

MỤC LỤC

TIỂU BAN TÀI NGUYÊN ĐỊA CHẤT VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Đặc điểm hình thái - cấu trúc các vỉa than và ảnh hưởng của chúng tới công tác thăm dò, khai thác mỏ Bình Minh, Quảng Ninh <i>Đỗ Mạnh An, Nguyễn Khắc Du, Nguyễn Thị Thanh Thảo, Tạ Thị Toán, Phạm Thị Thanh Hiền ..</i>	1
Tiềm năng tài nguyên di sản địa chất khu vực đảo Lý Sơn, Quảng Ngãi và giải pháp bảo tồn <i>Đỗ Mạnh An, Nguyễn Phương, Nguyễn Thế Phong, Nguyễn Tiến Dũng, Bùi Hoàng Bắc, Khương Thế Hùng, Nguyễn Thị Thanh Thảo, Nguyễn Xuân Nam ..</i>	7
Bối cảnh hình thành và sự tiến hóa nguồn vật chất tham gia tạo quặng chì - kẽm của phụ đới cấu trúc Khâu Lộc, đông bắc Việt Nam trên cơ sở kết quả phân tích đồng vị Pb/Pb và Sđ ³⁴ <i>Đỗ Quốc Bình, Tạ Đình Tùng, Nguyễn Thị Hoàng Linh ..</i>	13
Một số kết quả nghiên cứu địa chất mới về khu vực Đồng Văn, Hà Giang thuộc đới cấu trúc Sông Hiến <i>Hoàng Văn Dũng□, Hoàng Thị Thoa ..</i>	20
Vài nét về đặc điểm chất lượng ngọc học khoáng vật Spinel trong đá gốc và sa khoáng khu vực Lục Yên, Yên Bái <i>Nguyễn Quang Duy, Nguyễn Khắc Du, Bùi Hoàng Bắc ..</i>	26
Đặc điểm thạch địa hóa, nguồn gốc nhóm khoáng amphibol trong các đá plagiogranit sống núi Tây Nam Ấn Độ Dương <i>Nguyễn Khắc Du, Tomoaki Morishita ..</i>	32
Đặc điểm hình thái-cấu trúc các vỉa than và vấn đề thăm dò than dưới mức -300m khu mỏ Ngã Hai-Khe Tam <i>Nguyễn Tiến Dũng, Khương Thế Hùng, Bùi Thanh Tịnh, Đỗ Mạnh An, Nguyễn Hoàng Huân ..</i>	38
Điều kiện hóa-lý thành tạo và nguồn gốc dung dịch tạo quặng vàng trong thành tạo phun trào rìa Tây Nam cấu trúc Bù Khạng <i>Đổng Văn Giáp, Nguyễn Đình Luyện ..</i>	45
Sự tích lũy các kim loại nặng (As, Cd, Cu, Pb và Zn) trong đất bãi thải các mỏ khai thác khoáng sản tại tỉnh Thái Nguyên <i>Nguyễn Ngọc Sơn Hải, Nguyễn Khắc Giảng, Nguyễn Thanh Hải, Peter Sanderson, Ravi Naidu ..</i>	52
Khảo sát quy trình phân tích mẫu đá vôi trên hệ máy phân tích huỳnh quang tia X thế hệ S2 Ranger <i>Khương Thế Hùng, Phạm Như Sang, Đỗ Mạnh An, Tạ Thị Toán, Phạm Thị Thanh Hiền ..</i>	58
Thực trạng khai thác, chế biến quặng chì-kẽm ở tỉnh Bắc Kạn và khả năng thu hồi thành phần có ích đi kèm <i>Phạm Việt Huy□, Nguyễn Tiến Dũng, Phan Viết Sơn ..</i>	64
Nghiên cứu xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò cho kiểu quặng Wonfram khu vực Núi Pháo, Thái Nguyên <i>Lương Quang Khang, Khương Thế Hùng, Hoàng Văn Vương ..</i>	70
Đặc điểm thạch địa hóa và khoáng hóa liên quan các đá granitoid khối Ngọc Tụ, Kon Tum <i>Đỗ Đức Nguyên, Nguyễn Văn Niệm, Đinh Công Tiến, Hoàng Thị Thoa ..</i>	77

Nghiên cứu xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò urani kiểu mỏ Bình Đường, Cao Bằng <i>Nguyễn Phương, Trịnh Đình Huấn, Nguyễn Trường Giang</i>	84
Nghiên cứu xác lập chỉ tiêu tính trữ lượng, tài nguyên than trong bể than Quảng Ninh-Lý luận và thực tiễn <i>Nguyễn Phương, Nguyễn Tiến Dũng, Đỗ Mạnh An, Phạm Tuấn Anh, Nguyễn Hoàng Huân</i>	91
Mối quan hệ giữa yếu tố cấu trúc kiến tạo với quặng hóa vàng gốc trường quặng Trà Dương - Tiên Phước, đới Tam Kỳ - Phước Sơn <i>Bùi Viết Sáng, Chu Văn Dũng, Nguyễn Văn Vũ</i>	98
Đặc điểm chất lượng tinh quặng sericit Sơn Bình, Hà Tĩnh và khả năng sử dụng của chúng <i>Nguyễn Thị Thanh Thảo</i>	104
Đặc điểm thành phần khoáng vật, cấu tạo và kiến trúc quặng đồng vùng Vi Kẽm, Bát Xát, Lào Cai <i>Lê Thị Thu, Đỗ Văn Nhuận, Ngô Xuân Đắc, Hoàng Thị Thoa</i>	110
Ứng dụng mạng nơron nhân tạo (ANN) trong phân vùng triển vọng khoáng sản wolfram cho vùng Plei Meo, Kon Tum <i>Bùi Thanh Tịnh, Bùi Hoàng Bắc, Đỗ Mạnh An, Nguyễn Tiến Dũng, Lê Thị Thu</i>	116
Thành phần vật chất và điều kiện thành tạo Liti khu vực La Vi, vùng Đức Phổ-Sa Huỳnh <i>Đương Ngọc Tình, Nguyễn Quang Luật, Đỗ Văn Nhuận</i>	122
Đặc tính và khả năng sử dụng đất basalt vùng Xuân Lộc, Đồng Nai <i>Thiểm Quốc Tuấn, Đỗ Văn Nhuận, Trần Bình Chư, Lê Thị Thu</i>	128

Đặc điểm thạch địa hóa, nguồn gốc nhóm khoáng amphibol trong các đá plagiogranit sống núi Tây Nam Ấn Độ Dương

Nguyễn Khắc Du^{1,*}, Tomoaki Morishita²

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất

² Trường Đại học Kanazawa, Ishikawa, Nhật Bản

TÓM TẮT

Các đai mạch plagiogranit thường xuất hiện với khối lượng nhỏ (1-2 %), xuyên cắt các đá gabro trong kiểu vỏ đại dương thực thụ ở khu vực sống núi tây nam Ấn Độ Dương. Trong khi lớp vỏ gabro được thành tạo từ nguồn magma basalt mẹ có đặc trưng khô nóng (MORB); các khoáng vật nhóm amphibol - thành phần chính trong các đá plagiogranit được thành tạo từ dung thể magma muộn khá giàu H₂O (4-6%). Vì vậy đặc điểm địa hóa, điều kiện thành tạo nhóm khoáng vật này có ý nghĩa lớn trong việc nghiên cứu cơ chế thành tạo các đai/mạch và bản chất quá trình tiến hóa magma bên dưới sống núi giữa đại dương. Hệ thống các phương pháp phân tích dưới kính hiển vi phân cực, đo vẽ X-ray, EPMA, Laser ICP-MS được sử dụng để nghiên cứu các đặc tính quang học, đặc điểm địa hóa, và luận giải nguồn gốc nhóm khoáng vật này. Tổng hợp các kết quả phân tích thạch học, địa hóa cho thấy: (1) Các khoáng vật amphibol màu nâu đỏ khá giàu thành phần TiO₂ (1-3%) và các nguyên tố vết, đất hiếm (gấp 200-1000 lần chondrit) là sản phẩm kết tinh từ dung thể magma muộn; (2) các khoáng vật có màu lục/không màu nghèo các thành phần TiO₂, REEs là sản phẩm biến đổi nhiệt dịch từ nhóm amphibol nâu đỏ. Nghiên cứu cũng chỉ ra rằng ngoài cơ chế kết tinh trực tiếp từ dung thể magma đã tiến hóa giàu các thành phần SiO₂, H₂O, TiO₂, các khoáng vật nhóm amphibol có thể là sản phẩm thay thế đồng hình từ khoáng vật pyroxen có trước trong các đá gabro.

Từ khóa: Vỏ gabro, plagiogranit, amphibol nguồn magma - nhiệt dịch, kết tinh, thay thế đồng hình.

1. Đặt vấn đề

Các đai mạch plagiogranit chiếm hàm lượng nhỏ trong số các loại đá thu hồi từ khu vực núi ngầm Atlantis, sống núi tây nam Ấn Độ Dương (MacLeod et al., 2017). Tuy nhiên các thể địa chất này xuất hiện khá phổ biến, xuyên cắt các đá gabro và dễ dàng được phân biệt với gabro bởi màu sắc sáng màu của chúng. Thành phần chủ yếu của các đá gồm plagioclas (albit đến andesin), amphibol nâu đỏ, các oxit Fe-Ti, ± thạch anh. Khoáng vật phụ gồm zircon, apatit, ± titanit, ± biotit, ± feldspat-K. Các khoáng vật thứ sinh gồm amphibol xanh lục đến không màu, ± cacbonat, ± sét. Theo hệ thống phân loại đá sâu của Hiệp hội Địa chất Quốc tế (IUGS) đề xuất bởi (W. Le Maitre et al., 2002), các đai mạch plagiogranit này là hornblend gabro, anorthosit chứa hornblend và anorthosit chứa thạch anh. Trên biểu đồ Q-A-P (thạch anh - feldspat kali - plagioclas), chúng được xếp vào diorit, diorit thạch anh, và tonalit.

Trước đây, nhiều nhà địa chất cho rằng các đai mạch plagiogranit có nguồn gốc nhiệt dịch hoặc có liên quan đến hoạt động nhiệt dịch hậu magma. Ngay cả khi các đai mạch này được coi là có nguồn gốc magma thực thụ, ít nhất 3 mô hình khác nhau có thể được áp dụng để giải thích cho sự thành tạo dung thể magma giàu SiO₂ từ dung thể magma basalt mẹ (MORB), bao gồm: (1) Nóng chảy từng phần các đá gabro bị biến đổi (Koepke et al., 2006; Koepke et al., 2007; Koepke et al., 2005; Koepke et al., 2004); (2) phân đoạn kết tinh sau chuỗi gabro (Niu et al., 2002); và (3) dung ly magma: Trong đó plagiogranit và gabro giàu oxit Fe-Ti có thể lần lượt là sản phẩm kết tinh của 2 dung thể giàu SiO₂ và giàu FeO*. Tuy nhiên mô hình magma dung ly mới chỉ được chứng minh bằng các kết quả thí nghiệm ở 1atm của một số tác giả (Charlier and Grove, 2012; Charlier et al., 2011; Dixon and Rutherford, 1979; Philpotts, 1979). Do đó, việc khẳng định nguồn gốc cũng như xác lập cơ chế thành tạo các đai mạch này có ý nghĩa vô cùng to lớn trong việc nghiên cứu bản chất của quá trình tiến hóa magma tại các sống núi giữa đại dương (MORB).

Dựa vào đặc điểm thạch học và thành phần địa hóa nhóm khoáng amphibol, tác giả sẽ luận giải về nguồn gốc, điều kiện và cơ chế thành tạo của chúng, từ đó góp phần hiểu biết hơn về nguồn gốc các đai mạch plagiogranit nêu trên.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu thành phần khoáng vật

Để nghiên cứu đặc điểm thạch học, khoáng vật các đá, phương pháp được sử dụng gồm phân tích thạch học lát mỏng dưới kính hiển vi phân cực kết hợp với đo vẽ X-ray trên thiết bị M4-Tornado, Bruker tại Viện

* Tác giả liên hệ

Email: nguyenkhacdu@hmg.edu.vn

Khoa học Công nghệ Địa chất Nhật Bản. Các phép đo sử dụng dòng điện 50 kV với cường độ 600 μ A; chùm tia X có đường kính là 25 μ m, mỗi điểm ảnh được đo vẽ có kích thước 20 μ m x 20 μ m trong thời gian 1 mili giây. Cuối cùng, sử dụng phần mềm ImageJ, ảnh các nguyên tố riêng lẻ được chồng ghép lên nhau tạo bản đồ phân bố các khoáng vật trên toàn bộ mẫu hoặc được sử dụng trực tiếp phục vụ tính toán định lượng thành phần thạch học các đá.

2.2. Phương pháp nghiên cứu địa hóa khoáng vật

2.2.1. Địa hóa nguyên tố chính và phụ

Thành phần chính, phụ của amphibol được xác định bằng thiết bị vi phân tích hiển vi đầu dò (EPMA) JEOL JXA-8800 sử dụng phần mềm hiệu chỉnh ZAF tại Đại học Kanazawa, Nhật Bản. Các phân tích được thực hiện trong điều kiện điện áp 20 kV, chùm tia electron có cường độ 20nA, đường kính 3 μ m. Tại các vị trí điểm cao và phòng nền của tia X, các nguyên tố được phân tích lần lượt trong 20 giây và 10 giây, ngoại trừ Ni trong 30 giây và 15 giây. Các mẫu chuẩn quốc tế bao gồm mẫu tự nhiên và mẫu tổng hợp có thành phần đã được công bố trên các tạp chí quốc tế uy tín.

2.2.2. Địa hóa các nguyên tố vết và đất hiếm

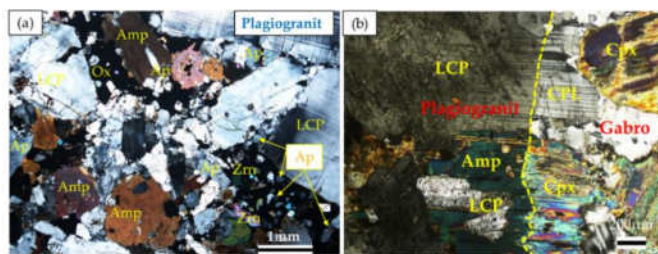
Thành phần các nguyên tố vết bao gồm nhóm đất hiếm (REEs) của amphibol được xác định bằng phương pháp LA-ICP-MS (MicroLas GeoLas Q-plus 193nm ArF excimer laser system and Agilent 7500s) tại Đại học Kanazawa. Các phân tích được thực hiện trong điều kiện 6Hz, 8 J/cm² bằng chùm tia Laser có đường kính 60 μ m. Mẫu chuẩn quốc tế số hiệu NIST 612 được phân tích đầu tiên và cuối cùng trong mỗi mẻ (gồm ≤ 7 điểm phân tích). Thời gian tích hợp tín hiệu lần lượt là 50 giây cho phòng nền và 50 giây cho khoáng vật Laser (tương ứng 250-300 lần bắn phá mẫu). Mẫu chuẩn số hiệu NIST 614 được phân tích cùng trong mỗi mẻ để quản lý chất lượng phân tích. Các phép tính hàm lượng sử dụng ²⁹Si làm nguyên tố chuẩn.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm thạch học

Amphibol là nhóm khoáng vật có hàm lượng phong phú thứ 2 (chỉ ít hơn plagioclas) trong các đại mạch plagiogranit. Chúng tồn tại dưới các dạng khác nhau tương ứng với các loại đại mạch có đặc điểm riêng biệt. Trong các đại mạch có ranh giới rõ ràng với gabbro, các khoáng vật amphibol thường có dạng hạt tự hình, nửa tự hình với kích thước từ hạt nhỏ đến vừa. Ngược lại, trong các đại mạch mang đặc trưng của quá trình thay thế, sự xuất hiện của các khoáng vật nhóm amphibol có liên quan mật thiết với các khoáng vật pyroxen trong gabbro.

Dựa vào màu sắc, sự xuất hiện và mối quan hệ với khoáng vật pyroxen trong đá gabbro, các khoáng vật amphibol trong plagiogranit được chia làm 3 loại sau: (1) các hạt amphibol riêng rẽ, tự hình đến nửa tự hình, màu nâu đến nâu sẫm (Hình 1. a); (2) amphibol màu nâu do thay thế/mọc ghép liên quan đến sự tiêu thụ khoáng vật pyroxen trong gabbro dọc theo ranh giới đại mạch (Hình 1. b), và (3) actinolit màu xanh lục đến không màu.



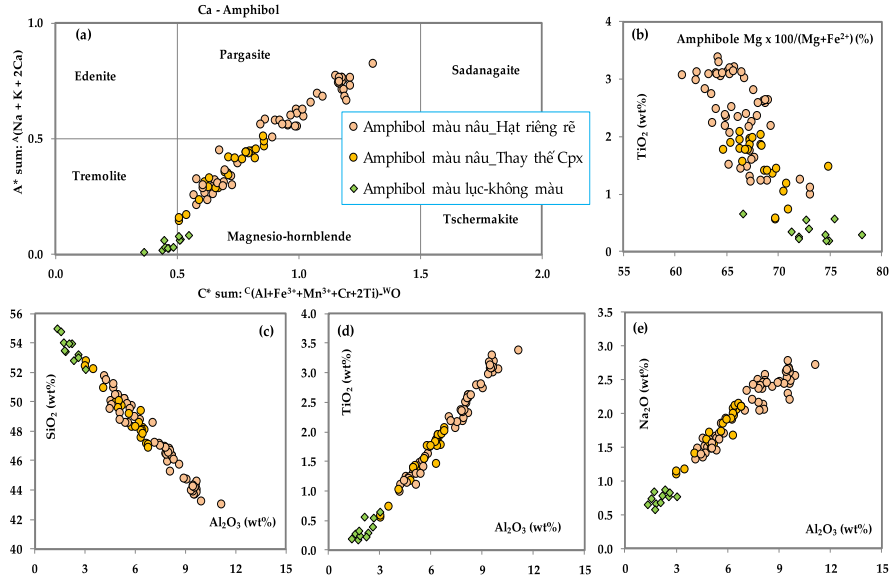
Hình 1. Trạng thái xuất hiện của amphibol trong các đại mạch plagiogranit. (a). Dạng hạt tự hình - nửa tự hình; (b). Kiến trúc liên tục từ khoáng vật pyroxen xiên trong gabbro (Nguyen et al., 2018).

Apm: Amphibol; Cpx: Pyroxen xiên; CPL: Plagioclas giàu calci; LCP: Plagioclas nghèo calci; Ap: Apatit; Zrn: Zircon; Ox: Oxit Fe-Ti

3.2. Đặc điểm địa hóa

Công thức hóa học của các khoáng vật amphibol được tính toán chính xác bằng cách áp dụng phương pháp của Ridolphi trong tác phẩm (Ridolfi et al., 2018). Các kết quả tính toán được sử dụng để phân loại amphibol theo bảng phân loại quốc tế (IMA) đề xuất bởi (Hawthorne et al., 2012), với tên của các khoáng vật trong các phụ nhóm thu được bằng cách sử dụng bảng tính của Locock trong (Locock, 2014). Toàn bộ các khoáng vật amphibol khu vực núi ngầm Atlantis thuộc phụ nhóm Ca-Amphibol. Trong đó, amphibol màu lục đến không màu là actinolit và được biểu diễn trên trường tremolit. Các khoáng vật amphibol màu nâu - nâu sẫm gồm

magnesio-hornblende, magnesio-ferri-hornblende, magnesio-hastingsite và magnesio-hastingsite giàu Ti, và được thể hiện trên trường phân loại magnesio-hornblende và pargasite (Hình 2. a).

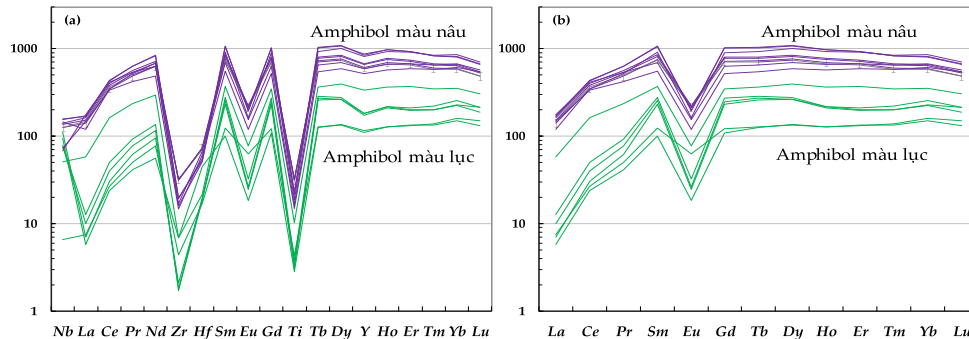


Hình 2. Phân loại phụ nhóm amphibol (a) và biến thiên thành phần hóa học (b, c, d, e) các khoáng vật amphibol khu vực núi ngầm Atlantis, sống núi tây nam Ấn Độ Dương (Nguyen et al., 2018)

Sự đa dạng màu sắc của amphibol được thể hiện qua hàm lượng TiO_2 và Al_2O_3 . Nếu thành phần chứa $\text{TiO}_2 < 0,5\%$ và $\text{Al}_2\text{O}_3 < 3\%$, chúng là amphibol lục đến không màu. Trường hợp với amphibol màu nâu, thành phần chứa $\text{TiO}_2 = 0,5-1,5\%$ và $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3-6\%$. Trong khi đó, amphibol màu nâu sẫm thường có $\text{TiO}_2 > 1,5\%$ và $\text{Al}_2\text{O}_3 > 6\%$. Các hạt amphibol có nhân màu nâu và rìa ngoài màu lục đến không màu cũng thường xuyên được quan sát thấy. Nhìn chung, quan hệ giữa hàm lượng Al_2O_3 và TiO_2 , Na_2O , SiO_2 ; và giữa Mg# (60-75%) và TiO_2 của khoáng vật amphibol là quan hệ tuyến tính tương đối chặt chẽ (Hình 2. b, c, d, e).

Thành phần các nguyên tố vết và đất hiếm của các khoáng vật amphibol có dải biến thiên khá rộng, trong đó các khoáng vật amphibol màu nâu, nâu sẫm được làm giàu từ 200 đến 1000 lần so với chondrit. Tất cả các đường cong được đặc trưng bởi các dị thường âm của Eu và các nguyên tố có trường lực mạnh (Zr, Hf, Ti) so với các nguyên tố đất hiếm liền kề (Hình 3). Mặc dù các đường cong chẵn nhện song song nhau, tuy nhiên các khoáng vật amphibol màu nâu, nâu sẫm thường giàu các thành phần nguyên tố vết và đất hiếm hơn nhiều so với các khoáng vật amphibol màu xanh lục đến không màu, ngay cả khi 2 loại này có mặt trên cùng một khoáng vật. Điều này gợi ý rằng các khoáng vật amphibol màu lục và không màu là sản phẩm biến đổi nhiệt dịch từ amphibol màu nâu đỏ.

Thêm vào đó, các khoáng vật amphibol màu nâu trong các đai mạch plagiogranit có hàm lượng Nb tương đối cao; với tỷ số Nb/La thấp, dao động từ 0.39 đến 1.26, là đặc trưng để nhận biết amphibol có nguồn gốc magma thực thụ trong lớp vỏ đại dương (Coogan et al., 2001). Trong khi đó, các khoáng vật amphibol màu lục đến không màu có tỷ lệ Nb/La rất cao (0.86-16.59) so với nhóm amphibol màu nâu đỏ. Bởi lẽ nguyên tố Nb rất giàu trong các dung thể magma thực thụ, nhưng là nguyên tố linh động trong các dung dịch nhiệt dịch, ám chỉ rằng các dung dịch nhiệt dịch đã tồn tại trong các loại đá này sau khi chúng được hình thành.

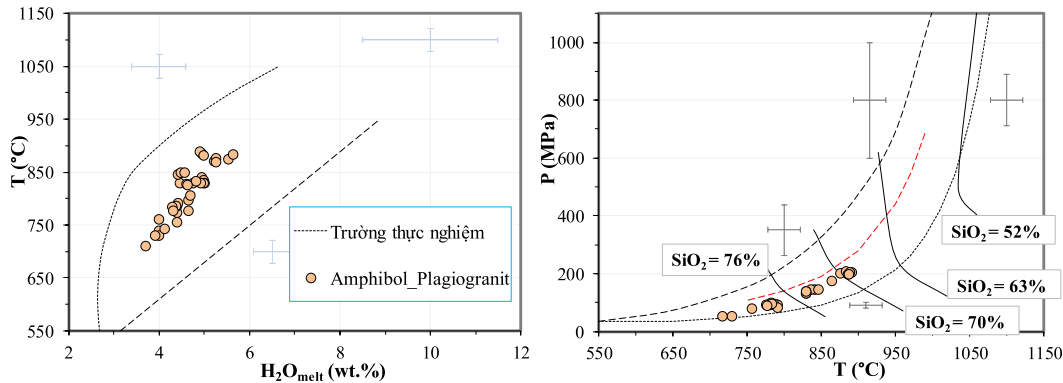


Hình 3. Thành phần các nguyên tố vết (a) và đất hiếm (b) của khoáng vật amphibol trong các đai mạch plagiogranit. Số liệu từ (Nguyen et al., 2018) được chuẩn hóa theo chondrit

3.3. Điều kiện và cơ chế thành tạo

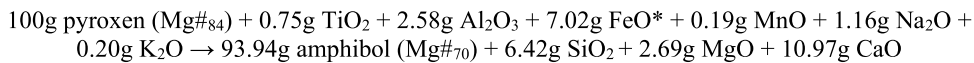
Để hiểu rõ hơn về điều kiện thành tạo các khoáng vật amphibol, các đá plagiogranit và đặc điểm dung thể magma, tác giả đã tính toán điều kiện nhiệt độ, áp suất, thành phần của dung thể magma bão hòa SiO_2 cân bằng với các khoáng vật amphibol theo mô hình thực nghiệm của (Ridolfi and Renzulli, 2012; Ridolfi et al., 2010). Kết quả nghiên cứu cho thấy, để kết tinh được các khoáng vật này, dung thể magma ở nhiệt độ 700 - 900 °C, áp suất 50 - 200 Mpa (ứng với độ sâu thành tạo <1 km) phải có hàm lượng $\text{SiO}_2 \geq 70\%$, $\text{H}_2\text{O} = 4 - 6\%$ (Hình 4).

Tuy nhiên dung thể magma basalt mẹ (MORB) có đặc tính nóng và rất khô (chỉ 0,2-0,4% H_2O), do đó việc luận giải cơ chế thành tạo dung thể bão hòa SiO_2 – nguồn gốc các đai mạch plagiogranit này còn là vấn đề gây nhiều tranh cãi, cần thêm nhiều nghiên cứu chuyên sâu hơn trong tương lai. Mặc dù vậy, căn cứ vào đặc điểm kiến trúc các khoáng vật, cấu tạo các đá, các số liệu địa hóa đã trình bày cho phép khẳng định nhóm khoáng vật amphibol màu nâu đỏ và các đai mạch plagiogranit này có nguồn gốc magma thực thụ.



Hình 4. Điều kiện thành tạo khoáng vật amphibol và các đai mạch plagiogranit.

Ngoài ra trong các đai mạch mang đặc trưng của quá trình thay thế, amphibol màu nâu đến nâu sẫm luôn xuất hiện tại ranh giới mạch, có kiến trúc liên tục từ pyroxen trong các đá gabro. Bên cạnh đó, kiến trúc tạo ra bởi nhiều hạt plagioclas nghèo calci được bao chứa trong amphibol màu nâu được bảo tồn từ kiến trúc khảm ophit thường quan sát thấy trong các đá gabro (Hình 1. b). Đây là minh chứng rõ ràng cho sự thay thế đồng hình từ các đá gabro để tạo nên các đai mạch plagiogranit với cơ chế hòa tan - tái kết tinh thường được quan sát thấy trong các đá biến chất (Putnis, 2002; Putnis, 2009; Putnis and Austrheim, 2013; Putnis and John, 2010; Putnis and Putnis, 2007; Ruiz-Agudo et al., 2014). Do đó, tác giả đề xuất rằng khoáng vật pyroxen trong đá gabro đã phản ứng với dung thể magma muộn tạo ra amphibol màu nâu đến nâu sẫm, đồng thời với sự thành tạo của plagioclas nghèo calci từ plagioclas giàu calci trong gabro (chi tiết xem thêm trong Nguyen et al., 2018) để thành tạo các đai mạch plagiogranit. Quá trình tái cân bằng giữa dung thể magma muộn với pyroxen trong gabro tạo thành các khoáng vật amphibol màu nâu, nâu sẫm được tính toán định lượng bằng công thức của Gresens trong (Gresens, 1967), và được thể hiện thông qua phương trình sau:



Đây là quá trình tái cân bằng giữa khoáng vật/đá có trước - dung thể magma bão hòa SiO_2 với cơ chế hòa tan - tái kết tinh (Putnis, 2002; 2007; 2009; 2010;) diễn ra phức tạp hơn nhiều so với quá trình kết tinh các khoáng vật thông thường.

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu chính có thể được tóm gọn lại như sau:

- Các khoáng vật amphibol màu nâu đến nâu sẫm có hàm lượng TiO_2 tương đối cao (1-3%), giàu các nguyên tố vết và nhóm đất hiếm (gấp 200 đến 1000 lần so với chondrit) và do đó cả các đai mạch plagiogranit có nguồn gốc từ dung thể magma muộn.
- Các khoáng vật amphibol màu lục đến không màu là sản phẩm biến đổi từ các khoáng vật amphibol màu nâu, chúng tỏ hoạt động nhiệt dịch xảy ra sau khi các đai mạch plagiogranit được thành tạo, góp phần làm xóa nhòa nguồn gốc magma thực thụ của các đai mạch.
- Ngoài cơ chế kết tinh trực tiếp từ dung thể magma giàu H_2O , SiO_2 (chẳng hạn ở các khe nứt trong đá có trước), các khoáng vật amphibol màu nâu đến nâu sẫm còn được thành tạo bằng quá trình thay thế đồng hình của khoáng vật pyroxen trong các đá gabro.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu sử dụng mẫu lõi khoan thuộc Chương trình Khám phá Đại dương (IODP, Lỗ khoan U1473A, <https://www.iodp.org/about-iodp>). Công tác gia công, phân tích mẫu được thực hiện tại trường Đại học Kanazawa, với sự giúp đỡ tận tình của Yumiko Harigane tại Viện Khoa học và Công nghệ Địa chất Nhật Bản trong công tác đo vẽ X-ray, và Akihiro Tamura trong công tác phân tích ICP-MS. Bên cạnh đó, những trao đổi, thảo luận của tác giả với giáo sư Biswajit Ghosh (Đại học Kolkata, Ấn Độ) rất hữu ích để hoàn thiện công trình này. Tác giả xin chân thành cảm ơn các sự hỗ trợ nêu trên.

Tài liệu tham khảo

- Coogan, L.A., Wilson, R.N., Gillis, K.M., MacLeod, C.J., 2001. Near-solidus evolution of oceanic gabbros: insights from amphibole geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(23): 4339-4357.
- Charlier, B., Grove, T.L., 2012. Experiments on liquid immiscibility along tholeiitic liquid lines of descent. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 164(1): 27-44.
- Charlier, B. et al., 2011. Large-scale silicate liquid immiscibility during differentiation of tholeiitic basalt to granite and the origin of the Daly gap. *Geology*, 39(10): 907-910.
- Dixon, S., Rutherford, M.J., 1979. Plagiogranites as late-stage immiscible liquids in ophiolite and mid-ocean ridge suites: An experimental study. *Earth and Planetary Science Letters*, 45(1): 45-60.
- Gresens, R.L., 1967. Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, 2: 47-65.
- Hawthorne, F.C. et al., 2012. Nomenclature of the amphibole supergroup. *American Mineralogist*, 97 (11-12): 2031.
- Koepke, J., Berndt, J., Feig, S.T., Holtz, F., 2006. The formation of SiO₂-rich melts within the deep oceanic crust by hydrous partial melting of gabbros. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153(1): 67-84.
- Koepke, J., Berndt, J., Feig, S.T., Holtz, F., 2007. The formation of SiO₂-rich melts within the deep oceanic crust by hydrous partial melting of gabbros. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 153(1): 67-84.
- Koepke, J., Feig, S., Snow, J., 2005. Late stage magmatic evolution of oceanic gabbros as a result of hydrous partial melting: Evidence from the Ocean Drilling Program (ODP) Leg 153 drilling at the Mid-Atlantic Ridge. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 6(2): 27 pages.
- Koepke, J., Feig, S.T., Snow, J., Freise, M., 2004. Petrogenesis of oceanic plagiogranites by partial melting of gabbros: an experimental study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 146(4): 414-432.
- Locock, A.J., 2014. An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Computers & Geosciences*, 62(Supplement C): 1-11.
- MacLeod, C.J. et al., 2017. Site U1473. Proceedings of the International Ocean Discovery Program, 360: 136.
- Niu, Y., Gilmore, T., Mackie, S.M., Bach, W., 2002. Mineral chemistry, whole-rock compositions, and petrogenesis of Leg 176 gabbros; data and discussion. *Proceedings of the Ocean Drilling Program; scientific results; return to Hole 735B; covering Leg 176 of the cruises of the drilling vessel JOIDES Resolution, Cape Town, South Africa, to Cape Town, South Africa; Site 735, 8 October-9 December 1997*, 176: 60.
- Nguyen, D.K. et al., 2018. Occurrence of Felsic Rocks in Oceanic Gabbros from IODP Hole U1473A: Implications for Evolved Melt Migration in the Lower Oceanic Crust. *Minerals*, 8(12): 583.
- Putnis, A., 2002. Mineral replacement reactions: From macroscopic observations to microscopic mechanisms. *Mineralogical Magazine*, 66(5): 689-708.
- Putnis, A., 2009. Mineral Replacement Reactions. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 70(1): 87-124.
- Putnis, A., Austrheim, H., 2013. *Mechanisms of Metasomatism and Metamorphism on the Local Mineral Scale: The Role of Dissolution-Reprecipitation During Mineral Re-equilibration*. In: Harlov, D.E., Austrheim, H. (Eds.), *Metasomatism and the Chemical Transformation of Rock: The Role of Fluids in Terrestrial and Extraterrestrial Processes*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 141-170.
- Putnis, A., John, T., 2010. Replacement Processes in the Earth's Crust. *Elements*, 6(3): 159-164.
- Putnis, A., Putnis, C.V., 2007. The mechanism of reequilibration of solids in the presence of a fluid phase. *Journal of Solid State Chemistry*, 180(5): 1783-1786.
- Philpotts, A.R., 1979. Silicate Liquid Immiscibility in Tholeiitic Basalts. *Journal of Petrology*, 20 (1): 99-118.
- Ridolfi, F., Renzulli, A., 2012. Calcic amphiboles in calc-alkaline and alkaline magmas: thermobarometric and chemometric empirical equations valid up to 1,130°C and 2.2 GPa. *Contributions to*

Mineralogy and Petrology, 163(5): 877-895.

Ridolfi, F., Renzulli, A., Puerini, M., 2010. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(1): 45-66.

Ridolfi, F. et al., 2018. AMFORM, a new mass-based model for the calculation of the unit formula of amphiboles from electron microprobe analyses. *American Mineralogist*, 103(7): 1112-1125.

Ruiz-Agudo, E., Putnis, C.V., Putnis, A., 2014. Coupled dissolution and precipitation at mineral–fluid interfaces. *Chemical Geology*, 383(Supplement C): 132-146.

W. Le Maitre, R. et al., 2002. *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press., New York, United States, 236, pp.

ABSTRACT

Petro-geochemical characteristics of amphiboles in the plagiogranites recovered from Atlantis Bank, Southwest Indian Ridge

Nguyen Khac Du¹, Tomoaki Morishita²

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Kanazawa University, Japan

Plagiogranites appear in small quantities (1-2%), penetrating gabbroic rocks in oceanic crust at ultraslow spreading Southwest Indian Ridge. While the gabbros are crystallized from hot-dry parental MORB; the amphiboles - the main component in plagiogranites, are formed from SiO₂ saturated magmas rich in H₂O (4-6 wt%). Therefore, the geochemical characteristics, forming conditions of these minerals play key roles in studying the formation of plagiogranites and the nature of magmatic evolution at mid-oceanic ridge. The analytical methods including microscopic observations, X-ray mapping, EPMA, LA-ICP-MS were applied in this study systematically. Results show that: (1) Brownish amphiboles rich in TiO₂ (1-3%) and trace elements including REEs (200-1000 times higher than in chondrite) are crystallization products at the late stage of magmatic evolution; (2) Green - colorless amphiboles are hydrothermal products from the brown amphiboles; (3) In addition to the crystallization mechanism from highly evolved melts, the amphiboles could be formed by pseudomorphic replacement processes from earlier clinopyroxene in the gabbros

Keywords: Oceanic crust, plagiogranite, magmatic - hydrothermal amphiboles, crystallization, pseudomorphic replacement.