

Recent geodynamic characteristics of the Southern Central coast and the relations with geological hazards

Bui Nhi Thanh^{1,*}, Nguyen Van Luong², Duong Quoc Hung¹, Nguyen Van Diep¹,
Mai Duc Dong¹

¹*Institute of Marine Geology and Geophysics, VAST, Vietnam*

²*Vietnam Geophysical Science and Technology Association, Hanoi, Vietnam*

*E-mail: tbn8691@gmail.com

Received: 25 July 2019; Accepted: 6 October 2019

©2019 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Recent geodynamic characteristics of the Southern Central coast are analyzed on the basis of vertical and horizontal displacement velocities along active fault zones. The horizontal displacement velocity varies in magnitude from this fault system to another fault system, from 0.11–0.3 mm/year on the strike-slip - normal faults to 0–0.058 mm/year on the strike-slip faults and normal faults. The subsidence velocity changes complicatedly, different from one fault to another fault, depending on the mechanism of faults. On the continental shelf, most of the values of high subsidence's velocity are related to the normal and strike-slip faults. Subsidence activities make the sea level increase highly, the subsidence activity makes the sea level rise at structures that fall close to the shore, reach about 0.2–0.48 mm/year in late Pleistocene - Holocene. The increase of sea level directly affects the intensity of erosion, flood, salinity and land loss events in coastal lowlands. Slippage of the seabed, earthquakes, volcanoes are geological hazards directly related to the geodynamic regime of the Southern Central coast.

Keywords: Recent geodynamic, displacement velocity, Southern Central coast of Vietnam.

Đặc điểm địa động lực hiện đại khu vực ven biển Nam Trung Bộ và mối liên quan với các tai biến địa chất

Bùi Nhị Thanh^{1,*}, Nguyễn Văn Lương², Dương Quốc Hưng¹, Nguyễn Văn Điệp¹,
Mai Đức Đông¹

¹Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Việt Nam

²Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

*E-mail: tbn8691@gmail.com

Nhận bài: 25-7-2019; Chấp nhận đăng: 6-10-2019

Tóm tắt

Đặc điểm địa động lực hiện đại khu vực ven biển Nam Trung Bộ được phân tích trên cơ sở các trường vận tốc dịch chuyển ngang và thẳng đứng dọc theo các đới đứt gãy hoạt động. Trường vận tốc dịch chuyển ngang có độ lớn thay đổi từ hệ đứt gãy này sang hệ đứt gãy khác, từ 0,11–0,3 mm/năm trên các đứt gãy bằng-thuận đến 0–0,058 mm/năm trên các đứt gãy thuận bằng và thuận. Trường vận tốc sụt lún thay đổi phức tạp, từ đứt gãy này sang đứt gãy khác, phụ thuộc cơ chế hoạt động đứt gãy. Trên thềm lục địa, hầu hết các giá trị vận tốc sụt lún cao đều liên quan đến các đứt gãy thuận và thuận bằng. Hoạt động sụt lún làm gia tăng độ cao mực nước biển, hoạt động sụt lún kiến tạo làm cho tốc độ dâng cao mực nước biển tại các cấu trúc sụt hạ sát bờ, có thể được gia tăng khoảng 0,2–0,48 mm/năm trong Pleistocen muộn - Holocen. Tác động trực tiếp của sự dâng cao mực nước biển là làm gia tăng cường độ hoạt động của các tai biến xói lở, lũ lụt, nhiễm mặn và làm mất đất tại các vùng đất thấp ven biển. Sụt-trượt đáy biển, động đất, núi lửa là những tai biến địa chất liên quan trực tiếp đến chế độ địa động lực khu vực ven biển Nam Trung Bộ.

Từ khóa: Địa động lực hiện đại, vận tốc dịch chuyển, ven biển Nam Trung Bộ Việt Nam.

MỞ ĐẦU

Khu vực Nam Trung bộ được nhiều nhà nghiên cứu đánh giá là khu vực có dấu hiệu chuyển động kiến tạo trẻ khá mạnh mẽ, với sự hiện diện của đới đứt gãy rìa tây Biển Đông, có sự phân dị địa hình lớn cùng trầm tích dày của các thành tạo Pliocen muộn [1].

Việc nghiên cứu địa động lực hiện đại có thể được thể hiện theo 2 hướng: Đó là nghiên cứu trường ứng suất kiến tạo hiện đại, thể hiện qua sự định hướng của các trục ứng suất cơ bản σ_1 , σ_2 và σ_3 và nghiên cứu trường vận tốc dịch chuyển, thể hiện qua độ lớn của véc tơ vận tốc dịch chuyển hàng năm.

Nghiên cứu địa động lực hiện đại khu vực ven biển Nam Trung Bộ đã được tiến hành theo

hướng nghiên cứu trường ứng suất kiến tạo khu vực trong [1], giúp chúng ta có cái nhìn toàn diện và sâu sắc hơn về các lực không chế, chi phối các biến dạng nội mảng, từ đó đưa ra những đánh giá chính xác hơn về nguồn gốc, cơ chế hình thành và mức độ tiềm ẩn các tai biến địa chất có thể phát sinh. Theo các nghiên cứu này thì “Trường ứng suất kiến tạo Pliocen Đệ tứ (từ 1,8 triệu năm đến hiện đại) khá đồng nhất, sự định hướng của các trục ứng suất cơ bản σ_1 , σ_2 và σ_3 hầu như không thay đổi”. Nghiên cứu ứng suất chỉ giới hạn trong việc xác định các hướng ứng suất chính và hệ số thành phần ứng suất $R = (\sigma_2 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$. Nghiên cứu tốc độ chuyển dịch kiến tạo cho phép đánh giá định lượng được hướng và độ

lớn chuyển dịch ngang cũng như dịch chuyển thẳng đứng cũng như sự thay đổi tốc độ chuyển dịch kiến tạo theo không gian thông qua phân tích biến dạng. Trong bài báo này các tác giả tiếp cận theo hướng nghiên cứu còn lại là theo hướng nghiên cứu trường vận tốc dịch chuyển, thể hiện qua độ lớn của vectơ vận tốc dịch chuyển hàng năm (gồm hai thành phần là dịch chuyển ngang và dịch chuyển thẳng đứng).

PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ

Các nghiên cứu chuyển động kiến tạo trẻ và hiện đại trong các hệ đứt gãy chủ yếu dựa vào các phương pháp địa chất, địa mạo bao gồm nghiên cứu vách kiến tạo, biến dạng thềm, các dấu hiệu biến dạng phá hủy trầm tích trẻ và Đệ tứ và đào hào [2], các phương pháp trắc địa truyền thống (đo thủy chuẩn hoặc, đo tam giác) hầu như chưa được áp dụng ở ven biển Nam Trung Bộ. Công nghệ GPS được sử dụng để nghiên cứu chuyển động kiến tạo của một khu vực, dựa trên hệ tọa độ toàn cầu, tỏ ra ưu việt khi đánh giá tốc độ chuyển dịch ngang nhưng sai số chuyển dịch thẳng đứng còn sai số lớn nếu khoảng thời gian đo còn ngắn. Các số liệu đo GPS cũng cho phép nghiên cứu đứt gãy hoạt động, tạo cơ sở đánh giá chi tiết độ nguy hiểm động đất [3], tuy nhiên, do thời gian quan sát ngắn (2-3 năm), số liệu GPS chưa đủ tin cậy để đánh giá định lượng chuyển động hiện đại dọc theo đứt gãy [40]. Trong bài báo này, để nghiên cứu chuyển động hiện đại trong các hệ đứt gãy, chúng tôi sử dụng 2 phương pháp cơ bản dưới đây:

1) **Phương pháp sử dụng hệ số tương quan k**, được định nghĩa như là tỷ số giữa thành phần vận tốc dịch chuyển ngang và thẳng đứng của vectơ vận tốc dịch chuyển toàn phần.

2) **Phương pháp đánh giá vận tốc sụt lún bề dày tầng trầm tích.**

Nội dung của các phương pháp này, được mô tả ngắn gọn như dưới đây:

Đánh giá vận tốc dịch chuyển theo hệ số tương quan k.

$$k = \frac{U_h}{U_v} = \frac{\cos \psi}{\sin \psi \sin \delta}$$

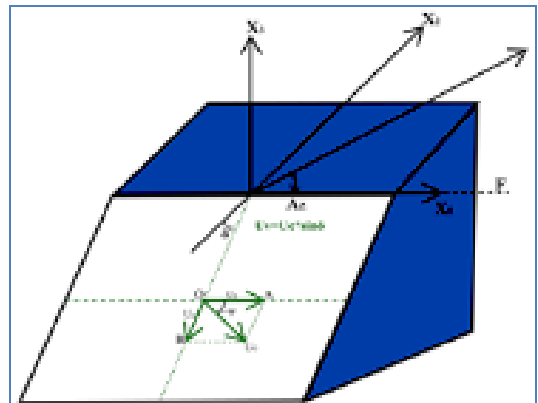
Trong đó: U_h là thành phần trượt ngang; U_v là thành phần trượt thẳng đứng; δ là góc dốc của

mặt trượt F ; ψ là góc nghiêng so với phương ngang của vectơ biến dạng dịch chuyển U_o .

Các tham số δ , ψ và phương mặt trượt F (trùng với X_1) được xác định từ số liệu cơ cấu chấn tiêu động đất (CCCT) hoặc các trạng thái ứng suất (TTUS) theo số liệu vật lý kiến tạo [4].

Nếu trường ứng suất kiến tạo ít thay đổi trong không gian, sự định hướng của vectơ trượt dọc theo các bề mặt ứng suất trượt cực đại cũng ít thay đổi. Khi vectơ trượt U_o có vị trí ổn định trong không gian, các đại lượng ψ , U_h , U_v và hệ số tương quan k cũng đạt các giá trị trung bình. Nếu trong khu vực có N CCCT (hoặc TTUS) tương đồng về tính chất (kiểu ứng suất) và sự định hướng của các trục ứng suất cơ bản, giá trị trung bình của hệ số tương quan k được xác định theo công thức:

$$\bar{k} = \sum_{i=1}^N \frac{k_i}{N}$$



Hình 1. Các thành phần dịch chuyển ngang U_h và thẳng đứng U_v của vectơ dịch chuyển U_o phân bố trong bề mặt trượt F dọc theo hướng X_1

Trên cơ sở tính toán hệ số tương quan k đối với tất cả các TTUS và CCCT động đất, tham khảo từ các tài liệu hiện có [50, 6], hệ số \bar{k} trong một số đới đứt gãy dọc theo một số hướng biến dạng đã được xác định cho khu vực nghiên cứu:

Trong các đới đứt gãy hướng bắc đông bắc - nam tây nam đến đông bắc - tây nam (20-45°): $\bar{k} = 4,419$ ở các vùng phía bắc (từ 11°N lên phía bắc); $\bar{k} = 2,541$ ở các vùng phía nam (từ 11°N xuống phía nam).

Đối với các hướng trượt tây tây bắc - đông đông nam đến tây bắc - đông nam: $\bar{k} = 3,61$ ở các vùng phía bắc; $\bar{k} = 6,357$ ở các vùng phía nam.

Đối với các đứt gãy KT.109°, Măng Cầu - Phú Quý, Tây Phú Quý): $\bar{k} = 0$ ($U_V = U_o$).

Đối với hệ thống đứt gãy Thuận Hải - Minh Hải (hoạt động theo cơ chế thuận-bằng trái): $\bar{k} = 0,38-0,45$.

Dựa vào hệ số \bar{k} có thể tính toán được các thành phần vận tốc dịch chuyển ngang, V_H (hoặc thành phần thẳng đứng, V_V) khi có trước các số liệu vận tốc dịch chuyển, V_{Vqs} (hoặc V_{Hqs}) theo các phương pháp địa chất, địa mạo:

$$V_H = \bar{k}V_{Vqs}; V_V = \frac{V_{Hqs}}{\bar{k}}$$

Đánh giá vận tốc sụt lún kiến tạo theo bề dày trầm tích Đệ tứ.

Để nghiên cứu đặc điểm sụt lún kiến tạo, phương pháp phân tích bề dày-tướng đá trầm tích đã được sử dụng. Phương pháp này cho phép xác định biên độ và vận tốc sụt lún của đáy trầm tích, đánh giá vận tốc chuyển động kiến tạo nâng/hạ đáy biển tại một khu vực nào

đó. Theo V. V. Belauxov, được trích dẫn trong [5, 6], khi bề mặt trầm tích nâng cao dần, thì biên độ lún chìm sẽ nhỏ hơn số đo bề dày trầm tích. Ngược lại, khi bề mặt trầm tích thấp dần, biên độ này sẽ lớn hơn bề dày trầm tích. Trong điều kiện của khu vực nghiên cứu, trầm tích Đệ tứ có bề dày trên dưới 100 m đến vài trăm mét [7, 8]. Vì vậy, có thể sử dụng số đo bề dày của tập trầm tích này để tính vận tốc sụt lún của đáy trầm tích Đệ tứ theo công thức:

$$V_V (\text{mm/năm}) = \frac{L (\text{mm})}{T (\text{năm})}$$

V_V là tốc độ sụt lún đáy trầm tích Đệ tứ; L là bề dày tập trầm tích Đệ tứ; $T = 1,7$ triệu năm, là các khoảng thời gian tích tụ tập trầm tích này.

KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ

Đặc điểm chuyển động hiện đại khu vực ven biển Nam Trung Bộ

Đặc điểm trường vận tốc dịch chuyển ngang

Trên cơ sở số liệu về vận tốc dịch chuyển ngang hiện có kết hợp với việc sử dụng hệ số \bar{k} , vận tốc dịch chuyển ngang dọc theo một số đứt gãy khu vực ven biển Nam Trung Bộ được tổng hợp, tính toán và trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Vận tốc dịch chuyển ngang dọc theo một số đứt gãy ven biển Nam Trung Bộ

Đứt gãy	Phương	Kiểu động học	V_H (mm/năm)	
			V_{Hqs}	V_{HTT} (theo \bar{k})
Sông Ba	TTB-ĐĐN	Bp-th	$0,3 \pm 0,2$	
Bình Long-Bình Châu	TB-ĐN	Th-Bp	$0,15 \pm 0,02$	
Cà Ná-Vũng Tàu	ĐB-TN	Th-Bt		$< 0,032$
Thuận Hải-Minh Hải	ĐB-TN	Th-Bt		$0,046-0,058$
Lộc Ninh-Sài Gòn	AKT	Bt-Th	$0,11 \pm 0,07$	
Mũi Né-Côn Sơn	AKT	Bt-Th		$0,18-0,23$
Măng Cầu-Phú Quý	AKT	Th		$0,00$
KT.109°	AKT	Th		$0,00$

Ghi chú: AKT: Á kinh tuyến; Bp: Bằng phải; Bt: Bằng trái; Th: Thuận; TTB: Tây tây bắc; ĐĐN: Đông đông nam; ĐB: Đông bắc; TN: Tây nam.

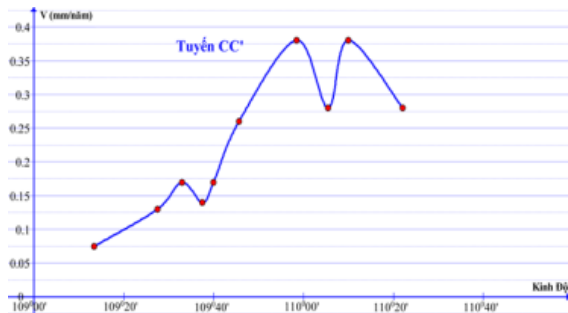
Đặc điểm trường vận tốc dịch chuyển thẳng đứng

Mối liên quan giữa vận tốc sụt lún trong các hệ đứt gãy hoạt động được phân tích theo 2 tuyến: CC' dọc vĩ tuyến $12^\circ N$, từ Cam Ranh-Nha Trang về phía đông và DD' từ điểm D, tại

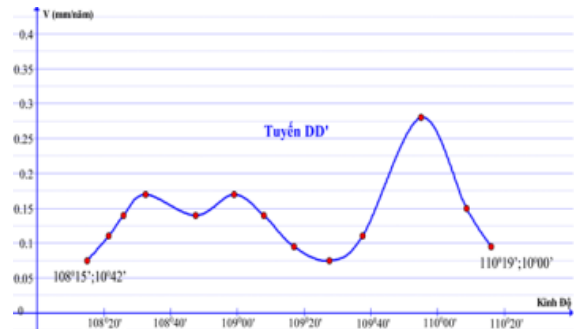
mũi Kê Gà D ($108^\circ 15' E, 10^\circ 42' N$) theo hướng đông nam tới D' ($110^\circ 19' E, 10^\circ N$). Đường cong vận tốc sụt lún theo 2 tuyến này thể hiện những đặc điểm sau:

Dọc theo tuyến CC' đường cong vận tốc sụt lún thể hiện sự có mặt của 3 cực đại

(hình 2): 0,17 mm/năm tại 109°33'E; 0,38 mm/năm tại 109°55'E và 0,38 mm/năm tại 110°15'E. Cực đại đầu tiên trùng với vị trí nhánh phía tây của hệ đứt gãy KT.109°, độ sâu xấp xỉ 200 m; cực đại thứ hai trùng với nhánh đông của hệ đứt gãy này, trong khoảng độ sâu 2.000–3.000 m; cực đại thứ ba trùng với vị trí một trũng sâu phương AKT nằm về phía đông đứt gãy KT.109° trong khoảng sâu trên 3.000 m. Các giá trị cực tiểu, của đường cong (hình 2) tương ứng với vị trí các đới nâng giữa hai nhánh đứt gãy KT.109° và giữa hệ đứt gãy này với trũng sâu ở phía đông. Trong đới sát bờ, vận tốc sụt lún giảm từ 0,13 mm/năm ở khoảng độ sâu 100–150 m đến < 0,05 mm/năm trên các độ sâu < 50 m.



Hình 2. Sự thay đổi vận tốc sụt lún dọc theo tuyến CC', từ ven biển Cam Ranh - Khánh Hòa về phía đông [7]



Hình 3. Sự thay đổi vận tốc sụt lún dọc theo tuyến DD' (từ mũi Kê Gà - Bình Thuận về phía đông nam) [7]

Dọc theo tuyến DD', cắt qua đông bắc trũng Cửu Long và Nam Côn Sơn, vận tốc độ sụt lún thay đổi từ các giá trị nhỏ hơn 0,075 mm/năm ở ven bờ, tăng dần tới khoảng 0,11–0,14 mm/năm khi đi ngang qua hệ đứt gãy Thuận Hải - Minh Hải; tới 0,14–0,16 mm/năm ở lân cận kinh tuyến 108°30'–108°40'E, nơi chịu tác động mạnh của đứt gãy thuận Tây Phú Quý (hình 3).

Từ kinh tuyến 109°E về phía đông, vận tốc sụt lún giảm dần tới 0,08–0,11 mm/năm khi ngang qua một đới nâng, trước khi đạt tới 0,26–0,28 mm/năm ở lân cận kinh tuyến 109°40'E, dọc theo hệ đứt gãy KT.109°; về phía đông, vận tốc sụt lún giảm dần đến khoảng 0,11 mm/năm, tại vị trí các đới nâng phía đông trũng Nam Côn Sơn.

Bảng 2. Vận tốc sụt lún dọc theo các đứt gãy khu vực ven biển Nam Trung Bộ và lân cận

Đứt gãy	Phương	Kiểu động học	V_H (mm/năm)	
			V_{Hqs}^*	V_{HT}^{**}
Sông Hồng (để so sánh)	TB-ĐN	Th		0,11–0,17
Sông Lô (để so sánh)	TB-ĐN	Th		0,22–0,28
Sông Ba	TB-ĐN	Bp-th		0,041–0,046
KT.109°				
- Nhánh tây	AKT	Th	0,15–0,17	
- Nhánh đông	AKT	Th	0,26–0,28	
Lộc Ninh-Sài Gòn	AKT	Bt-Th		0,02–0,07
Cà Ná-Vũng Tàu	ĐB-TN	Bt-Th	< 0,075	
Thuận Hải-Minh Hải	ĐB-TN	Th-Bt	0,11–0,14	
Mãng Cầu-Phú Quý	AKT	Th	0,16–0,17	
Tây Phú Quý	AKT	Th	0,14–0,16	

Ghi chú: *: V_v tính theo bề dày trầm tích Đệ tứ; **: V_v theo hệ số \bar{k} hoặc tham khảo từ [7].

Trên cơ sở phân tích một số mặt cắt vận tốc sụt lún khác cắt qua thềm lục địa Việt

Nam, có thể đưa ra một số nhận định, đánh giá như sau:

Hầu hết các đứt gãy thuận trên thềm lục địa Nam Trung Bộ đều thể hiện rõ trên các đường cong vận tốc sụt lún, tính từ bề dày trầm tích Đệ tứ [7]; Vị trí các đứt gãy trùng, hoặc gần trùng, với các cực đại đường cong vận tốc sụt lún, trong khi độ lớn các cực đại này thể hiện vận tốc sụt lún của đứt gãy (bảng 2).

Để tiện so sánh, chúng tôi có sử dụng số liệu đánh giá cho 2 đứt gãy nằm ngoài vùng nghiên cứu là đứt gãy sông Hồng và đứt gãy sông Lô. Hoạt động sụt lún mạnh xảy ra dọc theo nhánh phía đông của đứt gãy KT.109° (0,26–0,28 mm/năm) và đứt gãy sông Lô (0,22–0,28 mm/năm), sụt lún yếu hơn (0,11–0,17 mm/năm) xảy ra trong các đới đứt gãy thuận sông Hồng, nhánh phía tây đứt gãy KT.109°, Mãng Cầu-Phú Quý và Tây Phú Quý (bảng 2). Hoạt động sụt lún trong các đới đứt gãy trên thềm lục địa mạnh hơn đáng kể so các đứt gãy ở đất liền ven biển. Vận tốc sụt lún

trong các đới đứt gãy này khoảng 1,5 lần đến 4,5 lần lớn hơn vận tốc sụt lún trong các đới đứt gãy nội lục [7].

CÁC DẠNG TAI BIẾN LIÊN QUAN ĐẾN CHẾ ĐỘ ĐỊA ĐỘNG LỰC HIỆN ĐẠI VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ

Ảnh hưởng của hoạt động sụt lún kiến tạo tới độ dao động mực nước biển trong điều kiện mực nước biển dâng

Giả sử ở thời điểm ban đầu, h_o là độ cao mực nước biển tại 3 cấu trúc có chế độ kiến tạo khác biệt: cấu trúc bình ổn (vận tốc nâng/hạ đáy biển 0 mm/năm), cấu trúc nâng (vận tốc nâng Δ_1 mm/năm) và cấu trúc sụt hạ (vận tốc sụt Δ_2 mm/năm). Với vận tốc mực nước biển dâng trung bình hàng năm là α_o (mm/năm), sau khoảng thời gian T năm, độ cao mực nước biển tại ba cấu trúc này có các giá trị tương ứng là:

$$H_o = h_o + T\alpha_o; H_1 = h_o + T(\alpha_o - \Delta_1); H_2 = h_o + T(\alpha_o + \Delta_2)$$

Như vậy, trong trường hợp mực nước biển dâng, các hoạt động nâng/hạ bề mặt vỏ Trái đất có tác dụng làm giảm (ở các cấu trúc nâng) hoặc gia tăng (tại các cấu trúc hạ) độ cao mực nước biển. Trong khu vực nghiên cứu, các hoạt động sụt lún kiến tạo chiếm ưu thế rõ rệt trong đới sát bờ thuộc các tỉnh Khánh Hòa và Ninh Thuận, Bình Thuận, nơi các hệ thống đứt gãy thuận (KT.109°, Mãng Cầu-Phú Quý, Tây Phú Quý) và thuận-bằng (Tuy Hòa-Trị An, Vạn Ninh-Tánh Linh, Nha Trang-Tánh Linh và Cà Ná-Vũng Tàu) biểu hiện hoạt động mạnh trong Đệ tứ và hiện đại [8, 9]. Hoạt động sụt lún tại các khu vực này có tác dụng làm gia tăng độ cao mực nước biển với mức độ khác nhau, tùy thuộc vận tốc sụt lún trong từng cấu trúc.

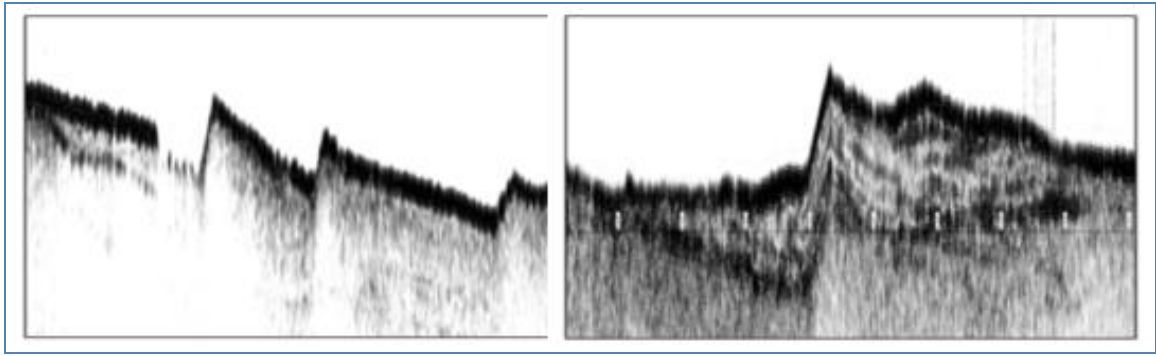
Các kết quả tính toán vận tốc sụt lún vỏ Trái đất theo tài liệu lỗ khoan, ở ven bờ Phan Thiết, Bình Thuận và Cam Ranh, Khánh Hòa cho thấy [7]: Ở đới sát bờ, vận tốc sụt lún Pleistocen sớm-giữa khoảng 0,023–0,075 mm/năm, trong khi vận tốc sụt lún thời kỳ Pleistocen muộn - Holocen đạt tới 0,2–0,48 mm/năm, khoảng 7–8 lần lớn hơn vận tốc sụt lún trong giai đoạn Pleistocen sớm-giữa. Như vậy, ở đới sát bờ, tại các khu vực này, mực nước biển dâng có thể được gia tăng đáng kể

(tới 0,2–0,48 mm/năm) bởi các hoạt động sụt lún kiến tạo.

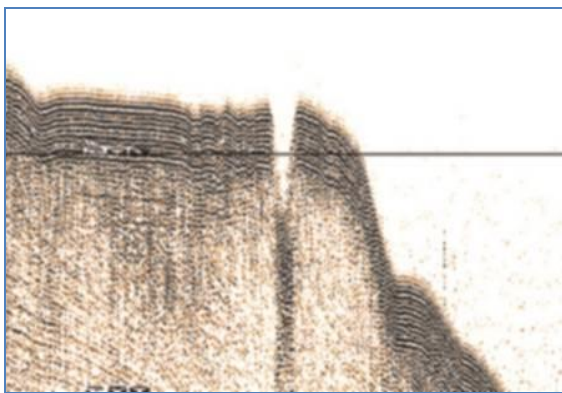
Như vậy, hoạt động sụt lún kiến tạo tác động trực tiếp đến sự gia tăng độ cao mực nước biển: Cấu trúc có vận tốc sụt lún càng cao, thì độ gia tăng này càng lớn. Theo tính toán của các nhà khoa học thì khi nước biển dâng lên 1 m, phạm vi ảnh hưởng của nó sẽ là các vùng đất thấp có độ cao tuyệt đối dưới 10 m. Tác động trực tiếp của sự dâng cao mực nước biển là làm gia tăng cường độ hoạt động của các tai biến xói lở, lũ lụt, nhiễm mặn và làm mất quỹ đất tại các vùng đất thấp ven biển.

Ảnh hưởng của hoạt động sụt lún kiến tạo tới đặc điểm biến dạng và phá hủy đới bờ

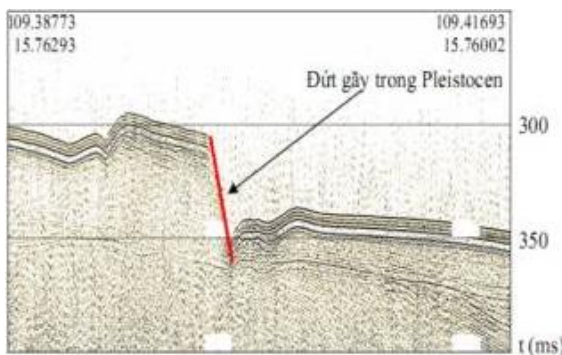
Các hoạt động sụt lún dọc theo các đứt gãy sông Hồng, sông Lô và KT.109° có tác dụng làm biến dạng và phá hủy đới bờ khu vực ven biển Nam Trung Bộ trong Pliocen-Đệ tứ và hiện đại. Hoạt động theo cơ chế thuận của các đứt gãy này có tác dụng chia cắt vỏ Trái đất, tạo ra các cấu trúc sụt hạ dạng bậc dọc trên hai cánh của đứt gãy (hình 4), các khe nứt tách mở trên bờ sườn của chúng (hình 5), hoặc tạo ra các sụt trượt dọc theo các đới thềm biển [11].



Hình 4. Vỏ Trái đất bị chia cắt và sụt bậc trên tuyến địa chấn 28-3-DC01, dọc theo đới đứt gãy sông Hồng



Hình 5. Khe nứt tách mở hình thành trên sườn bờ tây đứt gãy KT.109°, phát hiện trên tuyến địa chấn PK09-19 [7]



Hình 6. Đáy biển bị sụt trượt đột ngột với biên độ khoảng 40 m trên tuyến địa chấn BD01-43, cắt ngang đứt gãy sông Lô [10]

Các phá hủy sụt-trượt đáy biển dạng bậc quan sát được khá phổ biến ở ven biển Bình Thuận-Ninh Thuận. Các bằng chứng về các sụt-trượt đáy biển theo cơ chế thuận dọc theo

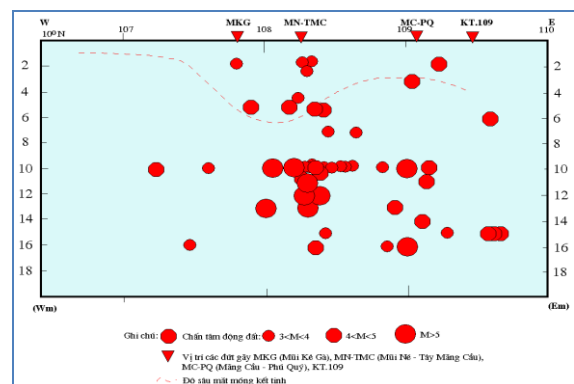
đới ven biển Cà Ná-Vũng Tàu được trình bày tại [11].

Động đất

Trên cơ sở danh mục 91 trận động đất với 1 trận $M = 5,6$; 12 trận $5,0 \leq M < 5,5$; 15 trận $4,5 \leq M < 5,0$; 50 trận $3,0 \leq M < 4,5$ và 12 trận không xác định magnitude, xảy ra trong khoảng thời gian, 1877–2012 [12], một số quy luật biểu hiện động đất ở khu vực ven biển Nam Trung Bộ đã được nghiên cứu.

Đặc điểm phân bố động đất theo độ sâu

Sự phân bố động đất theo độ sâu trong mặt cắt thẳng đứng dọc theo vĩ tuyến $10^{\circ}N$ cho thấy: Động đất khu vực ven biển Nam Trung Bộ thuộc loại động đất nông, phân bố chủ yếu trong dải độ sâu, từ một vài km đến khoảng 20 km, với sự tập trung cao hơn ở các độ sâu 10–13 km và 15–17 km (hình 7).



Hình 7. Đặc điểm phân bố động đất trong mặt cắt thẳng đứng dọc vĩ tuyến $10^{\circ}N$ [12]

Mối liên quan giữa động đất với bình đồ kiến tạo trẻ

Động đất liên quan chặt chẽ với bình đồ đứt gãy kiến tạo trẻ, thể hiện ở chỗ: Các mặt đứt đoạn tại các chấn tiêu động đất trùng hợp với bề mặt đứt gãy, về vị trí, sự định hướng cũng như chiều chuyển động dọc theo đứt gãy; các chấn tâm động đất mạnh không phân bố rải rác, mà tập trung chủ yếu dọc theo phương đứt gãy.

Tương quan tần suất - magnitude

Ở ven biển Nam Trung Bộ, do số liệu động đất còn sơ lược, chưa đủ để xây dựng tương quan tần suất - magnitude tin cậy cho từng đứt gãy sinh chấn, mà chỉ có thể thành lập chung cho toàn khu vực. Khi xác định $M_o = 4,5$ (là động đất nhỏ nhất còn quan sát được đầy đủ bởi mạng trạm hiện có), tương quan tần suất - magnitude ở khu vực nghiên cứu đã được xác lập dưới dạng:

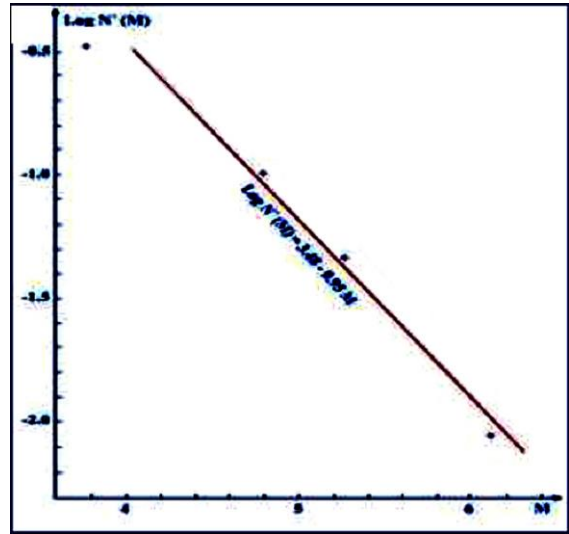
$$\log N^*(M \geq M_o) = 3,48 - 0,95 M$$

Tương quan này cho phép xác định số lần xuất hiện động đất mạnh $M \geq 4,5$ trong một năm trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Đồng thời, nó cũng cho phép xác định tần suất của

một trận động đất magnitude M_i bất kỳ, khi đã biết trước tần suất của động đất đại diện M_o :

$$N * M_i = 10^{0,95(M_o - M_i)}$$

Với $M_o = 4,5$, $b = 0,95$, là độ nghiêng của đồ thị lặp lại (hình 8).



Hình 8. Đồ thị lặp lại của động đất thêm lục địa đông nam Việt Nam

Bảng 3. Tần suất xuất hiện động đất mạnh khu vực ven biển Nam Trung Bộ

M	$M \geq 4,5$	$M \geq 5,0$	$M \geq 5,5$	$M \geq 6,0$
$I_o(MSK)$	5-6	6-7	7-8	8
$N^*(M \geq M_o)$	0,16	0,054	0,018	0,006

Tính địa chấn và các đặc trưng địa chấn đối với các hệ đứt gãy sinh chấn trong khu vực được tổng hợp trong [12].

Núi lửa

Đặc điểm phân bố bazan, núi lửa khu vực ven bờ và thềm lục địa

Ở khu vực ven bờ phun trào bazan chỉ xuất hiện từ Miocen giữa đến Pleistocen giữa-muộn. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, hoạt động phun trào bazan ở khu vực này mang tính chu kỳ và có thể phân thành một số nhịp phun trào chính, được mô tả chi tiết trong [12]:

Nhịp phun trào bazan Miocen muộn.

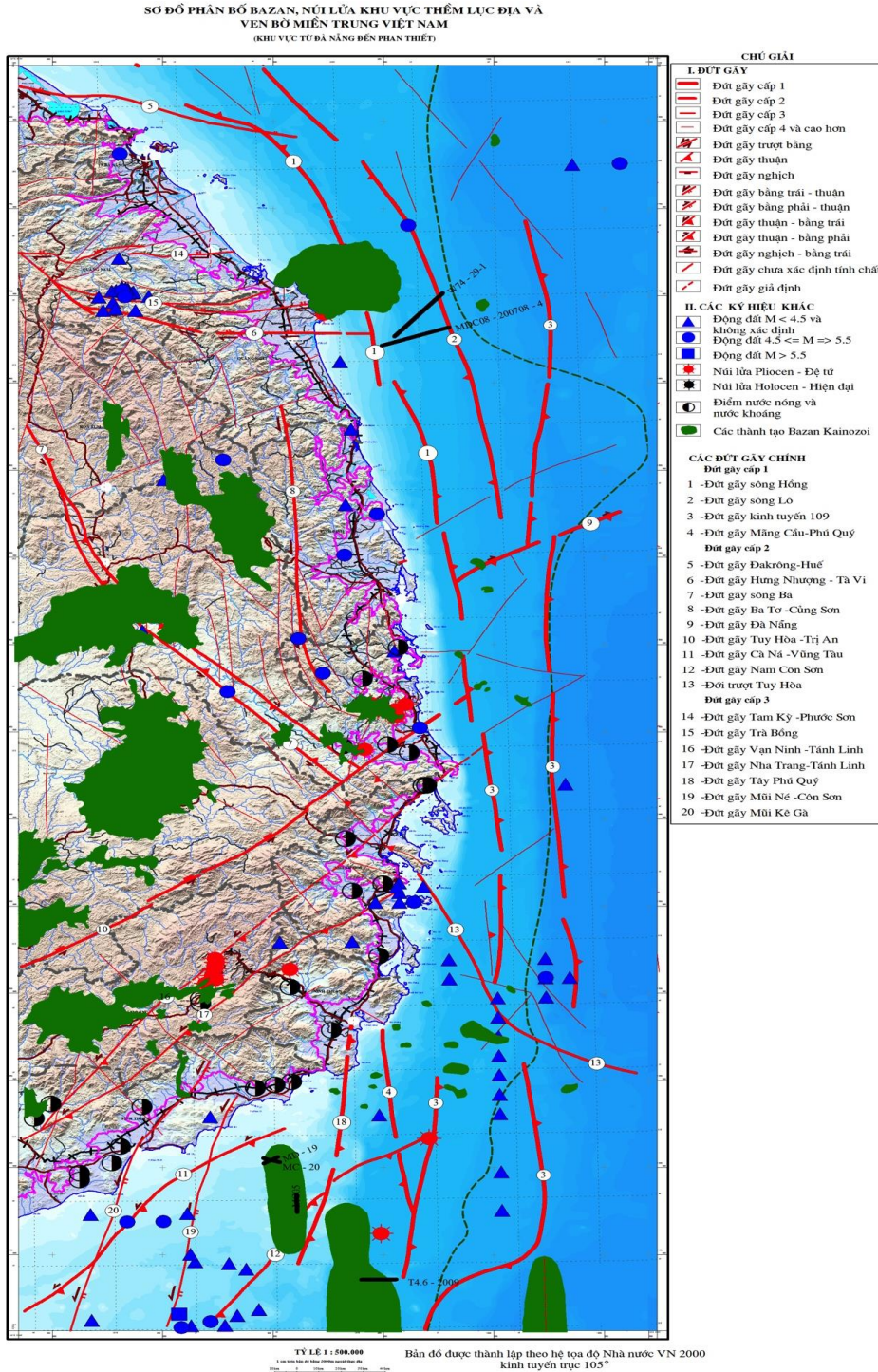
Nhịp phun trào bazan Pliocen-Pleistocen sớm (βN_2-Q_1).

Nhịp phun trào bazan Pleistocen giữa-muộn (βQ_1^{2-3}).

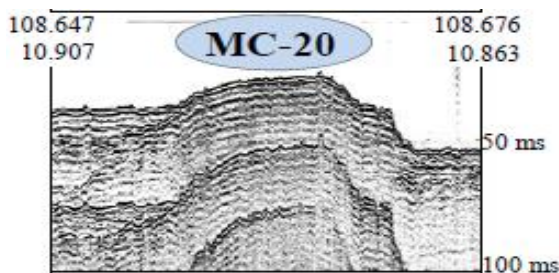
Bazan trên thềm lục địa Nam Trung Bộ tập trung chủ yếu ở vùng biển Ninh Thuận - Phú Quý. Bazan vùng biển này có diện phân bố rộng, tạo thành các dải phân bố đá bazan phương AKT, chiều dài từ vài chục kilomet dọc theo các đới đứt gãy KT.109° và Tây Phú Quý, đạt đến gần 100 km dọc theo đới đứt gãy Măng Cầu-Phú Quý [12, 13, 14]. Ngoài ra, các diện phân bố bazan nhỏ cũng gặp rải rác ở vùng biển Tuy Phong - Ninh Thuận, nơi giao cắt của các hệ đứt gãy Thuận Hải-Minh Hải, Măng Cầu-Phú Quý, KT.109° và đới trượt Tuy Hòa.

Đặc điểm địa động lực hiện đại khu vực ven biển Nam Trung Bộ được phân tích trên cơ sở các trường vận tốc dịch chuyển ngang và thẳng đứng dọc theo các đới đứt gãy hoạt động. Trường vận tốc dịch chuyển ngang có độ lớn

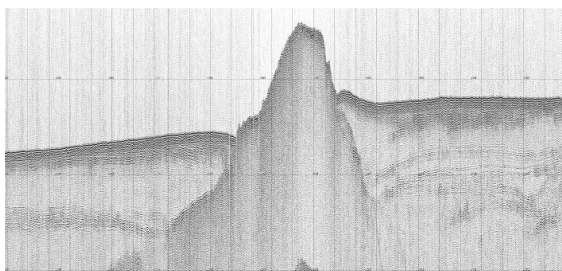
thay đổi từ hệ đứt gãy này sang hệ đứt gãy khác, từ 0,11–0,3 mm/năm trên các đứt gãy khác, từ 0–0,058 mm/năm trên các đứt gãy thuận bằng và thuận.



Hình 9. Sơ đồ phân bố động đất, các đứt gãy trẻ, bazan, núi lửa khu vực ven biển Nam Trung Bộ và lân cận [7]



Hình 10. Biểu hiện núi lửa Pliocen-Đệ tứ trên tuyến MC-20 ngang qua đứt gãy Tây Phú Quý [12]



Hình 11. Núi lửa Holocen-hiện đại trên tuyến T4.6-2009 ngang qua đứt gãy Mãng Cầu-Phú Quý [25]

Trường vận tốc sụt lún thay đổi phức tạp, khác biệt từ đứt gãy này sang đứt gãy khác, phụ thuộc cơ chế hoạt động đứt gãy: Các đứt gãy bằng thuận đặc trưng bởi vận tốc sụt lún thấp, dao động trong khoảng 0,02–0,09 mm/năm; các đứt gãy thuận-bằng có tốc độ sụt lún 0,11–0,14 mm/năm trong khoảng theo xu hướng lớn dần từ đất liền ra biển và từ tây sang đông; trong khi, các đứt gãy thuận có vận tốc sụt lún cao, dao động trong khoảng 0,14–0,28 mm/năm. Trên thềm lục địa, hầu hết các giá trị vận tốc sụt lún cao đều liên quan đến các đứt gãy thuận và thuận bằng: các giá trị 0,26–0,28 mm/năm trùng với nhánh đông đứt gãy KT.109°; 0,22–0,28 mm/năm trùng với vị trí đứt gãy sông Lô; 0,14–0,17 mm/năm trùng với vị trí các đứt gãy sông Hồng, nhánh tây đứt gãy KT.109° và Mãng Cầu-Phú Quý và Tây Phú Quý.

THẢO LUẬN

Hoạt động sụt lún làm gia tăng độ cao mực nước biển. Do hoạt động sụt lún kiến tạo, tốc độ dâng cao mực nước biển tại các cấu trúc sụt hạ sát bờ, có thể được gia tăng khoảng 0,2–0,48 mm/năm trong Pleistocen muộn-Holocen. Tác

động trực tiếp do mực nước biển dâng cao là làm gia tăng cường độ hoạt động của các tai biến xói lở, lũ lụt, nhiễm mặn và làm mất đất tại các vùng đất thấp ven biển.

Sụt-trượt đáy biển, động đất, núi lửa là những tai biến địa chất liên quan trực tiếp đến chế độ địa động lực khu vực ven biển Nam Trung Bộ. Trong giai đoạn 1877–2012, trong khu vực nghiên cứu đã xảy ra 91 trận động đất với magnitude, $3,0 \leq M \leq 6,1$. Động đất tập trung chủ yếu trong các đới đứt gãy phương AKT, ĐB-TN và TB-ĐN: Mũi Né-Côn Sơn (26 trận), KT.109° (18 trận), Mãng Cầu-Phú Quý (14 trận), Thuận Hải-Minh Hải, Nam Côn Sơn, Mũi Kê Gà, Tây Phú Quý (4–6 trận) và các đứt gãy khác (1–3 trận). Hầu hết các trận động đất mạnh, $M \geq 5,1$, đều xảy ra trong đới đứt gãy Mũi Né-Côn Sơn, là đứt gãy ranh giới phân cách các vùng ứng suất trượt bằng ở phía tây với chế độ ứng suất thuận-tách ở phía đông [12].

Các hoạt động núi lửa khu vực ven biển Nam Trung Bộ chủ yếu xảy ra trong thời gian từ khoảng 16 tr.n đến hiện đại và có thể phân thành 3 giai đoạn chính: Miocen muộn; Pliocen-Pleistocen sớm và Pleistocen giữa-muộn-hiện đại. Các hoạt động này đã tạo ra các diện phân bố bazan rộng ở Di Linh-Bảo Lộc (12 ÷ 1 tr.n.), Xuân Lộc (0,7 ÷ 0,24 tr.n.), và Phú Quý-Hòn Tro (5,5 tr.n đến trên 100 năm cách ngày nay). Các khối núi lửa phân bố dọc theo các đới đứt gãy AKT TB-ĐN và ĐB-TN, có xu hướng tập trung tại nút giao của các hệ đứt gãy này. Đứt gãy Mãng Cầu-Phú Quý được đánh giá là vùng nguồn có khả năng phát sinh núi lửa hiện đại, nơi xảy ra động đất núi lửa Hòn Tro năm 1923 và một loạt các biểu hiện phun trào khác sau trận động đất này.

Chúng ta nhận thấy xu thế bazan trẻ dần từ tây sang đông, sự phân bố của các hòng núi lửa kéo dài theo phương á kinh tuyến phản ánh trực tiếp tách giãn trẻ có xu hướng á vĩ tuyến.

KẾT LUẬN

Trường vận tốc dịch chuyển ngang từ 0,11–0,3 mm/năm trên các đứt gãy bằng-thuận đến 0–0,058 mm/năm trên các đứt gãy thuận bằng và thuận. Vận tốc sụt lún thấp, dao động trong khoảng 0,02–0,09 mm/năm dọc theo các đứt gãy bằng thuận; các đứt gãy thuận-bằng có tốc

độ sụt lún 0,11–0,14 mm/năm. Các đứt gãy thuận có vận tốc sụt lún cao, dao động trong khoảng 0,14–0,28 mm/năm. Các giá trị 0,26–0,28 mm/năm trùng với nhánh đông đứt gãy KT.109°.

Núi lửa trẻ phân bố dọc theo các đới đứt gãy AKT, có xu hướng tập trung tại nút giao của các hệ đứt gãy này. Đứt gãy Mãng Cầu-Phú Quý được xem là vùng nguồn phát sinh núi lửa hiện đại, đã xảy ra động đất núi lửa Hòn Tro năm 1923 và một loạt các biểu hiện phun trào khác sau trận động đất này.

Lời cảm ơn: Bài báo được hoàn thành với hỗ trợ của Đề tài NCKH cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, mã số VAST06.04/19–20, tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dương Quốc Hưng, Bùi Nhị Thanh, Nguyễn Văn Lương, Nguyễn Văn Điệp, 2013. Trường ứng Trường ứng suất kiến tạo và chuyển động kiến tạo hiện đại khu vực đông nam thềm lục địa Việt Nam. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, 35(1), 1–9.
- [2] Lê Duy Bách và Trần Văn Trị, 2000. Chương 3, Kiến tạo. Sách tra cứu các phân vị địa chất Việt Nam. *Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*.
- [3] Phan Trọng Trinh, 2015. Gradient kiến tạo hiện đại khu vực Ninh Thuận và lân cận. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 15(3), 209–224.
- [4] Lê Huy Minh, Frédéric Masson, Alain Bourdillon, Rolland Fleury, Jar-Ching Hu, Vũ Tuấn Hùng, Nguyễn Chiến Thắng, Nguyễn Hà Thành, 2013. Chuyển động hiện đại vỏ Trái đất theo số liệu GPS liên tục tại Việt Nam và khu vực Đông Nam Á. *Tuyển tập báo cáo khoa học. Hội nghị khoa học địa chất biển toàn quốc lần thứ II, Hà Nội-Hạ Long, 10-12/10/2013*. Tr. 695–710.
- [5] England, P., and Houseman, G., 1986. Finite strain calculations of continental deformation: 2. Comparison with the India-Asia collision zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 91(B3), 3664–3676.
- [6] England, P., and Molnar, P., 1997. Active deformation of Asia: From kinematics to dynamics. *Science*, 278(5338), 647–650. doi:10.1126/science.278.5338.647.
- [7] Nguyễn Thế Tiệp, 2015. Nghiên cứu đặc điểm địa mạo và lịch sử hình thành hệ thống thềm biển trên thềm lục địa và ven bờ miền Trung Việt Nam (từ Đà Nẵng tới Phan Thiết) trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo. Mã số: KC.09/11–15.
- [8] Michel, G. W., Becker, M., Angermann, D., Reigber, C., and Reinhart, E., 2000. Crustal motion in E-and SE-Asia from GPS measurements. *Earth, planets and space*, 52(10), 713–720.
- [9] Michel, G. W., Yu, Y. Q., Zhu, S. Y., Reigber, C., Becker, M., Reinhart, E., ... and Le Pichon, X., 2001. Crustal motion and block behaviour in SE-Asia from GPS measurements. *Earth and Planetary Science Letters*, 187(3–4), 239–244.
- [10] Bùi Nhị Thanh, Dương Quốc Hưng, Nguyễn Văn Lương, Nguyễn Văn Điệp, Mai Đức Đông, Bùi Thị Thanh Xuân, Nguyễn Kim Thanh, 2017. Thành lập sơ đồ phân bố đứt gãy khu vực biển ven bờ Nam Trung Bộ trên cơ sở minh giải tài liệu địa chất - địa vật lý. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, 17(4), 393–405.
- [11] Chamot-Rooke, N., and Le Pichon, X., 1999. GPS determined eastward Sundaland motion with respect to Eurasia confirmed by earthquakes slip vectors at Sunda and Philippine trenches. *Earth and Planetary Science Letters*, 173(4), 439–455.
- [12] Bùi Nhị Thanh, 2012. Đặc điểm hoạt động kiến tạo trẻ vùng đông nam thềm lục địa Việt Nam và mối quan hệ với các tai biến địa chất trên cơ sở tài liệu địa chấn. *Luận án Tiến sĩ Địa chất. Trường Đại học Mở-Địa chất, Hà Nội*, 151 tr.
- [13] Phạm Năng Vũ và nnk., 2008. Hoạt động kiến tạo và núi lửa trẻ Pliocene-Đệ tứ thềm lục địa Nam Việt Nam. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, 30(4), 289–301.
- [14] Mai Thanh Tân, 2010. Nghiên cứu đặc điểm địa chất, địa chất công trình khu vực thềm lục địa Trung Bộ Việt Nam phục vụ chiến lược phát triển kinh tế và xây dựng

- công trình biển. *Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Nhà Nước KC09.01/10-6.*
- [15] Bùi Nhị Thanh, 2009. Các quy luật biểu hiện động đất khu vực ven biển và thềm lục địa Đông Nam Việt Nam. *Các công trình nghiên cứu Địa chất và Địa vật lý biển.* Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [16] Nguyễn Văn Lương, Dương Quốc Hưng, Bùi Nhị Thanh, 2000. Đặc điểm phân bố và mức độ nguy hiểm của động đất núi lửa trong dải ven biển Việt Nam. Các công trình nghiên cứu địa chất và địa vật lý biển, Tập VI. Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [17] Lee, G. H., and Watkins, J. S., 1998. Seismic sequence stratigraphy and hydrocarbon potential of the Phu Khanh Basin, offshore central Vietnam, South China Sea. *AAPG bulletin*, 82(9), 1711–1735.
- [18] Lê Duy Bách, Cao Đình Triều, Ngô Gia Thắng, 2007. Kiến tạo, địa động lực Kainozoi muộn vùng thềm lục địa Đông Nam Việt Nam. *Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHKT ĐVL Việt Nam lần thứ 5.* Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội. Tr. 21–30.
- [19] Nguyễn Xuân Hãn và nnk (1991). Hoạt động núi lửa trẻ khu vực Biển Đông Việt Nam. *Địa chất - Tài nguyên.* Nxb. Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, Tr. 115–119.
- [20] Bùi Công Quế, 2010. Đánh giá độ nguy hiểm động đất và sóng thần vùng ven biển và hải đảo Việt Nam và đề xuất các giải pháp ứng phó và phòng tránh. *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước, Mã số ĐTDL 2007G/45.*