, $\delta_T \approx 90^\circ$).

- CCCT loại tách thuận (normal dip slip faulting) xảy ra khi ứng suất giãn cực đại và ứng suất trung gian gần nằm ngang, ứng suất nén gần thẳng đứng ($\delta_{T,N} \approx 0^\circ$, $\delta_P \approx 90^\circ$).

Trong cả hai trường hợp CCCT chồm nghịch và tách thuận, trục ứng suất trung gian đều định hướng nằm ngang theo đường phương các bề mặt biến dạng trượt cực đại.

1.3.2.5.2. Phương pháp xác định trạng thái ứng suất trung bình

Dưới tác dụng của trường ứng suất kiến tạo khu vực, các trận động đất xảy ra trong một đứt gãy thường có cơ cấu chấn tiêu tương tự. Điều này cho phép hình thành khái niệm về một trạng thái ứng suất trung bình (TTUSTB) đặc trưng chung cho cả đoạn đứt gãy đó. TTUSTB (tương tự như CCCT trung bình) được thiết lập trên cơ sở tính toán giá trị trung bình ít nhất trong số 7 thông số động lực của mô hình CCCT (P,T,N, nP_1 , nP_2 , φ_1 , φ_2). Các mô hình CCCT được lựa chọn cho mục đích đánh giá TTUSTB phải thỏa mãn các điều kiện:

- Các CCCT có vị trí gần nhau, trong cùng một hệ (đoạn) đứt gãy và trong cùng dải độ sâu nghiên cứu.

- Các CCCT được lựa chọn phải có ít nhất 2 thông số tương đối ổn định (các tham số A_2 , δ , φ có giá trị gần nhau).

1.3.2.5.2. Phương pháp xác định bề mặt phá hủy thực trong chấn tiêu

Trong các bài toán phân tích xác định CCCT việc xác định bề mặt nào trong $nP_{1,2}$ là bề mặt phá hủy thực ở chấn tiêu là rất quan trọng. Thông thường thì bề mặt đó phải có sự định hướng trùng hoặc gần trùng với hướng của hệ đứt gãy ưu thế có mặt trong vùng chấn tâm. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp việc xác định này không dễ dàng do các nguyên nhân hoặc không đầy đủ thông tin cấu trúc và kiến tạo về bình đồ đứt gãy trong vùng nghiên cứu, hoặc có mặt nhiều hệ thống đứt gãy trong vùng chấn tâm, nhất là chúng hình thành cùng một trường ứng suất kiến tạo (đứt gãy liên hợp).

1.3.2.6. Phân loại các đứt gãy

Căn cứ vào đặc điểm cấu trúc và địa động lực của đứt gãy mà chúng được phân loại để thể hiện tính chất và quy mô hoạt động cũng như vai trò của đứt gãy đó trong quá trình kiến tạo.

- *Đứt gãy hành tinh* là các hệ đứt gãy có quy mô phát triển lớn nhất trên toàn bề mặt hành tinh. Cắm sâu vào thạch quyển với độ sâu hàng trăm cây số, kéo dài hàng nghìn cây số với bề mặt phá huỷ rộng hàng chục kilômét, là ranh giới giữa các mảng thạch quyển cơ bản (megaplate megageoblock) có quá trình hoạt động lâu dài, liên tục cho đến hiện tại. Đó là các hệ đứt gãy trùng với các vành đai núi lửa ven Thái Bình Dương, Địa Trung Hải – Himalaya, dọc bờ biển phía Tây Bắc và Nam Mỹ, các hệ đứt gãy dọc các trục tách dẫn đáy đại dương...

- *Đứt gãy bậc 1* là các hệ đứt gãy có quy mô phát triển lớn với chiều dài từ hàng trăm đến hàng nghìn cây số, có độ sâu xuyên cắt qua vỏ Trái đất, là ranh giới phân chia các mảng vỏ (hoặc thạch quyển) lớn, có quá trình hoạt động và phát triển dài thông thường, đó là những đơn vị kiến tạo bậc 1 của vỏ Trái đất.

- *Đứt gãy bậc 2* là những đứt gãy có quy mô phát triển nhỏ hơn đứt gãy bậc 1, với độ sâu từ hàng chục đến hàng trăm kilômét, độ sâu nằm trong vỏ Trái đất, cắm sâu tới lớp bazan, chia cắt vỏ Trái đất của các đơn vị kiến tạo bậc 1 ra các khối có quy mô và kích thước khá lớn, tương đương với các đơn vị kiến tạo bậc 2 (các dải nâng, các vùng trũng, sụt lún).

- *Đứt gãy bậc 3* là những đứt gãy có quy mô phát triển nhỏ hơn nữa với độ dài hạn chế (hàng chục kilômét) và độ sâu ở tầng trên của vỏ Trái đất, chia cắt các khối, các đơn vị kiến tạo bậc 2 ra các khối nhỏ hơn...

Với quy mô và kích thước tương tự, các đứt gãy bậc 1, bậc 2 và bậc 3 trong nhiều trường hợp còn được gọi tương ứng là đứt gãy sâu, đứt gãy khu vực và đứt gãy cục bộ với nội hàm nhấn mạnh chủ yếu đến quy mô phát triển tương đối của đứt gãy trong vùng nghiên cứu.

1.3.3. Xác định các vùng nguồn và đánh giá thông số các vùng nguồn động đất và sóng thần

1.3.3.1. Nguyên nhân, điều kiện phát sinh động đất, sóng thần

1.3.3.1.1. Động đất và nguyên nhân động đất

Sự phá huỷ đột ngột các phần thạch quyển mà chủ yếu là vỏ Trái đất sẽ gây ra chấn động lan truyền đi dưới dạng sóng đàn hồi (gọi là sóng địa chấn), đó là động đất. Nguyên nhân gây ra những phá huỷ đó, tức là nguyên nhân động đất, có thể rất khác nhau: vận động kiến tạo, phun trào núi lửa, sập các hang động ngầm...

Chuyển động của các mảng thạch quyển, liên quan với các quá trình hoá - lý và sự thay đổi chế độ nhiệt động bên trong Trái đất, gây ra biến dạng chậm chạp nhưng mạnh mẽ và phân dị của vỏ Trái đất như uốn nếp, nâng cao thành các vùng núi, sụt lún thành

các vùng trũng, xô đẩy các địa khối trượt theo chiều ngang... làm hình thành các hệ thống đứt gãy chia cắt vỏ Trái đất. Đó là vận động kiến tạo. Phá huỷ đột ngột, cục bộ sẽ xảy ra ở những khâu yếu, nơi mà độ bền vững của đá không chịu nổi sức căng được tích lũy và tăng dần trong quá trình vận động. Năng lượng tích lũy được giải phóng và lan truyền ra không gian xung quanh dưới dạng sóng đàn hồi. Động đất phát sinh trong quá trình này gọi là động đất kiến tạo. Có nhiều quan điểm khác nhau về cơ chế phát sinh động đất kiến tạo, nhưng ngày nay quan điểm được chấp nhận rộng rãi nhất và được minh chứng đầy đủ nhất bằng quan sát thực tế là quan điểm cho rằng động đất kiến tạo phát sinh do dịch chuyển đột ngột của các địa khối theo các đứt gãy địa chất.

Phun trào núi lửa cũng gây phá huỷ và chấn động mạnh vỏ Trái đất, đó là động đất núi lửa. Nham thạch nóng chảy từ các ổ trong quyển mềm đi theo các đường nứt, phá huỷ chúng mà phun trào lên mặt đất gây ra các vụ nổ núi lửa. Các vụ phá huỷ và nổ núi lửa xảy ra gần mặt đất, chấn động lan truyền không xa. Ngoài ra các vụ sập hang động trong các vùng đá vôi cũng gây chấn động. Tuy nhiên đó chỉ là những động đất yếu.

Với quan điểm địa chấn công trình thì người ta quan tâm chủ yếu tới động đất kiến tạo, bởi vì nó xảy ra ở mọi nơi đang diễn ra các chuyển động làm biến dạng vỏ Trái đất, có thể giải phóng một năng lượng lớn, lặp lại thường xuyên và tác động trên một diện rộng. Phần lớn động đất trên hành tinh, trong đó hầu như tất cả các trận động đất mạnh, phá huỷ, là động đất kiến tạo. Thạch quyển Trái đất bị phân chia thành nhiều mảng, trôi dạt theo các hướng, hoặc là tách xa nhau, hoặc là va chạm nhau gây ra phá huỷ bên trong các mảng. Phần tiếp xúc giữa các mảng là nơi diễn ra các biến dạng mạnh mẽ nhất, ở đó động đất mạnh xảy ra thường xuyên, tạo thành các vành đai động đất. Hai vành đai lớn nhất, bao bọc khu vực Đông Nam Á, tập trung tới 85% năng lượng động đất toàn cầu, là vành đai Thái Bình Dương và vành đai Địa Trung Hải- Hymalaya. Đó là nơi đang diễn ra sự va chạm giữa các mảng thạch quyển chuyển động đối nhau. Bên trong các mảng này, đặc biệt là ở các phần rìa của khâu tiếp xúc, biến dạng cũng diễn ra mạnh mẽ, gây phá huỷ làm phát sinh động đất, gọi là động đất nội mảng.

1.3.3.1.2. Sóng thần và nguyên nhân sóng thần

Sóng thần là một chuỗi các đợt sóng lớn có bước sóng dài, sinh ra do các biến động địa chất mạnh mẽ xảy ra ở đáy biển và đại dương tại gần bờ hoặc ngoài khơi. Những biến động địa chất đó có thể gây nâng hoặc hạ đột ngột đáy biển làm cho cột nước bên trên nguồn, nâng lên hoặc hạ xuống đột ngột. Do trọng lực, cột nước trở về vị trí cân bằng gây nên dao động của cột nước, bức xạ sóng chu kỳ dài, truyền đi các hướng quanh nguồn, đó là sóng thần. Người ta cũng gọi sóng thần là sóng trọng lực, lan truyền đi với tốc độ lớn. Vận tốc lan truyền sóng thần phụ thuộc vào độ sâu đáy biển và biểu thị gần đúng bởi công thức Lagrange:

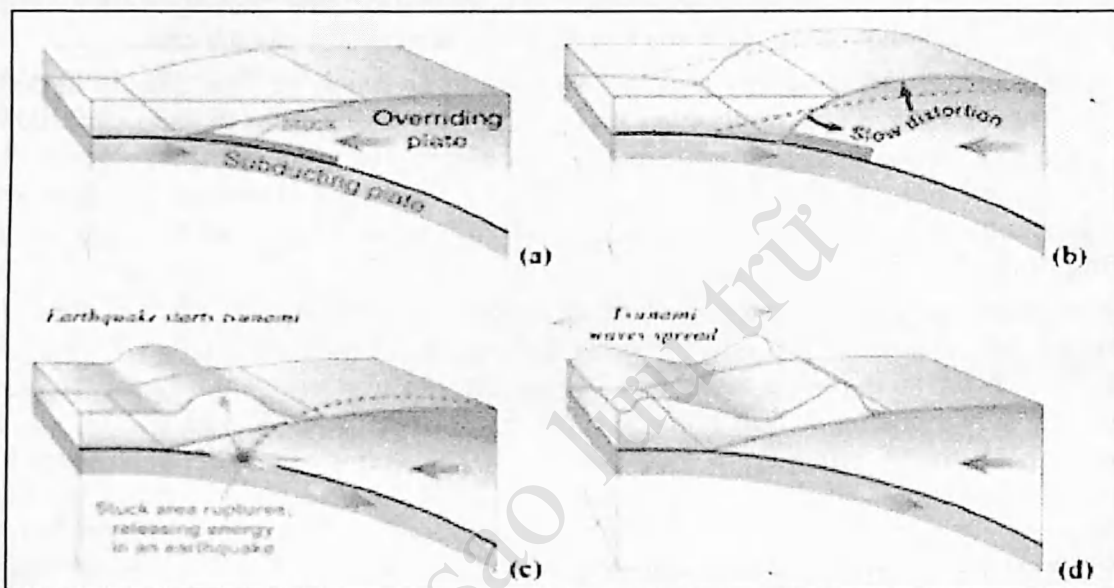
$$v = \sqrt{gH} \quad (I.15)$$

Trong đó g là gia tốc trọng trường, H là độ sâu của nước. Vận tốc bằng 280m/s ở vùng $H = 4$ km, 100 m/s ở vùng $H = 1$ km, 45 m/s ở vùng $H = 200$ m...và chu kỳ sóng thần dài bước sóng rất lớn: 200-700 km ở vùng biển sâu, 50-150 km ở vùng

thêm lục địa. Cho nên khi phát hiện được hay cảm thấy sóng thần ở ngoài khơi vì ở đó biên độ của sóng rất nhỏ so với bước sóng (0.1 đến 1m so với hàng chục, hàng trăm kilômét).

Nguyên nhân của sóng thần là những trận động đất gây nâng hoặc hạ đột ngột đáy biển, những vụ phun trào núi lửa, những vụ trượt lở đất ở ven bờ biển hoặc đáy biển, và một số tác động khác như thiên thạch....

1.3.3.1.2.1. Sóng thần nguồn động đất



Hình 1-1. Sóng thần hình thành do động đất ở các đới hút chìm

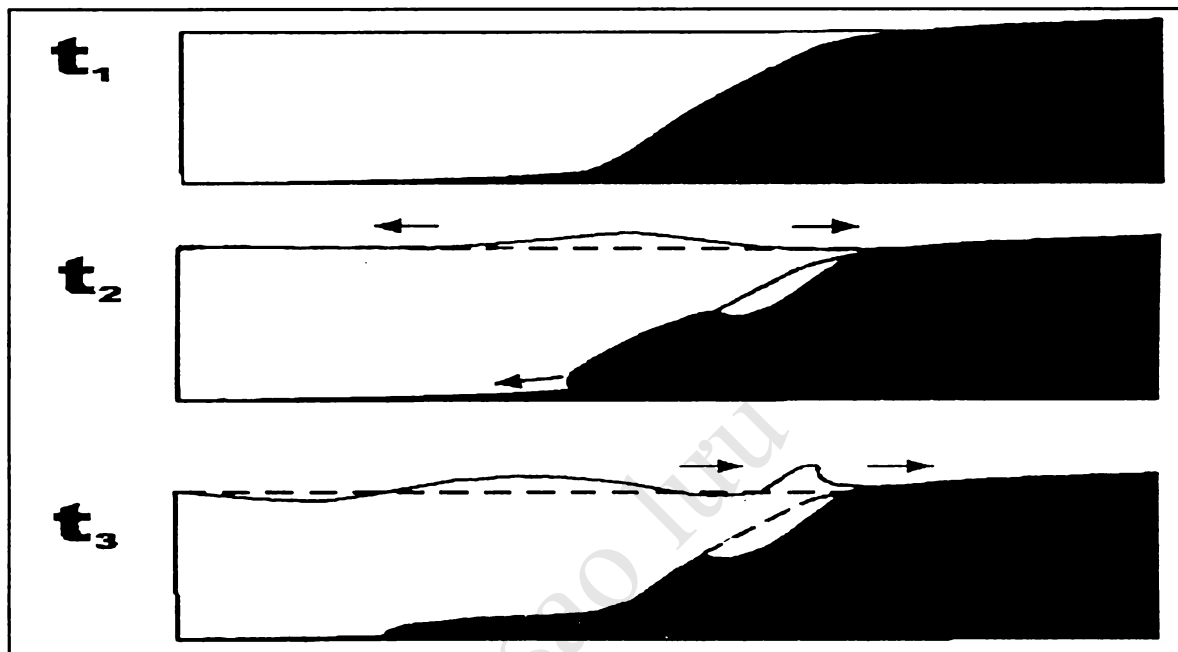
Hầu hết các đợt sóng thần có sức phá hủy lớn đều được hình thành từ các trận động đất lớn và nông. Những trận động đất lớn và nông xảy ra ngoài biển với cơ chế nguồn kiểu chòem nghịch hoặc thuận, gây nâng hoặc hạ đột ngột đáy biển. Trong các đới hút chìm thường phát triển các đứt gãy chòem nghịch lớn, gây động đất và sóng thần lớn (Hình 1-1). Như vậy không phải tất cả các trận động đất đều dẫn đến sóng thần. Cũng không phải tất cả các trận động đất có cơ chế nguồn thích hợp đều gây sóng thần nguy hiểm. Thông thường, chỉ có các trận động đất lớn hơn 6,5 độ Richter mới có khả năng tạo ra sóng thần lớn.

1.3.3.1.2.2. Sóng thần nguồn núi lửa

Mặc dù hiếm khi xảy ra, nhưng các đợt phun trào núi lửa mạnh cũng có thể gây ra sự xáo trộn các khối nước trong lòng đại dương và tạo ra các đợt sóng thần trong khu vực đó. Trong quá trình này, sóng thần có thể được tạo ra do sự di chuyển đột ngột của nước khi núi lửa phun nổ, hoặc do trượt lở sườn núi, hoặc magma núi lửa đột ngột phun lên chiếm thể tích của nước biển và hoặc là do bể magma bị sụt lún. Một trong những trận sóng thần lớn nhất được ghi lại là vào ngày 26/8/1883 sau vụ nổ lớn và sụt lún của núi lửa Krakatau ở Indonesia. Vụ nổ đã tạo ra cơn sóng thần có độ cao đến hơn 40m, phá hủy nhiều thị trấn và ngôi làng ven biển dọc theo eo biển Sunda của cả hòn đảo Java và Sumatra, khiến số người thiệt mạng lên tới 36.417 người.

1.3.3.1.2.3. Sóng thần do trượt lở đất

Hiếm xảy ra hơn là sóng thần sinh ra do quá trình đá lở, băng lở, trượt hoặc quá trình sụt lún đất ở đáy vùng biển nông một cách đột ngột. Nguyên nhân của các vụ trượt đất dưới biển thường là do động đất và hậu quả là sinh ra các đợt sóng thần (Hình 1-2).



Hình 1-2. Sóng thần hình thành do trượt lở đất

Trên thực tế, các nhà khoa học tin rằng, trận sóng thần năm 1998 làm cho hàng nghìn người chết, phá hủy các làng, thị trấn dọc ven biển phía Bắc Papua – New Guinea, là do trầm tích đáy biển bị sụt lún mà nguyên nhân sâu xa là động đất. Có thể nói rằng, năng lượng của sóng thần từ những sự cố trượt đất, lở đá sẽ nhanh chóng suy yếu trên quãng đường chúng di chuyển trên biển. Tuy nhiên, trận sóng thần lớn nhất trên thế giới từng được chứng kiến lại là do hiện tượng lở đá ở vịnh Lituya, Alaska vào ngày 09/7/1958. Do trận động đất dọc theo đứt gãy Fairweather, hầu như 40 triệu m³ đá rơi cùng lúc xuống vùng biển phía trước vịnh, và sau đó xuất hiện một cột sóng thần rất lớn ở bờ bên kia của vịnh. Ngọn sóng lớn đầu tiên có độ cao 180m di chuyển với tốc độ 160 km/h. Nhưng sau đó thì năng lượng và độ cao của sóng thần này giảm rất nhanh, một trong số chúng di chuyển ra ngoài khơi và không thể ghi nhận bằng máy đo tại các trạm đo thủy triều.

Từ những điều nói trên có thể thấy điều kiện phát sinh sóng thần là sự tồn tại trong vùng biển các đới hút chìm, các đới đứt gãy chồm nghịch, các đới đứt gãy thuận, có khả năng gây động đất nông và mạnh ($M > 6.5-7.5$), có cơ cấu chấn tiêu gây ra trượt đứng đáy biển trên diện tích lớn, các đới hoạt động núi lửa, các đới trượt lở đá với khối lượng lớn dưới biển và ven bờ.

1.3.3.2. Đánh giá các thông số các vùng nguồn

Thông số cơ bản của nguồn cần xác định là magnitude M_{max} của động đất cực đại có khả năng xảy ra, thường sử dụng magnitude M_s theo sóng mặt và magnitude M_w theo moment địa chấn, moment địa chấn M_0 , độ sâu chấn tiêu nhỏ nhất của động đất cực đại, tần suất động đất trong đới. Các thông số đó được xác định như sau:

1.3.3.2.1. Magnitude M_{max} động đất cực đại có khả năng phát sinh

Magnitude M_{max} của động đất cực đại có khả năng xảy ra trong mỗi vùng nguồn được đánh giá bằng các phương pháp sau:

Phương pháp ngoại suy địa chất: phương pháp này coi động đất mạnh nhất đã xảy ra trong vùng là động đất cực đại sẽ xảy ra trong tương lai trong vùng đó và trong những vùng khác có đặc điểm kiến tạo địa động lực tương đương.

Phương pháp hàm phân bố cực trị Gumbel: Người ta thường dùng hàm Gumbel 3 để xác định giới hạn của phân bố các cực trị. Trong địa chấn học, các cực trị là giá trị magnitude động đất lớn nhất quan sát được trong các khoảng thời gian nhất định. Giới hạn phân bố các giá trị đó theo hàm Gumbel 3 được coi là động đất cực đại.

Phương pháp đánh giá M_{max} theo kích thước của vùng nguồn: Các công thức của David Wells và Coppersmith, được xây dựng trên cơ sở tập hợp đầy đủ nhất số liệu toàn cầu, hiện đang được sử dụng rộng rãi, biểu thị mối tương quan giữa magnitude của động đất với các thông số khác của nguồn:

- Giữa magnitude M và chiều dài L , chiều rộng W của đứt đoạn trong chấn tiêu có mối tương quan:

$$M = 4,38 + 1,49 \cdot \log L \text{ (km)} \quad (I.16)$$

$$M = 4,06 + 2,25 \cdot \log W \text{ (km)} \quad (I.17)$$

Giữa magnitude và diện tích mặt đứt đoạn có mối tương quan:

$$M = 4,07 + 0,98 \log A \quad (I.18)$$

Các mối tương quan cho các kiểu đứt đoạn trượt bằng, chòm nghịch, thuận khác nhau không nhiều. Các công thức tương quan nêu trên là trung bình cho cả ba kiểu.

Sai số đánh giá M theo chiều dài, chiều rộng, diện tích mặt đứt đoạn có thể tới 0,5 đơn vị, còn sai số đánh giá các thông số vừa nêu của mặt đứt đoạn theo M có thể tới 1,5 -2 lần.

Trong trường hợp cực đoan nhất, người ta dùng các công thức này để đánh giá M_{max} trong các vùng nguồn, coi chiều dài vùng nguồn (tức là chiều dài đứt gãy sinh chấn) là chiều dài của đứt đoạn trong chấn tiêu động đất cực đại có khả năng xảy ra.

Tuy nhiên hiếm có trận động đất nào lại có chấn tiêu chiếm cả chiều dài đứt gãy sinh chấn. Khi đứt gãy vận động, ứng suất được tích lũy không đồng đều trên chiều dài đứt gãy, động đất sẽ xảy ra ở phần đứt gãy ứng suất đạt tới giới hạn. Rất nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng chiều dài chấn tiêu động đất trung bình bằng 1/3 vùng chuẩn bị ứng suất cho động đất đó (gọi là vùng chuẩn bị động đất (*Hình I-3*)). Như vậy, nếu ta coi đứt gãy sinh chấn là vùng chuẩn bị động đất cực đại, thì chiều dài chấn tiêu của động đất

cực đại có thể xảy ra sẽ bằng 1/3 chiều dài đứt gãy. Với quan niệm như vậy ta có thể xác định M_{max} bằng công thức:

$$M_{max} = 4,38 + 1,49 \cdot \log [L(\text{đg})/3] \quad (I.19)$$

Công thức này sẽ được sử dụng để đánh giá động đất cực đại có khả năng xảy ra trong các vùng nguồn.

Đối với các đứt gãy ở vùng ven biển Việt Nam ta có thể dùng các công thức thiết lập theo số liệu Việt Nam để đánh giá động đất cực đại:

$$M_{max} \leq 2 \log L(\text{km}) + 1,77 \quad (I.20)$$

$$M_{max} \leq 4 \log H(\text{km}) + 0,50 \quad (I.21)$$

Trong đó L- chiều dài đứt gãy, H- bề dày tầng hoạt động. Lưu ý rằng 2 công thức (I.20), (I.21) phải đồng thời thoả mãn.

I.3.3.2.2. Moment địa chấn M_0

Moment địa chấn M_0 của động đất được xác định bằng công thức:

$$M_0 = \mu A u \quad (I.22)$$

Trong đó μ là modun cắt của đá, $\mu = 3 \cdot 10^{11}$ dyn./cm², A là diện tích mặt đứt đoạn, u là chuyển dịch theo mặt đứt đoạn.

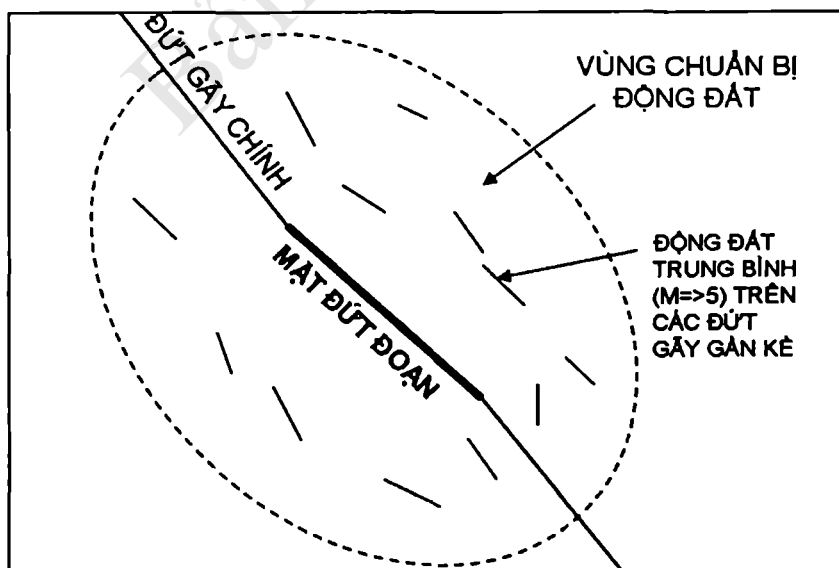
Chuyển dịch u và chiều dài mặt đứt đoạn có mối tương quan sau:

- Chuyển dịch trung bình:

$$\log A_{tb} (m) = -1,43 + 0,88 \cdot \log L (km) \quad (I.23)$$

- Chuyển dịch cực đại:

$$\log A_{max} (m) = -1,38 + 1,02 \cdot \log L (km) \quad (I.24)$$



Hình I-3. Kích thước vùng chuẩn bị động đất và mặt đứt đoạn trong chấn tiêu

1.3.3.2.3. Moment magnitude M_w

Được xác định theo moment địa chấn bằng công thức Kanamori:

$$M_w = (2/3)(\log M_0 - 9.05) \quad (I.25)$$

và có mối tương quan sau với chiều dài chấn tiêu:

$$M_w = 5,08 + 1,16 \cdot \log L \text{ (km)} \quad (I.26)$$

Các công thức trên cũng sẽ được sử dụng để đánh giá các thông số nguồn theo magnitude, cần thiết trong các kịch bản sóng thần.

1.3.3.2.4. Độ sâu chấn tiêu

Độ sâu chấn tiêu nhỏ nhất của động đất cực đại trong vùng nguồn với tầng hoạt động bề dày H bằng $2/3H$ cộng với bề dày tầng nằm trên.

$$h_{\min}(M_{\max}) = 2/3H + H' \quad (I.27)$$

H' là bề dày tầng nằm trên tầng hoạt động.

1.3.3.2.5. Chu kỳ lặp lại động đất

Chu kỳ lặp lại động đất có thể xác định bằng hai phương pháp:

- Theo quan hệ magnitude-tần suất Gutenberg-Richter, cũng gọi là đồ thị lặp lại động đất:

$$\lg N^*(M \geq m) = a - bM \quad (I.28)$$

Trong đó N^* là số lượng trung bình năm động đất magnitude lớn hơn và bằng m , a , b là các hệ số. Tần suất động đất ở mỗi vùng nguồn có thể xác định được khi biết hệ số b và tần suất của động đất magnitude $\geq M_{ng}$ nào đó lấy làm ngưỡng. Thường động đất ngưỡng là động đất nhỏ nhất còn quan sát được đầy đủ trong vùng nguồn. Tần suất của động đất ngưỡng trong vùng nguồn được gọi là tốc độ xảy ra động đất trong vùng, ký hiệu là v . Chu kỳ lặp lại động đất magnitude $\geq M$ sẽ là:

$$T(M) = 10^{b(M-M_{ng})/v} \quad (I.29)$$

- Theo vận tốc chuyển động tương đối giữa hai cánh đứt gãy.

Chu kỳ lặp lại động đất magnitude M là thời gian đạt tới chuyển dịch u tương ứng với động đất magnitude $\geq M$

$$T = u/\alpha \quad (I.30)$$

Trong đó α là vận tốc chuyển động tương đối của hai cánh đứt gãy.

1.3.4. Đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro động đất

1.3.4.1. Quy trình chung

Việc đánh giá và thành lập tập bản đồ độ nguy hiểm động đất cho vùng ven biển và hải đảo Việt Nam được thực hiện theo quy trình bao gồm các bước sau đây:

1. Xác định các vùng nguồn chấn động trong khu vực nghiên cứu;
2. Ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho từng vùng nguồn;
3. Thiết lập quy luật tắt dần chấn động cho khu vực nghiên cứu;
4. Tính toán và vẽ bản đồ độ nguy hiểm động đất.

1.3.4.2. Cơ sở lý thuyết

Phương pháp giải tích đánh giá độ nguy hiểm động đất được *A.C. Cornell* công bố lần đầu tiên năm 1968 [93]. Độ nguy hiểm động đất được định nghĩa là xác suất P_a để cường độ rung động nền Y tại một điểm sẽ bị vượt quá trong vòng T năm do ảnh hưởng của tất cả các nguồn thể động đất ở xung quanh điểm đó gây ra. Ở đây cường độ rung động có thể được biểu thị bằng các thông số rung động nền như gia tốc A , vận tốc V hay dịch chuyển nền D . Phương pháp *Cornell* dựa trên những giả thiết cơ sở sau đây:

1) Độ lặp lại các động đất có *magnitude* vượt quá một cận dưới M_{min} cho trước tuân theo luật phân bố Poisson thuần nhất theo thời gian với tần suất trung bình là λ ;

2) Tương quan giữa *magnitude* và tần suất lặp lại động đất là một hàm tuyến tính cut:

$$\log_{10}N(M) = \begin{cases} a & M < M_{min} \\ a-b(M-M_{min}) & M_{min} \leq M \leq M_{max} \\ 0 & M > M_{max} \end{cases} \quad (I.31)$$

Ở đây M_{min} và M_{max} là các cận trên và dưới của *magnitude*, $N(M)$ là số động đất có *magnitude* lớn hơn M xảy ra trong khu vực nghiên cứu, a và b là các hằng số của biểu thức *Gutenberg-Richter* xét trong khoảng (M_{min}, M_{max}) . Hàm phân bố xác suất tích lũy của *magnitude* có dạng:

$$F_M(m) = \begin{cases} 0 & M < M_{min} \\ k[1-\exp(-\beta(M_{max}-M_{min}))] & M_{min} \leq M \leq M_{max} \\ 1 & M > M_{max} \end{cases} \quad (I.32)$$

ở đây $k=[1-\exp(-\beta(M_{max}-M_{min}))]^{-1}$, $\beta=b \ln 10$.

3) Tương quan giữa *magnitude* M , cường độ rung động (gia tốc cực đại) nền Y tại điểm đang xét và khoảng cách R từ điểm đó tới nguồn thể do động đất gây ra có dạng:

$$Y = c_1 e^{c_2 M} R^{-c_3} \varepsilon \quad (I.33)$$

ở đây ε là sai số của quy luật tắt dần chấn động, còn c_1 , c_2 và c_3 là các hằng số đặc trưng cho từng khu vực.

Trên cơ sở thuật toán của phương pháp *Cornell*, năm 1976, *R.K. McGuire* đã xây dựng chương trình *EQRISK* làm công cụ tính toán và vẽ bản đồ độ nguy hiểm động đất, theo đó độ nguy hiểm động đất được tính bởi công thức [135].

$$P[A] = \int \int P[A|M, r] f_M(m) f_R(r) dM dr \quad (I.34)$$

trong đó P là ký hiệu chỉ xác suất, A là biến cố có xác suất cần tìm và M, r là các biến ngẫu nhiên liên tục có ảnh hưởng tới biến cố A . Như vậy, nếu coi A là giá trị cường độ chấn động tại điểm đang xét, M là số đo kích thước động đất (*magnitude* hay chấn cấp),

và r là khoảng cách từ nguồn tới điểm đang xét, thì từ (I.34) ta có xác suất để cho chấn động tại điểm đang xét đạt cường độ bằng A khi động đất xảy ra, tính được bằng phép tích phân theo M và r của tích giữa xác suất có điều kiện của A (khi cho trước M và r) với các xác suất độc lập của M và r . Phép tích phân theo *magnitude* được đưa về dạng giải tích, còn hàm mật độ xác suất của khoảng cách $f_R(r)$ được cho bởi biểu thức lan truyền chấn động giữa nguồn và điểm đang xét (I.33).

I.3.4.3. Các vùng nguồn chấn động

Một trong những khâu đầu tiên và quan trọng của toàn bộ quy trình đánh giá và thành lập bản đồ độ nguy hiểm động đất là việc phân định ranh giới các vùng nguồn chấn động trong khu vực nghiên cứu. Các vùng nguồn chấn động được xác định trên cơ sở nghiên cứu các quy luật hoạt động động đất, tức là mối liên quan giữa động đất và các yếu tố địa chất kiến tạo và địa động lực trong khu vực nghiên cứu. Đầu tiên, ranh giới các vùng phát sinh động đất mạnh được vạch ra dọc theo các đứt gãy hoạt động liên quan theo nguyên tắc sau: 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 địa chất, địa vật lý và động đất còn nghèo, ranh giới xác định theo nguyên tắc nêu trên sau đó được mở rộng ra tùy 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 thế 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.

I.3.4.4. Xử lý các số liệu động đất

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 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.

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 *magnitude*, 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 $R(M_j)$, $h_j - h_i \leq H(M)$; và $M_j \leq M_i$, với $T(M)$, $R(M)$ và $H(M)$ là các hàm thực nghiệm [129]. Thuật toán loại bỏ tiền chấn cũng hoàn toàn tương tự.

Phần mềm *Aft.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.

I.3.4.5. Ước lượng tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn

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:

- *Magnitude* động đất cực đại dự báo M_{max} ;
- Các tham số a và b trong biểu thức phân bố động đất theo *magnitude* của Gutenberg-Richter và các đại lượng suy diễn tương ứng λ và β . Các tham số này phản ánh tần suất xảy ra động đất trong vùng;
- 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. 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} [37], [38]. Các phương pháp ước lượng tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn được mô tả chi tiết dưới đây.

I.3.4.5.1. Ước lượng các tham số nguy hiểm động đất bằng phương pháp cực trị

Lý thuyết cực trị được áp dụng lần đầu tiên ở Việt Nam từ năm 1991 để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho các vùng nguồn chấn động trên lãnh thổ Việt Nam [141]. Lý thuyết này do F.J. Gumbel đề xuất và dựa trên những giả thiết cơ sở sau [116]:

- 1) Các điều kiện tồn tại trong quá khứ vẫn còn có hiệu lực trong tương lai.
- 2) Các giá trị cực đại quan sát được trong một khoảng thời gian cho trước là độc lập về mặt thống kê.

Giả sử X là một biến ngẫu nhiên có phân bố $F(x)$:

$$F(x) = P\{X \leq x\}$$

Xác suất để cho x là giá trị cực đại trong số n mẫu độc lập có cùng phân bố $F(x)$ sẽ bằng:

$$G(x) = P\{X_1 \leq x, X_2 \leq x, \dots, X_n \leq x\} = F_n(x),$$

với $G(x)$ là hàm phân bố các cực trị X_i , $i=1, n$. Trong phần lớn trường hợp, hàm phân bố ban đầu $F(x)$ không được biết trước. Tuy nhiên, có thể tính được các hàm phân bố tiệm cận của nó dưới dạng các hàm phân bố cực trị.

Như vậy, nếu xét đến tính ngẫu nhiên của quá trình phát sinh động đất, có thể coi *magnitude* của các động đất cực đại hàng năm quan sát được trong một khoảng thời gian cho trước là tập hợp các cực trị có phân bố $G(x)$. Gumbel đã đưa ra ba loại hàm phân bố tiệm cận cực trị, trong đó các hàm loại I và loại III được áp dụng rộng rãi trong lĩnh vực nghiên cứu động đất.

Phân bố cực trị loại I của Gumbel có dạng:

$$G_1(x) = \exp[-\exp(-\beta_1(x-u))] \quad (I.35)$$

ở đây β_1 và u là các tham số cần xác định của hàm phân bố, $\beta_1 > 0$. Nếu đặt $\ln \alpha_1 = \beta_1 u$ và lấy lôgarít tự nhiên hai vế biểu thức (I.35) hai lần, ta được:

$$\ln[-\ln G_1(x)] = \ln \alpha_1 - \ln \beta_1 x \quad (I.36)$$

Phân bố cực trị loại III của Gumbel có dạng:

$$G_3(x) = \exp \left[- \left(\frac{\omega - x}{\omega - u} \right)^{\beta_3} \right], \beta_3 > 0, x < \omega, u < \omega \quad (I.37)$$

ở đây ω là cận trên của các cực trị x , β_3 và u là các tham số cần xác định của hàm phân bố. Nếu đặt $\alpha_3 = (\omega - u)^{\beta_3}$ và lấy lôgarit tự nhiên hai vế biểu thức (I.37) hai lần, ta được:

$$\ln[-\ln G_3(x)] = \ln \alpha_3 + \beta_3 \ln(\omega - x) \quad (I.38)$$

Để tìm các hàm phân bố cực trị $G_1(x)$ và $G_3(x)$, các tham số α_i , β_i , $i=1,3$ và ω được ước lượng bằng phương pháp bình phương tối thiểu, sử dụng các công thức (I.36) và (I.38).

1.3.4.5.2. Ước lượng các tham số nguy hiểm động đất bằng phương pháp hợp lý cực đại

Hàm hợp lý cực đại của các tham số nguy hiểm động đất cho phần số liệu cực trị (không đầy đủ) của các danh mục động đất.

Mỗi danh mục động đất thường chứa đựng hai mảng số liệu có mức độ thông tin về động đất rất khác nhau. Mảng thứ nhất bao gồm các động đất ghi nhận được trong lịch sử, từ các kết quả điều tra thực địa, v.v..., thường bao quát một chu kỳ quan trắc rất dài, có khi tới vài thế kỷ, nhưng với số lượng động đất rất ít ỏi và độ tin cậy rất thấp. Mảng thứ hai là tất cả các số liệu động đất được ghi bằng máy, ngược lại, chỉ có bề dày thời gian khoảng vài chục năm trở lại đây, nhưng với độ thông tin đầy đủ hơn rất nhiều về các trận động đất ghi nhận được. Ta sẽ quy ước gọi mảng thứ nhất là phần không đầy đủ (hay phần cực trị) của danh mục, còn mảng thứ hai là phần đầy đủ của danh mục động đất.

Thuật toán ước lượng các tham số độ nguy hiểm động đất sử dụng cả hai phần số liệu của danh mục động đất, với giả thiết là sự phát sinh các động đất tuân theo luật phân bố Poisson, có chỉ số hoạt động λ và phân bố bị chặn hai đầu $F(x)$ của các *magnitude* động đất x , một dạng khác của biểu thức *Gutenberg-Richter*:

$$F(x) = P(X \leq x) = \frac{A_1 - A_x}{A_1 - A_2}; M_{\min} \leq x \leq M_{\max} \quad (I.39)$$

ở đây $A_1 = \exp(\beta M_{\min})$, $A_2 = \exp(\beta M_{\max})$, $A_x = \exp(-\beta M_{\max})$, M_{\max} là *magnitude* cực đại của vùng nguồn đang xét, M_{\min} là cận dưới *magnitude* và β là tham số độ nguy hiểm động đất. Nói cách khác, các động đất có *magnitude* vượt quá giá trị cho trước có thể được coi là một quá trình Poisson với độ lặp lại trung bình là $\lambda[1 - F(x)]$ [84]. Từ đây ta có xác suất để cho giá trị *magnitude* lớn nhất X nhỏ hơn một giá trị x nào đó cho trước trong suốt khoảng thời gian quan sát t là:

$$G(x|t) = P(X \leq x) = \exp \left\{ -v_0 t \left[\frac{A_2 - A_x}{A_2 - A_{10}} \right] \right\} \quad (I.40)$$

ở đây $v_0 = \lambda[1 - F(M_0)]$, $A_{10} = \exp(\beta M_0)$ và M_0 là cận dưới *magnitude* của toàn bộ số liệu phân cực trị của danh mục động đất, ($M \geq M_{\min}$).

Trong trường hợp đặc biệt, khi $M_{\max} \rightarrow \infty, M_0 = M_{\min} = 0$ và $t = 1$, ta có $A_{10} = 1, A_2 = 0$ và biểu thức (I.40) sẽ có dạng:

$$G(x) = \exp[-\lambda \exp(-\beta x)] \tag{I.41}$$

Để thấy rằng (I.41) chính là phân bố tiệm cận cực trị loại I của Gumbel, đã xét đến ở trên và được sử dụng rộng rãi trong địa chấn học [37], [141].

Trong trường hợp đang xét, số liệu sử dụng để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất là các cực trị *magnitude* $X_0 = (X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n})$, được chọn trong các khoảng thời gian $t = (t_1, t_2, \dots, t_{n_0})$ bao trùm phần cực trị của danh mục động đất. Các tham số cần tìm là $\theta = (\beta, \lambda)$ và M_{\max} . Từ biểu thức (I.40) ta có hàm hợp lý cực đại của θ là [130]:

$$L_0(\theta|X_0) = \prod_{i=1}^{n_0} g(X_{0i}, t_i|\theta) \tag{I.42}$$

trong đó

$$\ln(x, t|\theta) = \frac{A_2 - A(x)}{A_{10} - A_2} + \ln \frac{v_0 \beta t}{A_{10} - A_2} - \beta x \tag{I.43}$$

I.3.4.6. 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. Tuy nhiên, cho đến nay, một thực tế khách quan vẫn khiến cho Việt nam cũng như nhiều quốc gia khác trên thế giới gặp phải những khó khăn nghiêm trọng trong khâu này. Mặc dù đã quan trắc được cả những trận động đất mạnh nhất trên lãnh thổ, mãi tới năm 2000, Việt Nam mới ghi được số liệu gia tốc nền trên lãnh thổ của mình. Cho đến nay, vẫn chưa có một biểu thức tắt dần chấn động nào được xây dựng cho lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở tổng hợp các băng gia tốc nền ghi nhận được từ các trận động đất mạnh.

Trong nghiên cứu này, phương trình tắt dần chấn động của Campbell (1997) được lựa chọn để áp dụng cho lãnh thổ Việt Nam. Biểu thức này có ưu điểm là lưu ý đến các yếu tố về kiến tạo và đặc điểm nền đất tại khu vực nghiên cứu [90]:

$$\begin{aligned} \ln(A_H) = & -3.512 + 0.904 M_w - 1.328 \ln\{R_{SEI}^2 + [0.149 \exp(0.647 M_w)]^2 \\ & + [1.125 - 0.112 \ln(R_{SEI}) - 0.0957 M_w]F + [0.440 - 0.171 \ln(R_{SEI})]S_{SR} \\ & + [0.405 - 0.222 \ln(R_{SEI})]S_{HR} + \varepsilon \end{aligned} \tag{I.44}$$

trong đó: A_H là gia tốc dao động nền cực đại theo thành phần nằm ngang, được tính theo đơn vị g ($g = 981 \text{ cm/s}^2$). R_{seis} là khoảng cách gần nhất giữa trạm ghi và lớp hoạt động địa chấn, M_w là *magnitude* mô men, F là hệ số kiểu đứt gãy (trượt bằng khi $F = 0$, nghịch khi $F = 1$), S_{SR} và S_{HR} là các hệ số nền đất: đất mềm rời $S_{SR} = S_{HR} = 0$; $S_{SR} = 1$,

$S_{HR} = 0$ đối với đá nửa cứng; $S_{SR} = 0$, $S_{HR} = 1$ đối với đá gốc và σ là độ lệch chuẩn của công thức này, nằm trong khoảng $\sigma = 0.4095$.

1.3.4.7. Đánh giá rủi ro động đất: thiệt hại công trình

- Các trạng thái và mức độ phá hủy nhà cửa do động đất

Phá hủy do động đất gây ra đối với nhà cửa và các công trình xây dựng có thể được phân thành hai loại: phá hủy có cấu trúc và phá hủy không cấu trúc. Phá hủy có cấu trúc là sự phá hủy của các thành phần nối kết trong một toà nhà, còn gọi là các hệ thống kháng tải trọng lực và trượt bằng như tường, cột chịu lực, hệ thống xà dầm hay sàn nhà, ... Phá hủy không cấu trúc là sự phá hủy của các thành phần không nối kết trong một toà nhà như các hệ thống kỹ thuật (cơ-điện), cửa sổ, trần giả, ... Trong hai loại phá hủy nêu trên, phá hủy có cấu trúc thường gây ra những thiệt hại nghiêm trọng hơn nhiều so với phá hủy không cấu trúc (làm đổ nhà, gây thương vong về người, và hậu quả là đòi hỏi chi phí tái thiết lớn và thời gian phục hồi lâu hơn). Trong khuôn khổ đề tài này, chỉ có thiệt hại do phá hủy có cấu trúc được xét đến.

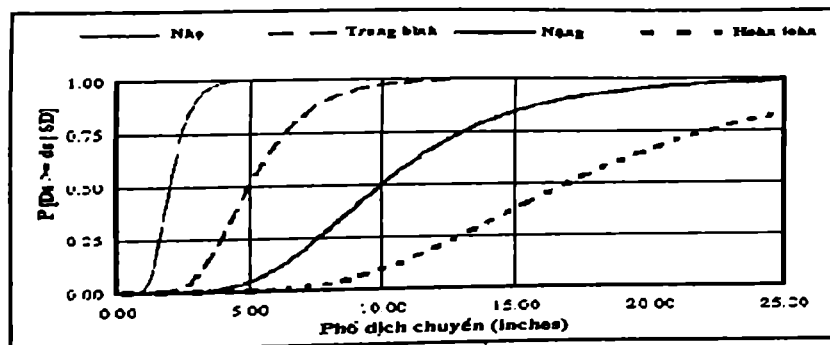
Về mức độ, phá hủy do động đất gây ra đối với nhà cửa được thể hiện qua 5 trạng thái: không bị phá hủy, bị phá hủy nhẹ, bị phá hủy trung bình, bị phá hủy nặng và bị phá hủy hoàn toàn.

- Đồ thị trạng thái phá hủy nhà cửa do động đất

Phá hủy có cấu trúc của một công trình dưới tải trọng của động đất ở các mức độ nhẹ, trung bình, nặng và hoàn toàn có thể biểu diễn dưới dạng các hàm phân bố chuẩn lô ga. Đồ thị của các hàm này, thường còn được gọi là các đồ thị trạng thái phá hủy, biểu diễn mối tương quan giữa xác suất để cho một toà nhà rơi vào một trong các trạng thái phá hủy nêu trên, và phổ tác động nền. Trên Hình 1-4 minh họa một ví dụ về đường cong trạng thái phá hủy sử dụng trong phương pháp luận, với bốn trạng thái phá hủy nhà cửa do động đất gây ra.

Mỗi đồ thị trạng thái phá hủy được xác định bởi một giá trị median của tham số biểu thị rung động hay phá hủy nền (chẳng hạn phổ dịch chuyển, phổ gia tốc, PGA hay PGD) tương ứng với một giá trị ngưỡng của trạng thái phá hủy đang xét và bởi một giá trị đặc trưng cho độ biến thiên của trạng thái phá hủy đó. Chẳng hạn, đại lượng phổ dịch chuyển S_d xác định giá trị ngưỡng của một trạng thái phá hủy d_s được tính bởi công thức:

$$S_d = \bar{S}_{d,d_s} \cdot e^{d_s} \quad (1.45)$$



Hình 1-4. Biểu thị các trạng thái phá hủy nhẹ, trung bình, nặng và hoàn toàn

ở đây: $\bar{S}_{d,ds}$ là giá trị median của phổ dịch chuyển gây ra trạng thái phá huỷ ds , và βds là biến ngẫu nhiên có phân bố chuẩn lôga có median bằng đơn vị và độ lệch chuẩn lôgarit là βds .

Xác suất có điều kiện để cho một trạng thái phá huỷ ds cho trước xảy ra hay bị vượt quá được xác định bởi hàm tích lũy của phân bố chuẩn lôga. Đối với phá huỷ cấu trúc, nếu cho trước đại lượng phổ dịch chuyển S_d , xác suất để cho một trạng thái phá huỷ ds xảy ra hay bị vượt quá là:

$$P[ds|S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta ds} \ln \left(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right] \quad (I.46)$$

Ở đây: $\bar{S}_{d,ds}$ là giá trị median của phổ dịch chuyển, tại đó công trình xây dựng đạt tới giá trị cận trên ds của trạng thái phá huỷ, βds là độ lệch chuẩn của lô ga rít tự nhiên của phổ dịch chuyển của trạng thái phá huỷ ds , và Φ là hàm phân bố tích lũy của phân bố chuẩn.

Các giá trị median của phổ dịch chuyển và các giá trị độ lệch chuẩn βds được xác định cho từng công trình đã phân loại và từng trạng thái phá huỷ dựa trên sự tổng hợp các số liệu thực nghiệm trong lĩnh vực xây dựng công trình, các số liệu động đất và ý kiến của các chuyên gia.

- **Đồ thị khả năng chịu lực của một toà nhà**

Phản ứng của một toà nhà đối với những lực tác động từ bên ngoài được đặc trưng bởi đồ thị khả năng chịu lực của toà nhà đó. Ở dạng ban đầu, đồ thị khả năng chịu lực của một toà nhà được biểu diễn dưới dạng tương quan giữa lực trở kháng của toà nhà trước lực tác động từ bên ngoài theo chiều ngang và dịch chuyển của bản thân toà nhà đó (chẳng hạn dịch chuyển của móng) theo phương nằm ngang. Để đánh giá thiệt hại do động đất, đồ thị khả năng chịu lực của một toà nhà được biến đổi về dạng tương đương như sau: trục biểu diễn lực trở kháng của toà nhà được chuyển đổi về trục phổ gia tốc (S_a), còn trục biểu diễn dịch chuyển ngang của toà nhà được chuyển đổi về đơn vị phổ dịch chuyển (S_d). Với cách biểu diễn như vậy, đồ thị khả năng chịu lực sẽ phản ánh xác thực phản ứng của toà nhà đối với phổ tác động của nền do động đất gây ra tại chân toà nhà.

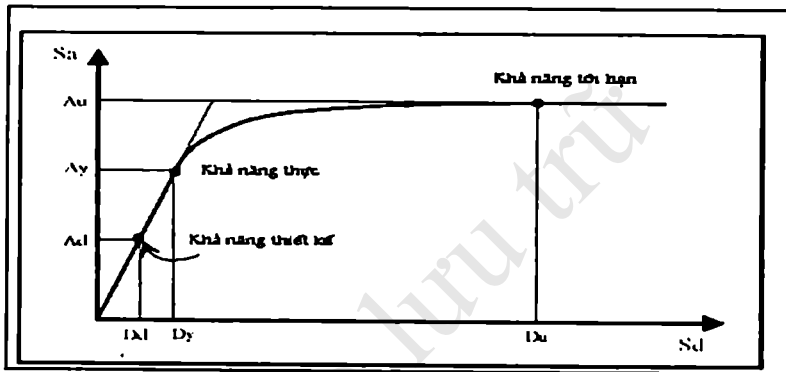
Các đồ thị khả năng chịu lực được xây dựng dựa trên các số liệu và kinh nghiệm của các chuyên gia thiết kế xây dựng. Mỗi đồ thị này đặc trưng bởi ba điểm ứng với những khả năng phản ứng khác nhau của toà nhà tại những thời điểm chịu tác động khác nhau:

- **Khả năng thiết kế:** Là khả năng của toà nhà về mặt lý thuyết, được thiết kế để đáp ứng những yêu cầu của hoàn cảnh cụ thể tại địa điểm xây dựng, trong đó có (hoặc không) tính đến các điều kiện về kháng chấn.

- **Khả năng thực:** Là khả năng chịu lực thực sự của toà nhà. Do sự thận trọng của các nhà thiết kế và tính bền vững thực sự của vật liệu xây dựng, khả năng này thường cao hơn khả năng thiết kế.

- *Khả năng cao nhất (tới hạn)*: Đây là khả năng chịu lực tác động cao nhất của toà nhà, khi toàn bộ hệ thống kết cấu đã đạt tới trạng thái dẻo toàn phần. Khả năng tới hạn của một toà nhà đánh dấu thời điểm khi toà nhà bị mất lực trở kháng và các bộ phận yếu nhất trong toà nhà bắt đầu bị gãy vỡ.

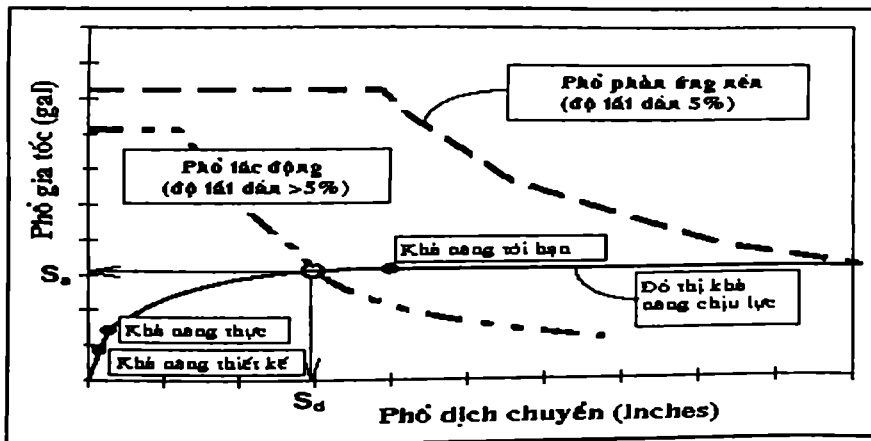
Ví dụ về đồ thị khả năng chịu lực sử dụng trong phương pháp luận được minh hoạ trên Hình 1-5. Từ gốc toạ độ đến điểm đánh dấu khả năng thực (AY, DY), đồ thị có dạng tuyến tính. Đoạn tiếp theo của đồ thị có dạng phi tuyến cho đến điểm đánh dấu khả năng tới hạn (AU, DU), của toà nhà, đây là đoạn đánh dấu sự chuyển hoá từ trạng thái đàn hồi sang trạng thái biến dạng dẻo toàn phần trong phản ứng của toà nhà. Đoạn cuối cùng của đồ thị xuất phát từ điểm đánh dấu khả năng tới hạn của toà nhà và được giả thiết là chúng vẫn giữ nguyên trạng thái dẻo.



Hình 1-5. Ví dụ về đồ thị khả năng chịu lực của một toà nhà

- Phản ứng cực đại của một toà nhà

Phản ứng cực đại của một toà nhà được xác định bằng phương pháp phổ khả năng [104], [164]. Phương pháp này sử dụng một kỹ thuật khá đơn giản là đưa các đồ thị khả năng chịu lực của toà nhà và đồ thị phổ phản ứng nền tại điểm đặt của toà nhà đó về cùng một hệ trục và cho cắt nhau. Giao điểm của các đồ thị này sẽ xác định phản ứng cực đại của toà nhà đối với lực tác động của nền đất, với các giá trị phổ gia tốc SA và phổ dịch chuyển Sd tương ứng.



Hình 1-6. Xác định phản ứng cực đại của một toà nhà bằng các đồ thị khả năng chịu lực và đồ thị phổ tác động.

Trên Hình I-6 minh họa một thí dụ về phương pháp xác định phản ứng cực đại của toà nhà, sử dụng các đồ thị khả năng chịu lực của toà nhà và đồ thị phổ tác động của nền đất.

1.3.4.8. Đánh giá độ rủi ro động đất, thiệt hại về người

1.3.4.8.1. Các mức độ thương vong do động đất

Thiệt hại về người do động đất gây ra được xác định bởi số người bị thương vong và được định lượng hoá bởi bốn mức độ thương vong. Bảng I-2 trình bày thang phân cấp mức độ thương vong sử dụng trong phương pháp luận, dựa theo các tài liệu đã công bố [92], [100].

Bảng I-2. Thang phân cấp mức độ thương vong do động đất

Mức độ thương vong	Mô tả thương vong
Mức độ 1	Thương vong cần đến sự trợ giúp về y tế, nhưng không đòi hỏi phải nằm bệnh viện.
Mức độ 2	Thương vong đòi hỏi sự chăm sóc y tế ở mức độ cao hơn hoặc phải nằm viện, nhưng không đe dọa đến tính mạng.
Mức độ 3	Thương vong đe dọa đến tính mạng nếu không được cứu chữa kịp thời. Phần lớn những thương vong này là kết quả của sự đổ nhà hay bị mắc kẹt và kiệt sức của nạn nhân.
Mức độ 4	Chết ngay lập tức hoặc bị thương đến chết.

Cần lưu ý rằng tiêu chuẩn phân loại sử dụng trong phương pháp luận sẽ chỉ tính đến các trường hợp thương vong do tác động trực tiếp của thiệt hại nhà cửa, cụ thể là do hai nguyên nhân đổ nhà và sập cầu. Các trường hợp thương vong do các nguyên nhân gián tiếp như đau tim, bị ảnh hưởng về tâm lý hay thương vong trong các quá trình thu dọn hay tái xây dựng sau động đất bị loại trừ. Thương vong do các yếu tố bên ngoài như đổ lan can, đổ các mảnh tường chịu lực hay các phần phụ khác của công trình cũng bị loại trừ.

1.3.4.8.2. Mô hình thương vong do động đất

Thương vong do một trận động đất được dự báo chắc chắn xảy ra có thể được mô hình hoá bằng cách xây dựng một cây sự kiện diễn tả quy trình dẫn tới việc xảy ra những thương vong này. Cây sự kiện này diễn tả thương vong do động đất, khởi đầu bằng một sự kiện (động đất kịch bản) và được tiếp nối bởi các sự kiện có khả năng xảy ra khác để dẫn tới kết quả tử vong hoặc thương vong. Lôgic của quá trình xây dựng cây sự kiện mang tính quy nạp. Tại mỗi điểm phân nhánh của cây, câu hỏi (phân nhánh) sẽ là: Điều gì sẽ xảy ra nếu sự kiện đứng trước điểm phân nhánh này xảy ra? Các câu trả lời cho câu hỏi này chính là các nhánh cây tiếp theo. Số nhánh chạy đi từ mỗi điểm phân nhánh chính bằng số các câu trả lời được coi là khả thi cho câu hỏi phân nhánh. Mỗi nhánh cây lại được gán một xác suất xuất hiện. Đối với các thương vong do động đất, một vài giá trị xác suất này không thể tính được, do có liên quan tới những sự việc thường hay lặp đi lặp lại trong một khoảng thời gian dài, mà động đất lại là một hiện tượng hiếm khi xảy ra. Một trong những khả năng là thực hiện các phép suy diễn các giá

trị này từ các số liệu thống kê hiện có, kết hợp với ý kiến của các chuyên gia, các phương pháp thống kê cổ điển hay Bayes. Các giá trị xác suất được gán trong các trường hợp này, do vậy, sẽ mang tính chủ quan.

Trong đề tài này, mô hình do Stojanovski và Dong đề nghị (1994) được sử dụng để đánh giá thiệt hại về người do động đất tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang [165]. Để xác định mức độ thương vong, số nạn nhân bị chết trong một toà nhà bị thiệt hại do động đất có thể được mô phỏng bằng một cây sự kiện như minh họa trên Hình I-7.

Để cho đơn giản trong lập luận, ta sẽ chỉ xét đến trường hợp tử vong. Trọng tâm của mỗi mô hình ước lượng thương vong do động đất chính là việc đánh giá xác suất của mỗi nhánh cây. Giả sử xác suất của tất cả các nhánh đều biết hoặc suy diễn được, xác suất để một người đang có mặt trong ngôi nhà bị chết ($P_{chết}$) sẽ được tính theo công thức sau:

$$P_{chết} = P_A * P_E + P_B * P_F + P_C * P_G + P_D * (P_H * P_J + P_I * P_K) \quad (I.47)$$

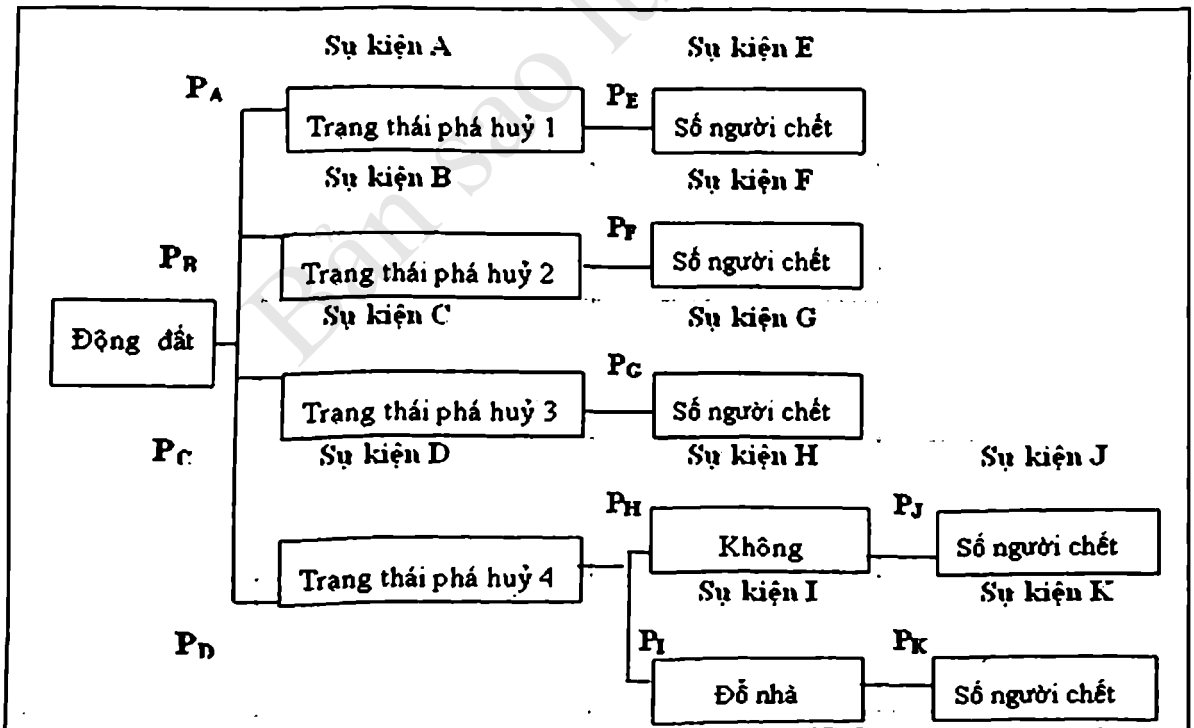
Thay (I.47) vào các biểu thức

$$P_{chết/đó nhà} = P_D * P_I * P_K \quad (I.48)$$

$$P_{chết/không đó nhà} = P_A * P_E + P_B * P_F + P_C * P_G + P_D * P_H * P_J \quad (I.49)$$

có thể viết công thức (I.48) đơn giản hơn như sau:

$$P_{chết} = P_{chết/đó nhà} + P_{chết/không đó nhà} \quad (I.50)$$



Hình I-7. Mô hình hoá thương vong bằng cây sự kiện

Số hạng thứ nhất ở vế phải của biểu thức (I.50) liên quan tới trường hợp đổ nhà. Số hạng thứ hai liên quan tới trường hợp nhà không đổ mà chỉ bị thiệt hại khi xảy ra động

đất. Các số liệu thực tế cho thấy đối với những khu vực khác nhau trên thế giới, với những công trình khác nhau, tồn tại các giá trị cường độ ngưỡng khác nhau xác định miền chiếm ưu thế của số hạng thứ nhất. Đối với các giá trị cường độ nằm dưới giá trị ngưỡng, con số thương vong chủ yếu tương ứng với mức độ phá huỷ hoặc không đổ nhà. Còn đối với các giá trị cường độ nằm trên giá trị ngưỡng, sự sụp đổ thường xảy ra, chủ yếu với một số loại cấu trúc nhất định.

Con số tử vong dự báo ($EN_{chétt}$) được tính bằng tích của số người có mặt trong toà nhà lúc xảy ra động đất ($N_{trong nhà}$) và xác suất để cho một người đang có mặt trong toà nhà đó bị tử vong ($P_{chétt}$).

$$EN_{chétt} = N_{trong nhà} * P_{chétt} \quad (I.51)$$

Đối với ba mức độ thương vong khác, thuật toán đánh giá thiệt hại cũng hoàn toàn tương tự.

1.3.5. Đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro sóng thần

1.3.5.1. Mô hình số trị hình thành và lan truyền sóng thần trên biển

1.3.5.1.1. Mô hình số trị tạo thành sóng thần

Dựa trên các nghiên cứu lý thuyết về mô hình nguồn diêm và mô hình nguồn chữ nhật hữu hạn, sau khi đã xử lý một số điều kiện đặc biệt tác giả Okada (1985) đã xây dựng mô hình cặp nguồn cộng ứng động đất. Theo mô hình này thì một trận động đất được đặc trưng bởi các thông số mô tả vị trí và hướng đứt gãy, cụ thể gồm tọa độ chấn tiêu, chiều dài đới đứt gãy L , chiều rộng đới đứt gãy W , độ sâu chấn tiêu động đất h , góc cắm δ , góc trượt λ , góc phương vị θ và độ dài trượt trung bình u_0 . Cường độ moment của động đất dùng trong mô hình nguồn được xác định (Titov và nnk, 1999):

$$M_0 = \mu u_0 LW \quad (I.52)$$

Với μ là độ cứng của vỏ Trái đất, có giá trị nằm trong khoảng từ 1 tới 6×10^{10} N/m², phụ thuộc vào cấu trúc địa chất tại vị trí xảy ra động đất.

Có thể tính được độ sâu chấn tiêu, góc cắm, góc trượt và góc phương vị đứt gãy bằng cách phân tích moment tensor các sóng địa chấn để tính toán giá trị cường độ moment của nguồn động đất.

1.3.5.1.2. Mô hình lan truyền sóng thần

Mô hình lan truyền sóng thần (ST) dùng trong nghiên cứu này là mô hình do Titov và Gozales (1997) phát triển và được trình bày như sau:

Trên thực tế sóng thần là loại sóng khá dài với chu kỳ từ hàng chục phút tới vài giờ. Theo tỉ lệ của độ dài sóng thần và độ sâu của biển ven cũng như đại dương thì có thể coi sóng thần là các sóng dài (gần đúng có thể ước lượng theo lý thuyết sóng Atry) (Yamazaki và nnk, 2006). Do đó hệ phương trình nước nông kinh điển đủ để mô phỏng sự lan truyền cũng như biến dạng của sóng thần do tác động của độ sâu. Hệ phương trình nước nông phi tuyến viết trên hệ tọa độ kinh vĩ dưới đây được sử dụng làm hệ phương trình xuất phát của mô hình:

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left[\frac{\partial (ud)}{\partial \lambda} + \frac{\partial (vd \cos \phi)}{\partial \phi} \right] = 0 \quad (I.53)$$

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \phi} + \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial h}{\partial \lambda} = \frac{g}{R \cos \phi} \frac{\partial d}{\partial \lambda} + f v + M_\lambda \quad (I.54)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \phi} + \frac{g}{R} \frac{\partial h}{\partial \phi} = \frac{g}{R} \frac{\partial d}{\partial \phi} - f u + M_\phi \quad (I.55)$$

Trong đó: λ là kinh độ; ϕ là vĩ độ; $d(\lambda, \phi, t) = \eta(\lambda, \phi, t) + h(\lambda, \phi)$ là độ sâu tổng cộng; $\eta(\lambda, \phi, t)$ là dao động mực nước khỏi mặt nước tĩnh; $h(\lambda, \phi)$ là độ sâu nước khi yên tĩnh; $u(\lambda, \phi, t)$ và $v(\lambda, \phi, t)$ là các thành phần vận tốc dòng trung bình theo kinh hướng và vĩ hướng; g là gia tốc trọng trường; tham số Coriolis $f = 2\omega \sin \phi$ và R là bán kính Trái đất. Các số hạng M_λ và M_ϕ là các thành phần ma sát đáy theo các phương kinh và vĩ tuyến.

Điều kiện ban đầu: nguồn xung dăng mực nước do động đất được xác định theo mô hình của Okada (1985), trong đó sự nâng hạ đột ngột của đáy biển do động đất gây ra được sử dụng để xác định dịch chuyển ban đầu của mặt nước.

Điều kiện biên: do vùng mô phỏng lan truyền sóng thần là vùng biển hữu hạn nên tồn tại các biên lòng tương tượng nối giữa vùng nghiên cứu với vùng nước phía ngoài. Ở đây điều kiện phát xạ tự do của sóng dài được sử dụng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sqrt{gh} \frac{\partial \eta}{\partial n} = 0 \quad (I.56)$$

Với n là gia số theo hướng vuông góc với biên lòng.

Sơ đồ số sử dụng để giải hệ phương trình (I.53), (I.54) với các điều kiện biên (I.55) và điều kiện ban đầu là sai phân hiện theo thời gian và phương pháp thể tích hữu hạn được sử dụng kết hợp với sai phân đón gió và sai phân không gian.

Mô hình đã được kiểm nghiệm trong Dự án “Xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần” do Vũ Thanh Ca chủ trì (2008).

1.3.5.2. Tính toán và xây dựng bản đồ nguy hiểm sóng thần

Nhật Bản là một trong những quốc gia đi đầu trong lĩnh vực này. Từ năm 1951, Takahashi [166] lần đầu tiên đã đưa ra bản đồ nguy hiểm sóng thần (NHST) vùng bờ biển Thái Bình Dương của Nhật Bản. Bản đồ thành lập dựa trên độ cao sóng tổng cộng trên một diện tích xung quanh một vị trí quan sát trên bờ biển trong khoảng thời gian một năm. Wesnousky năm 1984 [176] đã tính được bản đồ xác suất độ NHST, tuy nhiên ông chưa tính đến ảnh hưởng của các nguồn xa.

Một cách khác đơn giản hiện đang được nhiều nước áp dụng là phương pháp Aida (1988). Ông tính độ NHST cho bờ biển Nhật Bản do 8 nguồn động đất gây ra và độ cao sóng của mỗi nguồn được xác định:

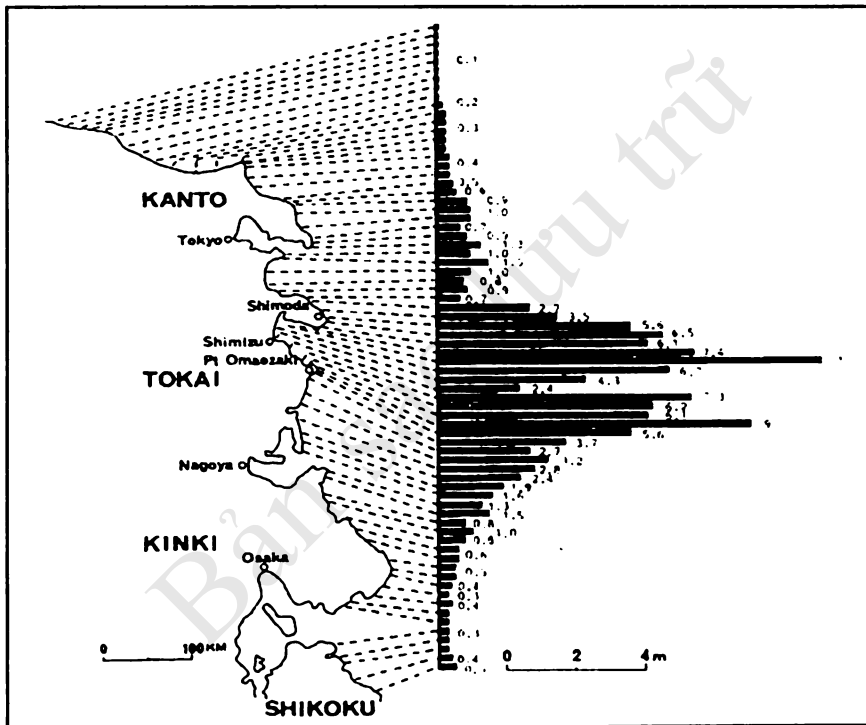
$$h_{max}(r, r_{zone})_{zone = 1, 2, \dots, 8}$$

Đối với mỗi nguồn, xác suất để từ đó biên độ sóng thần lớn hơn giá trị cho trước h_0 trong khoảng thời gian T năm được tính bởi:

$$p(r, r_{zone}, h_0, T) = \begin{cases} p(r_{zone}, T), h_{max}(r) \geq h_0 \\ 0, h_{max} < h_0 \end{cases} \quad (I.57)$$

Với n nguồn, xác suất để từ đó biên độ ST lớn hơn giá trị cho trước h_0 trong khoảng thời gian T năm được tính bởi:

$$p(r, h_0, T) = 1 - \prod_{zone=1}^n [1 - p(r, r_{zone}, h_0, T)] \quad (I.58)$$



Hình I-8. Phân bố độ cao sóng tại bờ biển do động đất $M= 8.1$ gây ra

Một trong 8 vùng nguồn ông tính cho vùng bờ biển Shikoku Nhật Bản là trận động đất giả thiết có magnitude 8.1 xảy ra trên đứt gãy có chiều dài 130 km, rộng 60 km và góc dốc 34° . Độ cao sóng tới 5m hoặc lớn hơn quan sát thấy ở nhiều vị trí (Hình I-8).

Bản đồ độ NHST trong thời gian 2000- 2010 được tính dựa trên xác suất xảy ra trận động đất gây ST, $M = 8.1$, trong khoảng thời gian đó là 0.41. Xác suất để sóng cập bờ có các độ cao bằng hoặc lớn hơn 0.5, 1, 2, 5, 7, 10 m là 0.41, 0.41, 0.41, 0.41, 0 và 0. Giả sử một trận động đất khác, từ một đứt gãy khác, cũng cho giá trị xác suất với các mức độ cao sóng như trên là 0.22, 0.22, 0, 0, 0, và 0. làm như vậy cho 8 trận động đất khác nhau ông đã xây dựng bản đồ độ NHST cho vùng bờ biển Shikoku. Tuy nhiên chu kỳ lặp lại động đất dùng như trong đánh giá độ nguy hiểm động đất (NHDD) chưa được tính đến.

Năm 2006, Eric Gelst [113] đã đưa ra phương pháp tính độ NHST như Aida (1988) và có tính thêm phần tần suất lặp lại đối với các trận động đất gây sóng thần dựa trên quan hệ Gutenberg – Richtre. Phương pháp mới này được áp dụng rộng rãi khi tính bản đồ NHST ứng với các chu kỳ quan sát khác nhau.

1.3.5.3. Cơ sở lý thuyết tính độ rủi ro sóng thần

Thường người ta dựa vào những số liệu thiệt hại quan sát được của những trận sóng thần đã xảy ra để tính dự báo cho những trận động đất kịch bản. Trong báo cáo này chúng tôi xin trình bày lý thuyết đánh giá rủi ro sóng thần được xây dựng bởi các nhà khoa học Niu Zilân [85], [95], [96], [98], [99], [158].

1.3.5.3.1. Đánh giá thiệt hại về các công trình xây dựng

1.3.5.3.1.1. Số liệu hư hại công trình xây dựng thu thập ngoài thực địa

Số liệu thực tế về hư hại nhà, công trình xây dựng do động đất sóng thần gây nên là rất ít. Sau trận sóng thần xảy ra cách 240 km tới đảo Java, Indonesia, magnitude moment Mw 7.7, nhóm các nhà khoa học Viện Địa chất và Hạt nhân và NIWA, Niu Zilân cùng với các nhà khoa học Indonesia đã đến khu vực này để khảo sát và thu thập số liệu. Phần lớn các công trình xây dựng trong khu vực Pangandaran của Java có thể phân làm 4 loại: nhà gỗ, nhà gạch truyền thống, nhà gạch truyền thống có gia cố cột bê tông và nhà khung bê tông có tường trát. Mức độ thiệt hại của từng loại nhà phụ thuộc vào độ cao của cột nước quan sát được như sau:

- Kiểu 1

Nhà gỗ: cột gỗ và rầm gỗ có kích thước 100 mm x 100 mm với khoảng cách 3 m, cột gắn với sàn xi măng, tường là vật liệu nhẹ, một tầng; Với cả nhà ở và cửa hàng đều quan sát được mức độ hư hỏng như sau:

- < 1m nước (tính từ sàn nhà lên): hư hỏng nhẹ, vừa phải
- 1.5 đến 2m nước: 70% bị phá hủy, 30% hư hỏng vừa phải (có thể sửa chữa)
- >2m nước: bị phá hủy hoàn toàn.

- Kiểu 2

Nhà gạch kiểu truyền thống: Nhà tường gạch không chắc chắn, thường yếu, tường gạch mỏng, sàn xi măng, một tầng, nhà và cửa hàng mức độ hư hại như sau:

- < 1m nước (tính từ sàn nhà lên): hư hỏng nhẹ, vừa phải
- 1.5 đến 2m nước: 70% bị phá hủy, 30% hư hỏng vừa phải (có thể sửa chữa)
- > 2m nước: phần lớn bị phá hủy hoàn toàn, một vài phần ngôi nhà còn sót lại nhưng không có khả năng sửa chữa.

- Kiểu 3

Nhà gạch kiểu truyền thống có gia cố cột bê tông: Cột chịu lực thô sơ, tường gạch một mỏng, thường được trát cả 2 mặt trong và ngoài nhà, sàn xi măng, một hoặc 2 tầng, loại nhà ở hoặc cửa hàng. Kích thước cột từ 100 mm x 100 mm với 4 thanh kim loại đường kính 3 mm tới 200 mm x 200 mm với 4 thanh xà đường kính 8 mm. Mức độ thiệt hại quan sát được như sau:

- < 1m nước (tính từ sàn nhà lên): hư hỏng nhẹ
- 1.5 đến 2m nước: hư hỏng vừa phải (có thể sửa chữa)
- 3 - 4m nước: một vài hư hại nặng (khách sạn thủng 1 hoặc 2 bức tường) nhưng có thể sửa chữa.

• Kiểu 4

Nhà khung bê tông tường gạch: Xây dựng có thiết kế chắc chắn như nhà ở, khách sạn, cửa hàng thường 2 hoặc nhiều hơn hai tầng, tường gạch, thường được trát cả 2 mặt, cột bằng bê tông ít nhất có kích cỡ 200 mm x 200 mm, và ít nhất có thanh sắt đường kính 12 mm, sàn bê tông. Mức độ thiệt hại:

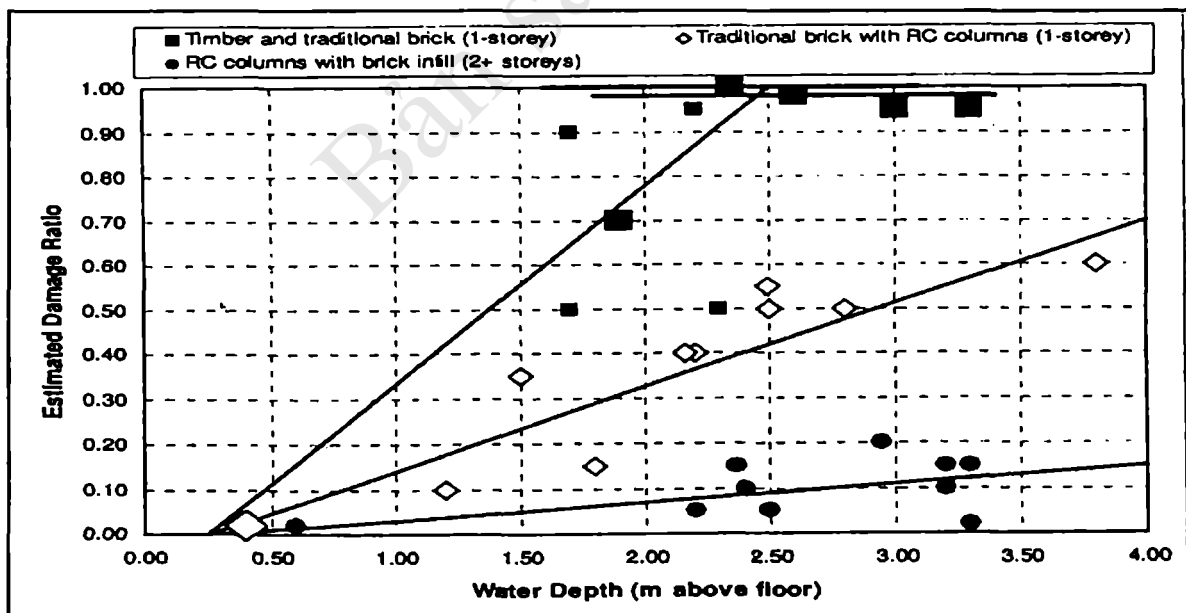
- < 1m nước không có hoặc hư hại rất nhẹ ở tầng 1
- 1.5 - 2m nước: hư hỏng nhẹ cho tới vừa phải ở tầng 1 (có thể sửa chữa)
- 3m - 4m nước: một vài hư hại nặng tại tầng 1 (khách sạn thủng 1 bức tường hoặc nhiều hơn) nhưng công trình vẫn đứng thẳng, có thể sửa chữa.
- Cao hơn các tầng nhưng không tới được chỗ nấu của dân và
- Khả năng thiệt hại cao nhất là rất thấp (5 - 10%).

1.3.5.3.1.2. Công thức đánh giá mức độ thiệt hại đối với công trình xây dựng

Mức độ thiệt hại của các công trình xây dựng cấp thấp được đánh giá theo công thức [85]:

$$D_r = A * 10 \exp (B/(MMI-C)) \text{ for } MMI \geq 7.0 \quad (I.59)$$

$$D_r = 10 \exp (D * MMI + E) \text{ for } MMI < 7.0 \quad (I.60)$$



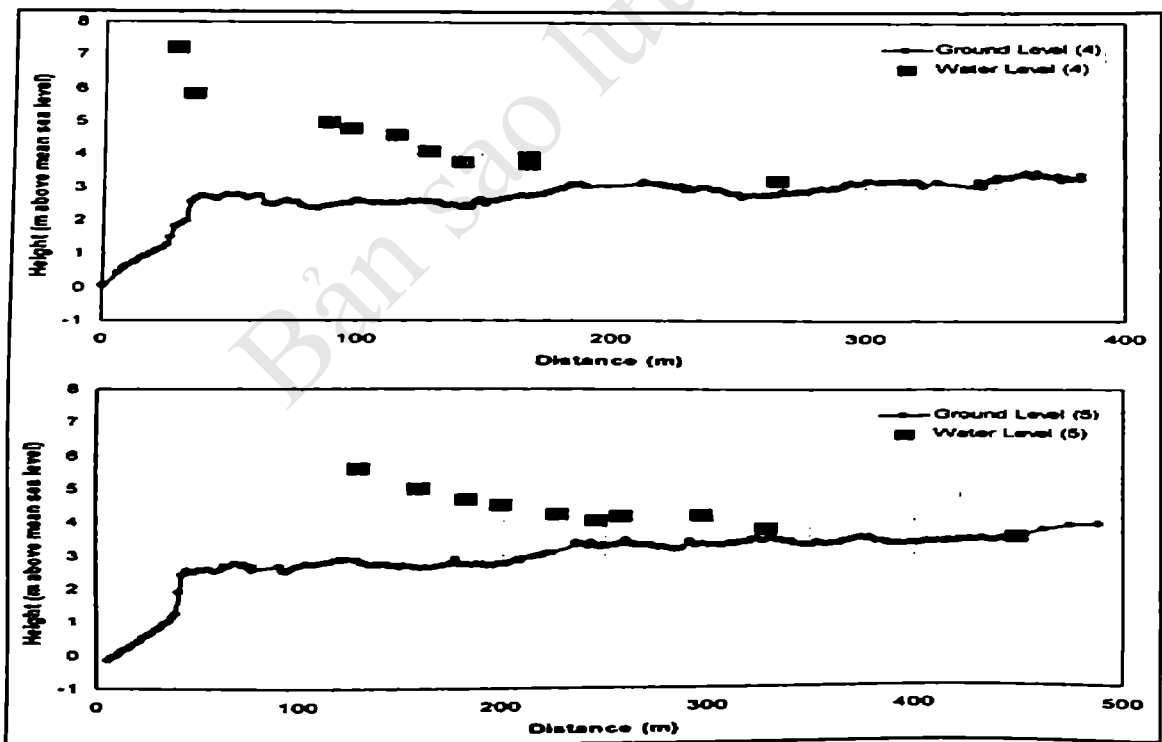
Hình I-9. Phân bố đánh giá tỷ lệ hư hại của công trình so với độ cao nước ngập. Ký hiệu ô vuông to là đối với nhà khung gỗ hoặc nhà gạch truyền thống. Hình tròn đặc, nhỏ hơn là cho nhà gạch có cột bê tông (1 tầng); Hình thoi, không phủ là cho nhà gạch khung bê tông

Trong đó D_r là giá trị trung bình của phân bố, MMI là cường độ rung động, A , B , C và E là các hằng số. Trong thực tế D_r là hàm tổn thương hay phân bố thiệt hại được tính theo công thức:

$$D_r = \frac{T_s}{T_x} \quad (I.61)$$

Trong đó T_s là giá thành sửa chữa lại các hư hỏng và T_x là giá thành xây dựng lại công trình. Như vậy, mức độ thiệt hại được tính bằng tỷ số của giá thành sửa chữa chia cho giá thành xây dựng lại. Một cách tương đối có thể xem giá thành của toàn bộ công trình xây dựng được coi như tổng giá trị của 4 phần chính sau: móng và sàn công trình chiếm 15% (tổng giá công trình), tường chiếm 50%, mái và trần nhà là 15%, còn lại là vật liệu trang trí và dịch vụ khác là 20%. Vấn đề chịu lực rõ ràng là rất quan trọng. Có thể thấy rõ điều này ở nhà gạch kiểu truyền thống về cơ bản là bị tàn phá ở mực nước 2m nhưng khi có gia cố thêm cột bê tông thì hư hại giảm hẳn chỉ còn vào khoảng 1/3 (Hình I-9). Nhà nhiều tầng vẫn đứng vững và hư hại rất ít khi bị ngập nước.

I.3.5.3.2. Đánh giá thiệt hại về dân cư



Hình I-10. Độ cao địa hình của làng Pangandaran và độ cao ngập nước do sóng thần (so với mực nước biển) phụ thuộc vào khoảng cách tới bờ biển

Số liệu về người bị thương, chết và mất tích trong trận sóng thần này được thu thập ở quận Ciamis. *Bảng I-3* và *Hình I-10* mô tả tương quan độ cao sóng thần tại các làng ở quận Ciamis và tổng số người bị thương, bị chết. Trong bảng là số người bị chết, bị thương và mất tích trong trận động đất sóng thần được thu thập 17 ngày sau khi xảy ra sóng thần. Tuy nhiên để xác định một cách chính xác tỷ lệ người chết và bị thương là rất khó bởi vì:

- Không xác định được những người này đứng ở vị trí nào khi sóng thần ập đến.
- Vị trí của phần lớn các ngôi nhà là không giống nhau.
- Độ cao sóng thần thay đổi rất nhanh từ vị trí này sang vị trí khác ở gần nhau.

Điều này có thể nhìn thấy rõ ở *Hình I-10* mô tả liên quan giữa độ cao sóng thần và cao độ của một số điểm khảo sát so với mặt nước biển.

Để đơn giản giả sử rằng những người bị chết và bị thương đứng ở gần vị trí có công trình xây dựng bị phá hủy nặng. Dễ dàng thấy các làng đã được khảo sát nằm song song với đường bờ biển. Dựa vào giả thiết này và thời gian xảy ra sóng thần 4pm. Đưa đến một số giả định khác vào thời điểm 4 giờ chiều:

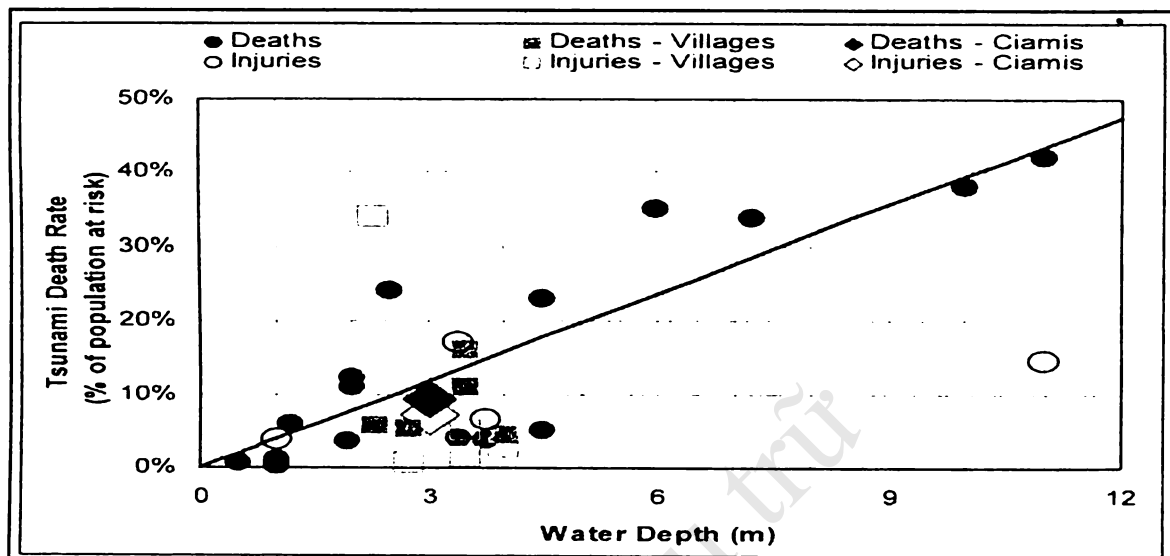
- Gia đình: một phụ nữ nấu cơm chiều, một trẻ em ở trong nhà.
- Cơ quan, nhà thờ: phần lớn cán bộ còn làm.
- Trường học: còn giáo viên, nhân viên.
- Khách sạn: nhân viên phần lớn đang ở dưới tầng 1.
- Nhà hàng: nhiều người đang uống bia, giải khát vì thời điểm đó đang là ngày nghỉ.

Như vậy có thể giả sử là cứ 3 người ở trong nhà thì có 1 người ngoài đường. Từ những giả thiết trên và số dân cư trong từng làng cùng những số liệu đã thu thập được, các nhà khoa học đã tính tỷ lệ chết và bị thương của dân cư phụ thuộc vào độ cao sóng thần (*Bảng I-3*).

Bảng I-3. Đánh giá tỷ lệ tổn thất dựa trên giả thiết những người bị nạn đứng gần các công trình bị hư hại nặng

TT	Làng	Dân số	Chết và mất tích	Bị thương	Tỷ lệ người chết	Tỷ lệ người bị thương	Độ cao nước (m)
1	Ds. Pangandaran	792	41	5	0.05	0.006	2.75
2	Ds. Pananjung	709	32	19	0.05	0.03	4.0
3	Ds. Wonoharjo	668	74	34	0.11	0.05	3.5
4	Ds. Cikembulan	322	52	5	0.16	0.02	3.5
5	Ds. Ciliang	312	18	106	0.06	0.34	2.3
6	CIAMIS DISTRICT	4586	428	332	0.09	0.07	2.3

Từ số liệu thực tế này các nhà khoa học dựng biểu đồ biểu diễn tỷ lệ tổn thất về người phụ thuộc vào độ sâu nước ngập. Biểu đồ này cũng là cơ sở để đánh giá rủi ro cho các trận sóng thần kịch bản (Hình I-11).



Hình I-11. Đánh giá rủi ro về người theo tỷ lệ tổn thương dân số và độ sâu nước ngập

Chương II

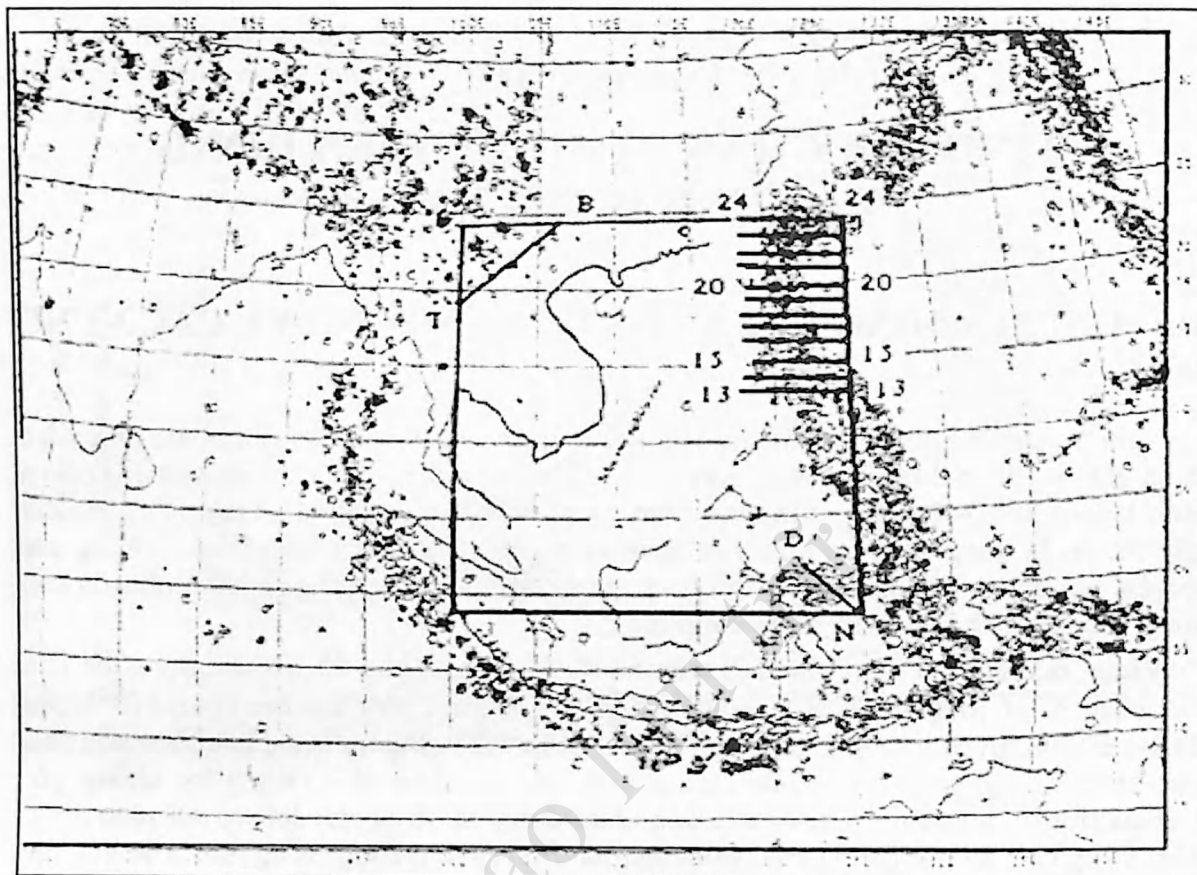
TÍNH ĐỊA CHẤN KHU VỰC BIỂN ĐÔNG VÀ VÙNG ĐÔNG NAM Á

II.1. CHẾ ĐỘ ĐỘNG ĐẤT KHU VỰC BIỂN ĐÔNG VÀ CÁC VÙNG KẾ CẬN

Nghiên cứu chế độ động đất khu vực Biển Đông và các vùng kế cận nhằm mục đích đánh giá một cách đúng đắn nhất mức độ nguy hiểm về động đất khu vực nghiên cứu và nhất là lãnh thổ Việt Nam, đồng thời làm cơ sở nghiên cứu những hệ lụy của động đất gây ra, đó là sóng thần tại khu vực Biển Đông bao gồm điều kiện phát sinh, sự lan truyền của sóng thần trên Biển Đông và cuối cùng là mức độ nguy hiểm như độ cao sóng, diện tích khu vực ven bờ bị ngập lụt...

Vùng nghiên cứu được thể hiện trên *Hình II-1*, đây là bản đồ các tâm động đất khu vực châu Á có magnitude $M \geq 6$, vùng nghiên cứu được giới hạn bởi vĩ tuyến 1°S đến 24°N và kinh tuyến từ 100°E đến 125°E , từ đó cho thấy vùng nghiên cứu chiếm trọn khu vực Biển Đông với những đặc trưng kiến tạo đa dạng như tách giãn, chông gối (subduction)... và vùng nghiên cứu còn chứa đựng dải động đất lớn tại rìa phía đông nằm trong các dải động đất thuộc vành đai lửa Thái Bình Dương, đồng thời khu vực tây bắc của vùng nghiên cứu còn chịu ảnh hưởng của sự đụng độ của mảng lục địa Ấn Độ đối với mảng Âu Á trong quá trình trôi dạt lên phương bắc vào khoảng 50 triệu năm về trước, sự đụng độ này đã tạo cho khu vực Tây Bắc Việt Nam cũng như khu vực nghiên cứu có một hệ các cấu trúc địa chất cũng như hệ các đứt gãy có phương tây bắc - đông nam [127].

Nguồn tài liệu về động đất được thu thập chủ yếu từ các niên san do Trung tâm Địa chấn Quốc tế (ISC) công bố, ngoài ra được bổ sung bởi các niên san của Cục Địa chất Hoa Kỳ (USGS), các tài liệu của mạng lưới các trạm địa chấn của Việt Nam và một số nước khác trong khu vực. Các tài liệu được khai thác từ năm 1900-2007 với mọi cấp magnitude cùng các lát cắt thể hiện sự phụ thuộc của M theo độ sâu chấn tiêu. Các tuyến tại phía đông khu vực nghiên cứu có hướng vĩ tuyến và song song với nhau bắt đầu từ kinh tuyến 118°E kéo dài đến kinh tuyến 125°E với chiều dài hơn 700km được ký hiệu 13-13 nằm ở vĩ độ 13°N , 14-14 ở vĩ độ 14°N , 15-15 ở vĩ độ 15°N , 16-16 ở vĩ độ 16°N , 17-17 ở vĩ độ 17°N , 18-18 ở vĩ độ 18°N , 19-19 ở vĩ độ 19°N , 20-20 ở vĩ độ 20°N , 21-21 ở vĩ độ 21°N , 22-22 ở vĩ độ 22°N , 23-23 ở vĩ độ 23°N và 24-24 ở vĩ độ 24°N . Tại khu vực tây bắc có tuyến T-B theo phương tây nam - đông bắc bắt đầu từ điểm có tọa độ 19°N , 100°E với chiều dài trên 700km. Góc đông nam khu vực nghiên cứu có tuyến Đ-N theo hướng tây bắc - đông nam và có chiều dài trên 300km, các tuyến lát cắt này có phương vuông góc với phương của các đứt gãy cũng như các cấu trúc địa chất.



Hình II-1. Bản đồ các tâm động đất khu vực Châu Á với $M \geq 6$ và khu vực nghiên cứu cũng như vị trí của các lát cắt chấn tiêu động đất theo độ sâu.

II.1.1. Vài nét về kiến tạo khu vực

Biển Đông, một biển rìa thụ động phát triển từ các chuyển động tạo rift và sụt lún khu vực, cho đến nay nó đã trải qua ít nhất là 3 giai đoạn tạo rift kể từ Creta sớm: Creta muộn, Eocen muộn và cuối Miocen sớm. Hệ thống rift tương ứng với giai đoạn 1 có phương đông bắc-tây nam và 2 hệ thống sau có phương đông tây [80], [125]. Trong các giai đoạn phát triển cùng với các quá trình tách giãn là sự tạo thành vùng chôn gói (subduction) cùng với hẻm sâu Manila (manila trench) hợp nhất với ranh giới đụng độ của các mảng lớn trong khu vực đã gây ra một vùng động đất mạnh cùng với các hậu quả của nó là sóng thần có độ nguy hiểm cao trên khu vực Biển Đông.

Đứt gãy chạc 3 á kinh tuyến Tây Biển Đông đã chia khu vực Biển Đông thành 3 phần có những đặc điểm kiến tạo kèm theo nó là 3 vùng có chế độ hoạt động động đất hoàn toàn khác nhau: Vùng Bắc Biển Đông, vùng tách giãn trung tâm Biển Đông và dải ven biển miền Trung Việt Nam thuộc rìa phía đông lục địa Indosini.

Vùng tây bắc khu vực có các hệ thống đứt gãy hướng theo phương tây bắc - đông nam, đó là hệ quả của sự đụng độ của mảng lục địa Ấn Độ dịch chuyển lên phương bắc với mảng Âu - Á tại đây khoảng 50 triệu năm về trước. Sự đụng độ này đã tạo ra vùng

chồng gối Tibet-Himalaya cao nhất trên thế giới, đồng thời ảnh hưởng của nó còn lan tỏa xuống phía nam tạo ra các hệ thống đứt gãy có phương tây bắc - đông nam mà hệ thống đứt gãy Sông Hồng tại tây bắc khu vực là một điển hình.

Một trong những đặc điểm của khu vực về mặt chế độ hoạt động động đất là sự tồn tại của một phần đới động đất Địa Trung Hải xuyên Á chạy từ nhánh phía tây của vành đai động đất Thái Bình Dương dọc theo rìa phía đông của khu vực gần như chiếm trọn lãnh thổ Philippines [59].

Khi nghiên cứu kiến tạo và sự phân bố các tâm động đất đã cho thấy bắt đầu từ Paleogene khu vực nghiên cứu đã chịu sự tác động mạnh mẽ của sự hội tụ giữa 3 mảng:

- Mảng biển Philippine ở phía đông.
- Mảng lục địa Sunda ở phía tây.
- Mảng Ấn Úc ở phía nam và rìa đông nam, vùng quần đảo Philippine được bao bởi 3 đới chồng gối đồng thời cũng là 3 đới các trũng sâu liên tiếp và đối nghịch nhau, ở phía tây là trũng sâu Manila nằm ở tây bắc, tiếp đến là trũng sâu Negros ở phía tây nam và sau cùng là trũng sâu Cotabato ở phía nam. Phía đông là trũng sâu Philippines, nằm giữa 2 đới trũng sâu và chồng gối này là đứt gãy Philippines chạy từ bắc xuống nam.

Đây là vùng có độ hoạt động động đất cao nhất trên thế giới, tính chung tổng số năng lượng động đất trong vùng dài chiếm khoảng 3,2% tổng số năng lượng các động đất hàng năm xảy ra trên thế giới.

II.1.2. Thành lập danh mục động đất khu vực Biển Đông và lân cận

Khu vực Biển Đông và lân cận nghiên cứu được giới hạn bởi vĩ độ từ -1° đến 24°N và kinh độ từ 99° đến 125°E . Việc xây dựng bảng danh mục động đất này dựa trên các đặc trưng sau đây:

II.1.2.1. Phần lãnh thổ Việt Nam và vùng lãnh hải

Do những yêu cầu về xây dựng cho nên đây là phần lãnh thổ được nghiên cứu đầy đủ và chi tiết nhất về mặt chế độ động đất từ những năm 60 của thế kỷ XX với 2 đề tài nghiên cứu được tiến hành:

- Phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam (phần đất liền) tiến hành năm 1983.
- Phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam (phần đất liền và lãnh hải) tiến hành năm 2003 và các tài liệu về động đất ở đây ngoài các động đất mạnh từ $M>5$ được cung cấp từ ISC (Trung tâm Địa chấn Quốc tế - International Seismological Centre) thì các động đất yếu hơn với $M>3$ cũng đã được thu thập qua các đợt khảo sát thực địa và đặc biệt nhờ mạng lưới các trạm quan sát động đất trong những năm vừa qua với sự giúp đỡ của các Chương trình Phát triển của Liên Hợp Quốc (UNDP) đã được tăng cường lên rất nhiều về mặt số lượng và chất lượng. Ngoài ra các trận động đất mạnh đã được thu thập trong một thời gian dài từ tra cứu các tài liệu lịch sử (có từ thế kỷ thứ 2- năm 114 sau Công nguyên) cũng là một nguồn bổ sung đáng kể.

I.1.2.2. Phần phía đông khu vực nghiên cứu

Đây là vùng trọng tâm trong đề tài nghiên cứu vì liên quan chủ yếu tới các hoạt động

sóng thần trong khu vực với sự tồn tại của một phần đới động đất Địa Trung Hải xuyên Á chạy từ nhánh phía tây của vành đai động đất Thái Bình Dương dọc theo rìa phía đông của khu vực gần như chiếm trọn lãnh thổ Philippines.

Sau những năm 1950 của thế kỷ XX việc ghi chép các trận động đất có magnitude $M \geq 5$ được ghi nhận một cách phổ biến trên thế giới. Tại những vùng động đất mạnh người ta đã có thể tiến hành thu thập các tài liệu động đất có $M \geq 5$ từ mạng lưới các trạm ở xa ngoài vùng chấn tâm. Tại khu vực các tài liệu thu thập được chủ yếu dựa vào các thông báo của ISC và có tham khảo các thông báo sơ bộ của Trung tâm Tư liệu Động đất Quốc gia Hoa Kỳ (NEIC) từ năm 1973 và ở đây các tài liệu về động đất cũng được thể hiện với $M \geq 5$. Trên *Bảng II-1* trình bày danh mục động đất đã xảy ra trong khu vực.

Bảng II-1. Tâm động đất khu vực Biển Đông và lân cận ($\varphi = -1^{\circ}13 - 24^{\circ}05'N$, $\lambda = 98^{\circ}07' - 125^{\circ}E$); $M \geq 7$

TT	Năm	Tháng	Ngày	Thời gian	Toạ độ		h(km)	M	Nguồn
					$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$			
1	1905	1	22	2:43:54	1	123	90	7.8	ISC
2	1907	3	29	20:46:30	3	122	500	7.2	ISC
3	1907	4	18	23:52:24	13.5	123	35	7.4	ISC
4	1907	4	18	20:59:48	14	123	35	7.6	ISC
5	1909	4	14	19:53:42	24	123	80	7.3	ISC
6	1912	12	23	23:56:12	0	123	50	7	ISC
7	1913	1	11	13:16:54	1.5	122	35	7.1	ISC
8	1914	8	6	4:10:19	4	115		7	ISC
9	1915	3	12	14:48:30	12	124	40	7	ISC
10	1918	2	13	6:07:10	24	116.5		7.3	ISC
11	1918	8	15	12:18:12	5.5	123	35	8.2	ISC
12	1919	12	2	20:37:27	22	122	35	7	ISC
13	1920	6	5	4:21:30	24	120		8	ISC
14	1920	6	5	4:21:28	23.5	122	35	8	ISC
15	1923	3	2	16:48:52	6.5	124	35	7.2	ISC
16	1923	4	19	3:09:00	2.5	118.5		7	ISC
17	1925	4	16	19:52:30	22	120.5		7.1	ISC
18	1925	11	13	12:14:45	13	125	35	7.3	ISC
19	1928	6	15	6:12:36	12.5	121.5	35	7	ISC
20	1928	6	15	6:12:36	12.5	121.5	35	7	ISC
21	1928	12	19	11:37:10	7	124	35	7.3	ISC
22	1929	6	4	15:15:58	6.5	124.5	380	7	ISC
23	1932	12	4	8:11:19	2.4	121		7.1	ISC

24	1934	2	14	3:59:41	17.4	119		7.6	ISC
25	1935	4	20	22:02:01	24	121		7.1	ISC
26	1935	9	4	1:37:41	22.25	121.25	35	7.2	ISC
27	1936	8	22	6:51:39	22.3	121.3		7.2	ISC
28	1937	8	20	11:59:16	14.5	121.5	35	7.5	ISC
29	1937	12	8	8:32:09	23	121.5	35	7	ISC
30	1938	5	23	8:21:48	18	120	80	7	ISC
31	1938	9	7	4:03:18	23.75	121.5	35	7	ISC
32	1938	12	6	23:00:51	22.9	121.5		7	ISC
33	1939	12	21	21:00:40	0	123	150	8	ISC
34	1941	1	5	18:47:05	2	122	50	7	ISC
35	1941	11	8	23:37:22	0.5	122	35	7.3	ISC
36	1941	12	16	19:19:41	23.7	120		7.1	ISC
37	1942	4	8	15:40:24	13.2	120.6		7.7	ISC
38	1942	5	28	1:01:48	0	124	120	7.5	ISC
39	1942	10	20	23:21:44	8.5	122.5	35	7.3	ISC
40	1948	1	24	17:46:40	10.5	122	35	8.2	ISC
41	1948	2	9	14:54:22	0	122.5	160	7.2	ISC
42	1948	3	3	9:09:52	18.8	119		7.2	ISC
43	1949	4	30	1:23:32	6.5	125	130	7.4	ISC
44	1949	12	29	3:03:50	17	121.5		7.2	ISC
45	1950	2	2	23:33:37	21.7	100.2		7	ISC
46	1951	10	22	4:28:05	23.9	121.7		7	ISC
47	1951	10	22	3:29:27	23.75	121.25	35	7.1	ISC
48	1951	10	22	5:43:01	24	121.25	35	7.1	ISC
49	1951	10	21	21:34:14	23.75	121.5	35	7.3	ISC
50	1951	11	24	18:50:18	23	122.5	35	7.3	ISC
51	1955	3	31	18:17:19	8.1	123.2	96	7.5	ISC
52	1957	2	23	20:26:19	24.01	121.42	70	7.3	ISC
53	1959	7	18	19:55:02	15.74	120.57	146	7	ISC
54	1959	8	15	8:57:01	22.05	120.93		7.5	ISC
55	1961	3	28	9:36:05	0.08	123.76	145	7.4	ISC
56	1973	3	17	83051.8	13.37	122.79	33	7.5	UPP
57	1976	8	16	161107.3	6.26	124.02	33	7.9	GS
58	1977	3	18	214352.4	16.77	122.33	37	7	GS
59	1978	7	23	144236.9	22.28	121.51	17	7.4	GS

60	1978	12	12	114416	7.33	123.49	33	7.4	BRK
61	1978	12	23	112312	23.25	122.07	33	7.2	PAS
62	1979	8	26	143122.1	19.07	122.1	15	7.1	GS
63	1982	1	11	61006.49	13.75	124.36	45	7.4	PAS
64	1986	11	14	212010.55	23.9	121.57	33	7.8	GS
65	1988	2	24	35203.29	13.48	124.62	24	7.1	BRK
66	1988	11	6	130319.34	22.79	99.61	17	7.3	GS
67	1990	4	18	133919.01	1.19	122.86	25	7.6	HRV
68	1990	6	14	74056.21	11.76	121.9	18	7.1	GS
69	1990	7	16	72634.61	15.68	121.17	25	7.8	GS
70	1991	5	19	5801.73	1.16	122.96	33	7	GS
71	1991	6	20	51852.51	1.2	122.79	31	7.5	HRV
72	1994	11	14	191530.66	13.52	121.07	31	7.1	GS
73	1995	4	21	3010.82	11.93	125.56	17	7.2	GS
74	1995	4	21	3446.09	12.06	125.58	20	7.3	GS
75	1995	7	11	214639.78	21.97	99.2	12	7.1	GS
76	1996	1	1	80510.83	0.73	119.93	24	7.9	HRV
77	1996	7	22	141935.77	1	120.45	33	7	GS
78	1997	11	25	121433.63	1.24	122.54	24	7	GS
79	1998	4	1	175623.36	-0.54	99.26	55	7	HRV
80	1998	5	21	53425.5	0.21	119.58	33	7.2	GS
81	1999	3	4	85201.9	5.4	121.94	33	7.1	HRV
82	1999	9	20	174718.49	23.77	120.98	33	7.7	GS
83	1999	12	11	180336.45	15.77	119.74	33	7.3	HRV
84	2000	5	4	42116.21	-1.11	123.57	26	7.6	HRV
85	2001	12	18	40258.28	23.95	122.73	14	7.3	GS
86	2002	3	5	211609.13	6.03	124.25	31	7.5	HRV
87	2005	2	5	122318.94	5.29	123.34	525	7.1	HRV
88	2006	12	26	123413.8	21.97	120.49	10	7.1	GS
89	2006	12	26	122621.14	21.8	120.55	10	7.3	GS

II.1.3. Phân bố chấn tâm động đất tại khu vực Biên Đông và các vùng kế cận

Động đất chỉ xảy ra tại ranh giới giữa các mảng hay các đứt gãy kiến tạo, tần suất và độ lớn của động đất do vận tốc chuyển động tương đối giữa hai cánh của đứt gãy và kích thước của các đứt gãy tham gia vào các chuyển động này quyết định, tức với vận tốc dịch chuyển càng lớn thì tần suất động đất càng lớn và nếu kích thước của ranh giới

giữa các mảng càng lớn thì magnitude của động đất xảy ra cũng càng lớn. Sự phân bố tâm động đất tại khu vực nghiên cứu được chia làm các phần sau đây:

II.1.3.1. Phân lục địa Sunda tây Biển Đông

Các tâm động đất tại vùng này xảy ra liên quan đến hệ đứt gãy sâu Sông Hồng kéo dài từ các vùng tâm động đất lớn Vân Nam, Trung Quốc, là hậu quả của sự đụng độ giữa 2 mảng lục địa Ấn Độ và lục địa Âu Á, các hệ đứt gãy trong khu vực đều có phương tây bắc - đông nam, các trận động đất xảy ra tại đây có độ sâu không lớn và nằm trong phạm vi vỏ Trái đất đồng thời có phương dịch chuyển theo phương trượt bằng (strike slip).

Một trong những đặc điểm của động đất trong khu vực là cường độ của động đất có xu hướng giảm dần cũng theo phương tây bắc - đông nam, cả về độ mạnh cũng như tần suất, nếu như tại vùng Tứ Xuyên, Vân Nam (Trung Quốc) đã xảy ra nhiều trận động đất có $M > 7$ thì khi về đến vùng giáp với biên giới nước ta, động đất lớn nhất cho đến nay mới quan sát được có độ mạnh là $M=6,75$, tiếp theo đứt gãy Sông Hồng tại vùng Đồng bằng Bắc Bộ cũng chưa từng xảy ra động đất có $M=6$.

II.1.3.2. Phân Biển Đông trung tâm với đứt gãy á kinh tuyến tây Biển Đông

Đây là hệ thống đứt gãy cấp I xuyên suốt khu vực Biển Đông Việt Nam theo phương bắc nam, tại vĩ độ $17^{\circ}N$ đứt gãy chia làm 2 nhánh: nhánh trái có phương tây bắc nhập vào hệ thống đứt gãy sâu Sông Hồng và nhánh phải kéo dài theo phương đông- đông bắc. Tại đây các kiểu dịch chuyển trượt bằng dọc theo các đứt gãy lớn đã dẫn đến sự hình thành các sụt lún, địa hào và bán địa hào và các hoạt động nén ép nghịch đảo kiến tạo khác. Đồng thời đứt gãy chạc 3 này cũng đã chia Biển Đông ra thành 3 khu vực có các đặc trưng về phân bố các tâm động đất hoàn toàn khác nhau:

- Khu vực phía bắc đứt gãy chạc ba: Tại đây các đứt gãy có phương á vĩ tuyến chiếm ưu thế và đóng vai trò quan trọng trong quá trình hình thành các động đất có năng lượng lớn và trung bình trong khu vực. Các tài liệu thống kê đã cho thấy trong vòng 100 năm khu vực Biển Đông đã xảy ra 25 trận động đất có $M \geq 5,5$ thì chỉ riêng khu vực phía bắc đã có 22 động đất, một đặc điểm đáng chú ý là tính chu kỳ của hoạt động địa chấn ở khu vực này cho thấy trong thời gian đó giai đoạn hoạt động tích cực chỉ có 28 năm còn lại là thời gian bình ổn tương đối.

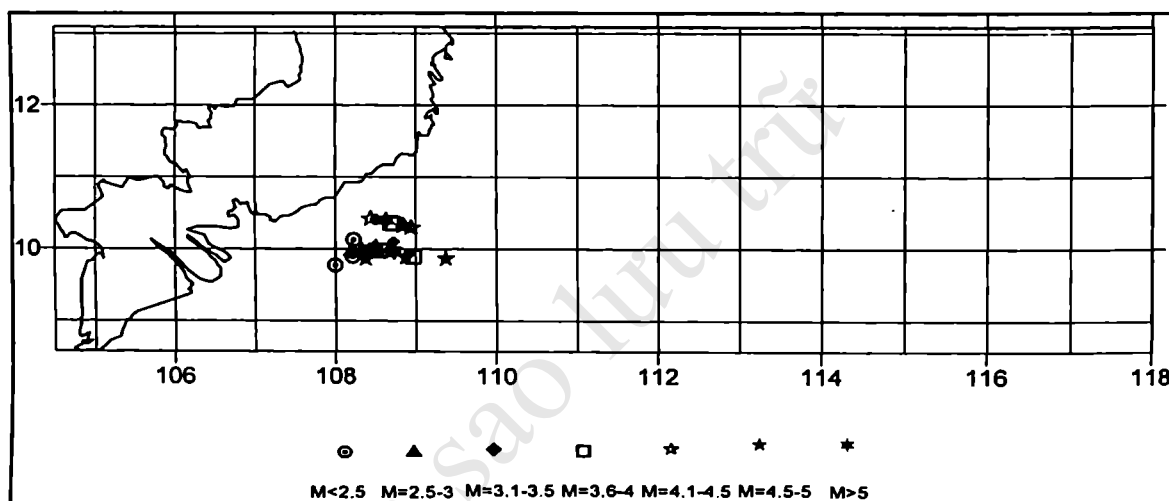
- Khu vực phía tây đứt gãy chạc ba: Đây là vùng có cấu tạo nhảy bậc với các dải chấn tâm động đất sau: dải đông nam Đồng bằng Sông Hồng tại Bắc Bộ, đới Sông Mã-Sông Cả, rìa Đông Bắc của địa khối Indosinia tại Trung Bộ, một phần của khối Đà Lạt tại ven biển Nam Trung Bộ và khối Cà Mau thuộc Nam Bộ. Phần lớn các trận động đất tại đây đều có phương dịch chuyển theo phương tây bắc - đông nam và có cường độ không lớn, trận động đất lớn nhất cũng chỉ đạt tới $M=5,5$. Một trong những đặc điểm của khu vực này là sự xuất hiện nhóm núi lửa Hòn Tro vào năm 1923 tại phía nam đảo Phú Quý hiện nay.

Khi phun trào núi lửa Hòn Tro đã gây ra chấn động đạt tới cấp VII tại vùng quanh chấn tâm với khoảng cách hàng trăm kilômét, cũng tại đây trong khoảng thời gian từ tháng 6/2005 cho đến tháng 7/2006 đã xảy ra một loạt gồm 27 các trận động đất yếu, trong số này có 2 trận động đất xảy ra vào các ngày 7 và 8/11 năm 2005 với độ mạnh

$M_s = 4,7$ và $4,8$ và đã gây nên những chấn động cảm thấy tại những khu nhà cao tầng tại Thành phố Hồ Chí Minh (xem *Bảng II-1*, *Hình II-2*).

Các trận động đất được phân bố thành 2 dải hẹp theo phương vĩ tuyến có chiều rộng là 80km (xem *Bảng II-1*, *Hình II-4*) và chiều dài vào khoảng 150km. Độ sâu của các chấn tiêu động đất ở đây phần lớn xảy ra trên mặt, trong số 27 trận động đất ghi nhận được thì 21 trận động đất có độ sâu chấn tiêu bằng 0, hai trận động đất có độ sâu nhỏ hơn 5km và 4 trận động đất có độ sâu bằng hoặc lớn hơn 10km. Các trận động đất được tập trung chủ yếu vào thời gian từ tháng 8 đến tháng 12 năm 2005.

Vị trí của các trận động đất này nằm trùng hợp với vị trí của núi lửa đảo Hòn Tro, điều đó cho thấy giữa 2 hiện tượng có một mối liên hệ nào đó [55].



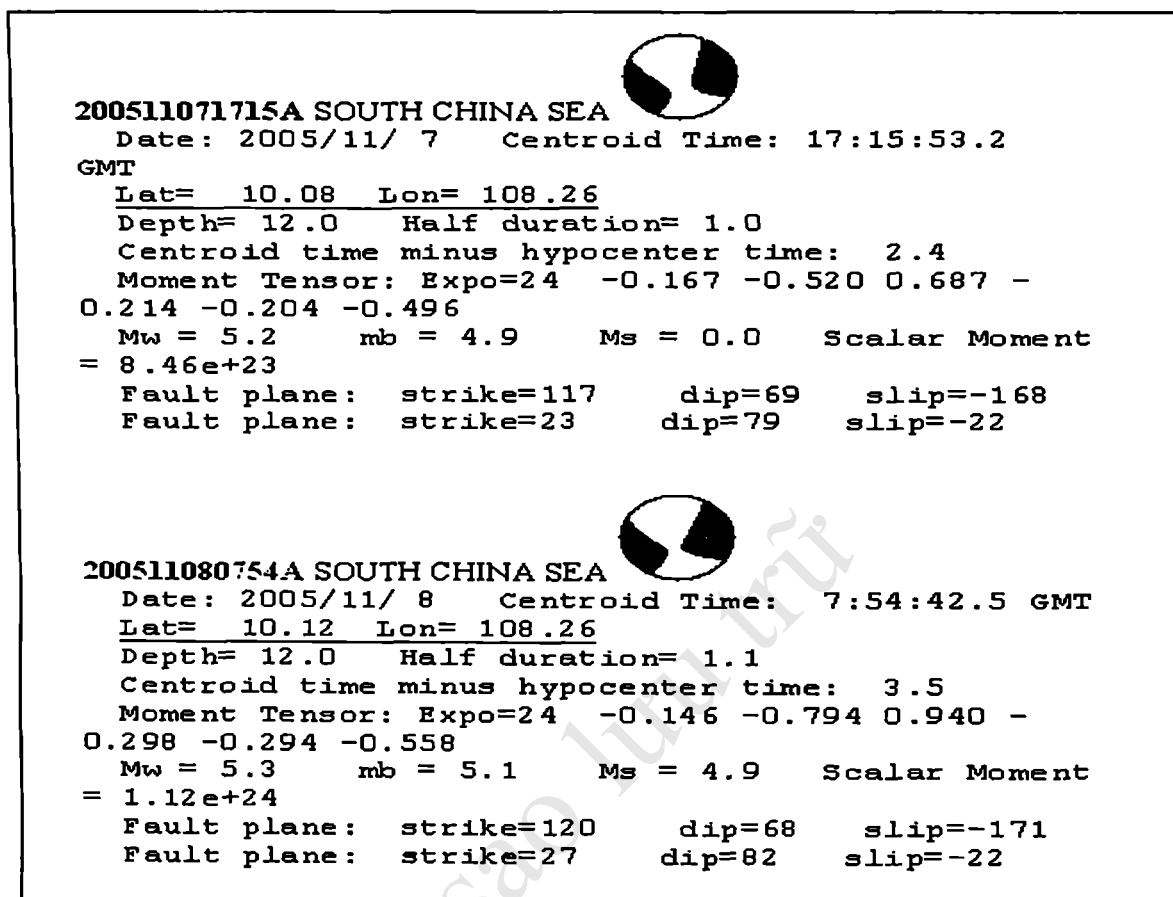
Hình II-2. Vị trí các động đất tại vùng ven biển Nam Trung Bộ từ tháng 6/2005 đến 7/2006

Hai trong số 27 trận động đất kể trên xảy ra vào 2 ngày 7 và 8 tháng 11 năm 2005 đã được nhóm địa chất thuộc trường Đại học Harvard (Hoa Kỳ) thành lập cơ cấu chấn tiêu, về hình dạng cũng như các thông số của nguồn được trình bày trên hình II-3 cho thấy các dịch chuyển tại chấn tiêu động đất có dạng dịch chuyển theo phương (strike slip).

Việc xuất hiện nhóm các chấn tâm động đất tại khu vực Nam Trung Bộ cách đây 85 năm đã xuất hiện các hoạt động núi lửa rất dữ dội và được gọi là núi lửa Hòn Tro. Tuy những hoạt động núi lửa xảy ra cách đây gần một thế kỷ nhưng các hiện tượng đã được khảo sát và ghi chép một cách đầy đủ. Vào các năm 1436, 1799, 1887 tại đây cũng đã xuất hiện các hoạt động núi lửa. Việc xuất hiện nhóm các động đất này một cách đột ngột và kéo dài chỉ trong khoảng 1 năm từ tháng 5/2005 đến 6/2006 sau đó lại đột ngột biến mất cho ta dự đoán về khả năng xuất hiện của các hoạt động núi lửa tương tự như các hoạt động tại Hòn Tro trong một tương lai gần.

Bảng II-2. Danh mục các trận động đất đã xảy ra tại vùng biển Nam Trung Bộ trong 2 năm 2005-2006 (số liệu do Trung tâm Địa chấn Quốc tế cung cấp)

TT	Tháng ngày năm	Thời gian (h,m,s)	Tọa độ		h (km)	Magni- tude
			ϕ° N	λ° E		
1	6/14/2005	4:24:10.30	10.347	108.86	0,0	3,1
2	8/5/2005	13:35:13.04	9.7715	108.01	0,0	4,0
3	8/5/2005	14:09:32.50	9.926	108.92	0,0	2,8
4	8/5/2005	18:07:12.63	9.8924	108.22	0,0	4,0
5	8/6/2005	5:23:15.14	10.124	108.24	0	3,6
6	8/6/2005	19:03:26.70	10.412	108.52	6,8	2,6
7	8/7/2005	2:19:05.50	10.096	108.73	0,0	2,4
8	8/8/2005	16:56:57.90	9.975	108.68	0,1	3,1
9	8/11/2005	14:03:08.00	10.356	108.7	0,0	3,9
10	8/11/2005	18:51:11.80	10.345	108.73	0,0	3,0
11	9/19/2005	19:29:08.70	9.969	108.56	0,0	4,0
12	9/26/2005	21:34:26.70	9.89	108.97	0,0	3,4
13	10/5/2005	21:52:52.90	9.967	108.55	0,0	3,0
14	10/16/2005	23:26:17.20	10.299	108.95	0,0	2,5
15	10/17/2005	1:26:44.50	10.426	108.45	0,0	3,1
16	10/17/2005	1:28:18.00	10.321	108.86	0,0	4,0
17	11/7/2005	17:08:20.40	9.9685	108.24	0,0	3,7
18	11/7/2005	17:15:48.93	9.999	108.34	0,0	4,8
19	11/8/2005	7:54:37.39	9.992	108.22	0,0	4,7
20	11/11/2005	1:28:37.90	9.873	109.38	0,0	2,5
21	11/15/2005	19:21:04.70	9.889	108.89	0,0	2,6
22	12/14/2005	21:12:25.40	9.987	108.5	0,0	2,9
23	12/16/2005	9:47:25.90	9.988	108.48	1,0	3,6
24	12/18/2005	13:20:09.60	10.017	108.51	4,7	3,2
25	12/26/2005	22:41:45.00	10.397	108.64	0,0	2,8
26	12/27/2005	14:18:24.00	9.965	108.74	0,0	3,1
27	7/3/2006	23:55:41.03	9.869	108.39	6,0	4,3



Hình II-3. Dạng dịch chuyển và các thông số của nguồn chấn tiêu động đất xảy ra tại các ngày 7 và 8 tháng 11 năm 2005.

- Vùng tách giãn phía đông đứt gãy kinh tuyến tây Biển Đông. Đây là vùng vỏ đại dương Biển Đông được hình thành dưới dạng các tách giãn kiểu rift trên một miền trước đó không lâu là lục địa thuộc rìa một Biển Đông cổ Mezozoi và vỏ đại dương Biển Đông đã xuất hiện cách đây trên 40 triệu năm và đã kết thúc vào thời điểm cách đây 16 triệu năm. Trong thời gian này Biển Đông chịu ít nhất là 3 lần rift và 2 lần tách giãn đáy kể từ Creta sớm. Ngoài các vùng tách giãn kể trên là các cấu trúc kiểu lục địa như các vùng mảng Borneo, Palawan và các quần đảo Trường Sa và Hoàng Sa. Đây là một khu vực có chế độ hoạt động động đất không cao, ngoài một tâm động đất có $M=6,0$ xảy ra ngày 21/7/1930 tại rìa của quần đảo Borneo ($\varphi = 7,5^{\circ}N$, $\lambda = 116^{\circ}E$) với động đất thường tập trung tại phía bắc của trục tách giãn thì cả một vùng rộng lớn thuộc tây nam trung sâu đã không thấy xuất hiện một trận động đất nào.

Những nghiên cứu về cơ cấu chấn tiêu động đất tại khu vực này đã cho thấy các dịch chuyển xảy ra tại chấn tiêu có dạng nghịch chòm là điển hình. Trong số các trận động đất có $M \geq 5$ có 2 trận động đất đã xác định được cơ cấu chấn tiêu và được trình bày trên Bảng II-3.

Bảng II-3. Kết quả nghiên cứu cơ cấu chấn tiêu của động đất vùng tách giãn Tây Nam Biển Đông (Bao-Zhu Wei et al 1995, Nguyễn Văn Lương 2003)

TT	N. th. ng.	Vĩ độ	Kinh độ	Mag.	Strike	Dip	Rake	P-axis		T-axis	
		(O)	(O)		(O)	(O)	(O)	(O)	Az	PI	Az
1	1965/10/7	12.5	115.0	5.3	240	50	100	323	5	203	81
					45	41	78				
2	1998/09/06	14.16	117.40	5,0	200	31	66	127	16	346	70
					47	62	103				

Những kết quả trên đây cho thấy các dịch chuyển tại tâm động đất này có dạng nghịch chòm nhưng trục P có phương tây bắc - đông nam và điều này phù hợp với phương chung của trục P trong khu vực và cũng cho thấy dạng chòm nghịch là đặc trưng của các động đất xảy ra tại đây, nó phản ánh xu thế vô đại dương Biển Đông Việt Nam bị co ép từ các phía nam và bắc.

II.1.3.3. Phần các quần đảo phía đông khu vực nghiên cứu

Tính trung bình mỗi ngày tại đây đã xảy ra khoảng 5 trận động đất có độ mạnh từ không cảm thấy trở lên đã xảy ra tại những vùng chính sau đây:

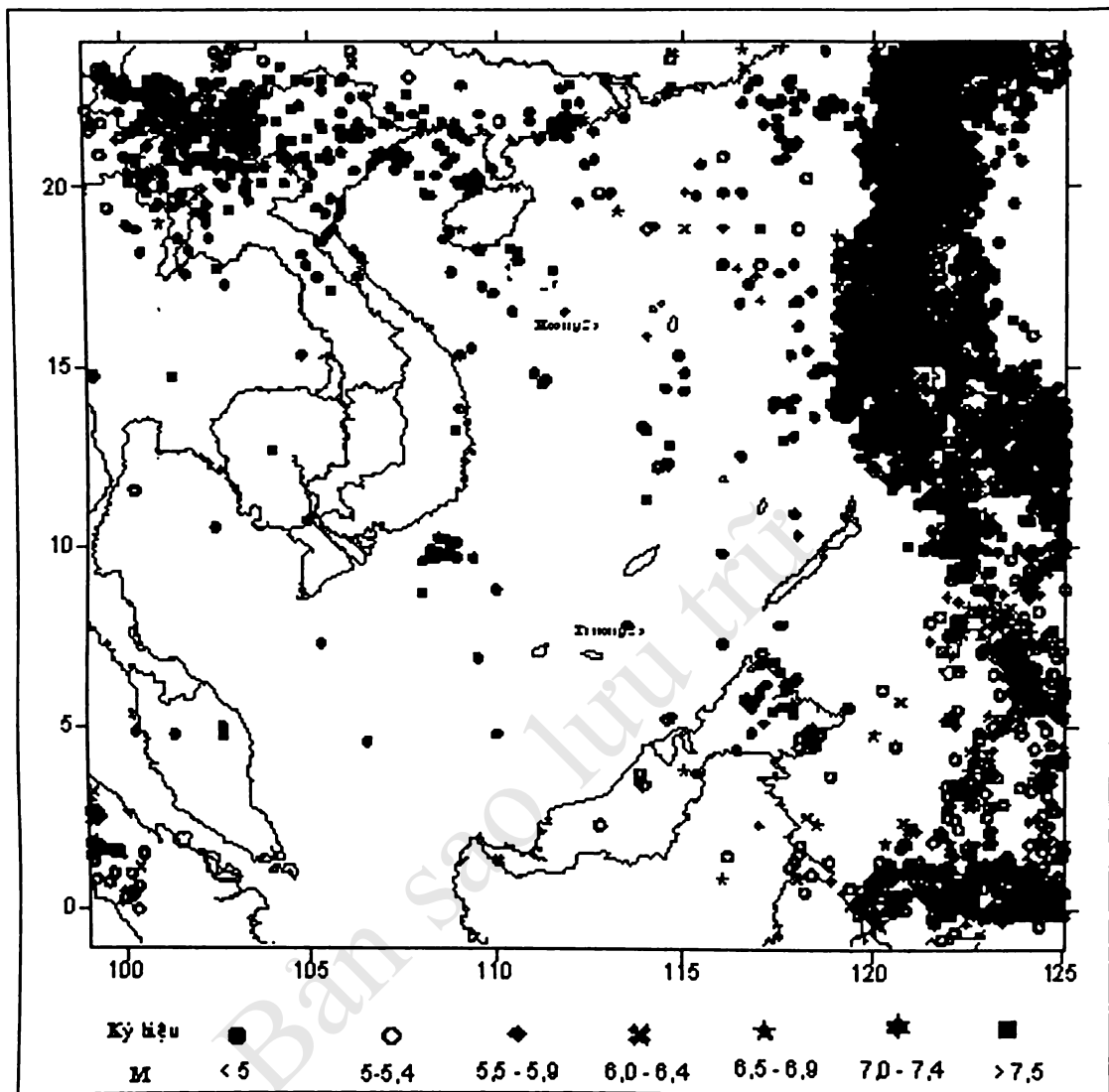
- Vùng chông gôi (subduction) Manila Trench với hướng cắm về phía đông.
- Vùng chông gôi Đông Luzon trench có hướng cắm về phía tây.
- Vùng chông gôi dọc theo Sula Sea Trench và Antique Trough.
- Vùng chông gôi Philippine Trench có hướng cắm về phía tây.
- Vùng chông gôi Cotabato Trench cắm về hướng đông.
- Các hoạt động động đất mạnh dọc theo Philippine fault
- Các hoạt động động đất liên quan đến vùng địa hào Agusan-Davao Trough cắm về hướng tây.

Bản đồ phân bố tâm động đất khu vực nghiên cứu được trình bày trên Hình II-4, ở đây các tâm động đất có magnitude từ không xác định trở lên được lấy cho thời kỳ 1900-2007.

Trong tổng số 8955 trận động đất với mọi giá trị M thì có 5955 trận động đất với $M < 5$; 2008 trận động đất với $M = 5,0-5,4$; 578 trận với $M = 5,5-5,9$; 204 trận với $M = 6,0-6,4$; 127 trận với $M = 6,5-6,9$; 62 trận với $M = 7,0-7,4$; 16 trận với $M = 7,5-7,9$ và 5 trận với $M \geq 8$.

Từ bản đồ phân bố tâm động đất ta có thể thấy các tâm động đất tập trung vào 3 vùng chính:

- Vùng tây bắc khu vực, tại đây nằm trên lãnh thổ của các nước Trung Quốc, Việt Nam, Lào và Miến Điện, các trận động đất được phân thành các nhóm có mật độ rất khác nhau. Riêng vùng tây bắc lãnh thổ Việt Nam trong thế kỷ trước đã xảy ra 2 trận động đất vào các năm 1935 và 1983 với $M = 6,75$.



Hình II-4. Bản đồ phân bố chấn tâm động đất khu vực Biển Đông và lân cận

- Vùng đứt độ giữa các mảng thuộc quần đảo Philippine phía đông khu vực. Đây là vùng được đánh giá là chiếm tới trên 95% toàn bộ động đất trong khu vực nghiên cứu. Nếu như trong bảng danh mục động đất từ 1900 đến 2008 có 33 trận động đất có magnitude $M \geq 7,5$ thì tất cả đều xảy ra tại khu vực này.

- Vùng động đất đông nam Biển Đông sát với đảo Borneo (Indonesia).

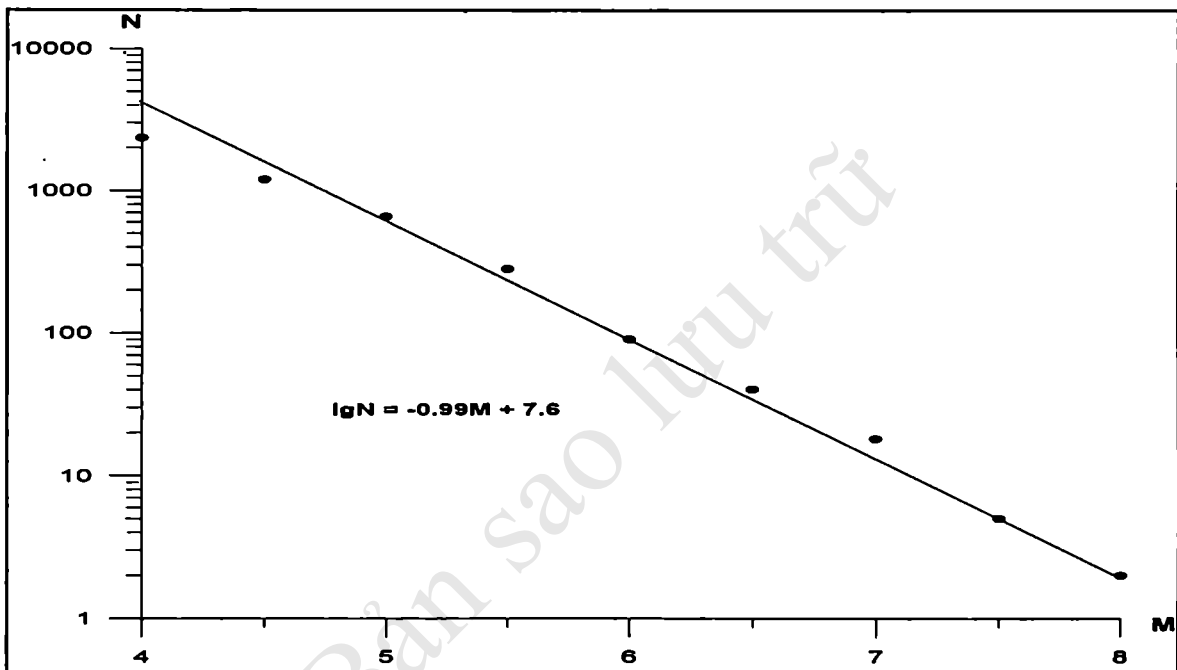
II.1.4. Đồ thị lặp lại động đất khu vực nghiên cứu

Quá trình ngẫu nhiên của động đất được thể hiện dưới các hàm sự phụ thuộc giữa độ mạnh của động đất vào thời gian cũng là thời gian các nghiên cứu về địa chấn vượt qua được giai đoạn của các nghiên cứu định tính và bước vào thời kỳ của các nghiên cứu định lượng.

Trong số 8955 trận động đất được ghi nhận từ 1900 cho đến tháng 8/2008 thì có 5956 trận động đất có giá trị magnitude từ không xác định cho đến 4,9; 2008 trận động đất có magnitude từ 5 cho đến 5,4; 579 trận động đất có magnitude từ 5,5 đến 5,9; 203 trận động đất có magnitude 6,0 đến 6,4; 125 trận động đất có giá trị magnitude từ 6,5 đến 6,9; 63 trận động đất có magnitude từ 7,0 đến 7,4; 21 trận động đất từ 7,5 đến 7,9 và 10 trận động đất có giá trị xấp xỉ 8 và 2 trận động đất có giá trị $M_{max}=8,2$.

Đồ thị lặp lại động đất cho khu vực Biển Đông Việt Nam (Hình II-5) có dạng:

$$\text{Log } N = -0,99M + 7,6 \tag{II.1}$$



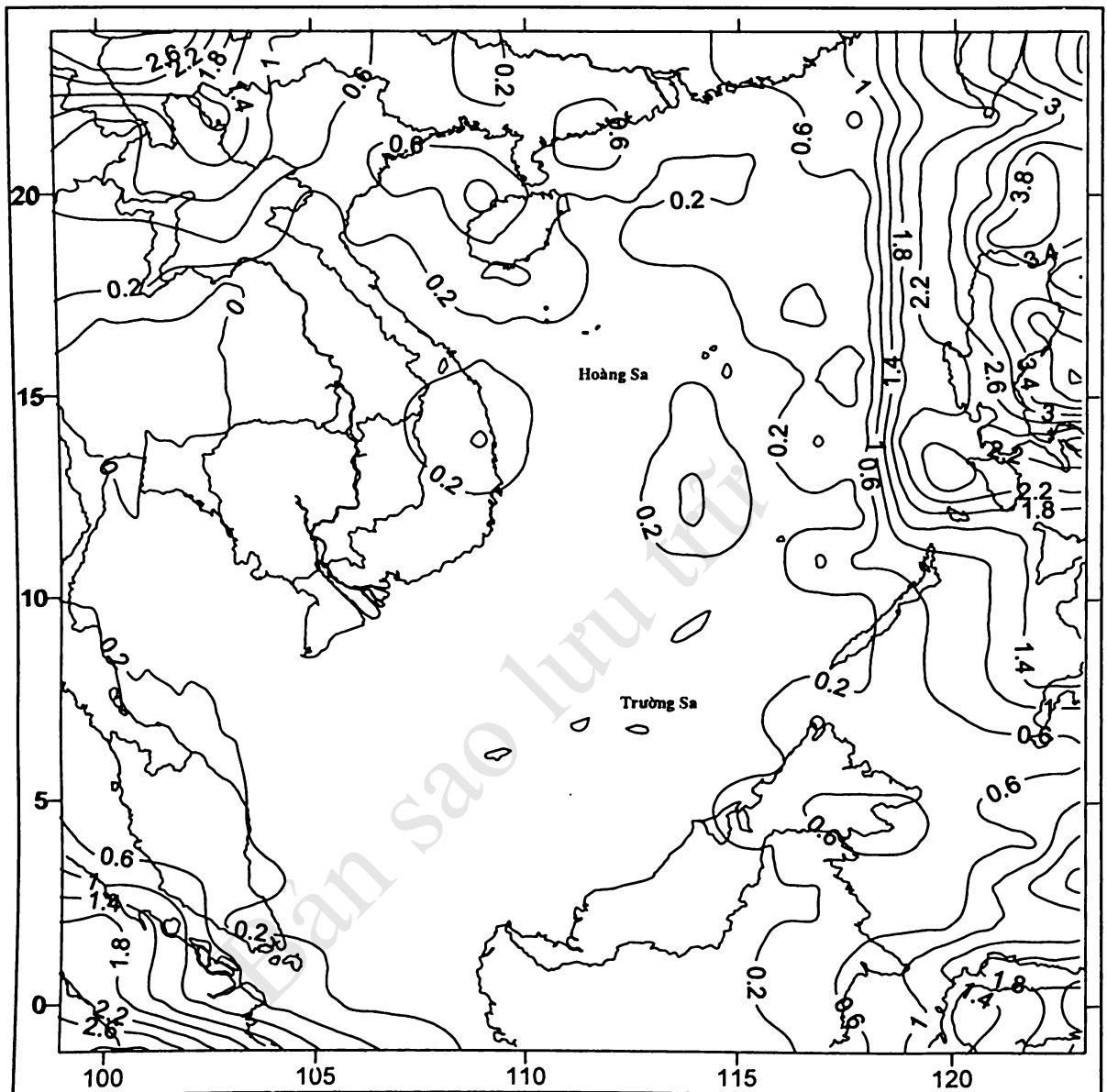
Hình II-5. Đồ thị lặp lại động đất khu vực Biển Đông và lân cận (thời kỳ 1900-2008)

Với đồ thị này ta có thể tính chu kỳ đối với các động đất tương ứng với các giá trị magnitude khác nhau: với $M=7$ có chu kỳ 1 năm, với $M=7,5$ là 4 năm, $M=8$ là 50 năm và 8,3 là 300 năm xảy ra 1 lần.

II.1.5. Bản đồ độ hoạt động động đất A_{15} khu vực Biển Đông và lân cận

Bản đồ độ hoạt động động đất A_{15} cho biết mật độ phân bố các tâm động đất ở bậc năng lượng nhất định $K=15$, với giá trị A_{15} được xác định theo công thức (I.4) và (I.5) (xem chương I).

Bản đồ A_{15} cho thấy giá trị trung bình trên diện tích 1000km^2 trong khoảng thời gian 100 năm có số động đất có bậc năng lượng $K=15$ ($K=15$ tương đương với động đất có $M=5,9$) được thể hiện bằng số trên bản đồ. Bản đồ mật độ tâm động đất khu vực Biển Đông và lân cận A_{15} được thiết lập cho thời kì 108 năm : 1900-2007. Kết quả tính toán được trình bày trên Hình II-6 [55].



Hình II-6. Bản đồ độ hoạt động động đất A15 khu vực Biển Đông và lân cận

- Phần phía đông khu vực nghiên cứu là phần có mật độ chấn tâm cao nhất, ở đây giá trị A_{15} có giá trị là 3,8 tại tâm của khu vực thuộc phía bắc đảo Luzon giảm đến 3,4 và 3,0 tại phần phía nam và 3,0 tại đông bắc gần với vùng quần đảo Đài Loan. Các đường đẳng trị tại đây gần như song song với nhau và giảm dần theo hướng tây từ 2,6 cho đến 0,6 tại khu vực Manila trench.

- Vùng tây bắc khu vực nghiên cứu các đường đẳng trị có dạng các đường cong song song, giá trị cao nhất tại tâm và đạt đến giá trị 2,6 và giảm dần tới 1,8 tại biên giới tây bắc Việt Nam và các giá trị 1,4 cho đến 0,6 tại vùng châu thổ Sông Hồng. Một vùng có giá trị độ hoạt động động đất khá cao đạt đến 0,6 nối liền giữa vùng ven Đồng bằng Sông Hồng với vùng tây bắc đảo Hải Nam (Trung Quốc).

- Phía tây nam của khu vực là vùng ảnh hưởng của đới động đất Địa Trung Hải xuyên Á đi gần Sumatra (Indonesia). Tại đây các đường đẳng trị cũng chạy gần như song song cũng giảm từ giá trị 2,6 tại gần tâm điểm khu vực đến giá trị 0,2 tại vùng bán đảo Malaysia.

Ngoài các vùng có giá trị A_{15} khá cao kể trên, các vùng khác có giá trị $A_{15}=0,2$ nằm ở phía nam đảo Hải Nam, vùng quần đảo Trường Sa và ven bờ biển Nam Trung Bộ. Gần như toàn bộ phần Trung tâm Biển Đông và phần tây nam Biển Đông bao gồm cả vịnh Thái Lan các giá trị độ hoạt động động đất là vùng có giá trị cực đại 0,2. Đường đẳng trị này rất dài từ tây bắc Lào kéo qua phía nam đảo Hải Nam qua vùng tách giãn Biển Đông tới đông nam khu vực.

II.1.6. Đánh giá Magnitude cực đại cho lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông

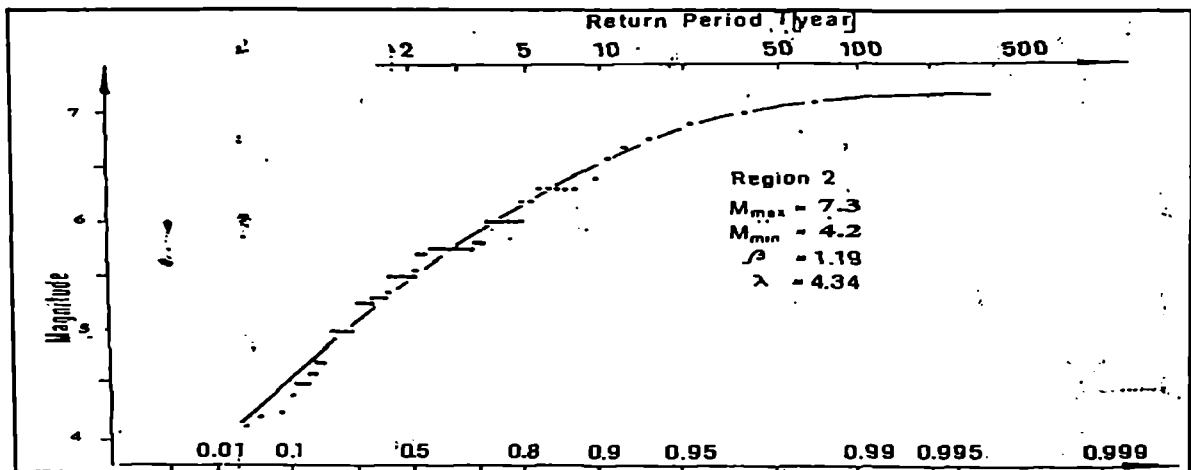
Các công thức (I.11), (I.12), (I.13) ở trên cho ta 3 phương trình hợp lẽ cực đại để xác định λ , β và M_{max} . được trình bày trên *Bảng II-4* và đường cong thể hiện hàm Gumbel xác định giá trị magnitude cực đại cho lãnh thổ Việt Nam được thể hiện trên *Hình II-7*.

Bảng II-4. Bảng phân bố tần số các giá trị magnitude cực đại hàng năm của động đất trên lãnh thổ Việt Nam

Magnitude	Tần số	Magnitude	Tần số
4,1	1	5,5	2
4,3	2	5,6	5
4,4	1	5,7	3
4,6	1	5,8	3
4,7	2	5,9	3
4,8	3	6	4
4,9	3	6,2	1
5,0	4	6,5	2
5,1	1	6,8	3
5,2	2	6,9	1
5,3	4	7	1
5,4	2		

Công thức về sự liên hệ giữa magnitude M và năng lượng E có dạng:

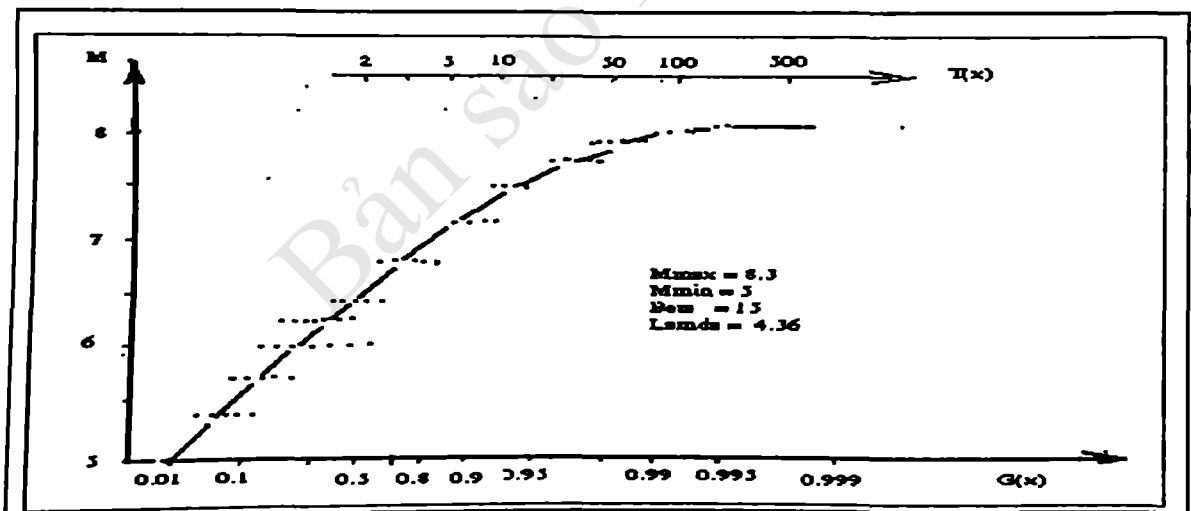
$$\text{Log } E = 11,8 + 1,5 M \tag{II.2}$$



Hình II-7. Hàm Gumbel xác định động đất cực đại lãnh thổ Việt Nam.

Hình II-8 trình bày dạng đường cong cực trị Gumbel loại 1 bị chặn trên, bằng phương pháp bình phương tối thiểu, đối với khu vực Biển Đông và kế cận, các giá trị magnitude cực đại cùng với β và λ được xác định như sau:

$$\beta = 8,3 \quad u_n = 6,1 \quad \lambda = 0,52$$



Hình II-8. Hàm Gumbel xác định động đất cực đại khu vực Biển Đông và kế cận

II.1.7. Bản đồ mật độ động đất

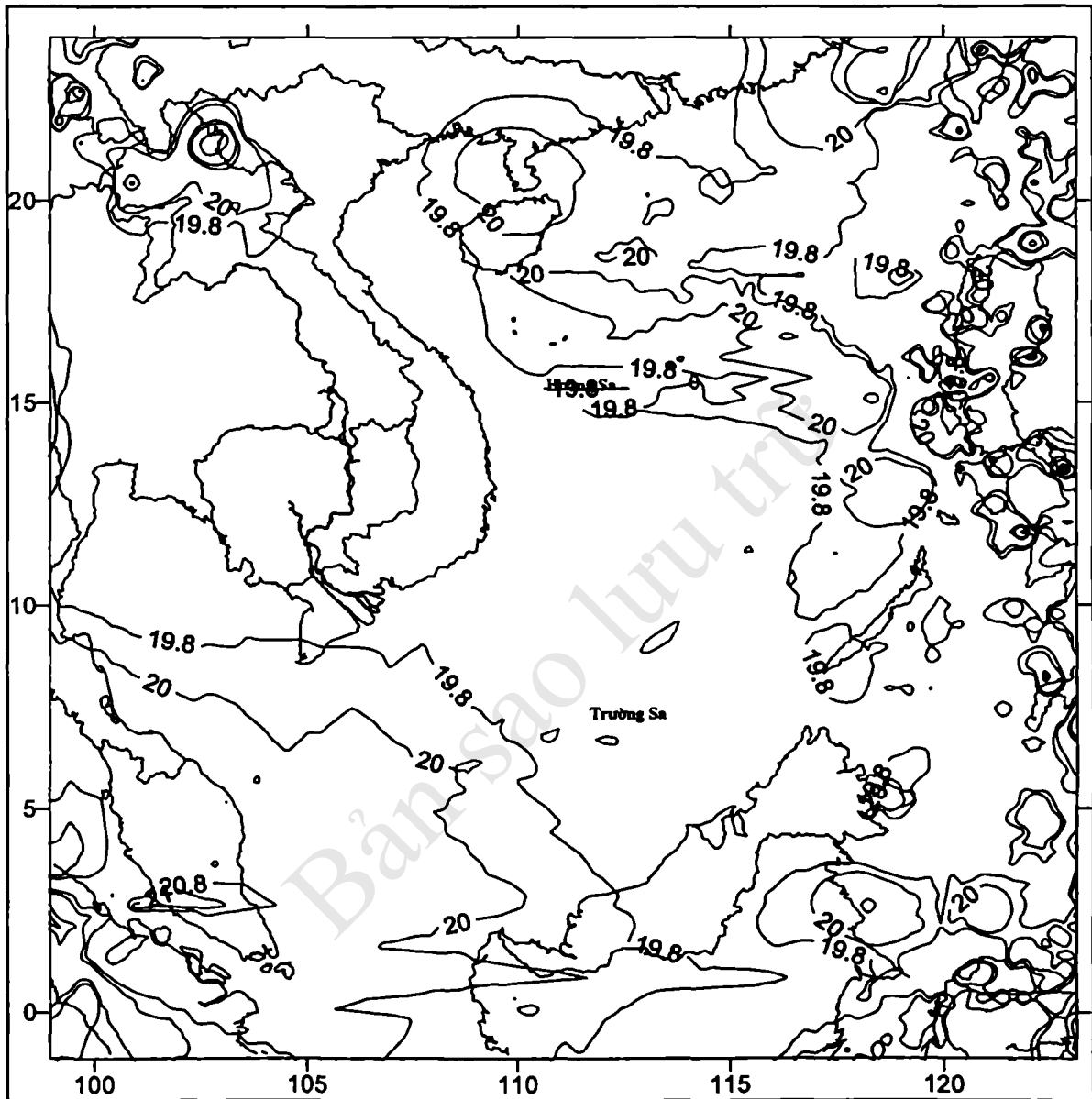
Năng lượng E được tính theo công thức:

$$\text{Log } E = 11,8 + 1,5 M \quad (\text{II.3})$$

ở đây M là magnitude động đất còn năng lượng E tính bằng erg

Bản đồ phân bố mật độ năng lượng động đất khu vực Biển Đông và kế cận cho thời

kỳ 1900 đến 2007 được trình bày trên *Hình II-9* và cho thấy năng lượng động đất chủ yếu tập trung tại phần phía đông khu vực.

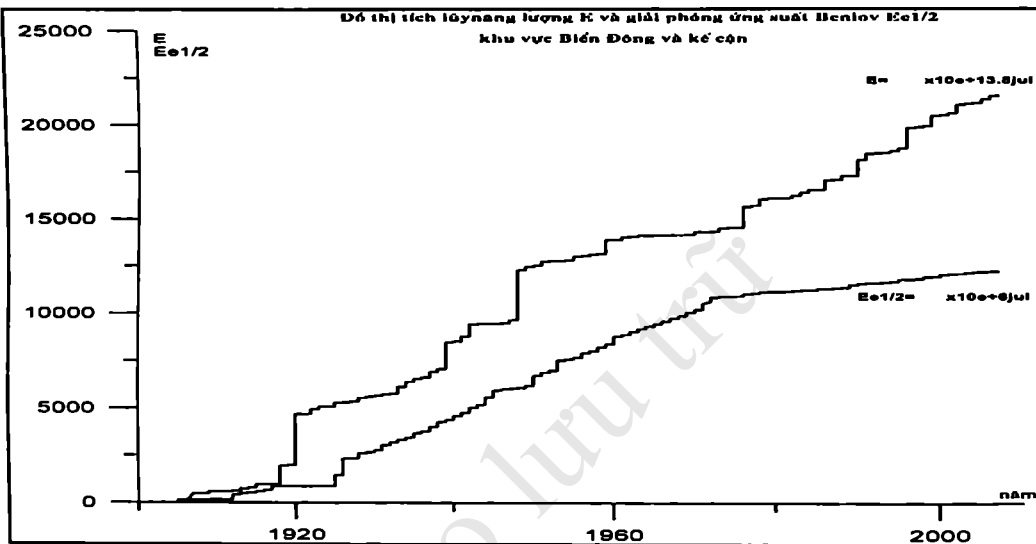


Hình II-9. Mật độ động đất khu vực Biển Đông và lân cận trong 100 năm
($E=10e+\dots\text{erg}$)

Tại đây phổ biến là giá trị mật độ năng lượng là 10^{20} jul trở lên với các đường đẳng trị rất khít nhau kéo dài từ vĩ độ 13°N cho tới vĩ độ 24°N , tại khoảng giữa vĩ độ $3,5^\circ\text{N}$ đến $13,5^\circ\text{N}$ mật độ các đường đẳng trị năng lượng động đất trở nên thưa hơn với các động đất có độ sâu trung bình. Tại đông nam khu vực nơi tập trung các trận động đất sâu, các đường cong mật độ năng lượng thưa hơn và chỉ trong giới hạn từ 1°S đến 3°N nơi của quần đảo Borneo của Indonesia.

II.1.8. Đồ thị tích lũy năng lượng khu vực nghiên cứu

Đồ thị tích lũy năng lượng được trình bày trên *Hình II-10* từ đầu thế kỷ trước cho đến hết năm 2007. Trong vòng 108 năm (từ 1900 đến 2007) các trận động đất trên lãnh thổ Việt Nam giải toả một khối năng lượng là $22.000 \cdot 10^{13,8}$ jul tức $2,2 \cdot 10^{17,8}$ jul, trung bình cho một năm là $2 \cdot 10^{15,8}$ jul/năm, với phần lớn năng lượng được giải toả vào 3 khoảng thời gian là năm 1925, 1935 và 1950.



Hình II-10. Đồ thị tích lũy năng lượng E và giải phóng ứng suất Benioff $E^{1/2}$ khu vực Biển Đông và các vùng kế cận

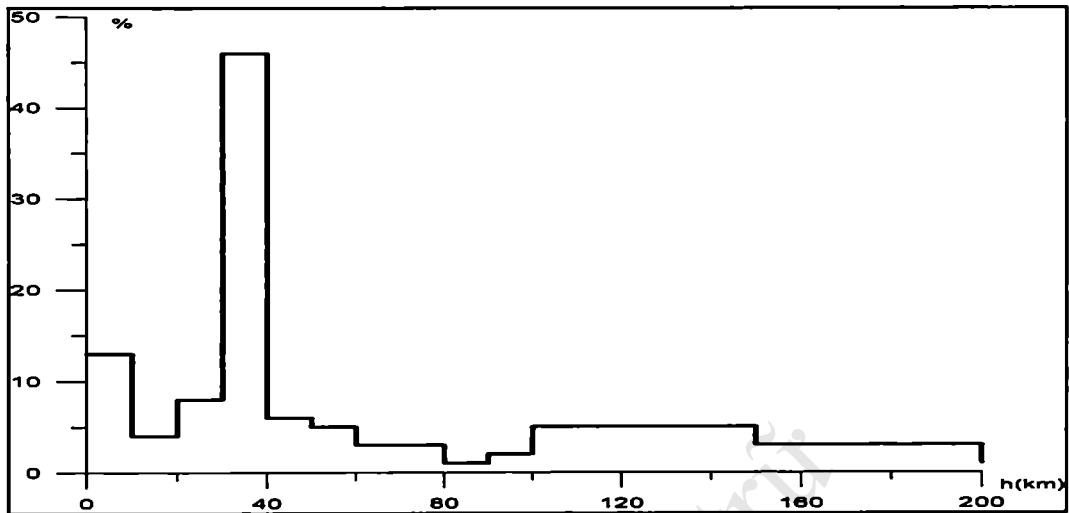
II.1.9. Đồ thị giải phóng ứng suất lãnh thổ Việt Nam

Sự liên hệ giữa năng lượng của động đất E_i và biến dạng trượt trong vỏ Trái đất ε_i được thể hiện dưới dạng

$$\varepsilon_i = c_i \sqrt{E_i} \quad (\text{II.4})$$

Ở đây c_i là hệ số phụ thuộc vào đặc trưng nguồn, tính chất của môi trường đất đá bao quanh chấn tiêu và nhiều yếu tố khác nữa, sự phụ thuộc này nhận được từ mối quan hệ trong lý thuyết về đàn hồi và về sự liên hệ giữa thế năng và bình phương của biến dạng, Benioff đã đưa ra sự tỷ lệ giữa tổng biến dạng $\sum \varepsilon_i$ và đại lượng $\sum \sqrt{E_i}$ đối với một vùng có diện tích không lớn. Cho nên sự phụ thuộc của $\sum E_i$ vào thời gian t được thể hiện trong đồ thị về sự gia tăng của biến dạng. Điều đó cũng có nghĩa rằng ứng suất được giải phóng ra xung quanh chấn tiêu tỷ lệ với căn bậc 2 của năng lượng và đường cong giải phóng ứng suất là đồ thị tích lũy giá trị $E^{1/2}$ ($\text{erg}^{1/2}$) theo thời gian, đối với phần lớn các vùng chỉ dao động trong một giới hạn nhất định và hệ số góc của đồ thị cho biết vận tốc trung bình của ứng suất giải phóng ra. Tại khu vực Biển Đông và kế cận tổng ứng suất giải phóng trong vòng 108 năm là $13 \cdot 10^6 \text{ jul}^{1/2}$ và hệ số góc của đường cong ứng suất có giá trị là $1,2 \cdot 10^5 \text{ jul}^{1/2}$ (*Hình II-10*, đường cong $E^{1/2}$).

II.1.10. Phân độ sâu chấn tiêu động đất



Hình II-11. Số phần trăm các trận động đất có các độ sâu chấn tiêu khác nhau

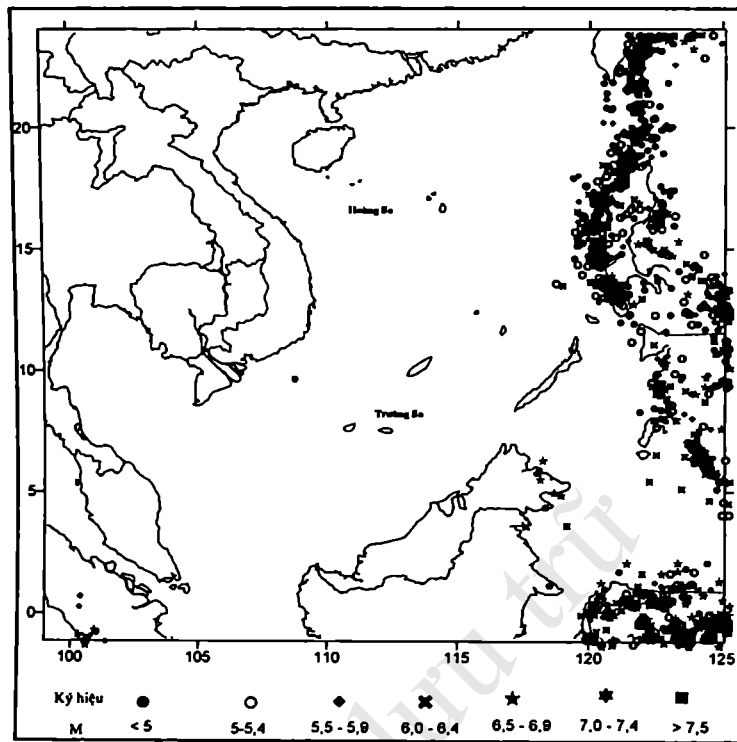
Từ bản đồ phân bố tâm động đất của khu vực (*Hình II-4*) ta có thể thấy các tâm động đất được tập trung chủ yếu tại 3 vùng: Vùng đứt độ giữa các mảng tại quần đảo Philippine, vùng tây bắc và góc đông nam của khu vực.

Đồ thị về số phần trăm các trận động đất có các độ sâu chấn tiêu khác nhau được trình bày trên *Hình II-11*, từ đó ta thấy số động đất có độ sâu chấn tiêu nhỏ hơn 40km chiếm 45%, từ 80-120km là 5%, còn từ 140-200km chiếm khoảng 3%, có 857 trận động đất có độ sâu lớn hơn 100km, 177 trận động đất có độ sâu lớn hơn 200 km, 80 trận động đất có độ sâu chấn tiêu lớn hơn 500km và 36 trận động đất có độ sâu chấn tiêu lớn hơn 600km và độ sâu lớn nhất đã đạt tới độ sâu 678km. Điều đó cho thấy phần lớn động đất xảy ra nằm trong phạm vi vỏ Trái đất và đây cũng là những đặc điểm chính của các trận động đất trong khu vực.

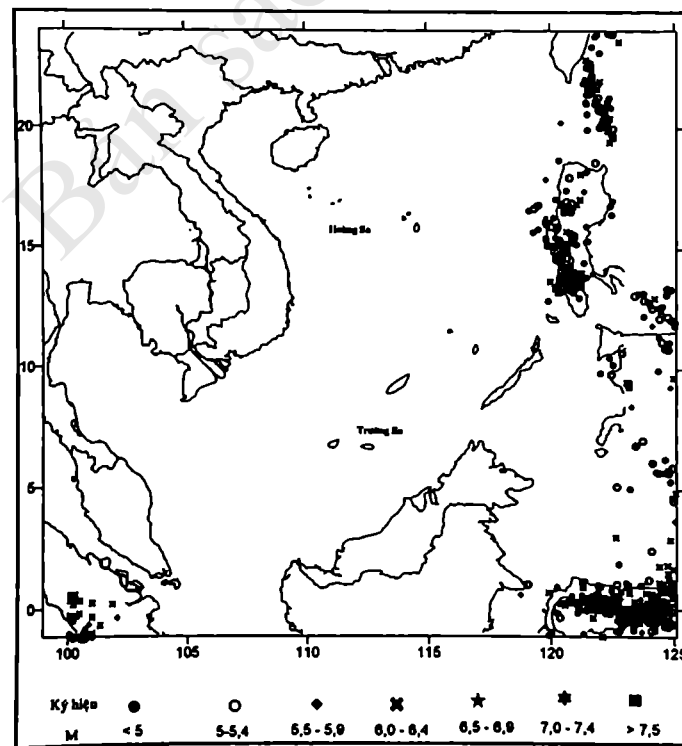
II.1.11. Các mặt cắt chấn tiêu động đất tại các độ sâu khác nhau

Các *Hình II-12, Hình II-13, Hình II-14, Hình II-15* xây dựng các bản đồ cho các chấn tiêu động đất tương ứng với các độ sâu $h=50-100\text{km}$, $h=100-200\text{km}$, $h=200-300\text{km}$ và $h=300-700\text{km}$. Từ các hình trên cho thấy khu vực có 3 vùng với các đặc trưng về độ sâu rõ rệt.

Tại vùng tây bắc của khu vực có tất cả 160 tâm động đất trong số này có 135 trận động đất có $M < 5$; 19 trận động đất có $M < 5,5$; 6 trận động đất có $M < 6$; trận động đất có magnitude lớn nhất là 6,9 còn phân bố theo độ sâu có 158 trận động đất có độ sâu từ 10 cho đến 33 km và 2 trận động đất có độ sâu dưới 50km, trong đó có 1 trận động đất tại khu vực Vũng Tàu. Trên *Hình II-12* là mặt các chấn tâm động đất có độ sâu từ 50km đến 100km, điều này cũng có nghĩa là các trận động đất có độ sâu trên 50km sẽ không có mặt trên tấm bản đồ này, đồng thời nó cũng chứng tỏ rằng tại khu vực tây bắc không có các trận động đất có độ sâu trên 50km.

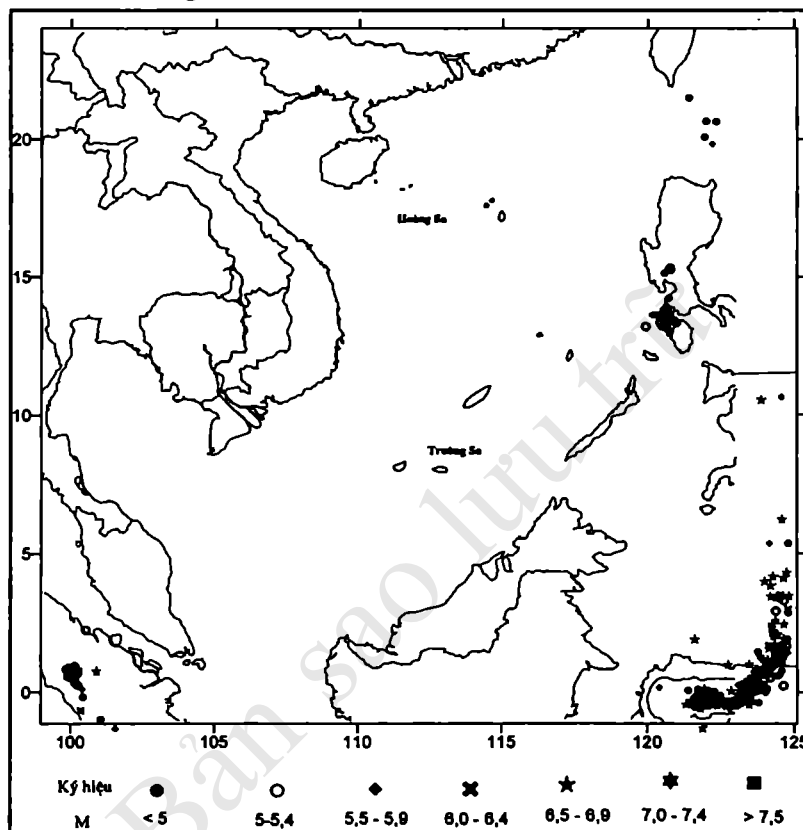


Hình II-12. Các tâm động đất tại các độ sâu từ 50-100km



Hình II-13. Các tâm động đất tại các độ sâu từ 100-200km

Tại rìa phía đông khu vực bao gồm phần phía bắc đảo Luzon và phần lãnh thổ Philippines chứa đựng 90% các chấn tâm động đất của toàn khu vực nghiên cứu. *Hình II-13* trình bày mật các chấn tiêu động đất tại độ sâu từ 100km đến độ sâu 200km và *Hình II-14* tại độ sâu từ 200km đến 300km. Từ các hình này đã cho thấy tại khu vực rìa phía đông Biển Đông tuyệt đại đa số các tâm động đất có độ sâu nhỏ hơn 200km và chỉ còn rất ít các chấn tiêu động đất có độ sâu trên 200km

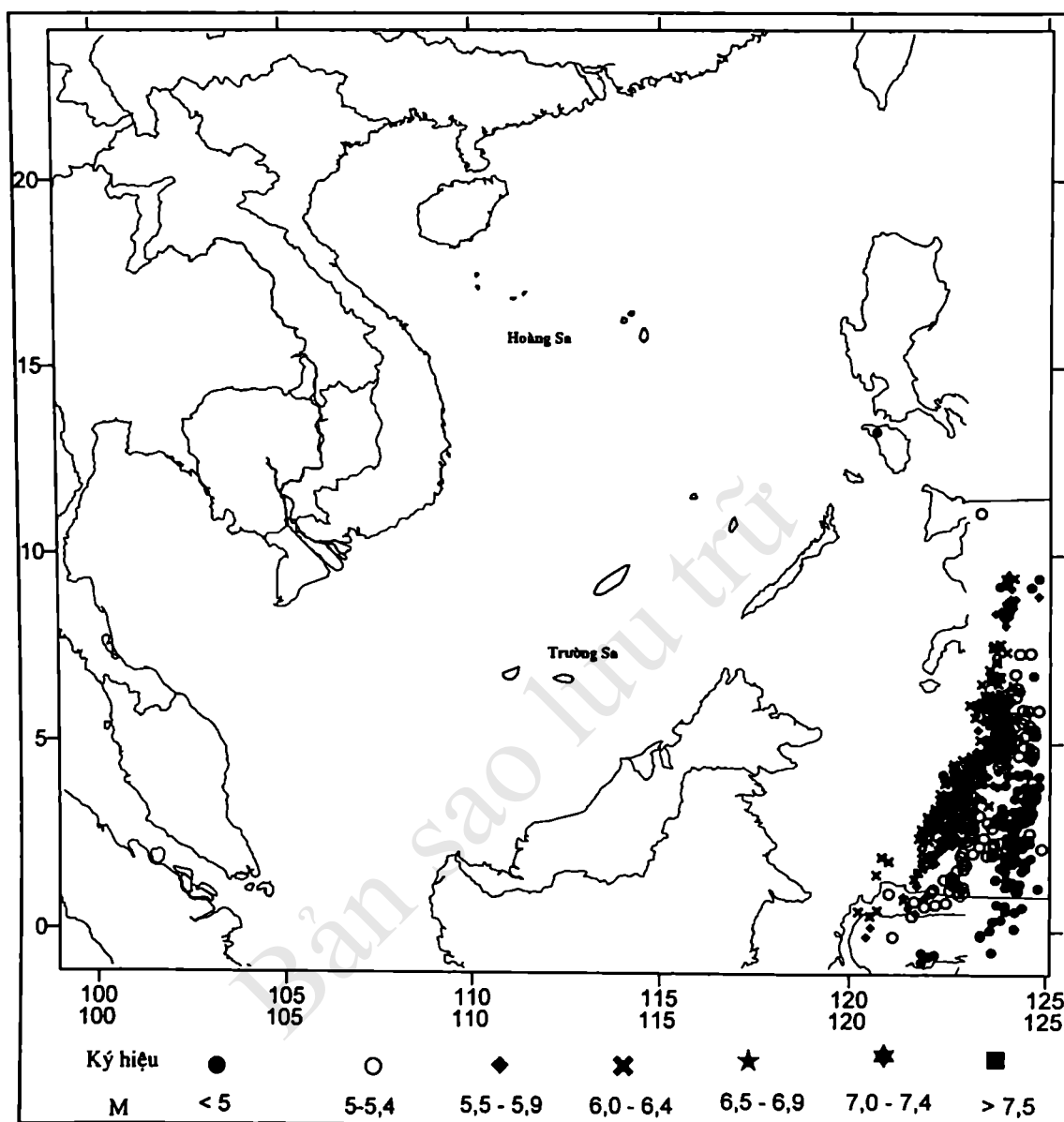


Hình II-13. Các tâm động đất tại các độ sâu từ 200-300km

Tại khu vực đông nam Biển Đông (nằm trong khoảng vĩ độ 0 cho đến 5°N và kinh độ từ 120 đến 125°E) có tất cả 2688 trận động đất trong đó magnitude $M < 5$ có 1957 chấn tiêu, với $M=5$ đến 5,9 có 692 chấn tiêu động đất, với $M=6-6.9$ có 33 chấn tiêu và $M=7$ đến 7.5 là 5 chấn tiêu. Trên *Hình II-15* là mật các chấn tiêu động đất có độ sâu từ 300km cho đến 700km và hình vẽ chứng tỏ rằng vùng đông nam của khu vực là vùng duy nhất các chấn tiêu động đất có các độ sâu này.

Như vậy các bản đồ từ các *Hình II-12*, *Hình II-13*, *Hình II-14*, *Hình II-15* cho ta kết luận tóm tắt như sau:

- Vùng tây bắc tức thuộc lục địa Âu-Á các tâm động đất có độ sâu không quá 50km.
- Vùng quần đảo Philippine tuyệt đại đa số các tâm động đất có độ sâu không quá 200km (chỉ có khoảng 20 trận động đất có độ sâu lớn hơn 200km).
- Vùng đông nam cho thấy các tâm động đất có độ sâu từ 300 đến 700km.



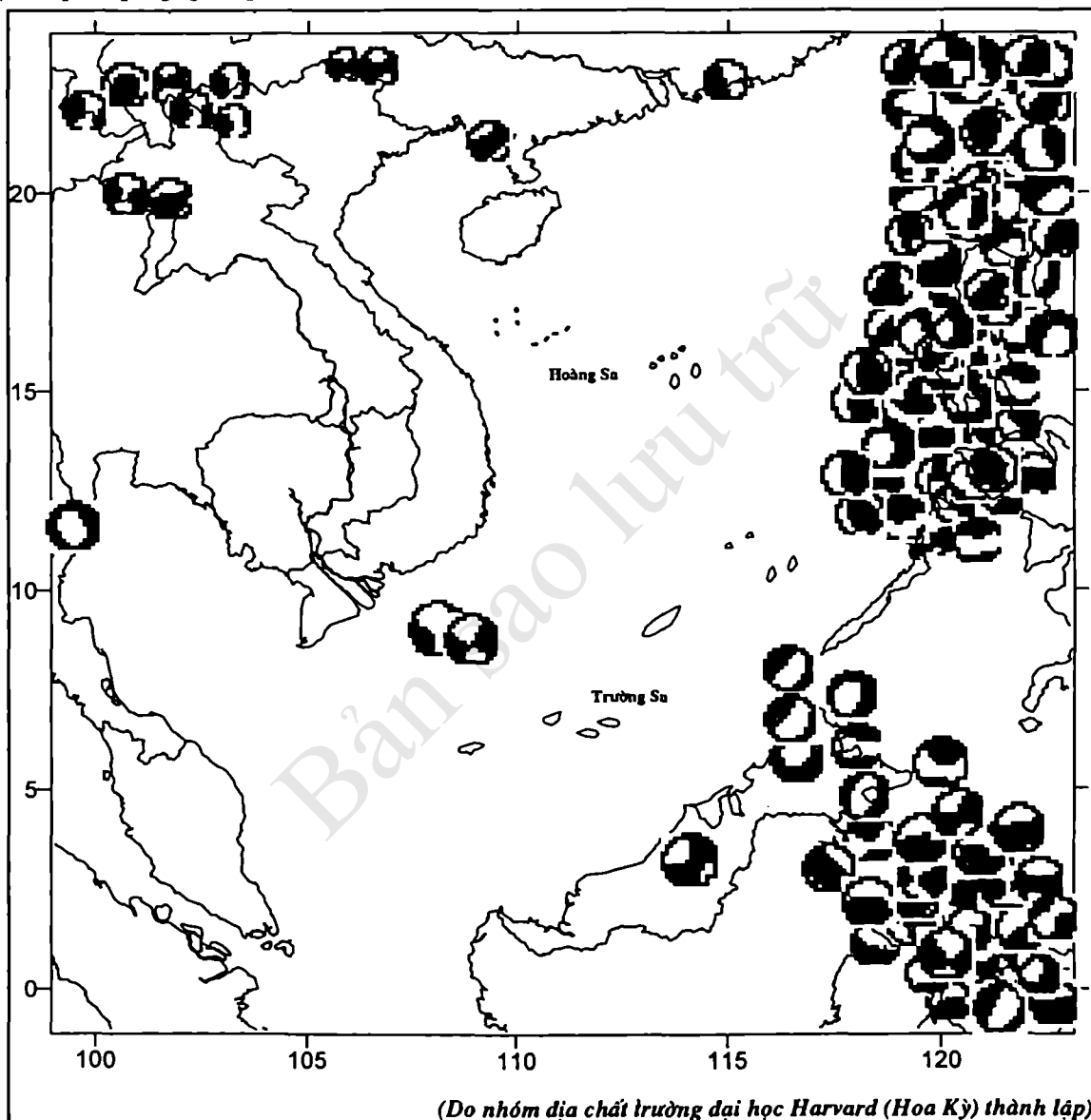
Hình II-15. Các tâm động đất tại các độ sâu từ 300-700km

II.1.12. Cơ cấu chấn tiêu khu vực nghiên cứu

Khi nghiên cứu cơ cấu chấn tiêu động đất khu vực Biển Đông đã sử dụng các kết quả thành lập cơ cấu chấn tiêu động đất do nhóm địa chấn thuộc trường Đại học Harvard thành lập cho động đất trên phạm vi toàn thế giới từ năm 1976 đến nay. Các kết quả cho khu vực Biển Đông được trình bày trên *Hình II-17*, *Hình II-18*.

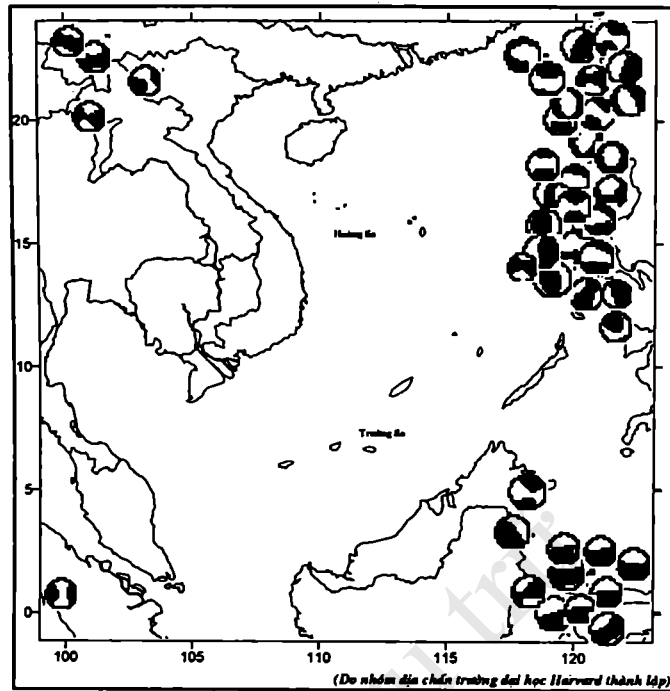
Trên *Hình III-16* trình bày bản đồ cơ cấu chấn tiêu của các động đất trong khu vực nghiên cứu, các cơ cấu chấn tiêu này được xác định bởi nhóm địa chấn trường Đại học Harvard (Hoa Kỳ) thành lập kể từ năm 1976 cho các trận động đất có các giá trị

magnitude xấp xỉ 5 trở lên. Trên bản đồ là các động đất khu vực có giá trị magnitude bất kỳ tức là từ 5 trở lên. Tại tây bắc của khu vực, đa số các động đất thể hiện dạng dịch chuyển theo phương trượt bằng (strike slip), còn các động đất tại rìa phía đông khu vực thể hiện dạng chuyển động trượt thuận (normal slip) hoặc chồm nghịch (thrust). Tại góc đông nam khu vực phần lớn các động đất thể hiện dạng chuyển động xiên chéo (oblique) [59], [126].

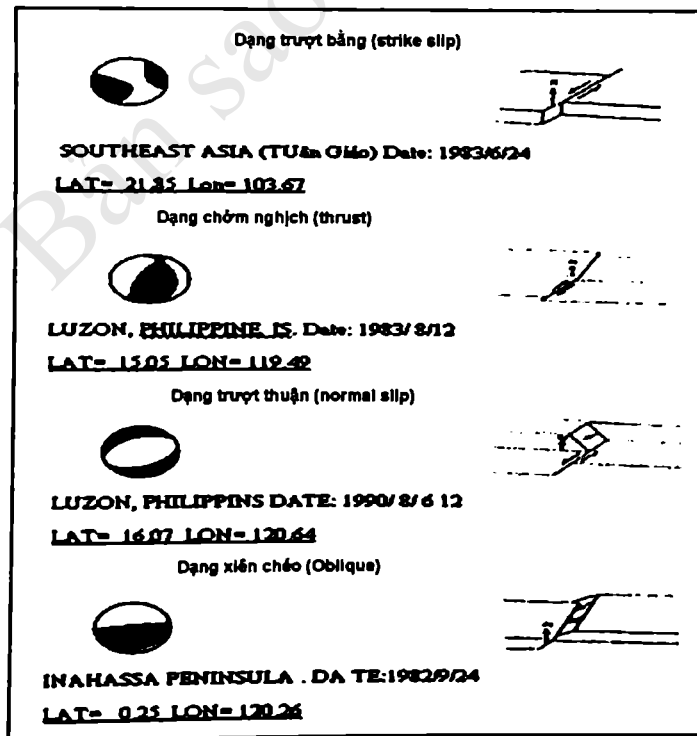


Hình II-16. Bản đồ cơ cấu chấn tiêu khu vực Biển Đông và lân cận

Trên bản đồ còn thể hiện 2 cơ cấu chấn tiêu xảy ra tại Nam Trung Bộ vào hai ngày 5 và 6 tháng 11 năm 2005 (thông số chi tiết được trình bày trên Hình II-3). Việc phân loại cơ cấu chấn tiêu được thể hiện rõ hơn trên Hình II-17 chỉ với các động đất có magnitude từ 6 trở lên.



Hình II-17. Bản đồ cơ cấu chấn tiêu khu vực Biển Đông và lân cận, thời kỳ 1976-2006 với $M \geq 6$



Hình II-18. Bốn dạng cơ cấu chấn tiêu cơ bản tương ứng với 4 loại dịch chuyển tại chấn tiêu

II.1.13. Một số nhận định

Các kết quả nghiên cứu đã cho thấy khu vực Biển Đông và các vùng kế cận gồm 3 vùng có những đặc điểm khác biệt:

Vùng tây bắc của khu vực đặc trưng bởi 2 đới: vùng nền Nam Trung Hoa (Trung Quốc) ở bên phải và vùng uốn nếp ở bên trái của đứt gãy Sông Chày, Sông Hồng. Các động đất ở đây xảy ra tại độ sâu nhỏ với độ sâu chấn tiêu dưới 50km, cơ cấu chấn tiêu động đất thể hiện vùng uốn nếp bởi cơ chế trượt bằng với magnitude cực đại là 7.3.

Rìa phía đông khu vực là vùng có cơ chế nén ép giữa 2 mảng: mảng biển Philippine ở phía đông dịch chuyển về phía tây và mảng Biển Đông (Sunda) dịch chuyển về phía đông đã tạo ra vùng các chấn tâm động đất có độ sâu trung bình không vượt quá 200km. Các quá trình dịch chuyển tại đây chỉ xảy ra trong quyển cứng (lithosphere) với magnitude cực đại là $M=8.3$.

Tại góc đông nam khu vực lát cắt chấn tiêu động đất đã thể hiện một khu vực các chấn tiêu động đất có độ sâu lớn tới 700km với dạng của một vùng chôn gói (subduction) nghiêng về phía trung tâm Biển Đông. Đây là một vùng nhỏ của một dải động đất lớn nằm bên ngoài khu vực Biển Đông.

II.2. TỔNG QUAN VỀ TÍNH ĐỊA CHẤN KHU VỰC ĐÔNG NAM Á

II.2.1. Danh mục động đất khu vực Đông Nam Á (ĐNA) giai đoạn 1278-2008

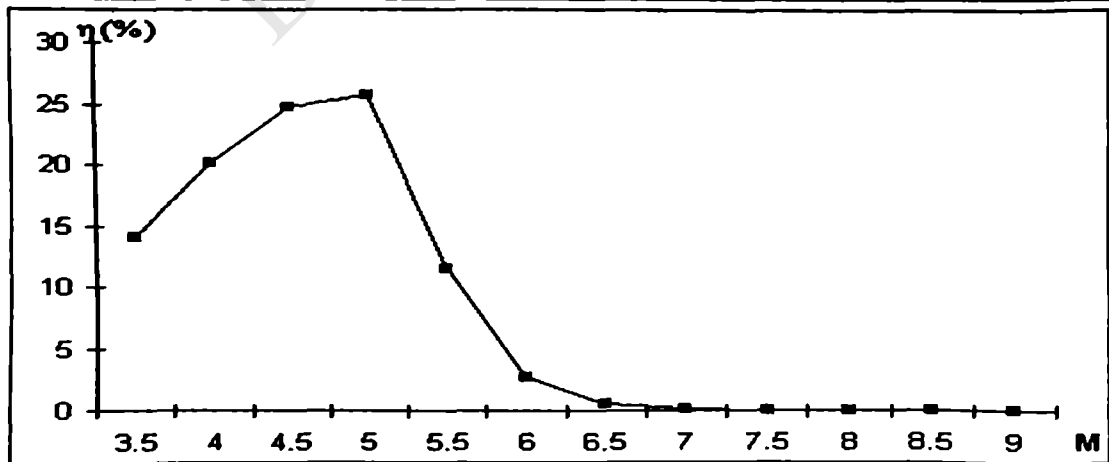
Qua xem xét các kết quả nghiên cứu đặc điểm tính địa chấn và các đặc trưng cơ bản của động đất khu vực ĐNA, kết hợp phân tích so sánh với nhiều kết quả nghiên cứu khác về kiến tạo, về các điều kiện địa động lực và các tài liệu về địa hình, độ sâu vùng ven biển cho thấy: Mặc dù phía tây nam Việt Nam tồn tại một vành đai động đất hoạt động rất tích cực, liên quan với chuyển động của mảng thạch quyển Ấn-Úc và đới hút chìm lớn trong khu vực, nhưng ảnh hưởng của động đất gây sóng thần (nếu có) đối với vùng bờ biển Việt Nam có thể bị hạn chế bởi bức tường chắn Thái Lan, Malaysia, Singapore. Vì thế, vùng động đất hoạt động mạnh, có khả năng gây sóng thần ảnh hưởng đến bờ biển Việt Nam chủ yếu từ phía Biển Đông thuộc khu vực bờ tây Philippin, bờ tây Indonesia và bắc, tây-bắc Malaysia. Mặc dù số lượng chấn tâm động đất đã xảy ra ở khu vực này (giai đoạn 1970-1996) ít hơn hẳn so với khu vực phía tây, tây-nam và toàn khu vực Đông Nam Á (454/6315), nhưng đã có động đất mạnh với magnitude $M = 7.6$ xảy ra từ phía này [21]. Mặt khác, do khu vực nghiên cứu trong các công trình trước đây phần lớn đều giới hạn bởi kinh độ $\lambda = 90-120^{\circ}\text{E}$, nên còn khá nhiều các trận động đất mạnh khác nằm trong khoảng kinh độ $120-145^{\circ}\text{E}$ chưa được xem xét. Vì vậy để nghiên cứu tổng quan về tính địa chấn khu vực Đông Nam Á, phục vụ đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng ven biển và hải đảo Việt Nam, người ta đã mở rộng phạm vi nghiên cứu trên diện tích giới hạn bởi các tọa độ $\varphi = 10^{\circ}\text{S} - 30^{\circ}\text{N}$; $\lambda = 90-140^{\circ}\text{E}$. Thu thập và chỉnh lý số liệu về động đất có được từ các nguồn khác nhau cho phép xây dựng được danh mục động đất khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2008. Cần thấy rằng danh mục động đất này đã được thành lập trên cơ sở phân tích hàng

loạt các tài liệu địa chấn, nhận được từ các thông báo của các tổ chức địa chấn quốc tế và khu vực [102], [149], [153] với việc áp dụng một cách tiếp cận duy nhất theo [21] khi chỉnh lý, phân tích và liên kết các số liệu thu thập được.

Danh mục động đất ĐNA (1278-2008) bao gồm 87569 trận động đất với magnitude $M \geq 3.0$. Phân bố số lượng động đất theo magnitude được chỉ ra tại *Bảng II-5* và trên *Hình II-19*. Từ các số liệu tại *Bảng II-5* và kết quả trên *Hình II-19*, thấy rằng phần lớn động đất khu vực ĐNA (trên 50%) có magnitude trong khoảng $M = 4.0-5.0$. Một phần không nhỏ động đất với magnitude $M < 4.0$ (34.3%). Số lượng động đất với Magnitude $M \geq 5$ chiếm tỷ lệ nhỏ (chỉ khoảng trên 14%), trong đó số lượng động đất với Magnitude $M \geq 7$ chiếm tỷ lệ chưa được 0.1%.

Bảng II-5. Phân bố động đất theo magnitude

Magnitude M	Số lượng động đất	Tỷ lệ %
3.0-3.5	12383	14.141
3.6-4.0	17706	20.219
4.1-4.5	21681	24.759
4.6-5.0	22591	25.798
5.1-5.5	10156	11.598
5.6-6.0	2341	2.673
6.1-6.5	537	0.613
6.6-7.0	115	0.131
7.1-7.5	35	0.040
7.6-8.0	18	0.021
8.1-8.5	3	0.003
8.6-9.0	3	0.003



Hình II-19. Phân bố số lượng động đất khu vực ĐNA (1278-2008) theo magnitude

Phân bố số lượng động đất theo độ sâu chấn tiêu được chỉ ra tại Bảng II-6. Các số liệu tại Bảng II-6 cho thấy phần lớn động đất khu vực ĐNA (gần 65,24%) có độ sâu chấn tiêu trong khoảng $H \leq 50$ km (thuộc vỏ Trái đất). Số lượng động đất có độ sâu chấn tiêu $H \geq 300$ km không nhiều, Vì thế, tại Bảng II-6 chỉ biểu diễn đến độ sâu 310km.

Bảng II-6. Phân bố động đất theo độ sâu chấn tiêu (km)

Độ sâu chấn tiêu H(km)	Số lượng động đất	Tỷ lệ %	Độ sâu chấn tiêu H(km)	Số lượng động đất	Tỷ lệ %
0-10	11993	13.70	161-170	859	0.98
11-20	7845	8.96	171-180	660	0.75
21-30	6630	7.57	181-190	528	0.60
31-40	25629	29.27	191-200	428	0.49
41-50	5024	5.74	201-210	490	0.56
51-60	4320	4.93	211-220	326	0.37
61-70	3978	4.54	221-230	260	0.30
71-80	3114	3.56	231-240	222	0.25
81-90	2638	3.01	241-250	231	0.26
91-100	1806	2.06	251-260	185	0.21
100-110	2021	2.31	261-270	134	0.15
111-120	1460	1.67	271-280	122	0.14
121-130	1245	1.42	281-290	128	0.15
131-140	1061	1.21	291-300	119	0.14
141-150	899	1.03	301-310	2158	2.46
151-160	1056	1.21	Tổng cộng	87569	100.00

Như đã thấy, số lượng động đất từ danh mục Đông Nam Á rất nhiều, gần 30% trong đó động đất yếu với magnitude $M < 4$. Vì vậy, để đảm bảo tính độc lập của các trận động đất khi nghiên cứu, đánh giá độ nguy hiểm động đất, sóng thần vùng ven biển và hải đảo Việt Nam, trong công trình [25], đã thiết lập chương trình “Aftershock-LP08” trên cơ sở phương pháp cửa sổ không gian-thời gian để áp dụng tách các nhóm tiền chấn-dư chấn từ danh mục động đất nêu trên.

Qua phân tích kết quả xử lý lặp trong quá trình tách các nhóm tiền chấn, dư chấn từ danh mục động đất Đông Nam Á bao gồm 87569 trận động đất với magnitude $M \geq 3.0$ cho thấy phần lớn các trận động đất với $M < 4$ là các trận động đất độc lập, chỉ một phần trong chúng là dư chấn của những trận động đất với $M > 7.0$. Mà nhiệm vụ đặt ra khi đánh giá tổng quan tính địa chấn khu vực Đông Nam Á là nghiên cứu các trận động đất mạnh với magnitude $M \geq 5.5$. Vì vậy, trong quá trình xử lý tiếp theo, chỉ xem xét các trận động đất với magnitude $M \geq 4.0$. Do đó, trên cơ sở các ranh giới cửa sổ không gian, thời gian tiến hành tách TC-DC từ danh mục Đông Nam Á với tổng số 57480 trận động đất với magnitude $M \geq 4.0$ trong [25].

Sau khi chỉnh lý toàn bộ danh mục động đất theo tiêu chuẩn, trong [25], chương trình "Aftershock-LP08" đã tách được 7969 nhóm tiền chấn và dư chấn. Khi loại trừ khỏi danh mục động đất tất cả các tiền chấn và các dư chấn, còn lại 22542 trận động đất, trong số đó 14573 động đất không phụ thuộc (độc lập) và 7969 trận kích động chính trong các nhóm đã được tách ra. Từ 34938 trận động đất đã được loại khỏi danh mục, 14492 trận là tiền chấn và 20446 trận - dư chấn.

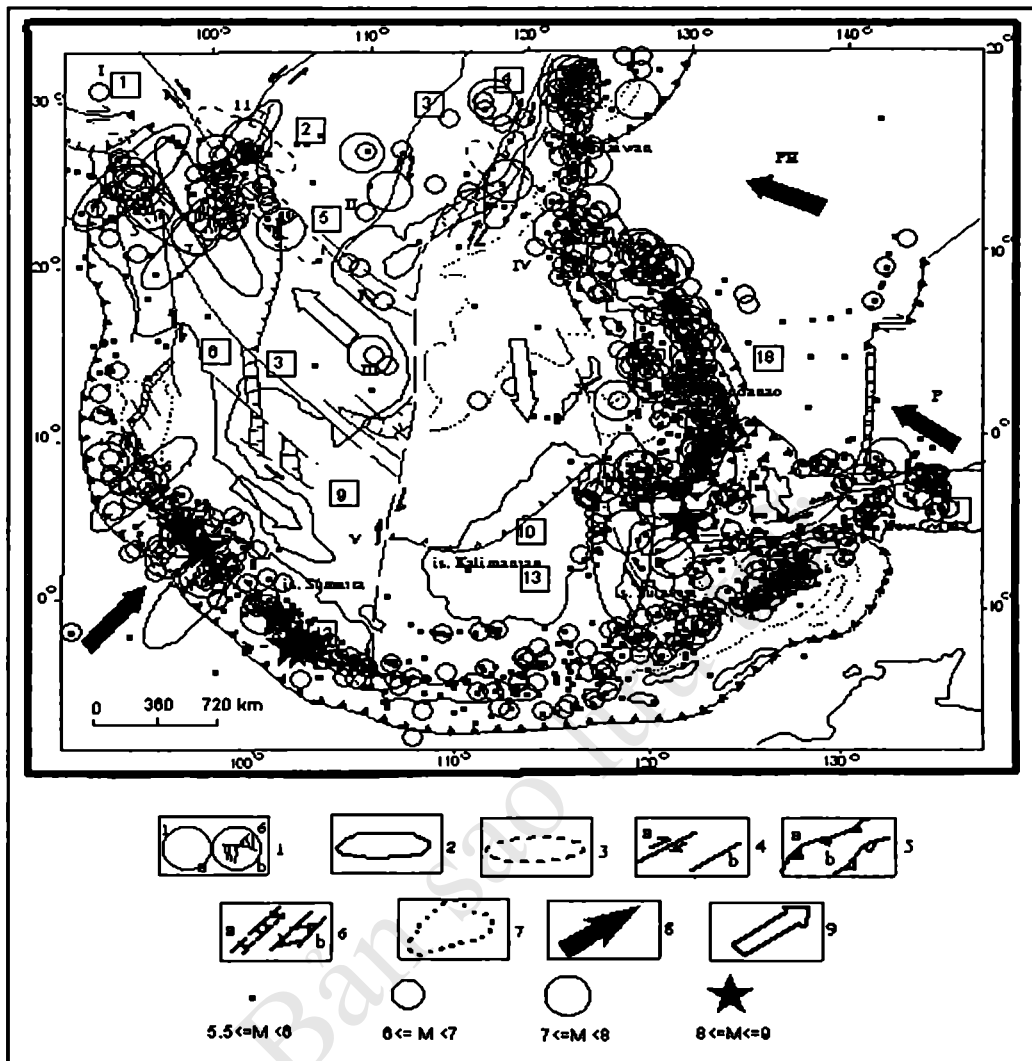
Các nghiên cứu tiếp theo dưới đây đối với khu vực ĐNA sẽ được tiến hành trên cơ sở danh mục động đất độc lập bao gồm 22542 trận động đất. Cần lưu ý rằng do danh mục này chứa số lượng động đất rất lớn, không dẫn ra danh mục tổng hợp mà chỉ dẫn ra danh mục các trận động đất mạnh với magnitude $M \geq 6.0$ (gồm 544 trận).

II.2.2. Các đặc điểm hoạt động động đất khu vực Đông Nam Á

II.2.2.1. Bản đồ chấn tâm động đất khu vực ĐNA

Từ danh mục động đất độc lập được thành lập, tiến hành xây dựng bản đồ chấn tâm các trận động đất mạnh với magnitude $M \geq 5.5$. Các kết quả được chỉ ra trên Hình II-20. Cần lưu ý rằng, bản đồ chấn tâm động đất (Hình II-20) được xây dựng trên nền của sơ đồ địa động lực hiện đại khu vực ĐNA [21], [110].

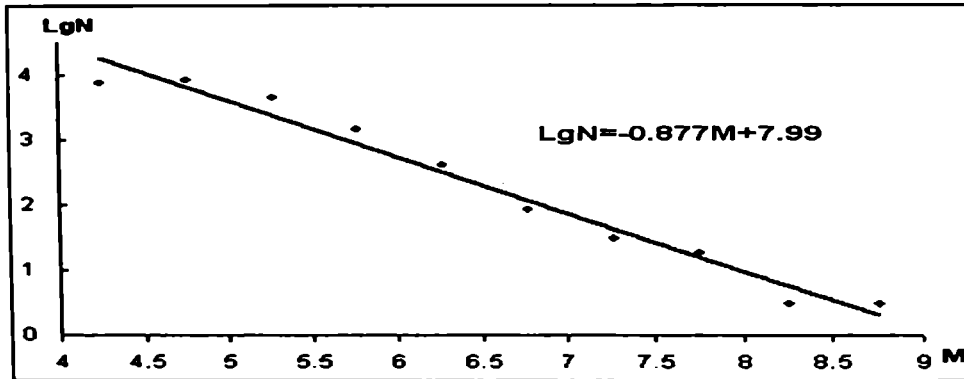
Các kết quả trên Hình II-20 cho thấy chấn tâm các trận động đất mạnh rõ ràng phân bố chủ yếu tại nơi tiếp giáp giữa các đới kiến tạo chính và các vùng chuyển tiếp của khu vực nghiên cứu. Đáng chú là trong cả chu kỳ xem xét (1278-2008) trên toàn khu vực nghiên cứu đã xảy ra 6 trận động đất mạnh nhất với magnitude $M > 8.0$. Trừ chấn tâm của trận động đất mạnh ngày 29.11.1998 với magnitude $M = 8.3$ phân bố ở phía đông nam khu vực ĐNA tại tọa độ $\varphi = -2.070N$, $\lambda = 124.890E$, chấn tâm của cả 5 trận động đất mạnh nhất còn lại đều phân bố tại phần tây nam khu vực ĐNA, dọc theo đới hút chìm Sunda Trench. Điều đó một lần nữa khẳng định về hoạt động kiến tạo hiện đại tại khu vực này dưới ảnh hưởng của sự dịch chuyển của mảng Ấn-Úc về phía bắc-đông bắc như đã chỉ ra trong [22].



Hình II-20. Bản đồ chấn tâm động đất mạnh khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2008

Chú thích: 1- Chấn tâm một số trận động đất mạnh nhất và số thứ tự của chúng: a- thiếu lời giải cơ cấu chấn tiêu, b- Với lời giải cơ cấu chấn tiêu (vùng gạch – vùng sóng nét); 2, 3 - Kích thước và hình dạng của vùng chấn tiêu động đất với hướng phân bố tiên và dư chấn: 2- Theo không gian, 3- Theo tiến trình thời gian; 4, 5- Các đứt gãy chính, hoạt động trong Kainozoi muộn: 4- Dịch chuyển ngang (a- xác định và già định, b- đứt gãy hành tinh); 5- Vùng sụt lún lớn (a- Đới Benhiop, b- Sụt lún khác); 6- Các cấu trúc giãn: a- Rãnh sâu ven biển, b- Bể trầm tích trong giới hạn lục địa và thềm lục địa; 7- Vành đai hồ nước sâu ven bờ biển; 8, 9- Các vec tơ dịch chuyển: 8- Cửa màng thạch quyển chính, 9- Cửa các khối phần đông nam màng Âu - Á. Các màng chính được kí hiệu bằng các chữ: EU - Âu - Á, IN - Ấn - Úc, P - Thái Bình Dương, PH - Các màng nhỏ Philipin. Các chữ số La Mã kí hiệu cho các khối: I - Tibet-Hymalaya, II - Đông Nam Trung Quốc, III - Đông Dương, VI - Biển Nam Trung Quốc, V - Trung Xông đơ, VI - Kalimantan-Iava. Các số trong các ô vuông kí hiệu cho các đứt gãy: 1- Sụt lún tiếp giáp chính, 2- Siaoiang, 3- Phancheng-Linsan, 4- Đông Giang- Chingiangpy, 5- Sông Hồng, 6- Sagaing, 7- Xuyên Đông Dương, 8- Philipin, 9- Hainanh - Natuna, 10- Tuyến Lupar, 11- Sorong, 12- Semanko, 13- Sulavesi - Palavan.

II.2.2.2. Đồ thị lặp lại và mức đại diện động đất khu vực ĐNA

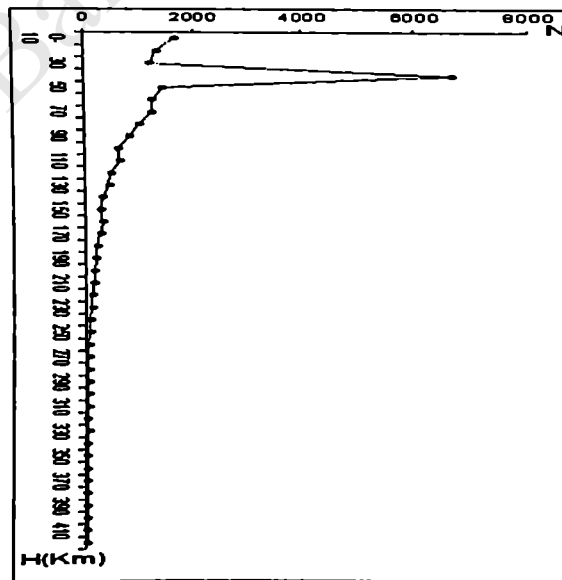


Hình II-21. Đồ thị lặp lại động đất khu vực ĐNA

Trên cơ sở các số liệu trong danh mục động đất độc lập (bao gồm 22542 trận động đất với magnitude $M \geq 4.0$), đã xây dựng đồ thị lặp lại động đất cho khu vực ĐNA giai đoạn nghiên cứu. Kết quả được chỉ ra trên Hình II-21. Phân tích đồ thị lặp lại trên Hình II-21 cho thấy động đất khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2008 có mức đại diện magnitude $M=4.5$.

II.2.2.3. Phân bố số lượng động đất theo độ sâu chấn tiêu.

Tiếp theo, ta tiến hành xem xét phân bố số lượng động đất theo độ sâu chấn tiêu bằng cách xây dựng đồ thị Hình II-22 trên cơ sở các số liệu từ danh mục động đất độc lập. Phân tích đồ thị trên Hình II-22 chỉ ra rằng trong chu kỳ xem xét, phần lớn động đất trong khu vực có chấn tiêu phân bố trong khoảng $H=30-50$ km. Động đất sâu ($H>300$ km) trong khu vực nghiên cứu không nhiều.

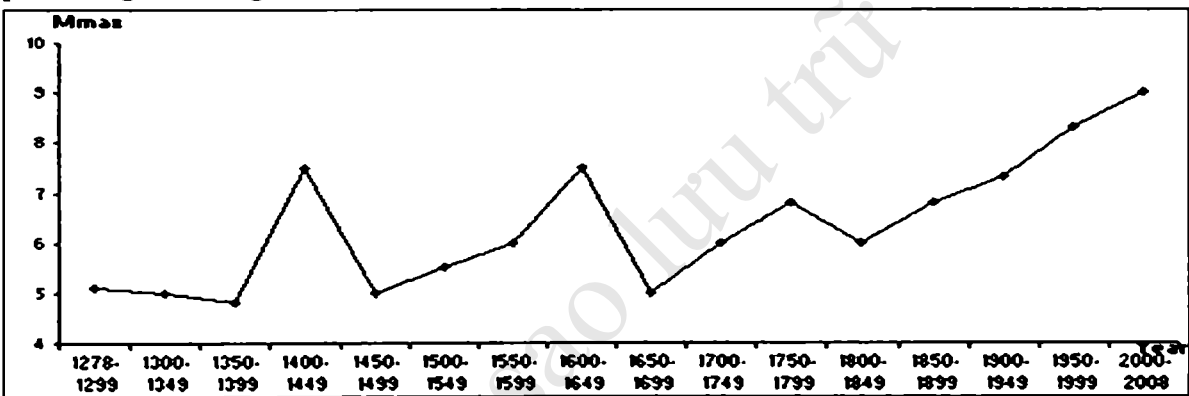


Hình II-22. Phân bố số lượng động đất khu vực ĐNA theo độ sâu chấn tiêu

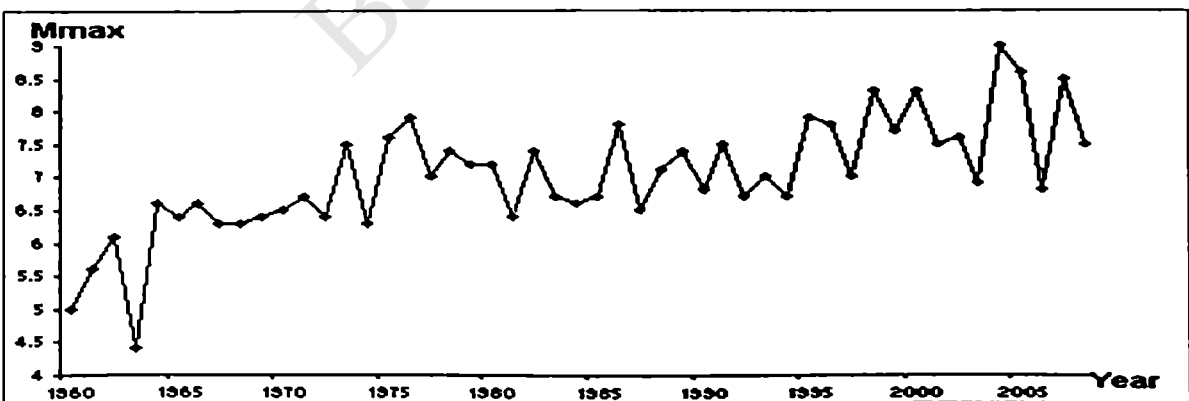
II.2.2.4. Phân bố động đất cực đại theo năm

Để xem xét quy luật phân bố động đất cực đại theo thời gian, ta tiến hành xây dựng các đồ thị phân bố giá trị magnitude cực đại theo năm. Các kết quả nhận được được chỉ ra trên Hình II-23, Hình II-24.

Hình II-23 biểu diễn phân bố giá trị magnitude động đất cực đại theo năm đối với khu vực ĐNA trên cơ sở chu kỳ số liệu từ năm 1278-2008 với bước chọn 50 năm. Các kết quả trên Hình II-23 chỉ ra rằng, do sự không đầy đủ về số liệu địa chấn ở các thời kỳ trước năm 1960, nên đồ thị Hình II-23 không có tính liên tục về thời gian. Vì vậy các kết quả nhận được trên Hình II-23 chưa phản ánh rõ nét tính quy luật của phân bố giá trị magnitude động đất cực đại theo năm. Mặt khác, qua phân tích danh mục động đất ĐNA giai đoạn 1278-2008 cho thấy chỉ từ năm 1960 trở đi, chu kỳ số liệu địa chấn máy (quan sát bằng máy) mới tỏ ra khá liên tục và tương đối đầy đủ. Vì vậy, ta lại xây dựng đồ thị phân bố giá trị magnitude cực đại theo năm đối với giai đoạn này (xem Hình II-24).



Hình II-23. Phân bố các giá trị magnitude động đất cực đại khu vực ĐNA theo năm (Chu kỳ số liệu tổng hợp 1278-2008)



Hình II-24. Phân bố các giá trị magnitude động đất cực đại khu vực ĐNA theo năm (Chu kỳ số liệu 1960-2008)

Có thể thấy rằng các kết quả trên Hình II-24 thể hiện khá rõ nét tính chu kỳ của quy luật phân bố giá trị magnitude động đất cực đại theo năm đối với khu vực ĐNA. Các cực

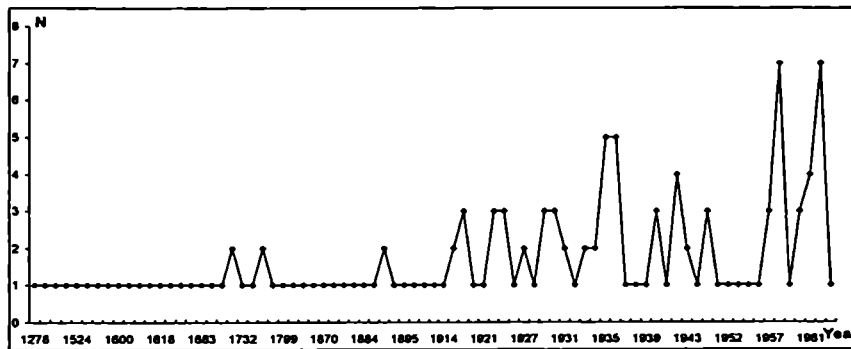
đại trên đô thị ở giai đoạn trước năm 1973 cho thấy khu vực ĐNA giai đoạn này có mức magnitude cực $M_{max} = 6.5$ và được lặp lại qua 2-3 năm. Giai đoạn tiếp theo từ 1973-1996 được đặc trưng bởi các giá trị magnitude cực đại lớn hơn giai đoạn trước 1973 ($M_{max} = \geq 7.5$) với bước lặp 3-6 năm. Các cực đại trên đô thị ở giai đoạn tiếp theo từ 1996-2003 cho thấy khu vực ĐNA giai đoạn này được đặc trưng bởi các giá trị magnitude cực đại lớn hơn ($M_{max} = \geq 8.0$) với bước lặp lại mau hơn (2-3 năm). Hai cực đại liên tiếp ở cuối giai đoạn vào các năm 1998 và 2000 với magnitude $M_{max} = 8.3$ tương ứng với 2 trận động đất xảy ra lúc 14giờ 10ph 00giây ngày 29.11.1998 và 16giờ 28ph 00giây ngày 04.06.2000 (Phụ lục 1) và ngay sau đó là xu thế suy giảm các giá trị magnitude cực đại xuống mức $M_{max} \leq 6.5$ rất rõ rệt ở các năm từ 2000-2003 cho phép giả thiết rằng đây là các dấu hiệu chuẩn bị cho một giai đoạn hoạt động địa chấn mới tích cực hơn tại khu vực ĐNA. Điều này được thể hiện khá rõ nét ở các cực đại thuộc phần cuối của đồ thị hình 5 (b) với mức giá trị M_{max} lớn nhất trong tất cả chu kỳ nghiên cứu ($M_{max} = \geq 8.5$). Cực đại lớn nhất $M_{max} = 9.0$ tại năm 2004 tương ứng với trận động đất gây sóng thần Sumatra ngày 26.12.2004 lúc 00giờ 58ph 50,76giây (giờ quốc tế GMT) tại toạ độ $\varphi = 3,30^{\circ}N$; $\lambda = 95,78^{\circ}E$ thuộc khu vực đảo Andaman-Nicobar Đông Nam Châu Á [22].

II.2.2.5. Tiến trình thời gian động đất giai đoạn 1278-2008

Xem xét danh mục động đất độc lập khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2008 (chứa 22520 trận động đất, bao gồm cả các kích động chính), cho thấy trước năm 1964, số lượng động đất xảy ra hàng năm không nhiều (chỉ một vài trận trong 1 năm). Vì vậy, trong phần này, chia ra hai giai đoạn để xem xét tiến trình thời gian xảy ra động đất cho khu vực ĐNA.

Bảng II-7. Phân bố số lượng động đất độc lập theo thời gian (1964-2008)

Năm	Số lượng (N)	Năm	Số lượng (N)	Năm	Số lượng (N)	Năm	Số lượng (N)	Năm	Số lượng (N)
1964	243	1973	225	1982	514	1991	699	2000	1108
1965	251	1974	247	1983	529	1992	894	2001	853
1966	242	1975	249	1984	618	1993	711	2002	94
1967	302	1976	236	1985	531	1994	619	2003	107
1968	255	1977	296	1986	541	1995	979	2004	118
1969	288	1978	399	1987	518	1996	1123	2005	457
1970	268	1979	452	1988	596	1997	1026	2006	315
1971	176	1980	519	1989	537	1998	1003	2007	266
1972	222	1981	502	1990	578	1999	1229	2008	475



Hình II-25. Tiến trình thời gian động đất khu vực Đông Nam Á giai đoạn 1278-1963

Đồ thị trên Hình II-25 chỉ ra tiến trình thời gian động đất khu vực Đông Nam Á giai đoạn 1278-1963. Từ các kết quả trên Hình II-25 rõ ràng rằng, trong giai đoạn từ 1278 đến 1963 trên lãnh thổ nghiên cứu, hàng năm chỉ xảy ra một đến vài trận động đất độc lập. Điều này một phần do trước năm 1964, hệ thống quan sát địa chấn trên thế giới và trong khu vực chưa phát triển, các số liệu thu thập được chủ yếu từ các nguồn số liệu lịch sử và điều tra thực địa trong nhân dân. Mặt khác có thể do hoạt động động đất giai đoạn này không tích cực như ở giai đoạn sau. Tuy nhiên, các kết quả nhận được ở giai đoạn này vẫn là những tài liệu hỗ trợ hết sức quý báu, nhất là trong nghiên cứu đánh giá tần suất lặp lại động đất cho khu vực ĐNA.

Trên đồ thị tại Hình II-26 chỉ ra tiến trình thời gian động đất khu vực Đông Nam Á giai đoạn 1964-2008. Phân tích các kết quả trên Hình II-26 cho thấy, trong giai đoạn từ 1964 đến 2008 trên lãnh thổ nghiên cứu, hàng năm xảy ra từ vài trăm đến hàng nghìn trận động đất độc lập. Có thể chia ra các giai đoạn như sau:

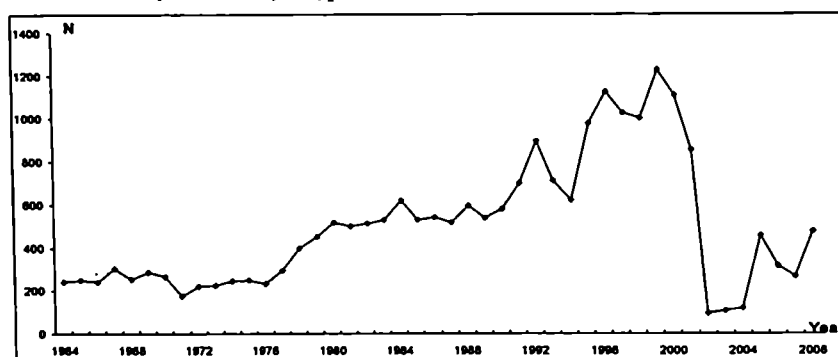
- Từ 1964-1977: Trung bình hàng năm trên lãnh thổ nghiên cứu xảy ra khoảng trên 200 trận động đất độc lập.

- Từ 1978-1988: Số lượng động đất độc lập xảy ra trong trong khu vực ĐNA trung bình hàng năm trong giai đoạn này lớn hơn so với giai đoạn trước (khoảng từ 300 đến trên 600 trận/năm).

- Từ 1989-2003: Có thể thấy rằng, đây là giai đoạn đặc biệt với xu thế hoạt động địa chấn trong khu vực ĐNA tích cực nhất trong tất cả các chu kỳ xem xét. Trung bình hàng năm trên lãnh thổ nghiên cứu xảy ra từ trên 600 trận động đất đến hàng nghìn trận động đất. Các cực đại tại các năm từ 1996-2000 tương ứng với số lượng trên một nghìn trận động đất độc lập trong một năm chỉ ra rằng đây là thời kỳ hoạt động địa chấn hiện đại và tích cực, chuẩn bị cho một sự bùng phát mạnh mẽ của trận động đất sóng thần Sumatra, là trận động đất gây sóng thần lớn nhất trong lịch sử và trên hành tinh của chúng ta.

- Từ 2004-2008: Giai đoạn này tuy số lượng động đất độc lập trung bình hàng năm xảy ra ít hơn giai đoạn trước đó (1989-2003)(chỉ vài trăm trận/năm). Nhưng một số động đất mạnh nhất như động đất gây sóng thần Sumatra, động đất Tứ Xuyên (Trung Quốc)... lại xảy ra trong giai đoạn này. Điều này cho thấy một lượng lớn các tiền chấn và dư chấn của các trận động đất mạnh nói trên đã được loại bỏ khỏi danh mục động đất

khu vực ĐNA và các kết quả nhận được trong nghiên cứu này chắc chắn đã đạt độ tin cậy cao và đảm bảo được tính độc lập của các sự kiện xem xét.



Hình II-26. Tiến trình thời gian động đất khu vực Đông Nam Á giai đoạn 1964-2008

II.2.3. Một số nhận định

Do có vị trí địa lý nằm tại nơi tiếp giáp giữa 2 vành đai hoạt động địa chấn lớn liên quan với 2 vành đai phá hủy kiến tạo chính hoạt động mạnh mẽ nhất trên hành tinh, nên Đông Nam Á (ĐNA) không những chịu ảnh hưởng của hoạt động phá hủy kiến tạo mạnh mà còn chịu độ nguy hiểm động đất và sóng thần rất cao. Việt Nam và Biển Đông là một phần của (ĐNA) nên tất yếu cũng chịu tác động nhất định của những ảnh hưởng này. Vì vậy nghiên cứu chi tiết tính địa chấn và các đặc trưng động học và động lực của động đất mạnh ĐNA là nhiệm vụ quan trọng, có tính cấp thiết và không thể tách rời các nhiệm vụ nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng ven biển và hải đảo Việt Nam. Các kết quả nghiên cứu và đánh giá tính địa chấn khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2008 đã trình bày trên đây có thể coi là những đánh giá tổng hợp nhất xuyên suốt giai đoạn từ 1278 đến nay. Trong nghiên cứu này, các nguồn số liệu khác nhau đã được tập hợp một cách liên tục và đầy đủ nhất. Đồng thời đã sử dụng một cách tiếp cận thống nhất mang tính phương pháp luận trong quá trình xử lý và phân tích số liệu phục vụ nghiên cứu. Đặc biệt, việc áp dụng thuật toán và phương pháp “cửa sổ không gian thời gian” để xây dựng chương trình tách các nhóm tiền chấn-dư chấn từ danh mục động đất tổng hợp khu vực ĐNA cho phép thành lập danh mục động đất độc lập, được giải phóng khỏi các tiền chấn và dư chấn. Các kết quả nghiên cứu đặc điểm hoạt động địa chấn khu vực ĐNA trên cơ sở danh mục động đất độc lập không những vừa đảm bảo tính thống nhất do đã liên kết và tổng hợp các số liệu của tất cả các giai đoạn nghiên cứu đối với khu vực, vừa đảm bảo tính độc lập của các sự kiện mà còn cung cấp tương đối đầy đủ những thông tin cần thiết với độ chính xác cao. Điều đó cho phép nhận được bức tranh khá chi tiết, đầy đủ về hoạt động địa chấn khu vực ĐNA. Tuy nhiên, cần tiếp tục xem xét và nghiên cứu chi tiết hơn các đặc điểm biểu hiện và hoạt động của động đất mạnh, nhất là những trận động đất gây sóng thần giai đoạn này. Ngoài ra, cũng cần phải liên kết và phân tích tổng hợp các số liệu và kết quả của tất cả các nghiên cứu khác như địa chất, kiến tạo, địa vật lý đối với khu vực ĐNA để có bức tranh toàn diện hơn về hoạt động địa chấn, kiến tạo và địa động lực đối với khu vực, làm cơ sở cho việc dự báo động đất và sóng thần ở Việt Nam và Đông Nam Á.

Chương III

CÁC ĐẶC TRƯNG KIẾN TẠO, ĐỊA ĐỘNG LỰC, TRƯỜNG ỨNG SUẤT CƠ BẢN TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ NGUYÊN NHÂN, CƠ CHẾ PHÁT SINH ĐỘNG ĐẤT-SÓNG THẦN

III.1. ĐẶC ĐIỂM CỦA CÁC HỆ ĐỨT GÃY HOẠT ĐỘNG TRÊN THÊM LỤC ĐỊA VIỆT NAM VÀ BIỂN ĐÔNG

III.1.1. Tài liệu sử dụng

III.1.1.1. Nguồn tài liệu trọng lực

Là nguồn tài liệu địa vật lý phổ biến, được khảo sát khá rộng rãi, phân bố gần như rộng rãi trong toàn vùng nghiên cứu với mật độ khảo sát khác nhau. Nguồn số liệu khảo sát hiện có bao gồm:

- Các số liệu khảo sát trực tiếp trên các tàu của Mỹ trong nhiều giai đoạn điều tra, tập trung nhiều nhất trong các năm 1950-1970, trên Biển Đông được xây dựng thành bản đồ ở tỷ lệ 1: 5000000, trên thêm lục địa Đông Nam Việt Nam đã xây dựng bản đồ tỷ lệ 1: 200000.

- Các số liệu khảo sát bằng tàu của Trung Quốc trên mặt biển. Đã xây dựng bản đồ trọng lực tỷ lệ 1: 2000000 trên toàn vùng Biển Đông [79].

- Các số liệu khảo sát của Liên Xô và Việt Nam trong những năm 1980-1995 trên vùng biển ven bờ và thêm lục địa Việt Nam khá phong phú gồm các khảo sát trọng lực mặt biển của Việt Xô Petro và các chuyến khảo sát của tàu Gagarinsky năm 1990-1992, đảm bảo tỷ lệ khảo sát đồng đều 1: 500000 trên toàn vùng thêm lục địa Việt Nam [8].

- Nguồn số liệu trọng lực đo trên vệ tinh, tỷ lệ 1:1000000 của Mỹ (Sandwell, 1990) bao phủ toàn vùng Đông Nam Á với độ chi tiết và mức độ phân giải khá cao. Ở vùng nghiên cứu đã được kiểm tra, đối chiếu và liên kết với nguồn số liệu trọng lực trên mặt biển [2].

- Bản đồ trọng lực vùng biển Việt Nam và kế cận, tỷ lệ 1:1000000 được liên kết tổng hợp từ các nguồn số liệu thực tế hiện có trong vùng nghiên cứu, có độ chính xác và mức độ đồng nhất cao cho toàn vùng [11].

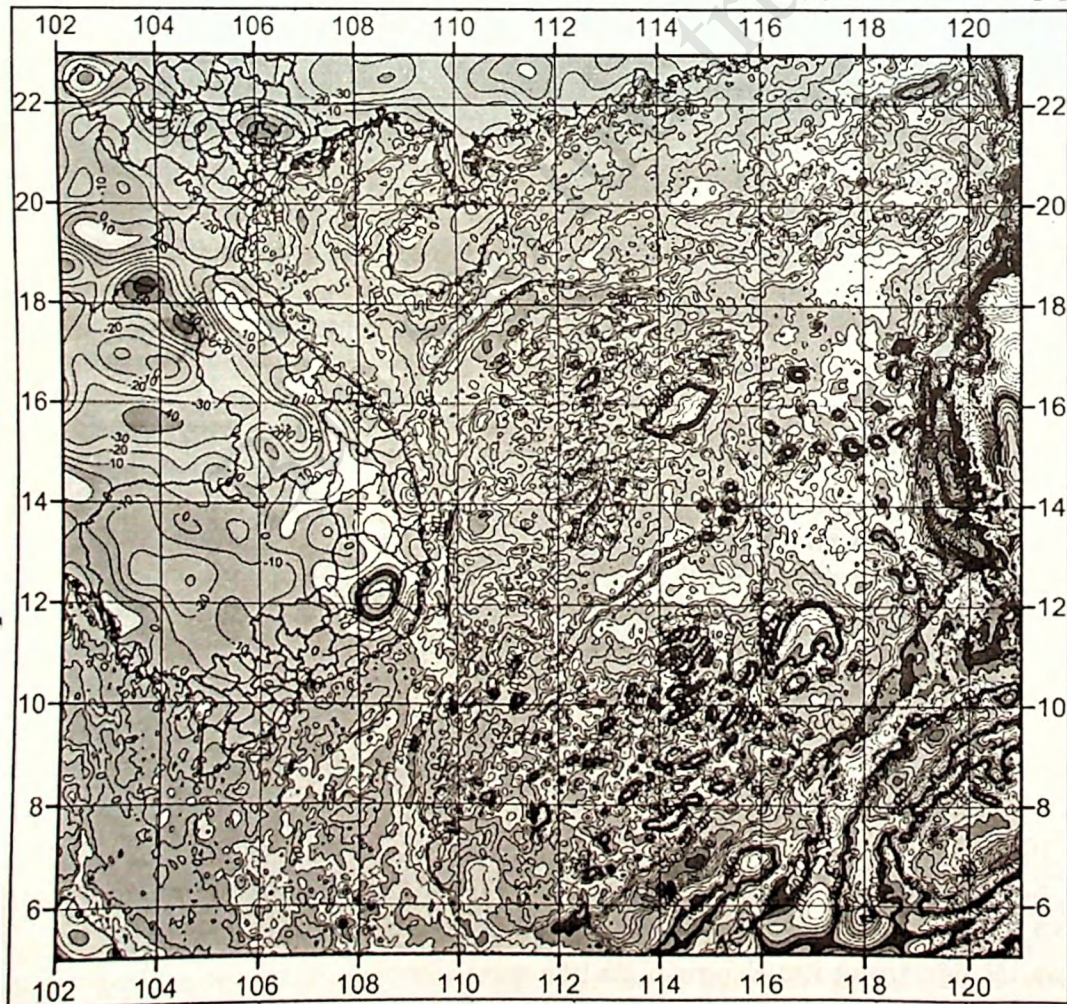
Các tài liệu trọng lực là nguồn tài liệu quan trọng được sử dụng để nghiên cứu xác định vị trí của đứt gãy, xác định cấu trúc và độ sâu, hướng cắm của bề mặt đứt gãy và trong nhiều trường hợp được sử dụng kết hợp với các tài liệu khác như địa

chấn, từ xác định các đặc trưng địa động lực với độ tin cậy cao.

III.1.1.2. Nguồn tài liệu từ

Các số liệu khảo sát từ đo trên mặt biển thường được thực hiện đồng thời với các khảo sát đo trọng lực, ngoài ra trong vùng nghiên cứu số liệu khảo sát trường địa từ còn được thực hiện bằng máy bay. Do đó, tương tự như nguồn số liệu trọng lực, nguồn số liệu từ hiện có gồm:

- Số liệu đo từ trên mặt biển của Trung Quốc đã xây dựng thành bản đồ tỷ lệ 1:2000000 trên toàn Biển Đông [79].
- Số liệu đo từ trên mặt biển của Liên Xô và Việt Nam trong giai đoạn 1980-1990 đã xây dựng thành bản đồ dị thường từ ΔT_a trên mặt biển tỷ lệ 1:500000 toàn vùng thềm lục địa Việt Nam [9].
- Cùng với số liệu từ đo trên máy bay, đã liên kết và tổng hợp các nguồn hiện có thành lập bản đồ dị thường từ ΔT_a vùng biển Việt Nam và kế cận tỷ lệ 1:1000000 [7].



Hình III-1. Bản đồ dị thường trọng lực vùng Biển Đông và kế cận [11]

III.1.1.3. Nguồn tài liệu địa chấn thăm dò

Đây là nguồn tài liệu rất phong phú để nghiên cứu đánh giá về các đứt gãy cả về các đặc trưng cấu trúc và địa động lực. Nguồn số liệu này được thực hiện khá liên tục trên vùng ven biển và thềm lục địa Việt Nam từ những năm 1960 cho đến nay với tổng khối lượng đạt hàng chục vạn cây số tuyến và đã đảm bảo tỷ lệ thăm dò chung đạt 1:500000 trên toàn thềm và 1:50000 và chi tiết hơn trên các bể trầm tích và vùng ven bờ. Nguồn số liệu này bao gồm các số liệu thăm dò địa chấn sâu (trong tầng Kainozoi, đến độ sâu tối đa 15km) và nguồn số liệu địa chấn nông có độ phân giải cao (vùng ven bờ).

III.1.1.4. Nguồn số liệu về độ sâu và địa hình đáy biển

Đây là nguồn số liệu quan trọng để xác định cấu trúc và biểu hiện địa động lực hiện đại của đứt gãy. Nguồn số liệu độ sâu đáy biển khá phong phú. Ở vùng ven bờ có các bản đồ, hải đồ với tỷ lệ 1:100000 và 1:200000 trên toàn thềm lục địa có các bản đồ tỷ lệ 1:300000- 1:500000, trên toàn vùng Biển Đông đã xây dựng bản đồ độ sâu đáy biển ở tỷ lệ đồng nhất :1000000, đảm bảo độ chính xác và chi tiết đồng đều [7].

III.1.1.5. Nguồn tài liệu động đất, núi lửa và địa nhiệt

Động đất và núi lửa, địa nhiệt là biểu hiện trực tiếp về độ hoạt động của đứt gãy tại đó chúng phát sinh, do đó nguồn số liệu này không chỉ phản ánh sự tồn tại, có mặt của đứt gãy mà còn là cơ sở để thông qua đó đánh giá về đặc điểm hoạt động cũng như cấu trúc của đứt gãy. Trong vùng nghiên cứu nguồn tài liệu này khá phong phú, bao gồm:

- Danh mục động đất và núi lửa trên vùng Biển Đông được bổ sung và hoàn thiện đến 2007, xây dựng thành bản đồ phân bố chấn tâm 1:1000000 [55].
- Danh mục các trận động đất mạnh trong vùng Đông Nam Á [25].
- Danh mục động đất và núi lửa trên vùng thềm lục địa và ven biển Nam Trung Bộ Việt Nam [55].
- Nguồn số liệu địa nhiệt được khảo sát và nghiên cứu thu thập, phân tích trên toàn Biển Đông, trong đó có các số liệu khảo sát tại thềm lục địa và ven biển Việt Nam (nguồn CCOP, 2000) với số liệu phân bố về dòng nhiệt khá chi tiết, phân bố đều khắp trong toàn vùng.

III.1.2. Các đứt gãy ở ven biển và thềm lục địa Việt Nam

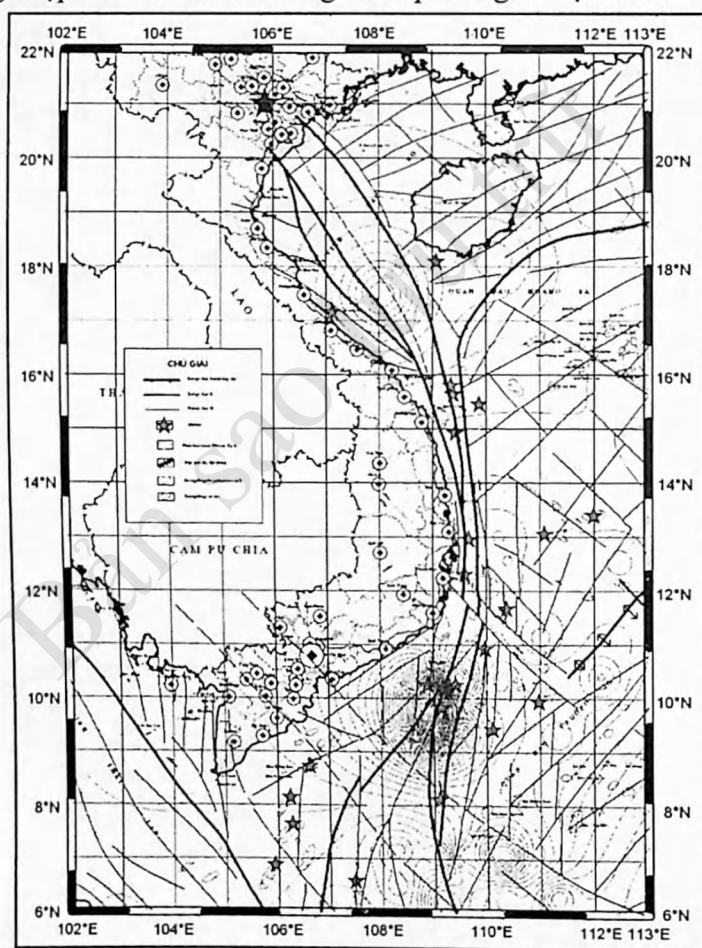
III.1.2.1. Đặc điểm phân bố mạng lưới các đứt gãy

Bản đồ phân bố các đứt gãy trên thềm lục địa Việt Nam cho thấy bức tranh phân bố các hệ đứt gãy phức tạp với nhiều hướng phát triển đan chéo nhau. Có thể thấy đặc điểm phân bố các đứt gãy ở mỗi vùng rất khác biệt nhau (xem Hình III-2).

Trong vịnh Bắc Bộ nổi bật và thống soái trên bình đồ kiến tạo là các đứt gãy hướng Tây Bắc – Đông Nam, đó là hệ thống đứt gãy Sông Hồng – Sông Chày kéo dài từ đất liền chạy dọc theo trục bể trầm tích Kainozoi Sông Hồng có cùng hướng phát triển. Hệ thống này gồm 5 đứt gãy riêng biệt chạy gần song song nhau từ vùng ven biển Đồng bằng Sông Hồng và chụm lại ở vùng biển phía ngoài Đà Nẵng. Ngoài hệ thống đứt gãy

hướng Tây Bắc – Đông Nam nêu trên, ở phần bắc và đông bắc vịnh Bắc Bộ còn có nhóm đứt gãy hướng Đông Bắc – Tây Nam xuất phát từ phía bán đảo Lô Châu và ven biển Trung Quốc, trong đó có những đứt gãy chạy song song đường bờ và cắt qua hệ đứt gãy Sông Hồng – Sông Chày ở vùng ven bờ châu thổ Sông Hồng.

Trên thêm lục địa miền Trung và Nam Trung Bộ nổi bật và khống chế toàn bộ bình đồ kiến tạo là hệ đứt gãy hướng kinh tuyến kéo dài từ vùng cửa vịnh Bắc Bộ đến vùng biển Vũng Tàu – Tư Chính với chiều dài trên 1000km. Hệ đứt gãy này gồm 3 đứt gãy chính và nhiều đứt gãy phụ chạy gần song song và gần với các kinh tuyến 109°E và 110°E . Hệ thống đứt gãy này có tên gọi hệ đứt gãy Tây Biển Đông hoặc đứt gãy thêm lục địa Trung Bộ. Hệ đứt gãy này cùng với hệ đứt gãy Sông Hồng ở trong vịnh Bắc Bộ là các hệ đứt gãy bậc I và chúng nhập vào với nhau ở vùng biển phía ngoài vịnh Bắc Bộ.



Hình III-2. Sơ đồ đứt gãy trên thêm lục địa Việt Nam

Trên vùng thêm lục địa Đông Nam là hệ thống các đứt gãy bậc 2 chạy theo hướng Đông Bắc – Tây Nam, khống chế và chia tách, tạo thành các bể trầm tích Kainozoi Cù Long, Nam Côn Sơn, Tư Chính – Vũng Mây và dải nâng Côn Sơn đều có hướng Đông Bắc – Tây Nam. Ngoài nhóm đứt gãy nổi bật hướng Đông Bắc – Tây Nam, trên vùng thêm lục địa Đông Nam còn có các đứt gãy Tây Bắc – Đông Nam nhưng kém rõ ràng, đó là các đứt gãy Sông Hậu và Vũng Tàu - Lộc Ninh kéo dài từ đất liền ra phía biển.

Trên biển vịnh Thái Lan các đứt gãy lại có hướng chủ đạo Tây Bắc – Đông Nam chạy kéo dài theo trục và 2 rìa của bể trầm tích Kainozoi Mã Lai - Thổ Chu có cùng hướng. Ngoài ra, trên phần rìa Bắc và Tây Bắc vịnh Thái Lan còn phát triển nhóm đứt gãy nhỏ hơn và có hướng chủ đạo là kinh tuyến với dài tương đối hạn chế.

III.1.2.2. Đặc điểm cấu trúc của các đứt gãy

Hệ đứt gãy Sông Hồng – Sông Chảy trong vịnh Bắc Bộ có chiều dài hàng trăm cây số chạy gần song song theo trục của bể trầm tích Sông Hồng, gồm các đứt gãy Sông Hồng – Sông Chảy, Vĩnh Ninh, Sông Lô. Các đứt gãy này có độ sâu đạt 30-35km và lớn hơn, cắt xuyên qua vỏ Trái đất. Đứt gãy Sông Hồng – Sông Chảy cắm xiên về hướng Đông Bắc còn đứt gãy Việt Nam và Sông Lô cắm nghiêng theo chiều ngược lại, các đứt gãy không chế và hình thành bể trầm tích Kainozoi Sông Hồng vừa hẹp, vừa sâu với bề dày trầm tích đại hơn 15km.

Hệ đứt gãy Tây Biển Đông trên thềm lục địa miền Trung có hướng kinh tuyến với chiều dài tổng thể đạt trên 1000km chạy từ vùng biển cửa vịnh Bắc Bộ song song ven biển miền Trung và các kinh tuyến 109°E, 110°E cho tới vùng biển Tư Chính – Vũng Mây. Hệ đứt gãy có độ sâu đạt trên 60km, xuyên cắt vỏ Trái đất và cắm sâu vào tầng thạch quyển. Vỏ Trái đất ở thềm lục địa miền Trung có bề dày biến đổi trong khoảng trên dưới 20km. Hướng cắm chung của hệ đứt gãy này là gần thẳng đứng và hơi nghiêng về hướng Tây, tuy nhiên ở phần trên của vỏ Trái đất, các đứt gãy có hướng cắm nghiêng và xiên theo dạng toà tia và chụm lại hoặc gặp nhau ở mức sâu khác nhau bên trong vỏ Trái đất. Cấu trúc của các đứt gãy ở phần trên mặt cắt rất phức tạp. Trên các băng địa chấn thăm dò hoặc địa chấn nông phân giải cao còn thấy được nhiều đứt gãy phụ và trẻ trong các trầm tích Đệ tứ và trên đáy biển. Các đứt gãy có hướng cắm gần thẳng đứng hoặc cắm xiên dạng sứt bậc tạo nên những khối đất đá trong tầng trầm tích ở vị trí bề mặt đáy biển địa hình dốc đứng trở nên tiềm tàng những nguy cơ trượt lở rất lớn (Hình III-2).

Nhóm đứt gãy hướng Đông Bắc – Tây Nam trên thềm lục địa Đông Nam có chiều dài và độ sâu hạn chế hơn, nhưng lại có độ cắm xiên khác nhau và theo phương chủ yếu Tây Bắc hoặc Đông Nam, tạo nên những sứt bậc đối nghịch ở 2 phía rìa của các bể trầm tích cũng như khối nâng Côn Sơn.

Hệ đứt gãy Tây Bắc – Đông Nam trên vùng biển vịnh Thái Lan chạy dọc theo trục và 2 rìa của bể Malay - Thổ Chu trên độ dài hàng trăm kilômét, có độ sâu đạt trên 30 km, cắm xuyên qua bề dày của vỏ, tạo nên bể trầm tích Kainozoi dạng sứt lún, dài và hẹp với bề dày trầm tích cực đại đạt gần 10km. Ở phần trên của lát cắt cách đứt gãy trẻ khá nhiều và có độ sâu hạn chế, chia cắt phần trên của vỏ ra nhiều khối nhỏ, nhưng ở phần dưới lát cắt chỉ có 2,3 đứt gãy cắm sâu và có phương gần thẳng đứng.

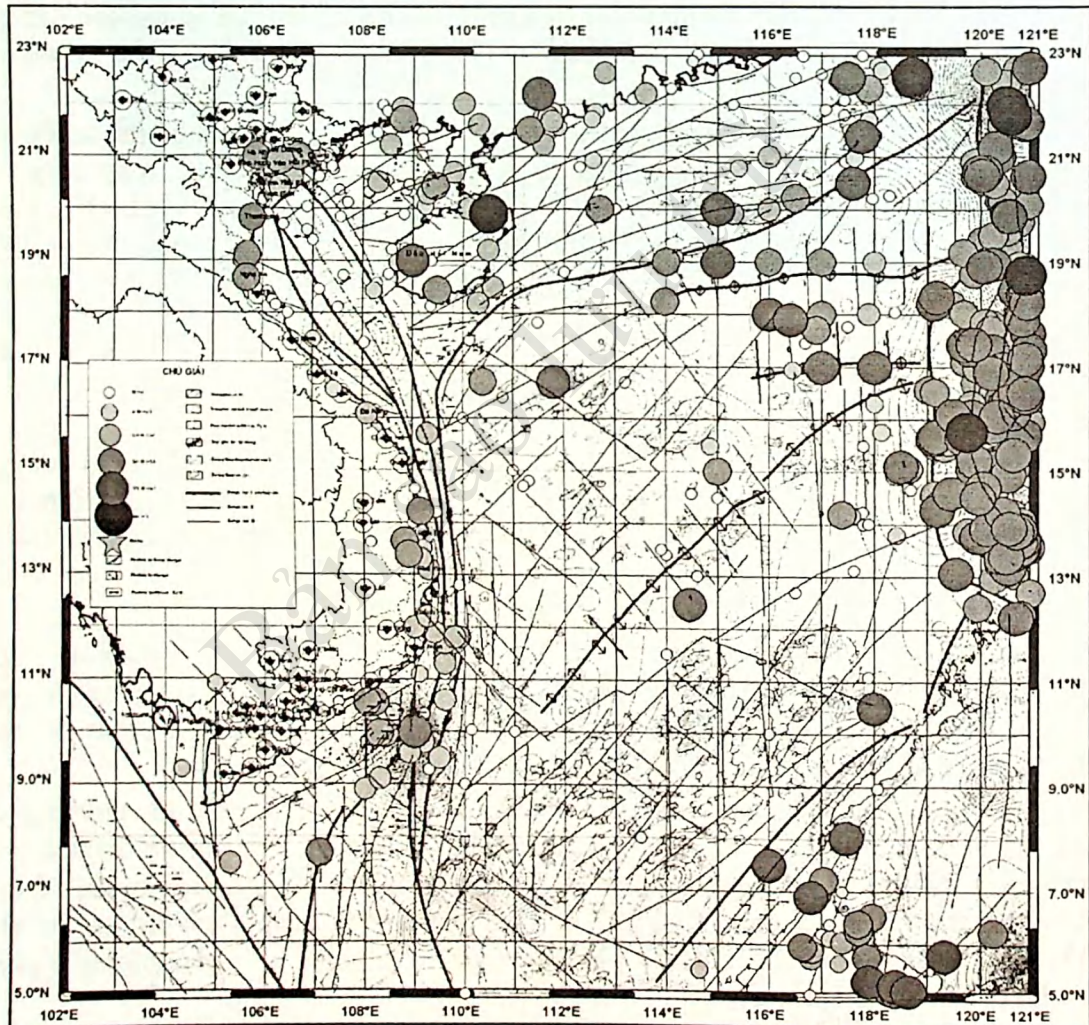
III.1.2.3. Hoạt động động đất, núi lửa và kiến tạo trẻ

Biểu hiện của động đất, núi lửa và kiến tạo trẻ liên quan với các đứt gãy là minh chứng rõ ràng và cụ thể về mức độ hoạt động của đứt gãy, đặc điểm là trong hiện tại, đó là một tiêu chí quan trọng để xác định một đứt gãy có phải là đứt gãy hoạt động và là đứt gãy sinh chân hay không.

Kết quả điều tra khảo sát liên tục qua nhiều năm và đặc biệt là trong những năm từ 2005 đến nay được tiến hành trên dải ven biển và thềm lục địa Việt Nam [3] đã cho phép đánh giá tương đối rõ về những biểu hiện địa động lực như trên.

Về biểu hiện động đất có thể đánh giá qua đặc điểm phân bố tâm động đất trên lãnh thổ và vùng biển Việt Nam [47], [55], [30].

Trong vùng biển vịnh Bắc Bộ đã ghi nhận 2 nhóm chấn tâm chính. Nhóm thứ nhất của động đất có cường độ $M = 3-5$ phân bố dọc theo các đứt gãy ven biển hướng Đông Bắc – Tây Nam và cắt qua bán đảo Lôi Châu (Trung Quốc), nhóm thứ 2 gồm các động đất có cường độ tương tự phân bố theo các đứt gãy hướng Tây Bắc – Đông Nam và trên ria phía Tây Nam của bể Sông Hồng.

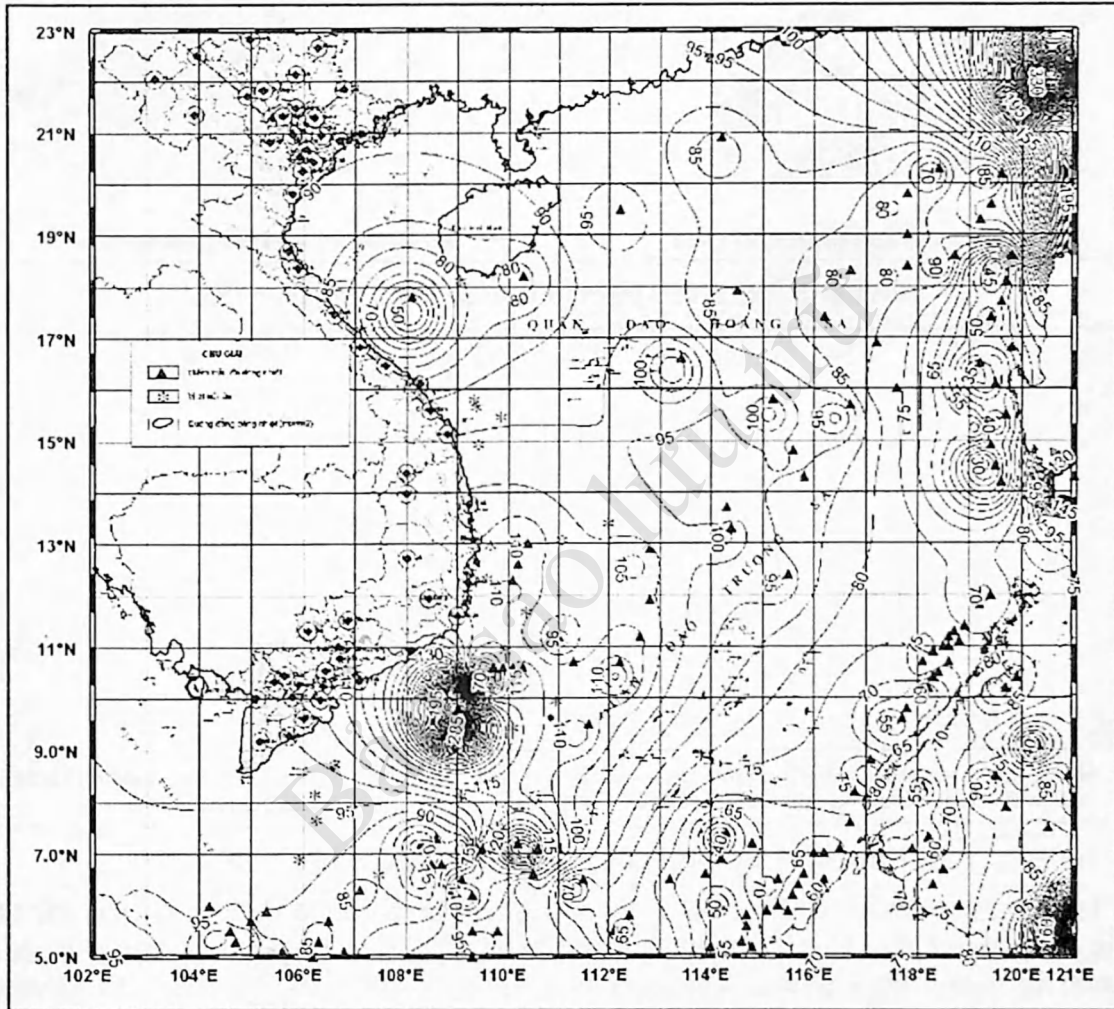


Hình III-3. Sơ đồ các hệ đứt gãy hoạt động trên Biển Đông và kế cận

Trên vùng thềm lục địa miền Trung và ven biển Trung Bộ từ Quảng Ngãi đến Phan Thiết, dọc theo hệ đứt gãy tây Biển Đông hướng kinh tuyến đã ghi nhận nhiều chấn tâm động đất với cường độ $M = 3-6$, trong đó chấn tâm động đất $M = 5,5-6$ nằm ở phần đứt gãy trên vùng biển ngoài khơi Phan Thiết.

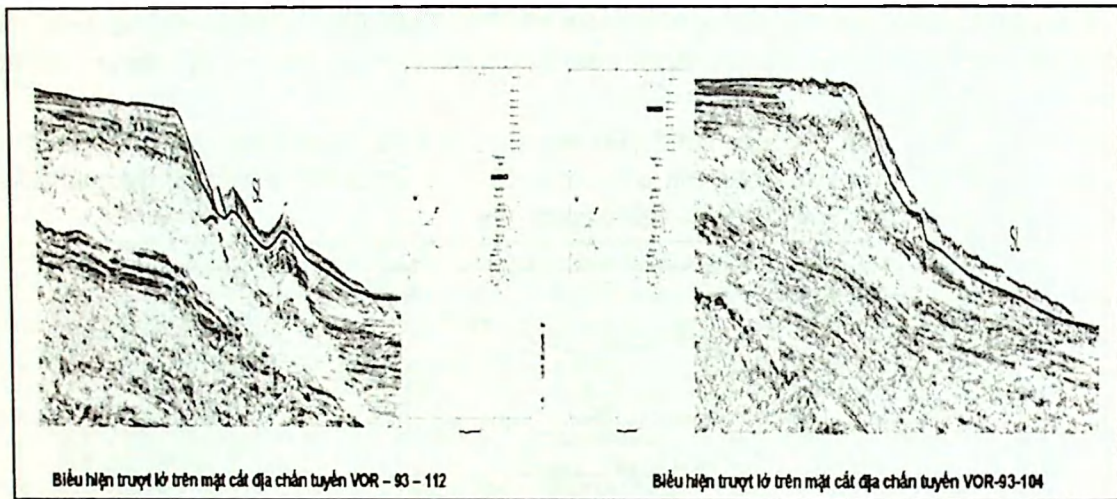
Trên vùng thềm lục địa Đông Nam và vịnh Thái Lan cũng ghi nhận một số chấn tâm động đất có $M \leq 4$ nằm trên các đường đứt gãy hướng Đông Bắc – Tây Nam và hướng Tây Bắc – Đông Nam.

Đặc biệt trong giai đoạn từ 2005 đến nay ở vùng biển ngoài khơi Vũng Tàu – Phan Thiết đã ghi nhận một số động đất có cường độ $M = 5-5,5$ thể hiện mức độ hoạt động địa chấn khá tích cực của khu vực nghiên cứu này.



Hình III-4. Sơ đồ phân bố dòng nhiệt trên Biển Đông Việt Nam (liên quan đến các hệ đứt gãy) theo Qiang Ji Peng, 1990 (mw/m^2)

Biểu hiện của núi lửa trẻ phát hiện được trong trầm tích Độ tứ qua các khảo sát địa chấn nông độ phân giải cao cho thấy có hoạt động núi lửa trẻ ở vùng biển ngoài khơi Quảng Bình trên hệ đứt gãy hướng Tây Bắc – Đông Nam ở bể Sông Hồng. Đặc biệt là trên vùng biển và ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ, dọc theo hệ đứt gãy kinh tuyến và phát hiện nhiều núi lửa trẻ ở các khu vực phía ngoài Đà Nẵng, Quảng Ngãi, Bình định, Phan Thiết... Ở vùng biển gần đảo Phú Quý đã phát hiện và khảo sát kỹ một nhóm núi lửa trẻ, trong đó có núi lửa Hòn Tro đã hoạt động nhiều lần trong thế kỷ 20 [55].



Hình III-5. Biểu hiện trượt lở trên các mặt cắt địa chấn

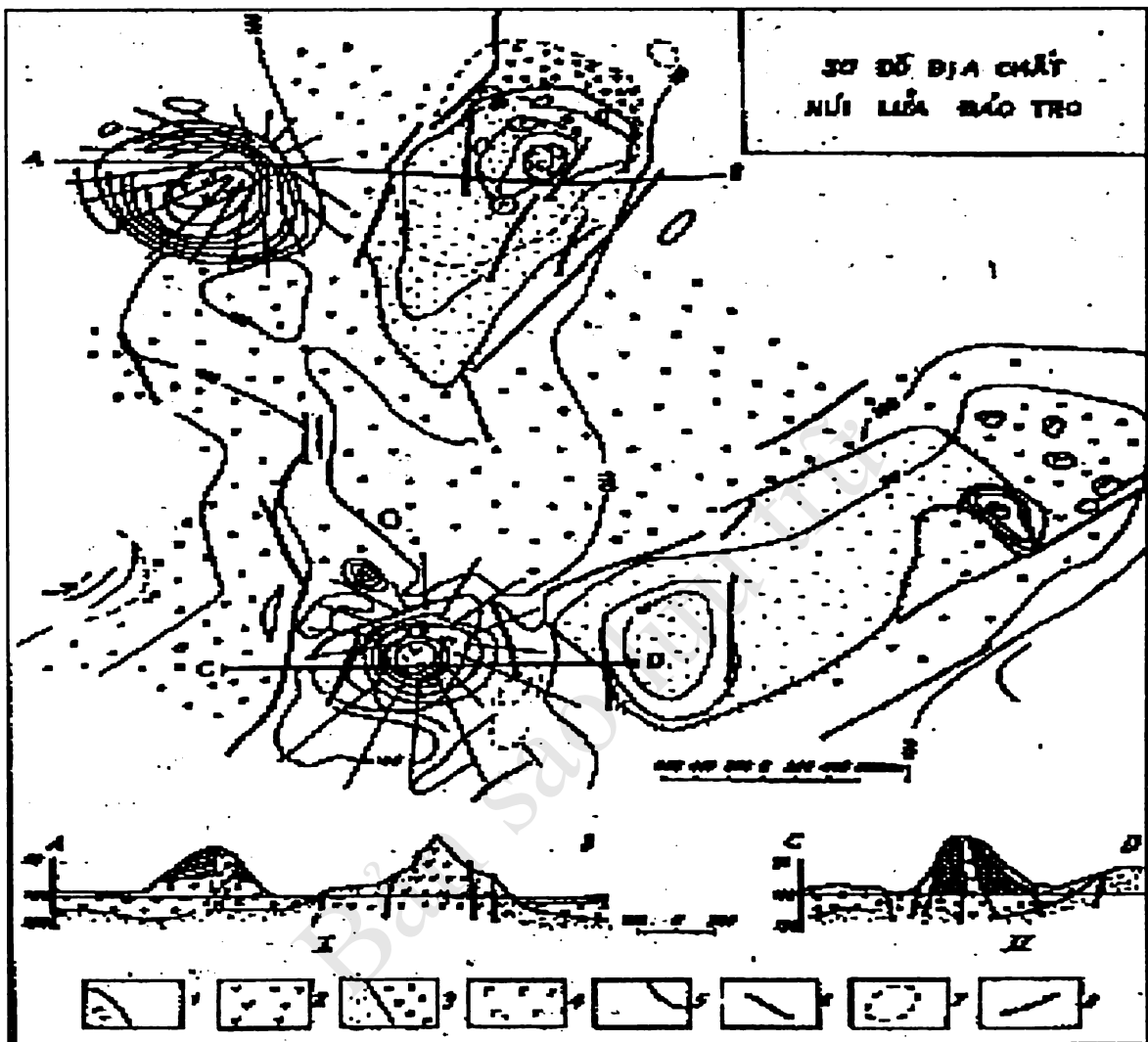


Hình III-6. Các đứt gãy trẻ trên các mặt cắt địa chấn

Trong những khảo sát địa chấn nông độ phân giải cao được thực hiện trên dải ven biển và thềm lục địa Việt Nam những năm gần đây (Nguyễn Biểu, Phạm Năng Vũ, Mai Thanh Tân) và trong khuôn khổ của đề tài này (tháng 6/2009) đã phát hiện khá rõ và cụ thể biểu hiện của đứt gãy trẻ trong các trầm tích Holocen, Pliocen - Đệ tứ với chiều dày từ 0,5 đến 1-2km. Các đứt gãy trẻ này liên quan trực tiếp với các đứt gãy ở phần dưới của vỏ và chúng minh chứng cho hoạt động của các hệ đứt gãy trong Đệ tứ, đặc biệt rõ là các hệ đứt gãy Sông Hồng – Sông Chảy (hướng Tây Bắc – Đông Nam) và hệ đứt gãy kinh tuyến Tây Biển Đông trên thềm lục địa miền Trung và Nam Trung Bộ.

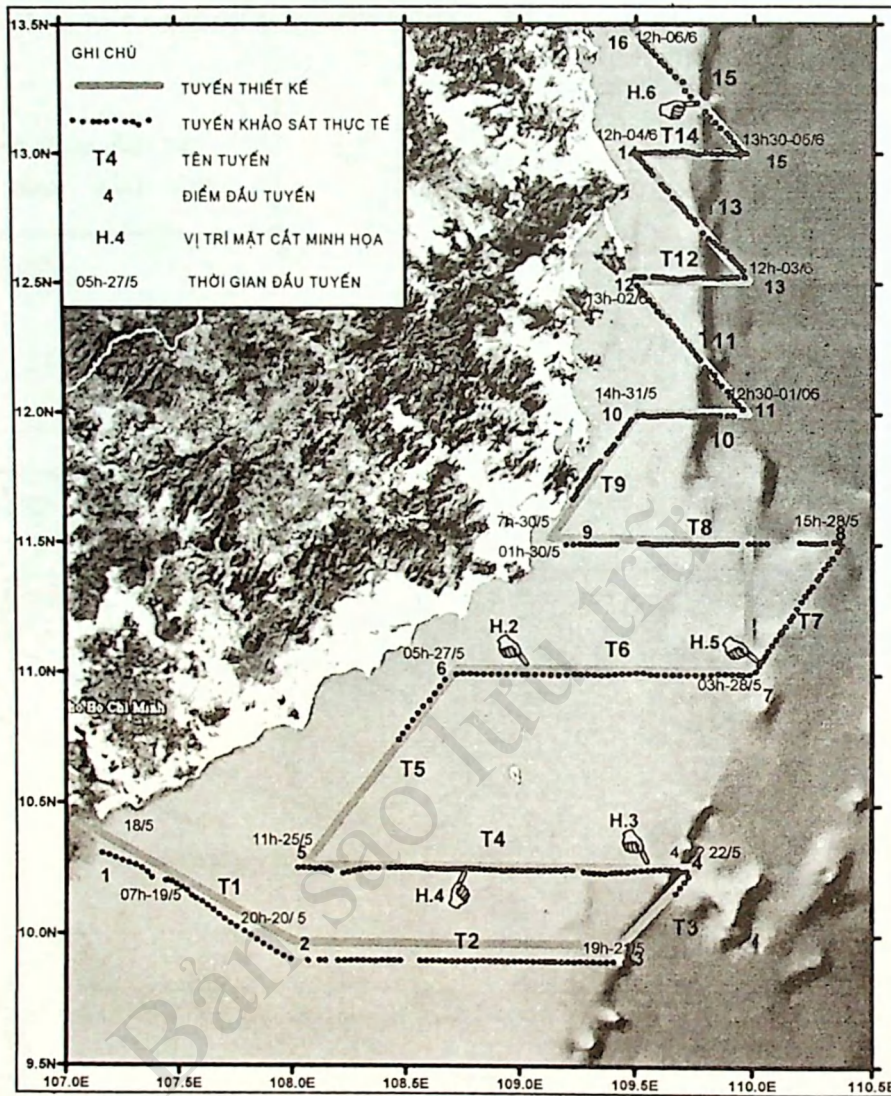
Trong tổng số 15 tuyến khảo sát địa chấn nông độ phân giải cao với tổng chiều dài gần 1600km được thực hiện vào tháng 6/2009 với mục đích nghiên cứu xác định cấu trúc phần trên của hệ đứt gãy hướng kinh tuyến Tây Biển Đông trên vùng ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ, hầu hết các tuyến khảo sát đều cho thấy trên các băng sóng địa chấn phản ánh rất rõ nét các phá huỷ kiến tạo ở tầng trên cùng của lát cắt và trên đáy biển, trên các tuyến T2, T3, T6, T7 ở vùng ngoài khơi Vũng Tàu – Phan Thiết còn cho

thấy hình ảnh của các họng núi lửa trẻ... tất cả đều minh chứng về mức độ hoạt động tích cực của hệ đứt gãy này trong Holocen và hiện tại (Hình III-7).

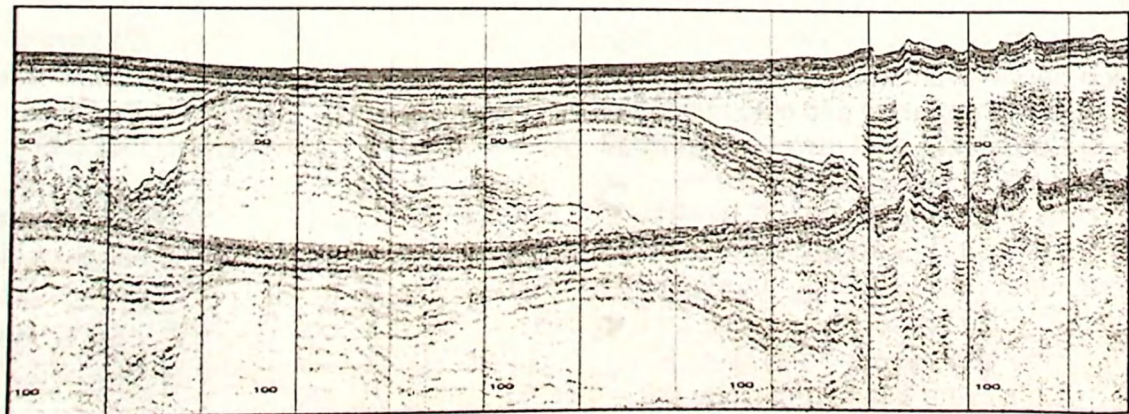


Hình III-7. Sơ đồ địa chất núi lửa đảo Hòn Tro: 1- Âm tiêu san hô, 2-Núi lửa bazan hiện đại, 3- Trầm tích phun trào mịn và thô, 4-Núi lửa cỏ, 5- Túp núi lửa hiện đại, 6-Đứt gãy kiến tạo, 7-Nơi gặp nhiều bao thể siêu bazic, 8- Ranh giới trầm tích - phun trào, I- mặt cắt địa chất theo hướng A-B, II- Mặt cắt địa chất theo hướng C-D [55], [56]

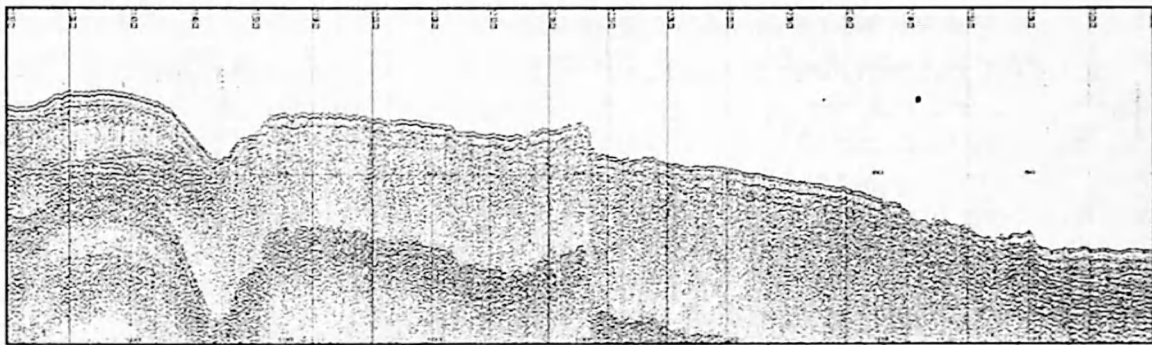
Hoạt động của hệ đứt gãy này trên vùng ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ còn được thể hiện khá rõ qua kết quả điều tra khảo sát về địa nhiệt. Trên bản đồ phân bố dòng nhiệt của Biển Đông (Qiang Ji peng, 1990) có thể thấy rõ dải dị thường dòng nhiệt khá lớn phân bố dọc theo hướng kinh tuyến từ ngoài khơi Phan Thiết đến qua khu vực Tư Chính trên thềm lục địa Đông Nam, và một số dị thường dòng nhiệt xấp xỉ 2 đơn vị dọc theo các đứt gãy hướng Đông Bắc – Tây Nam ở khu vực này.



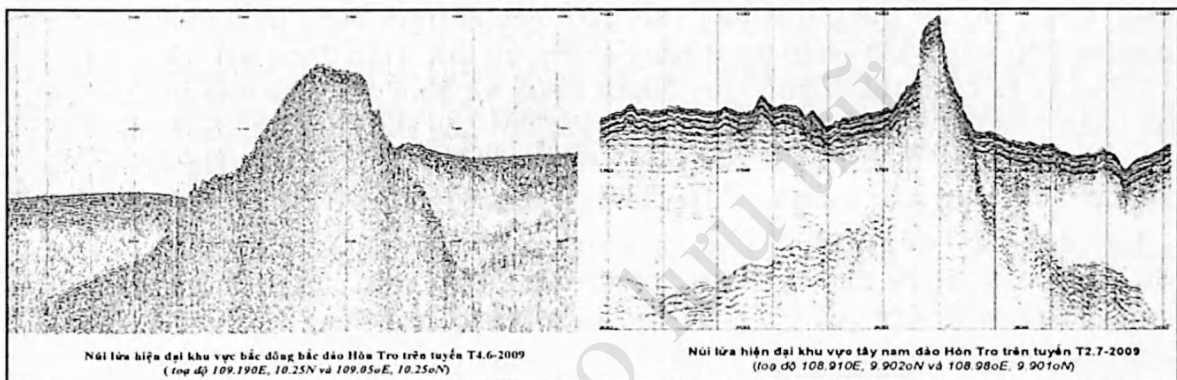
Hình III-8. Sơ đồ tuyến đo địa chấn nông phân giải cao



Hình III-9. Mặt cắt địa chấn nông phân giải cao, tuyến T1.1. (107.36°E, 10.24°N → 107.44°E, 10.2°N) cắt qua sườn núi lửa ngoài khơi Vũng Tàu



Hình III-10. Mặt cắt địa chấn nông phân giải cao, tuyến T 6.1-2009 trên thềm lục địa Đông Nam Việt Nam



Hình III-11. Các mặt cắt địa chấn nông phân giải cao biểu lộ các núi lửa hiện đại [49]

- *Mặt cắt thềm lục địa miền Trung (theo vĩ tuyến 14°N)*: đặc điểm nổi bật trên mặt cắt là sụt lún mạnh ở phần trên lát cắt từ phía biển và trên sườn lục địa, nơi có độ dốc địa hình rất lớn và tương ứng với nó là sự nâng lên nhanh của mặt Môhô theo hướng đi ra biển. Cũng theo hướng này bề dày vỏ Trái đất giảm nhanh từ 30-35km trong đất liền xuống còn 15km ở cách bờ không xa. Lớp granit cũng giảm bề dày rất nhanh và biến mất hẳn bên ngoài sườn lục địa, trước khi đi vào vùng vỏ đại dương ở trung tâm Biển Đông - lớp bazan có bề dày ổn định 15-17km biến đổi nhẹ. Hệ đứt gãy bậc 1 hướng kinh tuyến có độ cắm sâu tới 70km với nhau đứt gãy phụ dạng cắm toả tia từ mặt đứt gãy chính ở phần trên của lát cắt. Hướng cắm chủ đạo của mặt đứt gãy chính là hơi xiên về phía dưới lục địa Đông Dương. Đi về phía đông, các đứt gãy trên mặt cắt có độ cắm sâu nhỏ hơn và nghiêng nhẹ theo hướng ngược lại tạo nên các cấu trúc sụt bậc ở phần trên của lát cắt. Đặc điểm cấu trúc của mặt cắt phản ánh cơ chế địa động lực phức tạp với tác động của các pha nén ép từ phía Biển Đông tạo nên cơ chế nghịch chòem ở phần dưới và trượt thuận ở phần trên cùng của mặt cắt.

III.1.2.4. Đặc điểm trường ứng suất và các chuyển động hiện đại

Trường ứng suất và chuyển động hiện đại ở ven biển và thềm lục địa Việt Nam được phân tích trên cơ sở mô hình trạng thái ứng suất xác định theo số liệu về CCCT, vật lý kiến tạo và địa chấn nông phân giải cao cùng những số liệu thăm dò địa vật lý khác được bổ sung.

- Ở vịnh Bắc Bộ, trên phần bắc và đông bắc

Các CCCT xác định được đều tương tự, thể hiện trạng thái ứng suất trượt bằng – tách thuận với các ứng suất nén và chấn gần nằm ngang theo phương tây bắc – đông nam và đông bắc – tây nam, các bề mặt ứng suất trượt cực đại định hướng á vĩ tuyến và á kinh tuyến. Trong trường ứng suất hiện đại các đứt gãy á vĩ tuyến và á kinh tuyến đều có khả năng hoạt động mạnh, trong đó các đoạn đứt gãy á vĩ tuyến cắt qua Cẩm Phả, Bắc Hải Nam và bên trong bể Bắc Bộ có cơ chế trượt bằng phải, còn các đoạn á kinh tuyến hoạt động theo cơ chế trượt bằng trái. Các động đất đã xảy ra ở đây với $M = 6,8$ (1936), $M = 4,9$ (1988), $M = 5,4$ (1994) và $M = 5,5$ (1995) là hệ quả của các chuyển động này.

- Ở thềm lục địa miền Trung và Nam Trung Bộ và vịnh Thái Lan

Theo CCCT của các động đất xảy ra dọc các đứt gãy vùng lục địa Trung và Nam Trung Bộ thì trạng thái ứng suất phổ biến là trượt bằng tách thuận và trượt bằng nén ép với thành phần trượt bằng chiếm ưu thế. Trận động đất năm 1972 ($M = 5,3$) xảy ra cách thành phố Quy Nhơn 15km về phía đông nam là mặt phá hủy địa chấn phương á kinh tuyến liên quan với đứt gãy Ba Tư–Cùng Sơn, có CCCT kiểu trượt bằng – nén ép với các trục nén tây bắc – đông nam, giãn đông bắc – tây nam, các ứng suất trượt cực đại hướng á kinh tuyến và á vĩ tuyến.

Các động đất nêu trên đều có chấn tiêu ở độ sâu $\geq 10\text{km}$, vì thế CCCT của các động đất có thể chỉ đặc trưng cho trường ứng suất của phần vỏ nằm dưới móng Kainozoi. Kết quả phân tích số liệu địa vật lý giếng khoan và địa chấn nông độ phân giải cao đều cho thấy rằng, trong tầng trầm tích Kainozoi ở thềm lục địa Trung và Nam Trung Bộ, trường ứng suất kiến tạo hiện đại chủ yếu thuộc kiểu tách giãn: các ứng suất nén cực đại gần dốc đứng, ứng suất trung gian gần nằm ngang dọc theo hướng đứt gãy, trong khi các ứng suất giãn cực đại gần vuông góc với chúng.

III.1.3. Các hệ đứt gãy khác trên Biển Đông

III.1.3.1. Hệ đứt gãy thuộc đới hút chìm Manila và vùng biển Sulu

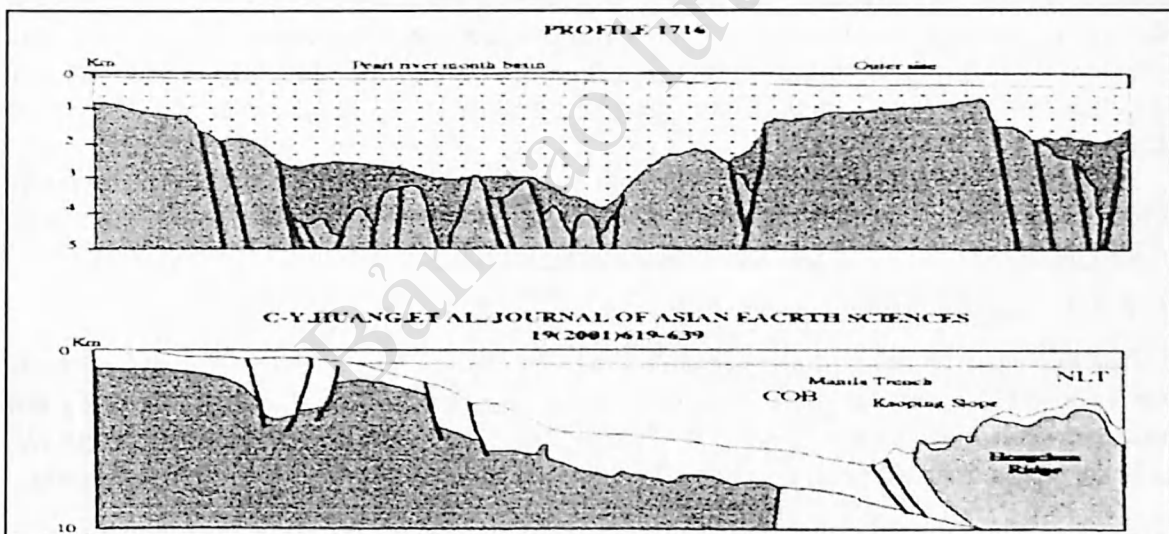
Chuyển động kiến tạo theo cơ chế hút chìm gây ra biến dạng vỏ Trái đất trên quy mô lớn, tạo ra hàng loạt đứt gãy kiến tạo có quy mô phát triển, cấu trúc và định hướng khác nhau. Hệ thống các đứt gãy thuộc đới hút chìm Manila và vùng biển Sulu (Philippin) được khảo sát và nghiên cứu khá chi tiết bằng các phương pháp địa chấn và địa vật lý. Sau đây là những đặc trưng cấu trúc và địa động lực của chúng được tổng hợp từ các kết quả khảo sát và điều tra nói trên.

III.1.3.1.1. Về đặc điểm cấu trúc

Hệ đứt gãy hướng á kinh tuyến có tên gọi hệ đứt gãy rãnh sâu Manila (Manila Trench) có chiều dài tổng cộng trên 1000km nằm giữa các toạ độ $\varphi = 12^\circ\text{N} - 22^\circ\text{N}$, $\gamma = 119^\circ\text{E} - 121^\circ\text{E}$. Hệ đứt gãy này biểu hiện trên bề mặt bằng nhiều đứt gãy phụ chạy song song với đường đứt gãy chính và các mặt đứt gãy cắm xiên về phía dưới đến những độ sâu khác nhau, độ sâu bề mặt hút chìm đạt trên 200km. Đa phần các bề mặt đứt gãy phụ đều nhập vào bề mặt hút chìm ở các độ sâu nhỏ hơn 50km, tức là trong vỏ

và sát phía dưới vỏ Trái đất. Biên độ dịch chuyển thẳng đứng của các khối vỏ Trái đất theo các mặt đứt gãy rất khác nhau và thay đổi trên suốt độ dài của hệ đứt gãy thể hiện mức độ chia cắt cao và tính hoạt động tích cực và phân dị của hệ đứt gãy này. Bề mặt hút chìm còn gọi là bề mặt phá hủy chính của hệ đứt gãy được nghiên cứu xác định theo nhiều phương pháp như xác định theo trường dị thường địa vật lý (trọng lực, địa nhiệt, địa chấn), phương pháp vật lý kiến tạo, phương pháp xác định CCCT. Theo các kết quả nhận được, bề mặt hút chìm của hệ đứt gãy thay đổi độ nghiêng rất mạnh theo chiều sâu. Ở độ sâu dưới 20km (sát bề mặt trên của vỏ) mặt hút chìm có độ nghiêng nhỏ so với phương nằm ngang ($<30^\circ$) nhưng càng xuống sâu dần mặt hút chìm có độ nghiêng lớn và từ độ sâu lớn hơn 50km (bên dưới vỏ Trái đất) độ nghiêng lớn hơn $50-60^\circ$ so với phương nằm ngang.

Căn cứ đặc điểm cấu trúc đứt gãy này chia làm một số đoạn chính. Đoạn định hướng gần tây bắc – đông nam dài trên 200km ($\varphi \approx 20^\circ - 30^\circ\text{N}$) với hướng dốc mặt đứt gãy là đông bắc. Đoạn tiếp theo định hướng đông bắc – tây nam dài trên 250km $\varphi \approx 18^\circ - 20^\circ\text{N}$, hướng cắm là đông nam. Đoạn trung tâm có độ dài lớn nhất, phương kinh tuyến, dài 450km $\varphi \approx 14^\circ\text{N} - 18^\circ\text{N}$, cắm về hướng đông. Đoạn tây bắc – đông nam ở đầu phía nam ($\varphi \approx 12^\circ\text{N} - 14^\circ\text{N}$) với một đứt gãy cắm về phía đông bắc.



Hình III-12. Các mặt cắt cấu trúc đứt gãy hệ đứt gãy Manila [64].

Các hệ đứt gãy trong vùng biển Sulu: gồm có 2 đứt gãy chính.:

- Đứt gãy phía đông và đông bắc đảo Palawan, có hướng á kinh tuyến đi từ bờ đông bắc đảo Palawan ở tọa độ $\varphi = 10^\circ 20'$, $\lambda = 119^\circ 40' \text{E}$ theo hướng bắc – đông bắc, cắt qua đứt gãy Manila Trench ở tọa độ $\varphi = 12^\circ 45'$, $\lambda = 120^\circ 35' \text{E}$. Độ cắm sâu gần 100km, mặt dốc cắm về phía đông, chiều dài tổng thể trên 250km.

- Đứt gãy Tây Philipin trong biển Sulu còn gọi là đứt gãy rãnh sâu Sulu (Sulu trench). Đứt gãy này có 2 nhánh chính. Nhánh có hướng kinh tuyến dài trên 350km chạy theo ven bờ phía tây các đảo Sebu và Panang từ $\varphi \approx 12^\circ\text{N}$ đến $\varphi \approx 8^\circ\text{N}$. Nhánh đứt

gãy hướng đông bắc – tây nam đi tiếp về phía nam từ $\varphi \approx 8^\circ\text{N}$ đến $\varphi \approx 6,5^\circ\text{N}$. Đây cũng là đứt gãy có độ sâu lớn và cắm về hướng đông, đông nam cũng chiều với đứt gãy rãnh sâu Manila.

III.1.3.1.2. Đặc điểm hoạt động động đất, núi lửa và hoạt động kiến tạo trẻ

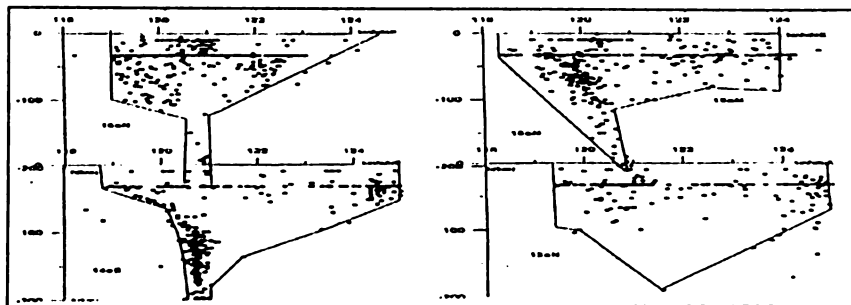
Biểu hiện động đất và núi lửa của hệ đứt gãy rãnh sâu Manila là mạnh và rõ nhất trong vùng Biển Đông. Trên bản đồ phân bố chấn tâm động đất và núi lửa có thể thấy rõ dải chấn tâm dày đặc kéo dài theo phương kinh tuyến từ khoảng vĩ độ 23°N chạy về phía nam đến khoảng vĩ độ $\varphi = 12^\circ\text{N}$. Bề rộng của dải chấn tâm trung bình đạt $\approx 100\text{km}$. Trong số các chấn tâm động đất với cường độ M từ 5 đến 8 ở dải đứt gãy này thời kỳ 1900-2008 có một số động đất với $M = 7,5-8$, rất nhiều động đất với $M = 7-7,5$ và $6,6-7$, ngoài ra thấy có nhiều núi lửa trẻ, trong đó có những núi lửa đang hoạt động (trên và ven đảo Luzon).

Trên bản đồ phân bố dòng nhiệt Biển Đông, dọc theo dải đứt gãy rãnh sâu Manila là dải dị thường dòng nhiệt cao với trị số từ 2 đến 5 đơn vị dòng nhiệt. Dải dị thường kéo dài với nhiều dị thường cực đại và có hình dạng tuyến tính, đi từ vĩ tuyến 13°N đến vĩ tuyến 25°N (khu vực đảo Đài Loan) và nằm kẹp giữa các kinh tuyến 120 và 122° . Đối chiếu với vị trí của dải đứt gãy rãnh sâu Manila thì tâm của dải dị thường dòng nhiệt (cũng như các chấn tâm động đất mạnh), đều lệch về phía đông so với mặt trên của đứt gãy. Điều này khá phù hợp vì mặt hút chìm của đứt gãy theo chiều sâu cắm về phía đông, do đó các biểu hiện giải phóng năng lượng của mặt hút chìm (động đất, núi lửa, vận chuyển nhiệt đều đi theo hướng thẳng đứng từ dưới sâu đi lên và do đó đều rơi về phía đông của đường đứt gãy.

Theo R.G.Kulinhic [133] thì trên bề mặt của dải đứt gãy thuộc đới hút chìm Manila là toàn bộ dải phân bố của các thành tạo bazan núi lửa và phun trào Kainozoi, diện phân bố kéo dài từ khu vực đảo Đài Loan theo hướng kinh tuyến xuống đến vĩ tuyến 13°N .

III.1.3.1.3. Về đặc điểm trường ứng suất và địa động lực

Đới hút chìm Manila: được xác định chủ yếu trên cơ sở thu thập và xử lý bổ sung mới 112 CCCT trong các năm 2001-2008. Đặc điểm ứng suất và địa động lực trong đới được xác định trên các dải độ sâu $H \leq 20\text{km}$, $20\text{km} \leq H \leq 50\text{km}$ và $H > 50\text{km}$. Hình III-13 là sơ đồ các mặt cắt phân bố chấn tiêu động đất theo độ sâu tại đới hút chìm Manila.

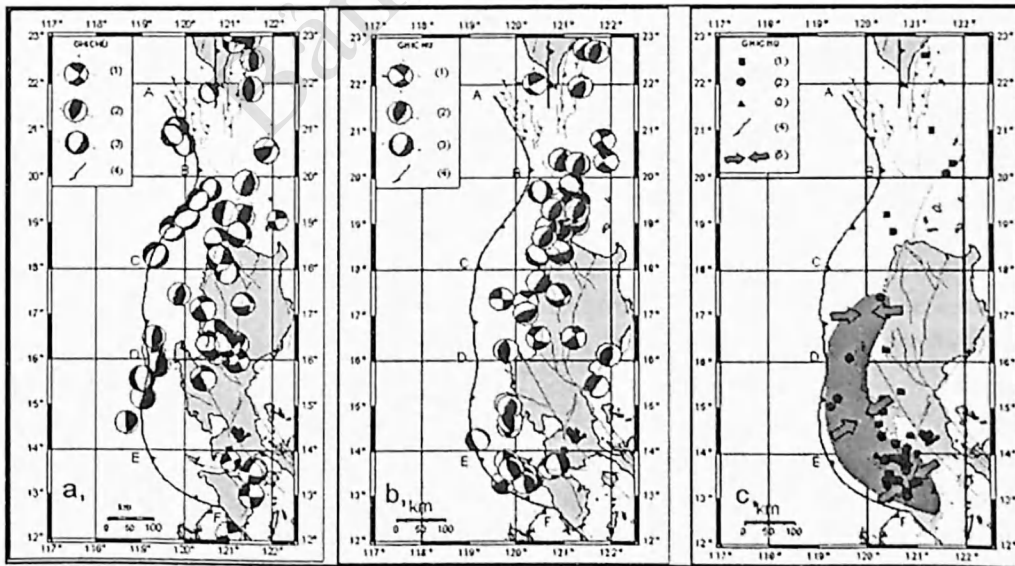


Hình III-13. Sơ đồ các mặt cắt phân bố chấn tiêu động đất theo độ sâu tại đới hút chìm Manila theo các vĩ độ 13°N , 14°N , 15°N , 16°N

Trong giới hạn độ sâu $H \leq 20\text{km}$ (Hình III-14a) các CCCT dạng chòm nghịch và tách thuận tập trung thành từng dải hẹp dọc theo đới hút chìm Manila trong khi các CCCT Trượt bằng chủ yếu nằm ở phía đông đứt gãy rãnh sâu Manila. Vùng ứng suất tách dẫn với chuyển động tách thuận chiếm ưu thế và tập trung ở đoạn phía bắc của hệ đứt gãy này với độ dài trên 500km và bề rộng $\approx 100\text{km}$, chia làm 2 nhánh. Nhánh AB với trục tách dẫn hướng tây – tây bắc và nhánh BC với trục tách dẫn hướng đông – đông bắc, độ dài 2 nhánh đứt gãy tương đương $\approx 250\text{km}$. Vùng ứng suất nén ép trung tâm phát triển theo đứt gãy trên chiều dài 400km bề rộng $\approx 100-110\text{km}$, chạy từ $\varphi \approx 14,5^\circ\text{N}$ đến $17,5^\circ\text{N}$. Ở vùng trung tâm các CCCT động đất mạnh số 57, 62, 69, 72 đều tương tự nhau và thuộc dạng chòm nghịch. Trường ứng suất đặc trưng cực đại gần nằm ngang phương á vĩ tuyến, trục nén ép song song với phương của đứt gãy chính.

Trong tầng sâu $20\text{km} \leq H \leq 50\text{km}$ (Hình III-14b) ở tầng sâu này CCCT tách thuận chi xuất hiện với số lượng không đáng kể ở khu vực đối hướng của đới đứt gãy. Các CCCT trượt bằng phân bố dọc đứt gãy á kinh tuyến ở phía đông của đường đứt gãy Manila. CCCT chòm nghịch tập trung thành các dải hẹp dọc theo đường đứt gãy thuộc rãnh sâu hút chìm Manila. Căn cứ theo đặc điểm phân bố các CCCT có thể thấy rõ: vùng ứng suất nén ép phát triển trên toàn dải đứt gãy từ phía nam đảo Đài Loan ($\varphi \approx 23^\circ\text{N}$) xuống đến vĩ tuyến $\varphi \approx 13^\circ\text{N}$ và bề rộng từ 60km đến 90km. Trục nén ép song song với đường đứt gãy chính và lệch về phía đông khoảng 50-60km và khoảng cách này là hoàn toàn hợp lý vì mặt hút chìm ở phần gần bề mặt đất (độ sâu 50km) có độ nghiêng rất nhỏ, dưới 20° so với phương nằm ngang.

Ở phía dưới tầng sâu $H > 50\text{km}$ trường ứng suất và địa động lực với cơ chế nén ép chỉ còn biểu hiện ở nửa phía nam của dải đứt gãy (Hình III-14c) từ vĩ tuyến $\varphi = 13^\circ\text{N}$ đến $\varphi = 17^\circ\text{N}$, bề rộng của vùng nén ép $\approx 60\text{km}$, trục nén ép song song với đường đứt gãy chính và lệch về phía đông tương tự như trường hợp ở độ sâu $20\text{km} \leq H \leq 50\text{km}$.



Hình III-14. Cơ cấu chấn tiêu đới Manila: a). $H \leq 20\text{km}$; b). $20\text{km} \leq H \leq 50\text{km}$; c). $H > 50\text{km}$; trượt bằng (1), chòm nghịch (2) và tách thuận (3), đứt gãy (4)

Đối với các đứt gãy trong vùng biển Sulu

- Biểu hiện động đất và núi lửa: trên sơ đồ phân bố động đất và núi lửa Biển Đông, vùng biển Sulu là vùng tương đối yên tĩnh với rất ít tâm động đất và núi lửa, chỉ có số ít động đất với $M \leq 5$ xuất hiện trong dải đứt gãy rãnh sâu Sulu và một số khác gần đứt gãy Palawan.

Trong hệ đứt gãy rãnh sâu Sulu, trường ứng suất thay đổi từ chòm nghịch trong các đoạn ở phía bắc và trung tâm với CCCT loại chòm nghịch (số 14, 18, 23, 27) hoặc chòm nghịch chuyển qua yếu tố trượt bằng phải (số 22, 23) sang trường ứng suất nén cực đại định hướng gần nằm ngang theo phương á vĩ tuyến và tây - tây bắc. Bề mặt nP_1 dốc về hướng đông và ứng suất nén tạo cơ chế chuyển động chòm nghịch và dịch chuyển về phía tây, tây nam do mặt đứt gãy chính cắm nghiêng về phía đông - đông bắc.

Ở đoạn phía nam của đứt gãy, trường ứng suất là trượt bằng - nén ép (số 12, 28). Trong trường ứng suất này, trục nén gần nằm ngang theo hướng đông - đông nam.

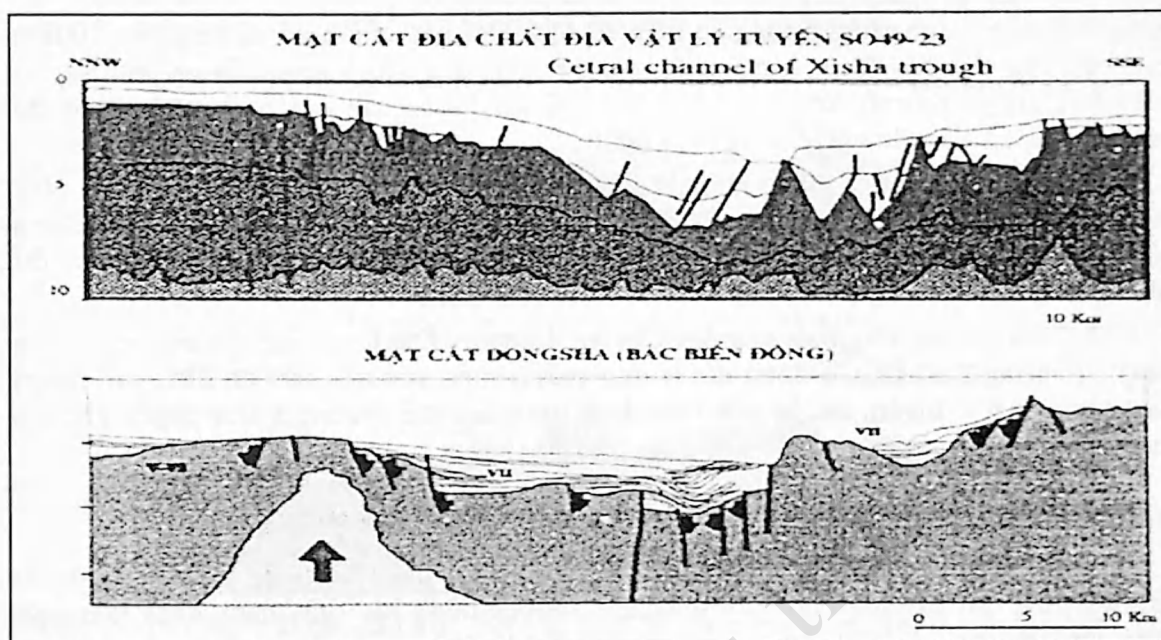
- Hệ đứt gãy đông - đông bắc Palawan có tính địa chấn thấp, số liệu động đất và CCCT nghèo nàn. Tuy vậy, số liệu CCCT ít ỏi cũng đã cho thấy sơ bộ trường ứng suất loại trượt bằng - tách dẫn thuận với ứng suất giãn á kinh tuyến, ứng suất nén á vĩ tuyến, các bề mặt biến dạng cực đại định hướng đông bắc - tây nam và tây bắc- đông nam.

III.1.3.2. Hệ đứt gãy bắc Biển Đông

Bao gồm các đứt gãy bậc 1, bậc 2 và bậc 3 với hướng chủ đạo là đông - đông bắc phân bố trên vùng rìa phía bắc của Biển Đông, trong đó nổi bật là đứt gãy bậc 1 với chiều dài trên 1000km chạy từ phía nam Hải Nam qua đảo Đông Sa theo hướng đông bắc lên đến nam đảo Đài Loan. Đứt gãy này có biểu hiện mạnh và rõ nét trên trường dị thường trọng lực bằng các dải dị thường bậc thang tuyến tính kéo dài trên sườn dốc phía bắc của Biển Đông. Đứt gãy có độ sâu trên 50km cắm nghiêng về phía trung tâm sâu trung tâm Biển Đông và có biên độ dịch chuyển thẳng đứng theo mặt đứt gãy thay đổi từ 3-5km đến 7-8km trên suốt chiều dài của đứt gãy.

Trong hệ đứt gãy bắc Biển Đông, ở về phía bắc của đứt gãy bậc 1 nói trên, đi theo hướng vào ven bờ còn có một số đứt gãy khác với độ dài nhỏ hơn, độ cắm sâu hạn chế, hướng cắm khác nhau và đều có hướng đông - đông bắc.

Hoạt động động đất và núi lửa: có biểu hiện động đất khá tích cực với các nhóm chấn tâm phân bố dọc theo đường đứt gãy bậc 1 ở các khu vực đông nam đảo Hải Nam và trên đoạn đông bắc của đứt gãy. Một số chấn tâm động đất khác phân bố trên các đứt gãy phương đông - đông bắc đi qua bắc đảo Hải Nam và eo biển Lôi Châu, cửa sông Châu Giang. Trong số các chấn tâm có một số động đất đạt cường độ $M \approx 5-6$. Biểu hiện núi lửa và các hoạt động phun trào bazan khá rõ ở vùng ven bờ phía nam, đông nam đảo Hải Nam. Dị thường dòng nhiệt không lớn nhưng cũng biểu hiện thành dải tuyến tính với trị số 1,5-2 đơn vị dòng nhiệt chạy theo phương đông bắc dọc theo đường đứt gãy đã nêu.



Hình III-15. Các mặt cắt cấu trúc cắt qua hệ đứt gãy phía bắc Biển Đông [64]

Trên các mặt cắt địa chấn thăm dò cắt qua hệ đứt gãy bắc Biển Đông (1976, 619-639, Đông Sa) thấy rõ biểu hiện của các đứt gãy một số nơi xuyên cắt qua lớp phủ lên tới đáy biển (Hình III-15).

- Đặc điểm trường ứng suất và cơ chế địa động lực của hệ đứt gãy bắc Biển Đông được xác định chủ yếu bằng các CCCT động đất xảy ra trên các đứt gãy và theo các tài liệu khảo sát địa chấn tại các bể trầm tích Kainozoi liên quan với các đứt gãy như bể Bắc B, bể Châu Giang, bể nam và đông nam, Hải Nam.

- Đứt gãy trong vùng Hải Nam- cửa Châu Giang có ứng suất nén và dẫn cực đại gần nằm ngang theo phương á vĩ tuyến và á kinh tuyến. Các ứng suất trượt cực đại phương tây bắc – đông nam và đông bắc-tây nam. Theo ứng suất này các đứt gãy hướng đông bắc có khả năng sinh chấn cao. Cơ chế chuyển động ở đây là trượt bằng phải thể hiện chuyển động tương đối hướng đông của mảng Nam Trung Hoa so với mảng Biển Đông.

- Ở trung cửa Châu Giang, các CCCT thể hiện trạng thái ứng suất kiểu tách thuận và tách thuận trượt bằng phải với ứng suất dẫn cực đại gần nằm ngang phương á kinh tuyến, ứng suất nén có độ dốc lớn.

- Trong đứt gãy nam Hải Nam – Đông Sa trường ứng suất xác định theo các CCCT cho thấy kiểu ứng suất trượt bằng với ứng suất nén cực đại gần nằm ngang theo phương tây bắc-đông nam hoặc á vĩ tuyến. Cơ chế chuyển động dọc đứt gãy là trượt bằng phải.

III.1.3.3. Hệ đứt gãy bắc Luzon – Đài Loan

Là hệ đứt gãy sâu kéo dài tiếp từ đứt gãy rãnh sâu Manila chạy theo hướng kinh tuyến về phía bắc dọc theo sườn phía tây đảo Đài Loan. Hệ đứt gãy này có quy mô phát triển tương tự đứt gãy rãnh sâu Manila và nằm ở rìa đông bắc của Biển Đông. Đường đứt gãy chính biểu hiện rõ nét trên dị thường trọng lực bằng dải dị thường bậc thang

trọng lực tuyến tính cùng hướng có biên độ lớn. Đứt gãy chính có độ sâu trên 100km, cắm nghiêng về phía đông, cùng chiều với đứt gãy rãnh sâu Manila. Cùng phương với đứt gãy chính là một số đứt gãy phụ khác có độ dài độ sâu hạn chế, hướng cắm thay đổi với phương chủ đạo là nghiêng về phía đông.

Biểu hiện động đất và núi lửa của hệ đứt gãy này khá mạnh với nhiều chấn tâm phân bố chủ yếu lệch về phía đông của đường đứt gãy chính. Dị thường dòng nhiệt với cường độ lớn phân bố dọc theo hệ đứt gãy này. Chuyển động hiện đại của cánh phía tây đứt gãy có véc tơ hướng về phía đông vận tốc 3, 5 -4cm/năm.

Đặc điểm trường ứng suất của đứt gãy bắc Luzon – Đài Loan xác định được ở vùng nam Đài Loan theo CCCT động đất là ứng suất nén ép với trục nén ép gần nằm ngang theo phương á vĩ tuyến, các bề mặt biến dạng trượt cực đại phương á kinh tuyến góc dốc tương ứng là 30° và 60° .

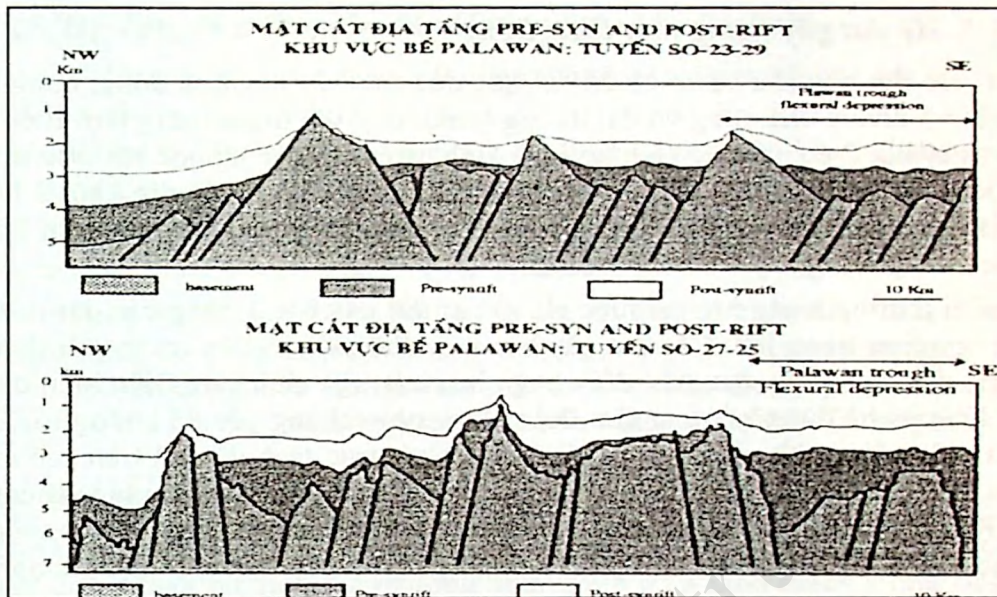
III.1.3.4. Hệ đứt gãy rìa đông nam Biển Đông

Hệ đứt gãy này còn có tên gọi là đứt gãy Borneo – Palawan hoặc đứt gãy rãnh sâu Palawan. Hệ đứt gãy gồm đứt gãy sâu chính, hướng đông bắc - tây nam, chạy gần song song với ven bờ đảo Palawan và đông bắc đảo Kalimantan, trùng với rãnh nước sâu Palawan ven bờ đông nam của Biển Đông. Chiều dài đứt gãy chính đạt tới gần 1000km. Đứt gãy được biểu hiện bằng dải dị thường bậc thang trọng lực tuyến tính rõ nét chạy cùng phương đông bắc, độ sâu của đứt gãy đạt trên 50km và có hướng cắm xiên về phía đông, đông nam.

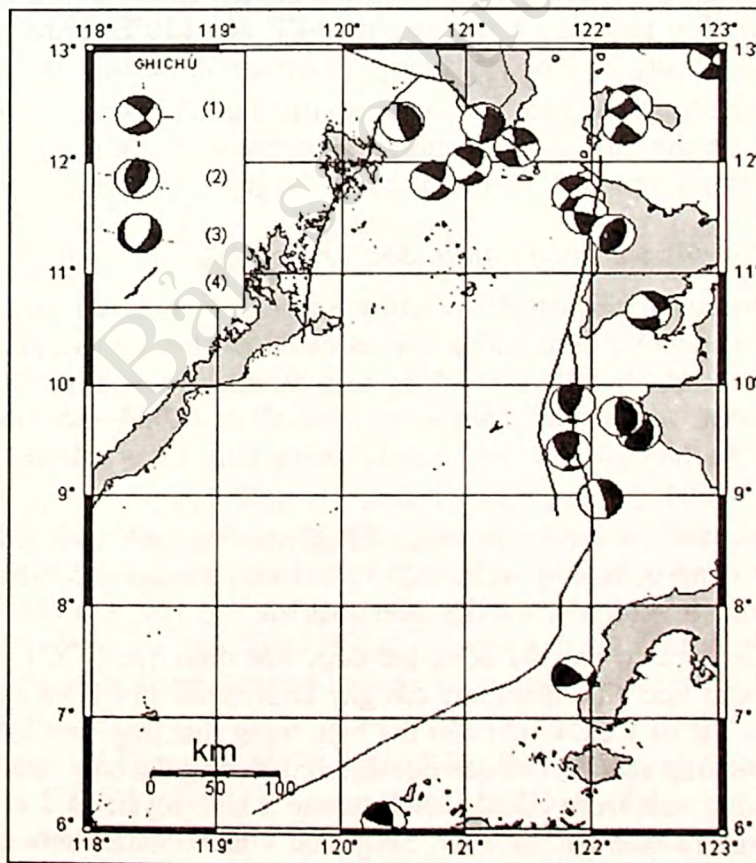
Về tính chất đây cũng là đứt gãy dạng hút chìm dọc theo nó là hai mảng vỏ Biển Đông và biển Sulu – Banda tương tác ngược chiều nhau. Tuy nhiên, số liệu địa chất – kiến tạo cho thấy đây là đới hút chìm hoạt động yếu trong thời gian hiện tại.

Biểu hiện động đất và núi lửa của hệ đứt gãy này yếu ớt và không thật rõ, có một số chấn tâm động đất phân bố rời rạc với cường độ $M = 5-5,5$. Dọc theo sườn phía đông nam của rãnh sâu Palawan phân bố phổ biến các thành tạo bazan phun trào Kainozoi minh chứng về hoạt động núi lửa – phun trào trong suốt Kainozoi. Trên các mặt cắt địa chấn thăm dò cắt qua hệ đứt gãy thấy rõ mức độ chia cắt trong Kainozoi nhưng các đứt gãy không xuyên qua các thành tạo trẻ Plioxen - Đệ tứ. Biểu hiện về mức độ thụ động, ngừng hoạt động của các đứt gãy trong hệ này.

Đặc điểm trường ứng suất và cơ chế địa động lực của hệ đứt gãy xác định theo CCCT một số động đất đều thể hiện trạng thái ứng suất kiểu tách thuận với ứng suất dẫn cực đại gần nằm ngang hướng tây, tây bắc, các ứng suất nén cực đại có độ dốc lớn hơn 65° . Còn ứng suất trung gian phương á kinh tuyến với độ dốc không đáng kể. Một số CCCT thể hiện cơ chế trượt bằng với các ứng suất nén và dẫn cực đại gần nằm ngang theo phương tây bắc - đông nam và đông bắc – tây nam ứng suất trượt cực đại định hướng á kinh tuyến và á vĩ tuyến. Mặt cắt cấu trúc - địa động lực đặc trưng của đới đứt gãy rãnh sâu Palawan. Về cấu trúc tương tự dạng mặt cắt của đới hút chìm Manila. Mặt đứt gãy hướng đông bắc – tây nam cắm chìm xuống phía dưới mảng Palawan hình thành mảng sâu Borneo ở cánh phía tây bắc mảng Palawan. Mảng bắc Kalimantan trôi lên ở phía đông nam. Về đặc điểm địa động lực thì có sự khác biệt do biểu hiện động đất và núi lửa yếu đặc trưng cho kiểu đới hút chìm thụ động.



Hình III-16 Các mặt cắt cấu trúc đứt gãy qua bể Palawan (theo kết quả khảo sát của đề án SO-tàu Sonne) (Phùng Văn Phách, 2008)



Hình III-17. Cơ cấu chấn tiêu đới Đông Nam Biển Đông: trượt bằng (1), chòem nghịch (2) và tách thuận (3), đứt gãy (4).

III.1.3.5. Hệ đứt gãy trung tâm Biển Đông

Gồm các đứt gãy sâu và có chiều dài lớn, đứt gãy bậc 1 hướng đông, đông bắc, là ranh giới và khống chế vùng vỏ đại dương tương ứng với trung tâm Biển Đông. Các đứt gãy bậc 2 có phương kinh tuyến, á kinh tuyến gần vuông góc với trục tách giãn Biển Đông và đóng vai trò các đứt gãy chuyển dạng, dọc theo đó các khối 2 bên trục tách giãn được đẩy ra và xô dịch nhau. Các đứt gãy bậc 1 có chiều sâu trên 30km và cắm theo các phương tây bắc và đông nam.

Trên dị thường trọng lực thể hiện rất rõ các đứt gãy bậc 1 bằng các dải dị thường cực đại gradien trọng lực. Các đứt gãy bậc 2 lại thể hiện rõ trên trường dị thường từ bằng các dải dị thường dạng dải đối xứng nhau qua trục tách giãn. Biểu hiện động đất và núi lửa của hệ đứt gãy trung tâm Biển Đông nhìn chung yếu và không rõ. Có một vài chấn tâm động đất phân bố rải rác trên đường trục tách giãn và trên các đứt gãy ven rìa trung tâm. Dọc theo các đứt gãy và trục tách giãn có nhiều điểm lộ đá bazan Kainozoi. Rõ ràng hoạt động tách giãn đáy biển trong Kainozoi là chuyển động kiến tạo chủ đạo trong tiến hoá Biển Đông và các đứt gãy này hoạt động mạnh trong giai đoạn đó.

Trường ứng suất hiện tại và cơ chế địa động lực ở trung tâm Biển Đông xác định theo các CCCT (13 trận động đất) là chòm nghịch chiếm ưu thế ở phụ bồn trung phía đông, phân bố ở phía ngoài kinh tuyến 114°E đến 120°E . Trường ứng suất kiến tạo chòm nghịch với ứng suất nén cực đại gần nằm ngang và theo phương á vĩ tuyến.

Các CCCT kiểu trượt bằng và tách thuận tập trung trong những diện tích hẹp, tại nơi giao cắt của các hệ đứt gãy – đây là những trạng thái ứng suất mang tính địa phương, khác biệt với trường ứng suất khu vực của cả hệ đứt gãy.

III.1.3.6. Hệ đứt gãy trên vùng quần đảo Trường Sa

Các đứt gãy trên vùng quần đảo Trường Sa gồm 3 nhóm có phương khác nhau. Nhóm đứt gãy có phương đông, đông bắc có chiều dài lớn hơn và các nhóm đứt gãy phương kinh tuyến, phương tây bắc – đông nam cắt nhau chia cắt vỏ thành các khối xô dịch tương đối nhau với biên độ thẳng đứng biến đổi từ 1-2 đến 3-5 km tạo nên những dải trũng dạng địa hào và bán địa hào nhỏ trong tầng trầm tích dạng kéo dài theo phương đông, đông bắc.

Biểu hiện động đất tập trung theo nhóm đứt gãy hướng kinh tuyến và ở vùng rìa bắc – đông bắc của vùng quần đảo. Trên một số đảo và bãi ngầm có biểu hiện đá bazan phun trào phát hiện trên các mặt cắt địa chấn phản xạ.

Trường ứng suất và cơ chế địa động lực được xác định qua CCCT của 4 trận động đất xảy ra trên khu vực giao nhau của đứt gãy kinh tuyến 114°E và rìa phía nam của trung tâm. Tất cả CCCT trên đều thể hiện trạng thái ứng suất kiểu trượt bằng – tách thuận với các ứng suất nén và dẫn cực đại định hướng tây bắc – đông nam và đông bắc – tây nam, ứng suất trượt cực đại định hướng á kinh tuyến và á vĩ tuyến. Chuyển động địa chấn xảy ra theo cơ chế trượt bằng phải – tách thuận phương á vĩ tuyến thể hiện sự sụt lún tương đối và dịch về phía đông của khối vỏ đại dương so với khối lục địa thoái hoá Trường Sa.

III.1.3.7. Hệ đứt gãy trên quần đảo Hoàng Sa – MacLiesfield

Gồm các đứt gãy phân bố theo 2 hướng vuông góc nhau. Nhóm đứt gãy phương đông bắc và nhóm đứt gãy phương tây bắc - đông nam. Hai nhóm này có chiều dài và độ sâu tương đương chia cắt vò ra các khối có kích thước khác nhau và chuyển động xê dịch thẳng đứng tạo nên bình đồ kiến tạo khá phức tạp.

- Số liệu địa chấn cho thấy bình đồ cấu tạo Kainozoi với nhóm bề oằn vồng kiểu địa hào, trên bề mặt có biểu hiện phun trào bazan.

- Trên vùng quần đảo Hoàng Sa và lân cận có một số chấn tâm động đất cường độ nhỏ $M < 5$, do đó cũng không xác định được các CCCT. Tuy vậy, trường ứng suất và cơ chế chuyển động kiến tạo trên các mặt cắt địa chấn cho thấy cơ chế tách thuận và trượt bằng phải là phổ biến, tương tự như trên vùng quần đảo Trường Sa.

III.1.4. Một số nhận định

Trên vùng Biển Đông và thềm lục địa Việt Nam đã xác lập mạng lưới các hệ đứt gãy hoạt động phân bố theo các phương kinh tuyến và á kinh tuyến Đông Bắc – Tây Nam, Tây Bắc – Đông Nam và á vĩ tuyến theo quy mô phát triển các đứt gãy và chia làm 3 bậc: bậc 1 là các đứt gãy có độ dài trên 1000km, chia cắt làm nhiều đoạn, độ sâu lớn, xuyên cắt vò Trái đất; bậc 2 gồm các đứt gãy có chiều dài hàng trăm kilômét và cắm sâu trong vò Trái đất; đứt gãy bậc 3 có độ dài và độ sâu nhỏ, thường phân bố trên phần trên của vò Trái đất. Mỗi hệ đứt gãy được xác định các đặc điểm cấu trúc và địa động lực riêng biệt, được biểu hiện bằng độ sâu mép trên và dưới của mặt đứt gãy, hướng cắm và góc cắm, bề rộng vùng phá hủy, cơ chế dịch chuyển và dạng ứng suất trên mặt cắt đứt gãy...

Trên vùng thềm lục địa và ven biển Việt Nam có các hệ đứt gãy Tây Biển Đông, hệ đứt gãy Sông Hồng – Sông Chày, hệ đứt gãy ven biển Nam Trung Bộ phân bố dọc theo ven biển, theo các phương kinh tuyến, Tây Bắc – Đông Nam và Đông Bắc – Tây Nam. Cấu trúc của các hệ đứt gãy này khá phức tạp với hướng cắm của mặt đứt gãy thẳng đứng và gần thẳng đứng, dạng tỏa tia từ mặt đứt gãy chính. Cơ chế địa động lực các đứt gãy phổ biến là ứng suất nén ép và tách giãn cục bộ theo cơ chế trượt bằng là chủ yếu.

Các hệ đứt gãy chạy dọc theo rìa phía Đông và Đông Nam của Biển Đông gồm các hệ đứt gãy Nam Đài Loan, Bắc Luzon, rãnh sâu Manila và Palawan - Borneo. Các hệ đứt gãy này có độ dài hàng nghìn kilômét, độ sâu đạt 200km và sâu hơn, góc cắm mặt đứt gãy thay đổi từ nghiêng lớn ở phần trên cho đến gần thẳng đứng ở phần dưới sâu. Đây là các hệ đứt gãy dạng đới hút chìm với cơ chế địa động lực biến động theo bề mặt và theo chiều sâu nhưng chủ yếu là nén ép và nghịch chồm.

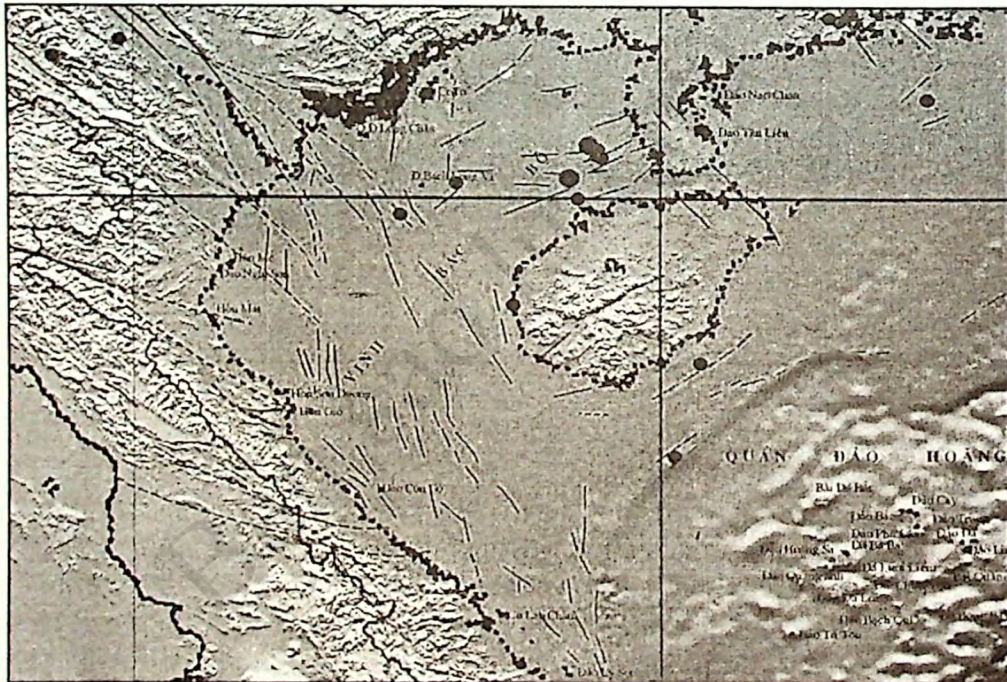
Các hệ đứt gãy khác như hệ đứt gãy Bắc Biển Đông phân bố trên rìa Bắc và Tây Bắc Biển Đông. Hệ đứt gãy vùng Trung tâm Biển Đông và các hệ đứt gãy trên các vùng quần đảo Trường Sa, Hoàng Sa đều có phương Đông Bắc-Tây Nam, có độ dài lớn, độ sâu xuyên cắt vò Trái đất, có cơ chế địa động lực chủ yếu là nén ép do trượt bằng hoặc tách giãn cục bộ trên một số vùng hạn chế.

III.2. ĐẶC ĐIỂM HOẠT ĐỘNG KIẾN TẠO TRỄ VÀ ĐỊA ĐỘNG LỰC HIỆN ĐẠI TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ KẾ CẬN

III.2.1. Hoạt động kiến tạo trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận

Các đứt gãy trẻ trong khu vực tây bắc Biển Đông - thuộc vịnh Bắc Bộ và khu vực ngoài khơi Bắc Trung Bộ có mối liên hệ chủ yếu tới hoạt động của các đứt gãy được cho là phần kéo dài của đứt gãy Sông Hồng ngoài khơi.

Đứt gãy Sông Hồng, một đứt gãy trượt bằng lớn trên đất liền Đông Nam Á, được cho là có liên quan mật thiết với quá trình hình thành Biển Đông và sự nâng lên của cao nguyên Tây Tạng. Tuy nhiên hoạt động của nó ở ngoài khơi còn chưa được rõ ràng, nhất là hoạt động trong giai đoạn Pliocen. Hiện tại, do có rất ít các nghiên cứu được công bố.



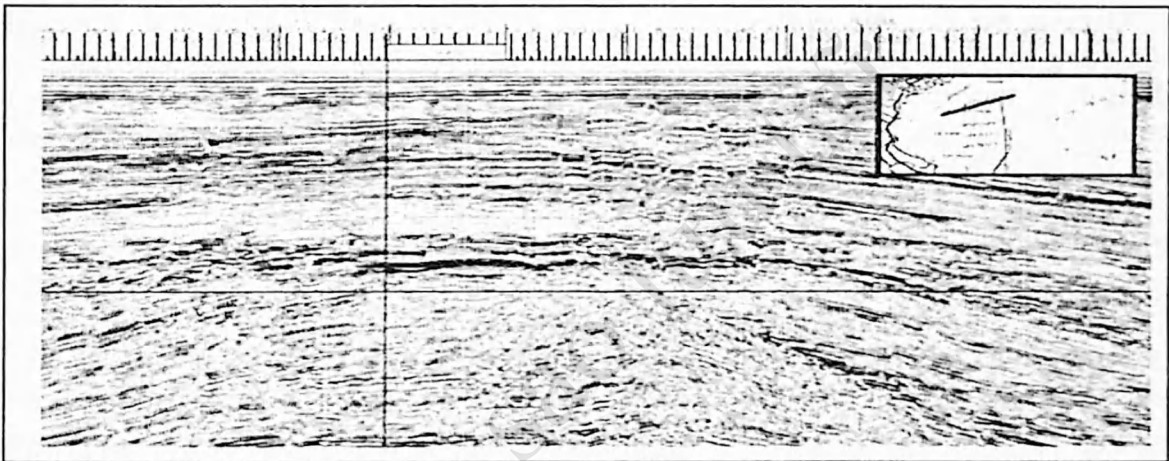
Hình III-18. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận - phần vịnh Bắc Bộ tới vùng biển Bắc Trung Bộ

Kết quả minh giải các mặt cắt địa chấn cho thấy trong khu vực vịnh Bắc Bộ, các tập hậu rifting Neogen-Đệ tứ bao gồm hai phần: hậu rifting sớm và hậu rifting muộn. Trong giai đoạn hậu rifting sớm Miocen, sự lún chìm phân dị cục bộ trên các đứt gãy đã giảm đáng kể và lún chìm khu vực chủ yếu do quá trình nguội lạnh của thạch quyển. Phần này đặc trưng bởi các phân xạ địa chấn song song liên tục và địa hình nghiêng cục bộ, cho thấy tích tụ siliciclastic trong môi trường biển nông cùng với sự phát triển của các nón quạt châu thổ ở rìa bồn. Trong giai đoạn hậu rifting muộn trong Pliocen-Đệ tứ, hoạt động đứt gãy tái hoạt động nhưng tốc độ trầm tích nhanh chóng vượt qua cả tốc độ lún chìm. Hai đới đứt gãy trẻ ở rìa bồn, một đới đứt gãy ở trung tâm, và một đới ở phía nam bồn Sông

Hồng có thể là các phần kéo dài chính ngoài khơi đới đứt gãy Sông Hồng.

Các đứt gãy trẻ ở rìa đông bắc bồn Sông Hồng định hướng theo phương tây bắc-đông nam tới bắc tây bắc – nam đông nam. Đây là tập hợp của nhiều chấn đoạn đứt gãy khác nhau với chiều dài biến đổi từ 30 đến 50 km. Trên các mặt cắt địa chấn đứt gãy này về bản chất là tập hợp của nhiều phá huỷ nhỏ, cắt lên tận phần trên cùng của các mặt cắt (Hình III-18).

Về phía đông nam, nó phát triển ép sát vào sườn phía tây nam của đảo Hải Nam. Các đứt gãy ở rìa đông bắc bồn Sông Hồng tái hoạt động sau 5.5 triệu năm. Sự tái hoạt động của nó gián tiếp được hỗ trợ bởi hiện tượng thoát chất lỏng hiện tại quan sát thấy gần đứt gãy. Hơn 100 điểm thoát khí hiện đại xuất hiện gần các đứt gãy này, phát hiện bởi tài liệu sonar quét sườn. Sự tái hoạt động của đứt gãy này đi kèm bởi sự tái hoạt động của hoạt động đứt gãy trong móng và sự đào khoét của channel ngầm.



Hình III-19. Biểu hiện của đứt gãy trẻ ở rìa đông bắc của bồn Sông Hồng trên tuyến địa chấn GTGP93-203.

III.2.1.1. Các đứt gãy ở trung tâm bồn Sông Hồng-vịnh Bắc Bộ

Các đứt gãy ở trung tâm bồn Sông Hồng với chiều dài mỗi đứt gãy thường không quá 35 km định hướng chủ yếu theo phương bắc tây bắc- nam đông nam với dịch chuyển thuận gần thẳng đứng, phân kỳ và kéo dài lên phía trên đi vào các tầng Pliocen và Holocen, và cắt lên tận trên cùng ở một số vị trí. Đứt gãy này đi kèm các đứt gãy dạng bậc có phương bắc nam, nó liên quan đến các cấu trúc diapir.

Các đứt gãy này tái hoạt động cục bộ sau 5.5 tr.n với dịch chuyển thẳng đứng nhỏ. Các tầng Pliocen-Holocen liên quan gần như không bị biến dạng.

III.2.1.2. Các đứt gãy ở rìa tây nam bồn Sông Hồng - thêm Thanh Nghệ

Các đứt gãy ở rìa tây nam bồn Sông Hồng phát triển chủ yếu theo phương bắc nam ở phía bắc đến tây bắc đông nam ở phía nam trên khu vực thêm Thanh Nghệ nơi chiều dày của các thành tạo Kainozoi không vượt quá 1 - 2 km. Ở khu vực này, các đới sụt lún dạng địa hào có biên độ vài chục mét, tương tự như các hố sụt Đệ tứ hướng kinh tuyến, phát triển ở Bút Sơn, Gia Viễn (Ninh Bình), hay đới sụt lún Trung Hà (Hòa Bình), Điện

Biên, Lai Châu, v.v.... Mỗi đứt gãy có độ dài khoảng 20 đến 30 km với dịch chuyển thuận là chủ yếu, nghiêng về phía trung tâm bồn và cắt qua các thành tạo trầm tích Pliocen-Đệ tứ với các biểu hiện sắc nét trên các mặt cắt địa chấn. Các đứt gãy này biểu hiện hoạt động cục bộ sau 5.5 triệu năm của đứt gãy ở rìa tây nam bồn Sông Hồng với dịch chuyển thẳng đứng nhỏ.

III.2.1.3. Các đứt gãy ở ngoài khơi Bắc Trung Bộ - Nam bồn Sông Hồng

Các đứt gãy ở phía nam bồn Sông Hồng thuộc vùng biển Bắc Trung Bộ bao gồm nhiều đứt gãy nằm gần như song song nhau, kéo dài từ vùng ven biển Thanh Hóa, Nghệ An, Quảng Bình - Vĩnh Linh xuống phía nam. Các đứt gãy này có đặc điểm phát triển thành những đoạn ngắn, song song với nhau, chiều dài khoảng 20-40 km, thường đổ về phía đông với dịch chuyển thẳng đứng nhỏ.

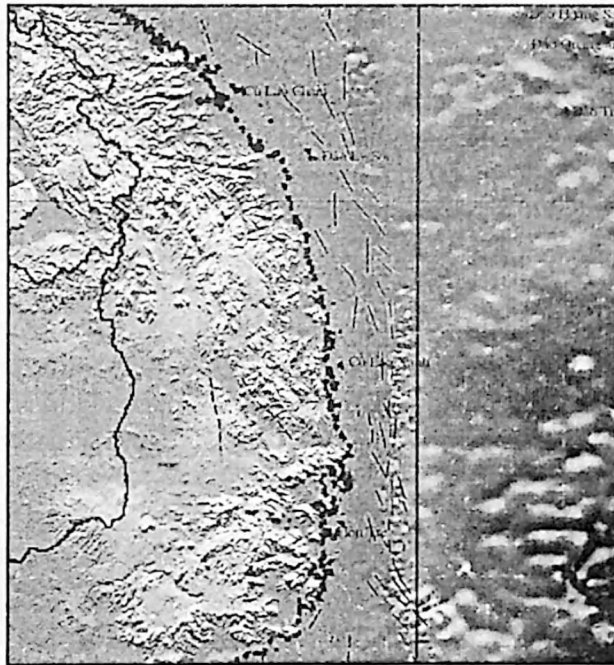
Ở vùng biển từ đèo Ngang đến Quảng Ngãi, các hoạt động kiến tạo trẻ mạnh lên đáng kể về số lượng đứt gãy, cũng như diện phân bố. Ở khu vực này, các hoạt động kiến tạo trẻ không chỉ tồn tại ở đới biển ven bờ mà còn phát triển ra cả phần trung tâm bồn trầm tích Sông Hồng. Ngoài ra, các hoạt động kiến tạo còn đi kèm với phun trào núi lửa khá mạnh trong Đệ tứ.

Ngoài các đứt gãy mô tả trên, khu vực phía tây bắc Biển Đông còn một số đới đứt gãy có biểu hiện hoạt động mạnh trong giai đoạn hiện tại như các đứt gãy liên quan với hoạt động động đất ở đông bắc vịnh Bắc Bộ và phía nam đảo Hải Nam. Các đứt gãy trẻ ở đông bắc vịnh Bắc Bộ chủ yếu phát triển theo phương đông - tây trong đó khu vực phát triển dày đặc nhất là cách bán đảo Lôi Châu khoảng 70 km về phía tây.

Các đứt gãy trẻ phát hiện được trên khu vực ngoài khơi Trung Trung Bộ được thể hiện chi tiết trên Hình III-20. Trên đó thể hiện các đứt gãy trẻ phát triển theo hai phương chủ yếu là bắc nam và tây bắc - đông nam trong đó hệ đứt gãy bắc - nam đóng vai trò chủ đạo. Các đứt gãy được vẽ liên tục theo hệ kinh tuyến 1090 hay 1100 trong các văn liệu trước đây, nhưng thực chất nếu xét theo tiêu chí đứt gãy trẻ thì chỉ là các đứt gãy ngắn thể hiện trong bản đồ này. Mỗi đứt gãy phát triển với chiều dài không quá 35 km, trong đó phổ biến nhất là trong khoảng 20km.

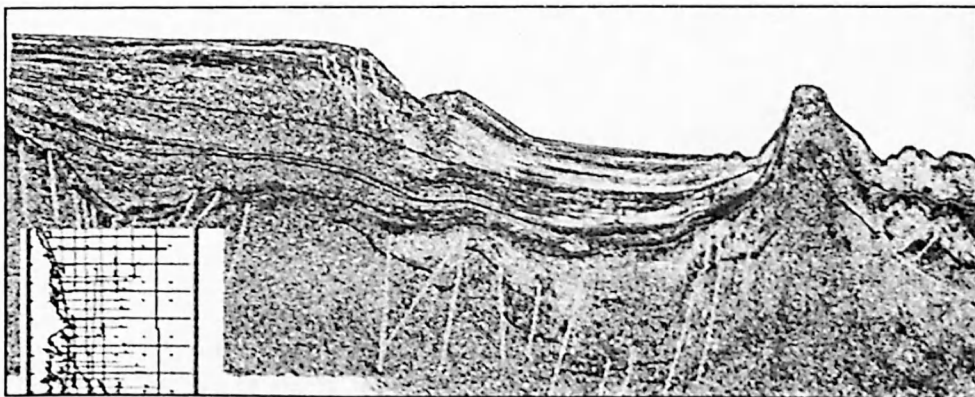
Hệ đứt gãy phương bắc nam về bản chất là các đứt gãy sụt trọng lực để lại dấu vết sắc nét trên địa hình và nhiều mặt cắt địa chấn, chúng phát triển dọc thềm và rìa thềm lục địa Trung Trung Bộ. Hoạt động của chúng phát triển kéo dài trong suốt Kainozoi đến Pliocen - Đệ tứ và làm móng granit trước Kainozoi sụt dần ra phía trũng nước sâu Biển Đông.

Ngoài các biểu hiện trên địa hình đáy biển, hoạt động của các đứt gãy trong khu vực này còn tạo ra quá trình phun trào núi lửa phát triển dọc dải biển miền Trung từ đảo Côn Cò, Lý Sơn. Ngoài các hoạt động phun trào núi lửa, hoạt động của hệ đứt gãy này còn gây ra trượt lở kiến tạo dưới biển.



Hình III-20. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận - phần vùng biển Trung Trung Bộ. Trên bản đồ thể hiện các đứt gãy hoạt động trong giai đoạn Pliocen-Đệ tứ trong khu vực

Ở vùng biển Nam Trung Bộ từ Nha Trang, Ninh Thuận đến phía đông nam đảo Phú Quý là khu vực có hoạt động kiến tạo trẻ hoạt động mạnh trong vùng biển Việt Nam. Các hoạt động kiến tạo trẻ ở khu vực này có các đặc điểm là các đứt gãy trẻ xuất hiện với số lượng lớn và tuy nhiên tính liên tục chưa cao. Các đứt gãy chủ yếu theo phương bắc nam đến tây bắc – đông nam với chiều dài khoảng 15 đến 30 km. Các đứt gãy trẻ thuộc đới trượt cắt Tuy Hoà có xu hướng phát triển về phía đông nam theo định hướng đã có từ trước của đới trượt này. Trong khi đó tiến dần về phía nam đến đảo Phú Quý, các đứt gãy chuyển sang phương gần bắc – nam, phù hợp hơn với định hướng của ứng suất khu vực.



Hình III-21. Tuyến AW-8 cắt ngang qua thềm lục địa Trung Trung Bộ cho thấy hoạt động đứt gãy trẻ khá yếu ớt.

Trên các mặt cắt địa chấn, các đứt gãy trẻ thường bắt nguồn từ dưới sâu với dịch chuyển thẳng đứng nhỏ. Các hoạt động kiến tạo hiện đại đi kèm với quá trình phun trào núi lửa quan sát thấy ở khu vực quanh các đảo Phú Quý và Hòn Tro. Các mặt cắt địa chấn đo ở khu vực này phát hiện thấy các đứt gãy trẻ cắt qua đáy biển, đồng thời cũng ghi nhận các biểu hiện phun trào núi lửa nằm phủ trên đáy biển liên quan đến hoạt động núi lửa Hòn Tro năm 1923. Cần lưu ý rằng, đã có nhiều trận động đất đã xảy ra ở khu vực này.

Gần đây nhất, trận động đất Phan Thiết - Vũng Tàu 5,3 độ Richter, ngày 8 tháng 11 năm 2005 cũng được xác nhận là liên quan đến hoạt động của các đứt gãy á kinh tuyến 108 – 109° và cách núi lửa Hòn Tro 40 - 80 km về phía tây. Như vậy, các số liệu đo địa chấn và các số liệu động đất đều khẳng định rằng, các đứt gãy á kinh tuyến nằm dọc rìa thềm phía đông của thềm lục địa Nam Việt Nam là các đứt gãy đang hoạt động, liên quan với chúng là chuỗi núi lửa và động đất kéo dài từ những năm 1882 đến nay.

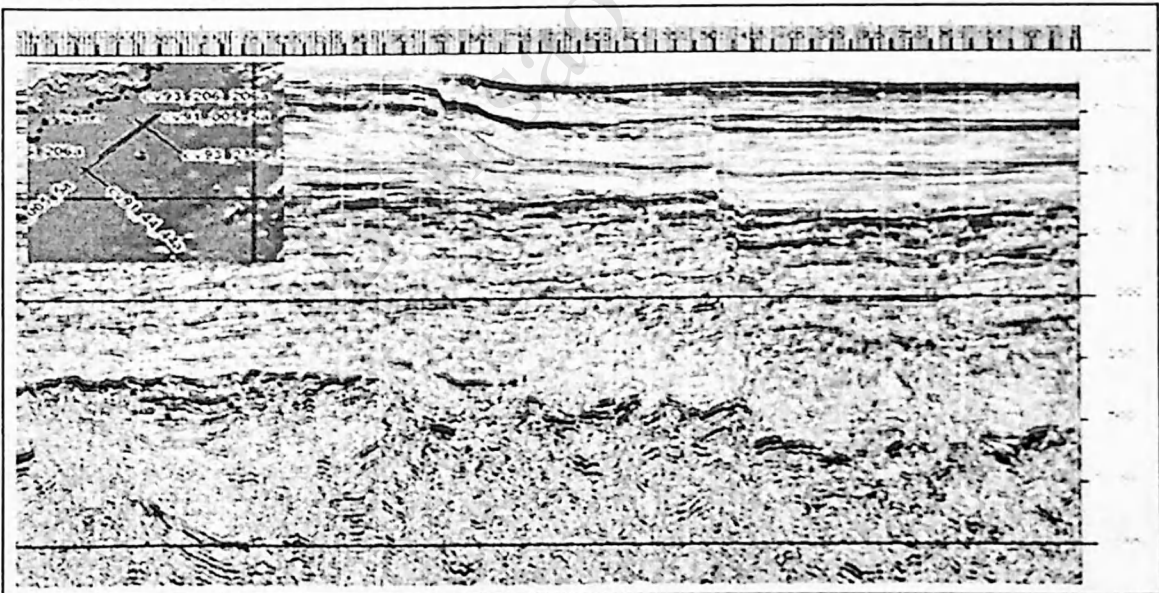


Hình III-22. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận - phần vùng biển Nam Trung Bộ và Nam Bộ

Từ các mặt cắt địa chấn có thể thấy các hoạt động kiến tạo đã làm móng Kainozoi nâng lên rõ rệt ở khu vực giữa kinh tuyến 108°30' và 109°. Ở khu vực này các hoạt động nâng trôi đã tạo ra các đứt gãy trẻ cắt qua toàn bộ các thành tạo Kainozoi. Các hoạt động đứt gãy phá hủy cắt qua toàn bộ lớp phủ Đệ tứ và lộ ra trên đáy biển hiện tại. Ở khu vực đới nâng Côn Sơn phát triển về phía thềm Phan Rang, đi kèm với các hoạt động kiến tạo là quá trình phun trào núi lửa mãnh liệt xảy ra trong thế kỷ 19 và 20 ở khu vực các đảo Hòn Tro, Hòn Hải và vùng biển Tuy Phong.

Ở vùng biển Nam Bộ hệ thống đứt gãy phương bắc tây bắc- nam đông nam đến gần bắc -nam rất phát triển trong Pliocen – Đệ tứ. Hệ thống đứt gãy này bao gồm nhiều đứt gãy nhỏ, thể hiện tính liên tục chưa cao, với chiều dài mỗi đoạn khoảng 20 đến 50 km. Các đứt gãy này phát triển mạnh về phía nam và đông nam, có biên độ dịch chuyển thẳng đứng trong Pliocen – Đệ tứ đạt tới 30-40m cắt qua toàn bộ lát cắt Kainozoi và có khả năng xuyên vào phần sâu của vỏ Trái đất và đóng vai trò chi phối bình đồ cấu tạo địa chất của 20 lát cắt Pliocen – Đệ tứ.

Để xác định được tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại, các phương pháp trắc địa truyền thống từng được sử dụng như phương pháp đo thủy chuẩn và phương pháp tam giác đạc. Trong quy mô nhỏ các phương pháp trên có độ chính xác cao nhưng tỏ ra hạn chế trên một quy mô rộng lớn. Để liên kết trên diện rộng các phương pháp trắc địa không gian như DOPPLER, VLBI (Very Long Baselines Interferencia), định vị toàn cầu GPS đã được áp dụng. Ngày nay, GPS đã trở thành công nghệ chủ đạo trong nghiên cứu định lượng chuyển động hiện đại vỏ Trái đất, đó là nhờ những tính năng vượt trội của nó so với các thiết bị đo đạc kinh điển như quang cơ hay quang điện (máy kinh vĩ, máy đo xa điện quang, toàn đạc điện tử, v.v...). Công nghệ GPS cho phép đo tới khoảng cách tùy ý và với độ chính xác rất cao, sai số tương đối có thể đạt đến 10^{-9} . Đo đạc bằng GPS không đòi hỏi tầm nhìn thông giữa các điểm như khi sử dụng các thiết bị kinh điển; điều này có nghĩa là không cần thiết phải bố trí điểm đo trên đỉnh núi, không phải xây dựng tháp để đặt máy và tiêu ngắm, ngược lại có thể chọn bố trí điểm đo ở những nơi mà mục tiêu nghiên cứu yêu cầu và tiện lợi cho công tác đo đạc.

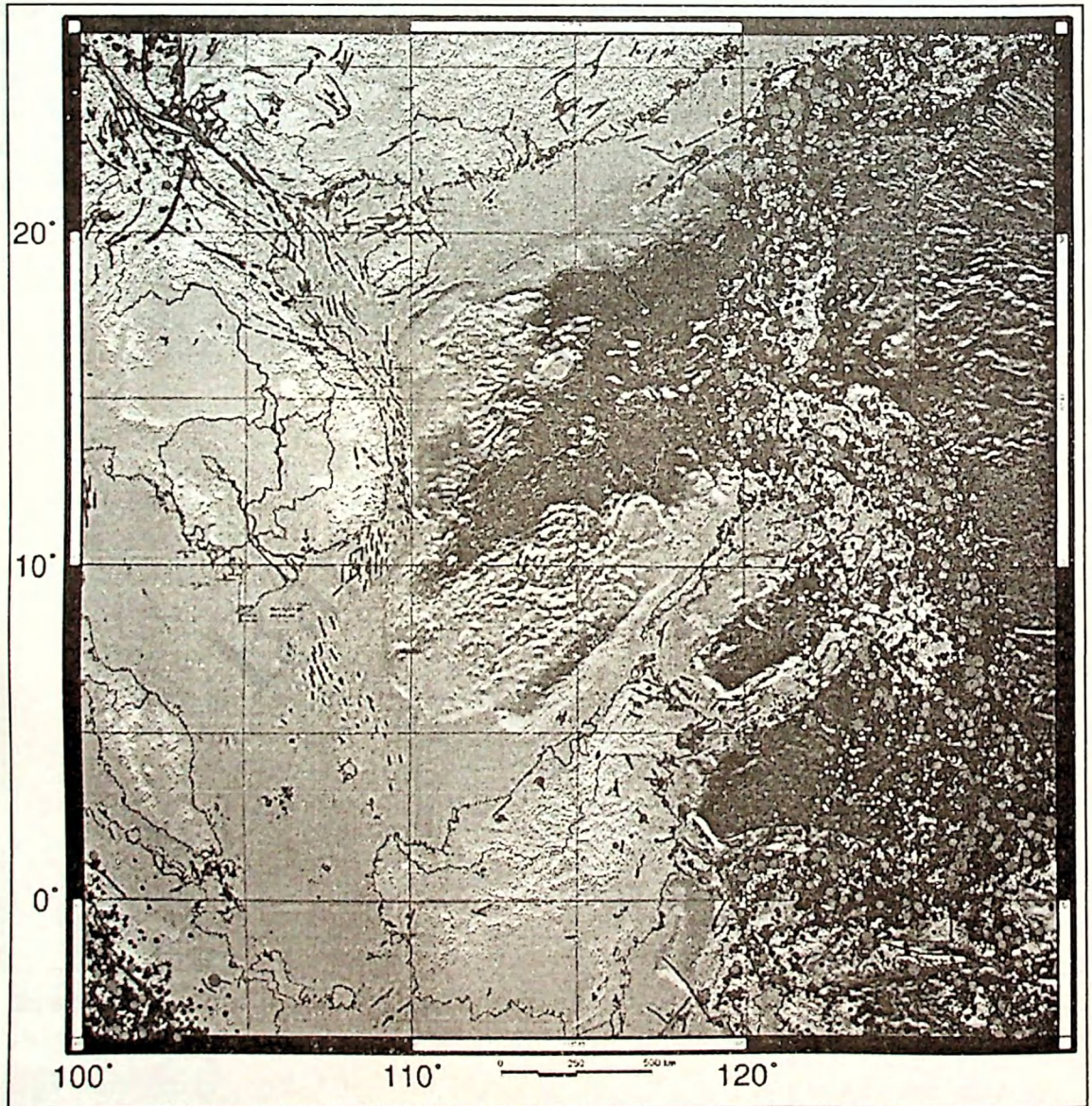


Hình III-23. Biểu hiện của hoạt động đứt gãy trẻ trên tuyến địa chấn CV91-005-5a cắt ngang qua thềm lục địa ngoài khơi Nam Trung Bộ

Nghiên cứu về khu vực Đông Nam Á, đề án GEODYSSSEA đánh dấu một bước ngoặt quan trọng trong việc ứng dụng công nghệ GPS vào nghiên cứu sự chuyển động của các mảng và biến dạng vỏ Trái đất nhằm giảm thiểu tai biến thiên nhiên trong khu vực. Đề án này là sự hợp tác giữa các nhà khoa học của Châu Âu (với sự tham gia của 19 cơ quan nghiên cứu khoa học thuộc 6 nước Châu Âu: Đức, Pháp, Hà Lan, Bỉ, Anh và Ý) và

các nhà khoa học thuộc 8 nước ASEAN, với sự tài trợ của Liên hiệp Châu Âu. Đề án này đã thiết lập mạng lưới 43 trạm đo GPS tại các nước Indonesia, Malaysia, Philipin, Brunei và Việt Nam. Đề án đã tiến hành 2 chu kỳ đo GPS đồng thời tại các điểm với 5 ca đo liên tục 24 giờ vào cuối tháng 11 năm 1994 và cuối tháng 4 năm 1996 và đã xử lý, tính toán các chuỗi số liệu đo.

Tháng 4 năm 1998, Đề án GEODYSSSEA đã tổ chức hội nghị tổng kết và đã thông qua báo cáo chung cùng các báo cáo chuyên đề và đã kiến nghị thêm một chu kỳ đo trên toàn lưới. Công việc này đã được thực hiện vào tháng 11/1998 với chương trình đo giống như hai lần trước.



Hình III-24. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận. Trên bản đồ thể hiện các đứt gãy hoạt động trong giai đoạn Pliocen-Đệ tứ trong khu vực

Theo báo cáo chung thì kết quả của Đề án đã xây dựng được trường vận tốc chuyển động ngang của các điểm đo trong ITRF-94 với sai số trong khoảng $\sim 3\text{mm/năm}$. Trường vận tốc này là khung cảnh toàn diện về chuyển động hiện đại khu vực lần đầu tiên có được. Kết quả này đã thể hiện các đặc điểm động học đo được ở khu vực Đông Nam Á liên quan đến chuyển động của 3 mảng chính là SUNDA, INDO-AUSTRALIA và PHILIPIN. Vị trí hội tụ của 3 mảng nằm ngay phía đông đảo Sulawesi của Indonesia. Xét trên hệ tọa độ toàn cầu ITRF 94 thì mảng INDO-AUSTRALIA đang chuyển động về phía trước và chui dưới SUNDA theo hướng đông bắc với vận tốc khoảng 7cm/năm , dọc theo địa hào Java; trong khi đó, từ phía đông nam, mảng Philipin đang trượt chui xuống dưới Sunda theo hướng tây bắc với vận tốc 7cm/năm ở phía bắc và 9cm/năm ở phần phía nam [91].

Trong phạm vi quốc gia, đặc biệt là Trung Quốc để giám sát sự biến dạng lớp vỏ Trái đất và giảm thiểu tai biến động đất, mạng lưới quan sát chuyển động lớp vỏ Trái đất (Crustal Movement Observation Network of China-CMONOC) giai đoạn 1 đã được thiết lập trong suốt thời kỳ từ năm 1997 đến năm 2000. Mạng lưới này bao gồm 27 trạm đo GPS liên tục phục vụ làm trạm chuẩn và hơn 1100 các trạm chiến dịch khác phân bố khắp nơi trên lục địa Trung Quốc, với mật độ tương đối cao hơn ở xung quanh các đứt gãy hoạt động. Các trạm liên tục được quan sát từ năm 1998, trong đó có 6 trạm (BJFS, LHS, KMIN, SHAO, URUM, WUHN) đang được dùng làm trạm IGS. Hơn 1100 các trạm chiến dịch đều được thiết kế giống nhau cả về kiểu máy thu và ăng ten đã hoàn thành 3 chiến dịch đo vào các năm 1999, 2001 và 2004.

Ở Philipin cũng đã tiến hành đo GPS tại hàng chục điểm thuộc các đảo của quần đảo Philipin. Đặc biệt, các dữ liệu đo GPS khu vực đảo Luzon và vùng lân cận được thu thập và tính toán xử lý [108] trong công trình nghiên cứu phân tích biến dạng khu vực đảo Luzon bao gồm các chu kỳ đo lặp của lưới GPS khu vực Luzon cũng như các mạng lưới nhỏ hơn quanh đứt gãy Marikina và các núi lửa hoạt động Taal, Pinatubo, và Mayon [83]. Toàn bộ mạng lưới GPS Luzon bao gồm 52 trạm, hầu hết trong số đó được lựa chọn từ các mốc của Mạng quy chiếu GPS Philippine (thành lập năm 1992). Các điểm đo sử dụng máy đo 2 tần số qua các chu kỳ đo 1996, 1998, 1999 và 2002. Các trạm này được kết nối với các trạm GPS đo liên tục PIMO và MMA8, cả hai nằm ở Metro Manila. Công trình [108] nghiên cứu phân tích biến dạng khu vực đảo Luzon đã tiếp quản quá trình xử lý các số liệu năm 2002, cũng như xử lý lại số liệu GPS các năm từ 1996-1999 sử dụng phần mềm GIPSY-OASIS II.

Trường vận tốc GPS quan sát được, được thể hiện trong khung quy chiếu với trạm MMA8 ở Manila được cố định, cung cấp bằng chứng về biến dạng nội cung mạnh mẽ. Trường vận tốc ngang chỉ ra vận động tương đối phương BTB với tốc độ $\sim 35\text{--}45\text{ mm yr}^{-1}$ ở ĐB Luzon, có lẽ do kết quả của trượt cắt dọc theo đứt gãy Philippine, trong khi vận tốc của các điểm ở TB Luzon thể hiện vận động thiên về phía TB hơn với tốc độ giảm nhẹ. Sự vận động tương phản này có thể do dịch trượt khác nhau dọc theo các đứt gãy nhánh thuộc đứt gãy Philippine. Vận động quan sát được ở ĐN Luzon chỉ ra phương gần như về phía bắc với tốc độ $\sim 35\text{ mm yr}^{-1}$, một lần nữa, do kết quả của sự trượt cắt dọc theo phần trung tâm của đứt gãy Philippine, trong khi các trạm ở TN Luzon thể hiện tốc độ theo phương đông và bắc vận tốc $\sim 4\text{--}10\text{ mm yr}^{-1}$ có thể liên quan với biến dạng chậm tương đối dọc theo Macolod Corridor. Các điểm ở trung Luzon gần đứt gãy

Philippine thể hiện vận tốc phương TB với độ lớn $\sim 20\text{--}30 \text{ mm yr}^{-1}$. Điều này làm giảm vận tốc từ biến dạng đàn hồi liên quan với quá trình kết cặp dọc theo các đoạn bị khoá của đứt gãy Philippine.

III.2.2. Đo đạc chuyển động hiện đại vùng Biển Đông bằng GPS

Nội dung nghiên cứu chuyển động hiện đại bằng công nghệ GPS bao gồm: (1) thiết lập trên vùng nghiên cứu một lưới các điểm quan trắc – trong văn liệu nước ta gọi là lưới GPS địa động, (2) tiến hành đo đạc theo từng thời gian (chu kỳ đo), (3) tiến hành xử lý số liệu các chu kỳ đo để tính biên độ hoặc vận tốc chuyển động hiện đại khu vực nghiên cứu.

III.2.2.1. Xây dựng lưới GPS Biển Đông

Nhiệm vụ đầu tiên là lựa chọn bố trí các điểm trên Biển Đông. Đã bố trí ba điểm sau:

- Điểm Bạch Long Vĩ, ký hiệu là BLV1.
- Điểm Song Tử Tây, ký hiệu là STT1.
- Điểm Côn Đảo, ký hiệu là CDA1.

Để kết nối với ba điểm này ở phía bắc, đông và nam, có thể chọn các điểm đo thường trực thuộc lưới IGS, chẳng hạn điểm TSKB (Nhật Bản), DAEJ (Hàn Quốc), WUHN (Vũ Hán, Trung Quốc), KUNM (Côn Minh, Trung Quốc), TNML hoặc TCMS (Đài Loan), PIMO (Quezon, Philipin), BAKO (Cibinong, Indonexia) và NTUS (Singapore).

Ở phía tây Biển Đông, các điểm lựa chọn bố trí tại một số địa điểm trên lục địa nước ta. Từ 2002, Viện Địa chất đã lắp đặt một trạm thu thường trực trên nóc nhà 5 tầng của Viện. Tên điểm đo được gọi là LANG. Từ 2007, Viện Vật lý địa cầu cũng đã lắp đặt 3 điểm đo với các máy thu hai tần số của hãng Novatel tại Hà Nội, Huế (tên điểm là HUES) và Thành phố Hồ Chí Minh (tên điểm đo là HOCM). Tại HUES được lắp đặt máy thu NOV OEM4-G2 và ăng ten NOV 503+CR; tại HOCM.

Để kết nối với các điểm trên lãnh thổ Việt Nam này, đã chọn các điểm IGS sau: ở phía bắc là LHAZ (Tây Tạng, Trung Quốc), KIT3 (Kitab, Tagijkistant), ở phía tây là IISC và HYDE (Ấn Độ) và nam là COCO, DARW (Darwin, Australia).

Xét trên các điều kiện cụ thể của lưới GPS Biển Đông, ba chu kỳ đo được thực hiện vào tháng 4 năm 2007, tháng 4 năm 2008 và tháng 4 năm 2009 với các lựa chọn sau đây:

1. Thiết bị đo: ba bộ máy thu hai tần số Trimble 4000 SSI và ăng ten Compact L1/L2 gắn vành chống phản xạ (Ground Plane).
2. Các thông số cài đặt máy thu: tần suất ghi tín hiệu 30 giây, góc ngưỡng cao 10 độ, số vệ tinh tối thiểu 3.
3. Độ dài ca đo 23 giờ 30 phút, bắt đầu từ 7h05' sáng và kết thúc vào 6h35' sáng hôm sau (giờ Việt Nam) để trút số liệu và kiểm tra lại độ cao ăng ten trước khi khởi động ca đo tiếp theo.
4. Số lượng ca đo tại mỗi điểm: 7 - 9 ca.

Bảo đảm được lịch đo như trên là một nỗ lực rất lớn trong điều kiện cụ thể hiện có. Trong thời gian đo, tất cả các máy thu hoạt động bình thường. Thời tiết tương đối tốt

tuy có mưa. Số lượng và chất lượng số liệu đo tại tất cả bốn điểm đảm bảo để tiến hành xử lý.

III.2.2.2. Xử lý số liệu và kết quả đo GPS lưới Biển Đông

Nhằm đảm bảo độ chính xác và độ tin cậy cần thiết, số liệu đã chuẩn bị trên được xử lý độc lập theo 4 nhóm khác nhau bằng hai phần mềm được ưu tiên lựa chọn trong các ứng dụng GPS nghiên cứu địa động lực là BERNESE và GAMIT/GLOBK. Với tính toán trên BERNESE 4.2, giả thiết các giá trị chuyển dịch tại các điểm IGS coi như đã biết, sai số coi như bằng không. Nói cách khác trong quá trình tính toán các điểm GPS coi như cố định với tốc độ đã biết. Các chuyển dịch thẳng đứng tại các điểm coi như bằng không. Sai số sẽ dồn hết cho các điểm cần tính như BLV1, LANG, STT1...

Các tính toán trên GAMIT và trên BERNESE 5.0 của Viện Địa chất (VĐC) và Viện Địa chất và Hạt nhân New Zealand (GNS) đều dần sai số cho cả các trạm IGS và các trạm đo tại Việt Nam. Nói cách khác tại các điểm đo IGS khớp nối với các trạm đo Việt Nam theo “Constraint” chứ không phải khớp cố định. Mỗi điểm đo được lần lượt trình bày kết quả tính theo phần mềm BERNESE 4.2, GAMIT, BERNESE 5.0 do Viện Địa chất và Hạt nhân New Zealand thực hiện (GNS), BERNESE 5.0 do Viện Địa chất-Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam thực hiện (VĐC). Kết quả này có sai lệch nhẹ với kết quả sơ bộ trước đây, có bổ sung thêm số liệu của các trạm Đồng Hới, Huế và Thành phố Hồ Chí Minh [61].

Công việc xử lý của từng nhóm đều thực hiện theo ba bước sau:

- *Bước 1:* Xử lý số liệu từng ca đo tại các điểm địa phương và các điểm IGS.

Đối với số liệu đo năm 2008 và 2009, đã xử lý 15 ca đo. Quá trình xử lý ca đo giống như đã nói ở trên.

Quá trình xử lý các ca đo nhìn chung suôn sẻ. Việc phải xử lý lại rất ít. Giải pháp khắc phục cuối cùng trong những trường hợp này là loại bỏ điểm có số liệu đo xấu hoặc quá ít trong ca đo đó. Nhận xét sơ bộ là số liệu đo 2007 cung cấp các lời giải chính xác hơn. Tất cả các ca đo của hai chu kỳ đo cuối cùng đều đã cung cấp lời giải đạt chuẩn để đưa vào xử lý bước tiếp theo.

- *Bước 2:* Xử lý kết hợp kết quả tính cả các ca đo trong từng chu kỳ.

- *Bước 3:* Tính vận tốc chuyển dịch tuyệt đối trong ITRF05 cùng sai số trung phương vận tốc từ kết quả xử lý ba chu kỳ đo 2007, 2008 và 2009.

Kết quả tính vận tốc chuyển dịch bằng tuyệt đối của ba nhóm xử lý được tổng hợp giới thiệu ở *Bảng III-1* và được thể hiện trên không gian như *Hình III-25*, *Hình III-26*.

Bảng III-1. Kết quả tính vận tốc chuyển động tuyệt đối trong ITRF05

TT	Tên trạm GPS	Phần mềm xử lý	Tốc độ chuyển dịch về phía bắc		Tốc độ chuyển dịch về phía đông		Tốc độ chuyển dịch thẳng đứng (tham khảo)	
			Giá trị (mm/năm)	Sai số (mm/năm)	Giá trị (mm/năm)	Sai số (mm/năm)	Giá trị (mm/năm)	Sai số (mm/năm)
1	BLV1	BERNESE 4.2	-15.54	0.15	30.37	0.17	0.00	0.02
		GAMMIT	-14.76	1.58	29.36	1.63	-0.17	1.95

		BERNESE 5.0 (GNS)	-14.70	0.20	27.40	0.30	-0.40	0.90
		BERNESE 5.0 (VĐC)	-13.70	0.30	29.50	0.40	11.30	1.30
2	LANG	BERNESE 4.2	-13.09	0.16	41.18	0.19	-0.01	0.02
		GAMMIT	-12.43	1.58	39.47	1.63	-15.03	2.24
		BERNESE 5.0 (GNS)	-12.50	0.20	38.00	0.20	-22.70	0.70
		BERNESE 5.0 (VĐC)	-12.40	0.30	40.20	0.40	-16.40	1.40
3	DOHO	BERNESE 4.2	-7.68	0.17	28.21	0.20	-0.01	0.03
		GAMMIT	-10.26	1.60	26.79	1.68	-2.19	2.45
		BERNESE 5.0 (GNS)	-9.10	0.30	24.60	0.40	-15.20	1.50
4	HUES	BERNESE 4.2	-21.82	0.17	29.88	0.21	0.00	0.02
		GAMMIT	-20.43	1.63	30.06	1.72	7.30	2.80
		BERNESE 5.0 (GNS)	-19.80	0.20	29.70	0.30	10.10	0.90
5	STT1	BERNESE 4.2	-11.63	0.15	23.46	0.19	0.00	0.02
		GAMMIT	-10.11	1.65	22.55	1.76	-0.95	3.37
		BERNESE 5.0 (GNS)	-10.30	0.30	21.60	0.30	-7.60	1.30
		BERNESE 5.0 (VĐC)	-11.60	0.30	23.10	0.40	6.30	1.40
6	CDA1	BERNESE 4.2	-12.38	0.15	22.15	0.18	0.00	0.02
		GAMMIT	-10.76	1.63	20.85	1.70	-6.06	2.46
		BERNESE 5.0 (GNS)	-7.40	0.20	20.40	0.30	-9.70	1.00
		BERNESE 5.0 (VĐC)	-9.80	0.30	21.30	0.40	-7.20	1.50
7	HOC M	BERNESE 4.2	-11.24	0.17	22.83	0.21	-0.01	0.03
		GAMMIT	-13.46	1.65	21.50	1.76	-4.64	3.07
		BERNESE 5.0 (GNS)	-11.50	0.20	21.70	0.30	-3.10	1.00
		BERNESE 5.0 (VĐC)	-13.20	0.30	20.90	0.50	-1.20	1.50

III.2.3. Một số nhận định

So với kết quả đo của Trung Quốc và các nước Châu Á và Thái Bình Dương, kết quả đo lặp của 3 kỳ đo trong khoảng thời gian 2007-2009 là tương đối ngắn, tuy nhiên với sai số nhỏ nên giá trị chuyển dịch tuyệt đối hoàn toàn có ý nghĩa. Chúng ta đã có thể rút ra một số nhận xét về đặc điểm biến dạng của Biển Đông Việt Nam:

Tiếp tục với xu thế chuyển dịch về phía đông - đông nam đã quan sát thấy trên đất liền của Việt Nam, chúng ta quan sát thấy toàn bộ các trạm đo GPS đều chuyển dịch về phía đông - đông nam. Kết quả trên cũng phù hợp với quan sát ở đảo Hải Nam, Quảng Tây, Quảng Đông cũng như toàn rìa đông nam Trung Quốc. Điều này cho thấy biến dạng trên Biển Đông Việt Nam chịu sự chi phối chủ yếu của đung độ giữa mảng Ấn Úc và mảng Âu Á.

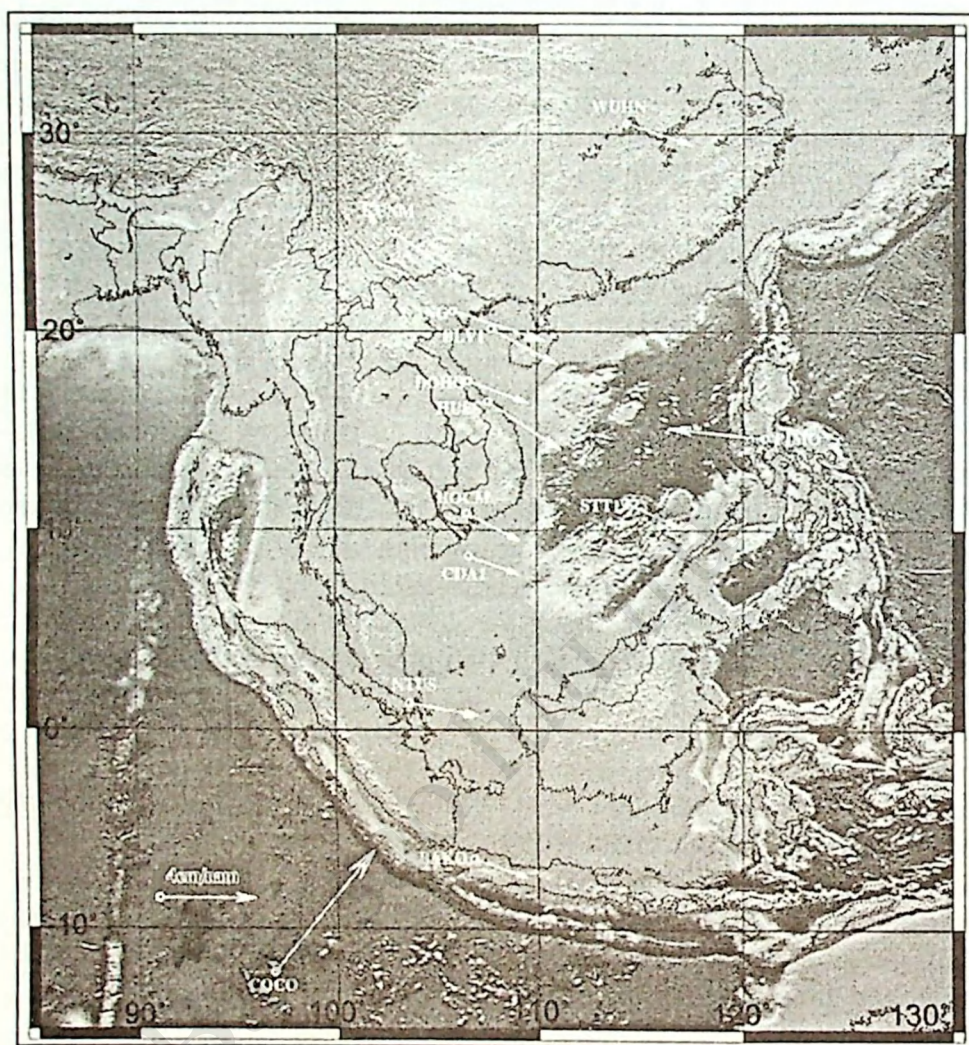
Sự suy giảm tốc độ chuyển dịch theo hướng từ tây sang đông của các trạm đo GPS phía bắc (Láng, Bạch Long Vĩ, Hải Nam) cho thấy hiện nay vịnh Bắc Bộ bị biến dạng nén và chịu xiết ép theo phương á vĩ tuyến hoặc lệch một chút về phía đông đông nam. Trường lực này không thuận lợi cho hệ thống đứt gãy đang hoạt động tách dẫn phương á kinh tuyến và cũng không thuận lợi cho các đứt gãy trượt bằng phương Tây Bắc - Đông Nam. Các hướng chính và giá trị chính của trục ứng suất - biến dạng sẽ được chính xác hoá ở các chu kỳ đo sau. Theo tính toán sơ bộ, tốc độ biến dạng nén tính từ trạm Láng tới trạm Bạch Long Vĩ đạt giá trị xấp xỉ 10^{-8} /năm (~10 nano biến dạng/năm).

Phía bắc Biển Đông đang đóng lại theo phương tây tây bắc - đông đông nam với tốc độ cỡ 77 mm/năm. Hướng của véc tơ chuyển dịch tại Láng, Bạch Long Vĩ, Hải Nam, Hoàng Sa hầu như ngược với hướng véc tơ chuyển dịch ở PIMO, phản ánh hướng chuyển dịch của mảng bắc Biển Đông cắm dưới Philippine tại trũng Malina về phía đông đông nam. Sự đóng lại của Biển Đông dọc theo đới cuốn chìm Manila có tốc độ không đều nhau phía bắc đảo Luzon tốc độ chuyển dịch về phía tây bắc là lớn nhất sau giảm nhanh về phía đông nam. Điều đó chứng tỏ hoạt động của đới cuốn chìm Manila, ranh giới phía đông bắc của khối Sunda khá phức tạp. Đây là bằng chứng ủng hộ cho tính phân đoạn của đới cuốn chìm Manila.

Các trạm đo GPS phía nam (Song Tử Tây, Côn Đảo) có hướng chuyển dịch về phía đông nam cho thấy chế độ địa động lực ở phía nam Biển Đông đã thay đổi so với phần phía bắc Biển Đông, tốc độ chuyển dịch ngang nhỏ hơn ở phía bắc. Biển Đông ở phần phía nam không bị đóng lại. Tốc độ biến dạng nhỏ hơn phía bắc Biển Đông.

So sánh các vectơ chuyển dịch ở Thái Lan, Vũng Tàu, Malaysia và Palawan, thì vectơ chuyển dịch ở Côn Đảo và Song Tử Tây có nhỏ hơn và hơi lệch về phía đông nam. Nhìn chung, vùng nam và tây nam Biển Đông hầu như không bị biến dạng lớn. Với kết quả đo tại Côn Đảo, Thành phố Hồ Chí Minh và Song Tử Tây, đối sánh với kết quả đo ở Palawan trong các đề án GEODYSSEA và PCGIAP thì không thấy sự xiết ép xảy ra ở Bắc Borneo. Kết quả này trái ngược với kết quả từ [162]. Khi cố định khối Sunda, công trình [162] đã tính chuyển dịch tại một số trạm đo bắc Borneo có hướng quay về tây bắc hoặc tây - tây bắc, từ đó giả định rằng có một phần ranh giới của khối Sunda đi qua rìa phía bắc của Borneo. Ranh giới của khối Sunda dịch về phía nam của Borneo vì thực tế có sự thay đổi rất lớn về tốc độ chuyển dịch tại đây, lớn hơn rất nhiều so với thay đổi tốc độ ở rìa bắc Borneo với khối Sunda.

So sánh các vectơ chuyển dịch tại DOHO, CDA1, STT1 thì có thể thấy biến dạng rất nhỏ, điều đó chứng tỏ nếu đứt gãy I10 đang hoạt động thì tốc độ chuyển dịch rất nhỏ. Sẽ chính xác hóa tốc độ tối đa của đới đứt gãy này trong những đợt đo tiếp theo.



Hình III-25. Sơ đồ tốc độ chuyển dịch tuyệt đối trong IGS05 của các trạm GPS trên Biển Đông, theo 3 đợt đo các năm 2007-2008-2009 [62]

Từ phân tích tốc độ tensor biến dạng, có thể xác định được vùng có tốc độ biến dạng rất nhỏ dưới 7 nano biến dạng/năm, thể hiện vùng không biến dạng bên trong khối Sunda. Ranh giới được chính xác hoá và tóm tắt như sau: Về phía tây, khối Sunda được bao bởi đứt gãy trượt bằng phải, xác định rõ ràng hướng của tenso biến dạng. Nó kéo dài từ Myanmar tới Sumatra dọc theo đứt gãy Sagaing, hệ thống pull-apart Andaman. Về phía nam Java, khối bị giới hạn bởi máng nước sâu Java. Tuy nhiên vòng cung đảo Java chịu biến dạng rất lớn và gắn liền với động đất, gần đây vừa xảy ra trận động đất Yjogakarta năm 2006. Nếu như đứt gãy đang hoạt động đó được khẳng định thì chi phần tây của Java là thuộc về Sunda và đứt gãy rượt bằng, hướng về đông bắc được coi là một phần của Sunda (hoặc thêm Sunda). Tốc độ biến dạng cao giữa Borneo và Sulawesi với mật độ GPS rất cao, ranh giới máng Sunda sẽ đi qua đường phân cắt giữa Borneo và Sulawesi. Biến dạng tiếp tục tới rìa đông giữa vĩ tuyến 10°N và 5°N, bắc Sulawesi, đối Philipin. Rìa đông của Sunda là 3 máng biển sâu tây vòng cung đảo Philipin Cotabato, Negros và trung Manila.



Hình III-26. Sơ đồ tổng hợp các vec tơ vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại theo kết quả đo của chương trình GEODYSSSEA, chương trình PCGIAP, chương trình SEAMERGES, chương trình CMONOC và theo kết quả từ [83], [86], [91], [108], [109], [128], [151], [161], [162], [163] và kết quả đo GPS của tác giả tham gia đề tài

Về phía bắc, ranh giới của Sunda khó có thể xác định nhờ phân tích tốc độ biến dạng: Biển Đông hầu như không biến dạng và khối Nam Trung Hoa biến dạng rất yếu. Mặc dù trong khối Nam Trung Hoa, không có dấu hiệu biến dạng nhưng nó có ranh giới về phía tây là đứt gãy Longmenshan và đứt gãy Xiaojiang. Dọc theo đới đứt gãy này, là một đới biến dạng mạnh gây ra do đụng độ giữa mảng Ấn - Úc và mảng Âu - Á.

Chuyển dịch từ Tây Tạng theo chiều kim đồng hồ, quanh đông Hymalaya. Biến dạng này mở rộng sang Malaysia và thể hiện ở bắc Thái Lan bởi tách giãn đông – tây. Tốc độ biến dạng tăng cao ở tây bắc Thái Lan hằng định ranh giới phía bắc của Sunda nằm gần Myanmar. Về phía đông bắc, phần tây nam của đới đứt gãy Sông Hồng [134], biến dạng tương thích với chuyển dịch trượt bằng phải. Tuy nhiên tốc độ biến dạng qua ranh giới mảng này rất nhỏ trong giai đoạn hiện tại. Tại điểm này, chi sử dụng phân tích biến dạng từ mạng lưới lớn rất khó có thể kết luận khối Nam Trung Hoa và Sunda có khác nhau về chuyển dịch hay không [162].

Chuyển dịch của khối Sunda cho thấy khá phù hợp với mô hình chuyển dịch khối, xảy ra chủ yếu dọc đới đứt gãy, thường gọi là mô hình thúc trượt (Extrusion) [168] hơn là mô chảy nhớt và biến dạng liên tục [103].

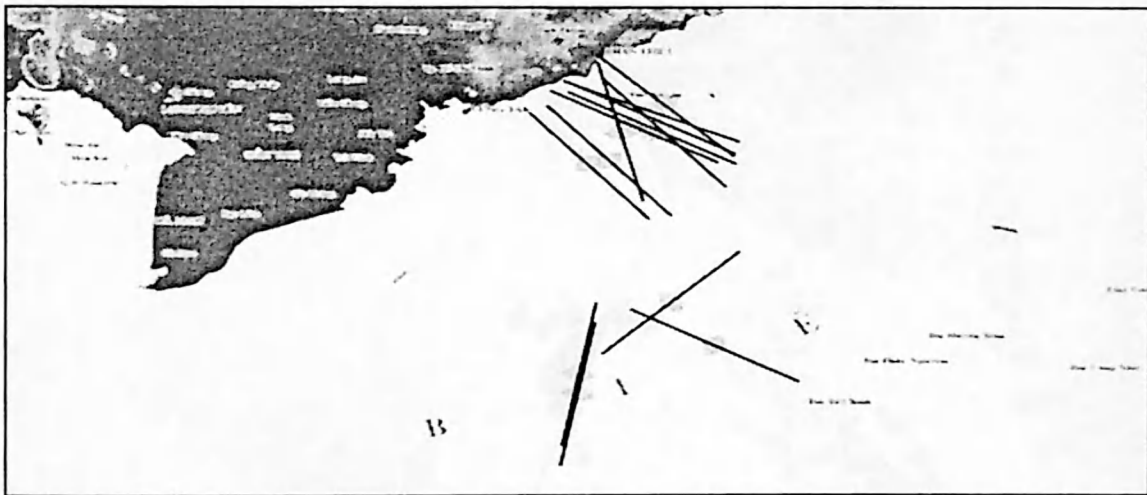
III.3. ĐẶC ĐIỂM TRƯỜNG ỨNG SUẤT KIẾN TẠO HIỆN ĐẠI KHU VỰC BIỂN ĐÔNG VIỆT NAM VÀ KẾ CẬN

Trong phạm vi khu vực nghiên cứu từ kinh độ 100 đến 130°E và -5 đến 26°N, có tổng số 1291 chỉ thị các loại. Trong đó về tài liệu khoan: phá huỷ nén ép (BO) là 276 chỉ thị; khe nứt căng giãn (DIF) là 19 chỉ thị; phá huỷ thủy lực là 5 chỉ thị; khoan chồng (overcoring) là 18 chỉ thị. Về tài liệu động đất có tổng số 969 chỉ thị. Và các dấu hiệu địa chất trẻ 4 chỉ thị. Phần lớn các chỉ thị ứng suất có nguồn từ cơ cấu chấn tiêu động đất nằm ở các ranh giới mảng ở Philippine, Indonesia và Indochina. Tuy nhiên cũng có một vài chỉ thị nằm ở các khu vực nội mảng, đặc biệt là ở phía đông nam Trung Quốc, Borneo và Việt Nam.

Số liệu về định ứng của ứng suất nén ép ngang cực đại trình bày ở đây cho phép chúng ta phân tích về trường ứng suất kiến tạo hiện đại ở Đông Nam Á và đặc biệt là ở khu vực Biển Đông Việt Nam. Số liệu về định hướng ứng suất và các “tinh” ứng suất khu vực cho thấy một kiểu phân bố phức tạp ở khu vực Đông Nam Á. Ứng suất nén ép ngang cực đại được minh giải từ phá huỷ nén ép và khe nứt căng giãn xấp xỉ phương Bắc-Nam (hoặc giữa BĐB-NTN và TB-ĐN) trong các khu vực bồn Nam Côn Sơn, Cửu Long, Mã Lay- Thổ Chu. Ứng suất nén ép ngang cực đại cũng chủ yếu theo phương TB-ĐN ở đông nam Trung Quốc và châu thổ Baram - Brunei. Phương của ứng suất nén ép ngang cực đại cũng vuông góc với các ranh giới mảng ở các đới hút chìm ở phía Đông Biển Đông. Sau đây sẽ là các đặc điểm chính về trường ứng suất kiến tạo hiện đại khu vực Biển Đông Việt Nam và kế cận.

III.3.1. Khu vực Biển Đông Việt Nam

Trường ứng suất kiến tạo hiện đại nói chung được đặc trưng bởi định hướng của trục nén ép ngang cực đại và độ lớn của các ứng suất chính. Các kết quả xác định định hướng của trục nén ép ngang cực đại trong bồn Nam Côn Sơn và Cửu Long được thể hiện trên Hình III-27.

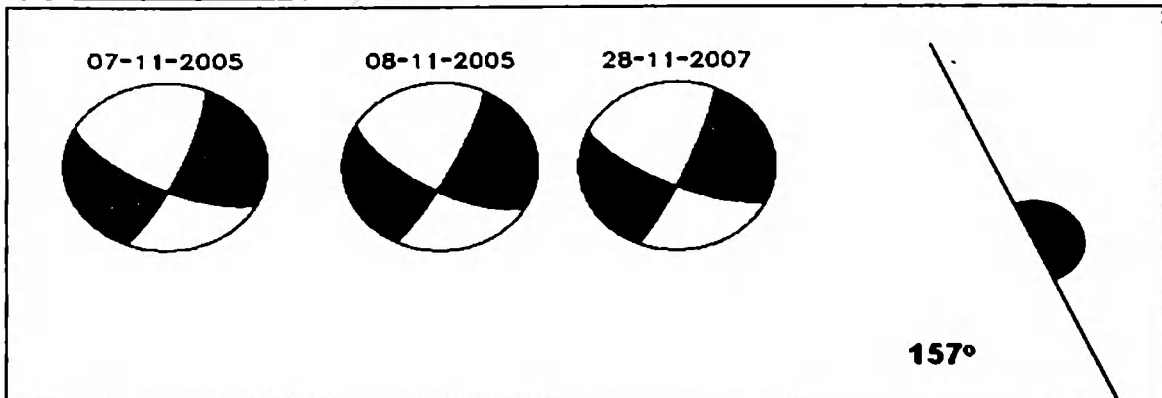


Hình III-27. Kết quả tổng hợp xác định định hướng của trục nén ép ngang cực đại từ tài liệu ảnh lỗ khoan được thể hiện trên bản đồ

Có ba trận động đất ghi nhận được cơ cấu chấn tiêu xảy ra trong các năm 2005 và 2007 ở vùng biển Đông Nam Việt Nam – ngoài khơi tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu. Các thông số của cơ cấu chấn tiêu của các trận động đất này được thể hiện trong *Bảng III-2* và chúng được thể hiện như trên *Hình III-28*.

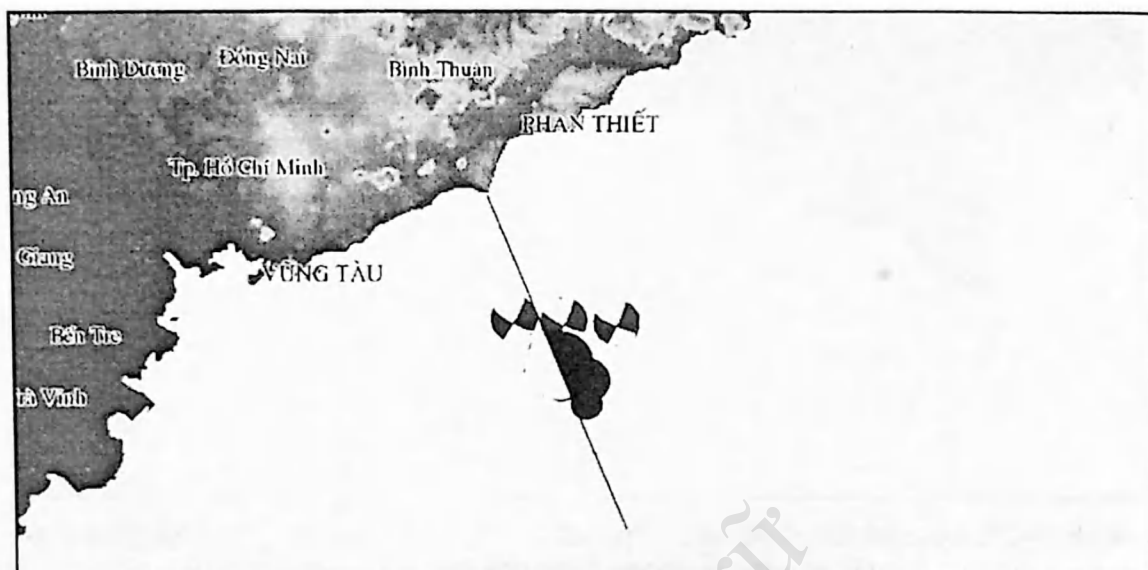
Bảng III-2 Các thông số của các cơ cấu chấn tiêu động đất ghi nhận được tại vùng biển Đông Nam Việt Nam trong các năm 2005 và 2007

Lon	Lat	StrikeA	DipA	RakeA	StrikeB	DipB	RakeB	Mw	Depth	Date
108,28	10,02	115	72	-172	22	82	-19	5,2	12	28-11-2007
108,26	10,08	117	69	-168	23	79	-22	5,3	12	07-11-2005
108,26	10,12	120	68	-171	27	82	-22	5,3	12	08-11-2005



Hình III-28. Biểu đồ cơ cấu chấn tiêu động đất và chỉ thị ứng suất tương ứng

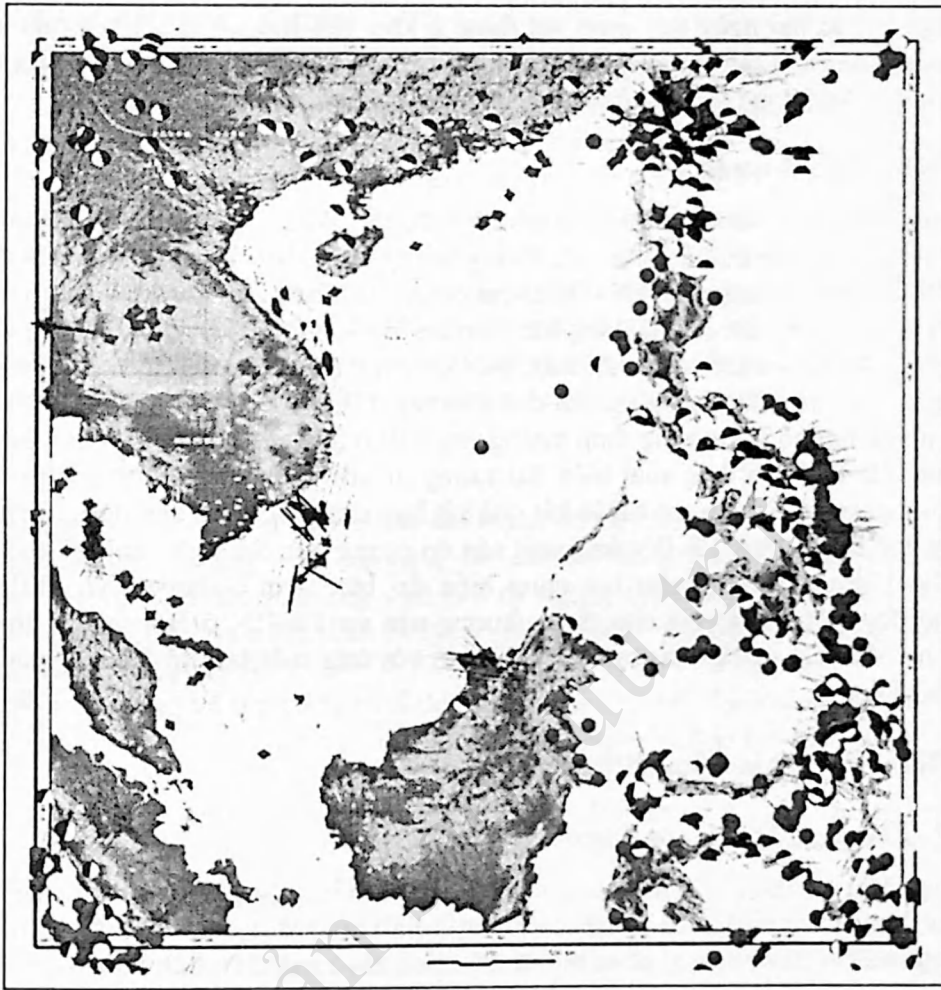
Có thể thấy các cơ cấu chấn tiêu xác định được khá tương đồng, cho chúng ta chỉ thị ứng suất với định hướng của trục nén ép ngang cực đại khoảng 157° với cơ chế trượt bằng.



Hình III-29. Các cơ cấu chấn tiêu được thể hiện trên bản đồ cùng chỉ thị ứng suất tương ứng

Hình III-29 thể hiện định hướng của trục nén ép ngang cực đại xác định được từ tài liệu khoan và động đất được thể hiện trong phần đầu của mục này. Kết quả cho thấy trong khu vực bồn Cửu Long, tài liệu động đất khá phù hợp với chỉ thị xác định được từ các tài liệu khoan cho thấy định hướng của trục nén ép ngang cực đại là tây bắc–đông nam ở trung tâm bồn. Tuy nhiên các chỉ thị này cũng bị lệch đi ở phía bắc của bồn thành phương gần bắc nam. Trong bồn Nam Côn Sơn, chỉ thị từ tài liệu khoan cho thấy định hướng của trục nén ép ngang cực đại là đông bắc – tây nam tới gần bắc nam.

Về nguyên tắc các chỉ thị ứng suất phải khá đồng nhất, ít nhất trong quy mô của một bồn trầm tích. Tuy nhiên kết quả xác định trục ứng suất nén ép ngang cực đại cho chúng ta thấy có những sự thay đổi đáng kể. Chẳng hạn trong bồn Nam Côn Sơn, các chỉ thị ở phía bắc của bồn thể hiện phương đông bắc – tây nam, song song với phương của đường bờ biển. Ở bồn Cửu Long, các chỉ thị phía nam phù hợp với trường ứng suất khu vực, trong khi càng tiến dần về phía bắc chúng có xu thế bị lệch về phía tây bắc nhiều hơn. Sự lệch đi của trục ứng suất nén ép ngang tại bồn Nam Côn Sơn do ảnh hưởng của sự chuyển tiếp từ vỏ lục địa sang vỏ đại dương thực thụ, biểu hiện quan đới nâng Côn Sơn, hoặc có thể do các đứt gãy đang hoạt động trong khu vực; còn tại bồn Cửu Long, các chỉ thị ở phía bắc rất gần với khu vực có núi lửa hoạt động (thuộc đảo Phú Quý), có thể hoạt động của các núi lửa cộng với các đứt gãy hoạt động trong khu vực này đã làm lệch đi định hướng của trục ứng suất nén ép ngang cực đại xác định được so với ứng suất khu vực.



Hình III-30. Bản đồ trường ứng suất kiến tạo hiện đại Biển Đông Việt Nam và kế cận thể hiện định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại dựa trên tài liệu động đất, tài liệu giếng khoan và tài liệu địa chất trẻ

Định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại chủ yếu theo phương bắc-nam tới tây bắc – đông nam với sự phù hợp mang tính khu vực cũng quan sát thấy trong các bồn trầm tích khác ở trên đất liền cũng như ngoài khơi của Indochina (Chumphon, Khorat, Pattani, Phitsanulok Suphan Buri và Mã Lay-Thổ Chu). Định hướng phương bắc-nam cũng phù hợp với định hướng của ứng suất thu được từ lời giải cơ cấu chấn tiêu động đất ở phía Vân Nam –Trung Quốc, bắc Thái Lan, vịnh Thái Lan và ngoài khơi Việt Nam. Nhiều cấu trúc Kainozoi đã phát triển trong khu vực thường được xem là kết quả của các lực nén ép về phía nam sinh ra ở phía đông chạc ba Himalaya [168]. Bởi vậy, định hướng gần bắc nam của ứng suất kiến tạo hiện đại có thể là kết quả một phần của ứng suất toả ra từ chạc ba Himalaya. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây trong các thành tạo bồn trầm tích, sự nâng trôi khu vực và sự phát triển cấu trúc của các đứt gãy chính ở Thái Lan chỉ ra rằng khu vực Indochina đã trải qua quá trình biến dạng phức tạp và không thể giải thích thuần túy bằng sự thúc trượt của phía đông cao nguyên Tây Tạng. Bởi vậy, có thể giả thiết rằng định hướng phương bắc – nam chiếm ưu thế của ứng suất

nén ép ngang cực đại ngày nay quan sát được ở khu vực Indochina là kết quả kết hợp của các lực sinh ra ở ranh giới mảng ở chạc ba Himalaya, sự cuốn ngược của đới hút chìm Sumatra-Andaman và có thể cả ứng suất cực bộ gây ra do sụt trọng lực.

III.3.2. Khu vực Borneo

Phá huỷ nén ép và khe nứt căng giãn ở hệ châu thổ Baram cho thấy định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại chủ yếu theo phương TB-ĐN ở Borneo, mặc dù cũng có một số chỉ thị cho phương ĐB-TN ở phần rìa ngoài của châu thổ Baram và từ ba lời giải cơ cấu chấn tiêu động đất ở phía đông bắc Borneo. Định hướng TB-ĐN của ứng suất nén ép ngang cực đại ở Borneo từ lâu đã được biết tới với sự định hướng của các cấu trúc địa chất dạng tuyến hiện đại và sự nghịch đảo phương TB-ĐN của nhiều cấu trúc địa chất lớn. Tuy nhiên nguồn gốc của sự định hướng ứng suất ở đây vẫn còn là một dấu hỏi.

Phương TB-ĐN của ứng suất hiện đại tương tự với dịch chuyển tuyệt đối về phía đông –đông nam và bởi vậy có thể là kết quả kết hợp của nhiều lực vận động ở ranh giới mảng. Cụ thể là phương TB-ĐN ứng suất nén ép ngang cực đại ngày nay có thể sinh ra từ chạc ba Himalaya cũng như hút chìm hiện đại bên dưới Sulawesi và Philippines. Thêm vào đó, một số tác giả cho rằng phương nén ép TB-ĐN ở Borneo có thể do sự đụng độ lục địa của mảng Australia gần Timor, với ứng suất lan tới Sunda qua Timor, Banda và Molucca.

III.3.3. Khu vực phía đông Biển Đông

III.3.3.1. Khu vực Đài Loan-Luzon

Khu vực Đài Loan - Eo biển Luzon nằm trong đới tiếp giáp giữa các mảng và các địa khối hoạt động (các mảng Âu- Á (Biển Đông), địa khối Đài Loan và mảng Philippine) trường ứng suất ở đây phân dị phức tạp từ diện tích này sang diện tích khác.

Đây là khu vực xuất hiện nhiều trận động đất mạnh và ghi nhận được cơ cấu chấn tiêu. Lời giải cơ cấu chấn tiêu động đất cho thấy ở phía đông Đài Loan, các chỉ thị ứng suất chiếm ưu thế là chỉ thị cơ chế nghịch với định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại phương đông-tây đến phương tây-tây bắc- đông -đông nam. Ngoài ra một số chỉ thị cho thấy cơ chế trượt bằng cũng xuất hiện khá phổ biến trong khu vực này với phương nén ép ngang cực đại là tây - tây bắc – đông - đông nam .

Ở phía tây của đảo Đài Loan, cũng có khá nhiều chỉ thị ứng suất xác định được từ tài liệu giếng khoan. Trong đó ở phía bắc của khu vực này, các tài liệu phá huỷ nén ép cho thấy định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại chủ yếu theo phương tây bắc- đông nam. Dịch xuống phía nam của khu vực vừa nêu, chúng chuyển thành phương tây - tây bắc- nam - đông nam.

Trường ứng suất trượt bằng chiếm ưu thế trong khu vực phía đông của eo biển Đài Loan – Luzon. Các chỉ thị từ lời giải cơ cấu chấn tiêu động đất cho thấy phương nén ép ngang cực đại chủ yếu là tây tây bắc- nam đông nam. Tuy nhiên ở phía tây của eo biển này, hoạt động đứt gãy chủ yếu lại theo cơ chế thuận với các chỉ thị biến đổi từ BTB-NĐN đến bắc nam. Hoạt động đứt gãy thuận và sự biến đổi của của trục ứng suất tại phía tây của eo biển Đài Loan – Luzon cho thấy ảnh hưởng của hoạt động ở đới hút chìm tới khu vực này trong việc phát sinh một loạt các đứt gãy thuận sau cung.

III.3.3.2. Khu vực trung Luzon

Mặc dù khu vực này có hoạt động địa chấn mạnh mẽ nhất ở phía đông Biển Đông với sự có mặt của đới hút chìm Manila. Tuy nhiên số lượng cơ cấu chấn tiêu xác định được lại khá hạn chế và số lượng các chi thị ứng suất cũng phân tán; khu vực này cũng không có tài liệu giếng khoan. Ở phía bắc tới trung Luzon trục ứng suất nén ép ngang chủ yếu theo phương tây - tây bắc - đông - đông nam với hoạt động đứt gãy nghịch là chủ đạo ở đới hút chìm Manila. Hoạt động đứt gãy trượt bằng nằm trong đất liền của trung Luzon lại tuân theo cơ chế thuận đi kèm thành phần trượt bằng. Ở phía tây nam của Manila, xuất hiện một chi thị với cơ chế trượt bằng và một chi thị theo cơ chế thuận cả hai chi thị này bị lệch đi so với phương chung của khu vực thành phương bắc - nam. Hiện tượng này tương tự như đã thấy ở phía tây của eo biển Luzon vừa nêu.

III.3.3.3. Khu vực nam Luzon

Khu vực phía nam Luzon chỉ có các chi thị từ tài liệu cơ cấu chấn tiêu động đất. Ở phía đông của khu vực này xuất hiện dày đặc các chi thị ứng suất với cơ chế động đất nghịch và phương chủ đạo của ứng suất nén ép ngang cực đại là tây - tây bắc - đông đông nam- phù hợp với xu thế dịch chuyển về phía tây - tây bắc của mảng đại dương Philippine với mảng Âu - Á.

Một đới song song và ở phía tây với đới phía đông vừa nêu lại xuất hiện một loạt chi thị biểu diễn cho cơ chế trượt bằng với phương ứng suất chủ đạo biến đổi thành tây- tây nam- đông -đông bắc. Về mặt địa chất nó nằm kẹp giữa hai đới hút chìm đang hoạt động ở phía đông và phía tây. Sự tương tác của hai đới này sinh ra một loạt hoạt động đứt gãy trượt bằng vừa nêu và đi kèm là các trận động đất có cơ chế phù hợp với hoạt động đứt gãy chiếm ưu thế trong khu vực.

Trong Biển Đông, các trận động đất năm 1994 (M=5,8), năm 1997 (M=4,9) và năm 1998 (M=4,5) có nguồn tương tự với ứng suất nén ép á vĩ tuyến. Các trận động đất này nằm dọc theo phương ĐB -TN và có thể liên quan đến sự có mặt hệ đứt gãy ĐB-TN trong diện tích này. Đứt gãy hoạt động theo cơ chế trượt bằng phải và có thể liên quan với hệ đứt gãy ĐB-TN từ đông nam quần đảo Trường sa.

Các trận động đất năm 1995 (M=5,0) và năm 1998 (M=4,5) là các phá huỷ địa chấn xảy ra trên các bề mặt ĐB-TN. Cơ cấu chấn tiêu của trận động đất đầu có cơ chế trượt bằng trái với ứng suất nén á kinh tuyến, trong khi cơ cấu chấn tiêu của trận động đất sau thuộc dạng chòem nghịch ứng suất nén TB-ĐN. Vị trí của trận động đất sau thuộc dạng chòem nghịch ứng suất nén TB-ĐN. Vị trí chấn tâm cũng như sự định hướng của các bề mặt phá huỷ cho phép giả định về sự có mặt hệ đứt gãy ĐB-TN giữa $117^{\circ}30'$ - $119^{\circ}E$ và 14° - $15^{\circ}30'N$, trên đó trường ứng suất thay đổi khá phức tạp, từ cơ chế trượt bằng trái sang cơ chế trượt chòem nghịch.

III.3.4. Khu vực phía bắc Biển Đông

Khu vực phía bắc Biển Đông thuộc chủ yếu thềm lục địa đông nam Trung Quốc. Trên đất liền ở đông nam Trung Quốc, gần như tất cả các chi thị ứng suất đều cho thấy cơ chế trượt bằng với định hướng của trục nén ép ngang cực đại phương tây bắc - đông nam. Các chi thị xác định từ tài liệu khoan có phương không ổn định nhưng đa số vẫn phù hợp với phương chung là tây bắc - đông nam.

Ở khu vực thềm lục địa đông nam Trung Quốc, các chỉ thị chủ yếu đến từ các phá huỷ nén ép trong giếng khoan với phương nén ép ngang cực đại biến đổi từ tây bắc – đông nam đến gần bắc – nam. Chế độ ứng suất của khu vực này có thể được xác định là trượt bằng thông qua một loạt các trận động đất ở các khu vực lân cận

Trong trường ứng suất này, các trận động đất năm 1918, 1962 ($M=5,3$), năm 1966 ($M=4,9$), năm 1986 ($M=5,0$), năm 1991 ($M=5,5$), năm 1994 ($M=4,9$) là các phá huỷ địa chấn trượt bằng phải phương ĐB-TN trùng với phương của các hệ đứt gãy chính có mặt trong vùng.

Ở ĐB Biển Đông các trận động đất năm 1966 ($M=4,9$) và năm 1994 ($M=4,9$) là các phá huỷ địa chấn trượt bằng phải phương ĐB – TN, còn các trận động đất năm 1994 ($M=6,9$), năm 1994 ($M=5,0$) và năm 1994 ($M=4,7$) ở trung tâm và rìa TN đối đứt gãy lại là các phá huỷ địa chấn trượt chòm thuận.

So với các khu vực khác của Biển Đông, hoạt động địa chấn lịch sử của đảo Hải Nam và lân cận là tương đối cao. Nếu chúng ta coi khu vực giữa $10 - 22^\circ$ Bắc và $108 - 118^\circ$ N, thì có 17 trận động đất $4,5 \leq M_s \leq 6,0$ và bốn trận có $M_s \geq 6,0$ xảy ra từ năm 1524. Động đất lớn nhất trong khu vực này là động đất Qiongsan ngày 13 tháng 7 năm 1605, $M_s = 7,5$ ở phía bắc của đảo này. Magnitude của các trận động đất lịch sử được tính từ tài liệu ghi cường độ. Cả tài liệu lịch sử và tài liệu địa chấn địa phương cho thấy rằng phần phía bắc của đảo này đặc trưng bởi hoạt động địa chấn cao hơn nhiều phần phía nam. Hầu hết các trận động đất phía bắc của vĩ tuyến 19 xảy ra xung quanh tâm của trận năm 1605.

Khu vực nam Hải Nam, cơ cấu chấn tiêu các trận động đất năm 1969 ($M=4,7$), năm 1969 ($M=4,8$) thuộc dạng trượt bằng với ứng suất nén á kinh tuyến và ứng suất tiếp tuyến cực đại phương ĐB-TN và TB-ĐN. Hai trận động đất trên được xác định là các phá huỷ địa chấn trượt bằng trái trên các mặt ĐB-TN hướng cắm TN.

Từ tài liệu khoan dầu khí, phương ứng suất chính đã được xác định rải rác trong một số lỗ khoan ở phía đông và đông nam Hải Nam. Mặc dù kết quả có một số giá trị thể hiện sự quay theo các góc nhất định so với phương của trường ứng suất trong khu vực nhưng về cơ bản phản ánh phương TB-ĐN của trục ứng suất chính, phù hợp với phương ứng suất chính xác định từ tài liệu cơ cấu chấn tiêu động đất.

III.3.5. Khu vực vịnh Bắc Bộ

Trong khu vực vịnh Bắc Bộ hoàn toàn không có chỉ thị ứng suất nào được thể hiện. Tuy nhiên cũng có thể dựa trên một số trận động đất ở lân cận để dự báo về đặc điểm của trường ứng suất trong khu vực này. Cơ cấu chấn tiêu các trận động đất năm 1903 ($M=5,1$), năm 1936 ($M=6,8$), năm 1988 ($M=4,9$), năm 1994 ($M=5,4$), năm 1995 ($M=5,5$) đều xác định trường ứng suất ưu thế với trục ứng suất nén TB-ĐN. Chúng là các đới phá huỷ địa chấn trượt bằng phải trên các bề mặt á vĩ tuyến gần trùng với hướng phát triển ra biển của các hệ đứt gãy Đông Triều, Móng Cái – Cát Hải.

III.3.6. Khu vực trung trung tâm Biển Đông

Hoạt động địa chấn vùng trung Trung tâm Biển Đông liên quan với các đứt gãy ĐB-TN và á kinh tuyến. Tính địa chấn của đứt gãy bắc Trường Sa thể hiện qua sự có mặt

của các chấn tâm động đất vừa và yếu nằm dọc rìa nam của đới tách giãn vỏ đại dương phân bố từ kinh độ 110°E tới 118°E với sự tập trung đáng kể ở lân cận kinh độ 118°E. Hoạt động địa chấn của đứt gãy kinh tuyến 114°E liên quan đến dải chấn tâm phương kinh tuyến, kéo dài từ phía bắc các đảo Sòng Tử và tiếp tục phát triển xuống phía nam.

Tại khu vực này chỉ có duy nhất một chỉ thị ứng suất xác định từ cơ cấu chấn tiêu động đất. Đó là cơ cấu chấn tiêu động đất năm 1965 ($M=5,8$) thể hiện trạng thái ứng suất kiểu chòm nghịch với trục nén ngang cực đại là TB – ĐN. Chỉ thị này phù hợp với một chỉ thị cũng theo cơ chế động đất nghịch tương tự ở phía đông bắc của nó gần phía Philippin.

III.3.7. Một số nhận định

Trong phạm vi khu vực nghiên cứu -Biển Đông Việt Nam và kế cận- từ kinh độ 100 đến 130°E và -5 đến 26°N, dựa trên tổng số 1291 chỉ thị ứng suất các loại, bao gồm phá huỷ nén ép; khe nứt căng giãn; phá huỷ thủy lực; khoan chồng; cơ cấu chấn tiêu động đất; và các dấu hiệu địa chất trẻ, có thể phân chia ra các khu vực với các đặc điểm về chế độ ứng suất và định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại khác nhau:

Khu vực vịnh Bắc Bộ ứng suất nén ép ngang chủ yếu theo phương tây bắc- đông nam.

Tại vùng biển Đông Nam Việt Nam, định hướng của hầu hết các chỉ thị ứng suất thể hiện phương tây bắc- đông nam tới gần bắc-nam với chế độ ứng suất trượt bằng là chủ đạo. Trong bồn Cửu Long, một số chỉ thị bị lệch sang phía tây bắc nhiều hơn, cho thấy ảnh hưởng của các đứt gãy hoạt động và núi lửa trong khu vực. Trong bồn Nam Côn Sơn, các chỉ thị lệch sang phương đông bắc- tây nam đến gần bắc-nam, biểu thị ảnh hưởng của sự chuyển tiếp môi trường vỏ từ lục địa sang đại dương qua khối nâng Côn Sơn.

Khu vực Borneo, định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại theo phương tây bắc - đông nam với chế độ ứng suất trượt bằng là chủ đạo.

Khu vực phía đông Biển Đông nằm trong vùng ảnh hưởng trực tiếp của hoạt động hút chìm ở phía đông và phía tây Philippin, đi kèm với nó là sự tương tác của mảng Philippine với mảng Âu -Á nên ứng suất nén ép ngang cực đại chủ yếu định hướng theo phương tây - tây bắc – đông - đông nam.

Khu vực phía bắc Biển Đông, trục ứng suất nén ép ngang cực đại định hướng theo phương bắc - tây bắc- nam - đông nam đến tây bắc- đông nam.

Khu vực trung tâm Biển Đông trục ứng suất nén ép ngang cực đại định hướng theo phương tây bắc- đông nam.

Tuy còn một số biến đổi khác nhau về các chỉ thị chung nhất nhưng có thể nhận định rằng trường ứng suất mang tính khu vực ở Biển Đông Việt Nam là nén ép ngang cực đại định hướng theo phương bắc-tây bắc – nam - đông nam đến tây bắc – đông nam.

Chương IV

CÁC VÙNG NGUỒN ĐỘNG ĐẤT - SÓNG THẦN TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

Vùng Biển Đông và Việt Nam là khu vực chịu tác động mạnh mẽ của hai vành đai động lớn nhất hành tinh bao bọc toàn khu vực Đông Nam Á- đó là các siêu đới hút chìm máng biển Sumatra kéo dài 8000 km, từ phía rìa tây bắc của Đông Nam Á tới phía đông đảo Timor và đới hút chìm máng biển Philippin kéo dài trên 3000 km. Chuyển động kiến tạo mạnh mẽ trong các đới này gây biến dạng toàn khu vực, thường gây ra các thảm hoạ động đất và sóng thần cho các quốc gia trong khu vực, đặc biệt là các nước ở ven bờ Thái Bình dương và Ấn Độ Dương- những nước nằm trong các vành đai động nói trên. Đối với Việt Nam, và vùng Biển Đông nói chung, sóng thần từ Thái Bình dương và Ấn Độ Dương không gây ảnh hưởng đáng kể do khu vực này được che chắn bởi các vòng cung đảo Philippin, Indonesia, Malaysia, Java... Một sự kiện minh chứng cho điều đó là trận sóng thần Sumatra ngày 26-12-2004: sóng thần đã gây thảm hoạ cho các vùng bờ Ấn Độ Dương, nhưng không gây ảnh hưởng đáng kể nào cho các vùng bờ biển Đông Việt Nam; Động đất Chile $M=8.4$ ngày 22/5-1960 đã gây ra sóng thần rất lớn tràn qua Thái Bình Dương, tại Nhật Bản, Hồng Kông sóng lên cao đến 5m, nhưng ở vùng biển nước ta không thấy sóng thần xuất hiện.

Nguy cơ sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam xuất phát từ các vùng nguồn tiềm ẩn trong vùng Biển Đông, kể từ ven biển Việt Nam. Nguy cơ động đất ở vùng ven biển Việt Nam cũng chủ yếu gây ra bởi các vùng nguồn ở ven biển Việt Nam .

Để xác định các vùng nguồn đó cần phải:

1. Nghiên cứu cơ chế và điều kiện phát sinh động đất và sóng thần.
2. Nghiên cứu điều kiện kiến tạo địa động lực khu vực để xác định các vùng có khả năng phát sinh động đất và sóng thần.
3. Nghiên cứu xác định các phương pháp đánh giá các thông số cơ bản của các vùng nguồn như động đất cực đại M_{max} có khả năng xảy ra trong các vùng nguồn, độ sâu chấn tiêu động đất, tần suất xuất hiện động đất...
4. Đánh giá các thông số cơ bản của các vùng nguồn.

IV.1. CÁC VÙNG CÓ KHẢ NĂNG PHÁT SINH ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ VEN BIỂN VIỆT NAM

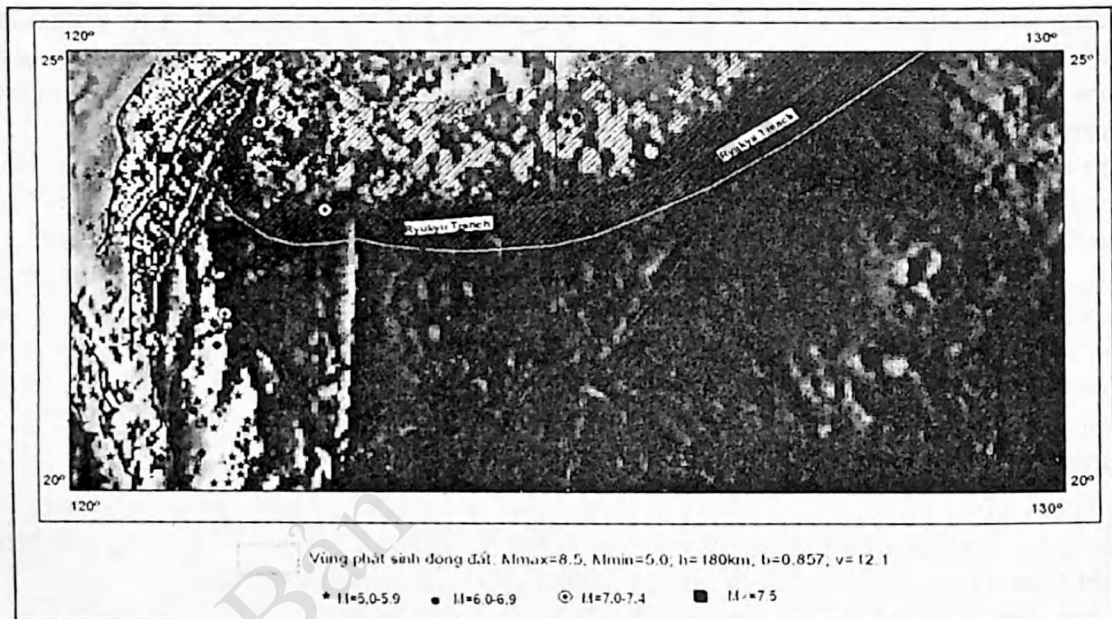
Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu và dựa vào điều kiện phát sinh động đất và sóng thần, có thể vạch ra các vùng nguồn động đất và sóng thần tiềm ẩn trong vùng Biển Đông và ven biển Việt Nam như sau:

IV.1.1. Các đới hút chìm trên vùng rìa phía đông và đông nam Biển Đông

Trong vùng Biển Đông tồn tại tiểu mảng vỏ đại dương. Do các chuyển động từ từ của mảng Thái Bình Dương và các tiểu mảng khu vực về phía tây và tây bắc làm cho các khối lục địa chồm trượt lên trên các mảng vỏ đại dương tạo nên các đới hút chìm. Trong vùng Biển Đông có các đới hút chìm Malina, Sulu, Selebes, Makasart, biển Banda Bắc, biển Banda Nam. Các đới đều đang hoạt động và phát sinh động đất, nhiều trận kèm theo sóng thần

IV.1.1.1. Các đới Tây Nam, Đông Nam Đài Loan và Bắc Luzon

IV.1.1.1.1. Đặc trưng kiến tạo



Hình IV-1. Đới hút chìm Riukyu (Nam Đài Loan) và Tây Đài Loan

Phạm vi khu vực nghiên cứu được giới hạn giữa các vĩ độ 20-25⁰N và kinh độ 120-130⁰E và biểu diễn trên Hình IV-1.

Đây là một phần đới hút chìm Thái Bình Dương, ranh giới giữa mảng Thái Bình Dương và mảng Á - Âu, trong đó mảng Á - Âu chuyển động về phía đông, chồm lên mảng Thái Bình Dương, đang chuyển động về phía đông với vận tốc trên 5cm một năm. Đới hút chìm cắm về phía tây và tây bắc tới độ sâu lớn, góc cắm thoải. Đới hút chìm là một hệ thống đứt gãy kiểu chồm nghịch, vận tốc dịch chuyển theo đứt gãy rất lớn (cỡ 8cm/năm).

IV.1.1.1.2. Trường ứng suất

Trạng thái ứng suất được xác định qua 3 ứng suất cơ bản: nén, dẫn và trung gian (ký hiệu qua P, T và B). Trường ứng suất hiện đại được xác định bằng nghiên cứu cơ cấu chấn tiêu động đất. Ngoài 3 ứng suất cơ bản nói trên, cơ cấu chấn tiêu động đất còn cho

biết 2 mặt cơ động trong chấn tiêu (nP_1, nP_2) và hai góc dịch chuyển, thể hiện hướng véc tơ dịch chuyển trên các bề mặt cơ động (ψ_1, ψ_2). Trong các bài toán nghiên cứu cơ cấu chấn tiêu tùy thuộc vào mối tương quan không gian của các trục ứng suất cơ bản có thể phân biệt 3 dạng sau:

- Kiểu trượt bằng, đặc trưng bởi trục ứng suất nén và giãn nằm ngang, $\delta_{P,T} = 0^\circ$, ứng suất trung gian dốc đứng, $\delta_B = 90^\circ$; các ứng suất tiếp tuyến cực đại có góc dốc 90° ($\delta_{1,2} = 90^\circ$), trên các bề mặt này véc tơ dịch chuyển nằm ngang và song song với đường phương của chúng, $\psi_{1,2} = 0 \pm 180^\circ$.

- Kiểu chồm nghịch, đặc trưng bởi các ứng suất nén và trung gian nằm ngang, $\delta_{P,B} = 0^\circ$, ứng suất giãn dốc đứng, $\delta_T = 90^\circ$. Các mặt cơ động tạo một góc 45° so với mặt phẳng ngang ($\delta_{12} = 45^\circ$) và véc tơ dịch chuyển hướng lên trên, vuông góc với đường phương các bề mặt này, $\psi_{12} = 90^\circ$.

- Kiểu trượt sâu thuận, đặc trưng bởi các ứng suất giãn và trung gian nằm ngang, $\delta_{T,B} = 0^\circ$, ứng suất nén dốc đứng, $\delta_P = 90^\circ$. Mặt cơ động dốc 45° so với phương ngang ($\delta_{1,2} = 45^\circ$) và các véc tơ dịch chuyển hướng xuống dưới, vuông góc với đường phương các bề mặt cơ động, $\psi_{1,2} = -0^\circ$.

Trong thực tế, phần lớn các cơ cấu chấn tiêu động đất thường bao gồm cả các thành phần trượt bằng lẫn các thành phần trượt chồm (chồm nghịch hoặc thuận). Các dạng cơ cấu chấn tiêu thể hiện các kiểu tương tác khác nhau giữa các khối tầng trong vỏ Trái đất: Dạng trượt bằng thể hiện quá trình biến dạng và dịch chuyển theo phương ngang, trong khi các dạng chồm nghịch (hay thuận) thể hiện quá trình hội tụ (hay phân tách) các khối tầng.

Trong phần này, để nghiên cứu trường ứng suất khu vực Đông Nam Á, ta sử dụng các danh mục cơ cấu chấn tiêu động đất đã có, đặc biệt là các kết quả xác định cơ cấu chấn tiêu bằng phương pháp giải bài toán ngược về moment tensor của Trung tâm Havart. Trường ứng suất kiến tạo ở các vùng trong khu vực nghiên cứu được mô tả như sau:

Khu vực Nam Đài Loan

Cơ cấu chấn tiêu động đất cho thấy ngoài một phá hủy địa chấn trượt bằng trái, phương ĐB-TN năm 1987 ($M=5,4$), 4 động đất còn lại, năm 1990 ($M=5,6$), năm 1993 ($M=5,4$), năm 1998 ($M=5,6$) và năm 1999 ($M=5,7$) có cơ cấu nguồn dạng chồm nghịch với trục ứng suất nén phương TTB-ĐĐN và ứng suất tiếp tuyến cực đại phương BDB-NTN đến ĐB-TN gần với sự định hướng của đới Beniof.

Hệ đứt gãy Bắc Luzon

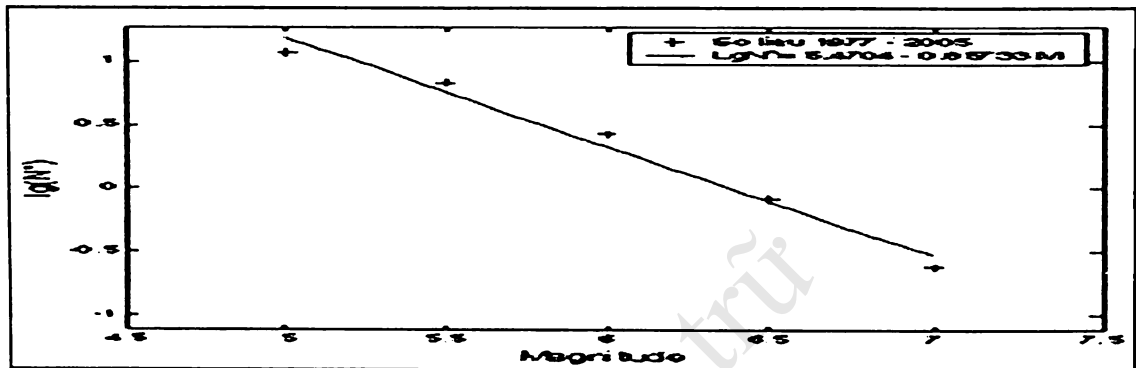
Trường ứng suất ưu thế xác định bởi các cơ cấu chấn tiêu có trục ứng suất nén phương á vĩ tuyến (Đ-T, ĐDB-TTN và TTB-ĐĐN) và mặt cơ động phương TB-ĐN và ĐB-TN. Các bề mặt trượt phương TB-ĐN được xác định là các bề mặt phá hủy địa chấn thực khi động đất. Đó là các phá hủy trượt bằng trái, do sự chuyển động tương đối hướng tây của khối Bắc Luzon so với khối phía nam. Ngoài ra, véc tơ dịch chuyển trong các chấn tiêu năm 1977 ($M=5,6$), năm 1985 ($M=6,3$), năm 1987 ($M=6,3$), năm 1990 ($M=5,3$) có chứa các thành phần chồm thuận, thể hiện sự lún chìm tương đối của khối Bắc Luzon so với khối phía nam.

IV.1.1.1.3. Hoạt động động đất

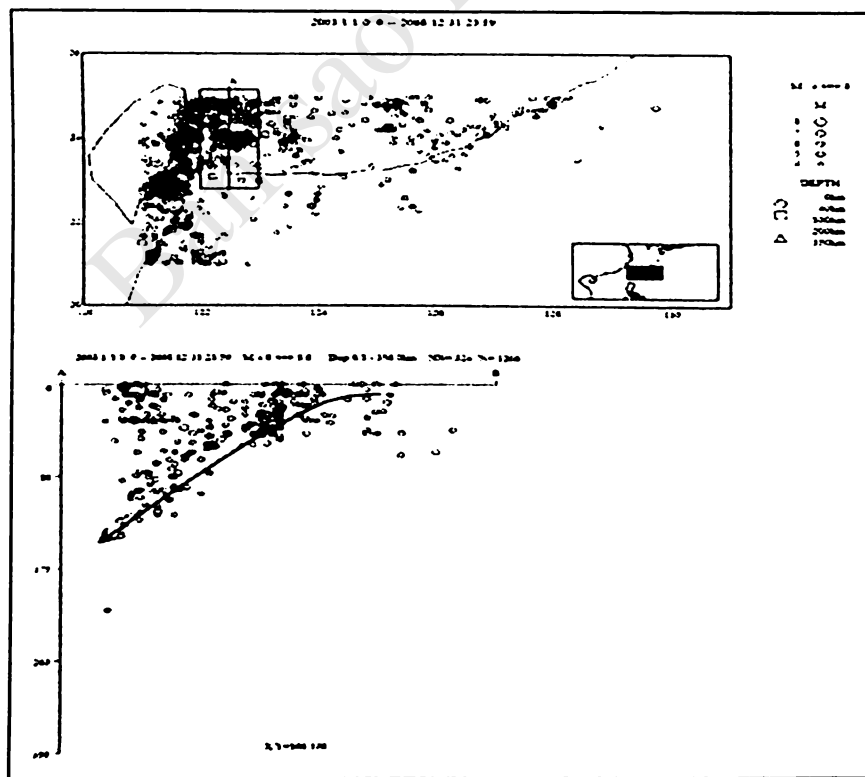
Hoạt động động đất trong đới rất cao, biểu hiện bởi tần suất động đất cao và động đất cực đại lớn, đạt tới 9 độ Richter.

Đồ thị lặp lại động đất khu vực nghiên cứu có dạng (Hình IV-2):

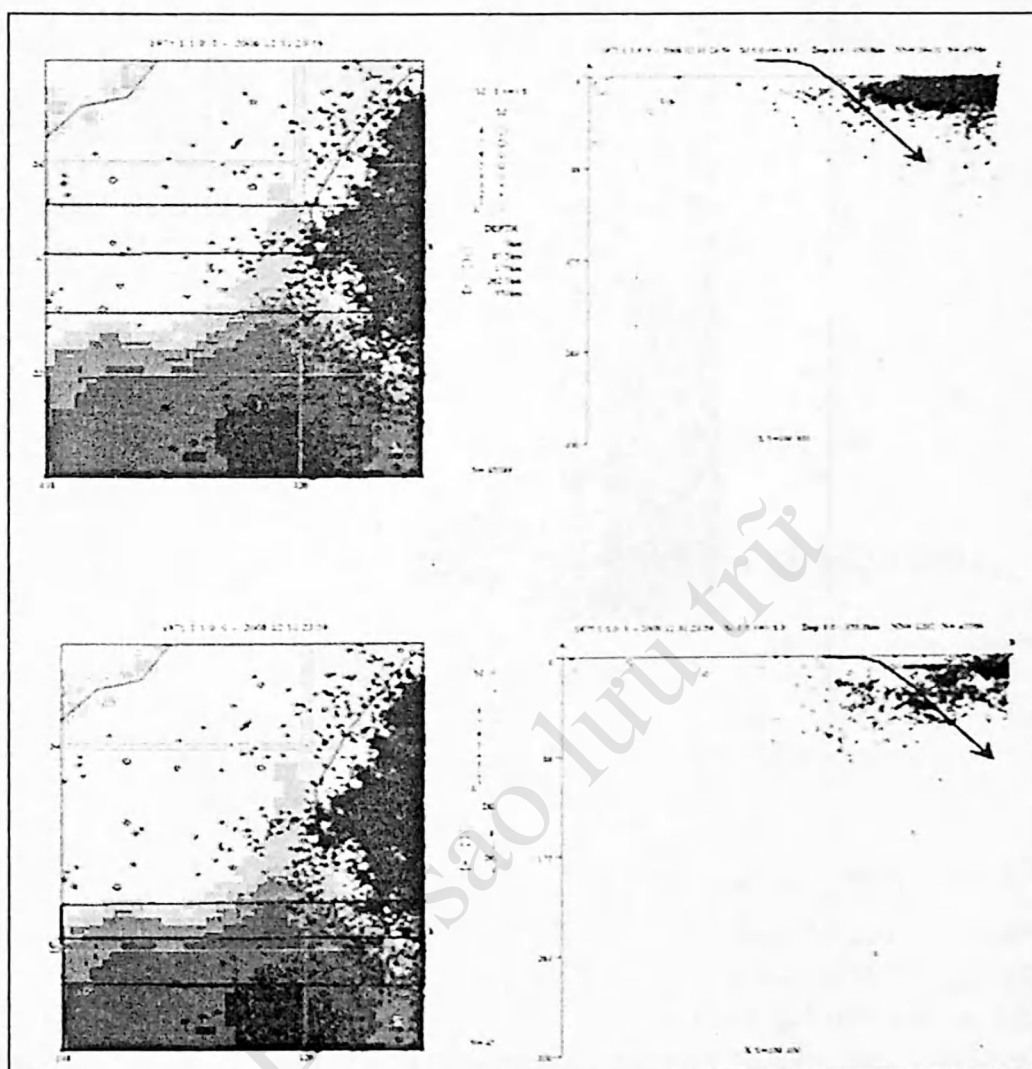
$$\lg N^*(M) = 5.4704 - 0.85733 M \quad (IV.1)$$



Hình IV-2. Đồ thị lặp lại động đất khu vực nghiên cứu



Hình IV-3. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu (Đông Đài Loan)

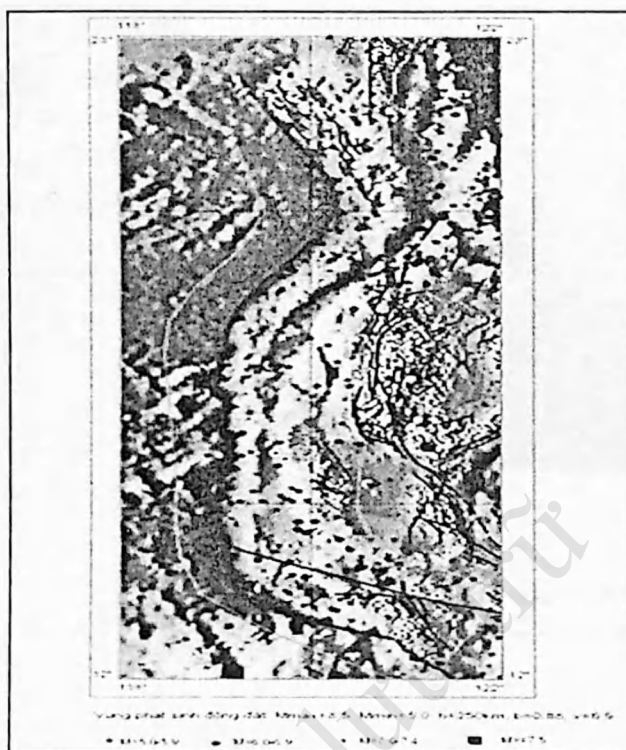


Hình IV-4. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu (Tây Đài Loan)

IV.1.1.2. Đới hút chìm Manila

IV.1.1.2.1. Đặc trưng kiến tạo

Đới có tổng chiều dài từ bắc xuống nam trên 1150 km (Hình IV-5). Đới được tạo nên bởi các chuyển động từ từ của mảng Thái Bình Dương và các tiểu mảng khu vực quần đảo Philippine về phía tây và tây bắc làm cho các khối lục địa Philippine chồm trượt lên trên mảng vỏ đại dương Biển Đông Việt Nam. Chuyển động của mảng Philippine có tốc độ tới 98 mm/năm ở phía bắc và khoảng 52 mm/năm ở đoạn phía nam (theo tài liệu GPS toàn cầu). Tuy nhiên tốc độ của các khối lục địa Philippine chồm trượt lên mảng vỏ đại dương biển Đông Việt Nam trung bình chỉ là 10mm/năm. Đới hút chìm này có thể phân đoạn hay không là điều cần làm rõ. Đây chính là đới nguồn động đất có thể gây sóng thần lớn nhất cho vùng biển Việt Nam, với các trận động đất cực đại có thể đạt tới 8.5 độ Richter.



Hình IV-5. Đới hút chìm Manila

IV.1.1.2.2. Trường ứng suất.

Phân tích thống kê trường ứng suất trong các nguồn, người ta đưa ra các đánh giá về trường ứng suất kiến tạo các vùng trong khu vực nghiên cứu.

Khu vực ven biển Tây Philippine

Tài liệu địa chấn hiện có cho phép xác định được trên 100 cơ cấu chấn tiêu trong vùng rìa Đông. Do đặc điểm cấu trúc và chế độ kiến tạo của vùng rìa Đông rất phức tạp, để làm sáng tỏ trường ứng suất và các cơ chế hoạt động đặc trưng trong vùng các phân tích tiếp theo sẽ được thực hiện riêng biệt đối với từng khu vực và trong từng hệ đứt gãy.

Khu vực Nam Đài Loan

Cơ cấu chấn tiêu động đất cho thấy ngoài một phá huỷ địa chấn trượt bằng trái, phương ĐB-TN năm 1987 ($M=5,4$), 4 động đất còn lại, năm 1990 ($M=5,6$), năm 1993 ($M=5,4$), năm 1998 ($M=5,6$) và năm 1999 ($M=5,7$) có cơ cấu nguồn dạng chòm nghịch với trục ứng suất nén phương TTB-ĐĐN và ứng suất tiếp tuyến cực đại phương ĐĐB-NTN đến ĐB-TN gần với sự định hướng của đới Beniof.

Vùng eo biển Luzon

Xác định được 4 cơ cấu nguồn dạng trượt bằng, 4 cơ cấu nguồn dạng chòm nghịch và 8 nguồn kiểu thuận. Nằm trong đới tiếp giáp giữa các mảng và các địa khối hoạt động (các mảng Âu-Á, Thái Bình Dương, Biền Đông, địa khối Đài Loan và Philippine) trường ứng suất ở đây phân dị phức tạp từ diện tích này sang diện tích khác. Trường ứng suất trượt bằng chiếm ưu thế trong các diện tích ven biển Đài Loan và Philippine và

có các ứng suất nén TB-ĐN, xác định các phá huỷ địa chấn trượt bằng trái phương ĐB-TN và á kinh tuyến.

Cơ cấu chấn tiêu của các trận động đất năm 1987 (M=5,1); năm 1998 (M=5,3); năm 1999 (M=5,2) thuộc dạng chòm nghịch với trục ứng suất nén gần nằm ngang theo phương TTB-ĐĐN đến TB-ĐB, còn các mặt trượt á kinh tuyến hoặc ĐB-TN. Các phá huỷ địa chấn chòm nghịch xảy ra trên các bề mặt trượt dốc hướng đông hoặc đông nam. Véc tơ dịch chuyển chòm nghịch tại chấn tiêu chứa thành phần trượt bằng trái thể hiện các chuyển động tương đối hướng TTN của các khối tầng phía đông.

Các cơ cấu nguồn kiểu thuận chỉ ra các phá huỷ địa chấn phương á kinh tuyến hoặc ĐDB-NTN và mô tả các chuyển động phân tách các khối tầng theo hướng Đ-T hoặc ĐDB-TTN. Các tâm tách giãn tập trung trong các giải độ sâu 10-20 km và 30-35 km và có thể liên quan đến các đới uốn cong và giãn căng vỏ Trái đất, một hệ quả của quá trình kiến tạo theo cơ chế Beniof.

Khu vực Tây Nam đảo Luzon

Trong đới hút chìm, cơ cấu nguồn dạng chòm nghịch chiếm ưu thế với trục ứng suất nén gần nằm ngang theo phương á vĩ tuyến trong các diện tích phía bắc và ĐB-TN trong các diện tích phía nam, còn mặt cơ động thay đổi từ á kinh tuyến đến TB-ĐN, gần trùng với đường phương đới Beniof. Các phá huỷ địa chấn thực xảy ra trên các bề mặt trượt dốc về đông, đông bắc, do khối Philippine chuyển động tương đối lên trên và về phía TTN so với mảng Biển Đông sụt lún và cuộn hút xuống dưới, tới các độ sâu 200-250 km như đã phân tích ở trên.

Các cơ cấu nguồn kiểu thuận năm 1981 (M=5,0) và năm 1981 (M=5,6) tập trung ở độ sâu khoảng 33 km, trong diện tích có sự thay đổi đột ngột về đường phương đới Beniof, từ á kinh tuyến sang TB-ĐN. Các phá huỷ dạng thuận có thể liên quan đến các diện tích giãn căng vỏ Trái đất trên bề mặt Beniof.

Các cơ cấu nguồn ở các độ sâu lớn chủ yếu liên quan đến các hệ đứt gãy Bắc Manila và đới Beniof. Trường ứng suất thể hiện sự thay đổi rõ rệt về dạng cũng như về sự định hướng của ứng suất cơ bản. Trong hệ đứt gãy Bắc Manila ngoài các trận động đất có cơ cấu nguồn kiểu trượt bằng thể hiện sự chuyển động về tây của khối Bắc Luzon, còn có các nguồn kiểu thuận thể hiện sự lún chìm và phân tách của khối Bắc Luzon về phía bắc.

Các trận động đất năm 1994 (M=5,8), năm 1997 (M=4,9) và năm 1998 (M=4,5) có nguồn tương tự với ứng suất nén á vĩ tuyến còn mặt cơ động phương ĐB-TN và TB-ĐN. Các trận động đất này nằm dọc theo phương ĐB-TN và có thể liên quan đến sự có mặt hệ đứt gãy ĐB-TN trong diện tích này. Đứt gãy hoạt động theo cơ chế trượt bằng phải và có thể liên quan với hệ đứt gãy ĐB-TN từ đông nam quần đảo Trường Sa.

Các trận động đất năm 1995 (M=5,0) và năm 1998 (M=4,5) là các phá huỷ địa chấn xảy ra trên các bề mặt ĐB-TN. Cơ cấu chấn tiêu của trận động đất đầu có cơ chế trượt bằng trái với ứng suất nén á kinh tuyến, trong khi cơ cấu chấn tiêu của trận động đất sau thuộc dạng chòm nghịch ứng suất nén TB-ĐN. Vị trí chấn tâm cũng như sự định hướng của các bề mặt phá huỷ cho phép giả định về sự có mặt hệ đứt gãy ĐB-TN giữa 117°30'-119° E và 14° -15° 30' N, trên đó trường ứng suất thay đổi khá phức tạp, từ cơ chế trượt bằng trái sang trượt chòm nghịch.

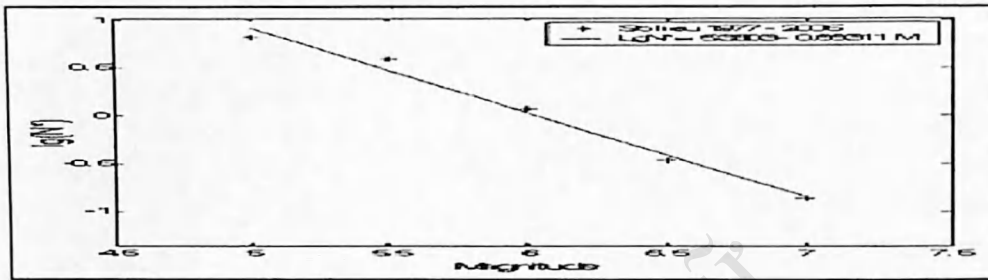
IV.1.1.2.3. Hoạt động động đất

IV.1.1.2.3.1. Đồ thị lặp lại động đất

Từ tập hợp số liệu động đất trong đới hút chìm Manila, trong khoảng thời gian quan sát từ năm 1977 đến 2005 ta xây dựng được đồ thị lặp lại động đất. Đồ thị lặp lại động đất khu vực nghiên cứu có dạng (Hình IV-6):

$$\lg N^*(M) = 5.3303 - 0.88311 M$$

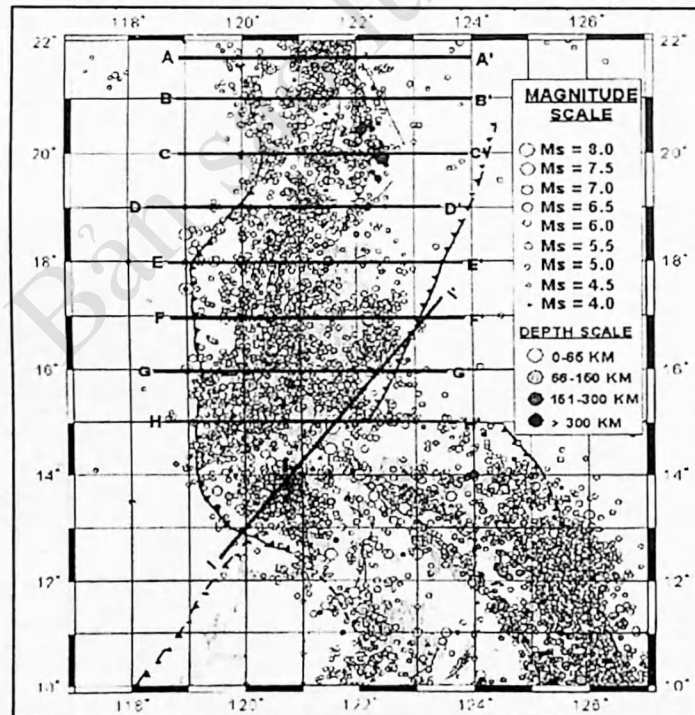
(IV.2)



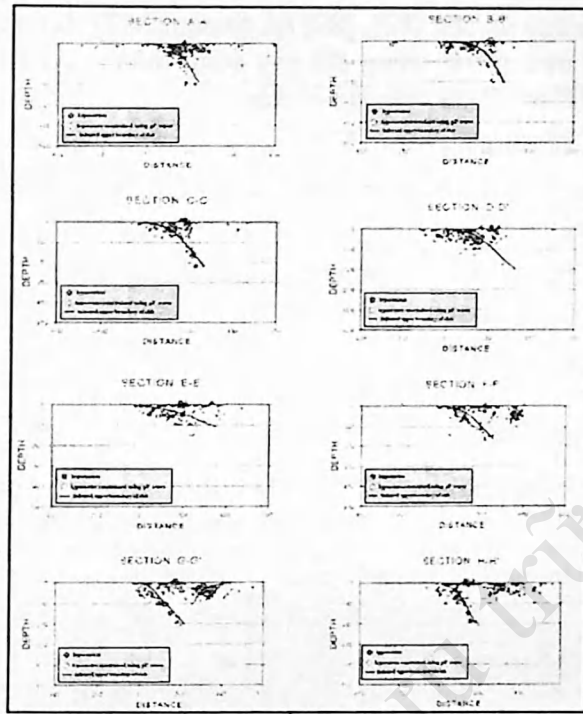
Hình IV-6. Đồ thị lặp lại động đất đới hút chìm Manila

IV.1.1.2.3.2. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu

Cấu trúc của đới hút chìm Manila có thể thấy qua các mặt cắt trình bày trên Hình IV-7.

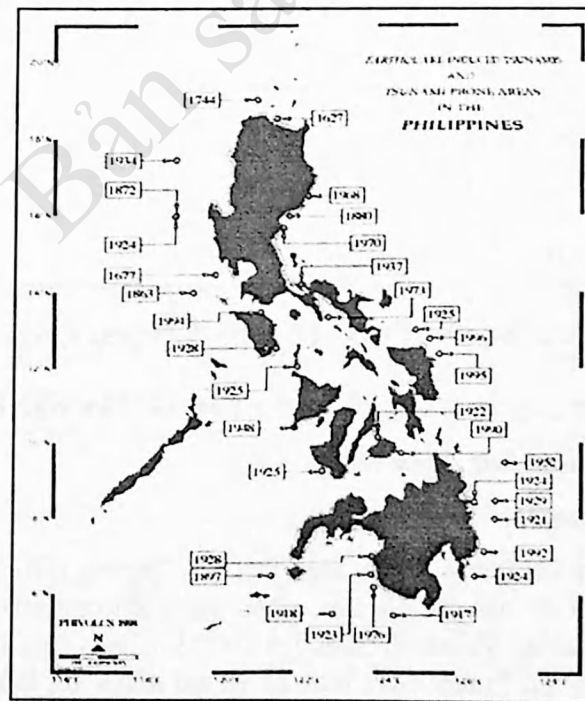


Hình IV-7. Bản đồ chấn tâm động đất Bắc Luzon từ năm 1619 đến năm 1997 và đới Manila. (Các đường thẳng với các chữ cái in hoa là các mặt cắt địa chấn qua đới Manila được biểu diễn ở Hình IV-8) [81]



Hình IV-8. Các mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu [81]

IV.1.1.2.3.3. Các đợt đã xảy ra sóng thần



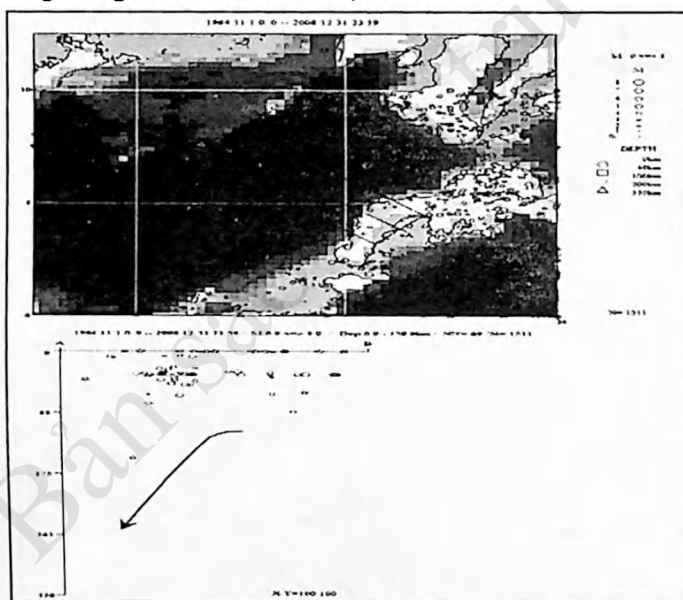
Hình IV-9. Sóng thần đã xảy ra ở vùng biển Philippine [81]

Theo thống kê chưa đầy đủ của [82], [83] thì từ năm 1677 đến năm 1999 trên đới hút chìm này đã xảy ra ít nhất 6 trận động đất gây sóng thần, gây nên những thiệt hại về người và của đáng kể (Hình IV-9). Đó là các trận:

- Trận ngoài khơi Tây Luzon năm 1677 (Ms 7.3; sóng thần cao khoảng 1 m).
- Trận Pasig River (Manila) năm 1828 (Ms 6.6; sóng thần cao khoảng 1 m?).
- Trận Agno năm 1872 (Ms 6.8 sóng thần cao khoảng 1 m).
- Trận Agno năm 1924 (Ms 7.0; sóng thần cao khoảng 1 m).
- Trận San Esteban năm 1934 (Ms 7.6; sóng thần cao khoảng 1 m).
- Trận Iba-Palauig năm 1999 (Ms 6.8; sóng thần cao khoảng 1.5 m).

IV.1.1.3. Đới hút chìm Sulu

Đới hút chìm biển Sulu gồm 2 đoạn với chiều dài 368km và 642 km. Động đất và phân bố động đất trong vùng Sulu được thể hiện trên Hình IV-10.



Hình IV-10. Động đất và phân bố động đất trong vùng nguồn Sulu

IV.1.2. Các đới đứt gãy trên các vùng rìa Tây và Tây bắc Biển Đông

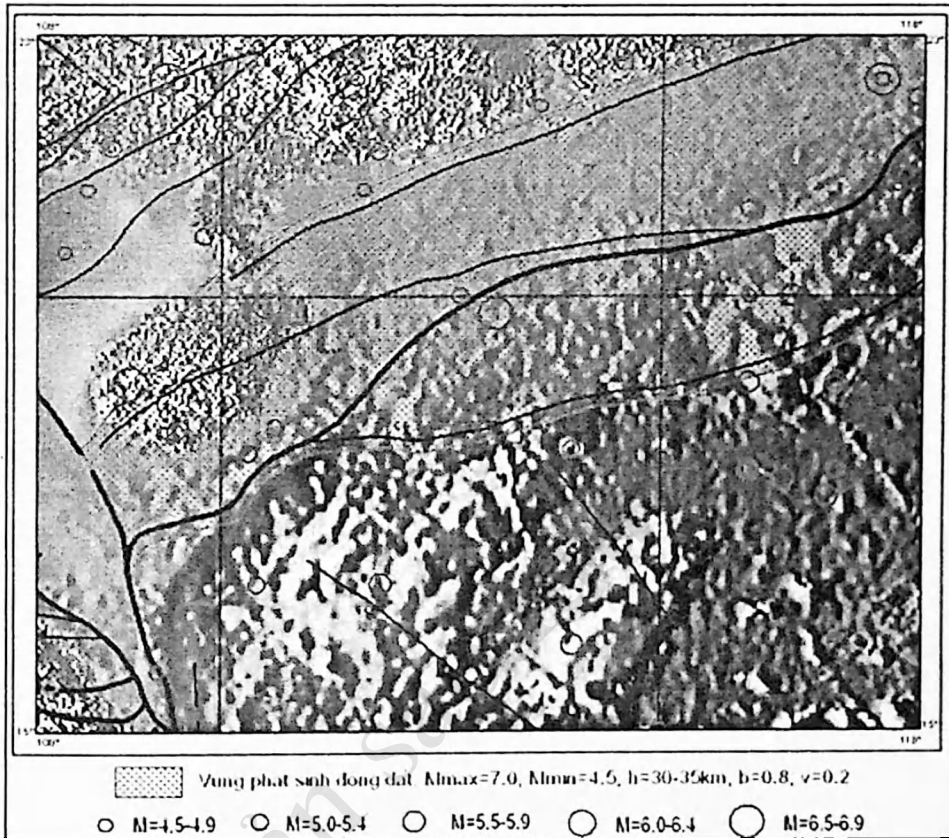
IV.1.2.1. Vùng nguồn Bắc Biển Đông

IV.1.2.1.1. Đặc trưng kiến tạo

Đây là một đới rìa lục địa thụ động kiểu Đại Tây Dương (Hình IV-11), với một loạt các đới sụt tách thuận tạo nên các địa hào, máng trũng phương ĐB-TN hoặc ĐDB-TTN. Các đới đứt gãy này có độ dài từ vài trăm đến 1000 km, và về nguyên tắc có thể tạo nên các trận động đất gây sụt lở đáy biển đáng kể và tạo nên sóng thần. Tuy nhiên các trận động đất cũng sẽ không mạnh. Đáng chú ý nhất là các đứt gãy ở phần rìa tiếp giáp với khu vực vỏ đại dương Biển Đông.

IV.1.2.1.2. Đặc điểm trường ứng suất

Phân tích thống kê trường ứng suất trong các nguồn, người ta đưa ra các đánh giá sau về trường ứng suất kiến tạo ở các vùng trong khu vực nghiên cứu:



Hình IV-11. Vùng nguồn Bắc biển Đông

Kết quả cho thấy, trường ứng suất ưu thế ở Bắc Biển Đông thuộc loại trượt bằng với trục ứng suất nén thay đổi từ phương á vĩ tuyến trong các diện tích phía đông và trung tâm, chuyển dần TB-ĐN tại các diện tích phía bắc vịnh Bắc Bộ. Trong trường ứng suất này, các trận động đất năm 1918, năm 1962 (M= 5,3), năm 1966 (M=4,9), năm 1986 (M=5,0), năm 1991 (M=5,5), năm 1994 (M=4,9) là các phá hủy địa chấn trượt bằng phải phương ĐB-TN, trùng với đường phương của các hệ đứt gãy chính có mặt trong vùng.

Trong hệ đứt gãy Đông Bắc Biển Đông các trận động đất năm 1966 (M=4,9) và năm 1994 (M=4,9) là các phá hủy địa chấn trượt bằng phải phương ĐB-TN, còn các trận động đất năm 1994 (M=6,9), năm 1994 (M=5,0) và năm 1994 (M=4,7) ở trung tâm và rìa tây nam đới đứt gãy lại là các phá hủy trượt chõm thuận. Vì vậy có thể nhận định rằng hệ đứt gãy này tham gia vào hai quá trình biến dạng dịch chuyển: Quá trình trượt bằng phải thể hiện sự chuyển động tương đối về đông của mảng Nam Trung Hoa và quá trình sụt lún, chuyển động tách giãn về phía nam của mảng Biển Đông trên các bề mặt trượt ĐB-TN.

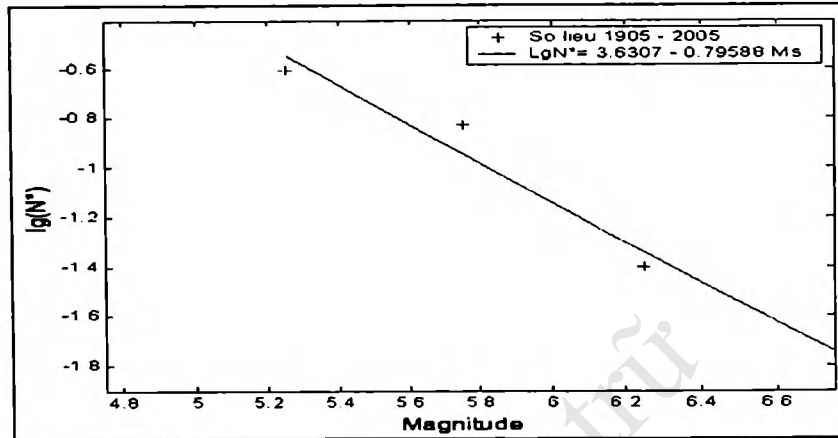
IV.1.2.1.3. Hoạt động động đất

IV.1.2.1.3.1. Đồ thị lặp lại động đất

Đồ thị lặp lại động đất khu vực nghiên cứu có dạng (Hình IV-12):

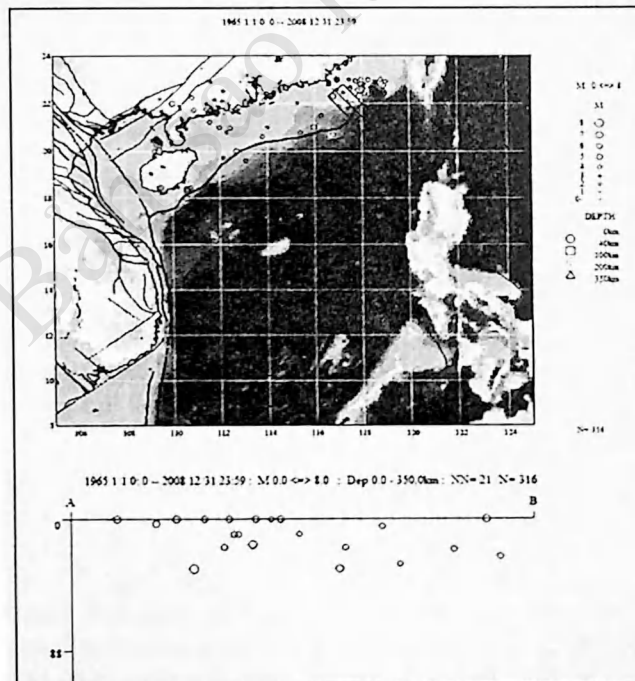
$$\lg N^*(M) = 3.6307 - 0.79588 M$$

(IV.3)



Hình IV-12. Đồ thị lặp lại vùng Biển Đông – Nam Trung Quốc

IV.1.2.1.3.2. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu

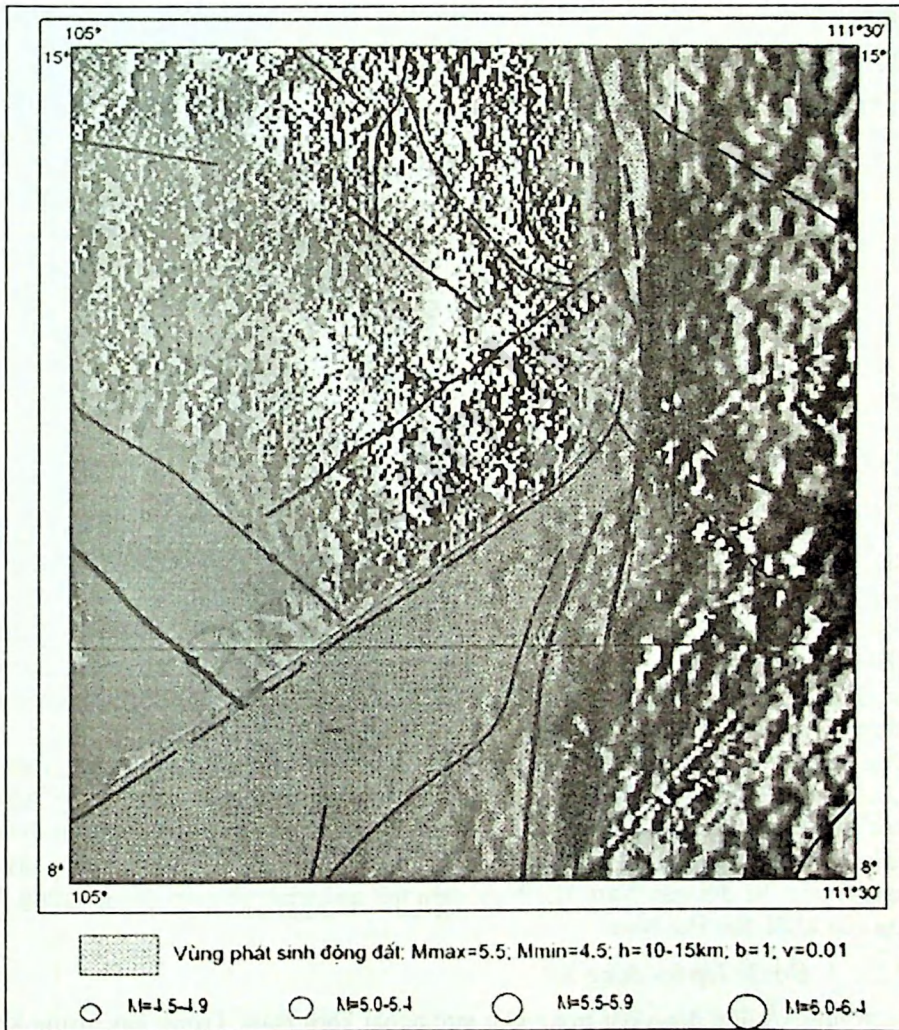


Hình IV-13. Chấn tâm và mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu

IV.1.2.2. Vùng nguồn Tây Biển Đông

IV.1.2.2.1. Đặc trưng kiến tạo

Ở vùng biển Nam Trung Bộ từ Quảng Ngãi đến Bình Thuận, Ninh Thuận quan sát thấy hoạt động của các đứt gãy kinh tuyến $109^{\circ}30'$. Đây là hệ thống đứt gãy được nhiều người biết đến và thường gọi tên là đứt gãy Tây Biển Đông hay đứt gãy kinh tuyến $109^{\circ}30'$ (Hình IV-14). Đới đứt gãy Tây Biển Đông bắt đầu từ chạc ba đứt gãy phía nam đảo Hải Nam, kéo xuống phía nam dọc theo sườn lục địa phía đông miền Trung Việt Nam. Chiều dài khoảng 550 km tính đến đới trượt Tuy Hoà. Tuy nhiên các biểu hiện đứt gãy gây động đất theo phương đứt gãy này còn tiếp tục ở phía nam. Phía nam đứt gãy phương á kinh tuyến có thể đạt chiều dài tới 700 km.



Hình IV-14. Vùng nguồn Tây Biển Đông

Đây là đứt gãy sâu, đóng vai trò ranh giới giữa địa khối Indosini và vỏ đại dương Biển Đông. Các tài liệu địa chất cho thấy trong giai đoạn hiện nay đứt gãy hoạt động yếu. Các hoạt động chính của nó đã kết thúc vào Miocen sớm. Ở đây tồn tại 2 đến 3 đứt gãy bậc 1 đến bậc 3 phát triển dọc thêm và rìa thêm lục địa Trung Bộ và Nam Bộ. Hoạt động của chúng phát triển kéo dài trong suốt KZ đến Pliocen Đệ tứ và làm móng Granit trước KZ sụt dần ra phía trũng nước sâu biển Đông. Nếu ở khu vực nằm sát bờ biển Khánh Hoà Ninh Thuận chiều sâu móng KZ chỉ nằm ở độ sâu một vài trăm mét thì ở khu vực cách bờ 50km độ sâu móng đã chìm đến độ sâu 2 - 3km, còn ở khu vực cách bờ 100km độ sâu của móng đá chìm xuống đến độ sâu 4 - 5km. Hoạt động của hệ thống đứt gãy kinh tuyến 109° vùng biển Nam Trung Bộ có thể đã làm đáy biển sụt bậc từ độ sâu từ 300- 4000m trong Holocen và hiện đại. Hoạt động của đới đứt gãy 109° có thể tạo ra hiện tượng trượt lở kiến tạo.

IV.1.2.2.2. Trường ứng suất kiến tạo

Nổi bật và đóng vai trò quan trọng trên bình đồ cấu trúc kiến tạo trong vùng này là các hệ đứt gãy Tây Biển Đông, Nam Hải Nam và Sông Hồng-Sông Chày trong cấu trúc chạc ba Nam Hải Nam. Hệ đứt gãy Tây Biển Đông có quy mô lớn về chiều dài, chiều rộng và độ sâu xuyên cắt, từ Nam Hải Nam phát triển theo phương kinh tuyến tới tận eo biển Zond giữa các đảo Java và Sumatra. Thiếu các tài liệu về cơ cấu chấn tiêu động đất, trường ứng suất trong hệ đứt gãy Tây Biển Đông được nghiên cứu trên cơ sở các tài liệu địa chất, địa mạo, địa vật lý và vật lý kiến tạo. Cơ chế hoạt động trượt bằng phải được nhiều tác giả dự đoán đối với hệ đứt gãy, khi nó điều tiết quá trình biến dạng dịch chuyển hướng nam của mảng Biển Đông so với địa khối Đông Dương. Trường ứng suất trong hệ đứt gãy tương ứng với cơ chế kiến tạo này có thể được mô hình bởi trục ứng suất nén gần nằm ngang theo phương ĐB-TN và mặt trượt hướng kinh tuyến và vĩ tuyến, trong đó bề mặt hướng kinh tuyến có biến dạng trượt bằng phải trùng với cơ chế hoạt động của hệ đứt gãy Tây Biển Đông.

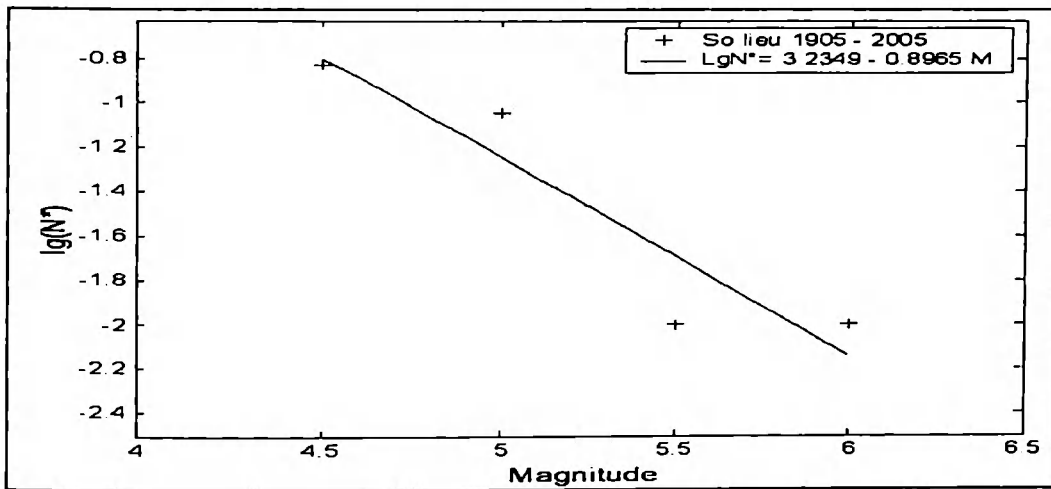
Hệ thống đứt gãy Sông Hồng bao gồm một số đứt gãy phương TB-ĐN bắt nguồn từ lãnh thổ Việt Nam và phát triển ra Biển Đông, trong đó các đứt gãy Sông Lô, Vĩnh Ninh hướng cắm tây nam, không chế cánh đông bắc trũng Sông Hồng còn đứt gãy Sông Hồng- Sông Chày hướng cắm đông bắc, không chế rìa tây nam của trũng. Hệ đứt gãy Sông Hồng được xác định là hoạt động trượt bằng phải và có tính địa chấn tương đối cao trong phần lãnh thổ. Tuy nhiên, trong phần lãnh hải hệ đứt gãy biểu hiện tính địa chấn thấp và rất thấp.

Trong hệ đứt gãy Nam Hải Nam, cơ cấu chấn tiêu các trận động đất năm 1969 (M=4,7), năm 1969 (M=4,8) thuộc dạng trượt bằng với ứng suất nén á kinh tuyến và ứng suất tiếp tuyến cực đại phương ĐB-TN và TB-ĐN. Hai trận động đất trên được xác định là các phá huỷ địa chấn trượt bằng trái trên các mặt ĐB-TN hướng cắm tây nam. Với cơ chế này, hệ đứt gãy Nam Hải Nam điều tiết quá trình chuyển động tương đối về tây nam của khối đảo Hải Nam.

IV.1.2.2.2.1. Đồ thị lặp lại động đất

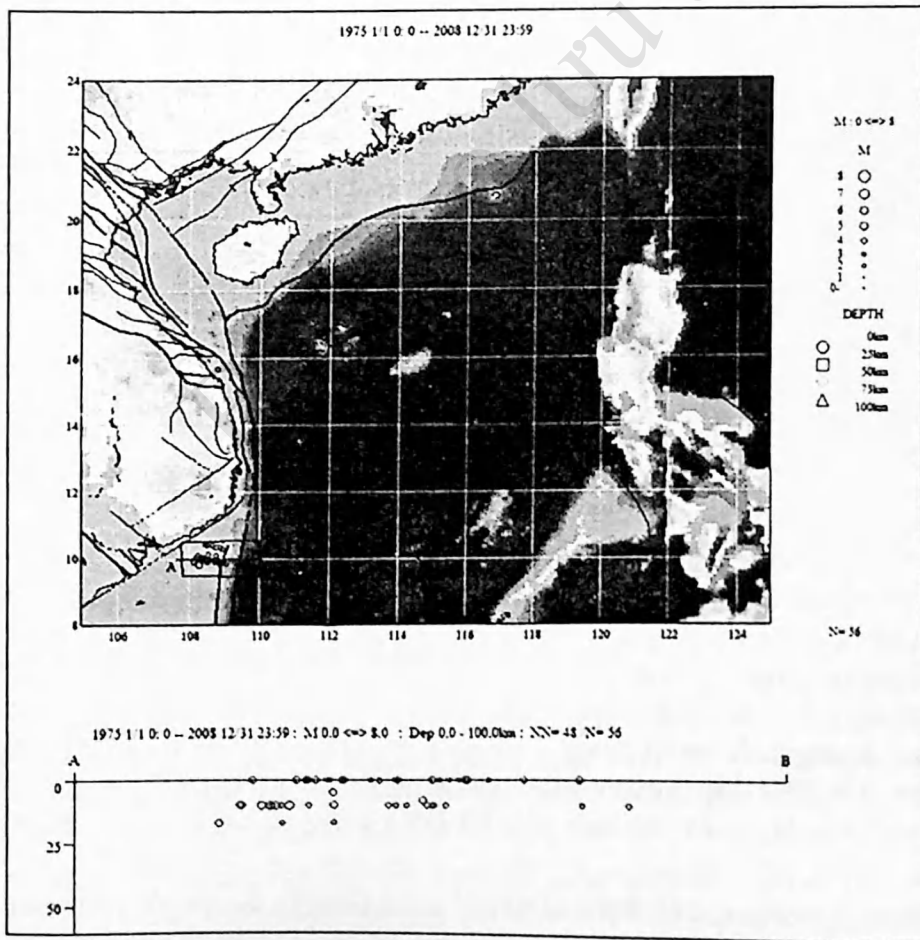
Từ tập hợp số liệu động đất trong khu vực ngoài khơi Nam Trung Bộ, trong khoảng thời gian quan sát 100 năm xây dựng được đồ thị lặp lại có dạng (Hình IV-15):

$$\lg N^*(M) = 3.2349 - 0.8965 M \quad (IV.4)$$



Hình IV-15. Đồ thị lặp lại khu vực ngoài khơi Nam Trung Bộ

IV.1.2.2.2. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu (Hình IV-16)



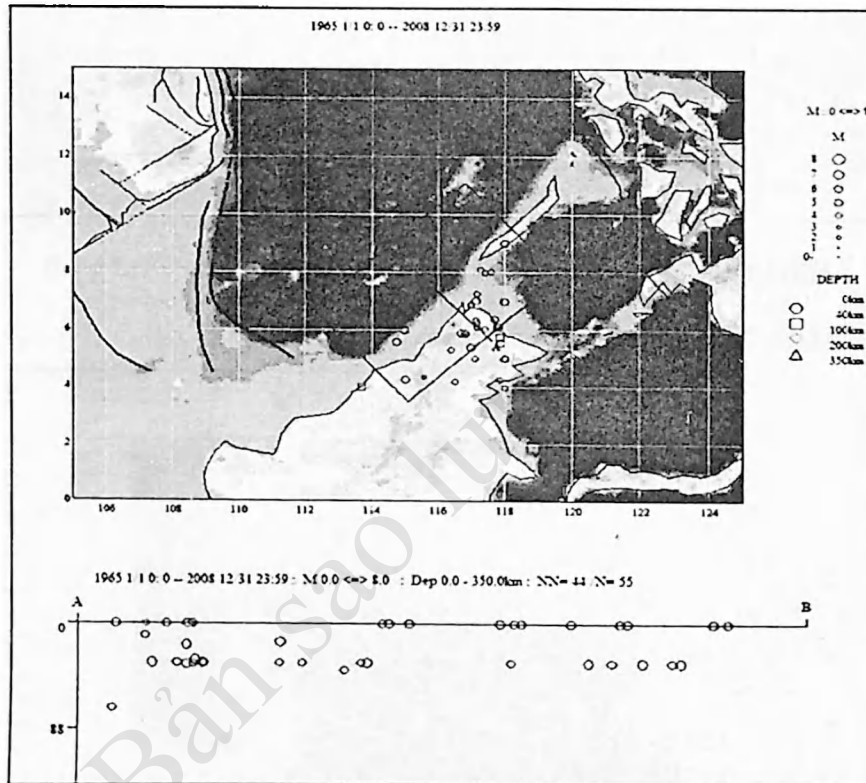
Hình IV-16. Chấn tâm và mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu

IV.1.3. Đới đứt gãy trên rìa Đông Nam Biển Đông

IV.1.3.1. Đới đứt gãy Palawan-bắc Borneo

IV.1.3.1.1. Đặc trưng kiến tạo

Đới đứt gãy Palawan-bắc Borneo: là đứt gãy nghịch, cắm về phía đông nam và chia thành 2 đoạn với chiều dài 158km và 533 km (Hình IV-17).



Hình IV-17. Phân bố động đất theo độ sâu trong đới Palawan

IV.1.3.1.2. Trường ứng suất kiến tạo

Trường ứng suất được xác định bởi cơ cấu chấn tiêu các trận động đất ở đông bắc Borneo, trong đó 4 chấn tiêu ở ven biển và 1 chấn tiêu ở khu vực các cụm đảo ngoài khơi. Trường ứng suất ven biển Borneo thay đổi phức tạp từ các trạng thái trượt bằng sang chồm nghịch. Các nguồn kiểu trượt bằng, năm 1981 ($M=5,2$), năm 1994 ($M=4,9$) đặc trưng bởi ứng suất nén phương á vĩ tuyến và ứng suất tiếp tuyến cực đại phương ĐB-TN và TB-ĐN. Các nguồn kiểu chồm nghịch năm 1984 ($M=5,2$), năm 1994 ($M=5,3$) tương tự nhau, có ứng suất nén TB-ĐN và ứng suất tiếp tuyến cực đại phương ĐB-TN.

Tuy nhiên, do thiếu các tài liệu chi tiết về cấu trúc kiến tạo vỏ Trái đất và nghèo nàn các thông tin về động đất và cơ cấu nguồn, các kết quả nghiên cứu ở vùng rìa Nam còn dừng lại ở mức độ sơ lược, bước đầu. Bài toán cần được tiếp tục nghiên cứu trên cơ sở thu thập, cập nhật bổ sung các nguồn tài liệu mới và áp dụng các phương pháp mới.

IV.1.3.1.3. Hoạt động động đất

Phân bố động đất theo độ sâu cho thấy đây không phải là đới hút chìm như nghi ngờ, mà thật sự là một đứt gãy cắm rất dốc.

IV.2. HOẠT ĐỘNG NÚI LỬA VÀ NGUY CƠ TRƯỢT LỞ ĐẤT TRÊN DẢI VEN BIỂN VIỆT NAM

IV.2.1. Hoạt động núi lửa

Đó là một trong những biểu hiện nổi bật của hoạt động kiến tạo mới trong kỷ Đệ tứ và ngày nay vẫn còn đang tiếp tục. Phun trào núi lửa Hòn Tro năm 1923, Hòn Nước năm 1960, năm 1963 là minh chứng.

Ở vùng biển nam vịnh Bắc Bộ đến Quảng Ngãi, đi kèm với các hoạt động kiến tạo trẻ rất phát triển các hoạt động phun trào núi lửa N2 - Q1 và Holocen, các hoạt động phun trào phát triển khá rộng từ dải đất liền ven biển và trên thềm lục địa.

Hoạt động của đứt gãy kinh tuyến 109° tạo ra quá trình phun trào núi lửa phát triển dọc dải biển miền Trung từ đảo Lý Sơn đến đảo Phú Quý, Hòn Tro.

Hoạt động của hệ thống đứt gãy Máng Cầu-Tuy Phong có khả năng tạo ra đới tách giãn hiện đại nằm ở rìa phía đông bể Cửu Long, đi kèm với nó là quá trình phun trào núi lửa rất trẻ có quy mô lớn ở khu vực các đảo Phú Quý và Hòn Tro. Cùng với hệ thống đứt gãy 109°, hệ thống đứt gãy Máng Cầu Tuy Phong đóng vai trò quan trọng trong chế độ địa động lực hiện đại ở khu vực rìa thềm lục địa Đông Nam Bộ. Hoạt động của các hệ thống đứt gãy này có thể là nguyên nhân chính gây ra các hoạt động núi lửa, các trượt lở kiến tạo. Liên quan với chúng là các hoạt động động đất và sóng thần.

Hoạt động núi lửa cũng biểu hiện kèm theo hoạt động của các đứt gãy Thuận Hải-Minh Hải và các đứt gãy phương ĐB-TN trong trũng Nam Côn Sơn. Hiện tượng động đất và sóng thần kèm theo hoạt động núi lửa ở vùng biển Bình Thuận năm 1877, năm 1882 và Hòn Tro năm 1923 khiến ta phải chú ý đến hoạt động núi lửa trẻ ở vùng ven biển Trung Bộ và Nam Trung Bộ. Ghi chép về núi lửa ở vùng này thì khá phong phú. Theo Minh Đô sử, dưới triều Khải Định, nhân dân ở vùng ven biển tỉnh Bình Thuận đã quan sát được núi lửa mới phát ở gần đảo Hòn Nước. Theo Đại Nam nhất Thống chí, ở tỉnh Bình Thuận, trong đất liền vùng ven biển, còn có cả một dải núi lửa chưa tắt.

Các nhà nghiên cứu nước ngoài đã nghiên cứu những sự kiện này xác định vị trí núi lửa ở 10°10' vĩ bắc, 108°58' kinh đông (Obrusev và Vlodaves), 10°01' vĩ bắc, 109° kinh đông (Richter) và cho biết rằng trước và sau khi núi lửa phun, đã có nhiều lần trận động đất cảm thấy ở vùng đảo Hòn Nước và vùng ven biển Phan Thiết. Ranh giới của vùng chịu ảnh hưởng của núi lửa trong đất liền và dưới biển gần bờ thì lan rộng từ phía bắc Nha Trang tới phía nam Phan Thiết

Một trong những biểu hiện độc đáo của vận động kiến tạo mới ở Việt Nam là các phun trào của núi lửa diễn ra ở phía Nam của lãnh thổ, thuộc vành đai núi lửa đông nam Đông Dương. Có thể phân ra hai giai đoạn chính. Giai đoạn Pleistocen sớm : dung nham phun ra theo các đứt gãy lớn, lấp đầy thung lũng và đồng bằng bóc mòn tích tụ

Neogen. Giai đoạn Heloxen: hoạt động hạn chế hơn và thường phun lên từ vị trí sâu hơn theo đứt gãy á kinh tuyến. Trong thế kỷ thứ 19 cũng như gần đây, hoạt động núi lửa còn tiếp tục ở vùng ven biển thuộc tỉnh Bình Thuận, Khánh Hoà.

Theo Minh Đô sử, dưới triều Khải Định, nhân dân tỉnh Bình Thuận đã quan sát được núi lửa mới phát ở gần đảo Hòn Nước. Theo Obrusev và Vlodayes, núi lửa ngầm này ở vĩ độ $10^{\circ}10'$ bắc, kinh độ $108^{\circ}58'$ đông. Theo Guttenberg và Richter, núi lửa này đã tạo nên một đảo mới gọi là đảo Hòn Tro ở vị trí $10^{\circ}1'$ vĩ bắc, 109° kinh đông. Theo Paste, người điều tra núi lửa này một cách chi tiết nhất, đảo núi lửa Hòn Tro thuộc kiểu núi lửa Stromboli. Các mẫu dung nham phun ra đều là bazan hay thủy tinh bazan, đá bọt nhiều và nhẹ. Đến cuối tháng 7/1923 đảo núi lửa này chìm xuống dưới biển. Theo Marti, đến năm 1929 nó chỉ còn là một hòn đảo ngầm ở dưới mặt biển 20m. Theo Saurith, đến năm 1965 nó vẫn giữ nguyên độ sâu ấy. Theo Đại Nam nhất Thống chí, ở tỉnh Bình Thuận, trong đất liền vùng ven biển, còn có cả một dải núi lửa chưa tắt. Theo Sienberg thì ranh giới của vùng chịu ảnh hưởng của núi lửa trong đất liền và dưới biển gần bờ lan rộng từ phía bắc Nha Trang đến phía nam Phan Thiết.

Các vụ nổ núi lửa đã gây ra những trận động đất núi lửa. Các trận động đất cấp VII ở bờ biển Phan Thiết năm 1877 và 1882 và chuỗi động đất xảy ra năm 1928 ở ven biển tỉnh Bình Thuận đều có liên quan với những phun trào bazan theo các khe nứt hoặc các hõng núi lửa mới. Hai trận động đất xảy ra năm 1960 và 1963 ở vùng đảo Hòn Nước, theo Saurin, cũng liên quan với hoạt động của núi lửa ngầm ở vùng này. Theo các ghi chép cũ cũng như các điều tra động đất thì các trận kèm theo núi lửa phun nói trên đều không mạnh hơn cấp 7 và thường gây chấn động trong phạm vi nhỏ hẹp.

IV.2.2. Nguy cơ trượt lở trong đới ven biển miền Trung Việt Nam

Đi kèm với hoạt động của các đới đứt gãy ở bắc Biển Đông và tây Biển Đông là các hiện tượng trượt lở đất. Động đất mạnh sẽ là tác nhân kích thích hiện tượng ấy.

Ngoài nguyên nhân về động đất, sóng thần có thể liên quan với các hiện tượng núi lửa và trượt lở đất. Chính vì vậy, người ta đã tiến hành các nghiên cứu nhằm xác định hiện tượng trượt lở ở vùng biển Việt Nam. Trong phần này, trình bày các kết quả phân tích số liệu địa chấn phục vụ nghiên cứu trượt lở đất ở vùng biển Việt Nam.

IV.2.2.1. Địa hình đáy biển

Dọc bờ biển Việt Nam tồn tại nhiều khu vực đáy biển có địa hình dốc. Các khu vực này chủ yếu chạy dọc kinh tuyến $109^{\circ}03'$ và nằm ở khu vực phía nam vĩ tuyến 14° , nghĩa là ở vùng biển phía nam Quy Nhơn. Ở vùng biển Phú Yên – Khánh Hòa, ở khoảng cách cách bờ biển hiện tại từ 70-100 km, nghĩa là ở khu vực kinh tuyến $109^{\circ}30'$, chiều sâu đáy biển thay đổi khá đột ngột từ 300-400 m nước, xuống 1000-1500m (Hình IV-18a). Theo các số liệu địa chấn thì góc dốc của địa hình đáy biển hiện tại ở mép rìa thêm có thể đạt tới $20-30^{\circ}$. Sự thay đổi đột ngột của địa hình đáy biển như vậy có thể gây ra trượt lở đất. Nếu lưu ý thêm rằng, ngoài yếu tố địa hình, ở khu vực này còn phát triển hệ thống đứt gãy kiến tạo trẻ dọc kinh tuyến 109° và $109^{\circ}30'$. Đi kèm với hoạt động này là các quá trình phun trào núi lửa trẻ và động đất với cường độ đạt tới 6 độ richter thì khả năng gây trượt lở đất càng cao.

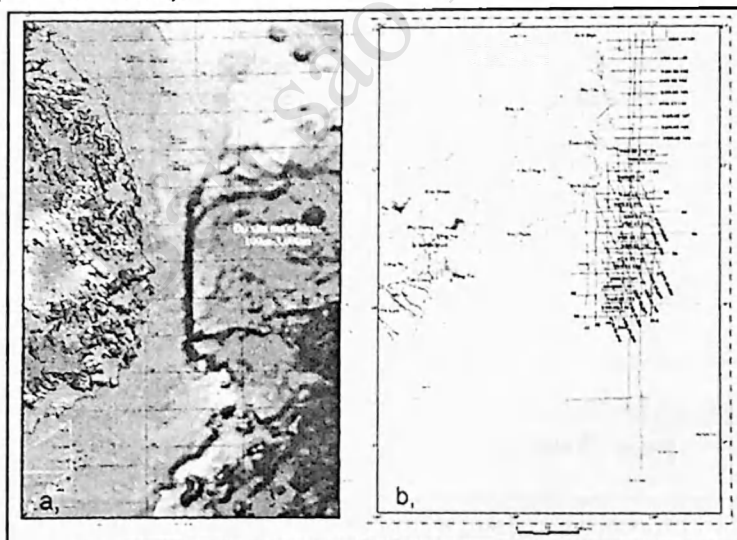
IV.2.2.2. Số liệu khảo sát địa chấn

Để phát hiện các trượt lở đất dọc đới ven biển Việt Nam thì các số liệu địa chấn đã được khai thác.

Ở vùng biển từ Quảng Ngãi đến Ninh Thuận tồn tại bể trầm tích triển vọng dầu khí Phú Khánh. Chính vì vậy, ở khu vực này các công ty dầu khí như GSI (USA, 1974), Vietsovpetro (Nga - Việt, 1984), GECO – PRAKLA (1993) và NOPEC (1993) đã tiến hành đo 17.000 km tuyến địa chấn. Các khảo sát địa chấn đã được tiến hành bằng phương pháp địa chấn phản xạ điểm sâu chung (Common depth point method) với bội từ 24-60. Để phát sóng đã sử dụng nhóm gồm 6-8 Airgun. Thu sóng được tiến hành bằng cáp máy (streamer) có độ dài từ 3.000-4.000 m. Trong quá trình ghi sóng, nguồn phát và streamer đã được đặt ở độ sâu 6-8 m cách mặt biển. Định vị tuyến đã được tiến hành bằng hệ thống định vị dẫn đường – Navigation GPS.

Các số liệu địa chấn đã được xử lý ở các trung tâm xử lý. Kết quả xử lý được in ra dưới dạng các mặt đất địa chấn như biểu diễn ở các hình từ *Hình IV-24* tới *Hình IV-31*.

Để phục vụ cho việc phát hiện hiện tượng trượt lở đất ở vùng biển Nam Trung Bộ chúng tôi đã thu thập và xử lý các mặt cắt địa chấn dọc các tuyến đo của NOPEC và Malugin. Các tuyến này NOPEC được đánh số từ VOR-93-101 đến VOR-93-210. Các tuyến Malugin gồm các tuyến ngang được đánh số từ 83-61 đến 83-69 và các tuyến dọc 73A, 74A. Các tuyến đã được bố trí theo mạng lưới chữ nhật với khoảng cách các tuyến từ 15 – 20 km (*Hình IV-18b*).

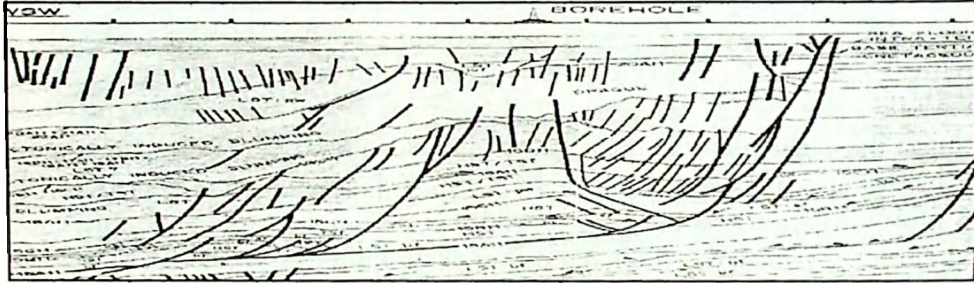


Hình IV-18. Địa hình đáy biển và sơ đồ tuyến khảo sát địa chấn của Nopect và Malugin khu vực Nam Trung Bộ

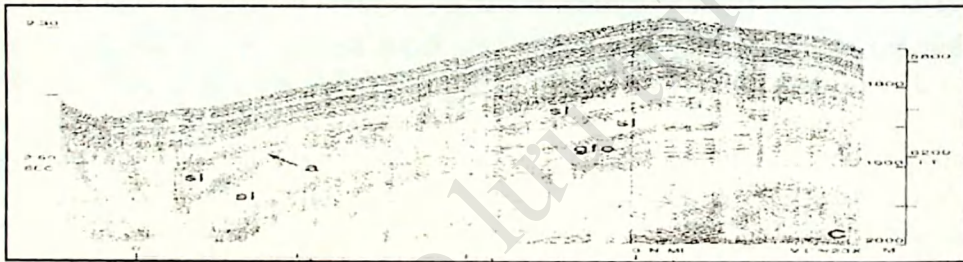
IV.2.2.3. Phương pháp phân tích số liệu địa chấn

Hiện nay, phương pháp địa chấn, đặc biệt là phương pháp địa chấn nông phân giải cao đang được sử dụng như một công cụ gần như duy nhất để phát hiện các khối trượt lở ngầm dưới đáy biển. Trên *Hình IV-19* là các khối trượt lở được phát hiện trên các mặt cắt địa chấn dầu khí đo ở bồn trầm tích Organe nằm trên vùng biển phía tây của Nam

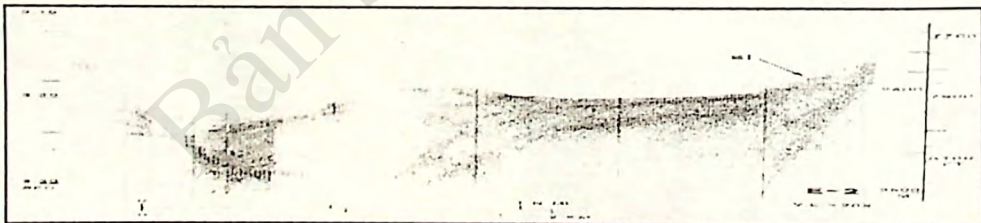
Phi. Tương tự, hiện tượng trượt lở đất có thể quan sát được trên các mặt cắt địa chấn nông phân giải cá sử dụng nguồn phát ở dải tần từ vài trăm đến vài kilôhec. Trên *Hình IV-20* và *Hình IV-21* là hình ảnh các khối trượt lở được [87], [98] phát hiện ở vịnh Mexico và khu vực rìa thềm lục địa của các bang Texas và Louisiana, Hoa Kỳ.



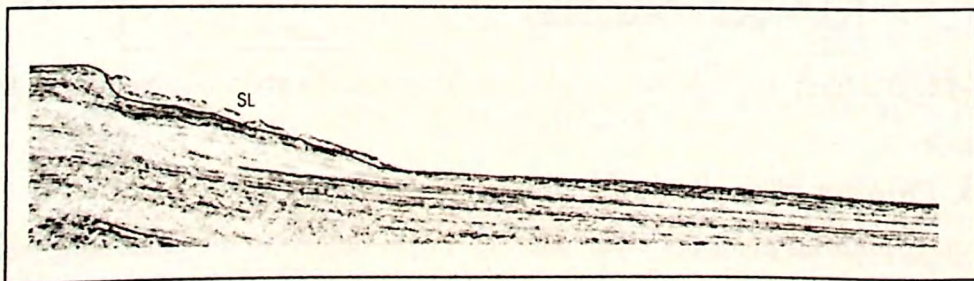
Hình IV-19. Hình ảnh trượt lở đất ở vùng biển tây Nam Phi [89]



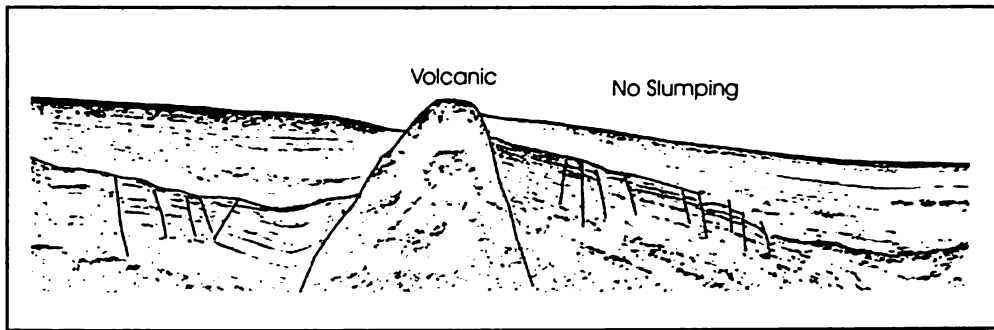
Hình IV-20. Các khối trượt lở đất ở vùng biển Texas (Hoa Kỳ), ký hiệu bằng chữ sl, trên mặt cắt địa chấn nông phân giải cao [87]



Hình IV-21. Khối trượt lở đất nằm đè lên đáy biển (ký hiệu bằng chữ sl) theo số liệu địa chấn nông phân giải cao [87]



Hình IV-22. Hình ảnh trượt lở trên tuyến địa chấn VOR93-102



Hình IV-23. Không xảy ra trượt lở trên đáy biển ở tuyến địa chấn VOR93-115

Từ các hình trên, chúng ta có thể nhận thấy rằng các khối trượt lở được thể hiện trên các mặt cắt địa chấn bằng các dấu hiệu của trường sóng như sau:

- Tồn tại hiện tượng các ranh giới phản xạ bị cắt cụt một cách đột ngột.
- Tồn tại các trường sóng hỗn độn không quy luật dạng chaotic và các mặt phản xạ bị uốn nếp biến dạng liên quan với khối đất đá bị trượt lở dập vỡ.
- Tồn tại các mặt ranh giới dốc, với góc độ trên vài chục độ liên quan đến địa hình sườn dốc của đáy biển cổ.
- Tồn tại các dấu hiệu trường sóng phản ánh sự có mặt các đứt gãy kiến tạo và các mặt trượt.
- Tồn tại các dấu hiệu bất chỉnh hợp địa chấn phản ánh các khối trượt lở nằm không chỉnh hợp (không song song) trên các thành tạo trầm tích sát đáy biển.

Dựa vào các dấu hiệu trên, đã tiến hành phân tích các mặt cắt địa chấn do NOPEC và Vietsovpetro đo ở vùng biển từ Phú Yên đến khu vực đông nam các đảo Phú Quý, Hòn Hải.

IV.2.2.4. Kết quả phân tích số liệu địa chấn về hiện tượng trượt lở ở vùng biển Việt Nam

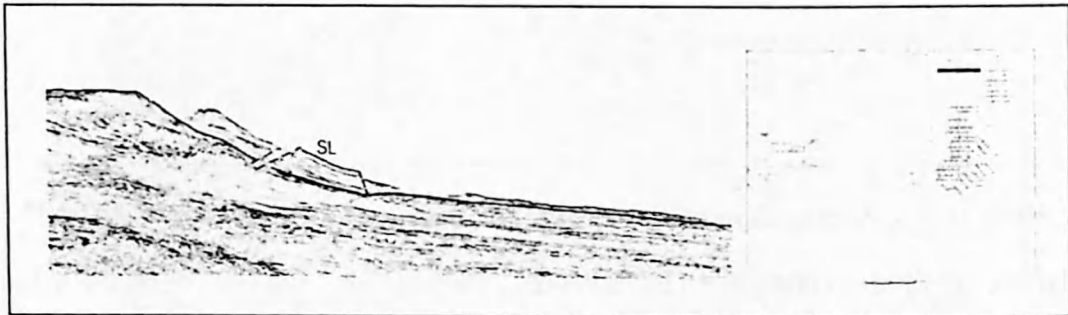
Dưới đây là một số kết quả phân tích dọc một số tuyến điển hình:

- Trên Hình IV-24 là đoạn mặt cắt địa chấn tuyến VOR-93-103 đo được ở vùng biển Tuy Hòa, chạy dọc vĩ tuyến $13^{\circ}25'$. Trên mặt cắt địa chấn có thể quan sát thấy đới trượt lở nằm sát đáy biển hiện tại ở khu vực rìa lục địa, nơi độ sâu nước thay đổi đột ngột từ khoảng 250 m nước xuống 2.000 – 3.000 m nước, góc dốc của đáy biển ở khu vực này có thể đạt từ $20 - 30^{\circ}$. Trên mặt cắt địa chấn khối trượt lở được thể hiện bằng các dấu hiệu như:

- Địa hình sụt bậc, lồi lõm của đáy biển hiện tại.
- Các ranh giới phản xạ bị cắt đứt đột ngột, trường sóng phân lớp ở khối đá không bị phá hủy thể hiện rõ tính phân lớp, trong khi đó trường sóng của khối trượt lở bị dập vỡ có dạng hỗn độn chaotic, uốn lượn mạnh.
- Khối trượt lở nằm đè bất chỉnh hợp trên bề mặt của tập trầm tích phân lớp nằm sát đáy biển.

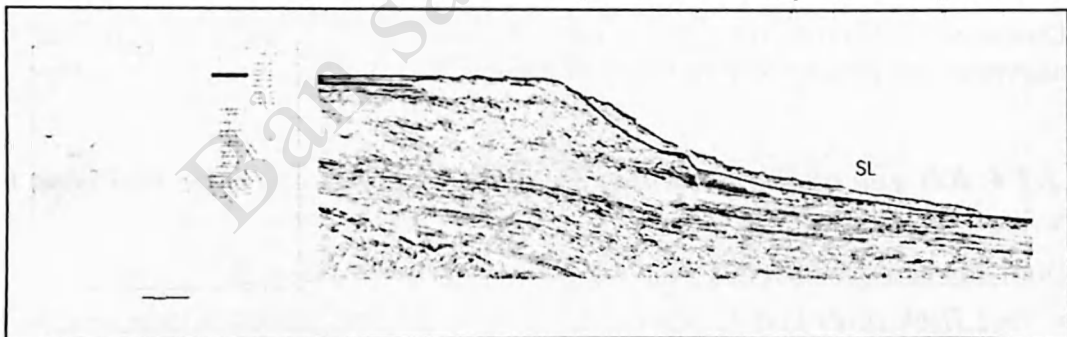
Dựa vào mặt cắt địa chấn có thể xác định được một số thông số cơ bản của khối trượt lở như sau:

- Độ sâu đáy biển ở khoảng thay đổi đột ngột từ 250 lên 1500 m độ dốc đáy biển đạt $20-30^{\circ}$.



Hình IV-24. Biểu hiện trượt lở đất trên mặt cắt địa chấn tuyến VOR-93-103

- Biên độ trượt khoảng 200 m.
- Kích thước của khối trượt lở: Dài (dọc tuyến) ~ 10 km; Rộng, xác định theo tuyến vuông góc, ~ 5 km; Cao: 150 – 200m
- Thể tích của khối trượt bằng: $V = 10.10^3.5.10^3.2.10^2 = 1.10^9 \text{ m}^3$, khối lượng khối trượt: $M = 1.10^9.1,8 \text{ tấn/m}^3 = 1,8.10^9 \text{ tấn}$
- Trên Hình IV-25 là mặt cắt địa chấn tuyến VOR-93-104. Tuyến này nằm cách tuyến VOR-93-103 mô tả trên khoảng 20 km về phía nam và chạy dọc vĩ tuyến $13^{\circ}15'$.



Hình IV-25. Mặt cắt địa chấn tuyến VOR-93-104

Trên mặt cắt địa chất tuyến VOR-93-104 có thể quan sát thấy ít nhất ba đợt trượt lở đất kéo dài từ Pleistocen muộn đến Holocen. Khối trượt lở trong Holocen có kích thước rất lớn nằm đè trượt lên trên đáy biển hiện tại. Khối trượt lở này cũng xảy ra ở rìa thềm lục địa nơi độ sâu nước tăng từ 300 m lên 1000 m. Các thông số của khối trượt như sau:

- Biên độ trượt khoảng 200 -250 m, kích thước của khối: dài 20 km, cao 400 m, rộng ~ 5 km. Thể tích của khối trượt $V = 20.10^3.4.10^2.5.10^3 = 4.10^{10} \text{ m}^3$ và khối lượng xấp xỉ 8.10^{10} tấn.

• Trên Hình IV-26 là đoạn mặt cắt địa chấn VOR-93-105 đo dọc vĩ tuyến 13° , ở ngoài khơi vùng biển Tuy Hòa.



Hình IV-26. Mặt cắt địa chấn tuyến VOR-93-105

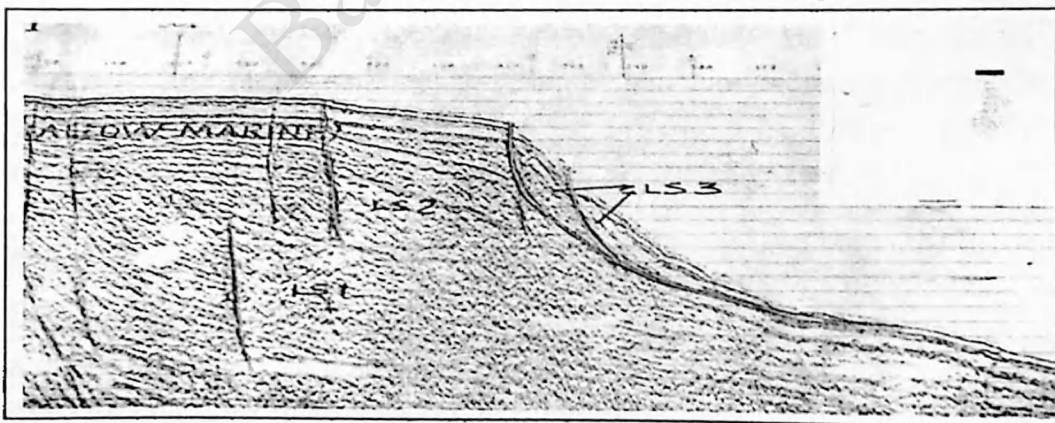
Trên mặt cắt địa chấn có thể quan sát thấy các mặt phân xạ bị trượt lở làm đứt đoạn đột ngột. Các khối trượt lở bị phá hủy biến dạng tạo ra trường sóng rời, uốn cong, trắng. Trên các mặt cắt địa chấn có thể xác định được các mặt trượt và hiện tượng các khối đá trượt lở nằm đè bất chỉnh hợp lên các lớp trầm tích sát đáy biển.

Từ các số liệu địa chấn có thể xác định được các thông số của khối trượt lở trẻ nhất nằm sát đáy biển hiện tại như sau:

- Khối trượt lở nằm ở khu vực rìa thềm, nơi độ sâu nước thay đổi đột ngột từ 250 m xuống 1600 m; góc dốc của đáy biển có thể đạt $20 - 30^{\circ}$.

- Biên độ trượt lở khoảng 150 – 200m, thể tích của khối trượt $V = 5.10^3 . 5.10^3 . 2.10^2 = 5.10^9 m^3$, khối lượng của khối trượt khoảng 9.10^9 tấn.

- Trên Hình IV-27 là đoạn mặt cắt tuyến địa chấn 83-61 do Vietsovpetro đo bằng tàu khảo sát Malugin năm 1983 ở vùng biển Khánh Hòa dọc vĩ tuyến $12^{\circ}10'$. Trên mặt cắt có thể quan sát thấy ít nhất ba khối trượt lở xảy ra trong giai đoạn từ Pleistocen muộn đến nay. Tương tự như trên mặt cắt VOR-93-105 trên tuyến này hiện tượng trượt lở làm các ranh giới phân xạ bị đứt đoạn đột ngột các trường sóng ở phía ngoài mặt trượt trở nên hỗn độn dạng chaotic đặc trưng cho các khối đá trượt lở bị đập vỡ và biến dạng.



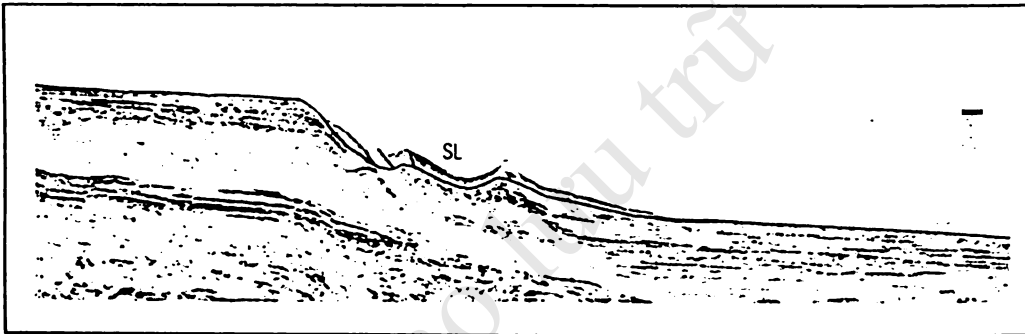
Hình IV-27. Mặt cắt địa chấn tuyến 83-61

Khối trượt lở xảy ra gần đây nhất nằm sát đáy biển hiện tại có các đặc điểm như sau:

- Xảy ra ở khu vực chiều sâu đáy biển thay đổi đột ngột từ 300m nước xuống 2000m nước, góc dốc của đáy biển hiện tại đạt xấp xỉ 30° .

- Biên độ trượt có thể đạt 200 – 300m.
- Kích thước của khối trượt: dài ~ 5 km, rộng ~ 5 km, cao ~ 150 m.
- Thể tích khối trượt bằng $V = 5.10^3.5.10^3.1,5.10^2 = 4.10^9 \text{ m}^3$, khối lượng khoảng 8.10^9 tấn.

• Trên *Hình IV-28* là mặt cắt địa chấn tuyến VOR-93-112 do NOPEC đo nằm ngoài khơi vịnh Cam Ranh, Khánh Hòa. Trên đoạn mặt cắt địa chấn từ cọc 3500 – 5900 (~ 20 km) có thể quan sát thấy hình ảnh ranh giới phân xạ bị cắt đứt, trường sóng trắng, bề mặt địa hình đáy biển và các lớp đất đá nằm sát đáy biển bị uốn cong, biến dạng mạnh. Hình ảnh trên của trường sóng địa chấn phản ánh hiện tượng trượt lở ở khu vực này kéo dài từ cuối Pleistocen đến hiện tại. Phần trên cùng của mặt cắt địa chấn tồn tại một khối trượt lở hiện đại. Khối này trượt dọc mặt trượt nằm dọc đường tụt sâu của địa hình đáy biển và tạo ra trên đáy biển các khối nhô cao. Khối trượt lở được đặc trưng bởi các thông số sau:

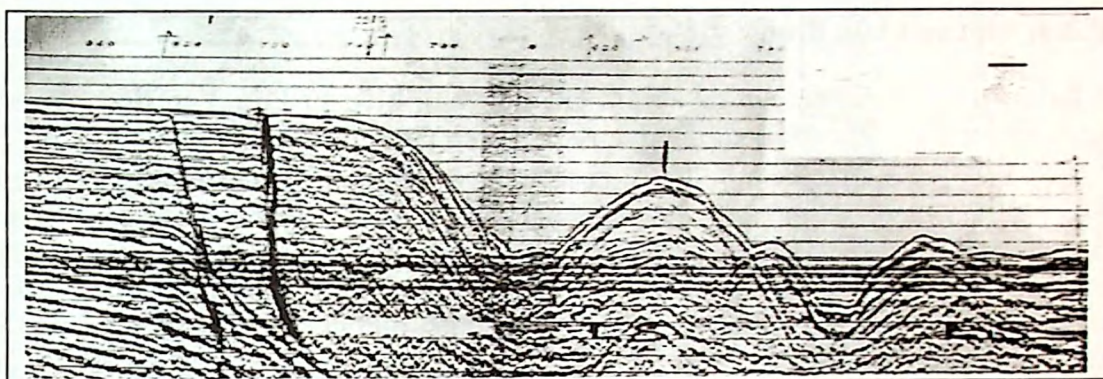


Hình IV-28. Mặt cắt địa chấn tuyến VOR – 93 – 112

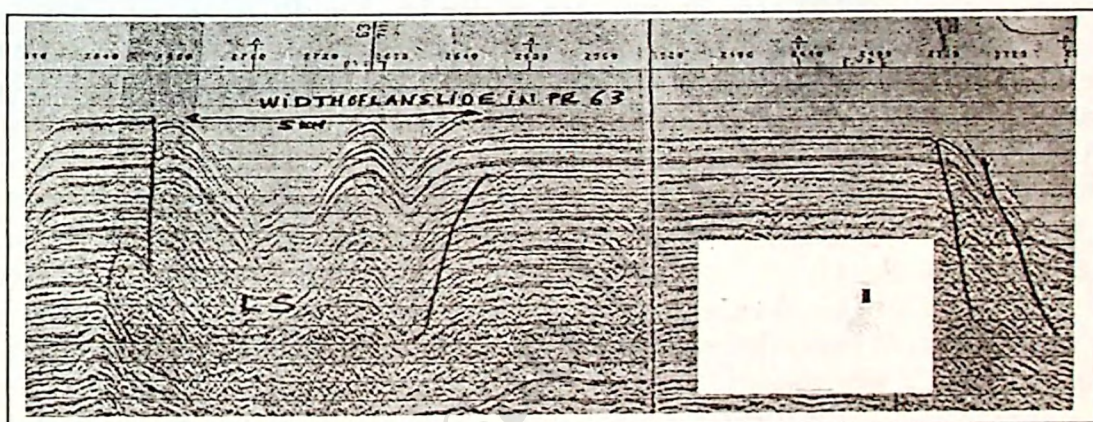
- Nằm ở rìa thềm lục địa, nơi độ sâu đáy biển tăng đột ngột từ khoảng 300 m lên 1500 – 2000m.
- Biên độ trượt đạt tới 500 – 600m.
- Kích thước của khối trượt lở như sau: dài ~ 20km, rộng ~ 5km, cao ~300m
- Thể tích $V = 2.10^4.5.10^3.3.10^2 = 3.10^{10} \text{ m}^3$, khối lượng $M = 5,4.10^{10}$ tấn.

• Trên *Hình IV-29* là đoạn mặt cắt địa chấn 83-63 do tàu Malugin đo năm 1983 ở vùng biển Minh Hải, dọc vĩ tuyến $11^{\circ}50'$. Trên mặt cắt địa chấn chúng ta có thể quan sát thấy các khối trượt lở nằm ở rìa thềm lục địa nơi đáy biển thay đổi đột ngột từ độ sâu 300 m xuống độ sâu ~ 1000 m nước.

Trên mặt cắt địa chấn khối trượt lở đã tạo ra các khối nhô cao và trũng sâu trên đáy biển. Hiện tượng trượt lở ở khu vực này tạo ra lớp đất đá bị phá hủy dài tới 500-600m nằm sát đáy biển. Khối đá trượt lở làm đứt đoạn các ranh giới phân xạ và phá hủy tính phân lớp của các lớp trầm tích, tạo ra trên mặt cắt địa chấn trường sóng dạng chaotic. Khối trượt lở này tạo ra trên mặt cắt địa chấn tuyến 74A-83 nằm vuông góc với tuyến 83-63 các hố trũng sâu đến 300m và rộng tới 5 km (*Hình IV-30*). Cần lưu ý rằng trên tuyến 74A-83 ngoài các hố trũng sâu, còn tồn tại đới đào khoét, trượt lở kéo dài trên 100km, chiều dài của lớp đất bị phá hủy do trượt lở và có thể do cả các hoạt động sóng lạch đạt tới 500 – 700m.

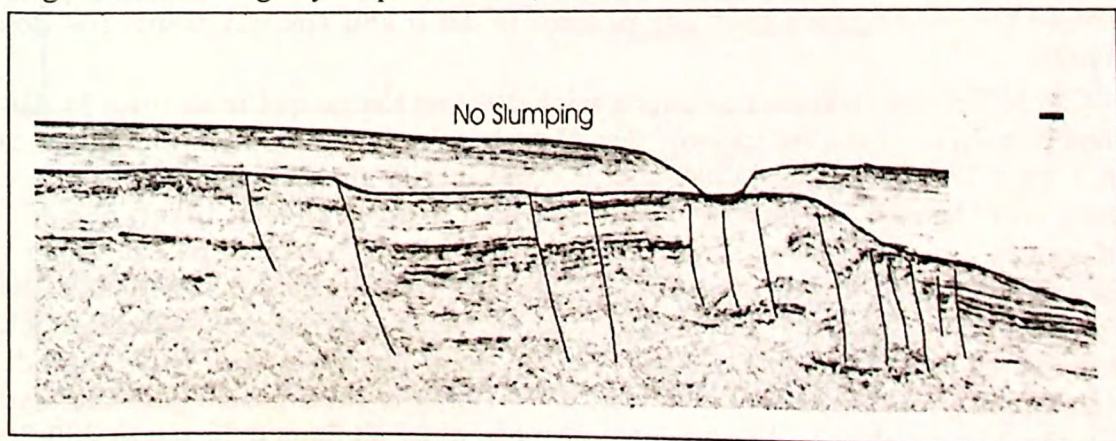


Hình IV-29. Mặt cắt địa chấn tuyến 83 – 63



Hình IV-30. Mặt cắt địa chấn tuyến 74A-83

• Trên *Hình IV-31* là đoạn mặt cắt địa chấn tuyến VOR93-114 đo ở khu vực phía đông đảo Hòn Hải. Ở khu vực này chúng ta không quan sát thấy trượt lở. Các thành tạo Holocen và hiện địa nằm phù khá chính hợp lên bề mặt đáy biển. Điều này chỉ rằng trong Holocen không xảy ra quá trình trượt lở đất.



Hình IV-31. Mặt cắt địa chấn VOR 93-114

IV.2.3. Một số nhận định

Từ phân tích toàn bộ các tuyến địa chấn ở vùng biển từ Phú Yên đến khu vực các đảo Phú Quý, Hòn Hải, có thể đưa ra một số nhận định sau:

Hiện tượng trượt lở ở vùng biển Việt Nam có thể phát hiện trên mặt cắt địa chấn bằng các dấu hiệu trường sóng địa chấn sau: các ranh giới phản xạ bị cắt cụt một cách đột ngột, trường sóng hỗn độn không quy luật dạng chaotic và các mặt phản xạ bị uốn nếp biến dạng liên quan với khối đất đá bị trượt lở đập vỡ, có các mặt ranh giới dốc, với góc dốc trên vài chục độ liên quan đến địa hình sườn dốc của đáy biển cô, trường sóng phản ánh sự có mặt các đứt gãy kiến tạo và các mặt trượt, các dấu hiệu bất chính hợp địa chấn phản ánh các khối trượt lở nằm không chính hợp trên các thành tạo trầm tích sát đáy biển.

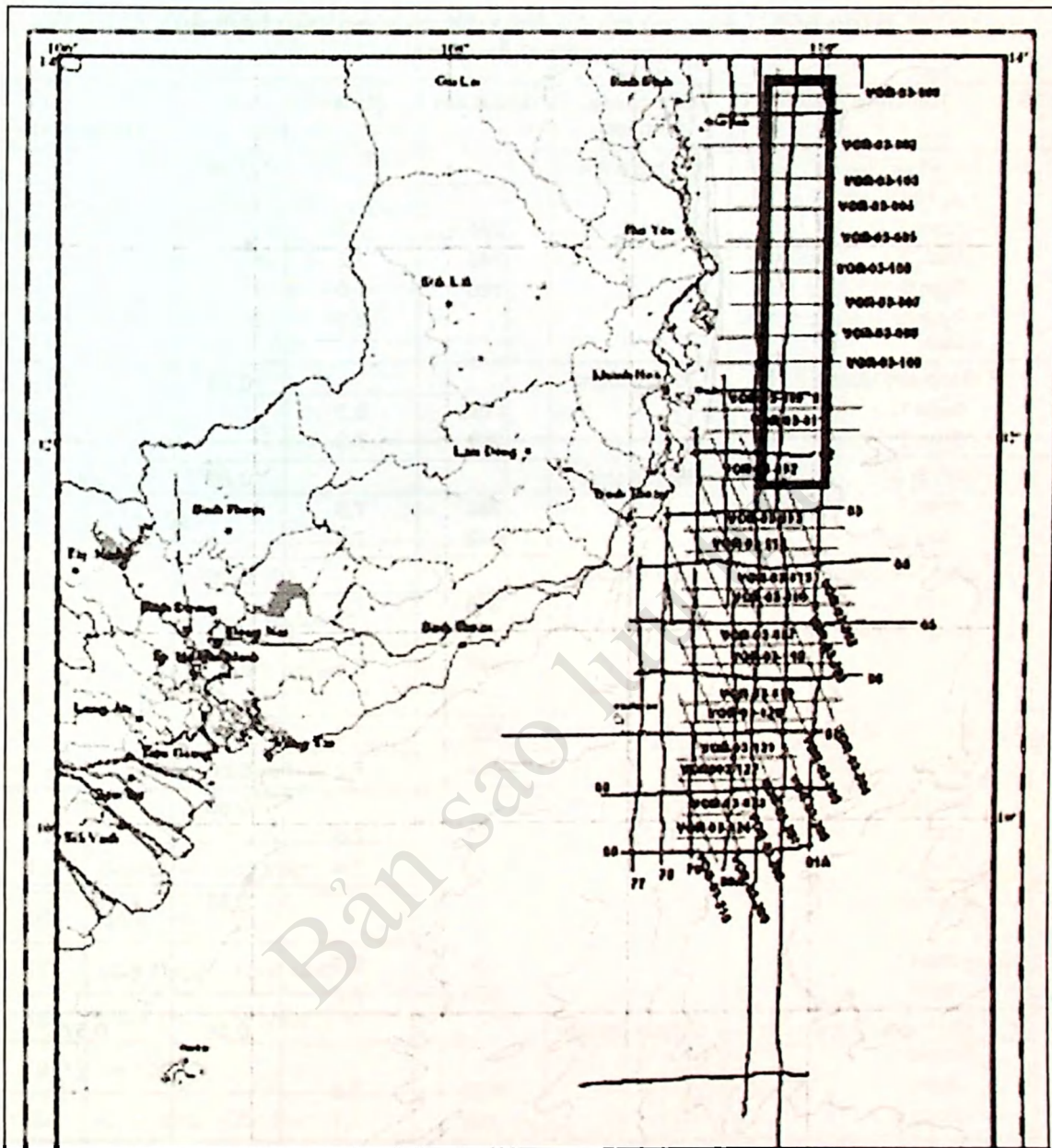
Trên các mặt cắt địa chấn do các công ty dầu khí NOPEC và Vietsovpetro đã quan sát thấy sự có mặt của các khối trượt lở đất. Hiện tượng trượt lở được phát hiện trên hầu hết các tuyến địa chấn đo ở khu vực ngoài khơi vùng biển Nam Trung Bộ ở độ sâu từ 200-300m đến 1000-1500m từ vĩ tuyến $13^{\circ}30'$ xuống vĩ tuyến 9° ; nghĩa là từ vùng biển Quy Nhơn đến vùng biển đông nam các đảo Phú Quý, Hòn Hải.

Trên nhiều tuyến địa chấn đã phát hiện thấy các khối trượt lở nằm ngay trên đáy biển hiện tại. Điều này chứng tỏ hiện tượng trượt lở đất có thể đã xảy ra cả trong giai đoạn 10.000 – 12.000 năm gần đây. Theo các số liệu địa chấn hiện có thì các hoạt động trượt lở trong Holocen chủ yếu tập trung ở khu vực từ dưới vĩ tuyến 14° đến vĩ tuyến 12° trên vùng biển từ Tuy Hòa đến Phan Rang – Tháp Chàm.

Các khối trượt lở nằm đè lên đáy biển hiện tại có kích thước khá lớn, từ 1 tỷ đến 10 tỷ mét khối; có biên độ trượt từ 200 – 300m và chủ yếu xảy ra ở vùng mép lục địa hiện tại nơi độ dốc đáy biển khá lớn và độ sâu nước biển tăng lên đột ngột từ 300m nước xuống 1500 – 2000m nước.

Vùng biển Phú Yên – Khánh Hòa, một mặt có độ dốc lớn, mặt khác ở khu vực này các hoạt động của hệ thống đứt gãy kinh tuyến $109^{\circ} - 109^{\circ}30'$ khá mạnh, đi kèm với nó là các hoạt động phun trào núi lửa và động đất. Tất cả những yếu tố trên có thể sẽ là nguyên nhân gây ra trượt lở đất ở khu vực này trong giai đoạn hiện tại.

Các số liệu địa chấn hiện có chứng minh được sự tồn tại quá trình trượt lở đất ở vùng biển Nam Trung Bộ và bước đầu đã sơ bộ xác định được kích thước của các khối trượt lở. Tuy nhiên, do hạn chế về độ phân giải của địa chấn dầu khí và do mạng lưới khảo sát còn thưa (khoảng cách giữa các tuyến khoảng 10km) nên để có thể nghiên cứu một cách chi tiết hiện tượng trượt lở đất và xác định các thông số của các khối trượt lở một cách tin cậy đòi hỏi phải tiến hành khảo sát địa chấn nông phân giải cao để chi tiết hóa các khu vực quan tâm. Yêu cầu của hoạt động khảo sát địa chấn nông phân giải cao cần tập trung vào khu vực từ Bình Định đến Ninh Thuận (Hình IV-32) với tỷ lệ khảo sát 1:100.000, khoảng cách giữa các tuyến từ 1 đến 2 km và thiết bị địa chấn phải đảm bảo khảo sát được ở độ sâu từ 200-300 đến trên 1500m nước.



Hình IV-32. Khu vực cần khảo sát bổ sung địa chấn nông phân giải cao (khung màu đỏ) để nghiên cứu hiện tượng trượt lở khu vực Nam Trung Bộ

IV.3. BẢN ĐỒ VÙNG NGUỒN ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN VÙNG BIỂN ĐÔNG VÀ VEN BIỂN VIỆT NAM

IV.3.1. Thông số các vùng nguồn

Các vùng nguồn và thông số cơ bản của các vùng ghi trong các *Bảng IV-1* và *Bảng IV-2*.

Bảng IV-1. Các vùng nguồn động đất và sóng thần tiềm ẩn trong vùng Biển Đông

TT	Tên vùng nguồn	Đặc trưng kiến tạo	độ dài,km	Mmax	b	v (Mng=5.5)
1	Bắc Philippine+ +tây Đài Loan - đoạn 1 - đoạn 2 - đoạn 3 +Ryukyu (nam Đài Loan)	đới hút chìm			0,86	2,22
			264	7,3	0,86	
			246	7,2		
			180	7,0		
				8,5		2,97
2	Máng sâu Malina - đoạn 1 - đoạn 2	đới hút chìm	1153	8,2	0,88	0,95
			292	7,3		
3	Biển Sulu - đoạn 1 - đoạn 2	đới hút chìm	368	7,5	0,86	0,42
			642	7,8		
4	Biển Selebes - đoạn 1(bắc Sel. Sea) - đoạn 2 (nam Sel. Sea)	đới hút chìm	346	7,4	0,86	0,42
			648	7,8		0,75
5	Biển Banda bắc	đới hút chìm	632	7,8	0,86	
6	Biển Banda nam	đới hút chìm	304	7,2	0,86	
7	Makasart - đoạn 1 - đoạn 2	đới hút chìm	167	7,0	0,86	0,33
			326	7,4		
8	Bắc Borneo - đoạn 1 - đoạn 2	đứt gãy nghịch	158	6,9	0,86	
			533	7,7		
9	Biển Jawa (nam Borneo) - đoạn 1 - đoạn 2	đứt gãy nghịch	592	7,8	0,86	0,57
			200	7,1		
10	Bắc Biển Đông -bồn trũng Châu Giang -nam Hải Nam-nam Dong sha	đứt gãy trượt bằng- thuận	1087		0,80	0,12
				7,2	0,80	0,06
				7,0	0,80	0,06
11	Tây Biển Đông - đoạn 1: nam Hải Nam- Tuy Hoà - đoạn 2: từ Tuy Hoà về phía nam	đứt gãy trượt bằng- thuận	548	6,1	0,90	0,0103
			811	6,1		

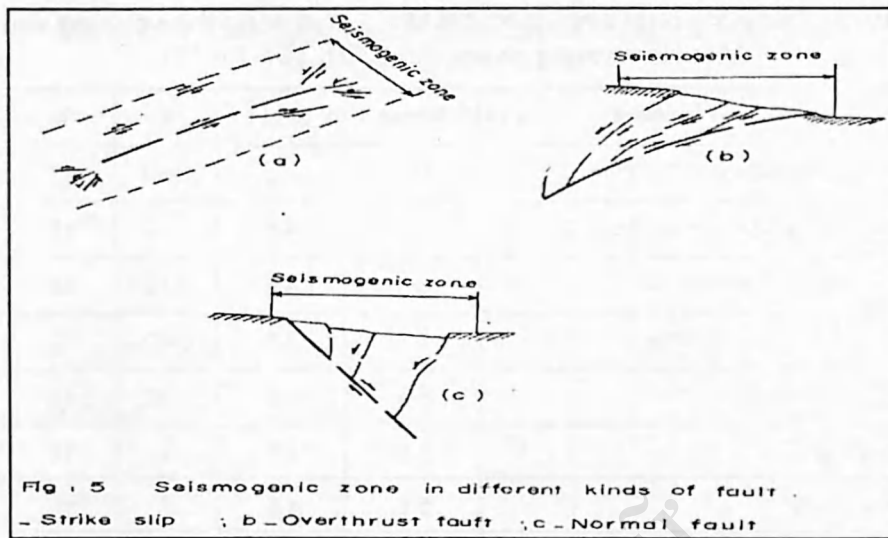
Bảng IV-2. Các vùng phát sinh động đất $M \geq 5.0$ và sóng thần ở vùng ven biển Việt Nam (trong phạm vi $5-23^\circ\text{N}$, $104-110^\circ\text{E}$)

TT	Tên vùng	Mmax	Mmin	b	h	v
1	Sông Hồng-Sông Chảy (đoạn 1)	6.1	4.5	0.89	17	0.22
2	Sông Hồng-Sông Chảy (đoạn 2)	6.1	4.5	0.89	17	0.01
3	Cao Bằng - Tiên Yên	5.5	4.5	0.89	12	0.03
4	Đông Bắc trung Hà Nội	5.5	4.5	0.89	12	0.04
5	Cẩm Phả	5.5	4.5	0.89	12	0.02
6	Đà Nẵng	5.5	4.5	1	12	0.02
7	Sông Pô Cô	5.5	4.5	1	12	0.02
8	Sông Ba	5.5	4.5	1	12	0.02
9	Ba Tơ - Cùmg Sơn	5.5	4.5	1	12	0.12
10	Kinh tuyến 109.5 (đoạn 1)	5.5	4.5	1	12	0.02
11	Kinh tuyến 109.5 (đoạn 2)	5.5	4.5	1	12	0.1
12	Tuy Hoà - Củ Chi	5.5	4.5	1	12	0.04
13	Thuận Hải - Minh Hải	5.5	4.5	1	12	0.06
14	Sông Sài Gòn	5.5	4.5	1	12	0.02
15	Sông Vàm Cỏ Đông	5.5	4.5	1	12	0.02
16	Sông Hậu	5.5	4.5	1	12	0.02
17	Nha Trang - Tánh Linh	5	4.5	1	10	0.02
18	Hàm Tân - Lộc Ninh	5	4.5	1	10	0.02
19	Ba Tháp	5.5	4.5	1	10	0.02
20	Cửu Long - Côn Sơn	5.5	4.5	1	10	0.14

Chú giải: Mmin - Động đất nhỏ nhất còn ghi nhận đầy đủ (động đất ngưỡng)

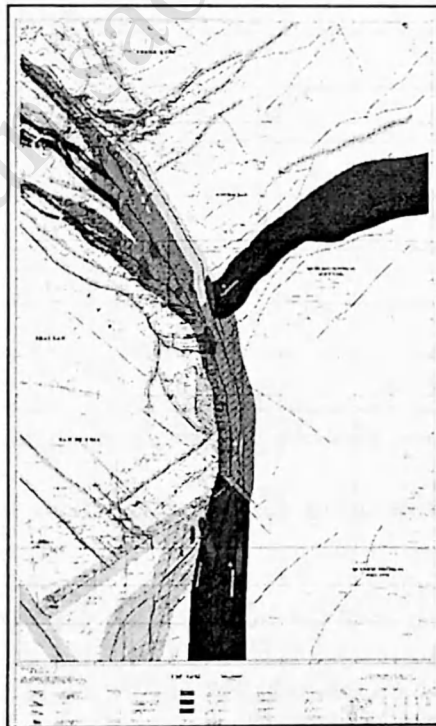
IV.3.2. Bản đồ vùng nguồn động đất và sóng thần vùng Biển Đông và ven biển Việt Nam

Vùng nguồn là đới phá huỷ kiến tạo liên quan với đứt gãy hoạt động, kể cả các đới hút chìm, được xác định như trên Hình IV-33. Trong các đới đứt gãy chồm nghịch và thuận, đới phá huỷ là hình chiếu của mặt đứt gãy, từ giới hạn của tầng hoạt động, lên mặt đất. Bề rộng của vùng nguồn bằng độ sâu của giới hạn tầng hoạt động, cũng bằng bề dày của tầng hoạt động. Tầng hoạt động xác định được theo phân bố động đất theo độ sâu, còn bề rộng của vùng nguồn - theo phân bố của chấn tâm động đất.



Hình IV-33. Các kiểu đứt gãy và vùng phát sinh động đất (seismogenic zone)
 a- trượt bằng, b- chồm nghịch, c- thuận

Các vùng nguồn động đất và sóng thần trong vùng nghiên cứu được thể hiện trên các bản đồ vùng nguồn (Hình IV-35, Hình IV-34). Trên Hình IV-34 và Hình IV-35 là bản đồ vùng nguồn động đất và sóng thần vùng ven biển Việt Nam tỷ lệ 1: 500.000 và khu vực Biển Đông tỷ lệ 1:1.000.000.



Hình IV-34. Các vùng nguồn động đất và sóng thần vùng ven biển Việt Nam



Hình IV-35. Các vùng nguồn động đất và sóng thần trong vùng Biển Đông

IV.3.3. Một số kịch bản sóng thần cần thiết trong đánh giá độ nguy hiểm sóng thần ở vùng bờ biển Việt Nam

Ở phần trên đã vạch ra các vùng có khả năng phát sinh động đất gây sóng thần trong vùng Biển Đông. Tuy nhiên không phải tất cả các vùng nguồn ấy sẽ gây sóng thần tác động nguy hiểm tới bờ biển Việt Nam. Theo nghiên cứu, sóng thần phát sinh từ các vùng nguồn Sulu, Selebes, Banda, Makasart, Java sẽ không tác động nguy hiểm đến bờ biển Việt Nam, vì đảo lớn Borneo và các đảo nằm ở phía bắc các vùng nguồn này sẽ che chắn và gây nhiễu sóng tràn vào Biển Đông. Đối với biển Việt Nam, nguy hiểm là sóng thần lớn phát sinh từ các đới hút chìm Manila, Đài Loan, các đứt gãy bắc Biển Đông, tây Biển Đông, bắc Borneo. Trong đánh giá độ nguy hiểm sóng thần ở bờ biển Việt Nam, cần phải chú ý trước hết đến các vùng nguồn này, đặc biệt là đới hút chìm Manila. Phần này đưa ra một số kịch bản sóng thần liên quan với á vùng nguồn đó. Các kịch bản sóng thần được xác định cho động đất $M = 6.5 - M_{max}$ với bước thay đổi magnitude bằng 0.5.

IV.3.3.1. Các vùng Tây Nam, Đông Nam Đài Loan

Kịch bản	Magnitude	Moment	Diện tích	Chiều dài	Chiều rộng	Khoảnh dịch trượt	T(M)
	Mw	Mo (Nm)	A (km ²)	L (km)	W (km)	Δu (m)	Năm
1	7	3.5x10 ¹⁹	708	50	14	1.67	7
2	7.5	2x10 ²⁰	2239	89	25	2.97	18
3	8	1.1x10 ²¹	7079	158	45	5.28	48
4	8.5	6.3x10 ²¹	22387	282	79	9.39	128

Kịch bản	Magnitude	Strike	Dip	Rake	Độ sâu
	Mw	(độ)	(độ)	(độ)	h (km)
1	7	87	15	90	10
2	7.5	87	25	90	15
3	8	87	30	90	20
4	8.5	87	35	90	25

IV.3.3.2. Đới hút chìm Manila

Kịch bản	Magnitude	Moment	Diện tích	Chiều dài	Chiều rộng	Khoảnh dịch trượt	T(M)
	Mw	Mo (Nm)	A (km ²)	L (km)	W (km)	Δu (m)	Năm
1	7	3.5x10 ¹⁹	708	50	14	1.67	22
2	7.5	2x10 ²⁰	2239	89	25	2.97	61
3	8	1.1x10 ²¹	7079	158	45	5.28	167
4	8.5	6.3x10 ²¹	22387	282	79	9.39	459

Kịch bản	Magnitude	Strike	Dip	Rake	Độ sâu
	Mw	(độ)	(độ)	(độ)	h (km)
1	7	357	30	90	10
2	7.5	357	30-40	90	15
3	8	357	40	90	20
4	8.5	357	40-45	90	30

IV.3.3.3. Vùng nguồn Bắc Biển Đông (cho từng đới)

Kịch bản	Magnitude	Moment	Diện tích	Chiều dài	Chiều rộng	Khoảnh dịch trượt	T(M)
	Mw	Mo (Nm)	A (km ²)	L (km)	W (km)	Δu (m)	Năm
1	7	3.5x10 ¹⁹	708	50	14	1.67	264
2	7.5	2x10 ²⁰	2239	89	25	2.97	663

Kịch bản	Magnitude	Strike	Dip	Rake	Độ sâu
	Mw	(độ)	(độ)	(độ)	h (km)
1	7	57	78	90	10
2	7.5	57	78	90	17

IV.3.3.4. Vùng nguồn Tây Biển Đông

Kịch bản	Magnitude	Moment	Diện tích	Chiều dài	Chiều rộng	Khoảnh dịch trượt	T(M)
	Mw	Mo (Nm)	A (km ²)	L (km)	W (km)	Δu (m)	Năm
1	6.5	6.3x10 ¹⁸	224	28	8	0.94	771
2	7	3.5x10 ¹⁹	708	50	14	1.67	2173

Kịch bản	Magnitude	Strike	Dip	Rake	Độ sâu
	Mw	(độ)	(độ)	(độ)	h (km)
1	6.5	180	90	-90	6
2	7	180	90	-90	10

IV.3.3.5. Vùng nguồn Palawan

TT	Tên vùng nguồn	Đặc trưng kiến tạo	Độ dài (km)	Mmax	B	v (Mng=5.5)
8	Palawan - đoạn 1 - đoạn 2	Đứt gãy nghịch	158 533	6,9 7,7	0,86	

Chưa xác định được tần suất động đất ở vùng này, vì số liệu ít. Có thể tạm coi tần suất trong vùng này như ở vùng Tây Biển Đông.

Sóng thần ở những vùng còn lại như Sulu, Celebes, Banda... không ảnh hưởng đáng kể tới vùng bờ biển Việt Nam

Chấn tiêu động đất chiều dài L trong các kịch bản được đặt kế tiếp nhau trong suốt chiều dài vùng nguồn.

IV.3.4. Một số nhận định

Chuyển động chúc chìm của các mảng vỏ đại dương cứng chắc Thái Bình Dương và Ấn Úc xuống dưới mảng lục địa Á - Âu tạo nên các vành đai động Thái Bình Dương và Địa Trung Hải xuyên Á, ôm lấy khu vực Đông Nam Á làm cho khu vực này bị nén ép từ 3 phía Đông, Nam, Tây. Khu vực Đông Nam Á có cấu trúc kiến tạo rất độc đáo, thể hiện sự hội tụ của các mảng và tiểu mảng có nguồn gốc từ đại lục Châu Á, Ấn- Úc và Thái Bình Dương. Trạng thái ứng suất chung của khu vực là nén ép.

Các vành đai động nói trên có tiềm năng động đất và sóng thần lớn nhất hành tinh, chiếm tới 85% năng lượng động đất toàn cầu. Tần suất động đất ở đây rất cao với các trận động đất vượt quá 9.0 độ Richter, có thể gây nên các trận sóng thần mang thảm họa. Chúng liên quan đến các đới hút chìm.

Sóng thần gây ra bởi các trận động đất rất mạnh xảy ra trong các vành đai động đất lớn trên thế giới như vành đai Thái Bình Dương và vành đai Địa Trung Hải-Himalaya (nơi xảy ra động đất sóng thần Sumatra 26-12-2004) không gây nguy hiểm cho bờ biển Việt Nam vì đã bị các vòng cung đảo như Philippine, Indonesia, Java, Thái Lan, Malaysia che chắn từ các phía.

Nhưng trong phạm vi Biển Đông có các nguồn sóng thần có thể tác động nguy hiểm đối với bờ biển Việt Nam. Đáng chú ý nhất là đới hút chìm ở phía tây Philippine, động đất cực đại trong đới có thể mạnh tới 8,5 độ Richter, và đới đứt gãy Tây Biển Đông, chạy theo kinh tuyến 109-110 gần bờ biển Việt Nam, động đất trong đới tuy không lớn như ở đới hút chìm Philippine, nhưng có thể gây sóng thần do núi lửa hay trượt lở đất. Ngoài ra còn phải lưu ý đến các vùng đứt gãy Bắc Biển Đông, Palawan (bắc Borneo). Tuy nhiên ảnh hưởng của sóng thần từ vùng nguồn Đài Loan không lớn, còn các vùng nguồn Bắc Biển Đông và Bắc Borneo ít có khả năng gây sóng thần lớn vì đây là các đứt gãy trượt bằng là chính.

Trong thực tế dọc bờ biển Việt Nam từ Móng Cái đến Cà Mau, đã xảy ra một số sự kiện sóng thần nguồn gốc núi lửa và trượt lở đất, độ cao 2-3m như ở Nha Trang, Trà Cổ, Diễn Châu.

Ngoài các đứt gãy lớn có thể gây sóng thần tác động đến bờ biển Việt Nam như trên, biến dạng vỏ Trái đất do tác động của chuyển động kiến tạo khu vực còn gây ra các phá huỷ kiến tạo, hình thành các đứt gãy chia cắt vỏ Trái đất, phát sinh động đất. Chính động đất phát sinh trên các đứt gãy ở vùng ven bờ, trên đất liền và ngoài thềm lục địa, là nguy cơ đáng quan tâm nhất cho vùng bờ biển.

Chương V

ĐỘ NGUY HIỂM VÀ ĐỘ RỦI RO ĐỘNG ĐẤT Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

Đánh giá độ nguy hiểm và độ rủi ro động đất là hai thành phần chính của cùng một quy trình. Trong khi việc đánh giá độ nguy hiểm động đất về thực chất là xác định khả năng và cường độ rung động nền đất dưới tác động của động đất, thì việc đánh giá rủi ro động đất bao hàm việc xác định các tổn thất do những rung động nền đó gây ra cho cộng đồng tại khu vực nghiên cứu. Như vậy, có thể thấy giữa việc đánh giá độ nguy hiểm và việc đánh giá độ rủi ro động đất có mối quan hệ nhân quả với nhau: các kết quả đánh giá độ nguy hiểm động đất được sử dụng trực tiếp làm dữ liệu đầu vào cho các tính toán đánh giá rủi ro động đất. Mặt khác, cũng có thể nhận thấy sự khác biệt đáng kể về phạm vi và độ chi tiết của hai phương pháp nghiên cứu này. Trong khi việc đánh giá độ nguy hiểm động đất thường được áp dụng cho một khu vực rộng lớn thì việc đánh giá độ rủi ro động đất thường tập trung vào những khu vực đô thị của các thành phố lớn, nhỏ hẹp hơn về diện tích, nhưng với độ chi tiết cao.

Nội dung chương này bao gồm hai phần chính. Trong phần thứ nhất trình bày kết quả việc áp dụng phương pháp xác suất để đánh giá độ nguy hiểm động đất cho toàn bộ dải ven biển Việt Nam và khu vực biển và hải đảo Việt Nam. Phần thứ hai trình bày kết quả việc đánh giá rủi ro động đất cho khu vực đô thị thành phố Nha Trang. Bố cục của mỗi phần bao gồm việc mô tả phương pháp luận, công cụ và dữ liệu đầu vào được sử dụng và cuối cùng là các kết quả.

V.1. KẾT QUẢ ƯỚC LƯỢNG THAM SỐ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT

Trong *Bảng V-1* liệt kê kết quả ước lượng các tham số nguy hiểm động đất cho từng vùng nguồn chấn động trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông theo hai cách tiếp cận khác nhau. Trong cách tiếp cận thứ nhất, Nguyễn Đình Xuyên xác định các tham số nguy hiểm động đất bằng cách xây dựng đồ thị lặp lại cho từng vùng nguồn để xác định các giá trị b trong biểu thức phân bố động đất theo magnitude của *Gutenberg-Richter*, còn các giá trị M_{max} được xác định bằng cách kết hợp ba phương pháp sau đây: *phương pháp ngoại suy địa chất*, *phương pháp hàm phân bố cực trị Gumbel* và *phương pháp đánh giá M_{max} theo kích thước của vùng nguồn*. Trong cách tiếp cận thứ hai, Nguyễn Hồng Phương sử dụng thuần túy phương pháp luận xác suất thông kê trình bày trên đây để ước lượng các tham số nguy hiểm động đất. Các kết quả cuối cùng được lựa chọn giữa hai phương pháp *Cực trị* và *Hợp lý cực đại* để đưa vào *Bảng V-1*. Cần lưu ý rằng các kết quả ước lượng bằng phương pháp Hợp lý cực đại được ưu tiên trong phép lựa chọn cuối cùng, do nó cho các kết quả ổn định hơn so với phương pháp cực trị.

Bảng V-1. Tham số nguy hiểm động đất của các vùng nguồn trên lãnh thổ Việt Nam và Biển Đông (Theo Nguyễn Đình Xuyên và Nguyễn Hồng Phương, 2009)

TT	Tên vùng nguồn	$\Lambda(M_0)$	N	M_{\max} obs.	M_{\max} calc.X	M_{\max} calc.HLCD	M_0	B_{HLCD}	C_b	H (km)	Ghi chú
	Sơn La	0.11	45	6.7	6.8	7.2±0.54	4.0	0.49	0.06	22	
2	Sông Mã Pumaytun	0.227	18	6.8	6.8	7.3±0.77	4.0	0.59	0.17	22	
3	Đồng Triều – Uông Bí	0.084	9	5.6	5.9	6.1±0.54	4.0	0.48	0.09	22	
4	Sông Hồng – Sông Chảy	0.051	37	5.8	6.1	6.3 ±0.54	4.0	1.00	0.08	17	
6	Sông Cả - Khe Bó	0.016	14	6.0	6.1	6.5 ±0.54	4.0	0.74	0.06	17	
7	Rào Nậy	0.027	2	4.2	6.1	6.0±0.51	4.0	0.58	0.43	12	
8	Cao Bằng - Tiên Yên	0.13	9	5.0	5.5	5.5 ±0.92	4.0	1.18	0.49	12	
9	Đồng Bắc Trưng Hà Nội	0.006	4	5.5	5.6	6.0±0.54	4.0	0.63	0.06	12	
10	Cẩm Phả	0.034	2	4.8	5.5	7.3 ±0.24	4.0	0.16	0.21	12	
11	Sông Lô	0.10	4	4.8	5.5	5.3±0.21	4.0	0.25	0.57	12	
14	Mường La – Bắc yên	0.121	10	4.9	5.5	5.4±0.54	4.0	0.44	0.12	12	
15	Sông Đà	0.087	8	4.8	5.5	5.3±0.54	4.0	1.30	0.09	12	
16	Lai Châu – Điện Biên	0.238	21	5.6	6.2	6.5±0.54	4.0	0.32	0.11	12	
17	Mường Tè	0.083	3	4.7	5.5	5.2±0.45	4.0	0.79	0.79	12	
18	Mường Nhé	0.476	10	5.3	5.5	5.8±0.54	4.0	0.66	0.09	12	
20	Sông Hiếu	0.011	4	5.2	5.5	5.7±0.37	4.0	0.61	0.44	12	

22	Trà Bồng		2	-	5.5	6.2±0.54	4.0	0.63	0.06	12	
23	Dakrong _ Huế	0.016	2	4.8	5.0	5.3	4.0	1.0	0.01	12	B và Cb theo NGX
24	Đà Nẵng	0.02	1	4.8	5.0	5.3	4.0	1.0	0.01	12	B và Cb theo NGX
25	Tam Kỳ Phước Sơn	0.02	1	4.7	5.0	5.2	4.0	1.0	0.01	12	B và Cb theo NGX
28	Thái Nguyên Bắc Kạn	0.117	4	5.2	5	5.7±0.26	4.0	0.33	0.45	10	
29	Quốc lộ 13A	0.04	3	4.8	5.5	5.3±0.34	4.0	0.58	0.71	10	
30	Phong Thổ - Thanh Sơn	0.111	5	5.1	5	5.6±0.23	4.0	0.29	0.43	10	
32	Văn Sơn - Hà Giang		3	4.6	5	5.1±0.82	4.0	1.21	0.96	10	
35	Tây Biên Đông	0.437	21	6.1	6.6	6.6±0.28	4.0	0.28	0.25	12	Gộp các vùng 34+35
36	Thuận Hải - Minh Hải	0.434	5	5.1	5.6	5.6±0.30	4.0	0.32	0.23	12	
37	Sông Hậu	0.02	2	4.4	5.5	4.9±0.35	4.0	0.36	0.58	12	
38	Nha Trang Tánh Linh	0.4	2	4	5	4.5±0.47	4.0	0.59	0.77	10	
39	Ba Thập	0.02	1	4.5	5.5	5.1	4.0			10	
40	Cửu long - Côn Sơn	0.181	2	5.1	5.7	5.7±0.38	4.0	0.51	0.16	10	
41	Sông Sài Gòn	0.02	0	0	5.5	4.5±1.56	4.0	1.16	0.79	10	Không có động đất, lấy theo vùng 42

42	Sông Vàm Cỏ Đông	0.02	3	4.0	-	4.5±1.56	4.0	1.16	0.79	10	M4 ở Campuchia
43	Tuy Hòa – Củ Chi	0.02	1	4.8	5.5	5.3	4.0	1.0	0.04	10	B và Cb theo NĐX
44	Hoàng Sa	0.122	7	5.6	5.6	5.7	4.0			15	
45	Trường Sa	0.181	14	5.9	6.2	6.2	4.0			68	
46	Hải Nam – Hồng Kông	0.087	82	7.5	6.8	7.8	4.0			33	
47	Bắc Biển Đông	0.306	27	6.5	7.8	7.0±0.23	4.0	0.30	0.10	33	Đông Hải Nam cũ
49	Palaoan	0.285	2	6.0	6.4	6.4	4.0			30	
50	Ba Tư – Cùmg Sơn	0.034	9	5.3	5.8	5.8±0.54	4.0	0.14	0.20	12	
51	Tây Đài Loan	22.8	137	6.5	6.5	7.2±0.99	5.0	1.14	0.18		
52	Máng cuốn hút Manila Bắc	4.72	236	8.2	7.9	8.7±0.93	5.0	0.65	0.12		
53	Máng cuốn hút Manila Trung	6.04	490	8.0	8.0	8.5±0.85	5.0	0.88	0.06		
54	Máng cuốn hút Manila Nam	1.4	28	6.2	8.2	6.7±0.28	5.0	0.56	0.24		
55	Biển Sulu	6	258	7.9	7.9	8.4±1.17	5.0	0.88	0.09		

V.2. BẢN ĐỒ ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT CÁC TỈNH VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

Chương trình *CRISIS99* của *Ordaz* và cộng sự [144] được áp dụng để tính toán độ nguy hiểm động đất, với các số liệu đầu vào:

- 1) Sơ đồ các vùng nguồn chấn động trong khu vực nghiên cứu.

2) Các tham số nguy hiểm động đất của các vùng nguồn phục vụ tính toán độ nguy hiểm động đất (Bảng V-1).

Gia tốc cực đại nền (do bằng đơn vị % gal) được tính tại mỗi điểm của mạng lưới $0,1^0 \times 0,1^0$ phủ lên toàn vùng nghiên cứu. Các giá trị này lại được sử dụng để xây dựng các bản đồ biểu diễn phân bố không gian của gia tốc cực đại nền (PGA) cho khu vực nghiên cứu.

Bản đồ độ nguy hiểm động đất được xây dựng trên môi trường đồ họa của phần mềm MapInfo phiên bản 8.5 ở tỷ lệ 1: 500 000 và được chồng ghép lên các lớp thông tin nền ở cùng tỷ lệ. Các lớp thông tin nền chính bao gồm:

- 1) Ranh giới hành chính từ cấp cao nhất là cấp tỉnh đến cấp thấp nhất là cấp xã.
- 2) Đường giao thông (bao gồm đường sắt và đường bộ từ cấp cao nhất là đường quốc lộ đến cấp thấp nhất như đường tỉnh lộ, đường nhựa, đường bê tông).
- 3) Thủy hệ (sông, suối, ...)

Bản đồ độ nguy hiểm động đất xây dựng cho toàn lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông được cắt theo ranh giới hành chính của tất cả các tỉnh ven biển Việt Nam và được thể hiện trên bản đồ kết quả. Hai lớp thông tin rung động nền quan trọng được thể hiện trên các bản đồ kết quả là:

- 1) Gia tốc cực đại nền, đơn vị đo là % gal, được thể hiện ở cả hai dạng: đa giác (với các cấp độ màu thay đổi) và đường đồng mức.
- 2) Cường độ chấn động trên mặt I được biểu thị dưới dạng các vùng chấn động cấp VI, VII và VIII (theo thang MSK-64).

Để tiện in ra dưới dạng bản đồ giấy ở tỷ lệ 1:500 000, toàn bộ bản đồ kết quả được chia thành ba mảnh: Bắc, Trung và Nam. Mảnh bản đồ miền Bắc bao gồm toàn bộ dải ven biển Việt Nam kéo dài từ Quảng Ninh tới Nghệ An. Mảnh bản đồ miền Trung bao gồm toàn bộ dải ven biển Việt Nam kéo dài từ Hà Tĩnh tới Phú Yên. Mảnh bản đồ miền Nam bao gồm toàn bộ dải ven biển Việt Nam kéo dài từ Khánh Hoà tới Kiên Giang. Trên các Hình V-1a, Hình V-1b, minh họa các bản đồ nguy hiểm động đất cho dải ven biển và hải đảo Việt Nam tại ba khu vực Bắc, Trung và Nam, dự báo cho chu kỳ 950 năm và cho nền loại A.

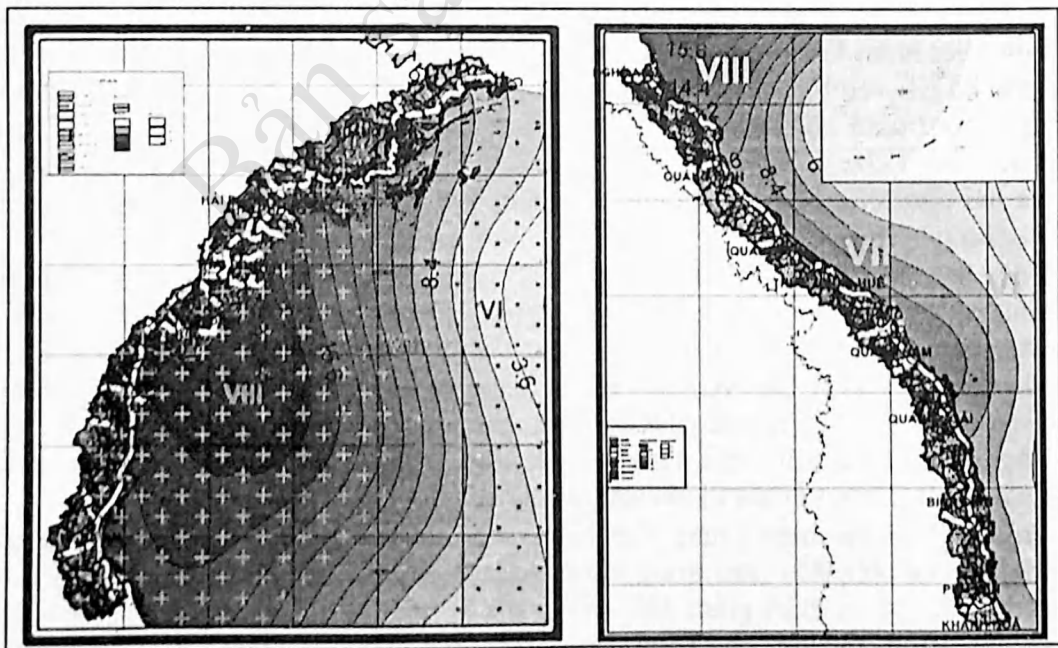
Từ các bản đồ trên, có thể nhận thấy rõ độ nguy hiểm động đất phân bố không đều trên toàn bộ dải ven biển và thềm lục địa Việt Nam. Trên phân lục địa, độ nguy hiểm động đất mạnh nhất quan sát thấy tại các tỉnh ven biển miền Bắc Việt Nam, sau đó giảm dần xuống tại các tỉnh ven biển miền Trung và miền Nam Việt Nam. Dải ven biển miền Bắc có độ nguy hiểm động đất cao nhất, hình thành một đới chấn động cấp VIII bao gồm các tỉnh Quảng Ninh, Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình, Thanh Hóa, Nghệ An và Hà Tĩnh, với giá trị gia tốc cực đại nền đạt từ 12.0% gal tới 18.0% gal.

Trên dải ven biển miền Trung Việt Nam, đoạn từ Quảng Bình tới Khánh Hòa, toàn bộ các tỉnh ven biển đều nằm trong vùng chấn động cấp VII, nhưng có thể chia thành hai đới có các giá trị PGA giảm dần. Đới mạnh hơn là đới Bắc Trung Bộ bao gồm các tỉnh Quảng Bình, Quảng Trị, Thừa Thiên-Huế, Đà Nẵng và Quảng Nam, với giá trị PGA dao động trong khoảng từ 8.4% gal đến 15.6%gal. Tiếp đó là đới Nam Trung Bộ bao gồm các tỉnh Bình Định, Phú Yên và Khánh Hòa có độ nguy hiểm động đất yếu hơn, với giá trị PGA dao động trong khoảng từ 6.0% gal đến 8.4% gal.

Dải ven biển miền Nam Việt Nam cũng bao gồm hai vùng có độ nguy hiểm động đất khá tương phản. Trên vùng Bắc Nam Bộ, đoạn từ Ninh Thuận đến Bạc Liêu nằm trong vùng chấn động cấp VII, nhưng tại một số nơi thuộc các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận và Bà Rịa-Vũng Tàu, chấn động được đánh giá lên tới cấp VIII. Giá trị PGA trên toàn vùng Bắc Nam Bộ dao động trong khoảng từ 9.6% gal đến 16.8% gal. Đoạn cuối cùng trong toàn bộ dải ven biển Việt Nam là đoạn chạy từ Bạc Liêu tới Kiên Giang. Đoạn này có độ nguy hiểm động đất thấp nhất, với chấn cấp giảm từ cấp VII xuống cấp VI, và các giá trị PGA dao động trong khoảng từ 2.4% gal đến 7.6% gal.

Trên vùng thềm lục địa Việt Nam, khu vực gần bờ biển có thể quan sát thấy hai khu vực có độ nguy hiểm động đất cao nhất là vùng ngoài khơi vịnh Bắc Bộ và vùng ngoài khơi tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu. Cả hai vùng này đều có cấp chấn động VIII và giá trị cực đại PGA_{max} lên tới 18.0% gal. Các vùng hải đảo Hoàng Sa và Trường Sa có độ nguy hiểm động đất thấp hơn, với cấp chấn động dao động trong khoảng từ cấp VI đến cấp VII (Hình V-2).

Bản đồ độ nguy hiểm động đất tính cho khoảng thời gian 950 năm cho thấy một loạt các đô thị lớn, các khu công nghiệp và các vùng trọng điểm của đất nước có thể bị chấn động tới cấp VIII đe dọa trong tương lai. Trên dải ven biển miền Bắc Việt Nam, vùng chấn động cấp VIII bao gồm cả khu vực Hải Phòng-Quảng Ninh, vốn là khu vực phát triển công nghiệp và kinh tế xã hội. Các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận, nơi dự kiến xây dựng nhà máy điện nguyên tử tương lai và khu công nghiệp Dung Quất thuộc tỉnh Quảng Ngãi cũng nằm trong vùng chấn động cấp VII. Đặc biệt, khu vực ven biển tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu, nơi công nghiệp khai thác dầu khí đang diễn ra hết sức rầm rộ hiện đang nằm trên vùng chấn động cấp VII-VIII.



Hình V-1. Bản đồ độ nguy hiểm động đất tỷ lệ 1:500 000 (xét cho khoảng thời gian 950 năm, nền loại A): a). Các tỉnh ven biển miền Bắc Việt Nam; b). Các tỉnh ven biển miền Trung và Hoàng Sa Việt Nam

V.3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ RỦI RO ĐỘNG ĐẤT CHO KHU VỰC ĐÔ THỊ DẢI VEN BIỂN VIỆT NAM: VÍ DỤ CHO THÀNH PHỐ NHA TRANG

Cho đến nay, vấn đề nghiên cứu đánh giá độ rủi ro động đất đô thị đã được áp dụng thành công tại nhiều quốc gia trên thế giới, đặc biệt là tại các nước phát triển và những nước phải chịu những tổn thất nặng nề do động đất gây ra như Mỹ, Nhật, Nga hay Trung Quốc. Ở Việt Nam, tuy mới chỉ được bắt đầu từ năm 2000, nhưng cho đến nay hướng nghiên cứu này đang được phát triển rất mạnh. Phương pháp luận đánh giá rủi ro động đất đô thị xây dựng cho Việt Nam đã được áp dụng cho một số thành phố lớn của Việt Nam như Hà Nội, Thành phố Hồ Chí Minh và thành phố Nha Trang [33], [35], [36].

Phần tiếp theo của chương này sẽ trình bày các kết quả áp dụng công nghệ GIS và phương pháp luận hiện đại để đánh giá độ rủi ro động đất cho một khu vực đô thị ven biển của Việt Nam thông qua ví dụ cho thành phố Nha Trang.

V.3.1. Thu thập dữ liệu và xây dựng cơ sở dữ liệu GIS

Bảng V-2. Phân loại nhà theo chức năng sử dụng

Ký hiệu (Anh)	Ký hiệu (Việt)	Chức năng sử dụng	Ví dụ
RES1	ND1	Nhà ở một gia đình	Nhà
RES2	ND2	Nhà di động	Nhà di động
RES3	ND3	Nhà ở nhiều gia đình	Căn hộ
RES4	ND4	Tạm trú	Khách sạn
RES5	ND5	Khu tập thể	(doanh trại) quân đội, nhà trường, trại tù
RES6	ND6	Bệnh xá, nơi an dưỡng	
COM1	TM1	Buôn bán lẻ	Cửa hàng nhỏ
COM2	TM2	Buôn bán lớn	Cửa hàng lớn
COM3	TM3	Dịch vụ cá nhân/sửa chữa	Trạm dịch vụ/cửa hiệu
COM4	TM4	Dịch vụ cá nhân/kỹ thuật	Văn phòng
COM5	TM5	Ngân hàng	
COM6	TM6	Bệnh viện	
COM7	TM7	Phòng khám bệnh/trạm xá	

COM8	TM8	Vui chơi giải trí	Nhà hàng/Quán ba
COM9	TM9	Nhà hát	Nhà hát
COM10	TM10	Bãi đỗ xe	Gara ô tô, bãi gửi xe
IND1	CN1	Nặng	Nhà máy, xí nghiệp
IND2	CN2	Nhẹ	Nhà máy, xí nghiệp
IND3	CN3	Thực phẩm/Hoá chất	Nhà máy, xí nghiệp
IND4	CN4	Kim loại/xử lý quặng	Nhà máy, xí nghiệp
IND5	CN5	Công nghệ cao	Nhà máy, xí nghiệp
IND6	CN6	Xây dựng	Văn phòng
AGR1	NN1	Nông nghiệp	
REL1	TG1	Nhà thờ/Chùa chiền/Phi chính phủ	
GOV1	CP1	Dịch vụ công cộng	Văn phòng
GOV2	CP2	Phản ứng khẩn cấp	Công an/cứu hoả
EDU1	GD1	Các trường phổ thông	
EDU2	GD2	Các trường trung cấp, đại học	Không bao gồm nhà tập thể

V.3.1.1. Công tác thực địa và xây dựng cơ sở dữ liệu

Công tác thực địa được tổ chức quy mô tại khu vực đô thị sát bờ biển thành phố Nha Trang để khảo sát và thu thập các dữ liệu về nhà cửa. Đây là hình thức khảo sát thực địa dưới dạng "dạo trên hè phố" (sidewalk), đòi hỏi nhiều thời gian, sự kiên nhẫn của cán bộ khảo sát và sự hợp tác của các cơ quan và chủ nhà. Các dữ liệu về nhà cửa được đưa vào cơ sở dữ liệu, được khai thác để tính toán thiệt hại do động đất và sẽ được cập nhật thường xuyên để đảm bảo độ tin cậy cho các kết quả đánh giá rủi ro trong tương lai.

Công tác chuẩn bị bao gồm việc in bản đồ nền và xây dựng mẫu phiếu điều tra nhà cửa khu vực nghiên cứu. Việc xây dựng và in bản đồ nền nhằm cung cấp cho các cán bộ khảo sát những mảnh bản đồ in sẵn của khu vực đô thị thành phố Nha Trang chia nhỏ phục vụ cho công tác điều tra và thu thập dữ liệu về nhà cửa trên địa bàn. Việc xây dựng mẫu phiếu điều tra dựa trên tiêu chuẩn phân loại nhà cửa theo phương pháp luận đánh giá rủi ro động đất đã được áp dụng đối với các khu vực đô thị của Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh trước đây [33], [34], [35]. Các phiếu điều tra sẽ được các cán bộ khảo sát sử dụng ngay trên hiện trường để thu thập các dữ liệu thuộc tính về nhà cửa tại khu vực nghiên cứu.

Đoàn khảo sát được chia thành các tổ hai người và được cung cấp các mảnh bản đồ nền in sẵn ở tỷ lệ lớn (1:2000). Các cán bộ khảo sát đã tiến hành khảo sát các công trình xây dựng trên toàn bộ các khu phố, các ngõ phố, các cụm dân cư trên địa bàn theo mẫu

phiếu điều tra đã lập sẵn. Khi đến địa bàn, các tiêu chuẩn trong phiếu điều tra được các cán bộ tham gia ghi lên phiếu và đồng thời thể hiện trực tiếp lên trên bản đồ. Các phiếu thực địa được tập hợp và đóng thành quyển báo cáo thực địa để phục vụ cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu GIS.

Kết thúc chuyến thực địa, đoàn khảo sát đã thành lập được một bộ dữ liệu lớn gồm 1911 phiếu điều tra chứa các dữ liệu thuộc tính về nhà cửa tại khu vực đô thị của thành phố Nha Trang. Ngoài các dữ liệu về nhà cửa, đoàn khảo sát cũng đã thu thập được các dữ liệu về địa chất và dân số của khu vực thành phố Nha Trang, trong đó có bản đồ số hóa về địa chất của toàn bộ tỉnh Khánh Hòa ở tỷ lệ 1:50000.

Ngôn ngữ lập trình Avenue được sử dụng để xây dựng cơ sở dữ liệu GIS tổng hợp cho khu vực nghiên cứu. Cơ sở dữ liệu này hoạt động trên môi trường GIS của phần mềm ArcView. Các công cụ tùy biến được xây dựng cho phép nhập các dữ liệu thuộc tính từ 1911 phiếu điều tra thu được từ chuyến khảo sát nhà cửa tại thành phố Nha Trang vào cơ sở dữ liệu. Đồng thời, các công cụ chỉnh sửa, tìm kiếm và kết xuất dữ liệu cũng được xây dựng để nâng cao hiệu quả của công tác quản lý và khai thác dữ liệu [36].

V.3.1.2. Đánh giá thiệt hại

Để đánh giá thiệt hại do động đất gây ra đối với nhà cửa tại Nha Trang, cơ sở dữ liệu khảo sát nhà cửa và lớp thông tin số hóa về nhà cửa tại Nha Trang được sử dụng. Toàn bộ nhà cửa được phân loại theo các tiêu chí chính bao gồm kết cấu, chiều cao, mức thiết kế kháng chấn và chức năng sử dụng của công trình như đã trình bày ở phần trên.

Quy trình tính toán xác suất thiệt hại nhà cửa do động đất được thực hiện hoàn toàn với sự trợ giúp của máy tính và công nghệ GIS. Ngôn ngữ lập trình Avenue được sử dụng để viết các đơn thể chương trình cho phép giải quyết các bài toán kỹ thuật tại mỗi giai đoạn thực hiện quy trình ngay trên môi trường GIS. Do chưa có các tài liệu chi tiết về nền đất tại khu vực thành phố Nha Trang, thuật toán sử dụng giá trị nền ngầm định tại khu vực nghiên cứu là nền loại D theo tiêu chuẩn phân loại nền của Mỹ [106]. Các giá trị gia tốc nền cực đại tại khu vực nghiên cứu được lấy từ bản đồ rung động nền thành lập cho vùng ven biển miền Trung với chu kỳ thời gian 950 năm [36].

Dưới đây là mô tả theo thứ tự các bước thực hiện quy trình đánh giá thiệt hại nhà cửa do động đất tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang.

V.3.1.2.1. Xây dựng các đồ thị khả năng chịu lực cho mỗi loại nhà

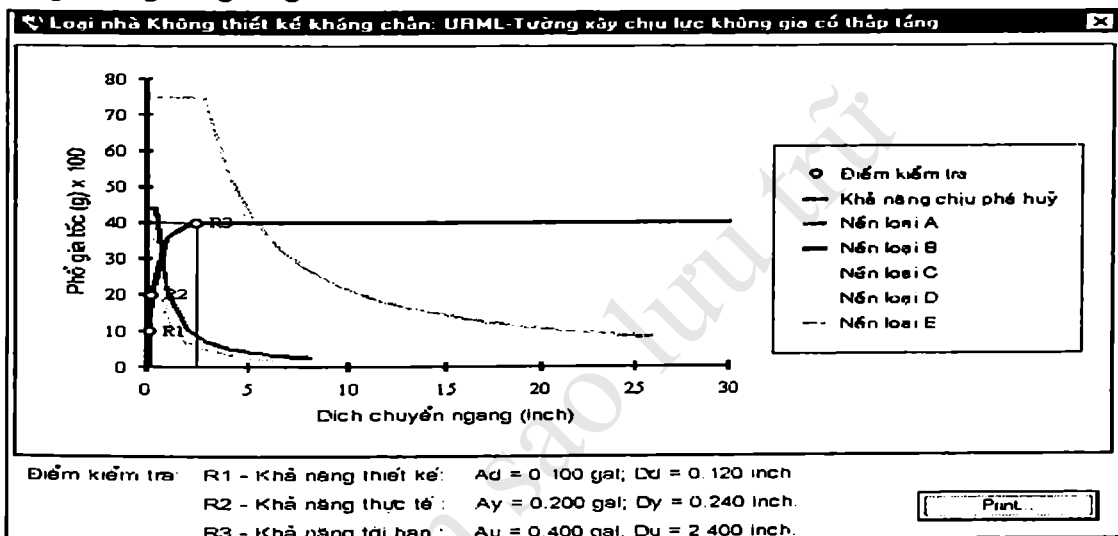
Các đồ thị khả năng chịu lực được giả thiết là có dạng phân bố lôga chuẩn của biến số biểu thị lực tới hạn (AU) của mỗi loại nhà. Với bốn mức độ kháng chấn khác nhau (không kháng chấn, thấp, trung bình và cao), sử dụng các hàm thống kê ngầm định trong ngôn ngữ lập trình Avenue và tài liệu của Mỹ. Độ biến thiên $\beta(AU)$ của đồ thị được gán các giá trị bằng 0,25 đối với các loại nhà được thiết kế kháng chấn, và bằng 0,30 đối với các loại nhà không được thiết kế kháng chấn [105].

V.3.1.2.2. Xác định phản ứng cực đại mỗi loại nhà dưới tác động của động đất

Các đồ thị khả năng chịu lực được sử dụng để xác định phản ứng cực đại của mỗi loại nhà tại chân công trình. Quy trình xác định loại nhà và phản ứng cực đại của loại

nhà đó tại một điểm bất kỳ trên bản đồ được thực hiện tự động. Đầu tiên, các điều kiện nền đất như loại nền, giá trị các tham số rung động nền được máy tính nhận biết và lựa chọn. Tiếp theo, máy tính tự động nhận biết loại nhà tại điểm đang xét. Để xác định giá trị phổ dịch chuyển cực đại tại điểm đang xét, máy tính tự động xét sáu trường hợp giao điểm giữa các đồ thị khả năng chịu lực và đồ thị phổ tác động nền, đồng thời phương pháp lặp trực tiếp được sử dụng để tìm ra nghiệm đúng.

Trên Hình V-4 minh họa kết quả xác định phản ứng cực đại của loại nhà có tường xây chịu lực không gia cố, tầng thấp và không được thiết kế kháng chấn (loại URML theo phân loại). Các đồ thị phổ tác động hiệu chỉnh cho các loại nền khác nhau được minh họa bằng các đường cong suy giảm, còn đồ thị khả năng chịu lực được minh họa bằng đường cong tăng.



Hình V-4. Ví dụ về xác định phản ứng cực đại cho nhà loại URML

V.3.1.2.3. Xác định các trạng thái phá hủy nhà

Các giá trị phổ dịch chuyển tương ứng với phản ứng cực đại của mỗi loại nhà được đưa vào công thức (I.46) để tính xác suất trạng thái phá hủy nhà tại hai quận nghiên cứu. Kết quả tính cho mỗi điểm được rời rạc hoá và biểu diễn dưới dạng đồ thị xác suất để cho loại nhà tại điểm đang xét rơi vào một trong năm trạng thái phá hủy sau đây: không bị phá hủy (KO), bị phá hủy nhẹ (NH), bị phá hủy trung bình (TB), bị phá hủy nặng (NG) và bị phá hủy hoàn toàn (HT). Công cụ tính toán tự động cho phép người sử dụng có thể tra vấn xác suất thiệt hại nhà cửa do động đất tại điểm bất kỳ trên bản đồ và hiển thị kết quả trên giao diện của phần mềm ArcView. Kết quả tính xác suất trạng thái phá hủy nhà cửa cho mỗi loại nhà tại một điểm bất kỳ được tự động gán cho các điểm trọng tâm của mỗi khối nhà có cùng loại trên bản đồ và được sử dụng để thành lập các bản đồ dự báo thiệt hại nhà cửa do động đất.

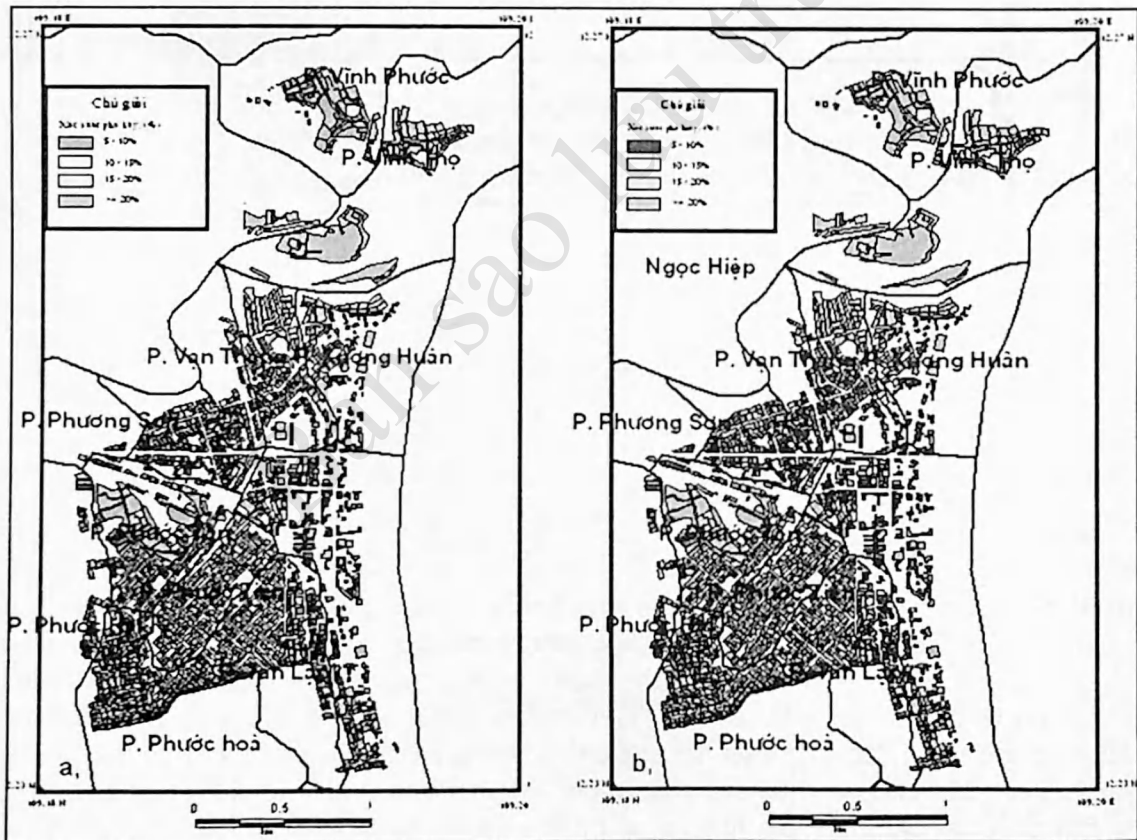
V.3.1.2.4. Thành lập tập bản đồ thiệt hại nhà cửa do động đất

Quy trình tính toán và vẽ bản đồ được thực hiện tự động và các kết quả được hiển thị trên giao diện của phần mềm Arcview GIS. Tập bản đồ rủi ro động đất được xây

dụng với các lớp thông tin thành phần biểu thị xác suất phá huỷ nhà cửa tại khu vực nghiên cứu ở năm mức độ phá huỷ khác nhau: không bị phá huỷ, phá huỷ nhẹ, phá huỷ trung bình, phá huỷ nặng và phá huỷ hoàn toàn.

Các giá trị xác suất phá huỷ nhà cửa ở một trạng thái phá huỷ nào đó có thể được hiểu như là số ngôi nhà bị phá huỷ ở trạng thái đó trên tổng số các ngôi nhà có cùng kết cấu tại khu vực nghiên cứu. Mô tả chi tiết về trạng thái phá huỷ của từng loại nhà có thể tham khảo trong [106]. Các ước lượng thiệt hại nhà cửa được xác định trong đề tài này với giả thiết là phổ tác động có độ tắt dần 5%.

Trên Hình V-5 minh họa các bản đồ dự báo thiệt hại nhà cửa tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang ở hai mức độ thiệt hại nhẹ và trung bình, với giả thiết chấn động do động đất gây ra tạo nên rung động nền dự báo cho chu kỳ 950 năm. Các kết quả tính toán cho thấy thiệt hại về nhà cửa do động đất gây ra tại Nha Trang theo kịch bản này là không cao. Xác suất cao nhất tính được cho trường hợp thiệt hại nhà ở mức độ nhẹ là 18.31%, trong khi xác suất cao nhất tính được cho trường hợp thiệt hại nhà ở mức độ trung bình chỉ đạt 12.26%.



Hình V-5. Bản đồ dự báo thiệt hại nhà cửa tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang:
a> mức độ nhẹ, b> mức độ trung bình

V.3.1.3. Số liệu dân số sử dụng

Số liệu điều tra dân số tại khu vực nghiên cứu chi tiết tới cấp phường được sử dụng

để tính thiệt hại về người do động đất. *Bảng V-3* liệt kê dân số các phường nằm trong phạm vi vùng nghiên cứu và được sử dụng trong các tính toán thiệt hại về người. Các dữ liệu này được gán cho các đơn vị hành chính (các phường) trong cơ sở dữ liệu GIS, là dữ liệu ngầm định cùng với các kết quả về thiệt hại nhà cửa tính được từ các mô đun trước đó.

Dân số của mỗi phường được chia thành bốn nhóm chính như sau:

- Số dân có mặt trong các khu nhà ở
- Số dân có mặt trong các khu nhà thuộc khối kinh doanh
- Số dân có mặt trong các khu nhà thuộc khối công nghiệp
- Số dân đang trên đường (tới cơ quan hoặc đi làm về)

Bảng V-3. Số liệu dân số tại các phường sử dụng trong tính toán thiệt hại về người

STT	Tên Phường	Dân số (người)	Diện tích (km ²)
1	Vĩnh Phước	20662	1.09
2	Vĩnh Thọ	14823	1.3
3	Vạn Thắng	13012	0.28
4	Xương Huân	17873	0.61
5	Phương Sài	13284	0.29
6	Phước Tân	13103	0.48
7	Phước Tiến	12680	0.3
8	Phước Hòa	14461	1.12
9	Tân Lập	16242	0.59
10	Lộc Thọ	12861	1.47
11	Vạn Thạnh	14884	0.37

Phân bố dân ngầm định được tính cho mỗi phường tại ba thời điểm trong ngày là 02 giờ sáng, 14 giờ chiều và 17 giờ chiều. *Bảng V-4* trình bày tỷ lệ phân bố dân cư ngầm định sử dụng trong phương pháp luận. Tỷ lệ này được áp dụng trên cơ sở các số liệu điều tra dân số của Mỹ có đối sánh và hiệu chỉnh theo số liệu của Việt Nam [33], [34], [35]. Các số liệu này chưa đưng sai số, và người sử dụng luôn luôn có thể hiệu chỉnh các số liệu này để các kết quả nhận được có độ tin cậy cao hơn.

Số dân đang trên đường là số người vắng mặt trong các khối nhà trong vùng nghiên cứu tại thời điểm đang xét. Phương pháp luận chỉ tính đến con số thương vong trên đường do đổ cầu (bắc qua sông hay cầu chui). Điều này đòi hỏi phải xác định số người đang có mặt trên cầu hay dưới gầm cầu tại thời điểm xảy ra động đất. Trong phương pháp luận này, các hệ số tỷ lệ CDF ngầm định được sử dụng để tính số người đang có mặt trên đường phố. Khi đó số người đang có mặt trên cầu hay dưới gầm cầu tại thời điểm xảy ra động đất tại mỗi phường sẽ được tính theo công thức:

$$NBRDG = CDF * COMM$$

(V.1)

trong đó, *NBRDG* là số dân của phường đang có mặt trên cầu hay dưới gầm cầu tại thời điểm xảy ra động đất, *CDF* là số phần trăm những người đang đi làm của phường đang có mặt trên cầu hay dưới gầm cầu tại thời điểm xảy ra động đất, *COMM* là số dân đang đi làm (là viên chức nhà nước) của phường.

Bảng V-4. Lệ ngầm định để xác định phân bố dân cư

Phân bố cư dân tại Phường			
Các nhóm chính	2 h 00 đêm	2 h 00 chiều	5 h 00 chiều
Nhà dân	0,99 (NRES)	0,80 (DRES)	0,95 (DRES)
Kinh doanh	0,02 (COMW)	0,98(COMW) + 0,15(DRES) + 0,80(AGE_16)	0,50 (COMW)
Công nghiệp	0,10 (INDW)	0,80 (INDW)	0,50 (INDW)
Trên đường	0,01(POP)	0,05(POP)	0,05 (DRES) + 1,0 (COMM)

Trong đó, *POP* là số dân của phường theo số liệu điều tra dân số; *DRES* là số dân có mặt ở nhà vào ban ngày suy ra từ số liệu điều tra dân số; *NRES* là số dân có mặt ở nhà vào ban đêm suy ra từ số liệu điều tra dân số; *COMM* là số dân đang có mặt trên đường phố suy ra từ số liệu điều tra dân số; *COMW* là số dân đang làm việc trong các khu nhà thuộc khối kinh doanh; *INDW* là số dân đang làm việc trong các khu nhà thuộc khối công nghiệp; *AGE_16* là số dân dưới 16 tuổi suy ra từ số liệu điều tra dân số (số gần đúng để nội suy tỷ lệ số dân đang có mặt tại các trường học); Các giá trị *CDF* ngầm định sử dụng trong đề tài này có giá trị bằng 0,05 cho ban ngày và ban đêm và bằng 0,10 cho thời gian đang trong giờ làm việc.

V.3.1.4. Đánh giá thiệt hại

Phương pháp luận áp dụng trong đề tài này cho phép ước lượng các thiệt hại về người do động đất gây ra tại ba thời điểm trong một ngày tại hai quận nghiên cứu. Các thời điểm được chọn bao gồm:

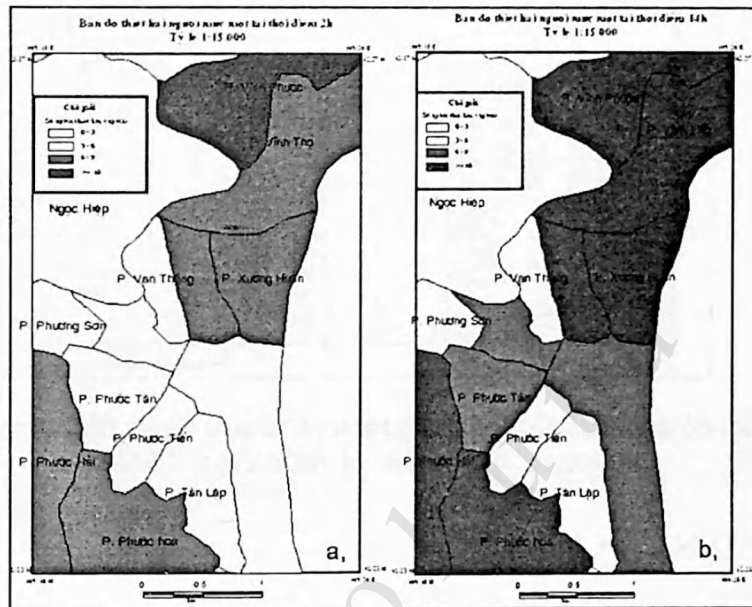
- Động đất xảy ra lúc 2 giờ 00 phút sáng (ban đêm).
- Động đất xảy ra lúc 14 giờ 00 phút chiều (ban ngày).
- Động đất xảy ra lúc 17 giờ 00 phút chiều (giờ tan tầm).

Đây là ba thời điểm mà con số thương vong dự báo có thể lên đến mức cao nhất do sự tập trung dân số tại các khu vực nhà ở, tại các trường sở và trên đường phố tại giờ cao điểm. Xác suất và con số thương vong về người tại mỗi phường được tính tự động cho ba thời điểm đã chọn và các kết quả được hiển thị trên giao diện của phần mềm *Arcview* dưới dạng các bản đồ dự báo thiệt hại về người do động đất.

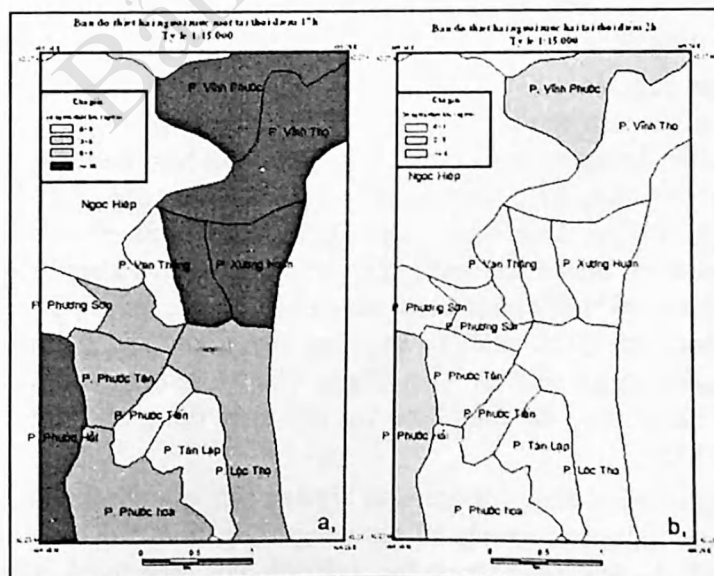
Kết quả tính toán cho thấy thiệt hại về người lớn nhất tập trung tại các phường phía bắc khu vực nghiên cứu. Số người thương vong cao nhất tập trung tại phường Vĩnh Phước nằm về phía bắc khu vực nghiên cứu, trong đó thương vong mức độ 1 lần lượt là

14 người (2 giờ sáng); 19 người (14 giờ) và 16 người (17 giờ), thương vong mức độ 2 ít hơn, lần lượt là 2 người (2 giờ sáng); 3 người (14 giờ) và 2 người (17 giờ).

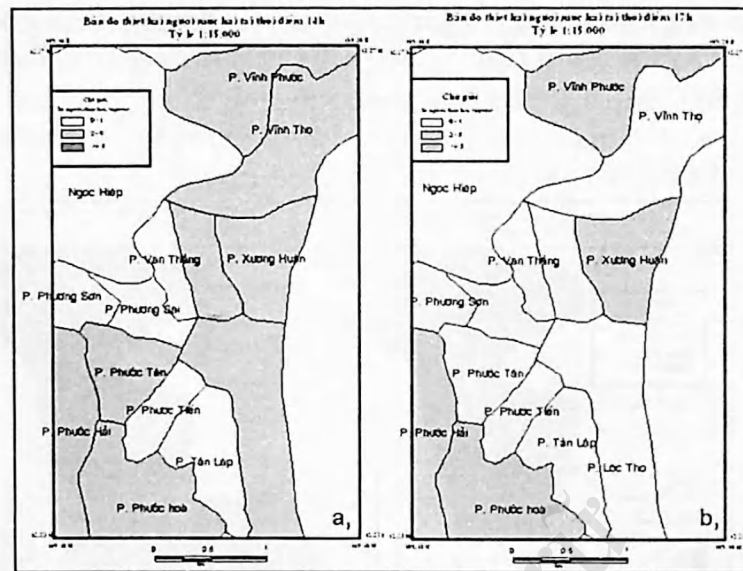
Các kết quả tính thiệt hại về người ở mức thương vong 1 và 2 tại khu vực nghiên cứu do động đất kịch bản gây ra tại ba thời điểm trong ngày (2 giờ sáng, 14 và 17 giờ chiều) được minh họa trên các *Hình V-6, Hình V-7, Hình V-8*.



Hình V-6. Bản đồ dự báo thiệt hại về người tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang: a). mức 1: lúc 2 giờ sáng; b). mức 1: lúc 14 giờ



Hình V-7. Bản đồ dự báo thiệt hại về người tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang: a). mức 1: lúc 17 giờ; b). mức 2: lúc 2 giờ sáng



Hình V-8. Bản đồ dự báo thiệt hại về người tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang:
a). mức 2: lúc 14 giờ; b). mức 2: lúc 17 giờ

V.4. MỘT SỐ NHẬN ĐỊNH

Trong chương này, mô hình xác suất của A.C. Cornell và chương trình CRISIS99 được áp dụng để đánh giá độ nguy hiểm động đất cho toàn bộ dải ven biển và hải đảo Việt Nam. Bản đồ độ nguy hiểm động đất cho các tỉnh ven biển và khu vực hải đảo của Việt Nam được thành lập ở tỷ lệ 1:500 000, biểu thị phân bố không gian của hai tham số rung động nền là gia tốc cực đại nền (PGA) với chu kỳ dự báo 950 năm cho nền loại A và cường độ rung động trên mặt I theo thang MSK-64.

Kết quả nhận được cho thấy, trên phần lục địa, độ nguy hiểm động đất mạnh nhất quan sát thấy tại các tỉnh ven biển miền Bắc Việt Nam, sau đó giảm dần xuống tại các tỉnh ven biển miền Trung và miền Nam Việt Nam. Dải ven biển miền Bắc có độ nguy hiểm động đất cao nhất, hình thành một đới chấn động cấp VIII bao gồm các tỉnh Quảng Ninh, Hải Phòng, Thái Bình, Nam Định, Ninh Bình, Thanh Hóa, Nghệ An và Hà Tĩnh. Trên dải ven biển miền Trung Việt Nam, đoạn từ Quảng Bình tới Khánh Hòa, toàn bộ các tỉnh ven biển đều nằm trong vùng chấn động cấp VII. Xuống tới phía Nam, độ nguy hiểm động đất lại có chiều hướng tăng lên tại khu vực thềm lục địa ngoài khơi Vũng Tàu rồi giảm mạnh về phía Kiên Giang. Các vùng hải đảo Hoàng Sa và Trường Sa có độ nguy hiểm động đất thấp hơn, với cấp chấn động dao động trong khoảng từ cấp VI đến cấp VII.

Bản đồ độ nguy hiểm động đất tính cho khoảng thời gian 950 năm cho thấy một loạt các đô thị lớn, các khu công nghiệp và các vùng trọng điểm của đất nước có thể bị chấn động tới cấp VIII đe dọa trong tương lai. Trên dải ven biển miền Bắc Việt Nam, vùng chấn động cấp VIII bao gồm cả khu vực Hải Phòng-Quảng Ninh, vốn là khu vực phát triển công nghiệp và kinh tế xã hội. Các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận, nơi dự kiến xây dựng nhà máy điện nguyên tử tương lai và khu công nghiệp Dung Quất thuộc tỉnh

Quảng Ngãi cũng nằm trong vùng chấn động cấp VII. Đặc biệt, khu vực ven biển tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu, nơi công nghiệp khai thác dầu khí đang diễn ra hết sức rầm rộ hiện đang nằm trên vùng chấn động cấp VII-VIII. Tất cả những điều nêu trên cần được đặc biệt lưu ý tới trong công tác quy hoạch phát triển kinh tế-xã hội trên toàn vùng ven biển và hải đảo nước ta.

Trên cơ sở các dữ liệu thực địa bao gồm 1911 phiếu điều tra nhà cửa và bản đồ địa chất số hóa tỷ lệ 1: 50 000, cơ sở dữ liệu GIS tổng hợp cho thành phố Nha Trang được xây dựng. Công nghệ GIS được áp dụng để xây dựng kịch bản động đất và công cụ tính toán phục vụ cho việc đánh giá độ nguy hiểm và độ rủi ro động đất – sóng thần cho thành phố Nha Trang. Các kết quả nhận được dưới dạng tập bản đồ dự báo thiệt hại về nhà cửa do động đất ở các mức độ thiệt hại nhẹ và trung bình. Thiệt hại về người được thể hiện dưới dạng các bản đồ thương vong theo phường tại ba thời điểm trong ngày (2 giờ, 14 giờ và 17 giờ) và ở bốn mức độ thương vong khác nhau.

Bản sao lưu trữ

Chương VI

ĐỘ NGUY HIỂM VÀ ĐỘ RỦI RO SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

VI.1. ĐÁNH GIÁ MÔ PHÒNG SỰ LAN TRUYỀN SÓNG THẦN TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ KHẢ NĂNG TÁC ĐỘNG TỚI VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO VIỆT NAM

VI.1.1. Xây dựng số liệu độ sâu để tính toán lan truyền sóng thần trên Biển Đông

Một nguồn số liệu có độ chính xác cao về độ sâu, đặc biệt độ sâu khu vực ven biển nước ta là số liệu độ sâu biển xác định theo hải đồ do Bộ Tham mưu Hải quân Việt Nam xây dựng và quản lý. Các hải đồ này được xây dựng trên cơ sở các số liệu đo đạc độ sâu bằng cách sử dụng các máy đo sâu hiện đại trên tàu biển chuyên dụng do Đoàn Đo đạc và Biên vẽ Hải đồ, Bộ Tham mưu Hải quân thực hiện. Tuy nhiên, không thể sử dụng trực tiếp các số liệu từ các hải đồ này để tính thành tạo và lan truyền sóng thần trên toàn Biển Đông vì một số lý do sau đây. Thứ nhất là các số liệu độ sâu được đo đạc theo nhiều năm khác nhau, thuộc các bản đồ có tỷ lệ khác nhau và chưa được số hoá toàn bộ. Thứ hai là các số liệu độ sâu trên các hải đồ đều quy về mốc “số không hải đồ”, là vị trí mực nước triều thấp nhất tại vị trí của mỗi mảnh hải đồ. Do vậy, để sử dụng được số liệu độ sâu hải đồ vào việc tính toán thành tạo và lan truyền sóng thần trên biển, cần số hoá tất cả các mảnh hải đồ và quy cao độ trên tất cả các mảnh hải đồ về mốc cao độ Quốc gia. Đoàn Đo đạc và Biên vẽ Hải đồ, Bộ Tham mưu Hải quân đã thực hiện toàn bộ các hạng mục công việc trên. Phương pháp quy độ sâu hải đồ về mốc cao độ Quốc gia được thực hiện theo quy phạm của Hải quân Liên Xô (cũ). Như vậy, dự án đã sử dụng được tất cả các mảnh hải đồ có các tỷ lệ khác nhau và đã xây dựng được bộ số liệu độ sâu biển có độ chính xác cao nhất từ trước đến nay ở Việt Nam. Bộ số liệu này có thể được kết nối một cách dễ dàng với số liệu độ cao trên bờ để tính toán ngập lụt do sóng thần gây ra ở trên bờ, phục vụ xây dựng các bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần ở trên bờ.

Yêu cầu của miền tính toán số trị khi tính sóng thần từ động đất là miền tính phải đủ rộng để loại trừ ảnh hưởng của biên.

Ngoài ra để đảm bảo độ chính xác trong quá trình tính lan truyền thì yêu cầu của lưới tính cũng rất quan trọng. Lưới tính càng tinh (kích thước lưới tính càng nhỏ) thì độ chính xác tính toán càng lớn. Tuy vậy, đối với cùng một miền tính thì nếu lưới tính càng nhỏ, càng cần một bộ nhớ máy tính lớn và thời gian tính toán dài. Điều này là để đảm bảo điều kiện ổn định nghiệm theo tiêu chuẩn Courant-Friederic-Lewy. Theo các kết quả khảo sát nghiệm số trị của phương trình lan truyền sóng thần trên biển do Tuck (1979) và Wu (1979) tiến hành cho thấy rằng để tránh được nghiệm sai lệch, độ lớn của lưới tính vùng

ven bờ phải nhỏ hơn 1km. Tuy nhiên, đối với vùng biển ngoài khơi với độ sâu lớn hơn 100m, dùng lưới tính có kích thước khoảng 5km có thể loại trừ được sai số này.

Vì đối với vùng bờ biển nước ta, ngoài hai vùng nguồn động đất gần tại bờ Tây của đảo Hải Nam và ngoài khơi Nam Trung Bộ kinh tuyến 110°E , nguồn động đất có nguy cơ gây sóng thần cao nhất là nguồn động đất tại đới hút chìm Manila phía Tây Philippines và phía Nam Đài Loan. Như vậy, với vùng nguồn động đất này, để tính toán ảnh hưởng của sóng thần tới bờ biển nước ta, miền tính toán sự thành tạo và lan truyền của sóng thần là toàn bộ Biển Đông. Với miền tính này, không thể dùng lưới tính rất nhỏ vì sẽ đòi hỏi thời gian tính toán và bộ nhớ máy tính rất lớn. Hơn nữa, tại khu vực giữa Biển Đông, độ sâu biển khá lớn và thay đổi ít nên ngay cả khi sử dụng lưới tính lớn, độ chính xác của các kết quả tính toán vẫn đảm bảo. Xuất phát từ đó, trong tính toán xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần, kích thước lưới tính trên toàn khu vực Biển Đông được lấy là 2' theo cả hai phương kinh và vĩ độ. Tuy nhiên, với lưới tính 2' này sẽ gây ra sai số rất lớn khi tính toán sóng thần vùng ven bờ. Vào gần bờ, sóng thần đột ngột dâng cao và tùy thuộc vào điều kiện địa hình đáy biển gần bờ, có độ cao biến đổi rất mạnh theo không gian. Để đảm bảo độ chính xác tính toán, tùy thuộc vào tầm quan trọng của khu vực tính và khả năng của máy tính, có thể chọn các kích thước lưới tính khác nhau. Các kích thước lưới tính này phải đảm bảo tiết kiệm thời gian tính toán nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác tính toán. Từ đó, để nâng cao độ chính xác tính toán sóng thần vùng ven bờ phục vụ xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần, cần phải sử dụng một kỹ thuật tính toán trong đó lưới tính của miền tính giữa biển khơi đủ lớn nhưng lưới tính vùng ven bờ phải rất nhỏ để đảm bảo độ chính xác cần thiết.

Trên cơ sở phân tích các điều kiện địa hình, tính chất biến đổi của sóng thần cũng như nhu cầu về độ chính xác phục vụ xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần, đối với khu vực ven bờ tại vùng có nguy cơ sóng thần thấp, cần lấy lưới tính có kích thước 100m. Đối với khu vực ven bờ tại vùng có nguy cơ sóng thần cao, cần lấy lưới tính có kích thước 50m. Vì lưới tính này khác với lưới tính của miền tính ngoài đại dương, cần phải lồng miền tính này vào miền tính rộng ngoài đại dương. Việc này cần phải được thực hiện bằng cách xác định các điều kiện biên cho miền tính ven bờ từ các giá trị mực nước và lưu lượng tính được từ miền tính lớn. Như vậy, cần phải xác định điều kiện biên giữa hai miền tính.

Như đã trình bày ở trên, ở ngoài biển khơi với độ sâu lớn, sóng thần có độ cao nhỏ và gây ra độ dốc mặt nước không đáng kể. Hơn nữa, sóng thần là sóng dài nên do hiện tượng khúc xạ sóng mà ở gần bờ, sóng thần luôn có xu hướng lan truyền vào bờ. Do vậy, điều kiện biên ngoài khơi được cho bởi mực nước tính từ mô hình với lưới tính thô trên quy mô rộng đảm bảo độ chính xác tính toán sóng thần. Tuy vậy, với điều kiện biên bên, cần phải xem xét một cách kỹ càng. Đối với biên đón sóng thần, cần chọn điều kiện mực nước tính từ mô hình có lưới thô. Tuy vậy, như đã thảo luận ở trên, vì mô hình thô cho kết quả tính toán có độ chính xác không cao ở vùng ven bờ nên việc sử dụng kết quả tính toán này làm điều kiện biên sẽ làm giảm độ chính xác tính toán. Đối với biên ngang theo hướng sóng thần đi ra, cần sử dụng điều kiện biên cho phép sóng thần tự do đi ra khỏi miền tính. Việc sử dụng điều kiện biên này có thể gây ra hai loại sai số:

- Loại sai số thứ nhất là do điều kiện biên không đảm bảo cho phép sóng thần tự do hoàn toàn đi ra khỏi biên. Điều đó có nghĩa là một phần năng lượng sóng bị phản xạ trở lại miền tính và gây ra sai số.

- Loại sai số thứ 2 liên quan tới hướng truyền của sóng thần. Do địa hình vùng ven bờ biển phức tạp nên rất có thể tại một khu vực nào đó của biển này sóng thần sẽ đi vào miền tính chứ không phải đi ra. Trong trường hợp này, việc áp dụng điều kiện biên đi ra tự do không cho phép đón được năng lượng tới miền tính của sóng thần.

Như vậy, dù dùng điều kiện biên nào, các biên bên luôn gây ra sai số tính toán. Để làm giảm sai số này, phải hạn chế tới mức tối đa độ dài của biên ngang. Điều này được thực hiện bằng cách thu hẹp miền tính theo hướng từ phía bờ ra biển và kéo dài miền tính theo hướng song song với bờ.

Để thuận tiện cho việc tính toán và xây dựng bản đồ ngập lụt, địa hình toàn miền sẽ được chia ra thành các mảnh ghép nhỏ. Khi tính toán ngập lụt cho từng vùng ta chỉ việc tính toán trên mảnh bản đồ có vùng đó.

VI.1.2. Khả năng xảy ra sóng thần tại vùng biển Việt Nam và độ cao sóng thần cực đại

Để đánh giá khả năng xảy ra sóng thần trên toàn vùng biển và hải đảo Việt Nam, đã tiến hành tính toán độ cao và thời gian lan truyền của sóng thần từ nguồn tới các vị trí ven biển và hải đảo Việt Nam theo các kịch bản.

Trong *Hình VI-1* trình bày độ cao sóng thần trên toàn khu vực Biển Đông và ven biển và hải đảo Việt Nam theo kịch bản 1, khi động đất có độ lớn $M_w = 7,0$ xảy ra tại đới hút chìm Manila. Theo nhiều đánh giá của các tác giả Philippines, Đài Loan, Trung Quốc cũng như các tác giả Việt Nam, động đất có độ lớn $M_w = 7,0$ tại đới đứt gãy này là động đất có xác suất xảy ra rất lớn. Có thể thấy trên hình là với kịch bản động đất này, khu vực Hoàng Sa có độ cao sóng thần cực đại trên 2,5m. Khu vực ven bờ Việt Nam từ Đà Nẵng tới Bình Định có độ cao sóng thần cực đại tại bờ lớn hơn 1m, cá biệt tại một số điểm có độ cao sóng thần cực đại lớn hơn 1,5m. Khu vực quần đảo Trường Sa có độ cao sóng thần khoảng 1m. Như vậy, kết quả tính toán cho thấy động đất có độ lớn $M_w = 7,0$ tại đới hút chìm Manila có thể gây sóng thần nguy hiểm ở ven biển miền Trung của nước ta. Do vậy, việc xây dựng các bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần phục vụ công tác dự báo và ra bản tin cảnh báo sóng thần là cần thiết. *Hình VI-2* trình bày thời gian lan truyền của sóng thần theo kịch bản trên.

Hình VI-3 trình bày độ cao sóng thần trên toàn khu vực Biển Đông và ven biển và hải đảo Việt Nam theo kịch bản 2, khi động đất có độ lớn $M_w = 7,5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila. Cũng tương tự như kịch bản 1, sóng thần lớn nhất ở khu vực quần đảo Hoàng Sa với độ cao cực đại trên 3m, có điểm có độ cao sóng thần cực đại tới 4m. Khu vực có độ cao sóng thần trên 1m kéo dài từ Thừa Thiên - Huế tới Ninh Thuận; trong đó từ Đà Nẵng tới Phú Yên có độ cao sóng thần cực đại hơn 1,5m, cá biệt tại một số điểm có độ cao sóng thần cực đại trên 2,5m. Khu vực quần đảo Trường Sa có độ cao sóng thần cực đại trên 1,5m. Cần chú ý rằng Viện Địa chấn và Núi lửa Philippines đã dự báo rằng động đất có độ lớn $M_w = 7,5$ là động đất cực đại có khả năng xảy ra tại đới hút chìm Manila với xác suất cao. Vì vậy, với các kết quả tính toán trên, có thể thấy rằng nguy cơ sóng thần tại bờ biển nước ta do động đất ở đới hút chìm Manila là tồn tại. *Hình VI-4* trình bày thời gian lan truyền của sóng thần theo kịch bản trên.

Hình VI-5 trình bày độ cao sóng thần trên toàn khu vực Biển Đông và ven biển và hải

đào Việt Nam theo kịch bản 3, khi động đất có độ lớn $M_w = 8$ xảy ra tại đới hút chìm Manila. Đây là động đất rất mạnh. Như đã trình bày ở phần trên, theo tác giả Nguyễn Đình Xuyên (2007), động đất cực đại được dự báo tại đới hút chìm Manila có độ lớn 8. Như vậy, có khả năng động đất có độ lớn $M_w = 8$ xảy ra tại đới hút chìm này. Trong trường hợp đó, có thể thấy là tại khu vực quần đảo Hoàng Sa, sóng thần cực đại có độ cao lớn hơn 4m. Độ cao cực đại của sóng thần tại khu vực Quần đảo Trường Sa là trên 2m. Tại ven biển Việt Nam, sóng thần cực đại tại khu vực từ Đà Nẵng tới Quảng Ngãi có độ cao trên 2m, có nơi sóng thần có độ cao trên 3m. Khu vực sóng thần có độ cao trên 1m, là khu vực sóng thần nguy hiểm, kéo dài từ phía bắc Thừa Thiên - Huế tới Bình Thuận.

Nếu động đất có độ lớn $M_w = 8,5$ xảy ra trên đới hút chìm Manila theo kịch bản 4, như chỉ ra trên *Hình VI-6*, độ cao sóng thần rất lớn tại khu vực ven bờ biển Miền Trung của Việt Nam và có khả năng gây thảm họa. Trong trường hợp này, khu vực có độ cao sóng thần cực đại lớn hơn 1m, tức là sóng thần nguy hiểm, kéo dài từ phía bắc của tỉnh Quảng Bình tới Bà Rịa - Vũng Tàu. Khu vực có độ cao sóng thần lớn hơn 2m kéo dài từ Quảng Trị tới Bình Thuận. Tuy nhiên, như đã trình bày ở trên, cho dù hiện nay chưa có đủ số liệu để có thể rút ra các kết luận với độ tin cậy cao, nhưng căn cứ vào các số liệu và kết quả phân tích hiện có, có thể sơ bộ nhận xét rằng động đất có độ lớn $M_w = 8,5$ rất khó xảy ra tại đới hút chìm Manila. Mặt khác, cũng không có đủ cơ sở để kết luận rằng động đất có độ lớn nằm trong khoảng $M_w = 8,5$ và $M_w = 9,0$ là hoàn toàn không có khả năng xảy ra trên đới hút chìm Manila. Do vậy, các kịch bản với độ lớn động đất lớn hơn $M_w = 8,5$ tại đới hút chìm Manila chỉ được đưa ra với tư cách là các kịch bản dự phòng.

Động đất có độ lớn $M_w = 9$ xảy ra tại đới hút chìm Manila theo kịch bản 5 thực sự gây thảm họa cho toàn vùng bờ biển miền Trung, Việt Nam như thấy trên *Hình VI-7*. Từ hình vẽ, có thể thấy rằng với trận động đất này, khu vực có độ cao sóng thần 1m trở lên kéo dài suốt từ Quảng Ninh tới Cà Mau, tức hầu như toàn bộ vùng biển Việt Nam, trừ vùng biển trong vịnh Thái Lan. Khu vực có độ cao sóng thần lớn hơn 1,5m kéo dài từ bờ biển Thừa Thiên - Huế tới Bà Rịa. Độ cao sóng thần ven bờ biển Việt Nam đạt giá trị cực đại tại khu vực Quảng Ngãi và đạt tới 8m. Tại khu vực quần đảo Hoàng Sa, độ cao cực đại của sóng thần đạt trên 10m. Tại khu vực quần đảo Trường Sa, độ cao cực đại của sóng thần là lớn hơn 4m, có nơi độ cao sóng thần cực đại đạt tới trên 6m.

Các *Hình VI-8*, *Hình VI-9* trình bày độ cao và thời gian lan truyền của sóng thần trên Biển Đông và ven bờ biển và hải đảo Việt Nam khi động đất có độ lớn $M_w = 7$ xảy ra tại đới đứt gãy nam đảo Hải Nam theo các kịch bản 6 và 7. Như đã trình bày ở trên, động đất tại khu vực ngoài khơi Bắc Trung Bộ, nam đảo Hải Nam có độ lớn cực đại được đánh giá là $M_w = 7,0$. Thông thường, vì vùng nguồn động đất khá gần bờ, nếu động đất xảy ra theo cơ chế trượt chồm thuận nghịch thì động đất với độ lớn này có khả năng gây sóng thần mạnh ở ven bờ biển nước ta. Tuy nhiên, vì động đất tại khu vực này xảy ra theo cơ chế trượt bằng, các tính toán được thực hiện cho thấy động đất có độ lớn $M_w = 7,0$ xảy ra tại vùng nguồn này không gây ra sóng thần đáng kể ở bờ biển nước ta. Tuy đánh giá là động đất có độ lớn cực đại được đánh giá là $M_w = 7,0$, nhưng để đảm bảo tính an toàn, dự án đã đưa ra một kịch bản dự phòng với độ lớn động đất $M_w = 7,5$ tại khu vực ngoài khơi Bắc Trung Bộ, Nam Hải Nam như trong hai kịch bản 6, 7 và 8.

Trên *Hình VI-10*, có thể thấy rằng nếu động đất có độ lớn $M_w = 7,5$ xảy ra tại đới đứt gãy Nam Hải Nam và hướng đứt gãy là hướng Tây Bắc - Đông Nam thì khu vực có

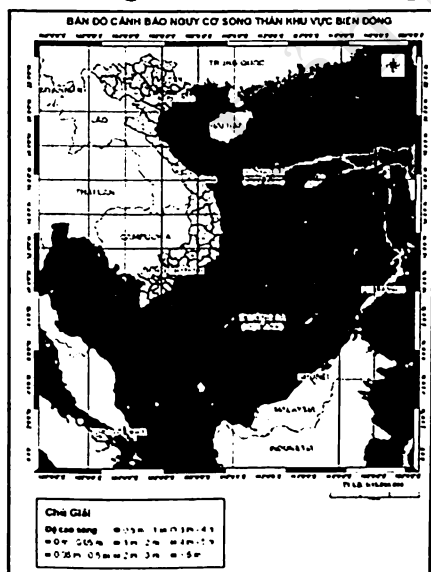
sóng thần với độ cao trên 1m kéo dài từ Thừa Thiên – Huế tới Bình Định. Ngay tại Quảng Bình cũng có một số khu vực có độ cao sóng thần lớn hơn 1m. Như vậy, đây cũng là một kịch bản có khả năng gây sóng thần nguy hiểm ở bờ biển nước ta.

Hình VI-11 trình bày thời gian lan truyền của sóng thần từ nguồn theo kịch bản 6. Có thể thấy rằng mặc dù nguồn sóng thần rất gần bờ, sóng thần cũng mất khoảng 1 giờ 20 phút để lan truyền vào bờ. Như vậy, nếu động đất gây sóng thần xảy ra tại khu vực này, vẫn có đủ thời gian để vận hành hệ thống cảnh báo sóng thần và ra bản tin cảnh báo sóng thần tương ứng.

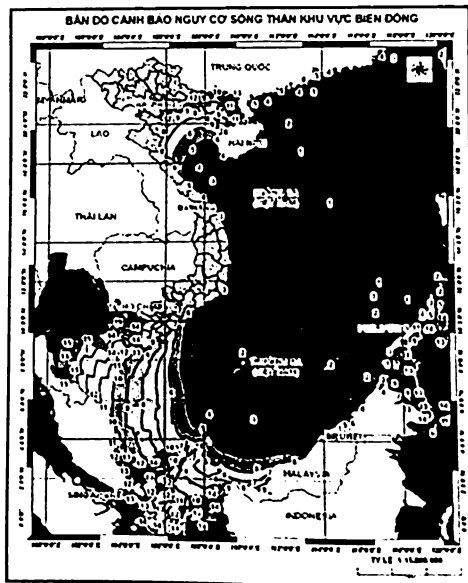
Hình VI-12, Hình VI-13 trình bày phân bố độ cao và thời gian lan truyền sóng thần gần bờ nếu động đất ngoài khơi Bắc Trung Bộ, Nam Hải Nam xảy ra theo kịch bản 7. Có thể thấy rằng mặc dù độ lớn động đất trong trường hợp này giống hệt độ lớn động đất xảy ra theo kịch bản 6, nhưng do động đất xảy ra tại khu vực khác của đới đứt gãy nên có hướng đứt gãy gần như song song với bờ biển Việt Nam. Với hướng đứt gãy này, độ cao cực đại của sóng thần ven bờ biển Việt Nam khi động đất xảy ra theo kịch bản 8 lớn hơn nhiều độ cao sóng thần do động đất xảy ra theo kịch bản 7. Như thấy trên Hình , tại khu vực từ Thừa Thiên - Huế tới Đà Nẵng, độ cao sóng thần cực đại là hơn 2m, cá biệt có nơi tới 3m. Đây là sóng thần rất nguy hiểm đối với người dân đang tham gia các hoạt động ở trên bãi biển hoặc làm nhà tại các khu vực đất thấp và gần mép nước.

Hình VI-14 trình bày phân bố độ cao của sóng thần nếu động đất có độ lớn $M_w = 6,5$ xảy ra tại đới đứt gãy kinh tuyến $110^\circ E$, ngoài khơi Nam Trung Bộ theo kịch bản 9. Như đã trình bày ở trên, động đất cực đại tại khu vực này được đánh giá là có độ lớn $M_w = 6,1$. Tuy nhiên, động đất có độ lớn $M_w = 7,0$ được đưa ra ở đây như một kịch bản dự phòng.

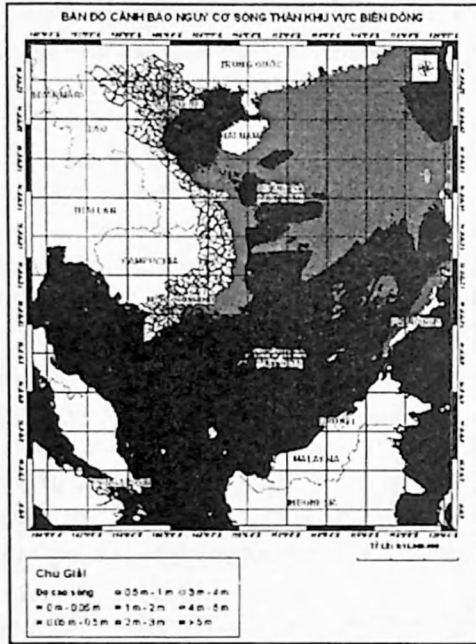
Trên *Hình VI-15*, có thể thấy rằng độ cao sóng thần ở ven biển Nam Trung Bộ là nhỏ hơn 1m. Như vậy, động đất tại vùng nguồn ngoài khơi Nam Trung Bộ rất khó có khả năng gây ra sóng thần ven bờ biển Việt Nam. Thời gian lan truyền của sóng thần từ nguồn tới vùng ven biển Nam Trung Bộ là thấp hơn 1 giờ.



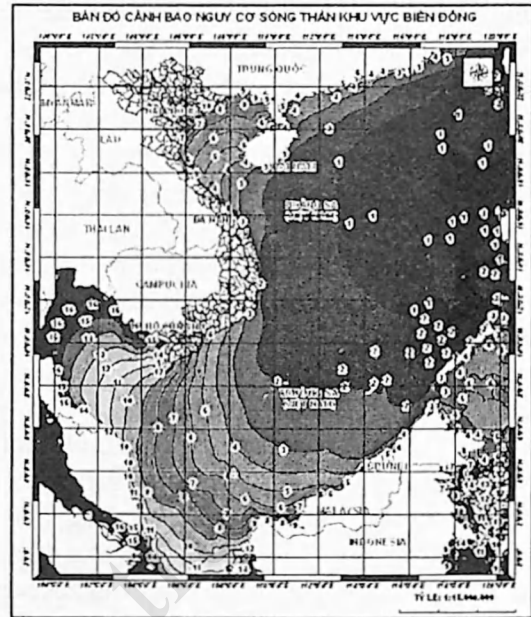
Hình VI-1. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 1 động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



Hình VI-2. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 1: động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



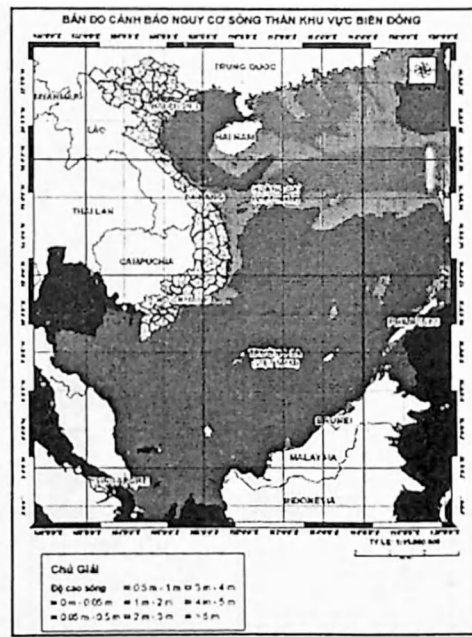
Hình VI-3. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 2 động đất có $M_w = 7.5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



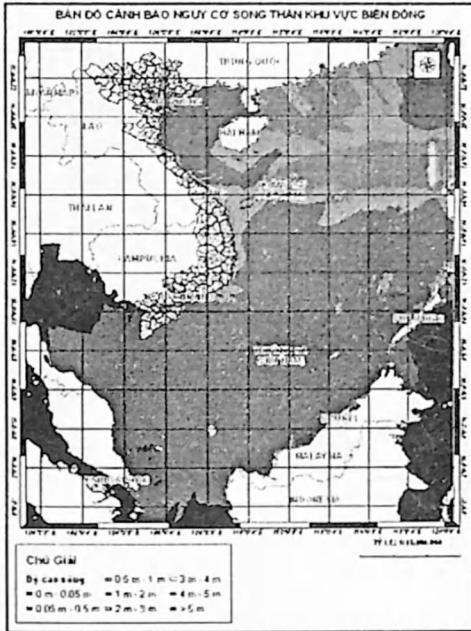
Hình VI-4. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 2: động đất có $M_w = 7,5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



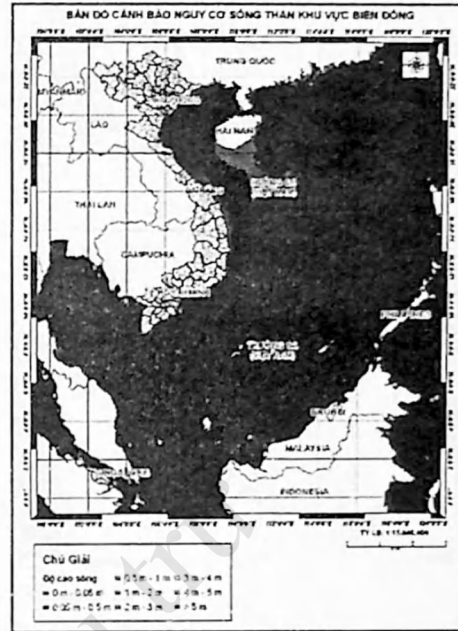
Hình VI-5. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 3 động đất có $M_w = 8$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



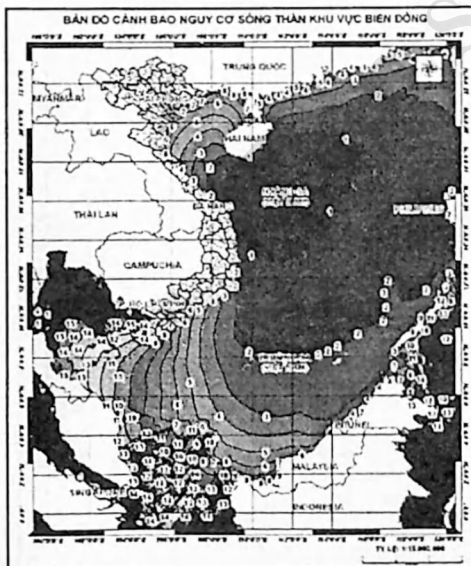
Hình VI-6. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 4 động đất có $M_w = 8,5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



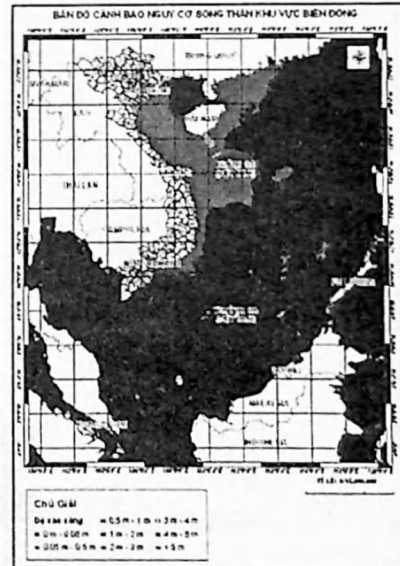
Hình VI-7. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 5 động đất có $M_w = 9$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



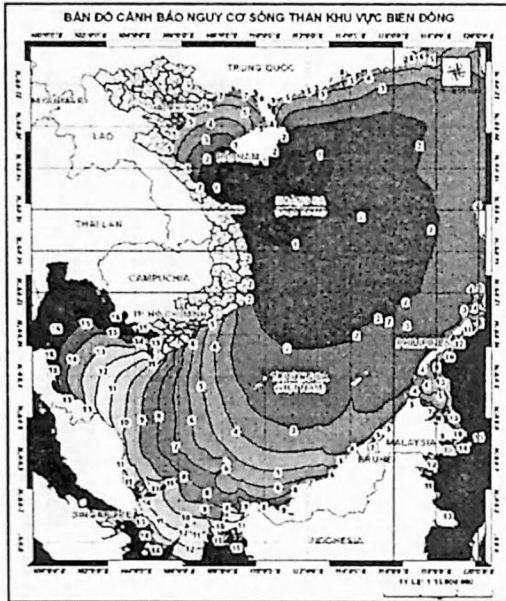
Hình VI-8. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 6 động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



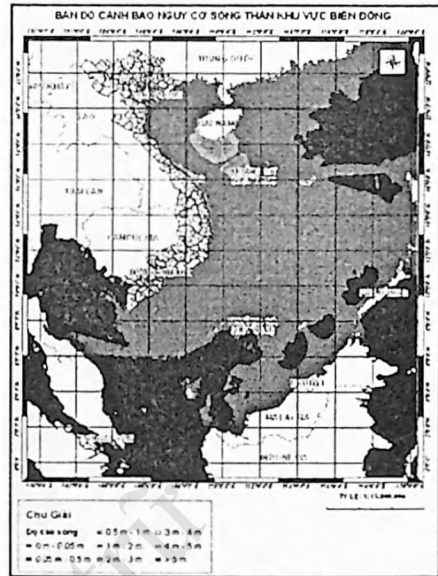
Hình VI-9. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 6: động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



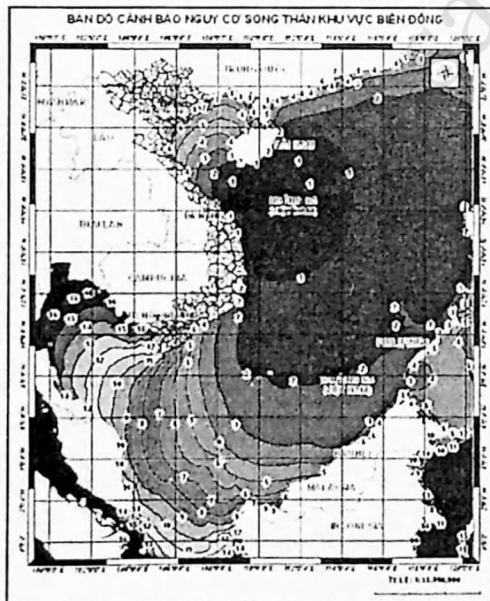
Hình VI-10. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 7 động đất có $M_w = 7,5$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



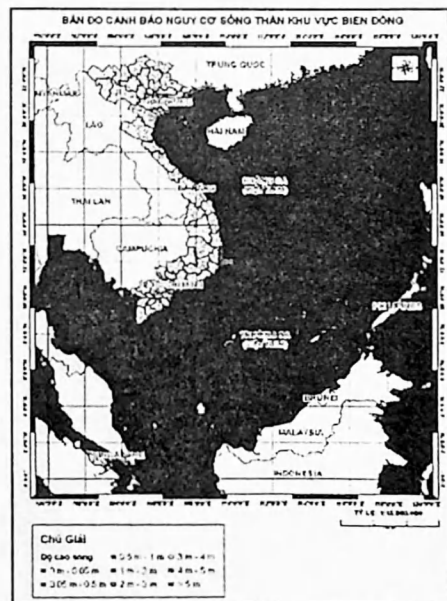
Hình VI-11. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 7: động đất có $M_w = 7,5$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



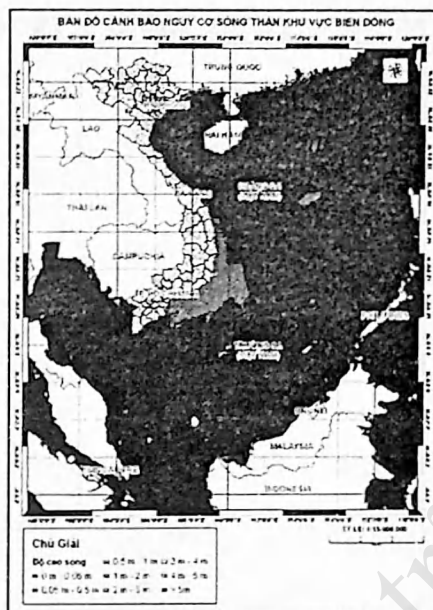
Hình VI-12. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 8: động đất có $M_w = 8$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



Hình VI-13. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 8: động đất có $M_w = 8$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



Hình VI-14. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 9: động đất có $M_w = 6,5$ xảy ra tại vùng biển miền Trung



Hình VI-15. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 10 động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại vùng biển miền Trung

Từ các kết quả tính toán ở trên, có thể thấy rằng vùng nguồn động đất gây sóng thần nguy hiểm nhất tại ven biển Việt Nam là động đất xảy ra tại đới hút chìm Manila. Động đất có độ lớn $M_w = 8,0$ trở lên tại đới đứt gãy này có khả năng gây sóng thần nguy hiểm trên vùng ven biển Việt Nam. Vì động đất có $M_w = 8,2$ được dự đoán là có khả năng xảy ra tại đới hút chìm Manila với xác suất cao, khả năng xảy ra sóng thần ở vùng biển nước ta do động đất trên đới hút chìm Manila là tồn tại. Động đất có độ lớn $M_w = 8,5$ trở lên xảy ra tại đới đứt gãy này có thể gây sóng thần ảnh hưởng tới toàn bộ vùng biển Việt Nam, từ Quảng Ninh tới Cà Mau. Tuy vậy, theo những đánh giá hiện nay, những động đất mạnh như thế này ít có khả năng xảy ra tại khu vực này.

Vùng nguồn động đất thứ 2 có khả năng gây sóng thần nguy hiểm cho bờ biển Việt Nam là vùng nguồn ở khu vực ngoài khơi Bắc Trung Bộ, phía nam đảo Hải Nam. Tuy vậy, theo những đánh giá hiện nay, rất khó có khả năng động đất có độ lớn $M_w = 7$ xảy ra tại vùng nguồn sóng thần này.

VI.1.3. Một số nhận định

Khả năng xảy ra sóng thần ven biển và hải đảo Việt Nam là không lớn, nhưng thực sự tồn tại. Vì vậy, cần thiết phải xây dựng và vận hành Trung tâm thông tin động đất và cảnh báo sóng thần cũng như hệ thống bản đồ cảnh báo nguy cơ, bản đồ rủi ro sóng thần.

Với các kết quả nghiên cứu cho tới nay, có thể xác định được 3 vùng nguồn gây động đất có kèm theo sóng thần trên Biển Đông. Vùng nguồn nguy hiểm nhất là đới hút chìm Manila. Hai vùng nguồn ít nguy hiểm hơn là vùng nguồn tại đới đứt gãy nam Hải Nam và vùng nguồn tại đới hút chìm Ryukyu.

Khu vực có khả năng chịu ảnh hưởng mạnh nhất của sóng thần là khu vực Trung Trung Bộ, từ Đà Nẵng tới Quảng Ngãi.

VI.2. BẢN ĐỒ ĐỘ NGUY HIỂM SÓNG THẦN VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

Bản đồ nguy hiểm sóng thần (NHST) được xây dựng từ kết quả tính lan truyền sóng thần của các trận động đất kích bản, nó biểu diễn độ cao cực đại mà sóng thần có thể đạt tới ứng với các chu kỳ thời gian khác nhau. Bản đồ độ NHST được xây dựng giống như bản đồ độ nguy hiểm động đất (NHDD) theo lý thuyết Cornel (1968). Phương pháp tính theo độ NHDD được phát triển rộng rãi trong những năm 2000 [98], [112], [154], [173], [174], [175] thường có 3 bước tính: 1) Xác định tham số của vùng động đất và khoảng sai số. 2) Xác định phương trình (ở đây là độ cao ST tại bờ biển phụ thuộc vào nguồn). 3) Tính xác suất.

VI.2.1. Xây dựng bản đồ nguy hiểm sóng thần ven biển Việt Nam

Trong mục này trình bày các bước xây dựng bản đồ độ nguy hiểm sóng thần ở vùng ven biển Việt nam.

VI.2.2. Xác định các kịch bản động đất gây sóng thần

Rất nhiều các động đất kích bản được dùng để nghiên cứu đánh giá khả năng lan truyền sóng thần khu vực Biển Đông vào vùng ven biển nước ta. Tuy nhiên các động đất kích bản được chọn để tính bản đồ độ nguy hiểm sóng thần cho vùng ven biển Việt Nam đòi hỏi có tính tổng quan. Có khả năng phản ánh điều kiện thực địa chấn của các vùng nguồn động đất sóng thần vùng Biển Đông. Các nghiên cứu trước đã cho kết luận về khả năng lan truyền sóng thần trong vùng Biển Đông của các động đất sóng thần xảy ra trên đới hút chìm Manila là có ảnh hưởng lớn nhất tới vùng ven biển Việt Nam. Còn các động đất sóng thần xảy ra trên đới đứt gãy khác như Bắc Biển Đông, Parawan, ... có ảnh hưởng yếu, không đáng kể. Từ kết luận quan trọng này người ta chọn các kịch bản động đất xảy ra trên đới Manila là cơ sở số liệu tính bản đồ NHST.

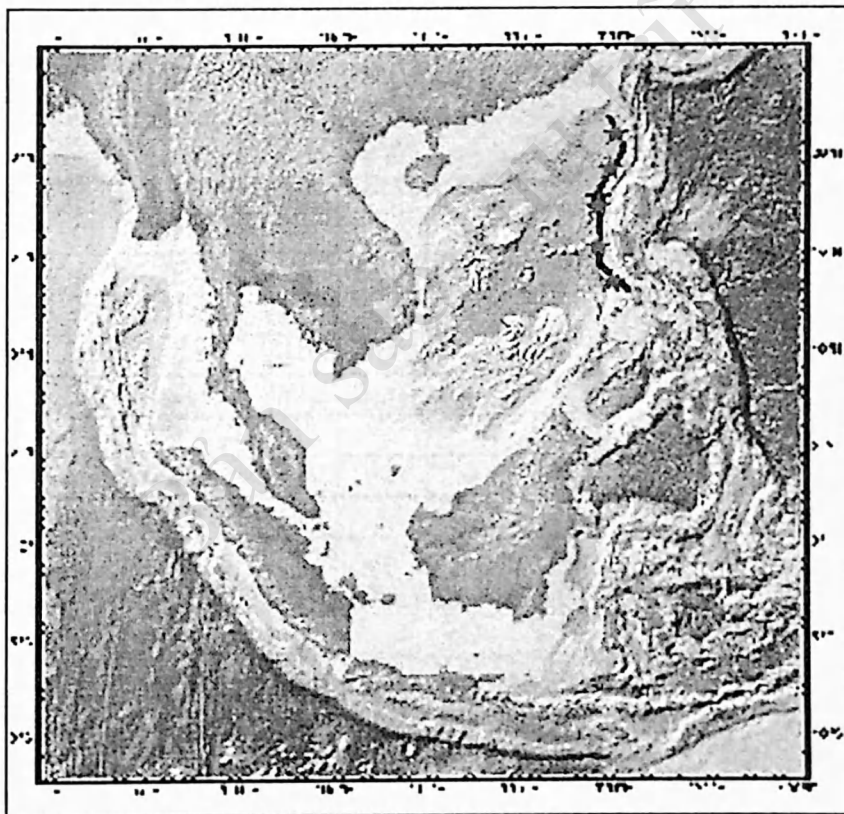
Đới hút chìm Manila có biểu hiện sự khác biệt rõ rệt về đường phương khi chuyển từ đoạn này sang đoạn khác (*Hình VI-1*) được chia làm 5 phân đoạn chính. Từ đó được xây dựng 5 kịch bản động đất sóng thần (ST) chính với magnitude động đất trong khoảng từ 8.3 đến 8.6. Theo quan điểm của các nhà địa chấn học Phillipin, động đất với magnitude cỡ 8.2 là hoàn toàn có thể xảy ra trên đới Manila. Ngoài ra theo các nhà nghiên cứu ST cũng có thể tạo ra do tổ hợp của 2 hay nhiều hơn các trận động đất có chấn tâm nằm gần kề nhau và xảy ra trong khoảng thời gian như nhau. Ở đây người ta chọn thêm 2 mô hình là tổ hợp của mô hình MNL3 với MNL4; và tổ hợp của cả 5 mô hình: MNL01, MNL02, MNL03, MNL04 và MNL05. Đây là hai mô hình mang tính chất mô phỏng, ít có khả năng xảy ra đặc biệt là kịch bản là tổ hợp của cả 5 mô hình. Các kịch bản cũng đã được xác định và sử dụng trong nghiên cứu trước [69]. Dễ dàng nhận thấy rằng tất cả các mô hình đều có magnitude động đất lớn hơn 8.0. Trong nghiên cứu này người ta bổ sung thêm một kịch bản có magnitude 8.0 vào để tính (*Bảng VI-1*). Phân bố chấn tâm các động đất sóng thần kịch bản dùng để tính bản đồ NHST được trình bày trên *Hình VI-16*.

Các thông số động đất dùng để tính sóng thần bao gồm tọa độ chấn tâm, chiều dài đới đứt gãy (L), chiều rộng đới đứt gãy (W), độ sâu chấn tiêu động đất (h), góc cắm (δ), góc trượt (λ), góc phương vị (θ) và độ lớn động đất (magnitude cực đại), được xác định cho từng kịch bản. Các tham số như: vị trí xảy ra động đất, góc phương vị, góc cắm, góc trượt, chiều dài đứt gãy được xác định trên bản đồ. Magnitude cực đại, chiều rộng được xác định theo các công thức thực nghiệm biểu diễn mối tương quan giữa các đặc trưng của nguồn.

Công thức của Wells và Coppersmith (1994), được xây dựng trên cơ sở các số liệu thực nghiệm và hiện đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới. Theo các công thức này, đối với động đất theo cơ chế trượt bằng, giữa độ lớn moment M_w của động đất và chiều dài L (km), chiều rộng W (km) của đới đứt gãy có mối tương quan sau:

$$M_w = 4,38 + 1,49 \log(L) \tag{VI.1}$$

$$M_w = 4,06 + 2,25 \log(W) \tag{VI.2}$$



Hình VI-16. Phân bố chấn tâm động đất của đới Manila dùng tính độ NHST

Giữa độ lớn động đất và diện tích mặt đứt đoạn A (km^2) có mối tương quan sau:

$$M_w = 4,07 + 0,98 \log(A) \tag{VI.3}$$

Với những trận động đất xảy ra ở đới hút chìm Abe, 1975 [75] đưa ra cách tính magnitude cực đại từ năng lượng của trận động đất, mômen địa chấn M_0 . Theo Aki [77], mô men địa M_0 chấn được tính từ độ suy giảm ứng suất σ và diện tích phá hủy của đứt gãy:

$$M_0 = \xi \sigma A^{3/2} \quad (VI.4)$$

ξ là tham số liên quan tới hình dạng của đứt gãy và được tính:

$$\xi = \frac{3\pi}{16} \sqrt{\frac{W}{L}} \quad (VI.5)$$

Theo Abe [75] ξ và σ là hằng số đối với động đất Thái Bình Dương, cụ thể là $\xi=0.41$ và $\sigma=30$ bar. Khi đó công thức (VI.4) được viết:

$$M_0 (\text{dyne.cm}) = 1.23 \times 10^{22} A^{3/2} \quad (VI.6)$$

Magnitude của động đất được tính dựa trên mô men địa chấn của trận động đất:

$$M = (\text{Log}_{10}(M_0) - 16.05) / 1.5 \quad (VI.7)$$

Bảng VI-1 là các động đất kích bản và các tham số được xác định từ 2 phương pháp Wells và Coppersmith (kích bản 8) và Abe.

Bảng VI-1. Các kích bản động đất gây ST vùng Biển Đông dùng xây dựng bản đồ nguy hiểm ST Việt Nam

KB	Mô hình	Tọa độ		Độ sâu	Chiều dài	Chiều rộng	Đường phương	Góc dốc	Góc trượt	M_w
1	MNL1	120.00	20.88	40	201.3	154.5	334.46	15	90	8.5
2	MNL2	119.79	19.12	40	243.9	154.5	33.29	15	90	8.6
3	MNL3	119.18	17.13	40	234	116.9	359.81	20	90	8.5
4	MNL4	119.18	15.08	40	223.5	80.0	360.02	30	90	8.3
5	MNL5	120.01	13.33	40	242.3	94.6	311.69	25	90	8.4
6	MNL3+4									
7	MNL1+2+3+4+5									
8	MNL6	119.10	17.5	20	158	45	357	40	90	8.0

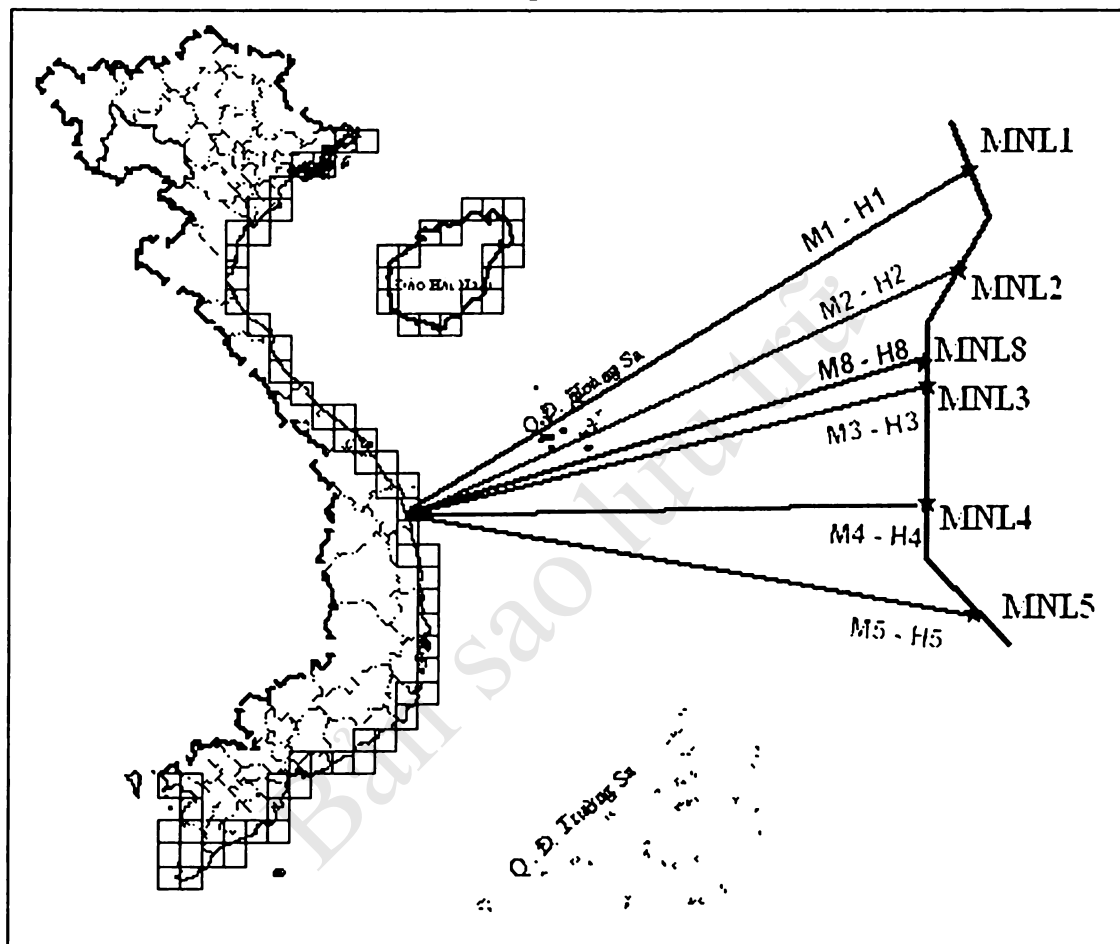
VI.2.1.2. Xác định công thức liên hệ độ cao sóng thần theo magnitude động đất cho Việt Nam

Theo Aide (1988) độ cao ST tại vị trí nào đó trên bờ biển do trận động đất có magnitude M gây nên được xác định theo công thức:

$$M = \text{Log}H_{n,\max} + b \quad (VI.8)$$

Trong đó b là hằng số tại vị trí quan sát. Điều đó có nghĩa là tại một vị trí bất kỳ trên bờ biển nếu ta biết hệ số b và độ lớn của trận động đất thì dùng công thức (VI.8) ta có thể tính được độ cao ST tại đó. Thông thường hệ số b được xác định bằng số liệu quan trắc. Sau mỗi trận động đất ST người ta đo mực nước tại các điểm quan trắc trên bờ biển rồi dựa vào độ lớn trận động đất xác định hệ số b . Dễ dàng thấy rằng giá trị của b phụ thuộc vào vị trí quan sát và cấp độ mạnh của trận động đất. Trên thực tế điều này hết sức khó khăn vì thiếu số liệu quan sát. Đặc biệt với bờ biển Việt Nam chưa có ghi nhận chính xác về ST đã xảy ra trong quá khứ. Trong điều kiện ấy ta áp dụng phương pháp

tính độ cao sóng lý thuyết từ các trận động đất ST kịch bản rồi từ đó xác định hệ số b . Từ các kịch bản động đất, dùng chương trình MOST để tính độ cao sóng cực tại vị trí 10m độ sâu đáy biển. Khi tính độ cao ST cho những điểm tại bờ biển tương ứng, ta nhân giá trị này với hệ số 2, đây là giá trị được nhiều nước sử dụng khi dùng MOST. Do độ cao cực đại ST thay đổi nhiều ở các vị trí liền kề nên bờ biển Việt Nam được chia đều theo các ô lưới dọc theo đường bờ biển từ vĩ độ 8° - 22° để tính b .



Hình VI-17. Cách chia lưới để tính hệ số b

Các kết quả khảo sát ảnh hưởng ST theo các kịch bản trên cho thấy độ cao sóng cực đại tại vùng biển miền Trung từ Đông Hà, Huế tới Nha Trang, Phan Rang,... là khu vực ST có giá trị cao đối với các mô hình. Giống như miền Bắc, khu vực bờ biển phía Nam ST rất yếu. Hai kịch bản MNL03 và MNL04 là hai mô hình nguồn có đường phương gần giống nhau và gần với phương kinh tuyến và được cho là vị trí có khả năng tạo ST nguy hiểm cho bờ biển Việt Nam. So sánh độ cao ST ở cả 2 mô hình này thấy các vị trí gần Đông Hà, Huế, Hội An và Quảng Ngãi có độ cao ST lớn nhất, nhiều chỗ cao tới 5m như ở Hội An, Huế, ... đặc biệt ở vùng Quảng Ngãi cao tới hơn 6m. Hai kịch bản 06 và 07 là 2 trường hợp tổ hợp của 2 và 5 mô hình. Đây là hai mô hình mang tính chất mô phỏng, ít có khả năng xảy ra đặc biệt là kịch bản 07, ST trong cả hai trường hợp này rất cao có chỗ cao tới 7m và 11m.

Dựa vào kết quả tính lan truyền sóng thần của mỗi kịch bản, ta “nhặt” ra độ cao sóng cực đại tại các vị trí dọc theo bờ biển. Bờ biển Việt Nam được chia thành các ô lưới có kích thước cỡ khoảng 15kmx15km (Hình).

Tọa độ tâm của các ô lưới là vị trí tính độ cao sóng đạt tới bờ biển. Như vậy với 8 kịch bản động đất có magnitude khác nhau tại mỗi vị trí thu được 8 độ cao sóng thần khác nhau. Theo phương trình (VI.8) thành được 8 lập phương trình liên hệ giữa độ cao cột nước và độ lớn động đất ứng với 8 nguồn phát sinh động đất cho từng ô lưới.

Phương trình liên hệ giữa khoảng cách nguồn và độ lớn động đất của đới Manila đối với một vị trí là phương trình trung bình của 8 phương trình vừa dựng được. Đường bờ biển Việt Nam được chia ra khoảng 4000 ô lưới. Kết quả có hơn 4000 phương trình liên hệ. Sau khi đã xác định được hệ số B thay vào phương trình trên chúng ta có thể xác định được độ cao ST tại các điểm trên bờ biển khi biết độ lớn của động đất.

VI.2.1.3. Tần suất lặp lại động đất

Giá trị tần suất lặp lại của động đất sẽ ảnh hưởng tới bản đồ độ NHST. Tần suất lặp lại động đất biểu diễn bằng quan hệ magnitude-tần suất, còn gọi là đồ thị lặp lại động đất.

$$\lg N^*(M^3M_0) = a - bM \quad (VI.9)$$

Ở đây N^* là số lượng trung bình năm động đất magnitude lớn hơn và bằng M_0 ; a, b là các hệ số, xác định theo phương pháp bình phương tối thiểu, a chính là logarit số lượng động đất magnitude lớn hơn và bằng 0.

Ở đây chu kỳ lặp lại động đất với magnitude $\geq M$ sẽ là

$$T(M) = 10^{b(M-M_{ng})/\nu} \quad (VI.10)$$

$M_{ng}=5,5$ là ngưỡng magnitude quan sát trong vùng; ν là tần suất động đất ngưỡng

Từ giá trị đã tính ở trên các tác giả đã tính tần suất lặp lại động đất với các magnitude khác nhau xảy ra trên đới hút chìm Manila (Bảng VI-2).

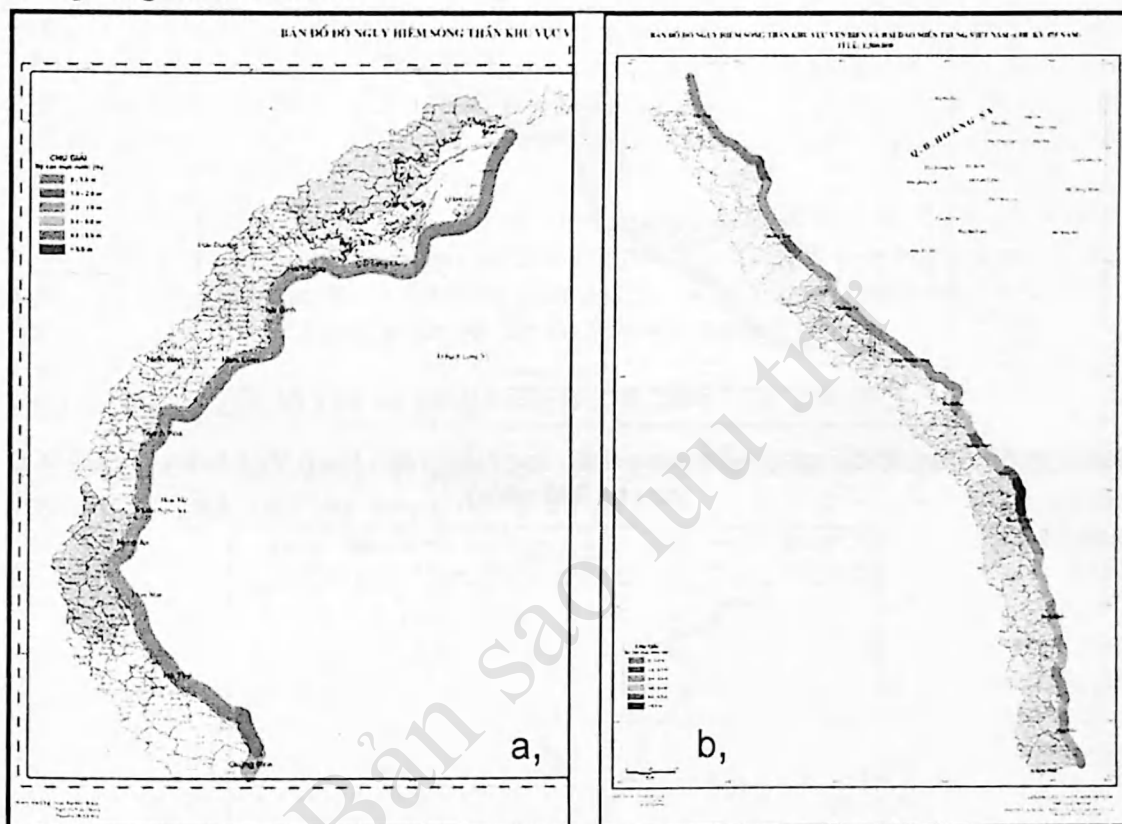
Bảng VI-2. Chu kỳ lặp lại động đất với các magnitude khác nhau

Magnitude	Chu kỳ lặp lại T(M)
Mw	N [*] m
7.0	22
7.5	61
8.0	167
8.5	459

VI.2.2. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần ven biển Việt Nam

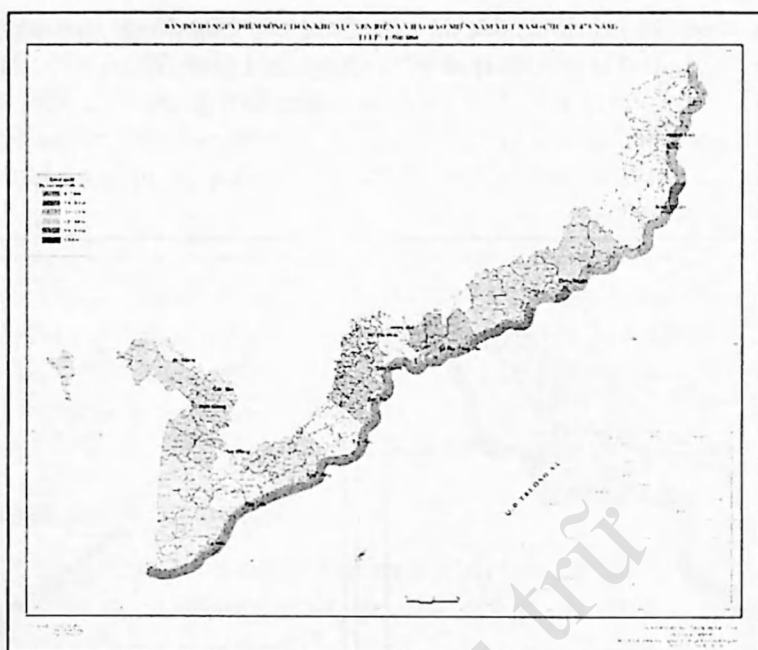
Bản đồ độ NHST cho toàn quốc được xây dựng từ 8 trận động đất kịch bản xảy ra trên đới hút chìm Manila theo các bước đã trình bày ở trên. Ở đây sử dụng chương trình tính bản đồ độ NHST do các chuyên gia Viện Địa chất và Hạt nhân, Niu Zilân viết riêng cho Việt Nam. Chương trình là kết quả của đề án hợp tác khoa học về “Đánh giá độ NHST và các giải pháp phòng tránh” giữa Viện Vật lý Địa cầu và Viện Địa chất và Hạt nhân Niu Zilân (2007-2009).

Dựa vào tần suất lặp lại động đất đã xây dựng các bản đồ độ cao sóng thần cực đại xác suất xuất hiện chấn động vượt quá 10% trong thời gian 50 và 100 năm, hay còn gọi là bản đồ nguy hiểm sóng thần trong các khoảng thời gian 475, 950 năm (Hình VI-18a,b; Hình VI-19). Đây là các chu kỳ cũng được xem xét tới trong đánh giá độ nguy hiểm động đất. Các kết quả cho thấy khu vực miền Trung là vùng có khả năng chịu ảnh hưởng sóng thần lớn nhất.

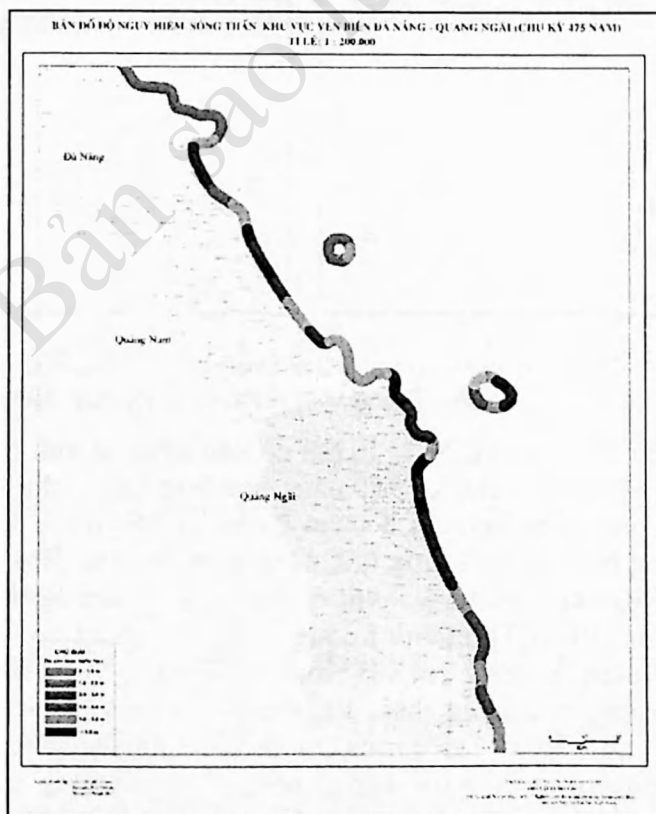


Hình VI-18. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần ven biển 1:500.000; a>. miền bắc Việt Nam; b>. miền Trung Việt Nam (chu kỳ 950 năm)

Vùng biển Tam Kỳ, Quảng Ngãi là nơi có khả năng bị ảnh hưởng sóng thần rất lớn, sóng cao tới hơn 6m ở chu kỳ 950 năm, hơn hơn 5 m ở chu kỳ 475 năm. Thành phố Đà Nẵng độ cao sóng khoảng 5 – 6m ở chu kỳ 950 năm, cao từ 4 – 5m ở chu kỳ 475 năm. Vùng biển miền Trung từ Quảng Ngãi tới Tuy Hòa sóng cao khoảng 5 – 6m ở chu kỳ 950 năm, và từ 3 – 4m ở chu kỳ 475 năm tại Phan Rang. Từ Tuy Hòa tới Phan Rang, Phan Thiết ảnh hưởng sóng thần giảm bớt, độ cao khoảng 2 – 3m ở chu kỳ 950 năm, khoảng 2m với chu kỳ 475 năm. Miền Bắc và miền Nam là vùng ít bị ảnh hưởng của sóng thần. Phần bờ biển từ Vũng Tàu tới mũi Cà Mau sóng thần có độ cao xấp xỉ 1m với cả 2 chu kỳ. Vùng biển từ Vinh tới Đà Nẵng chịu ảnh hưởng của sóng thần tuy không nhiều. Độ cao sóng cực đại đạt tới 5m ở chu kỳ 950 năm, khoảng 2m với chu kỳ 475. Riêng vùng biển từ Quảng Ninh tới Vinh ảnh hưởng của sóng thần là rất yếu.



Hình VI-19. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần ven biển miền Nam Việt Nam, 1:500.000 (chu kỳ 950 năm)



Hình VI-20. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần khu vực ven biển QN-ĐN, 1:200.000 (chu kỳ 950 năm)

VI.3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ RỦI RO SÓNG THẦN THÀNH PHỐ NHA TRANG (KHÁNH HÒA)

Các nghiên cứu đánh giá độ rủi ro động đất mới dừng ở số ít như đánh giá độ rủi ro động đất cho Thành phố Hồ Chí Minh, Hà Nội,... Cũng như công tác xây dựng bản đồ độ NHST cho đến nay chúng ta mới có duy nhất một nghiên cứu về tính toán độ rủi ro ST [69]. Việt Nam có 3260km bờ biển với nhiều thành phố soi mình trong làn nước biển trong xanh và nhiều bãi biển đẹp mơ màng, kỳ thú. Việc nghiên cứu đánh giá độ NHST và độ rủi ro ST để từ đó có chiến lược quy hoạch, xây dựng các phương án ứng phó kịp thời với thiên tai ST, nhằm bảo vệ các thành phố ven biển là nhiệm vụ cấp thiết.

Đánh giá độ rủi ro sóng thần cho một khu vực được dựa trên việc đánh giá thiệt hại về người và của do sóng thần gây nên. Cơ sở số liệu dùng để tính rủi ro sóng thần là: bản đồ ngập lụt do trận động đất sóng thần gây ra, bản đồ độ cao địa hình, cơ sở dữ liệu về các công trình xây dựng, phân bố dân cư khu vực nghiên cứu.

VI.3.1. Đánh giá độ rủi ro sóng thần thành phố Nha Trang

Thành phố Nha Trang có diện tích là 251 km² và dân số: 361.454 người. Nha Trang có 27 xã, phường trong đó có 20 phường xã giáp và gần biển. Trung tâm Nha Trang nằm giữa hai con sông, gồm khu vực nội thành với các phường Xương Huân, Vạn Thanh, Vạn Thắng, Phương Sài, Phương Sơn, Ngọc Hiệp, Phước Tiến, Phước Tân, Phước Hòa, Tân Lập, Lộc Thọ, Phước Hải, Phước Long, Vĩnh Trường, Vĩnh Nguyên và các xã ngoại thành phía tây gồm Vĩnh Hiệp, Vĩnh Thạnh. Bờ biển Nha Trang dài khoảng 7km, trải dài từ xóm Cồn đến cảng Cầu Đá với nhiều bãi tắm lý tưởng nằm trên đoạn đường Trần Phú. Đó là một con đường rất đẹp nằm lượn theo bờ biển với rất nhiều ngôi biệt thự xinh xắn, những khách sạn cao cấp, nhà hàng sang trọng nối liền nhau. Xen vào đó là một hệ thống dịch vụ gồm bưu điện, nhà bảo tàng, thư viện, câu lạc bộ, các cửa hàng bán đồ lưu niệm.

Ở Nha Trang có nhiều trường đại học, học viện, viện nghiên cứu, các trường cao đẳng, trường dạy nghề, các trung tâm triển khai các tiến độ kỹ thuật chuyên ngành đã biến nơi đây thành một trung tâm khoa học - đào tạo của cả vùng Nam Trung bộ. Độ rủi ro sóng thần được tính dựa trên 2 phần: một là thiệt hại về của cải vật chất, hai là thiệt hại về người.

VI.3.1.1. Cơ sở dữ liệu về công trình xây dựng thành phố Nha Trang

Dựa vào kinh nghiệm, các mẫu phân chia nhà của, công trình xây dựng của các nhà khoa học Niu Zilân đã trình bày trên, người ta phân loại các công trình xây dựng cho Nha Trang. Các công trình xây dựng được phân ra nhiều loại phụ thuộc vào mục đích sử dụng công trình như được trình bày ở Bảng VI-3. Về chất lượng các công trình này ta chia ra làm 4 loại chính như ở Bảng VI-4.

Bảng VI-3. Phân loại công trình xây dựng theo mục đích sử dụng

Ký hiệu	Mô tả	%	Loại nhà	Tầng	limits
A1	Tòa nhà đơn	100	Du lịch	Nhiều loại	Khách sạn, nhà nghỉ, nhà khách
A2	Tòa nhà đơn	100	Cơ quan		
A3	Tòa nhà đơn	100	Cơ quan chính phủ-quân đội		
A4	Tòa nhà đơn	100	Hệ giáo dục		Trường học, nhà trẻ, mẫu giáo, đại học, cao đẳng
A5	Tòa nhà đơn	100	Y tế		Bệnh viện, phòng khám
A6	Tòa nhà đơn	100	Hỗ trợ khẩn cấp		Công an, quân đội, cứu hỏa, ...
B1	Nhà ở	100	Loại 1		Nhà cũ, gỗ, yếu và ít xây dựng
B2	Nhà ở	100	Loại 2		Nhà cũ, ít xây
B3	Nhà ở	100	Loại 4		Nhà mới xây, Hiện đại, 4 tầng
C1	Thương mại	100	Loại 1		Cũ, yếu và ít xây dựng
C2	Thương mại	100	Loại 4	≤ 4	Cơ quan hoặc quân đội sử dụng Tuổi trước 1975
C3	Thương mại	100	Loại 4	>4	Cơ quan hoặc quân đội sử dụng Tuổi trước 1975
D1	Lấn nhà ở	100	Loại 4	≤ 4	Cửa hàng, cửa hiệu, bán lẻ, nhà hàng, công nghiệp nhẹ Công trình xây dựng Cửa hàng tầng 1, sinh sống tầng trên Sau 1975
D2	Nhà ở	80	Loại 4	≤ 4	Cửa hàng, cửa hiệu, bán lẻ, nhà hàng, công nghiệp nhẹ Công trình xây dựng Cửa hàng tầng 1, sinh sống tầng trên
	khu thương mại	20	Loại 4	> 4	
D3	Lấn				
	Nhà ở	50	Loại 4	≤ 4	As D2
	Khu thương mại	50	Loại 4	> 4	
D4	Nhà ở	20	Loại 4	≤ 4	As D2
	Khu thương mại	80	Loại 4	> 4	
D5	Nhà ở	20	Loại 2	≤ 4	Cửa hàng, cửa hiệu, bán lẻ, nhà hàng, công nghiệp nhẹ Gỗ Cửa hàng tầng 1, sinh sống tầng trên ít hơn 4 tầng
	Khu thương mại	80	Loại 4	> 4	
E1	Du lịch	20	Loại 4	All	Khách sạn, Nhà nghỉ, Nhà khách
	Khu thương mại	80	Loại 4		Cửa hàng, cửa hiệu, bán lẻ, nhà hàng, công nghiệp nhẹ

Bảng VI-4. Phân loại công trình theo chất lượng xây dựng

Loại	Tên	Hệ số	
1	Nhà gỗ, hoặc nhà khung gỗ, tường xung quanh là các vật liệu nhẹ	Tuổi < 3, HS=1	Nhà cũ, cột gỗ, thiếc
2	Nhà gạch đơn giản, tường có thể trát hoặc không trát	Tuổi < 3, HS=2	Nhà cũ kiểu đơn giản
3	Nhà gạch hoặc gỗ có cột chịu lực bằng bê tông	Tuổi > 3, HS=1, 2	1975 nhà trụ gỗ hoặc xây
4	Nhà cột bê tông thép	HS=3	Kiểu nhà hiện đại

Phân vùng các công trình xây dựng Nha Trang: Từ bảng phân loại các công trình xây dựng và các số liệu khảo sát thực tế được tổng kết thành số liệu hiện trạng công trình khu vực Nha Trang và thể hiện trên bản đồ địa lý theo từng vùng. Ở những vùng đông dân, các công trình xen kẽ không tách rời nhau và khu dân cư xen lẫn cửa hàng cửa hiệu người ta sử dụng phương pháp gán đúng để xác định diện tích mặt bằng công trình bằng cách chia đều những vùng đông đúc có mật độ nhà cửa cao đó ra làm nhiều ô có kích thước như nhau là 15m x 15m. Diện tích xây dựng được tính theo % của kích thước này và mỗi ô được gán cho các kiểu xây dựng. Toàn bộ tọa độ trung tâm của các khu xây dựng và tòa nhà đơn lẻ được đưa lên quản lý trên GIS – Arcmap theo các lớp thông tin của các công trình xây dựng. Bảng dữ liệu của công trình xây dựng được trình bày trên *Bảng VI-5*.

Bảng VI-5. Công trình xây dựng và phân bố dân cư được quản lý trên hệ thống tin địa lý

Vị trí		Phường	Diện tích	Số người - ban ngày			Số người - ban đêm		
				Tầng1	Tầng2	Tầng3	Tầng1	Tầng2	Tầng3
109.22	12.19	Vĩnh Nguyên	100.88	1	0	0	1	4	0
109.22	12.19	Vĩnh Nguyên	37.1	1	0	0	2	3	0
109.22	12.19	Vĩnh Nguyên	82.87	1	0	0	1	4	0
109.23	12.19	Vĩnh Nguyên	179.73	0	1	0	3	2	0
109.23	12.19	Vĩnh Nguyên	179.73	1	0	0	5	0	0
109.23	12.19	Vĩnh Nguyên	179.73	1	0	0	5	0	0
109.23	12.19	Vĩnh Nguyên	179.73	1	0	0	4	0	0
109.23	12.19	Vĩnh Nguyên	179.73	1	0	0	5	0	0
109.23	12.19	Vĩnh Nguyên	179.73	1	0	0	4	0	0
109.20	12.25	Lộc Thọ	650.35	16	5	5	3	6	5

109.20	12.25	Lộc Thọ	1230.87	21	5	5	3	6	6
109.20	12.25	Lộc Thọ	1512.69	25	6	6	3	8	7
109.20	12.25	Lộc Thọ	993.65	24	6	6	3	8	7
109.19	12.24	Lộc Thọ	224.43	43	43	43	3	0	0
109.19	12.24	Lộc Thọ	604.51	116	116	116	3	0	0
109.20	12.25	Lộc Thọ	362.85	70	70	70	3	0	0
109.19	12.24	Lộc Thọ	503.36	207	207	207	2	0	0
109.19	12.24	Lộc Thọ	286.64	31	31	31	3	0	0
109.19	12.24	Lộc Thọ	445.75	48	48	48	3	0	0
109.19	12.25	Lộc Thọ	681.75	74	74	74	3	0	0
109.18	12.24	Phước Tiên	197.27	1	0	0	4	8	0
109.18	12.24	Phước Tiên	197.27	0	1	0	3	9	1
109.18	12.24	Phước Tiên	203.73	0	0	0	4	8	0
109.18	12.24	Phước Tiên	203.73	0	1	0	4	9	0
109.18	12.24	Phước Tiên	203.68	1	0	0	3	9	1
109.20	12.22	Vĩnh Nguyên	184.66	4	1	1	6	6	2
109.20	12.22	Vĩnh Nguyên	184.66	25	8	5	4	0	0
109.20	12.22	Vĩnh Nguyên	184.66	33	7	4	4	0	0
109.20	12.22	Vĩnh Nguyên	184.66	4	1	1	6	6	2
109.20	12.22	Vĩnh Nguyên	184.66	25	8	5	4	0	0
109.20	12.22	Vĩnh Nguyên	184.66	4	1	1	6	6	2

VI.3.1.2. Cơ sở dữ liệu về phân bố dân cư thành phố Nha Trang

Phân bố dân cư theo các đơn vị phường xã được thành phố Nha Trang công bố trên Niên giám thống kê hàng năm. Dựa vào bảng thống kê này (Bảng VI-6) và bằng phương pháp thống kê, người ta phân chia số người vào từng đơn vị công trình cho một số phường xóm.

Số người có mặt tại từng tòa nhà, trên từng tầng, trong từng căn phòng của nhà ở, khách sạn, công sở trường học... Đặc biệt các số liệu này còn phụ thuộc vào thời gian ngày (trong giờ làm việc) hay đêm nữa. Ở đây để giảm bớt sự phức tạp thời gian được chia ra làm 2 phần ngày và đêm. Có nghĩa là ban ngày, trong giờ làm việc thì hầu hết người dân đi làm, đi học... còn hết giờ làm việc, tối và đêm thì họ sẽ ở nhà. Phân bố dân cư theo thời gian được chia ra: 65% ở bên trong các công trình xây dựng vào ban ngày và 99,9% vào ban đêm.

Bảng VI-6. Số liệu thống kê hành chính Nha Trang năm 2006

TT	Phường	Số hộ dân	Dân số trung bình	Học sinh	Giáo viên	Trường học	Bệnh viện	Trạm y tế	Phòng khám	Lớp mẫu giáo
1	Vĩnh Trường	2871	14899	2328	89	1	0	1	0	9
2	Phước Đông	2818	12596	2628	110	3	0	1	0	10
3	Phước Long	4555	19068	934	38	3	0	1	0	22
4	Vĩnh Nguyên	4154	20449	4295	176	5	0	1	9	23
5	Phước Hòa	2624	13624	1950	89	2	0	1	0	10
6	Tân Lập	3265	14680	4634	186	5	0	1	13	15
7	Phước Tiến	1962	11663	1521	51	1	0	1	0	36
8	Lộc Thọ	3056	13465	1665	247	3	678	1	0	36
9	Phước Tân	2765	14430	6003	76	3	0	1	0	11
10	Phước Hải	3297	16437	3548	126	4	0	1	0	14
11	Phương Sơn	1903	10760	1832	73	2	0	1	0	13
12	Phương Sai	2250	12527	2785	144	3	0	1	12	14
13	Văn Thành	2570	13042	3150	124	2	0	1	0	17
14	Văn Thắng	2089	10963	890	29	1	0	1	0	6
15	Xương Huân	2350	14278	7817	236	4	0	1	0	3
16	Vĩnh Thọ	1712	10351	1452	64	2	0	1	8	5
17	Vĩnh Phước	4676	26000	5558	201	5	150	1	0	10
18	Ngọc Hiệp	2945	13552	698	28	1	0	1	0	7
19	Vĩnh Hải	4017	16966	2603	94	3	127	1	0	18

Lớp thông tin về phân bố dân cư được cộng thêm vào cơ sở dữ liệu các công trình xây dựng như trên *Bảng VI-5*.

Ngoài số liệu nhà cửa và cư dân để tính độ rủi ro còn cần một số thông tin khác như: lớp thông tin về giao thông, lớp thông tin về sông hồ, lớp thông tin về thảm thực vật, khu vực trồng lúa, làm muối,... tất cả đều được quản lý trên hệ thông tin địa lý.

VI.3.1.3. Bản đồ ngập lụt thành phố Nha Trang

Bản đồ ngập lụt là sản phẩm của quá trình mô phỏng sóng thần lan truyền lên bờ và được thể hiện trên bản đồ khu vực bị ngập lụt cục đại. Mức độ sóng thần xâm nhập lên bờ phụ thuộc vào các đặc điểm chi tiết của khu vực ngập lụt và số liệu địa hình sẵn có (Priest, 1995 [148]). Mức độ ngập lụt do sóng thần hay là thể tích nước được mang lên

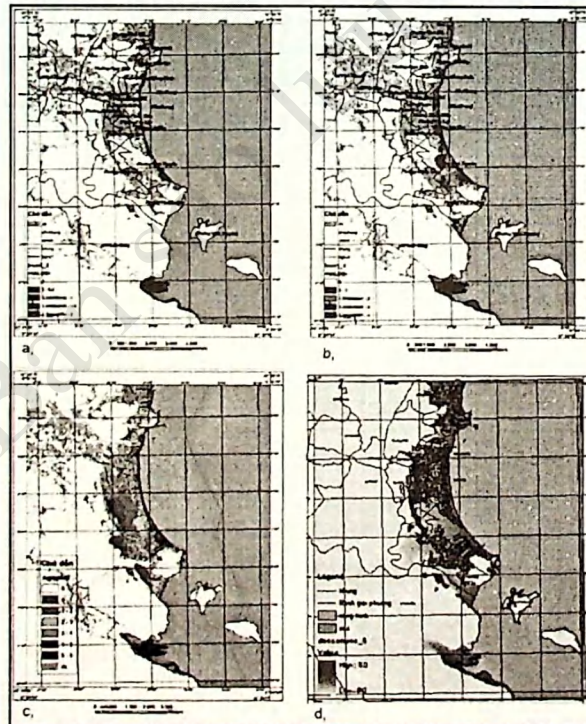
bờ liên quan trực tiếp đến kích thước của sóng thần, chu kỳ sóng của nó, tức là, liên quan trực tiếp đến kết quả độ cao sóng thần tại bờ biển trước khi lên bờ. Mặt khác, diện tích cắt ngang của đường bờ biển bị ngập bởi sóng thần hầu như bằng với diện tích của nước dưới đỉnh của sóng thần gần bờ (Hills và Mader, 1997 [122]).

Trong trường hợp không có số liệu về bản đồ ngập lụt thực tế khu vực nghiên cứu người ta có thể giả sử mực nước ngập do sóng thần gây ra tại bờ với các mức độ cao khác nhau như 2, 4, 6, 8 sau đó dùng các mô hình ngập lụt để tính độ cao nước ngập tại khu vực nghiên cứu. Ở đây áp dụng mô hình Anh cho trường hợp bờ biển bằng phẳng được biểu diễn:

$$X_{max} = 0.06H_o^{4/3} / n^2 \quad (VI.11)$$

Trong đó X_{max} là khoảng cách từ bờ biển tới vị trí ngập lụt, H_o là độ cao sóng tại bờ biển, n là hệ số bề mặt. Kết quả tính của lưới điểm quan sát sẽ cho bản đồ ngập lụt khu vực nghiên cứu.

Áp dụng phương trình tính ngập lụt của mô hình trên và bản đồ độ cao địa hình thành phố Nha Trang tỷ lệ 1:200.000 để dàng nhận được các bản đồ ngập lụt khác nhau ứng với độ cao sóng tại bờ được giả định theo các mức: 2m, 4m, 6m và 8m (Hình VI-21).



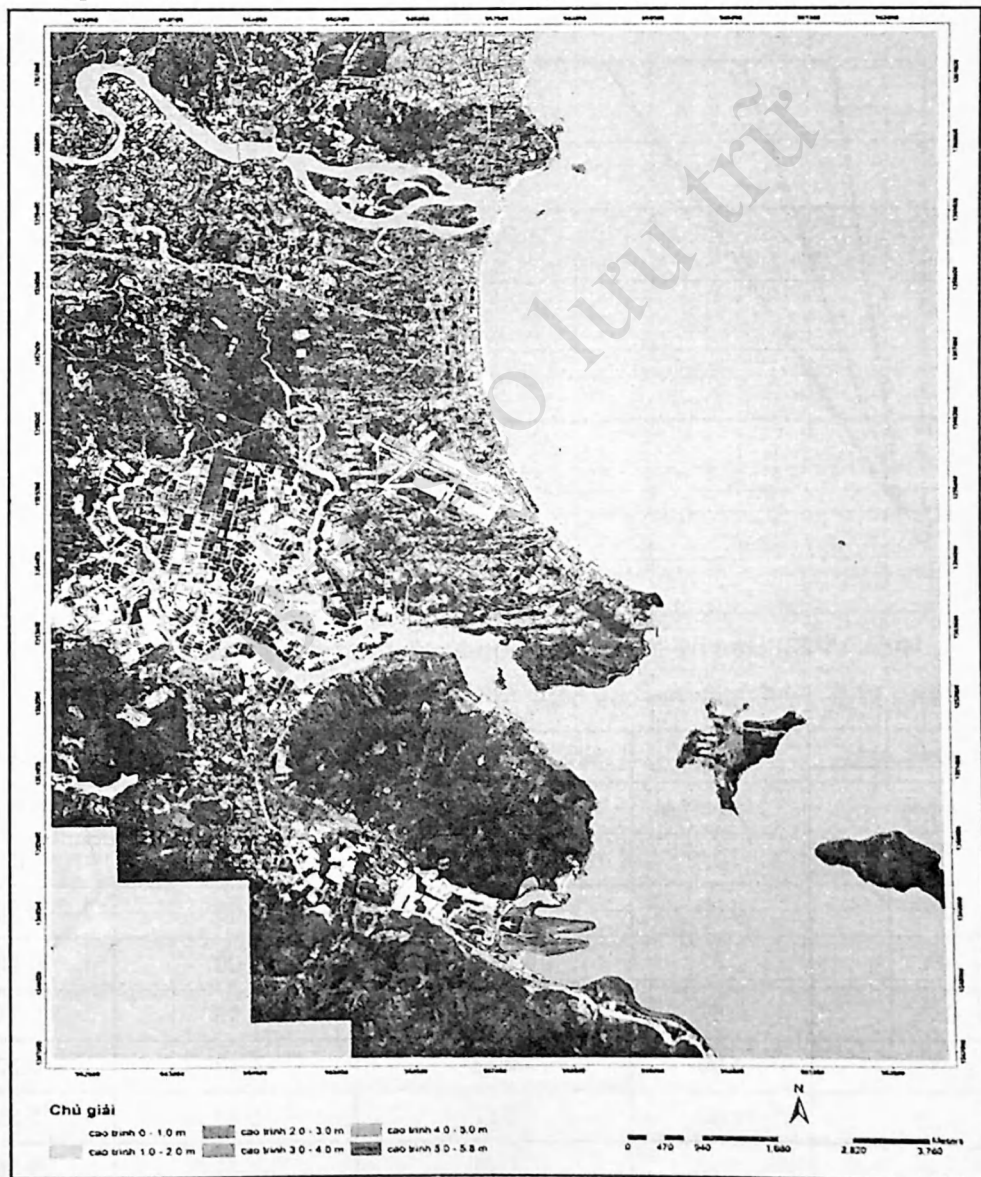
Hình VI-21. Bản đồ ngập lụt thành phố Nha Trang với độ cao sóng thần khác nhau:
a. 2m; b. 4m; c. 6m; d. 8m

Ngoài ra chúng ta cũng có thể tính được bản đồ ngập lụt từ những động đất kịch bản. Trong báo cáo này, ta tính rủi ro sóng thần cho thành phố Nha Trang theo kịch bản động đất xảy ra trên đới Manila (tọa độ: 119.10E và 17.5N) có các tham số được trình bày trên Bảng VI-7. Đây là động đất rất lớn ($M=9.0$) có dịch chuyển thẳng đứng cỡ 6m tại nguồn.

Bảng VI-7. Tham số động đất kịch bản dùng để tính bản đồ ngập lụt TP Nha Trang

	M_w	Momen M_0 (Nm)	Diện tích A km^2	Chiều dày đứt gãy L (km)	Chiều rộng đứt gãy W (km)	Khoảng dịch trượt Δu (m)	Hướng đứt gãy (θ độ)	Góc dốc (δ độ)	Góc trượt (λ độ)	Độ sâu chấn tiêu H (km)
Kb09	9	$3,5 \times 10^{22}$	70794	501	141	16,7	357	45	90	40

Bản đồ ngập lụt của động đất kịch bản cũng được đưa lên trên hệ thống tin địa lý cùng các lớp thông tin số liệu tính độ rủi ro sóng thần (Hình VI-22).

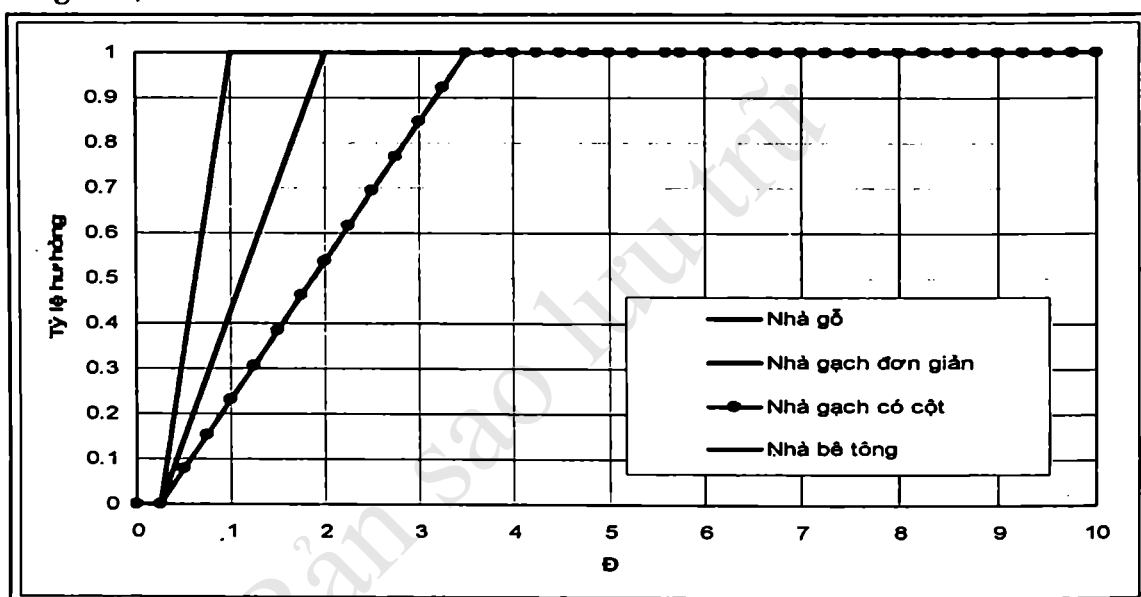


Hình VI-22. Bản đồ ngập lụt thành phố Nha Trang theo kịch bản động đất

VI.3.2. Kết quả tính rủi ro cho thành phố Nha Trang

Dựa vào số liệu điều tra và các kết quả thực tế về mức độ thiệt hại do sóng thần gây ra, ta xây dựng một vài quy ước để tính rủi ro về người và của so với mực nước dâng. Ví dụ nếu nước ngập 1m thì nhà gỗ đơn giản bị hư hại hoàn toàn; có khoảng 0,04% dân số khu vực bị chết và 0,045% dân số bị thương. Giá thành xây dựng công trình được đánh giá cho các công trình loại tốt, trung bình và kém là 300, 150 và 89 đô la Mỹ cho một mét vuông xây dựng.

Số liệu cụ thể về tỷ lệ tổn thất về kinh tế so với mực nước được biểu diễn ở *Bảng VI-8*, *Hình VI-23*. Số liệu cụ thể về tỷ lệ tổn thất về dân cư so với mực nước được biểu diễn ở *Bảng VI-9*, *Hình VI-24*.

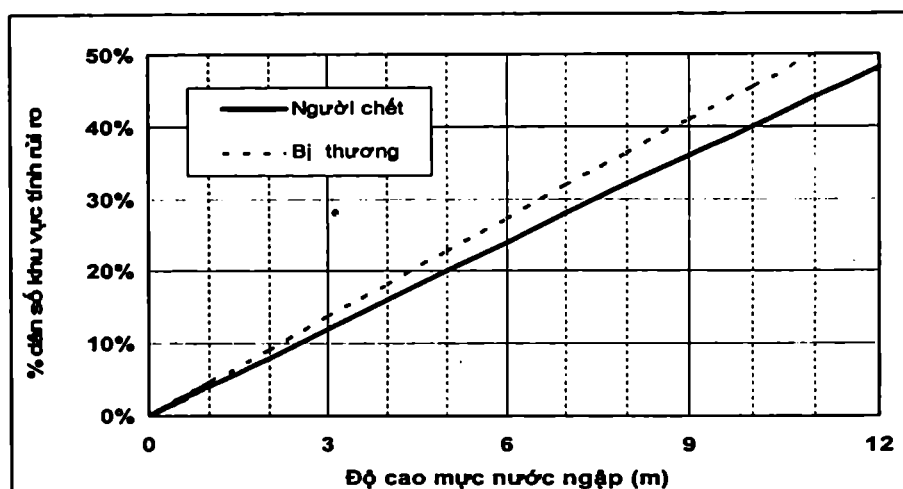


Hình VI-23. Liên hệ giữa độ cao nước và mức độ hư hại công trình

Bảng VI-8. Tỷ lệ thiệt hại của công trình xây dựng so với mực nước ngập

Mực nước ngập	Nhà gỗ	Nhà gạch đơn giản	Nhà gạch có cột	Nhà bê tông
x (m)	Tỷ lệ hư hại	Tỷ lệ hư hại	Tỷ lệ hư hại	Tỷ lệ hư hại
0	0	0	0	0
0.25	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.33	0.14	0.08	0.08
0.75	0.67	0.29	0.15	0.15
1	1.00	0.43	0.23	0.23
1.25	1.00	0.57	0.31	0.31
1.5	1.00	0.71	0.38	0.38
1.75	1.00	0.86	0.46	0.46

2	1.00	1.00	0.54	0.54
2.25	1.00	1.00	0.62	0.62
2.5	1.00	1.00	0.69	0.69
2.75	1.00	1.00	0.77	0.77
3	1.00	1.00	0.85	0.85
3.25	1.00	1.00	0.92	0.92
3.5	1.00	1.00	1.00	1.00
3.75	1.00	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00	1.00
4.25	1.00	1.00	1.00	1.00
4.5	1.00	1.00	1.00	1.00
4.75	1.00	1.00	1.00	1.00
5	1.00	1.00	1.00	1.00
5.25	1.00	1.00	1.00	1.00
5.6	1.00	1.00	1.00	1.00
5.75	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00
6.25	1.00	1.00	1.00	1.00
6.5	1.00	1.00	1.00	1.00
6.75	1.00	1.00	1.00	1.00
7	1.00	1.00	1.00	1.00
7.25	1.00	1.00	1.00	1.00
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00
7.75	1.00	1.00	1.00	1.00
8	1.00	1.00	1.00	1.00
8.25	1.00	1.00	1.00	1.00
8.5	1.00	1.00	1.00	1.00
8.75	1.00	1.00	1.00	1.00
9	1.00	1.00	1.00	1.00
9.25	1.00	1.00	1.00	1.00
9.5	1.00	1.00	1.00	1.00
9.75	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.00	1.00	1.00	1.00



Hình VI-24. Liên hệ giữa độ cao nước và mức tỷ lệ người chết và bị thương

Bảng VI-9. Tỷ lệ người chết và bị thương so với mực nước ngập

Mực nước ngập (m)	Tỷ lệ người chết	Tỷ lệ người bị thương
0	0.000	0.000
0.1	0.004	0.005
0.2	0.008	0.009
0.3	0.012	0.014
0.4	0.016	0.018
0.5	0.020	0.023
0.6	0.024	0.027
0.7	0.028	0.032
0.8	0.032	0.036
0.9	0.036	0.041
1	0.040	0.045
2	0.08	0.09
3	0.12	0.14
4	0.16	0.18
5	0.20	0.23
6	0.24	0.27
7	0.28	0.32
8	0.32	0.36
9	0.36	0.41
10	0.40	0.45
12	0.48	0.55

Kết quả tính độ rủi ro sóng thần thành phố Nha Trang được thể hiện trên *Bảng VI-10*.

Bảng VI-10. Kết quả tính độ rủi ro ST thành phố Nha Trang theo các mô hình và kịch bản động đất

Mô hình	Mức nước ngập	Tổn thất về kinh tế USD	Tổn thất dân cư			
			Người chết		Bị thương	
			ngày	đêm	ngày	đêm
Mô hình	2	12 983 584	94	418	98	422
		0.11%	0.03%	0.17%	0.03%	0.17%
	4	174 506 537	1204	909	1356	975
		1.47%	0.4%	0.37%	0.49%	0.4%
	6	940 307 223	7470	3222	8469	3595
		7.96%	2.7%	1.3%	3.0%	1.4%
8	2 500 224 471	18 164	9608	20 616	6 837	
	21.1%	6.6 %	3.9%	7.5%	4.4 %	
Kb05		1 873 845 507	4471	6085	5050	6837
		15.8%	1.6%	2.5%	1.8%	2.8%

Kết quả tính rủi ro cho thấy sóng thần do động đất kịch bản tạo ra gây tổn thất gần với mô hình khi mức sóng lên tới độ cao 6m. Tuy nhiên đây mới chỉ là những kết quả rủi ro sóng thần ban đầu cần được tiếp tục bổ sung nghiên cứu thêm.

Chương VII

ĐÁNH GIÁ BƯỚC ĐẦU VỀ CỎ SÓNG THẦN TRÊN VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

VII.1. CÁC DẤU TÍCH NGHI NGỜ VỀ CỎ SÓNG THẦN

Hầu hết các đợt sóng thần có sức tàn phá lớn đều được hình thành từ các trận động đất mạnh có chấn tâm nông. Thông thường chúng là những trận động đất phát sinh tại các đới hút chìm, các đứt gãy phát sinh động đất tại vùng biển, hồ sâu. Khi động đất mạnh xảy ra dọc theo các đứt gãy này sẽ gây ra sự dịch trượt đột ngột theo phương thẳng đứng khiến bề mặt đáy biển thay đổi, kéo theo sự dịch chuyển của khối nước trên nó và gây nên sóng thần. Những gì biết được thông qua tư liệu lịch sử và điều tra trong nhân dân thì dọc bờ biển Việt Nam chưa có chứng cứ rõ ràng về sự xuất hiện sóng thần nguồn gốc động đất [30].

Theo Đại Nam Thực lục chính biên (37 tập) thì trận động đất năm 1877 được ghi nhận như sau: tháng 9 năm 1877, tại Bình Thuận, “Động đất, từ đây đến tháng 12 tất cả 3 lần, lần đầu nước sông cuốn lên, nhà ngói cũng rung động, hai lần sau nhẹ hơn”. Trận động đất này được các nhà địa chấn Viện Vật lý Địa cầu đánh giá chỉ có 5,1 độ Richter, tuy vậy theo số liệu của NOAA thì có $M=7,0$ độ Richter, gây sóng to. Liệu có phải động đất đã gây nên sóng thần địa phương hay không?

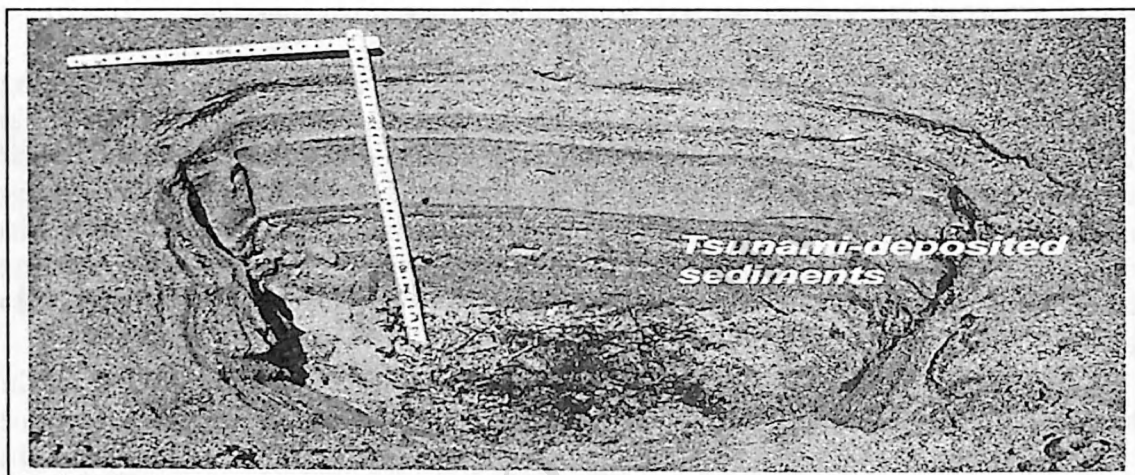
Kết quả điều tra sóng thần trong nhân dân dọc ven biển Việt Nam (Nguyễn Đình Xuyên và nnk..., 2005; lưu VLĐC) cho thấy ngoài sóng bão, thủy triều, nước dâng, đã phát hiện một số hiện tượng sóng lớn? mà các tác giả gọi là sóng thần có nguồn gốc khác:

- “Năm 1978 sóng thần đã thực sự xuất hiện ở vùng bờ biển Trà Cổ, Móng Cái. Sóng cao 3-5 m đã tràn vào bờ nhiều đợt, làm nứt tường nhà, đổ các hàng cây phi lao ven bờ”.

- “Theo ghi chép của TS Armand Krempt năm 1923, sóng thần đã phá hỏng chuồng ngựa của bác sĩ Alexandre Yersin. Vị trí chuồng ngựa cách bờ biển 5-6m. Sự cố này liên quan với phun trào núi lửa ở đảo Hòn Tro. Vùng biển Nam Trung Bộ và Nam Bộ là vùng hoạt động núi lửa hiện đại. Năm 1923 phun trào núi lửa diễn ra ở đảo Hòn Tro trong quần đảo Phú Quý đã gây động đất núi lửa 6,1 độ Richter. Năm 1960, 1963 hoạt động núi lửa lại diễn ra nhưng yếu hơn. Việc phun trào núi lửa Hòn Tro gây sóng thần cho thấy hoạt động núi lửa cũng là một nguồn sóng thần đáng chú ý trong vùng Biển Đông”.

- “Theo lời kể của những người cao tuổi, vào cuối thế kỷ 19 hoặc đầu thế kỷ 20, hiện tượng sóng thần cũng đã xảy ra ở Diễn Châu (Nghệ An). Sóng cao như sóng bão xảy ra ở đây năm 1984” (5-10 m).

- “Một hiện tượng đáng chú ý nữa đã xảy ra ở Tuy Hoà, Nha Trang ngày 4/5 năm 1991, trước ngày núi lửa Pinatubo, Philippin, phun trào. Nước biển rút ra xa, nhiều tàu nhỏ lộ trên bãi cát, mọi người sợ hãi chạy vào bờ, không hiểu là hiện tượng gì xảy ra. Một lúc sau nước lại trở lại nhưng do đứng xa nên không rõ cao hơn hay bằng mực nước ban đầu. Ông Đỗ Minh Tiếp, một người trong đoàn cán bộ địa chất khảo sát, đào hố lấy mẫu ở bờ biển, những người chứng kiến hiện tượng, đánh giá: nước đã rút 2m so với mức bình thường. Nhiều người dân cũng chứng kiến hiện tượng này và đều tỏ ra sợ hãi. Sáng ngày 5/5 toàn bộ vùng Khánh Hoà bị bao phủ một lớp tro bụi dày vài milimét đến vài centimét, đó là tro bụi từ núi lửa Pinatubo”.

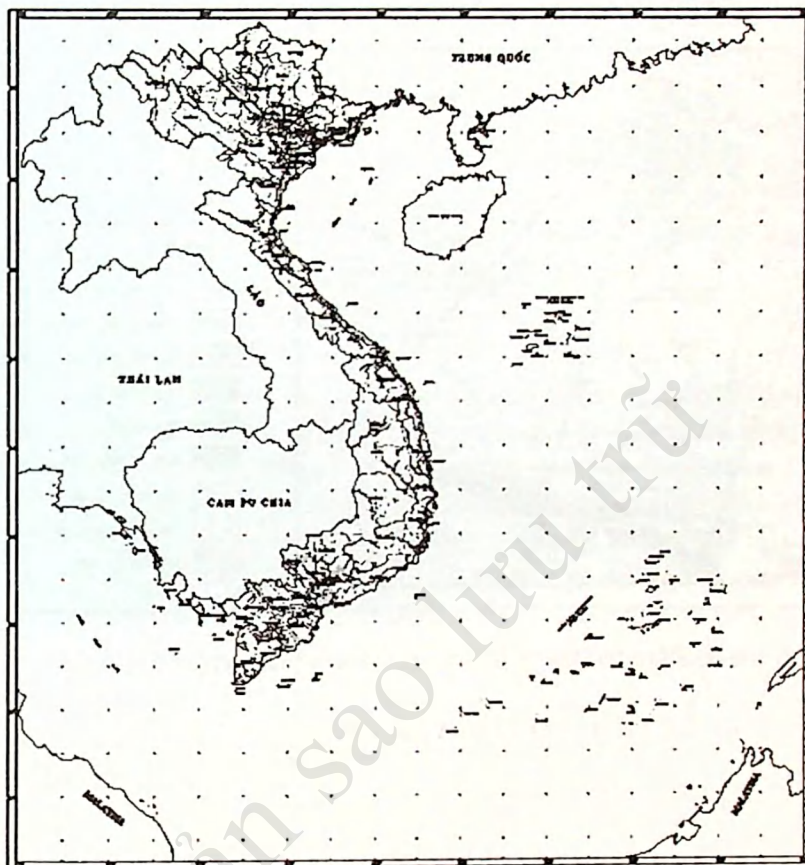


Hình VII-1. Một lớp vật liệu trầm tích từ biển đã được sóng thần ngày 26 tháng 12 năm 1004 cuốn lên phủ lấp trên đất trồng trọt có từ trước đó (ảnh của Yuichi Nishimura, Hokhaido University, Nhật Bản)

Theo các kết quả điều tra khảo sát trong nhân dân và nghiên cứu cổ sóng thần vừa qua cho thấy đã có cơ sở nghi ngờ về sự xuất hiện cổ sóng thần dọc ven biển Việt Nam. Vì vậy, việc đặt vấn đề nghiên cứu một cách chi tiết để có kết luận thích hợp hơn là cần thiết và có ý nghĩa khoa học. Và đây cũng là lý do chọn khu vực nghiên cứu phục vụ cho đề tài độc lập cấp Nhà nước giai đoạn 2007 – 2010: *Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần vùng ven biển và hải đảo Việt Nam và đề xuất các giải pháp phòng tránh giảm nhẹ hậu quả*. Cụ thể nhiệm vụ đặt ra cho nghiên cứu cổ sóng thần là *xây dựng mặt cắt địa chất - địa mạo để nghiên cứu cổ sóng thần khu vực: Trà Cổ; Diên Châu; Tuy Hoà; Ninh Thuận – Bình Thuận; và Bà Rịa – Vũng Tàu*.

Nghiên cứu cổ sóng thần là công việc còn mới mẻ ở nước ta, chưa có các chuyên đề và hệ thống phương pháp bài bản và có tính khoa học đáng tin cậy. Mặc dù vậy, trong nghiên cứu cổ sóng thần các phương pháp địa chất, địa mạo là cơ sở để xác định các dấu hiệu biểu hiện có tính bất thường, thường khó hoặc không thể lý giải bằng những chứng cứ, dẫn liệu và lý luận thông thường của địa chất học. Chính vì vậy, mục tiêu và nhiệm vụ xác định các dấu hiệu bất thường như thế được tập thể nghiên cứu của chuyên đề này là xác lập các mặt cắt địa chất-địa mạo định hướng xác định các biểu hiện dị thường về trầm tích, cổ địa mạo theo không gian (sự phân bố, sắp xếp các đối tượng nghiên cứu) và thời gian (trật tự địa tầng theo chiều ngang và đứng của chúng). Đây là công việc khó khăn do các tài liệu hiện có chỉ mang tính diễn giải, mô tả các thành tạo địa chất và các

yếu tố địa mạo theo các phương pháp truyền thống, theo các quy luật địa chất thông thường nhất định, bỏ qua nhiều yếu tố có tính dị thường, bất thường. Công tác điều tra thực địa và thu thập mẫu phần nào bổ sung các khiếm khuyết nêu trên.

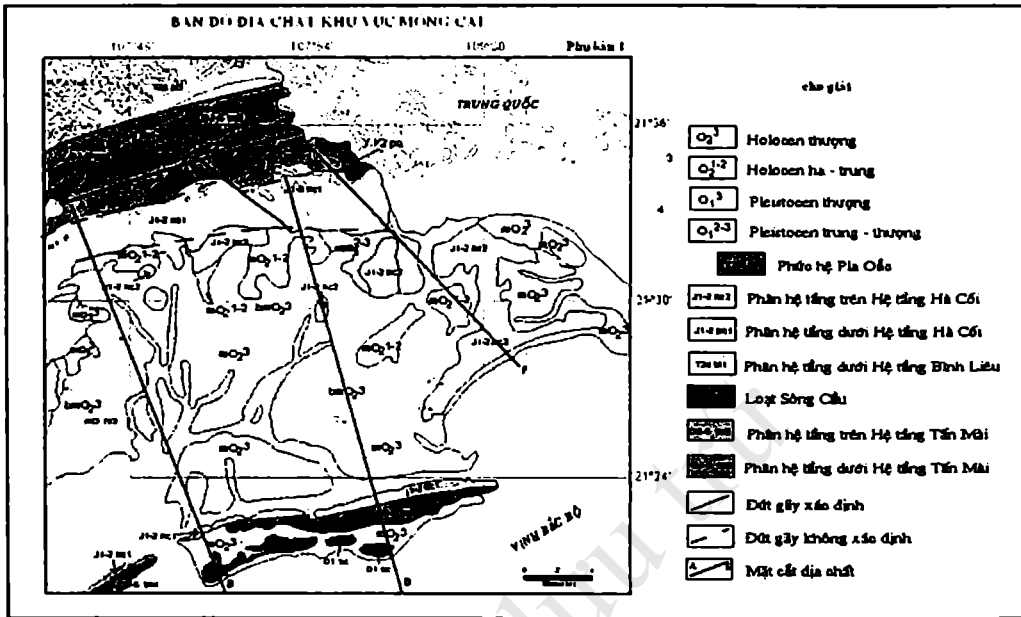


Hình VII-2. Vị trí các điểm phát hiện dấu tích sóng thần ở Việt Nam



Hình VII-3. Vết tích nghi ngờ do cổ sóng thần gây nên: a). tại bờ biển Phan Thiết, Phú Yên; b). tại bờ biển Sông Cầu, Phú Yên; c). tại bờ biển Nghi Tiến, Nghi Lộc - Nghệ An

VII.2. ĐIỂM ĐỊA CHẤT, ĐỊA MẠO KHU VỰC CÓ DẤU TÍCH NGHI NGỜ CỔ SÓNG THẦN



Hình VII-4. Bản đồ Địa chất khu vực Móng Cái và vị trí các mặt cắt

VII.2.1. Đặc điểm địa chất, địa mạo khu vực Móng Cái-Trà Cổ

VII.2.1.1. Các thành tạo địa chất

Khu vực nghiên cứu được xác định trong ô toạ độ $107^{\circ}45'00''-108^{\circ}06'00''$ kinh độ Đông và $21^{\circ}20'00''$ đến $21^{\circ}35'00''$ vĩ độ Bắc. Đường biên giới với CHND Trung Hoa từ thành phố Móng Cái chạy dọc theo sông Ca Long về phía Bắc (Hình VII-4). Các thành tạo địa chất gồm có:

- Các thành tạo của Hệ tầng Tân Mai tuổi Ordovic muộn –Silur ($O_3-S tm$) lộ ra ở vùng núi phía Bắc-Tây Bắc Móng Cái và trên đảo Vĩnh Thực và Cái Chiên gồm: các đá cát kết dạng quarzit xen đá phiến thạch anh sericit ở phần dưới và bột kết xen đá phiến sét sericit, phiến silic, phiến sericit ở phần trên. Chiều dày đạt tới trên 1600m.

- Tiếp theo là các đá của loạt Sông Cầu tuổi Devon sớm gồm: cuội kết, sạn kết, cát kết dạng quarzit ở phần dưới chuyển lên các đá bột kết, sét vôi và đá vôi màu nâu đỏ, chiều dày khoảng trên 600m. Các thành tạo này phân bố ở phần rìa ven bờ phía Nam đảo Vĩnh Thực.

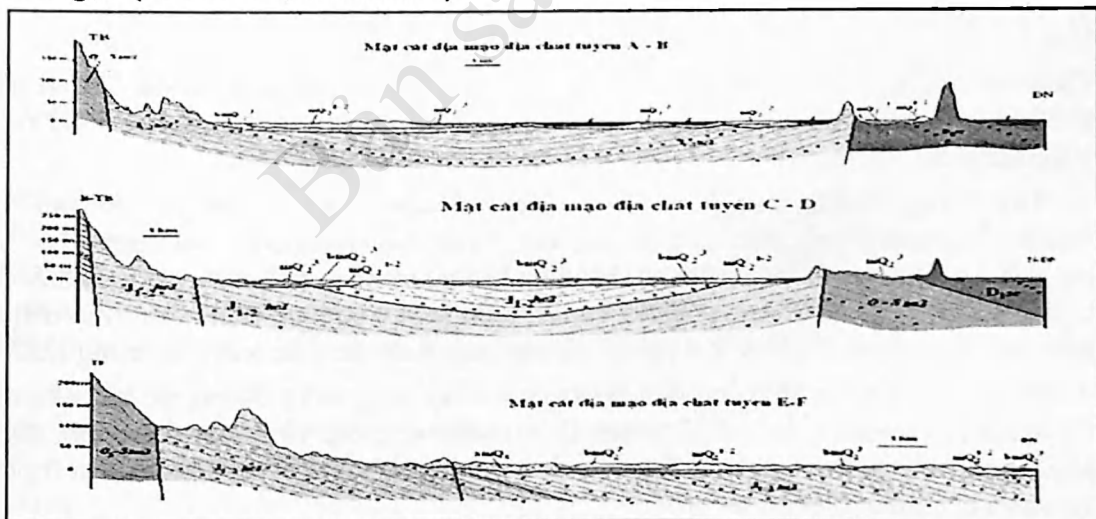
- Phù bất chỉnh hợp với ranh giới kiến tạo trên các thành tạo Paleozoi nói trên là các đá nguồn lục địa màu đỏ-tím đỏ của Hệ tầng Hà Cối tuổi Jura Sớm-Giữa, gồm các đá cuội kết sạn kết, cát kết thạch anh, bột kết đá phiến sét kẹp thấu kính-lớp mỏng sét than, đá vôi, sét vôi nằm ở phần dưới chuyển lên trên là các đá cát kết, bột kết đá phiến sét màu tím đỏ, nâu vàng xám, xen các đá cát kết dạng quarzit phân lớp xiên chéo và các lớp mỏng-thấu kính đá vôi. Chiều dày trên 1100m. Các thành tạo này lộ ra ở dãy đồi

phía bắc-tây bắc Móng Cái và phía bắc đảo Vĩnh Thực và Cái Chiên. Tại các đảo này chúng có ranh giới đứt gãy với các thành tạo của HT Tân Mài.

- Các thành tạo trầm tích Kainozoi bắt đầu bằng các tầng cuội, tảng, sét màu nâu, vàng đỏ nguồn sông-biển tuổi Pleistocen giữa-muộn (Q_1^{2-3}) dày 3-8m và các thành tạo cuội sỏi cát sét nguồn gốc biển bị laterit hoá phân bố hạn chế trên các dải đồi ven núi phía bắc-tây bắc khu vực nghiên cứu. Phủ trên là các thành tạo cát, bột sét biển màu xám tuổi Holocen sớm - giữa (Q_2^{1-2}) và các thành tạo đầm lầy ven biển cát, bột sét phủ rộng rãi trên vùng vịnh giữa bờ và đảo Vĩnh Thực và bãi cát bờ biển hiện đại tuổi Holocen Muộn (Q_2^3) tạo các bãi tắm Trà Cổ và rìa phía nam đảo Vĩnh Thực. Các thành tạo nêu trên được thể hiện trên bản đồ và trên các mặt cắt địa chất-địa mạo lựa chọn và sẽ được trình bày rõ thêm trong phần mô tả địa mạo.

VII.2.1.2. Các yếu tố địa mạo

Địa hình khu vực nghiên cứu là vùng núi - đồi thấp chuyển tiếp sang biển ven bờ có các đảo chắn phía ngoài (đảo Vĩnh Thực). Các dải núi thấp và đồi có phương vĩ tuyến-á vĩ tuyến độ cao vùng núi trên 500m (đỉnh Pa Nai phía tây bắc Móng Cái cao 713m, ngoài khu vực nghiên cứu) vùng đồi rìa núi có độ cao trung bình 200-300m (đỉnh núi Hắc Chan 313m). Một loạt các sông suối ngắn xuất phát từ các dải đồi núi này đổ ra vùng vịnh giữa đảo Vĩnh Thực và đất liền, trong đó lớn hơn cả là các sông Ca Long chảy qua thành phố Móng Cái và sông Hà Cối ở xa về phía Tây khu vực nghiên cứu. Xa hơn ra ngoài khơi (ngoài khu vực nghiên cứu) ở khu vực kinh độ 108° Đông và $21^\circ 15'00''$ nổi lên một số đảo thuộc quần đảo Cô Tô như đảo Chàng Tây, đảo Đại Sơn, Hòn Con Ngựa (Hình VII-4, Hình VII-5).



Hình VII-5. Mặt cắt địa mạo (Tuyến A-B, C-D, E-F, xem Hình VII-4)

Các yếu tố địa mạo trong khu vực nghiên cứu có dạng bậc bao gồm (theo hướng từ trong đất liền-vùng núi ra biển):

- Dãy núi thấp nếp lồi - bề mặt sườn bóc mòn phía nam của khối núi dạng vòm Cao Xiêm (1330m). Dãy núi này có độ cao 250 đến 400m, bị chia cắt phân rã bởi các dòng chảy.

- Tiếp ngay dưới chân dãy núi thấp là bề mặt đồi bóc mòn nghiêng thoải có sườn không cân xứng phát triển trên cấu trúc đơn nghiêng có độ cao 50 đến trên 200m. Bề mặt đồi bị chia cắt mạnh thành các mảnh bởi hệ thống sông suối ngắn. Bề mặt đồi chiếm hầu hết diện tích của các đảo Vĩnh Thực và Cái Chiên.

- Kề bên dưới và phía nam của kiến trúc vừa nêu thông qua một sườn dốc dự kiến có đứt gãy là bề mặt trầm tích tụ trầm tích biển hẹp trải theo phương vĩ tuyến (đọc theo đường quốc lộ 4, đường này đồng thời là ranh giới phía nam của bề mặt). Các dòng chảy nhỏ đến đây bắt đầu hợp nhất và mở rộng. Thềm biển này có độ cao trên 20-30m được xác định có tuổi Pleistocen giữa-muộn trên cơ sở trầm tích trên đó.

- Thềm biển tích tụ liên quan đến biển tiến Flandrian (tuổi Holocen sớm-giữa) tạo bề mặt đồng bằng ven biển rộng lớn của khu vực ở độ cao 3-5m. Trên ảnh VT, DEM và địa hình xác định một tuyến lineament phương vĩ tuyến qua chỗ uốn của sông Ca Long và dọc theo dòng nhánh về phía đông của sông này.

- Bề mặt đồng bằng còn lại là bề mặt tích tụ biển bao gồm các bãi ngập triều đầm lầy sù vẹt, các bãi cát biển ven bờ có độ cao dưới 2m, được xác định có tuổi Holocen muộn. Trên bề mặt đồng bằng và trong vịnh nằm giữa đất liền và các đảo Vĩnh Thực, Cái Chiên đôi chỗ nổi lên các núi sót nhỏ độ cao trên 20 đến khoảng 100m như Ngọc Sơn, Ninh Dương ... Các núi sót lộ đá màu đỏ của HT. Hà Cối tuổi J_{1-2} .

Độ sâu địa hình đáy biển khu vực vịnh giữa đất liền và đảo Vĩnh Thực dao động từ 0 đến -10 m. Sâu nhất vùng Cửa Đại (giữa các đảo Cái Chiên và Vĩnh Thực) trên 12m, dọc theo bờ bắc đảo Vĩnh Thực từ 8-10m. Trong vịnh nổi lên các bãi cát ngập triều lớn bồi lấp vùng cửa sông suối đổ ra vịnh này.

VII.2.1.3. Nhận định

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các tài liệu địa chất, địa mạo hiện có và các tài liệu thu thập trên thực địa có thể nhận định rằng: vùng bờ biển khu vực Móng Cái-Trà Cổ có các đặc điểm rất đặc thù:

- Kiểu đường bờ Dammat phân cắt và vũng vịnh xâm thực với các dãy đồi núi bóc mòn trên đá gốc có thành phần và kiến trúc khác nhau chạy song song sát đường bờ. Đó cũng là nơi xuất phát của một hệ thống khá dày của mạng sông suối ngắn, dòng chảy cắt sâu đổ thẳng ra biển tạo nên một hệ thống các kiểu kiến trúc hình thái xâm thực tích tụ nguồn gốc khác nhau. Địa hình núi này là kết quả quá trình nâng tân kiến tạo trong KZ.

- Sự có mặt của các hệ thống đảo ngoài khơi chạy song song đường bờ tạo nên các hệ thống núi đảo-vịnh - đới bờ xâm thực tích tụ, làm cho các vịnh gần đóng kín, dòng chảy sông suối từ bờ ra bị chặn tích tụ nhanh trầm tích làm cho bờ nghiêng thoải ở phía từ bờ ra và dốc đứng ở phần sát đảo.

- Kiểu bờ biển, cấu trúc chông lán của các thành tạo trầm tích biển trẻ hơn và quá trình đầm lầy hoá, phát triển bãi sù vẹt và tích tụ trầm tích mịn mỏng hiện đại cả trên khu vực đồng bằng (cửa các sông Hà Cối và Ca Long) và vùng lộ đá gốc (khu vực Đầm Hà) vốn chủ yếu chịu mài mòn cho thấy đới bờ biển khu vực nghiên cứu nói riêng và vùng Duyên hải Đông Bắc nói chung đang bị lôi kéo vào sụt lún kiến tạo của bồn trũng vịnh Bái Tử Long cũng như sự dâng lên của mực nước biển trong khoảng từ 2000 năm lại đây.

- Chưa ghi nhận được các dấu tích bất thường của trầm tích kiểu sóng thần. Nếu thực sự có hoặc có thể có thì nơi có khả năng phải hứng chịu sẽ là dãy các đảo Vĩnh Thực, Cái Chiên... và quần đảo Cô Tô. Vì thế cần có nghiên cứu tỉ mỉ, đầy đủ và dài hơi hơn để tìm kiếm dấu vết cổ sóng thần trên các đảo này.

VII.2.2. Đặc điểm địa chất và địa mạo khu vực Diễn Châu

VII.2.2.1. Các thành tạo địa chất

Khu vực nghiên cứu được xác định trong ô toạ độ 105°30,00 – 105°45,00 kinh độ Đông và 18°50,00 - 19°10,00 vĩ độ Bắc.

Các thành tạo địa chất (Hình VII-6, bản đồ được xây dựng trên cơ sở bản đồ địa chất tờ Vĩnh tỷ lệ 1:200.000, có chỉnh sửa một số ranh giới như đứt gãy, ranh giới các thành tạo Đệ tứ phù hợp với bản đồ và địa mạo) gồm có:

- Các thành tạo của Hệ tầng Sông Cà tuổi Ordovic muộn –Silur sớm (O_3-S_1 sc) lộ ra ở vùng núi phía tây bắc Quỳnh Lưu và khu vực núi Rú Thần phía tây Cửa Lò gồm: đá phiến sericit, cát kết, bột kết, đá phiến sét xen kẽ, phần dưới có ít đá vôi và phun trào riolit. Chiều dày dao động từ 800 đến 1000m.

- Phù bất chỉnh hợp hoặc có ranh giới kiến tạo với các đá HT Sông Cà là các trầm tích phun trào của HT Đồng Trâu tuổi T_2a : phần dưới là cát kết, bột kết, cuội kết, đá phiến sét và riolit dày 100m, chuyển lên phụ tầng trên là đá vôi phân lớp dày đến khối, có nơi xen sét vôi, dày khoảng 600m. Các thành tạo này chiếm hầu hết diện tích các vùng đồi núi phía bắc, tây bắc khu vực nghiên cứu (Quỳnh Lưu, Diễn Châu) và lộ lên trên đồng bằng ven biển trên các đồi núi sót.

- Tiếp theo là các đá của hệ tầng Quy Lăng T_2lql gồm: đá phiến sét, cát kết, bột kết, sét vôi và đá vôi, chiều dày 300-500m. Các thành tạo này phân bố ở phần vùng Rú Bồ Bồ, phía tây Quỳnh Lưu dọc theo một đứt gãy ĐB-TN.

- Phù bất chỉnh hợp hoặc ranh giới kiến tạo trên các thành tạo nói trên là các đá nguồn lục địa màu đỏ của Hệ tầng Đồng Đò tuổi Trias muộn (T_3 n-r đđ) gồm 2 phụ HT: phụ HT dưới có cuội kết, sạn kết cát kết, bột kết, sét than, thấu kính than antracit dày khoảng 1000m; phụ HT trên gồm cát kết, cuội kết, sạn kết màu đỏ. Chiều dày từ 500- 900m. Các thành tạo này lộ ra ở các dải đồi núi hẹp phía đông bắc Quỳnh Lưu, dải núi đồi phía nam Diễn Châu (từ vùng núi Cao Sơn, Xuân Sơn đến Mũi Gà phía bắc Cửa Lò...)

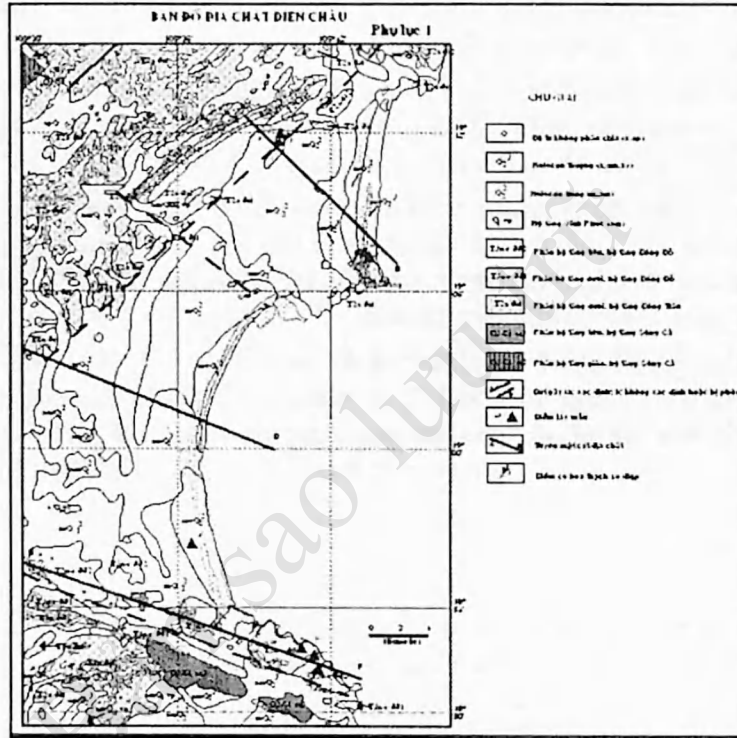
- Các thành tạo tuổi Kainozoi chỉ bao gồm các trầm tích Đệ tứ, bắt đầu bằng các đá hạt thô tương lòng-bãi bồi sông gồm sạn, sỏi, cuội tuổi Pleistocen sớm (Hệ tầng Hà Nội Q_1^1) và giữa - muộn (Hệ tầng Hoằng Hoá Q_1^{2-3}) dày 3-5m lót dưới đồng bằng, không lộ trên mặt.

- Sát ven vùng đồi núi phía tây lộ dải khá rộng các thành tạo sông biển hỗn hợp và biển của HT Vĩnh Phúc tuổi Pleistocen muộn (Q_1^3) gồm sét bột, sét, bột, cát có màu loang lổ (laterit hoá yếu) đặc trưng dày từ vài mét vùng rìa đồng bằng đến trên 30m vùng ven bờ.

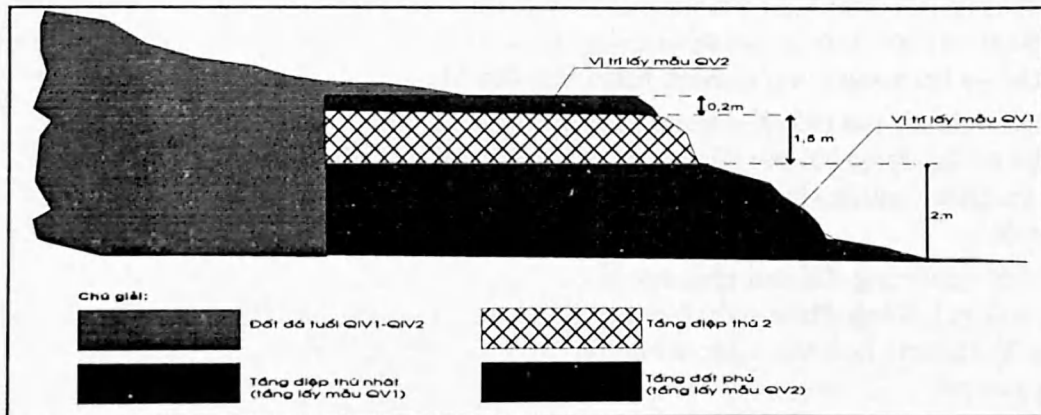
- Phù trên bề mặt bào mòn-phong hoá của trầm tích HT Vĩnh Phúc là các thành tạo trầm tích biển, đầm lầy ven biển và sông biển hỗn hợp tuổi Holocen sớm-giữa (Q_2^{1-2}) –

HT Thiệu Hoá (các tác giả bản đồ Địa chất 1:200.000 từ Thanh Hoá-Vinh) hay Q_2^2 (các tác giả BĐ Địa chất 1: 200.000 từ Vinh). Các thành tạo này có chiều dày chỉ vài mét tạo phần lớn bề mặt đồng bằng hiện tại của khu vực nghiên cứu bao gồm đồng bằng ven biển Quỳnh Lưu và đồng bằng ven biển Diễn Châu (cái sau có quy mô rộng hơn).

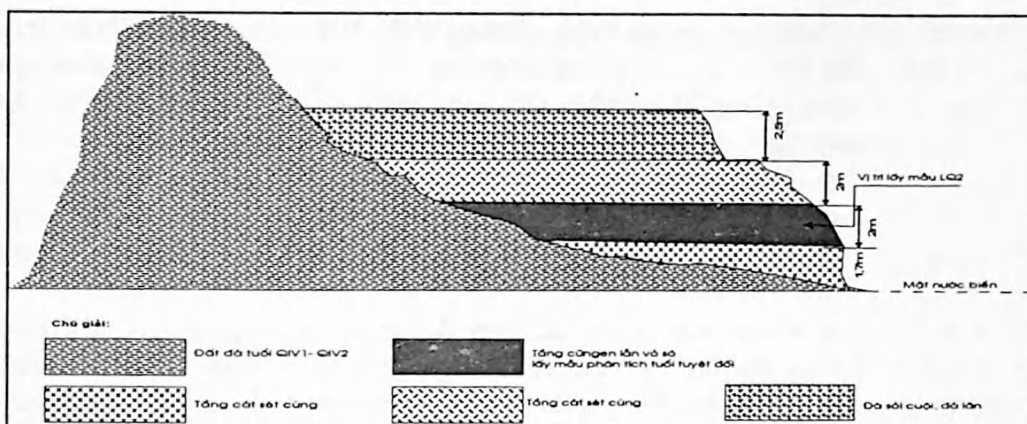
- Dọc theo bờ biển và các lòng sông ven biển là diện phân bố của các thành tạo sét, bột , cát, cát bột, bột sét nguồn gốc biển, sông và gió-biển tuổi Holocen Muộn (Q_1^3). Tổng chiều dày các trầm tích Đệ tứ vùng đồng bằng Quỳnh Lưu cao nhất đạt khoảng trên 20m, còn ở đồng bằng Diễn Châu chúng đạt trên 60 m ở vùng vền biển.



Hình VII-6. Bản đồ địa chất và vị trí các mặt cắt



Hình VII-7. Sơ đồ mặt cắt điểm lấy mẫu phân tích tuổi tuyệt đối tại điểm Quỳnh Văn (QV1, V2)



Hình VII-8. Mặt cắt giếng đào Cồn Diệp tại Nghi Tiến Nghi Lộc, Nghệ An

VII.2.2.2. Các yếu tố địa mạo

Địa hình khu vực nghiên cứu là dải núi -đồi thấp ở phía tây có phương đông bắc- tây nam (độ cao trung bình 300m, cao nhất là Rú Khu Cao-545m). Phía nam Diễn Châu có một dải đồi núi xuyên ngang theo phương á vĩ tuyến, chặn vùng đồng bằng ven biển Diễn Châu. Cùng với các dải đồi núi nhô ra biển ở phía bắc Quỳnh Lưu (Hoàng Mai, Nghi Sơn) và các núi sót ở Lạch Quèn đồng bằng Quỳnh Lưu-Diễn Châu là kiểu điển hình cho quá trình bồi tụ cồn-lagoon nổi đảo hình thành trong Đệ tứ. Một hệ thống dòng chảy sông suối khá dày đặc xuất phát từ các dải đồi núi phía tây đổ ra biển, bị chặn bởi các cồn cát ven biển tạo nên các dòng chảy dọc song song đường bờ sau cồn. Chỉ một số cửa sông chính đổ ra biển: Cửa Trạp, Lạch Quèn, Cửa Thới, cửa Lạch Vạn (xem Hình VII-6, Hình VII-9). Đặc điểm địa hình nêu trên phản ánh cấu trúc địa mạo và các quá trình địa chất Đệ tứ được trình bày dưới đây (độ cao được mô tả trong báo cáo lấy theo bản đồ địa hình 1:50.000, Bộ Tài nguyên và Môi trường xuất bản năm 2003, dựa theo mặt cắt xây dựng trên ảnh DEM).

Các yếu tố địa mạo trong khu vực nghiên cứu có dạng bậc bao gồm (theo hướng từ trong đất liền-vùng núi ra biển):

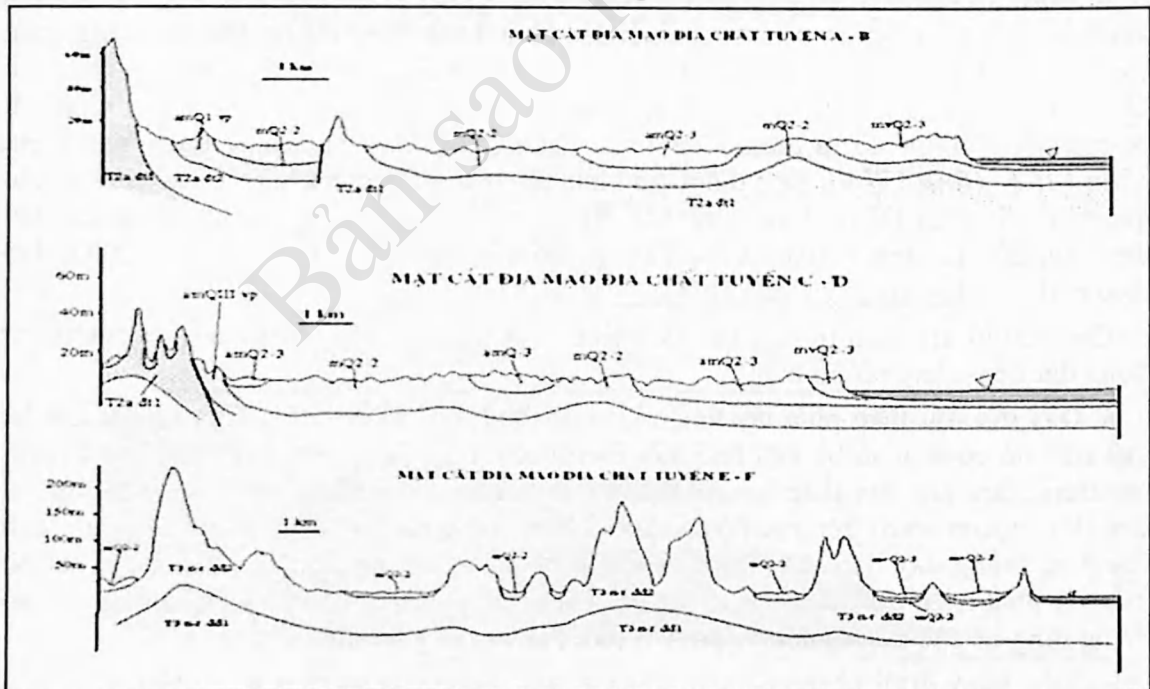
- Dãy đồi núi thấp phía tây thuộc kiểu địa hình bóc mòn - xâm thực và rửa trôi bề mặt trên đó có một số bề mặt nhỏ tuổi Pleistocen muộn hoặc /và giữa - muộn ở các độ cao trên 50m. Dải núi thấp xuyên ngang ở phía nam Diễn Châu còn có các bề mặt cổ hơn (Pleistocen sớm) trên các độ cao 200-300m. Vùng núi này đang bị xói lở mạnh hình thành hệ thống dày đặc các mương xói trên bề mặt sườn. Ở chân các núi nhô ra sát bờ biển rất phát triển quá trình sạt lở tạo các vách dốc và bãi đá lở ven biển. Trong một số thung lũng có các tích tụ deluvi-proluvi tuổi Pleistocen giữa-muộn.

- Tiếp ngay dưới chân các dãy đồi- núi thấp là bề mặt thềm tích tụ sông -biển hỗn hợp tuổi Pleistocen muộn lộ trên bề mặt địa hình 15-25m dốc nghiêng về phía biển. Bề mặt này đánh dấu pha biển tiến Q_1^3 còn gọi là “biển tiến Vĩnh Phúc”

- Bề mặt đồng bằng (thềm tích tụ biển) hiện tại có độ cao 3-5m tạo đồng bằng chính của khu vực (đồng bằng Quỳnh Lưu và Diễn Châu). Trầm tích đa dạng như mô tả trong phần trên có nguồn gốc chủ yếu là biển, cửa sông, đầm lầy ven biển. Các thành tạo này

đánh dấu biển tiến Flandrian xảy ra trong khoảng 4000-5000 năm trước. Trên ảnh VT Google nó được viền bên trong (sát dải núi phía tây nam Quỳnh Lưu) bởi dải sáng màu mảnh dạng cánh cung hướng lồi về phía tây, song song với đường bờ hiện tại. Đồng bằng này bị chắn phía ngoài biển bởi dải cồn cát hiện đại và bị lấp phủ ngay sau các cồn cát bởi các thành tạo sông- lagoon sau cồn kiểu doi cát nổi đảo (tuổi của các thành tạo này là Holocen muộn (Q_2^3 - khoảng 3000 năm lại đây): điều này quan sát rõ trên các ảnh VT và DEM, đặc biệt rõ ở vùng ven biển đồng bằng Quỳnh Lưu (từ núi Trạp phía bắc đến núi Rồng ở phía nam).

- Các doi cát sát bờ nói trên có độ cao thay đổi trong khoảng từ 2-4 m (ven biển đồng bằng Diễn Châu) đến 6-7 m (ven biển đồng bằng Quỳnh Lưu). Tại cồn cát ven biển Quỳnh Lưu dưới chân núi Rồng quan sát thấy một cồn sò ốc lẫn cuội sỏi từa vào doi cát cao 3-4m. Một mẫu sò lấy trong tập doi cát cho tuổi 4000 năm (LQ1). Một mẫu khác lấy trong tầng sò trong một giếng đào của dân (khu vực xã Quỳnh Nghĩa), nơi có gò đất lẫn cuội tầng khá lớn cho khoảng tuổi 4200 năm (LQ2) Nhà cửa của dân ở đây nhiều cái được xây bằng gạch vồ sò gắn kết chắc, kiểu gạch này cũng thấy ở nền đường QL1 (3m) gần thị trấn Diễn Châu. Mẫu lấy trong tầng này có tuổi khoảng 4200 năm. Một số mẫu lấy trong doi cát nhỏ và cồn sò điệp vùng núi nhô ra biển phía bắc Cửa Lò (khu vực xã Nghi Tiên) cho khoảng tuổi từ 4040 đến 4560 năm trước (NL1 đến NL4-2). Ở các vùng núi nhô ra biển phát triển các tầng lẩn và bãi đá (bench), đôi chỗ có các tầng rất lớn.



Hình VII-9. Mặt cắt Địa mạo - Địa chất tuyến A-B, C-D, E-F

VII.2.2.3. Nhận định, kiến nghị

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các tài liệu địa chất, địa mạo hiện có và các

tài liệu thu thập trên thực địa có thể nhận định rằng: vùng Diễn Châu-Quỳnh Lưu là các đồng bằng hình thành trong Đệ tứ kiểu lấp đầy vũng vịnh sau cồn cát nổi đảo, điển hình cho kiểu bờ biển và các đồng bằng miền Trung, nơi có các dải núi xuyên ngang kiểu xương cá từ dải Trường Sơn với các dòng chảy sông suối ngắn đổ thẳng ra biển.

Ghi nhận các mực thềm biển đánh dấu các thời kỳ biển tiến và tích tụ trầm tích biển tuổi Pleistocen muộn (Q13) nằm sát các sườn núi thấp-đồi bóc mòn lộ các thành tạo trước KZ (chủ yếu các thành tạo Trias trung- thượng) và thềm biển tuổi Holocen giữa (biển tiến Flandrian) tích tụ các trầm tích biển và sông biển hỗn hợp tạo nên bề mặt đồng bằng hiện tại đang bị các dòng chảy sông suối đào-lấp. Dọc theo đường bờ là các dải doi cát nổi đảo: nổi các núi sót nhô lên trên đồng bằng và các dải núi xuyên ngang ra biển. Tại các chân núi này hình thành các bãi đá (bench) vách sạt lở và tích tụ các tầng đồ lờ, cuội, sỏi đôi chỗ lẫn các vỏ sò ốc khá dày (Núi Rồng-Quỳnh Lưu).

Đôi chỗ ngay trên bề mặt đồng bằng nổi lên các gò- đồng hoặc tấm sò ốc và điệp gắn kết chắc, được dùng làm vật liệu xây dựng phân bố ở các mức độ cao và vị trí khác nhau: cồn điệp-sò ốc ở Quỳnh Văn (sát chân dải núi sót có độ cao 7-8 m, có thể tới 10m) cách bờ biển 4-5km; ở sát bờ biển gặp trong lớp dưới đồng bằng như ở Quỳnh Nghĩa; gặp ngay trên mặt đường (có độ cao khoảng 4m trên mực biển) như ở thị trấn Diễn Châu, dưới các doi cát ven biển như ở Nghi Yên, Nghi Tiến và gò đồng cao 5-6m như ở Nghi Tiến. Các giá trị tuổi 14C của các mẫu sò ốc đặc biệt là QV1-2, và NL2-4 nằm ở các độ cao khác nhau và cách xa nhau nhưng đều cho một khoảng tuổi 4400 năm-4500 năm Điều này khó có thể giải thích chỉ bằng hoặc là sự dâng lên của mực biển - biển tiến Holocen trung (được xác định là khoảng độ cao khoảng 3-5m) xảy ra trong khoảng 4000-5000 năm trước đây) hoặc bởi người cổ xưa ăn và sử dụng chất thành đồng hoặc do vận động nâng hạ kiến tạo như một số các tác giả từng nghiên cứu và đề xuất trước đây. Có ý kiến cho rằng, không loại trừ một khả năng khác là hoạt động của sóng thần (do động đất, do bão lốc lớn) đã từng xảy ra trong lịch sử trước đây. Một di chứng đáng chú ý nữa là sự có mặt của tầng cuội tầng khá lớn gặp trên mặt và dưới bề mặt ở khu vực xã Quỳnh Nghĩa (Quỳnh Lưu) nằm cách khá xa chân núi sót sát bờ trong khi ngay dưới chân núi chỉ gặp chủ yếu là cuội sỏi cỡ trung bình-nhỏ và cồn sò ốc hiện đại.

Nhận thấy đới đứt gãy Sông Cả và nhánh của nó đứt gãy Cửa Lò có biểu hiện hoạt động hiện đại khá rõ thể hiện ở sự càn nát rất mạnh các đất đá trước KZ của khu vực cùng với hoạt động xói lở và hình thành mương xói rất mạnh mẽ trong một khu vực rộng xung quanh hệ thống đứt gãy này.

Để có được những lý giải thoả đáng và sát thực hơn, cần thiết phải có những nghiên cứu tỉ mỉ và kĩ lưỡng khu vực rất đáng chú ý này, kể cả tiến hành các công trình khoan, đào giếng, hào và lấy mẫu phân tích tuổi một cách có hệ thống và đầy đủ hơn. Mặt khác cần có những đo đạc chính xác địa hình hiện đại (tới 1m) để xác định đúng các mốc cao điểm cần thiết cho việc nghiên cứu. Trên cơ sở những tài liệu và nghiên cứu hiện có, những kết quả và nhận định nêu trên là các kết quả và nhận xét bước đầu cần được bổ sung và kiểm chứng tiếp tục.

VII.2.3. Đặc điểm địa chất và địa mạo khu vực sông Cầu

VII.2.3.1. Các thành tạo địa chất

Khu vực nghiên cứu được xác định trong ô toạ độ $109^{\circ}10,00 - 109^{\circ}25,00$ kinh độ Đông và $13^{\circ}20,00 - 13^{\circ}30,00$ vĩ độ Bắc (Hình VII-10).

Các thành tạo địa chất gồm có:

- Các thành tạo của Hệ tầng Phong Hanh tuổi Cambri –Silur không chia (O-S sc) lộ ra ở vùng núi phía tây thung lũng S. Hà Thanh (Canh Hiệp-Vân Canh) gồm: quazit, đá phiến thạch anh sericit, cát kết, bột kết, đá phiến lục, metariolit, đá phiến silic xen đá hoa dolomit, chiều dày từ 900 đến 1000m.

- Phù bất chỉnh hợp hoặc có ranh giới kiến tạo với các đá HT Phong Hanh là các trầm tích phun trào của HT Mang Yang tuổi T_2a có diện phân bố hạn chế và rải rác trong vùng nghiên cứu Sông Cầu (khu vực Canh Hiệp, Nam Đông Xuân). Thành phần gồm cát kết, bột kết, cuội kết, đá phiến sét-silic, riolit, felssit và tuf của chúng dày 100m, chuyển lên phụ tầng trên là đá vôi phân lớp dày đến khối, có nơi xen sét vôi, dày khoảng 500m.

- Phù bất chỉnh hợp hoặc ranh giới kiến tạo trên các thành tạo nói trên là loạt các đá phun trào Hệ tầng Nha Trang tuổi Creta không chia (K nt) gồm riolit, dacit, andesit và tuf của chúng dày 400-600m và sau đó các đá phun trào Hệ tầng Đơn Dương tuổi Créta muộn ($K_2 đđ$) gồm các đá dacit, ryodasit, riolit và tuf của chúng dày 250-350m. Các thành tạo này lộ rất rộng rãi bao quanh các đồng bằng hẹp ven biển (Xuân Lộc, Sông Cầu, Chí Thạnh...)

- Các thành tạo tuổi Kainozoi bao gồm các trầm tích Nêogen muộn Hệ tầng Kon Tum và Đệ tứ. Các trầm tích cuội-sỏi kết, cát - sạn kết, cát kết, bột kết, đôi chỗ có sét than và than nâu của Hệ tầng Kon Tum phân bố rải rác lộ ở các đồi thấp, thường bị phủ bởi bazan (Hệ tầng Đại Nga - tuổi Pliocen- $\beta N_2 đn$) là các đá bazan tholeit, bazan olivin á kiềm. Mặt cắt kiểu này được quan sát thấy trên tuyến khảo sát 1, mô tả dưới đây. Trong một số lỗ khoan ở đồng bằng tây Quy Nhơn còn gặp các trầm tích của Hệ tầng Sông Ba tuổi Miocen muộn.

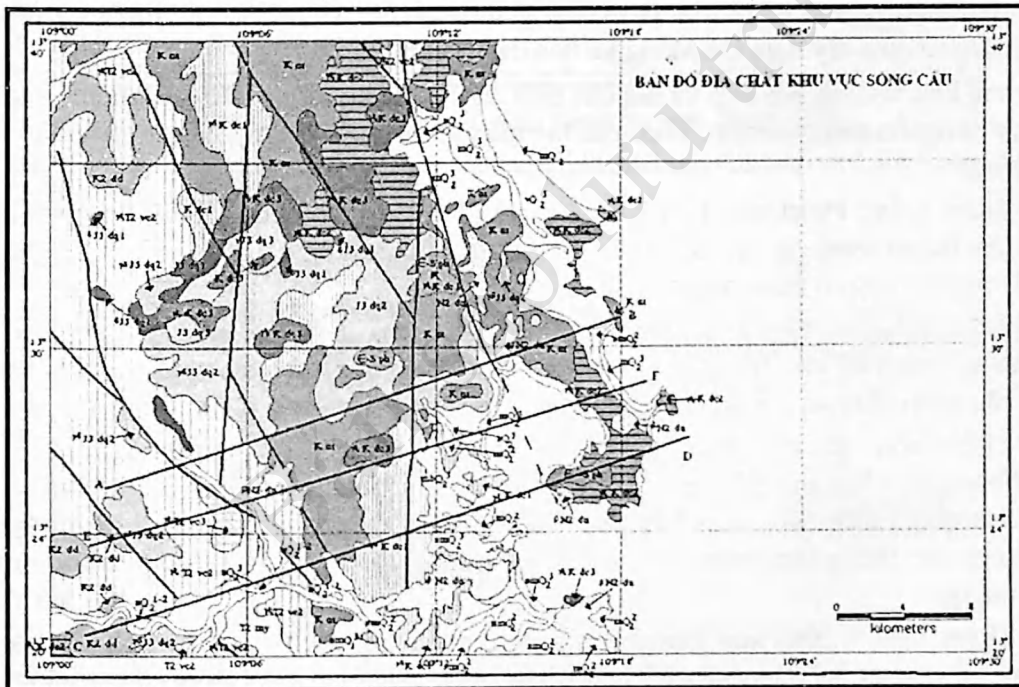
- Cần kể đến các thành tạo xâm nhập-á xâm nhập có thành phần đa dạng phát triển rất rộng rãi trong khu vực nghiên cứu có tuổi từ Trias đến Palêogen. Đó là các đá xâm nhập của PH Vân Canh tuổi Trias (granit, granosyenit và các pha đá mạch granit, aplit); PH Định Quán tuổi Jura muộn (gabrodiorit, diorit, granodiorit biotit horblend, granit biotit horn bled và đá mạch); PH Đèo Cả tuổi Creta (granodiorit biotit, granit, granosyenit biotit, granit biotit và các đá mạch); PH Cù Mông tuổi Paleogen (các đá mạch diabaz, gabrodiabaz).

- Các trầm tích Đệ tứ phân bố trong các đồng bằng ven biển. Ở đồng bằng vùng tây bắc thành phố Quy Nhơn mặt cắt tương đối đầy đủ được bắt đầu bằng các đá hạt thô tương biến cát, cát bột, ít sét, sạn, sỏi, cuội tuổi Pleistocen giữa-muộn (Q_1^{2-3})- có thể có một phần trầm tích nguồn biển-sông biển tuổi Pleistocen hạ- dày 8-12m lộ ven chân các vùng đồi núi thấp ở Phù Cát. Tiếp theo các thành tạo này và thường bao phía dưới chúng, hiện bị các sông nhánh (kiểu quạt) cắt qua là các thành tạo sông biển hỗn hợp tuổi Pleistocen muộn phần giữa (Q_1^3) gồm cát bột sét với ít sạn sỏi. Đáng chú ý là các

trầm tích nguồn biển gặp ở các bề mặt hẹp độ cao 45m ở rìa các núi (Cù Mông, vùng Thạch Khê... - theo các tác giả bản đồ địa chất loạt tờ Quy Nhơn 1:50.000)

- Sắt ven vùng đồi núi phía tây lộ dài khá rộng các thành tạo sông biển hỗn hợp và biển tuổi Pleistocen muộn thuộc phần trên (Q_1^3) gồm sét bột, sét, cát có màu loang lổ đặc trưng dày từ vài mét vùng rìa đồng bằng ven bờ chủ yếu ở khu vực Thạch Khê, Xuân Lộc, đồng bằng Quy Nhơn và Sông Cầu.

- Các thành tạo trầm tích biển, đầm lầy ven biển và sông biển hỗn hợp tuổi Holocen sớm-giữa (Q_2^{1-2}). Các thành tạo này có chiều dày chỉ vài mét tạo phần lớn bề mặt đồng bằng ven biển ở Thạch Khê (tây bắc đầm Cù Mông, đồng bằng Sông Cầu, các thành tạo thêm sông ven chân các đồi - núi thấp dọc theo sông Cái (vùng Đồng Xuân, Tuy An- Chí Thạnh). Các đồng bằng này thường bị bao phía ngoài bởi các thành tạo bãi, đụn cát biển - gió nổi đảo tuổi Holocen muộn (Q_2^3) hoặc các đầm lầy ven biển (trong các đầm, vịnh, còn dọc theo sông chúng bị phủ bởi các bãi bồi Holocen muộn (cát cuội sỏi)-hiện đại.



Hình VII-10. Bản đồ địa chất khu vực Sông Cầu và vị trí các mặt cắt

VII.2.3.2. Các yếu tố địa mạo

Địa hình khu vực nghiên cứu là dải núi -đồi thấp ở phía tây có phương tây bắc- đông nam đến á Kinh tuyến (độ cao trung bình 300m-500m, cao nhất là Núi Ông và núi Mỏ Chèo-trên 800 đến 900m). Các dải núi đồi thấp ăn sát ra biển tạo nên dạng địa hình đặc trưng: các vũng vịnh bên trong và các dải đồi cát nổi đảo phía ngoài. Các thung lũng sông-suối nhỏ và ngăn từ các sườn phía tây tạo nên các đồng bằng nhỏ và hẹp ven biển nằm sau lưng hệ thống vũng vịnh-doi cồn cát nổi đảo. Các vũng vịnh chính là vũng Quy Nhơn (ngoài phạm vi phía bắc vùng nghiên cứu) đầm Cù Mông, vũng Chao-Xuân Đài,

đầm Ô Loan (ngoài phạm vi phía nam vùng nghiên cứu). Bờ biển lồi lõm do địa hình núi của dải Trường Sơn nhô ra sát bờ và có phương gần thẳng bắc nam. Nó thuộc dạng bờ mài mòn-tích tụ (mài mòn ở các núi, đảo nhô ra biển; tích tụ trầm tích nổi đảo và vùng bên trong vũng vịnh-đồng bằng). Hai hệ thống sông với đồng bằng cửa sông tương đối rộng là sông Hà Giao với đồng bằng Quy Nhơn ở phía bắc và sông Cái nhỏ hơn ở phần phía nam. Các đồng bằng nhỏ bị phân cách bởi các hệ thống đồi thấp, cao nhất là đèo Cù Mông là một “yên ngựa” địa hình (núi Hòn Khô và lân cận cao trên 700m) nằm trên đường chia nước của hai khe suối có phương á KT - được xác định là một đứt gãy trẻ cắt qua các thành tạo HT Nha Trang (K nt) và xâm nhập PH Cù Mông tuổi Paleogen, đứt gãy này, theo xác định (AVT, các dấu hiệu địa hình địa mạo), còn kéo dài đến TB Vũng Chao-Xuân Đài (xem *Hình VII-11, Hình VII-12*).

Một đứt gãy KT – ĐG Bình Ninh- chạy dọc thung lũng thượng nguồn sông Cầu (sông Bình Ninh) và tạo nên vách dốc từ các dải núi 600-800m ở phía tây xuống vùng đồi 200-300m phía đông cùng với các đồng bằng ven biển kể trên. Các tầng phủ phun trào bazan N_2 tạo nên các bề mặt bằng phẳng, hơi nghiêng ra biển ở các độ cao trên 100-200m (như ở phía tây đầm Cù Mông và bán đảo Xuân Phương).

Trong khu vực nghiên cứu và lân cận phát triển một hệ thống các bậc thềm mài mòn và tích tụ nguồn sông và biển. Theo các tác giả loạt bản đồ từ Quy Nhơn ghi nhận được các thềm:

- Thềm biển? Pleistocen hạ có độ cao trên 90m (vùng Phù Cát và thượng nguồn sông Hà Thanh, bám rìa các núi- thềm tích tụ trầm tích biển cát, sạn và sét tương đầm lầy. Trên mực này có thềm mài mòn ở 120m.

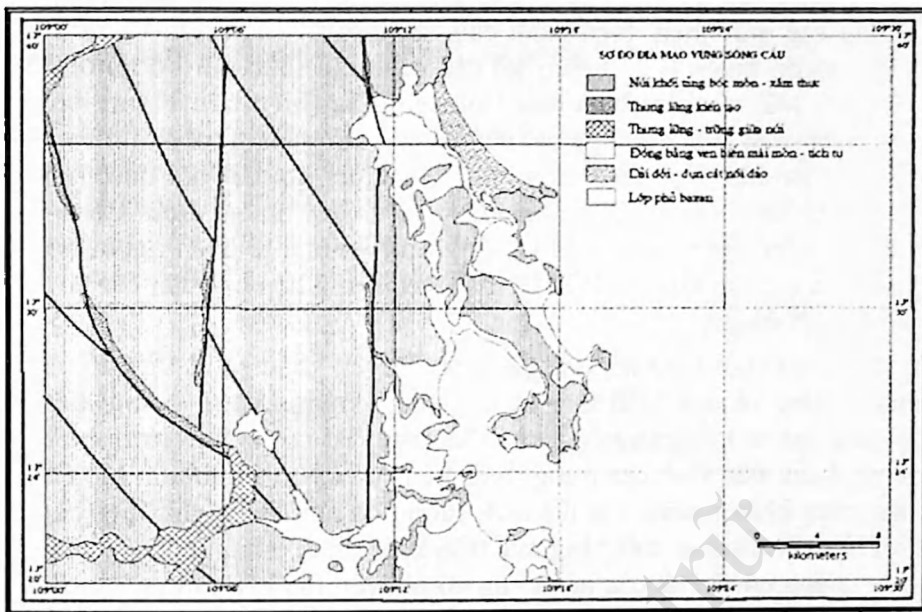
- Thềm biển tích tụ (cát sét đen vụn thực vật tương đầm lầy biển, phong hoá yếu) Pleistocen trung độ cao 60-70m (thượng nguồn sông Hà Thanh và sông Cái) bám theo chân các thềm 90m và núi rìa đồng bằng chuyển sang thềm sông ở các sông lớn.

- Thềm biển 20-40m tuổi Pleistocen thượng, phần giữa phân bố ven rìa các đồng bằng và chân núi đổ xuống đồng bằng, thềm tích tụ cát sạn sét đôi nơi chứa thực vật ngập mặn (khe suối bắc đèo Cù Mông), đôi nơi tạo dạng đồng bằng tích tụ, trong các thung lũng sông chuyển sang trầm tích thềm sông (cuội nhỏ, sạn cát đa khoáng).

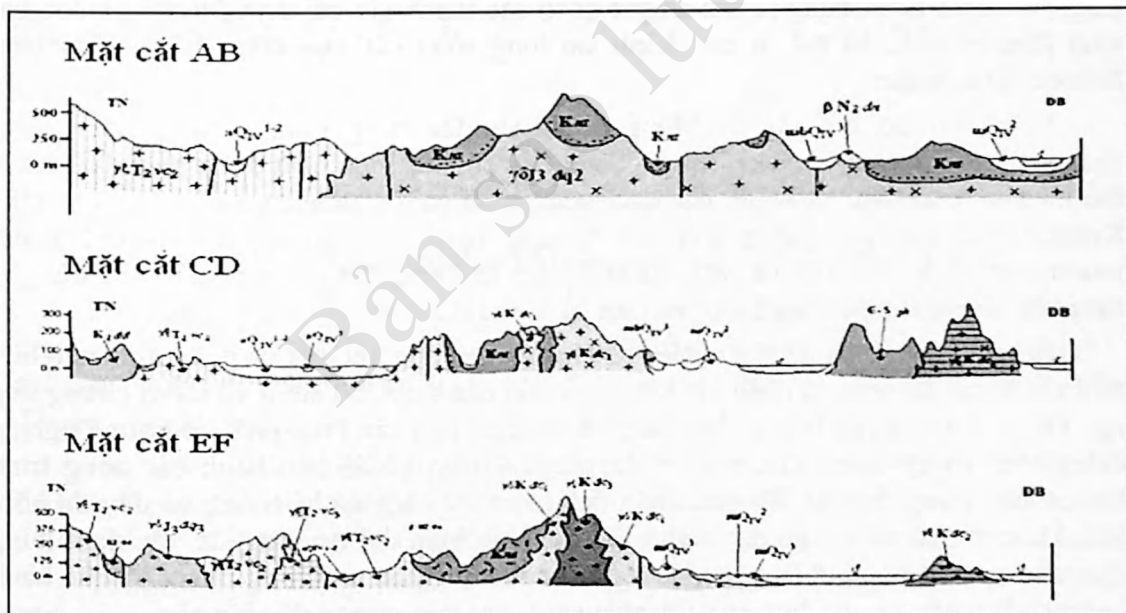
- Thềm biển 7-20m tuổi Pleistocen muộn, phần trên tích tụ trầm tích cát sạn sét nguồn biển, sông biển tạo nên bề mặt đồng bằng cát rộng lớn (vùng đồng bằng Quy Nhơn, Thạch Khê)

- Bề mặt đồng bằng Quy Nhơn là các thành tạo hỗn hợp sông biển tuổi Holocen trung-thượng, độ cao đến 5-6m, bị phủ bởi các trầm tích đầm lầy ven biển và đụn cát tuổi Holocen thượng. Thành tạo thềm biển gặp ở ven bờ đầm Cù Mông, Vũng Chao-Xuân Đài, đôi chỗ bị phủ phía ngoài bởi trầm tích biển Holocen muộn-hiện đại (tương đầm lầy, đôi chỗ có san hô), dọc sông bị phủ bởi các bãi bồi tương lòng sông (sông Cầu, sông Cái).

Ở các vùng núi nhô ra biển và rìa các đảo phát triển các tầng lặn và bãi đá (bench), đặc biệt là bãi đá bazan (dạng đĩa) ở vùng An Ninh Đông dạng thềm mài mòn khá độc đáo.



Hình VII-11. Bản đồ địa mạo khu vực Sông Cầu



Hình VII-12. Các mặt cắt địa mạo khu vực Sông Cầu (xem vị trí trên Hình VII-10)

VII.2.3.3. Nhận định, kiến nghị

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các tài liệu địa chất, địa mạo hiện có và các tài liệu thu thập trên thực địa có thể nhận định rằng: vùng Sông Cầu là các đồng bằng nhỏ hẹp hình thành trong Hệ tứ kiến tạo lớp đầy vũng vịnh sau cồn cát nổi đảo, điển hình cho kiểu bờ biển mài mòn - tích tụ, nơi có các dải núi chạy ra sát biển với các dòng chảy sông suối ngắn, nhỏ đổ thẳng ra biển.

- Xác định các mực thềm biển đánh dấu các thời kỳ biển tiến và tích tụ trầm tích biển tuổi Pleistocen muộn (Q_1^3) nằm sát các sườn núi thấp-đồi bóc mòn lộ các thành tạo chủ yếu tuổi MZ và thềm biển tuổi Holocen giữa (biển tiến Flandrian) tích tụ các trầm tích biển và sông biển hỗn hợp tạo nên bề mặt đồng bằng hiện tại đang bị các dòng chảy sông suối đào-lấp. Dọc theo đường bờ là các dải doi cát nổi đảo: nổi các núi sót nhô lên trên đồng bằng và các dải núi ngang ra biển. Tuy nhiên Vụng Chao-Xuân Đài là vịnh mở thông ra biển (cửa sông Cầu và sông Cái) không bị chắn ngoài bởi các doi cát nên có phát triển các rạn san hô. Trên bề mặt đồng bằng hẹp bị phân cắt bởi các dải đồi-núi thấp và đồi sót đá gốc.

- Các thành tạo cuội-tàng hỗn tạp gặp trong tuyến khảo sát 2 và gần mặt cắt CD là không bình thường về mặt hình thái và thể nằm. Chúng không giống kiểu thềm sông hoặc biển (như mô tả trong phần địa chất-địa mạo) lại có độ cao lớn hơn nhiều so với các thành tạo thềm biển Holocen trung (biển tiến cực đại) và bãi biển hiện đại (chỉ từ 1-5 m), chúng cũng không giống các tàn tích, sườn tích như thông thường (có các hạt cuội mài tròn tốt lẫn với các loại cuội tầng mài tròn khác nhau, nhiều hòn dẹt và xấp xỉ hỗn độn). Trong chúng có tồn tại các nành vụn vỏ nhuyễn thể kết tầng cứng chắc có nguồn gốc biển (mẫu phân tích SC1). Các dấu hiệu nêu trên cho phép giả định nguồn gốc của các thành tạo này là do sóng lớn, cao trên 10m đã mang đến trong khoảng thời gian sát trước 700 năm BP. Chúng có thể có gốc rễ từ các thành tạo bãi đá ven đảo phía ngoài vịnh (bench) hoặc có thể từ các thành tạo lòng sông cắt qua đồng bằng-thềm biển Holocen giữa muộn.

- Nhận thấy đới đứt gãy Cù Mông - Suối Un đến vùng Vụng Chao-Xuân Đài và nhánh của nó đứt gãy KT Bình Ninh - Sông Cầu có biểu hiện hoạt động hiện đại khá rõ thể hiện ở sự càn nát rất mạnh các đá trước granit tuổi Paleogen và cả Pliocen (HT Kontum) của khu vực (tuyến khảo sát 1) cùng với hoạt động xói lở và hình thành mương xói-dòng chảy dọc và vách địa hình theo hệ thống đứt gãy này. Trên hệ đứt gãy từng ghi nhận các trận động đất Mmax tới 5).

Trên cơ sở những tài liệu và nghiên cứu hiện có, những kết quả và nhận định nêu trên mới chỉ là các kết quả và nhận xét bước đầu còn cần được bổ sung và kiểm chứng tiếp tục. Để có được những lý giải thoả đáng và sát thực hơn cần thiết phải có những nghiên cứu tỷ mỉ và kỹ lưỡng khu vực rất đáng chú ý này, kể cả tiến hành các công trình khoan, đào giếng, hào và lấy mẫu phân tích tuổi một cách có hệ thống và đầy đủ hơn. Mặt khác cần có những đo đạc chính xác địa hình hiện đại (tới 1m) để xác định đúng các mốc cao điểm cần thiết cho việc nghiên cứu cũng như mở rộng phạm vi tiến hành khảo sát lấy mẫu và xác định kể cả ra phía ngoài các đảo và bán đảo lân cận.

VII.2.4. Đặc điểm địa chất và địa mạo khu vực Bình Thuận-Ninh Thuận

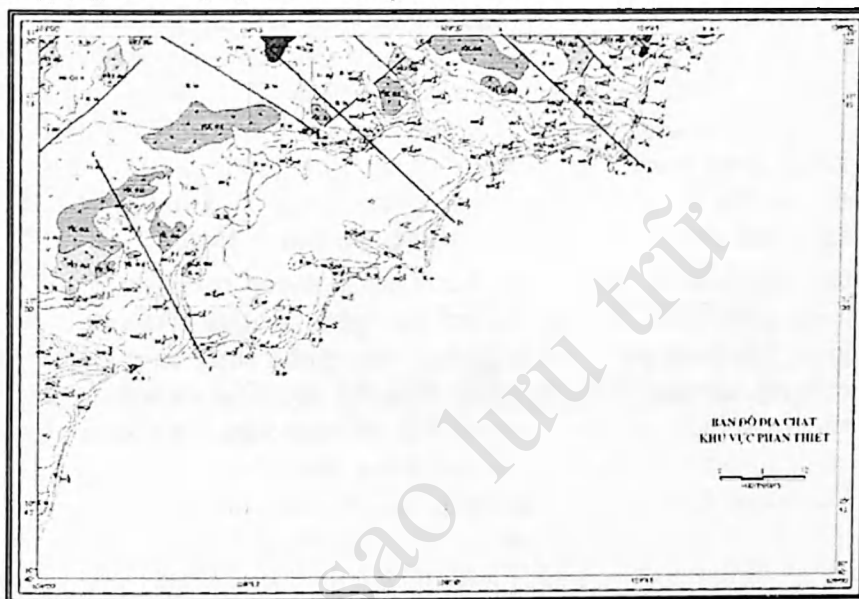
VII.2.4.1. Các thành tạo địa chất

Khu vực nghiên cứu được xác định trong ô toạ độ $108^{\circ}00' - 108^{\circ}45'$ kinh độ Đông và $10^{\circ}45' - 11^{\circ}20'$ vĩ độ Bắc.

Các thành tạo địa chất (Hình VII-13) gồm có:

- Các thành tạo của Hệ tầng La Ngà tuổi Jura Trung (J_2 In) lộ ra ở vùng núi Mức và núi Đa Gia phía tây gồm: cát kết, bột kết, đá phiến sét, Chiều dày dao động từ 700 đến 800m.

- Phù bất chỉnh hợp hoặc có ranh giới kiến tạo với các đá Hệ tầng La Ngà là các trầm tích phun trào của Hệ tầng đèo Bảo Lộc tuổi Jura Thượng J_3 đbl có diện phân bố xen kẽ với Hệ tầng trên (khu vực Núi Hốp, Núi Ba, Núi Chai...) thành phần gồm các đá phun trào trung tính: andezit, andezit porphyr, andezitodasit, andezitobazan, dazit và tuf của chúng xen cát kết tuf, bột kết tuf dày 600-650m.



Hình VII-13. Bản đồ địa chất khu vực Bình Thuận – Ninh Thuận

- Phù bất chỉnh hợp hoặc ranh giới kiến tạo trên các thành tạo nói trên là loạt các đá phun trào Hệ tầng Nha Trang tuổi Creta không chia (K_{nr}) gồm riolit, dacit, andesit và tuf của chúng dày 500-600m lộ ở Bắc Phan Rí và rải rác ở vùng ven biển bắc Bình Thuận - Ninh Thuận .

- Các thành tạo tuổi Kainozoi bao gồm các trầm tích Nêogen muộn Hệ tầng Sông Lũy và Đệ tứ. Hệ tầng Sông Lũy gồm các trầm tích cuội-sỏi kết, cát kết vôi, sét kết dày 5-10m phân bố lộ hạn chế ở cửa sông Lòng Sông (Tuy Phong) và Lương Sơn.

- Thượng nguồn sông Katch góc TB khu vực lộ các đá bazan tuổi Neogen muộn-Pleistocen sớm Hệ tầng Túc Trung (βN_2-Q_{1t}) là các đá bazan olivin, bazan dolerit.

- Cần kể đến các thành tạo xâm nhập-á xâm nhập có thành phần đa dạng phát triển rất rộng rãi trong khu vực nghiên cứu gồm các xâm nhập PH Định Quán tuổi Jura muộn: gabrodiorit biotit, granodiorit biotit horblend, tonalit biotit hornblend; PH Đèo Cà tuổi Creta (granosyenit biotit, granit , granit biotit có màu xám phớt hồng đặc trưng, các đá mạch là granit porphyr, granit aplit và granit pegmatit; tiếp theo là PH. Cà Ná tuổi Creta muộn gồm các đá granit biotit-muscovit, granit alaskit kiến trúc porphyr. Loạt các pha đá mạch PH Phan Rang (granit porphyr, granosyenit porphyr) và PH Cù Mông (các đá mạch diabaz, gabrodiabaz) tuổi Paleogen xuyên các đá granit cổ hơn.

- Các trầm tích Đệ tứ phân bố trong các đồng bằng cửa sông và ven biển. Chúng được bắt đầu bằng các đá hạt thô tương sông biển HT Trảng Bom cát, sỏi, cuội và bột, sét, tuổi Pleistocen sớm phần cao (Q_1^{1c}) phân bố lộ ở rìa đồng bằng ven núi vùng Suối Đá (thượng nguồn sông Tang) kéo một dải hẹp đến phía đông Mương Mản về phía tây-tây bắc sông Cà Ty. Tiếp theo là các thành tạo sông biển của Hệ tầng Bình Thuận - Ninh Thuận tuổi Pleistocen trung (Q_1^2) lộ ra rải rác dọc theo các sườn núi ven thượng nguồn các sông nhỏ (cát, cuội, tầng) và các thành tạo biển (là các cát đỏ hạt vừa-mịn gồm tectit) bao quanh vùng đôi cát ven biển từ cửa Phan Rí đến thành phố Bình Thuận - Ninh Thuận. Phủ trên các thành tạo này là trầm tích biển cát thạch anh xám vàng, nâu vàng và sông biển hỗn hợp gồm cát sét bột, cuội sạn được định tuổi Pleistocen trung-thượng. Về phía góc TB khu vực có các phun trào bazan olivin và andesitobazan (Hệ tầng Phước Tân) phủ trên bề mặt đá gốc trước KZ. Phần đồng bằng ven biển các trầm tích biển và sông biển Pleistocen thượng, phần trên (Q_1^{3c}) gồm cát thạch anh xám trắng cát kết vôi xen ít cuội sỏi và cát bột sét xen ít sạn sỏi phủ phần rìa các thành tạo trước đó.

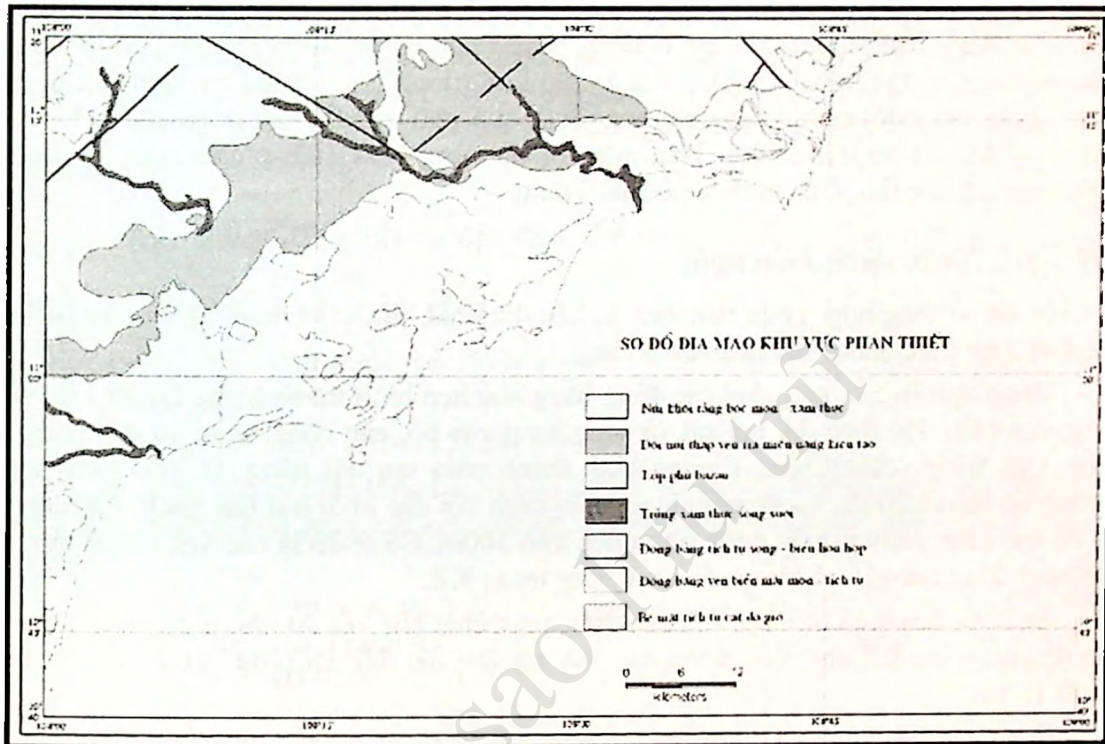
- Trầm tích Holocen bắt đầu từ các thành tạo Holocen trung có thành phần nguồn gốc sặc sỡ (biển, sông biển, đầm lầy và gió) bao gồm các thành tạo cát thạch anh chứa vỏ sò ốc (nguồn biển), cát sét vỏ sò mùn thực vật nguồn sông biển (Holocen trung) bị phủ trên bởi cát bột sét mùn thực vật nguồn đầm lầy ven biển và bột sét cát nguồn sông biển (Holocen giữa-muộn) bị phủ ở ven bờ bởi cát màu xám sáng-xám vàng và cát bột sét cuội sỏi nguồn gió và biển, còn ở dọc các thung lũng sông suối là cát cuội sỏi bột sét lòng sông. Một mảng lớn cát màu nâu vàng, nâu đỏ vùng đôi dạng quạt giữa cửa Phan Rí và Bình Thuận - Ninh Thuận được coi là có nguồn gió tuổi Đệ tứ không xác định (theo địa chất từ Bình Thuận - Ninh Thuận 1/200.000). Các thành tạo này phủ trên cát đỏ (cát đỏ Bình Thuận - Ninh Thuận) từng là đề tài tranh luận sôi nổi trong giới địa chất về nguồn gốc biển nông ven bờ hay doi cát (kiểu bar).

VII.2.4.2. Các yếu tố địa mạo

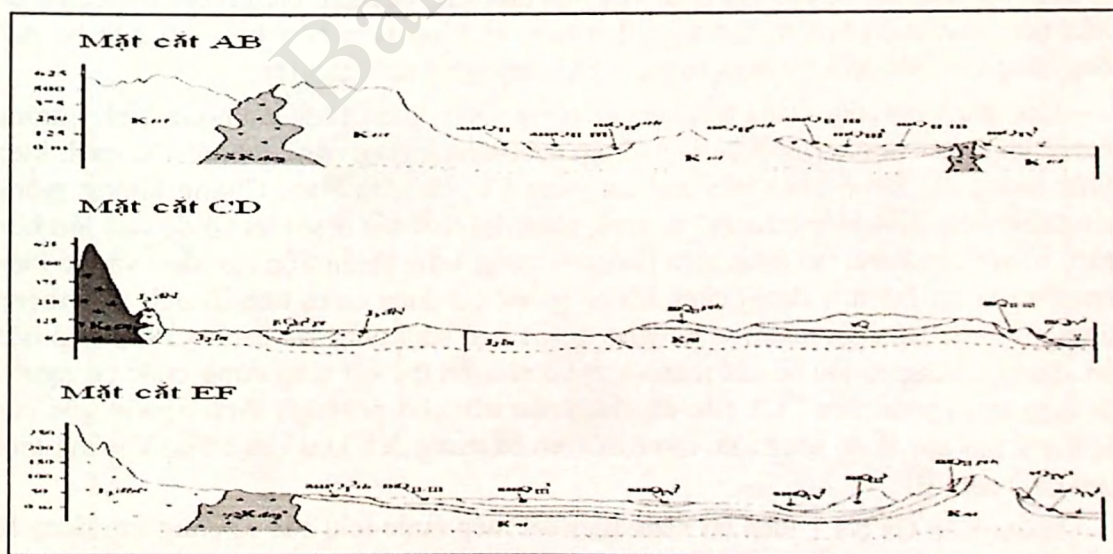
Địa hình khu vực nghiên cứu là dải núi - đồi thấp ở phía tây có phương đông bắc-tây nam (độ cao trung bình 300m-500m, cao nhất là núi Ga lang và núi Ông trên 800 đến 900m). Dải núi phía tây bị cắt xẻ bởi hệ thống sông suối ngắn phương TB-ĐN tạo nên dải đồng bằng ven biển hẹp và bị chia cắt bởi các núi sót, các dải cồn cát cao điển hình ở phía bắc và nam thành phố Bình Thuận - Ninh Thuận. Các đồng bằng tương đối lớn hơn cả thuộc hệ thống sông Cái đổ ra vịnh Phan Rang, sông Luỹ đổ ra cửa Phan Rí, Ông Cát-Cà Ty đổ ra vịnh Bình Thuận - Ninh Thuận. Khác với kiểu bờ biển vũng vịnh với các doi cát nổi đảo ở khu vực Quy Nhơn-Tuy Hoà mô tả trong báo cáo Sông Cầu, kiểu bờ biển ở đây là biển mở với dải đồng bằng ven biển nhỏ rìa núi tạo bởi hệ thống sông suối cắt ngang (xem Hình VII-14, Hình VII-15). Kiểu địa hình đặc trưng này bao gồm các đơn vị kiến trúc hình thái chính là:

- Các dãy núi thấp-trung bình khối tảng-vòm xâm thực bóc mòn kéo phương ĐB-TN ở phía tây khu vực. Trên các dãy này lộ móng các thành tạo trầm tích - phun trào và xâm nhập tuổi MZ muộn-KZ sớm (Palêogen). Độ cao trung bình các dải này từ trên 300m đến 500-600m.

- Dải đồi - đồng bằng đồi bóc mòn phân bố ở phần rìa dải núi khối tầng-vòm và chuyển tiếp xuống đồng bằng tích tụ ven biển, độ cao từ khoảng 300m đến trên dưới 100m. Phía bắc Lương Sơn phát triển trùn phủ bazan Pleistocen muộn tạo bề mặt dạng đồi lượn sóng độ cao trên 50-120m.



Hình VII-14. Bản đồ địa mạo khu vực Bình Thuận – Ninh Thuận



Hình VII-15. Mặt cắt địa mạo dọc theo tuyến nghiên cứu (sơ đồ tuyến xem Hình VII-13)

- Dải đồng bằng tích tụ (nguồn sông-biển-gió) ven biển với các dải núi-đồi hoặc núi sót lộ đá gốc trước KZ. Bề mặt đồng bằng thường có dạng bậc thang hoặc nghiêng thoải về biển. Các bậc thang tạo bởi các bậc thềm biển-sông biển và các đụn cát (dạng đồi) do gió tuổi Pliocen muộn - Đệ tứ. Các bậc thềm biển cao từ 1-2m đến 70-80m (cao nhất là thềm Mavic khu vực ven núi Đá Bàn) trẻ dần và hạ bậc từ ven vùng đồi phía tây ra phía biển. Các đồng bằng tương đối lớn là đồng bằng Phan Rí và Bình Thuận - Ninh Thuận (cửa hệ thống sông Luỹ và sông Cát-Cà Ty lần lượt tương ứng). Giữa hai đồng bằng cửa sông này là vùng đồi cát có dạng bán nguyệt do gió phủ trên bề mặt đồng bằng. Độ cao của vùng đồi cát tới trên 200m. Trên mặt đồi cát vùng Hoà Thắng gần biển có các hồ nước ngọt rất đặc thù, điển hình là hồ Bầu Tráng.

VII.2.4.3. Nhận định, kiến nghị

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các tài liệu địa chất, địa mạo hiện có và các tài liệu thu thập trên thực địa có thể nhận định rằng:

- Vùng nghiên cứu bao gồm các đồng bằng nhỏ hẹp hình thành trong Đệ tứ kiểu cửa sông ven biển dọc theo dải núi sát và song song với bờ, các sông ngắn và đồ thẳng ra biển. Các trũng - đồng bằng thường hình thành phía sau dải nâng đá gốc song song đường bờ biển hiện đại và thường được ngăn cách với các khối núi bởi vách địa hình rõ có độ cao khác nhau từ trên dưới 100m đến trên 300m. Có lẽ đó là các vách kiến tạo tạo bởi hoạt động đứt gãy có biểu hiện hoạt động trong KZ.

- Sự hình thành các đồi cát ven biển liên quan chặt chẽ với sự nhô lên của các thành tạo đá gốc trước KZ như thấy trong các mặt cắt qua dải đồi cát phía bắc Bình Thuận - Ninh Thuận.

- Xác định hệ thống các mực thềm biển đánh dấu các thời kỳ biển tiến và tích tụ trầm tích biển (và sông biển) tuổi Pleistocen sớm và sớm giữa (Q_1^{1-2}) nằm sát các sườn núi thấp-đồi bóc mòn lộ các thành tạo chủ yếu tuổi MZ và thềm biển tuổi Holocen giữa (biển tiến Flandrian) tích tụ các trầm tích biển và sông biển hỗn hợp tạo nên bề mặt đồng bằng ven biển hiện tại đang bị các dòng chảy sông suối đào-lấp.

- Các thành tạo cuội - tầng hỗn tạp gặp trong tuyến khảo sát 2 là không bình thường về mặt hình thái và thể nằm, đặc biệt là tập cuội-tầng không chọn lọc và sắc cạnh kích thước tương đối lớn ở phần trên mặt cát vùng Cà Ná-Vĩnh Hào. Chúng không giống kiểu thềm sông hoặc biển (như mô tả trong phần địa chất-địa mạo) lại có độ cao lớn hơn nhiều so với các thành tạo thềm biển Holocen trung 4-5m (biển tiến cực đại) và bãi biển hiện đại (chỉ từ 1-5 m), chúng cũng không giống các kiểu sườn tích-lũ tích như thông thường (có các hạt cuội mài tròn tốt lẫn với các loại cuội tầng sắc cạnh và sắp xếp hỗn độn. Trong chúng có tồn tại các mảnh vụn vô nhuyển thể kết tảng cứng chắc có nguồn gốc biển (mẫu phân tích ^{14}C). Các dấu hiệu nêu trên cho phép giả định nguồn gốc của các thành tạo này là do sóng lớn, cao trên 10m đã mang đến khu vực trong khoảng thời gian 4500 năm BP.

- Thềm biển Cà Ná 1 hiện tại nằm ngay sát mép nước (chiều cao khoảng 2m đang bị xói lở mạnh) không tương thích các mô tả trước đây (cao 4-5m). Chúng bao gồm cả các tầng và cuội san hô lẫn trong vỏ và vụn sò ốc gắn kết tốt. Chúng có thể nằm chồm trên bãi cát biển hiện đại. Đây cũng là vấn đề cần được làm sáng tỏ sau này.

- Sự có mặt lớp dăm cuội sạn trong cát đỏ Bình Thuận-Ninh Thuận ở khu vực sân bay Bình Thuận-Ninh Thuận cũng là một hiện tượng cần được xác minh, đánh giá đầy đủ về mặt tuổi, nguồn gốc và thể nằm của chúng.

Khu vực ven biển Phan Rang-Bình Thuận-Ninh Thuận còn chịu tác động của các hoạt động núi lửa hiện đại và động đất trong đới cao trong khu vực. Việc tìm kiếm các dấu tích hoạt động động đất và sóng thần cổ là cần thiết để đánh giá tính hoạt động địa chấn cũng như độ lặp lại của chúng trong không-thời gian để có được những đánh giá đủ sức thuyết phục và đáng tin cậy về hoạt động động đất và sóng thần cũng như dự báo khả năng xảy ra của chúng.

VII.2.5. Đặc điểm địa chất và địa mạo khu vực Bà Rịa – Vũng Tàu

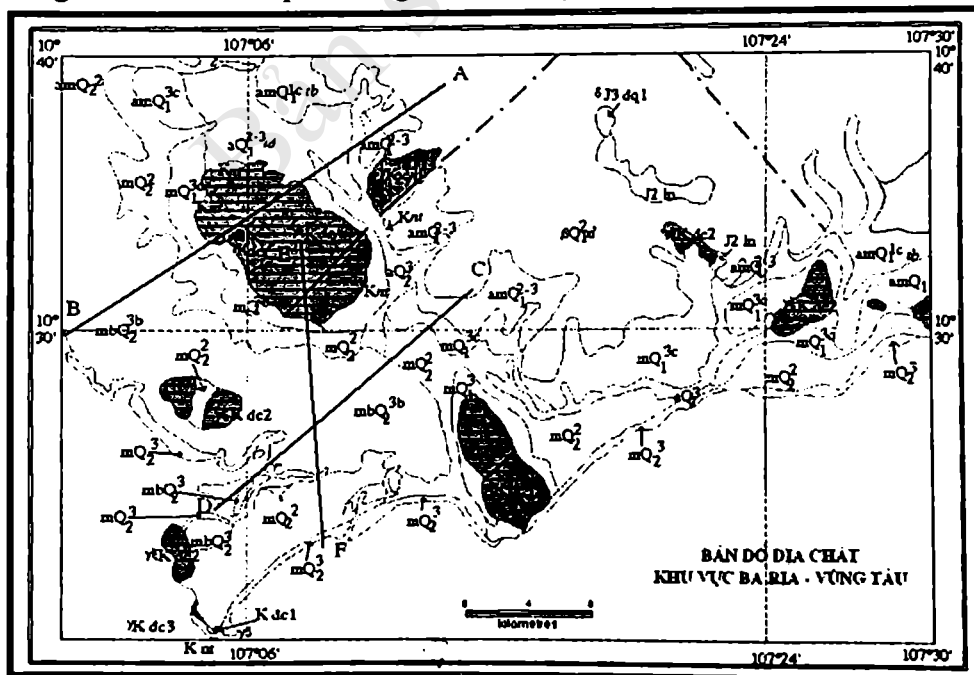
VII.2.5.1. Các thành tạo địa chất

Khu vực nghiên cứu được xác định trong ô toạ độ 107°00-107°30 kinh độ Đông và 10°20,00 - 10°40,00 vĩ độ Bắc.

Các thành tạo địa chất (Hình VII-16) gồm có:

- Các thành tạo của Hệ tầng La Ngà tuổi Jura Trung (J_2 ln) lộ ra dọc theo thượng lưu Sông Ray, Suối Chùa gồm: cát kết, bột kết, đá phiến sét, chiều dày dao động từ 700 đến 800m.

- Phù bất chỉnh hợp hoặc ranh giới kiến tạo trên các thành tạo nói trên là loạt các đá phun trào Hệ tầng Nha Trang tuổi Creta không chia (K_{nt}) gồm riolit, dacit, andesit và tuf của chúng dày 300-450m lộ ở rìa núi Tóc Tiên, núi Bao Quan thị xã Bà Rịa và rải rác ở vùng ven biển thành phố Vũng Tàu, mũi Kỳ Vân.



Hình VII-16. Bản đồ địa chất khu vực Vũng Tàu và kế cận

- Các thành bazan tuổi Pleistocen giữa HT Xuân Lộc (βQ_1^2 xl) là các đá bazan tholeit, andesitobazan, bazanit, bazan olivin kiềm tạo nên lớp phủ rộng ở phần phía TB Bà Rịa-Vũng Tàu .

- Các thành tạo xâm nhập-á xâm nhập phân bố rải rác dưới dạng núi sót trên đồng bằng chủ yếu là các xâm nhập granit PH Định Quán tuổi Jura muộn (gồm các đá gabrodiorit biotit, granodiorit biotit horblend, tonalit biotit hornblend); PH Đèo Cả tuổi Creta (granosyenit biotit, granit, granit biotit có màu xám phớt hồng đặc trưng, các đá mạch là granit porphyr, granit aplit và granit pegmatit) và PH Cà Ná tuổi Creta muộn (gồm các đá granit biotit-muscovit, granit alaskit kiến trúc porphyr.).

- Các trầm tích Đệ tứ phân bố trong các đồng bằng cửa sông ven biển. Chúng được bắt đầu bằng các đá hạt thô tương sông biển HT Trảng Bom gồm cát, sỏi, cuội và bột, sét, tuổi Pleistocen sớm phần cao (Q_1^{1c}) phân bố lộ ở rìa trùn phủ bazan Xuân Lộc: thượng nguồn Sông Dinh (các nhánh sông Ca -sông Châu Pha), suối Đá, suối Sóc ở Xuyên Mộc. Tiếp theo là các thành tạo sông HT Thủ Đức (gồm cuội sỏi sạn cát sét kaolin), biển và sông biển hỗn hợp (cát bột sét ít sỏi sạn) tuổi Pleistocen trung thượng (Q_1^{2-3}) lộ ra ven theo rìa các thành tạo Pleistocen sớm của HT Trảng Bom ở phía Bắc và Đông Châu Thành, Bắc và Đông Xuyên Lộc đến Bình Châu. Phủ trên các thành tạo này là trầm tích biển Pleistocen muộn phần trên (Q_1^{3c} - gồm bột sét ít sỏi sạn cát) và biển, biển gió Holocen trung (Q_2 - cát ít sét bột, cuội sạn). Chúng tạo các dải hẹp và kéo dài khá liên tục từ Phú Mỹ (phía đông núi Thị Vải) qua Châu Thành-Long Đất mở rộng ở vùng ven bờ từ mũi Kỳ Vân-Gia Thanh qua núi Bà Kiềm đến vùng Bình Châu. Các thành tạo này bị phủ bởi các trầm tích biển, đầm lầy ven biển tuổi Holocen muộn (Q_2^3) chiếm diện tích rộng lớn dọc theo ven bờ từ hạ lưu và cửa sông Thị Vải đến khu vực núi Châu Viên. Dải hẹp hơn sát ven bờ từ mũi Kỳ Vân đến núi Bà Kiềm. Các trầm tích biển gồm chủ yếu là cát thạch anh, ilmenit, bột, sét xác sinh vật, trầm tích đầm lầy ven biển là cát bột sét, mùn thực vật, mảnh vỏ sò. Dọc thượng lưu sông Thị Vải, Sông Dinh, sông Bà Đáp, Sông Cầu có các trầm tích tương lòng sông gồm cát cuội sạn bột sét.

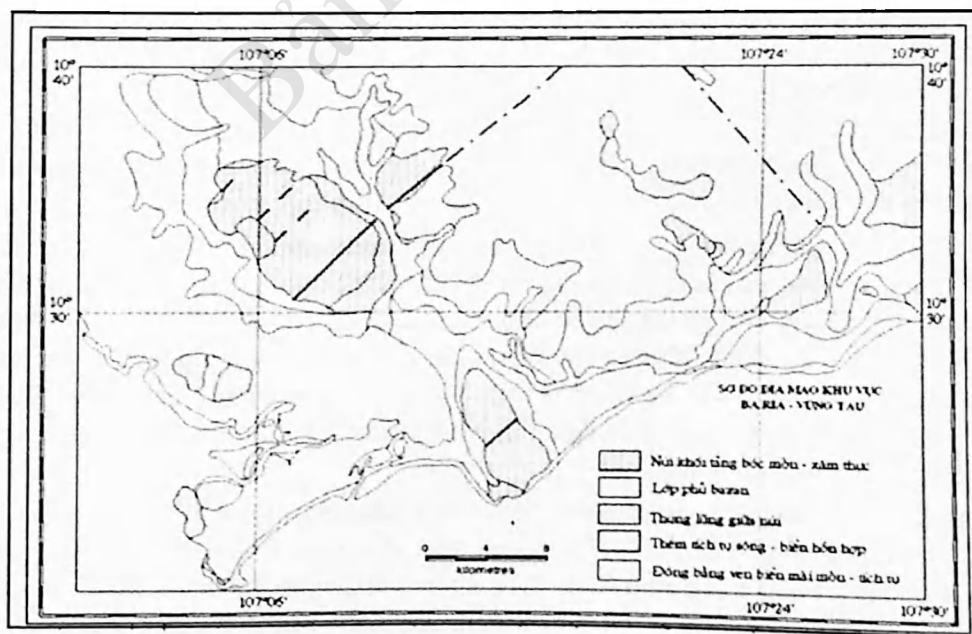
VII.2.5.2. Các yếu tố địa mạo

Địa hình khu vực nghiên cứu gồm dải đồi thấp ở phía bắc - đông bắc (độ cao trung bình 150m-200m, cấu tạo bởi bazan Xuân Lộc. Đây thực chất là một miền chuyển tiếp từ đới nâng Đà Lạt xuống trũng Cừ Long. Dải đồng bằng ở phía TN của vùng đồi bazan chính là phần rìa của trũng Cừ Long, còn dải đồng bằng hẹp ven biển từ phía ĐB núi Châu Viên về phía Hàm Tân là dải đồng bằng ven biển Nam Trung Bộ song song với đới nâng Đà Lạt. Trên bề mặt các đồng bằng này rải rác các khối núi sót chủ yếu lộ các thành tạo granit PH Đèo Cả có độ cao từ trên dưới 100 đến 500m (núi Bao Quan-Tóc Tiên trên 400-trên 500m, Núi Lớn ở TP. Vũng Tàu cao 245m, núi Châu Viên 237m...). Các sông chính là sông Thị Vải và sông Dinh có phương á kinh tuyến, các hệ thống sông này tạo nên vùng đồng bằng ven biển phía tây khu vực, hệ thống các sông Bà Đáp và sông Ray (cũng có phương kinh tuyến) tạo nên đồng bằng ven biển Xuyên Mộc (xem Hình VII-17, Hình VII-18). Kiểu địa hình đặc trưng này bao gồm các đơn vị kiến trúc hình thái chính là:

- Dải đồi dạng vòm tạo bởi trầm phủ bazan Xuân Lộc. Đỉnh vòm nằm ở khu vực núi Cam Tiêm- Suối Râm (Xuân Mỹ, phía nam thị trấn Gia Ray, huyện Xuân Lộc, cao trên 400m. Vòm núi lửa đồng thời là một vòm nâng nhẹ với các hệ thống sông suối tỏa tia và địa hình hạ thoải dần về các phía khá điển hình cho vòm nâng. Bên dưới lớp phủ bazan như dọc theo phần thượng lưu sông Ray phía TB Xuyên Mộc lộ các đá của HT La Ngà và xâm nhập PH Đèo Cả. Một số chóp-miệng núi lửa đã tắt còn được bảo tồn như ở vùng núi Đất, núi Nứa.

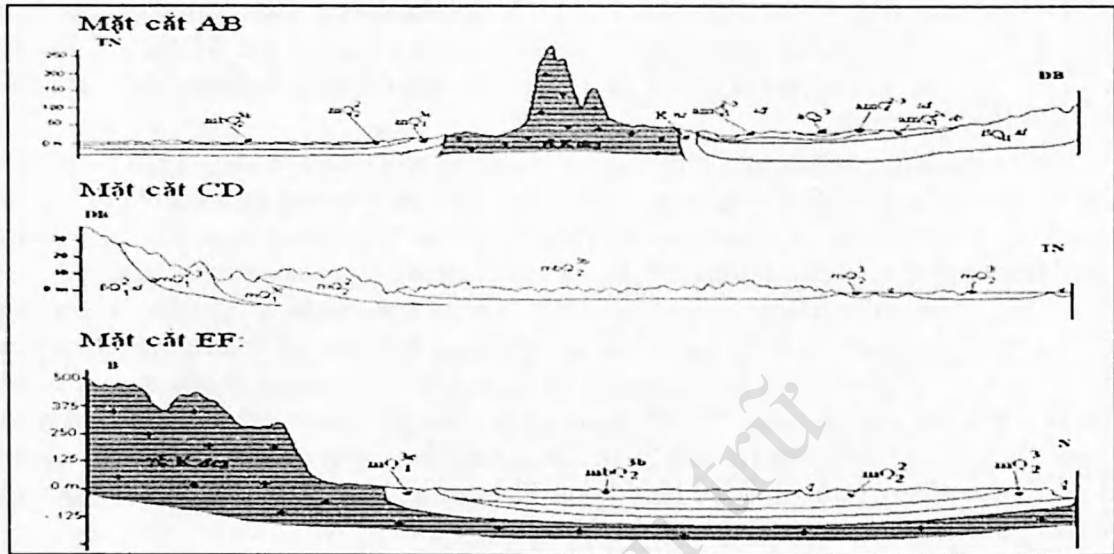
- Dải đồng bằng tích tụ cửa sông- ven biển, thuộc hệ thống các sông Thị Vải và sông Dinh chiếm phần lớn diện tích phía tây-tây nam khu vực và phủ trên các đá bazan HT Xuân Lộc. Đồng bằng này bao gồm hệ thống các bậc thềm sông-biển hỗn hợp và các thềm biển tích tụ nghiêng hướng về TN ra biển (thềm Pleistocen sớm - trên: 40-70m; thềm Pleistocen giữa-muộn - 30-45m; thềm Pleistocen muộn - 15-30m thềm biển Holocen trung 5-15m...). Nhiều khối núi sót granitoit PH Đèo Cả lộ trên mặt đồng bằng trên đó có lớp vỏ phong hoá kiểu saprolit mỏng bao phủ bề mặt sườn bóc mòn. Có biểu hiện một đới đứt gãy phương TB-ĐN ngăn cách vùng đồi bazan với đồng bằng này, nó cắt dọc theo sông Châu Pha (nhánh Sông Dinh) qua Hoà Long ra biển ở Hải An, về phía TB nó đi qua Long Phú và xa về phía Long Thành. Nó đồng thời cũng là ranh giới các bậc thềm cao trên 40m tuổi Q_1^1 với bậc thềm thấp hơn tuổi Q_1^{2-3} .

- Dải đồng bằng tích tụ ven biển kề núi vùng cửa sông Ray (đồng bằng Xuyên Mộc) với các núi sót lộ đá gốc trước KZ. Dải đồng bằng này rất hẹp (chi rộng 6-8km). Bề mặt đồng bằng thường có dạng bậc thang hoặc nghiêng thoải về biển. Các bậc thang tạo bởi các bậc thềm biển tuổi Q_1^3 - 15-30m xuống dải cát ven biển dưới 15m tuổi Holocen giữa- muộn. Riêng phía đông Xuyên Mộc, nơi lộ các núi sót, đồng bằng bị thu hẹp và nổi cao trên 40m thành dải cao xuyên ngang từ Bung Riềng ra biển nối với núi Mộ Ông- Đá Vách và núi Bà Kiềm, Tại đây xuất hiện các thềm cổ hơn có tuổi Q_1^1 .



Hình VII-17. Bản đồ địa mạo khu vực Vũng Tàu và kế cận

- Các yếu tố địa mạo nêu trên bị đào xẻ, cắt sâu bởi hệ thống thung lũng phân thượng nguồn các sông Thị Vải, Sông Dinh, Sông Ray. Trên các lòng sông tích tụ trầm tích bãi bồi Holocen muộn-hiện đại.



Hình VII-18. Mặt cắt địa mạo dọc theo các tuyến chuẩn (vị trí tuyến xem Hình VII-16)

VII.2.5.3. Nhận định

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các tài liệu địa chất, địa mạo hiện có và các tài liệu thu thập trên thực địa có thể nhận định rằng:

- Vùng nghiên cứu bao gồm các dải đồng bằng Đệ tứ nhỏ hẹp tại nơi giao nhau của các hệ thống kiến trúc có biểu hiện hoạt động khác nhau: rìa TN của đới nâng Đà Lạt có phương ĐB-TN có biểu hiện hoạt động nội sinh mạnh trong MZ muộn đến đầu KZ và nâng tạo núi mạnh trong KZ đến Hiện đại chuyển tiếp về phía ĐN xuống trũng sụt lún Cửu Long ngoài thềm lục địa; mặt khác đới Đà Lạt lại bị chặn phía TN bởi trũng Đồng bằng sông Cửu Long có phương TB-ĐN là trũng sụt lún mạnh trong KZ đến hiện nay. Khu vực Bà Rịa-Vũng Tàu có vị trí khớp nối của các kiến trúc nói trên.

- Vùng trũng - đồng bằng nằm ở rìa một vòm nâng-núi lửa Xuân Lộc hoạt động trong Pleistocen trung nơi xen giữa đồng bằng tích tụ trầm tích đầm lầy ven biển với hệ thống cửa sông chằng chịt lại có lộ các khối nâng đá gốc của đới Đà Lạt cho thấy nằm không xa bề mặt dưới đồng bằng là các thành tạo của móng uốn nếp MZ muộn của đới Đà Lạt (nhiều lỗ khoan ở độ sâu vài chục đến trên 100m gặp đá gốc granit Đèo Cả hoặc các đá trầm tích phun trào HT La Ngà, HT Nha Trang...). Các đá này nổi lộ ngay sát biển ở khu vực thành phố Vũng Tàu.

- Xác định hệ thống các mực thềm biển đánh dấu các thời kỳ biển tiến và tích tụ trầm tích biển (và sông biển) tuổi Pleistocen sớm đến muộn nằm sát các sườn núi sót trên bề mặt đồng bằng cũng như bám theo sườn vùng vòm bazan Xuân Lộc, nhất là thềm biển tuổi Holocen giữa (biển tiến Flandrian) viền bên dưới, đôi khi nổi cao tới

40m, có thể do hoạt động nâng, hiện tại đang bị các dòng chảy sông suối đào-lấp và bị phủ bởi các thành tạo đầm lầy biển hiện đại.

- Các thành tạo sạn, tầng hỗn tạp gặp trong đất đá phủ trên bề mặt sườn Núi Lớn ở Vũng Tàu có thể là “lạ” không giống các thành tạo kiểu tầng lặn trên sườn vốn rất điển hình trong khu vực, chúng nằm lẫn trong các đất đá phủ sườn thường được coi là dăm sạn phong hoá kiểu saprolit. Việc xác định chính xác nguồn gốc các đá này là vấn đề còn bỏ ngỏ. Tuy nhiên tuổi hiện đại (trên dưới 800 năm BP) cho thấy lớp vỏ phong hoá này hoàn toàn mới được hình thành nhưng cũng có bề dày khá lớn là điều cần lưu ý.

Khu vực ven biển Bà Rịa-Vũng Tàu, như vậy, còn chịu tác động của các hoạt động núi lửa hiện đại và động đất tương đối cao trong khu vực. Việc tìm kiếm các dấu tích hoạt động động đất và sóng thần cổ là cần thiết để đánh giá tính hoạt động địa chấn cũng như độ lặp lại của chúng trong không-thời gian để có được những đánh giá đủ sức thuyết phục và đáng tin cậy về hoạt động động đất và sóng thần cũng như dự báo khả năng xảy ra của chúng.

VII.2.6. Kết quả phân tích tuổi tuyệt đối

Bảng VII-1 là kết quả phân tích tuổi tuyệt đối của mẫu địa chất (phương pháp Carbon phóng xạ) theo tiêu chuẩn truyền thống, $T_{1/2}=5\ 570$ năm.

Bảng VII-1. Giá trị tuổi 14C các mẫu ($T_{1/2}=5\ 570$ năm)

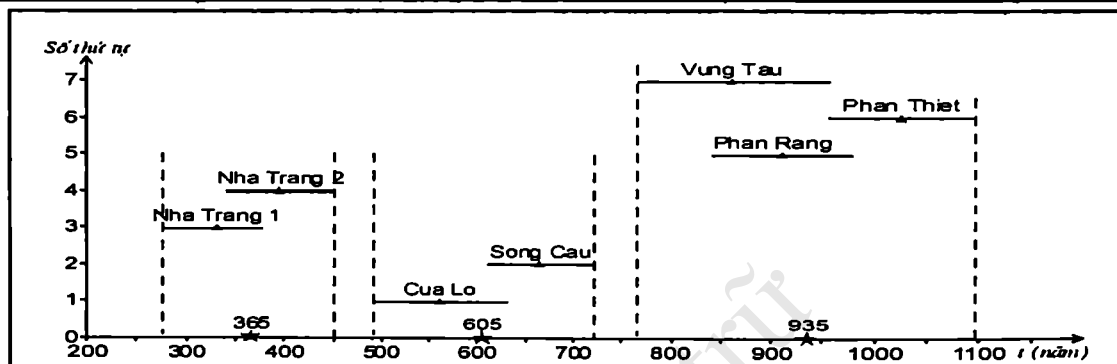
TT	Vị trí lấy mẫu	Số hiệu chỉnh $\delta^{13}C$ theo PDB	Tuổi tuyệt đối theo mẫu chuẩn 0.95 NBS Ox.Ac.Std (năm)	Sai số xác định tuổi (năm)
1	Cửa Lò	-25,0%	540	± 70
2	Sông Cầu	-25,0%	665	± 55
3	Nha Trang lớp 1	-25,0%	330	± 50
	Nha Trang lớp 2	-25,0%	395	± 55
4	Phan Rang 2005	-25,0%	465	± 85
	Phan Rang 2006	-25,00	910	± 70
5	Bình Thuận - Ninh Thuận	-25,0%	1025	± 70
6	Vũng Tàu	-25,0%	860	± 95

Bảng VII-2 kết quả phân tích tuổi tuyệt đối của mẫu địa chất (phương pháp Carbon phóng xạ) theo tiêu chuẩn mới, $T_{1/2}=5\ 730\pm 30$ năm.

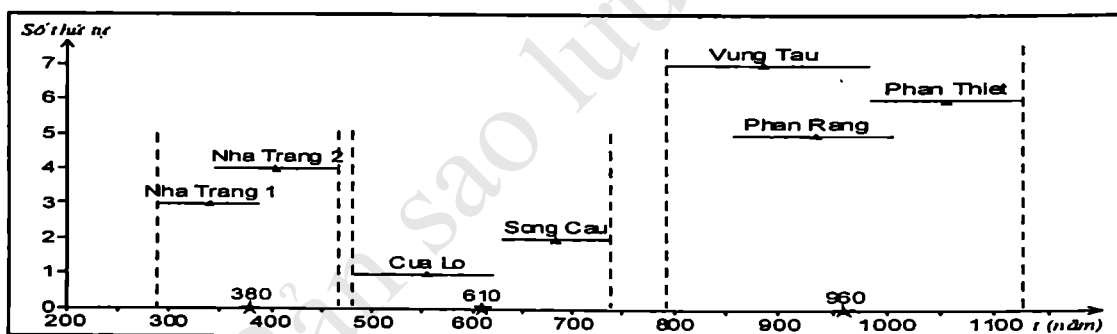
Bảng VII-2. Giá trị tuổi 14C các mẫu ($T_{1/2}=5\ 730\pm 30$ năm)

TT	Vị trí lấy mẫu	Thời gian đo mẫu (phút)	Tuổi tuyệt đối được xác định với việc áp dụng hiệu chuẩn quốc tế INT-98 (năm)	Sai số xác định tuổi (năm)
1	Cửa Lò	2 800	555	± 70
2	Sông Cầu	2 800	683	± 55
3	Nha Trang lớp 1	2 800	340	± 50

	Nha Trang lớp 2	2 800	405	±60
4	Phan Rang 2005	2 800	480	±90
	Phan Rang 2006	2 800	935	±75
5	Bình Thuận - Ninh Thuận	2 800	1055	±70
6	Vũng Tàu	2 800	885	±95



Hình VII-19. Phân bố tuổi của mẫu địa chất với chu kỳ bán rã $T_{1/2} = 5570$ năm



Hình VII-20. Phân bố tuổi của mẫu địa chất với chu kỳ bán rã $T_{1/2} = 5730 \pm 30$ năm

Qua phân tích theo phân bố tuổi cho thấy có biểu hiện của ba chu kỳ tuổi tuyệt đối của mẫu địa chất, đó là: 365, 605, 935 năm đối với phương pháp phân tích 1 và: 380, 610, 960 năm đối với phương pháp phân tích 2. Như vậy, nếu khẳng định một cách chắc chắn rằng các cấu tạo tại điểm lấy mẫu là do sóng thần tạo ra thì tại vùng ven biển Việt Nam đã phát hiện được ít nhất là 3 sóng thần, vào các năm cách đây 380 năm, 610 năm và 960 năm, chu kỳ trung bình là 320 năm. Độ cao tối đa của sóng thần có thể lên tới 18m.

Trên cơ sở việc phát hiện một số điểm có thành tạo địa chất biểu hiện do nguyên nhân gây nên bởi sóng thần, các hiện tượng sóng lớn điều tra được trong nhân dân, cộng thêm đó là các bậc thềm được thành tạo tại ven biển Diễn Châu cũng như danh mục sóng thần khu vực Biển Đông và Tây Philippin đã chứng tỏ có khả năng sóng thần đã tấn công vào bờ biển Việt Nam [13], [29].

Đới hút chìm Manila là nơi có nguy cơ xuất hiện động đất mạnh gây sóng thần tác động đến bờ Biển Đông Việt Nam, Brunay và Malaysia. Mức độ ảnh hưởng của sóng

thần có nguồn Manila đến các điểm trên đường bờ của mỗi nước này sẽ khác nhau, phụ thuộc vào độ mạnh của động đất gây ra sóng thần và khoảng cách từ chấn tâm tới đường bờ quan sát sóng thần.

Các nguồn sóng thần nằm sát với đường bờ biển Nam Trung Quốc và đặc biệt là sát với đường bờ biển Việt Nam lại trùng với đới động đất mạnh thuộc ven bờ Biển Đông Việt Nam và Trung Quốc. Như vậy, ngoài yếu tố sóng thần lan truyền tới từ nguồn Manila còn có yếu tố của sóng thần vùng gần đường bờ tác động đến bờ biển nước ta.

Tóm lại, có thể nói rằng bờ biển Việt Nam ở mức độ khác nhau đã chịu ảnh hưởng tác động của sóng thần vừa có nguồn gốc xa, từ đới Manila, vừa có nguồn gốc gần, nằm sát với đường bờ Trung Quốc và đường bờ Việt Nam.

Với kết luận của phân tích địa chất, cho rằng lớp phù trầm được thành tạo trong hoàn cảnh xáo trộn dữ dội của nước. Điều kiện này biểu hiện rõ ràng đặc trưng sóng thần. Vì vậy có thể đưa ra một giả thiết rằng các điểm khảo sát là vết tích để lại của hoạt động sóng thần tác động đến bờ biển Việt Nam trong quá khứ.

Kết quả phân tích tuổi-tuyệt đối của các mẫu địa chất tại các lớp phù trầm đã cho thấy có ít nhất 3 đợt phù trầm trên diện rộng, vào các năm cách đây 380 năm, 610 năm và 960 năm, chu kỳ trung bình là 320 năm. Độ cao tối đa của sóng có thể lên tới 18 m. Với đặc trưng này thì giả thiết về sự tồn tại cổ sóng thần đã gây tác động mạnh mẽ vào bờ biển Việt Nam là hợp lý hơn cả.

VII.2.7. Một số nhận định

Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các tài liệu địa chất, địa mạo hiện có và các tài liệu thu thập trên thực địa có thể nhận định rằng: vùng Diễn Châu-Quỳnh Lưu là các đồng bằng hình thành trong Đệ tứ kiểu lấp đầy vũng vịnh sau cồn cát nổi đảo, điển hình cho kiểu bờ biển và các đồng bằng miền Trung, nơi có các dải núi xuyên ngang kiểu xương cá từ dải Trường Sơn với các dòng chảy sông suối ngắn đổ thẳng ra biển. Ghi nhận các mực trầm biển đánh dấu các thời kỳ biển tiến và tích tụ trầm tích biển tuổi Pleistocen muộn (Q_1^3) nằm sát các sườn núi thấp-đồi bóc mòn lộ các thành tạo trước KZ và trầm biển tuổi Holocen giữa (biển tiến Flandrian) tích tụ các trầm tích biển và sông biển hỗn hợp tạo nên bề mặt đồng bằng hiện tại đang bị các dòng chảy sông suối đào-lấp. Dọc theo đường bờ là các dải doi cát nổi đảo: nổi các núi sót nhô lên trên đồng bằng và các dải núi xuyên ngang ra biển. Tại các chân núi này hình thành các bãi đá, vách sạt lở và tích tụ các tầng đồ lở, cuội, sỏi đôi chỗ lẫn các vỏ sò ốc khá dày (Núi Rồng-Quỳnh Lưu). Đôi chỗ ngay trên bề mặt đồng bằng nổi lên các gò-đống hoặc tấm sò ốc và điệp gắn kết chắc, được dùng làm vật liệu xây dựng phân bố ở các mức độ cao và vị trí khác nhau: cồn điệp-sò ốc ở Quỳnh Văn (sát chân dải núi sót có độ cao 7-8 m, có thể tới 10m) cách bờ biển 4-5km; ở sát bờ biển gặp trong lớp dưới đồng bằng như ở Quỳnh Nghĩa; gặp ngay trên mặt đường (có độ cao khoảng 4m trên mực biển) như ở thị trấn Diễn Châu, dưới các doi cát ven biển như ở Nghi Yên, Nghi Tiến và gò đồng cao 5-6m như ở Nghi Tiến.

Các giá trị tuổi 14C của các mẫu sò ốc đặc biệt là QV1-2, và NL2-4 nằm ở các độ cao khác nhau và cách xa nhau nhưng đều cho một khoảng tuổi 4400 năm-4500 năm. Điều này khó có thể chỉ giải thích là sự dâng lên của mực biển - biển tiến Holocen trung

(được xác định là khoảng độ cao 3-5m) xảy ra trong khoảng 4000-5000 năm trước đây) hoặc bởi người cổ xưa ăn và sử dụng chất thành đồng hoặc do vận động nâng hạ kiến tạo như một số các tác giả từng nghiên cứu và đề xuất trước đây. Có ý kiến cho rằng, không loại trừ một khả năng khác là hoạt động của sóng thần (do động đất, do bão lốc lớn) đã từng xảy ra trong lịch sử trước đây. Một di chứng đáng chú ý nữa là sự có mặt của tầng cuội tầng khá lớn gặp trên mặt và dưới bề mặt ở khu vực xã Quỳnh Nghĩa (Quỳnh Lưu) nằm cách khá xa chân núi Sốt sát bờ trong khi ngay dưới chân núi chỉ gặp chủ yếu là cuội sỏi cỡ trung bình-nhỏ và cồn sò ốc hiện đại.

Cô sóng thần có thể đã tấn công vào bờ biển Việt Nam, vào những thời điểm cách đây: 380 năm, 610 năm, 960 năm..., chu kỳ trung bình là 320 năm.

Bản sao lưu trữ

Chương VIII

CÁC GIẢI PHÁP PHÒNG TRÁNH VÀ GIẢM NHẸ HẬU QUẢ ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VIỆT NAM

VIII.1. PHÂN VÙNG ĐỘ NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN TRÊN VÙNG VEN BIỂN VÀ HẢI ĐẢO ĐỂ CÓ CÁC BIỆN PHÁP PHÒNG NGỪA VÀ ỨNG PHÓ THÍCH HỢP

Vùng ven biển và hải đảo Việt Nam đã được nghiên cứu đánh giá về mức độ nguy hiểm động đất và sóng thần với độ chi tiết ở tỷ lệ 1:500000 qua các bản đồ vùng nguồn động đất và sóng thần, bản đồ độ nguy hiểm động đất và bản đồ độ nguy hiểm sóng thần. Trên cơ sở những kết quả đánh giá tổng hợp này, vùng ven biển và hải đảo, bao gồm cả phần trên đất liền và vùng nước ven bờ, ven đảo phải được phân định theo mức độ nguy hiểm khác nhau để làm căn cứ cho những giải pháp phòng tránh và ứng phó phù hợp, có hiệu quả đối với từng loại thiên tai.

VIII.1.1. Phân vùng độ nguy hiểm động đất

Vùng ven biển Việt Nam đã được nghiên cứu và phân vùng động đất ở tỷ lệ chung 1:1000000 (Phạm Văn Thục, Nguyễn Đình Xuyên và n.n.k 1985) và sau đó bản đồ độ nguy hiểm động đất vùng ven biển Việt Nam ở cùng tỷ lệ đã được xây dựng (Nguyễn Đình Xuyên, 2004). Trên vùng biển, bản đồ phân vùng động đất cho vùng biển Việt Nam và kế cận tỷ lệ 1:1000000 cũng đã được xây dựng (Phạm Văn Thục, Nguyễn Văn Lương, 2005). Dựa trên những kết quả đó và với những bổ sung về số liệu điều tra, sử dụng phương pháp mới, bản đồ độ nguy hiểm động đất cho vùng ven biển Việt Nam đã được xây dựng ở tỷ lệ 1:500000. Trên bản đồ này, căn cứ vào đặc điểm phân bố của các giá trị PGA (gia tốc nền cực đại) và cường độ chấn động trên bề mặt I (thang MSK) để phân định ra những vùng với mức độ nguy hiểm cao nơi PGA có giá trị cao hơn 10.0%gal và cường độ chấn động đạt cấp VII và lớn hơn. Đó là những vùng phải được quan tâm và có những giải pháp phòng tránh và ứng phó phù hợp đối với thiên tai động đất.

Nhìn trên bản đồ có thể xác định cụ thể đó là những vùng như ven biển đông bắc từ Móng Cái đến Hải Phòng, vùng ven biển Đồng bằng Sông Hồng từ Hải Phòng đến Ninh Bình, vùng ven biển Bắc Trung Bộ gồm Thanh Hoá -Nghệ An và vùng Hà Tĩnh đến Đồng Hới (Quảng Bình). Ở ven biển miền Trung là vùng Thừa Thiên - Huế - Đà Nẵng, vùng ven biển Quảng Nam bắc Quảng Ngãi. Ở ven biển Nam Trung Bộ là khu vực ven biển Khánh Hoà, Ninh Thuận – Bình Thuận, Bà Rịa – Vũng Tàu và vùng ven biển phía nam là vùng cửa sông Hậu và Sóc Trăng – Cà Mau. Những vùng nêu trên là vùng ven biển có độ nguy hiểm động đất cao, ranh giới và phạm vi của chúng được vạch ra cụ thể

dựa trên bản đồ độ nguy hiểm động đất ven biển Việt Nam. Về các hải đảo thì các đảo ven bờ đông bắc trên vịnh Bắc Bộ, kể cả Bạch Long Vĩ, đảo Hòn Mê, đảo Cồn Cò, đảo Lý Sơn, Phú Quý, Hòn Tro, Côn Đảo đều là những đảo có độ nguy hiểm động đất cao.

VIII.1.2. Phân vùng độ nguy hiểm sóng thần

Kết quả nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần đối với vùng ven biển và hải đảo Việt Nam được phản ánh trên bản đồ độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển là sản phẩm nghiên cứu, tính toán, đánh giá tổng hợp qua các bước điều tra nghiên cứu cơ bản là : xác định các vùng nguồn sóng thần và M_{max} trên Biển Đông, xây dựng tính các kịch bản sóng thần từ các vùng nguồn có thể tác động và ảnh hưởng tới bờ biển Việt Nam, trên cơ sở đánh giá xác suất tính và xây dựng bản đồ nguy hiểm sóng thần thể hiện xác suất xảy ra sóng thần với giá trị độ cao sóng trên một đơn vị diện tích. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần được xây dựng cho các chu kỳ 475 và 950 năm. Theo các bản đồ nêu trên xác định các vùng ven biển và hải đảo có độ nguy hiểm sóng thần cao là đối tượng phải quan tâm và áp dụng các biện pháp phòng tránh và ứng phó phù hợp. Theo đánh giá chung, không phải tất cả các vùng ven biển Việt Nam đều có nguy cơ sóng thần và càng không phải là nguy cơ cao như nhau. Đánh giá xác suất như trên cho thấy, vùng có mức độ nguy hiểm sóng thần hiện hữu với độ cao sóng cực đại từ 4m đến 6m trong chu kỳ 475 năm hoặc 950 năm là vùng ven biển và hải đảo Trung Trung Bộ từ Đà Nẵng đến Quảng Ngãi, vùng ven biển Bắc Trung Bộ từ Nghệ An đến Quảng Trị vùng ven biển Nam Trung Bộ đều có nguy cơ sóng thần và cũng không phải là nguy cơ cao như nhau. Đánh giá xác suất như trên cho thấy, vùng có mức độ nguy hiểm sóng thần hiện hữu với độ cao sóng cực đại từ 4m đến 6m trong chu kỳ 475 năm hoặc 950 năm là vùng ven biển và hải đảo Trung Trung Bộ từ Đà Nẵng đến Quảng Ngãi, vùng ven biển Bắc Trung Bộ từ Nghệ An đến Quảng Trị, vùng ven biển Nam Trung Bộ từ Bình Định đến Khánh Hoà và Ninh Thuận có thể là vùng có độ nguy hiểm sóng thần tương đối cao với độ cao sóng cực đại 2-3m trong những chu kỳ xuất hiện tương ứng như trên. Phạm vi, giới hạn của các vùng như trên được xác định cụ thể căn cứ vào bản đồ ở tỷ lệ 1:1000000 hoặc 1:500000.

VIII.1.3. Đánh giá rủi ro động đất và sóng thần

Một trong những giải pháp mang ý nghĩa dự báo để phòng tránh và giảm nhẹ thiệt hại của thiên tai động đất và sóng thần là đánh giá rủi ro. Đánh giá rủi ro động đất hoặc rủi ro sóng thần là biện pháp tính toán xác định mức độ thiệt hại cụ thể về con người và công trình do tác động của động đất hoặc sóng thần. Phương pháp tính toán và đánh giá rủi ro động đất và sóng thần được trình bày trong các chương V và VI của báo cáo đề tài. Phương pháp được ứng dụng để tính cụ thể cho một địa điểm là thành phố Nha Trang nằm trong vùng có độ nguy hiểm động đất và sóng thần được đánh giá là tương đối cao. Kết quả đánh giá rủi ro và thiệt hại do động đất và sóng thần là những đánh giá dự báo có cơ sở dựa trên những số liệu đánh giá khảo sát thực tế về con người và về hiện trạng các công trình ở trong khu vực nghiên cứu.

Đối với các vùng được xác định là có độ nguy hiểm động đất cao, tương ứng với PGA lớn hơn 10.0%gal và cường độ chấn động $I \geq VII$, phải được khảo sát, tính toán và

đánh giá độ nguy hiểm động đất ở những tỷ lệ lớn, có độ chi tiết cao để làm cơ sở xây dựng những giải pháp phòng tránh và giảm nhẹ hậu quả phù hợp.

Đối với các vùng ven biển và hải đảo được xác định là vùng có độ nguy hiểm sóng thần, với độ cao sóng từ 2m đến 3m và lớn hơn với chu kỳ 950 năm, phải tiến hành đánh giá rủi ro sóng thần chi tiết và cụ thể để có giải pháp phòng tránh và giảm thiểu thiệt hại phù hợp.

VIII.2. HỆ THỐNG BÁO TIN ĐỘNG ĐẤT VÀ CẢNH BÁO SÓNG THẦN Ở VIỆT NAM

VIII.2.1. Cơ sở pháp lý

- Quyết định 264/2006/QĐ-TTg ngày 16/11/2006 của Thủ tướng Chính phủ về việc ban hành Quy chế báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam. Lần đầu tiên Chính phủ Việt Nam ban hành văn bản pháp luật quy định về việc tổ chức báo tin động đất và cảnh báo sóng thần và là cơ sở pháp lý cho hệ thống báo tin động đất cảnh báo sóng thần của Việt Nam ra đời và hoạt động.

Bản quy chế quy định những động đất có cường độ bằng hoặc lớn hơn 3,5 độ Richter xảy ra trên đất liền và vùng biển Đông, hoạt động núi lửa và động đất có cường độ lớn hơn 6,5 độ Richter xảy ra ở các vùng biển khác nhưng có khả năng gây ra sóng thần ảnh hưởng đến bờ biển và hải đảo Việt Nam thì phải tổ chức báo tin và cảnh báo để phòng ngừa và giảm thiểu thiệt hại. Bản quy chế quy định một số hình thức, biện pháp tổ chức báo tin và cảnh báo, quy định nhiệm vụ, quyền hạn và trách nhiệm của các ngành, các cấp, các tổ chức, cơ quan trong công tác phối hợp báo tin động đất và cảnh báo sóng thần.

- Quyết định 78/2007/QĐ-TTg ngày 29/5/2007 của Thủ tướng Chính phủ về việc ban hành Quy chế phòng chống động đất và sóng thần là văn bản pháp quy đầu tiên của chính phủ quy định những công việc và nhiệm vụ phải thực hiện để phòng chống động đất và sóng thần ở Việt Nam như phân vùng động đất và sóng thần, xây dựng các kịch bản sóng thần trên Biển Đông, đánh giá mức độ phạm vi ảnh hưởng của động đất và sóng thần đến dân sinh và công trình kinh tế, kiến trúc, văn hoá quy hoạch phát triển kinh tế xã hội trong vùng có nguy cơ động đất, sóng thần, xác lập quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật xây dựng trong vùng có nguy cơ động đất, sóng thần, xây dựng công trình phòng ngừa sóng thần, lập phương án phòng chống động đất sóng thần, tuyên truyền giáo dục nâng cao nhận thức về động đất và sóng thần.

Bản quy chế cũng xác định nhiệm vụ thông tin, báo tin về động đất, sóng thần và tổ chức ứng phó khi có động đất và sóng thần, tổ chức tìm kiếm cứu nạn khi động đất và sóng thần xảy ra, quy định nhiệm vụ khắc phục hậu quả động đất và sóng thần. Trong quy chế, các bộ ngành và cơ quan nhà nước được giao những nhiệm vụ và trách nhiệm cụ thể trong việc phối hợp thực hiện những nhiệm vụ được nêu ra.

VIII.2.1.1. Hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần

Theo những văn bản pháp quy quan trọng nêu trên, một hệ thống báo tin động đất và

cảnh báo sóng thần ở Việt Nam được hình thành với các thành phần chủ yếu gồm:

- Hệ thống trạm địa chấn của Việt Nam
- Hệ thống trạm đo mực nước biển của Việt Nam
- Hệ thống trạm địa chấn và trạm Hải văn của khu vực
- Các Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần khu vực Châu Á Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương.
- Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần của Việt Nam
- Các kịch bản sóng thần trên Biển Đông
- Các hệ thống báo động và truyền tin phục vụ báo tin động đất và cảnh báo sóng thần.

Mạng trạm địa chấn của Việt Nam là một thành phần rất quan trọng và cơ bản của hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam. Mạng trạm này gồm các trạm địa chấn được xây dựng và vận hành từ những năm đầu thế kỷ trước như các trạm Phú Liễn (Hải Phòng) và Nha Trang (Khánh Hoà) do người Pháp xây dựng và vận hành, cho đến những năm cuối thế kỷ 20 và hiện tại mạng trạm đã bao gồm 24 trạm phân bố trên toàn vùng ven biển, nhưng chủ yếu tập trung ở phía Bắc (20 trạm) toàn miền Trung Việt Nam có 4 trạm. Vùng Nam bộ không có trạm nào. Các trạm được trang bị máy đo phần lớn là thuộc thế hệ cũ, sử dụng máy địa chấn chu kỳ ngắn. Hệ thống ghi tín hiệu trên cơ sở máy tính cá nhân. Hệ thống xử lý tín hiệu còn thô sơ chưa tự động hoá, chưa tương thích với các phần mềm xử lý số liệu tiên tiến. Mới có 5 bộ máy có thể quan sát dao động mạnh, chưa có máy ghi địa chấn dài rộng trong mạng các trạm địa chấn của Việt Nam. Tình trạng chung là các trạm hoạt động biệt lập, ghi và tích lũy thông tin, truyền tin chưa kịp thời, số liệu ghi được chỉ được gửi về trung tâm theo định kỳ. Rõ ràng hệ thống trạm như vậy chưa thể đáp ứng yêu cầu dự báo và cảnh báo theo quy chế.

Sau khi Chính phủ ban hành quy chế báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam, từ năm 2009 một dự án đầu tư hiện đại hoá mạng lưới trạm địa chấn ở Việt Nam đã được phê duyệt và triển khai thực hiện với thời gian dự kiến từ 3 đến 6 năm. Mạng trạm địa chấn mới gồm 36 trạm phân bố trên toàn vùng ven biển và lãnh hải Việt Nam như sau:

- Phần phía Bắc (bao gồm cả Thanh Hoá, Nghệ An) = 18 trạm
- Miền Trung từ Quảng Bình đến Vũng Tàu = 10 trạm
- Nam Bộ (Đồng bằng sông Cửu Long) = 6 trạm
- Các đảo (Côn Đảo, Phú Quý) = 2 trạm

Các trạm sẽ được trang bị các hệ máy ghi động đất dài rộng, hiện đại với mức độ tự động hoá cao, số liệu được truyền trực tiếp về trung tâm qua vệ tinh và mạng Internet, một số trạm còn có thêm hệ thống thiết bị định vị GPS và kết nối trực tiếp với các hệ thống trạm khu vực như Sơn La, Đà Lạt... Sau khi dự án hoàn thành mạng trạm địa chấn của Việt Nam như trên hoàn toàn đáp ứng yêu cầu phục vụ cho hoạt động báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam. Cùng với mạng trạm địa chấn, mạng trạm đo mực nước biển của Việt Nam bao gồm 18 trạm chính phân bố dọc ven biển và trên các hải đảo của Việt Nam cũng

đang được hiện đại hoá. Mạng trạm hải văn do trung tâm Khí tượng thuỷ văn biển của Tổng cục Biển đảo Việt Nam (Bộ Tài nguyên và Môi trường) quản lý. Theo quy chế của Chính phủ thì toàn bộ mạng trạm đo mực nước của Việt Nam sẽ được phục vụ với tư cách là một thành phần trong hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần của Việt Nam.

Trong khu vực Đông Á và Đông Nam Á, hầu hết các nước đều có hệ thống trạm động đất trên vùng ven biển và lãnh hải của mình như Trung Quốc, Nhật, Đài Loan, Hàn Quốc, Philipin, Malaysia, Indonexia, Mianma, Thái Lan, Sri Lanka, Bangladesh... Ở những nước thường xuyên xảy ra động đất như Nhật Bản, Trung Quốc, Đài Loan, Philipin, Indonexia các trạm địa chấn có mật độ phân bố khá cao, được tổ chức thành các mạng trạm quốc gia, vùng và địa phương với nhiều cấp khác nhau để phối hợp hoạt động, ngoài các trạm động đất, các nước như Nhật, Indonexia, Malaysia còn có các phao sóng thần hoạt động trên biển để ghi và phục vụ cảnh báo sóng thần.

Từ năm 2006 ở khu vực Đông Nam Á và Ấn Độ Dương đã hình thành hệ thống trạm địa chấn và hải văn khu vực để cảnh báo sóng thần với trên 76 trạm địa chấn và 60 trạm hải văn hiện đại, chuẩn hoá và kết nối với nhau qua vệ tinh phục vụ báo tin động đất cảnh báo sóng thần trong khu vực. Việt Nam là một trong 13 nước thành viên của hệ thống này với 4 trạm gồm 2 trạm động đất (Sơn La và Đà Lạt) và 2 trạm hải văn (Quy Nhơn và Vũng Tàu) đã được đầu tư hiện đại hoá và kết nối với hệ thống đang đi vào vận hành [67].

Các Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần khu vực Châu Á và Thái Bình Dương là yếu tố quốc tế rất quan trọng trong hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần của Việt Nam, đặc biệt là những trung tâm đó liên kết và tập hợp thông tin cảnh báo trên cơ sở kết nối trực tiếp với các mạng trạm động đất và hải văn của hầu hết các nước trong khu vực. Trước hết, đó là Trung tâm cảnh báo sóng thần Thái Bình Dương (PTWC) do Ủy ban Hải dương học Liên chính phủ (IOC) thành lập và vận hành từ năm 1965. Trung tâm này đặt tại Hawaii và do Tổng cục biển và khí quyển của Mỹ quản lý và vận hành. Trung tâm cảnh báo sóng thần Thái Bình Dương hoạt động liên tục và kiên kết với tất cả các trạm, các đầu mối quan trắc địa chấn và hải văn trong toàn khu vực, đã và đang có liên hệ chặt chẽ, thường xuyên cung cấp thông tin báo tin động đất và cảnh báo sóng thần cho Việt Nam [67].

Trung tâm thông tin động đất và sóng thần ASEAN đặt tại Indonexia có nhiệm vụ thu thập thông tin về động đất và sóng thần trong khu vực ASEAN và cung cấp thông tin phục vụ phòng tránh và cảnh báo động đất và sóng thần trong khối ASEAN. Thông tin về động đất và sóng thần từ hệ thống các trạm và trung tâm cảnh báo trên thế giới và trong khu vực được tập trung về trung tâm này và sau khi xử lý được cung cấp kịp thời cho các nước thành viên của ASEAN qua mạng ASEANET.

Trung tâm ứng phó thảm hoạ châu Á (ADPC) được thành lập sau thảm hoạ sóng thần ở khu vực Đông Nam Á và Ấn Độ Dương vào cuối năm 2004. Trung tâm được quỹ cứu trợ động đất và sóng thần của Liên hiệp quốc tài trợ, có trụ

sở tại Băng Kok (Thái Lan). Trung tâm có chức năng cảnh báo sớm các dạng thiên tai như động đất, sóng thần, bão và nước dâng ở các nước Đông Nam Á và Ấn Độ Dương. Trung tâm là đầu mối thực hiện chương trình cảnh báo sớm đa thiên tai trong khu vực, kết nối thông tin của hệ thống trên 70 trạm động đất và 60 trạm hải văn hiện đại trong khu vực. Việt Nam là thành viên của hệ thống cảnh báo nói trên và hiện đang thực hiện việc trao đổi thông tin dữ liệu với trung tâm qua hệ thống vệ tinh và qua mạng Internet.

Các nước trong khu vực Đông Nam Á và Ấn Độ Dương như Trung Quốc, Đài Loan, Philipin, Malaysia, Indonexia, Thái Lan, Myanma, Banglades, Sri Lanka, Ấn Độ, Pakistan... đều có các trung tâm quốc gia cảnh báo động đất và sóng thần. Các trung tâm này đều có nhiệm vụ thu thập xử lý số liệu thông tin trực tiếp từ hệ thống các trạm địa chấn và hải văn của nước mình, thu thập, tiếp nhận thông tin và số liệu động đất, sóng thần của các trung tâm trong khu vực và trên thế giới, thực hiện báo tin về động đất và cảnh báo sóng thần trong phạm vi vùng ven biển và vùng biển của nước mình cũng như trong khu vực liên quan.

Cũng như các trung tâm quốc gia của các nước nói trên, Việt Nam thực hiện báo tin động đất và cảnh báo sóng thần theo quy chế của Chính phủ thông qua Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần đặt tại Viện Vật lý địa cầu. Theo quy chế của Chính phủ, Viện Vật lý địa cầu là cơ quan duy nhất ở Việt Nam có nhiệm vụ tổ chức hệ thống trạm quan trắc động đất, tiếp nhận số liệu của hệ thống trạm hải văn và các thông tin liên quan thực hiện báo tin động đất và cảnh báo sóng thần trên vùng ven biển và vùng biển Việt Nam.

Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần của Việt Nam trực thuộc Viện Vật lý địa cầu, được thành lập tháng 9 năm 2007 theo quyết định của Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Trung tâm được đặt tại toà nhà A8 (tầng V), Viện Vật lý địa cầu, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội. Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần là đầu mối quốc gia của Việt Nam thực hiện các nhiệm vụ:

- Thu thập, tiếp nhận số liệu thông tin về động đất và mực nước biển cùng các số liệu liên quan khác trên vùng ven biển và vùng biển Việt Nam.
- Tiến hành phân tích, xử lý, kiểm tra, thẩm định số liệu và thông tin về động đất và sóng thần trên vùng ven biển Việt Nam và các vùng lân cận có khả năng ảnh hưởng tới Việt Nam.
- Thực hiện báo tin về động đất và cảnh báo sóng thần theo quy chế do chính phủ ban hành.
- Hợp tác với các nước, các tổ chức trên thế giới và trong khu vực để phối hợp trong hệ thống nhận và báo tin động đất, cảnh báo sóng thần chung.
- Thực hiện các hoạt động thông tin, tuyên truyền, phổ biến và hướng dẫn kiến thức về phòng tránh động đất, sóng thần cho cộng đồng phục vụ cho việc thực hiện quy chế phòng chống động đất, sóng thần của Chính phủ.

Để thực hiện cảnh báo sóng thần ở Việt Nam, theo quy chế của Chính phủ, Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần phải sử dụng hệ thống các

kịch bản sóng thần được tính toán và thẩm định ở cấp quốc gia. Các kịch bản sóng thần là kết quả tính toán mô phỏng sự hình thành lan truyền và tác động của sóng thần từ các nguồn động đất giả định với cơ cấu chấn tiêu, cường độ và xuất phát từ các vùng nguồn khác nhau. Kịch bản sóng thần chính là những dữ liệu chuẩn để trên cơ sở tham số thực tế của nguồn động đất vừa xảy ra có thể xác định nhanh nhất về tác động của sóng thần sẽ phát sinh ở Việt Nam. Các kịch bản sóng thần được nghiên cứu xác định và tính toán trên cơ sở mô phỏng sóng thần phát sinh từ các động đất tại các vùng nguồn trên Biển Đông như vùng hút chìm Manila, vùng đứt gãy hoạt động dọc ven biển miền Trung, vùng nguồn Bắc Biển Đông...

Các kịch bản đầu tiên khá hoàn chỉnh được xây dựng vào năm 2008 do Vũ Thanh Ca hợp tác với Viện Vật lý địa cầu thực hiện [72]. Những kịch bản này đã được thẩm định và bàn giao cho Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần sử dụng. Hiện tại chúng đang được mở rộng và hoàn thiện, tăng về số lượng và nâng cao về chất lượng trên cơ sở lựa chọn mô hình tính và các tham số nguồn phù hợp với thực tế.

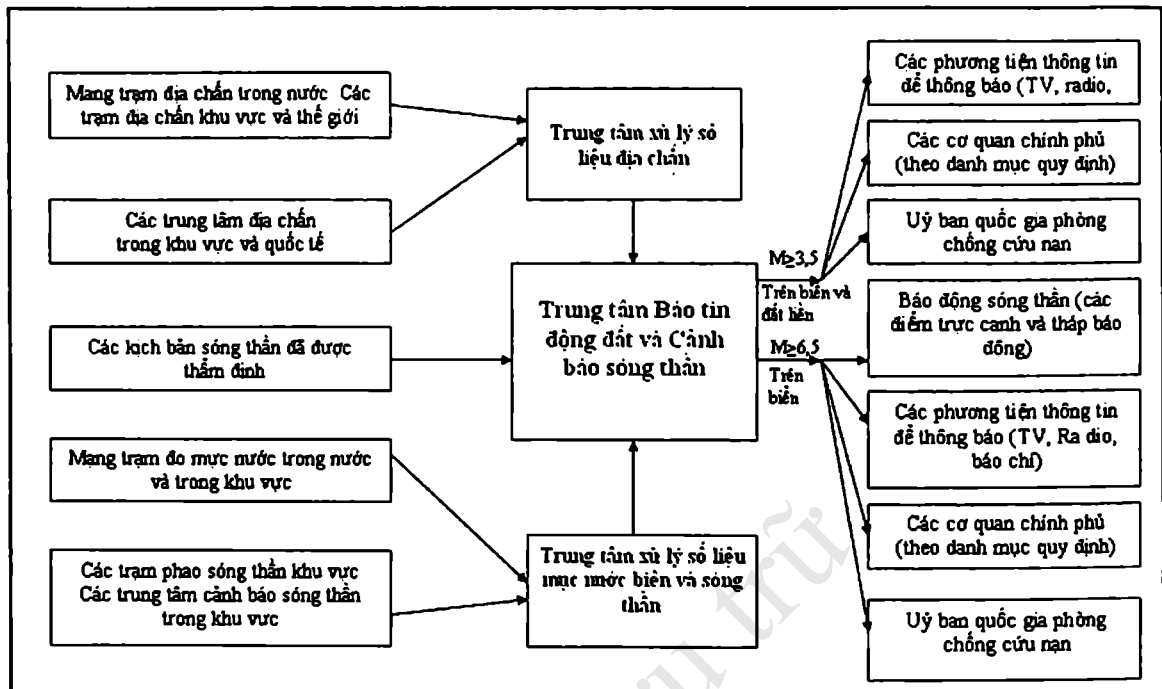
Các hệ thống báo động và truyền tin phục vụ báo tin động đất và cảnh báo sóng thần được xác định theo quy chế của Chính phủ, đó là các cơ quan truyền tin quốc gia như Đài truyền hình Trung ương, Đài phát thanh quốc gia, các hệ thống truyền hình và phát thanh địa phương, các hệ thống loa truyền thanh, hệ thống cơ quan thông tấn, báo chí Trung ương và địa phương.

Tuy nhiên, trên thực tế ở các vùng ven biển và đặc biệt là trên các hải đảo, không phải ở mọi nơi đều có điều kiện tiếp nhận thông tin trực tiếp và kịp thời từ hệ thống loa truyền thanh và truyền hình. Trong những hoàn cảnh khẩn trương và mức độ nguy cơ cao cần phải dùng hệ thống tháp báo động kết hợp với tín hiệu còi có âm lượng lớn kéo dài 1-2 phút để báo động sóng thần cho mọi người ở mọi địa điểm đều có thể nhận được tín hiệu. Địa điểm đặt các tháp báo động sóng thần như trên ở vùng có độ nguy hiểm sóng thần cao cần cứ vào những điều kiện thực tế được xác định là:

- Các khu nhà nghỉ mát và khách sạn trên bờ biển
- Các bãi tắm (lúc đông nhất từ 100 người trở lên)
- Các chợ có địa điểm họp trong vùng không an toàn sóng thần.
- Các bến tàu, bãi đỗ tàu, thuyền
- Các trường học, nhà thương nằm trong vùng không an toàn sóng thần
- Các địa điểm du lịch ven biển thường xuyên tập trung đông người.
- Các điểm dân cư nằm trong vùng không an toàn sóng thần.

VIII.2.3. Tổ chức và vận hành hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam

Sơ đồ tổ chức và vận hành hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam (Hình VIII-1)



Hình VIII-1. Sơ đồ tổ chức và vận hành hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần

VIII.2.3.1. Nguồn số liệu đầu vào bao gồm

- Hệ thống trạm địa chấn trong nước và các trạm trong khu vực thông qua trung tâm dữ liệu động đất truyền trực tiếp thông tin và số liệu quan sát về Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần.
- Hệ thống trạm quan trắc hải văn (mực nước biển) trong nước và trong khu vực, số liệu, thông tin của các phao sóng thần thông qua trung tâm xử lý số liệu mực nước truyền trực tiếp về Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần.
- Hệ thống các kịch bản sóng thần được Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần sử dụng trực tiếp trong phân tích, xử lý các thông tin tiếp nhận được.
- Thông tin của các trung tâm quốc tế và khu vực về báo tin động đất và cảnh báo sóng thần truyền qua Internet tới Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần của Việt Nam.

VIII.2.3.2. Nguồn số liệu đầu ra của hệ thống gồm

- Thông tin về các trận động đất có $M \geq 3,5$ xảy ra trên vùng ven biển và vùng biển ven bờ của Việt Nam (cường độ, thời gian địa điểm xảy ra, độ sâu chấn tiêu, chấn động lan truyền, dự kiến thiệt hại do động đất gây ra).
- Thông tin về các trận động đất với $M \geq 6,5$ xảy ra trên vùng Biển Đông và các vùng lân cận có khả năng gây sóng thần tác động đến bờ biển và hải đảo Việt Nam (bao gồm các thông tin cảnh báo về sóng thần theo quy chế).

VIII.2.3.3. Các đối tượng tiếp nhận thông tin đầu ra của hệ thống

Đài truyền hình (Trung ương và địa phương) đài phát thanh (Trung ương và địa phương) hãng thông tấn và báo chí, các cơ quan nhà nước (theo quy định trong quy chế) Ủy ban tìm kiếm cứu nạn, Ủy ban phòng chống lụt bão Trung ương và các cơ quan liên quan. Trong trường hợp cảnh báo sóng thần thì ngoài các đối tượng nói trên còn có hệ thống báo động gồm các đầu trực canh ở các địa phương ven biển và các tháp báo động ở các địa điểm như đã nêu.

VIII.3. CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO KHẢ NĂNG PHÒNG TRÁNH, ỨNG PHÓ VÀ GIẢM NHẸ HẬU QUẢ ĐỘNG ĐẤT SÓNG THẦN

Các giải pháp cơ bản chung trong phòng tránh, ứng phó và giảm nhẹ hậu quả động đất và sóng thần đã từng được nêu ra trong một số công trình nghiên cứu động đất và sóng thần ở Việt Nam [65], [62], [12], [13], [29],[30]. Đặc biệt là trong Quy chế phòng chống động đất và sóng thần được Thủ tướng Chính phủ ban hành tại quyết định 78/2007/QĐ-TTg ngày 29/5/2007 thì những giải pháp phòng tránh và ứng phó cơ bản đã được xác định trở thành những quy định pháp luật và gắn với nhiệm vụ cụ thể được giao cho các bộ ngành và địa phương liên quan. Trong đề tài này, trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, đánh giá và phân vùng nguy hiểm động đất và sóng thần cụ thể, ở tỷ lệ chi tiết cho vùng ven biển và hải đảo với việc đề xuất xây dựng và vận hành hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở quy mô quốc gia theo quy chế của Chính phủ về báo tin động đất và cảnh báo sóng thần như ở mục 3. Các giải pháp phòng tránh, ứng phó và giảm nhẹ hậu quả động đất và sóng thần đó về cơ bản được khẳng định, cụ thể hoá và bổ sung hoàn thiện thêm với mục đích nâng cao hơn nữa khả năng và hiệu quả trong phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại. Các giải pháp chính bao gồm:

1. Nâng cao nhận thức về phòng tránh thiên tai động đất và sóng thần trong các cấp lãnh đạo, quản lý và trong cộng đồng. Chính phủ đã ban hành những văn bản pháp luật quan trọng như Quy chế báo tin động đất và cảnh báo sóng thần (Quyết định 264/2006/QĐ-TTg ngày 16/11/2006 của Thủ tướng Chính phủ), Quy chế phòng, chống động đất và sóng thần (Quyết định 78/2007/QĐ-TTg ngày 29/5/2007 của Thủ tướng chính phủ) trong đó nêu rõ tính chất nguy hiểm và tác hại của những thiên tai động đất, sóng thần, các biện pháp phòng tránh, ứng phó và xác định rõ trách nhiệm của mỗi cấp, ngành và của cộng đồng dân cư. Nâng cao nhận thức qua việc phổ biến và đôn đốc quán triệt thực hiện các quy chế nêu trên là giải pháp quan trọng và có ý nghĩa quyết định đối với nhiều giải pháp khác có liên quan.

2. Tuyên truyền, phổ biến và giáo dục những kiến thức cơ bản và có liên quan về thiên tai động đất, sóng thần, về nguy cơ và tác hại của chúng ở Việt Nam và các giải pháp phòng tránh, ứng phó. Tuyên truyền, phổ biến và giáo dục những kiến thức nêu trên là yêu cầu thiết yếu, thường xuyên phải thực hiện trong xã hội di dời với việc thông tin kịp thời và chính xác, để hiểu những tai biến như vậy đã và đang xảy ra trên thế giới cũng như ở trong nước. Các biện pháp cơ bản cần áp dụng đối với Việt Nam là:

- Thông tin tuyên truyền rộng rãi thường xuyên về các tai biến động đất sóng thần trên các phương tiện truyền thông, báo chí.

- Xuất bản và phát hành rộng rãi các ấn phẩm phổ biến kiến thức, các áp phích, tờ rơi nói về động đất, sóng thần, mức độ nguy hại và các giải pháp ứng phó.

- Đưa nội dung tai biến động đất sóng thần và những ứng phó cơ bản vào chương trình giáo dục phổ thông.

3. Xây dựng và ban hành những tiêu chuẩn thiết kế xây dựng công trình, quy hoạch xây dựng với các yêu cầu kháng chấn và phòng chống sóng thần.

Trong những năm qua ở Việt Nam đã xây dựng và ban hành một số tiêu chuẩn về kháng chấn trong xây dựng công trình. Với việc ban hành quy chế phòng chống động đất và sóng thần và căn cứ vào mức độ nguy hiểm của động đất và sóng thần đã được xác định thì yêu cầu xây dựng và ban hành những tiêu chuẩn về quy hoạch xây dựng và thiết kế xây dựng công trình có kháng chấn và phòng tránh sóng thần là rất xác đáng và cần thiết, trước hết vì trên toàn dải ven biển và hải đảo và thềm lục địa có nhiều vùng độ nguy hiểm động đất cao (cấp VII và VIII) và nguy hiểm sóng thần bậc 1 (độ cao sóng 5-6m chu kỳ 950 năm). Hiện tại ở Việt Nam đã có tiêu chuẩn TCXDVN 375/2006 “Thiết kế công trình chịu động đất”. Tiêu chuẩn này quy định các trường hợp phải xét đến tác động của động đất và các biện pháp kháng chấn cho công trình xây dựng. Theo đó, những công trình xây dựng trong vùng có động đất phải tuân thủ quy trình thiết kế chịu tải động đất với những yêu cầu cụ thể về chất lượng vật liệu, kết cấu móng, độ bền công trình, dạng kết cấu... Tùy theo độ nguy hiểm động đất được xác định tại địa điểm xây dựng mà các yêu cầu trên được tuân thủ toàn bộ nghiêm ngặt hoặc được giảm nhẹ hoặc miễn áp dụng [13].

Đối với vùng có độ nguy hiểm sóng thần bậc 1 ở Việt Nam như trên cần xây dựng và ban hành các tiêu chuẩn thiết kế công trình với yêu cầu “kháng” sóng thần phù hợp với những kết quả đánh giá độ nguy hiểm sóng thần cũng như đặc điểm sóng, gió bão, địa hình, địa chất trên địa bàn cụ thể để đảm bảo cho công trình không bị huỷ hoại trước sự cố thiên tai.

4. Quy hoạch vùng bờ biển và hải đảo để áp dụng các giải pháp phòng chống sóng thần hợp lý trong các vùng nguy hiểm sóng thần.

Đối với các vùng bờ biển và đảo nằm trong vùng nguy hiểm sóng thần (bậc 1 và bậc 2 tương ứng độ cao trung bình của sóng từ 4-6m đến 2-3m) cần tiến hành phân vùng và quy hoạch xây dựng công trình hợp lý để phòng tránh sóng thần hiệu quả.

Trong những vùng nói trên cần phân biệt vùng ngập triều (vùng nằm giữa mức triều cao nhất và mức triều thấp, thường xuyên bị ngập nước do thủy triều lên xuống. Đây là vùng đặc biệt nhạy cảm (vùng loại 1), đa phần là đã phát triển các hệ sinh thái, rừng ngập mặn, các khu bảo tồn thiên nhiên, các danh lam, thắng cảnh, các công trình thủy lợi. Ở trong vùng này không xây dựng thêm bất kỳ công trình dân sinh nào.

Vùng tiếp theo là vùng loại 2 tính từ đường mép nước khi triều cao nhất vào sâu phía đất liền đến 200m. Đây có thể là vùng đã phát triển các công trình dân cư, công trình kinh tế, du lịch. Trong phạm vi vùng này cần hạn chế xây dựng thêm các công trình dân cư du lịch, hoặc nếu xây dựng phải được xem xét đặc biệt và phải có biện pháp phòng chống sóng thần phù hợp. Đối với các công trình và điểm dân cư đã có sẵn trong vùng này cần phải có những biện pháp bổ sung công trình phòng chống sóng thần và các giải pháp ứng phó sóng thần có hiệu quả.

Vùng loại 3 nằm giữa khoảng cách 200m đến 500 m từ đường triều cao là vùng có thể được xây dựng các công trình với việc xem xét, quy hoạch hợp lý, đảm bảo an toàn, đặc biệt là các công trình du lịch như khách sạn, nhà hàng hoặc bệnh viện, trường học và phải tính toán đảm bảo an toàn khi thiên tai sóng thần xảy ra như có thiết kế giảm tác động của sóng, có địa điểm sơ tán người phù hợp khi có báo động cảnh báo sóng thần hoặc giảm thiểu mọi thiệt hại khác khi sóng thần xảy ra.

Về thiết kế và xây dựng các công trình nhà ở cao tầng, khách sạn, trường học ở trong những vùng nguy hiểm sóng thần có thể học tập kinh nghiệm của các nước như Indônêxia, Malaysia-Công trình ở vùng nguy hiểm sóng thần có kết cấu khung bê tông cốt thép với các tầng 1 và 2 (chiều cao cực đại 5-6m) có tường bao là vật liệu nhẹ, dễ vỡ, dễ phá huỷ khi con sóng thần đến với mục đích giảm nhẹ tác động cực đại và trực tiếp của sóng. Ở một số trường hợp tầng 1 của toà nhà để trống và toà nhà nằm trên hàng cột bê tông cốt thép với chiều cao 1-5m. Những toà nhà như vậy thường có nhiều cầu thang rộng và vững chắc để khi có báo động sóng thần người dân có thể dễ dàng và nhanh chóng vận động lên các tầng 2,3 và cao hơn của toà nhà để sơ tán.

5. Xây dựng các công trình ngăn và hạn chế sóng thần, bảo vệ các công trình cầu cảng, thành phố, khu công nghiệp, điểm dân cư trong vùng nguy hiểm sóng thần.

Căn cứ vào kết quả đánh giá, dự báo về độ nguy hiểm sóng thần tại mỗi vùng, đối với các công trình và khu vực cụ thể cần xây dựng các công trình chống sóng thần để ngăn hoặc hạn chế tác động của sóng, bảo vệ công trình và dân cư như:

- Xây dựng đê chắn sóng với độ cao thích hợp, có độ cao bằng hoặc nhỏ hơn độ cao sóng thần cực đại.

Đê chắn sóng thần (và ngăn nước dâng hoặc sóng do bão) được xây dựng để bảo vệ những khu vực dân cư, thị trấn, thị xã, các khu công nghiệp, kinh tế nằm trên vùng bờ biển ở trong phạm vi nguy hiểm sóng thần. Đê cần thiết kế phù hợp với yêu cầu kỹ thuật để đứng vững trước sức tấn công của sóng tại mỗi địa điểm cụ thể. Trong những trường hợp cần thiết có thể xây dựng “hệ thống” đê ngăn sóng thần gồm một con đê chính và 1-2 con đê phụ thấp hơn và nằm song song với đê chính ở phía bên ngoài có tác dụng cản và làm tiêu tán, giảm dần năng lượng của sóng trước khi tấn công vào con đê chính.

- Xây dựng các bức tường chắn sóng đối với những công trình đặc biệt xét thấy cần thiết như nhà máy điện, kho và bể chứa xăng, dầu, hoá chất...

- Xây dựng các công trình du lịch, văn hoá như công viên, điểm tham quan gần các điểm dân cư đông đúc, ở trên những địa điểm có độ cao lớn hơn độ cao sóng thần dự báo để đảm bảo an toàn đồng thời cũng là địa điểm sơ tán thuận lợi khi có báo động sóng thần.

- Trồng và phát triển các khu rừng phòng hộ như rừng ngập mặn, rừng phi lao, Rạn san hô... ở vùng ven bờ biển với mục đích ngăn sóng, hạn chế, tiêu hao năng lượng và cường độ sóng trước khi tác động vào công trình và tràn vào trong đất liền.

- Xây dựng các tháp báo động và hướng dẫn ứng phó, sơ tán khi có sóng thần (hoặc động đất) tại những địa điểm thích hợp. Những nơi cần ưu tiên hoặc bắt buộc phải xây dựng tháp báo động sóng thần đã được nêu trong mục hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần.

6. Lựa chọn và xác định những địa điểm trú an toàn cho tàu thuyền khi có báo động sóng thần.

Đối với tàu và thuyền đang neo đậu hoặc hoạt động gần bờ biển, đảo có thể theo hướng dẫn tìm đến trú ở các vũng, vịnh và đầm phía gần nhất nếu những nơi này có điều kiện địa hình ngăn được cơn sóng thần đầu tiên từ phía biển tấn công đến. Ở vùng ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ có nhiều địa điểm tương tự như vậy, do đó cần khảo sát và đánh giá cụ thể để hướng dẫn tàu thuyền khi có cảnh báo sóng thần.

Trong trường hợp ở xa hoặc không đủ thời gian an toàn để đến những địa điểm trú như vậy thì tàu thuyền đang neo đậu hoặc đang hoạt động ở ven bờ, cửa sông phải nhanh chóng đi ra phía ngoài khơi, vùng có độ sâu lớn, cách xa vùng bờ và ven bờ.

7. Ở những địa điểm du lịch như bãi tắm, nơi tham quan có đông người, những thị trấn, điểm dân cư nằm trong vùng ven biển có nguy cơ sóng thần, cần cứ vào độ nguy hiểm sóng thần dự báo cần xác định tìm những địa điểm sơ tán an toàn gần nhất như các gò đất cao, nơi có độ cao lớn hơn độ cao sóng cực đại, hoặc các nhà cao tầng (trên 3 tầng) có thể tạo điều kiện di chuyển thuận lợi, an toàn để làm điểm sơ tán sóng thần và thông báo chính thức, có sơ đồ chỉ dẫn để mọi người khi có báo động có thể di chuyển đến điểm sơ tán một cách nhanh và thuận lợi nhất.

8. Tổ chức diễn tập báo động sóng thần: ở những nơi có độ nguy hiểm và rủi ro sóng thần cao, cùng với các biện pháp như tuyên truyền, phổ biến kiến thức phòng tránh, sơ tán cho dân cư, xây dựng các tháp báo động, cần phải tổ chức diễn tập báo động sóng thần. Cách thức diễn tập cần phù hợp nhưng phải có hiệu quả là tăng cường ý thức phòng ngừa cho nhân dân và đánh giá mức độ phù hợp của các biện pháp phối hợp. Có thể thông báo trước về cuộc diễn tập để tránh hoảng loạn, tuy nhiên diễn tập cần tổ chức khá thường xuyên như 1 năm hoặc 2 năm một lần (có thể học kinh nghiệm cụ thể của các nước như Indonexia, Thái Lan...).

VIII.4. CÁC GIẢI PHÁP KHẮC PHỤC HẬU QUẢ ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN

Cùng với các giải pháp phòng tránh, ứng phó khi có báo động động đất và sóng thần đã được trình bày trong chương trước, đối với các vùng ven biển và đảo có độ nguy hiểm động đất và sóng thần cao cần chú ý thực hiện các giải pháp khắc phục hậu quả động đất và sóng thần với các nội dung chính như sau:

- Thông báo kịp thời và nhiều lần qua các phương tiện truyền thông về sự cố (động đất hoặc sóng thần) đã xảy ra.

- Tổ chức cứu hộ, tìm kiếm người mất tích, sử dụng các lực lượng chuyên nghiệp, các lực lượng huy động bất thường, sử dụng mọi phương tiện và thiết bị cần thiết, thông báo tìm người mất tích để có liên lạc và có thông tin để tìm kiếm.

- Liên lạc tìm tàu thuyền trên biển tại các bãi, bến, điểm trú đậu thông qua các phương tiện phát thanh, radio, máy bộ đàm tìm kiếm và ứng cứu đối với các tàu, thuyền và con người bị nạn hoặc đang mất tích trên biển.

- Vệ sinh môi trường để hạn chế bệnh dịch lây lan.

- Dựng lều trại, cung cấp thực phẩm, nước uống, cứu chữa và cấp thuốc cho những người bị nạn, sập nhà, bị thương...

- Tiến hành kịp thời việc khảo sát, đánh giá trên thực địa về tác động của động đất và sóng thần, theo dõi chặt chẽ diễn biến liên quan như dư chấn, thay đổi mực nước biển, theo dõi động thái nước ngầm... để có các số liệu phục vụ nghiên cứu cơ sở cho các dự báo, cảnh báo tiếp theo.

- Tiến hành công việc phục hồi các hệ sinh thái, môi trường bị tổn thương trong thiên tai, tổ chức ứng cứu các sự cố tràn dầu trên biển, hoả hoạn, thiên tai trên đất liền.

- Tiến hành thông báo và tổ chức phối hợp với các tổ chức quốc tế, các nước liên quan trong hoạt động khắc phục hậu quả động đất và sóng thần, kêu gọi vận động sự chi viện hoặc ủng hộ của cộng đồng quốc tế.

VIII.5. CÁC GIẢI PHÁP PHÒNG CHỐNG VÀ GIẢM NHẸ HẬU QUẢ ĐỘNG ĐẤT, SÓNG THẦN TRÊN CÁC HẢI ĐẢO CỦA VIỆT NAM

Căn cứ vào kết quả đánh giá độ nguy hiểm sóng thần thì chỉ có các đảo nằm trong vùng có độ cao sóng thần cực đại từ 2-3m trở lên được coi là vùng nguy hiểm sóng thần và cần phải áp dụng các biện pháp phòng tránh sóng thần phù hợp. Đó là các hải đảo nằm trên vùng ven biển Trung và Nam Trung Bộ từ Côn Cỏ đến Côn Đảo và các đảo thuộc vùng quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa. Tại mỗi đảo, mức độ nguy hiểm sóng thần không giống nhau và các điều kiện địa hình, địa chất, thủy văn cũng rất khác nhau. Mục đích phòng chống sóng thần trên các đảo này là bảo vệ con người và công trình, do đó, cần căn cứ vào mức độ nguy hiểm sóng thần và điều kiện cụ thể ở mỗi nơi để áp dụng những biện pháp phòng ngừa và khắc phục hậu quả thiên tai phù hợp. Các giải pháp phòng chống sóng thần cơ bản cho các đảo nói trên như sau:

- Quy hoạch và thiết kế các công trình mỗi đảo phù hợp yêu cầu phòng chống động đất và sóng thần. Các công trình như nhà ở, trường học, khách sạn cần xây dựng trên những địa điểm có độ cao đảm bảo, tránh những khu vực nguy hiểm như ở vùng bãi trước hoặc địa hình thấp hơn độ cao sóng thần, sóng bão dự báo. Trường hợp điều kiện địa hình trên đảo không thoả mãn yêu cầu độ cao an toàn thì các công trình phải xây dựng với thiết kế có các hàng cột đỡ chắc chắn an toàn với độ cao từ 1-5m so với mức triều cao nhất. Trên các đảo của vùng quần đảo Trường Sa, Hoàng Sa có thể thiết kế, xây dựng những ngôi nhà dạng “chòi” và “nhà sàn” với độ cao an toàn từ 5 đến 10m so với mức triều cao nhất. Thiết kế loại công trình như vậy ở các đảo cũng cần đảm bảo an toàn trước gió bão và động đất một cách phù hợp.

- Trên một số đảo có thể xây dựng những công trình như đê chắn sóng thần, sóng bão để bảo vệ những công trình cụ thể, hoặc phát triển trồng rừng, trồng cây ở ven đảo nếu điều kiện địa hình, địa chất thuận lợi.

- Trên các đảo cần lựa chọn xác định hoặc xây dựng địa điểm sơ tán sóng thần gần các điểm dân cư, trường học, điểm du lịch, đảm bảo thuận lợi để người dân có thể sơ tán trong vòng 10-15 phút từ khi có báo động sóng thần. Đối với tàu thuyền ven đảo cần có thông báo, hướng dẫn đi tránh bão, tránh sóng thần với các điểm sơ tán an toàn.

- Đảm bảo thông tin từ đất liền đến các đảo an toàn, thuận lợi nhất để có thể báo động, thông tin, hướng dẫn sơ tán và cứu nạn khi thiên tai xảy ra, đặc biệt là đối với các đảo xa, trên các quần đảo như Trường Sa, cần sử dụng thông tin qua vệ tinh, sóng radio, sóng ngắn dạng Vinaphone, Mobiphone...

- Xây dựng trên mỗi đảo từ 1 đến một số tháp báo động sóng thần và kết nối vào hệ thống báo động chung để có thể báo động kịp thời và hướng dẫn các hoạt động cứu hộ, cứu nạn khi thiên tai xảy ra. Đối với các đảo xa cần tăng cường các biện pháp tuyên truyền, hướng dẫn phòng tránh động đất, sóng thần với các hình thức phát thanh, in áp phích, tài liệu, tranh ảnh hướng dẫn cụ thể và thường xuyên liên tục.

- Để khắc phục hậu quả sau khi động đất và sóng thần xảy ra, trên các đảo cũng cần tiến hành những biện pháp như đã nêu trong mục VIII.4, tuy nhiên, do sự vận chuyển và liên lạc từ trong đất liền ra là khó khăn và có thể mất 1-2 ngày đối với các đảo ở xa, các đảo tùy theo điều kiện cụ thể cần tổ chức dự trữ một số phương tiện cứu hộ như nước ngọt, thuốc men, dụng cụ y tế, các lều bạt, cáng cứu thương. Cùng với các nội dung tuyên truyền và phổ biến kiến thức về động đất, sóng thần, các đảo cần tổ chức diễn tập phòng chống và khắc phục hậu quả động đất và sóng thần một cách khá thường xuyên, chẳng hạn 1-2 năm làm 1 đợt diễn tập. Hậu quả của đợt diễn tập sẽ tốt nếu có sự phổ biến, tuyên truyền kỹ và chuẩn bị chu đáo.

KẾT LUẬN

Biển Đông Việt Nam nằm trong vùng Đông Nam Á là khu vực có đặc điểm cấu trúc phân dị và chia cắt bởi nhiều hệ thống đứt gãy lớn và hoạt động tích cực, trong số đó có những hệ thống có cấu trúc dạng đới hút chìm do va chạm và chồng gối của những mảng thạch quyển lớn và là nơi phát sinh những động đất mạnh gây nên những trận sóng thần có cường độ lớn và cực lớn. Chế độ động đất trên Biển Đông liên quan chặt chẽ với đặc điểm kiến tạo địa động lực của vùng Đông Nam Á và bị chi phối bởi đặc điểm cấu trúc bị chia cắt mạnh và phân dị của thạch quyển trong vùng.

Nghiên cứu đặc điểm phân bố của chế độ động đất trên Biển Đông trong khoảng hơn 100 năm gần đây, đặc biệt là biểu hiện của động đất và hoạt động núi lửa ở vùng ven biển và thềm lục địa Việt Nam trong mấy chục năm qua cùng với kết quả khảo sát đánh giá chi tiết các hệ đứt gãy hoạt động, đặc điểm hoạt động kiến tạo trẻ, các chuyển động hiện đại và trường ứng suất kiến tạo đã cho phép phân định và xác lập trên Biển Đông các vùng nguồn động đất và sóng thần với những đặc trưng và thông số nguồn khác nhau làm cơ sở để đánh giá định lượng độ nguy hiểm động đất và sóng thần trên toàn vùng ven biển và hải đảo Việt Nam.

Kết quả đánh giá theo mô hình xác suất độ nguy hiểm động đất trên toàn dải ven bờ và vùng ven biển, hải đảo Việt Nam cho thấy những vùng có độ nguy hiểm động đất cao được xác định là vùng kéo dài liên tiếp từ Quảng Ninh đến Hà Tĩnh với giá trị gia tốc dao động nền cực đại (PGA) với nền loại A và chu kỳ lặp lại 950 năm biến động từ 0,12gal đến 0,18gal. Vùng ven biển từ Quảng Bình đến Khánh Hoà có độ nguy hiểm động đất và tương đối cao, phân dị và chia cắt thành từng vùng có các giá trị PGA khác nhau và biến động trong khoảng 0,08gal-0,15gal. Vùng ven biển Nam Trung Bộ và Nam Bộ có độ nguy hiểm động đất phân dị với một số khu vực như ở Ninh Thuận, Bình Thuận và Bà Rịa - Vũng Tàu có giá trị PGA lớn hơn 0,12 gal, những vùng khác có độ nguy hiểm động đất không cao với giá trị PGA nhỏ hơn 0,08gal.

Kết quả đánh giá rủi ro động đất cho thấy với tình trạng phân bố dân cư và chất lượng công trình như hiện tại và mức độ nguy hiểm động đất được xác định như trên, ở những vùng có độ nguy hiểm động đất cao mức độ thiệt hại về người và công trình khi động đất xảy ra là không nhỏ.

Theo kết quả đánh giá độ nguy hiểm sóng thần, mức độ tác động của sóng thần trên vùng ven biển và hải đảo Việt Nam nhìn chung không lớn và nghiêm trọng, tuy nhiên tác động và ảnh hưởng của sóng thần là khá rõ và không thể bỏ qua. Vùng bị đe dọa và có nguy cơ cao hơn cả là ven biển Trung Bộ và Nam Trung Bộ, đặc biệt là khu vực từ Đà Nẵng đến Quảng Ngãi. Với chu kỳ lặp lại là 950 năm độ cao cực đại của sóng thần có thể đạt 4-6m, ở chu kỳ lặp lại 475 năm độ cao cực đại của sóng chỉ đạt 3-4m. Ở các vùng ven biển Bắc Trung Bộ và Nam Trung Bộ với các chu kỳ lặp lại như trên, sóng thần chỉ đạt độ cao cực đại 2-3m và nhỏ hơn nữa. Ở vùng quần đảo Hoàng Sa, độ cao cực đại của sóng thần ở các chu kỳ như trên tương ứng là 5-6m và 3-4m. Ở vùng quần

đào Trường Sa độ cao cực đại của sóng thần có trị số nhỏ hơn so với ở vùng quần đảo Hoàng Sa khoảng 1-2m.

Với độ nguy hiểm sóng thần được đánh giá cụ thể như trên mức độ rủi ro và thiệt hại về người và công trình dưới tác động của sóng thần ở vùng có độ nguy hiểm sóng thần cao là khá rõ và nó phụ thuộc vào độ sâu ngập lụt cũng như hiện trạng phân bố dân cư và chất lượng của công trình ở thời điểm như hiện tại.

Trên cơ sở nghiên cứu và đánh giá cụ thể về độ nguy hiểm và rủi ro động đất và sóng thần vùng ven biển và hải đảo Việt Nam các giải pháp phòng chống và ứng phó truyền thống được đề xuất bao gồm các giải pháp nâng cao năng lực phòng chống và ứng phó đối với nguy cơ động đất và sóng thần, các giải pháp khắc phục hậu quả khi động đất và sóng thần xảy ra trên dải ven biển cũng như trên các đảo. Những giải pháp quan trọng đã được đề xuất là quy hoạch để xây dựng công trình trên các vùng bờ biển có độ nguy hiểm sóng thần cao, xây dựng và nâng cấp các công trình bảo vệ và ngăn cản, hạn chế sóng thần, phát triển trồng rừng phòng hộ và cản sóng thần, lựa chọn xây dựng những địa điểm sơ tán khi có báo động sóng thần ở những nơi tập trung đông người trên bờ và bãi biển.

Những giải pháp mới và thiết thực để phòng chống và giảm nhẹ hậu quả động đất và sóng thần được đề xuất lần đầu trong công trình này là đánh giá và phân vùng chi tiết độ nguy hiểm động đất và sóng thần, tính và xây dựng những bản đồ phân bố độ nguy hiểm động đất và độ nguy hiểm sóng thần ở tỷ lệ trung bình và tỷ lệ lớn, đánh giá rủi ro động đất và sóng thần đối với vùng có độ nguy hiểm cao như những dự báo về nguy cơ và mức độ thiệt hại do tai biến. Xây dựng và hoàn thiện hệ thống báo tin động đất và cảnh báo sóng thần với sơ đồ kết nối với quốc tế, khu vực và vận hành thống nhất, liên tục tuân thủ quy chế báo tin động đất cảnh báo sóng thần của chính phủ. Hoạt động nhanh nhạy, thông suốt và kịp thời của toàn hệ thống chính là một giải pháp phòng tránh và ứng phó quan trọng và có hiệu quả nhất trong toàn bộ chiến lược phòng chống và giảm nhẹ hậu quả thiên tai chung của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

TIẾNG VIỆT

- [1]. Báo cáo tổng kết dự án HTQT Việt Nam – Niu Zilân, 2007-2009. Đánh giá độ nguy hiểm và rủi ro sóng thần và ứng phó của Việt Nam. Viện Vật lý địa cầu (Việt Nam). Viện Khoa học Địa chất và Hạt nhân (Niu Zilân). Hà Nội-Wellington.
- [2]. Bùi Công Quế và n.n.k 2001. Dị thường trọng lực vệ tinh và các yếu tố cấu trúc kiến tạo khu vực Biển Đông. Tạp chí KHCN biển, N3, 2001. Hà Nội.
- [3]. Bùi Công Quế và n.n.k, 2001. Đặc điểm các trường địa vật lý, cấu trúc vỏ Trái đất và tiềm năng khoáng sản vùng quần đảo Trường Sa. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển N1/2001-Hà Nội.
- [4]. Bùi Công Quế, 1995. Một số kiểu mặt cắt cấu trúc vỏ Trái đất thềm lục địa Việt Nam và Biển Đông. Tạp chí Địa chất, 228. Loại A.
- [5]. Bùi Công Quế, 1999. Cơ sở khoa học cho việc xác định ranh giới ngoài thềm lục địa Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN-06-04. Chương trình nghiên cứu Biển, Hà Nội.
- [6]. Bùi Công Quế, 2000. Bổ sung, hoàn thiện đề xuất bản các bản đồ địa chất địa vật lý vùng biển Việt Nam và kế cận. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN-06-10. Chương trình nghiên cứu biển. Hà Nội.
- [7]. Bùi Công Quế và nnk., 2005. Xây dựng tập bản đồ những đặc trưng cơ bản về điều kiện tự nhiên và môi trường vùng biển Việt Nam và kế cận. Báo cáo tổng kết đề tài KC-09-02. Chương trình nghiên cứu biển KC-09- Hà Nội.
- [8]. Bùi Công Quế, Nguyễn Giao, 1996. Địa chất, địa động lực và tiềm năng khoáng sản vùng biển Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài kiến tạo-03-02, chương trình nghiên cứu biển, Hà Nội.
- [9]. Bùi công Quế, Nguyễn Hiệp, 1991. Đặc điểm các trường địa vật lý thềm lục địa Việt Nam và vùng kế cận. Báo cáo tổng kết đề tài 48B-03-02. Chương trình nghiên cứu biển. Hà Nội.
- [10]. Bùi Công Quế, Phùng Văn Phách. Về những yếu tố cấu trúc-kiến tạo chính trên vùng biển Việt Nam và kế cận. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. 4(T.1), Hà Nội 2001.
- [11]. Bùi Công Quế, Trần Tuấn Dũng, Lê Trâm, 2008. Thành lập bản đồ dị thường trọng lực thống nhất trên vùng biển Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, T8, số 2, 29-41.
- [12]. Cao Đình Triều, 2008. Động đất. NXB Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội.
- [13]. Cao Đình Triều, 2008. Tai biến động đất và sóng thần. NXB Khoa học và kỹ thuật. Hà Nội.

- [14]. Đỗ Minh Tiệp, 1995. Vài nét về phun trào bazan Kainozoi đáy biển Việt Nam. Tuyển tập công trình nghiên cứu Địa chất và Địa vật lý biển. Hà Nội.
- [15]. Hồ Đắc Hoài, Ngô Thường San 1975. Cấu trúc địa chất và triển vọng dầu khí thềm lục địa Việt Nam. Trung tâm TTTL Dầu khí, Hà Nội.
- [16]. Lê Duy Bách, Ngô Gia Thắng, 1990. Phân vùng kiến tạo thềm lục địa Việt Nam và các miền kề cận. Tạp chí Các khoa học về Trái đất, số 12 (3), Hà Nội.
- [17]. Lê Như Lai và nnk., Bản đồ cấu trúc kiến tạo vùng biển Việt Nam và kề cận, tỷ lệ 1: 2000 000. Đề tài KHCN-06 và KC-09-24. Viện Địa chất và Địa vật lý Biển, Hà Nội 2006.
- [18]. Mai Thế Dung, 1960. Tính địa chấn lãnh thổ Trung Quốc. TC. Vật lý địa cầu. 1960. Tập 9, số 1.
- [19]. Ngô Gia Thắng, Lê Duy Bách, 1998. Về tiến hoá kiến tạo Biển Đông Việt Nam. Tạp chí Các khoa học về Trái đất. 220 (3). Hà Nội.
- [20]. Ngô Thị Lư, 1996. Động đất mạnh trên lãnh thổ Đông Nam Á và các vùng lân cận (chu kỳ 1970-1993).//Tuyển tập các báo cáo khoa học. Hội nghị khoa học Trường Đại học Mỏ Địa chất. T. 6. Hà Nội, 1996. Tr. 4-16.
- [21]. Ngô Thị Lư, 1999. Các đặc điểm của tính địa chấn và các đặc trưng cơ bản của chấn tiêu động đất khu vực Đông Nam Á từ quan điểm làm sáng tỏ các cấu trúc kiến tạo mới. Luận án TSKH toán-lý, chuyên ngành vật lý địa cầu. Viện Vật lý Địa cầu, Viện hàn lâm khoa học Nga. Moscow, 1999. 342 tr. (Tiếng Nga).
- [22]. Ngô Thị Lư, 2005. Đặc điểm hoạt động của động đất gây sóng thần Andaman-Nicobar (26.12.2004) và diễn biến dư chấn của nó.//Tc. Địa chất số 286. 1-2/2005. Tr. 1-10.
- [23]. Ngô Thị Lư, 2005. Về việc thống nhất hoá danh mục động đất Việt Nam.// Tuyển tập báo cáo khoa học tại Hội nghị Khoa học Kỹ thuật Địa Vật lý Việt Nam lần thứ 4. NXB KH&KT. Hà Nội, năm 2005. Tr. 139-148.
- [24]. Ngô Thị Lư, Rogozhin E.A., 2008. Phân tích đặc điểm địa động lực hiện đại khu vực Biển Đông. Địa chất số 305. 3-4/2008. Tr. 43-50.
- [25]. Ngô Thị Lư, Trần Việt Phương, 2008. Tách các nhóm tiền chấn, dư chấn từ danh mục động đất khu vực Đông Nam Á (chu kỳ 1278-2008) bằng phương pháp cửa sổ không gian thời gian. //Tạp chí Các khoa học về Trái đất năm 2008.
- [26]. Ngô Thường San và n.n.k, 1985. Kiến tạo thềm lục địa Việt Nam và kề cận. Tạp chí Địa chất – N171. Hà Nội.
- [27]. Ngô Văn Liêm, Phan Trọng Trịnh, Nguyễn Tuấn Anh, Hoàng Quang Vinh, 2008. Ứng dụng công nghệ GPS trong việc xác định chuyển dịch kiến tạo hiện đại, biến dạng mặt đất và công trình, Địa Kỹ thuật , Năm 12, số 2.
- [28]. Nguyễn Cán, 1988. Địa chấn kiến tạo và tính địa chấn lãnh thổ Việt Nam (phần lục địa và biển mở). Tóm tắt luận án TS. Matscova, 1988. MGU.

- [29]. Nguyễn Đình Xuyên (chủ nhiệm), 2004: Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền ở Việt Nam, Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp Nhà nước, Viện Vật lý Địa cầu, Viện KHCN VN, Bộ KHCN VN.
- [30]. Nguyễn Đình Xuyên, 2008. Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam và các giải pháp phòng tránh. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Viện Vật lý địa cầu. Hà Nội.
- [31]. Nguyễn Hải, 1979. Xem xét sơ bộ tần suất biểu hiện động đất trên lãnh thổ Đông Nam Á. //Tạp chí Các khoa học về Trái đất. Hà Nội, 1979. Số 1.
- [32]. Nguyễn Hiệp và n.n.k, 1994. Đặc điểm địa chất và tiềm năng dầu khí quần đảo Trường Sa. Trung tâm TTTL Dầu khí, Hà Nội.
- [33]. Nguyễn Hồng Phương, 2003. Nghiên cứu đánh giá độ rủi ro động đất cho thành phố Hà Nội. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp thành phố, Viện kỹ thuật Xây dựng Hà Nội.
- [34]. Nguyễn Hồng Phương, 2007. Ứng dụng công nghệ GIS để xây dựng mô hình đánh giá rủi ro động đất thành phố Hà Nội. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp thành phố, Viện Vật lý Địa cầu.
- [35]. Nguyễn Hồng Phương, 2008. Đánh giá độ rủi ro động đất cho Thành phố Hồ Chí Minh trên cơ sở sử dụng GIS và các mô hình toán. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ cấp thành phố 2007-2008, Sở Khoa học và Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh.
- [36]. Nguyễn Hồng Phương, 2009. Đánh giá độ nguy hiểm và độ rủi ro động đất cho thành phố Nha Trang. Báo cáo chuyên đề thực hiện Dự án hợp tác Việt-Pháp "Hệ thống hỗ trợ ra quyết định không gian tổng hợp phục vụ cảnh báo đô thị" (ISSUE), Hà Nội.
- [37]. 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 HLKH Liên bang Nga, Matxcova.
- [38]. Nguyễn Hồng Phương, 1998. Khảo sát mối liên quan giữa tính địa chấn và một vài yếu tố địa động lực tại vùng ven biển và thềm lục địa Đông Nam Việt Nam, Tạp chí Các khoa học về Trái Đất, 20(3), 167-182, Hà Nội.
- [39]. 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.
- [40]. Nguyễn Hồng Phương, Bùi Công Quế và Nguyễn Đình Xuyên, 2009. Khảo sát các vùng nguồn sóng thần có khả năng gây nguy hiểm tới vùng bờ biển Việt Nam, Tạp chí Các khoa học về Trái Đất (đang in).
- [41]. Nguyễn Khắc Mão, 1977. Động đất trên lãnh thổ Lào. //Tạp chí Sinh vật-địa học. Hà Nội, 1977. Tập 15. Số 4.
- [42]. Nguyễn Kim Lạp, 1983. Chế độ địa chấn và trường ứng suất lãnh thổ Đông Nam Á. //Luận án TS. Viện Khoa học Việt Nam. Hà Nội, 1983. 170 tr.

- [43]. Nguyễn Kim Lạp, 1984. Một số đặc trưng về biến dạng địa chấn - kiến tạo vỏ Trái đất vùng Đông Nam Á. Địa chất. N 165, Hà Nội.
- [44]. Nguyễn Kim Lạp, 1986. Một số đặc điểm của chế độ địa chấn và trường ứng suất lãnh thổ Đông Nam Á. //Các công trình nghiên cứu khoa học của Viện Vật lý Địa cầu, Viện KHVN. Hà Nội, 1986(2). Tập 5 (1985-1986). Tr.15-20.
- [45]. Nguyễn Kim Lạp, 1987. Tính địa chấn lãnh thổ Đông Dương. //Tạp chí Các khoa học về Trái đất Tập 9. Số 1. Tr. 1-6.
- [46]. Nguyễn Văn Lương, 1999. Đặc điểm biến dạng vỏ Trái đất trong các hệ đứt gãy sâu hoạt động ở ven biển Việt Nam. Các công trình nghiên cứu địa chất - địa vật lý biển. Hà Nội.
- [47]. Nguyễn Văn Lương, Bùi Công Quế, Nguyễn Văn Dương, 2008. Trường ứng suất kiến tạo và các chuyển động hiện đại trong vỏ Trái đất khu vực Biển Đông. Tạp chí KHCN biển. N1.
- [48]. Nguyễn Xuân Hãn và n.n.k, 1991. Hoạt động núi lửa trẻ khu vực Biển Đông Việt Nam. Địa chất tài nguyên. Viện Địa chất, Hà Nội.
- [49]. Phạm Năng Vũ, 2006. Hoạt động kiến tạo và phun trào núi lửa trẻ (Pliocen Đệ tứ) vùng biển Nam Bộ.
- [50]. Phạm Văn Thục và n.n.k, 1985. Phân vùng động đất lãnh thổ Việt Nam. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp nhà nước, Viện Vật lý địa cầu, Hà Nội.
- [51]. Phạm Văn Thục, 1970. Tốc độ thời gian truyền sóng địa chấn và cấu tạo vỏ Trái đất miền Bắc Việt Nam. //Báo cáo tại hội thảo Vật lý địa cầu toàn quốc. Viện Khoa học Việt Nam. Hà Nội, 1970.
- [52]. Phạm Văn Thục, 1979. Một số đặc điểm của tính địa chấn lãnh thổ Đông Nam Á. //Các kết quả nghiên cứu Vật lý địa cầu năm 1979. Viện KHVN. Hà Nội, 1980 (1). Tr. 9-19.
- [53]. Phạm Văn Thục, 2001. Đặc điểm sóng thần khu vực Biển Đông. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. N2.
- [54]. Phạm Văn Thục, 2003: Phân vùng động đất khu vực Biển Đông Việt Nam và ven bờ. Báo cáo thực hiện Đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ của Chương trình Biển quốc gia KC-09-02, Hà Nội.
- [55]. Phạm Văn Thục, 2008. Mối liên quan giữa động đất ở vùng ven biển Nam Trung Bộ và các hoạt động núi lửa. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. N2 (8), 2008. Hà Nội.
- [56]. Phạm Văn Thục, 2009, Hiện tượng chuỗi động đất (swarm) tại dốc núi lửa ven biển Nam Trung Bộ. Tạp chí KHCN biển N3 (T.9).
- [57]. Phạm Văn Thục, Nguyễn Kim Lạp, 1980. Danh mục động đất Đông Nam Á (1912-1976). Các công trình nghiên cứu Vật lý địa cầu – Hà Nội.
- [58]. Phạm Văn Thục. 1980. Áp dụng lý thuyết cực trị vào việc xác định chu kỳ xuất hiện và magnitude động đất cực đại tại khu vực Đông Nam Á. Tạp chí Vật lí. Tập V, số 2,24-32.

- [59]. Phạm Văn Thục. 2005. Đánh giá độ nguy hiểm của nguồn sóng thần tại rìa phía tây Philippines tới dải ven biển nước ta. Tạp chí Khoa Học và Công nghệ Biển. 4(t4) 29-41.
- [60]. Phạm Văn Thục. 2007. Đánh giá độ nguy hiểm sóng thần tại rìa phía tây Philipin và ảnh hưởng tới dải ven biển nước ta. Tạp chí KHCN Biển N.2.
- [61]. Phan Trọng Trịnh và nnk., 2009. Kết quả ban đầu về tốc độ chuyển dịch kiến tạo hiện đại trên Biển Đông, Tạp chí Địa chất số: 310/1-2.
- [62]. Phan Trọng Trịnh, 2010 (chủ biên). Nghiên cứu hoạt động kiến tạo trẻ, kiến tạo hiện đại và địa động lực Biển Đông làm cơ sở khoa học cho việc dự báo và phòng tránh tai biến địa chất. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước. Chương trình (2006-2010) Hà Nội.
- [63]. Phan Trung Điền, 1992. Các mô hình tích tụ trầm tích Kainozoi và các kiểu rìa trên thềm lục địa Việt Nam. Tạp chí Dầu khí. N1 – 1992 – Hà Nội.
- [64]. Phùng Văn Phách, Bùi Công Quế, 2001. Một số luận giải từ các tài liệu địa vật lý về cấu trúc và lịch sử phát triển vỏ đại dương trên Biển Đông. Tạp chí KHCN Biển N3.
- [65]. Quyết định 264/2006/QĐ-TTg ngày 16/11/2006 của Thủ tướng Chính phủ ban hành “Quy chế báo tin động đất và cảnh báo sóng thần ở Việt Nam”.
- [66]. Quyết định 78/2007/QĐ-TTg ngày 29/5/2007 của Thủ tướng Chính phủ ban hành “Quy chế phòng chống động đất và sóng thần”.
- [67]. TCXDVN 375-2006 “Thiết kế công trình chịu động đất”, Bộ Xây dựng, Hà Nội.
- [68]. Trần Đình Tô, Nguyễn Trọng Yêm (2004). Chuyển động hiện đại vỏ Trái đất lãnh thổ Việt Nam theo số liệu đo GPS. Tạp chí Các khoa học về Trái đất; 26(4),12/2004, tr.579-586, Hà Nội.
- [69]. Trần Thị Mỹ Thành, 2008. Quy trình công nghệ đánh giá độ nguy hiểm sóng thần và cảnh báo nguy cơ sóng thần vùng ven biển Việt Nam. Báo cáo đề tài KHCN cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Viện Vật lý địa cầu, Hà Nội.
- [70]. Trần Tuấn Dũng và nnk., 2006. Kiến tạo đứt gãy theo minh giải tài liệu trọng lực vùng thềm lục địa Đông Nam Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, T.2, 124-133.
- [71]. Trần Tuấn Dũng và nnk., 2010. Hình thái cấu trúc móng Kainozoi khu vực quần đảo Trường Sa và trũng sâu Biển Đông. Tạp chí Dầu khí.
- [72]. Vũ Thanh Ca, 2008 (chủ biên). Xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ sóng thần cho các vùng bờ biển Việt Nam. Các kịch bản sóng thần trên Biển Đông. Báo cáo tổng kết dự án KHCN Bộ Tài nguyên và Môi trường. Viện Khoa học Khí tượng thủy văn Môi trường, Hà Nội.
- [73]. Vy Quốc Hải (2004). So sánh kết quả xử lý số liệu GPS của lưới địa động lực bằng phần mềm GPSurvey 2.35 và Bernese 4.2. Tạp chí Các khoa học về Trái đất-26(4),12/2004, tr.418-425, Hà Nội.

- [74]. Vy Quốc Hải (2007). Kết quả bước đầu xác định chuyển động vỏ Trái đất bằng số liệu GPS vùng lân cận chấn tâm động đất Sumatra ngày 26/12/2004. Tạp chí Địa chất; loạt A, số 302, 9-10/2007, tr.1-9.

TIẾNG ANH

- [75]. Abe K. (1975). Reliable estimation of the seismic moment of large earthquakes; *J. Phys. Earth*, 23, 381-390.
- [76]. Aida, I. (1988). Tsunami hazard probability in Japan. *Bull. Seism. Soc. Am.* 78, 3, 1268 – 1278.
- [77]. Aki K. (1972a). Lithospheric normal faulting beneath the Aleutian trench, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 5, 190-198.
- [78]. Algermissen, S.T., W.A. Rinehart and J. E. Deway (1972). A study of earthquake losses in the San Francisco Bay area, U. S. Dept. of Commerce, NOAA, ERL, Boulder, Colorado, Part A, 21 pp., Part B, 220 pp.
- [79]. Atlas of geology and geophysics of South China Sea. Map Publishing House of Guang Dong province. Guangzhou 1987.
- [80]. Bao-Zhu Wei, Wai-Ying Chung, 1995. Strike-slip faulting on the northern margin of the South China Sea: evidence from two earthquakes offshore of Hainan Island, China, in December, 1969, *Tectonophysics*, 55-66.
- [81]. Bautista P. Leonila Ma. Historical Tsunami of the Philippine (1589 to 1999) PHIVOLCS. Oct.4, 2001.
- [82]. Bautista P. Leonila Ma., Kazuo Oike. Estimation of the Magnitudes and Epicenters of Philippine Historical Earthquakes. *Tectonophysics* 317 (2000) 137-169.
- [83]. Beavan, J., P. Tregoning, M. Bevis, T. Kato, and C. Meertens (2002). Motion and rigidity of the Pacific Plate and implications for plate boundary deformation, *J. Geophys. Res.*, 107(B10), 2261, doi:10.1029/2001JB000282.
- [84]. Benjamin R. J. and Cornell C. A., 1970. *Probability, Statistics and Decisions for Civil Engineers*, McGraw Hill.
- [85]. Berryman, K. (Compiler), 2005. "Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand". Institute of Geological & Nuclear Sciences, Client Report 2005/104, Wellington.
- [86]. Bock, Y., L. Prawirodirdjo, J. Genrich, C. Stevens, R. McCaffrey, C. Subarya, S. Puntodewo, and E. Calais (2003). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements, *J. Geophys. Res.*, 108(B8), 2367, doi:10.1029/2001JB000324.
- [87]. Bouma, A.H., and Roberts, H.H., 1990. Northern Gulf of Mexico continental slope. *Geo-Mar. Lett.*, 10:177–181.

- [88]. Brias. A. Tapponier. P. Pautot. G. 1989. Constrains of Seabed data on crustal fabric and Sea floor spreading in the South China Sea. *Earth planet.* Vol 95.
- [89]. Brink A.B.A. (1981). Chapter 2. Soutpansberg and Waterberg Groups and related rocks of the Mokolian Erathem. *Engineering Geology of Southern Africa.* Pp 28-57.
- [90]. Campbell K. W., 1997: Empirical Near-Source Attenuation Relationship for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra, *Seismological Research Letters*, Volume 68, N1, Jan./Feb. 1997.
- [91]. Chamote-Rooke, N., and X. L. Pichon (1999). GPS determined eastward Sundaland motion with respect to Eurasia confirmed by earthquake slip vectors at Sunda and Philippine Trenches, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 173, 439 - 455.
- [92]. Coburn, A.W. and Spence, R.J.S. (1992). Factors Determining Human Casualty Levels in Earthquakes: Mortality Prediction in Building Collapse, *Proceedings of the 10 CEE*, Madrid, Spain: 5989 - 5994.
- [93]. Cornell C.A., 1968. *Engineering Seismic Risk Analysis*, *Bull. Seim. Soc. Am.*, 58, pp. 1583 – 1606.
- [94]. Cosentino P., Ficara V. and Luzio D., 1977. Truncated exponential frequency-magnitude relationship in earthquake statistics, *Bull. Seis. Soc. Am.* 67, pp. 1615-1623.
- [95]. Cousins, W.J. 2004. "Towards a first-order earthquake loss model for New Zealand". *Proceedings, 2004 Conference of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 19-21 March 2004, Rotorua. New Zealand Society for Earthquake Engineering. Paper No. 29.
- [96]. Cousins, W.J. 2005. "Precision achievable in earthquake loss modelling". *Proceedings, 2005 Conference of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 11-13 March 2005, Wairakei. New Zealand Society for Earthquake Engineering. Paper No. 18.
- [97]. Downes, G. L. and Stirling, M. W. 2001, Groundwork for development of a probabilistic tsunami hazard model for New Zealand, *International Tsunami Symposium 2001*, Seattle, Washington, pp. 293–301.
- [98]. Dowrick, D.J. 1991. "Damage costs to houses and farms as a function of intensity in the 1987 Edgumbe earthquake". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 20:455-469.
- [99]. Dowrick, D.J. and Rhoades, D.A., 1993. "Damage costs for commercial and industrial property as a function of intensity in the 1987 Edgumbe earthquake". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 22:869-844.
- [100]. Durkin, M.E. and Thiel, C.C. (1991). *Integrating Earthquake Casualty and Loss Estimation*, *Proc. of the Workshop on Modeling Earthquake Casualties for Planning and Response*, Sacramento.

- [101]. Dziewonski A.M., Franzen J.E., Woodhouse J.H., 1983. Centroid- moment tensor solutions for April-June, 1983, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 33, 243-49.
- [102]. Earthquake Hazards program. U. S. Geological Survey (USGS). National Earthquake Information Center. World Data Center for Seismology, Denver.
- [103]. England, P., and G. Houseman (1986). Finite strain calculations of continental deformation: 2. Comparison with the India-Asia collision zone, *J. Geophys. Res.*, 91(B3), 3664–3676.
- [104]. Federal Emergency Management Agency (1996). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. FEMA 273. Washington, D.C.
- [105]. Federal Emergency Management Agency (1999). HAZUS99 Technical Manual, Chapter 3. Inventory Data: Collection and Classification, 57 pp.
- [106]. Federal Emergency Management Agency, (1997). NEHRP recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, Washington, D. C., Developed by the Building Seismic Safety Council (BSSC) for the Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- [107]. Flinn E.A., Engdahl E.R. and Hill A.R. Map of seismic regions. Seismic and geographical regionalization. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 64, Pt II, 771. 1974.
- [108]. Galgana G., M. Hamburger, R. McCaffrey, E. Corpuz, Q. Chen , 2007. Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms, *Tectonophysics* 432, 63–87.
- [109]. Gan W., Zhang P. , Shen Z. K., Niu Zh., Wang M. , Wan Y., Zhou D., Cheng , 2007. Present-day crustal motion within the Tibetan Plateau inferred from GPS measurements, *J. VOL.* 112, B08416, doi:10.1029/2005JB004120
- [110]. Gatinsky Y. G. Lateral structural - stratigraphic analysis. Nedra, Moscow. 1986. 195 p. (in Russian).
- [111]. Gatinsky Yu. G. et. Al, 1984. Tectonic evolution of South east Asia. Tectonic of Asia. Nauka. Moscow.
- [112]. Geist, E. L., 2005. Local Tsunami Hazards in the Pacific Northwest from Cascadia Subduction Zone Earthquakes. U.S. Geological Survey Professional Paper 1661-B, 17 pp.
- [113]. Geist, E. L., Tom Parsons, 2006. Probabilistic analysis of Tsunami hazards. *Natural hazard*, 37, 277 - 134.
- [114]. Gibowicz S.J., Niawiadomski J., Pham Van Thuc, 1987. Source study of the Tuan Giao, Vietnam earthquake of 24 June 1983. *Acta Geophysica Polonica*. Vol XXXV, no1, 1-18.
- [115]. GSHA P Final Report, 1997.
- [116]. Gumbel E. J., 1958. *Statistics of Extremes*, Columbia University Press.

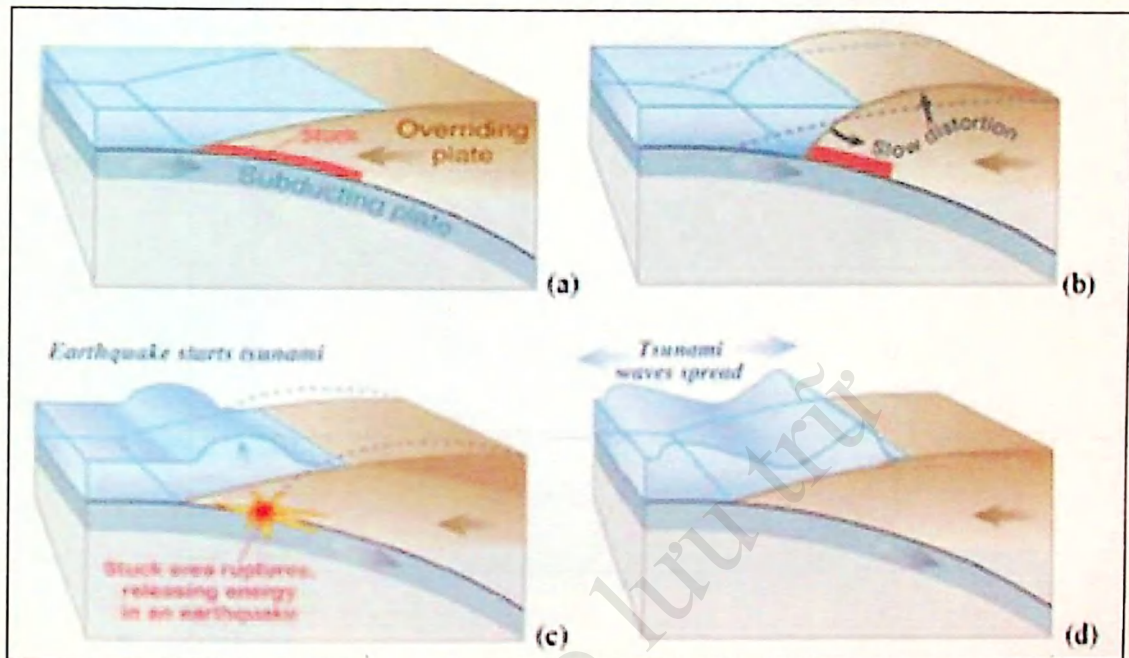
- [117]. Gumbel E., 1962. *Statistics of Extremes*. Colombia University press. New York.
- [118]. Gutenberg B. ,Richter C. F., 1954. *Seismicity of Earth and Associated Phenomena*. 2nd Edition. Princeton University Press.310pp.
- [119] Gutenberg B. ,Richter C. F., 1956. *Magnitude and Energy of Earthquakes*. Ann. Geofis. (Roma).9.1-15.
- [120]. Gutenberg B. and Richter C.F. *Seismicity of the Earth II (Supplementary paper)*. //Geol. Soc. am., Bull., Vol. 56, 1945. P. 603-668.
- [121]. Hayes D.E, 1986. *Structure and Origin of South China basin*. AAPG Bul. Vol 70.
- [122]. Hills, S.G. and Mader, C.L., 1997. *Tsunami produced by the impacts of small asteroids*, Annals of Sciences, 822, pp. 381-394.
- [123]. Hinz. K and Schluter H.U. 1985. *Geology of the Dangerous Grounds, South China Sea and Continental margin of Southwest Palawan*. Results of some cruises SO-23 and SO-27. Energy 10.
- [124]. Hinz.K et al 1989. *Thrust tectonics along the North-Western continental margin of Sabah/Borneo*. Geol. Rund Sch.
- [125]. Holloway N.H., 1982. *North Palawan Block, Philippines-Its Relation to Asian Mainland and role in Evolution of South China Sea*. Am.Assoc.Pet.Geol.Bull. Vol.66,No. 9, 1355-1383.
- [126]. HRVD. Harvard University, Department of Geological Sciences, Harvard University, Cambridge, MA 02158,USA.
- [127]. *International Seismological Centre Database Access Program*. Committee for co-ordination of joint prospecting for mineral resources in Asian offshore areas (CCOP). Vol 23, 9/1991.120.
- [128]. Iwakuni, M., T. Kato, H. Takiguchi, T. Nakaegawa, and M. Satomura (2004), *Crustal deformation in Thailand and tectonics of Indochina peninsula as seen from GPS observations*, Geophys. Res. Lett., 31, L11612, doi:10.1029/2004GL020347.
- [129]. Keilis-Borok V.I., Knopoff L. and Rotwain I. M., 1980. *Burst of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes*, Nature, Vol. 283, 259-263.
- [130]. Kijko A., Dessokey M., 1987. *Application of extreme magnitude distribution to incomplete earthquake files*, Bull. Seis. Soc. Am. 77, pp. 1429-1436.
- [131]. Kijko A., 1984. *Maximum likelihood estimation of Gutenberg-Richter b parameter for uncertain magnitude values*, Pageoph, 127, pp. 573-579.
- [132]. Kijko A.,1983. *A modified form of the first Gumbel distribution: model for the occurrence of large earthquakes Part II- Estimation of parameters*. Acta Geophysica Polonica. Vol XXXI, No 2, 147-159.
- [133]. Kulinic R.G. et al. 1989. *Earth crustal evolution and tectonics in Southeast Asia*. Moscow Publishing house.

- [134]. Leloup, P., R. Lacassin, P. Tapponnier, U. Scharer, D. Zhong, X. Liu, L. Zhang, S. Ji, and Phan Trong Trinh (1995), The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina, *Tectonophysics*, 251(1-4), 3 – 84.
- [135]. McGuire R. K., 1976. FORTRAN computer program for seismic risk analysis, U.S. Geol. Survey Open - File Rept. 76-67, 89.
- [136]. Molnar P. and Tapponier P, 1975. Ceinzoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*. 1975. 189. 4201. 419-426.
- [137]. National Earthquake Information Center (NEIC), 12/2004 – 1/2005.
- [138]. Ngo Thi Lu, 1981. Seismological Bulletin 1979-1980. National Center for Scientific Research of Vietnam. Hanoi. 1981.
- [139]. Ngo Thi Lu, 1988. Bulletin of Vietnamese seismological stations in the period from 1983 to 1984 (far earthquakes). Institut of Geophysics. National Centre for Scientific Research of Vietnam. Hanoi. 1988.
- [140]. Ngo Thi Lu, 1998. Strong earthquakes on territory of South-East Asia and peculiarities in their manifestation. //Journal of earthquake prediction research. (by State Seismological Bureau, China and Academy of Sciences, Russia). Vol. 7. №2. 1998. P. 170-185.
- [141]. Nguyen Hong Phuong, 1991. Probabilistic Assessment of Earthquake Hazard in Vietnam based on Seismotectonic Regionalization, *Tectonophysics*, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 198, 81-93.
- [142]. Nguyen Kim Lap. Seismic regime of Laos. Proceedings of first conference on Geology of Indochina. Vol. 2, 5-7 December. Ho chi Minh City. 1986.
- [143]. Nguyen Kim Lap. Some characteristics of the seismic regime in South Asia. //Progress in Scientific Research. №1. Hanoi. 1988.
- [144]. Ordaz M., Aguilar A., Arboleda J. Phần mềm CRISIS99. Univer. of Mexico (UNAM).
- [145]. Parke J. et al. 1977. Structural framework of continental margin of South China Sea. *AaPG bull.* N. 55.
- [146]. Pautot G-et al-1990. The Axial ridge of the South China sea: a Seabeam and geophysical survey. *Oceanologica Acta*. Vol 13.N2.
- [147]. Pham Van Thuc, Kijko A. 1985. Estimation of maximum magnitude and seismic hazard In Southeast Asia and Vietnam. *Acta Geophysica Polonica*. Vol XXXIII, no4, 377-387.
- [148]. Priest, G.R.,1995. Explanation of Mapping Methods and Use of the Tsunami Hazard Maps of the Oregon Coast, State of Oregon Department of Geology and Mineral Industries, Suite 965, 800 NE Oregon St., #28 Portland, Oregon 97232, Open- File Report O-95-67.

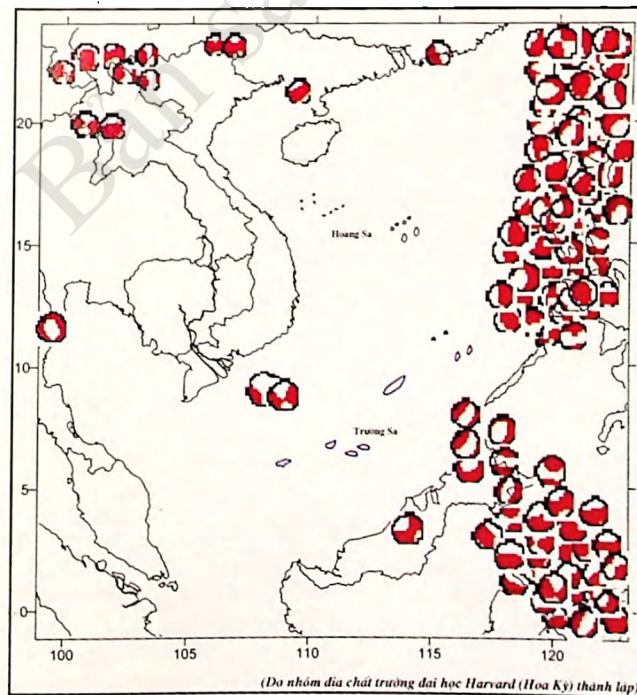
- [149]. Proceedings of International Seisminar on Seismic Zonation, State Seismological Bureau. Guangzhou, 1987. 441 p.
- [150]. Rangin C. et al, 1995. The Red river fault system in the Tonkin gulf, Vietnam. Tectonophysics N243. Elsevier Pub.
- [151] Rangin, C., et al., A. Walpersdorf, and R. Quebral (1999). Plate convergence measured by GPS across the Sundaland/Philippine Sea plate deformed boundary: The Philippines and eastern Indonesia, *Geophys. J. Int.*, 139, 296–316.
- [152]. Rao C.R., 1973. Linear statistical inference and its applications, Edit. 2, John Wiley and Sons, N.Y., p.625.
- [153]. Regionai catalogue of earthquakes (ISC) 1970-1996.
- [154]. Rikitake, T. and Aida, I.: 1988. Tsunami hazard probability in Japan, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 78, 1268–1278.
- [155]. Riznichenko Iu.V., 1966. Raschet sotriasaemost toчек zemnoy poverichnosti of zemle-tryasenly v oksuzhayushey oblasti. Moskva Nauk (fizika zemli no 5).
- [156]. Roques D. et al 1997. Constrains on strike – slip motion from seismic and gravity data along Vietnam margin offshore Danang: implication for hydrocarbon prospectivity and opening of the Earth Vietnam sea. *Petroleum geology of SE Asia.* N 126.
- [157]. Rothe J.P. Seismicity of the Earth 1953-1965. Unesco. Paris. 1969. 336p.
- [158]. Saunders, Wendy (compiler), 2006. “National population casualties resulting from tsunami in New Zealand”. GNS Science Consultancy Report 2006/107, Institute of Geological & Nuclear Sciences, Lower Hutt.
- [159]. Saurin E. 1957. A propos des galets exotiques des iles paracels. Việt Nam địa chất khảo lục N4.
- [160]. Shakal A.F. and Willis D.E. Estimated earthquake probabilities in the North Cireum-Pacific area. //Bull. Seism. Soc. Amer. 1972. Vol. 62. P. 1397-1410.
- [161]. Shen, Z. K., J. Lu, M. Wang, and R. Burgmann (2005). Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau, *J. Geophys. Res.*, 110, B11409, doi:10.1029/2004JB003421.
- [162]. Simons, W. J. F., et al. 2007. A decade of GPS in Southeast Asia: Resolving Sundaland motion and boundaries, *J. Geophys. Res.*, VOL. 112, B06420, doi:10.1029/2005JB003868.
- [163]. Socquet, A., et al. (2006a). Microblock rotations and fault coupling in SE Asia triple junction (Sulawesi, Indonesia) from GPS and earthquake slip vector data, *J. Geophys. Res.*, 111, B08409, doi:10.1029/2005JB003963.
- [164]. State of California, Seismic Safety Commission (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Report No. SSC 96-01, Sacramento, California.
- [165]. Stojanovski, P., Dong, W., (1994). Simulation Model for Earthquake Casualty Estimation, Proc. Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 00592, Chicago, Illinois, July 10-14.

- [166]. Takahashi, R. (1951). An estimate of future tsunami damage along the Pacific coast of Japan, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.* 29, 71-95.
- [167]. Tapponier P.et.al, 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. *Collision tectonics. Geol. Soc. Spec. publ.* 19.
- [168]. Tapponnier, P., G. Peltzer, A. Y. Ledain, R. Armijo, and P. Cobbold (1982), Propagating extrusion tectonics in Asia—New insights from simple experiments with plasticine, *Geology*, 10(12), 611– 616.
- [169]. Taylor, B., Hayes, D.E., 1983. Origin and history of the South China Sea Basin. In: Hayes, D.E. (Ed.). *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands. Geophys. Monogr., AGU, Washington, D.C., vol. 27, pp. 23– 56.*
- [170]. Thorne Lay and Terry C. Wallace, 1995. *Modern Global Seismology.* Academic Press. 521.
- [171]. UNESCO-IOC.2009. Five years after the Tsunami in the Indian Ocean. From strategy to implementation. Paris.
- [172]. Verma R.K. Mukhopadhyay M. and Nag, A.K. Seismicity and tectonics in South China and Burma. *Tectonophysics. Vol. 64. 1979. P. 85-96.*
- [173]. Ward, S. N. and Asphaug, E.: 2000. Asteroid impact tsunami: a probabilistic hazard assessment, *Icarus* 145, 64–78.
- [174]. Ward, S. N.: 2001. Landslide tsunami, *J. Geophys. Res.* 106, 11201–11215.
- [175]. Ward, S. N.: 2002. Tsunamis, In: R. A. Meyers (ed.). *The Encyclopedia of Physical Science and Technology, Academic Press, pp. 175–191.*
- [176] Wesnousky, S. G., C. H. Scholz, K. Shimazaki, and T. Matsuda (1984). Integration of geological and seismological data for the analysis of seismic hazard: a case study of Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.* 74, 687-708.
- [177]. Wu jin min 1990. The tectonic evolution of South China Sea and its controj of Hydrocarbon. *Marine geol. And geophysics of SCS. China Ocean press.*
- [178]. Wu jin min, 1988. Cenozoic basins of South China Sea. *Episodes. Vol 11, N2.*
- [179]. Zhang, P., Z. Shen, M. Wang, W. Gan, R. Burgmann, P. Molnar, Q. Wang, Z. Niu, J. Sun, J. Wu, H. Sun, and X. You (2004). Continuous deformation of the Tibetan Plateau from Global Positioning System data, *Geology*, 32, 809–812.

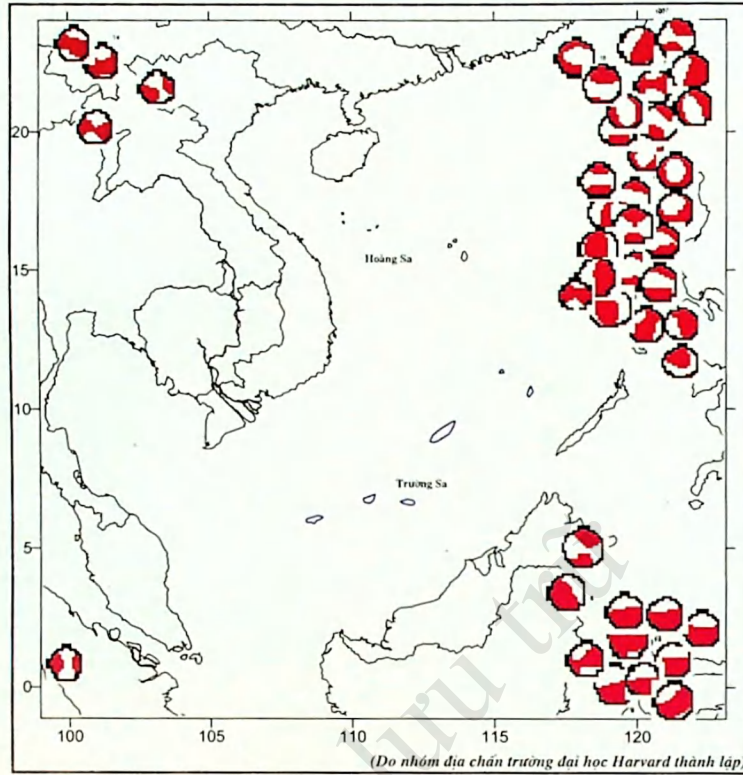
PHỤ LỤC ẢNH VÀ HÌNH VẼ



Hình I-1. Sóng thần hình thành do động đất ở các đới hút chìm



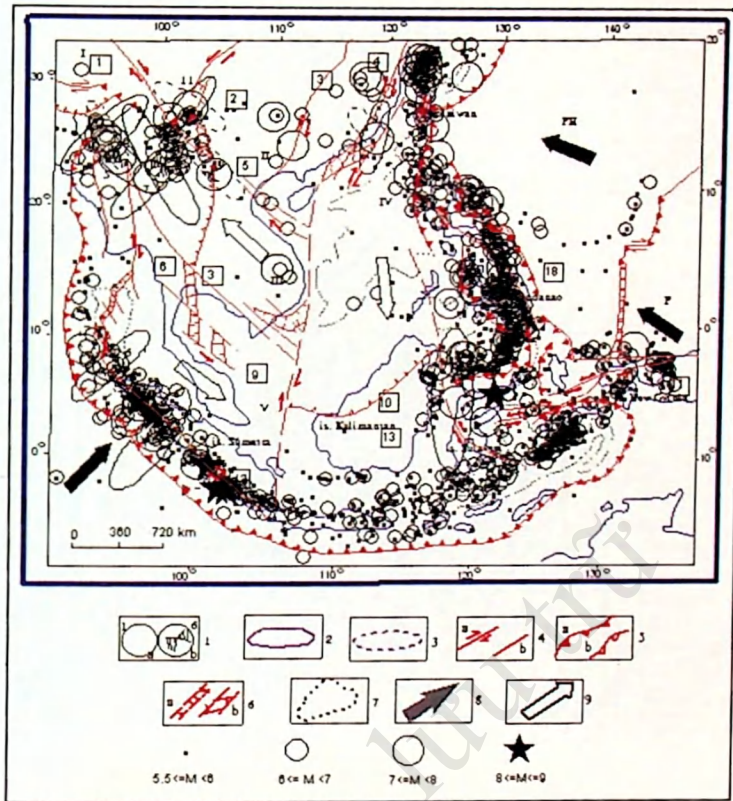
Hình II-16. Bản đồ cơ cấu chấn tiêu khu vực Biển Đông và lân cận



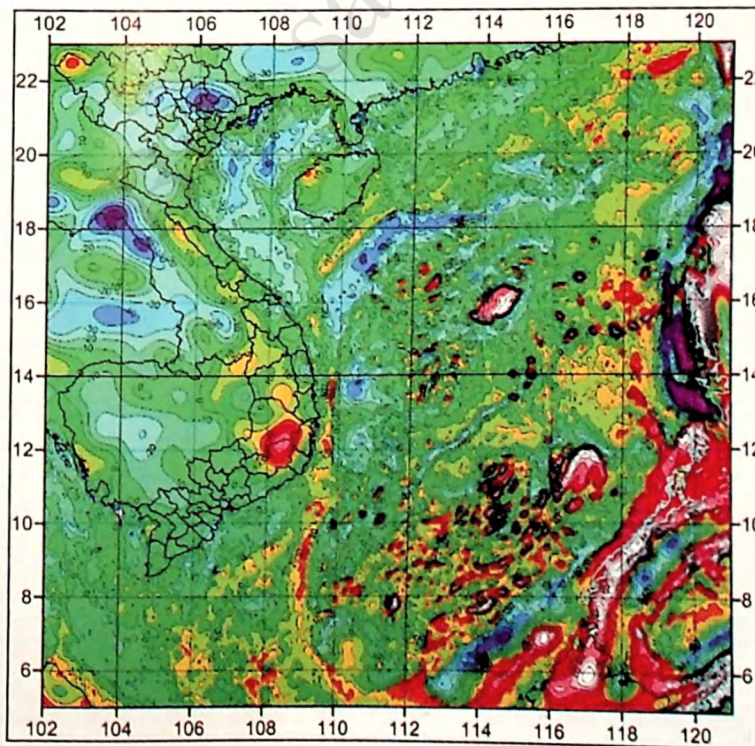
Hình II-17. Bản đồ cơ cấu chấn tiêu khu vực Biển Đông và lân cận, thời kỳ 1976-2006 với $M \geq 6$



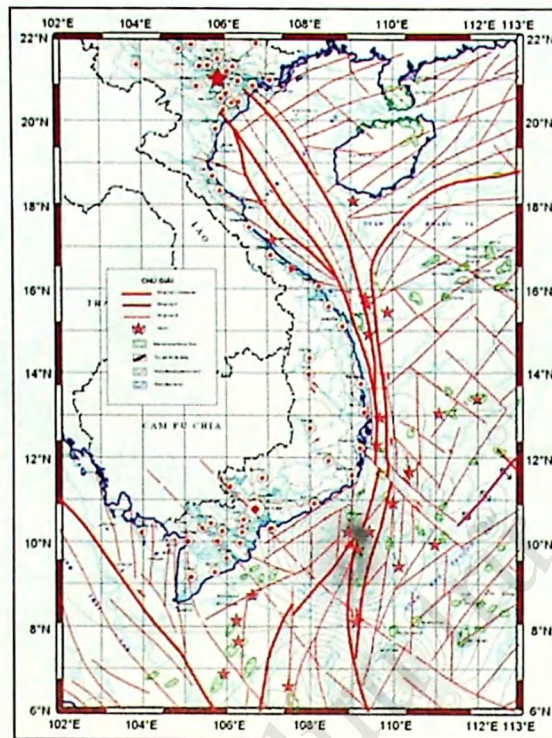
Hình II-18. Bốn dạng cơ cấu chấn tiêu cơ bản tương ứng với 4 loại dịch chuyển tại chấn tiêu



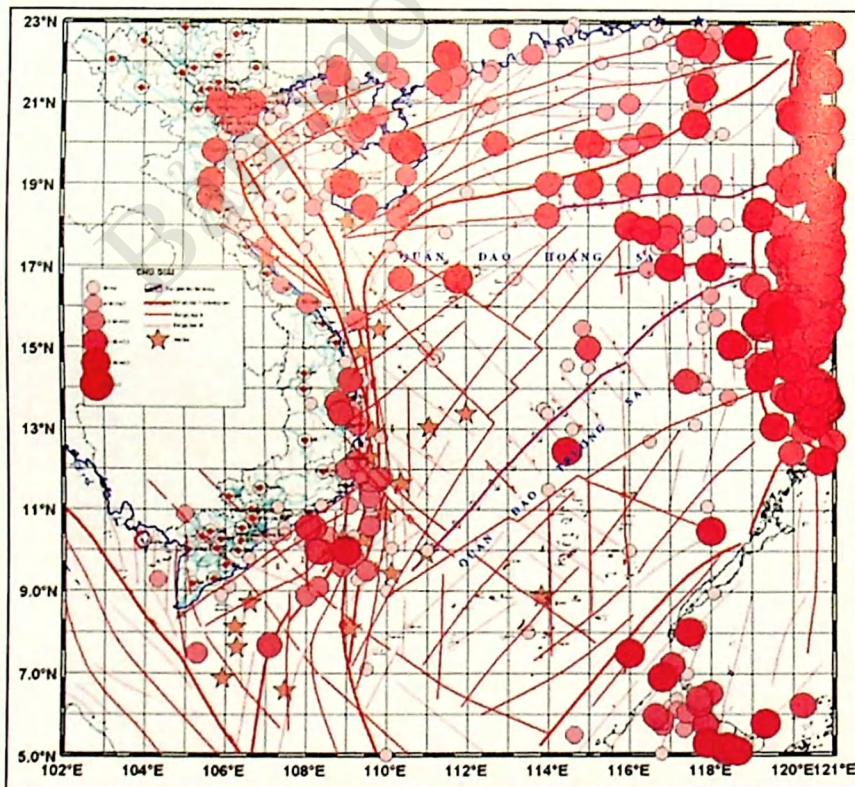
Hình II-20. Bản đồ chấn tâm động đất mạnh khu vực ĐNA giai đoạn 1278-2008



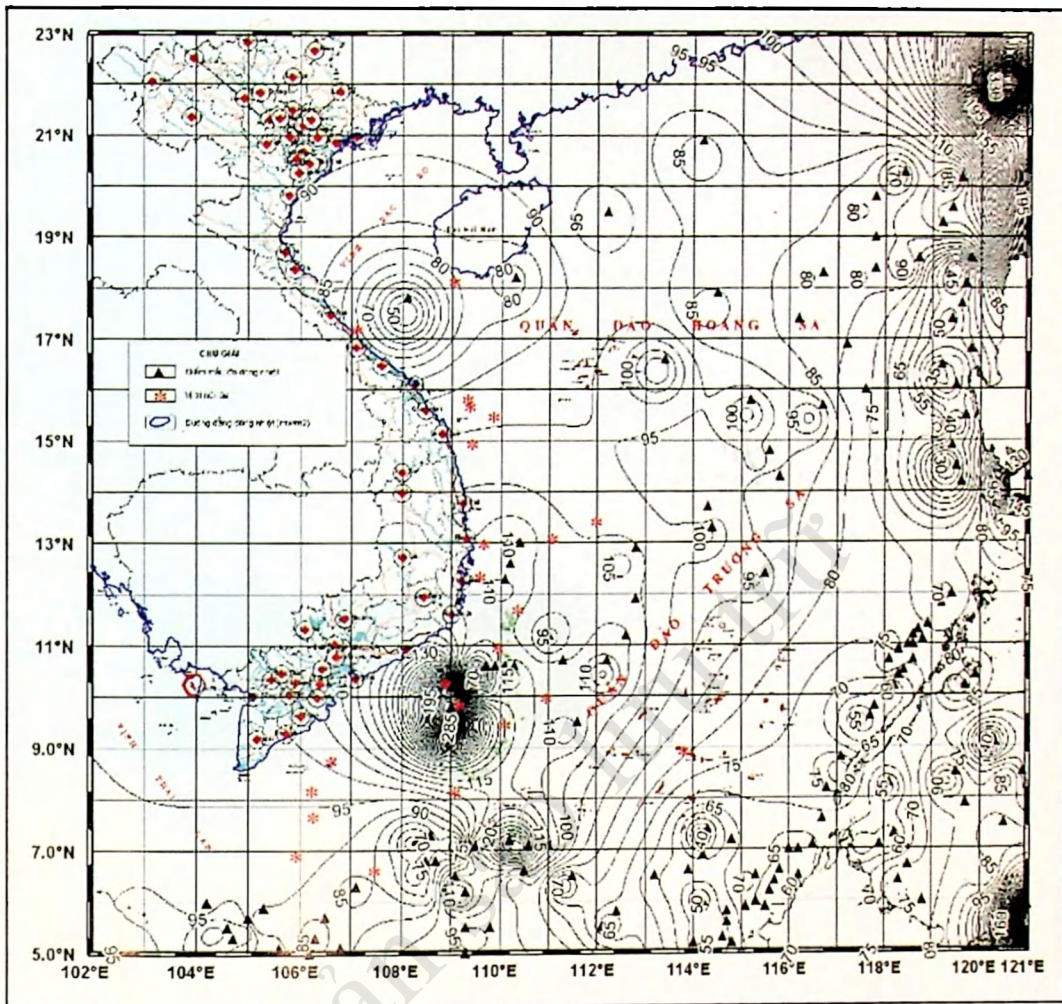
Hình III-1. Bản đồ dị thường trọng lực vùng Biển Đông và kế cận [11]



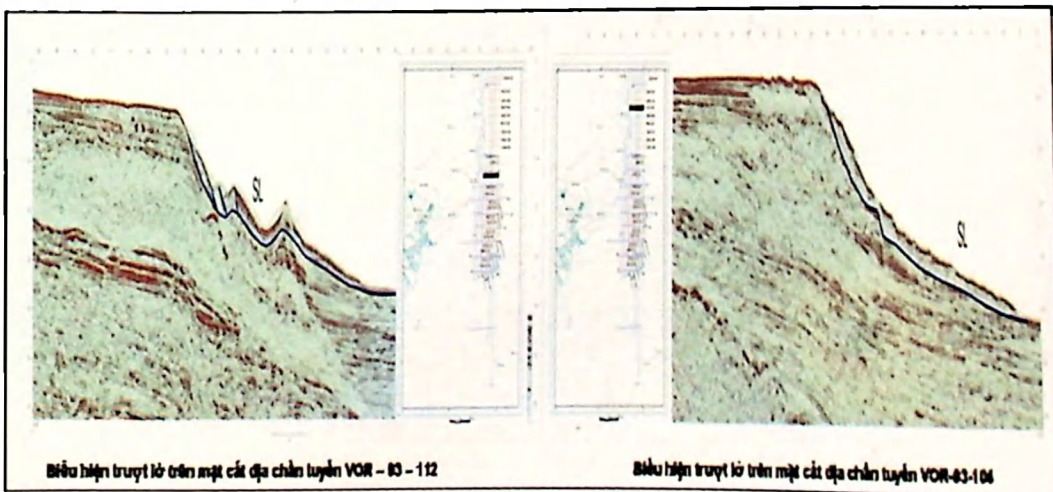
Hình III-2. Sơ đồ đứt gãy trên thêm lục địa Việt Nam



Hình III-3. Bản đồ các hệ đứt gãy hoạt động trên Biển Đông và kế cận



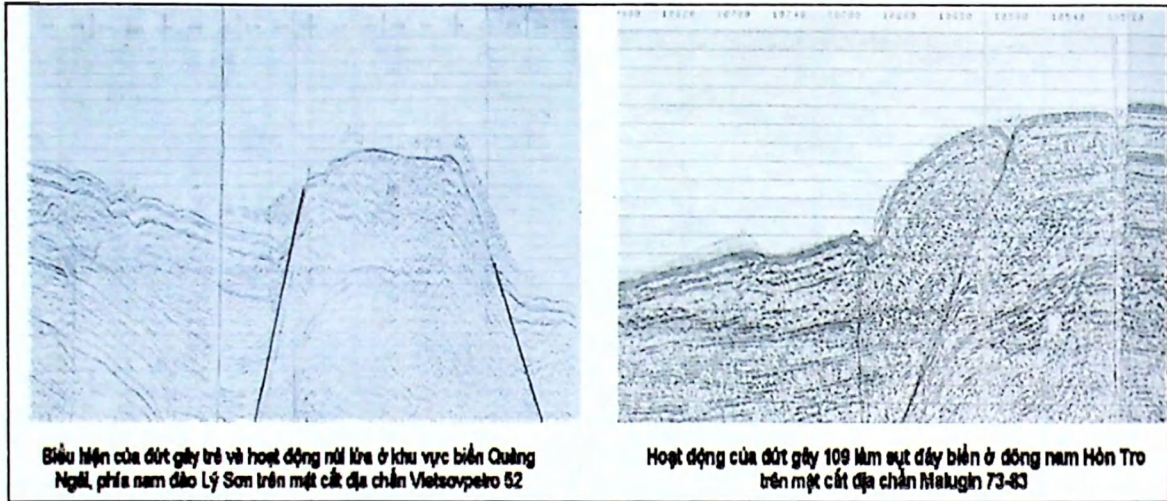
Hình III-4. Sơ đồ phân bố dòng nhiệt trên Biển Đông Việt Nam (liên quan đến các hệ đứt gãy) theo Qiang Ji Peng, 1990 (mw/m^2)



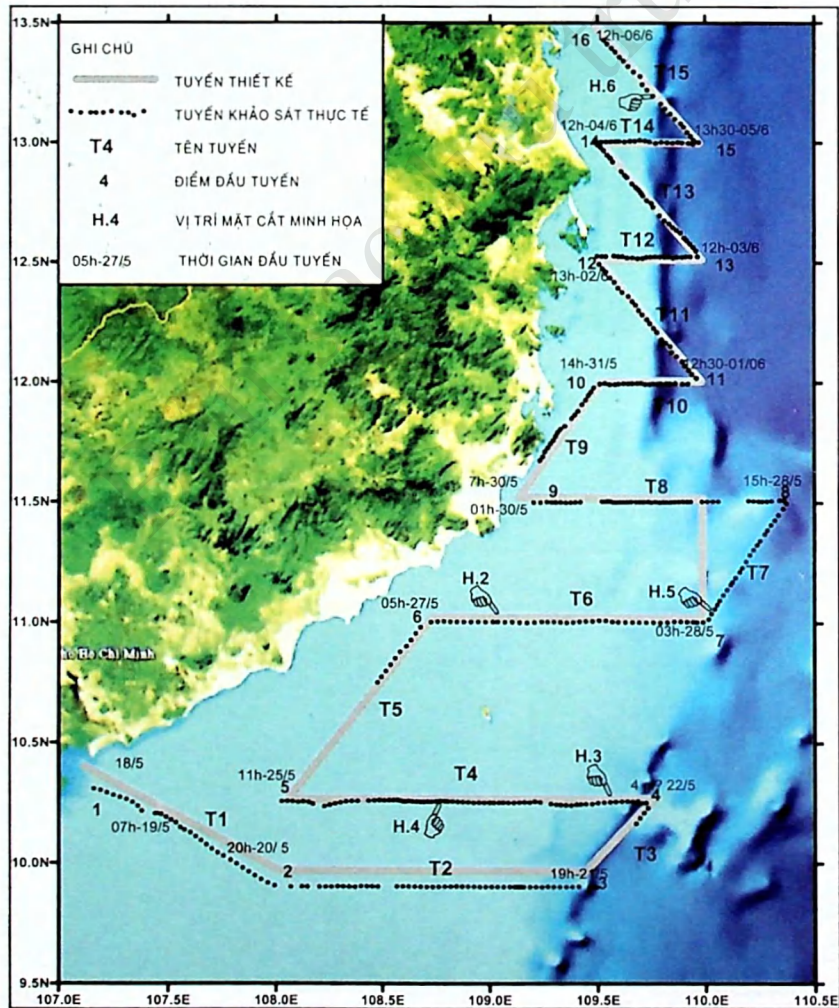
Biểu hiện trượt lở trên mặt cắt địa chấn tuyến VOR-83-112

Biểu hiện trượt lở trên mặt cắt địa chấn tuyến VOR-83-106

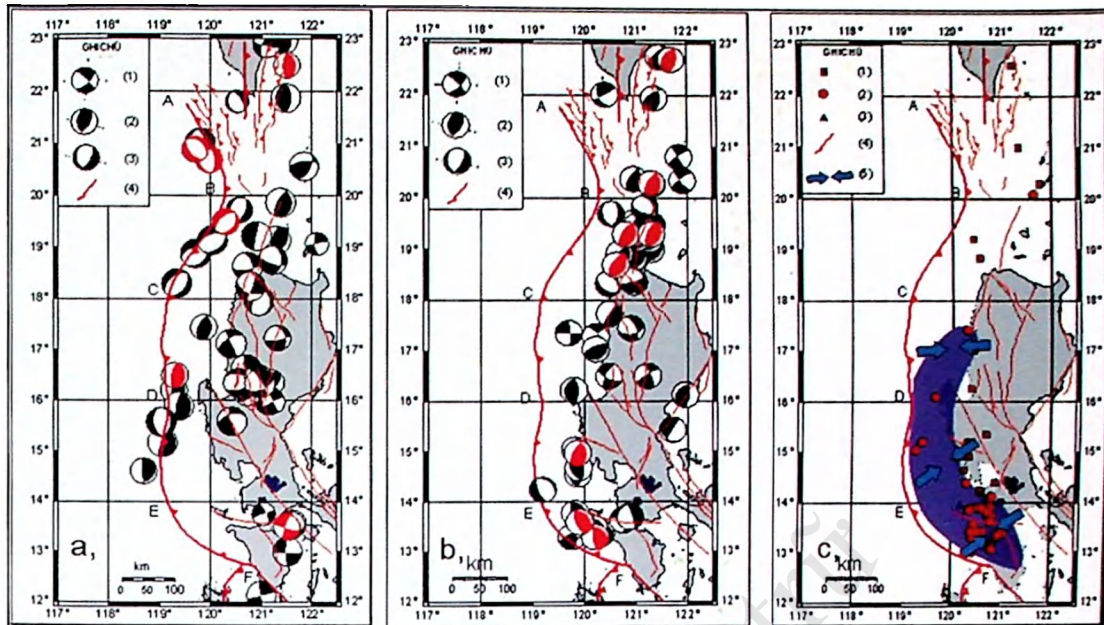
Hình III-5. Biểu hiện trượt lở trên các mặt cắt địa chấn



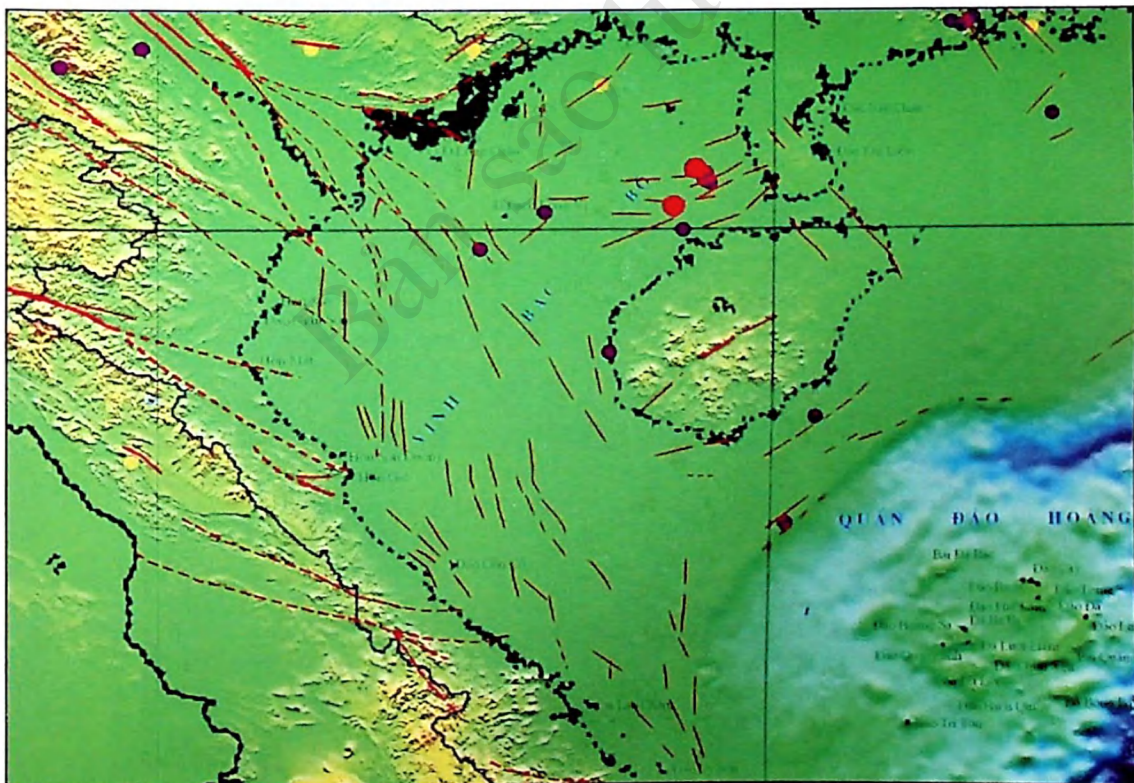
Hình III-6. Các đứt gãy trẻ trên các mặt cắt địa chấn



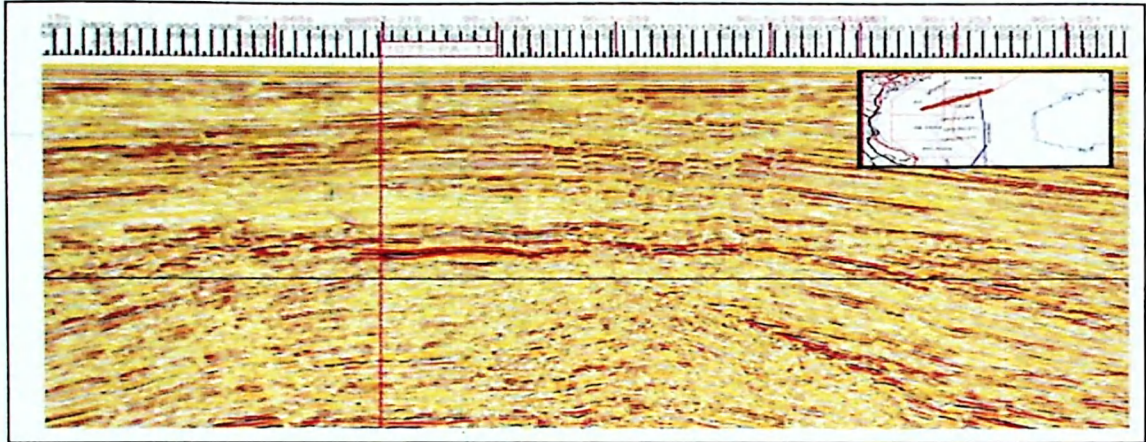
Hình III-8. Sơ đồ tuyến đo địa chấn nông phân giải cao



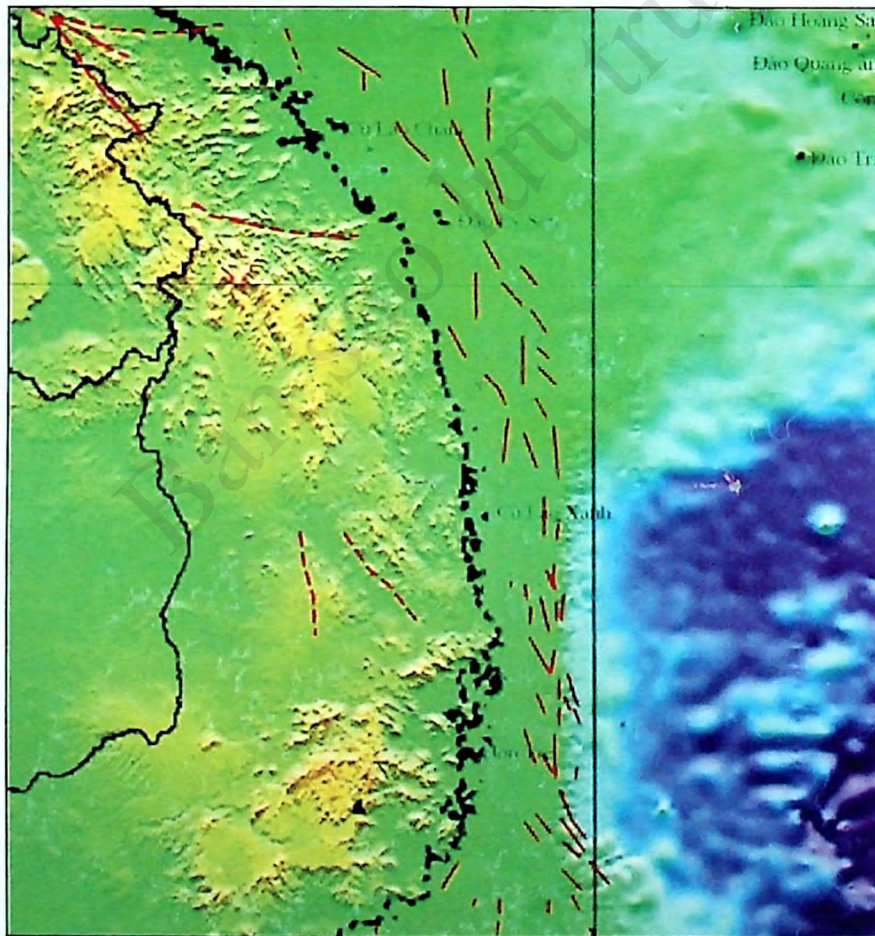
Hình III-14. Cơ cấu chấn tiêu đới Manila: a). $H \leq 20\text{km}$; b). $20\text{km} \leq H \leq 50\text{km}$; c). $H > 50\text{km}$; trượt bằng (1), chòem nghịch (2) và tách thuận (3), đứt gãy (4)



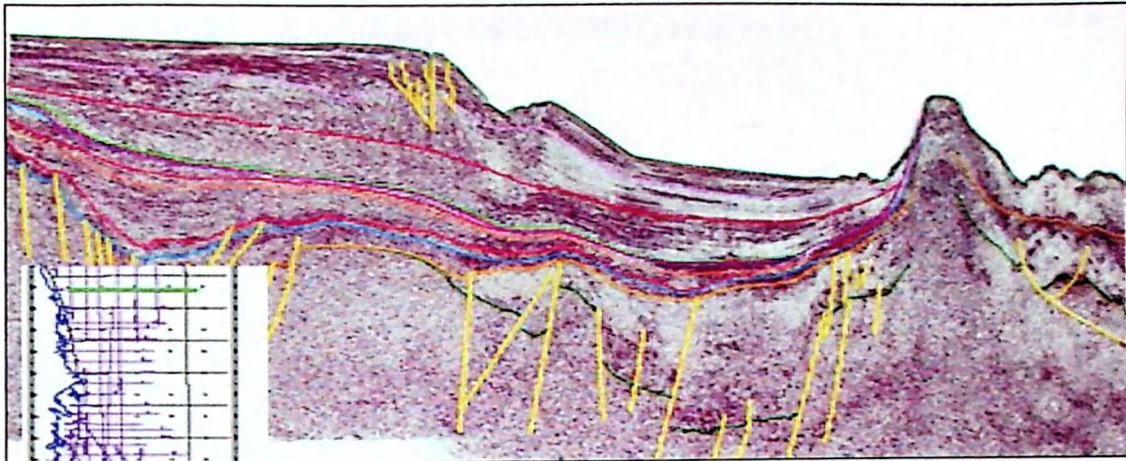
Hình III-18. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận - phân vịnh Bắc Bộ tới vùng biển Bắc Trung Bộ



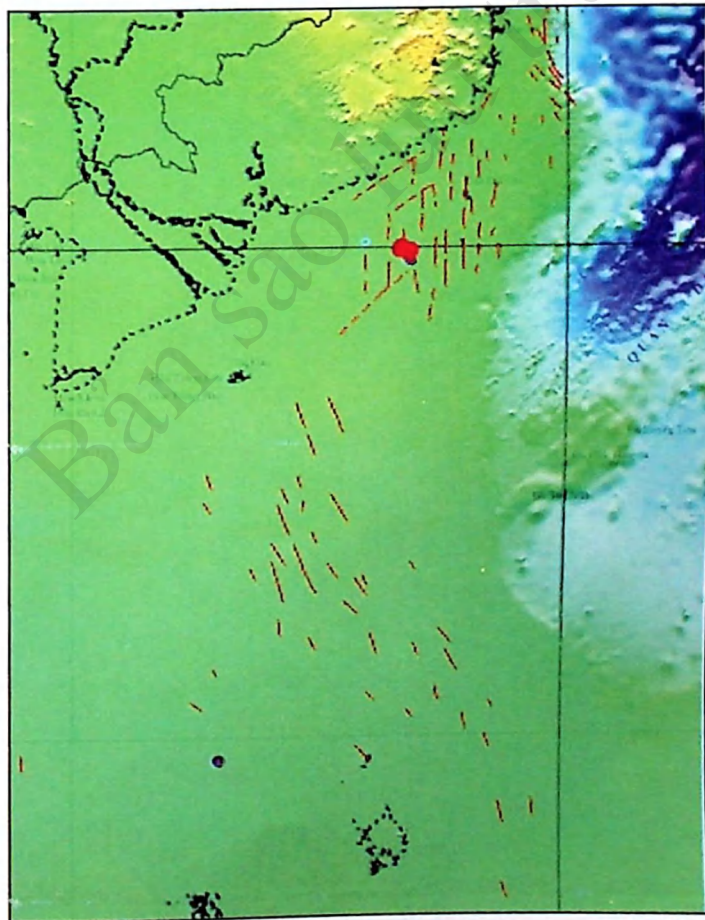
Hình III-19. Biểu hiện của đứt gãy trẻ ở rìa đông bắc của bồn Sông Hồng trên tuyến địa chấn GTGP93-203.



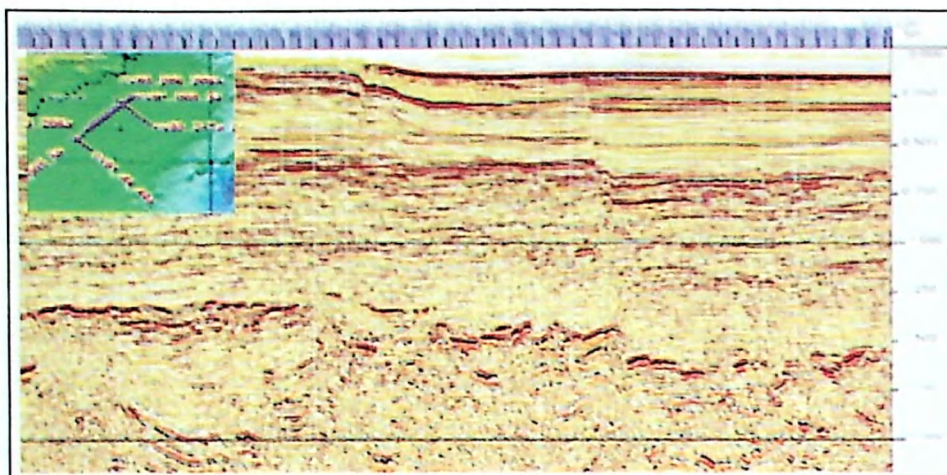
Hình III-20. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận - phần vùng biển Trung Trung Bộ. Trên bản đồ thể hiện các đứt gãy hoạt động trong giai đoạn Pliocen-Đệ tứ trong khu vực [62]



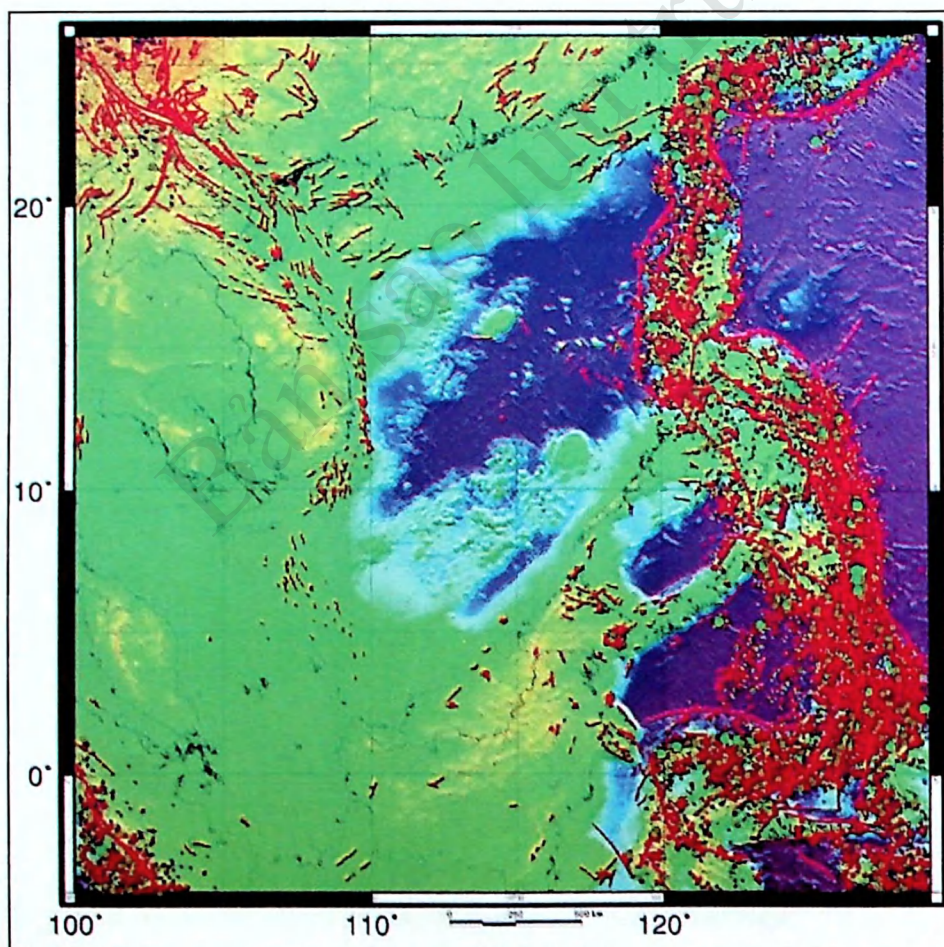
Hình III-21. Tuyến AW-8 cắt ngang qua thềm lục địa Trung Trung Bộ cho thấy hoạt động đứt gãy trẻ khá yếu ớt [62]



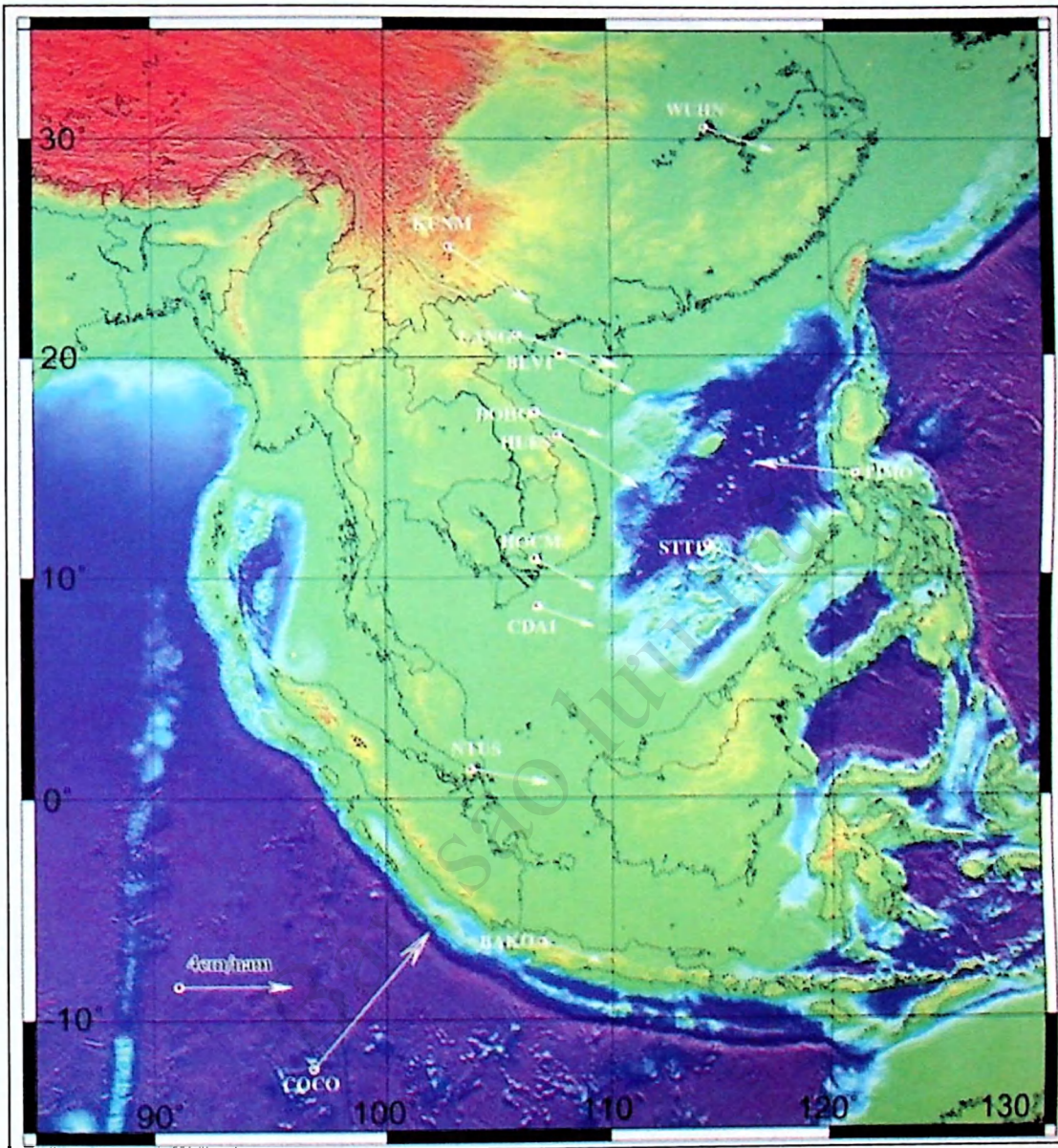
Hình III-22. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận - phần vùng biển Nam Trung Bộ và Nam Bộ



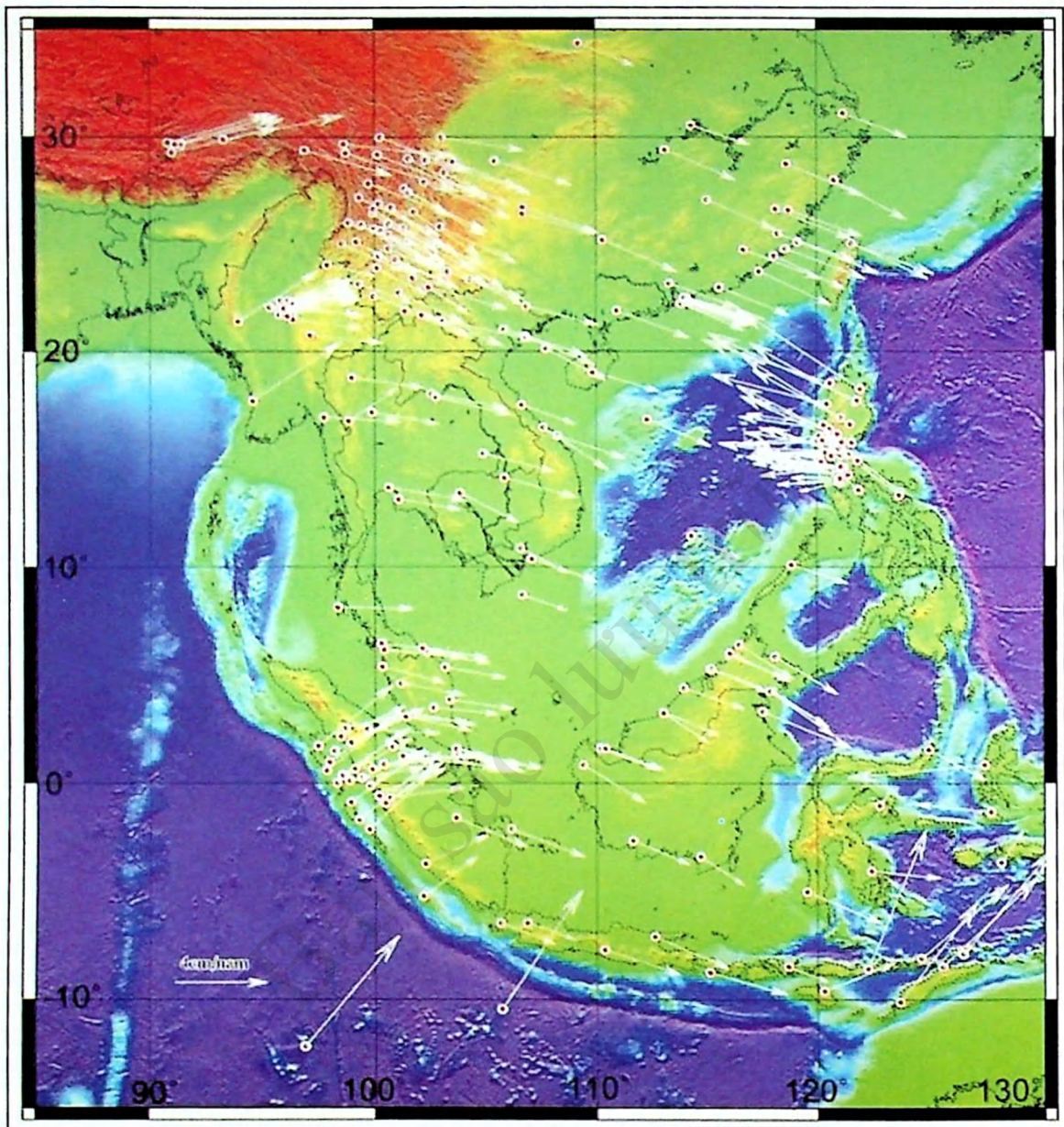
Hình III-23. Biểu hiện của hoạt động đứt gãy trẻ trên tuyến địa chấn CV91-005-5a cắt ngang qua thềm lục địa ngoài khơi Nam Trung Bộ



Hình III-24. Bản đồ đứt gãy trẻ Biển Đông Việt Nam và kế cận. Trên bản đồ thể hiện các đứt gãy hoạt động trong giai đoạn Pliocen-Đệ tứ trong khu vực [62]



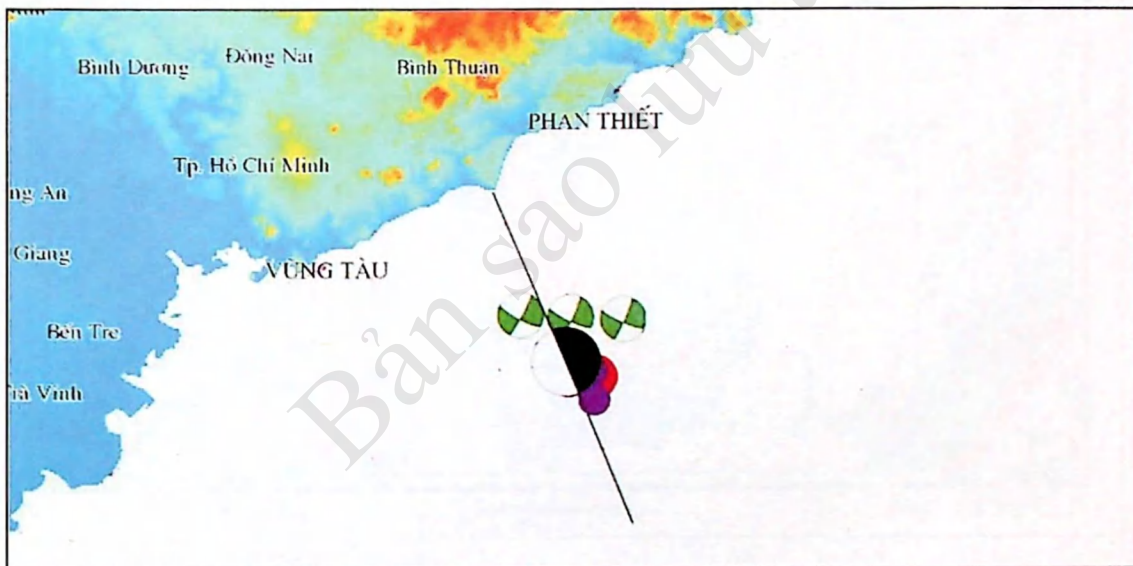
Hình III-25. Sơ đồ tốc độ chuyển dịch tuyệt đối trong IGS05 của các trạm GPS trên Biển Đông, theo 3 đợt đo các năm 2007-2008-2009 [62]



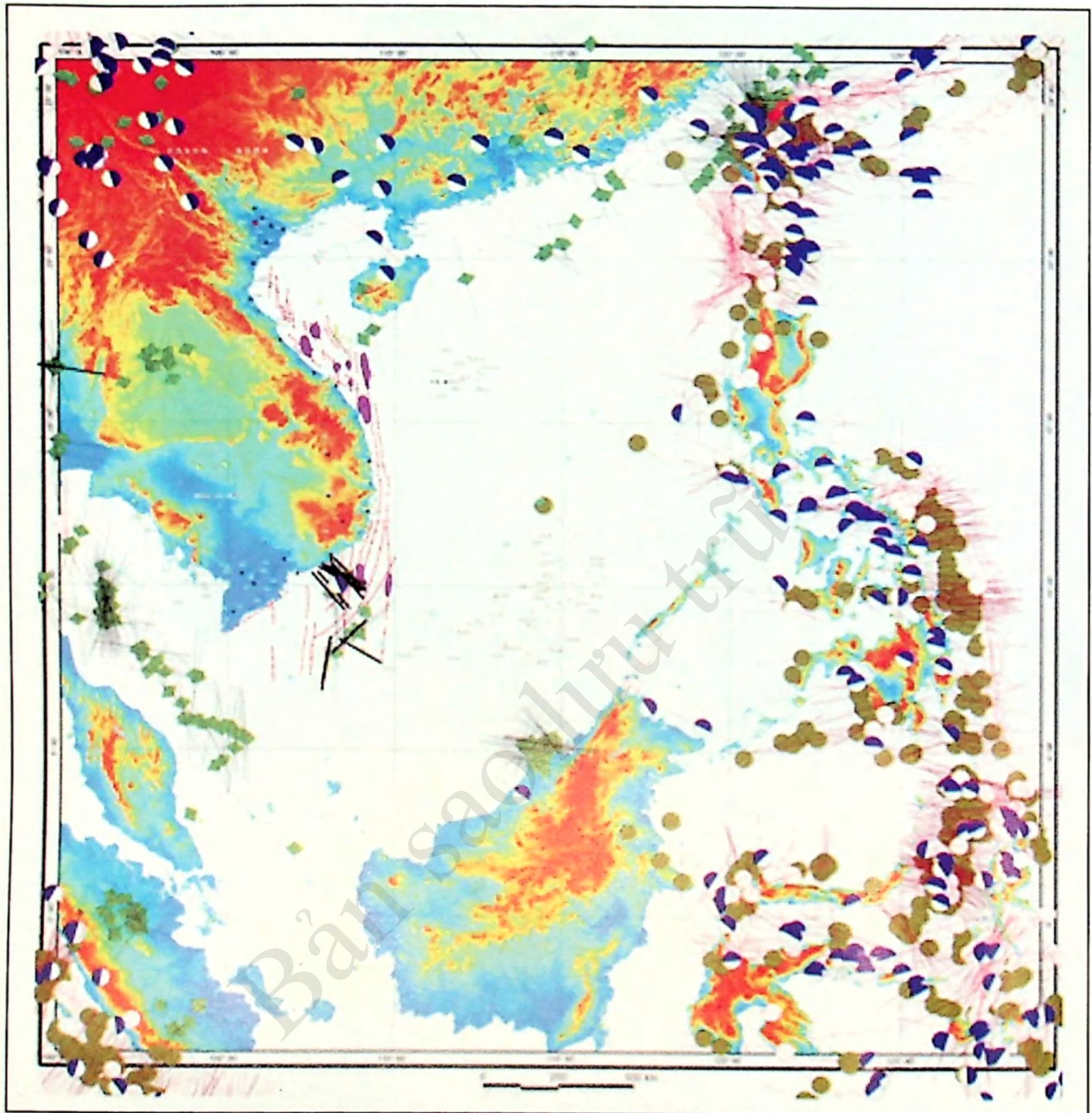
Hình III-26. Sơ đồ tổng hợp các vec tơ vận tốc chuyển động kiến tạo hiện đại theo kết quả đo của chương trình GEODYSSSEA, chương trình PCGIAP, chương trình SEAMERGES, chương trình CMONOC và theo kết quả từ [83], [86], [91], [108], [109], [128], [151], [161], [162], [163] và kết quả đo GPS của tác giả tham gia đề tài



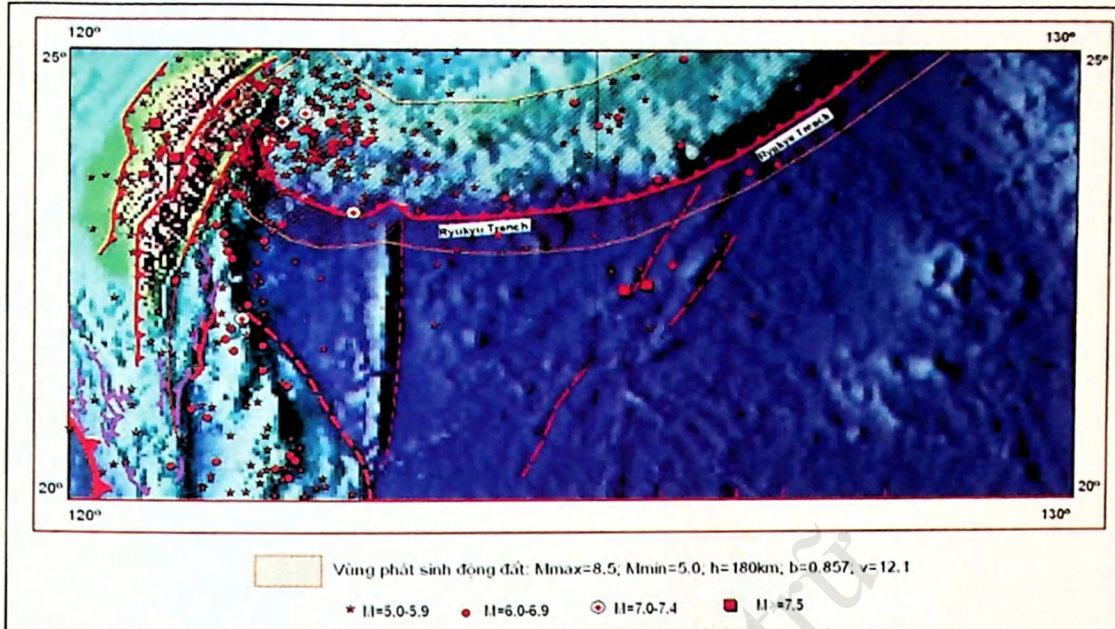
Hình III-27. Kết quả tổng hợp xác định định hướng của trục nén ép ngang cực đại từ tài liệu ảnh lỗ khoan được thể hiện trên bản đồ



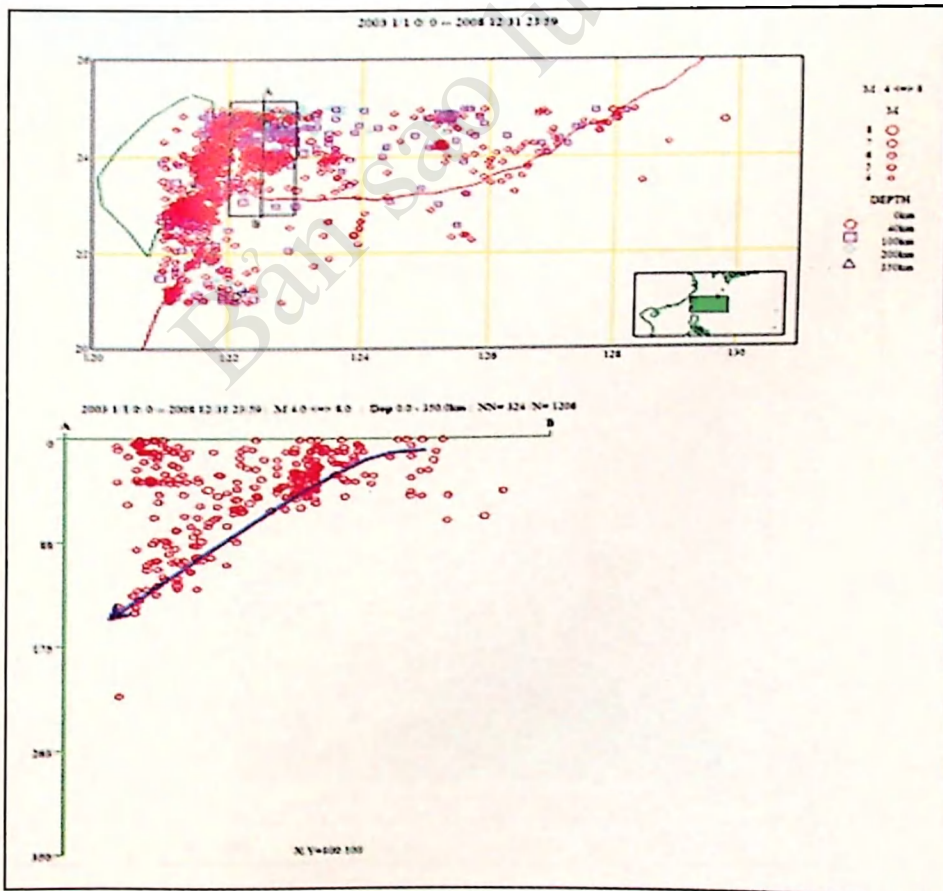
Hình III-29. Các cơ cấu chấn tiêu trong được thể hiện trên bản đồ cùng chỉ thị ứng suất tương ứng



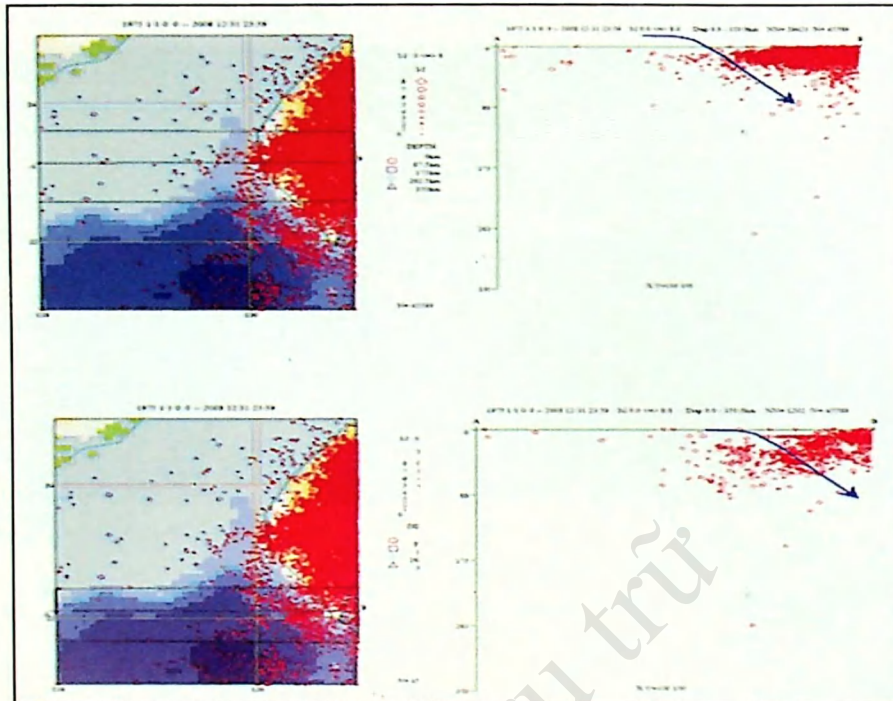
Hình III-30. Bản đồ trường ứng suất kiến tạo hiện đại Biển Đông Việt Nam và kề cận thể hiện định hướng của ứng suất nén ép ngang cực đại dựa trên tài liệu động đất, tài liệu giếng khoan và tài liệu địa chất trẻ



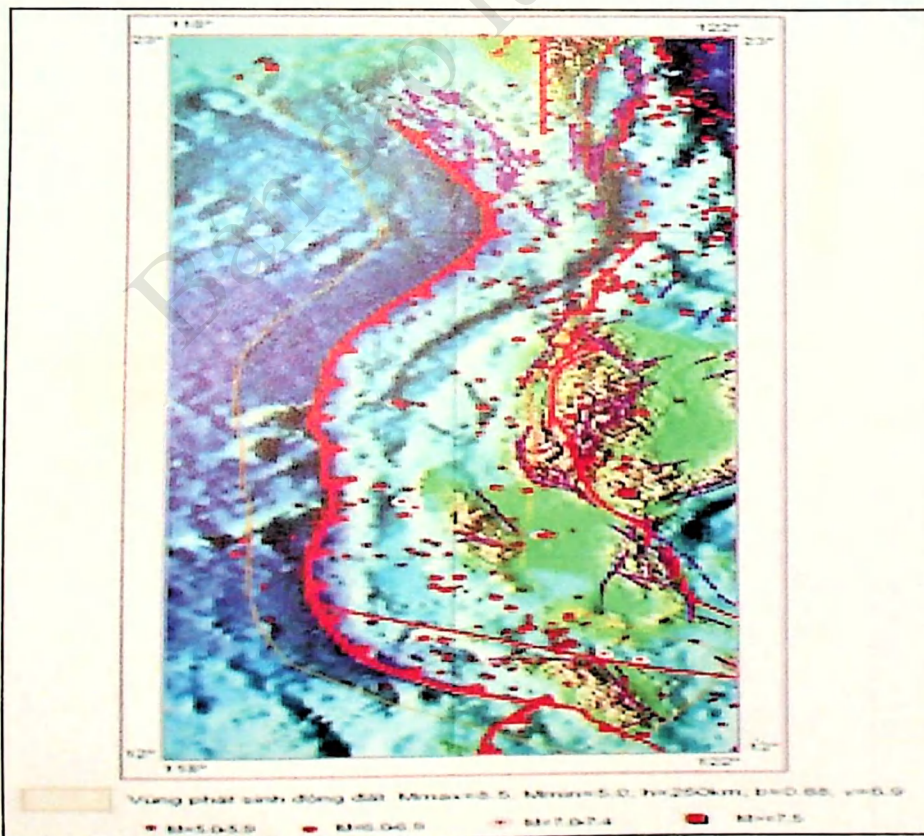
Hình IV-1. Đới hút chìm Ryukyu (Nam Đài Loan) và Tây Đài Loan



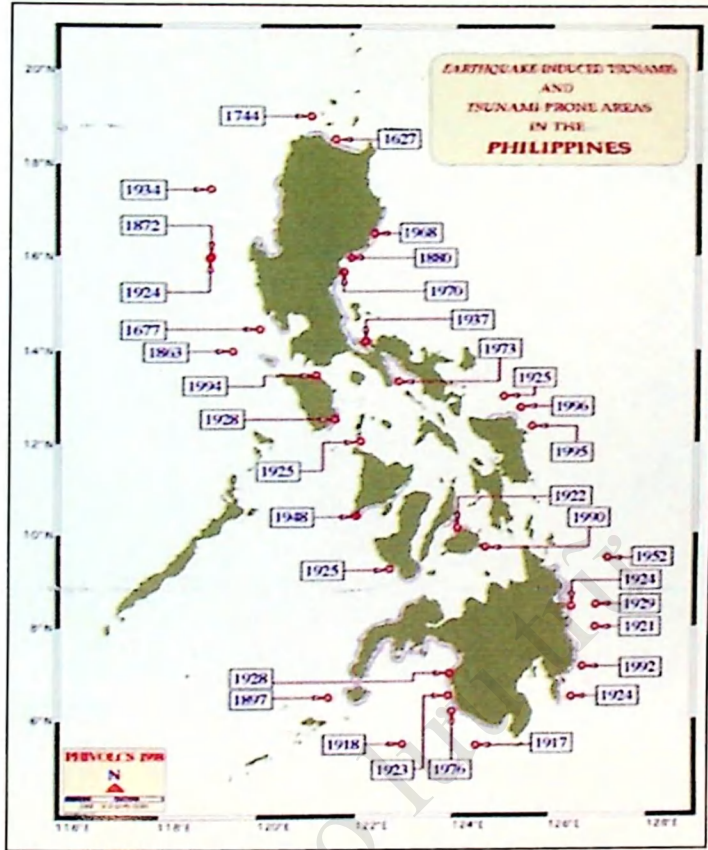
Hình IV-3. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu (Đông Đài Loan)



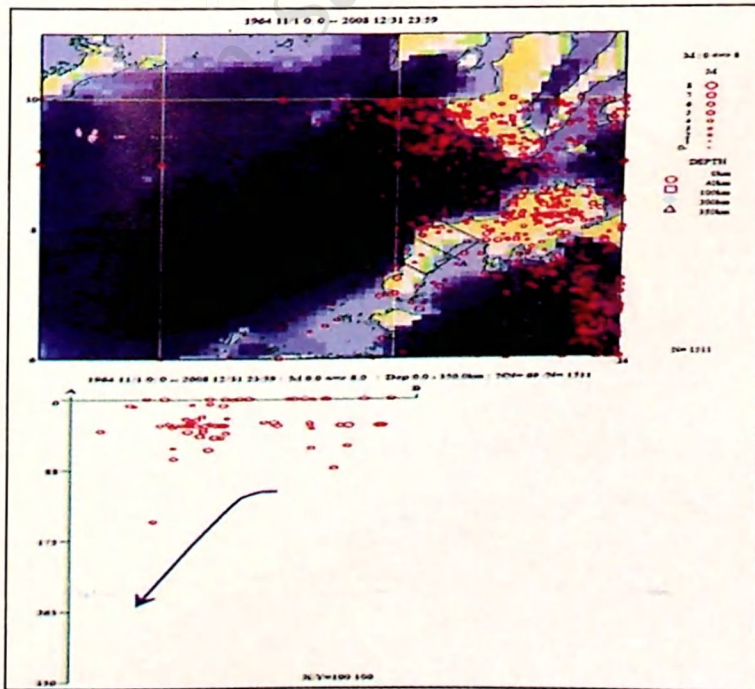
Hình IV-4. Mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu (Tây Đài Loan)



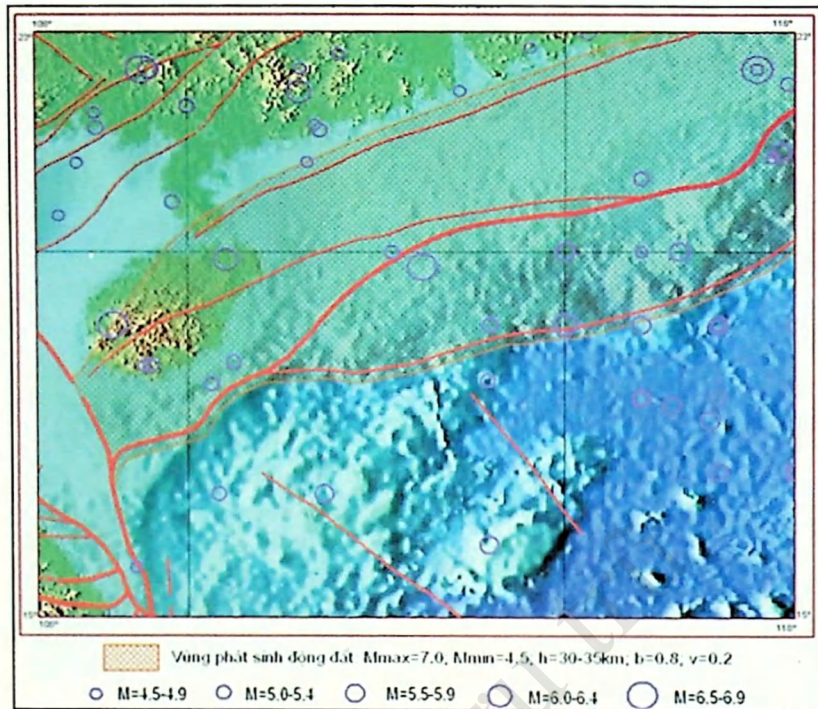
Hình IV-5. Đới hút chìm Manila



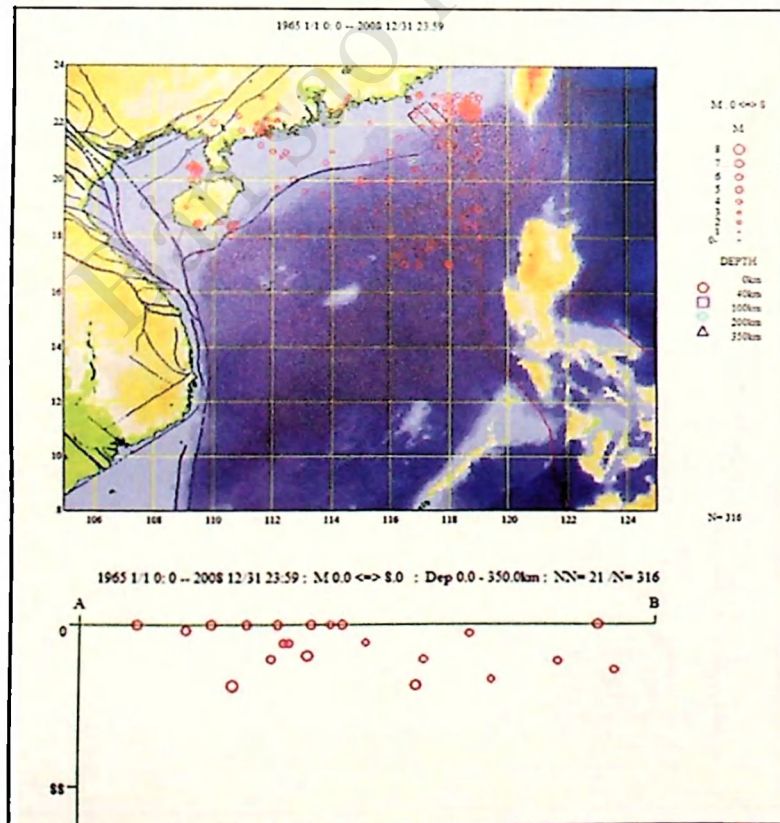
Hình IV-9. Sóng thần đã xảy ra ở vùng biển Philippine [81]



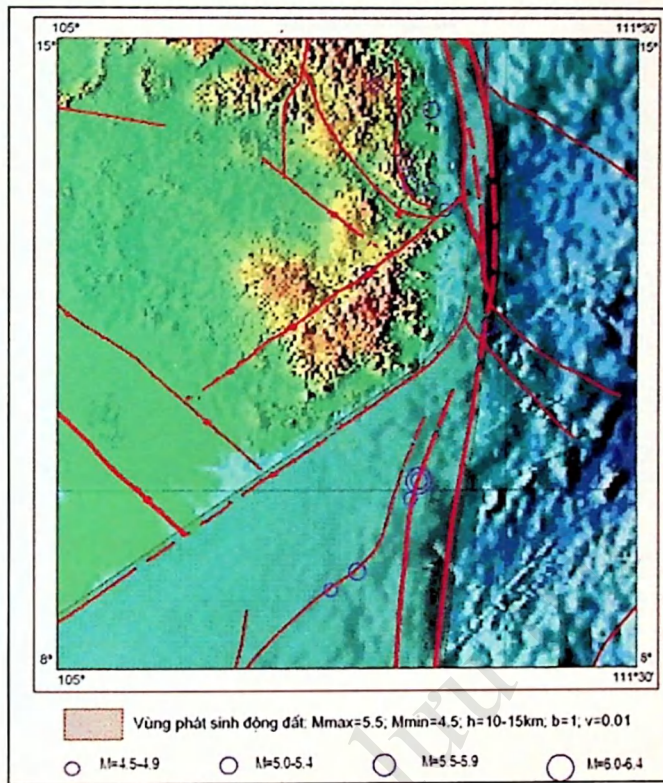
Hình IV-10. Động đất và phân bố động đất trong vùng nguồn Sulu



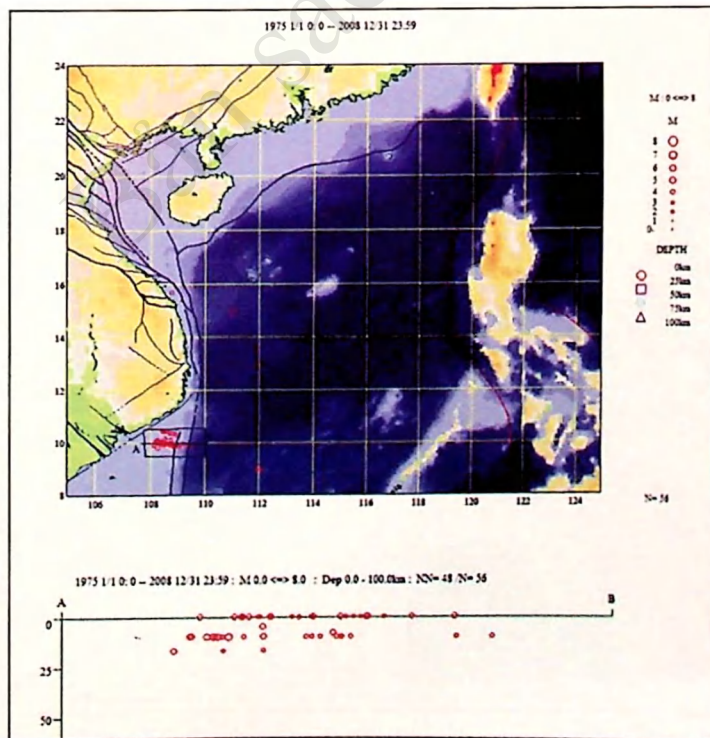
Hình IV-11. Vùng nguồn Bắc Biển Đông



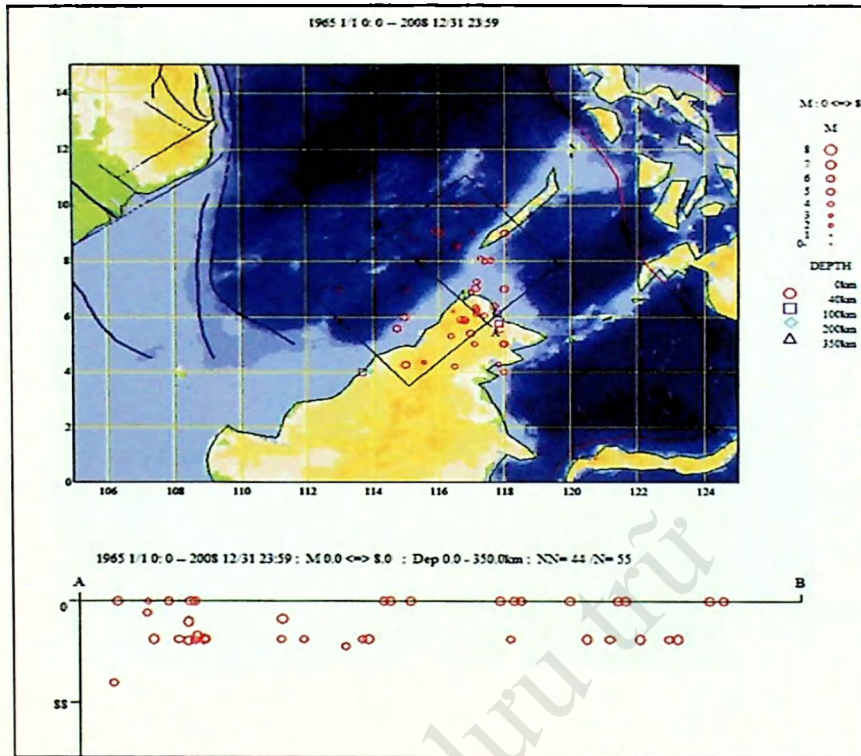
Hình IV-13. Chấn tâm và mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu



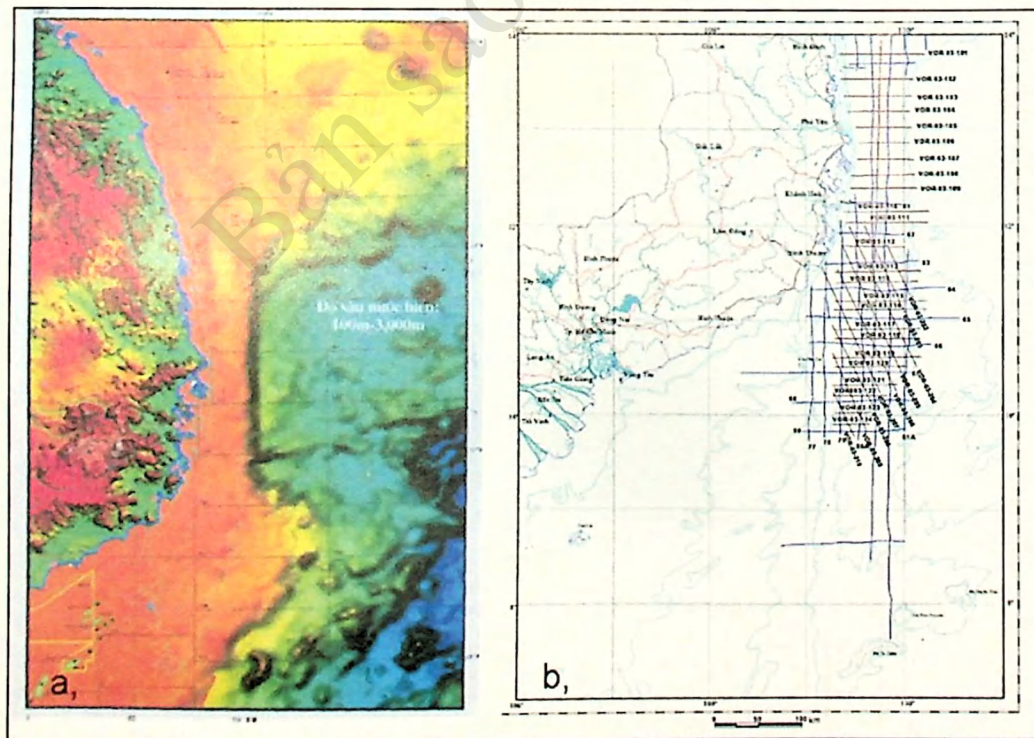
Hình IV-14. Vùng nguồn Tây Biển Đông



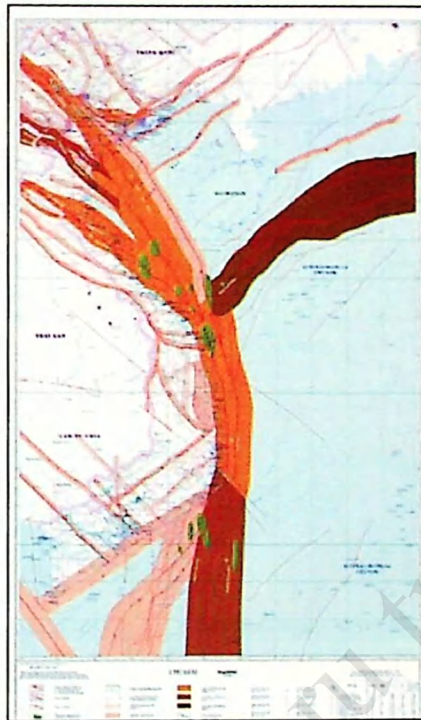
Hình IV-16. Chấn tâm và mặt cắt phân bố động đất theo độ sâu



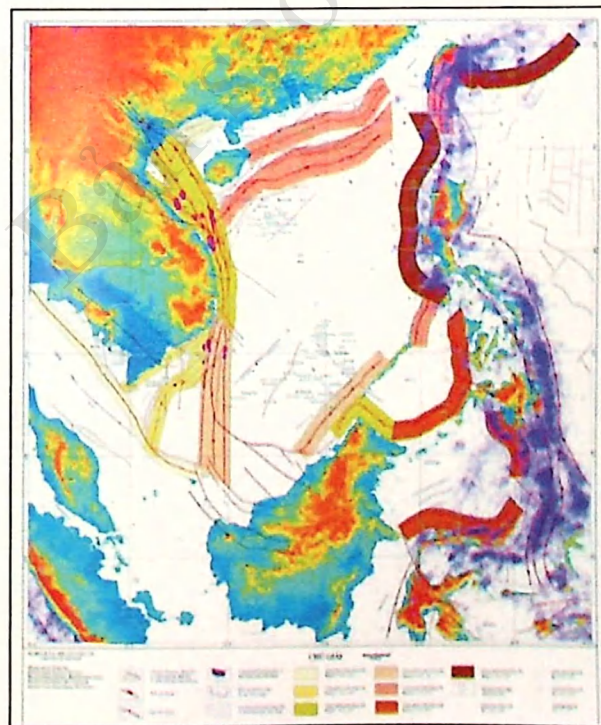
Hình IV-17. Phân bố động đất theo độ sâu trong đới Palawan



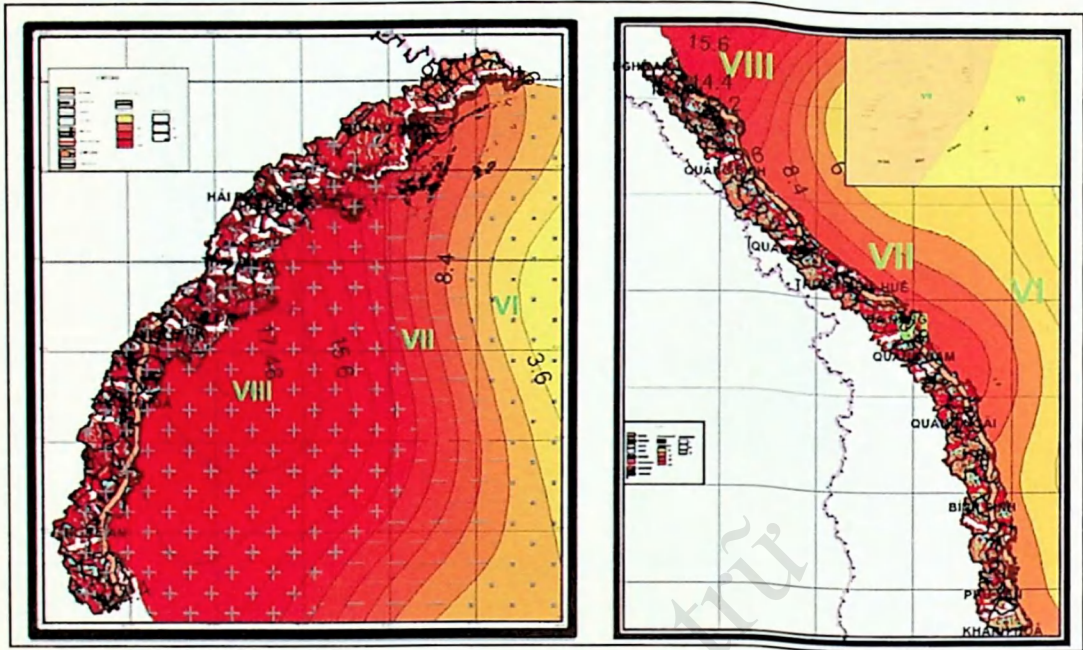
Hình IV-18. Địa hình đáy biển và sơ đồ tuyến khảo sát địa chấn của Nopect và Malugin khu vực Nam Trung Bộ



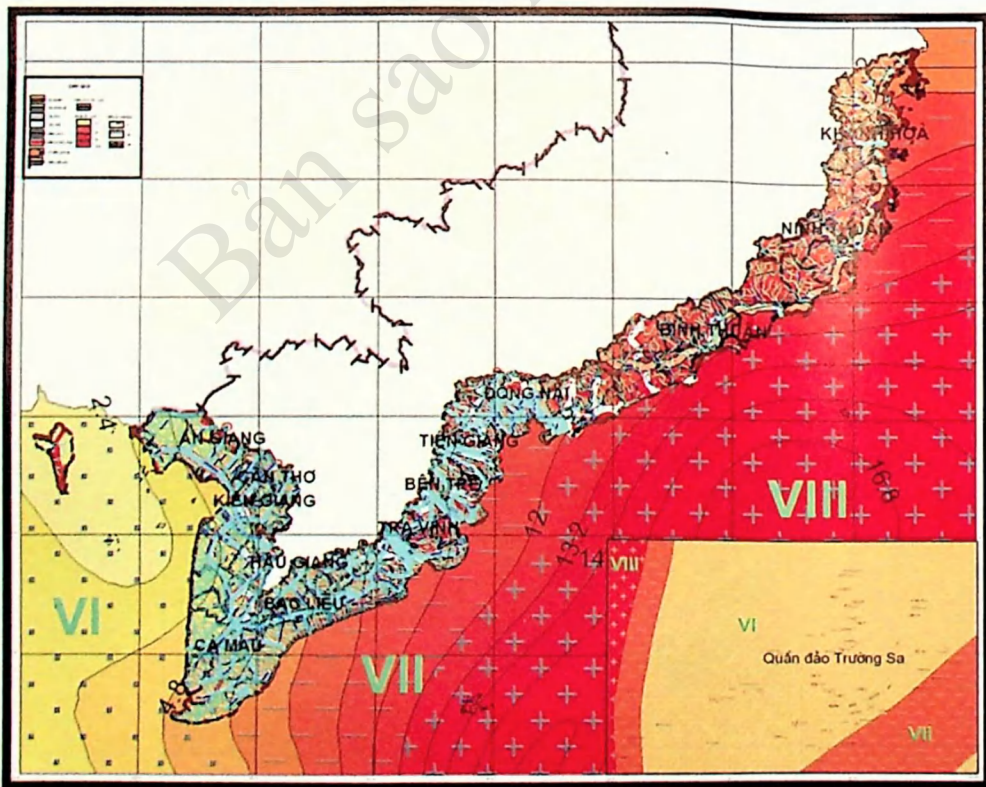
Hình IV-34. Các vùng nguồn động đất và sóng thần vùng ven biển Việt Nam



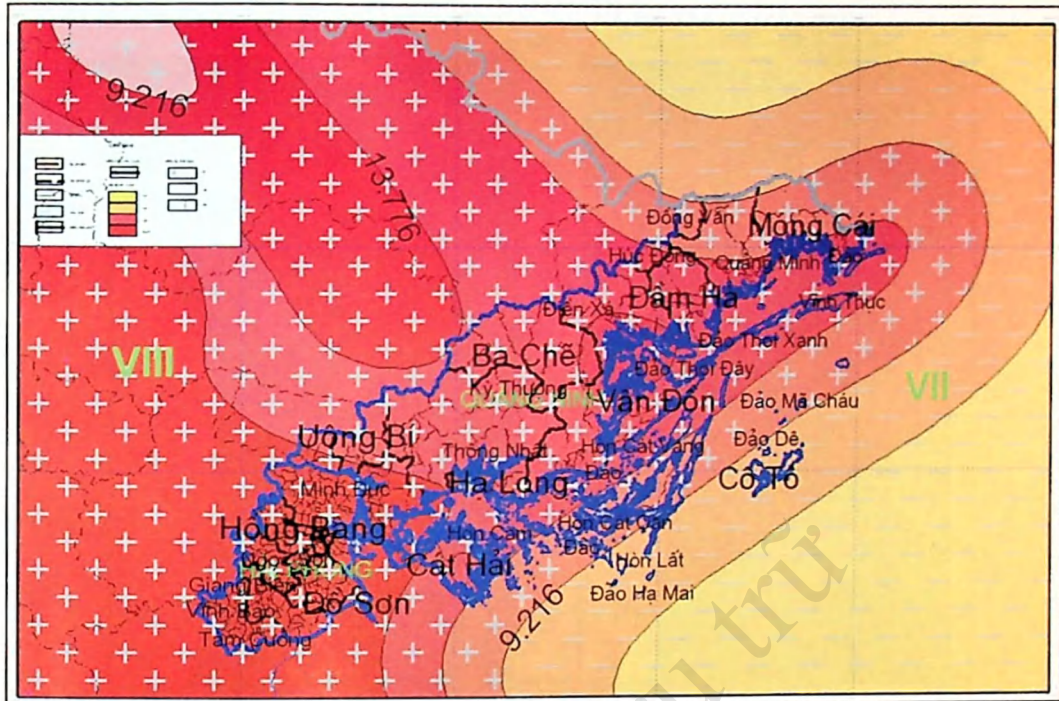
Hình IV-35. Các vùng nguồn động đất và sóng thần trong vùng Biển Đông



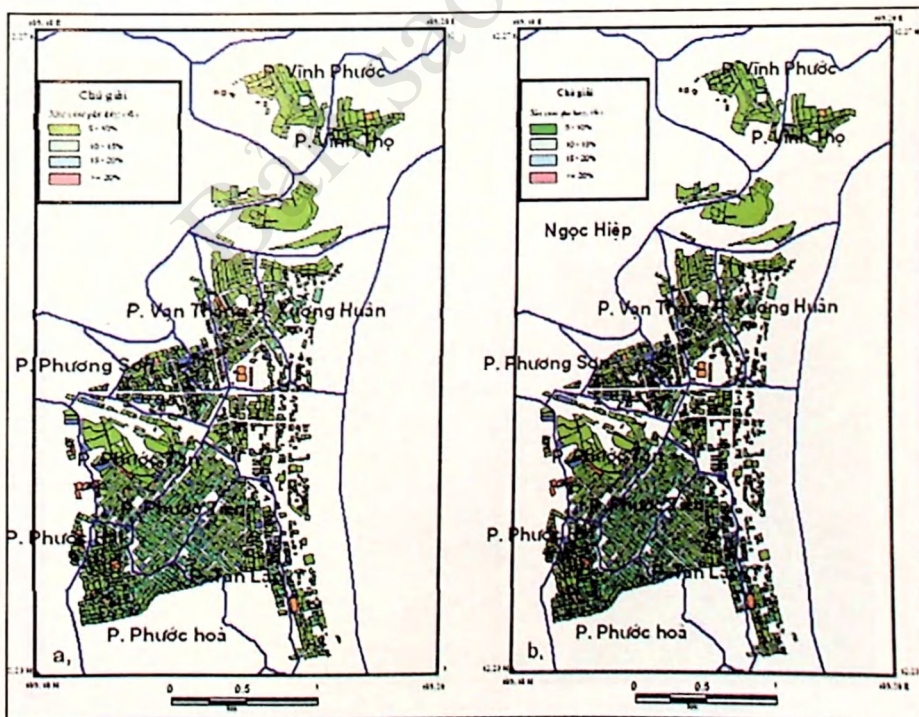
Hình V-1. Bản đồ độ nguy hiểm động đất tỷ lệ 1:500 000 (xét cho khoảng thời gian 950 năm, nền loại A): a). Các tỉnh ven biển miền Bắc Việt Nam; b). Các tỉnh ven biển miền Trung và Hoàng Sa Việt Nam



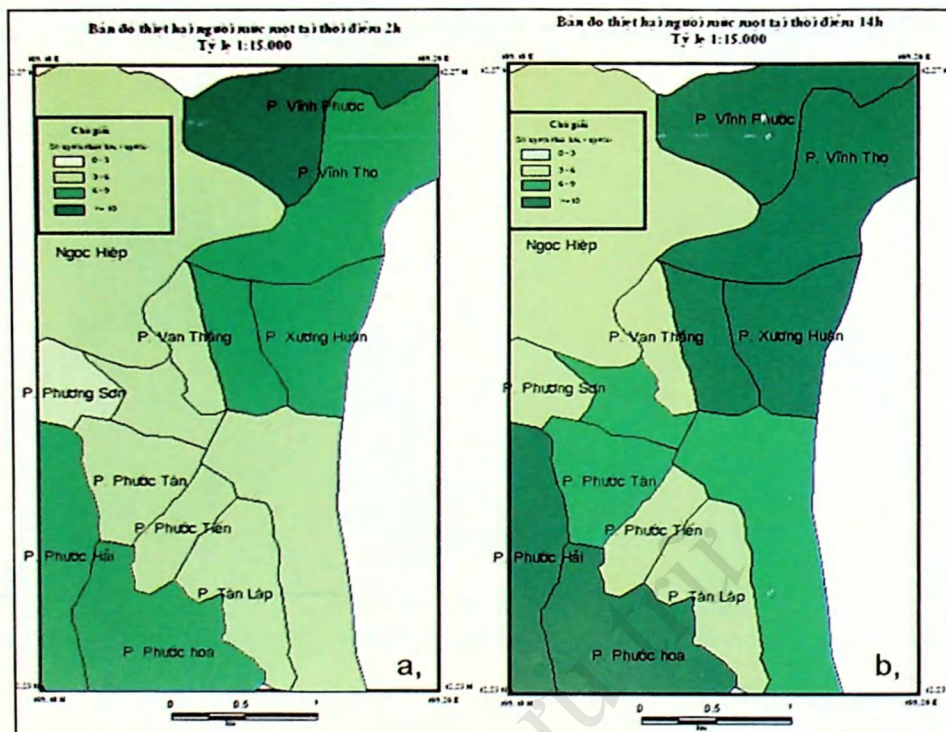
Hình V-2. Bản đồ độ nguy hiểm động đất các tỉnh ven biển miền Nam Việt Nam và Trường Sa, tỷ lệ 1:500 000 (xét cho khoảng thời gian 950 năm, nền loại A)



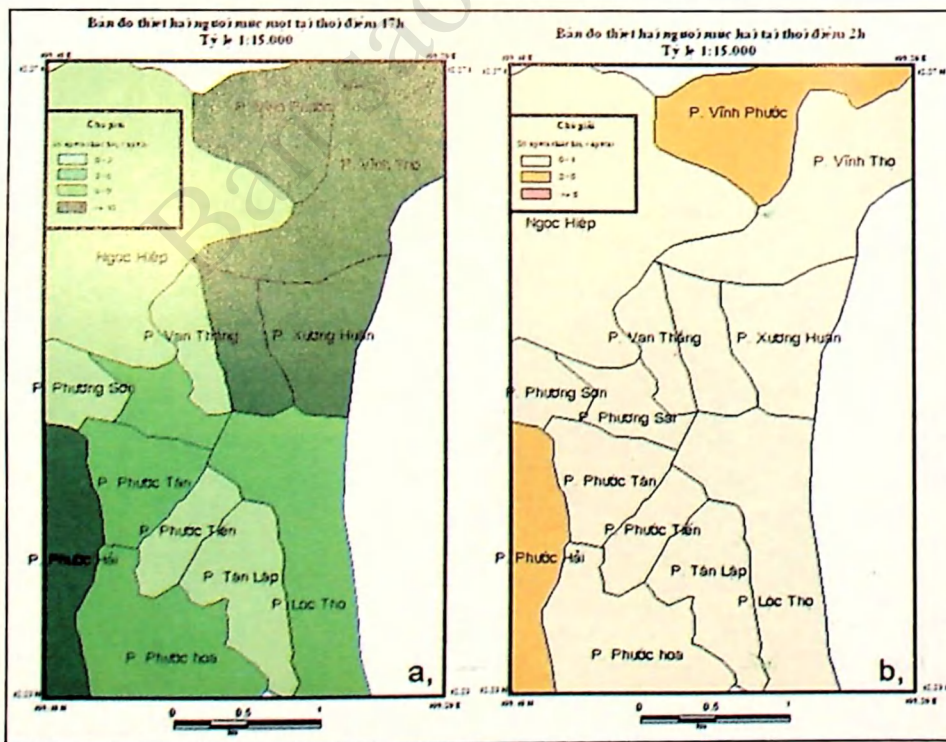
Hình V-3. Bản đồ độ nguy hiểm động đất vùng Quảng Ninh-Hải Phòng dự báo cho chu kỳ 950 năm, tỷ lệ 1:200.000



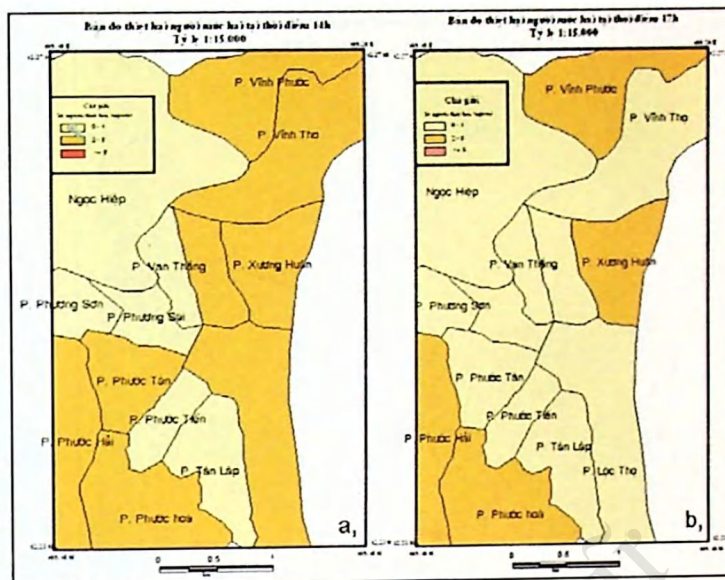
Hình V-5. Bản đồ dự báo thiệt hại nhà cửa tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang: a> mức độ nhẹ, b> mức độ trung bình



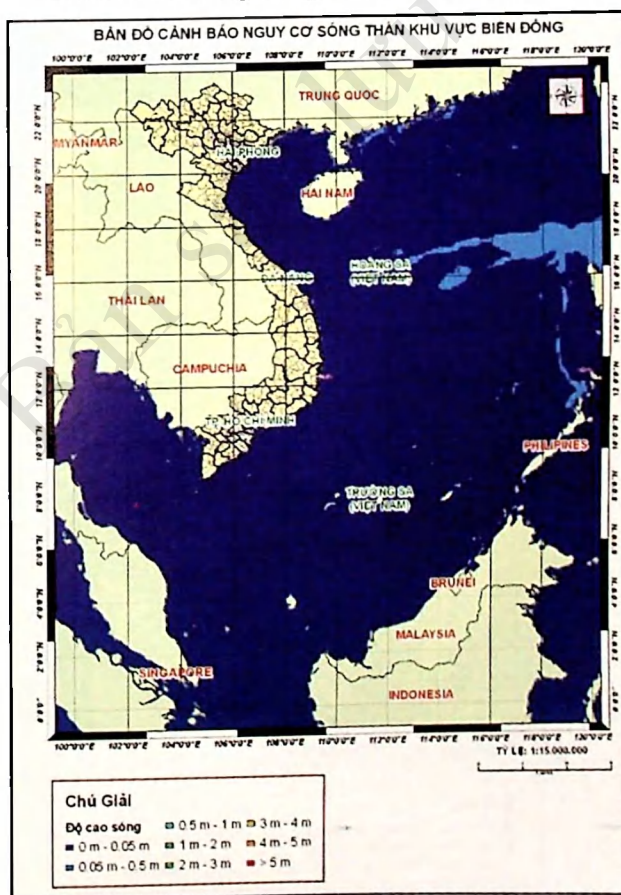
Hình V-6. Bản đồ dự báo thiệt hại về người tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang: a). mức 1: lúc 2 giờ sáng; b). mức 1: lúc 14 giờ



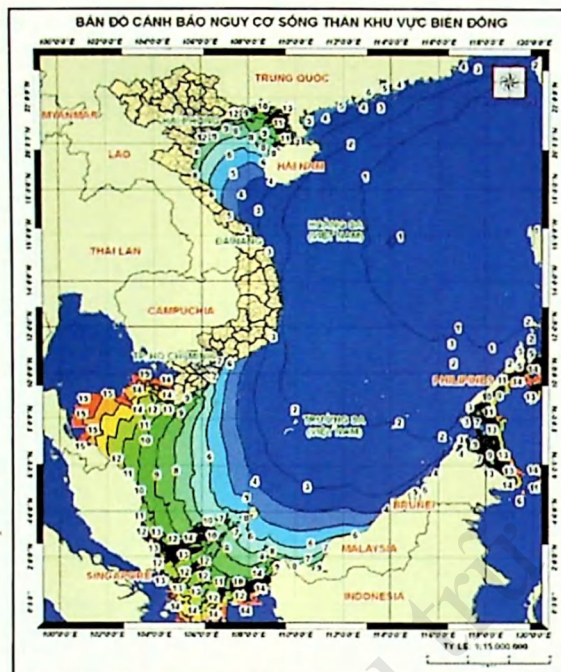
Hình V-7. Bản đồ dự báo thiệt hại về người tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang: a). mức 1: lúc 17 giờ; b). mức 2: lúc 2 giờ sáng



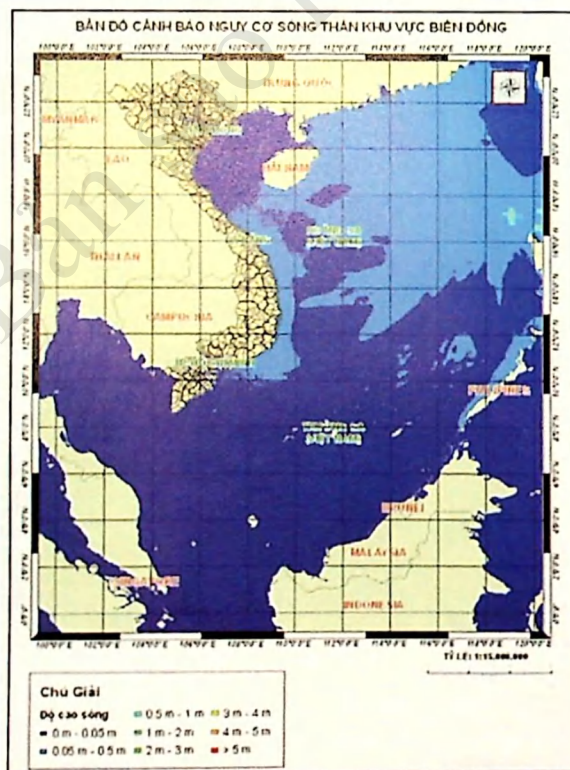
Hình V-8. Bản đồ dự báo thiệt hại về người tại khu vực đô thị thành phố Nha Trang: a). mức 2: lúc 14 giờ; b). mức 2: lúc 17 giờ



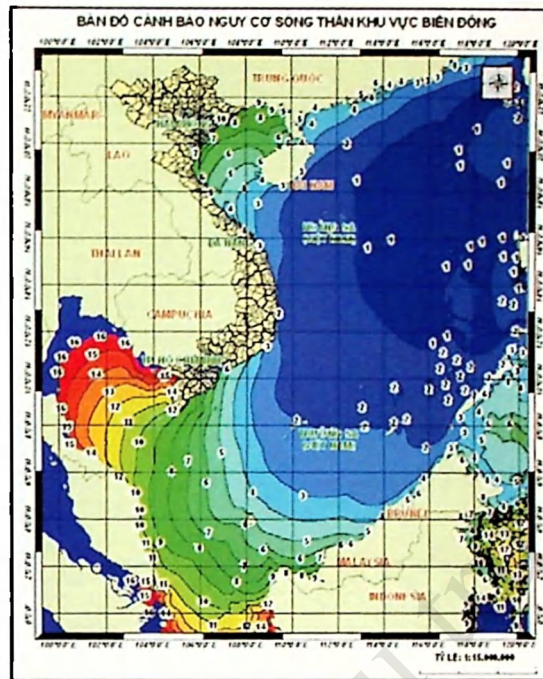
Hình VI-1. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 1 động đất có $M_w=7$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



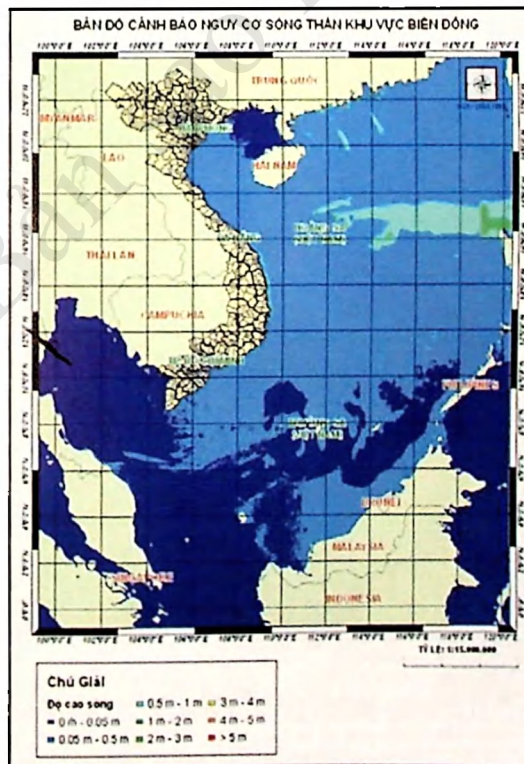
Hình VI-2. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 1: động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



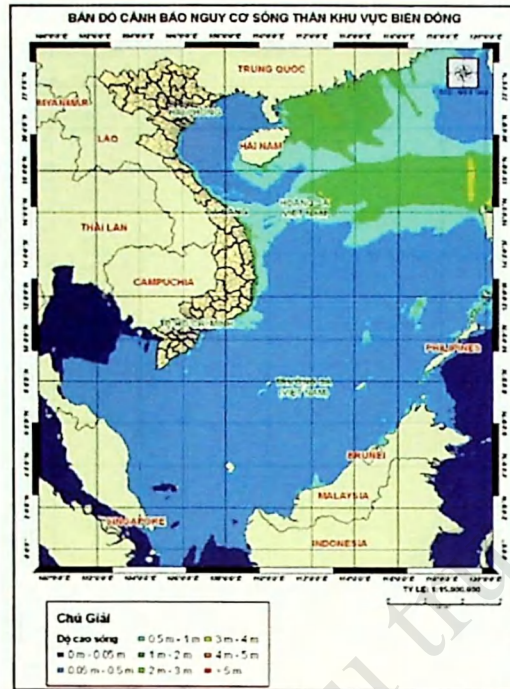
Hình VI-3. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 2 động đất có $M_w = 7.5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



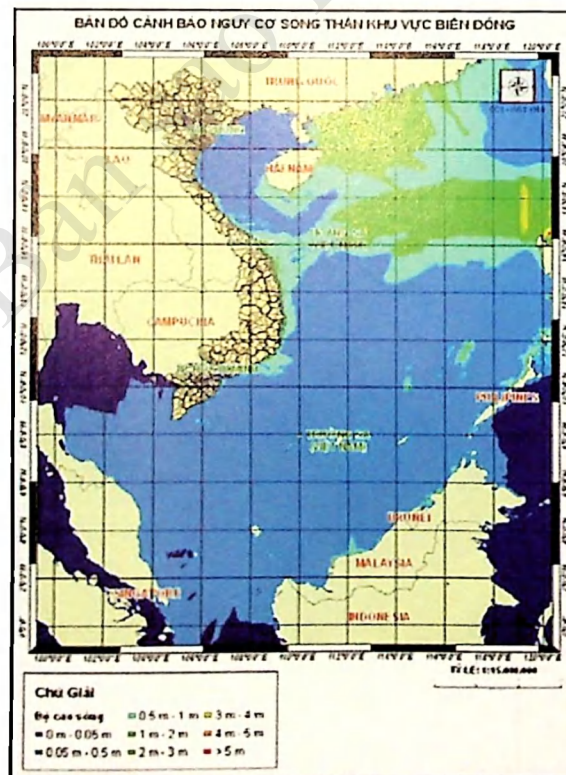
Hình VI-4. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 2: động đất có $M_w = 7,5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



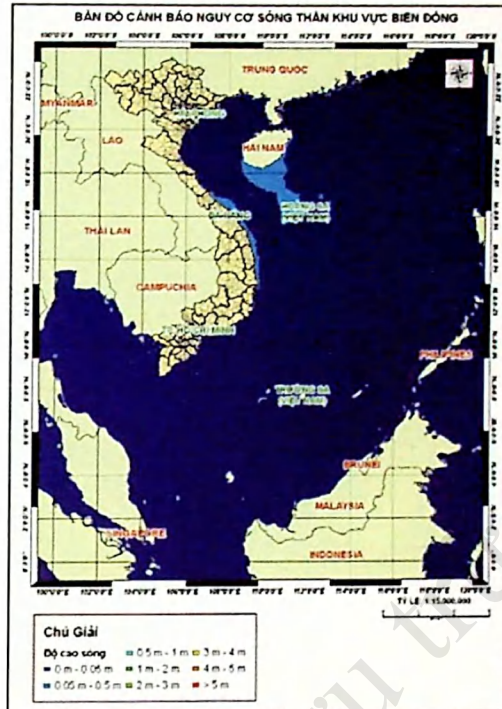
Hình VI-5. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 3 động đất có $M_w = 8$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



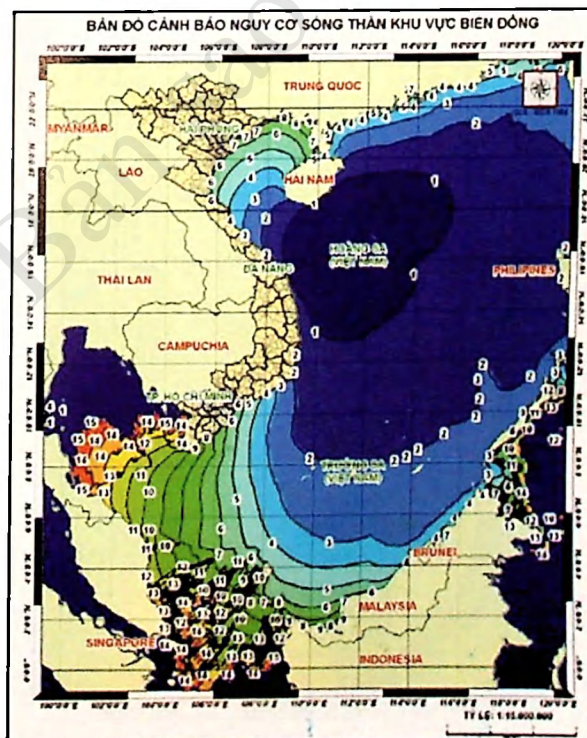
Hình VI-6. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 4 động đất có $M_w = 8,5$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



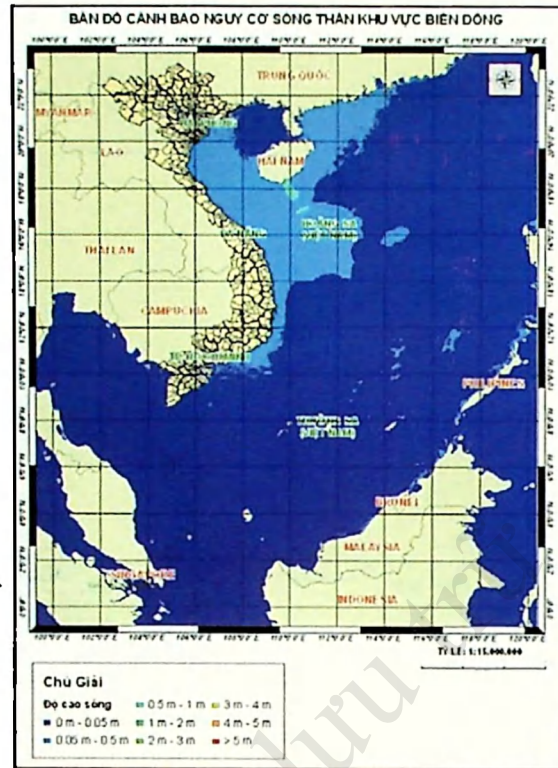
Hình VI-7. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 5 động đất có $M_w = 9$ xảy ra tại đới hút chìm Manila



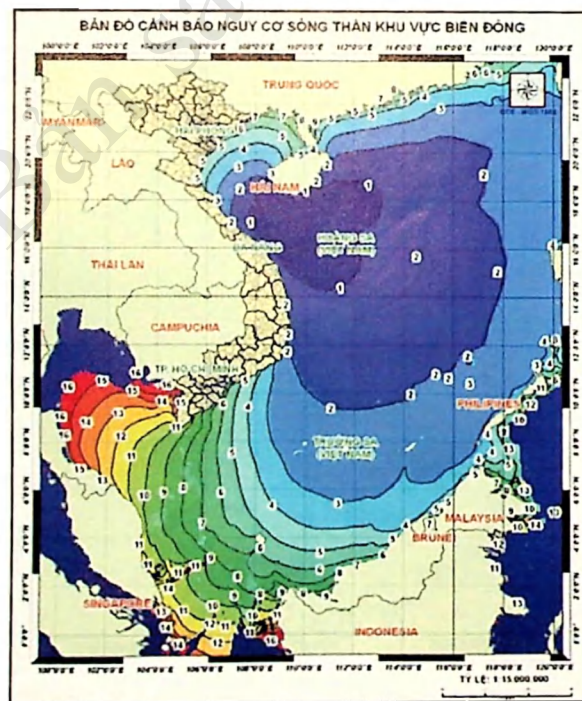
Hình VI-8. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 6 động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



Hình VI-9. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 6: động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



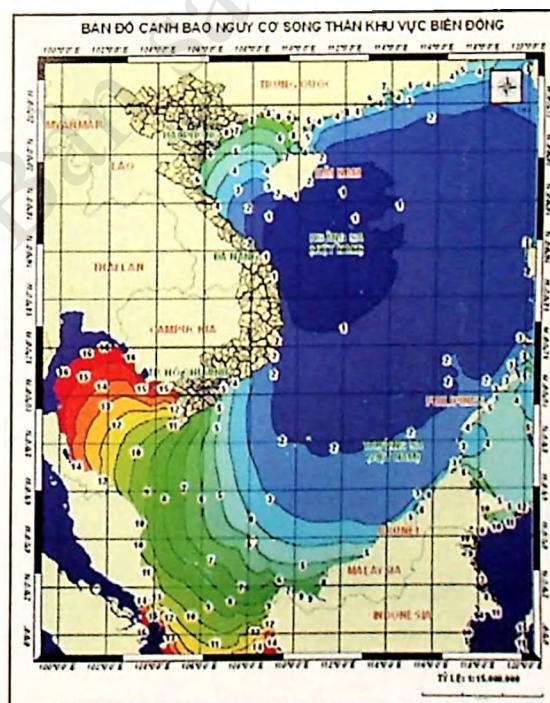
Hình VI-10. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 7 động đất có $M_w = 7,5$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



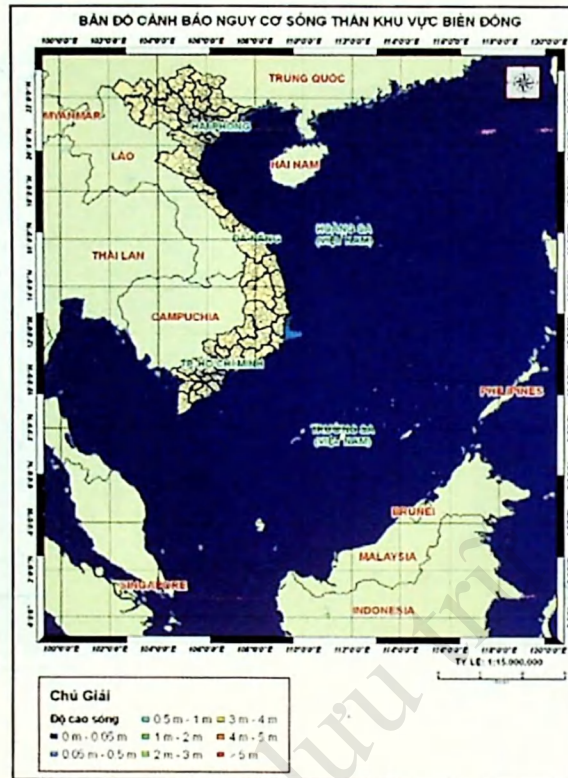
Hình VI-11. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 7: động đất có $M_w = 7,5$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



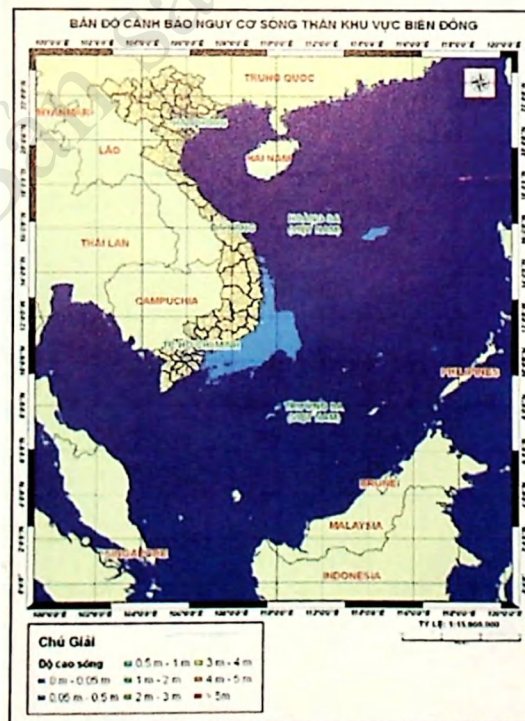
Hình VI-12. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 8 động đất có $M_w=8$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



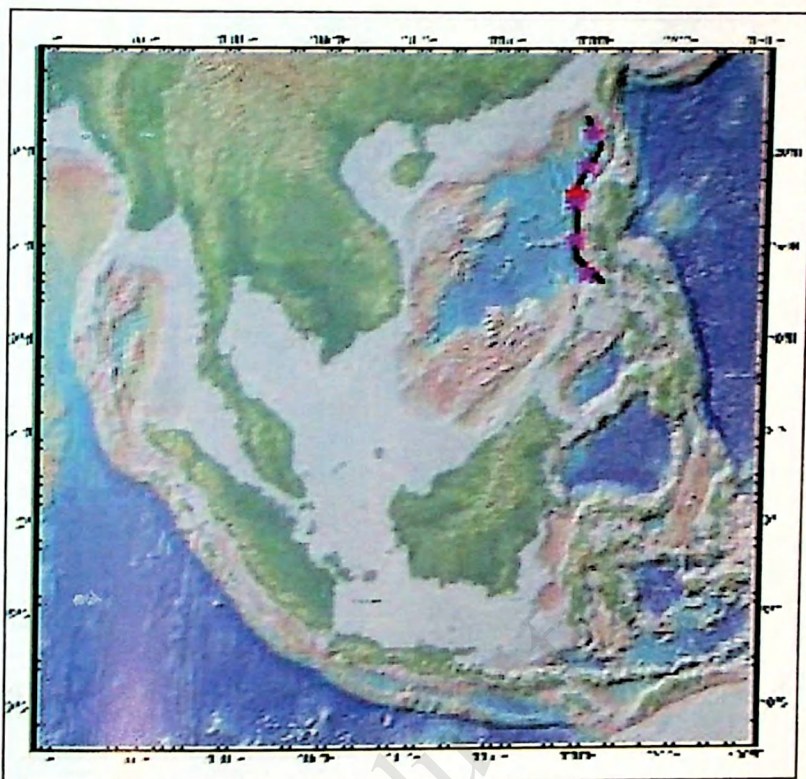
Hình VI-13. Thời gian lan truyền của sóng thần (giờ) trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 8: động đất có $M_w=8$ xảy ra tại vùng Bắc Biển Đông



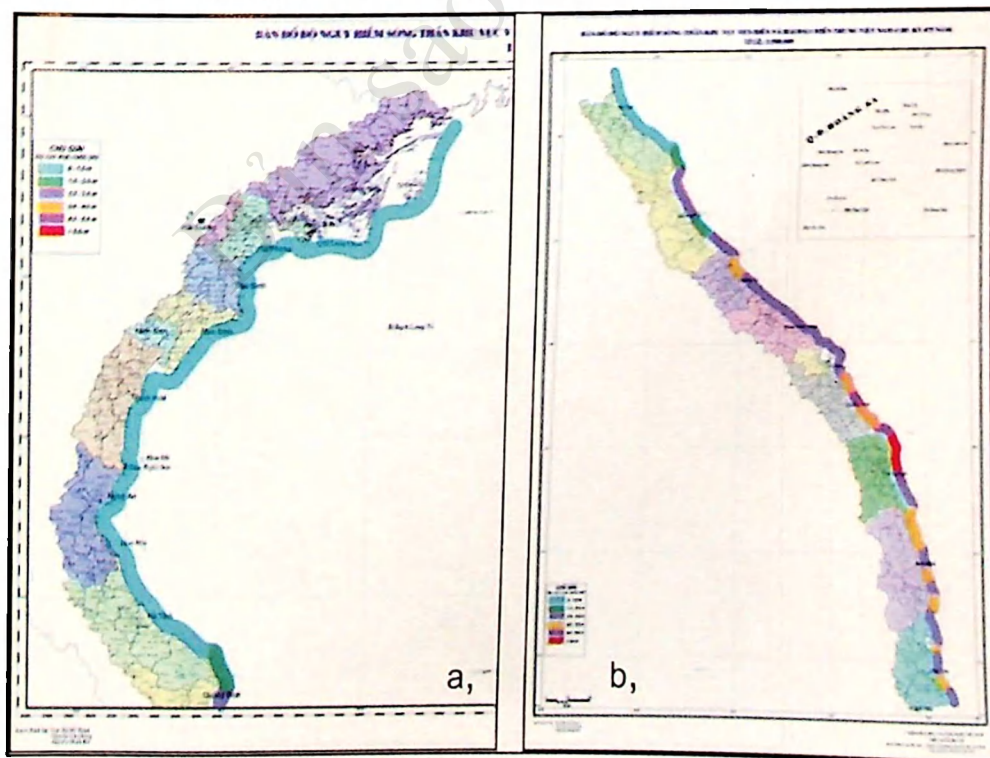
Hình VI-14. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 9 độ động đất có $M_w = 6,5$ xảy ra tại vùng biển miền Trung



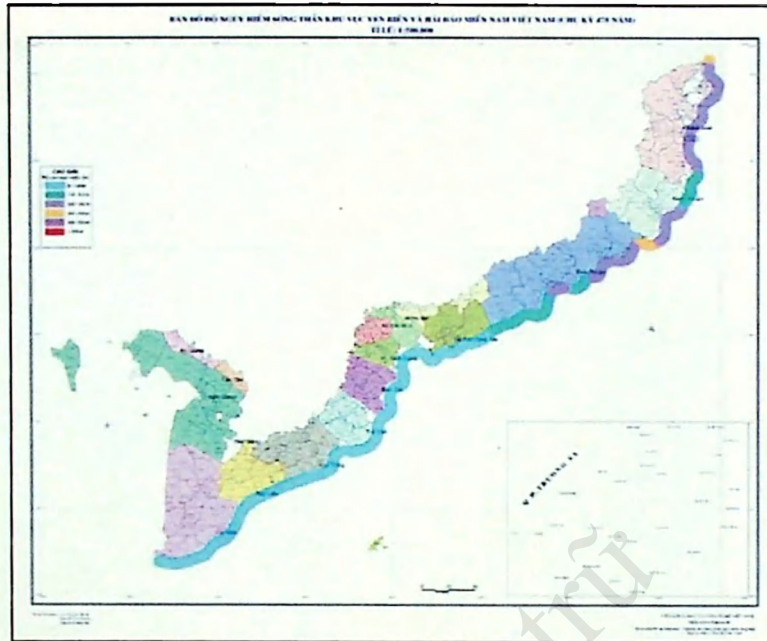
Hình VI-15. Độ cao sóng thần trên Biển Đông và ven biển Việt Nam theo kịch bản 10 độ động đất có $M_w = 7$ xảy ra tại vùng biển miền Trung



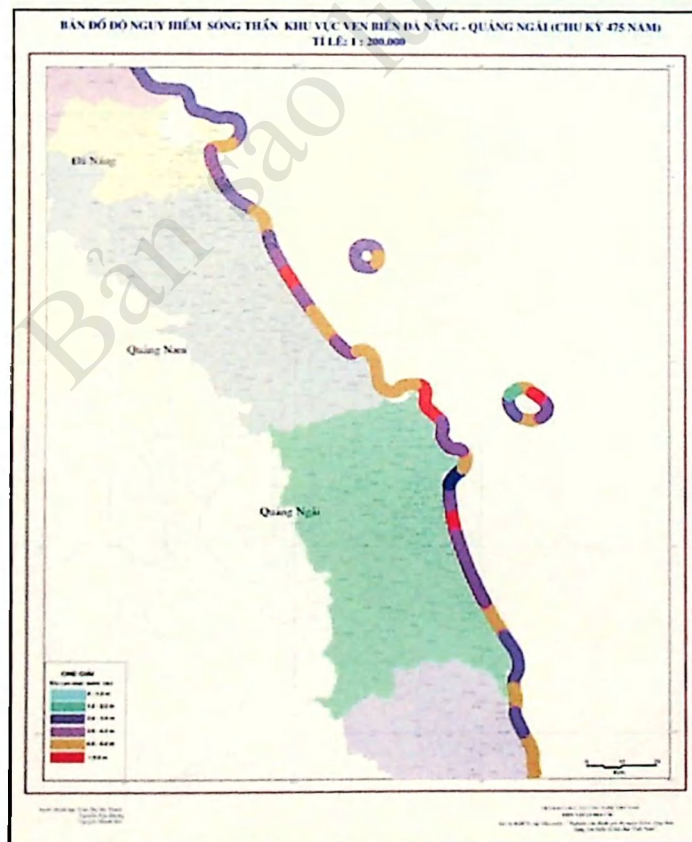
Hình VI-16. Phân bố chấn tâm động đất của đới Manila dùng tính độ NHST



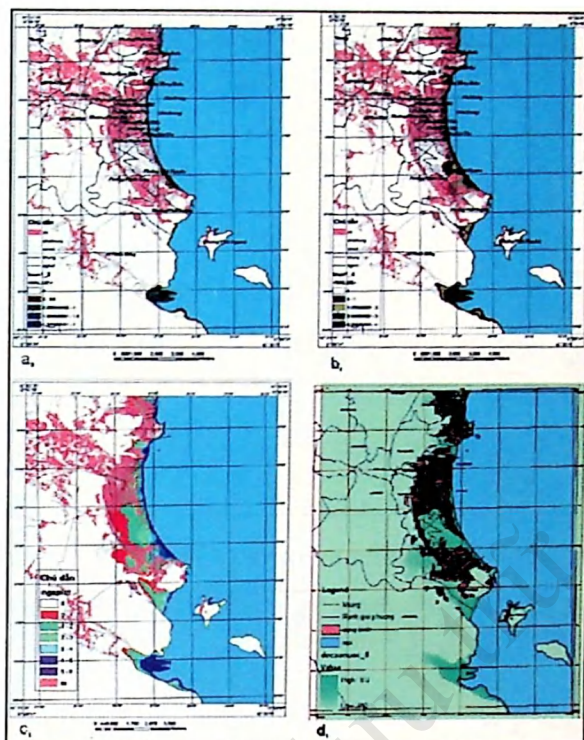
Hình VI-18. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần ven biển 1:500.000:
a >. miền Bắc Việt Nam; b>. miền Trung Việt Nam (chu kỳ 950 năm)



Hình VI-19. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần ven biển miền Nam Việt Nam, 1:500.000 (chu kỳ 950 năm)



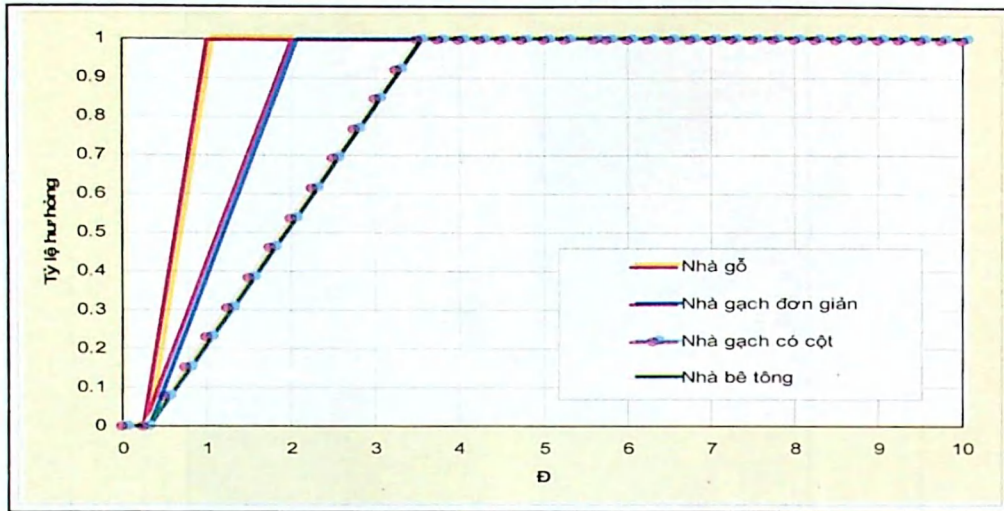
Hình VI-20. Bản đồ độ nguy hiểm sóng thần khu vực ven biển QN-ĐN, 1:200.000 (chu kỳ 950 năm)



Hình VI-21. Bản đồ ngập lụt thành phố Nha Trang với độ cao sóng thần khác nhau:
a. 2m; b. 4m; c. 6m; d. 8m



Hình VI-22. Bản đồ ngập lụt thành phố Nha Trang theo kịch bản động đất



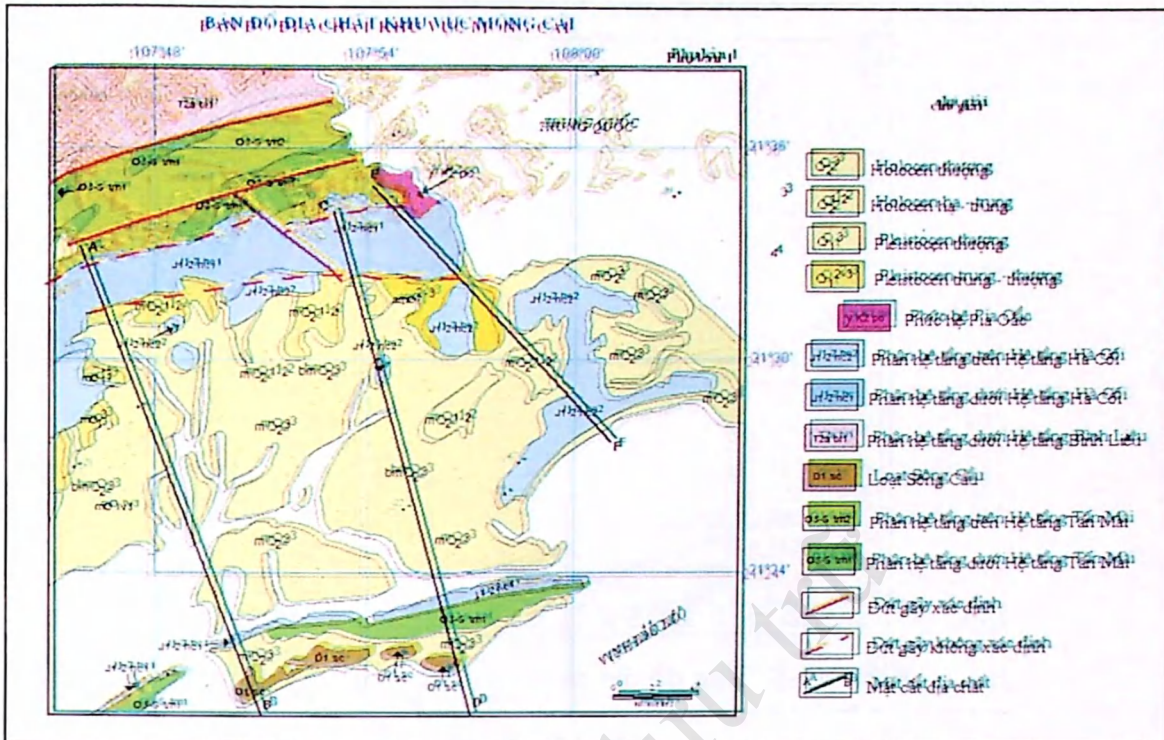
Hình VI-23. Liên hệ giữa độ cao nước và mức độ hư hại công trình



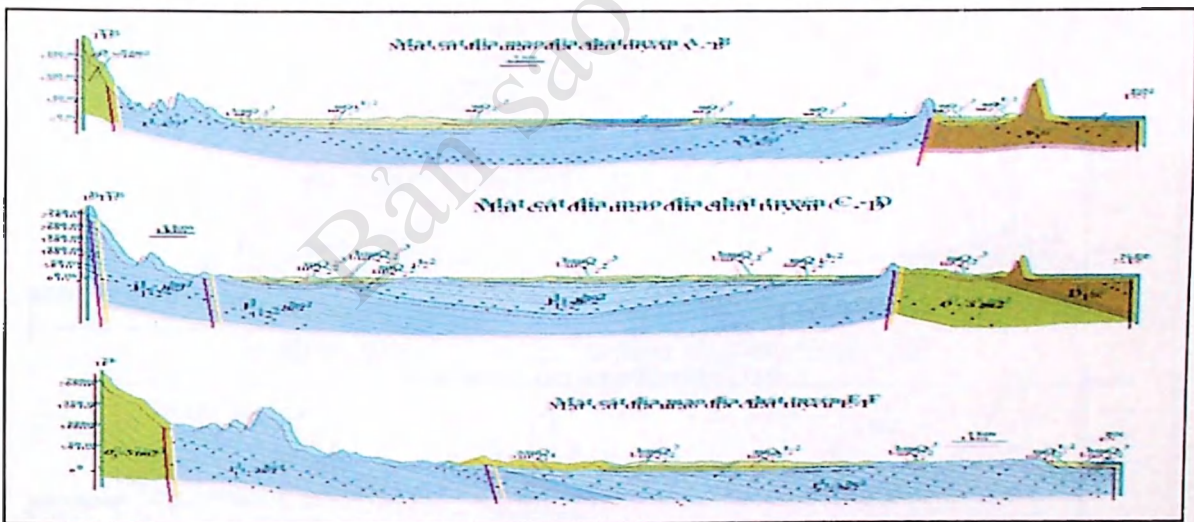
Hình VII-1. Một lớp vật liệu trầm tích từ biển đã được sóng thần ngày 26 tháng 12 năm 1004 cuốn lên phủ lấp trên đất trồng trọt có từ trước đó (ảnh của Yuichi Nishimura, Hokhaido University, Nhật Bản)



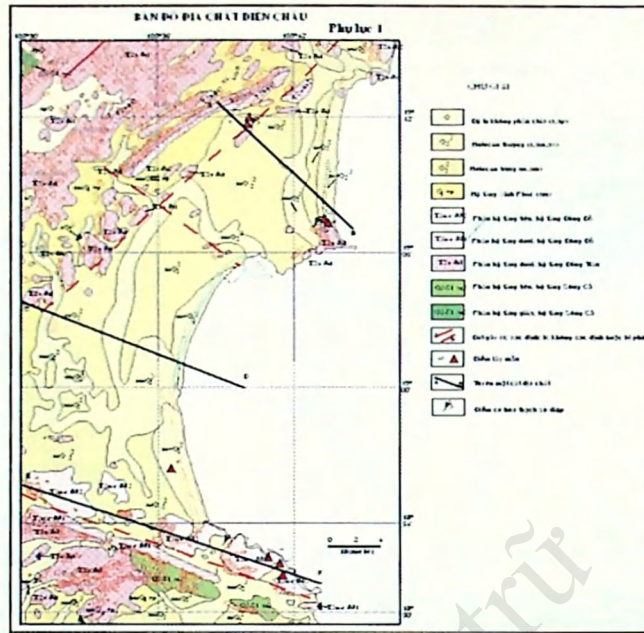
Hình VII-3. Vết tích nghi ngờ do cổ sóng thần gây nên: a). tại bờ biển Phan Thiết, Phú Yên; b). tại bờ biển Sông Cầu, Phú Yên; c). tại bờ biển Nghi Tiến, Nghi Lộc - Nghệ An



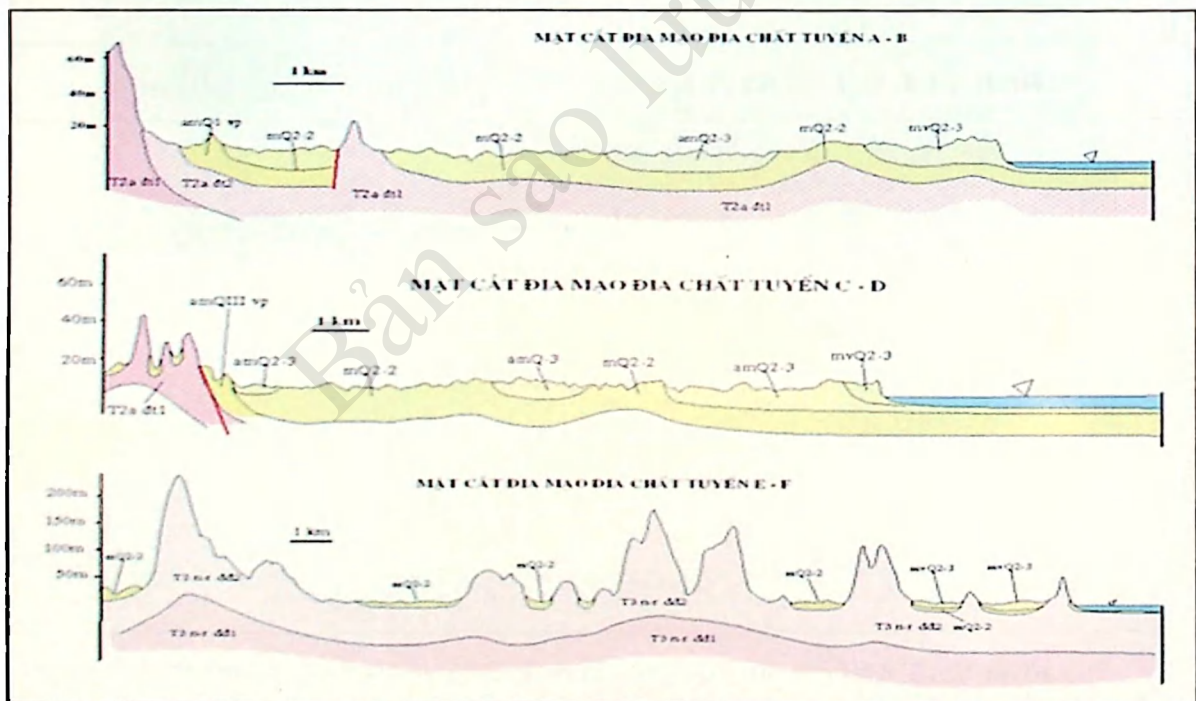
Hình VII-4. Bản đồ địa chất khu vực Móng Cái và vị trí các mặt cắt



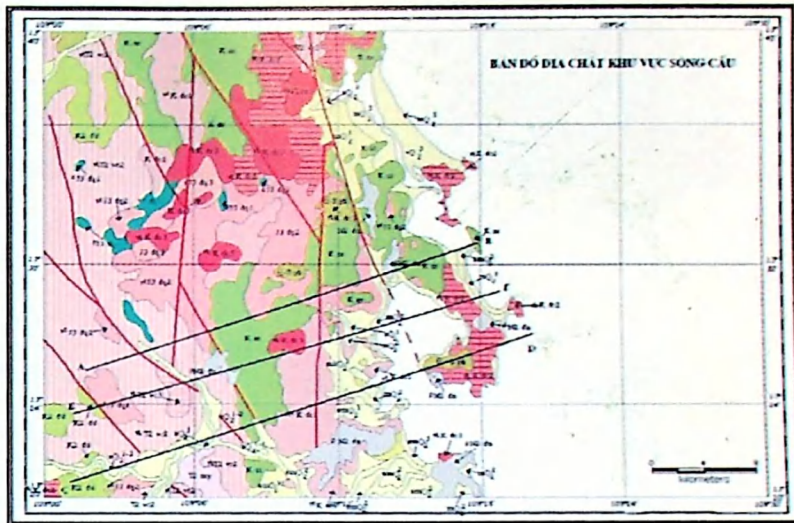
Hình VII-5. Mặt cắt địa mạo (tuyến A-B, C-D, E-F, xem Hình VII-4)



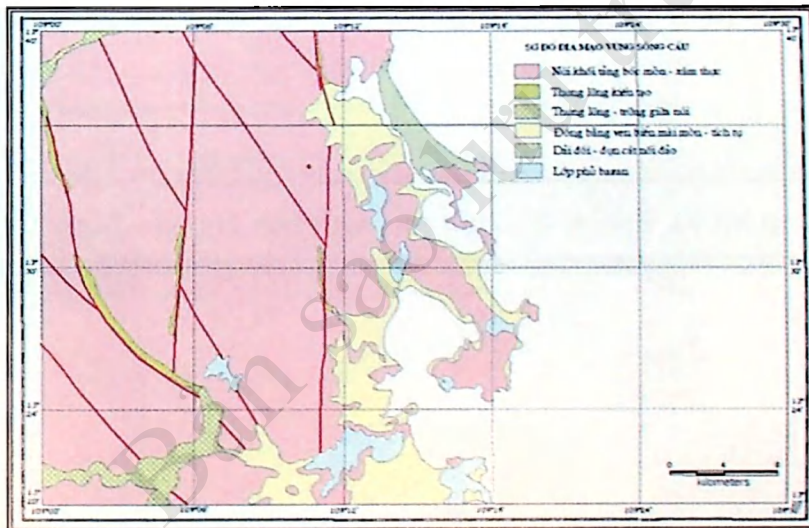
Hình VII-6. Bản đồ địa chất và vị trí các mặt cắt



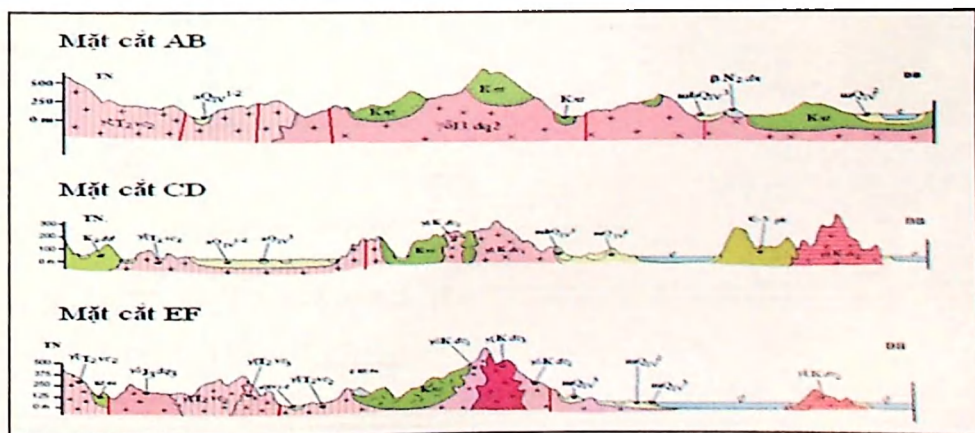
Hình VII-9. Mặt cắt địa mạo - địa chất tuyến A-B, C-D, E-F



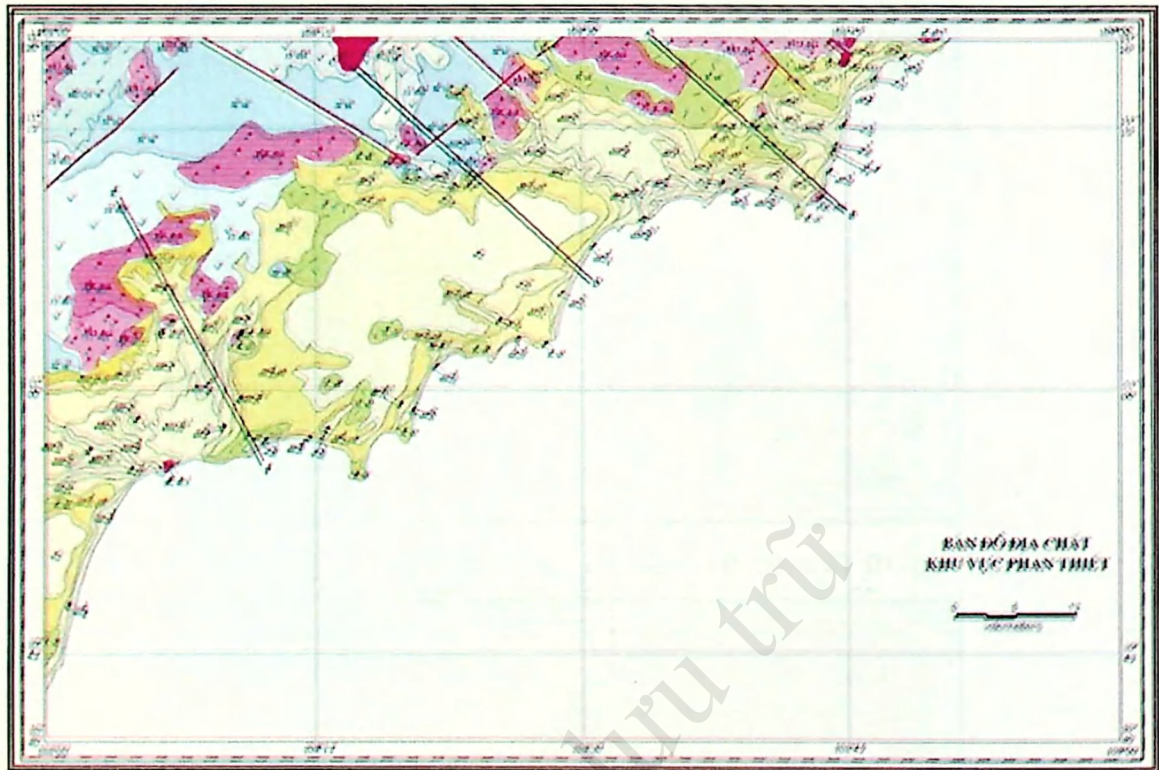
Hình VII-10. Bản đồ địa chất khu vực Sông Cầu và vị trí các mặt cắt



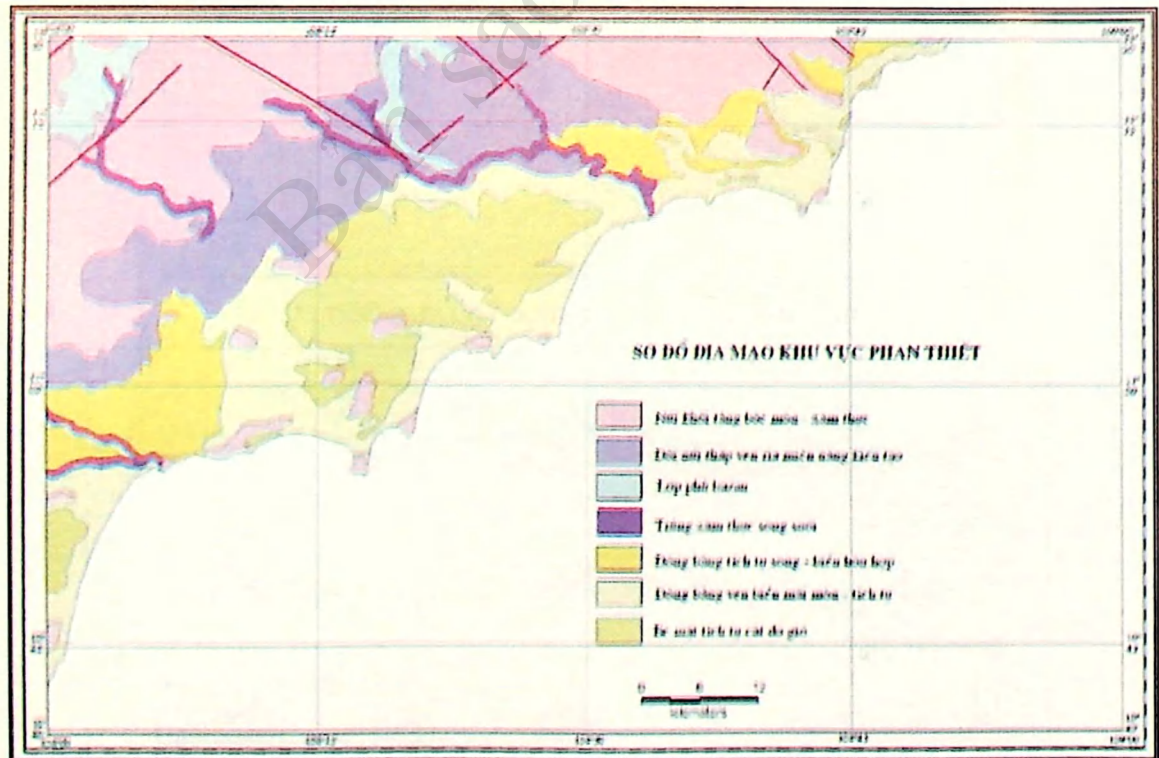
Hình VII-11. Bản đồ địa mạo khu vực Sông Cầu



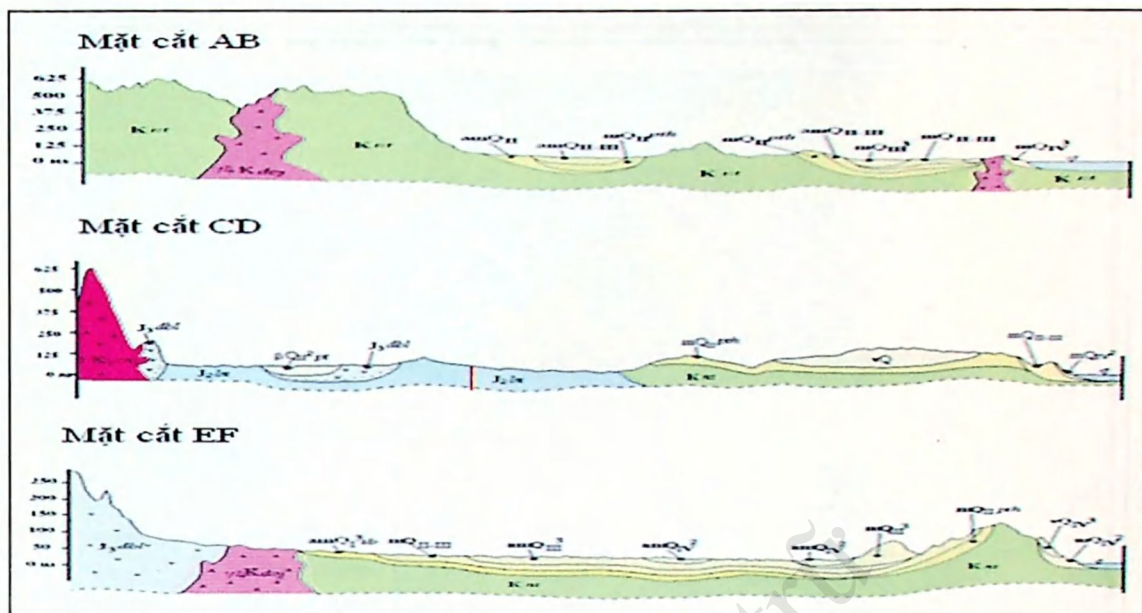
Hình VII-12. Các mặt cắt địa mạo khu vực Sông Cầu (xem vị trí trên Hình VII-10)



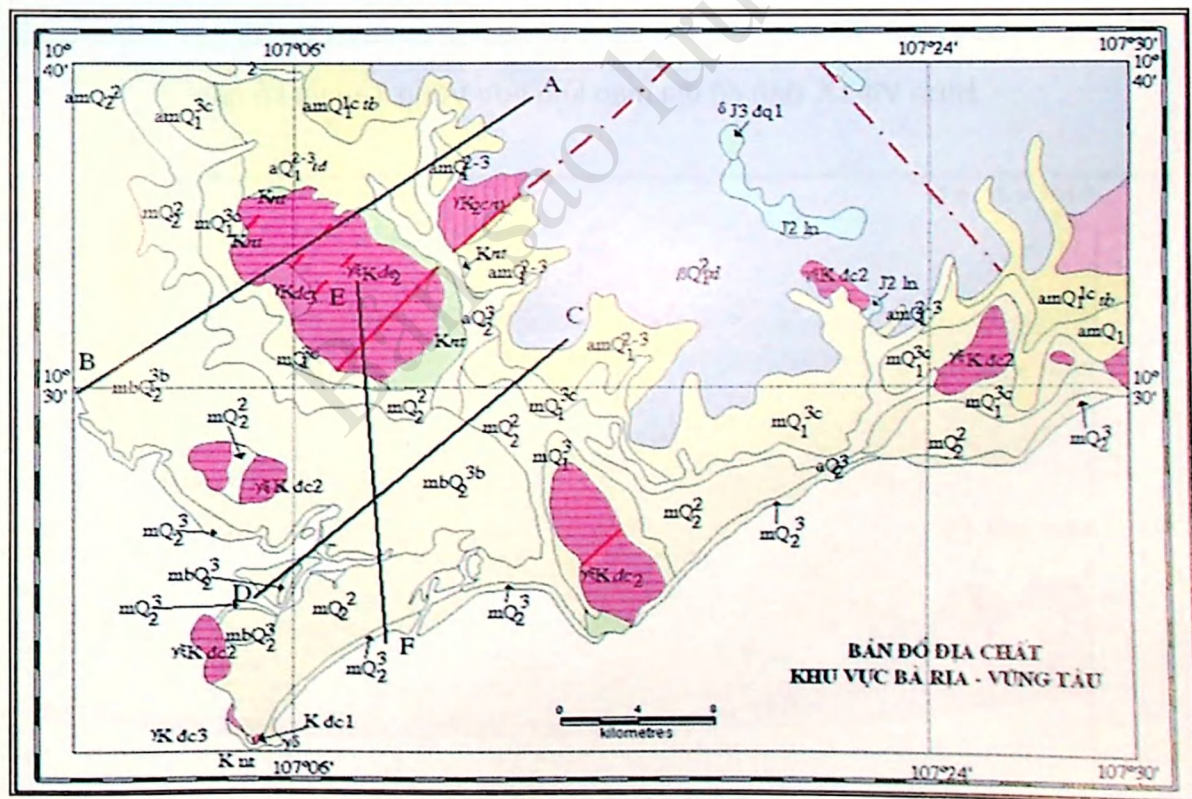
Hình VII-13. Bản đồ địa chất khu vực Bình Thuận – Ninh Thuận



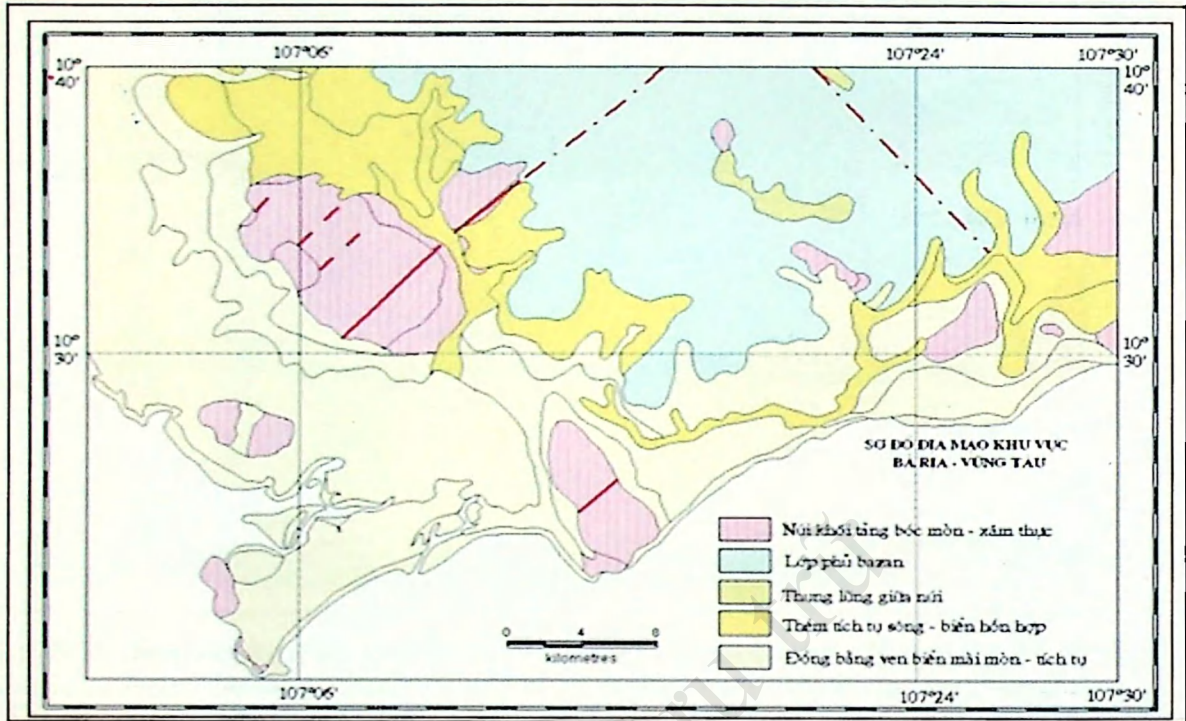
Hình VII-14. Bản đồ địa mạo khu vực Bình Thuận – Ninh Thuận



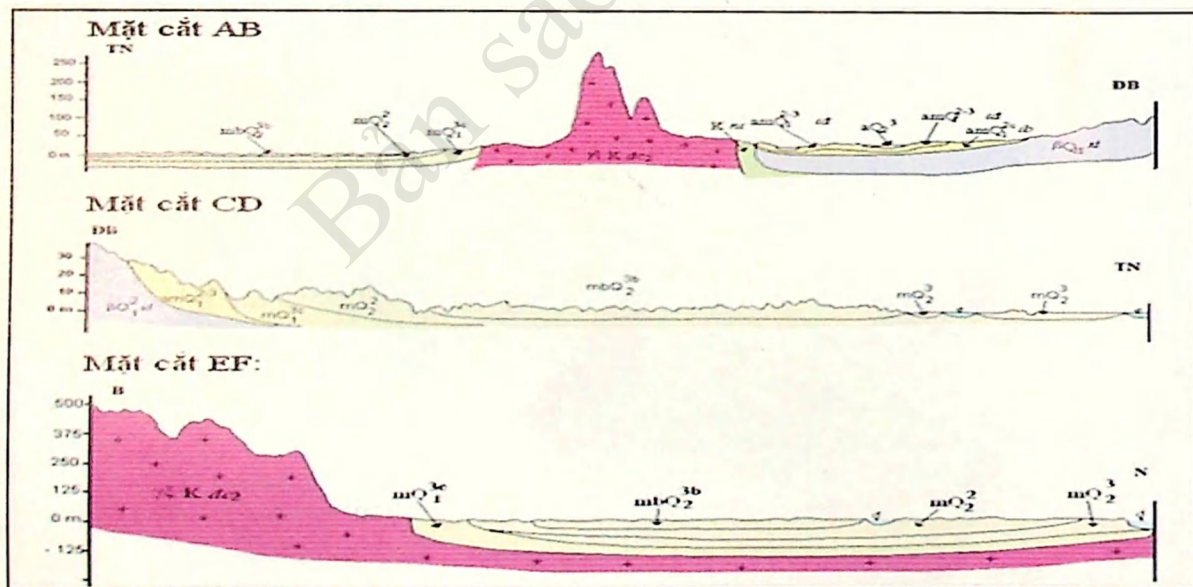
Hình VII-15. Mặt cắt địa mạo dọc theo tuyến nghiên cứu (sơ đồ tuyến xem Hình VII-13)



Hình VII-16. Bản đồ địa chất khu vực Vũng Tàu và kế cận



Hình VII-17. Bản đồ địa mạo khu vực Vũng Tàu và kế cận



Hình VII-18. Mặt cắt địa mạo dọc theo các tuyến chuẩn (vị trí tuyến xem Hình VII-16)

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ
18 đường Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội
Điện thoại: Phòng Phát hành: 04.22149040; Phòng Biên tập: 04.22149034;
Phòng Quản lý Tổng hợp: 04.22149041;
Fax: 04.37910147, Email: nxb@vap.ac.vn; www.vap.ac.vn

NGUY HIỂM ĐỘNG ĐẤT VÀ SÓNG THẦN Ở VÙNG VEN BIỂN VIỆT NAM

Bùi Công Qué (chủ biên)
Nguyễn Đình Xuyên, Phạm Văn Thực, 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

Chịu trách nhiệm xuất bản:
Giám đốc Trần Văn Sắc

Tổng biên tập
GS.TSKH. Nguyễn Khoa Sơn

<i>Thẩm định nội dung:</i>	1. TS. Phùng Văn Phách 2. GS.TSKH. Nguyễn Khoa Sơn
<i>Biên tập:</i>	Trần Phương Đông
<i>Trình bày kỹ thuật:</i>	Trần Thị Kim Liên
<i>Trình bày bìa:</i>	Nguyễn Bích Nga

In 700 cuốn khổ 19 × 27cm tại: Công ty in Khuyến học. Số đăng ký KHXB: 295-2010/CXB/001 - 02/KHTNCN cấp ngày 01 tháng 4 năm 2010. In xong và nộp lưu chiểu Quý IV năm 2010.

SÁCH NHÀ NƯỚC ĐẠT HÀNG