

## Scenario-based tsunami hazard assessment for the coast of Vietnam from the 109° Meridian fault zone

Nguyen Hong Phuong<sup>1,2,3</sup>, Bui Cong Que<sup>1</sup>, Vu Van Phong<sup>1</sup>, Pham The Truyen<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geophysics, VAST, Vietnam*

<sup>2</sup>*Graduate University Science and Technology, VAST, Vietnam*

<sup>3</sup>*IRD, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, 93143 Bondy Cedex, France*

\*E-mail: [ptt502@gmail.com](mailto:ptt502@gmail.com)

Received: 12 July 2020; Accepted: 1 December 2020

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

### Abstract

Located on the continental shelf and stretching approximately 1,000 km along the Central and Southern Central coasts of Vietnam, the 109° Meridian Fault system has long been recognized as seismically active. Empirical evidence of the seismic, volcanic, and submarine landslide activities also suggests that this fault might be capable of originating near-field tsunamis, which can harm the Vietnamese coastal zone. This paper investigates the possibility of the near-field tsunamis from the 109° Meridian Fault and their impact on the Vietnamese coasts. Location and segmentation of the 109° Meridian fault were determined using seismological, geophysical data, and geomorphologic evidence. The fault's seismotectonic and geodynamic characteristics were used to model the tsunami source. The COMCOT model was used for simulating three worst-case tsunami scenarios excited by earthquakes with  $M_w = 8.0$  originated in two different segments of the 109° Meridian Fault source. The relationship between tsunami wave height and the source-to-coast travel time is investigated in detail at the virtual sea-level stations distributed along the Vietnamese coastline. The simulation results are presented in the deep-ocean tsunami amplitude maps for the entire East Vietnam Sea region and the coastal tsunami amplitude maps for the Vietnamese coasts. The simulation results show the highest tsunami hazards concentrated along the Central and Southern Central Vietnam coastal zones (from Quang Nam province to Ba Ria-Vung Tau province), with the highest tsunami waves not exceeding 4 m observed off-shore the Quang Ngai, Phu Yen and Ninh Thuan provinces. The shortest tsunami travel time from the source to the Southern Central coast is 35 minutes. Due to its strike-slip mechanism, there is a low possibility of the 109° Meridian fault generating earthquake-triggered tsunamis. Moreover, even if they occurred, the near-field tsunamis generated from the 109° Meridian fault source can hardly cause severe damage and losses for the coastal zones of Vietnam, as shown by the simulation results. Nevertheless, the worst-case scenarios simulation results provide the highest risk that the near-field tsunamis from the 109° Meridian fault source might affect the Vietnamese coasts, which is helpful for the national tsunami warning and response purpose.

**Keywords:** The 109° Meridian Fault, worst case tsunami scenarios, tsunami hazards, COMCOT model.

---

*Citation:* Nguyen Hong Phuong, Bui Cong Que, Vu Van Phong, Pham The Truyen, 2021. Scenario-based tsunami hazard assessment for the coast of Vietnam from the 109° Meridian fault zone. *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 21(4), 449–470.

## Đánh giá độ nguy hiểm sóng thần do đới đứt gãy kinh tuyến 109° gây ra cho các vùng bờ biển Việt Nam

Nguyễn Hồng Phương<sup>1,2,3</sup>, Bùi Công Quế<sup>1</sup>, Vũ Văn Phòng<sup>1</sup>, Phạm Thế Truyền<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam*

<sup>2</sup>*Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam*

<sup>3</sup>*IRD, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, 93143 Bondy Cedex, France*

\*E-mail: [ptt502@gmail.com](mailto:ptt502@gmail.com)

Nhận bài: 12-7-2020; Chấp nhận đăng: 1-12-2020

### Tóm tắt

Đới đứt gãy kinh tuyến 109° trải dài gần 1.000 km trên vùng thềm lục địa miền Trung và Nam Trung Bộ Việt Nam. Những bằng chứng về hoạt động động đất, núi lửa và trượt lở ngầm dưới đáy biển dọc theo đới đứt gãy kinh tuyến 109° cho thấy khả năng sinh chấn của đới đứt gãy này. Ngoài khả năng phát sinh động đất, đới đứt gãy kinh tuyến 109° cũng được đánh giá là một vùng nguồn sóng thần gần có thể gây thiệt hại cho các vùng bờ biển của Việt Nam. Bài báo này trình bày việc áp dụng mô hình COMCOT để mô phỏng các kịch bản sóng thần cực đại do động đất phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến 109° gây ra và đánh giá tác động của sóng thần tới các vùng bờ biển của Việt Nam. Mô hình nguồn động đất gây sóng thần cực đại được xây dựng trên cơ sở nghiên cứu các đặc trưng địa chấn kiến tạo và địa động lực của đới đứt gãy kinh tuyến 109° sử dụng các tài liệu động đất, địa chất và địa vật lý đã công bố. Ba kịch bản sóng thần cực đại được xây dựng với giả thiết được gây ra bởi các trận động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$  phát sinh trên hai đoạn của đới đứt gãy kinh tuyến 109°. Các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến 109° được thể hiện dưới dạng các bản đồ phân bố độ cao sóng trên toàn Biển Đông và tại đường bờ biển của Việt Nam. Tương quan giữa độ cao sóng và thời gian lan truyền sóng thần khi tới bờ được khảo sát chi tiết tại các trạm quan trắc mực nước biển ảo phân bố dọc theo toàn bộ dải ven biển Việt Nam. Các kết quả mô phỏng cho thấy độ nguy hiểm sóng thần tập trung chủ yếu dọc theo dải ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ Việt Nam (đoạn từ tỉnh Quảng Nam đến tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu), với độ cao sóng lớn nhất không vượt quá 4 m tại ngoài khơi các tỉnh Quảng Ngãi, Phú Yên và Ninh Thuận. Thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ nguồn tới bờ biển Nam Trung Bộ là 35 phút. Với cơ chế trượt bằng, đới đứt gãy kinh tuyến 109° được đánh giá là không có nhiều khả năng phát sinh động đất mạnh gây sóng thần. Ngoài ra, các kết quả mô phỏng trong nghiên cứu này cũng cho thấy sóng thần phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° cũng khó có thể gây ra thiệt hại đáng kể cho vùng bờ biển của Việt Nam. Tuy nhiên, các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại cho phép dự báo cận trên của mức độ rủi ro mà sóng thần nguồn gần có thể gây ra cho dải ven biển Việt Nam, đồng thời cung cấp những thông tin hữu ích cho công tác cảnh báo và ứng phó sóng thần ở phạm vi quốc gia.

**Từ khóa:** Đới đứt gãy kinh tuyến 109°, kịch bản sóng thần cực đại, độ nguy hiểm sóng thần, mô hình COMCOT.

### MỞ ĐẦU

Sóng thần là một trong những loại hình tai biến thiên nhiên có mức độ hủy diệt cao nhất. Mặc dù có tần suất xuất hiện không cao, nhưng

mỗi khi xảy ra, sóng thần có thể trở thành thảm họa cho nhân loại. Những thiệt hại vô cùng nặng nề do những trận sóng thần xảy ra trên các vùng biển Ấn Độ Dương và Thái Bình

Dương trong vòng hai thập kỷ trở lại đây đã thúc đẩy mạnh mẽ sự phát triển của các hệ thống cảnh báo và ứng phó sóng thần ở nhiều phạm vi khác nhau, từ khu vực đến quốc gia.

Ở Việt Nam, hệ thống cảnh báo sóng thần quốc gia bắt đầu đi vào hoạt động từ năm 2007, với sự ra đời của Trung tâm Báo tin động đất và Cảnh báo sóng thần, Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Do vị trí địa lý, hiểm họa sóng thần đối với các vùng bờ biển Việt Nam chủ yếu được phát sinh trên khu vực Biển Đông. Khác với những quốc gia thường xuyên phải chịu thiệt hại do sóng thần, ở Việt Nam không tồn tại bất cứ một văn liệu nào mô tả một cách cụ thể về sóng thần trong quá khứ. Vì vậy, việc nghiên cứu và đánh giá độ nguy hiểm sóng thần trên khu vực Biển Đông chủ yếu dựa trên cách tiếp cận tất định, theo đó các kịch bản sóng thần được xây dựng và mô phỏng để dự báo tác động của sóng thần tới các vùng bờ biển của Việt Nam. Việc mô phỏng và tính sẵn các kịch bản sóng thần trên khu vực Biển Đông cũng đóng vai trò quan trọng trong việc cảnh báo sớm và ứng phó sóng thần ở Việt Nam trên phạm vi quốc gia.

Để xây dựng các kịch bản sóng thần có khả năng gây nguy hiểm cho Việt Nam, các vùng nguồn phát sinh động đất gây sóng thần được xác định trên toàn bộ khu vực Biển Đông và các vùng biển kề cận trên cơ sở nghiên cứu và phân tích các đặc trưng kiến tạo địa động lực khu vực Đông Nam Á [1]. Trong số các vùng nguồn sóng thần được xác định trên khu vực Biển Đông, hai vùng nguồn được coi là nguy hiểm nhất đối với Việt Nam là vùng nguồn máng biển sâu Manila và vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109°. Trong số các vùng nguồn sóng thần được xác định trên khu vực Biển Đông, hai vùng nguồn được coi là nguy hiểm nhất đối với Việt Nam là vùng nguồn máng biển sâu Manila và vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109°. Trong khi vùng nguồn máng biển sâu Manila được đánh giá là có khả năng phát sinh động đất mạnh gây sóng thần hủy diệt thì vùng nguồn kinh tuyến 109° lại nguy hiểm bởi vì nằm ngay trên thềm lục địa Việt Nam. Việc nghiên cứu các đặc điểm địa chấn kiến tạo địa động lực và hình học của đới đứt gãy kinh tuyến 109° sẽ cung cấp những thông tin quan

trọng cho việc xác định các tham số nguồn sử dụng trong mô phỏng các kịch bản sóng thần nguồn gần ở Việt Nam.

Cho đến nay, đã có nhiều nghiên cứu trình bày các kết quả mô phỏng các kịch bản sóng thần cực đoan phát sinh trên vùng nguồn máng biển sâu Manila và tác động của chúng tới các quốc gia nằm trong khu vực Biển Đông [2–4]. Tuy nhiên, cho đến nay kịch bản sóng thần duy nhất phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° được mô phỏng là kịch bản được giả thiết là do động đất có độ lớn  $M_w = 7,0$  gây ra. Trong nghiên cứu này, các kịch bản sóng thần cực đại do động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$  được mô phỏng, áp dụng mô hình nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° mới được xây dựng trên cơ sở sử dụng tập hợp số liệu địa chấn, địa vật lý và địa chất mới cập nhật gần đây nhất.

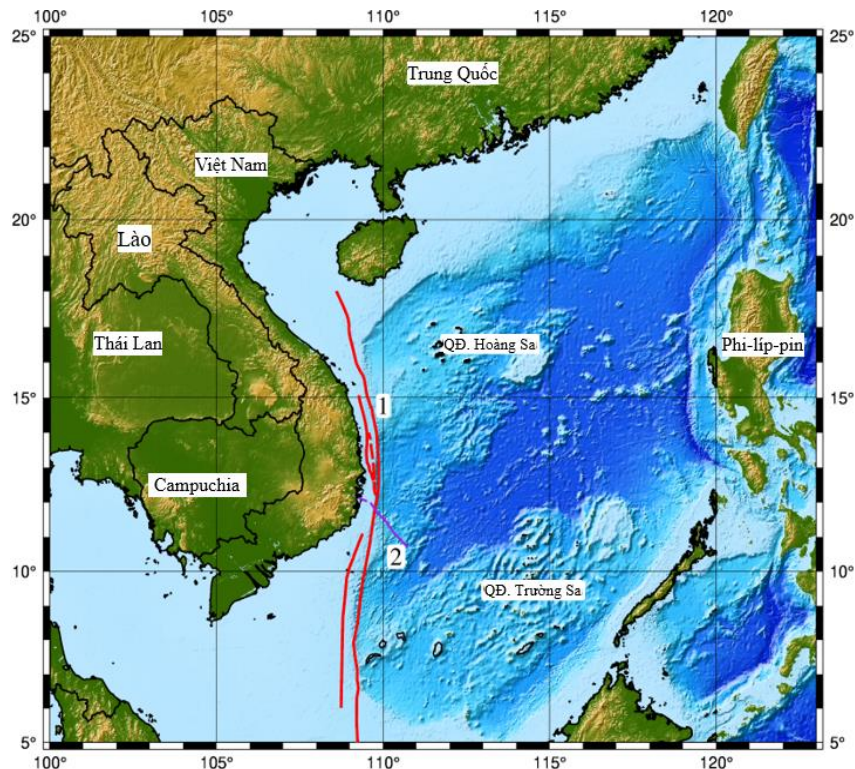
### CÁC ĐẶC TRƯNG ĐỊA CHẤN KIẾN TẠO VÀ ĐỊA ĐỘNG LỰC CỦA ĐỚI ĐỨT GẦY KINH TUYẾN 109°

Nằm trên thềm lục địa miền Trung và Nam Trung bộ, toàn bộ đới đứt gãy Kinh tuyến 109° kéo dài theo hướng bắc-nam từ vĩ tuyến 12°N xuống tới vĩ tuyến 6°N, với chiều dài trên 1.000 km làm nổi bật và không chế toàn bộ bình đồ kiến tạo vùng nghiên cứu (hình 1). Theo các kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả quốc tế, đới đứt gãy kinh tuyến 109° được xem là đứt gãy trượt bằng phải và có liên quan đến sự hình thành Biển Đông [5]. Sự tồn tại của đới đứt gãy này trong Kainozoi như là ranh giới phân chia đơn vị kiến trúc có lớp vỏ kiểu lục địa ở phía tây và đơn vị kiến trúc có lớp vỏ đại dương ở phía đông trên khu vực Biển Đông đã được khẳng định trong nhiều công trình nghiên cứu phân vùng cấu trúc và kiến tạo hiện đại khu vực Biển Đông của các tác giả Việt Nam [6–8].

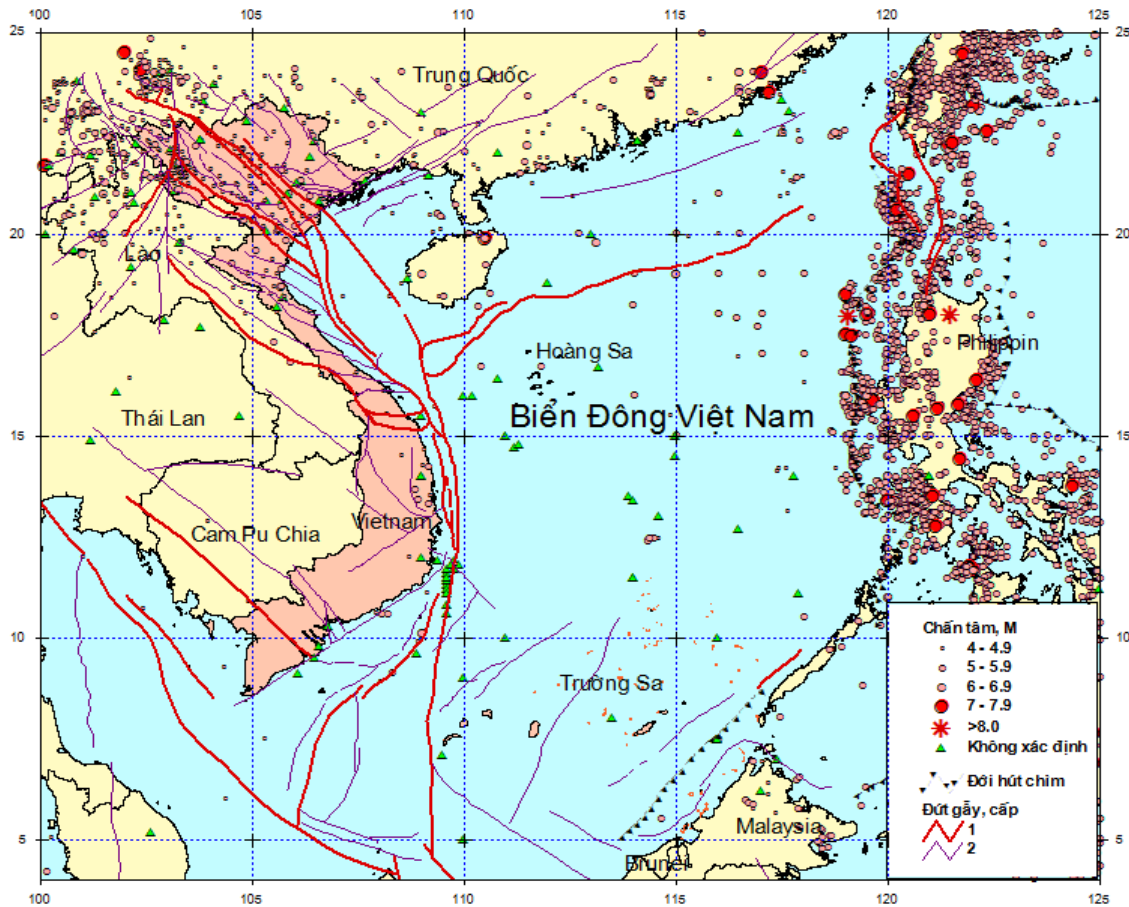
Vị trí phân bố và các tham số hình học của đới đứt gãy kinh tuyến 109° được xác định trên cơ sở các tài liệu địa chất và địa vật lý. Sử dụng dữ liệu trọng lực vệ tinh, Nguyễn Như Trung và nnk., (2004) đã xác định một trường dị thường trọng lực dương cao dọc theo đứt gãy kinh tuyến 109° (từ vĩ độ 17°N đến 6°N) có chiều rộng khoảng 50–60 km, có giá trị từ 15–45 mGal nằm trên một phông dị thường thấp từ -30 mGal đến 0 mGal [9]. Dải dị thường trọng lực này đặc trưng cho kiểu cấu trúc vỏ rìa lục

địa thụ động nơi mặt Moho nâng lên cao đột ngột và vỏ Trái đất bị giập vỡ kéo theo sự nâng trôi của các dòng magma lên vỏ. Tác giả cũng sử dụng phương pháp gradient ngang để xác định vị trí và hướng đồ của các đứt gãy trong đới kinh tuyến  $109^{\circ}$  với giả thiết là vị trí đứt gãy trùng với các dải vectơ gradient cực đại kéo dài và có cùng phương và quy mô của các đứt gãy được ước lượng từ các dị thường trọng lực ở các mức nâng trường (hay tần số) khác nhau. Ở những phạm vi khác nhau và tại những phân đoạn khác nhau, vị trí và các đặc trưng hình học của đới đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$  cũng được một số tác giả khác xác định trên cơ sở phân tích các tài liệu trọng lực, từ và địa chấn thăm dò [5, 10]. Các kết quả nghiên cứu đều đi đến sự thống nhất là đới đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$  là một hệ thống đứt gãy cắm sâu xuyên qua vỏ Trái đất vào tầng Thượng Manti, với góc cắm khoảng  $60-80^{\circ}$ . Hướng cắm của đới đứt gãy chủ yếu là từ đất liền ra biển, nhưng thay đổi khá phức tạp theo độ sâu. Cụ thể là ở phần trên, đới đứt gãy cắm ra hướng biển,

nhưng phần nằm sâu hơn lại cắm về phía đất liền. Dọc theo bờ biển miền Trung và Nam Trung Bộ Việt Nam, đới đứt gãy phân bố chủ yếu theo hướng bắc-nam nhưng bị gián đoạn tại hai điểm. Tại vùng Cù lao Xanh (vĩ độ  $14^{\circ}\text{N}$ ), xuất hiện một nhánh đứt gãy chạy dọc theo phía nam quần đảo Hoàng Sa và gặp đứt gãy Nam Hải Nam. Tại vùng biển Khánh Hòa gần vĩ độ  $12^{\circ}\text{N}$ , đới đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$  lại bị cắt bởi đới khâu Tuy Hòa, được một số tác giả cho là ranh giới phía tây nam của vỏ đại dương với vỏ lục địa. Về phía nam đới khâu Tuy Hòa, đới đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$  tách thành hai nhánh chạy xuống phía nam. Nhánh thứ nhất chạy dọc theo ranh giới bể Cửu Long-Nam Côn Sơn xuống phía tây nam, hướng về phía bể Malay - Thổ Chu, còn nhánh thứ hai chạy dọc theo kinh tuyến  $110^{\circ}$ . Cho đến nay, đã có nhiều bản đồ phản ánh vị trí phân bố của đới đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$  được thành lập ở những tỷ lệ khác nhau, giới hạn trong những phạm vi khác nhau, từ thêm lục địa Việt Nam đến khu vực Biển Đông Việt Nam và Đông Nam Á [11, 12].



Hình 1. Các đới đứt gãy trên khu vực Biển Đông được nói đến trong nghiên cứu này:  
1) Đới đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$ , 2) Đới khâu Tuy Hòa



Hình 2. Hệ thống đứt gãy Kinh tuyến 109° thể hiện trên bản đồ địa chấn kiến tạo lãnh thổ Việt Nam và khu vực Biển Đông [16]

Dưới quan điểm của thuyết kiến tạo mảng, nhiều chuyên gia cho rằng sự va chạm giữa mảng Ấn Độ và mảng Âu Á đã sinh ra các đới đứt gãy trượt bằng trái, trong đó có đới Ailaoshan - sông Hồng cùng với sự xoay theo chiều kim đồng hồ của bán đảo Đông Dương dẫn đến tách giãn Biển Đông [13–15]. Năm 2003, Nguyễn Văn Lương đã thành lập danh mục cơ cấu chấn tiêu của 136 trận động đất ghi nhận được trên khu vực Biển Đông để đánh giá trường ứng suất khu vực này. Tuy nhiên, trong danh mục này không có động đất nào có cơ cấu chấn tiêu được xác định xảy ra trên đới đứt gãy kinh tuyến 109°. Mặc dù thiếu các tài liệu về cơ cấu chấn tiêu động đất, trường ứng suất của đới đứt gãy kinh tuyến 109° vẫn được xây dựng trên cơ sở các tài liệu địa chất, địa mạo, địa vật lý và vật lý kiến tạo. Cơ chế địa động lực hiện đại của các đứt gãy chính được xác định là

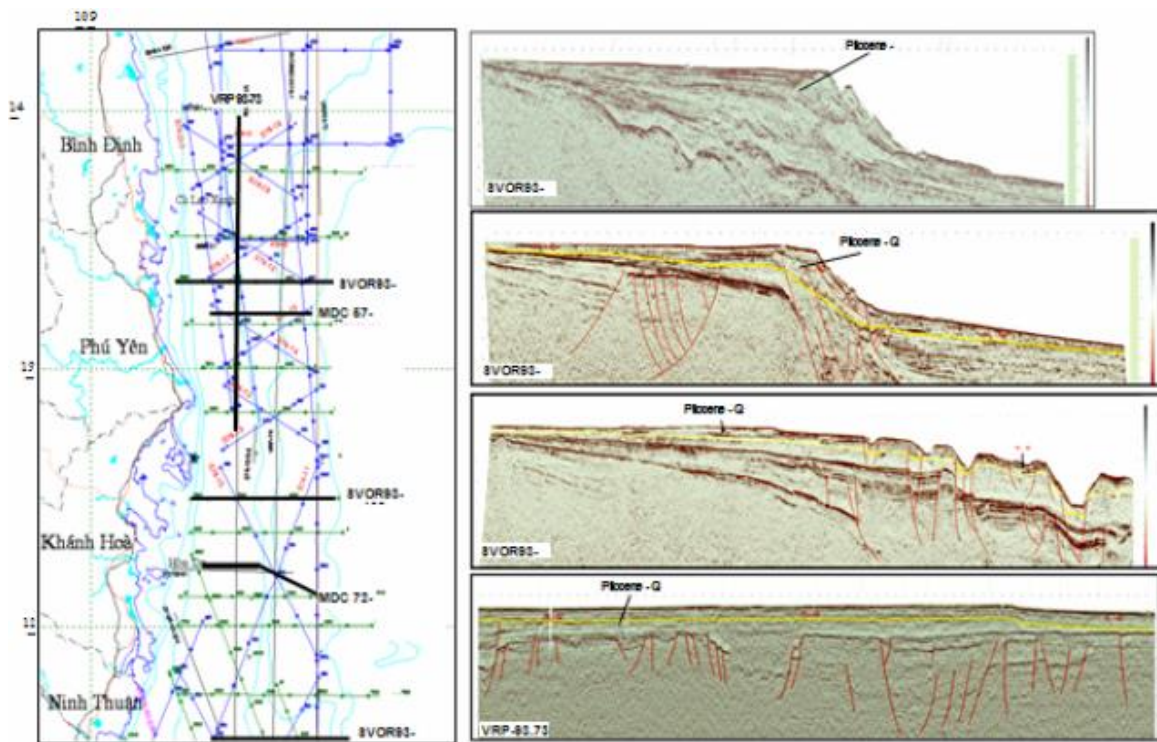
chuyển động trượt bằng thuận phải dọc theo hướng bắc-nam. Điều này giải thích hợp lý cho quá trình dịch chuyển về phía nam của khối Biển Đông so với địa khối Đông Dương. Trường ứng suất trong đới đứt gãy kinh tuyến 109° có thể được mô hình bởi trục ứng suất nén gần nằm ngang theo phương tây bắc-đông nam 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 đới đứt gãy.

Hoạt động của đới đứt gãy kéo dài trong suốt Kainozoi đến Pliocen - Đệ tứ làm cho móng trước Kainozoi sụt dần ra phía trung nước sâu Biển Đông [16]. Cụ ly dịch chuyển phải dọc sườn dốc đông Việt Nam là 190 km trong khoảng thời gian 26–29 triệu năm và đến khi ngừng tách giãn Biển Đông là 350 km [17, 18]. Các tài liệu địa chấn thăm dò cho



thấy trong giai đoạn Holocen - hiện đại, đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  hoạt động trở lại. Hoạt động đương đại của nó làm sụt bậc, biến dạng tầng trầm tích Pleistocen - Holocen dọc theo rìa lục địa miền Trung. Trên các mặt cắt địa chấn ngang qua đới, từ tây sang đông cho thấy trên đới đứt gãy này rất phát triển các đới sụt lớn về phía biển sâu. Hoạt động của hệ thống này đã làm vùng biển Tuy Hoà - Phan Rang sụt xuống khá nhanh, tạo ra ở khu vực cách bờ khoảng 80 km sườn dốc lục địa. Độ

sâu ở khu vực này vượt quá 1.000 m. Trong khi khu vực sát bờ biển Phan Rang - Tháp Chàm có chiều sâu của móng trước Kainozoi chỉ nằm ở độ sâu một vài trăm mét thì ở khu vực cách bờ khoảng 50 km, độ sâu mặt móng này đã chìm đến độ sâu 2-3 km, còn xa hơn về phía ngoài khơi, độ sâu móng đã vượt quá 4-5 km. Về phía nam, ở ngoài khơi Nam Bộ, các đứt gãy á kinh tuyến trong đới tiếp tục phát triển mạnh ở khu vực đảo Phú Quý, Hòn Tro, Hòn Hải.



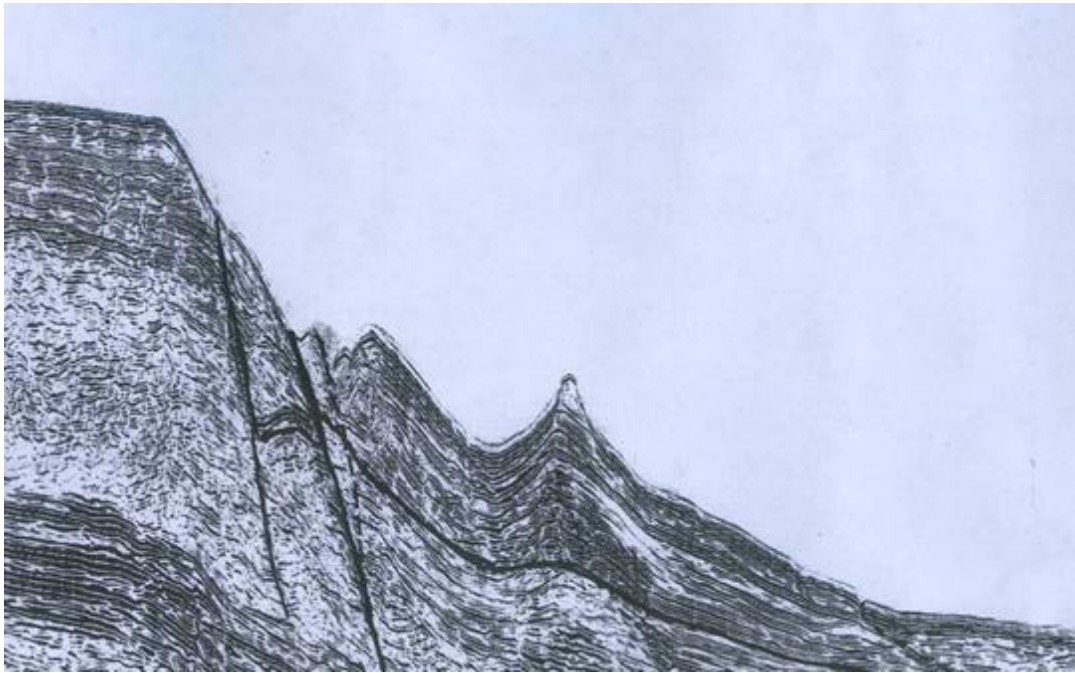
Hình 3. Trầm tích Pliocen - Đệ tứ bị đứt gãy hiện đại kinh tuyến  $109^\circ$  cắt qua trên tài liệu địa chấn theo các tuyến SVOR93- và MDC ở thềm lục địa miền Trung Việt Nam [19]

Hoạt động của đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  còn tạo ra các quá trình phun trào núi lửa. Trên thềm lục địa Việt Nam, các hoạt động phun trào núi lửa N2-Q1 và các hoạt động phun trào núi lửa hiện đại rất phát triển dọc các kinh tuyến  $109^\circ$  và  $109^\circ 30'$ . Các hoạt động này kéo dài từ Quảng Bình, Vĩnh Linh xuống Đà Nẵng, Quảng Ngãi, Ninh Thuận, Bình Thuận, đặc biệt là khu vực Phú Quý, Hòn Tro và phần phía đông nam của các đảo này. Hoạt động núi lửa ở khu vực các đảo Hòn Tro và Phú Quý là các hoạt động núi lửa trẻ nhất và

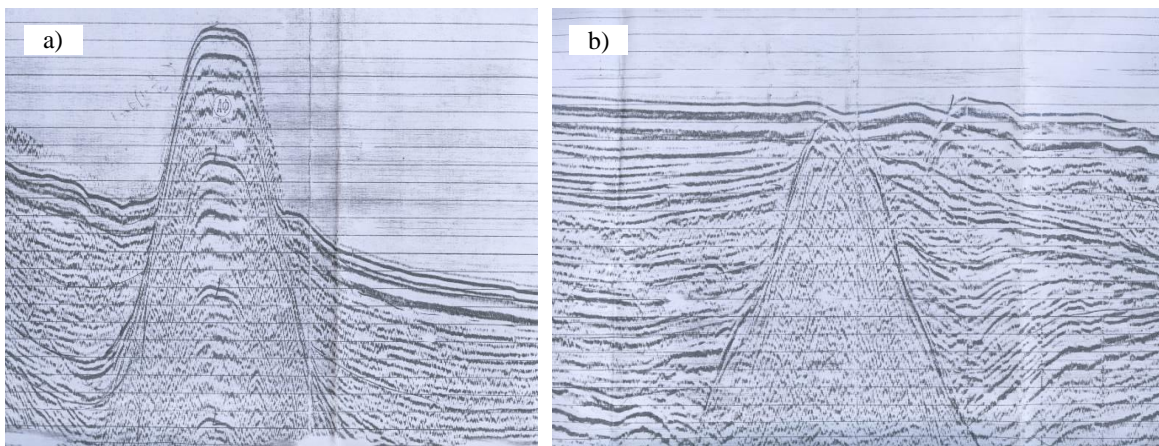
có quy mô lớn nhất ở vùng biển Việt Nam. Các hoạt động núi lửa xảy ra trong thế kỷ 20 bao gồm núi lửa Hòn Tro năm 1923, Hòn Nước năm 1960, 1963. Đi kèm với các hoạt động phun trào núi lửa này đã từng ghi nhận các trận động đất có độ lớn đạt 6,1 độ và gần đây nhất là trận động đất năm 2005 với độ lớn 5,3 độ theo thang mô men. Các hoạt động núi lửa Hòn Tro, Phú Quý có thể phát triển kéo dài đến 100 km từ vùng biển Tuy Phong qua khu vực đảo Phú Quý xuống phía nam ở khu vực các đảo Hòn Tro, Hòn Hải, Hòn Nước.

Theo các số liệu địa chấn và đo từ biển thì núi lửa ở khu vực Hòn Tro, Phú Quý gồm hai khối lớn phát triển dọc đứt gãy  $109^\circ$  đi qua đảo Phú Quý, Hòn Tro có chiều dài gần 100 km, chiều rộng xấp xỉ 30 km và trải ra trên diện tích 3.000–4.000 km<sup>2</sup>. Hình ảnh của hoạt động núi lửa Hòn Tro được ghi nhận trên nhiều tuyến đo địa chấn của Mandrell. Hoạt động núi lửa cũng được phát hiện ở khu vực đông nam Hòn Tro, dọc kinh tuyến  $109^\circ 30'$  trên các mặt cắt

địa chấn của tuyến Malurghin 65-84, 68-84, 69-84 (hình 5a và 5b). Phun trào núi lửa ở khu vực này gồm các khối nhô cao trên đáy biển hiện tại và phát triển trên diện tích kéo dài 70–80 km, rộng 20–30 km nằm dọc rìa thềm phía đông của thềm lục địa Nam Bộ. Theo các số liệu địa chấn thì các hoạt động núi lửa này cổ hơn các hoạt động núi lửa ở khu vực Hòn Tro, Phú Quý và phát triển vào giai đoạn Pliocen - đầu Đệ tứ (N2-Q1).



Hình 4. Biểu hiện của đứt gãy  $109^\circ$  trên tuyến địa chấn của VietsoPetro 65 ngoài khơi Ninh Thuận - Bình Thuận [16]



Hình 5. Các mặt cắt địa chấn thăm dò trên các tuyến Malurghin 65-84 (a) và 68-84 (b)

Khả năng phát sinh động đất của đới đứt kinh tuyến  $109^\circ$  cũng được nhiều tác giả nghiên cứu [1, 6, 19–23]. Cho đến nay, động đất ghi nhận được dọc theo đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  không nhiều và phân bố rải rác. Tuy nhiên, có thể nhận thấy các chấn tâm động đất ghi nhận được tập trung trong chủ yếu dọc theo đoạn đứt gãy nằm ở phía nam đới khâu Tuy Hòa. Điều này khá phù hợp với các giả thiết về tính phân đoạn của đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  trên cơ sở các tài liệu địa chất và địa vật lý.

Trong số các động đất ghi nhận được bằng máy, đáng chú ý nhất là hai chuỗi động đất xảy ra trong hai khoảng thời gian khác nhau. Chuỗi thứ nhất bao gồm các động đất có độ lớn trung bình ( $M_w = 3,5-4,0$ ) xảy ra với mật độ cao tập trung dọc theo đoạn đứt gãy giới hạn bởi các vĩ độ  $10-12^\circ$  trong khoảng thời gian từ tháng 8 năm 1963 đến tháng 1 năm 1965. Chuỗi chấn tâm động đất này được ghi nhận tại trạm địa chấn Nha Trang, nhưng phần lớn không xác định được độ lớn. Chuỗi động đất thứ hai xảy ra ở ngoài khơi Vũng Tàu - Phan Thiết bắt đầu từ năm 2005 và kéo dài vài năm sau đó. Khởi đầu là một trận động đất  $M_w = 4,5$  xảy ra ngày 5/8/2005, chuỗi động đất được ghi nhận với hai trận động đất mạnh nhất có độ lớn lần lượt bằng 5,2 và 5,3 xảy ra vào ngày 8/11/2005. Hai động đất này xảy ra gần như tại cùng một vị trí và đều ở độ sâu 12 km. Thông tin về chấn động của động đất này đã được Viện Vật lý Địa cầu điều tra, tập hợp và xử lý và thể hiện trên bản đồ đường đẳng chấn. Cơ cấu chấn tiêu của các động đất này phản ánh cơ chế trượt bằng trái theo phương á kinh tuyến, thể hiện sự nâng cao và dịch chuyển tương đối hướng nam của khối vỏ Đông Dương so với mảng Biển Đông, góc dịch trượt khoảng từ  $-19^\circ$  đến  $-22^\circ$  thể hiện cơ chế trượt bằng trái có hợp phần thuận.

Trên cơ sở tập số liệu động đất ghi nhận được trên khu vực thềm lục địa Việt Nam, các chuyên gia địa chấn cũng đưa ra những kết quả ước lượng khác nhau về giá trị độ lớn cực đại của động đất có khả năng phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$ . Nguyễn Hồng Phương (2001) dự báo động đất cực đại có giá trị  $6,6 \pm 0,5$  [21]; Nguyễn Đình Xuyên (2004) dự báo động đất cực đại có giá trị 6,1 độ; Lê Tử Sơn (2010) dự báo động đất cực đại có giá trị 6,4 ±

0,8 [22] và Đỗ Văn Lĩnh (2010) dự báo động đất cực đại có giá trị 7,9 (đoạn 2) [23].

Các kết quả nghiên cứu các đặc trưng kiến tạo địa động lực trên cơ sở tổ hợp số liệu địa chất, địa vật lý, động đất, núi lửa đều cho thấy sự thật không thể phủ nhận về hoạt động của đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  trong giai đoạn hiện đại. Mặc dù mức độ hoạt động của đới đứt gãy không được đánh giá cao và mặc dù cơ chế của đới đứt gãy là trượt bằng, khả năng phát sinh sóng thần do động đất trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  vẫn cần phải được xem xét đến. Như vậy, đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  có thể coi là một nguồn phát sinh sóng thần gần có khả năng gây thiệt hại cho các vùng bờ biển của Việt Nam trong tương lai.

### MÔ HÌNH NGUỒN ĐỘNG ĐẤT CỰC ĐẠI GÂY SÓNG THẦN TRÊN ĐỚI ĐỨT GỖY KINH TUYẾN $109^\circ$

Để đánh giá độ nguy hiểm sóng thần từ vùng nguồn kinh tuyến  $109^\circ$  tới các vùng bờ biển của Việt Nam, các kịch bản sóng thần cực đại được xây dựng và mô phỏng. Trên cơ sở những hiểu biết về các đặc trưng cấu trúc và địa động lực tại thời điểm hiện tại, mô hình nguồn động đất cực đại gây sóng thần trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  được xây dựng với các giả thiết ban đầu sau đây:

1) Động đất gây sóng thần có độ lớn  $M_w = 8,0$  và độ sâu chấn tiêu 15 km phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$ . Độ lớn động đất cực đại gây sóng thần được lấy theo cận trên các giá trị  $M_{max}$  được xác định cho đới đứt gãy này bởi các tác giả khác nhau từ trước đến nay.

2) Đứt gãy nguồn có cơ cấu trượt bằng, bao gồm hai đoạn với mức độ hoạt động khác nhau. Đoạn thứ nhất có mức độ hoạt động địa chấn thấp hơn, chạy dọc ven biển miền Trung từ vĩ tuyến  $18^\circ\text{N}$  xuống phía nam tới khi cắt với đới khâu Tuy Hòa tại vĩ tuyến  $12^\circ\text{N}$ . Đoạn thứ hai có mức độ hoạt động địa chấn cao hơn, bắt đầu từ đoạn cắt với đới khâu Tuy Hòa tại khoảng vĩ tuyến  $12^\circ\text{N}$  xuống tận cùng phía nam của đới đứt gãy tại vĩ tuyến  $4^\circ\text{N}$ .

3) Đới phá hủy hình chữ nhật có chiều dài  $L$  (km) và chiều rộng  $W$  (km).

Dựa trên các giả thiết ban đầu nêu trên, ba kịch bản sóng thần cực đại được xây dựng. Hai



động đất kích bản đầu được giả thiết phát sinh trên đoạn đứt gãy nguồn thứ nhất (nằm ở phía bắc đới khâu Tuy Hòa), còn động đất kích bản thứ ba được phát sinh trên đoạn đứt gãy nguồn thứ hai (nằm ở phía nam đới khâu Tuy Hòa). Phân bố chấn tâm các động đất kích bản được lựa chọn sao cho tác động của sóng thần gây ra cho bờ biển Việt Nam là lớn nhất (hình 6).

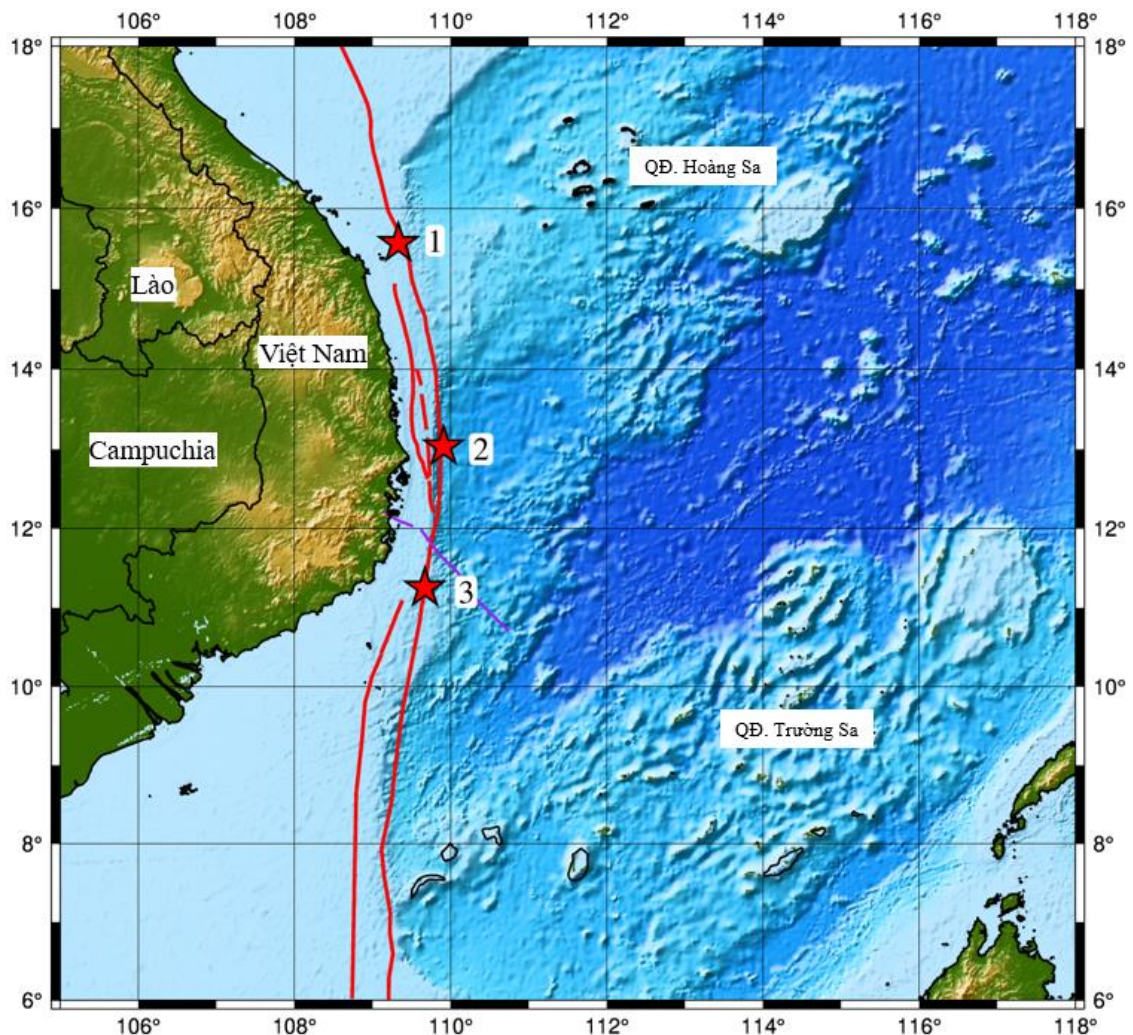
Các biểu thức thực nghiệm của Wells và Coppersmith (1994) được áp dụng để xác định các tham số nguồn của động đất kích bản gây sóng thần trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  [24]. Quy trình xác định các tham số nguồn đã được mô tả chi tiết trong trường hợp sóng thần kích bản phát sinh trên vùng nguồn

máng biển sâu Manila [4]. Trong trường hợp này, do đứt gãy trượt bằng nên các biểu thức hồi quy ứng với trường hợp đứt gãy trượt bằng được sử dụng Wells và Coppersmith (1994) [24]. Các biểu thức được sử dụng biểu thị các mối tương quan sau đây:

1) Mối tương quan giữa dịch chuyển cực đại  $D$  (m) và chiều dài đới phá hủy trên bề mặt của đứt gãy  $L$  (km) được thể hiện bằng các biểu thức:

$$\log(D) = -1,69 + 1,16 * \log L \quad (1)$$

$$\log(L) = -1,49 + 0,64 * \log D \quad (2)$$



Hình 6. Vị trí các kích bản sóng thần phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  sử dụng cho mô phỏng

2) Mối tương quan giữa chiều dài đới phá hủy trên bề mặt của đứt gãy  $L$  (km) và mô men địa chấn  $M$  được thể hiện bằng các biểu thức:

$$\log(D) = -3,55 + 0,74M \quad (3)$$

3) Mối tương quan giữa độ lớn động đất theo thang mô men  $M_w$  và chiều dài đới phá hủy trên bề mặt của đứt gãy  $L$  (km) được thể hiện bằng biểu thức:

$$M_w = 5,16 + 1,12 * \log(L) \quad (4)$$

4) Mối tương quan giữa dịch chuyển cực đại  $D$  (m) và động đất theo thang mô men được thể hiện bằng biểu thức:

$$\log(D) = -7,03 + 1,03M_w \quad (5)$$

ở đây:

$$M_w = 6,81 + 0,78 * \log(D) \quad (6)$$

Bảng 1. Các tham số nguồn xác định cho ba kịch bản sóng thần ( $M_w = 8,0$ ) phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến 109°

Kịch bản N°	Kinh độ (độ)	Vĩ độ (độ)	Chiều dài (km)	Chiều rộng (km)	Dịch chuyển (m)	Độ sâu (km)	Góc phương vị (độ)	Góc cắm (độ)	Góc trượt (độ)
1	109.33	15.57	151.356	46.774	5.25	15	345	60	-30
2	109.91	13.03	151.356	46.774	5.25	15	353	60	-150
3	109.67	11.25	151.356	46.774	5.25	15	12	60	-150

**ÁP DỤNG MÔ HÌNH COMCOT MÔ PHÒNG CÁC KỊCH BẢN SÓNG THẦN CỰC ĐẠI PHÁT SINH TRÊN VÙNG NGUỒN ĐỨT GÃY KINH TUYẾN 109°**

Mô hình COMCOT được sử dụng để mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109°. COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami model) được xây dựng đầu tiên tại trường Đại học Cornell, Hoa Kỳ và cho đến nay đã được phát triển đến phiên bản 1.7 [25]. Đây là một trong ba mô hình mô phỏng và tính toán sóng thần được sử dụng rộng rãi trên thế giới và khu vực châu Á - Thái Bình Dương được viết bằng ngôn ngữ Fortran với mã nguồn mở.

COMCOT sử dụng phương trình tuyến tính và phi tuyến nước nông trong cả hệ tọa độ Cầu và hệ tọa độ Descartes. Trong hệ tọa độ cầu, hệ phương trình tuyến tính nước nông có tính đến lực Coriolis có dạng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial}{\partial \phi} (\cos \phi Q) \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \quad (7)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \phi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gh}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} + fP = 0 \quad (9)$$

ở đây:  $\eta$  là độ cao mặt nước; ( $P, Q$ ) biểu thị các thông lượng theo hướng  $X$  (đông-tây) và  $Y$  (nam-bắc), tương ứng ( $\phi, \psi$ ) biểu thị các vĩ độ và kinh độ của Trái đất;  $R$  là bán kính của Trái đất;  $g$  là gia tốc trọng trường và  $h$  là độ sâu. Thành phần  $-\partial h/\partial t$  phản ánh hiệu ứng của chuyển động tức thời dưới đáy biển có thể áp dụng cho trường hợp trượt lở đất tạo ra sóng thần. Hệ số lực Coriolis  $f$  do tác động quay của Trái đất được tính theo công thức:

$$f = \Omega \sin \phi \quad (10)$$

với  $\Omega$  là vận tốc quay của Trái đất.

Các phương trình phi tuyến nước nông có tính đến lực ma sát đáy có dạng:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} + \frac{\partial P}{\partial \phi} (\cos \phi Q) \right\} = -\frac{\partial h}{\partial t} \quad (11)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{gH}{R \cos \phi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ + F_x = 0 \quad (12)$$



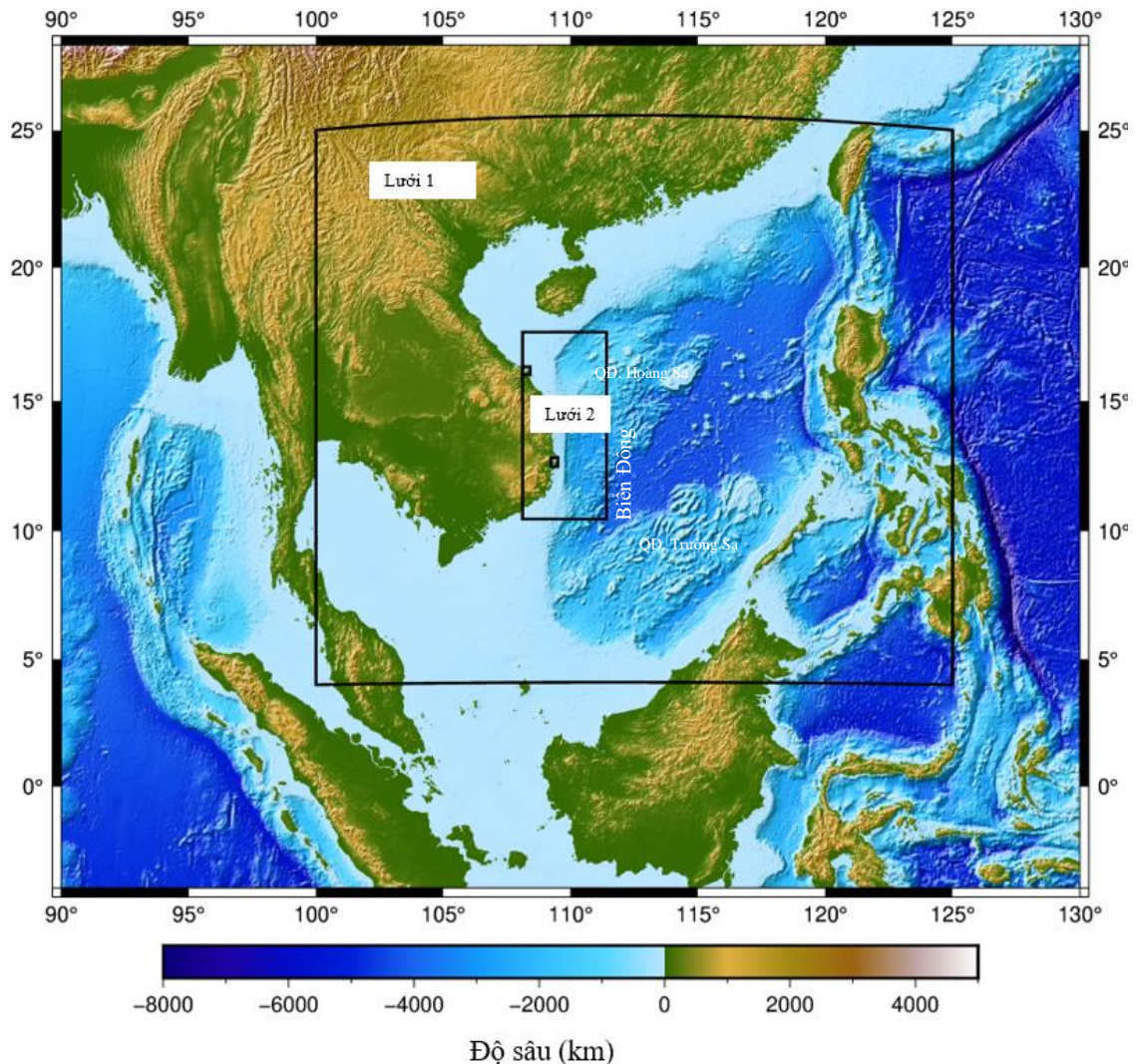
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} - fP + F_y = 0 \quad (13)$$

trong đó:  $H$  là tổng chiều sâu của nước và  $H = \eta + h$ ;  $F_x$  và  $F_y$  là ma sát đáy của hướng  $X$  và  $Y$  tương ứng. Hệ số nhám  $n$  được tính theo công thức của Manning:

$$F_x = \frac{gn^2}{H^{7/3}} P(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (14)$$

$$F_y = \frac{gn^2}{H^{7/3}} Q(P^2 + Q^2)^{1/2} \quad (15)$$

Để mô phỏng sự lan truyền của sóng thần trên Biển Đông, hai lưới tính lồng nhau được sử dụng và được đánh số theo thứ tự 1 và 2 (hình 7). Các lưới tính có độ chi tiết tỷ lệ nghịch với phạm vi của lưới, hay nói cách khác là phạm vi của lưới tính càng hẹp thì độ chi tiết của lưới tính càng tăng lên. Độ phân giải của các dữ liệu địa hình đáy biển cũng được thu thập và xử lý để có độ phân giải phù hợp tương xứng với mỗi lưới tính. Thông tin chi tiết về các lưới tính được liệt kê trong bảng 2.



Hình 7. Hệ thống lưới tính lồng sử dụng trong nghiên cứu này

Bảng 2. Thông tin các lưới tính áp dụng trong nghiên cứu này

STT	Lưới 1	Lưới 2
Hệ tọa độ	Cầu	Cầu
Phương trình chính	Tuyến tính nước nông	Tuyến tính nước nông
Kích thước lưới	1'	0.5'
Sử dụng ma sát đáy	Không	Có
Hệ số nhám Manning	Không	0.025
Số ô lưới theo phương X	1621	478
Số ô lưới theo phương Y	1621	1078

### KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

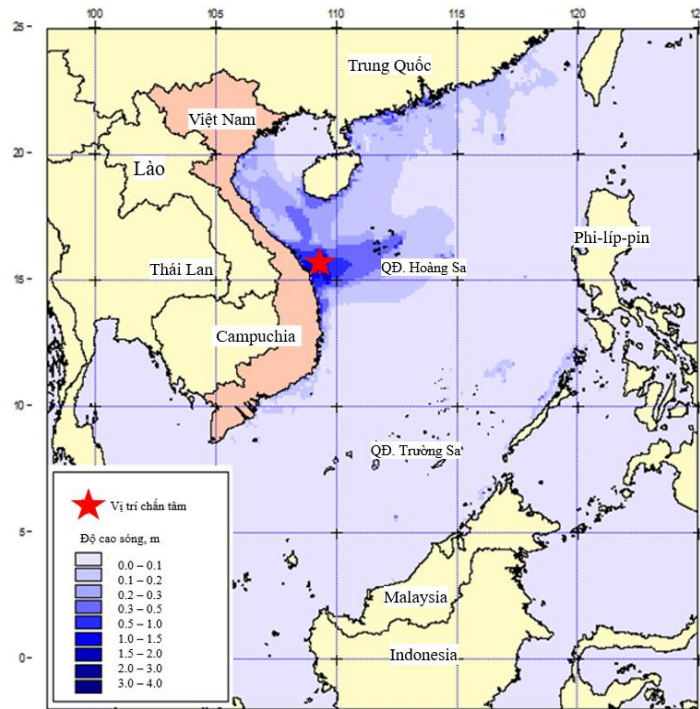
Trên các hình 8a–8c là minh họa về phân bố độ cao sóng trên toàn khu vực Biển Đông xây dựng cho ba kịch bản sóng thần cực đại. Từ các kết quả này, có thể nhận thấy sự khác biệt về phạm vi ảnh hưởng của các kịch bản sóng thần nguồn gần so với của các kịch bản nguồn xa. Khác với trường hợp kịch bản sóng thần phát sinh trên vùng nguồn máng biển sâu Manila, tác động của các kịch bản sóng thần phát sinh trên vùng nguồn kinh tuyến 109° mang tính cục bộ và chỉ gây ảnh hưởng mạnh nhất trên dải ven biển gần nguồn phát sinh nhất. Trong kịch bản 1, sóng thần tác động mạnh nhất tới dải ven biển thuộc hai tỉnh Quảng Nam và Quảng Ngãi, đoạn từ vĩ tuyến 15°N tới vĩ tuyến 16°N. Trong kịch bản 2, sóng thần tác động mạnh nhất tới dải ven biển thuộc hai tỉnh Bình Định và Khánh Hòa, đoạn từ vĩ tuyến 12°30'N tới vĩ tuyến 14°N. Đối với kịch bản 3, sóng thần tác động mạnh nhất tới bờ biển của các tỉnh từ Khánh Hòa tới Bà Rịa-Vũng Tàu, đoạn từ vĩ tuyến 10°23'N tới vĩ tuyến 12°40'N. Cũng từ phân bố độ cao sóng trên hình 8, có thể thấy sóng thần đã lan truyền tới tận các vùng bờ biển vịnh Bắc Bộ và các bờ biển của các quốc gia khác như lục địa Trung Quốc (kịch bản 1), lục địa Trung Quốc và bờ biển phía tây đảo Luzon của Philippines (kịch bản 2) và các vùng bờ biển phía bắc Borneo - Palaoan (kịch bản 3), song ảnh hưởng của sóng thần tới các vùng bờ biển nêu trên là rất nhỏ (độ cao sóng dưới 1 m khi tới bờ) và do đó không gây ra nguy hiểm. Tác động cục bộ của ba kịch bản sóng thần tới bờ biển Việt Nam cũng được thể hiện bằng độ cao sóng thần tại đường bờ biển minh họa trên các hình 9a–9c.

Để đánh giá chi tiết độ nguy hiểm sóng thần trên toàn dải ven biển Việt Nam, một loạt các trạm quan trắc mực nước biển ảo được xây

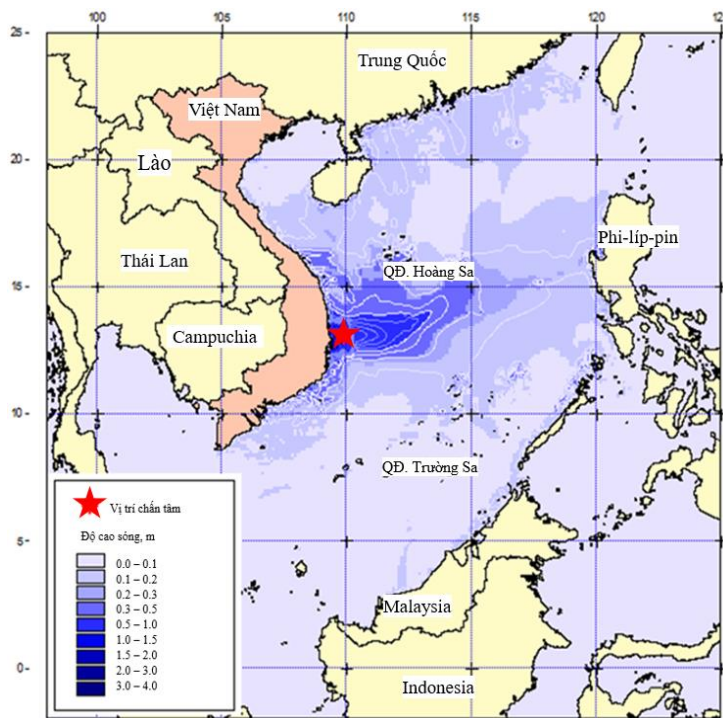
dựng dọc theo bờ biển Việt Nam và các đồ thị biểu diễn biên độ của đợt sóng cao nhất và thời gian lan truyền từ nguồn tới mỗi trạm được xây dựng. Trên các hình 10a–10c minh họa các đồ thị biến trình độ cao sóng tại các trạm quan trắc mực nước biển ảo tính được theo ba kịch bản sóng thần cực đại. Các tham số nguy hiểm sóng thần bao gồm biên độ của đợt sóng thần cực đại ghi nhận được tại các trạm quan trắc mực nước biển ảo và thời gian truyền sóng tới mỗi trạm được liệt kê trong bảng 3. Lưu ý rằng trong bảng này số liệu của các trạm có biên độ sóng quá nhỏ đã được loại bỏ và chỉ liệt kê các giá trị biên độ của đợt sóng cao nhất. Các dấu sao dùng để chỉ các trường hợp khi đợt sóng cao nhất không phải là đợt sóng đầu tiên.

Từ các đồ thị trên hình 10 và bảng 3, có thể thấy trên toàn vùng bờ biển Việt Nam, cả ba kịch bản sóng thần cực đại đều chỉ gây tác động mạnh nhất tới dải ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ, đoạn từ tỉnh Quảng Nam tới tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu. Độ cao sóng cực đại của cả ba kịch bản sóng thần đều không vượt quá 4 m, trong đó kịch bản 1 gây sóng thần cao nhất tới 3,59 m tại ven biển Dung Quất, Quảng Ngãi, kịch bản 2 gây sóng thần cao nhất tới 3,66 m tại ven biển Tuy Hòa, Phú Yên và kịch bản 3 gây sóng thần cao nhất tới 3,80 m tại Phan Rang, Ninh Thuận. Xét về thời gian lan truyền, kịch bản 2 có thời gian lan truyền nhanh nhất, chỉ mất 35 phút từ nguồn tới vùng bờ biển Tuy Hòa, Phú Yên. Các kết quả này không mâu thuẫn với các kết quả mô phỏng sóng thần do Vũ Thanh Ca và nnk., đã công bố năm 2008, theo đó kịch bản sóng thần do động đất có độ lớn 7,0 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° gây ra sóng thần có độ cao cực đại nhỏ hơn 1 mét tại ven biển Nam Trung Bộ và thời gian lan truyền từ nguồn tới vùng ven biển Nam Trung Bộ là thấp hơn 1 giờ.

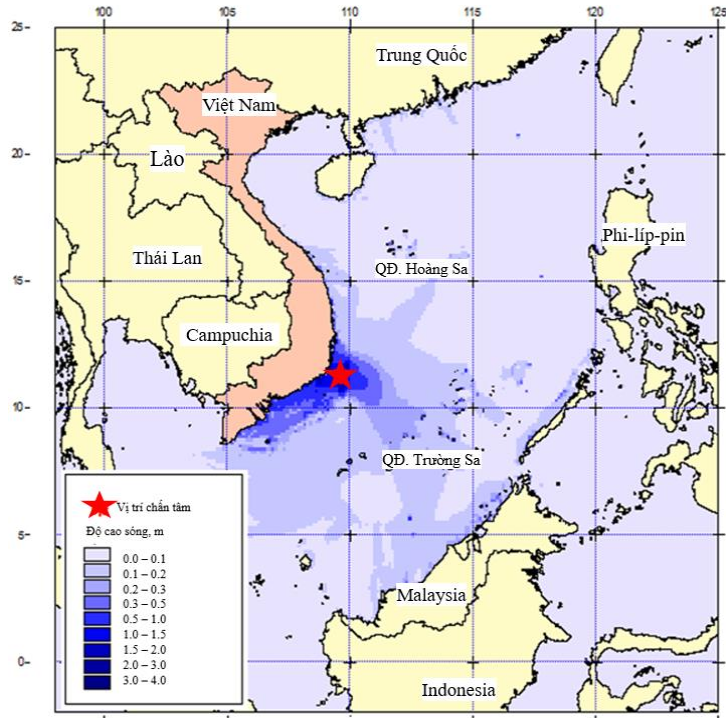




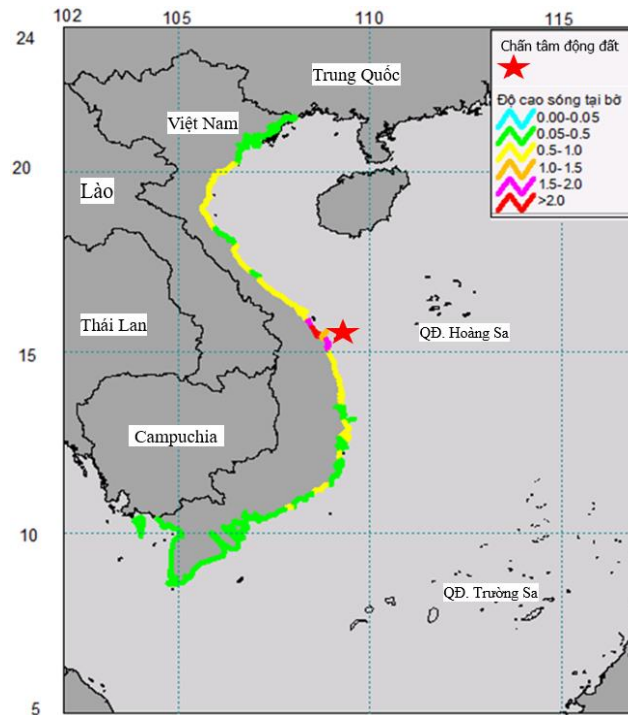
Hình 8a. Phân bố độ cao sóng thần trên khu vực Biển Đông Việt Nam (theo kịch bản sóng thần cực đại số 1 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )



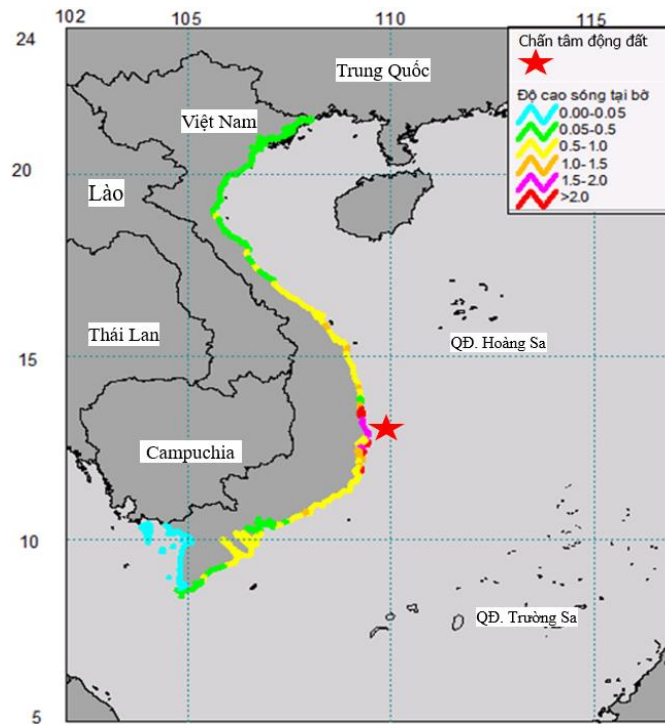
Hình 8b. Phân bố độ cao sóng thần trên khu vực Biển Đông Việt Nam (theo kịch bản sóng thần cực đại số 2 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )



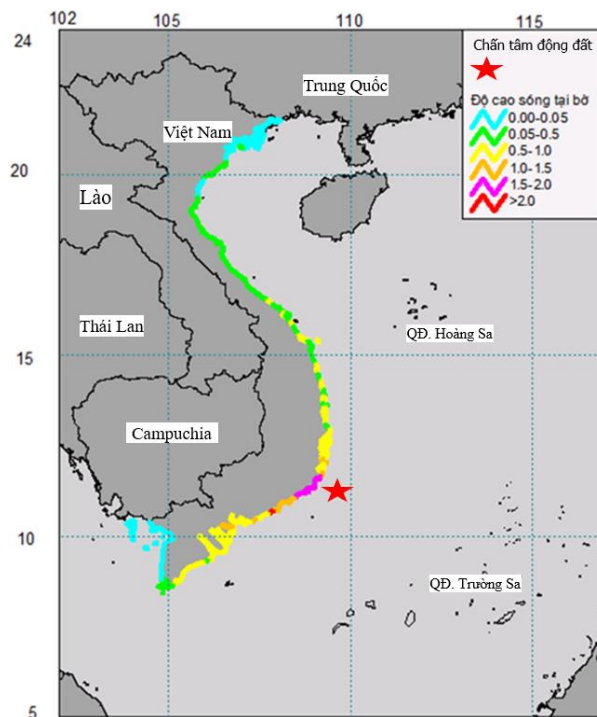
Hình 8c. Phân bố độ cao sóng thần trên khu vực Biển Đông Việt Nam (theo kịch bản sóng thần cực đại số 3 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )



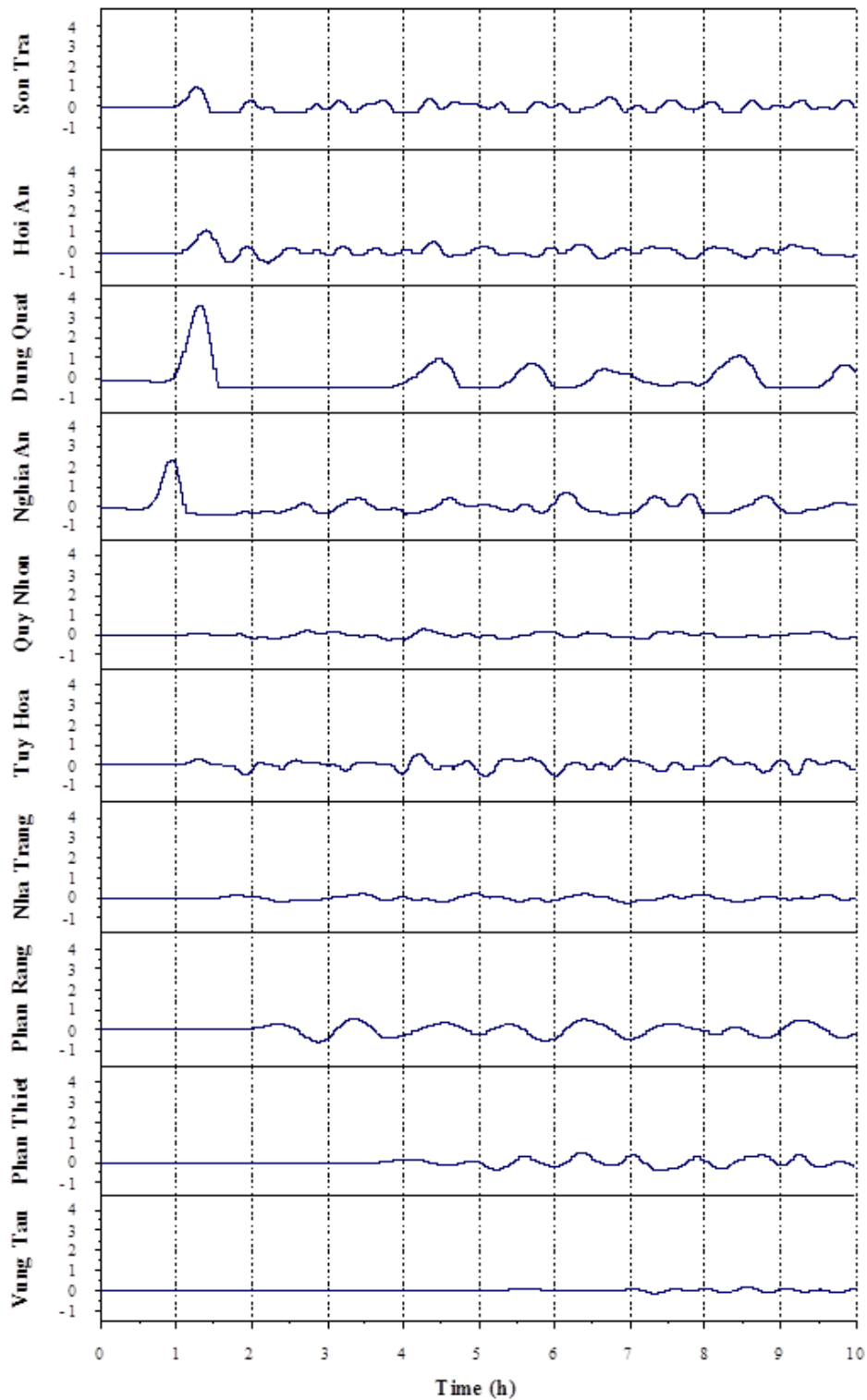
Hình 9a. Độ cao sóng thần tại đường bờ biển Việt Nam (theo kịch bản sóng thần cực đại số 1 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )



Hình 9b. Độ cao sóng thần tại đường bờ biển Việt Nam (theo kịch bản sóng thần cực đại số 2 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )

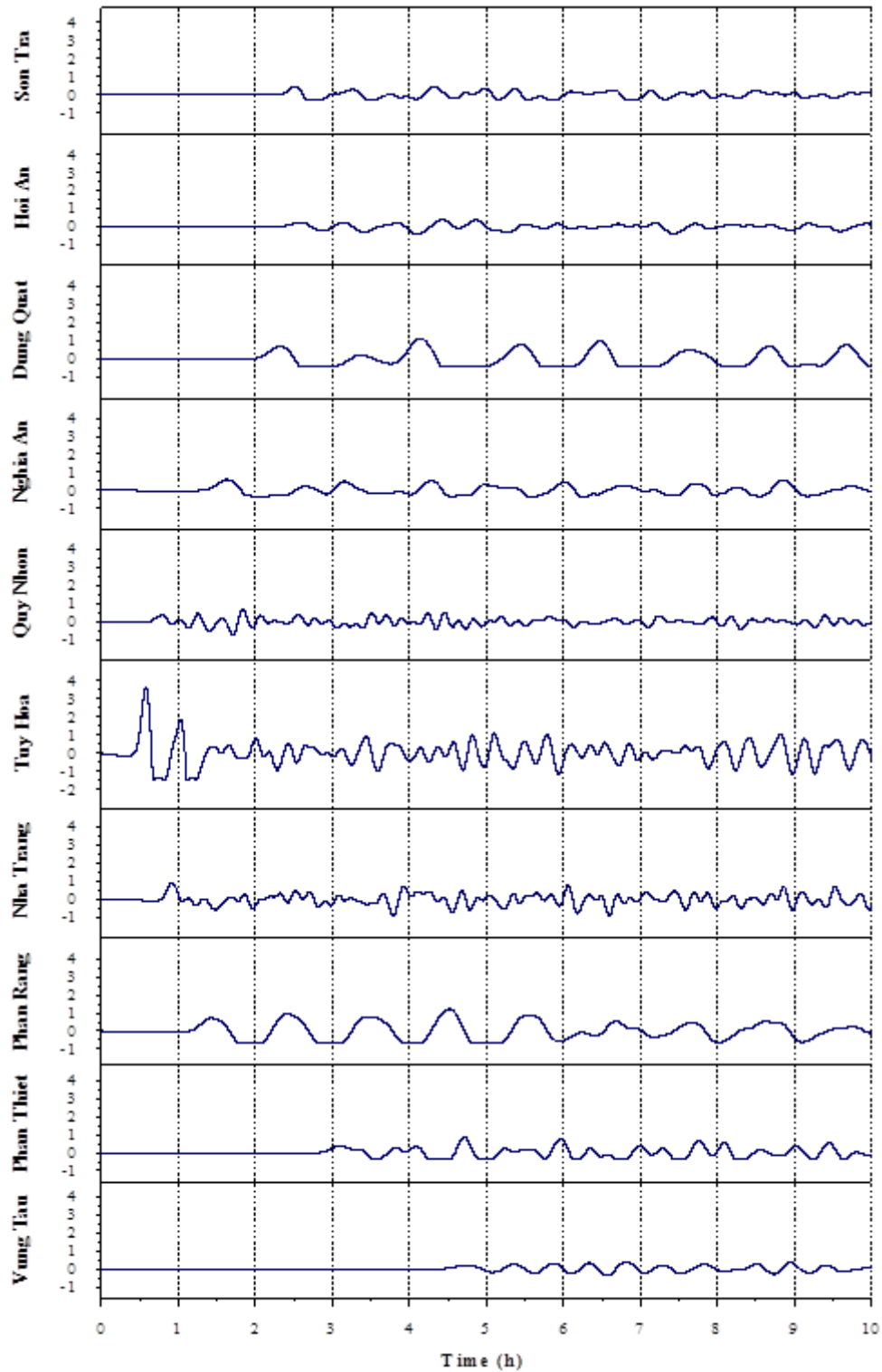


Hình 9c. Độ cao sóng thần tại đường bờ biển Việt Nam (theo kịch bản sóng thần cực đại số 3 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )

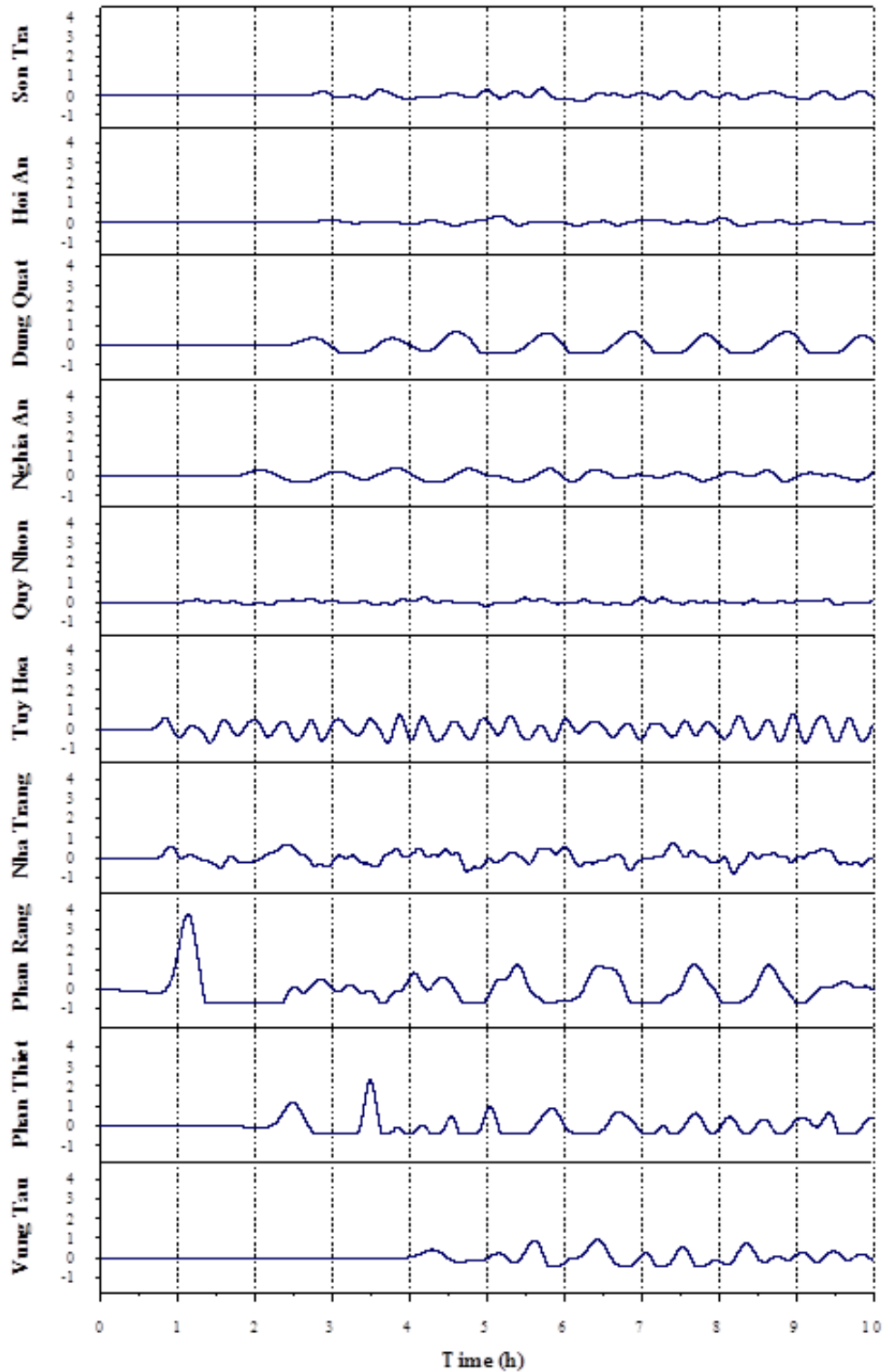


Hình 10a. Biến trình độ cao sóng theo thời gian tại các trạm quan trắc ảo tính được theo kịch bản sóng thần cực đại số 1 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$





Hình 10b. Biến trình độ cao sóng theo thời gian tại các trạm quan trắc ảo tính được theo kịch bản sóng thần cực đại số 2 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến  $109^{\circ}$  bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$ )



Hình 10c. Biến trình độ cao sóng theo thời gian tại các trạm quan trắc ảo tính được theo kịch bản sóng thần cực đại số 3 phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109° bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$

Bảng 3. Vị trí và các tham số nguy hiểm sóng thần tại các trạm quan trắc mực nước biển ảo tính được từ ba kịch bản sóng thần cực đại ( $M_w = 8.0$ ) phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến 109°

No.	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Kịch bản 1		Kịch bản 2		Kịch bản 3	
				Độ cao sóng (m)	Thời gian truyền (hh:mm)	Độ cao sóng (m)	Thời gian truyền (hh:mm)	Độ cao sóng (m)	Thời gian truyền (hh:mm)
1	Trà Cỏ - Quảng Ninh	108,069990	21,483160	0,021(*)	09:00(*)	0,012(*)	09:22(*)	0,004	08:45
2	Hòn Dấu - Hải Phòng	106,818300	20,665300	0,224(*)	08:16(*)	0,189(*)	09:14(*)	0,051	07:57
3	Sầm Sơn - Thanh Hóa	105,919376	19,757336	0,446(*)	07:53(*)	0,130(*)	08:41(*)	0,055(*)	09:07(*)
4	Đồng Hới - Quảng Bình	106,642233	17,473654	0,232	03:52	0,135	04:48(*)	0,059	05:11
5	Sơn Trà - Đà Nẵng	108,250429	16,074557	0,968	01:17	0,470	02:32	0,368(*)	05:43(*)
6	Hội An - Quảng Nam	108,385534	15,888973	1,044	01:24	0,389(*)	04:26(*)	0,303(*)	05:08(*)
7	Dung Quất - Quảng Ngãi	108,747168	15,398079	3,598	01:19	1,123(*)	04:09(*)	0,686(*)	08:53(*)
8	Nghĩa An - Quảng Ngãi	108,901566	15,156786	2,300	00:56	0,596	01:39	0,415(*)	03:50(*)
9	Quy Nhơn - Bình Định	109,222996	13,757270	0,341(*)	04:17(*)	0,711	01:51	0,226(*)	04:11(*)
10	Tuy Hòa - Phú Yên	109,344931	13,066992	0,608(*)	04:13(*)	3,663	00:35	0,733(*)	08:59(*)
11	Nha Trang - Khánh Hòa	109,214370	12,289480	0,258(*)	04:58(*)	0,926	00:55	0,719(*)	07:25(*)
12	Phan Rang - Ninh Thuận	109,046266	11,585533	0,584(*)	03:22(*)	1,206(*)	04:31(*)	3,804	01:08
13	Phan Thiết - Bình Thuận	108,115299	10,919823	0,445(*)	06:22(*)	0,833(*)	04:44(*)	2,299(*)	03:30(*)
14	Bà Rịa - Vũng Tàu	107,083800	10,319700	0,211(*)	08:33(*)	0,363	06:49(*)	0,948(*)	06:25(*)
15	Đất Mũi - Cà Mau	104,718934	8,604637	0,046	10:00	0,079	09:13	0,140(*)	10:00(*)

Các kết quả mô phỏng ba kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  bởi động đất có độ lớn  $M_w = 8,0$  cho phép đưa ra kết luận chung về khả năng gây thiệt hại do sóng thần tới toàn dải ven biển Việt Nam là không cao (độ cao sóng cực đại không vượt quá 4 m). Tuy nhiên, cũng theo các tính toán mô phỏng ba kịch bản cực đại, sóng thần phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  có khả năng tấn công vùng bờ biển Nam Trung Bộ của Việt Nam sớm nhất là 30–35 phút tính từ thời điểm xảy ra sóng thần. Vì vậy, kế hoạch ứng phó với sóng thần tại ven biển Nam Trung Bộ cần phải được chuẩn bị sẵn sàng để thực hiện được một cách hiệu quả nhất trong khoảng thời gian ngắn ngủi này.

### KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, mô hình COMCOT được áp dụng để mô phỏng ba kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  và đánh giá tác động của chúng tới toàn bộ dải ven biển của Việt Nam. Đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  được coi là một vùng nguồn sóng thần gần đới với dải ven biển Việt Nam do nằm ngay trên thềm lục địa miền Trung và Nam Trung Bộ của Việt Nam. Mô hình nguồn động đất gây sóng thần cực đại được xây dựng trên cơ sở nghiên cứu các đặc trưng địa chấn kiến tạo và địa động lực của đới đứt gãy Kinh tuyến  $109^\circ$  thông qua tập số liệu động đất, địa chất và địa vật lý đã công bố. Các kịch bản sóng thần được giả thiết được phát sinh bởi động đất cực đại có độ lớn  $M_w = 8,0$  phát sinh trên hai đoạn của đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$ .

Độ nguy hiểm sóng thần đối với các vùng bờ biển Việt Nam được đánh giá qua đại lượng độ cao sóng cực đại do sóng thần gây ra và thời gian lan truyền sóng thần từ nguồn tới bờ biển. Các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại phát sinh trên đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  được thể hiện dưới dạng các bản đồ phân bố độ cao sóng trên toàn Biển Đông và tại đường bờ biển của Việt Nam. Ngoài ra, mối tương quan giữa độ cao sóng và thời gian lan truyền sóng thần khi tới bờ được khảo sát chi tiết tại các trạm quan trắc mực nước biển ảo phân bố dọc theo toàn bộ dải ven biển Việt Nam. Các kết quả mô phỏng của cả ba kịch bản sóng thần cực

đại đều cho thấy độ nguy hiểm sóng thần tập trung chủ yếu dọc theo dải ven biển miền Trung và Nam Trung Bộ Việt Nam (đoạn từ tỉnh Quảng Nam đến tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu), với độ cao sóng lớn nhất không vượt quá 4 m tại ngoài khơi các tỉnh Quảng Ngãi, Phú Yên và Ninh Thuận. Thời gian lan truyền sóng thần ngắn nhất từ nguồn tới bờ biển Nam Trung Bộ là 35 phút.

Với cơ chế trượt bằng, đới đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  được đánh giá là không có nhiều khả năng phát sinh động đất mạnh gây sóng thần. Ngoài ra, các kết quả mô phỏng trong nghiên cứu này cũng cho thấy sóng thần phát sinh trên vùng nguồn đứt gãy kinh tuyến  $109^\circ$  cũng khó có thể gây ra thiệt hại đáng kể cho vùng bờ biển của Việt Nam. Tuy nhiên, các kết quả mô phỏng kịch bản sóng thần cực đại cho phép dự báo cận trên của mức độ rủi ro mà sóng thần nguồn gần có thể gây ra cho dải ven biển Việt Nam, đồng thời cung cấp những thông tin hữu ích cho công tác cảnh báo và ứng phó sóng thần ở phạm vi quốc gia.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST) trong đề tài mã số VAST06.02/2018–2019 và VAST06.02/2020–2021.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hong Nguyen, P., Cong Bui, Q., and Dinh Nguyen, X., 2012. Investigation of earthquake tsunami sources, capable of affecting Vietnamese coast. *Natural hazards*, 64(1), 311–327. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0240-3>
- [2] Dao, M. H., Tkalich, P., Chan, E. S., and Megawati, K., 2009. Tsunami propagation scenarios in the South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 36(1), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.09.009>
- [3] Wu, T. R., and Huang, H. C., 2009. Modeling tsunami hazards from Manila trench to Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 36(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2008.12.006>
- [4] Nguyen, P. H., Bui, Q. C., Vu, P. H., and Pham, T. T., 2014. Scenario-based



- tsunami hazard assessment for the coast of Vietnam from the Manila Trench source. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 236, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2014.07.003>
- [5] Fyhn, M. B., Boldreel, L. O., and Nielsen, L. H., 2009. Geological development of the Central and South Vietnamese margin: Implications for the establishment of the South China Sea, Indochinese escape tectonics and Cenozoic volcanism. *Tectonophysics*, 478(3–4), 184–214. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.08.002>
- [6] Lê Duy Bách, 1989. Đặc điểm kiến tạo và tiềm năng khoáng sản lưu vực Biển Đông. *Địa chất Biển Đông và các miền kế cận, Trung tâm nghiên cứu địa chất biển, Viện khoa học Việt Nam*, tr. 2–20.
- [7] Trần Văn Trị và nnk., 2005. Về địa chất và tài nguyên liên quan ở biển Đông Việt Nam và các miền kế cận. *Tuyển tập báo cáo HNKH: 60 năm Địa chất Việt Nam*, tr. 226–242.
- [8] Nguyễn Hiệp (chủ biên), 2007. Địa chất và tài nguyên dầu khí Việt Nam, *Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội*, 549 tr.
- [9] Trung, N. N., Lee, S. M., and Que, B. C., 2004. Satellite gravity anomalies and their correlation with the major tectonic features in the South China Sea. *Gondwana Research*, 7(2), 407–424. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70793-0](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70793-0)
- [10] Dung, T. T., Que, B. C., and Phuong, N. H., 2013. Cenozoic basement structure of the South China Sea and adjacent areas by modeling and interpreting gravity data. *Russian journal of pacific geology*, 7(4), 227–236. <https://doi.org/10.1134/S1819714013040088>
- [11] Bùi Công Quế (Chủ biên), 2010. Nguy hiểm động đất và sóng thần ở vùng ven biển Việt Nam. *Nxb. Khoa học tự nhiên và công nghệ, Hà Nội*, 313 tr.
- [12] Nguyễn Hồng Phương, Phạm Thế Truyền, 2015. Tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất Việt Nam và Biển Đông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, 15(1), 77–90. doi: 10.15625/1859-3097/15/1/6083
- [13] Tapponnier, P., Peltzer, G., and Armijo, R., 1986. On the mechanics of the collision between India and Asia. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1), 113–157. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.07>
- [14] Tapponnier, P., Lacassin, R., Leloup, P. H., Schärer, U., Dalai, Z., Haiwei, W., Xiaohan, L., Shaocheng, J., Lianshang, Z., and Jiayou, Z., 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343(6257), 431–437. <https://doi.org/10.1038/343431a0>
- [15] Leloup, P. H., Arnaud, N., Lacassin, R., Kienast, J. R., Harrison, T. M., Trong, T. P., Replumaz, A., and Tapponnier, P., 2001. New constraints on the structure, thermochronology, and timing of the Ailao Shan-Red River shear zone, SE Asia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B4), 6683–6732. <https://doi.org/10.1029/2000JB900322>
- [16] Phạm Năng Vũ, 2003. Khả năng áp dụng địa chấn trong nghiên cứu hoạt động kiến tạo trẻ ở Việt Nam. *Tạp chí Địa chất, loạt A số 287*.
- [17] Briais, A., Patriat, P., and Tapponnier, P., 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98(B4), 6299–6328. <https://doi.org/10.1029/92JB02280>
- [18] Huchon, P., Nguyen, T. N. H., and Chamot-Rooke, N., 1998. Finite extension across the South Vietnam basins from 3D gravimetric modelling: relation to South China Sea kinematics. *Marine and Petroleum Geology*, 15(7), 619–634. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(98\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(98)00031-2)
- [19] Mai Thanh Tân, Nguyễn Biều, Lê Văn Dung, Dương Quốc Hưng, 2011. Phân

- tích địa chấn địa tầng trầm tích Pliocen - Đệ tứ thêm lục địa miền Trung. *Tuyển tập báo cáo hội nghị “Khoa học và công nghệ Biển lần thứ 5”*, Quyển 3, tr. 318–333.
- [20] Phuong, N. H., 1991. Probabilistic assessment of earthquake hazard in Vietnam based on seismotectonic regionalization. *Tectonophysics*, 198(1), 81–93. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90133-D](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90133-D)
- [21] Hong Phuong, N. (2001). Probabilistic seismic hazard assessment along the Southeastern coast of Vietnam. *Natural hazards*, 24(1), 53–74. <https://doi.org/10.1023/A:1011149523444>
- [22] Lê Tử Sơn, 2010. Đánh giá xác suất nguy hiểm động đất Bà Rịa - Vũng Tàu. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, 32(1), 63–70.
- [23] Đỗ Văn Lĩnh, 2010. Lịch sử phát triển kiến tạo Kainozoi lãnh thổ Nam Trung Bộ và mối liên quan với động đất. *Luận án tiến sĩ địa chất, Đại học Bách khoa thành phố Hồ Chí Minh*.
- [24] Wells, D. L., and Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), 974–1002. <https://doi.org/10.1785/BSSA0840040974>
- [25] Liu, P. L. F., Woo, S. B., and Cho, Y. S., 1998. Computer programs for tsunami propagation and inundation. *Cornell University*, 25.