



PHÂN TÍCH ĐỒNG VỊ Nd KHOÁNG VẬT TITANIT XÁC ĐỊNH NGUỒN CUNG CẤP VẬT CHẤT QUẶNG ĐẤT HIẾM, SẮT, ĐỒNG MỎ SIN QUYỀN LÀO CAI

Ngô Xuân Đắc, Trịnh Hải Sơn, Quách Đức Tín, Vũ Mạnh Hùng

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Khương Thế Hùng

Trường Đại học Mở- Địa chất

Phan Hoàng Giang

Liên đoàn Địa chất Xạ Hiếm, Cục Địa chất Việt nam

Email: dacbmks@gmail.com

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, khoa học địa chất đã phát triển không ngừng trong việc nghiên cứu các phương pháp mới để xác định tuổi tạo quặng và nguồn cung cấp vật chất quặng. Hai yếu tố này là chìa khóa để mở ra các vấn đề liên quan khác trong nghiên cứu địa chất các mỏ khoáng sản. Hiện nay, các nhà địa chất khoáng sản đang rất quan tâm nghiên cứu nguồn cung cấp vật chất cho quá trình tạo quặng bởi vì nó không chỉ mang ý nghĩa khoa học mà còn có giá trị thực tiễn lớn trong việc định hướng cho các giai đoạn tiếp theo để tìm kiếm thăm dò và đánh giá triển vọng khoáng sản. Trong những thập niên trước một số phương pháp để xác định nguồn cung cấp vật chất cho quá trình tạo quặng đã bắt đầu sử dụng, mỗi phương pháp có ưu, nhược điểm riêng và thường chỉ áp dụng hiệu quả đối với mỗi loại hình mỏ nhất định. Trong đó có thể kể đến phương pháp phân tích đồng vị S, Pb đã được sử dụng rộng rãi để xác định nguồn cung cấp vật chất cho quặng sulfua. Tuy nhiên, đối với các mỏ khoáng sản khoáng vật quặng không phải là sulfua hoặc không liên quan đến khoáng vật sulfua và những mỏ được thành tạo đa kỳ trải qua nhiều quá trình nhiệt dịch chồng trong giai đoạn sau thì phương pháp đồng vị S, Pb khó thực hiện hoặc thậm chí không thể thực hiện được để luận giải nguồn vật chất tạo quặng. Do đó, phương pháp phân tích đồng vị Nd bằng phương pháp LA-ICP-MS cho khoáng vật titanit là một phương pháp phân tích hiệu quả có thể giải quyết những vấn đề trên mà các phương pháp khác không thực hiện được. Trong bài viết này chúng tôi giới thiệu phương pháp áp dụng phân tích đồng vị Nd cho hai loại titanit hình thành trong hai giai đoạn tạo quặng khác nhau để xác định nguồn cung cấp vật chất cho quặng đất hiếm và quặng sắt, đồng khu mỏ Sin Quyền.

Từ khóa: Sin Quyền, đồng vị Nd, titanit

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Titanit ($\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$) hay còn có tên gọi Sphen là khoáng vật phụ thường xuất hiện trong đá magma axit, kiềm và trung tính, cũng như trong đá biến chất (Frost, 2000; Xiang Hua, 2007; Kohn, 2017). Ngoài ra, titanit được hình thành trong các quá trình biến chất nhiệt động gắn liền với sự hình thành các đới chứa quặng đặc biệt ở các mỏ kiểu skarn (Li, 2010; Deng, 2014; Ngô Xuân Đắc, 2020). Titanit thường chứa một hàm lượng U nhất định dao động trong

khoảng 10-100 ppm, hệ đồng vị U-Pb của titanit có nhiệt độ đóng cao (660-700°C). Do vậy, titanit là khoáng vật lý tưởng để xác định tuổi thành tạo bằng phương pháp U-Pb (Tilton và Grunenfelder, 1968; Cherniak, 1993; Scott và St-Onge, 1995; Aleinikoff, 2002; Amelin, 2009). Những nghiên cứu gần đây cho thấy, trong tinh thể titanit có sự thay thế đa hình của các nguyên tố. Titanit rất giàu các nguyên tố trường lực cao (HFSE) và các nguyên tố đất hiếm (REE). Hàm lượng Nd trong titanit có thể



đạt tới 50-500 ppm và tỷ lệ Sm/Nd thấp (thường <0,5), do vậy nó trở thành khoáng chất lý tưởng để phân tích xác định đồng vị Sm-Nd bằng phương pháp bào mòn trực tiếp tia laser. Đồng vị Nd trong titanit có nhiệt độ đóng phân tử khoảng 850-950°C (Cherniak, 1995), có thể được sử dụng để xác định nguồn gốc của các thể magma hoặc dung dịch nhiệt dịch tạo quặng (Tiepolo, 2002; Gregory, 2009; Laurent, 2017).

Không giống như zircon hoặc một số khoáng vật phụ khác, titanit có tính linh động cao và có thể dễ dàng bị tác động bởi các phản ứng hóa học với các khoáng vật hoặc chất lỏng khác. Vì vậy, hệ đồng vị và các nguyên tố vi lượng của titanit thường hình thành các đới sinh trưởng khác nhau và mỗi đới được đặc trưng cho một quá trình biến đổi nhiệt dịch riêng biệt. Mỗi giai đoạn khoáng hóa được đặc trưng bởi sự kết hợp một số nguyên tố nhất định và những nguyên tố này hàm lượng, thành phần có sự khác biệt rõ ràng ở các đới khác nhau trong mỗi khoáng vật titanit. Những thông tin về sự khác biệt trong tổ hợp nguyên tố, thành phần đồng vị Sm-Nd và tuổi U-Pb trong titanit là cơ sở quan trọng để giải thích nguồn gốc và các quá trình biến chất nhiệt động học của các mỏ quặng trong các giai đoạn khác nhau (Sun, 2010; Cao, 2015). Trong những năm gần đây, phương pháp LA-ICP-MS đã trở thành một công cụ hữu hiệu để ứng dụng các phương pháp phân tích đồng vị xác định tuổi và nguồn gốc các khoáng vật tạo đá, quặng, đặc biệt là các khoáng vật có tính phân đới, nhằm xác định chính xác thời điểm và các đặc điểm địa hóa khoáng vật trong các giai đoạn khác nhau của quá trình hình thành đá và mỏ quặng. Phương pháp này không chỉ cung cấp thông tin về quá trình biến đổi của các nguyên tố trong mỗi đới khoáng vật mà còn giảm thiểu sự phức tạp và thời gian cần thiết cho việc chuẩn bị mẫu liên quan đến hóa chất trước khi phân tích mà vẫn đảm bảo độ chính xác cao.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

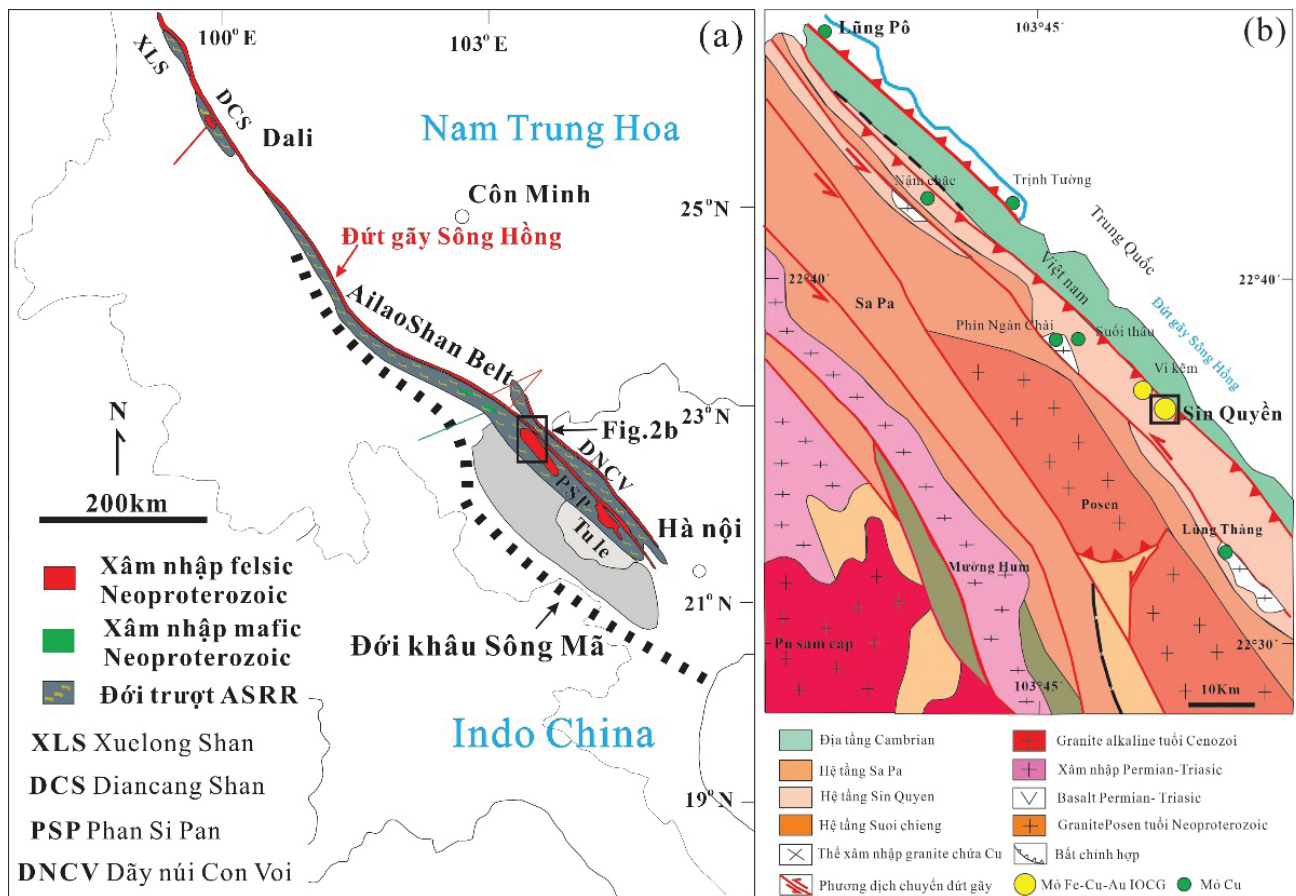
2.1. Đặc điểm địa chất mỏ Sin Quyền

Mỏ Sin Quyền nằm ở phía Đông Bắc của đới trượt Ailao Shan-Sông Hồng, thuộc đai tạo khoáng Lũng Pô - Sin Quyền nơi có khoảng hơn 10 mỏ quặng Fe-Cu phân bố, trong đó mỏ Sin Quyền có

trữ lượng lớn nhất khoảng 52,8 triệu tấn quặng với hàm lượng Fe (14%), Cu (0,91%), LREE (0,7%) và 0,44 g/t Au (McLean, 2001) (Hình H.1). Kết quả thăm dò bổ sung khoan sâu -550 m gần đây, đã phát hiện thêm nguồn tài nguyên hơn 90 triệu tấn quặng với hàm lượng trung bình 0,9% Cu (Pham, 2015). Mỏ Sin Quyền bắt đầu khai thác lộ thiên vào năm 2006, với sản lượng trung bình khoảng 30.000 tấn Cu kim loại hàng năm. Mặc dù hàm lượng các nguyên tố đất hiếm trong mỏ khá cao nhưng chúng vẫn chưa được khai thác vì chưa có công nghệ tách nguyên tố đất hiếm từ các khoáng vật chứa chúng. Trong khu vực mỏ Sin Quyền, các thành tạo trầm tích biến chất thuộc hệ tầng Sin Quyền chiếm diện tích chủ yếu. Căn cứ vào đặc điểm thạch học, hệ tầng Sin Quyền được chia thành hai tập: tập dưới phân bố ở rìa Tây Nam khu vực mỏ, kéo dài theo phương Tây Bắc-Đông Nam. Thành phần gồm đá phiến thạch anh 2 mica có graphit bị migmatit hóa và gneisbiotit có graphit bị migmatit hoá, đôi chỗ có gập granat, turmalin. Tập trên hệ tầng Sin Quyền nằm ở phía Đông Bắc khu vực mỏ chiếm hầu hết diện tích của mỏ Sin Quyền. Thành phần gồm đá phiến thạch anh 2 mica bị migmatit hoá, gneisbiotit bị migmatit hoá. Chiều dày tầng biến đổi từ 500 - 800m, phương dao động từ 280-3200, góc dốc từ 50° đến 85°, đa số cắm về Đông Bắc. Các thân quặng nằm trong đá phiến mica và đá marble của hệ tầng Sin Quyền, thân quặng thường ở dạng thấu kính quặng tương đối giàu, đôi chỗ dạng dải. Theo tài liệu hiện có trong phạm vi mỏ Sin Quyền đã xác định được 17 thân quặng dạng thấu kính, các thân quặng được khống chế bởi đới dập vỡ nứt nẻ và thường phát triển theo hướng Đông Tây và cắm về phía Bắc hoặc Nam. Các thân quặng có chiều dài dao động từ 50 - 600 m, rộng 5 - 50 m nằm trong đá phiến mica và đá hoa của hệ tầng Sin Quyền (Hình H.1). Trong khu mỏ xuất hiện một vài thể magma felsic chủ yếu là monzogranit, granodiorit, và granit. Kết quả phân tích tuổi các thể magma này dao động trong khoảng 736 ± 8 Ma và 758 ± 6 Ma (Li và nnk., 2017a). Ngoài ra, khu mỏ có các đai mafic nhưng chưa rõ tuổi, đồng thời các thể mafic này bị biến đổi chlorit, actinolit, epidot, sericit. Những nghiên cứu trước chỉ ra rằng mỏ đồng Sin Quyền trải qua một thời kỳ tạo khoáng được chia ra làm 3 giai

đoạn. Giai đoạn đầu tiên là quá trình biến đổi natri hóa trước tạo quặng, tiếp đến là giai đoạn biến đổi Ca-K hóa đi cùng với nó là quá trình tạo quặng sắt và đất hiếm. Giai đoạn thứ 3 là quá trình biến đổi K hóa sản sinh ra tổ hợp khoáng vật quặng chủ yếu là Cu, Au (Li và nnk., 2017b). Nghiên cứu mới nhất chỉ ra rằng mỏ Sin Quyền trải qua hai thời kỳ tạo quặng (Ngo và nnk 2020). Thời kỳ thứ nhất tạo quặng đất hiếm liên quan quá trình Skarn-Ca, trong thời kỳ này cũng được chia ra làm 3 giai đoạn. Giai đoạn trước tạo quặng được đặc trưng bởi biến đổi natri hóa và sau đó là quá trình biến đổi Ca hóa chồng lên quá trình biến đổi Na hóa tạo lên tổ hợp cộng sinh khoáng vật amphibol, allanit,

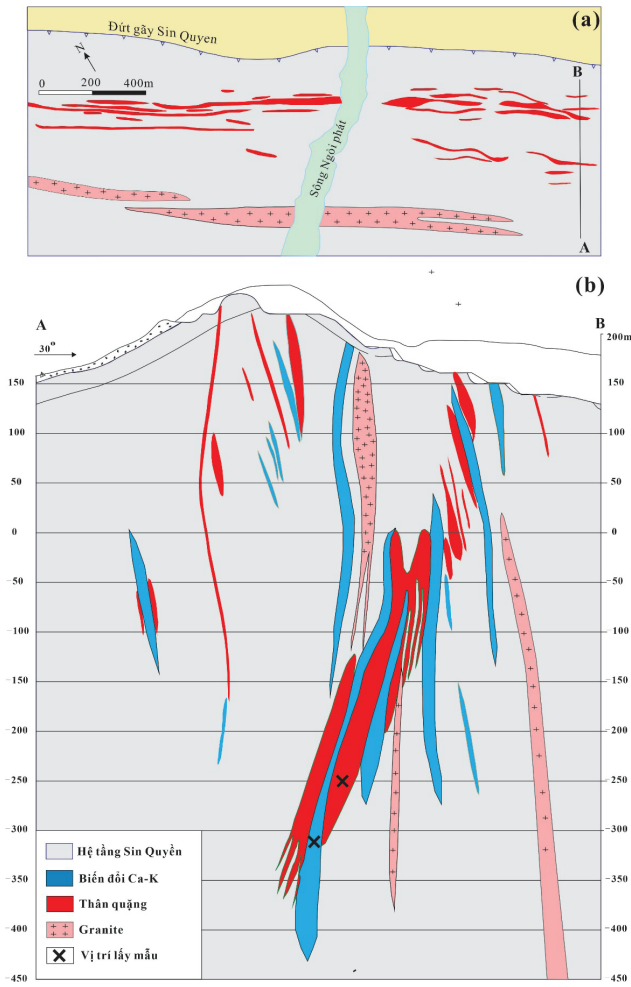
và titanit với một lượng ít hơn là biotit và epidot. Đây là giai đoạn tạo quặng đất hiếm quan trọng trong khu mỏ Sin Quyền. Thời kỳ thứ 2 là giai đoạn tạo quặng sắt, đồng khu mỏ Sin Quyền. Trong thời kỳ này cũng được chia làm 3 giai đoạn biến đổi nhiệt dịch, giai đoạn đầu là quá trình biến đổi Na hóa trước tạo quặng và giai đoạn 2 là quá trình biến đổi Ca-Fe hóa tạo tổ hợp khoáng vật chủ yếu là amphibol, titanit, magnetit, and chalcopyrit đây là giai đoạn liên quan đến quá trình tạo quặng sắt là chủ yếu và giai đoạn 3 quá trình K-Fe hóa đặc trưng bởi sự chiếm ưu thế hình thành biotit và đây là giai đoạn chủ yếu liên quan đến quá trình tạo quặng đồng khu mỏ Sin Quyền.



H.1. a) Sơ đồ kiến tạo khu vực Tây Bắc Việt Nam và Tây Nam Trung Quốc; b) Sơ đồ địa chất đại sinh khoáng Fe-Cu-Au, Sin Quyền-Lũng Pô (Tran et al., 2014)

Để chứng minh nguồn vật chất tạo quặng ở mỏ Sin Quyền đến từ một hay nhiều nguồn khác nhau phải xác định nguồn vật chất tạo quặng trong từng giai đoạn. Khoáng vật titanit phân bố rộng rãi trong đới chứa quặng mỏ Sin Quyền, chúng được

thành tạo ở cả hai giai đoạn thành tạo quặng đất hiếm và quặng sắt, đồng. Vì vậy, chúng tôi áp dụng phương pháp phân tích đồng vị Nd đối với khoáng titanit để xác định nguồn vật chất tạo quặng đất hiếm, sắt, đồng trong hai giai đoạn tạo quặng của



H.2. a) Sơ đồ địa chất mỏ Sin Quyên (Tạ Việt Dũng, Phạm Quốc Duy, 2015); b) mặt cắt địa chất theo đường A-B

mỏ Sin Quyên.

2.2. Phương pháp phân tích

Hai mẫu phân tích đại diện cho hai giai đoạn tạo quặng đất hiếm và quặng sắt đồng được lấy từ lỗ khoan nên đảm bảo mẫu còn tươi, chưa bị ảnh hưởng bởi quá trình phong hóa (Hình H.3, H.4).

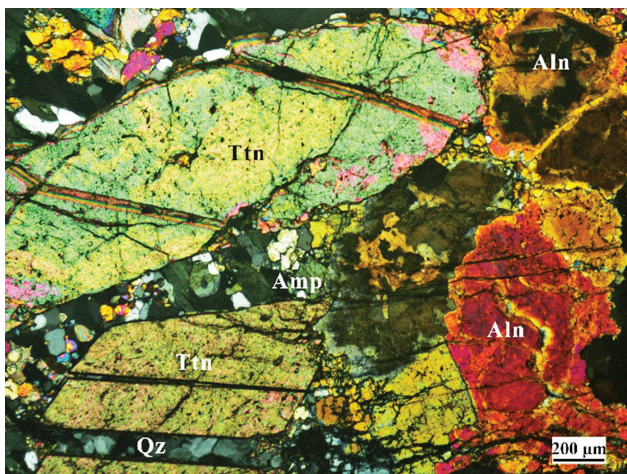
H.3. Mẫu quặng đất hiếm chứa hàm lượng lớn khoáng vật titanit và allanit hình thành trong giai đoạn đầu quá trình tạo quặng



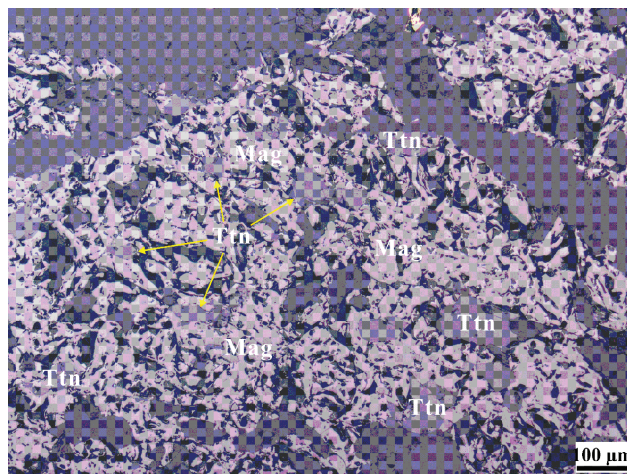
H.4. Mẫu quặng sắt-đồng chứa nhiều khoáng vật titanit kích thước nhỏ được hình thành trong giai đoạn hai của quá trình tạo quặng

Đầu tiên, mẫu được phân tích dưới kính hiển vi lát mỏng và khoáng tương để xác định hai loại titanit được thành tạo trong hai giai đoạn tạo quặng khác nhau (Hình H.5, H.6). Đồng thời, trên cơ sở kết quả phân tích tuổi quặng đối với khoáng vật titanit ở hai thời kỳ khoáng hóa khác nhau đã được chứng minh trong nghiên cứu trước đây, mẫu được tách thành hai loại tương ứng với hai thời kỳ khoáng hóa để gia công mẫu và tuyển chọn hạt khoáng vật titanit. Trước khi tiến hành phân tích đồng vị Nd trên hệ thống phân tích LA-ICP-MS, các hạt khoáng vật titanit được nghiên cứu dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM) để xác định cấu trúc khoáng vật và chọn điểm phân tích thích hợp (Hình H.7, H.8). Vị trí điểm phân tích đồng vị Nd phải đảm bảo không có vết nứt, không có bao thể để giảm thiểu ảnh hưởng đến kết quả phân tích.

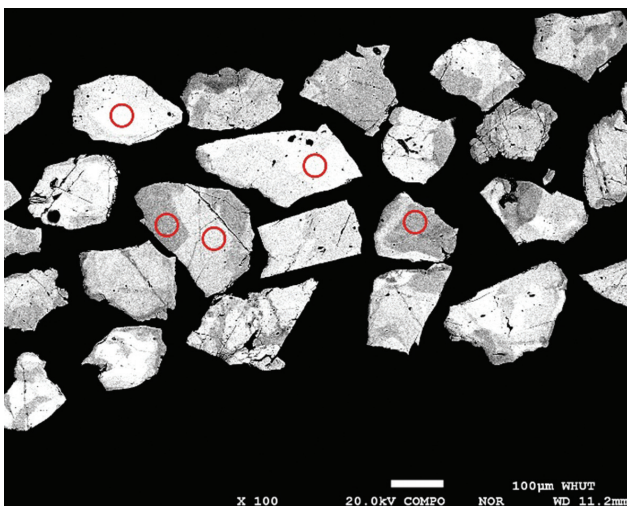
Phân tích đồng vị Nd trong titanit tiến hành bằng thiết bị Neptune Plus LA-ICP-MS được trang bị hệ thống bảo mòn laser ArF của Geolas HD excimer (Coherent, Göttingen, Đức) tại trường Đại học Địa chất Trung Quốc. Hợp phần bảo mòn sử dụng helium làm khí dẫn và được hợp nhất với argon làm khí bổ sung sau khi bảo mòn. Để tăng cường độ nhạy của đồng vị Nd, một lượng nhỏ nitor đã được thêm vào dòng khí argon, theo nghiên cứu của Xu (2015). Đường kính điểm bắn được chọn là 90 μm tùy thuộc vào cường độ tín hiệu Nd. Tần số xung là 10 Hz và cường độ laser được duy trì ở mức xấp xỉ 8 J/cm^2 . Một thiết bị làm trơn tín hiệu mới đã được sử dụng để loại bỏ ảnh hưởng của các dao động tín hiệu ngắn và loại bỏ thủy ngân khỏi nền theo báo cáo của Hu (2015). Để xác minh độ chính xác của phương pháp, hai khoáng vật titanit tự nhiên là MKED1 và SP-Ttn-01 đã được



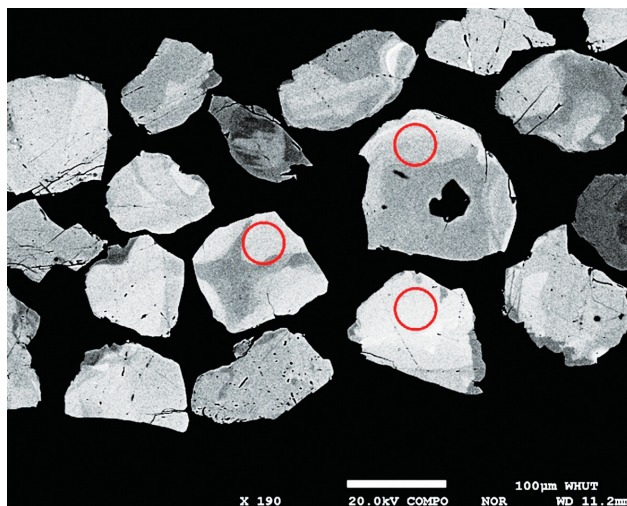
H.5. Titanit (Ttn) kích thước lớn (0,3-1 mm) được hình thành trong giai đoạn đầu cùng với quặng đất hiếm allanit (Aln)



H.6. Titanit (Ttn) kích thước nhỏ (0,01-0,02 mm) được hình thành trong giai đoạn hai cùng với magnetit (Mag)



H.7. Phân tích SEM xác định điểm bản đồng vị Nd đối với titanit thành tạo giai đoạn đầu.



H.8. Phân tích SEM xác định điểm bản đồng vị Nd đối với titanit thành tạo giai đoạn hai.

sử dụng làm mẫu chuẩn để hiệu chỉnh.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả phân tích đồng vị Nd của titanit cho hai đoạn tạo quặng đất hiếm và quặng sắt, đồng mỏ Sin Quyền cho thấy: Titanit thế hệ 1 có các giá trị $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ lần lượt dao động trong khoảng (0,10057 - 0,13044) và (0,51178 - 0,51194). Titanit thế hệ thứ hai có các giá trị $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ lần lượt thay đổi trong phạm vi khoảng (0,07033 - 0,12181) và (0,51174 - 0,51203). Kết quả phân tích đồng vị Nd đóng vai trò là giá trị chỉ thị đối với các mỏ IOCG giàu REE đã được chứng minh trong các nghiên cứu trước đây (Johnson và McCulloch, 1995; Skirrow và cộng sự, 2007; Li và cộng sự, 2018). Kết quả phân tích đồng vị titanit

trong hai giai đoạn khoáng hóa cho thấy titanit thành tạo trong giai đoạn 1 có giá trị $\epsilon\text{Nd}(t)$ nằm trong khoảng từ -7,00 đến -5,43. Titanit thành tạo trong giai đoạn 2 có giá trị từ -4,31 đến -1,97 (Bảng 1). Sự khác biệt về thành phần đồng vị Nd giữa hai thế hệ titanit là do dung dịch nhiệt dịch chứa quặng hóa đến từ các nguồn khác nhau. Ngoài ra, giá trị đồng vị Nd các mẫu titanit giai đoạn 1 có một phần giá trị trùng với giá trị đồng vị Nd của đá trầm tích biến chất hệ tầng Sin Quyền, chứng tỏ nguồn dung dịch mang quặng đất hiếm trong quá trình di chuyển đi lên có sự tương tác với đá trầm tích biến chất của hệ tầng Sin Quyền (Hình H.9). Ngược lại, các mẫu titanit giai đoạn 2 thể hiện các giá trị $\epsilon\text{Nd}(t)$ tương đương với một số xâm nhập



felsic trong khu vực (Hình H.9), điều này cho thấy quặng Fe-Cu trong quá trình tạo khoáng giai đoạn 2 có nguồn gốc từ magma. Trong những năm gần đây, đã có những nghiên cứu chuyên sâu sử dụng các phương pháp phân tích hiện đại có hệ thống và chứng minh rằng mỏ Sin Quyền thuộc loại hình mỏ IOCG được thành tạo trong nhiều giai đoạn tạo khoáng khác nhau (Li, 2018; Ngô Xuân Đắc, 2020). Đối với các mỏ trải qua nhiều giai đoạn tạo quặng, việc nghiên cứu nguồn vật chất và tuổi tạo quặng rất khó khăn do ảnh hưởng của các quá trình biến đổi nhiệt dịch chồng trong giai đoạn sau.

Vì vậy, sử dụng các phương pháp phân tích đồng vị như phân tích đá tổng để xác định nguồn gốc của dung dịch tạo quặng sẽ không cho kết quả chính xác bởi vì đó chỉ là kết quả của sự pha trộn các đồng vị của các khoáng vật được thành tạo trong các giai đoạn khác nhau. Do vậy, giá trị thu được là giá trị đồng vị trung bình của các giai đoạn tạo quặng. Kết quả phân tích của đề tài cho thấy giá trị đồng vị Nd khoáng vật titanit trong hai giai đoạn tạo quặng đất hiếm và quặng sắt đồng có sự phân biệt rõ ràng, đây là cơ sở quan trọng để chứng minh quặng hóa mỏ đồng Sin Quyền được

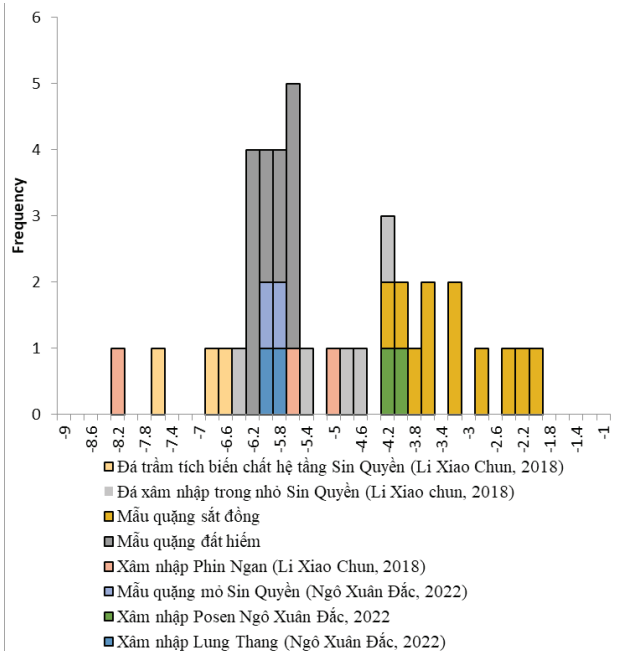
Bảng 1: Kết quả phân tích đồng vị Nd titanit đối với hai giai đoạn tạo quặng đất hiếm, sắt, đồng

Mẫu	Số hiệu	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} (t)
Quặng đất hiếm	X147	0.11887	0.51190	-5.7
		0.11638	0.51185	-6.3
		0.12982	0.51193	-6.3
		0.12146	0.51189	-6.2
		0.11561	0.51187	-5.8
		0.11551	0.51185	-6.3
		0.10767	0.51180	-6.4
		0.10057	0.51178	-5.9
		0.11150	0.51185	-5.8
		0.12224	0.51191	-5.8
		0.11375	0.51185	-6.0
		0.13044	0.51194	-6.1
Quặng sắt-đồng	H505	0.08525	0.51187	-3.0
		0.07618	0.51182	-2.9
		0.11481	0.51202	-3.3
		0.07818	0.51188	-2.0
		0.08655	0.51184	-3.8
		0.10091	0.51194	-3.3
		0.11004	0.51203	-2.5
		0.10292	0.51201	-2.2
		0.08370	0.51183	-3.6
		0.12181	0.51201	-4.3
		0.09487	0.51189	-3.7
		0.07033	0.51174	-4.0



Mẫu	Số hiệu	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
Granodiorit Lung Thang	LT1	0.1025	0.51189	-6.0
	LT2	0.09599	0.51183	-6.2
Granit phức hệ Posen Ngo, 2022	PS1	0.09571	0.51193	-4.1
	PS2	0.13065	0.51193	-4.2
Granit Sin Quyen	SQ1	0.13301	0.512	-6.2
	SQ2	0.11187	0.51203	-6.0
Granit Phin Ngan (Li, 2018)	PN-03	0.1149	0.511767	-8.4
	PN-04	0.1032	0.511841	-5.7
	PN-05	0.1007	0.511855	-5.2
Granit Sin Quyen (Li, 2018)	SQ-05	0.1198	0.512016	-4.8
	SQ-06	0.1177	0.51203	-4.3
	SQ-80	0.1364	0.512006	-6.6
	SQ-127A	0.1189	0.511968	-5.6
	SQ-129A	0.1133	0.511975	-4.9
Đá trầm tích biến chất hệ tầng Sin Quyen (Li, 2018)	SQ14-12	0.119	0.511911	-6.7
	SQ14-14	0.119	0.511857	-7.8
	SQ14-15	0.1116	0.511862	-7.0

Ghi chú: Dấu . trong bảng là dấu thập phân



H.9. Biểu đồ giá trị $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ hai loại titanite và các thể xâm nhập felsic, đá trầm tích biến chất trong khu vực và mỏ Sin Quyen

thành tạo đa kỳ và đa nguồn.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu chứng minh rằng phân tích

đồng vị Nd của khoáng vật titanit có thể được sử dụng để xác định nguồn cung cấp vật chất cho quá trình tạo quặng trong nghiên cứu các mỏ khoáng, đặc biệt là đối với các mỏ khoáng được thành tạo trong nhiều thời kỳ khác nhau. Kết quả phân tích đồng vị Nd đối với titanit thành tạo trong giai đoạn 1 cho thấy một phần giá trị trùng với giá trị đồng vị Nd của đá trầm tích biến chất hệ tầng Sin Quyen, chứng tỏ nguồn dung dịch mang quặng đất hiếm trong quá trình di chuyển đi lên có sự tương tác với đá trầm tích biến chất của hệ tầng Sin Quyen. Trong khi đó, kết quả phân tích đồng vị Nd đối với khoáng vật titanit được thành tạo trong giai đoạn 2 thể hiện các giá trị $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ tương đương với một số xâm nhập felsic trong khu vực. Kết quả cho thấy quặng Fe-Cu được thành tạo trong giai đoạn 2 của quá trình tạo quặng có nguồn gốc từ magma. Nghiên cứu này góp phần cung cấp những thông tin quan trọng và hệ phương pháp nghiên cứu đồng vị Nd trong khoáng vật titanit nhằm xác định nguồn gốc, nguồn vật chất tạo quặng, đặc biệt đối với các mỏ khoáng thành tạo đa kỳ mà các phương pháp phân tích khác không thực hiện được □



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Aleinikoff JN, Wintsch RP, Fanning CM and Dorais MJ. 2002. U-Pb geochronology of zircon and polygenetic titanite from the Glastonbury Complex, Connecticut, USA: An integrated SEM, EMPA, TIMS, and SHRIMP study. *Chemical Geology*, 188(1-2): 125 – 147.
2. Amelin Y. 2009. Sm-Nd and U-Pb systematics of single titanite grains. *Chemical Geology*, 261(1-2): 53 -61 Ballard JR, Palin JM and Campbell IH. 2002. Relative oxidation states of magmas inferred from Ce (IV)/Ce (III) in zircon: Application to porphyry copper deposits of northern Chile. *Mineralogy and Petrology*, 144(3): 347-364.
3. Chemiak DJ. 1993. Lead diffusion in titanite and preliminary results on the effects of radiation damage on Pb transport. *Chemical Geology*, 110(1-3): 177-194.
4. Chemiak DJ. 1995. Sr and Nd diffusion in titanite. *Chemical Geology*, 125(3-4): 219-232.
5. Frost BR, Chamberlain KR and Schumacher JC. 2000. Sphene (titanite): Phase relations and role as a geochronometer. *Chemical Geology*, 172(1-2): 131-148.
6. Gregory CJ, McFarlane CRM, Hermann J and Rubatto D. 2009. Tracing the evolution of calc-alkaline magmas; In-situ Sm-Nd isotope studies of accessory minerals in the Bergell Igneous Complex, Italy. *Chemical Geology*, 260(1-2): 73-86.
7. Kohn MJ. 2017. Titanite petrochronology. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 83(1): 419-441
8. Laurent O, Zeh A, Gerdes A, Villaros A, Gros K and Słaby E. 2017. How do granitoid magmas mix with each other? Insights from textures, trace element and Sr-Nd isotopic composition of apatite and titanite from the Matok pluton (South Africa). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 172(9): 80.
9. Li JW, Deng XD, Zhou MF, Liu YS, Zhao XF and Guo JL. 2010. Laser ablation ICP-MS titanite U-Th-Pb dating of hydrothermal ore deposits: A case study of the Tonglushan Cu-Fe-Au skarn deposit, SE Hubei Province, China. *Chemical Geology*, 270 (1-4): 56 -67.
9. Li, X.C., Zhou, M.F., Chen, W.T., Zhao, X.F., Tran, M.D., 2017b. Uranium-lead dating of hydrothermal zircon and monazite from the Sin Quyen Fe-Cu-REE-Au-(U) deposit, northwestern Vietnam. *Miner. Deposita* 53 (3), 399–416.
10. Ludwig KR. 2003. User's Manual for Isoplot/Ex, Version 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Lv BX, Wang Z, Zhang ND, Duan JZ, Gao ZY, Shen GF, Pan CY and Yao P. 1993. Sanjiang Granitoids and Their Metallogenic Specialization. Beijing: Geological Publishing House, 1-12.
11. Ngo Xuan Dac, Xin-Fu Zhao, Thanh Hai Tran, Xiao-Dong Deng, Jian-Wei Li Two episodes of REEs mineralization at the Sin Quyen IOCG deposit, NW Vietnam. *Ore Geology Reviews* 125 (2020) 103676.
12. Pham, Q.D., 2015. Báo cáo thăm dò bổ sung thân quặng 3 và thân quặng 7 mỏ Sin Quyên, Lào Cai, pp. 1–85.
13. Scott DJ and St-Onge MR. 1995. Constraints on Pb closure temperature in titanite based on rocks from the Ungava orogen, Canada: Implications for U-Pb geochronology and P-T-t path determinations. *Geology*, 23(12): 1123-1126.
14. Spandler C, Hammerli J, Sha P, Hilbert-Wolf H, Hu Y, Roberts E and Schmitz M. 2016. MKED1; A new titanite standard for in situ analysis of Sm-Nd isotopes and U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 425: 110-126.
15. Sun JF, Yang JH, Wu FY, Li XH, Yang YH, Xie LW and Wilde SA. 2010. Magma mixing controlling the origin of the Early Cretaceous Fangshan granitic pluton, North China Craton; In situ U-Pb age and Sr-, Nd-, Hf- and O-isotope evidence. *Lithos*, 120 (3-4): 421 -438.
16. Tạ Việt Dũng và nnk, 1975. Thăm dò tỉ mỉ khoáng sản đồng Sin Quyên, Lào Cai. Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.
17. Tiepolo M, Oberti R and Vannucci R. 2002. Trace-element incorporation in titanite: Constraints from experimentally determined solid/liquid partition coefficients. *Chemical Geology*, 191(1-3): 105 – 119.



18. Tilton GR and Grunefelder MH. 1968. Sphene: Uranium-lead ages. *Science*, 159(3822): 1458-1461.
19. Xiang H, Zhang L, Zhong ZQ, Zhou HW and Zeng W. 2007. Titanite: U-Pb dating and applications on defining P-T-t path of metamorphic rocks. *Advances in Earth Science*, 22 (12): 1258-1267.
20. Xu LL, Bi XW, Hu RZ and Tang YY. 2015. LA-ICP-MS mineral chemistry of titanite and the geological implications for exploration of porphyry Cu deposits in the Jinshajiang-Red River alkaline igneous belt, SW China. *Mineralogy and Petrology*, 109(2): 181-200.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ Đề tài Khoa học cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số B2022-MDA-15.

USING Nd ISOTOPE ANALYSIS OF TITANITE MINERAL TO DETERMINE MATERIAL SUPPLY SOURCE OF RARE EARTH, IRON AND COPPER ORES FROM SIN QUYEN MINE, LAO CAI

Ngo Xuan Duc, Trinh Hai Son, Quach Duc Tin, Vu Manh Hung
Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources

Khuong The Hung
Hanoi University of Mining and Geology

Phan Hoang Giang
Radioactive and Rare Minerals Division, Geological Department of Vietnam

ABSTRACT

IOCG deposits usually preserve evidence of multiple hydrothermal events and superimpose processes due to their prolonged geological history. Consequently, establishing precise constraints on the sources and ore-forming processes of IOCG deposits is challenging. Recently, the in-situ Laser Ablation Multi Collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-MC-ICPMS) technique has been widely used in dating and tracing hydrothermal ore deposits with complex evolutionary histories. In this study, we apply in-situ LA-MC-ICPMS Nd isotope analysis to two types of titanite from the Sin Quyen IOCG deposit in northwestern Vietnam to decipher the origin and ore-forming processes of the giant rare earth element (REE) and Fe-Cu deposit. Type 1 titanite (Ttn1) consists mainly of euhedral to subhedral crystals, with diameters ranging from 0.5 to 2 mm, closely associated with amphibole and allanite. In contrast, type 2 titanite (Ttn2) is characterized by uniform, fine grains closely associated with magnetite and chalcopyrite. Ttn1 displayed $\epsilon Nd(t)$ values ranging from -6.4 to -5.7‰, overlapping with the Nd values of the meta-sedimentary basement rocks at Sin Quyen deposit. Conversely, Ttn2 yielded values within the range of -4.3 to -2.0‰, similar to felsic intrusions in the region. The significant variation in Nd isotopes between the two types of titanite at Sin Quyen indicates different sources contributing to the REE and Fe-Cu mineralization at the Sin Quyen deposit. This finding may inspire other IOCG deposits with complex evolutionary histories.

Keyword: Sin Quyen, Nd isotope, Titanite

Ngày nhận bài: 04/11/2023;

Ngày gửi phản biện: 06/11/2023;

Ngày nhận phản biện: 15/12/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 18/12/2023.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.