

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



**Tên đề tài: TIẾN HÓA KIẾN TẠO VÀ ĐỘNG LỰC MANTI TRONG KAINOZOI VÙNG
BIỂN NAM TRUNG BỘ**

**Major: Geology
Code: 9.44.02.01**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ

HÀ NỘI – 2023

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học 1: TS. Phùng Văn Phách

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS Nguyễn Hoàng

Phản biện 1: PGS.TS. Nguyễn Văn Vượng

Phản biện 2: PGS.TS. Hoàng Văn Long

Phản biện 3: PGS.TS. Nguyễn Như Trung

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi ... giờ ..', ngày ... tháng ... năm 202....

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
- Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1 - Tính cấp thiết của đề tài

Biển Đông là một biển rìa được hình thành trong giai đoạn Kainozoi, thuộc chuỗi các biển rìa lớn nhất thế giới, nằm kề cận với vành đai động Tây Thái Bình Dương. Sự độc đáo về vị trí địa lý, cấu trúc kiến tạo, hoạt động magma và quá trình tiến hóa của Biển Đông luôn thu hút sự chú ý của cộng đồng nhiều nhà khoa học trên thế giới thuộc nhiều lĩnh vực khác nhau, đặc biệt là kiến tạo, magma, địa động lực, sinh khoáng v.v. Nhiều vấn đề đã trở thành tâm điểm bàn luận của các nhà khoa học, trong đó nổi bật là vấn đề về cơ chế hình thành, tiến hóa kiến tạo và địa động lực. Kiến tạo khu vực Biển Đông và lân cận có liên quan mật thiết đến sự di chuyển và tương tác của ba mảng Ấn Úc, Âu Á và Thái Bình Dương, kèm theo đó là các dạng chuyển tải năng lượng đặc biệt, diễn ra trong manti và bề mặt vỏ Trái đất đã tạo lập địa hình khu vực Đông Dương và đáy Biển Đông ngày nay.

Vùng biển Nam Trung Bộ và kề cận là nơi chuyển tiếp của địa khối Đông Dương ra đến vỏ đại dương Biển Đông. Đới đứt gãy kinh tuyến Vách Dốc Đông Việt Nam (VDĐVN) đóng vai trò ranh giới giữa lục địa Đông Dương và bồn địa Biển Đông được hình thành và biến cải trong Kainozoi. Nơi đây chính là vị trí ghi nhận rõ nét nhất các hoạt động kiến tạo, liên quan đến quá trình hình thành và phát triển Biển Đông.

Động lực manti, di chuyển mảng, kiến tạo địa động lực và hoạt động magma, sinh khoáng luôn liên quan mật thiết với nhau. Việc liên kết, khâu nối các quá trình trong phạm vi Biển Đông và lục địa kề cận, hiện vẫn đang là một vấn đề đang được nghiên cứu, đặc biệt là vấn đề đánh giá vai trò của động lực manti và liên kết với các pha kiến tạo chính của khu vực cần được làm sáng tỏ. Trước những yêu cầu này nghiên cứu sinh (NCS) lựa chọn đề tài: “Tiến hóa kiến tạo và động lực manti trong Kainozoi vùng biển Nam Trung Bộ”.

2 - Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là đặc điểm cấu trúc địa chất, đặc điểm thạch học và địa hóa thành tạo bazan giai đoạn Kainozoi muộn khu vực ven biển và ngoài khơi Nam Trung Bộ. Kết quả nghiên cứu đạt được cho phép NCS xác định các giai đoạn phát triển cấu trúc kiến tạo, không gian phân bố, cơ chế địa động lực, đồng thời làm sáng tỏ mối liên quan giữa động lực manti; di chuyển mảng thạch quyển; hoạt động kiến tạo trong vùng biển Nam Trung Bộ và kề cận.

Phạm vi khu vực nghiên cứu chi tiết tập trung trong khung tọa độ địa lý:

108° 00' đến 112° 00' kinh độ Đông và

9° 00' đến 15°00' vĩ độ Bắc, và các khu vực kề cận, bao gồm lục địa Đông Dương, trũng sâu Biển Đông (Hình 1).

3 - Mục tiêu của luận án

- Nghiên cứu và xây dựng mô hình tiến hóa kiến tạo vùng Biển Đông và khu vực ven biển Nam Trung Bộ (Hình 1).
- Mối tương quan giữa tiến hóa cấu trúc kiến tạo và hoạt động magma trong khu vực.
- Xác định bản chất nguồn và đặc điểm động lực manti khu vực nghiên cứu.

4 - Nhiệm vụ của luận án

(1) Nghiên cứu đặc điểm cấu trúc địa chất khu vực nghiên cứu khu vực thềm lục địa Nam Trung Bộ và phụ cận. Nghiên cứu đặc điểm các pha kiến tạo chính trong khu vực và vai trò kiến sinh của chúng trong việc hình thành bình đồ cấu trúc địa chất của vỏ Trái đất và thạch quyển khu vực nghiên cứu.

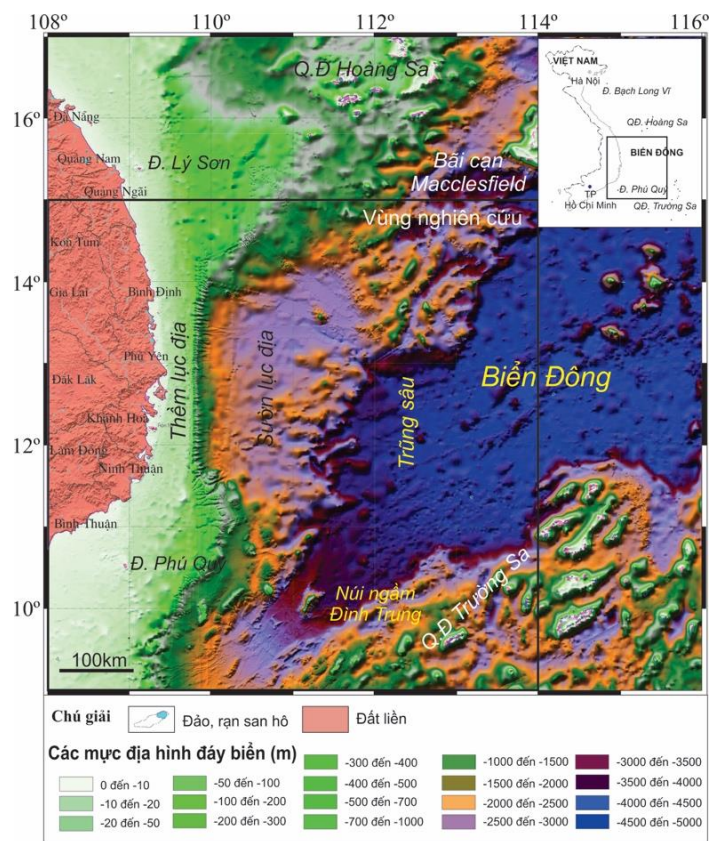
(2) Nghiên cứu đặc điểm thạch học, địa hóa đá bazan, đặc điểm nguồn manti, tuổi phun trào, và diện phân bố các thành tạo đá bazan giai đoạn Mioncen-Đệ Tứ khu vực nghiên cứu; tìm hiểu đặc điểm thành phần khoáng vật tạo đá bazan, đặc điểm hình thái và thành phần hóa học ban tinh olivin và pyroxen xen trong đá bazan; nghiên cứu đặc điểm thành phần nguyên tố chính, nguyên tố vết và đồng vị đá bazan và đặc điểm địa hoá dung thể magma bazan.

(3) Nghiên cứu xây dựng mô hình tiến hóa kiến tạo khu vực ven biển Nam Trung Bộ theo mối quan hệ giữa động lực manti và chế độ địa động lực khu vực

5 - Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Các hoạt động magma - kiến tạo Kainozoi khu vực nghiên cứu được chia thành sáu giai đoạn gồm: 1) Trước Eocen giữa (~ 45 tr.n.), giai đoạn trước tách giãn; 2) Eocen giữa – Oligocen sớm (45 - 32 tr.n), giai đoạn tạo tách giãn; 3) Oligocen giữa - Oligocen muộn (32 – 23 tr.năm), giai đoạn giãn đáy hình thành vỏ đại dương Biển Đông giai đoạn sớm; 4) Miocen sớm (khoảng 23 tr.n - 16±0,5 tr.năm), giai đoạn mở rộng lớp vỏ đại dương tiến vào thềm lục địa Việt Nam; 5) Miocen giữa - Pliocen (từ 16±0,5 đến 5 tr.n.), giai đoạn sau tách giãn với hoạt động phun trào núi lửa hình thành lớp phủ nền 6) Pliocen – Đệ tứ (từ 5 tr.n. đến 0 tr.n), giai đoạn sau tách giãn giải phóng năng lượng tàn dư dưới dạng phun trào núi lửa đơn.

Luận điểm 2: Khi mảng Ấn Độ va chạm vào Âu Á các vi mảng, khối cấu trúc địa chất Đông Nam Á biến dạng và dịch chuyển phía trên dòng manti nóng, có nhiệt độ cao hơn mức nhiệt trung bình manti toàn cầu và liên tục biến đổi theo thời gian. Do ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo, thạch quyển Đông Nam Á liên tục bị căng giãn, trượt bằng, sụt lún và bị vát mỏng tuy nhiên các quá trình trên không đủ để phát sinh các lò magma cung cấp đủ lượng dung thể hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông và hoạt động phun trào núi lửa Miocen giữa – Đệ Tứ tại ven biển và thềm lục địa Nam Trung Bộ. Kết quả nghiên cứu của luận án đã chứng minh nguồn magma nêu trên được hình thành bởi các hoạt động diễn ra trong manti và được phản ánh thông qua chế độ động lực manti khu vực là các biểu hiện về sự thay đổi theo thời gian và không gian của dòng manti (mantle flow), sự thay đổi trạng thái nhiệt phân bố trong manti trên và đặc điểm nguồn magma (độ sâu, áp suất và nhiệt độ nóng chảy từng phần).



Hình 1: Sơ đồ khu vực nghiên cứu

6 - Các điểm mới của luận án

- Kết quả nghiên cứu của luận án đã chứng minh quá trình biến dạng và dịch chuyển các vi mảng, khối cấu trúc địa chất Đông Nam Á và vùng Biển Đông phát triển trên dòng manti nhiệt độ cao, kém ổn định về thời gian và không gian.

- Số liệu về tuổi, diện phân bố, đặc điểm thạch học, địa hóa bazan trong khu vực nghiên cứu đã làm sáng tỏ cơ chế hình thành nguồn magma giai đoạn Kainozoi muộn khu vực ven biển, thềm lục địa Nam Trung Bộ và vùng trũng sâu Biển Đông.

- Chế độ động lực manti biểu hiện thông qua sự thay đổi theo thời gian và không gian của dòng manti, sự thay đổi trạng thái nhiệt phân bố trong manti trên và đặc điểm nguồn magma (độ sâu, áp suất và nhiệt độ nóng chảy từng phần) là động lực tác động trực tiếp tới quá trình tiến hóa kiến tạo vùng nghiên cứu.

- NCS đã xây dựng được mô hình tiến hóa magma - kiến tạo vùng biển Nam Trung Bộ và kế cận trên cơ sở các đặc điểm địa động lực và động lực manti. Mô hình đã thể hiện được sáu giai đoạn tiến hóa cấu trúc kiến tạo trong khu vực, đồng thời giải thích được mối liên hệ chặt chẽ giữa các biến cố xảy ra trong manti và vỏ Trái đất vào các giai đoạn Kainozoi- muộn trên vùng biển Nam Trung Bộ và kế cận.

7 - Cơ sở tài liệu của luận án

- Các tài liệu thực tế khảo sát đo vẽ cấu trúc địa chất và thu thập mẫu đá bazan ven biển, trên các đảo, thềm lục địa từ Bình Định đến Ninh Thuận mà NCS là chủ nhiệm và thành viên các đề tài giai đoạn 2012 - 2018.
- Bộ mẫu đá núi lửa lưu trữ tại Viện Địa chất Viễn Đông, VHLKH LB Nga chi nhánh Viễn Đông, từ các chuyến khảo sát trên vùng Biển Việt Nam những năm 80 thế kỷ XX. Các mẫu đá núi lửa sau khi thu thập đã được gửi phân tích tại các cơ sở uy tín bao gồm:
 - + Phân tích thành phần nguyên tố chính tại Viện Địa chất, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Sở Địa chất Nhật Bản, Viện Địa chất Viễn Đông Viện HLKH LB Nga thuộc Phân Viện Viễn Đông.
 - + Phân tích thành phần nguyên tố vết, đất hiếm tại Sở Địa chất Nhật Bản.
 - + Phân tích thành phần hóa học khoáng vật olivin và pyroxen tại Viện Địa chất Viễn Đông Viện HLKH LB Nga thuộc Phân viện Viễn Đông.
- Kết quả phân tích tài liệu địa vật lý là sản phẩm của các đề tài KC09.02/11-15 và KC09.07/16-20, KC09.31/16-20 và KC09.33/16.20 Chương trình: “Nghiên cứu KH&CN phục vụ quản lý biển, hải đảo và phát triển kinh tế biển”. Mã số: KC.09/11-15 và KC.09/16-20.
- Các bài báo khoa học liên quan đến nội dung luận án bao gồm các bài báo NCS là tác giả chính và đồng tác giả công bố trên các Tạp chí khoa học, Hội nghị khoa học trong nước và quốc tế.

8 - Cấu trúc của luận án

Cấu trúc luận án ngoài phần mở đầu và kết luận bao gồm các chương:

- Chương I. Tổng quan địa chất vùng nghiên cứu
- Chương II. Cách tiếp cận, kỹ thuật sử dụng và phương pháp nghiên cứu.
- Chương III. Đặc điểm magma, cấu trúc địa chất và kiến tạo vùng nghiên cứu
- Chương IV. Đặc điểm động lực manti và tiến hóa kiến tạo vùng nghiên cứu

CHƯƠNG I. KHÁI QUÁT CHUNG VỀ VÙNG BIỂN NAM TRUNG BỘ VÀ LÂN CẬN

1. Vị trí địa lý của khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu của luận án thuộc rìa tây Biển Đông, gồm các yếu tố lục địa, thềm lục địa, sườn lục địa và một phần vùng trũng sâu Biển Đông (Hình 1). Phần lục địa của vùng nghiên cứu là vùng duyên hải Nam Trung Bộ, địa hình bao gồm đồng bằng ven biển và núi thấp (độ cao khoảng 200 m so với mực nước biển). Các miền đồng bằng có diện tích không lớn do các dãy núi phía tây trải dọc theo hướng nam tiến dần ra sát biển và có hướng thu hẹp dần diện tích lại. Đồng bằng chủ yếu do sông và biển bồi đắp, thường bám sát theo các chân núi. Thềm lục địa tại khu vực thuộc các tỉnh Bình Định Phú Yên, Khánh Hòa, Ninh Thuận, (từ vĩ độ 11⁰48' đến 14⁰00' vĩ độ bắc) có bề ngang rất hẹp, trung bình khoảng 40 km. Trong đó chỗ rộng nhất là 60km (thuộc tỉnh Bình Định), chỗ hẹp nhất đạt 20km (tại Đèo Cả, Phú Yên). Trên bản đồ địa hình, đường đẳng sâu -200m nước là ranh giới tự nhiên của thềm lục địa khu vực này. Ra khỏi ranh giới này về phía đông độ sâu đáy biển tăng đột ngột từ -200m đến -2500m, tạo một vách dốc nổi rõ trên nền địa hình. Về phía nam vĩ độ 11⁰48'N thềm lục địa thay đổi theo hướng đông bắc - tây nam và mở rộng nhanh chóng với bề ngang khoảng 200km. Vùng sườn lục địa có độ sâu dao động trong khoảng -2500 m – -3500m có xu thế mở rộng trái ngược với thềm lục địa. Phần phía bắc được mở rộng, chỗ rộng nhất lên tới trên 300km thuộc tỉnh Bình Định. Trũng sâu Biển Đông có địa hình tương đối bằng phẳng, độ sâu dao động -3500m - -5000m. Địa hình có xu thế bị thu hẹp về phía tây nam khi tiến vào thềm lục địa Việt Nam. Tại đây xuất hiện dải núi ngầm nhô cao trên 1000m, dọc theo trục của lồi địa hình và kết thúc tại vị trí núi ngầm Đình Trung. Núi ngầm này tạo nên một ranh giới tự nhiên giữa hai khu vực Đông bắc và Tây Nam: phía tây nam địa hình đáy biển gồ ghề hơn, phân dị hơn, còn về phía đông bắc đáy biển ổn định dần, với bề mặt khá bằng phẳng, chuyển vào khu vực trũng nước sâu Biển Đông với vỏ đại dương.

2. Vị trí kiến tạo của khu vực nghiên cứu trên bình đồ cấu trúc kiến tạo khu vực

Cấu trúc địa chất của khu vực biển Nam Trung Bộ và kề cận là hệ quả của một quá trình vận động, tiến hóa phức tạp của các mảng kiến tạo trong khu vực châu Á và Thái Bình Dương. Trọng tâm của các quá trình tiến hóa kiến tạo trong giai đoạn Kainozoi của khu vực Đông Nam Á là hoạt động trượt bằng trái của hệ thống đứt gãy khu vực, phương TB - ĐN và sự hình thành giãn đáy tạo vỏ đại dương Biển Đông.

Vỏ đại dương Kainozoi Biển Đông được hình thành một mặt kéo theo sự lún chìm phân rã của một bộ phận không nhỏ rìa lục địa châu Á (như các quần đảo Trường Sa và Hoàng Sa), mặt khác nó tách và đẩy một số mảnh vỏ lục địa trôi dạt về phía ĐN, gắn kết vào chuỗi các đảo ở đó (khối Bắc Palawan), tạo nên dãy đảo phía ngoài, ngăn cách Biển Đông với mảng đại dương Thái Bình Dương. Bối cảnh kiến tạo của Biển Đông có sự khác biệt cơ bản ở các bờ Bắc, Nam, Tây và Đông, bao gồm rìa thụ động ở phía bắc, rìa hội tụ tích cực ở phía đông, trượt bằng ở phía tây và rìa nam là một vùng rộng lớn kết hợp giữa các mảng vỏ trôi trượt bị vát mỏng Trường Sa - Tư Chính - Vũng Mây và đới hút chìm cổ Borneo – Palawan ở phía trước.

Phía tây Biển Đông là rìa lục địa hẹp và có cấu trúc phức tạp với sự hiện diện của đới trượt bằng Vách Dốc Đông Việt Nam (VDĐVN). Vào giai đoạn cuối của quá trình hình thành Biển Đông đứt gãy VDĐVN đã đóng vai trò như một role kiến tạo, điều chỉnh lại ứng suất căng giãn của phần phía tây Biển Đông (Hayes and Nissen, 2005). Hoạt động này làm cho rìa lục địa ở phía tây có kiểu động lực trượt bằng và tạo nên các sụt lún mạnh mẽ, làm cho thềm lục địa rất hẹp, nhưng sườn lục địa lại khá rộng và địa hình phức tạp. Đặc biệt quá trình trượt bằng và trượt ngang của diễn ra tại đây đã làm vỏ Trái đất bị căng giãn, vát mỏng (Savva et al., 2016). Các đơn vị cấu trúc của khu vực nghiên cứu được phát triển trên nền của 3 miền vỏ Trái đất là: 1) miền vỏ lục địa, 2) miền vỏ chuyển tiếp và 3) miền vỏ đại dương.

3. Tổng Quan địa chất, kiến tạo vùng nghiên cứu giai đoạn Kainozoi

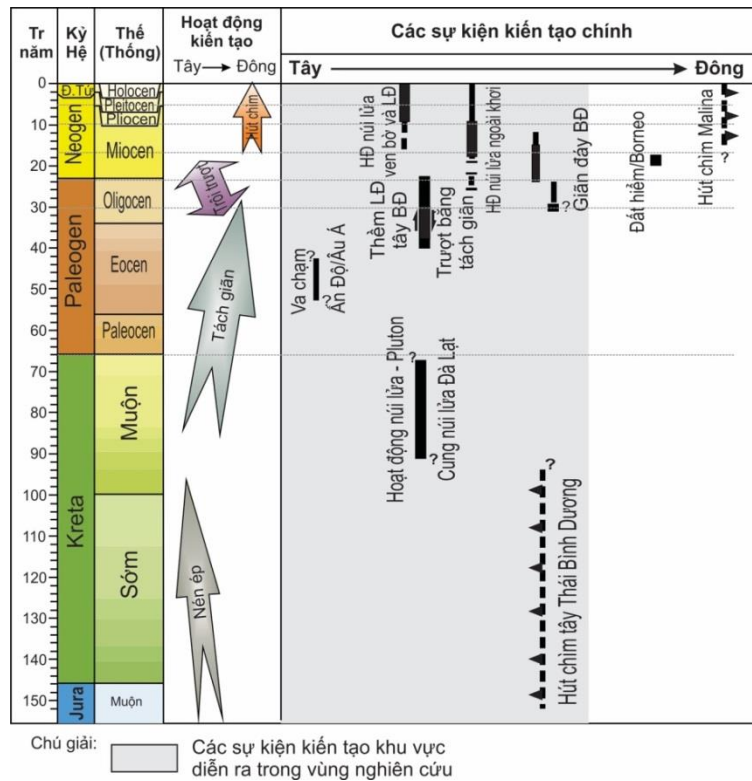
Như đã đề cập, trọng tâm của các quá trình tiến hóa kiến tạo trong giai đoạn Kainozoi của khu vực Đông Nam Á là hoạt động trượt bằng trái của hệ thống đứt gãy khu vực phương TB-ĐN và sự hình thành giãn đáy tạo vỏ đại dương Biển Đông. Khu vực nghiên cứu thuộc rìa phía đông của địa khối Đông Dương và rìa tây của Biển Đông, liên quan mật thiết với các quá trình vận động của Địa khối Đông Dương cùng với quá trình mở Biển Đông với các hoạt động núi lửa diễn ra trong giai đoạn Eocen – Đệ Tứ. Tổng hợp kết quả nghiên cứu địa chất, kiến tạo, địa động lực, thạch học, magma... từ nhiều công trình công bố cho thấy các sự kiện kiến tạo chính diễn ra trong vùng nghiên cứu theo thời gian bao gồm (Hình 2):

- (1) Sự va chạm của mảng Ấn Độ vào mảng Âu - Á bắt đầu vào khoảng 50 - 45tr.n trước;
- (2) Quá trình dịch chuyển và xoay theo chiều kim đồng hồ của địa khối Đông Dương kèm theo quá trình tách giãn trên diện rộng tại thềm lục địa tây Biển Đông diễn ra trong khoảng 45 – 23 tr.năm trước;
- (3) Quá trình căng giãn vỏ Trái đất hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông trong giai đoạn 33 tới 16 ± 0.5 tr.năm trước;
- (4) Hoạt động núi lửa diễn ra ở lục địa Nam Trung Bộ, trên thềm lục địa và vùng trũng sâu Biển Đông giai đoạn Oligocen giữa – Đệ Tứ; Hoạt động của đới hút chìm Manila ở phía đông Biển Đông.
- (5) Hoạt động của đới hút chìm Borneo-Palawan ở Nam Biển Đông;

Tương ứng mỗi sự kiện kiến tạo, trên thềm lục địa Nam Trung Bộ được đặc trưng bởi các tầng trầm tích khác nhau, ngăn cách trên và dưới bởi các mặt bất chỉnh hợp khu vực rõ nét. Tài liệu minh giải các mặt cắt địa chấn từ các công trình đã công bố trong vùng nghiên cứu đã xác định các ranh giới địa chấn địa tầng và các đặc điểm về hình thái của chúng. Kết quả đạt được đã xác định 5 bề mặt bất chỉnh hợp (S1 – S5) và 6 tầng cấu trúc (T1 – T6) trong vùng nghiên cứu, 5 bề mặt ranh giới bất chỉnh hợp bao gồm:

– Ranh giới S1 (bề mặt móng âm học hay móng kết tinh) là ranh giới phân chia thành tạo trầm tích Kainozoi nằm phía trên và các thành tạo trước Kainozoi nằm dưới. Bề mặt S1 nằm ở phần đáy của tầng trầm tích tuổi Oligocene (khoảng 36 tr.n).

– Ranh giới S2 là nóc của Oligocene hay bề mặt đứt bảo mòn cắt xén (BU-Break up Unconformity), có tuổi khoảng 30 tr.năm. Tại khu vực Trũng Sâu Biển Đông, nơi có lớp vỏ đại dương, không xác định được bề mặt S2.



Hình 2. Kết quả tổng hợp các sự kiện kiến tạo chính diễn ra tại Đông Nam Á giai đoạn Mesozoi muộn – Kainozoi theo nhiều tác giả (Briais et al., 1993; Li et al., 2015; Savva et al., 2016; Tapponnier et al., 1982, 1986; Taylor and Hayes., 1983, Franke et al., 2013...)

- Tầng T4= Miocene trên, nằm kẹp giữa S4 và S5.
- Tầng T5 = Pliocene - Đệ Tứ, nằm kẹp giữa S5 và đáy biển.

Các tầng T1 và T2 được cho là đồng tách giãn (synrift) các tập T3-T5 là các trầm tích sau tách giãn (post-rift).

Trong bối cảnh kiến tạo của khu vực, hoạt động magma được ghi nhận chủ yếu vào giai đoạn Kainozoi muộn liên quan đến các sự kiện kiến tạo chính bao gồm: 1) Hoạt động magma diễn ra tại vùng trũng sâu Biển Đông và thềm lục địa lân cận giai đoạn Oligocen – Miocen (sớm – giữa) liên quan đến quá trình hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông; 2) Hoạt động núi lửa thềm lục địa và ven bờ biển Nam Trung Bộ kéo dài từ Miocen (giữa) đến Đệ Tứ liên quan đến các dòng vật chất manti bị ép trôi và dịch chuyển tiếp sau mảng Ấn Độ và đẩy vào mảng Âu Á (Flower et al., 1992; 1998; Hoang et al., 1996, 2013; Lee et al., 1998; Hoang and Flower, 1998; Phạm Tích Xuân và N. Hoàng, 2002; Nguyễn Hoàng và Phan Trọng Trịnh, 2009; An et al., 2016). Vào giai đoạn Oligocen - Miocen (sớm – giữa), hoạt động magma diễn ra nhỏ lẻ tại một số nơi trên thềm lục địa phía bắc Biển Đông. Hoạt động magma chính là sự hình thành lớp vỏ đại dương và được chia thành từng giai đoạn tương ứng với các giai đoạn phát triển của Biển Đông từ 32 tới 16±0,5 tr.năm trước. Vào giai đoạn Miocen (giữa) – Đệ Tứ, hoạt động magma diễn ra mạnh mẽ và biểu hiện thông qua sự xuất hiện của các núi lửa dọc theo trục tách giãn Biển Đông, phía Bắc, phía Tây và Nam thềm lục địa Biển Đông và lân cận. Mặc dù hoạt động núi lửa xuất hiện nhiều, tuy nhiên lượng dung thể magma từ dưới sâu đưa lên bề mặt Trái đất không lớn để hình thành một tỉnh thạch học.

4. Sự hình thành và tiến hóa Biển Đông

– Ranh giới S3 là bề mặt nóc Miocene dưới, có tuổi khoảng 15,5 tr.n, hay còn có tên MMU (Middle Miocene Unconformity). Bề mặt S3 được dùng làm ranh giới đánh dấu giai đoạn chuyển đổi từ chế độ kiến tạo hoạt động sang chế độ ngưng nghỉ.

– Ranh giới S4 là bề mặt nóc Miocene giữa cách đây khoảng 10,4 tr.năm. Bề mặt S4 đánh dấu giai đoạn biến thoái, mang tính khu vực.

– Ranh giới S5 là bề mặt nóc Miocene trên, có tuổi khoảng 5,2 tr.năm. Bề mặt S5 là bề mặt bảo mòn mãnh liệt, kéo dài, làm bề mặt địa hình cổ bị san phẳng mang tính khu vực trên phần lớn diện tích các bề trầm tích.

Xen giữa 5 bề mặt ranh giới là năm tầng cấu trúc (hay nhíp trầm tích) như sau:

- Tầng T1 = Eocene – Oligocene nằm kẹp giữa S1 và S2.
- Tầng T2= Miocene dưới, nằm kẹp S2 và S3.
- Tầng T3 = Miocene giữa, nằm kẹp giữa S3 và S4.

Biển Đông được xem như một tiểu đại dương với đầy đủ các thành phần cấu trúc phức tạp và không ổn định theo không gian, có thay đổi mạnh mẽ về vị trí và tốc độ tách giãn theo thời gian. Theo các tài liệu dị thường từ (Briaies et al., 1993) Biển Đông được hình thành từ 33 đến $16 \pm 0,5$ tr.năm. Theo thời gian và đặc điểm tiến hóa, bồn đại dương Biển Đông được quy ước phân thành 3 phụ bồn: phụ bồn Tây Bắc, phụ bồn Đông và phụ bồn Tây Nam. Từ $16 \pm 0,5$ tr.n. đến nay bồn Biển Đông mang tính chất bồn thụ động và bị co hẹp dần do một phần ở phía đông bị hút chìm và tiêu biến dưới các đảo của Philippin, dọc theo hẻm vực Manila.

Hiện nay tồn tại một số mô hình kiến tạo động lực Kainozoi. Các mô hình kiến tạo khu vực chủ yếu tập vào giải quyết mối liên hệ động lực của các mảng, hướng chuyển dịch của các đứt gãy TB - ĐN, á kinh tuyến và vai trò của chúng đối với sự tiến hoá của vỏ đại dương Biển Đông trong Kainozoi. Các mô hình bao gồm:

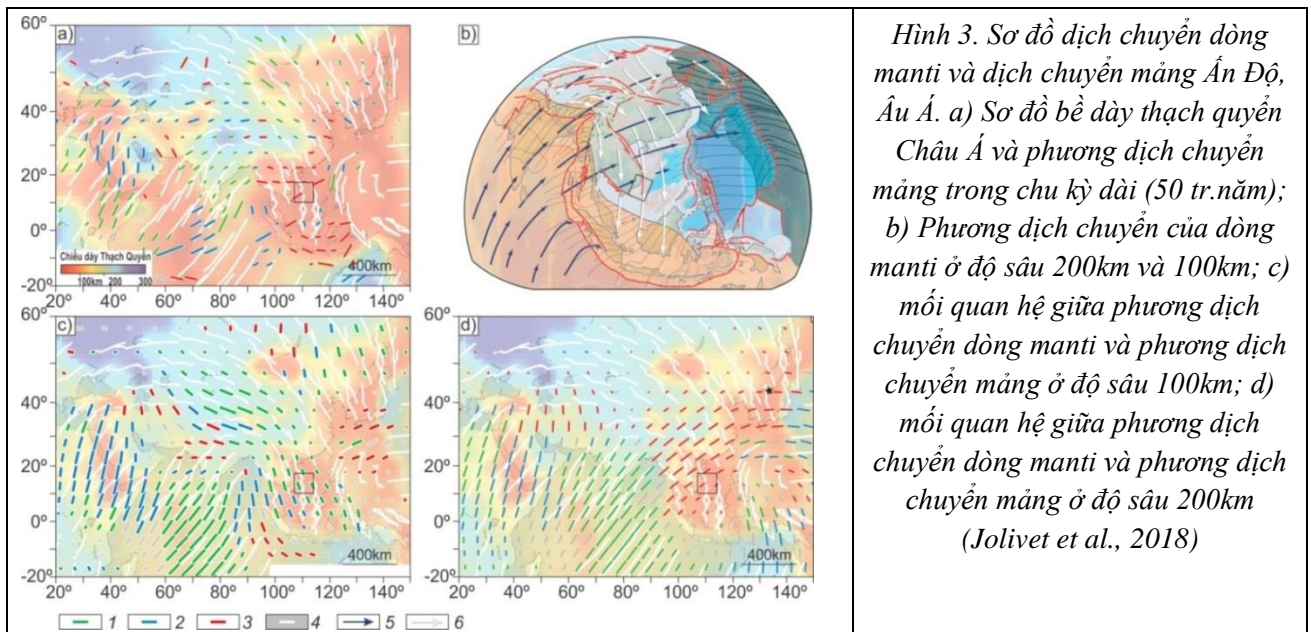
- *Mô hình thứ nhất* theo các mô hình của các tác giả Tapponnier et al. (1982, 1986), Leloup et al. (2001) và một số công trình công bố khác cho rằng, trong giai đoạn đầu của Tân Kiến tạo (bắt đầu từ Eocen) địa khối Đông Dương di chuyển về phía ĐĐN, tạo nên sự trượt trái mạnh mẽ của hệ đứt gãy phương TB - ĐN đặc biệt là đứt gãy Sông Hồng. Theo đó, các tác giả Tapponnier và các đồng sự coi đó là động lực chính hình thành vỏ đại dương Biển Đông.
- *Mô hình thứ hai* các tác giả Holloway (1981); Taylor và Hayes (1983); Hall (2002) cho rằng sự hình thành vỏ đại dương Biển Đông gắn liền với quá trình hút chìm vỏ đại dương cổ (Mesozoi) ở rãnh Palawan. Theo các tác giả, trong giai đoạn đầu sự hình thành vỏ đại dương Biển Đông có sự đóng góp của lực kéo do quá trình hút chìm mảng vỏ đại dương cổ (Mesozoi) xuống dưới địa khối Borneo.
- *Mô hình thứ ba* theo nhóm các nhà khoa học khác như Rangin et al. (1995a), Le Pichon et al. (1995), Roques et al. (1997), Huchon et al. (1994) lại có quan điểm trung gian. Một mặt họ khẳng định kiểu hình động học trượt trái mạnh mẽ của các đứt gãy phương TB-ĐN, và cho rằng hệ này đóng vai trò đột phá trong việc mở vỏ đại dương Biển Đông. Mặt khác, giai đoạn sau (sau dị thường từ số 7) đứt gãy VDĐVN có kiểu trượt phải thuận trong bối cảnh vỏ đại dương hình nêm tiến về phía TN.
- *Mô hình mở biển của một số tác giả Việt Nam* dựa trên kết quả nghiên cứu đới đứt gãy Sông Hồng, nhóm các nhà khoa học Việt Nam đã đề xuất mô hình động học về sự vận động của khối Đông Dương quay theo chiều kim đồng hồ với 3 tâm quay và tương ứng với hai giai đoạn mở Biển Đông do (N.V Vượng và nnk., 2004).
- *Kết quả tổng hợp liên quan đến sự hình thành Biển Đông theo tài liệu dự án Quốc tế khám phá Đại Dương (IODP 349)* trong dự án Quốc tế khám phá Đại Dương (International Ocean Discovery Program – IODP 349) nhóm các nhà khoa học thuộc nhiều quốc gia trên thế giới đã tiến hành khoan tại một số vị trí thuộc vùng nước sâu (trũng sâu Biển Đông) và thềm lục địa bắc Biển Đông. Kết quả cho thấy Biển Đông được hình thành bắt đầu vào giai đoạn Paleocen – Eocen.

5. Mối quan hệ giữa dòng manti và biến dạng thạch quyển Châu Á

Một số nghiên cứu về tiến hóa kiến tạo Châu Á cho rằng sự va chạm của mảng Ấn Độ vào mảng Âu Á đã làm Thạch quyển châu Á bị biến dạng ở quy mô khu vực, kéo dài từ Himalaya tới Thái Bình Dương và hình thành một số đới hút chìm (Tapponnier et al, 1982, 2001; Kimura and Tamaki, 1986; Jolivet et al., 1994; Royden et al., 2008). Các nghiên cứu về địa động lực chứng minh hoạt động va chạm đã làm mảng Ấn Độ liên tục dịch chuyển về phía bắc hơn 3000km trong khoảng ~50 tr.năm đến ~30 tr.năm trước gây ảnh hưởng mạnh mẽ lên Thạch quyển (Dewey et al., 1989; Tapponnier et al., 1990; van Hinsbergen et al., 2011; Bouilhol et al., 2013). Quá trình này suy yếu dần vào khoảng 30 tr.năm trước và được thay thế bởi sự trôi trượt (đào thoát) các khối lục địa dọc theo các đứt gãy lớn, như Ailao-Shan sông Hồng, Tien Shan, Altyn Tagh... Khối Đông dương trôi trượt (thoát) về phía đông nam. Sự phân bố biến dạng bất đối xứng giữa phần ĐB và TB của đới va chạm được giải thích bằng khái niệm ranh giới tự do dọc rìa đông của Châu Á cho phép mảng Ấn Độ lún sâu vào trong châu Á (Jolivet et al., 1990; Kimura and Tamaki, 1986; Tapponnier

et al, 1982). Một số nhà khoa học cho rằng trọng lực cũng có vai trò nhất định vào bối cảnh kiến tạo khu vực và thạch quyển Châu Á không ổn định về mặt trọng lực gây ra bởi chính nó (Davy and Cobbold, 1988; Jolivet et al., 1990; Fournier et al (2004). Theo tác giả Jolivet và nnk (2018), nguyên nhân của sự bất ổn định là do sự dịch chuyển của dòng manti đã chi phối mạnh mẽ các hoạt động biến dạng thạch quyển. Theo đó, khi dòng manti di chuyển, bên cạnh hiệu ứng kéo mảng dịch chuyển theo phương ngang có thể có các hiệu ứng theo phương dọc (Bird, 1998; Jolivet et al., 2018). Các biến dạng gây ra bởi hiệu ứng này thường xuất hiện tại những vị trí có sự thay đổi đột ngột về độ sâu bề mặt ranh giới thạch quyển và quyển mềm (LAB) và để lại các dấu hiệu biến dạng nội mảng trên bề mặt vỏ Trái Đất (Conrad and Lithgow-Bertelloni, 2006; Koptev et al, 2015).

Dựa trên tài liệu địa chất, địa vật lý, viễn thám các tác giả Jolivet và nnk (2018) cho rằng phương và chiều dịch chuyển của các mảng Ấn Độ và Âu Á trong một chu kỳ dài (khoảng 50 tr.năm) tương ứng với phương và chiều của dòng manti sâu (khoảng 200km) xuất phát từ Ấn Độ Dương dịch chuyển theo phương từ tây nam – đông bắc tới biển Nhật Bản (Hình 3 b,d). Bên cạnh đó tồn tại một dòng manti dị thường nhiệt độ cao (>1300°C) ở độ sâu nông hơn (khoảng 100km) có phương chiều phức tạp. Trên Hình 3 a,b,c quan sát thấy dòng manti nông (độ sâu 100km) khởi đầu từ Ấn Độ Dương dịch chuyển theo phương tây nam – đông bắc và bị đổi hướng theo phương á vĩ tuyến do gặp cản trở bởi mảng Ấn Độ bị chúi chìm xuống phía dưới mảng Âu Á. Tại rìa đông bắc của đới va chạm, dòng manti nông đổi hướng xoay theo chiều kim đồng hồ và dịch chuyển về Đông Nam Á theo phương á kinh tuyến. Có thể thấy sự dịch chuyển của dòng manti nông liên quan tới 4 yếu tố chính bao gồm 1) sự cản trở dịch chuyển của đới hút chìm tại vùng va chạm; 2) thạch quyển bị căng giãn và vát mỏng tại Đông Nam Á (Hình 3 a); 3) Sự thay đổi đột ngột về độ sâu bề mặt đới chuyển tiếp LAB; 4) Sự dịch chuyển của khối Đông Dương trong Kainozoi muộn (sự dịch chuyển dòng lệch khoảng 0-20° so với phương dịch chuyển mảng (Hình 3d).



Kết hợp đồng thời các kết quả tính bề dày thạch quyển, xu thế dịch chuyển dòng manti ở các độ sâu 200km, 100km và sự dịch chuyển của vỏ Trái đất trong chu kỳ dài có thể thấy sự tương thích mạnh giữa dòng manti sâu (200km) với xu thế dịch chuyển của mảng Ấn Độ trong chu kỳ dài. Mặt khác, dòng manti nông (100km) có xu thế tương thích mạnh với sự dịch chuyển của địa khối Đông Dương là vùng thạch quyển bị vát mỏng. Mặc dù vai trò của dòng manti đối với hoạt động mở biển rìa (Biển Nhật Bản và Biển Đông) vẫn đang tiếp tục nghiên cứu tuy nhiên độ trễ về thời gian khi xảy ra va chạm mảng (50 tr.năm trước) và hoạt động phun trào núi lửa tại Đông Nam Á (sau 15tr. năm trước và mạnh mẽ nhất sau 8-10tr.năm trước) khá phù hợp với quãng đường dòng manti dịch chuyển (khoảng 1700km) với vận tốc 5cm/năm của tác giả Jolivet et al. (2018). Chính sự dịch chuyển dòng manti nông và biến dạng vỏ Trái Đất tại Đông Dương đã làm cho khu vực thềm lục địa Nam Trung Bộ có những biến động mạnh mẽ, cụ thể là vào giai đoạn Miocen

giữa (khoảng 16-17 tr.năm trước) bề trầm tích Phú Khánh bắt đầu quá trình sụt lún mạnh mẽ, làm cho môi trường trầm tích tại đây chuyển đổi hoàn toàn từ sang môi trường biển nông sang môi trường biển sâu (Fyhn et al., 2009b).

6. Các vấn đề còn tồn tại

– Khái quát các kết quả nghiên cứu, NCS nhận thấy nổi lên một số vấn đề tồn tại, mà việc giải quyết các tồn tại này cũng là các nội dung nghiên cứu và mục tiêu chính của Luận án. Cụ thể là:

– Cơ chế hình thành các lò magma Kainozoi muộn phát sinh do căng giãn thạch quyển hay bởi sự dịch chuyển của dòng manti nhiệt độ cao?

– Đặc điểm động lực manti vùng nghiên cứu trong giai đoạn Kainozoi như thế nào?

– Vai trò của động lực manti lên bình đồ cấu trúc kiến tạo khu vực như thế nào?

CHƯƠNG II. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Cơ sở lý luận

Kiến tạo mảng là một học thuyết khoa học giải thích bản chất của sự hình thành và tiến hóa Thạch quyển, tạo nên các dạng địa hình chính trên bề mặt Trái Đất. Học thuyết này được nhà khoa học Đức Alfred Wegener lần đầu tiên phát minh ra vào đầu thế kỷ 20, với ý tưởng “lục địa trôi dạt”, nhưng sau đó bị lãng quên. Học thuyết được hồi sinh bởi các phát minh độc lập mới liên quan đến Trái Đất vào đầu những năm 1960, đó là cổ từ, địa hình sống núi giữa đại dương và sự phân bố các chấn tâm động đất trên thế giới. Việc phát minh ra học thuyết Kiến tạo mảng được coi như một trong 10 phát minh vĩ đại nhất của loài người trong thế kỷ 20.

Theo quan điểm của thuyết kiến tạo mảng, các biểu hiện địa hình chính khi quan sát thấy trên bề mặt Trái đất là kết quả tạo ra bởi sự dịch chuyển và tương tác giữa các mảng lớn thuộc phần trên cùng của vỏ Trái đất (lớp thạch quyển). Nguyên nhân chính của toàn bộ quá trình phát sinh do động lực đối lưu nhiệt bên trong manti.

Động lực học là một ngành trong vật lý cơ học chuyên nghiên cứu chuyển động của các vật thể và mối liên hệ giữa chúng với tương tác giữa các vật. Động lực học quan tâm đến nguyên nhân sinh ra chuyển động của các vật, đó chính là Lực. Mở rộng khái niệm trên, động lực manti (mantle dynamics) có thể được xem là lĩnh vực khoa học nghiên cứu về động lực phát sinh trong manti để tìm hiểu nguyên nhân gây ra chuyển động của thạch quyển. Với quan điểm này, động lực manti là nguyên nhân chính làm phát sinh các chuyển dịch của mảng; vì vậy khi nghiên cứu tiến hóa kiến tạo một vùng cụ thể cần được xem xét hai yếu tố: 1) chế độ động lực manti trong từng giai đoạn xảy ra chuyển dịch mảng, và 2) sự dịch chuyển của các khối cấu trúc. Sự kết hợp của hai yếu tố trên cho phép chúng ta xây dựng một mô hình (lý thuyết) định lượng về lịch sử tiến hóa kiến tạo của một vùng nghiên cứu.

2. Nghiên cứu động lực manti

2.1. Manti

Manti là thể vật chất lớn nhất bên trong Trái đất (chiếm 82% tổng thể tích và 65% tổng khối lượng). Manti tạo nên gần như toàn bộ silicat Trái đất, thành phần hóa học của chúng được phản ánh trực tiếp thông qua các đá peridotit nguồn gốc sâu được đưa lên bề mặt thông qua các ống nổ kimberlit hoặc phun trào bazan kiềm. Trên mặt cắt thẳng đứng cắt qua tâm Trái đất, manti có ranh giới kéo dài từ đáy của lớp vỏ (chiếm 0,6% khối lượng silicat) đến bề mặt phía trên của nhân ngoài (ở độ sâu 2.900 km). Ngoài ra, thành phần hóa học của manti trên được thể hiện gián tiếp thông qua đặc điểm địa hóa của các loại bazan (bazan sống núi đại dương MORB, bazan đảo đại dương OIB, hay bazan cung đảo IAB, v.v.). Các bằng chứng địa hóa của bazan tại các vùng khác nhau tại các môi trường kiến tạo khác nhau trên thế giới cho thấy tính dị phần về hóa học của manti. Sự không đồng nhất hóa học manti được tạo ra do phân dị và tiến hóa vật chất tiếp sau sự hình thành vỏ Trái đất từ một manti nguyên thủy cách đây khoảng 3 tỉ năm. Sự dị phần hóa học

manti còn được hình thành do vật chất vỏ được đưa xuống manti tại các đới hút chìm, hay vật chất đáy thạch quyển bị bào mòn và cuộn xuống manti dưới tác động của các dòng đối lưu. Nghiên cứu tính dị phân hoá học (và đồng vị) manti cho thấy chúng có thể tồn tại trong một vùng rộng lớn, chẳng hạn như dị phân đồng vị bên dưới Nam Thái Bình Dương hay Ấn Độ Dương; đôi khi dị phân hoá học chỉ tồn tại trong phạm vi khu vực, thí dụ, dị thường địa hoá và đồng vị chì bên dưới manti Đông Trung Quốc, v.v.

2.2. Dung thể nguyên thủy (*primitive melt*)

Vật chất manti (là peridotit plagioclas, spinel hay granat tùy thuộc vào độ sâu nóng chảy) có thể bị nóng hình thành dung thể bazan do sự thay đổi hoá lý làm mất thế cân bằng vật chất như giảm áp suất (nóng chảy giảm áp), tăng nhiệt độ, và giảm nhiệt độ dưới ảnh hưởng của chất bốc (thí dụ, áp suất nước). Trường hợp thứ nhất có thể do tách giãn thạch quyển (thí dụ, nóng chảy bên dưới trục tách giãn giữa đại dương). Trường hợp thứ hai có thể do ảnh hưởng của các nguồn nhiệt dâng lên từ dưới manti sâu như nham nhiệt manti (mantle plume) hay các điểm nóng manti mantle hotspot. Trường hợp thứ ba là nóng chảy manti tại các đới hút chìm dưới ảnh hưởng của các dòng chất bốc (nước, CO₂...) thoát ra từ các khoáng vật ngậm nước trong mảng vỏ đại dương được đưa xuống manti.

Dung thể sau khi hình thành được tách khỏi môi trường đá chủ (host rock) do tỉ trọng thấp hơn, gom lại, đến khi thể tích đủ lớn để có thể bị đẩy lên bề mặt theo cơ chế trọng lực. Phần sót lại sau nóng chảy gọi là thể sót (residual) cũng bị dâng lên do tỉ trọng cũng thấp hơn đá chủ; các thể sót này dần dần kết hợp với nhau hình thành lớp manti thạch quyển (lithospheric mantle). Về cơ học, manti thạch quyển so với manti bên dưới thì giòn hơn, khô hơn và ít dẻo (elastic) hơn; do đó khó nóng chảy hình thành dung thể hơn.

Theo số liệu thạch học thực nghiệm, thành phần dung thể do nóng chảy vật chất manti nguyên thủy (là đá siêu mafic chưa trải qua nóng chảy) có chỉ số magesi (Mg# = $100 \times [(Mg^{2+} + Fe^{2+})/Mg^{2+}]$) từ 68 đến 70, và chỉ số magie của khoáng vật olivin tương ứng (gọi là thành phần forsterit: Fo) với dung thể trên là trong khoảng từ 88 đến 90, tính theo hệ số phân bố nguyên tố Fe-Mn giữa olivin và dung thể ($K_D = (FeO/MgO)^{ol}/(FeO/MgO)^{liq} = 0,30$). Dung thể trên đường đi lên bề mặt có thể lưu trú tại một số lò magma trung gian và giảm nhiệt độ, dẫn tới kết tinh phân đoạn (fractional crystallization) chủ yếu là olivin, tiếp đến là olivine ± pyroxen xiên, ± plagioclas.

2.3. Magma nguyên thủy

Bazan có chỉ số magie gần với các thông số trên có thể xem là gần nguyên thủy. Với các bazan có hàm lượng magie như trên người ta có thể tiệm cận thành phần dung thể nguyên thủy của chúng thông qua một số phép toán đơn giản. Giả thiết rằng các mẫu bazan cần nghiên cứu chỉ trải qua kết tinh – phân đoạn olivin [(Mg,Fe)₂SiO₄], người ta có thể bù lại phần olivin bị tách khỏi hệ thống bằng cách bù chúng trở lại từng ít một (khoảng 0,1% - 1%) cho đến khi hoặc thành phần forsterit của olivin là 88-90%, hoặc chỉ số magesi của bazan (dung thể) là 68-70. Bằng cách này, kèm theo một số điều kiện địa hoá, người ta có thể tiếp cận dung thể nguyên thủy của một bazan có thành phần MgO tương đối cao, tức gần nguyên thủy, ít bị kết tinh – phân đoạn mạnh.

Thạch học thực nghiệm cũng cho thấy, thành phần hoá học nguyên tố chính của dung thể nguyên thủy là hàm số của áp suất và nhiệt độ nóng chảy. Ngoài ra, thành phần hoá học nguyên tố vết của dung thể là hàm số của độ nóng chảy, và có mối tương quan mạnh với bản chất nguồn vật chất manti. Tức là, thông qua thành phần địa hoá dung thể người ta có thể tái tạo bản chất nguồn vật chất manti và các thông số nóng chảy của nó như áp suất, nhiệt độ và độ (phần trăm) nóng chảy.

2.4. Cân bằng nhiệt – áp và động lực manti

Tốc độ tăng nhiệt độ theo độ sâu được gọi là gradient địa nhiệt và được biểu diễn bằng đường quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất (độ sâu Trái đất). Độ dốc địa nhiệt trung bình ở phần trên 100 km từ vỏ là khoảng 25°C trên một km độ sâu.

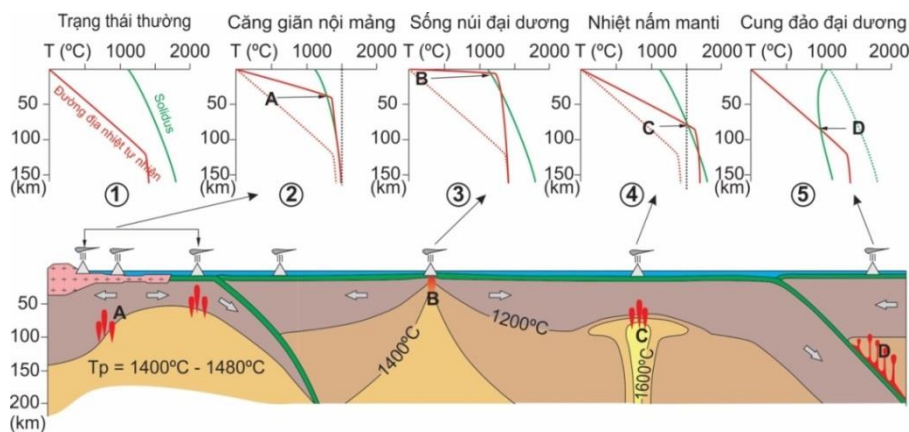
Biểu đồ nhiệt độ - áp suất (độ sâu) minh họa mối quan hệ giữa đường gradient địa nhiệt (đường màu đỏ) và thời điểm bắt đầu nóng chảy chuyển đổi trạng thái vật chất rắn manti (solidus, đường màu xanh lá). Gradient địa nhiệt thay đổi theo độ sâu đi qua lớp vỏ Trái đất vào manti trên. Khu vực bên trái của đường

màu xanh lá cây vật chất manti ở thể rắn (solidus), bên phải là nơi bắt đầu hình thành các thành phần lỏng (liquidus) (Hình 4). Khi nhiệt độ và độ sâu tăng ở khoảng 125km vị trí điểm gradient địa nhiệt tự nhiên gần với đường solidus nhất. Đường solidus có xu thế hướng độ dốc sang phải vì nhiệt độ nóng chảy của bất kỳ chất nào phụ thuộc vào áp suất. Áp suất cao hơn được tạo ra ở độ sâu lớn hơn làm tăng nhiệt độ cần thiết để diễn ra quá trình nóng chảy.

Nhiệt độ ở độ sâu 100 km khoảng 1200°C. Ở đáy lớp vỏ Trái đất có độ sâu khoảng 35km, áp suất khoảng 10.000bar (1Gpa). Ở nhiệt độ và áp suất này, phần đáy lớp vỏ Trái đất và manti ở trạng thái rắn (manti chưa xuất hiện nóng chảy). Trạng thái này tiếp tục ở độ sâu 150 km, đường dốc địa nhiệt nằm ở bên trái đường solidus. Mỗi quan hệ này tiếp tục xuyên qua manti dưới tới ranh giới manti – bề mặt nhân ngoài, ở độ sâu khoảng 2900km.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng có 3 cách để đường địa nhiệt tự nhiên của Trái đất giao cắt và vượt qua đường solidus: 1) manti xuất hiện nóng chảy từng phần do giảm áp, 2) manti xuất hiện nóng chảy từng phần do được bổ sung các chất bốc và 3) tăng nhiệt độ manti do sự di chuyển của các dòng nóng. Hình 4 sử dụng quan hệ giữa nhiệt độ và độ sâu cho thấy quá trình nóng chảy từng phần có thể xảy ra trong các điều kiện kiến tạo mảng khác nhau. Quá trình nóng chảy từng phần bắt đầu diễn ra trong manti khi đường địa nhiệt tự nhiên Trái đất (đường màu đỏ) giao cắt và vượt qua đường cân bằng solidus của vật chất manti (đường màu xanh lá).

Trong điều kiện bình thường giữa một mảng ổn định (trường hợp 1), đường địa nhiệt không giao cắt với đường solidus do đó không phát sinh nóng chảy. Trong bốn trường hợp khác, độ dốc đường địa nhiệt được dịch chuyển về phía bên phải và giao cắt với đường solidus đồng thời trong manti phát sinh nóng chảy. Có thể thấy trong các bối cảnh kiến tạo khác nhau thì độ sâu vị trí giao cắt giữa đường địa nhiệt với đường solidus cũng khác nhau, điều này đồng nghĩa với sự khác biệt về cơ chế hình thành dung thể nóng chảy trong manti. Trường hợp 2 biểu diễn sự hình thành dung thể magma do manti trên được bổ sung nhiệt bởi sự dịch chuyển của các đới nhiệt nóng. Trường hợp 3 biểu diễn sự hình thành dung thể magma do quá trình giảm áp. Trường hợp 4 biểu diễn sự hình thành dung thể do manti được cung cấp nhiệt bởi các dòng đối lưu xuất phát từ nhân Trái đất (manti plum) và trường hợp thứ 5 biểu diễn sự hình thành dung thể do manti được bổ sung chất bốc từ các vật liệu của mảng chúi chìm đưa xuống. Trong trường hợp thứ 5 đường địa nhiệt vẫn giữ nguyên trong khi đường cân bằng nóng chảy solidus có xu thế dịch chuyển về bên trái, điều này có nghĩa khi manti được bổ sung các hợp phần chất bốc, sự phát sinh nóng chảy trong manti sẽ diễn ra dễ dàng hơn.



Hình 4. Biểu đồ biểu diễn mối quan hệ giữa nhiệt độ và độ sâu của đường địa nhiệt tự nhiên của Trái đất (đường màu đỏ) và đường chuyển đổi trạng thái vật chất manti từ thể rắn (solidus) sang thể lỏng (liquidus) (đường màu xanh lá) trong các môi trường kiến tạo khác nhau

Như vậy, để xây dựng được bối cảnh kiến tạo của một vùng nghiên cứu ta có thể dựa vào thành phần vật chất hình thành trực tiếp trong manti hoặc thông qua các sản phẩm trung gian đã qua biến đổi (magma). Kết quả phân tích thành phần thạch học, địa hóa khi đưa lên các biểu đồ quy chuẩn cho phép ta xác định các quá trình biến đổi diễn ra trong manti. Mặt khác, dựa trên thành phần hóa học bazan ta có thể quy đổi về trạng thái vật chất manti nguyên thủy, dựa trên các phép tính địa nhiệt áp kế có thể xác định các thông số vật lý cho phép xây dựng lại bối cảnh tiến hóa của vùng nghiên cứu theo thuyết kiến tạo mảng.

3. Nghiên cứu sự chuyển dịch của các khối cấu trúc

Một khối cấu trúc được tạo lên từ các tổ hợp thạch kiến tạo có nguồn gốc khác nhau, nhưng được kết cấu trong cùng một không gian và sinh thành trong những bối cảnh kiến tạo tương đồng nhau. Tổ hợp thạch kiến tạo trong một khối cấu trúc có đặc điểm biến dạng khá tương đồng nhau được gọi là một phụ khối. Thông thường, các khối cấu trúc ngăn cách với nhau bởi các đứt gãy sâu.

Biến dạng của đá là sự thay đổi hình dạng, đôi khi thay đổi thể tích và thành phần vật chất của chúng. Khi đá bị biến dạng, các phần tử cấu thành nên chúng bị dịch chuyển và thay đổi hình dạng so với ban đầu. Đá bị biến dạng có thể là do ngoại lực (lực kiến tạo) và/hoặc do sự thay đổi nhiệt độ, sự biến đổi về tướng khoáng vật... Một khu vực có bị tác động bởi một hoặc nhiều pha biến dạng khác nhau. Tại khu vực chịu tác động nhiều pha các cấu tạo trở nên phức tạp hơn và xuất hiện rất phổ biến sự chồng lấn của các yếu tố kiến trúc muộn lên các cấu trúc hình thành sớm.

Đới trượt là một dạng cấu tạo mặt hình thành do biến dạng phát triển ở những độ sâu, nông khác nhau trong vỏ Trái đất. Chế độ biến dạng ưu thế để tạo lên các đới này là biến dạng trượt (shear strain) làm cho đá ở cánh hai bên đới bị dịch chuyển tương đối với nhau theo hai chiều ngược nhau theo phương song song với ranh giới của đới. Các đới trượt thường là các đới tương đối hẹp, có ranh giới gần song song với nhau, nằm giữa các thân đá bị biến dạng kém hơn và có cấu trúc bên trong không đồng nhất. Các đới hoặc mặt trượt không liên tục, có thể kết nối với nhau tạo ra các đới biến dạng mật độ cao vây quanh các khối đá có mức độ biến dạng thấp hơn.

Dựa vào đặc tính biến dạng của đá dọc theo chiều sâu của đới trượt có thể được phân thành các loại sau: đới trượt dòn, đới trượt dẻo và trung gian là đới trượt dòn – dẻo.

Các cấu tạo biến dạng được hình thành do các quá trình biến dạng tạo ra, các cấu tạo như vậy thường có sự khác biệt cấu tạo nguyên thủy là những cấu tạo được hình thành trong quá trình lắng đọng vật liệu để tạo đá trầm tích (cấu tạo phân lớp, cấu tạo đồng trầm tích, bất chỉnh hợp, thớ chế đồng trầm tích, nếp uốn đồng trầm tích, đứt gãy đồng trầm tích), cấu tạo phun trào và xâm nhập (cấu tạo dòng chảy của đá phun trào, ranh giới xâm nhập,...). Các cấu tạo do biến dạng tạo nên thường là các cấu tạo như các nếp uốn, đứt gãy, các cấu tạo mặt (cấu tạo phiến, các khe nứt, mặt trượt...), cấu tạo đường (đường thớ nhú, đường căng kéo khoáng vật và kéo dài...).

Mỗi một pha biến dạng thường tạo ra một thể hệ cấu tạo có đặc điểm đặc trưng. Một thể hệ cấu tạo là tập hợp các cấu tạo được hình thành trong cùng một khoảng thời gian và chịu ảnh hưởng của cùng một trường ứng suất. Trong một pha biến dạng có thể bao gồm một hoặc nhiều thể hệ cấu tạo. Một sự kiện kiến tạo bao gồm một hay một số một hay một số pha biến dạng có nguồn gốc và thời gian liên quan với nhau. Các thể hệ cấu tạo xác định một sự kiện biến dạng thường được hình thành theo một trình tự thời gian nhất định. Như vậy, để phân chia các pha biến dạng cần phải xác định các thể hệ cấu tạo và liên kết chúng để xác định các pha kiến tạo. Bằng cách liên kết các pha kiến tạo ta có thể xác định được sự kiện kiến tạo đã xảy ra tại vùng nghiên cứu.

Xác định tuổi của các sự kiện kiến tạo ta có thể sử dụng hai cách: 1) Xác định tuổi tương đối và 2) Xác định tuổi tuyệt đối. Tuy nhiên không phải sự kiện kiến tạo nào cũng có thể thể xác định đồng thời hai phương pháp trên. Để xác định tuổi các sự kiện kiến tạo cho một vùng cụ thể cần dựa vào các thành tạo địa chất và cấu trúc được hình thành trong giai đoạn đó.

4. Nhóm các kỹ thuật sử dụng thực hiện luận án

- Tổng hợp và phân tích số liệu
- Nhóm kỹ thuật điều tra, khảo sát đo vẽ thực địa và thu thập mẫu
- Xử lý mẫu phân tích

5. Phương pháp nghiên cứu

Một số phương pháp xác định trường ứng suất trong nghiên cứu địa chất trong nội dung nghiên cứu của luận án, NCS sử dụng một số phương pháp kiến tạo vật lý (KTVL) thường được sử dụng ở Việt Nam như phương pháp thống kê khe nứt theo nghiên cứu của tác giả Seminsky (2014, 2015), phương pháp Delvaux và Sperner (2003).

Xác định các khoáng vật tạo đá dưới kính hiển vi phân cực thành phần khoáng vật tạo đá được xác định trong mẫu lát mỏng dưới kính hiển vi phân cực. Kết quả phân tích cho các thông tin về thành phần khoáng vật tạo đá, khoáng vật phụ cũng như các dạng kiến trúc, cấu trúc của đá.

Phương pháp tính toán thành phần magma nguyên thủy và xác định điều kiện nhiệt độ, áp suất.

Xác định thành phần hóa học của magma nguyên thủy đã được thực hiện trong các nghiên cứu trước đây (Yamashita et al., 1996; Hoang and Flower, 1998). Nguyên lý phương pháp là sự chuyển đổi thành phần oxit chính của bazan về thành phần nguyên thủy bằng cách bổ sung (bù thêm) một lượng olivin nhất định cho đến khi dung thể magma đạt trạng thái cân bằng với thành phần khoáng vật olivin chưa trải qua nóng chảy. Trong quá trình thực hiện luận án, NCS đã có những cập nhật, bổ sung mới để phù hợp với đặc điểm thạch học, địa hóa bazan vùng nghiên cứu. Nội dung, kết quả cập nhật bổ sung được trình bày cụ thể trong 4 bài mà NCS là tác giả chính.

CHƯƠNG III. ĐẶC ĐIỂM MAGMA, CẤU TRÚC ĐỊA CHẤT VÀ KIẾN TẠO VÙNG NGHIÊN CỨU

1. Hoạt động magma vùng nghiên cứu giai đoạn Kainozoi muộn

1.1. Diện phân bố, tuổi thành tạo bazan giai đoạn Miocen – Đệ Tứ

Hoạt magma núi lửa tại Đông Nam Á diễn ra mạnh mẽ trong khoảng thời gian Miocen – Đệ tứ. Trong các vùng bazan, Việt Nam và đảo Hải Nam là hai khu vực núi lửa có diện phân bố rất rộng và thể tích lớn nhất. Tại trung tâm Biển Đông, phun trào núi lửa đã hình thành lên lớp vỏ đại dương Biển Đông và xuất hiện dọc theo trục tách giãn, liên tục đến khi quá trình mở biển kết thúc). Kết quả liên kết tài liệu tuổi, diện phân bố thành tạo bazan và sự kiện kiến tạo chính, hoạt động magma trong vùng nghiên cứu và lân cận được tóm tắt như sau:

Magma núi lửa đồng tách giãn Biển Đông (33 đến 16±0.5 triệu năm) hình thành lớp vỏ đại dương trung tâm Biển Đông và các núi lửa đơn phân bố dọc theo trục tách giãn.

Magma núi lửa sau tách giãn Biển Đông (<16 triệu năm- nay) hoạt động phun trào núi lửa rải rác dọc theo và lân cận trục tách giãn Biển Đông, phân bố trong hầu hết các phụ bể thêm lục địa Nam Trung Bộ. Kết quả phân tích tuổi đồng vị và trên tài liệu địa chấn vùng thêm lục địa cho thấy chúng xuất hiện trong ba giai đoạn chính gồm:

- *Giai đoạn 15,5 đến 8,5 triệu năm* xuất hiện dọc ven biển tại các tỉnh Quảng Ngãi (khoảng 12-7 tr.n) và Phú Yên (10-9 tr.n) liên quan tới sự hình thành lớp phủ cao nguyên bazan Nam Trung Bộ.
- *Giai đoạn 7,5 đến 4,5 triệu năm* xuất hiện tại các tỉnh Quảng Nam, Quảng Ngãi, và Bình Thuận. Hoạt động magma giai đoạn này có dạng chuyển tiếp, núi lửa có dạng chảy tràn hình thành lớp phủ bazan mỏng, lượng dung thể không lớn và quy mô nhỏ.
- *Giai đoạn 3 đến 0 triệu năm* xuất hiện tại khu vực tỉnh Quảng Ngãi (Ba Làng An – Bình Châu, đảo Lý Sơn), Tỉnh Bình Thuận (Hòn Lan) và tỉnh Bà Rịa – Vũng Tàu (thuộc huyện Đất Đỏ), liên quan tới sự hình thành các núi lửa đơn.

1.2. Đặc điểm địa hoá bazan vùng nghiên cứu

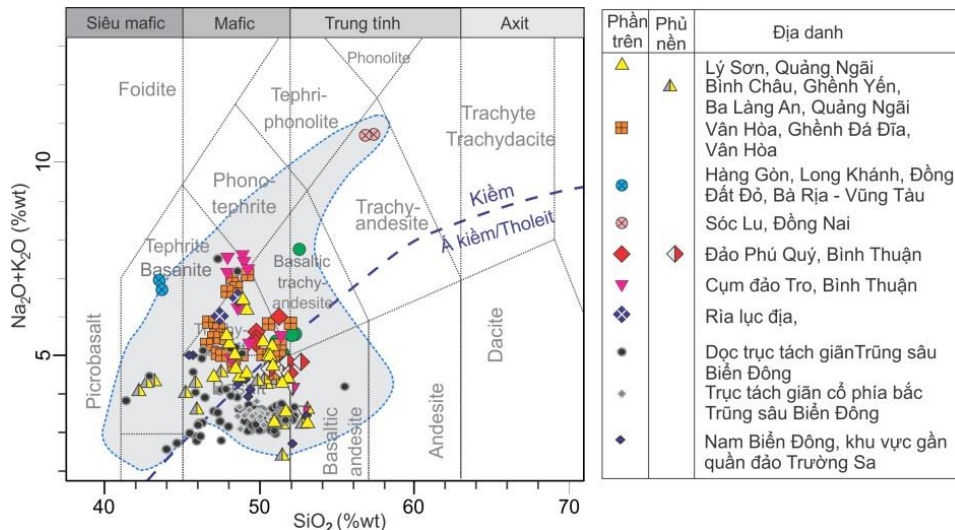
1.2.1. Phân loại bazan vùng nghiên cứu

Bazan được phân loại trên cơ sở tương quan hàm lượng oxit silic (SiO_2) và tổng kiềm ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) (theo Le Bas et al., 1986). Hàm lượng SiO_2 biến đổi từ 41,97 – 57,58 % .tl tương ứng với tổng kiềm ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) dao động từ 2,5% -10,81 % .tl. Trên biểu đồ phân loại chúng nằm về hai phía của đường phân chia kiềm và á kiềm/tholeit (Hình 5).

Bazan giai đoạn 15,5 đến 8,5 tr.năm tại tỉnh Phú Yên. Trong đó, tại thị xã Sông Cầu (9 tr.n) có tổng kiềm cao (5 – 7%), $\text{SiO}_2 = 49 – 51\%$, phân bố trong trường bazan kiềm, các khu khác như Vân Hoà, Ghềnh Đá Đĩa và Cùmg Sơn phân hai bên đường phân chia kiềm và á kiềm.

Bazan giai đoạn 7,5 đến 4,5 tr.năm tại Quảng Ngãi (Bình Châu, Bình Sơn, Ba Làng An, Sa Kỳ) chủ yếu phân bố hai bên đường phân chia trường bazan kiềm và á kiềm/tholeit.

Bazan giai đoạn 3 đến 0 tr. năm xuất hiện tại Quảng Ngãi (đảo Lý Sơn), Đồng Nai (Sóc Lu, Thống Nhất), Bình Thuận (Hòn Lan, Phú Quý và Hòn Tro) và Bà Rịa – Vũng Tàu (Đất Đỏ, và thêm lục địa) phân bố phân tán trong cả hai trường kiềm và á kiềm.



Hình 5: Biểu đồ TAS phân loại đá bazan trên cơ sở tương quan tổng kiềm ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) và SiO_2 theo Le Bas và nnk (1986). Số liệu tổng hợp từ kết quả phân tích của luận án và các công trình đã công bố.

1.2.2. Đặc điểm địa hoá nguyên tố của bazan

Đặc điểm thành phần nguyên tố chính của bazan vùng nghiên cứu khá phức tạp. Khi phân chia mẫu đá theo thời gian (từ cổ tới trẻ) và không gian (từ bắc tới nam, từ tây sang đông) có thể thấy sự khác biệt về giá trị hàm lượng của các oxit chính SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O và P_2O_5 . Sự khác biệt về mối quan hệ giữa chỉ số Mg\# ($\text{Mg\#}=\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{2+})$) và các oxit chính giữa các vùng bazan như sau:

– *Giai đoạn 15,5 - 8,5 triệu năm tại Phú Yên (Sông Cầu – Ghềnh Đá Đĩa, Vân Hoà, Cùmg Sơn)*: Khi so sánh với toàn vùng nghiên cứu, bazan giai đoạn sớm thấp MgO , CaO , cao TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O và P_2O_5 , và thành phần SiO_2 thay đổi từ thấp đến cao. Phần lớn các oxit chính hình thành tương quan tuyến tính với Mg\# ; Mg\# tương quan dương với TiO_2 và tương quan âm với Na_2O , K_2O và P_2O_5 , không bộc lộ tương quan tuyến tính rõ ràng với SiO_2 , Al_2O_3 , và CaO .

– *Giai đoạn 7,5 - 4,5 triệu năm tại Quảng Ngãi (Bình Châu, Bình Sơn, Ba Làng An, Sa Kỳ)*: bazan giai đoạn này cao SiO_2 , thấp TiO_2 , Na_2O , K_2O và P_2O_5 , chúng hình thành tương quan âm giữa Mg\# với SiO_2 và dương với Al_2O_3 , CaO , TiO_2 .

– *Giai đoạn 3 đến 0 triệu năm tại Quảng Ngãi, Đồng Nai, Bình Thuận và Bà Rịa – Vũng Tàu (đảo Lý Sơn, Bờ bãi, Sóc Lu – Thống Nhất, Hàng Gòn, Đất Đỏ, đảo Phú Quý, Hòn Tro và thềm lục địa)* có đặc điểm địa hóa khá phức tạp. Theo vị trí địa lý từ bắc tới nam, tại tỉnh Quảng Ngãi (đảo Lý Sơn) hàm lượng các oxit SiO_2 , TiO_2 , FeO , P_2O_5 thấp và MgO , CaO , K_2O cao. Tại tỉnh Bình Thuận, khu vực đảo Phú Quý các oxit chính phân thành hai trường có giá trị cao, thấp khác biệt, tương ứng với loạt tholeiit và bazan á kiềm hoặc kiềm. Bazan phần nền (2,4 tr. năm) có thành phần SiO_2 và Al_2O_3 cao, bazan phần trên có hàm lượng TiO_2 , K_2O và P_2O_5 cao. Khu vực đảo Tro có thành phần oxit chính khá tương đồng với bazan phần trên khu vực đảo Phú Quý. Tại tỉnh Đồng Nai, khu vực Sóc Lu hàm lượng SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Na_2O , K_2O cao và thấp TiO_2 , FeO , MgO , CaO .

Bazan vùng trùng sâu Biển Đông hàm lượng các oxit SiO_2 , MgO và FeO khá tương đồng với bazan khu vực ven biển và thềm lục địa Nam Trung Bộ, tuy nhiên các oxit TiO_2 , Na_2O , K_2O , P_2O_5 thấp hơn.

Thành phần nguyên tố vết của bazan vùng nghiên cứu được quy chuẩn về manti nguyên thủy, đất hiếm được quy chuẩn chondrit khi biểu diễn trên biểu đồ nhận cho thấy có đường xu thế giảm dần từ nguyên tố không tương thích mạnh (Cs, Ba, Rb, v.v.) qua nhóm nguyên tố có độ tương thích cao hơn (Zr, Hf, Yb, Lu...). Đây là hình dạng điển hình của bazan đảo đại dương (OIB), thường được xem là sản phẩm của quyển mềm, hình thành từ nguồn manti tương đối nguyên thủy. Đáng lưu ý khi so sánh với manti nguyên thủy, tất cả các vùng bazan đều không biểu lộ các dị thường âm (thí dụ, Nb, Zr, Ti...) có thể khẳng định chúng không bị nhiễm vật chất vỏ (kể cả vật chất do các mảng hút chìm đưa xuống manti).

1.3. Đặc điểm địa hóa magma nguyên thủy

1.3.1. Đặc điểm nguồn magma vùng nghiên cứu

Đặc điểm nguồn magma có thể được xác định dựa trên mối quan hệ giữa các cặp tỉ số nguyên tố vết như Th/Yb – Ta/Yb và Nb/Y – Zr/Y (Pearce and Norry, 1979; Fitton et al., 1997; Pearce, 1982). Theo đó, khoảng biến thiên của các cặp tỉ số lần lượt trong khoảng Th/Yb = 1,0897 – 5,1393; Ta/Yb = 0,5518 – 2,3268; Nb/Y = 0,8617 – 3,8524; Zr/Y = 2,8486 – 16,6402. Mặt khác, quan hệ giữa cặp tỷ số Th/Y - Ta/Yb và Nb/Y - Zr/Y hình thành các cặp tương quan dương trái dài theo trường nóng chảy kiểu bazan nội mảng (OIB) và không chịu ảnh hưởng bởi quá trình làm giàu vật chất do đồng hoá vật chất vỏ.

1.3.2. Nguồn magma nguyên thủy

Đặc điểm phân dị diễn ra trong dung thể magma vùng nghiên cứu chịu sự kiểm soát bởi quá trình kết tinh phân đoạn olivin. Điều này được xem là điều kiện cần để xác định thành phần hóa học của dung thể magma nguyên thủy dựa trên nguyên lý bù olivin. Theo kết quả tính chỉ số Mg# của dung thể nguyên thủy dao động từ 58,79 đến 68,09; hàm lượng SiO₂ dao động từ 51,05% đến 43,19%. Giá trị hàm lượng MgO cao, dao động từ 10,5% đến 15,33%. Sự khác biệt về hàm lượng các nguyên tố trong nguồn magma nguyên thủy phản ánh sự thay đổi về trạng thái nhiệt độ, áp suất diễn ra trong manti theo thời gian, không gian.

1.3.3. Nhiệt độ - áp suất magma nguyên thủy

Nhiệt độ và áp suất nóng chảy hình thành dung thể (T_f, P_f) có thể được xác định dựa trên nhiệt áp kế olivin theo nhiều mô hình khác nhau. Để tăng mức độ tin tưởng của kết quả đạt được, người ta thường tính đồng thời nhiều mô hình. Mỗi mô hình xác định một giá trị nhiệt độ và áp suất nóng chảy (T_i, P_i). Nhiệt độ và áp suất của dung thể magma (T_f, P_f) được xác định là giá trị trung bình của nhiệt độ và áp suất (T_i, P_i) của các mô hình. Trạng thái nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy sắp xếp theo thời gian như sau:

- *Giai đoạn 15,5 - 8,5 triệu năm tại Phú Yên (Sông Cầu – Ghềnh Đá Đĩa, Vân Hoà, Củng Sơn):* Nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy tính theo thành phần hóa học của bazan kiềm tại Sông Cầu rất cao, tương ứng $T_f = 1454^{\circ}\text{C} - 1470^{\circ}\text{C}$ và $P_f = 25\text{kbar} - 27\text{kbar}$.

- *Giai đoạn 7,5 - 4,5 triệu năm tại Quảng Ngãi (Bình Châu, Bình Sơn, Ba Làng An, Sa Kỳ):* Nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy dao động tương ứng $T_f = 1435^{\circ}\text{C} - 1440^{\circ}\text{C}$ và $P_f = 17\text{kbar} - 17,8\text{kbar}$.

- *Giai đoạn 3 đến 0 triệu năm tại Quảng Ngãi, Đồng Nai, Bình Thuận và Bà Rịa – Vũng Tàu (đảo Lý Sơn, Bờ bãi, Sóc Lu – Thống Nhất, Hàng Gòn, Đất Đỏ, đảo Phú Quý, Hòn Tro và thềm lục địa):* Nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy tại đảo Lý Sơn, bờ bãi lần lượt $T_f = 1457^{\circ}\text{C}$ và $P_f = 24,3\text{kbar}$. Tại đảo Phú Quý magma nguyên thủy có nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần lần lượt $T_f = 1441^{\circ}\text{C} - 1460^{\circ}\text{C}$ và $P_f = 18\text{kbar} - 24\text{kbar}$ được chia thành hai nhóm khác biệt về áp suất nóng chảy từng phần. Nhóm phủ nền hình thành vào giai đoạn sớm khoảng 2,64tr.n trước có áp suất nóng chảy $P_f = 18,3\text{kbar} - 19\text{kbar}$ và giai đoạn muộn có áp suất nóng chảy cao hơn $P_f = 20,6\text{kbar} - 23,5\text{kbar}$. Tại khu vực đảo Tro và rìa lục địa lân cận phụ bể tây nam Trũng sâu Biển Đông, nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần tương ứng $T_f = 1430^{\circ}\text{C} - 1472^{\circ}\text{C}$ và $P_f = 15\text{kbar} - 29\text{kbar}$.

Kết quả xác định nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy khu vực ven biển và thềm lục địa cho thấy nhiệt độ nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy trong cả ba giai đoạn phun trào khá đồng đều (khoảng $1403^{\circ}\text{C} - 1480^{\circ}\text{C}$). Tuy nhiên áp suất nóng chảy từng phần có sự khác biệt theo thời gian. Vào giai đoạn sớm (15,5 - 8,5 triệu năm) áp suất nóng chảy từng phần rất cao. Trong giai đoạn tiếp theo (7,5 - 4,5 triệu năm) áp suất nóng chảy từng phần thấp hơn tương ứng trong khoảng $17\text{kbar} - 17,8\text{kbar}$. Vào giai đoạn muộn 3 đến 0, áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy thay đổi khá phức tạp. Theo số liệu tính, một vài mẫu có áp suất thấp (cụm đảo Tro), các mẫu còn lại nhìn chung có áp suất dao

động từ 18kbar – 29kbar.

Tại vùng Trũng sâu Biển Đông, nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của dung thể và nguồn magma nguyên thủy được xác định theo kết quả phân tích thành phần hóa học các mẫu bazan thu được tại lỗ khoan IODP U1431, U1433, và U1434. Theo đó, nhiệt độ và áp suất nóng chảy của tương ứng $T_f = 1427^{\circ}\text{C} - 1468^{\circ}\text{C}$ và $P_f = 17,5\text{kbar} - 28\text{kbar}$.

1.3.4. Trạng thái nhiệt manti (Tp)

Trạng thái nhiệt manti được tính theo phương pháp của Putirka và nnk (2007). Theo kết quả tính, ở khu vực ven biển và thềm lục địa, nhiệt độ manti (trạng thái nhiệt manti) dao động trong khoảng $T_p = 1430^{\circ}\text{C} - 1493^{\circ}\text{C}$, tương ứng với mức độ nóng chảy từng dao động trong khoảng $F = 3\% - 8\%$. Tại vị trí lỗ khoan U1431 nhiệt độ manti dao động trong khoảng $T_p = 1413^{\circ}\text{C} - 1491^{\circ}\text{C}$, tương ứng với mức độ nóng chảy từng phần trong khoảng $F = 3\% - 8\%$. Tại vị trí lỗ khoan U1433 và U1434 nhiệt độ manti và mức độ nóng chảy từng phần thấp hơn các khu vực khác, dao động trong khoảng $T_p = 1414^{\circ}\text{C} - 1461^{\circ}\text{C}$ tương ứng với mức độ nóng chảy từng dao động trong khoảng $F = 3\% - 5\%$. Kết quả này cho thấy trạng thái nhiệt manti vùng nghiên cứu cao hơn mức trung bình trạng thái nhiệt manti toàn cầu (1280°C).

2. Đặc điểm cấu trúc địa chất vùng nghiên cứu

Bản thân vỏ đại dương Biển Đông lại được phân chia thành 3 phụ bể khác nhau là phụ bể Bắc, phụ bể Đông và phụ bể Tây Nam. Các cấu trúc vùng biển Nam Trung bộ và kề cận nằm trên rìa thụ động của Biển Đông, nơi có vỏ Trái đất đã bị làm mỏng đi đáng kể, với bề dày dao động trong khoảng 16 km đến 24 km. Độ sâu trung bình mặt Moho khoảng 20 km. Các đơn vị cấu trúc chính của khu vực biển Nam Trung bộ và kề cận (cấu trúc bậc II) bao gồm: (1) Miền vông Bắc Hoàng Sa-Nam Hải Nam; (2) Khối nâng Hoàng Sa-Maclesfield; (3) Miền vỏ chuyển tiếp Phú Khánh; (4) Bể Sông Hồng; (5) Đới nâng Tri Tôn; (6) Đới trượt Tuy Hòa; (7) Thềm Phan Rang. Xa hơn về phía nam, tây nam là bể Cửu Long, đới nâng Côn Sơn, đới phân dị ĐB bể Nam Côn Sơn và trũng Đình Trung, là phần máng trũng sâu nối dài từ trũng sâu Biển Đông về phía tây nam.

2.1. Đặc điểm trường USKT Kainozoi khu vực nghiên cứu

Trạng thái ứng suất khu vực ven biển Nam Trung Bộ được xác định theo kết quả phân tích khe nứt, mặt trượt, vết xước, đặc biệt tại các đới đứt gãy. Các số đo được thực hiện trên các đá có tuổi từ Mesozoi đến Kainozoi, trong đó có các đá bazan tuổi Kainozoi muộn (từ 9,6 tr.n – 9,1tr.n trước). Trường ứng suất được tính theo phương pháp Delvaux và Sperner. Kết quả xác định trường ứng suất, đặc trưng bởi ba ứng suất pháp chính: $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ (trong đó $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) tại 10 vị trí khảo sát được chia thành 4 nhóm chính bao gồm:

- *Trạng thái ứng suất phương TB – ĐN*: Trạng thái ứng suất với nén ép cực đại phương TB-ĐN, với các tách giãn phương ĐB-TN đóng vai trò là ứng suất chủ đạo, chủ yếu phát triển trên các thành tạo granit tuổi Mesozoi dọc theo bờ biển Nam Trung Bộ.

- *Trạng thái ứng suất phương á vĩ tuyến*: Trạng thái ứng suất nén ép phương á vĩ tuyến, với các tách giãn bắc nam chủ yếu phát triển trên các thành tạo granit tuổi Mesozoi dọc theo bờ biển Nam Trung Bộ. Tỷ số $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) = 0,08$ có nghĩa $\sigma_2 \sim \sigma_3 \ll \sigma_1$ và chỉ số $R' = 1,5$ điều này cho thấy các đứt gãy hình thành trong trạng thái ứng suất mang đặc điểm trượt bằng.

- *Trạng thái ứng suất phương ĐB – TN*: Trạng thái ứng suất nén ép theo phương ĐB-TN cũng được xác định trực tiếp trên các thành tạo granit dọc ven biển. Tỷ số R chỉ số $R' = 1,5 - 1,97$ cho thấy các đứt gãy hình thành trong trạng thái ứng suất mang đặc điểm trượt bằng nén ép.

- *Trạng thái nén ép phương á kinh tuyến*: Trạng thái ứng suất nén ép phương á kinh tuyến khá phổ biến trong vùng nghiên cứu. Kết quả phân tích trạng thái ứng suất tại cho thấy trục ứng suất nén ép cực đại σ_1 phương BĐB, trục ứng suất trung gian σ_2 phương TTB và trục ứng suất nén ép cực tiểu σ_3 có phương

ĐDN. Tỷ số R dao động trong khoảng 0,5 – 0,67 tương ứng với chỉ số R' dao động khoảng 1,92 – 1,97 cho thấy các đứt gãy hình thành trong trạng thái ứng suất mang đặc điểm trượt bằng - nén ép.

2.2. Liên kết các pha kiến tạo cơ bản trong vùng nghiên cứu

• Pha kiến tạo Mesozoi muộn:

Kết quả phân tích đặc điểm trường ứng suất cho thấy pha kiến tạo cuối Mesozoi ở khu vực NTB có phương nén ép cực đại định hướng theo phương á kinh tuyến (từ 330^0 đến 355^0). Sự tập trung các đai mạch giai đoạn magma muộn chủ yếu theo phương á kinh tuyến (như ở Nha Trang) là bằng chứng về pha kiến tạo với phương nén á kinh tuyến. Ngoài ra, có một số biến dạng dòn, thông qua các mặt trượt và vết xước thể hiện rõ trên các mặt phân phiến trong hệ tầng La Ngà (như ở Tây Nha Trang) cũng là các hoạt động kiến tạo xảy ra trong Mesozoi muộn, với phương nén TB-ĐN mạnh mẽ.

• Các pha kiến tạo xảy ra trong Kainozoi:

– *Pha kiến tạo với phương nén á vĩ tuyến:* Phân tích tổ hợp kiến trúc kiến tạo có thể thấy pha này cũng có sự phổ biến rộng rãi và cường độ mạnh mẽ. Xét về tuổi của tầng trầm tích lót đáy phát hiện trong các Lk thì pha này xảy ra vào khoảng 36 tr.n. trước, tức là bắt đầu từ cuối Eocene. Biểu hiện của pha nén á VT quan sát được ở nhiều nơi dọc dải ven biển Nam Trung Bộ, từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận, thông qua sự tồn tại của các cặp đứt gãy cộng ứng phương TB-ĐN và ĐB-TN trong các khối đá granit, với phương nén á vĩ tuyến, trong đó các đứt gãy phương TB-ĐN có kiểu trượt ngang - trái, còn các đứt gãy phương ĐB-TN lại có kiểu trượt ngang - phải. Ngoài ra còn phổ biến hệ đứt gãy nghịch chòm phương AKT, với mặt trượt thoải nghiêng kèm theo các nứt tách phương AVT.

– *Pha kiến tạo với phương nén á kinh tuyến và ĐB-TN:* Nét nổi bật nhất của các hoạt động kiến tạo pha này là các hoạt động tách giãn, trượt thuận xảy ra chủ yếu dọc theo các đứt gãy phương AKT và ĐB-TN. Pha kiến tạo này xuất hiện mạnh mẽ ở khắp nơi từ Bắc vào Nam, xuất hiện vào cuối Miocen muộn-đầu Pliocene (5,3-5,5 tr.n), tạo thành một bề mặt bất chính hợp khu vực rộng khắp và kéo dài ngưng nghỉ trầm tích ở các bề thềm lục địa. Pha kiến tạo này đồng thời đã kéo dài cho đến giai đoạn hiện đại với việc nâng cao ngắt quãng của Nam Trung Bộ - Tây Nguyên và sụt ở phía biển.

– *Pha kiến tạo Hiện đại:* Các tài liệu về động đất, GPS toàn cầu cho thấy hiện nay trong khu vực Đông Dương và phụ cận đang tồn tại một trường ứng suất với phương nén BTB.

CHƯƠNG IV. ĐỘNG LỰC MANTI VÀ TIẾN HÓA KIẾN TẠO TRONG KAINOZOI

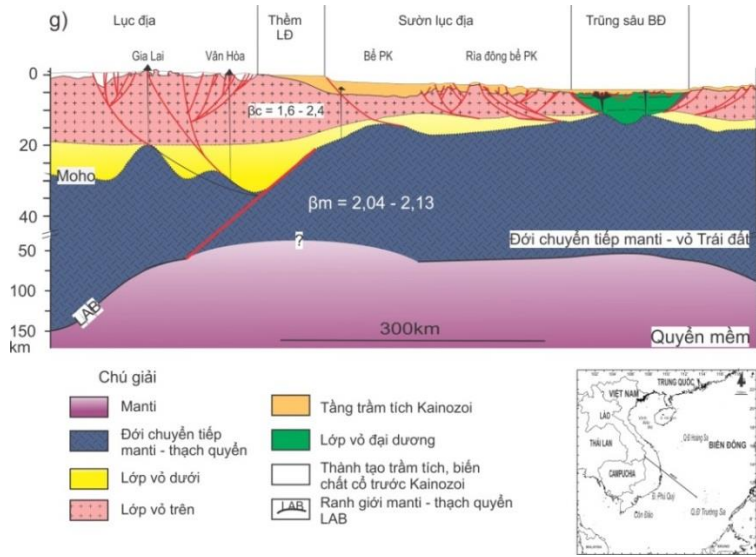
1. Mô hình động lực manti và tiến hóa kiến tạo

1.1. *Mối quan hệ giữa nhiệt độ, áp suất dung thể magma nguyên thủy và hệ số căng giãn thạch quyển*

Mục đích chính của việc xem xét mối quan hệ giữa độ sâu nóng chảy và sự căng giãn thạch quyển là nhằm đưa ra một đánh giá bán định lượng về khả năng phát sinh nóng chảy trong manti khi thạch quyển bị căng giãn. Các kết quả thực nghiệm của một số nghiên cứu cho thấy rằng khi bị căng giãn do hoạt động kiến tạo, thì bề dày tầng thạch quyển đóng một vai trò quan trọng, mang tính quyết định và là tác nhân làm phát sinh nóng chảy trong manti. Tuy nhiên, để quá trình nóng chảy có thể xảy ra trong manti thì phải thỏa mãn điều kiện trạng thái nhiệt manti cao (T_p) hơn mức trung bình (1280^0C) và đạt khoảng 1480^0C . Khi đó tầng nóng chảy phát sinh trong manti sẽ phụ thuộc vào các đại lượng T_f , P_f , H , β_m , β_c (trong đó, T_f , P_f là nhiệt độ và áp suất nóng chảy từng phần của magma nguyên thủy, H độ sâu phát sinh nóng chảy và β_m , β_c là hệ số căng giãn Thạch quyển và vỏ Trái đất).

Áp dụng kết quả nghiên cứu của tác giả Latin và White (1990) để tính, hệ số căng giãn Thạch quyển vùng nghiên cứu dao động trong khoảng $\beta_m = 2,04 - 2,13$. Sự xuất hiện của các đứt gãy thuận sụt bậc trên thềm lục địa vùng nghiên cứu cho thấy tại đây chịu ảnh hưởng của hoạt động căng giãn đồng đều. Kết quả này đồng nghĩa với việc là trong điều kiện nhiệt manti ở mức trung bình $T_p = 1280^0C$, manti vùng nghiên cứu không phát sinh nóng chảy. Tuy nhiên, khi trạng thái nhiệt manti cao ($T_p = 1480^0C$) trong manti có thể xảy ra nóng chảy. Tại vùng trũng Biển Đông, hệ số tách giãn Thạch quyển dao động trong khoảng $\beta_m = 2,04 -$

2,13, hệ số tách giãn này khá nhỏ tương đồng với lượng dung thể nóng chảy phát sinh không nhiều.

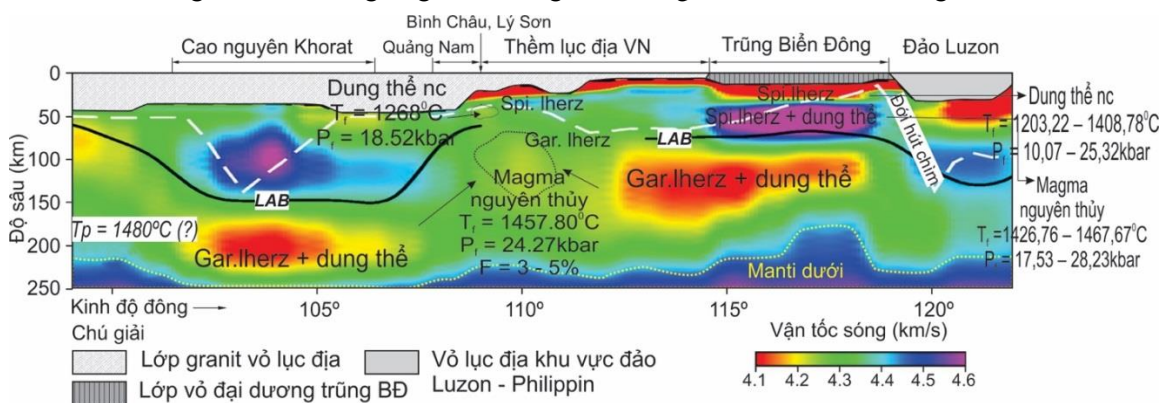


Hình 6: Mặt cắt tổng hợp cấu trúc sâu khu vực thêm lục địa được xây dựng theo tài liệu địa chấn của đề tài KC09.07/16-20, phần đất liền được xây dựng dựa trên bản đồ địa chất – khoáng sản tỷ lệ 1:200.000 và bề mặt tầng Moho được xây dựng dựa trên kết quả nghiên cứu N.N. Trung và N.T.T Hương (2010). Độ sâu LAB (Ranh giới giữa thạch quyển và quyển mềm) theo kết quả nghiên cứu của Chen et al. (2021). Hệ số căng giãn thạch quyển β_m tính theo biểu thức (1) của Latin và White (1990).

1.2. Mặt cắt manti thời điểm hiện tại trong vùng nghiên cứu

Nóng chảy nguồn peridotit (đá siêu mafic) hình thành dung thể bazan. Đặc trưng về thành phần hóa học của dung thể là hàm lượng SiO₂ thấp (nhỏ hơn 52%), MgO tương đối cao (5% –15%) và hàm lượng tổng kiềm nhỏ hơn 5%. Trong một số công trình công bố trước đây, các tác giả chia phần trên của manti thành các đới khoáng vật tương ứng với các đới tương khoáng vật (theo thứ tự tăng dần độ sâu) bao gồm: 1) Đới I: peridotit plagioclas; 2) Đới II: peridotit spinel; 3) peridotit granat. Ranh giới các tương khoáng vật được xác lập dựa trên các biến đổi pha. Ranh giới giữa đới I và II dựa trên cân bằng spinel (Sp) + enstatit (En) = Olivin (Ol) + pyrop (Pyr), giữa đới II và III: graphit (C) = kim cương (D). Bên cạnh đó, các tác giả McKenzie và Bickle (1988), Latin và White (1990) cho rằng sự gia tăng nhiệt độ của manti khoảng $T_p > 1400^\circ\text{C}$, trong trường hợp tách giãn thạch quyển tại các điều kiện đặc biệt sẽ phát sinh nóng chảy hình thành dung thể. Trong nghiên cứu về nguồn magma Kainozoi muộn khu vực Nam Trung Bộ và Tây Nguyên, tác giả Nguyễn Hoàng và Flower (1998) đã xác định đặc điểm cấu trúc các đới peridotit trong vùng nghiên cứu được hình thành ở độ sâu nông hơn so với kết quả thực nghiệm.

Từ những kết quả đạt được của luận án và liên kết với tài liệu địa vật lý của các công trình đã công bố, NCS đã xây dựng mô hình mặt cắt cấu trúc manti cắt qua khu vực Bình Châu, Lý Sơn phản ánh đặc điểm cấu trúc manti trên vào thời điểm hiện tại của vùng nghiên cứu (Hình 7). Theo đó, trạng thái nhiệt manti cao hơn mức trung bình (ước tính $T_p = 1480^\circ\text{C}$) và nhiệt độ áp suất nóng chảy từng phần nguồn manti $T_f = 1458^\circ\text{C}$, $P_f = 24.3 \text{ kbar}$; độ nóng chảy từng phần $F = 3\text{-}5\%$. Tại thêm lục địa đã xác định đới chảy do bị ép trôi làm biến mất ranh giới LAB tương ứng với trường lherzolit granat ở độ sâu khoảng 65km – 150km.



Hình 7. Mô hình mặt cắt vận tốc sóng địa chấn (thời điểm hiện tại); biểu thị đặc điểm cấu trúc manti trên qua khu vực Bình Châu, Lý Sơn và thêm lục địa tỉnh Quảng Ngãi (theo Chen et al., 2021). Đới khoáng vật theo nghiên cứu P.T. Xuân và N.X Hãn (1996) và nghiên cứu của Hoang and Flower (1998)

2. Mô hình tiến hóa địa động lực manti – thạch quyển khu vực ven biển Nam Trung Bộ và lân cận

Lịch sử phát triển địa chất giai đoạn Kainozoi ở Đông Nam Á nói chung và vùng nghiên cứu nói riêng bị chi phối mạnh mẽ bởi hai hoạt động kiến tạo lớn. Sự va chạm của mảng Độ vào Âu Á diễn ra trong giai đoạn Eocen sớm - giữa đến Miocen muộn và hoạt động kiến tạo hình thành Biển Đông diễn ra vào khoảng Oligocen sớm đến Miocen sớm - giữa.

Kết quả nghiên cứu về cấu trúc kiến tạo và động lực manti cho phép NCS xây dựng bối cảnh hoàn chỉnh về các giai đoạn tiến hóa động lực manti – thạch quyển vùng nghiên cứu thành 6 giai đoạn chính bao gồm:

- *Giai đoạn 1*: Trước Eocen giữa (trước ~ 45 tr.năm) - Giai đoạn trước tách giãn.
- *Giai đoạn 2*: Eocen giữa – Oligocen sớm (~ 45 – 33 tr.n) - Giai đoạn tạo tách giãn.
- *Giai đoạn 3*: Oligocen giữa - Oligocen muộn (33 – 23 tr.năm) - Giai đoạn giãn đáy hình thành vỏ đại dương Biển Đông ở phía đông.
- *Giai đoạn 4*: Miocen sớm – giữa (khoảng 23 tr.n - 16±0,5 tr.năm) - Giai đoạn mở rộng vỏ đại dương tiến vào thềm lục địa Việt Nam.
- *Giai đoạn 5*: Miocen giữa - Pliocen (từ 16±0,5 đến 5 tr.năm): Giai đoạn sau tách giãn với hoạt động phun trào núi lửa hình thành lớp phủ nền.
- *Giai đoạn 6*: Pliocen – Đệ tứ (từ 5 đến 0 tr.năm): Giai đoạn sau tách giãn với hoạt động phun trào núi lửa đơn.

2.1. Trước Eocen giữa (trước 45tr.năm)- Giai đoạn trước tách giãn

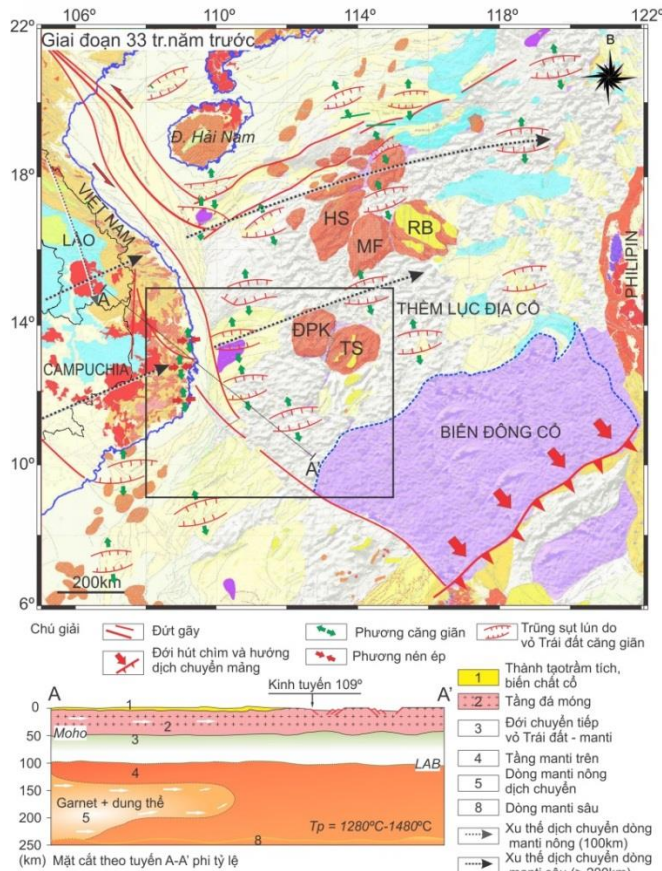
Giai đoạn Paleogen – Eocen giữa (trước 45 tr.năm), khu vực nghiên cứu thuộc một phần của địa khối Đông Dương gắn kết với địa khối Hoa Nam – Bắc Việt cấu thành rìa Đông Nam của mảng thạch quyển Á – Âu. Trước khi xảy ra chạm giữa mảng Ấn Độ vào Mảng Á – Âu, vị trí khu vực nghiên cứu nằm khá xa về phía Tây Bắc so với vị trí ngày nay. Tại thềm lục địa Việt Nam quần đảo Hoàng Sa, bãi cạn Maclesfield, Reedbank, khu vực quần đảo Trường Sa và đảo Palawan nằm lân cận nhau. Nhìn chung vào giai đoạn Paleogen – Eocen giữa, khu vực nghiên cứu có hoạt động kiến tạo khá bình ổn. Manti trên không biến động, trạng thái nhiệt manti ước tính đạt giá trị trung bình khoảng $T_p = 1280^{\circ}\text{C}$ và chiều dày tầng thạch quyển ước tính theo giá trị trung bình toàn cầu khoảng 100km.

2.2. Eocen giữa – Oligocen sớm (~45 - 32tr.n) - Giai đoạn tạo tách giãn

Vào thời điểm Eocen giữa (~ 45 tr.n trước), mảng lục địa Ấn Độ bắt đầu va chạm cứng với mảng Âu Á. Hệ quả của quá trình va chạm là sự dịch chuyển của địa khối Đông Dương về phía Đông Nam theo phương dịch chuyển trái dọc đứt gãy Sông Hồng, kèm theo xoay theo chiều kim đồng hồ. Đây là giai đoạn tạo rift chính của khu vực và chỉ kết thúc khi giãn đáy Biển Đông bắt đầu. Vào giai đoạn này chế độ động lực được thể hiện thông qua các đứt gãy giòn phát triển mạnh mẽ tại phần trên vỏ Trái đất. Theo kết quả phân tích của luận án trạng thái ứng suất khu vực trong giai đoạn này là nén ép á vĩ tuyến và căng giãn theo phương á kinh tuyến trên các bề mặt san bằng kiến tạo Đông Dương hình thành giai đoạn trước đó. Trên thềm lục địa vùng nghiên cứu phát triển các cấu trúc rift phân tán, tạo đà cho sự phát triển các cấu trúc kiến tạo Kainozoi, đặc biệt là các bề trầm tích Đệ tam cũng như hàng loạt các địa hào, địa lũy, rải rác trong khu vực, với phương chủ đạo là á vĩ tuyến (Hình 8).

Phía tây vùng nghiên cứu xuất hiện hai dòng manti tương ứng với các độ sâu khoảng 150 – 200km (dòng manti nông) dịch chuyển theo phương bắc, tây bắc – đông nam và dòng manti có độ sâu trên 200km (dòng manti sâu) dịch chuyển theo phương tây nam – đông bắc hướng từ Ấn Độ Dương. Sự xuất hiện của dòng manti nông được giải thích là do mảng Ấn Độ dịch chuyển va chạm vào mảng Âu Á kéo theo dòng quyển mềm từ Ấn Độ dương về phía Bắc. Khi mảng Ấn Độ bị chúi chìm, một phần vỏ Trái đất cắm sâu vào manti gây cản trở sự di chuyển theo hướng đông bắc; theo thời gian, dòng quyển mềm bị ép trôi theo hướng đông – tây và bị đảo chiều theo phương tây bắc – đông nam và xâm nhập vào manti trên vùng nghiên cứu. Dòng manti sâu được cho là dòng quyển mềm từ Ấn Độ dương bị phân tán, một phần dịch chuyển theo hướng

đông bắc xâm nhập vào lục địa Đông Nam Á. Sự tương tác giữa dòng manti sâu và nóng ở độ sâu 200km có thể đã hình thành đới ép trôi và làm tăng trạng thái nhiệt manti từ mức trung bình (1280°C) lên tới 1480°C (theo kết quả tính nhiệt từ nguồn magma nguyên thủy).



Hình 8. Bối cảnh kiến tạo - Địa động lực Biển Đông giai đoạn tạo rift (Eocene-Oligocene)

Ảnh hưởng động lực manti đối với tiến hóa kiến tạo giai đoạn này không được thể hiện rõ ràng trên bề mặt Trái đất, tuy nhiên theo số liệu địa hóa nguồn magma nguyên thủy cho phép kết luận trạng thái nhiệt manti vùng nghiên cứu bắt đầu được tăng cao từ 1280°C lên khoảng 1480°C. Mặc dù vai trò của động lực manti đối với sự hình thành Biển Đông vẫn là vấn đề tiếp tục nghiên cứu tuy nhiên có thể thấy hai dòng manti sâu di chuyển qua các phía nam đảo Hải Nam và khu vực bể Phú Khánh và tiến về phía đông, là những vị trí hình thành các trục tách giãn Biển Đông (Hình 8). Sự tăng cao trạng thái nhiệt manti giúp quá trình nóng chảy diễn ra dễ dàng hơn. Khi đó trong manti trên dễ hình thành các nguồn magma ở lớp manti trên (100 – 200km), một trong những dòng manti quan sát được trong manti trên ở phía tây vùng nghiên cứu (đới số 5) được hình thành tương ứng với trường phân bố peridotit granat (Hình 8).

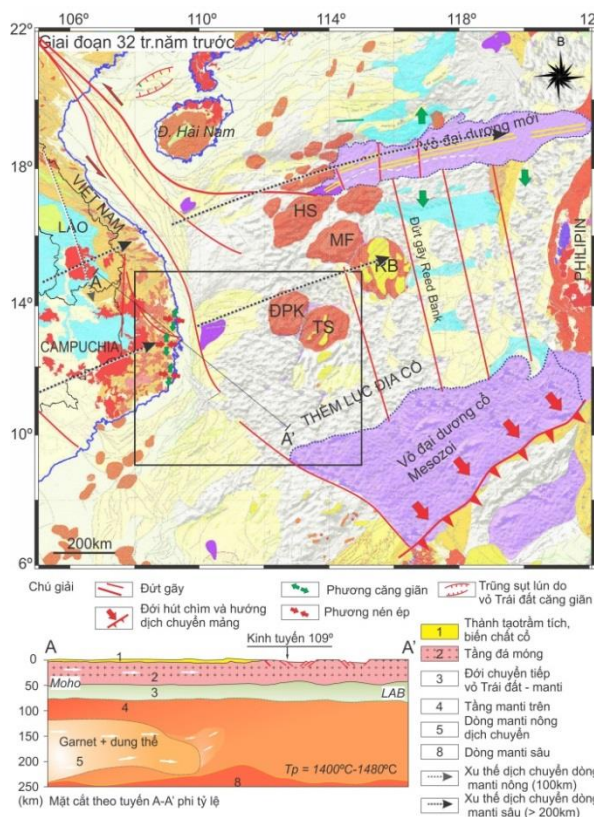
2.3. Oligocen giữa - Oligocen muộn (33 – 23 tr.năm trước) - Giai đoạn giãn đáy hình thành vỏ đại dương Biển Đông ở phía Đông

Tại Biển Đông vào khoảng 33 tr.năm trước (có ý kiến cho là 32 tr.năm trước) các hoạt động căng

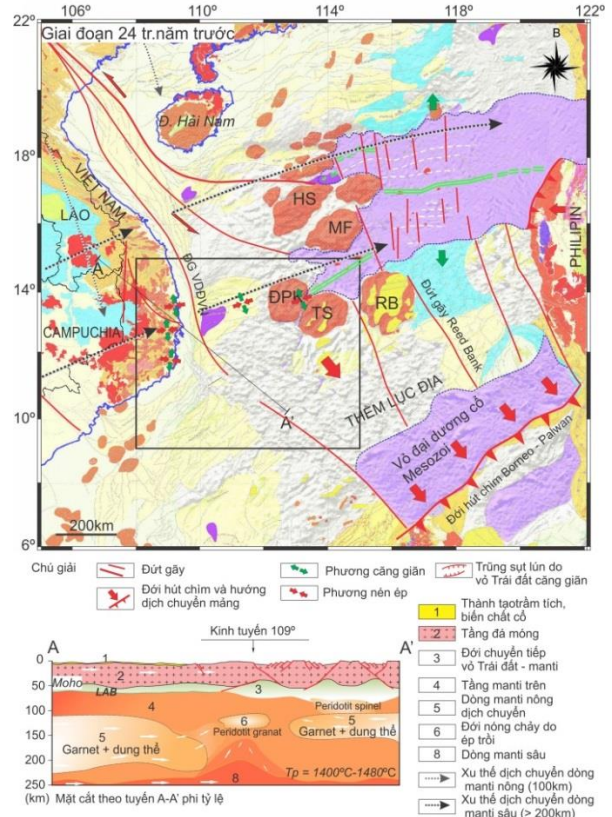
giãn tạo rift đạt đến độ bắt đầu quá trình xuất lộ vỏ đại dương tại khu vực phía Bắc Biển Đông (Hình 9). Sự giãn đáy làm lớp vỏ đại dương mở rộng về hai phía Bắc - Nam. Sau đó, trục giãn đáy có xu hướng di chuyển về phía Nam. Vào khoảng 25 tr.năm trước lại xảy ra hiện tượng “nhảy trục giãn đáy” lần thứ hai về phía Nam, đồng thời xuất hiện đứt gãy phương BTB - NĐN Reed Bank, khống chế phía Tây của giãn đáy Biển Đông. Kèm theo đó là sự xuất hiện một trung tâm giãn đáy mới về phía Tây Nam của đứt gãy này. Trung tâm giãn đáy Tây Nam nhỏ hơn và có phương ĐB-TN, tức phương tách giãn là TB - ĐN và có hình dạng thu hẹp dần về phía TN. Như vậy bắt đầu từ giai đoạn này song song tồn tại 2 trung tâm giãn đáy phát triển độc lập với nhau (Hình 10). Vào giai đoạn Miocen sớm (khoảng 23 tr.năm trước) trên thêm lục địa Nam Trung Bộ (khu vực bể Phú Khánh) bắt đầu diễn ra quá trình sụt lún nhiệt. Biểu hiện bởi sự gia tăng bề dày trầm tích Miocen sớm đi kèm là sự dâng lên của đới nóng chảy trong manti có thể quan sát được trong các tài liệu địa chấn cắt qua thềm lục địa Nam Trung Bộ.

Trong giai đoạn này quá trình tạo rift chính của khu vực đã kết thúc. Theo kết quả phân tích của luận án trạng thái ứng suất khu vực trong giai đoạn này là nén ép á vĩ tuyến và căng giãn theo phương á kinh tuyến và có xu thế chuyển dần sang đông bắc tây nam vào khoảng 24 tr.năm trước vuông góc với phương mở rộng phía đông bắc của bể Phú Khánh (Hình 10). Vai trò nổi bật của động lực manti đối với tiến hóa kiến tạo được thể hiện bởi sự hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông. Như đã lập luận trong các nội dung nghiên cứu của luận án, quá trình căng giãn thạch quyển vùng Biển Đông và thềm lục địa lân cận là quá trình nghèo magma. Điều này có nghĩa, sự căng giãn của thạch quyển không đủ lớn để gây nóng chảy hình thành magma hoặc lượng dung thể nóng chảy phát sinh không lớn để hình thành lớp vỏ bazan Biển Đông. Tuy nhiên thực

tế cho thấy, lớp vỏ đại dương Biển Đông thuần túy là lớp vỏ bazan. Như vậy, để hình thành đủ một lượng lớn dung thể hình thành lớp vỏ đại dương cần phải có tương tác của động lực manti đủ lớn để sản sinh đủ lượng dung thể hình thành lớp vỏ. Trong nghiên cứu của Lê Đức Anh và nnk., 2017 (kết quả nghiên cứu của luận án) các tác giả đã xác định trạng thái nhiệt manti khu vực Bắc Biển Đông giai đoạn này dao động khoảng $T_p = 1380^{\circ}\text{C} - 1500^{\circ}\text{C}$ ($T_p = 1500,49^{\circ}\text{C}$, mẫu ZK05 tuổi 20.1 tr.năm), độ sâu nóng chảy khoảng 60km tương ứng với nguồn Ihezolit spinel. Trên sơ đồ Hình 8 có thể quan sát thấy xu thế dịch chuyển của dòng manti sâu đi qua vùng vỏ đại dương Biển Đông giai đoạn sớm, mặc dù có nhiều quan điểm về sự hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông giai đoạn này tuy nhiên trạng thái nhiệt manti cao độ sâu nguồn magma nguyên thủy khá nông (60km) thấp hơn đáng kể so với bề mặt độ sâu LAB ban đầu (khoảng 100km) là minh chứng rõ ràng về tác động của động lực manti lên kiến tạo vùng Biển Đông. Sự sụt giảm nhanh độ sâu bề mặt LAB đã làm thay đổi mật độ vật chất trong đới chuyển tiếp manti – vỏ Trái đất tạo thành các vòm đối lưu quy mô nhỏ và ứng suất cắt dọc. Các yếu tố phát sinh đã thúc đẩy quá trình căng giãn hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông giai đoạn sớm.



Hình 9. Bối cảnh kiến tạo - Địa động lực Biển Đông giai đoạn 32 tr.n. trước: bắt đầu giãn dãn hình thành vỏ đại dương mới



Hình 10. Bối cảnh kiến tạo - Địa động lực Biển Đông giai đoạn 24 tr.n. trước (Cuối Oligocene)

Trong vùng nghiên cứu, vai trò của động lực manti được thể hiện thực sự vào giai đoạn Oligocen muộn – Miocen sớm khi biển đông lan truyền tách giãn về phía tây nam và sự mở rộng của bể Phú Khánh do sụt lún nhiệt. Theo mô hình thạch học thực nghiệm, đới dị thường truyền sóng tương ứng với trường phân bố peridotit granat (đới dị thường số 6_Hình 10). Độ sâu của trường phân bố dao động trong khoảng 110km – 120km, nông hơn nhiều so với hai đới dị thường truyền sóng nhiệt độ cao số 5 tương ứng với trường phân bố peridotit granat + dung thể (đới dị thường số 5_Hình 10). Như đã lập luận, quá trình tách giãn thạch quyển trong giai đoạn tạo rift không hình thành magma, do đó trường phân bố peridotit granat (đới dị thường số 6) có thể được hình thành do được tách ra một phần từ hai trường peridotit granat + dung thể (đới dị thường số 5) và/hoặc do sự dâng lên của dòng manti sâu (độ sâu > 200km_đới dị thường số 10) (Hình 10). Dưới tác động dâng lên của manti vào giai đoạn này bề dày thạch quyển vùng nghiên cứu bắt đầu bị vát mỏng, lớp vỏ Trái đất bị căng giãn gây mở rộng các bể trầm tích.

2.1. Miocen sớm – Miocen giữa (khoảng 23 tr.n - 16 ±0.5 triệu năm) - Giai đoạn mở rộng lớp vỏ đại dương tiến vào thềm lục địa Việt Nam

Vào giai đoạn Miocen sớm – giữa, mở Biển Đông lan truyền giãn đáy về phía TN, tiến sâu vào thềm lục địa Việt Nam (Hình 10). Quá trình lan truyền giãn đáy kết thúc vào khoảng 16 ±0.5 tr.năm. Các bể trầm tích trên rìa lục địa MTVN chuyển dần từ phương á vĩ tuyến sang phương ĐB -TN, với các tách giãn phương TB - ĐN rõ nét (Hình 11). Đồng thời giai đoạn này bắt đầu có sự tham gia của các đứt gãy xuyên vỏ là yếu tố khống chế sự mở rộng của bể trầm tích. Theo kết quả phân tích của luận án, trạng thái ứng suất khu vực trong giai đoạn này là nén ép phương ĐB – TN và căng giãn theo phương tây bắc đông nam trùng với phương mở rộng của bể Phú Khánh và phương lan truyền trực tách giãn Biển Đông giai đoạn muộn (Hình 11).

Vai trò của động lực manti đối với tiến hóa kiến tạo được thể hiện trên các tài liệu địa vật lý và địa hóa bazan. Tài liệu địa chấn đầu khí từ các công trình công bố cho thấy sự xuất hiện của các đứt gãy xuyên vỏ khống chế sự mở rộng của bể trầm tích đồng thời tại vùng trung tâm bể lớp vỏ Trái đất bị vát mỏng và căng giãn. Tại vùng trũng sâu Biển Đông, lớp vỏ Trái đất bị căng giãn và làm mỏng và xuất lộ vỏ đại dương tiến về thềm lục địa Việt Nam (Hình 11). Như đã thảo luận, thạch quyển vùng Biển Đông căng giãn không đủ phát sinh lượng magma đủ lớn để hình thành lớp vỏ đại dương nên nguồn nhiệt chính được cung cấp bởi các dòng manti. Theo kết quả của luận án, độ sâu nguồn magma nguyên thủy tại thềm lục địa Việt Nam dao động trong khoảng từ 45 - 80km, thành phần nguyên tố vết và đất hiếm biểu diễn trên biểu đồ nhận cho thấy đường xu thế giảm dần từ nguyên tố không tương thích mạnh qua nhóm nguyên tố có độ tương thích cao hơn đến các nguyên tố có tính tương thích mạnh hơn, là hình dạng điển hình của bazan đảo đại dương. Rất có thể chúng được xuất phát từ nguồn peridotit granat hoặc từ ranh giới chuyển tiếp giữa peridotit spinel- và granat.

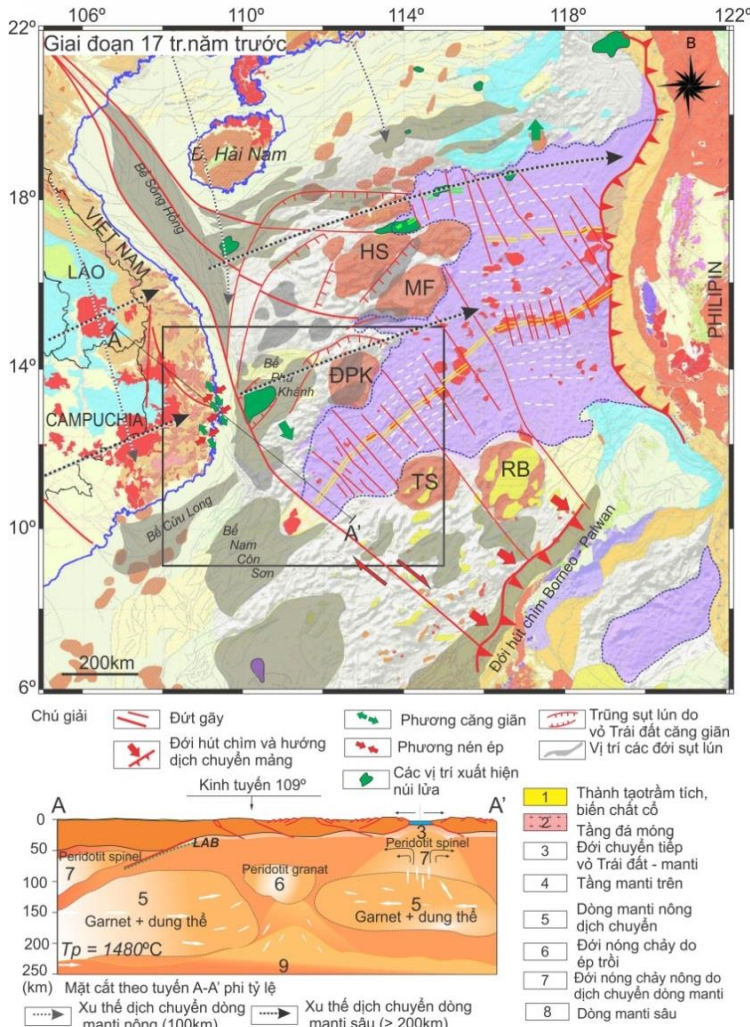
Một mặt chúng hình thành nguồn magma peridotit spinel là nguồn cung hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông, mặt khác nguồn magma peridotit granat (quy mô nhỏ hơn) gây sụt lún, vát mỏng và căng giãn vỏ Trái đất vùng thềm lục địa Nam Trung Bộ (Hình 11). Như vậy, nguồn magma nguyên thủy vùng thềm lục địa Việt Nam có thể đều được bắt nguồn từ một nguồn ban đầu có độ sâu khoảng 120 – 200km tương ứng với trường peridotit granat + dung thể. Tuy nhiên, dưới ảnh hưởng của chế độ động lực khi các dòng manti dịch chuyển (phản ánh thông qua sự thay đổi áp suất, độ sâu thành tạo, trạng thái nhiệt) đã ảnh hưởng trực tiếp tới bối cảnh kiến tạo vùng Biển Đông giai đoạn từ 23 tr.năm - 16 ±0.5 tr.năm trước.

2.2. Miocen giữa - Pliocen (từ 16±0,5 trn đến 5 tr.n.): Giai đoạn sau tách giãn với hoạt động phun trào núi lửa hình thành lớp phủ nền

Giai đoạn Miocen giữa - Pliocen (từ 16±0,5 trn đến 5 tr.năm) các hoạt động kiến tạo chính khu vực Đông Nam Á về cơ bản đã ngừng hoạt động. Vào thời điểm này Biển Đông ngừng tách giãn, sự chuyển dịch của mảng, vi mảng dọc theo các đứt gãy lớn cũng ngưng nghỉ. Các sự kiện kiến tạo ghi nhận được chủ yếu mang tính địa phương, cục bộ như nghịch đảo kiến tạo phía bắc Bể Sông Hồng, trượt bằng căng giãn phương ĐB - TN tại cao nguyên Vân Hòa... Theo kết quả luận án vào giai đoạn này vùng nghiên cứu chịu ảnh hưởng của ứng suất phương ĐB – TN chuyển dần sang bắc, tây bắc – nam, đông nam.

Mặc dù các biểu hiện dịch chuyển ngang của mảng, vi mảng, khối cấu trúc địa chất chỉ mang tính địa phương và cục bộ, tuy nhiên quá trình nâng hạ kèm theo phun trào bazan diễn ra phổ biến tại các bể trầm tích trên thềm lục địa Việt Nam, khu vực Nam Trung Bộ, Tây Nguyên và một số nước như Lào, Campuchia, Thái Lan. Theo mô hình dòng chảy manti của tác giả Jolivet và nnk (2018), trong trường hợp vận tốc dịch chuyển dòng manti nông (ở độ sâu khoảng 100km) là 5cm/năm thì thời điểm này dòng manti bắt đầu phủ kín toàn bộ manti trên khu vực đông Nam Á và thềm lục địa Việt Nam (Hình 12). Điều này cho thấy động lực manti đóng vai trò chủ đạo, chi phối quá trình tiến hóa kiến tạo giai đoạn Miocen giữa – Pliocen khu vực Đông Nam Á.

Trong vùng nghiên cứu, vai trò của động lực manti được thể hiện trông qua các tài liệu địa chấn sâu và địa hóa bazan. Như đã thảo luận trong nội dung nghiên cứu trên, vào giai đoạn Eocen-Oligocen-Miocen sớm các thành tạo trầm tích trong bể Phú Khánh là các thành tạo đầm hồ, sông, suối và biển nông, cuối Miocen



Hình 11. Bối cảnh kiến tạo - Địa động lực Biển Đông giai đoạn 16 ± 1 tr. n. trước. Ngừng giãn dãn Biển Đông

nguyên tố vết quy chuẩn nguồn manti nguyên thủy xu thế dốc từ các nguyên tố không tương thích mạnh giảm dần qua nhóm nguyên tố có độ tương thích cao hơn đến các nguyên tố đất hiếm mang đặc điểm bazan đảo đại dương.

Có thể chia bazan giai đoạn này thành hai giai đoạn (15,5 – 8,5 tr. năm) và (7,5 – 4,5 tr. năm) tương ứng với hàm lượng đất hiếm nặng cao và thấp. Đáng lưu ý, khi đối sánh thành phần đất hiếm nặng giữa vùng lục địa và trung Biển Đông thì tại ven biển và thềm lục địa có khoảng biến đổi rộng, từ thấp đến cao hơn so với trung Biển Đông (nguồn peridotit spinel). Điều này có nghĩa nguồn magma nguyên thủy của bazan vùng nghiên cứu có thể được xuất phát từ peridotit granat có xu hướng giữ lại đất hiếm nặng trong thể sót. Trên mặt cắt Hình 12 cho thấy sự mở rộng của nguồn Peridotit granat (đới số 6) đánh dấu sự dâng lên mạnh mẽ của manti nóng kèm theo là sự thay đổi đột ngột bề dày đới chuyển tiếp manti – thạch quyển (LAB). Sự thay đổi đột ngột này đã phát sinh ứng suất cắt dọc làm lớp vỏ Trái đất thềm lục địa Nam Trung bộ bị sụt lún nhanh kèm theo phun trào núi lửa. Tại khu vực Tây Nguyên, hoạt động phun trào núi lửa tạo nên diễn ra rộng khắp, bazan chủ yếu là tholeit đến á kiềm với độ sâu nguồn magma trong khoảng 40-50km tương ứng với trường phân bố peridotit spinel có nguồn gốc là dòng manti nóng (độ sâu khoảng 100km) bị ép trôi và dịch chuyển từ Himalaya về vùng nghiên cứu (Hình 12). Về cơ bản, có thể xem hoạt động của magma giai đoạn này tại Đông Nam Á và thềm lục địa là quá trình giải phóng năng lượng của dòng manti nóng xâm nhập và ép trôi.

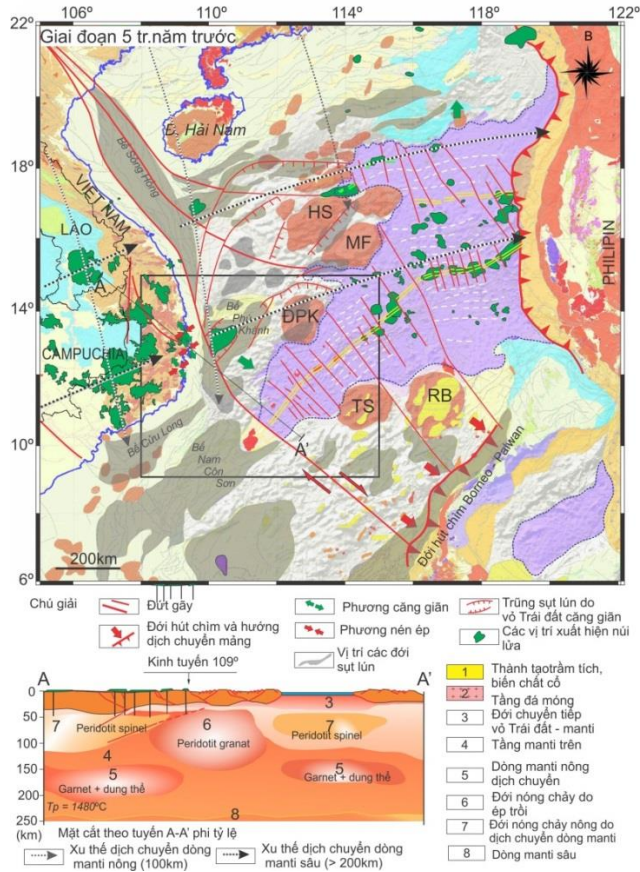
2.1. Giai đoạn Pliocen – Đệ Tứ (5 tr. năm - 0 tr. năm) - Giai đoạn sau tách giãn với hoạt động phun trào núi lửa đơn

Giai đoạn Pliocen – Đệ Tứ, hoạt động kiến tạo khu vực Đông Nam Á tương đối bình ổn do các sự kiện

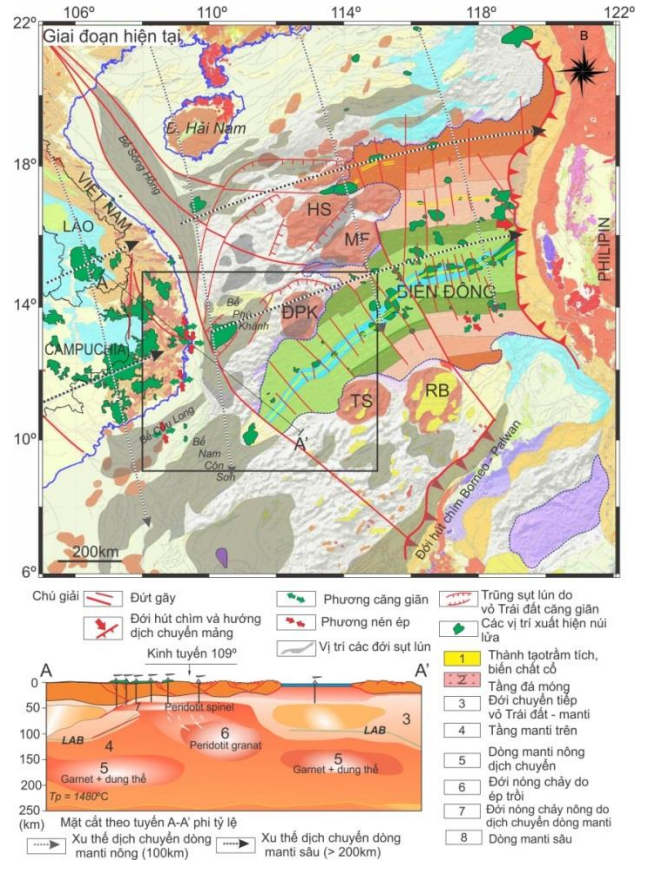
sớm đầu Miocen giữa ở đây còn phát triển khá mạnh các thành tạo ám tiêu san hô, minh chứng cho môi trường biển nông. Tuy nhiên từ Miocen giữa (khoảng 16-17 tr. năm trước) môi trường trầm tích tại bể Phú Khánh có các thay đổi căn bản, chuyển hẳn sang môi trường biển sâu. Theo tài liệu dao động mực nước biển của Haq và nkk (1988) đường cong dao động mực nước đại dương thế giới thì vào giai đoạn 17-14 tr. năm trước mực nước đại dương thế giới trung bình là +140m và không hề có sự tăng cao nào đáng kể, mà ngược lại chủ yếu hạ thấp dần. Như vậy, sự thay đổi khá nhanh chuyển từ môi trường biển nông sang môi trường biển sâu phải do quá trình kiến tạo gây sụt lún vỏ Trái đất.

Theo kết quả luận án, độ sâu nguồn magma tại ven biển Quảng Ngãi và Phú Yên dao động trong khoảng từ 40 – 80km tương ứng với trường phân bố peridotit spinel có thể được bắt nguồn từ trường peridotit granat. Trên biểu đồ nhện biểu diễn kết quả phân tích đất hiếm quy chuẩn về chondrit cho thấy bazan vùng nghiên cứu có xu thế khá dốc từ đất hiếm nhẹ (La đến Nd) đến đất hiếm nặng (Ho đến Lu) và

kiến tạo chính của khu vực đã ngưng nghỉ trước đó. Sự khác biệt lớn nhất của giai đoạn này với giai đoạn liền trước là sự kết thúc của quá trình nâng, hạ kiến tạo và phun trào bazan dạng phủ nền do ảnh hưởng dịch chuyển và ép trôi của dòng manti nóng (ở độ sâu khoảng 100km) ở thềm lục địa Nam Trung Bộ, tây Nguyên và một số nước Đông Nam Á. Trên tài liệu địa chấn đầu khí, bề dày tầng trầm tích Miocen muộn tương đối bình ổn, phát triển trên đó chủ yếu là các đứt gãy trẻ, gián đoạn mang tính địa phương phát triển trên nền các đới đứt gãy trước đó. Theo kết quả luận án vào giai đoạn này vùng nghiên cứu chịu ảnh hưởng của ứng suất phương bắc, tây bắc – nam, đông nam (Hình 13).



Hình 12. Bối cảnh kiến tạo - Địa động lực Biển Đông giai đoạn 5tr.n. trước. Hoạt động phun trào núi lửa giai đoạn sớm tại thềm lục địa và ven biển Nam Trung Bộ



Hình 13. Tình trạng Biển Đông giai đoạn hiện nay

Trong vùng nghiên cứu, vai trò của động lực manti đối với tiến hóa kiến tạo giai đoạn này được thể hiện bởi hoạt động phun trào bazan dưới dạng các núi lửa đơn phân bố dọc theo trục giãn đáy Biển Đông; thềm lục địa, ven biển Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Theo kết quả của luận án, lượng dung thể magma giai đoạn này tương đối nhỏ chủ yếu là bazan kiềm đến á kiềm kiểu đảo đại dương nguồn giàu và khá nguyên thủy. Tại tất cả các vị trí gần hẻm núi lửa đều xuất hiện các bao thể siêu mafic manti có kích thước khác nhau, trong một số bao thể tại Phú Quý, khu vực núi lửa ngầm Hòn Tro, và nhiều nơi khác tại khu vực NTB. Độ sâu nguồn magma dao động trong khoảng 70-80km, đặc biệt bazan giai đoạn này có hàm lượng đất hiếm nặng thấp đến rất thấp so với bazan trung Biển Đông và bazan hình thành trước đó. Mặc dù độ sâu nguồn magma khá nông, tuy nhiên các đặc điểm địa hóa cho thấy chúng được hình thành từ nguồn Peridotit granat (Hình 14).

Trên mặt cắt Hình 14 cho thấy đặc điểm cấu trúc sâu vùng nghiên cứu giai đoạn 5tr.n đến hiện tại cho thấy tại vùng trung Biển Đông, trong đới chuyển tiếp manti – thạch quyển quá trình giảm áp hạ nhiệt diễn ra nhanh chóng kèm theo sự hạ thấp của bề mặt ranh giới LAB xuống khoảng 100km. Sự hạ thấp nhiệt độ nhanh chóng và gia tăng chiều dày đới chuyển tiếp manti – thạch quyển đã làm lớp manti trên không sản sinh đủ lượng dung thể magma để hình thành lớp vỏ đại dương mới. Đây có thể được xem là một trong

những nguyên nhân Biển Đông ngừng tách giãn. Bên cạnh đó, hoạt động phun trào núi lửa đơn chủ yếu được xuất phát từ nóng chảy nguồn peridotit granat hình thành do sự ép trôi manti từ dưới sâu. Điều này được xác nhận thông qua đặc điểm địa hóa của mẫu bazan tại thềm lục địa và ven bờ Nam Trung Bộ. Bên cạnh đó, trên mặt cắt Hình 14 cũng cho thấy sự chuyển tiếp dạng ép trôi và xâm nhập vào vùng lục địa Nam Trung Bộ. Như vậy, giai đoạn này chế độ động lực manti mang đặc điểm giải phóng năng lượng tàn dư của giai đoạn kiến tạo Miocen giữa - Pliocen trước đó.

KẾT LUẬN

Hoạt động kiến tạo Kainozoi vùng nghiên cứu chịu sự tác động mạnh mẽ và mang tính quyết định từ quá trình va chạm của mảng Ấn Độ vào mảng Âu Á. Quá trình này không những gây ra các chuyển dịch dọc theo các đứt gãy khu vực lớn mà còn phát sinh các dòng manti (mantle flow), thúc đẩy sự tách giãn ở rìa đông lục địa Âu Á, góp phần hình thành các biển rìa tại Tây Thái Bình Dương và quyết định bình đồ cấu trúc - kiến tạo khu vực Đông Dương và Biển Đông ngày nay. Theo kết quả đạt được của luận án, NCS có những kết luận như sau:

(1) Chế độ động lực manti bao gồm nhiệt độ, áp suất nóng chảy từng phần và chế độ nhiệt manti trên. Ở thời điểm xảy ra nóng chảy, nhiệt độ manti trên trong khu vực nghiên cứu lớn hơn 1400°C , cao hơn nhiệt độ trung bình của manti toàn cầu khoảng 120°C .

(2) Nhiệt độ manti cao trong khu vực là động lực chính gây ra nóng chảy ở manti trên, trong khi sự căng giãn thạch quyển trong khu vực βm chỉ dao động từ 2,04 – 2,13, không đủ gây nóng chảy giảm áp hình thành magma. Kết quả này cho thấy sự tăng cao trạng thái nhiệt manti là cơ chế chính hình thành lớp vỏ đại dương Biển Đông và các thành tạo bazan Kainozoi.

(3) Quá trình tiến hóa kiến tạo khu vực Nam Trung Bộ và kế cận chịu sự tác động mạnh mẽ của các trường ứng suất kiến tạo với nguồn lực chính là sự tương tác giữa các mảng thạch quyển lớn trong khu vực. Tuy nhiên biến dạng thạch quyển do tương tác mảng không đủ để hình thành lượng dung thể nóng chảy của các lò magma hình thành nên lớp vỏ đại dương Biển Đông và cung cấp cho hoạt động núi lửa giai đoạn Kainozoi muộn trên thềm lục địa và ven biển Nam Trung Bộ.

(4) Các bằng chứng địa chất đạt được trong nghiên cứu này cho thấy cần phải phân chia chi tiết, cụ thể hơn đối với các giai đoạn magma - kiến tạo sau thời gian 16 tr.năm. Theo đó vùng nghiên cứu trải qua 6 giai đoạn hoạt động magma - kiến tạo bao gồm: 1) Trước Eocen giữa (> 45 tr.năm), giai đoạn trước tách giãn; 2) Eocen giữa – Oligocen sớm (45 - 33 tr.năm), giai đoạn tách giãn; 3) Oligocen sớm - Oligocen muộn (33 – 23 tr.năm), 4) Miocen sớm – giữa (khoảng 23 tr.năm - $16\pm 0,5$ tr.năm), giai đoạn mở rộng lớp vỏ đại dương tiến vào thềm lục địa Việt Nam, 5) Miocen giữa - Pliocen (từ $16\pm 0,5$ tr.năm đến 5 tr.năm): Giai đoạn sau tách giãn kèm hoạt động phun trào núi lửa theo khe nứt (phủ tràn) hình thành lớp phủ nền, 6) Giai đoạn Pliocen – Đệ Tứ (5 tr.n - 0 tr.năm) - Giai đoạn sau tách giãn đặc trưng bởi hoạt động phun trào núi lửa đơn nguồn.

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học 1: TS. Phùng Văn Phách

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS Nguyễn Hoàng

DANH SÁCH CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

- Le Duc Anh**, Nguyen Hoang, Phung Van Phach, Malinovskii A.I , Dinh Quang Sang, Shakirov R.B., 2019. Geochemical characteristics of olivines from Northeastern Phu Quy Volcanic Island and their relation to melt variations in the magma source. *Journal of Geology*. Vol 49_50.
- L.Đ Anh.**, N. Hoàng., P. V Phách., A. I. Malinovskii., Renat Shakirov., Kasatkin S. R., Golozubov V. V., B.V Nam., M. Đ Đông., Ngô Bích Hương., P.T Hiên., 2019. Nghiên cứu phát triển phương pháp tính thành phần hóa học dung thể magma basalt nguyên thủy giai đoạn Cenozoi khu vực ven biển và ngoài khơi Nam Trung Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, Tập 19, Số 3B.
- Le Duc Anh**, Nguyen Hoang, Renat B. Shakirov, Tran Thi Huong., 2017. Geochemistry of late Miocene-Pleistocene basalts in the Phu Quy island area (East Vietnam Sea): Implication for mantle source feature and melt generation. *Vietnam Journal of Earth Sciences* Vol.39 (3) 270-288.
- Lê Đức Anh.**, Nguyễn Hoàng., Phùng Văn Phách., Malinovskii, A. I., Kasatkin, S. A., Golozubov, V. V. 2017. Đặc điểm địa hóa thạch học đá magma bazan và đặc điểm nguồn manti khu vực Biển Đông và lân cận trong Kainozoi. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*; Tập 17, Số 4; 2017: 406-427
- Phach, P. V., Lai, V. C., R. B. Shakirov., **Le, D. A.**, Tung, D. X., 2019. Tectonic Activities and Evolution of the Red River Delta (North Viet Nam) in the Holocene. *Geotectonics*, 2020, Vol. 54, No. 1, pp. 113–129.
- Hoang, N., Shinjo, R., La, T.P., **Le, D.A.**, Tran T.H., Pécskay, Z., Dao T. B., 2019. Pleistocene basaltic volcanism in the Krông Nô area and vicinity, Dac Nong Province (Vietnam). *Journal of Asian Earth Sciences* 181, 103903
- Phung Van Phach, Le Duc Anh., 2018. Tectonic evolution of the southern part of Central Viet Nam and the adjacent area. *Geodynamics & Tectonophysics* 9 (3), 801–825.
- Kasatkin S.A, Phung Van Phach, **Le Duc Anh**, Golozubov V.V., 2017. Cretaceous strike-slip dislocations in the Dalat zone (southeastern Vietnam). *Тихоокеанская Геология*. Seria: 36; No4; p.29-42. (in Russian).