

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 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 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 ΣLREE (150,66-176,20ppm) nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu ΣHREE (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: xx-11-2021

DOI:



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

1 Các thành tạo phun trào basalt phân bố ở khu vực
2 Đông Nam Bộ được nhiều nhà địa chất trong và ngoài
3 nước quan tâm nghiên cứu. Tổng hợp các công trình
4 đo vẽ lập bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000¹⁻³ và tỷ lệ
5 1:50.000⁴ cho thấy chúng được phân chia thành bảy
6 hệ tầng theo thứ tự từ cổ đến trẻ như sau: hệ tầng Đại
7 Nga (N₁³ dn), hệ tầng Lộc Ninh (N₂² ln), hệ tầng Túc
8 Trùng (N₂-Q₁ tt), hệ tầng Xuân Lộc (Q₁² xl), hệ tầng
9 SokLu (taQ₁³ sl), hệ tầng Cây Gáo (Q₁³ cg) và hệ tầng
10 Phước Tân (Q₁³ pt). Trong những năm gần đây, các
11 nhà khoa học thuộc Viện Sinh học nhiệt đới và Hội
12 hang động Berlin (Đức)⁵ đã phát hiện quần thể hang
13 động núi lửa trong các thành tạo basalt ở khu vực xã
14 Phú Lộc, huyện Tân Phú, tỉnh Đồng Nai và công bố
15 là một trong những di sản địa chất độc đáo, có giá trị
16 cần được bảo tồn và gìn giữ.

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

22 tỉnh Đồng Nai. Vì vậy, nhóm tác giả tiến hành nghiên
23 cứu đặc điểm phân bố, thành phần thạch học, thành
24 phần các nguyên tố chính, thành phần các nguyên tố
25 vết, điều kiện nhiệt độ - áp suất thành tạo basalt, trên
26 cơ sở đó có thể đưa ra một số nhận định về cơ chế
27 thành tạo các hang động núi lửa basalt, không những
28 có ý nghĩa quan trọng về khoa học còn có giá trị lớn
29 về phát triển du lịch và di sản văn hóa Quốc gia.
30

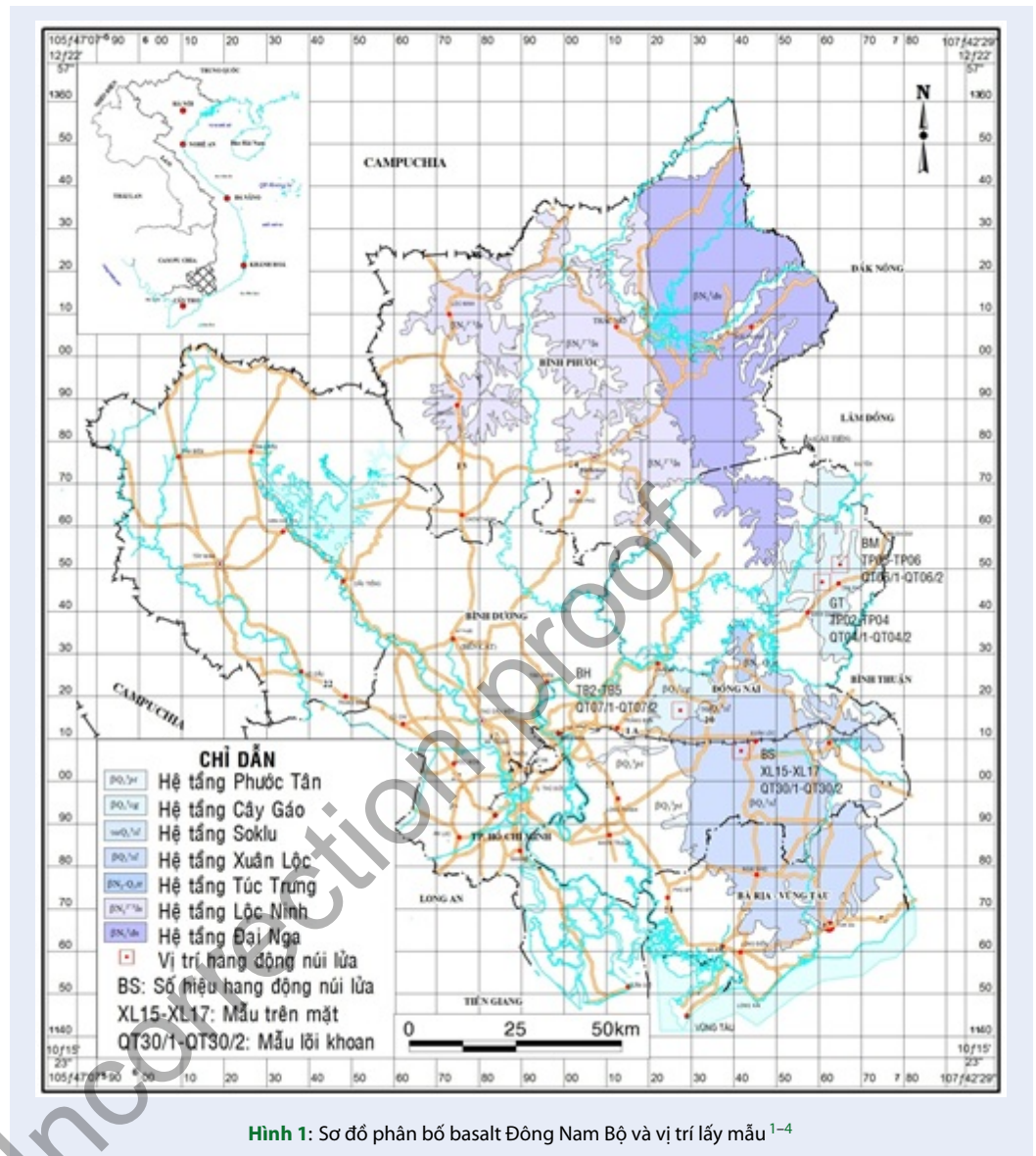
VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Đặc điểm địa chất và vị trí lấy mẫu

31 Các thành tạo phun trào basalt phân bố khá rộng
32 rãi, với tổng diện tích 6617,15km², chiếm khoảng 1/4
33 diện tích Đông Nam Bộ. Trong không gian phân biệt
34 được ba trường basalt tách rời nhau: trường Lộc Ninh
35 - Phước Long, trường Nam Cát Tiên - Định Quán và
36 trường Cây Gáo - Đất Đỏ (Hình 1).
37

38 Trường basalt Lộc Ninh - Phước Long: phân bố rộng
39 rãi ở vùng Bắc và Đông tỉnh Bình Phước, từ khu vực
40 vườn Quốc gia Bù Gia Mập xuống đến vườn Quốc
41 gia Nam Cát Tiên, Bù Đốp, Lộc Ninh, Fu Miêng,
42 Bình Long, Phước Bình, Phú Riềng và rải rác ở Đồng
43

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):1-13.



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

44 Phú, gồm các thành tạo phun trào hệ tầng Đại Nga (N_1^3dn) và hệ tầng Lộc Ninh (N_2^2ln) phủ trên trầm tích hệ tầng Bà Miêu (N_2^2bm).
 47 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 (Q_1^3cg).
 53 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 Trưng (N_2-Q_1tt), hệ tầng Xuân Lộc (Q_1^2xl), hệ tầng Soklu (taQ_1^3sl), hệ tầng Cây Gáo (Q_1^3cg), hệ tầng Phước Tân (Q_1^3pt).
 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 (Q_1^2xl) và basalt Cây Gáo (Q_1^3cg).
 Basalt Xuân Lộc (Q_1^2xl): 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 Mesozoi thuộc phức hệ Định Quán ($J_3đq$), phức hệ Đèo Cà ($Kđc$), 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 họng 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 họng 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 Bà Sen, thành phố Long Khánh, tỉnh Đồng Nai.

Basalt Cây Gáo (Q_1^3cg): lộ ra dưới dạng lớp phủ của dung nham chảy tràn từ các họng 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 Mesozoi 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 tầng 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 họng núi lửa dạng hình nón, chóp cụt, dạng chữ “C” như họng núi Yangka, núi Lửa, núi Bô... cũng như các quần thể hang động núi lửa Ba Miếng, hang động núi lửa Km123-QL20, huyện Tân Phú và hang động núi lửa Bà Hàm, huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai.

Mẫu nghiên cứu được thu thập lấy tại các khu vực phân bố hang động núi lửa Bà Sen (Long Khánh), Bà Hàm (Trảng Bom), Km123-QL20 (Tân Phú), Ba Miếng (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

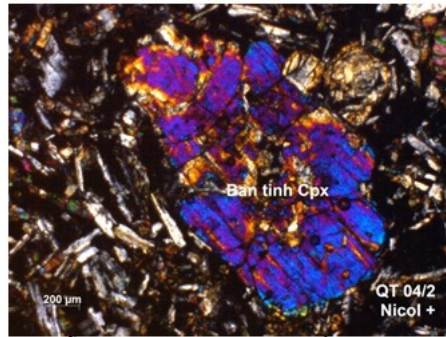
Đặc điểm phân bố các hang động núi lửa basalt

Kết quả khảo sát khu vực phân bố các hang động núi lửa cho thấy các quần thể hang động núi lửa ở khu

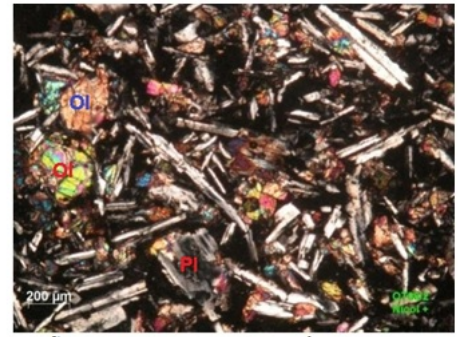
Bảng 1: Tổng hợp mẫu nghiên cứu hang động núi lửa basalt

Kí hiệu	Hang động núi lửa	Địa điểm	Thành tạo basalt	Mẫu nghiên cứu	Nguyên tố chính	Nguyên tố vết
	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

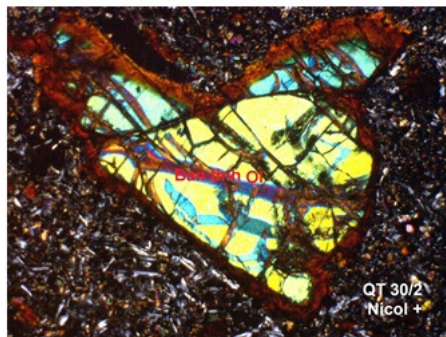




(A) Mẫu QT04/2. Andesitobasalt kiến trúc porphyr với ban tinh pyroxen (Cpx), nền kiến trúc dolerit



(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

177 vực rừng Giá Tỵ (Km123, QL20), thị trấn Tân Phú ,
178 hang động núi lửa Ba Miệng ở khu vực xã Phú Lộc,
179 huyện Tân Phú, hang động núi lửa Bàu Hàm, xã Bàu
180 Hàm, huyện Trảng Bom và hang động núi lửa Bàu
181 Sen, phường Bàu Sen, thành phố Long Khánh, tỉnh
182 Đồng Nai (Hình 1) nằm trong các thành tạo basalt
183 Xuân Lộc và basalt Cây Gáo.

184 Hang động núi lửa Km123 (QL20) (Hình 2A): phân
185 bố trong thành tạo basalt Cây Gáo, khu vực thị trấn
186 Tân Phú, huyện Tân Phú, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm
187 hình thái dạng hang động miệng núi lửa (vent caves)
188 và ống dung nham (lava tubes)⁷, phát triển theo hai
189 phương chính Nam Tây Nam - Bắc Đông Bắc và Tây
190 Nam - Đông Bắc. Các hang động miệng núi lửa (vent
191 caves) có kích thước miệng hang rộng khoảng từ 0,6-
192 1,5m, mở rộng về phía đáy đạt chiều cao từ 3-4m. Các
193 hang động dạng ống dung nham (lava tubes) có hình
194 dạng vòng cung, chiều rộng hang khoảng 5-7m, chiều
195 cao khoảng 2-3m.

196 Hang động núi lửa Ba Miệng (Hình 2B): phân bố
197 trong thành tạo basalt Cây Gáo, khu vực xã Phú Lộc,
198 huyện Tân Phú, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm hình thái
199 dạng hang động miệng núi lửa và ống dung nham,
200 phát triển theo phương Bắc Đông Bắc - Nam Tây

Nam. Các hang động miệng núi lửa có kích thước 201
miệng hang rộng khoảng từ 1-2m, mở rộng về phía 202
đáy đạt chiều cao từ 4-5m. Các hang động dạng 203
ống dung nham (lava tubes) có hình dạng vòng cung, 204
chiều rộng hang khoảng 10m, chiều cao khoảng 3-4m. 205
Theo kết quả khảo sát của các nhà khoa học thuộc 206
Viện Sinh học nhiệt đới và Hội hang động Berlin 207
(Đức), hang động núi lửa Ba Miệng có đoạn dài nhất 208
là 426m⁵. 209

Hang động núi lửa Bàu Hàm (Hình 2C): phân bố 210
trong thành tạo basalt Cây Gáo, khu vực xã Bàu Hàm, 211
huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm hình 212
thái dạng ống dung nham với vòm hang cao khoảng 213
5-10m, chiều rộng khoảng 10-20m, phát triển theo 214
phương Đông Đông Bắc - Tây Tây Nam 215

Hang động núi lửa Bàu Sen (Hình 2D): phân bố 216
trong thành tạo basalt Xuân Lộc, khu vực phường Bàu Sen, 217
thành phố Long Khánh, tỉnh Đồng Nai, có đặc điểm 218
hình thái dạng ống dung nham với vòm hang cao 219
khoảng 6-8m, chiều rộng khoảng 10-15m, phát triển 220
theo phương Tây Bắc - Đông Nam. 221

222 **Thành phần nguyên tố chính**

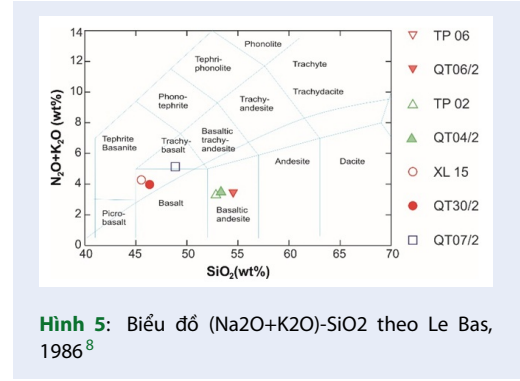
223 Dựa trên sự quan giữa hàm lượng SiO₂ và tổng kiềm
 224 (Alk=Na₂O+K₂O) cho thấy thành phần chủ yếu của
 225 các hang động núi lửa gồm andesitobasalt, basalt và
 226 trachybasalt, có thể chia thành 2 nhóm chính:

227 *Andesitobasalt*: có hàm lượng SiO₂ (52,84-54,54wt%),
 228 TiO₂ (1,82-2,06wt%), Al₂O₃ (14,04-14,28wt%),
 229 Fe₂O_{3t} (10,48-11,39wt%), MnO (0,13-0,14wt%),
 230 MgO (6,12-6,95wt%), CaO (7,86-7,92wt%), Na₂O
 231 (2,88-3,05wt%), K₂O (0,40-0,52wt%) và P₂O₅
 232 (0,16-0,23wt%. Tổng kiềm (Na₂O+K₂O) thay đổi
 233 từ 3,28-3,47wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động trong
 234 khoảng 5,70-7,37. Độ chứa sắt F=FeO/MgO thay
 235 đổi từ 1,39-1,55 và tỷ lệ K₂O/MgO dao động trong
 236 khoảng 0,06-0,07. Hàm lượng trung bình nguyên tố
 237 chính của andesitobasalt thể hiện trên Hình 4.

238 *Basalt, trachybasalt*: có hàm lượng SiO₂ (45,54-
 239 48,86wt%), TiO₂ (2,09-2,67wt%), Al₂O₃ (12,01-
 240 14,09wt%), Fe₂O_{3t} (11,88-12,69wt%), MnO
 241 (0,14-0,15wt%), MgO (7,84-12,04wt%), CaO
 242 (7,93-9,19wt%), Na₂O (2,57-3,12wt%), K₂O (0,85-
 243 2,04wt%) và P₂O₅ (0,534-0,70wt%). Tổng kiềm
 244 (Na₂O+K₂O) thay đổi từ 3,97-5,13wt%, tỷ lệ
 245 Na₂O/K₂O dao động trong khoảng 1,51-3,65. Độ
 246 chứa sắt F=FeO/MgO thay đổi từ 0,92-1,36 và tỷ
 247 lệ K₂O/MgO dao động trong khoảng 0,10-0,26.
 248 Hàm lượng trung bình nguyên tố chính của basalt,
 249 trachybasalt thể hiện trên Hình 4.

250 Kết quả xử lý trên biểu đồ tương quan giữa hàm lượng
 251 SiO₂ và tổng kiềm (Na₂O+K₂O) (TAS) theo Le Bas,
 252 1986 (Hình 5) tương tự theo Irvine & Baragar, 1971
 253 (Hình 6A) cho thấy các hang động núi lửa có thành
 254 phần chủ yếu là andesitobasalt, thuộc loại á kiềm
 255 và basalt, trachybasalt thuộc loại kiềm. Trên biểu đồ
 256 AFM theo Irvine & Baragar, 1971 (Hình 6B) cho thấy
 257 các đá andesitobasalt á kiềm nằm ở ranh giới giữa
 258 trường tholeit và trường vôi kiềm, nghiêng về phía
 259 trường tholeit. Mặt khác, trên biểu đồ tương quan
 260 giữa hàm lượng SiO₂ và K₂O cho thấy các đá andesi-
 261 tobasalt á kiềm chủ yếu rơi vào loạt tholeiit thấp kali
 262 (Hình 7A - theo Peccerillo & Taylor, 1976) và loạt cao
 263 kali hoặc ranh giới giữa loạt trung bình kali-loạt thấp
 264 kali (Hình 7B - theo Le Maitre, 2002).

265 Trong thành phần khoáng vật quy chuẩn tính theo
 266 phương pháp CIPW¹² cho thấy các hang động núi
 267 lửa có thành phần thuộc nhóm basalt quá bão hòa silic
 268 (tholeiit thạch anh) chủ yếu là andesitobasalt và basalt
 269 gần bão hòa hoặc bão hòa silic (basalt olivin kiềm) chủ
 270 yếu là basalt, trachybasalt. Nhóm basalt quá bão hòa
 271 silic (tholeiit thạch anh) đặc trưng bởi sự xuất hiện
 272 các khoáng vật quy chuẩn thạch anh (4,25-6,64%) và
 273 hyperthen (23,41-26,24%), không xuất hiện nephelin,

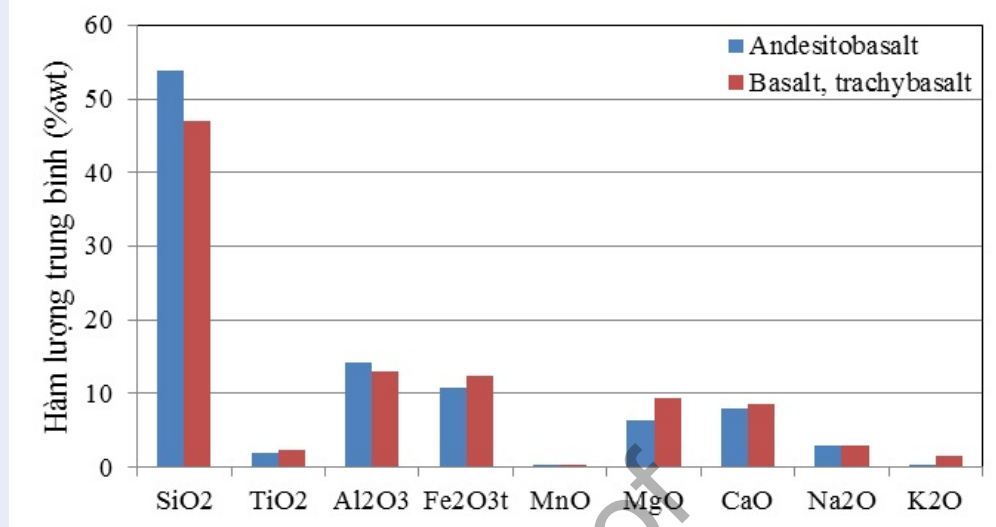


Hình 5: Biểu đồ (Na₂O+K₂O)-SiO₂ theo Le Bas, 1986⁸

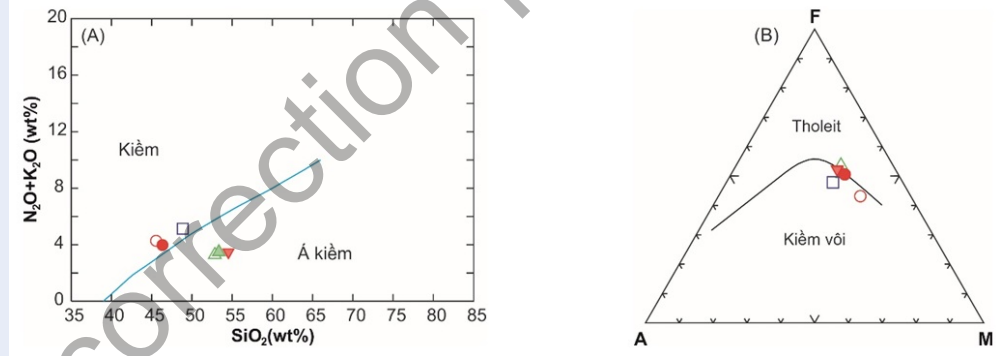
olivin và corindon. Chỉ số plagioclas (49,16-50,43%),
 chỉ số orthoclas (2,39-3,10%). Nhóm basalt gần bão
 hòa silic đặc trưng bởi sự xuất hiện các khoáng vật quy
 chuẩn nephelin (0,41-3,21%) và olivin (21,22-27,64%)
 và basalt bão hòa silic (Hy 0,42-25,88% và Ol 0,34-
 20,53%), tất cả đều không xuất 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 Thomp-
 son 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.

288 **Thành phần các nguyên tố vết**

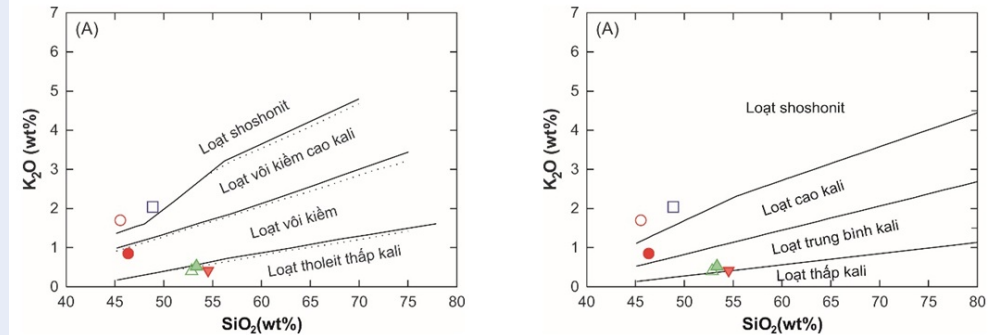
289 Thành phần nguyên tố vết của basalt tholeiit (andesi-
 290 tobasalt) và basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt)
 291 khá tương đồng nhưng cũng có sự chênh lệch khá lớn.
 292 *Basalt tholeiit (andesitobasalt)*: thành phần các
 293 nguyên tố linh động có hàm lượng Rb (9,99-
 294 13,13ppm), Sr (200,87-248,01ppm), Cs (0,17-
 295 0,30ppm), Ba (78,46-114,00ppm); các nguyên tố kém
 296 linh động có hàm lượng Zr (101,46-134,56ppm),
 297 Nb (8,91-14,83ppm), Hf (2,88-3,68ppm), Ta (0,59-
 298 0,94ppm), Pb (1,29-1,54ppm), Th (1,05-1,43ppm),
 299 U (0,32-0,37ppm) và tổng hàm lượng các nguyên
 300 tố đất hiếm REE (53,78-63,13ppm), trong đó các
 301 nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu ΣLREE
 302 (35,99-44,90ppm) và các nguyên tố đất hiếm nặng
 303 chiếm thứ yếu ΣHREE (16,30-16,64ppm); các chỉ
 304 số địa hóa Ba/La (12,38-14,22), Ba/Nb (7,69-8,80),
 305 Ba/Th (75,04-79,59), La/Nb (0,54-0,71), Rb/Nb
 306 (0,67-1,25), Rb/Sr (0,04-0,06), Th/La (0,16-0,18),
 307 Th/Nb (0,10-0,12), Th/U (3,31-4,05), Zr/Nb (9,08-
 308 11,38). So sánh hàm lượng trung bình các nguyên
 309 tố vết của basalt tholeiit với trị số Clark theo A.P.
 310 Vinogradov, 1962 (Hình 9)¹⁴ cho thấy hành vi địa
 311 hóa các nguyên tố Hf, Ce, Dy có xu hướng tập trung



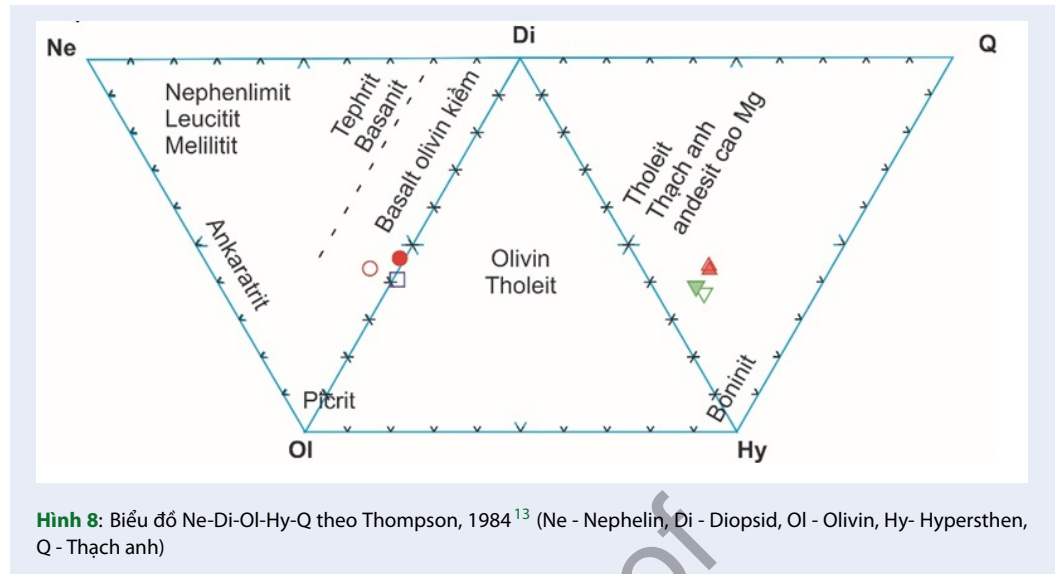
Hình 4: Biểu đồ hàm lượng trung bình các nguyên tố chính của hai nhóm đá núi lửa



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



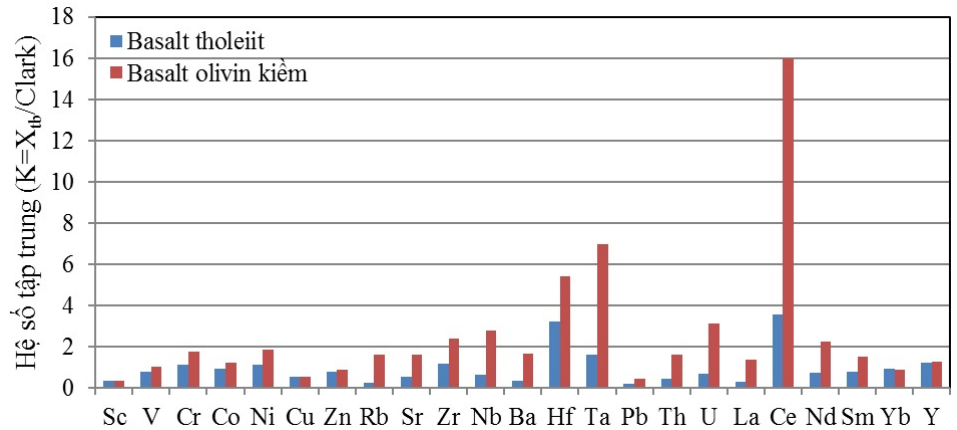
312 cao trong đá, với hàm lượng cao hơn trị số Clark
 313 2,46-3,56 lần và các nguyên tố Sc, Rb, Cs, Ba, Pb, Th,
 314 La, Lu có xu hướng phân tán mạnh trong đá, với hàm
 315 lượng nhỏ hơn trị số Clark 2,32-5,62 lần.
 316 *Basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt):* thành
 317 phần các nguyên tố linh động có hàm lượng Rb
 318 (47,72-116,92ppm), Sr (670,64-764,71ppm), Cs (0,54-
 319 0,67ppm), Ba (484,44-529,28ppm); các nguyên tố
 320 kém linh động có hàm lượng Zr (209,78-278,79ppm),
 321 Nb (52,55-61,95ppm), Hf (4,80-6,23ppm), Ta (3,11-
 322 3,76ppm), Pb (2,99-3,63ppm), Th (4,61-4,98ppm),
 323 U (0,64-2,96ppm) và tổng hàm lượng các nguyên
 324 tố đất hiếm REE (170,02-200,34ppm), trong đó các
 325 nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu Σ LREE
 326 (150,66-176,20ppm) và các nguyên tố đất hiếm nặng
 327 chiếm thứ yếu Σ HREE (17,14-21,33ppm); các chỉ
 328 số địa hóa Ba/La (12,42-14,37), Ba/Nb (7,95-10,07),
 329 Ba/Th (98,83-106,18), La/Nb (0,64-0,70), Rb/Nb
 330 (0,91-1,89), Rb/Sr (0,07-0,15), Th/La (0,13-0,14),
 331 Th/Nb (0,08-0,09), Th/U (1,56-7,79), Zr/Nb (3,95-
 332 4,50). So sánh hàm lượng trung bình các nguyên tố
 333 vết của basalt olivin kiềm với trị số Clark theo A.P.
 334 Vinogradov, 1962 (Hình 9)¹⁴ cho thấy hành vi địa hóa
 335 các nguyên tố Zr, Nb, Hf, Ta, Ce, Pr, Nd, Dy có xu
 336 hướng tập trung cao trong đá, với hàm lượng cao hơn
 337 trị số Clark 2,15-15,97 lần và các nguyên tố Sc, Pb, Lu
 338 có xu hướng phân tán mạnh trong đá, với hàm lượng
 339 nhỏ hơn trị số Clark 2,43-2,94 lần.

340 Sự phân bố các nguyên tố đất hiếm (REE) được thể
 341 hiện trên biểu đồ cân nhận (Hình 10) cho thấy các
 342 đá basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt) khá tương
 343 quan với basalt đảo đại dương (OIB), basalt tholeiit
 344 (andesitobasalt) có tổ hợp các nguyên tố REE biến

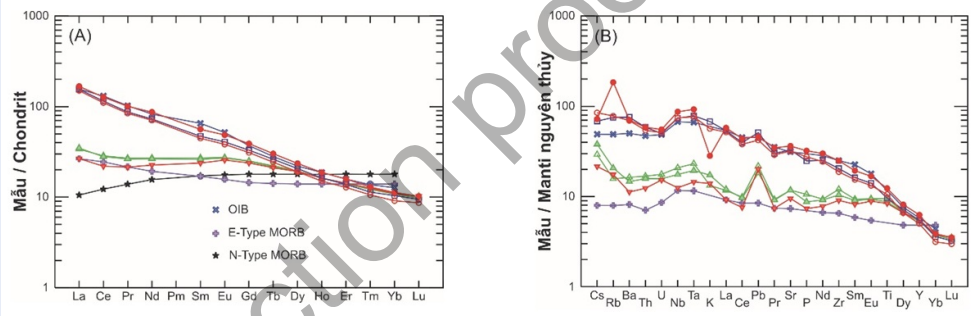
345 thiên ở khoảng giữa basalt đảo đại dương (OIB) và
 346 basalt sống núi giữa đại dương kiểu E (E-MORB),
 347 song chúng gần gũi hơn với basalt đảo đại dương
 348 (OIB). Biểu đồ cân nhận chuẩn hóa theo chondrit¹⁵
 349 (Hình 10A) cho thấy các đá basalt tholeiit và basalt
 350 olivin kiềm có độ nghiêng âm, các nguyên tố REE biến
 351 thiên theo xu thế gần giống nhau, hàm lượng đất hiếm
 352 nặng (HREE) nghèo hơn so với hàm lượng đất hiếm
 353 nhẹ (LREE). Hàm lượng Eu dao động trong khoảng
 354 từ 1,49-1,59ppm (basalt tholeiit) đến 2,22-2,82ppm
 355 (basalt olivin kiềm) và đặc trưng bởi dị thường dương
 356 của Eu yếu, với $Eu/Eu^* = 1,04$ (basalt olivin kiềm) đến
 357 $Eu/Eu^* = 1,06-1,08$ (basalt tholeiit). Điều này phản
 358 ánh các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm được
 359 thành tạo do quá trình phân dị kết tinh của magma
 360 basalt nguồn gốc từ manti thạch quyển. Chuẩn hóa
 361 theo manti nguyên thủy¹⁵ (Hình 10B) cho thấy đường
 362 biểu diễn thành phần nguyên tố REE của các đá basalt
 363 tholeiit và basalt olivin kiềm có đồ hình dạng cong lõm
 364 phía trên, tương tự với kiểu OIB. Tất cả các đá biểu
 365 hiện dị thường dương nguyên tố Pb.

Điều kiện và cơ chế thành tạo

366 Điều kiện nhiệt độ và áp suất thành tạo được xác
 367 định dựa trên hàm lượng của SiO₂ và MgO theo
 368 công thức tính của Albarede F., (1992)¹⁶, kết quả
 369 tính toán (Bảng 2) cho thấy các đá basalt tholeiit
 370 (andesitobasalt) được thành tạo trong điều kiện nhiệt
 371 độ và áp suất thấp hơn basalt olivin kiềm (basalt,
 372 trachybasalt), tương ứng là $T=1171-1200^{\circ}C$, $P=4,20-$
 373 $5,40kBar$ và $T=1246-1387^{\circ}C$, $P=9,99-21,28kBar$. Dựa
 374 vào các phép tính áp suất địa tĩnh, phần vỏ trái đất
 375 cú xuống sâu 3,6km, áp suất tăng 1kBar và đến phần
 376



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

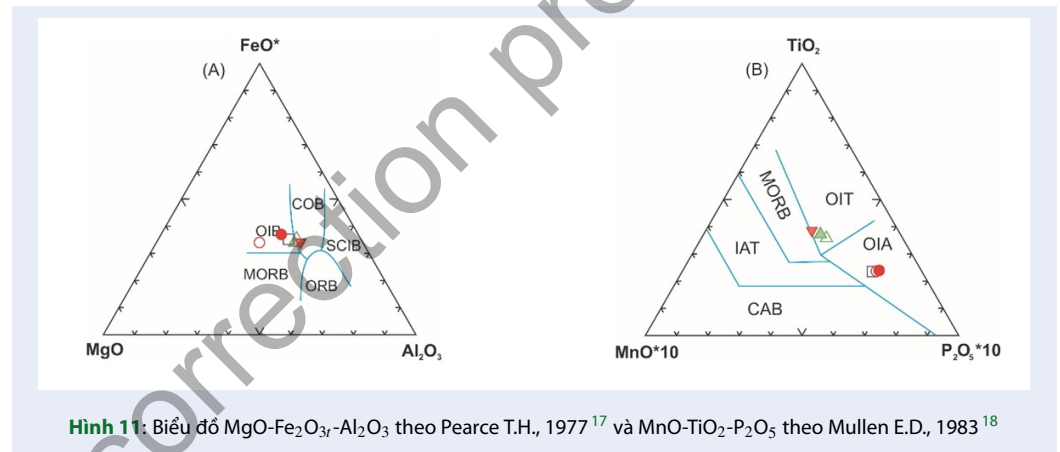
377 manti trên chỉ còn 3km, từ đó có thể nhận định rằng
378 các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm có độ sâu
379 thành tạo từ 15,10-19,46km đến 35,98-76,62km.

380 Về bối cảnh kiến tạo, kết quả xử lý trên biểu đồ MgO-
381 FeO*-Al₂O₃ theo Pearce T.H., 1977 (Hình 11A)
382 cho thấy các đá basalt olivin kiềm rơi vào trường
383 basalt đảo đại dương (OIB), basalt tholeiit rơi vào
384 trường basalt đảo đại dương (OIB) và basalt lục địa
385 (COB). Trên biểu đồ MnO-TiO₂-P₂O₅ theo Mullen
386 E.D., 1983 (Hình 11B), các đá basalt olivin kiềm rơi
387 vào trường basalt kiềm đảo đại dương (OIA), basalt
388 tholeiit rơi vào trường tholeiit đảo đại dương (OIT).
389 Trên biểu đồ La-La/Nb theo Li S.G., 1993 (Hình 12A),
390 các đá basalt olivin kiềm rơi vào trường OIB, basalt
391 tholeiit rơi vào trường chông lẩn giữa OIB&MORB.
392 Hơn nữa, các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm
393 được thành tạo liên quan đến bối cảnh nội mảng
394 được thể hiện rõ trên biểu đồ F1-F2 theo Pearce
395 J.A., 1976 (Hình 12B) và các biểu đồ Th-Hf/3-Ta
396 (Hình 13A), Th-Hf/3-Nb/16 (Hình 13B), Th-Zr/117-
397 Nb/16 (Hình 13C) theo Wood D., 1980.

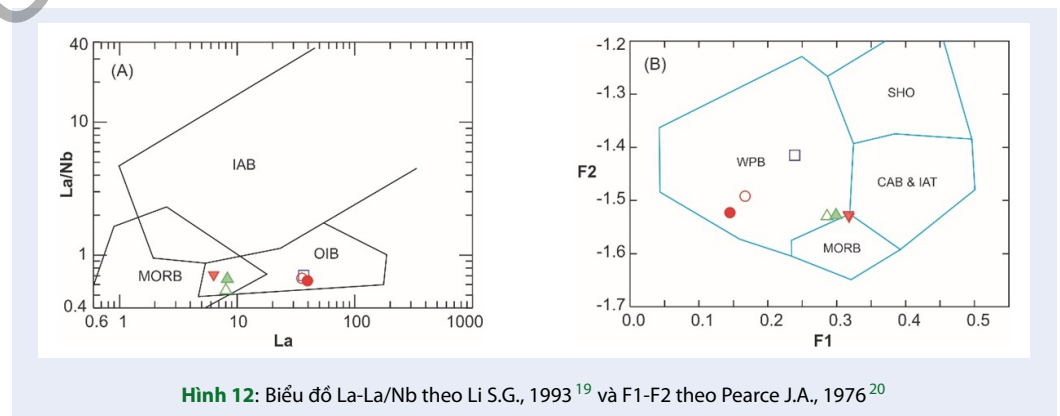
398 Về cơ chế thành tạo hang động núi lửa basalt, đây cũng
399 là cả một vấn đề khoa học. Từ trước đến nay có nhiều
400 quan điểm về cơ chế hình thành hang động, một số
401 nhà khoa học cho rằng hang động được hình thành
402 do sự hòa tan các đá dễ hòa tan, xói mòn dọc theo hệ
403 thống khe nứt, đứt gãy hoặc bề mặt lớp (hang động
404 karst), hoặc được hình thành do dòng dung nham
405 chảy rồi, chảy xoắn, thoát khí, co rút thể tích theo
406 quy luật thủy thạch động lực, chênh lệch áp suất (hang
407 động núi lửa - volcanic caves), hoặc được hình thành
408 do sự chuyển động khối của đá gốc (hang động kiến
409 tạo - tectonic caves)^{7,22,23}. Trong phạm vi khu vực
410 Đông Nam Bộ, các hang động được hình thành trong
411 các đá basalt tholeiit (andesitobasalt) thuộc hệ tầng
412 Cây Gáo và basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt)
413 thuộc hệ tầng Xuân Lộc, có đặc điểm hình thái dạng
414 hang động miệng núi lửa (vent caves) và ống dung
415 nham (lava tubes), được xếp vào loại hang động núi
416 lửa (volcanic caves). Trên cơ sở đó có thể đưa ra nhận
417 định về cơ chế hình thành các hang động núi lửa basalt
418 khu vực Đông Nam Bộ như sau: 419

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

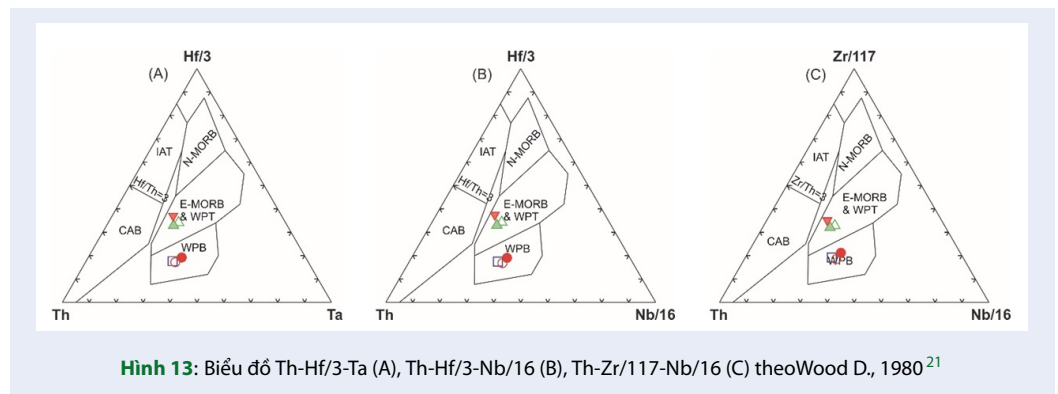
SHM	TP02	QT04/2	QT06/2	TP06	QT07/2	XL15	QT30/2
Nhóm đá	Basalt tholeiit				Basalt olivin kiềm		
Các đá chủ yếu	Andesitobasalt				Trachybasalt	Basalt	
SiO ₂	52.84	53.34	54.54	54.53	48.86	45.54	46.35
MgO	6.60	6.95	6.17	6.12	7.84	12.04	8.46
Nhiệt độ (T°C)	1191	1200	1172	1171	1246	1387	1278
Áp suất (P, kBar)	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



419 Hang động núi lửa dạng ống dung nham (lava tubes):
 420 được hình thành trong quá trình núi lửa hoạt động,
 421 dòng dung nham phun trào lên khỏi mặt đất, chảy
 422 tràn trên bề mặt địa hình, nguội đặc và tạo thành một
 423 lớp vỏ cứng bên ngoài, trong khi phần dung nham bên
 424 trong vẫn còn nóng lỏng dưới lớp vỏ cứng này vẫn tiếp
 425 tục chảy. Kết quả của quá trình này là tạo ra các đoạn
 426 hang động hình ống điển hình gần bề mặt chỉ được
 427 biết đến khi miệng hang sụp đổ.
 428 Hang động miệng núi lửa (vent caves): được hình
 429 thành bởi dung nham basalt, phun ra từ miệng núi
 430 lửa nổi tiếp buồng magma hay phun trào xuyên qua
 431 khe nứt. Khi núi lửa phun trào, dung nham phun trào
 432 ra từ khe nứt (Hình 14A) và tập trung thành đài phun
 433 dung nham. Ở phía trên bề mặt cửa khe nứt, các đài
 434 phun dung nham tạo ra một dãy miệng núi lửa, phần
 435 còn lại của khe nứt được bao phủ bởi các vụn núi lửa
 436 rơi xuống, khi đó mở rộng thêm chiều cao và bề rộng
 437 của các vách miệng núi lửa (Hình 14B). Trong giai
 438 đoạn cuối của quá trình phun trào, trên những điểm
 439 mà magma nguồn cung cấp bị ngừng đột ngột, dung
 440 nham rút xuống các phần sâu hơn của khe nứt tiếp
 441 liệu và các miệng núi lửa nhỏ cung cấp cho đài phun
 442 dung nham trước đây đã cạn (Hình 14C) Độ mở rộng
 443 của các hang động miệng núi lửa trên bề mặt khá nhỏ
 444 (rộng 1-2 m) nhưng mở rộng về phía đáy đạt chiều
 445 cao từ 4-5m.

446 KẾT LUẬN

447 Các hang động núi lửa basalt khu vực Đông Nam Bộ
 448 phân bố chủ yếu trong các thành tạo phun trào basalt
 449 Đệ tứ thuộc hệ tầng Xuân Lộc (hang động núi lửa
 450 Bàu Sen) và hệ tầng Cây Gáo (hang động núi lửa Bàu
 451 Hàm, Ba Miếng, Km123-QL20). Thành phần của các
 452 hang động núi lửa chủ yếu gồm các đá basalt tholeiit
 453 (andesitobasalt) và basalt olivin kiềm (basalt, trachy-
 454 basalt).

455 Nhóm basalt tholeiit có hàm lượng SiO₂ dao động từ
 456 52,84-54,54wt% tương ứng tổng kiềm (Na₂O+K₂O)

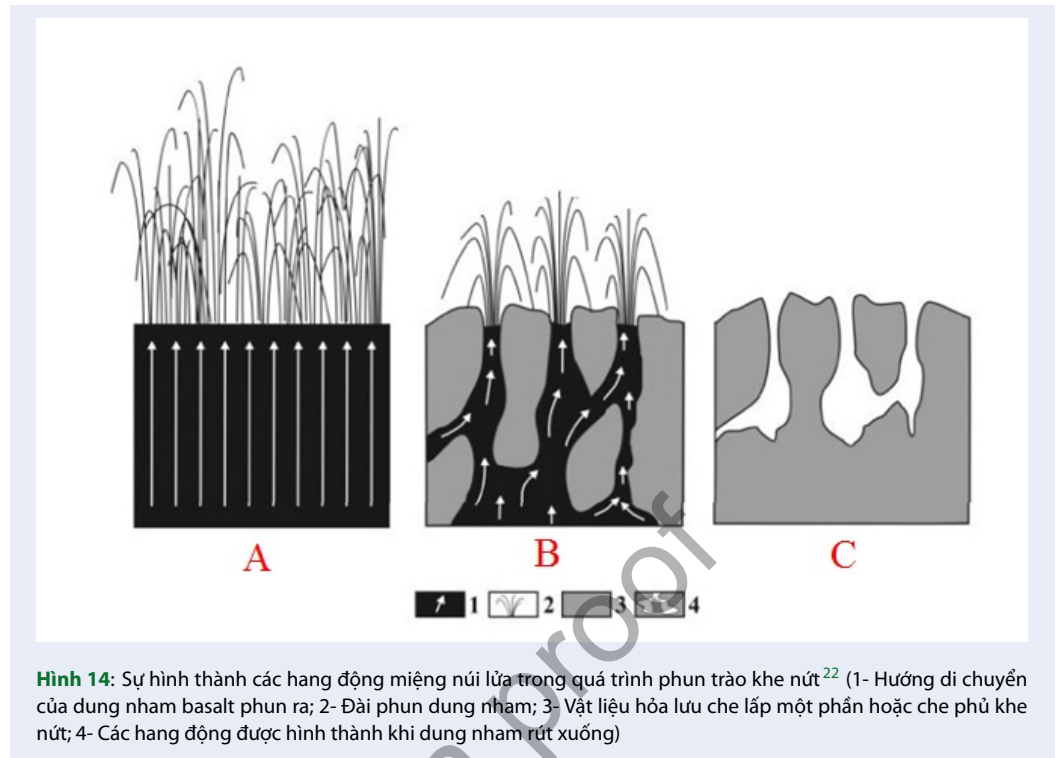
457 dao động từ 3,28-3,47wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động
 458 trong khoảng 5,70-7,37 và K₂O/MgO dao động trong
 459 khoảng 0,06-0,07. Các đá có tổng hàm lượng các
 460 nguyên tố đất hiếm nhẹ chiếm chủ yếu ΣLREE (35,99-
 461 44,90ppm) nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm
 462 thứ yếu ΣHREE (16,30-16,64ppm), tỷ số Rb/Sr=0,04-
 463 0,06.

464 Nhóm basalt olivin kiềm có hàm lượng SiO₂ dao động
 465 từ 45,54wt% (basalt) đến 48,86wt% (trachybasalt)
 466 tương ứng tổng kiềm (Na₂O+K₂O) dao động từ 3,97-
 467 5,13wt%, tỷ lệ Na₂O/K₂O dao động trong khoảng
 468 1,51-3,65 và K₂O/MgO dao động trong khoảng 0,10-
 469 0,26. Các đá có tổng hàm lượng các nguyên tố đất
 470 hiếm nhẹ chiếm chủ yếu ΣLREE (150,66-176,20ppm)
 471 nhưng các nguyên tố đất hiếm nặng chiếm thứ yếu
 472 ΣHREE (17,14-21,33ppm), tỷ số Rb/Sr=0,07-0,15.
 473 Các đá basalt tholeiit và basalt olivin kiềm được thành
 474 tạo do quá trình phân dị kết tinh của magma basalt
 475 nguồn gốc từ manti thạch quyển, liên quan đến bối
 476 cảnh nội mảng và chúng hình thành nên các hang
 477 động núi lửa ở khu vực này. Điều kiện thành tạo của
 478 các đá basalt olivin kiềm (basalt, trachybasalt) trong
 479 khoảng nhiệt độ T=1246-1387°C, áp suất P=9,99-
 480 21,28kBar, ở độ sâu 35,98-76,62km và basalt tholeiit
 481 (andesitobasalt) thành tạo trong khoảng nhiệt độ
 482 T=1171-1200°C, áp suất P=4,20-5,40kBar, ở độ sâu
 483 15,10-19,46km.

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

488 LỜI CẢM ƠN

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



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)

494 XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

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

496 ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

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

504 TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 505 1. Dương Văn Cấu (Chủ biên) et al. Bản đồ địa chất và khoáng sản
506 Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 tờ Công Pông Chàm - Lộc Ninh (C-48-
507 IV & C-48-V) Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1995;
- 508 2. Đức Thắng N, et al. Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam
509 tỷ lệ 1:200.000 tờ Blao (C-48-VI), Gia Ray - Bà Rịa (C-48-XII & C-
510 48-XVIII), Bu Prang (D-48-XXXVI), Cục Địa chất và Khoáng sản
511 Việt Nam. 1998;
- 512 3. Hoa NN (Chủ biên) et al. Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt
513 Nam tỷ lệ 1:200.000 tờ Thành phố Hồ Chí Minh (C-48-XI), Mỹ
514 Tho (C-48-XVII), Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1995;
- 515 4. Cọ MC (Chủ biên) et al. Bản đồ địa chất - Tìm kiếm khoáng sản
516 tỷ lệ 1:50.000 nhóm tờ Đông Thành phố Hồ Chí Minh: Tờ Biên
517 Hòa (6330-I), Tờ Nhơn Trạch (6330-II), Tờ Sài Gòn (6330-IV), Tờ
518 Tân Uyên (6331-II), Tờ Bến Cát (6331-III), Tờ Biên Hòa (6330-I),
519 Tờ Bình Ba (6430-III), Tờ Xuân Lộc (6430-IV), Tờ Gia Kiệm (6431-
520 IV), Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. 1994;
- 521 5. Vương TB, et al. Khám phá hang động nguồng gốc dung
522 nham tại Đồng Nai, Tin Khoa học và Công nghệ tổng hợp -
523 Công Thông tin Điện tử Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ

Việt Nam. 2013;

- 524 6. Hieu PT, et al. Geochemistry, zircon U-Pb ages and HF isotopes
525 of the Muong Luan granitoid pluton, Northwest Vietnam and
526 its petrogenetic significance. *Island Arc*. 2020;29(1):e12330.
527 Available from: <https://doi.org/10.1111/iar.12330>.
- 528 7. White WB. Cave geology; Available from: <https://www.britannica.com/science/cave>.
- 529 8. Bas MJL, et al. A chemical classification of volcanic rocks
530 based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*.
531 1986;27(3):745-750. Available from: <https://doi.org/10.1093/ptrology/27.3.745>.
- 532 9. Irvine TN. A guide to the chemical classification of the
533 common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth sciences*.
534 1971;8:523-548. Available from: <https://doi.org/10.1139/e71-055>.
- 535 10. Peccerillo A, Taylor SR. Geochemistry of Eocene calc-alkaline
536 volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey.
537 *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1976;58:63-81.
538 Available from: <https://doi.org/10.1007/BF00384745>.
- 539 11. Maitre RWL, et al. *Igneous Rocks: A Classification and
540 Glossary of Terms*, 2nd edition, Cambridge University
541 Press, Cambridge. 2002; Available from: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581>.
- 542 12. Verma SP, et al. A revised CIPW norm. *Swiss Bulletin of Mineralogy and Petrology*. 2003;83:197-216.
- 543 13. 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).
- 544 14. Vinogradov AP. Average contents of chemical elements
545 in the major types of terrestrial igneous rocks. *Geokhimiya*.
546 1962;7:555-571.
- 547 15. Sun SS, et al. Chemical and isotopic systematics of
548 oceanic basalts: implications for mantle composition and
549 processes. *Geological Society, London, Special Publications*.
550 1989;42:313-345. Available from: <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>.
- 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560

- 561 16. Albarede F. How deep do common basaltic mag-
562 mas form and differentiate? Journal of Geophys-
563 ical Research. 1992;97:10997–11009. Available from:
564 <https://doi.org/10.1029/91JB02927>.
- 565 17. Pearce JA, Gale GH. Identification of ore-deposition environ-
566 ment from trace-element geochemistry of associated igneous
567 host rocks. Geological Society, London, Special Publications.
568 1977;7:14–24. Available from: [https://doi.org/10.1144/GSL.SP.](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1977.007.01.03)
569 1977.007.01.03.
- 570 18. Mullen ED. MnO-TiO₂-P₂O₅: a minor element discriminant
571 for basaltic rocks of oceanic environments and its implica-
572 tions for petrogenesis. Earth and Planetary Science Letters.
573 1983;62:53–62. Available from: [https://doi.org/10.1016/0012-](https://doi.org/10.1016/0012-821X(83)90070-5)
574 [821X\(83\)90070-5](https://doi.org/10.1016/0012-821X(83)90070-5).
- 575 19. Li SG. Ba-Nb-Th-La diagrams used to identify tectonic envi-
576 ronments of ophiolite. Acta Petrologica Sinica. 1993;9(2):146–
577 157.
- 578 20. Pearce JA. Statistical analysis of major element patterns in
579 basalts. Journal of Petrology. 1976;17(1):15–43. Available
580 from: <https://doi.org/10.1093/petrology/17.1.15>.
- 581 21. Wood DA. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems
582 of tectonomagmatic classification and to establishing the na-
583 ture of crustal contamination of basaltic lavas of the British
584 Tertiary Volcanic Province. Earth and Planetary Science Let-
585 ters. 1980;50:11–30. Available from: [https://doi.org/10.1016/](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90116-8)
586 [0012-821X\(80\)90116-8](https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90116-8).
- 587 22. Gadanyi P. Formation, types and morphology of basaltlava
588 caves (PhD theses), University of Pécs, Faculty of Natural Sci-
589 ences, Doctoral School of Earth Sciences. 2010;.
- 590 23. Phuc LT, et al. Caves in basalts in Krong No area, Dak Nong
591 province, Vietnam. VNU Journal of Science: Earth and Envi-
592 ronmental Sciences. 2015;31(2):36–46.

Uncorrection proof

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 Java 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: xx-11-2021

DOI :



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(S12):1-1.