

# Điều kiện kết tinh của xenolith manti (xenolith lherzolite spinel) trong basalt kiềm Kainozoi miền Nam Việt Nam

Nguyễn Thị Minh Thuyết\*

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 30 tháng 3 năm 2015

Chỉnh sửa ngày 21 tháng 4 năm 2015; Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 6 năm 2016

**Tóm tắt:** Basalt kiềm Kainozoi miền Nam Việt Nam chứa phong phú các xenolith manti, trong đó chủ yếu là xenolith lherzolite. Kết quả nghiên cứu bằng phương pháp phân tích lát mỏng thạch học cho thấy trong xenolith lherzolite, khoáng vật olivine chiếm hàm lượng chủ yếu, có mẫu lên tới 80%, ít hơn là khoáng vật pyroxene thoi, pyroxen xiên và khá hiếm gặp spinel. Phân tích thành phần hóa học chính của olivine trong xenolith bằng phương pháp EPMA chỉ ra lherzolite spinel kết tinh trong điều kiện cân bằng hóa học, có chỉ số Mg# từ 89.98 đến 91.66, đặc trưng cho loại olivine manti. Hàm lượng nguyên tố vết của olivine trong xenolith được phân tích bằng phương pháp LA-ICP-MS đặc trưng cho loại olivine trong lherzolite spinel. Sử dụng các nhiệt kế Al, Cr và Ca của olivin cho thấy xenolith lherzolite spinel trong basalt kiềm vùng nghiên cứu được kết tinh trong điều kiện nhiệt độ khoảng 900<sup>0</sup> đến 1000<sup>0</sup>C với áp suất giả định là 20 ± 5 kbar.

*Từ khóa:* Basalt kiềm, xenolith, lherzolite spinel, nguyên tố chính, nguyên tố vết.

## 1. Giới thiệu

Vào thời kỳ Kainozoi muộn, hoạt động phun trào basalt phát triển rộng rãi từ Đông – Đông Nam Á [1, 2]. Theo nghiên cứu của Nguyễn Hoàng (1996), Ở Đông Dương và Thái Lan, basalt phủ diện rộng khoảng 30000km<sup>2</sup>, hình thành hàng loạt cao nguyên basalt có chiều dày hàng trăm mét và miền Nam Việt Nam là nơi phổ biến nhất. Cũng theo Nguyễn Hoàng, hoạt động phun trào được chia thành hai pha, trong đó, pha 1 gồm khối lượng lớn phun trào đồng có thành phần tholeit thạch anh và tholeit olivin, pha thứ hai gồm các phun trào trung tâm có thành phần tholeit olivin, basalt

kiềm, basanit và phân bố chủ yếu ở Đà Lạt, Pleiku, Buôn Ma Thuột và Xuân Lộc. Các cao nguyên Pleiku và Buôn Ma Thuột điển hình cho những trung tâm phun trào của nam Việt Nam và Đông Nam Á [3]. Basalt kiềm chứa phong phú các xenolith manti, trong đó chủ yếu là xenolith lherzolite spinel [4], đồng thời basalt kiềm chính là tác nhân đưa các loại đá quý peridot lên mặt đất [5, 6]. Các nghiên cứu dựa vào thành phần nguyên tố chính chỉ ra nguồn gốc tái nóng chảy của các xenolith siêu manti trong basalt kiềm miền Nam [7, 8]. Nghiên cứu thành phần nguyên tố vết cho thấy các xenolith được làm giàu các nguyên tố không tương thích gồm các nguyên tố LREE, Ba, K và một số nguyên tố HFSE và các xenolith có thể đã trải qua quá trình biến chất trao đổi [9]. Nghiên cứu của Nguyễn Hoàng, 2005 chỉ ra các thể từ

\*ĐT.: 84-983760917

Email: nguyen.thuyet@gmail.com

peridotit manti tìm thấy trong bazan kiềm khu vực Pleiku trải qua quá trình nóng chảy tạo thành dung thể bazan, tuy nhiên chúng tương đối giàu thành phần bazan tương tự như peridotit tìm thấy tại các vùng bazan nội mảng, chứng tỏ mức độ nóng chảy từng phần thấp (< 10%) [10]. Năm 2010, De Hoog và nnk nghiên cứu địa hóa nguyên tố vết của olivin và cho rằng chúng như là dấu hiệu chỉ thị về nguồn gốc, đồng thời đã xác lập các nhiệt áp kế (Al, Cr và Ca trong olivin) để xác định p-T thành tạo của các đá trong manti [11]. Để bổ sung thêm thông tin về các xenolith manti trong basalt kiềm miền Nam Việt Nam, bài báo dưới đây trình bày kết quả nghiên cứu thành phần nguyên tố chính và vết của olivin trong xenolith Iherzolit spinel và tính p-T thành tạo của chúng dựa vào các nhiệt kế của olivin.

## 2. Mẫu và phương pháp phân tích

Các mẫu nghiên cứu được thu thập tại khu vực Biển Hồ, Gia Lai. Mười hai mẫu basalt được gia công thành lát mỏng thạch học có độ dày tiêu chuẩn (0.03mm), không phủ lamen để phân tích lát mỏng và lựa chọn để xác định thành phần hóa học của ban tinh olivin bằng



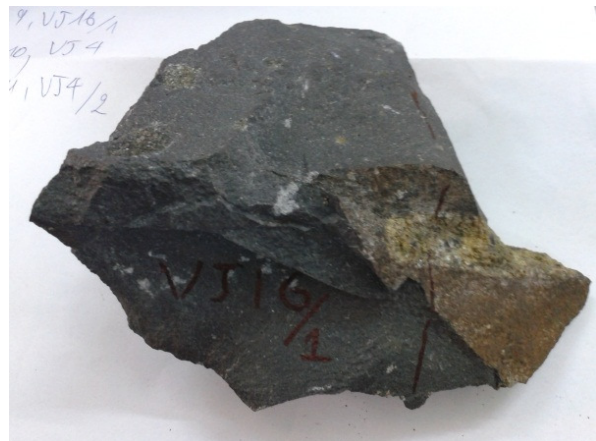
Hình 1. Basalt kiềm có cấu tạo bột, chứa xenolith Iherzolit spinel.

phương pháp EPMA. Phương pháp phân tích lát mỏng dưới kính hiển vi phân cực được thực hiện tại Phòng Quang học Tinh thể, Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, phương pháp EPMA phân tích thành phần hóa học của ban tinh olivin thực hiện tại Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản. Mười lăm mẫu olivin trong các thể xenolith Iherzolit được tách ra, mài láng rồi đem phân tích bằng các phương pháp EPMA, LA-ICP-MS nhằm xác định thành phần nguyên tố chính và nguyên tố vết của chúng. Hai phương pháp này được thực hiện tại Viện Địa chất, Khoa hóa, Dược và Khoa học Trái Đất, Trường Đại học Johannes Gutenberg, Mainz, CHLB Đức. Ngoài ra, phương pháp XRF còn được sử dụng để xác định thành phần hóa học của 03 mẫu đá basalt và thực hiện tại Trung tâm phân tích thí nghiệm Địa chất, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam.

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Đặc điểm basalt kiềm

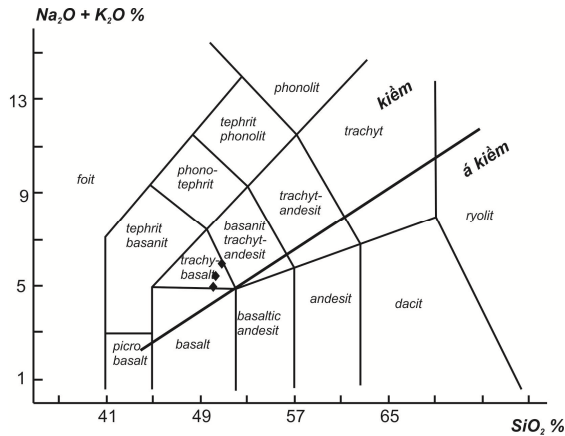
Đá có màu xám sẫm (hình 1), cấu tạo đặc xít hoặc lỗ hổng (hình 2), kiến trúc porphyr, nền có kiến trúc trachyte (hình 4).



Hình 2. Basalt kiềm có cấu tạo khối đặc xít, chứa xenolith Iherzolit spinel.

Bảng 1. Thành phần hóa học của mẫu basalt nghiên cứu

TT	SiO <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Tổng
1	51.76	2.49	14.06	10.85	8.51	5.22	3.89	2.17	0.67	0.15	99.77
2	49.82	2.34	13.36	12.47	9.32	7.01	3.02	1.98	0.46	0.12	99.9
3	50.08	1.98	13.75	11.68	8.97	6.74	3.56	1.83	0.42	0.31	99.32

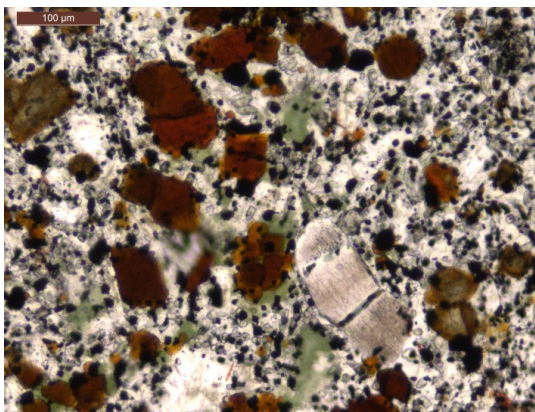


Hình 3. Biểu đồ tương quan hợp phần silic (SiO<sub>2</sub>) và tổng kiềm (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) của mẫu nghiên cứu.

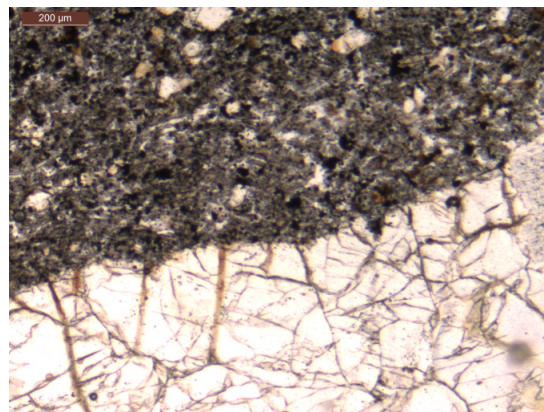
Kết quả phân tích XRF (bảng 1) cho thấy, mẫu nghiên cứu có tổng kiềm lớn hơn hoặc bằng 5%. Trên biểu đồ tương quan tổng kiềm

(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) và silic (SiO<sub>2</sub>), các mẫu đều rơi vào trường kiềm (hình 3).

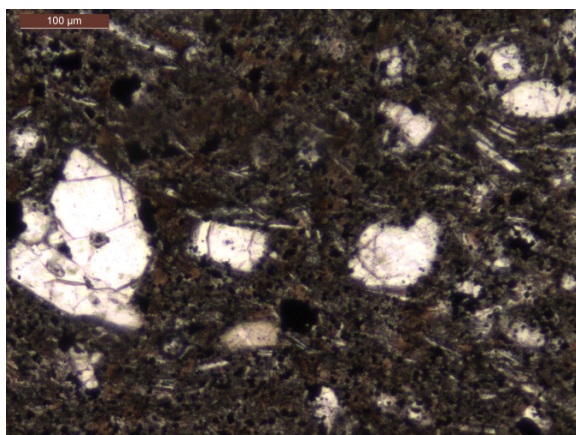
Phân tích lát mỏng thạch học cho kết quả basalt kiềm vùng nghiên cứu chứa ban tinh (phenocryst), xenolith (thể ngoại lai), xenocryst (mảnh tinh thể ngoại lai) và nền vi tinh, thủy tinh. Ban tinh gồm các khoáng vật olivin, pyroxen, plagiocla, amphybon và một số mẫu xuất hiện biotit khá nhiều là do sự biến đổi thứ sinh từ olivine (hình 4). Xenolith chiếm ưu thế là loại xenolith manti, đó là là lherzolit spinel (hình 5). Xenocryst phần lớn là olivine tha hình, méo mó hoặc sắc cạnh. Nền là các vi tinh plagiocla, sau đó là khoáng vật quặng và ít hơn là thủy tinh. Sự phong phú về ban tinh olivin đặc trưng cho đá basalt kiềm. Các ban tinh olivin có hình dạng tự hình đến tha hình (hình 6), có kích thước có kích thước nhỏ hơn 100µm.



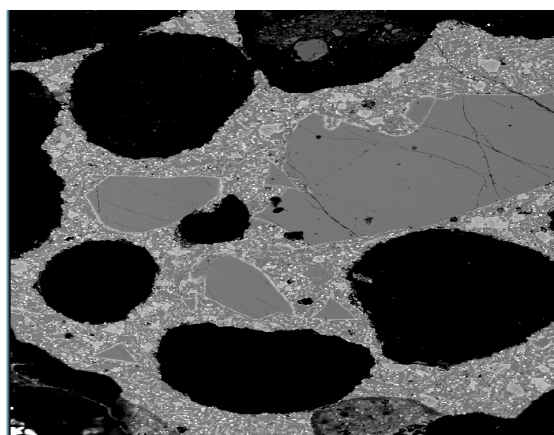
Hình 4. Ban tinh biotit trong mẫu basalt nghiên cứu (sẫm màu).



Hình 5. Tiếp xúc giữa basalt kiềm (tối màu) và xenolith lherzolit (sáng màu).



Hình 6. Mẫu basalt kiềm dưới kính hiển vi phân cực chứa ban tinh olivine rất tự hình ( tinh thể hình lục giác, sáng màu bên tay trái và các mảnh tinh thể olivine tha hình phân bố rải rác trong mẫu (nicon: -).



Hình 7. Điểm phân tích thành phần hóa học của mảnh tinh thể olivine (màu xám, tha hình và sắc cạnh) trong basalt kiềm có cấu tạo bọt (màu đen).

Bảng 2. Thành phần hóa học của mảnh tinh thể olivine

TT	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Mg <sup>#</sup>
1	0.002	-	49.321	0.016	0.013	-	41.030	0.156	8.116	91.62
2	0.007	-	49.208	-	0.002	-	40.443	0.112	8.039	91.68

Bảng 3. Thành phần nguyên tố chính của olivine trong xenolith lherzolit spinel

TT	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tổng	Mg <sup>#</sup>
BH1	40.52	9.03	0.14	49.77	0.34	0.055	0.020	0.032	99.84	90.85
BH2	40.89	9.05	0.15	50.26	0.47	0.056	0.019	0.031	100.86	90.90
BH3	40.47	8.99	0.13	49.69	0.40	0.047	0.019	0.032	99.72	90.87
BH4	40.55	9.17	0.14	50.53	0.37	0.037	0.019	0.031	100.81	90.84
BH5	41.21	8.67	0.12	49.88	0.38	0.047	0.019	0.026	100.31	91.19
BH6	41.08	8.66	0.21	50.29	0.25	0.033	0.019	0.025	100.52	91.27
BH7	41.07	8.54	0.19	50.52	0.43	0.041	0.019	0.026	100.79	91.41
BH8	40.87	8.84	0.09	50.28	0.33	0.042	0.019	0.026	100.45	91.10
BH9	40.63	9.90	0.16	49.38	0.33	0.039	0.021	0.025	100.44	89.98
BH10	40.60	9.78	0.22	49.20	0.19	0.058	0.021	0.029	100.05	90.05
BH11	40.91	8.33	0.18	49.93	0.24	0.032	0.022	0.030	99.62	91.51
BH12	41.10	8.52	0.08	50.78	0.36	0.054	0.024	0.030	100.89	91.48
BH13	41.19	8.44	0.11	50.50	0.28	0.066	0.022	0.030	100.59	91.51
BH14	40.94	8.45	0.12	50.80	0.33	0.079	0.024	0.030	100.72	91.54
BH15	41.07	8.33	0.12	50.83	0.36	0.045	0.022	0.030	100.76	91.66

Phân tích thành phần hóa học của ban tinh olivine (hình 7) bằng phương pháp EPMA (bảng

2) cho kết quả olivine có chỉ số Mg lớn hơn 91, đặc trưng cho loại olivine manti [12, 13].



### 3.2. Đặc điểm của xenolith lherzolit spinel

Các xenolith có kích thước từ vài mm đến 40cm [5], màu xanh xám, xanh lá mạ, trong đó, olivine chiếm hàm lượng chủ yếu, có mẫu lên tới 80%, ít hơn là khoáng vật pyroxene thoi, pyroxen xiên và khá hiếm gặp spinel (hình 1, hình 5). Olivin trong những thể xenolith này được cho là nguồn cung cấp đá quý peridot của Việt Nam [6].

Kết quả phân tích EPMA (bảng 3) cho thấy olivin trong xenolith có thành phần và chỉ số  $Mg^{\#}$  tương tự với các mảnh khoáng vật olivin và đặc trưng cho olivin manti. Ngoài ra, các mẫu olivin đều không xuất hiện hiện tượng phân đôi, phản ánh sự cân bằng hóa học trong quá trình kết tinh [11].

De Hoog và nnk (2010) đã sử dụng sự khác biệt về hệ số phân bố nguyên tố vết giữa olivin và các khoáng vật cùng tồn tại để phân biệt các loại đá từ manti thạch quyển. Nhiều nguyên tố đã chỉ ra được sự khác biệt giữa olivin trong lherzolit garnet và lherzolit spinel vì ái lực khác nhau của chúng với garnet và spinel.

Nguyên tố vết trong olivin đã được De Hoog và nnk (2010) xác lập gồm 3 nhóm. Các nguyên tố nhóm I (Ni, Mn, Co, Cu, Zn và Li) là những nguyên tố hóa trị 2, ngoại trừ Li và có thể Cu, có bán kính ion gần với bán kính của Mg, có phạm vi thay đổi hàm lượng nhỏ và olivin là khoáng vật chủ chính chứa các nguyên tố này trong peridotit manti. Ngoài ra, chúng thường có hàm lượng tương đối cao trong các khoáng vật manti khác. Các nguyên tố nhóm II (Cr, Al, Sc, V, Ca và Na) có phạm vi thay đổi hàm lượng lớn, mà chủ yếu được kiểm soát bởi nhiệt độ cân bằng của đá chứa. Chúng ít phù hợp với ô mạng olivin hơn các nguyên tố nhóm I vì điện tích và bán kính ion của chúng, nhưng lại tập trung mạnh trong các khoáng vật cùng tồn tại trong manti (như garnet, clinopyroxene và spinel). Các nguyên tố nhóm III (Ti, Zr, Nb và Y) có phạm vi thay đổi hàm lượng lớn nhất trong olivin cũng như trong các khoáng vật cùng tồn tại và hàm lượng của chúng phụ thuộc

vào thành phần của đá tổng. Do sự chênh lệch lớn về điện tích và kích thước với magie nên chúng rất không tương thích với olivin cũng như các khoáng vật tạo đá khác của manti.

Thành phần nguyên tố vết của mẫu nghiên cứu được trình bày trong bảng 4.

*Các nguyên tố nhóm I (Ni, Mn, Co, Cu, Zn và Li)*

**Ni:** Trong peridotit manti điển hình, olivin là khoáng vật chứa đến 90% hàm lượng Ni, nó có xu hướng cao hơn trong spinel lherzolit và là nguyên tố duy nhất bên cạnh Mg và Co có sự tập trung cao hơn trong manti nguyên thủy (trong manti nguyên thủy là 1600ppm) [12]. Hàm lượng Ni trong mẫu nghiên cứu nằm trong khoảng 2601,89 – 2961,5 ppm và trung bình 2885,45 ppm, xấp xỉ với hàm lượng Ni của olivin trong các lherzolit spinel có cùng chỉ số  $Mg^{\#}$  [6].

**Mn:** Trong peridotit manti điển hình, olivin chứa đến 50% Mn. Hàm lượng Mn của olivin trong xenolith lherzolit garnet biến đổi từ 460 đến 850 ppm, trong lherzolit spinel biến đổi từ 690 – 1040ppm [11]. Mẫu nghiên cứu có hàm lượng Mn từ 869,38 đến 1120,75 ppm, nằm trong khoảng biến đổi của olivin trong lherzolit spinel.

**Co:** Trong peridotit manti điển hình, olivin chứa đến 80% Co, trong manti nguyên thủy, Co có hàm lượng là 104ppm [11]. Hàm lượng Co trong mẫu là 137,27 ppm, trung bình là 150,16 ppm, cao hơn trong manti nguyên thủy.

**Cu:** hàm lượng nằm trong khoảng 1,259 – 1,616 ppm, trung bình 1,392 ppm, phù hợp với hàm lượng trong phạm vi hẹp 1,2 - 2,0 ppm trong peridotit spinel, trong khi các olivin với hàm lượng Cu vượt quá 2 ppm đều thuộc peridotit nhiệt độ cao (> 1060°C) [11].

**Zn:** olivin chứa đến 75% lượng Zn trong manti [13]. Hàm lượng Zn trong mẫu nằm trong khoảng 50,41 – 64,35 ppm, trung bình 56,75 ppm. Hàm lượng Zn thay đổi trong dải hẹp liên quan đến sự hiện diện của spinel (khoáng vật spinel có ái lực mạnh với Zn, đặc trưng cho peridotit spinel) [14].

**Bảng 4.** Hàm lượng nguyên tố vết (ppm) của olivin thuộc xenolith trong basalt kèm vùng nghiên cứu

Mẫu	Al	Cr	Li	Mn	Zn	Co	Cu	Ni	P	Ca	Ti	V	Y	Zr	Nb
BH1	54.16	110.6	1.405	940.94	63.35	141.99	1.368	2923.7	29.08	276.29	13.45	2.507	0.0177	0.147	0.0058
BH2	51.13	108.04	1.372	918.18	62.02	139.53	1.616	2891	26.16	257.53	12.47	2.54	0.0138	0.101	0.0056
BH3	51.22	109.71	1.452	957.22	64.35	144.74	1.397	2961.51	27.18	263.19	12.78	2.58	0.0141	0.112	0.0065
BH4	51.13	108.04	1.372	918.18	62.02	139.53	1.616	2891	26.16	257.53	12.47	2.54	0.0138	0.101	0.0056
BH5	50.24	88.12	1.247	916.69	57.07	141.4	1.333	2916.2	24.59	255.69	11.31	2.158	0.0147	0.11	0.0059
BH6	50.23	87.15	1.243	919.2	56.4	142.4	1.288	2906.49	25.79	242.37	11.7	2.238	0.0225	0.092	0.0229
BH7	51.08	90.25	1.252	936.17	56.93	144.44	1.356	2960.72	26.1	267.3	12.24	2.227	0.0173	0.119	0.0051
BH8	50.24	88.12	1.247	916.69	57.07	141.4	1.333	2916.2	24.59	255.69	11.31	2.158	0.0147	0.11	0.0059
BH9	56.46	86.71	1.322	1071.69	59.1	143.08	1.259	2601.89	24.38	258.79	10.08	1.82	0.0283	0.071	0.0057
BH10	55.99	98.72	1.38	1120.75	60.17	150.16	1.444	2681.11	23	270.39	9.35	2.049	0.0216	0.063	0.0059
BH11	58.01	104.03	1.387	874.11	50.41	138.04	1.357	2939.6	23.81	276.76	11.18	2.215	0.0082	0.063	0.0072
BH12	63.28	102.18	1.325	869.38	50.46	137.27	1.452	2926.36	24.57	281.59	10.79	2.183	0.0129	0.038	0.0052
BH13	58.01	104.03	1.387	874.11	50.41	138.04	1.357	2939.6	23.81	276.76	11.18	2.215	0.0082	0.063	0.0072
BH14	63.28	102.18	1.325	869.38	50.46	137.27	1.452	2926.36	24.57	281.59	10.79	2.183	0.0129	0.038	0.0052
BH15	58.76	103.41	1.357	871.39	51.03	137.92	1.261	2899.94	24.46	265.47	11.09	2.155	0.0106	0.051	0.0058

**Li:** có kích thước cation rất gần với Mg nên olivin chứa đến 80% Li của manti. Trong lherzolit grant, hàm lượng Li và chỉ số Mg<sup>#</sup> có quan hệ nghịch biến, trong lherzolit spinel không ghi nhận được mối quan hệ này [11]. Li trong mẫu nghiên cứu có hàm lượng từ 1,243 - 1,452 ppm, trung bình 1,34 ppm và sự biến đổi của chúng không có liên quan với chỉ số Mg<sup>#</sup> [6], đặc điểm này đặc trưng cho lherzoliut spinel.

*Nhóm nguyên tố nhóm II (Cr, Al, V, Sc, Ca và Na)*

**Al:** Hàm lượng Al trong olivin rất phụ thuộc vào nhiệt độ kết tinh, vì vậy, hàm lượng Al sẽ được sử dụng để tính toán điều kiện kết tinh của olivin hay xenolith trong basalt kiềm miền nam Việt Nam. Olivin magma thường có hàm lượng Al cao hơn olivin manti, đặc biệt olivin trong đá picrit có hàm lượng Al lên tới trên 700ppm, olivin trong kimberlit có hàm lượng Al nhỏ hơn 2 ppm [11]. Mẫu nghiên cứu có Al thay đổi từ 50,23 – 63,28 ppm và trung bình 54,88 ppm, điển hình cho olivin manti.

**Cr:** Theo De Hoog và nnk (2010), hàm lượng Cr trong olivin cũng rất phụ thuộc vào nhiệt độ kết tinh. Cr trong olivin manti có hàm lượng thấp hơn trong olivin magma. Trong olivin của đá picrit, Cr thường lớn hơn 475ppm, trong olivin của kimberlit hàm lượng Cr thường nhỏ hơn 50ppm. Cr trong mẫu nghiên cứu thay đổi từ 86,71 – 110,6 ppm, trng bình 99,42 ppm, đặc trưng cho olivin manti.

**V:** Mẫu nghiên cứu có hàm lượng trong khoảng 1,82 – 2,58 ppm và trung bình 2,25 ppm. Không có sự khác biệt rõ ràng giữa hàm lượng của V trong lherzolit spinel hay lherzolit grant [11].

**Ca:** Theo De Hoog và nnk (2010), hàm lượng Ca của olivin manti (27 – 630ppm) thấp hơn nhiều olivin magma (trong picrit từ 2300 – 2900ppm). Mẫu nghiên cứu có Ca dao động từ 242,37 - 281,59ppm và trung bình 265,80 ppm. Hầu hết các mẫu với hàm lượng Ca khoảng 300ppm, điển hình cho loại olivin manti.

*Nhóm nguyên tố nhóm III (Ti, Zr, Nb, Y, P)*

**Ti:** Hàm lượng Ti trong olivin manti và olivin magma không có sự khác biệt. Mẫu

nghiên cứu có Ti từ 9,35 – 13,45 ppm và trung bình 11,48 ppm..

**Zr:** có hàm lượng từ 38 - 147 ppb, trung bình là 85 ppb, cao hơn olivin từ peridotite spinel từ các khu vực khác (trung bình là 40 ppb [11]).

**Nb:** Trong lherzolit spinel, hàm lượng Nb thường nhỏ hơn 5ppb, của lherzolit granat lớn hơn 20ppb, thậm chí lên tới 1000ppb [13]. Mẫu nghiên cứu có Nb dao động trong khoảng 5 - 23 ppb, trung bình 7 ppb, tương ứng với loại olivin trong lherzolit spinel.

**Y:** Hàm lượng Y trong lherzolit granat bao giờ cũng thấp hơn 2ppb nhưng trong lherzolit spinel luôn lớn hơn 10ppb, thậm chí lên tới 62ppb [11]. Mẫu nghiên cứu dao động từ 8 – 28 ppb, trung bình 15 ppb, tương ứng với hàm lượng Y của olivin trong peridotit spinel.

**P:** thay đổi trong khoảng 23 – 29,08 ppm, trung bình là 25,22 ppm. Mức độ biến đổi hàm lượng P của peridot Việt Nam là lớn và khác với hàm lượng P của các olivin trong peridotit spinel hay peridotit garnet của các vùng so sánh.

Như vậy, thành phần nguyên tố vết của olivin trong xenolith của mẫu nghiên cứu đã được xác định gồm đủ cả ba nhóm và chúng cùng chỉ thị cho loại olivin trong đá lherzolit spinel. Đặc biệt hàm lượng của Cu luôn nhỏ hơn 2ppm, trong khi những olivin có hàm lượng Cu cao hơn 2ppm đều thuộc loại được thành tạo ở nhiệt độ cao hơn 1060°C [11].

### 3.3. Điều kiện p-T kết tinh của xenolith lherzolit spinel

Điều kiện kết tinh của xenolith được tính dựa vào các nhiệt kế olivin. Như đã trình bày ở trên, sự biến đổi hàm lượng nguyên tố vết của olivin chủ yếu được quyết định bởi nhiệt độ (và có vai trò của áp suất). De Hoog và nnk (2010) đã tính toán hệ số phân bố olivin cho nhóm nguyên vết thứ II sử dụng hồi quy tuyến tính đa chiều. Mối tương quan nhiệt độ và hàm lượng khẳng định bản chất nhạy cảm nhiệt độ của các nguyên tố này đã được nghiên cứu và được thể hiện qua công thức {1}, {2} và {3} và đó là các nhiệt kế của olivin.

Bảng 5. Nhiệt độ thành tạo của olivin tính theo nhiệt kế Al

Mẫu	Cr <sup>#</sup> = Cr/Cr+Al	Al27 (ppm)	Nhiệt độ					
			P = 20	P = 19	P = 18	P = 17	P = 16	P = 15
BH1	0.51	54.16	938	932	927	921	916	910
BH2	0.52	51.13	932	926	921	916	910	905
BH3	0.52	51.22	933	927	922	916	911	906
BH4	0.52	51.13	932	926	921	916	910	905
BH5	0.47	50.24	920	915	910	904	899	893
BH6	0.47	50.23	920	915	909	904	898	893
BH7	0.47	51.08	923	917	912	907	901	896
BH8	0.47	50.24	920	915	910	904	899	893
BH9	0.44	56.46	929	923	918	912	907	901
BH10	0.47	55.99	935	929	924	918	913	907
BH11	0.48	58.01	940	934	929	923	918	912
BH12	0.45	63.28	946	941	935	929	924	918
BH13	0.48	58.01	940	934	929	923	918	912
BH14	0.45	63.28	946	941	935	929	924	918
BH15	0.47	58.76	941	935	930	924	919	913

a. Nhiệt kế Al trong olivin:

$$T_{Al-ol} (^{\circ}C) = \frac{9423 + 51.4P + 1860Cr^{#ol}}{(13.409 - \ln[Al]^{ol})} - 273 \quad \{1\}$$

Trong đó, P tính theo kbar (có thể sử dụng các mối tương quan P-T của địa nhiệt trong vùng nghiên cứu (chỉ số dẫn nhiệt khoảng 42 mW/m<sup>2</sup> trong vùng nền); [Al]<sup>ol</sup> là hàm lượng của Al (ppm) trong olivin và Cr<sup>#ol</sup> bằng giá trị Cr/(Cr + Al) trong olivin.

Theo De Hoog (2010) nhiệt độ tính được khi không có sự hiện diện của granat trong một nền ổn định có chỉ số dẫn nhiệt 40-42 mW/m<sup>2</sup> ứng với áp suất từ 15-20 kbar. Olivin trong các xenolith lherzolite spinel nên có thể sử dụng áp suất từ 15 - 20 kbar để tính nhiệt độ. Nhiệt độ thành tạo của olivin tính theo nhiệt kế Al được trình bày trong bảng 5. Với áp suất được tính từ 15 - 20 kbar thì nhiệt độ thành tạo olivin theo nhiệt kế Al trong olivin có giá trị trong khoảng 893 - 946 °C.

b. Nhiệt kế Cr trong olivin

Crom trong olivin có hành vi rất giống với Al, và sự phụ thuộc nhiệt độ của nó có thể được thể hiện:

$$T_{Cr-ol} (^{\circ}C) = \frac{13444 + 48.5P - 4678Cr^{#ol}}{(14.53 - \ln[Cr]^{ol})} - 273 \quad \{2\}$$

Trong đó Cr<sup>#ol</sup> là Cr/(Al + Cr) trong nguyên tử và [Cr]<sup>ol</sup> là hàm lượng Cr trong olivin tính bằng ppm. Sự phụ thuộc áp lực của nhiệt kế này cũng tương tự như của nhiệt kế Al.

Nhiệt độ kết tinh của olivin tính theo nhiệt kế Cr được trình bày trong bảng 6. Các giá trị nhiệt độ theo nhiệt kế này biến đổi từ 917 - 969°C.

c. Nhiệt kế Ca trong olivin

Hàm lượng Ca trong olivin được hiệu chỉnh như một nhiệt kế theo biểu thức:

$$T_{Ca} (^{\circ}C) = \frac{10539 + 79.8P}{(15.45 - \ln[Ca]^{ol})} - 273 \quad \{3\}$$

Trong đó Ca<sup>ol</sup> là hàm lượng Ca trong olivin được tính bằng ppm và P được tính bằng kbar.

Nhiệt độ kết tinh của olivin tính theo nhiệt kế Ca cho các giá trị nhiệt độ là 905 - 964° C (Bảng 7).



Bảng 6. Nhiệt độ thành tạo của olivin tính theo nhiệt kế Cr

Mẫu	$Cr^{\#} = \frac{Cr}{Cr+Al}$	Cr53 (ppm)	Nhiệt độ					
			P = 20	P = 19	P = 18	P = 17	P = 16	P = 15
BH1	0.51	110.6	951	946	942	937	932	927
BH2	0.52	108.04	944	940	935	930	925	920
BH3	0.52	109.71	945	940	935	930	925	920
BH4	0.52	108.04	944	940	935	930	925	920
BH5	0.47	88.12	941	937	932	927	922	917
BH6	0.47	87.15	941	937	932	927	922	917
BH7	0.47	90.25	943	939	934	929	924	919
BH8	0.47	88.12	941	937	932	927	922	917
BH9	0.44	86.71	955	950	945	940	936	931
BH10	0.47	98.72	955	950	945	940	935	930
BH11	0.48	104.03	959	954	949	944	940	935
BH12	0.45	102.18	969	964	959	955	950	945
BH13	0.48	104.03	959	954	949	944	940	935
BH14	0.45	102.18	969	964	959	955	950	945
BH15	0.47	103.41	961	956	951	946	941	936

Bảng 7. Nhiệt độ thành tạo của olivin tính theo nhiệt kế Ca

Mẫu	$Cr^{\#} = \frac{Cr}{Cr+Al}$	Ca43 (ppm)	Nhiệt độ					
			P = 20	P = 19	P = 18	P = 17	P = 16	P = 15
BH1	0.51	276.29	962	954	945	937	929	921
BH2	0.52	257.53	953	945	937	929	921	913
BH3	0.52	263.19	956	948	939	931	923	915
BH4	0.52	257.53	953	945	937	929	921	913
BH5	0.47	255.69	952	944	936	928	920	912
BH6	0.47	242.37	945	937	929	921	913	905
BH7	0.47	267.3	958	949	941	933	925	917
BH8	0.47	255.69	952	944	936	928	920	912
BH9	0.44	258.79	954	945	937	929	921	913
BH10	0.47	270.39	959	951	943	935	927	918
BH11	0.48	276.76	962	954	946	938	929	921
BH12	0.45	281.59	964	956	948	940	932	923
BH13	0.48	276.76	962	954	946	938	929	921
BH14	0.45	281.59	964	956	948	940	932	923
BH15	0.47	265.47	957	949	940	932	924	916

Như vậy, sử dụng nhiệt kế Al, Cr, Ca trong olivin cho phép xác định được nhiệt độ kết tinh của xenolith lherzolit spinel trong basalt kiềm miền Nam từ 893 đến 969°C, với áp suất giả định là 20 kbar. Nhiệt kế Cr trong olivin luôn cho nhiệt độ cao nhất và cao hơn 5-12°C so với nhiệt kế Ca và khoảng 20°C so với nhiệt kế Al. Kết quả nhiệt độ này phù hợp với hàm lượng của Cu. Vì hàm lượng Cu trong peridot Tây Nguyên luôn nhỏ hơn 2ppm, trong khi các olivin có hàm lượng Cu vượt quá 2 ppm đều được thành tạo ở nhiệt độ cao hơn 1060°C [11]. Kết quả tính toán trên phù hợp với nhiệt độ và độ sâu thành tạo của basalt kiềm đã được công bố là áp suất khoảng 23kbar, nhiệt độ khoảng 1100°C, thậm chí có thể cao hơn [15].

### Kết luận

Kết quả nghiên cứu thành phần nguyên tố chính và vết của olivin trong các thể xenolith lherzolit spinel cho phép đi đến kết luận sau:

- Xenolith lherzolit spinel trong basalt kiềm miền nam Việt Nam được kết tinh trong trạng thái cân bằng hóa học.

- Xenolith lherzolit spinel trong basalt kiềm miền nam Việt Nam kết tinh ở nhiệt độ khoảng 900 - 1000°C với áp suất giả định là 20 ±5kbar.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 105.01-2012.01. Xin trân trọng cảm ơn. Ngoài ra, tác giả xin bày tỏ sự cảm ơn sâu sắc tới PGS. TS. Nguyễn Ngọc Khôi đã hỗ trợ trong việc phân tích mẫu bằng các phương pháp EPMA và LA-ICP-MS tại CHLB Đức.

### Tài liệu tham khảo

[1] Barr S. M. and MacDonald A. S. Geochemistry and geochronology of late Cenozoic basalts in

Southeast Asia. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 92 (1981) 1069.

- [2] Taylor B. and Hayes D. E. Origin and history of the South China Basin. In *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands* (ed. D. E. Hayes); Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr. Ser. 27 (1983) 25.
- [3] Nguyen Hoang, Martin F.J. Flower, Cung Thuong Chi, Pham Tich Xuan, Hoang Văn Quy, Tran Thanh Son. Collision-induced basalt eruptions at Pleiku and Buon Me Thuot, south-central Viet Nam. *Journal of Geodynamics* 69 (2013) 65.
- [4] Nguyen Hoang, M. Flower et al. Major, trace elements, and isotopic compositions of Vietnamese basalts: Interaction of hydrous EM1-rich asthenosphere with thinned Eurasian lithosphere. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 60/22 (1996) 4329.
- [5] Nguyễn Kinh Quốc (chủ biên). Nguồn gốc, quy luật phân bố và đánh giá tiềm năng đá quý - đá kỹ thuật Việt Nam. Báo cáo tổng kết Đề tài KT-01-09. 1995.
- [6] Nguyen Thi Minh Thuyet, Nguyen Ngoc Khoi, Christoph Hauzenberger. Geochemical characteristics of peridot from south-central Vietnam. International Symposium "Larga igneous province of Asia mantle plumes and metallogeny", 7-11, November 2013, Hanoi, Vietnam (2013) 145.
- [7] Nguyễn Hoàng, M. J. Flower, Phạm Tích Xuân. Vấn đề động lực hình thành magma bazan Kainozoi muộn qua kết quả nghiên cứu thành phần nguyên tố vết và đồng vị. ĐC tài nguyên (Công trình kỷ niệm 20 năm thành lập Viện Địa chất), I (1996) 156.
- [8] Phạm Tích Xuân, Nguyễn Hoàng, Lee Hyun Koo. Geochemistry of Late Cenozoic basalts in Việt Nam and its tectonic significances. *J. of Geology*, B/24 (2004) 65.
- [9] Phạm Tích Xuân. Trace element geochemistry of mantle xenoliths from Late Cenozoic basalts in Vietnam. *Journal of Geology Series B*, No 27 (2006) 58.
- [10] Nguyễn Hoàng. Manti thạch quyển bên dưới Pleiku: bằng chứng từ các bao thể siêu mafic. Tạp chí Địa chất, Loạt A, số 287 (2005).
- [11] De Hoog J.C.M., Gall L., Cornell, D.H. Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry. *Chemical Geology* 270 (2010) 196.

- [12] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. *Rock Forming Minerals: Orthosilicates*, 2nd ed. Geological Society of London, 1997.
- [13] Embey-Isztin A, Dobosi G. Composition of olivines in the young alkaline basalts and their peridotite xenoliths from the Pannonian Basin. *Annales historico-naturales musei nationalis hungarici*. Volume 99 Budapest (2007) 5.
- [14] O'Reilly, S.Y., Chen, D., Griffin, W.L., Ryan, C.G. Minor elements in olivine from spinel lherzolite xenoliths: implications for thermobarometry. *Mineralogical Magazine* 61 (1997) 257.
- [15] Nguyễn Việt Ý, Ngô Thị Phương, Phạm Thị Dung, Trần Hồng Lam, Hoàng Việt Hằng. Điều kiện thành tạo các đá basalt Tây Nguyên, Việt Nam trên cơ sở nghiên cứu đặc điểm thành phần khoáng vật. *Tạp chí Địa chất, Loạt A số 295 (2006) 25.*

## Forming Conditions of Mantle Xenolith (Spinel Lherzolite Xenolith) in Cenozoic Alkaline Basalt in the South of Vietnam

Nguyen Thi Minh Thuyet

*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

**Abstract:** Late Cenozoic alkaline basalts in the South of Vietnam contain abundance of mantle xenoliths, consisting mainly lherzolite xenolith. The results of microscope analysis showed that lherzolite xenolith composes mainly olivine mineral (up to nearly 90%), pyroxene and spinel are found less. Major elements compositions of olivine in xenolith were defined by EPMA method indicated lherzolite xenolith crystallized in conditions of chemical equilibrium. Content of trace elements of olivine in xenolith were analyzed by LA-ICP-MS method characterized for spinel lherzolite type. Al, Cr and Ca thermometer confirmed that spinel lherzolite xenolith in the alkaline basalt was formed in conditions of chemical equilibrium at 900 - 1000° C and an assumed pressure of  $20 \pm 5$  kbar .

*Keywords:* Alkaline basalt, xenolith, spinel lherzolite, major element, trace element.