

## NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH NGUỒN PHÁT SINH ĐỘNG ĐẤT GÂY SÓNG THẦN TRONG PHẠM VI BIỂN ĐÔNG VIỆT NAM

MAI XUÂN BÁCH<sup>1</sup>, CAO ĐÌNH TRIỀU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Viện Vật lý Địa cầu, Viện HL KH&CN Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Địa vật lý ứng dụng, Liên hiệp các Hội KH&KT Việt Nam

**Tóm tắt:** Sóng thần có nguồn gốc từ động đất là một trong những loại hình thảm họa thiên nhiên gây hậu quả thảm khốc. Những vùng bị sóng thần quét qua phải hứng chịu những thiệt hại vô cùng to lớn về con người, của cải vật chất, hạ tầng kinh tế xã hội, môi trường. Các đứt gãy biểu hiện hoạt động động đất trong khu vực nghiên cứu bao gồm Manila, Sông Hồng, Sông Lô, Bắc Hoàng Sa, Phú Lâm - Linh Cầu, Thuận Hải - Minh Hải, Baram-Palawan, Ba Tháp, Lôi Châu, Hải Nam, Ốc Tai Voi, Kinh tuyến 117, Đông Côn Sơn và Kiều Ngựa. Động đất lớn nhất có thể xảy ra trên các đới phát sinh động đất mạnh nhất có thể xảy ra có  $M=8,85$  trên đới hút chìm Manila; Đới hút chìm Manila, đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Sông Lô, đứt gãy Bắc Hoàng Sa, đứt gãy Phú Lâm - Linh Cầu, đứt gãy Baram-Palawan, đứt gãy Lôi Châu, đứt gãy Đông Côn Sơn và đứt gãy Kiều Ngựa là các nguồn được dự báo có thể xảy ra động đất gây sóng thần trong khu vực Biển Đông Việt Nam.

### I. MỞ ĐẦU

Sóng thần đã được con người biết đến từ rất sớm trong lịch sử phát triển của nhân loại, đặc biệt ở các quốc đảo và một số quốc gia ven biển. Nhưng chỉ là những ghi chép về hiện tượng, đến cuối Thế kỷ 19 người ta mới bắt đầu nghiên cứu tìm hiểu nguyên nhân và tính chất của sóng thần. Đến năm 1948 của Thế kỷ 20, Trung tâm Quan trắc và cảnh báo sóng thần đầu tiên trên thế giới được thành lập (Pacific Tsunami Warning Center). Năm 1967 thành lập trung tâm thứ hai: West Coast - Alaska Tsunami Warning Center. Ở Việt Nam những nghiên cứu về sóng thần mới chỉ được bắt đầu vào những năm 2000, đầu Thế kỷ 21.

Cho đến nay Việt Nam cũng đã có một số công trình nghiên cứu về động đất và sóng thần ở Biển Đông trong giai đoạn này, đó là của các tác giả: Phạm Văn Thực, Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Văn Lương, Nguyễn Hồng Phương, Trần Thị Mỹ Thành, Vũ Thanh Ca, Cao Đình Triều và Bùi Công Quế. Nhưng các công trình nghiên cứu này tập trung chủ yếu về động đất, nguồn phát sinh động đất và

các kịch bản lan truyền sóng thần tới bờ biển Việt Nam.

Trong khuôn khổ bài báo này, nhóm tác giả đề cập đến một vấn đề mà trước đây chưa được quan tâm nhiều đó là xác định các vùng nguồn động đất có nguy cơ gây sóng thần trong khu vực Biển Đông Việt Nam

### II. ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT KHU VỰC NGHIÊN CỨU

#### 1. Khái quát về đặc điểm hoạt động kiến tạo trong Kainozoi muộn

Bình đồ cấu trúc Kainozoi muộn khu vực Biển Đông Việt Nam và kế cận có xu hướng phát triển kế thừa các cấu trúc Kainozoi sớm. Đặc trưng cơ bản của hoạt động kiến tạo Kainozoi muộn gồm:

Quá trình sụt lún phân dị chiếm ưu thế, tất cả các cấu trúc Kainozoi sớm đều bị lôi kéo vào quá trình này với mức độ khác nhau, tùy thuộc vào sự chuyển động phân dị của các khối và đứt gãy. Xác định được xu thế dịch chuyển sụt lún mạnh từ tây sang đông. Bình đồ sụt hạ có sự thay đổi theo thời gian, tạo nên các mặt bất chỉnh hợp cấu trúc ở đây Pliocen và đáy Đệ tứ.



Các bể trầm tích: Sông Hồng, Bắc Hoàng Sa, Phú Khánh, Cửu Long, Nam Côn Sơn, Tư Chính - Vũng Mây và Malay - Thổ Chu vẫn giữ được bản sắc phát triển riêng của mình, thể hiện ở tốc độ sụt hạ, môi trường trầm đọng, tính kế thừa chọn lọc bình đồ cấu trúc cổ hơn và tổ hợp các thành tạo trầm tích tương khác nhau, đặc biệt là sự xuất hiện tương trầm tích dòng vẩn đục biển sâu (turbidit) đồng thời với sự hình thành các cấu trúc nôm lẩn từ đầu Pliocen và ngày càng mạnh thêm trong suốt Pliocen - Đệ tứ ở phần phía đông của bể Nam Côn Sơn.

Hệ thống đứt gãy kiến tạo tiếp tục hoạt động đóng vai trò quan trọng trong việc tạo dựng bình đồ cấu trúc khu vực. Trong các diện phân bố trầm tích Pliocen - Đệ tứ xuất hiện các đứt gãy hoạt động vào Pliocen và Pliocen - Đệ tứ. Chúng có phương chủ yếu á kinh tuyến và ĐB-TN. Các đới đứt gãy có quy mô lớn như: Sông Hồng, Kinh tuyến 109, Bắc Hoàng Sa, Ba Tháp, Sông Hậu, Thuận Hải - Minh Hải và Phú Quý - Cảnh Dương...

## **2. Trường ứng suất kiến tạo hiện đại khu vực Biển Đông Việt Nam và lân cận**

Vỏ Trái đất dải ven biển từ Móng Cái đến Nghệ-Tĩnh nằm trong trạng thái siết ép chính và chịu tác động của lực siết ép B-ĐB (5-100), chuyển dần sang phương kinh tuyến. Với cơ chế siết ép như vậy sẽ có biểu hiện dịch trượt ngang, dọc theo đới đứt gãy như sau: băng trái đối với các đứt gãy phương kinh tuyến, vĩ tuyến và ĐB-TN; băng phải đối với các đứt gãy phương TB-ĐN.

Đối với dải ven biển từ Quảng Bình tới Đà Nẵng vỏ Trái đất nằm trong trạng thái siết ép và chịu tác động của lực siết ép phương B-TB chuyển dần sang á vĩ tuyến.

Dọc dải ven biển từ Quảng Ngãi đến Phú Yên vỏ Trái đất nằm trong trạng thái siết ép và với phương lực siết ép thay đổi từ á vĩ tuyến (T-TB) chuyển sang vĩ tuyến. Với cơ chế trường ứng suất như vậy, các đới đứt gãy có biểu hiện như sau: siết ép mạnh đối với các đứt gãy phương

kinh tuyến; tách, trượt bằng trái đối với các đứt gãy phương á vĩ tuyến; trượt bằng phải đối với các đứt gãy phương ĐB-TN.

Vùng ven biển Nam Trung Bộ, Nam Bộ và Kiên Giang - Cà Mau có vỏ Trái đất nằm trong trạng thái siết ép và với phương lực siết ép từ B-TB (20-30°) xuống N-ĐN.

Khu vực Bắc Hoàng Sa, Đông Biên Đông và Nam Trường Sa vỏ Trái đất nằm trong trạng thái chịu siết ép mạnh. Phương tác động của lực siết ép là T-B đối với khu vực Bắc Hoàng Sa và Nam Trường Sa. Trong khi phương siết ép kinh tuyến đối với khu vực Đông Biên Đông.

## **3. Đặc điểm phát triển địa động lực Kainozoi muộn và Hiện đại**

Phân tích cấu trúc và lịch sử hình thành và phát triển Biển Đông cùng các bể trầm tích trên thềm lục địa Việt Nam cho thấy chúng có bản chất kiểu rift phát triển theo nhịp. Chế độ căng giãn không đồng đều của thạch quyển khởi nguồn cho sự sinh rift kiểu phân tán đã xảy ra trên toàn khu vực, đã làm nảy sinh một hệ thống các địa hào có quy mô và định hướng khác nhau vào đầu Kainozoi (Paleocen hoặc Eocen). Chúng bị kiểm soát bởi các hệ thống đứt gãy kiểu tách giãn - trượt bằng sâu. Đặc biệt ở trung tâm Biển Đông vỏ lục địa bị cắt rời hoàn toàn để hình thành vỏ kiểu đại dương vào ngưỡng 32 Tr.n. Hệ thống các đảo phía nam (vùng quần đảo Trường Sa - Reed Bank) bị tách khỏi phần phía bắc (vùng quần đảo Hoàng Sa - Macclesfield) và dịch chuyển về phía nam, thoát đầu ở phần đông bắc Biển Đông do giãn đáy BN và sau đó (Miocen hạ-trung) do giãn đáy TB-ĐN ở phần TN Biển Đông. Phân tách giãn thời kỳ sau có dạng nôm cắm vào vùng Đông Nam thềm lục địa Việt Nam mà đối diện với nó là bể Nam Côn Sơn [8, 11- 16].

## **III. CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

### **1. Xác định đứt gãy bằng phương pháp phân tích tài liệu từ và trọng lực**

#### **a) Theo tài liệu trọng lực:**

Nhận dạng các đứt gãy sâu trên cơ sở tài liệu trọng lực có thể sử dụng một số



dấu hiệu sau: Dải dị thường (âm hay dương) cục bộ tạo thành chuỗi dạng tuyến kéo dài; Nơi có giá trị gradient ngang trường trọng lực kéo dài theo đường thẳng hay hình lưỡi liềm với bán kính lớn; Xuất hiện gập khúc đột ngột hay các nếp oằn của các đường đồng mức hoặc của các trục dị thường; Đứt gãy sâu tạo nên ranh giới của các đơn vị cấu trúc dị thường bậc khác nhau với đặc trưng khác biệt về hình thái cũng như cường độ hay phương phát triển chủ đạo.

#### b) Theo tài liệu từ

Trên cơ sở tài liệu từ thông thường chúng ta có thể sử dụng các dấu hiệu phát hiện đứt gãy như sau: Các dị thường cục bộ (âm hay dương), các cực trị nối tiếp nhau tạo thành chuỗi kéo dài theo đường thẳng hoặc hình lưỡi liềm có bán kính lớn; Nơi có giá trị gradient ngang trường từ kéo dài theo đường thẳng hay hình lưỡi liềm với bán kính lớn; Ranh giới giữa hai vùng miền trường từ khác biệt về đặc trưng hình thái cấu trúc, cường độ hay phương phát triển chủ đạo; Các dải dị thường có kích thước và biên độ nhỏ trải dài theo đường thẳng hay vòng cung.

#### c) Theo tổ hợp phương pháp từ và trọng lực

Tổ hợp phương pháp địa vật lý được sử dụng trong phát hiện và nghiên cứu đặc trưng cấu trúc đứt gãy bao gồm: Phương pháp biến đổi trường từ và trọng lực, trong đó chủ đạo là nâng trường lên nửa không gian phía trên, hạ trường xuống nửa không gian phía dưới, phương pháp phân tích bất đẳng hướng và phương pháp tính đạo hàm bậc cao; Phương pháp giải bài toán ngược trọng lực.

### 2. Nghiên cứu đặc trưng cấu trúc đứt gãy

#### a) Phương pháp sử dụng đường cong trọng lực $\Delta g_{xz}$

Biên độ dịch chuyển trung bình theo phương thẳng đứng của đứt gãy có thể được đánh giá dựa vào dị thường bậc thang trọng lực Bouguer. Nếu coi  $\Delta h$  là

biên độ dịch chuyển trung bình, ta có công thức:

$$\Delta h = m \frac{\delta \Delta g}{2\pi f H (\text{grad}_z \sigma)} \quad (1)$$

ở đây:  $\delta \Delta g$ : giá trị chênh lệch dị thường trọng lực Bouguer theo hướng cắt qua đới đứt gãy;  $H$ : giá trị bề dày trung bình của vỏ Trái đất;  $f$ : hằng số trọng trường;  $\text{grad}_z \sigma$ : giá trị gradient mật độ trung bình thay đổi theo chiều sâu của vỏ Trái đất;  $m$ : hệ số phụ thuộc vào kích thước của khối được tạo nên.

#### b) Phương pháp tính gradient ngang $W_{xz}$

Để xác định gián đoạn dị thường trọng lực ta có thể sử dụng kỹ thuật tính môđun gradient trọng lực nằm ngang:

$$W_{xz} = \sqrt{V_{xz}^2(x, y, z) + V_{yz}^2(x, y, z)} \quad (2)$$

Ranh giới mật độ thẳng đứng tạo ra cực trị gradient ngang tại vị trí tiếp giáp của 02 đơn vị cấu trúc địa chất khác nhau; Khi mật tiếp giáp không thẳng đứng thì cực trị gradient ngang sẽ dịch chuyển sang phía góc đổ. Do vậy, hướng đổ của ranh giới vật thể gây dị thường được dự đoán theo hướng vuông góc với gradient ngang dị thường trọng lực tính theo công thức:

$$\alpha = \arctg \frac{V_{xz}^2}{V_{yz}^2} \quad (3)$$

ở đây:  $V_{xz}^2$ : gradient ngang;  $V_{yz}^2$ : gradient thẳng đứng.

Ta cũng có thể áp dụng công thức  $\text{ctg} \alpha = \frac{d}{h}$  để xác định góc đổ của đứt gãy, vì hướng dịch chuyển cực đại của  $W_{xz}$  trùng với hướng cắm đứt gãy.

Ở đây:  $h$ : độ cao tính chuyển trường;  $d$ : độ dịch chuyển ngang vị trí cực đại gradient ngang trường trọng lực  $W_{xz}$  ở mức 0 và  $h$ .

Bề rộng của đới phá hủy được xác định thông qua việc xây dựng đường cong gradient ngang trọng lực  $W_{xz}$  dựa vào tính chất đường cong khi tiếp tục tính đến vật thể gây dị thường, đường cong  $W_{xz}$  tăng, đạt cực trị trên phần vật thể và giảm dần sau khi đi qua vật thể. Như vậy biên độ cực trị của đường cong  $W_{xz}$  chính là bề rộng của đới phá hủy.

### c) Phương pháp đối sánh vị trí tương đối các dị thường

Dị thường trọng lực do đứt gãy gây ra có thể được biểu diễn dưới dạng công thức:

$$G = 2f\rho T \left[ \pi + \operatorname{ctg} \left( \frac{x}{h_1} + \operatorname{ctg} \alpha \right) + \operatorname{ctg} \left( \frac{x}{h_2} + \sin \alpha \right) \right] \quad (4)$$

$\rho$ : mật độ dư của vỉa;  $T$ : chiều dày của vỉa;  $h_1$ : độ sâu đến cánh hạ;  $h_2$ : độ sâu đến cánh nâng.

Nếu ta kí hiệu  $G_{qs}(k)$  là dị thường quan sát tại điểm  $k$  (với  $k = 1, 2, 3, \dots$ )  $G_n(k)$  là dị thường tính toán tại điểm  $k$  theo (4) thì tham số đứt gãy  $\alpha, T, h_1, h_2$  cần tìm sao cho:

$$\sum_{k=1}^M [G_{qs}(k) - G_n(k)]^2 = \min \quad (5)$$

Giải (5) bằng nhiều cách cho phép ta xác định được các thông số về đứt gãy. Phương pháp này đã được một số nhà nghiên cứu địa vật lý Việt Nam áp dụng.

### 3. Một số nguyên lý cơ bản trong việc xác định các đứt gãy hoạt động

Thông thường, một đứt gãy được xác định đang hoạt động phải được biểu hiện ít nhất một trong số các dấu hiệu sau:

1) Hiện tại có biểu hiện chuyển động thẳng đứng khác nhau về hai cánh của đứt gãy: mạnh ( $\geq 5$  mm/năm); vừa (1-5 mm/năm) và yếu ( $\leq 1$  mm/năm).

2) Có biểu hiện dịch trượt ngang (bằng trái hoặc bằng phải) của đứt gãy: mạnh ( $\geq 5$  mm/năm); vừa (1-5 mm/năm) và yếu ( $\leq 1$  mm/năm).

3) Các đứt gãy đang hoạt động mạnh trong thời kỳ cuối cùng thường có biểu hiện nứt đất, trượt lở đất và xói mòn do nguyên nhân kiến tạo.

4) Đứt gãy có biểu hiện là đới hoạt động động đất và trùng với đới ranh giới cấu trúc (Theo cấp độ mạnh: từ 4 đến nhỏ hơn 6, từ 6 đến nhỏ hơn 7, từ 7 đến nhỏ hơn 8 và lớn hơn 8. Theo độ sâu có: nhỏ hơn 70 km, 70-300 km và lớn hơn 300 km; động đất trước năm 1950, sau năm 1950 và động đất lịch sử).

5) Biểu hiện uốn nếp trẻ: nếp lồi; nếp lõm; đới vò nhàu (flexures) và đới biến đổi các yếu tố địa hình, địa mạo.

6) Biểu hiện hoạt động núi lửa (biểu hiện hoạt động trong Holocen và Đệ tứ) và vùng thoát khí có liên quan tới hoạt động động đất hoặc vùng tập trung dày đặc các khe nứt kiến tạo trẻ.

7) Biểu hiện hoạt động nước nóng, đới có gradient địa nhiệt cao.

Trên thực tế có nhiều đứt gãy không được xác định là đứt gãy hoạt động theo nhiều tài liệu khác nhau, thậm chí không xuất hiện động đất mạnh trước đó thế mà lại đột ngột xuất hiện động đất phá hủy. Theo thống kê có tới 90% động đất lịch sử phát sinh tại các đới đứt gãy hoạt động, trong khi đó số đứt gãy hoạt động mà sinh chấn rất ít.

Biểu hiện hoạt động theo tuổi có thể được phân làm 5 nhóm:

1) Nhóm đứt gãy chắc chắn đang hoạt động, có tuổi hoạt động trong lịch sử, từ lớn hơn 200 năm đến nhỏ hơn 2000 năm;

2) Nhóm đứt gãy thể hiện hoạt động rõ nét, có biểu hiện hoạt động trong Holocen (khoảng 10.000 năm);

3) Nhóm đứt gãy có biểu hiện hoạt động, có tuổi hoạt động mạnh trong cuối Đệ tứ (lớn hơn 100.000 đến 130.000 năm);

4) Nhóm đứt gãy hoạt động trong cuối hoặc giữa Đệ tứ (nhỏ hơn 700.000-730.000 năm);



5) Nhóm đứt gãy hoạt động trong Đệ tứ, (tuổi hoạt động là nhỏ hơn 1, 6 Tr.n).

Nếu áp dụng một cách máy móc các tiêu chí về đứt gãy hoạt động như các nước tiên tiến khác trên thế giới đang sử dụng thì chúng ta không đủ tài liệu để đánh giá. Hiện tại chúng ta chỉ có số liệu quan trắc động đất, một ít số liệu về phân bố nước khoáng, nước nóng, về nứt đất, sạt lở đất và một số điểm đo lặp thủy chuẩn và GPS. Về hướng quan trắc trực tiếp dịch chuyển biến dạng vỏ Trái đất, chúng ta chỉ có 01 trạm biến dạng (tại Hoà Bình).

Nhằm khắc phục những khiếm khuyết về số liệu và đáp ứng tối đa các tiêu chí mang tính thông lệ của Quốc tế vào điều kiện thực tế có được ở Việt Nam, tập thể tác giả đưa ra một số dấu hiệu quy định xác lập các đứt gãy đang hoạt động như sau:

1) Các đứt gãy thể hiện rõ trên địa hình hiện đại (tuyến các vách địa hình hoặc dãy các vách kéo theo một tuyến, hoặc tuyến thung lũng thẳng kéo dài hoặc các dòng chảy kéo theo một tuyến) (DH1): Rất rõ: ++; Rõ: +; Kém rõ: -.

2) Thể hiện rõ trên ảnh vệ tinh là: Lineament kéo dài liên tục trên một chiều dài lớn hoặc tuyến các lineament ngắn (đứt đoạn) xuyên qua các cấu trúc khác nhau (DH): Rất rõ, liên tục: ++; Rõ: +; Không liên tục và mờ: -.

3) Biến đổi các yếu tố địa hình, địa mạo: chuyển đột ngột của địa hình (núi sang thung lũng...); thay đổi đột ngột hướng dòng chảy sông suối, hướng kéo các dãy, sông núi; dịch chuyển dòng chảy (các suối, khe bậc thấp 1, 2 theo cùng một hướng); cắt, dịch chuyển hoặc phá hủy các bậc thềm, nón phóng vật, các sông núi, dãy núi; các bậc địa hình biến đổi đột ngột độ dốc sườn (DH3): Rất rõ: ++; Rõ: +; Không rõ: -.

4) Biểu hiện của hoạt động động đất (DH4): Mạnh ( $M_s \geq 7,0$ ): ++++; Cao ( $M_s = 6,0-6,9$ ): +++; Trung bình ( $M_s = 5,0-5,9$ ): ++; Thấp ( $M_s = 4,0-4,9$ ): +; và Yếu (nhỏ hơn 4, 0 hoặc không có): -.

5/ Kiểm soát các thung lũng (địa hào), trùng tích tụ trầm tích Đệ tứ, trầm tích hiện đại (DH5): ++; Kiểm soát và làm biến vị các trũng Kainozoi: +; Không kiểm soát: -.

6) Hoạt động núi lửa Đệ tứ và hiện đại: Hiện đại (DH6): (Hoạt động mạnh: ++++; Vừa: +++ và có hoạt động: ++); Neogen: +; Không hoạt động: -.

7) Nguồn nước nóng hoặc nước khoáng nguồn sâu (DH7): Mạnh, tập trung: ++; Rời rạc: +; Không có: -.

8) Các hiện tượng trượt, sạt lở tự nhiên, nứt đất (DH8): Mạnh, tập trung: ++; Rời rạc: +; không có: -.

9) Kết quả đo đạc (trắc địa, đo lặp thủy chuẩn, GPS, đo biến dạng, đo Eman) nếu có, biến dạng tân kiến tạo - hiện đại tương đối (DH9) [2, 3].

#### 4. Nguyên lý phân định đới phát sinh động đất

##### a) Đánh giá và phân cấp mức độ hoạt động động đất

Phân cấp mức độ hoạt động động đất biểu thị sự phân loại các khu vực có đặc trưng động đất khác nhau. Mức độ biểu hiện đặc trưng động đất được phân loại theo ba cấp:

- 1) Hoạt động động đất yếu,  $M_s < 4,0$ ;
- 2) Hoạt động động đất thấp,  $M_s = 4,0-4,9$ ;
- 3) Hoạt động động đất trung bình,  $M_s = 5,0-5,9$ ;
- 4) Hoạt động động đất cao,  $M_s = 6,0-6,9$ ;
- 5) Hoạt động động đất mạnh,  $M_s = 7,0-7,9$ ;
- 6) Hoạt động động đất rất mạnh,  $M_s \geq 8,0$ .

Các yếu tố ban đầu như đứt gãy sinh chân, cấu trúc kiến tạo, mật độ lineament... đều được phân định thành các cấp theo các mức độ hoạt động động đất nêu trên.

##### b) Đứt gãy sinh chân

Đứt gãy sinh chân được xác định theo nguyên lý địa chấn kiến tạo. Bề rộng vùng

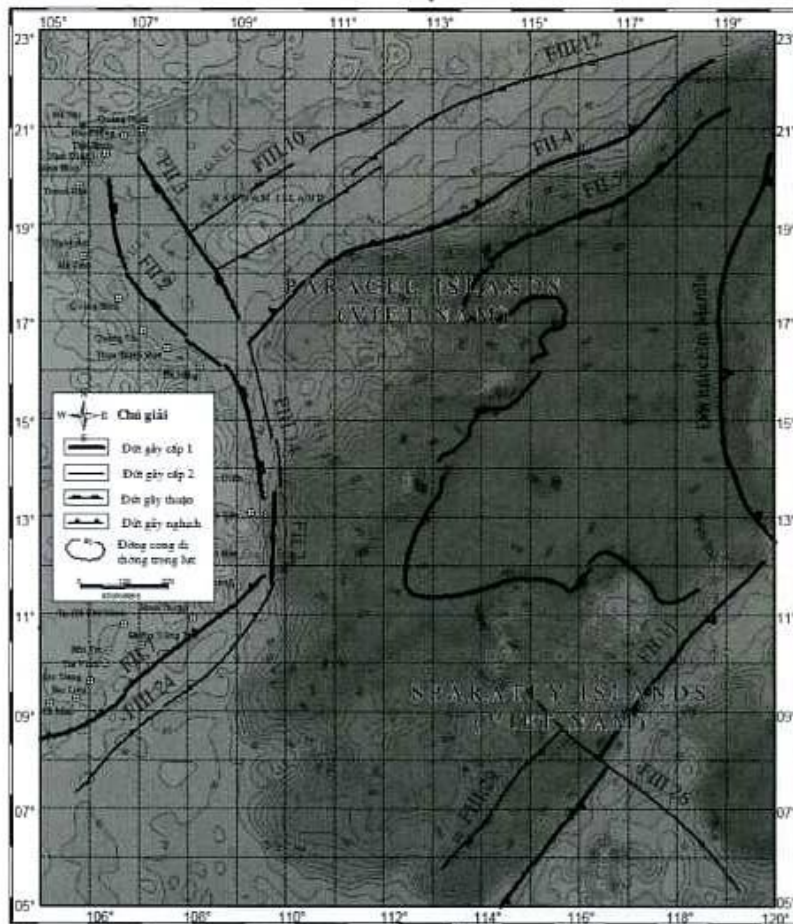
cực động được thiết lập trên cơ sở thống kê động đất và cho rằng nó ổn định với mỗi đứt đoạn đứt gãy. Các đứt gãy sinh chấn được phân cấp theo độ hoạt động động đất. Đứt gãy phát sinh cấp 1 là những đứt gãy có biểu hiện hoạt động động đất mạnh mẽ với magnitud và bề rộng vùng cực động lớn, khoảng 24 km. Đứt gãy phát sinh cấp 2 có bề rộng vùng cực động khoảng 20 km và mức độ động đất cũng như magnitud cực đại yếu hơn. Đứt gãy phát sinh cấp 3 có bề rộng vùng cực động khoảng 16 km, chiều dài đứt gãy dao động trong khoảng 100-200 km

và mức độ hoạt động động đất kém hơn. Đứt gãy phát sinh cấp 4 có bề rộng vùng cực động nhỏ khoảng 12 km và chiều dài phát triển nhỏ hơn 100 km. Dọc theo các đứt gãy loại này xảy ra các trận động đất với magnitud  $M_s < 5,0$ ; mức độ hoạt động động đất diễn ra yếu [2, 3, 6, 8].

#### IV. CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

##### 1. Các đứt gãy theo tài liệu trọng lực và từ

Để nhận dạng các đứt gãy sâu trên cơ sở tài liệu trọng lực và từ có thể sử dụng một số dấu hiệu theo cơ sở lý thuyết như phân trên.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống các đứt gãy chính theo tài liệu trọng lực vệ tinh.

Đới hút chìm Manila, đứt gãy Sông Hồng (F<sub>II.2</sub>), đứt gãy Sông Lô (F<sub>II.3</sub>), đứt gãy Bắc Hoàng Sa (F<sub>II.4</sub>), đứt gãy Phú Lâm - Linh Cầu (F<sub>II.5</sub>), đứt gãy Thuận Hải - Minh Hải (F<sub>II.7</sub>), đứt gãy Nam Côn

Sơn - Tư Chính (F<sub>II.8</sub>), đứt gãy Sarawak-Baram (F<sub>II.11</sub>), đứt gãy Lôi Châu (F<sub>III.10</sub>), đứt gãy Hải Nam (F<sub>III.12</sub>), đứt gãy Kinh tuyến 110 (F<sub>III.14</sub>), đứt gãy Đông Côn Sơn (F<sub>III.24</sub>), đứt gãy Palawan (F<sub>III.26</sub>) và



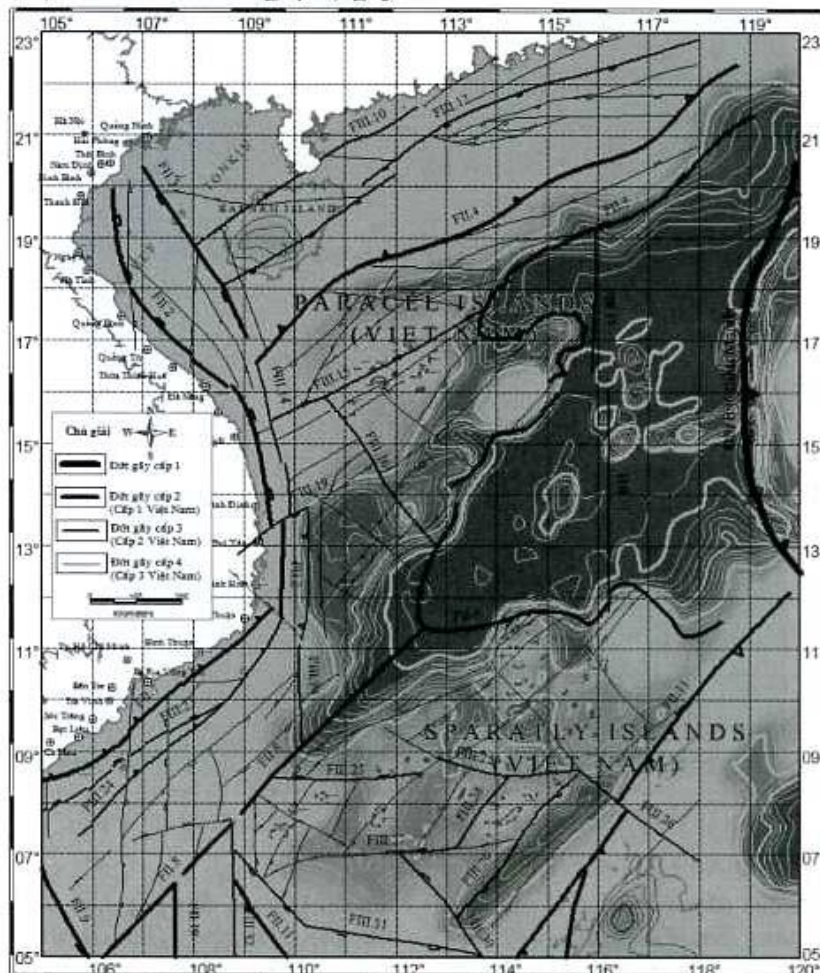
đứt gãy Kiều Ngựa (F<sub>III.29</sub>) có biểu hiện rất rõ nét trên tài liệu trọng lực vệ tinh (Hình 1). Các đứt gãy này trùng với dải gradient dị thường trọng lực với giá trị lớn và là ranh giới phân chia giữa hai cấu trúc dị thường có giá trị khác biệt.

Đặc biệt đới hút chìm Manila đã tạo nên một cấu trúc dị thường dương lớn nằm về phía đông, trong khi dải dị thường âm rất hẹp, giá trị lớn chạy cùng phương đứt gãy sát về phía tây (Hình 1). Đây là đặc điểm chung nhất phản ánh các đới hút chìm đóng vai trò là ranh giới giữa các mảng thạch quyển của Trái đất. Về phía cánh treo của đới hút chìm, do thạch quyển bị chún chìm xuống sâu tận manti, tạo ra đới chòm nghịch, gây

nhờn sự thay đổi mật độ lớn làm tăng giá trị dị thường trọng lực [4, 5, 7-9].

## 2. Các đứt gãy theo các tài liệu địa chất, địa vật lý khác

Đứt gãy cấp 2 thạch quyển (cấp 1 Việt Nam), đây là những đứt gãy nội mảng thạch quyển, đóng vai trò phân chia vi mảng, mảnh. Chiều dài của đứt gãy có thể là hàng trăm hoặc hàng ngàn kilômét và có độ sâu ảnh hưởng xuyên cắt thạch quyển (60-130 km) và bề rộng phá hủy lớn. Sinh kèm hệ này là các đứt gãy cấp 3, 4 có mức độ ảnh hưởng nhỏ hơn. Thuộc đứt gãy cấp 2 là các hệ đứt gãy: Sông Hồng, Sông Lô, Bắc Hoàng Sa và Ba Tháp (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ đứt gãy theo các tài liệu địa chất và địa vật lý và các nguồn tài liệu khác [1, 12-16].



Đứt gãy cấp 3 thạch quyển (cấp 2 Việt Nam): các đứt này đóng vai trò phân chia mảnh, đới (khối) cấu trúc vỏ Trái đất. Chiều dài phát triển của chúng thường bị khống chế hơn (hàng trăm kilômét) và có độ sâu ảnh hưởng xuyên cắt vỏ Trái đất (có thể 50-70 km, hoặc nhỏ hơn và phụ thuộc vào bề dày của vỏ).

Các đứt gãy cấp 4, 5 trở về sau (cấp 3, 4 Việt Nam) là các đứt gãy có đới phá hủy nhỏ, bao gồm cả các đứt gãy sinh kèm của các đứt gãy lớn, độ sâu không lớn. Theo các đánh giá về mức độ liên quan đến động đất, những đứt gãy thuộc các cấp này không được đề cập tới.

Do còn nhiều hạn chế về tài liệu cũng như số liệu khảo sát, các kết quả nghiên cứu tổng quan về đứt gãy của vùng biển và thềm lục địa Việt Nam còn nhiều ý kiến khác nhau. Nhóm tác giả chúng tôi đã tổng hợp, phân tích các nguồn tài liệu từ những nghiên cứu trước đây có liên quan đến đứt gãy khu vực Biển Đông Việt Nam. Trên cơ sở đó nhóm tác giả đã đưa ra một sơ đồ tương đối tổng quan và đầy đủ về hệ thống các đứt gãy khu vực Biển Đông Việt Nam và lân cận. Đây là cơ sở cho việc xác định đứt gãy có biểu hiện hoạt động và đánh giá khả năng phát sinh động đất (sinh chấn), sóng thần trong khu vực.

Ở đây đứt gãy được phân theo các cấp 1, 2, 3... dựa vào vai trò của các đứt gãy trong việc phân chia mảng thạch quyển, vi mảng, mảnh.

Đứt gãy cấp 1 của thạch quyển là các đứt gãy phân chia các mảng, vi mảng thạch quyển. Hiện tại, lãnh thổ Việt Nam nằm ở nội mảng nên không có các đứt gãy cấp này. Trong khu vực nghiên cứu có đới hút chìm Manila, Philippines thuộc đứt gãy cấp 1 (Hình 1 và Hình 2).

### **3. Nguồn phát sinh động đất có nguy cơ gây ra sóng thần**

#### **a) Động đất cực đại $M_{max}$ có thể xảy ra trong khu vực Biển Đông Việt Nam**

Trên cơ sở phân tích các thông số địa chất, địa vật lý, địa hình trong vùng nguồn

phát sinh động đất Tuần Giáo năm 1983 và đối sánh với các tài liệu hiện có, đưa ra các dấu hiệu nhận dạng tính phân đoạn của đứt gãy hiện đại để làm cơ sở tính toán động đất cực đại.

Dựa vào các dấu hiệu biểu hiện hoạt động của đứt gãy, cùng với kết quả phân tích kết hợp các tài liệu về động đất, cơ cấu chấn tiêu, GPS, coulomb, kiến tạo, địa chất và địa vật lý. Tập thể tác giả cho rằng các đứt gãy sau đây được cho là các đứt gãy hoạt động trong khu vực nghiên cứu.

Đứt gãy có biểu hiện hoạt động động đất rõ nét là các đứt gãy đã từng ghi nhận được động đất  $M \geq 5$  xảy ra trên phạm vi ảnh hưởng của đứt gãy đó.

Danh mục động đất tác giả sử dụng ở đây là danh mục động đất Viện Vật lý Địa cầu đến hết năm 2015 và danh mục quốc tế do USGS cập nhật liên tục đến thời điểm hiện tại, được công bố trên website <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>.

Do điều kiện mạng lưới trạm ghi nhận trên khu vực Biển Đông Việt Nam, với động đất ghi nhận được  $M \geq 5$  mới đảm bảo độ tin cậy. Các đứt gãy được cho là có biểu hiện hoạt động động đất trong khu vực Biển Đông và lân cận bao gồm: Sông Hồng, Sông Lô, Bắc Hoàng Sa, Phú Lâm-Linh Cầu, Thuận Hải - Minh Hải, Ba Thập, Natuna, Baram-Palawan, Cô Tô, Lôi Châu, Hải Nam, Ốc Tai Voi, Nam Hoàng Sa, Kinh tuyến 117, Đông Côn Sơn và Kiêu Ngựa (Hình 3).

Động đất lớn nhất có thể xảy ra trên mỗi đứt gãy phát sinh động đất, được dự báo trên cơ sở công thức Wells và Copersmith 1994 [2, 3, 19]:

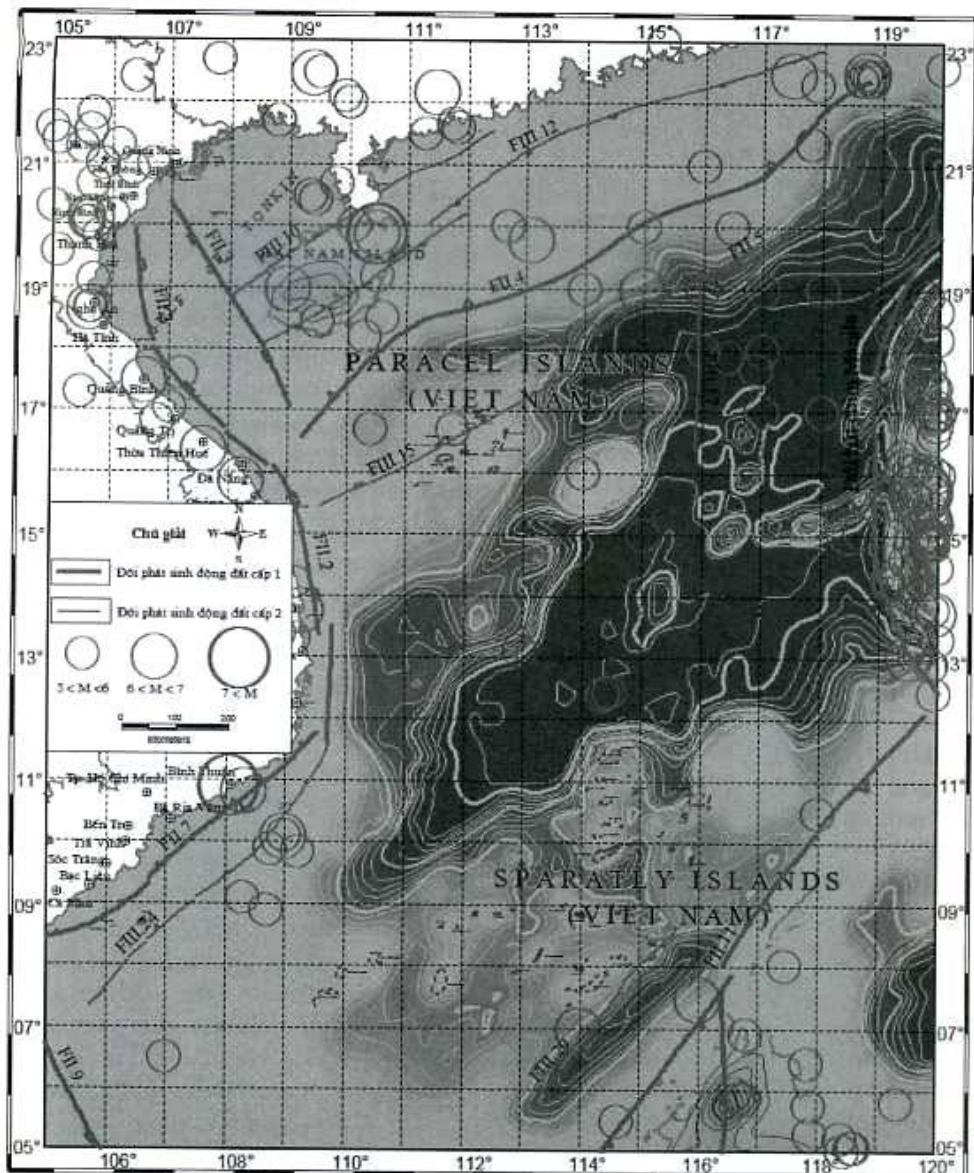
$$M = 4,38 + 1,49 \log L \quad (6)$$

Công thức (6) đã được Cao Đình Triều hiệu chỉnh cho Việt Nam 2002 [2, 3]:

$$\log L \text{ (km)} = 0,6 M_{S_{max}} - 2,5$$

Đánh giá giá trị động đất cực đại cho phân đoạn đứt gãy sau khi đã nhận dạng và phân chia theo tổ hợp tài liệu địa chất, địa vật lý và địa hình cho nhiều đứt gãy hoạt động trên lãnh thổ Việt Nam.





Hình 3. Các đứt gãy cơ biểu hiện hoạt động động đất khu vực Biển Đông Việt Nam.

Tập thể tác giả nhận thấy rằng, kết quả dự báo  $M_{max}$  khá phù hợp với các kết quả nghiên cứu về cỡ động đất, cỡ sóng thần ở Việt Nam như sau: Chu kỳ lặp lại động đất khu vực Tây Bắc Việt Nam tương ứng sẽ là: 56 năm đối với động đất có độ lớn  $M=6,0$ ; 385 năm đối với  $M=7,0$  và 2.668 năm với  $M=8,0$ ; Một trận động đất cỡ có  $M=7,0$  có thể đã xảy ra tại vùng chân tâm động đất Tuần Giáo cách đây 420-430 năm; Khả năng xảy ra

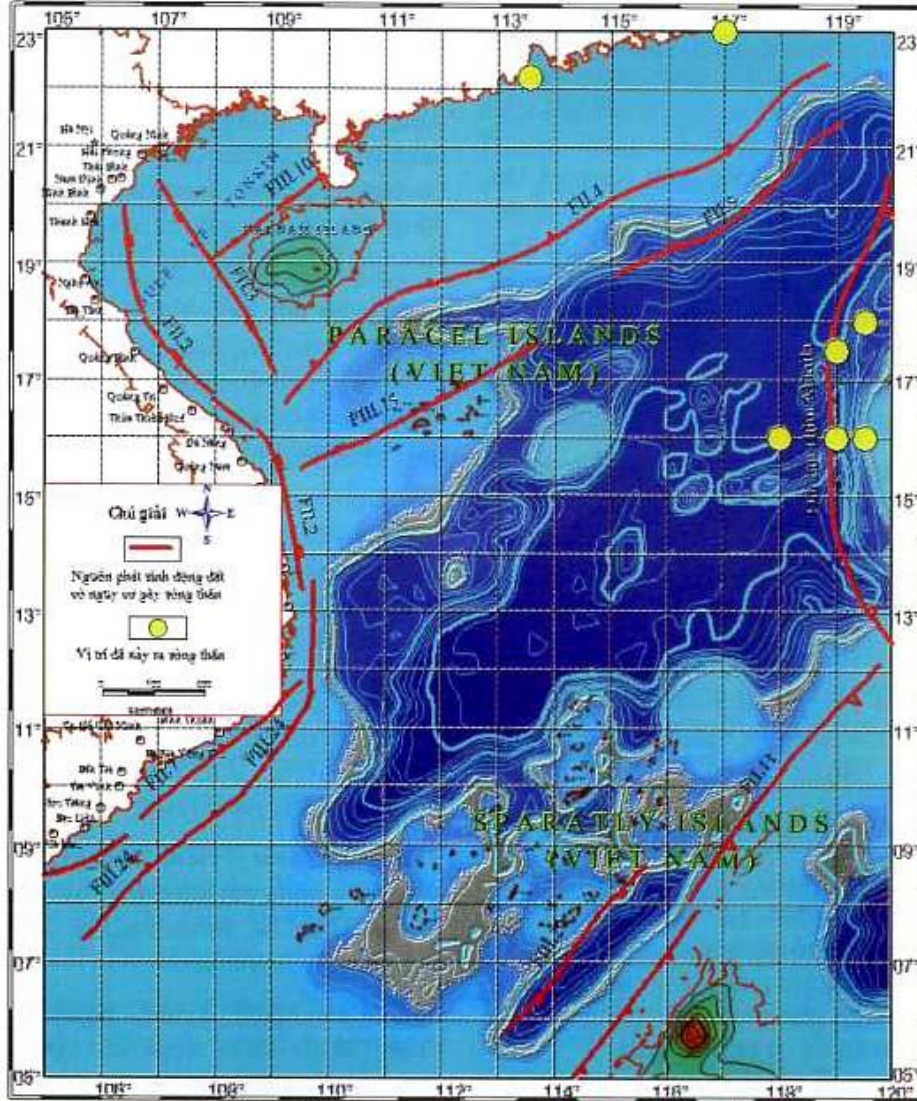
cỡ động đất tại khu vực Phong Thổ với  $M=8,0$ ; Một trận động đất cỡ có magnitud rất lớn có thể đã xảy ra tại khu vực Hòn Mun cách đây khoảng  $4.750 \pm 95$  năm; Cách đây khoảng 680 năm và 4.355 năm có thể đã xảy ra một trận sóng thần tại khu bờ biển các huyện Diễn Châu và Quỳnh Lưu, tỉnh Nghệ An. Không loại trừ khả năng cả hai trận cỡ sóng thần trên là kết quả của một trận động đất từ ngoài biển.



**b) Nguồn động đất có nguy cơ gây sóng thần khu vực Biển Đông Việt Nam**

Nguồn phát sinh động đất có nguy cơ gây ra sóng thần mà các tác giả đưa ra ở đây là các đứt gãy hoạt động, có biểu hiện hoạt động động đất đã ghi nhận được có  $M > 5$ . Trên thế giới, ở các nước có độ dốc đường bờ biển cao và vùng biển nước sâu thì động đất có  $M > 6,0$ , có thể gây ra

sóng thần. Việt Nam có độ dốc đường bờ biển không cao, vùng biển gần bờ phần lớn là vùng nước nông nên với động đất  $M > 7,0$  mới có thể gây ra sóng thần. Như vậy với động đất dự báo cực đại  $M_{max}$  có thể xảy ra trên các đứt gãy này phải có  $M > 7,0$  được cho là nguồn động đất gây sóng thần (Hình 4).



Hình 4. Sơ đồ nguồn động đất có nguy cơ gây ra sóng thần.

Đới hút chìm Manila, đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Sông Lô, đứt gãy Bắc Hoàng Sa, đứt gãy Phú Lâm - Linh Cầu, đứt gãy Thuận Hải - Minh Hải, đứt gãy

Baram - Palawan, đứt gãy Ốc Tai Voi, đứt gãy Đông Côn Sơn và đứt gãy Kiều Ngựa, là những đứt gãy phát sinh động đất được dự báo có thể phát sinh động đất



$M > 7,0$ , được cho là các nguồn phát sinh động đất có thể gây sóng thần trong khu vực Biển Đông Việt Nam.

Ngoài đới hút chìm đang hoạt động Manila, các đứt gãy nghịch: Bắc Hoàng Sa, Kinh tuyến 110, Kinh tuyến 109, Shabah và Palawan có biểu hiện như là dấu tích của các đới hút chìm cổ.

Động đất mạnh nhất có thể xảy ra dọc đới hút chìm Manila có thể đạt tới 8,85 độ Richter [1-5, 7, 10, 17].

## V. THẢO LUẬN

Khu vực Biển Đông Việt Nam và lân cận bao gồm vùng biên rộng lớn, thuộc chủ quyền nhiều quốc gia khác nhau. Khu vực này có đặc điểm địa chất kiến tạo và địa động lực khá phức tạp. Mặc dù có rất nhiều đề tài và dự án gần đây nhất là KC.09 đã nghiên cứu tổng thể và tương đối chi tiết và đầy đủ về Biển Đông.

Hiện nay các nhà khoa học nghiên cứu về Biển Đông vẫn còn nhiều tranh cãi về các vấn đề như lịch sử tiến hóa, kiến tạo, địa động lực và đặc biệt là động đất và sóng thần ở khu vực này.

Cho đến thời điểm hiện nay vẫn chưa có một đề tài hay dự án nào được đầu tư khảo sát địa vật lý tổng thể và đồng bộ cho khu vực Biển Đông. Chúng ta vẫn đang sử dụng nhiều nguồn số liệu khác nhau không đồng bộ và độ chi tiết cũng khác nhau.

Mạng lưới trạm quan trắc động đất cho khu vực này có thưa thớt phần lớn các trạm nằm sâu trong đất liền các quốc gia. Vì vậy việc ghi nhận các động đất có  $M < 4,0$  có độ tin cậy không cao.

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã phân tích tài liệu từ, trọng lực vệ tinh để xác định lại các đứt gãy lớn trong khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, các tác giả còn thu thập từ kết quả của các công trình đã nghiên cứu trước đó nhằm đưa ra một sơ

đồ đứt gãy đầy đủ và tin cậy hơn để xác định nguồn phát sinh động đất gây sóng thần trong khu vực Biển Đông và lân cận.

## VI. KẾT LUẬN

Đới hút chìm Manila, đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Sông Lô, đứt gãy Bắc Hoàng Sa, đứt gãy Phú Lâm - Linh Cầu, đứt gãy Thuận Hải - Minh Hải, đứt gãy Baram-Palawan, đứt gãy Ốc Tai Voi, đứt gãy Đông Côn Sơn và đứt gãy Kiều Ngựa là các nguồn được dự báo có thể xảy ra động với  $M > 7,0$ . Động đất mạnh nhất có thể xảy ra dọc đới hút chìm Manila, có  $M$  khoảng 8,85. Đây là các nguồn phát sinh động đất có thể gây ra sóng thần trong khu vực Biển Đông Việt Nam.

- Ngoài đới hút chìm đang hoạt động Manila, các đới đứt gãy nghịch: Bắc Hoàng Sa, Kinh tuyến 109, Shabah và Palawan có biểu hiện như là dấu tích của các đới hút chìm cổ.

- Đới hút chìm Manila được xem là nguồn xa có nguy cơ gây sóng thần nguy hiểm nhất với khu vực Biển Đông, đặc biệt là đối với bờ biển và hải đảo Việt Nam.

## VĂN LIỆU

1. **Bùi Công Quế và nnk., 2010.** Nguy hiểm động đất và sóng thần vùng ven biển Việt Nam. *Nxb Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 314 tr.*

2. **Cao Đình Triều, 2002.** Đặc trưng hoạt động động đất khu vực Tuần Giáo và kế cận. *TC Các Khoa học về Trái đất, 24/5: tr 40-51. Hà Nội.*

3. **Cao Đình Triều, Nguyễn Đức Vinh, 2012.** Phân đoạn đứt gãy trong đánh giá động đất cực đại ở Việt Nam. *TC Địa chất, A/331-332:59-68. Hà Nội.*

4. **Cao Đình Triều, Phạm Huy Long, 2002.** Kiến tạo đứt gãy lãnh thổ Việt Nam. *Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, 200 tr.*

5. Cao Đình Triều, Phạm Huy Long, 2002. Về kiến tạo đứt gãy Biên Đông và kề cận trong Kainozoi. *TC Khoa học và Công nghệ biển*, T3/3:17-31. Hà Nội.
6. Cao Đình Triều, 2005. Trường Địa vật lý và cấu trúc thạch quyển lãnh thổ Việt Nam, *Nxb Khoa học Kỹ thuật*. Hà Nội, 330 tr.
7. Cao Đình Triều, Phạm Nam Hưng, 2008. Đới đứt gãy sâu có nguy cơ phát sinh động đất mạnh trên phạm vi Biên Đông Việt Nam và kề cận. *Tuyển tập Báo cáo khoa học, hội nghị khoa học địa chất biển toàn quốc lần thứ nhất*, tr 491-497.
8. Chu Văn Ngợi (Chủ biên) và nnk, 2015. Nghiên cứu kiến tạo, địa động lực, cơ chế hình thành và phát triển các bể Kainozoi Phú Khánh, Nam Côn Sơn, Tư Chính - Vũng Mây dưới ảnh hưởng của tách giãn Biên Đông và bối cảnh kiến tạo - địa động lực các vùng kề cận phục vụ điều tra đánh giá tiềm năng khoáng sản, dầu khí. *Báo cáo tổng kết đề tài KC.09.20/11-15*. Lưu Bộ Khoa học và Công nghệ.
9. Liên đoàn Vật lý Địa chất, 1995. Bản đồ dị thường từ hàng không thành phần  $\Delta T_a$  tỷ lệ 1:500000. Lưu trữ Liên đoàn Địa vật lý Địa chất. Hà Nội.
10. Nguyễn Hồng Phương, 2004. Bản đồ độ nguy hiểm động đất Việt Nam và Biên Đông. *TC Các Khoa học về Trái đất*, T2/26:97-111. Hà Nội.
11. Nguyễn Như Trung (Chủ biên) và nnk, 2015. Nghiên cứu tổng hợp các điều kiện địa chất, địa động lực khu vực vịnh Bắc Bộ phục vụ công tác quy hoạch phát triển kinh tế vùng Đông Bắc Việt Nam. *Báo cáo tổng kết đề tài KC.09.09/11-15*. Lưu Bộ Khoa học và Công nghệ.
12. Nguyễn Trọng Tín (Chủ biên) và nnk, 2015. Nghiên cứu cấu trúc địa chất các bể trầm tích KZ vùng nước sâu (trên 200m nước) Biên Đông Việt Nam và đánh giá tài nguyên năng lượng và khoáng sản. *Báo cáo tổng kết đề tài KC.09.03/11-15*. Lưu Bộ Khoa học và Công nghệ.
13. Nguyễn Văn Dương, Nguyễn Văn Lương, 2007. Trường ứng suất kiến tạo và các chuyển động hiện đại trong vỏ Trái đất trong đới hút chìm Manila và lân cận. *TC Các Khoa học về Trái đất*, T3/29:239-248. Hà Nội.
14. Phan Trọng Trịnh (Chủ nhiệm), 2012. Kiến tạo trẻ và địa động lực hiện đại vùng biển Việt Nam và kề cận. *Nxb Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, Hà Nội. 328 tr.
15. Phùng Văn Phách (Chủ biên) và nnk, 2015. Nghiên cứu cấu trúc địa chất và tiến hóa Biên Đông phục vụ xác lập đường chủ quyền lãnh hải Việt Nam, dự báo tài nguyên năng lượng và khoáng sản. *Báo cáo tổng kết đề tài KC.09.02/11-15*. Lưu Bộ Khoa học và Công nghệ.
16. Trịnh Xuân Cường (chủ biên) và nnk, 2015. Nghiên cứu kiến tạo - địa động lực trong Kainozoi các bể dầu khí phía Bắc Biên Đông Việt Nam (bắc bể Phú Khánh, nam bể Sông Hồng và nam Hải Nam) và đánh giá tiềm năng khoáng sản, dầu khí. *Báo cáo tổng kết đề tài KC.09.23/11-15*. Lưu Bộ Khoa học và Công nghệ.
17. Wells D.L. and Coppersmith, K.J., 1994. New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v 84, pp. 974-1002.