

Đặc điểm phân bố, thành phần vật chất và cơ chế thành tạo các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ

Thiêm Quốc Tuấn^{1*}, Đỗ Văn Nhuận²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Các thành tạo basalt Kainozoi muộn phân bố rộng khắp khu vực Đông Nam Bộ, chiếm khoảng 6617,15km². Công tác khảo sát địa chất khu vực Đông Nam Bộ đã phát hiện một số hang động núi lửa ở khu vực rừng Giá Ty (km123, QL20), thị trấn Tân Phú, huyện Tân Phú, xã Bàu Hàm, huyện Trảng Bom, phường Bàu Sen, thành phố Long Khánh, tỉnh Đồng Nai. Kết quả nghiên cứu đặc điểm phân bố, thành phần vật chất, cơ chế thành tạo các hang động núi lửa cho thấy các hang động núi lửa phân bố trong các thành tạo phun trào basalt Đệ tứ thuộc hệ tầng Xuân Lộc và hệ tầng Cây Gáo, thành phần chủ yếu gồm các đá basalt tholeiit (andesitobasalt) và basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt). Nhóm basalt tholeiit đặc trưng bởi hàm lượng SiO₂ cao (52,84-54,54wt%) tương ứng tổng kiềm (Na₂O+K₂O) dao động từ 3,28-3,47wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O=5,70-7,37 và K₂O/MgO=0,06-0,07. Các đá có hàm lượng Sr cao (200,87-248,01ppm), tổng hàm lượng các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu Σ LREE (35,99-44,90ppm) nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu Σ HREE (16,30-16,64ppm), tỷ số Rb/Sr=0,04-0,06. Nhóm basalt olivin kiềm đặc trưng bởi hàm lượng SiO₂ dao động từ 45,54wt% (basalt) đến 48,86wt% (trachybasalt) tương ứng tổng kiềm (Na₂O+K₂O) dao động từ 3,97-5,13wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O=1,51-3,65 và K₂O/MgO=0,10-0,26. Các đá có hàm lượng Sr cao (670,64-764,71ppm), tổng hàm lượng các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu Σ LREE (150,66-176,20ppm) nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu Σ HREE (17,14-21,33ppm), tỷ số Rb/Sr=0,07-0,15. Các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ được hình thành theo cơ chế thành tạo hang động dạng ống dung nham (lava tubes) và hang động miệng núi lửa (vent caves).

Từ khoá: hang động, núi lửa, basalt, Kainozoi, Đông Nam Bộ

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, Việt Nam

²Trường Đại học Mở - Địa chất Hà Nội, Việt Nam

Liên hệ

Thiêm Quốc Tuấn, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, Việt Nam
Email: tqtu@hcmunre.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 21-7-2021
- Ngày chấp nhận: 08-11-2021
- Ngày đăng: 30-11-2021

DOI: 10.32508/stdjsee.v5iS12.592



Check for updates

Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



MỞ ĐẦU

Các thành tạo phun trào basalt phân bố ở khu vực Đông Nam Bộ được nhiều nhà địa chất trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu. Tổng hợp các công trình đo vẽ lập bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000¹⁻³ và tỷ lệ 1:50.000⁴ cho thấy chúng được phân chia thành bảy hệ tầng theo thứ tự từ cổ đến trẻ như sau: hệ tầng Đại Nga ($\beta N_1^3 dn$), hệ tầng Lộc Ninh ($\beta N_2^2 ln$), hệ tầng Túc Trưng ($\beta N_2-Q_1 tt$), hệ tầng Xuân Lộc ($\beta Q_1^2 xl$), hệ tầng SokLu ($\tau \alpha Q_1^3 sl$), hệ tầng Cây Gáo ($\beta Q_1^3 cg$) và hệ tầng Phước Tân ($\beta Q_1^3 pt$). Trong những năm gần đây, các nhà khoa học thuộc Viện Sinh học nhiệt đới và Hội hang động Berlin (Đức)⁵ đã phát hiện quần thể hang động núi lửa trong các thành tạo basalt ở khu vực xã Phú Lộc, huyện Tân Phú, tỉnh Đồng Nai và công bố là một trong những di sản địa chất độc đáo, có giá trị cần được bảo tồn và gìn giữ.

Gần đây, trong chuyến khảo sát địa chất miền Đông Nam Bộ nhóm tác giả đã phát hiện thêm một số hang động núi lửa ở khu vực rừng Giá Ty (km123, QL20), thị trấn Tân Phú, huyện Tân Phú, xã Bàu Hàm, huyện Trảng Bom, phường Bàu Sen, thành phố Long Khánh,

tỉnh Đồng Nai. Vì vậy, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu đặc điểm phân bố, thành phần thạch học, thành phần các nguyên tố chính, thành phần các nguyên tố vết, điều kiện nhiệt độ - áp suất thành tạo basalt, trên cơ sở đó có thể đưa ra một số nhận định về cơ chế thành tạo các hang động núi lửa basalt, không những có ý nghĩa quan trọng về khoa học còn có giá trị lớn về phát triển du lịch và di sản văn hóa Quốc gia.

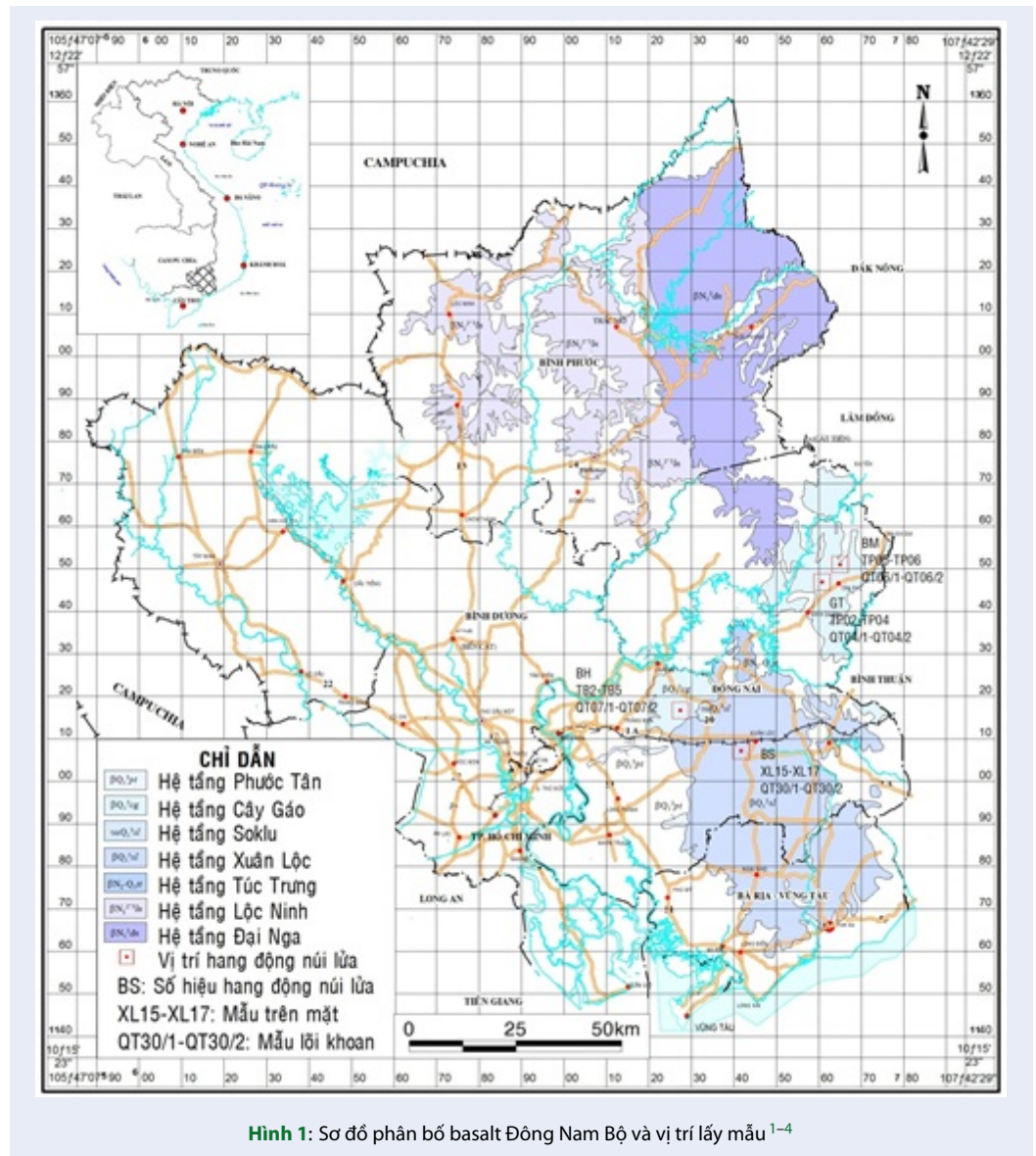
VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Đặc điểm địa chất và vị trí lấy mẫu

Các thành tạo phun trào basalt phân bố khá rộng rãi, với tổng diện tích 6617,15km², chiếm khoảng 1/4 diện tích Đông Nam Bộ. Trong không gian phân biệt được ba trường basalt tách rời nhau: trường Lộc Ninh - Phước Long, trường Nam Cát Tiên - Định Quán và trường Cây Gáo - Đất Đỏ (Hình 1).

Trường basalt Lộc Ninh - Phước Long: phân bố rộng rãi ở vùng Bắc và Đông tỉnh Bình Phước, từ khu vực vườn Quốc gia Bù Gia Mập xuống đến vườn Quốc gia Nam Cát Tiên, Bù Đốp, Lộc Ninh, Fu Miêng, Bình Long, Phước Bình, Phú Riềng và rải rác ở Đồng

Trích dẫn bài báo này: Tuấn T Q, Nhuận D V. **Đặc điểm phân bố, thành phần vật chất và cơ chế thành tạo các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 5(S12):SI106-SI119.



Hình 1: Sơ đồ phân bố basalt Đông Nam Bộ và vị trí lấy mẫu¹⁻⁴

Phú, gồm các thành tạo phun trào hệ tầng Đại Nga ($\beta N_1^3 dn$) và hệ tầng Lộc Ninh ($\beta N_2^2 ln$) phủ trên trầm tích hệ tầng Bà Miêu ($N_2^2 bm$).

Trường basalt Nam Cát Tiên - Định Quán: phân bố dọc theo trục có phương kinh tuyến từ vùng Nam Cát Tiên, qua Tân Phú, kéo dài tới vùng Định Quán, nằm phủ trực tiếp lên các thành tạo trầm tích Jura và thành tạo xâm nhập Mesozoi, chủ yếu là thành tạo phun trào hệ tầng Cây Gáo ($\beta Q_1^3 cg$).

Trường basalt Cây Gáo - Đất Đỏ: phân bố dọc theo trục có phương á kinh tuyến từ vùng Cây Gáo, qua Cẩm Mỹ, kéo dài xuống tới vùng Đất Đỏ, nằm phủ trực tiếp lên các thành tạo trầm tích Jura, thành tạo phun trào Jura muộn - Kreta sớm, thành tạo xâm nhập Mesozoi và thành tạo trầm tích gắn kết yếu Neogen -

Pleistocen sớm, gồm các thành tạo phun trào hệ tầng Túc Trung ($\beta N_2-Q_1 tt$), hệ tầng Xuân Lộc ($\beta Q_1^2 xl$), hệ tầng SokLu ($\tau\alpha Q_1^3 sl$), hệ tầng Cây Gáo ($\beta Q_1^3 cg$), hệ tầng Phước Tân ($\beta Q_1^3 pt$).

Hai trường basalt Nam Cát Tiên - Định Quán và trường basalt Cây Gáo - Đất Đỏ tập trung hầu hết các hang động núi lửa và hẻm núi lửa. Các hẻm núi lửa phân bố dọc theo trục hệ thống đứt gãy có phương kinh tuyến và á kinh tuyến, chiều dài của trục hẻm núi lửa khoảng 50km, chiều dài của hẻm núi lửa khoảng 20km. Các hang động núi lửa chủ yếu phân bố trong hai thành tạo phun trào basalt Xuân Lộc ($\beta Q_1^2 xl$) và basalt Cây Gáo ($\beta Q_1^3 cg$).

Basalt Xuân Lộc ($\beta Q_1^2 xl$): chiếm hầu hết trường basalt Cây Gáo - Đất Đỏ với diện tích khoảng

2015km², nằm phủ trực tiếp lên các thành tạo trầm tích Jura thuộc hệ tầng Dray Linh (J_1dl) và hệ tầng La Ngà (J_2ln), thành tạo phun trào Jura muộn thuộc hệ tầng Long Bình (J_3lb), thành tạo xâm nhập Mesozoic thuộc phức hệ Định Quán ($J_3đq$), phức hệ Đèo Cả ($Kđc$), phức hệ Cà Ná (K_2cn) và thành tạo trầm tích gắn kết yếu Neogen - Pleistocen sớm thuộc hệ tầng Bà Miêu (N_2^2bm) và hệ tầng Trảng Bom (aQ_1^1tb). Thành phần chủ yếu gồm basanit, basalt olivin kiềm và basalt thường. Bề mặt địa hình vùng phủ basalt Xuân Lộc khá bằng phẳng, cao độ thay đổi từ 100-150m, nơi nào có dạng vòm cao hơn, khoảng 200-250m, bị phong hoá mạnh tạo lớp vỏ phong hóa laterit, đất đỏ khá dày. Bề dày lớp vỏ phong hóa giảm dần từ trung tâm vòm (30-35m) ra phần rìa (1-2m). Trên bề mặt lớp phủ basalt Xuân Lộc còn bảo tồn nhiều cấu trúc hòng núi lửa dạng hình nón, chóp cụt phân bố ở phần trung tâm, có thể đứng độc lập hoặc thành cụm kéo dài theo phương á kinh tuyến như hòng núi Gia Nhan, núi Cam Tiêm, đồi 51, đồi 57, đồi Mặt Trăng, núi Con Rắn, núi Le, núi Đất Đỏ, núi Nhang, núi Đất, núi Sáu Lẻ... cũng như quần thể hang động núi lửa Bàu Sen, thành phố Long Khánh, tỉnh Đồng Nai.

Basalt Cây Gáo (βQ_1^3cg): lộ ra dưới dạng lớp phủ của dung nham chảy tràn từ các hòng núi lửa phủ toàn bộ diện tích trường basalt Nam Cát Tiên - Định Quán khoảng 524,75km², nằm phủ trực tiếp lên các thành tạo trầm tích Jura muộn thuộc hệ tầng La Ngà (J_2ln) và thành tạo xâm nhập Mesozoic thuộc phức hệ Định Quán ($J_3đq$) và một phần diện tích thuộc vùng Cây Gáo - Trị An khoảng 168,4km², thuộc trường basalt Cây Gáo - Đất Đỏ. Tổng diện tích phân bố basalt Cây Gáo khoảng 693,15km². Thành phần chủ yếu là andesitobasalt, có cả basalt và trachybasalt. Bề mặt gồ ghề, lởm chởm bởi các tảng cục còn sót lại trong vỏ phong hóa rất mỏng hoặc không có. Trên bề mặt lớp phủ basalt Cây Gáo còn bảo tồn nhiều cấu trúc hòng núi lửa dạng hình nón, chóp cụt, dạng chữ "C" như hòng núi Yangka, núi Lửa, núi Bồ... cũng như các quần thể hang động núi lửa Ba Miêng, hang động núi lửa Km123-QL20, huyện Tân Phú và hang động núi lửa Bàu Hàm, huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai.

Mẫu nghiên cứu được thu thập lấy tại các khu vực phân bố hang động núi lửa Bàu Sen (Long Khánh), Bàu Hàm (Trảng Bom), Km123-QL20 (Tân Phú), Ba Miêng (Tân Phú) (Hình 1). Các loại mẫu phân tích sử dụng trong nghiên cứu bao gồm 20 mẫu phân tích thành phần thạch học, 07 mẫu phân tích thành phần nguyên tố chính, 07 mẫu phân tích thành phần nguyên tố vết (Bảng 1). Mẫu dùng cho phân tích là các mẫu tươi được lựa chọn từ các mẫu lõi khoan (ký

hiệu QT) và mẫu trên bề mặt (ký hiệu XL, TB, TP) lấy ở các khu vực phân bố hang động núi lửa basalt.

Các đá núi lửa có màu xám sáng, xám đen hoặc đen, kiến trúc ẩn tinh hoặc vi tinh, cấu tạo lỗ hổng và đặc sít. Dưới kính hiển vi phân cực nhận thấy các đá có kiến trúc porphyri với nền kiến trúc dolerit (Hình 3A, Hình 3B) và gian phiến (Hình 3C, Hình 3D). Thành phần thạch học chủ yếu là andesitobasalt, basalt olivin và trachybasalt.

Phương pháp phân tích

Các mẫu đá được mô tả bằng mắt thường, gia công lát mỏng và phân tích thạch học dưới kính hiển vi phân cực (Meji-Nhật Bản), thực hiện tại Trường Đại học Mở - Địa chất Hà Nội.

Các nguyên tố chính và nguyên tố vết được phân tích tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Tài nguyên khoáng sản và các quá trình địa chất, Đại học Khoa học Địa chất Trung Quốc (Vũ Hán). Nguyên tố chính được phân tích trên đá tổng bằng phương pháp quang phổ huỳnh quang tia X (X-Ray fluorescence spectrometry-XRF). Mẫu chuẩn GBW07103 được sử dụng để kiểm tra độ chính xác phân tích. Độ chính xác phân tích nằm trong khoảng từ 0,5% đến 4%. Nguyên tố vết được phân tích trên đá tổng bằng phương pháp quang phổ khối plasma cảm ứng Agilent 7500ce (Agilent 7500ce inductively coupled plasma mass spectrometry-ICP MS). Các mẫu chuẩn BHVO-2, AGV-2 và OU-6 được sử dụng để kiểm tra độ chính xác phân tích. Độ chính xác phân tích nằm trong khoảng từ 5% đến 15%. Các mẫu đá tươi chưa bị biến đổi thu thập được nghiền nhỏ thành bột và rây cho tới kích thước hạt nhỏ hơn 200 μ m. Tất cả các mẫu bột được lấy khoảng 1g đem sấy khô ở nhiệt độ 105 $^{\circ}$ C trong khoảng thời gian 4 giờ xác định hàm lượng mất khi nung (Loss on ignition-LOI) và hòa tan phá mẫu (50mg) bằng hỗn hợp acid HF và HNO₃ ở nhiệt độ 190 $^{\circ}$ C khoảng 48 giờ trước khi đưa máy phân tích nguyên tố chính và nguyên tố vết. Chi tiết quá trình phân tích có thể tham khảo từ nghiên cứu của Hieu et al. (2020)⁶.

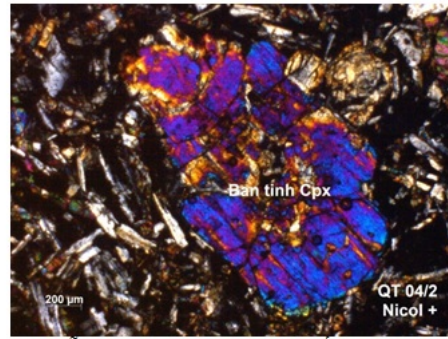
Các kết quả phân tích được sử dụng để tính toán thành phần khoáng vật quy chuẩn CIPW, tính toán các chỉ số thạch địa hóa, điều kiện nhiệt độ, áp suất thành tạo, được biểu diễn trên các biểu đồ khác nhau (từ Hình 4 đến Hình 13) bằng các phần mềm chuyên dụng như GeoPlot, Ipetwin, Corel Draw và đưa vào thảo luận.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

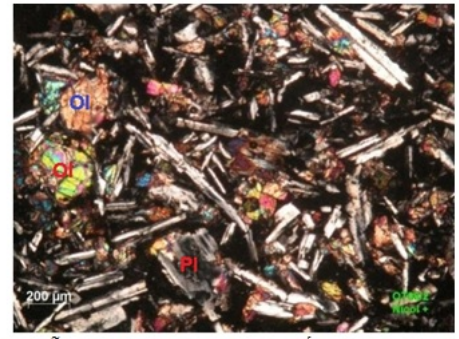
Bảng 1: Tổng hợp mẫu nghiên cứu hang động núi lửa basalt

Kí hiệu	Hang động núi lửa	Địa điểm	Thành tạo basalt		Mẫu nghiên cứu	
				Thạch học	Nguyên tố chính	Nguyên tố vết
BS	Bàu Sen	Long Khánh	Xuân Lộc	XL15-XL17, QT30/1, QT30/2	XL15, QT30/2	XL15, QT30/2
BH	Bàu Hàm	Trảng Bom	Cây Gáo	TB2-TB5, QT07/1, QT07/2	QT07/2	QT07/2
GT	Km123	Tân Phú	Cây Gáo	TP02-TP04, QT04/1, QT04/2	TP 02, QT04/2	TP 02, QT04/2
BM	Ba Miêng	Tân Phú	Cây Gáo	TP05, TP06, QT06/1, QT06/2	TP 06, QT06/2	TP 06, QT06/2
Tổng cộng				20 mẫu	7 mẫu	7 mẫu

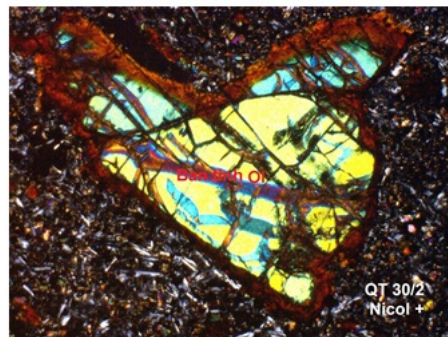




(A) Mẫu QT04/2. Andesitobasalt kiến trúc porphyr với ban tinh pyroxen (Cpx), nền kiến trúc dolerit



(B) Mẫu QT06/2. Andesitobasalt kiến trúc porphyr với vi ban tinh olivin (Ol), plagioclas (Pl) cấu tạo đôi trắng, nền kiến trúc dolerit



(C) Mẫu QT30/2. Basalt olivin kiến trúc porphyr với ban tinh olivin (Ol) bị idingsit hóa, nền kiến trúc gian phiến.



(D) Mẫu QT07/2. Trachybasalt kiến trúc porphyr với ban tinh olivin (Ol), nền kiến trúc gian phiến

Hình 3: Kiến trúc porphyr với ban tinh olivin, pyroxen, plagioclas, nền kiến trúc dolerit, gian phiến

Đặc điểm phân bố các hang động núi lửa basalt

Kết quả khảo sát khu vực phân bố các hang động núi lửa cho thấy các quần thể hang động núi lửa ở khu vực rừng Giá Tỳ (Km123, QL20), thị trấn Tân Phú, hang động núi lửa Ba Miệng ở khu vực xã Phú Lộc, huyện Tân Phú, hang động núi lửa Bàu Hàm, xã Bàu Hàm, huyện Trảng Bom và hang động núi lửa Bàu Sen, phường Bàu Sen, thành phố Long Khánh, tỉnh Đồng Nai (Hình 1) nằm trong các thành tạo basalt Xuân Lộc và basalt Cây Gáo.

Hang động núi lửa Km123 (QL20) (Hình 2A): phân bố trong thành tạo basalt Cây Gáo, khu vực thị trấn Tân Phú, huyện Tân Phú, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm hình thái dạng hang động miệng núi lửa (vent caves) và ống dung nham (lava tubes)⁷, phát triển theo hai phương chính Nam Tây Nam - Bắc Đông Bắc và Tây Nam - Đông Bắc. Các hang động miệng núi lửa (vent caves) có kích thước miệng hang rộng khoảng từ 0,6-1,5m, mở rộng về phía đáy đạt chiều cao từ 3-4m. Các hang động dạng ống dung nham (lava tubes) có hình dạng vòng cung, chiều rộng hang khoảng 5-7m, chiều cao khoảng 2-3m.

Hang động núi lửa Ba Miệng (Hình 2B): phân bố trong thành tạo basalt Cây Gáo, khu vực xã Phú Lộc, huyện Tân Phú, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm hình thái dạng hang động miệng núi lửa và ống dung nham, phát triển theo phương Bắc Đông Bắc - Nam Tây Nam. Các hang động miệng núi lửa có kích thước miệng hang rộng khoảng từ 1-2m, mở rộng về phía đáy đạt chiều cao từ 4-5m. Các hang động dạng ống dung nham (lava tubes) có hình dạng vòng cung, chiều rộng hang khoảng 10m, chiều cao khoảng 3-4m. Theo kết quả khảo sát của các nhà khoa học thuộc Viện Sinh học nhiệt đới và Hội hang động Berlin (Đức), hang động núi lửa Ba Miệng có đoạn dài nhất là 426m⁵.

Hang động núi lửa Bàu Hàm (Hình 2C): phân bố trong thành tạo basalt Cây Gáo, khu vực xã Bàu Hàm, huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm hình thái dạng ống dung nham với vòm hang cao khoảng 5-10m, chiều rộng khoảng 10-20m, phát triển theo phương Đông Đông Bắc - Tây Tây Nam

Hang động núi lửa Bàu Sen (Hình 2D): phân bố trong thành tạo basalt Xuân Lộc, khu vực phường Bàu Sen, thành phố Long Khánh, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm hình thái dạng ống dung nham với vòm hang cao

khoảng 6-8m, chiều rộng khoảng 10-15m, phát triển theo phương Tây Bắc - Đông Nam.

Thành phần nguyên tố chính

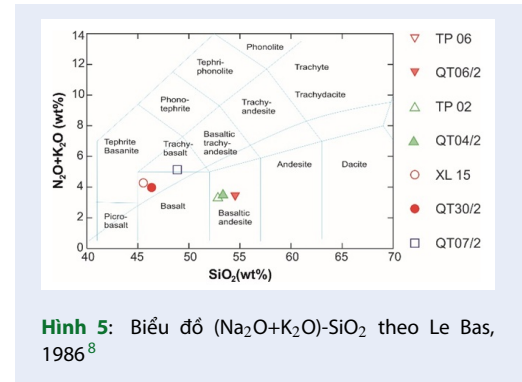
Dựa trên sự quan giữa hàm lượng SiO₂ và tổng kiềm (Alk=Na₂O+K₂O) cho thấy thành phần chủ yếu của các hang động núi lửa gồm andesitobasalt, basalt và trachybasalt, có thể chia thành 2 nhóm chính:

Andesitobasalt: có hàm lượng SiO₂ (52,84-54,54wt%), TiO₂ (1,82-2,06wt%), Al₂O₃ (14,04-14,28wt%), Fe₂O_{3t} (10,48-11,39wt%), MnO (0,13-0,14wt%), MgO (6,12-6,95wt%), CaO (7,86-7,92wt%), Na₂O (2,88-3,05wt%), K₂O (0,40-0,52wt%) và P₂O₅ (0,16-0,23wt%). Tổng kiềm (Na₂O+K₂O) thay đổi từ 3,28-3,47wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động trong khoảng 5,70-7,37. Độ chứa sắt F=FeO/MgO thay đổi từ 1,39-1,55 và tỷ lệ K₂O/MgO dao động trong khoảng 0,06-0,07. Hàm lượng trung bình nguyên tố chính của andesitobasalt thể hiện trên Hình 4.

Basalt, trachybasalt: có hàm lượng SiO₂ (45,54-48,86wt%), TiO₂ (2,09-2,67wt%), Al₂O₃ (12,01-14,09wt%), Fe₂O_{3t} (11,88-12,69wt%), MnO (0,14-0,15wt%), MgO (7,84-12,04wt%), CaO (7,93-9,19wt%), Na₂O (2,57-3,12wt%), K₂O (0,85-2,04wt%) và P₂O₅ (0,534-0,70wt%). Tổng kiềm (Na₂O+K₂O) thay đổi từ 3,97-5,13wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động trong khoảng 1,51-3,65. Độ chứa sắt F=FeO/MgO thay đổi từ 0,92-1,36 và tỷ lệ K₂O/MgO dao động trong khoảng 0,10-0,26. Hàm lượng trung bình nguyên tố chính của basalt, trachybasalt thể hiện trên Hình 4.

Kết quả xử lý trên biểu đồ tương quan giữa hàm lượng SiO₂ và tổng kiềm (Na₂O+K₂O) (TAS) theo Le Bas, 1986 (Hình 5) tương tự theo Irvine & Baragar, 1971 (Hình 6A) cho thấy các hang động núi lửa có thành phần chủ yếu là andesitobasalt, thuộc loạt á kiềm và basalt, trachybasalt thuộc loạt kiềm. Trên biểu đồ AFM theo Irvine & Baragar, 1971 (Hình 6B) cho thấy các đá andesitobasalt á kiềm nằm ở ranh giới giữa trường tholeit và trường vôi kiềm, nghiêng về phía trường tholeit. Mặt khác, trên biểu đồ tương quan giữa hàm lượng SiO₂ và K₂O cho thấy các đá andesitobasalt á kiềm chủ yếu rơi vào loạt tholeiit thấp kali (Hình 7A - theo Peccerillo & Taylor, 1976) và loạt cao kali hoặc ranh giới giữa loạt trung bình kali-loạt thấp kali (Hình 7B - theo Le Maitre, 2002).

Trong thành phần khoáng vật quy chuẩn tính theo phương pháp CIPW¹² cho thấy các hang động núi lửa có thành phần thuộc nhóm basalt quá bão hòa silic (tholeiit thạch anh) chủ yếu là andesitobasalt và basalt gần bão hòa hoặc bão hòa silic (basalt olivin kiềm) chủ yếu là basalt, trachybasalt. Nhóm basalt quá bão hòa

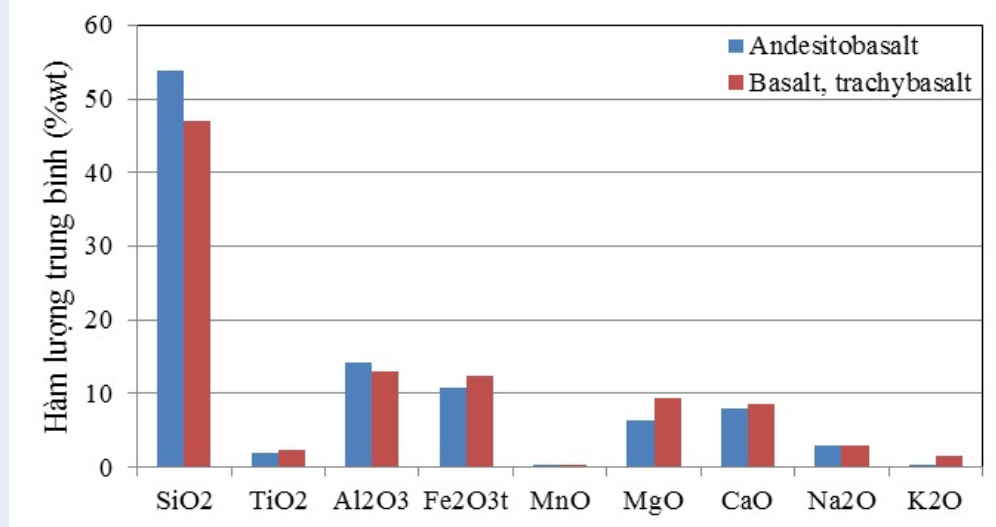


Hình 5: Biểu đồ (Na₂O+K₂O)-SiO₂ theo Le Bas, 1986⁸

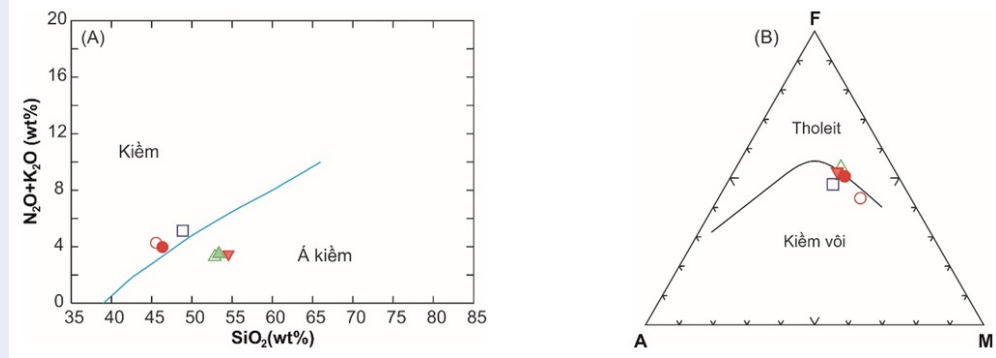
silic (tholeiit thạch anh) đặc trưng bởi sự xuất hiện các khoáng vật quy chuẩn thạch anh (4,25-6,64%) và hyperthen (23,41-26,24%), không xuất hiện nephelin, olivin và corindon. Chỉ số plagioclas (49,16-50,43%), chỉ số orthoclas (2,39-3,10%). Nhóm basalt gần bão hòa silic đặc trưng bởi sự xuất hiện các khoáng vật quy chuẩn nephelin (0,41-3,21%) và olivin (21,22-27,64%) và basalt bão hòa silic (Hy 0,42-25,88% và Ol 0,34-20,53%), tất cả đều không xuất hiện thạch anh và corindon. Chỉ số plagioclas từ 32,92-46,40%, chỉ số orthoclas 5,46-19,47% (basalt gần bão hòa silic) và Pl 45,40%, Or 12,23% (basalt bão hòa silic). Mặt khác, dựa vào mối tương quan giữa các thành phần khoáng vật quy chuẩn CIPW (Ne-Di-Ol-Hy-Q) theo Thompson R.N, 1984 (Hình 8), các hang động núi lửa có thành phần chủ yếu rơi vào trường tholeiit thạch anh và basalt olivin kiềm.

Thành phần các nguyên tố vết

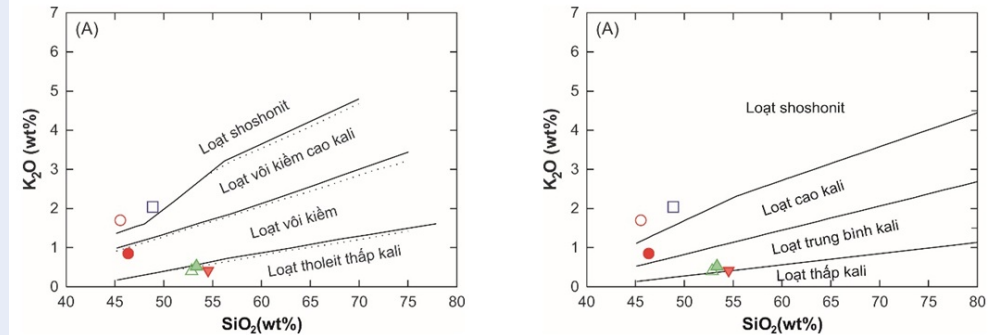
Thành phần nguyên tố vết của basalt tholeiit (andesitobasalt) và basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt) khá tương đồng nhưng cũng có sự chênh lệch khá lớn. **Basalt tholeiit (andesitobasalt):** thành phần các nguyên tố linh động có hàm lượng Rb (9,99-13,13ppm), Sr (200,87-248,01ppm), Cs (0,17-0,30ppm), Ba (78,46-114,00ppm); các nguyên tố kém linh động có hàm lượng Zr (101,46-134,56ppm), Nb (8,91-14,83ppm), Hf (2,88-3,68ppm), Ta (0,59-0,94ppm), Pb (1,29-1,54ppm), Th (1,05-1,43ppm), U (0,32-0,37ppm) và tổng hàm lượng các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu ΣLREE (35,99-44,90ppm) và các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu ΣHREE (16,30-16,64ppm); các chỉ số địa hóa Ba/La (12,38-14,22), Ba/Nb (7,69-8,80), Ba/Th (75,04-79,59), La/Nb (0,54-0,71), Rb/Nb (0,67-1,25), Rb/Sr (0,04-0,06), Th/La (0,16-0,18), Th/Nb (0,10-0,12), Th/U (3,31-4,05), Zr/Nb (9,08-11,38). So sánh hàm lượng trung bình các nguyên



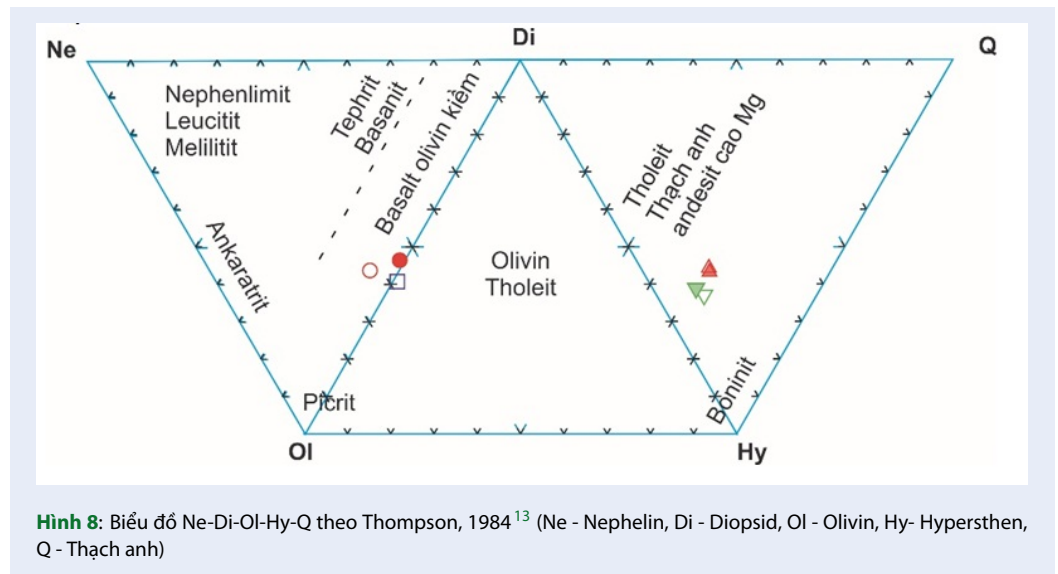
Hình 4: Biểu đồ hàm lượng trung bình các nguyên tố chính của hai nhóm đá núi lửa



Hình 6: Biểu đồ (Na₂O+K₂O)-SiO₂ (A) và AFM (B) theo Irvine & Baragar, 1971⁹



Hình 7: Biểu đồ K₂O - SiO₂ theo Peccerillo & Taylor, 1976 (A)¹⁰, theo Le Maitre, 2002 (B)¹¹



tổ vết của basalt tholeiit với trị số Clark theo A.P. Vinogradov, 1962 (Hình 9)¹⁴ cho thấy hành vi địa hóa các nguyên tố Hf, Ce, Dy có xu hướng tập trung cao trong đá, với hàm lượng cao hơn trị số Clark 2,46-3,56 lần và các nguyên tố Sc, Rb, Cs, Ba, Pb, Th, La, Lu có xu hướng phân tán mạnh trong đá, với hàm lượng nhỏ hơn trị số Clark 2,32-5,62 lần.

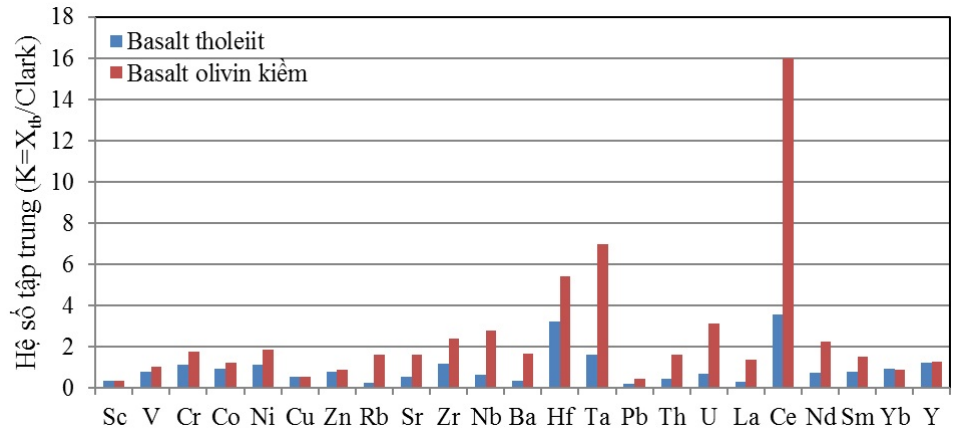
Basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt): thành phần các nguyên tố linh động có hàm lượng Rb (47,72-116,92ppm), Sr (670,64-764,71ppm), Cs (0,54-0,67ppm), Ba (484,44-529,28ppm); các nguyên tố kém linh động có hàm lượng Zr (209,78-278,79ppm), Nb (52,55-61,95ppm), Hf (4,80-6,23ppm), Ta (3,11-3,76ppm), Pb (2,99-3,63ppm), Th (4,61-4,98ppm), U (0,64-2,96ppm) và tổng hàm lượng các nguyên tố đất hiếm REE (170,02-200,34ppm), trong đó các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu Σ LREE (150,66-176,20ppm) và các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu Σ HREE (17,14-21,33ppm); các chỉ số địa hóa Ba/La (12,42-14,37), Ba/Nb (7,95-10,07), Ba/Th (98,83-106,18), La/Nb (0,64-0,70), Rb/Nb (0,91-1,89), Rb/Sr (0,07-0,15), Th/La (0,13-0,14), Th/Nb (0,08-0,09), Th/U (1,56-7,79), Zr/Nb (3,95-4,50). So sánh hàm lượng trung bình các nguyên tố vết của basalt olivin kiềm với trị số Clark theo A.P. Vinogradov, 1962 (Hình 9)¹⁴ cho thấy hành vi địa hóa các nguyên tố Zr, Nb, Hf, Ta, Ce, Pr, Nd, Dy có xu hướng tập trung cao trong đá, với hàm lượng cao hơn trị số Clark 2,15-15,97 lần và các nguyên tố Sc, Pb, Lu có xu hướng phân tán mạnh trong đá, với hàm lượng nhỏ hơn trị số Clark 2,43-2,94 lần.

Sự phân bố các nguyên tố đất hiếm (REE) được thể hiện trên biểu đồ cân nhận (Hình 10) cho thấy các

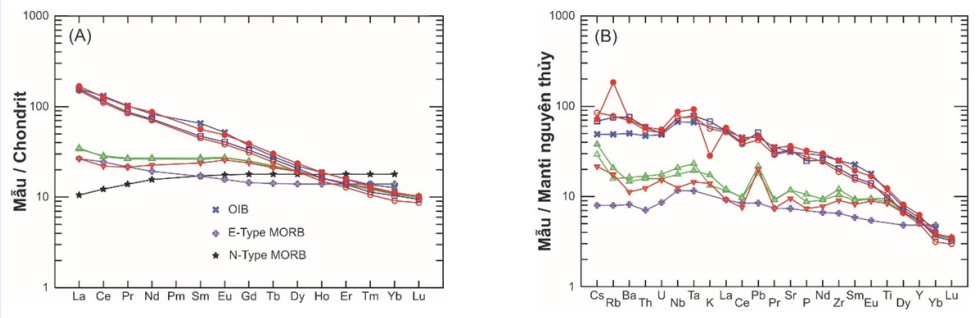
đá basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt) khá tương quan với basalt đảo đại dương (OIB), basalt tholeiit (andesitobasalt) có tổ hợp các nguyên tố REE biến thiên ở khoảng giữa basalt đảo đại dương (OIB) và basalt sống núi giữa đại dương kiểu E (E-MORB), song chúng gần gũi hơn với basalt đảo đại dương (OIB). Biểu đồ cân nhận chuẩn hóa theo chondrit¹⁵ (Hình 10A) cho thấy các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm có độ nghiêng âm, các nguyên tố REE biến thiên theo xu thế gần giống nhau, hàm lượng đất hiếm nặng (HREE) nghèo hơn so với hàm lượng đất hiếm nhẹ (LREE). Hàm lượng Eu dao động trong khoảng từ 1,49-1,59ppm (basalt tholeiit) đến 2,22-2,82ppm (basalt olivin kiềm) và đặc trưng bởi dị thường dương của Eu yếu, với $Eu/Eu^* = 1,04$ (basalt olivin kiềm) đến $Eu/Eu^* = 1,06-1,08$ (basalt tholeiit). Điều này phản ánh các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm được thành tạo do quá trình phân dị kết tinh của magma basalt nguồn gốc từ manti thạch quyển. Chuẩn hóa theo manti nguyên thủy¹⁵ (Hình 10B) cho thấy đường biểu diễn thành phần nguyên tố REE của các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm có đồ hình dạng cong lõm phía trên, tương tự với kiểu OIB. Tất cả các đá biểu hiện dị thường dương nguyên tố Pb.

Điều kiện và cơ chế thành tạo

Điều kiện nhiệt độ và áp suất thành tạo được xác định dựa trên hàm lượng của SiO₂ và MgO theo công thức tính của Albarede F., (1992)¹⁶, kết quả tính toán (Bảng 2) cho thấy các đá basalt tholeiit (andesitobasalt) được thành tạo trong điều kiện nhiệt độ và áp suất thấp hơn basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt), tương ứng là T=1171-1200°C, P=4,20-5,40kBar và T=1246-1387°C, P=9,99-21,28kBar. Dữ



Hình 9: Biểu đồ hệ số tập trung các nguyên tố vết của basalt tholeiit và basalt olivin kiềm



Hình 10: Biểu đồ chuẩn hóa theo chondrit (A) và manti nguyên thủy (B) theo Sun&McDon, 1989¹⁵

vào các phép tính áp suất địa tĩnh, phần vỏ trái đất cứ xuống sâu 3,6km, áp suất tăng 1kBar và đến phần manti trên chỉ còn 3km, từ đó có thể nhận định rằng các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm có độ sâu thành tạo từ 15,10-19,46km đến 35,98-76,62km.

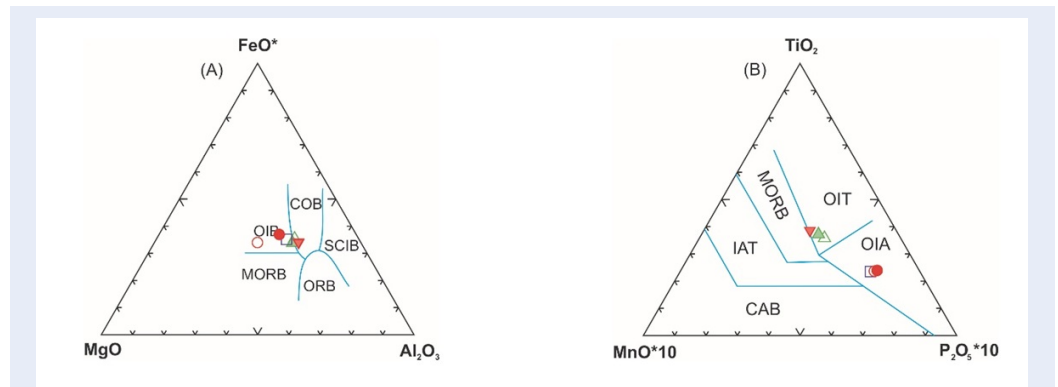
Về bối cảnh kiến tạo, kết quả xử lý trên biểu đồ MgO-FeO*-Al₂O₃ theo Pearce T.H., 1977 (Hình 11A) cho thấy các đá basalt olivin kiềm rơi vào trường basalt đảo đại dương (OIB), basalt tholeiit rơi vào trường basalt đảo đại dương (OIB) và basalt lục địa (COB). Trên biểu đồ MnO-TiO₂-P₂O₅ theo Mullen E.D., 1983 (Hình 11B), các đá basalt olivin kiềm rơi vào trường basalt kiềm đảo đại dương (OIA), basalt tholeiit rơi vào trường tholeiit đảo đại dương (OIT). Trên biểu đồ La-La/Nb theo Li S.G., 1993 (Hình 12A), các đá basalt olivin kiềm rơi vào trường OIB, basalt tholeiit rơi vào trường chông lẫn giữa OIB&MORB. Hơn nữa, các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm được thành tạo liên quan đến bối cảnh nội mảng được thể hiện rõ trên biểu đồ F1-F2 theo Pearce J.A., 1976 (Hình 12B) và các biểu đồ Th-Hf/3-Ta

(Hình 13A), Th-Hf/3-Nb/16 (Hình 13B), Th-Zr/117-Nb/16 (Hình 13C) theo Wood D., 1980.

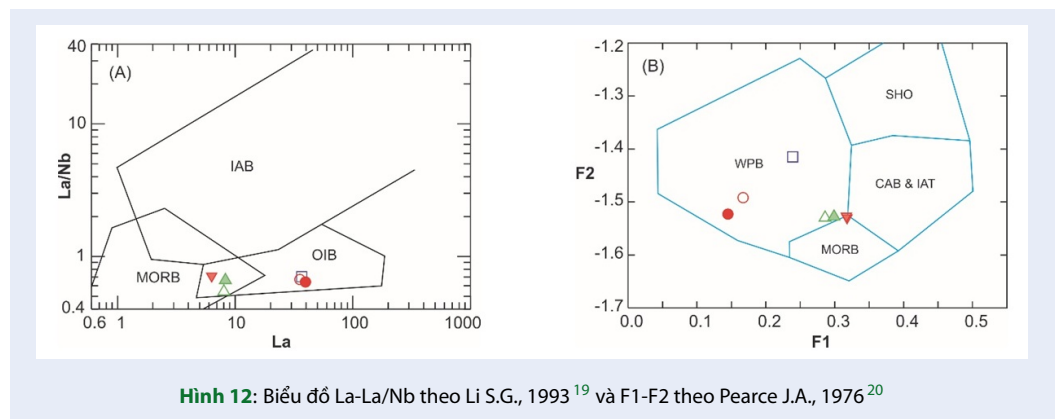
Về cơ chế thành tạo hang động núi lửa basalt, đây cũng là cả một vấn đề khoa học. Từ trước đến nay có nhiều quan điểm về cơ chế hình thành hang động, một số nhà khoa học cho rằng hang động được hình thành do sự hòa tan các đá dễ hòa tan, xói mòn dọc theo hệ thống khe nứt, đứt gãy hoặc bề mặt lớp (hang động karst), hoặc được hình thành do dòng dung nham chảy rồi, chảy xoắn, thoát khí, co rút thể tích theo quy luật thủy thạch động lực, chênh lệch áp suất (hang động núi lửa - volcanic caves), hoặc được hình thành do sự chuyển động khối của đá gốc (hang động kiến tạo - tectonic caves)^{7,22,23}. Trong phạm vi khu vực Đông Nam Bộ, các hang động được hình thành trong các đá basalt tholeiit (andesitobasalt) thuộc hệ tầng Cây Gáo và basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt) thuộc hệ tầng Xuân Lộc, có đặc điểm hình thái dạng hang động miệng núi lửa (vent caves) và ống dung nham (lava tubes), được xếp vào loại hang động núi lửa (volcanic caves). Trên cơ sở đó có thể đưa ra nhận

Bảng 2: Kết quả tính toán nhiệt độ và áp suất thành tạo

SHM	TP02	QT04/2	QT06/2	TP06	QT07/2	XL15	QT30/2
Nhóm đá	Basalt tholeiit			Basalt olivin kiềm			
Các đá chủ yếu	Andesitobasalt			Trachybasalt		Basalt	
SiO ₂	52.84	53.34	54.54	54.53	48.86	45.54	46.35
MgO	6.60	6.95	6.17	6.12	7.84	12.04	8.46
Nhiệt độ (T ^o C)	1191	1200	1172	1171	1246	1387	1278
Áp suất (P, kBar)	5.40	5.20	4.21	4.20	9.99	21.28	14.67
Độ sâu (km)	19.46	18.72	15.15	15.10	35.98	76.62	52.79



Hình 11: Biểu đồ MgO-Fe₂O₃-Al₂O₃ theo Pearce T.H., 1977¹⁷ và MnO-TiO₂-P₂O₅ theo Mullen E.D., 1983¹⁸



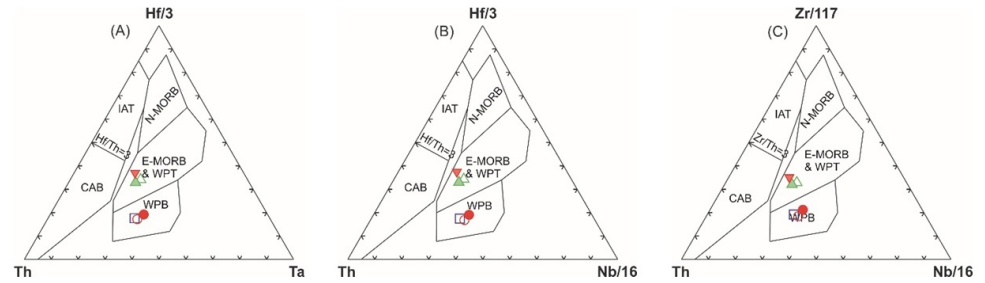
Hình 12: Biểu đồ La-La/Nb theo Li S.G., 1993¹⁹ và F1-F2 theo Pearce J.A., 1976²⁰

định về cơ chế hình thành các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ như sau:

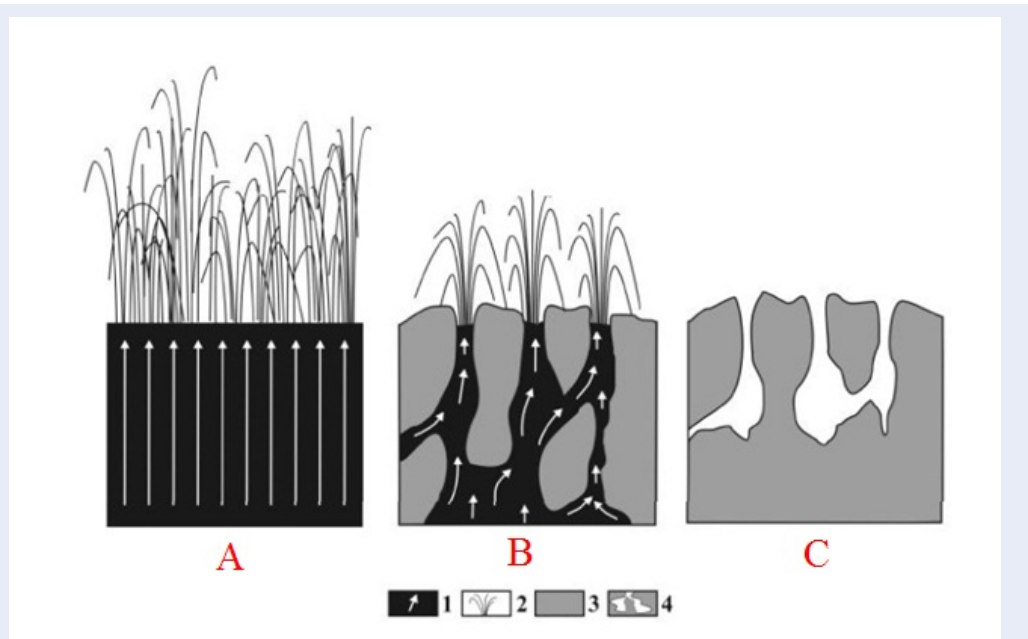
Hang động núi lửa dạng ống dung nham (lava tubes): được hình thành trong quá trình núi lửa hoạt động, dòng dung nham phun trào lên khỏi mặt đất, chảy tràn trên bề mặt địa hình, nguội đặc và tạo thành một lớp vỏ cứng bên ngoài, trong khi phần dung nham bên trong vẫn còn nóng lỏng dưới lớp vỏ cứng này vẫn tiếp tục chảy. Kết quả của quá trình này là tạo ra các đoạn hang động hình ống điển hình gắn bề mặt chỉ được

biết đến khi miệng hang sụp đổ.

Hang động miệng núi lửa (vent caves): được hình thành bởi dung nham basalt, phun ra từ miệng núi lửa nối tiếp buồng magma hay phun trào xuyên qua khe nứt. Khi núi lửa phun trào, dung nham phun trào ra từ khe nứt (Hình 14A) và tập trung thành đài phun dung nham. Ở phía trên bề mặt của khe nứt, các đài phun dung nham tạo ra một dãy miệng núi lửa, phần còn lại của khe nứt được bao phủ bởi các vụn núi lửa rơi xuống, khi đó mở rộng thêm chiều cao và bề rộng



Hình 13: Biểu đồ Th-Hf/3-Ta (A), Th-Hf/3-Nb/16 (B), Th-Zr/117-Nb/16 (C) theo Wood D., 1980²¹



Hình 14: Sự hình thành các hang động miệng núi lửa trong quá trình phun trào khe nứt²² (1- Hướng di chuyển của dung nham basalt phun ra; 2- Đài phun dung nham; 3- Vật liệu hòa lưu che lấp một phần hoặc che phủ khe nứt; 4- Các hang động được hình thành khi dung nham rút xuống)

của các vách miệng núi lửa (Hình 14B). Trong giai đoạn cuối của quá trình phun trào, trên những điểm mà magma nguồn cung cấp bị ngừng đột ngột, dung nham rút xuống các phần sâu hơn của khe nứt tiếp liệu và các miệng núi lửa nhỏ cung cấp cho đài phun dung nham trước đây đã cạn (Hình 14C) Độ mở rộng của các hang động miệng núi lửa trên bề mặt khá nhỏ (rộng 1-2 m) nhưng mở rộng về phía đáy đạt chiều cao từ 4-5m.

KẾT LUẬN

Các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ phân bố chủ yếu trong các thành tạo phun trào basalt Đệ tứ thuộc hệ tầng Xuân Lộc (hang động núi lửa

Bàu Sen) và hệ tầng Cây Gáo (hang động núi lửa Bàu Hàm, Ba Miêng, Km123-QL20). Thành phần của các hang động núi lửa chủ yếu gồm các đá basalt tholeiit (andesitobasalt) và basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt).

Nhóm basalt tholeiit có hàm lượng SiO₂ dao động từ 52,84-54,54wt% tương ứng tổng kiềm (Na₂O+K₂O) dao động từ 3,28-3,47wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động trong khoảng 5,70-7,37 và K₂O/MgO dao động trong khoảng 0,06-0,07. Các đá có tổng hàm lượng các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu ΣLREE (35,99-44,90ppm) nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu ΣHREE (16,30-16,64ppm), tỷ số Rb/Sr=0,04-0,06.

Nhóm basalt olivin kiềm có hàm lượng SiO₂ dao động từ 45,54wt% (basalt) đến 48,86wt% (trachybasalt) tương ứng tổng kiềm (Na₂O+K₂O) dao động từ 3,97-5,13wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động trong khoảng 1,51-3,65 và K₂O/MgO dao động trong khoảng 0,10-0,26. Các đá có tổng hàm lượng các nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu Σ LREE (150,66-176,20ppm) nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu Σ HREE (17,14-21,33ppm), tỷ số Rb/Sr=0,07-0,15. Các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm được thành tạo do quá trình phân dị kết tinh của magma basalt nguồn gốc từ manti thạch quyển, liên quan đến bối cảnh nội mảng và chúng hình thành nên các hang động núi lửa ở khu vực này. Điều kiện thành tạo của các đá basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt) trong khoảng nhiệt độ T=1246-1387°C, áp suất P=9,99-21,28kBar, ở độ sâu 35,98-76,62km và basalt tholeiit (andesitobasalt) thành tạo trong khoảng nhiệt độ T=1171-1200°C, áp suất P=4,20-5,40kBar, ở độ sâu 15,10-19,46km.

Các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ được hình thành theo cơ chế thành tạo hang động dạng ống dung nham (lava tubes) và hang động miệng núi lửa (vent caves).

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số C2021-18-16. Tập thể tác giả xin cảm ơn các phản biện đã đóng góp các ý kiến quý báu để hoàn thành bài báo này.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả tuyên bố rằng không có xung đột lợi ích.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Thiêm Quốc Tuấn; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Thiêm Quốc Tuấn, Đỗ Văn Nhuận; Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: Thiêm Quốc Tuấn; Khảo sát thực địa: Thiêm Quốc Tuấn, Đỗ Văn Nhuận; Phân tích thạch học lát mỏng: Thiêm Quốc Tuấn, Đỗ Văn Nhuận; Viết bản thảo và hoàn thiện bài báo: Thiêm Quốc Tuấn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Dương Văn Cầu (Chủ biên) et al. Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 tờ Công Pông Chàm - Lộc Ninh (C-48-IV & C-48-V) Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1995;
- Đức Thắng N, et al. Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 tờ Blao (C-48-VI), Gia Ray - Bà Rịa (C-48-XII & C-48-XVIII), Bu Prang (D-48-XXXVI), Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1998;
- Hoa NN (Chủ biên) et al. Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 tờ Thành phố Hồ Chí Minh (C-48-XI), Mỹ Tho (C-48-XVII), Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1995;

- Cọ MC (Chủ biên) et al. Bản đồ Địa chất - Tìm kiếm khoáng sản tỷ lệ 1:50.000 nhóm tờ Đông Thành phố Hồ Chí Minh: Tờ Biên Hòa (6330-I), Tờ Nhơn Trạch (6330-II), Tờ Sài Gòn (6330-IV), Tờ Tân Uyên (6331-II), Tờ Bến Cát (6331-III), Tờ Biên Hòa (6330-I), Tờ Bình Ba (6430-III), Tờ Xuân Lộc (6430-IV), Tờ Gia Kiệm (6431-IV), Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1994;
- Vương TB, et al. Khám phá hang động nguồng gốc dung nham tại Đồng Nai, Tin Khoa học và Công nghệ tổng hợp - Cổng Thông tin Điện tử Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. 2013;
- Hieu PT, et al. Geochemistry, zircon U-Pb ages and HF isotopes of the Muong Luan granitoid pluton, Northwest Vietnam and its petrogenetic significance. *Island Arc*. 2020;29(1):e12330. Available from: <https://doi.org/10.1111/iar.12330>.
- White WB. Cave geology; Available from: <https://www.britannica.com/science/cave>.
- Bas MJL, et al. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*. 1986;27(3):745-750. Available from: <https://doi.org/10.1093/ptrology/27.3.745>.
- Irvine TN. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth sciences*. 1971;8:523-548. Available from: <https://doi.org/10.1139/e71-055>.
- Peccerillo A, Taylor SR. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1976;58:63-81. Available from: <https://doi.org/10.1007/BF00384745>.
- Maitre RWL, et al. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge. 2002; Available from: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581>.
- Verma SP, et al. A revised CIPW norm. *Swiss Bulletin of Mineralogy and Petrology*. 2003;83:197-216.
- Thompson RN. Dispatches from the basalt front. I. Experiments. *Proceedings of the Geologists' Association*. 1984;95:249-262. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(84\)80011-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(84)80011-5).
- Vinogradov AP. Average contents of chemical elements in the major types of terrestrial igneous rocks. *Geokhimiya*. 1962;7:555-571.
- Sun SS, et al. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*. 1989;42:313-345. Available from: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>.
- Albarede F. How deep do common basaltic magmas form and differentiate? *Journal of Geophysical Research*. 1992;97:10997-11009. Available from: <https://doi.org/10.1029/91JB02927>.
- Pearce JA, Gale GH. Identification of ore-deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks. *Geological Society, London, Special Publications*. 1977;7:14-24. Available from: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1977.007.01.03>.
- Mullen ED. MnO-TiO₂-P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters*. 1983;62:53-62. Available from: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(83\)90070-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(83)90070-5).
- Li SG. Ba-Nb-Th-La diagrams used to identify tectonic environments of ophiolite. *Acta Petrologica Sinica*. 1993;9(2):146-157.
- Pearce JA. Statistical analysis of major element patterns in basalts. *Journal of Petrology*. 1976;17(1):15-43. Available from: <https://doi.org/10.1093/ptrology/17.1.15>.
- Wood DA. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province. *Earth and Planetary Science Letters*. 1980;50:11-30. Available from: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(80\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90116-8).

22. Gadanyi P. Formation, types and morphology of basaltlava caves (PhD theses), University of Pécs, Faculty of Natural Sciences, Doctoral School of Earth Sciences. 2010;.
23. Phuc LT, et al. Caves in basalts in Krong No area, Dak Nong province, Vietnam. VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences. 2015;31 (2):36–46.

Distribution characteristics, material composition, and formation mechanism of basalt volcanic caves in Southeast Vietnam

Thiem Quoc Tuan^{1,*}, Do Van Nhuan²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Late Cenozoic basaltic formations are widely distributed throughout southeast Vietnam, occupying about 6617.15km². During a geological survey in the Southeast Vietnam, the population of volcanic caves has been discovered in the Gia Ty forest area (Km123, National Highway 20), Tan Phu town, Tan Phu district, Bau Ham commune, Trang Bom district, Bau Sen ward, Long Khanh city, Dong Nai province. The research results of distribution characteristics, material composition, and formation mechanism of volcanic caves show that volcanic caves are distributed in Quaternary basalt eruption formations of Xuan Loc Formation and Cay Gao Formation. The main composition consists of tholeiitic basalts (basaltic andesite) and alkali olivine basalts (basalt, trachybasalt). Tholeiitic basalts are characterized by high SiO₂ content (52.84-54.54wt%), corresponding to the total of alkaline (Na₂O+K₂O) vary from (3.28-3.47wt%), Na₂O/K₂O ratio of 5.70-7.37, and K₂O/MgO ratio of 0.06-0.07. Rocks have high Sr content (200.87-248.01ppm), the total content of light rare earth elements is mainly Σ LREE (35.99-44.90ppm), but high rare earth elements occupy the secondary Σ HREE (16.30-16.64ppm), Rb/Sr ratio of 0.04-0.06. Alkali olivine basalts are characterized by SiO₂ content vary from 45.54wt% (basalt) to 48.86wt% (trachybasalt), corresponding to the total of alkaline (Na₂O+K₂O) vary from 3.97-5.13wt%, Na₂O/K₂O ratio of 1.51-3.65 and K₂O/MgO ratio of 0.10-0.26. Rocks have high Sr content (200.87-248.01ppm), the total content of light rare earth elements is mainly Σ LREE (150.66-176.20ppm), but high rare earth elements occupy the secondary Σ HREE (17.14-21.33ppm), Rb/Sr ratio of 0.07-0.15. Basalt volcanic caves in Southeast Vietnam were formed by the mechanism of lava tubes and vent caves.

Key words: cave, volcanic, basalt, Cenozoic, Southeast Vietnam

¹HCMC University of Natural Resources and Environment, Vietnam

²Ha Noi University of Mining and Geology, Vietnam

Correspondence

Thiem Quoc Tuan, HCMC University of Natural Resources and Environment, Vietnam

Email: tqtuan@hcmunre.edu.vn

History

- Received: 21-7-2021
- Accepted: 08-11-2021
- Published: 30-11-2021

DOI : 10.32508/stdjsee.v5iSI2.592



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Tuan T Q, Nhuan D V. **Distribution characteristics, material composition, and formation mechanism of basalt volcanic caves in Southeast Vietnam.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.*; 5(SI2):SI106-SI119.