

NGUỒN GỐC MỎ OXIT SẮT - ĐỒNG - VÀNG (IOCG) SIN QUYỀN, VIỆT NAM

Ngô Xuân Đắc, Trịnh Hải Sơn, Quách Đức Tín

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Khương Thế Hùng

Trường Đại học Mỏ- Địa chất

Email: dacbmks@gmail.com

TÓM TẮT

Mỏ oxit sắt - đồng - vàng (IOCG) là một trong những loại hình mỏ hiện nay được nhiều nhà địa chất tập trung nghiên cứu. Loại hình mỏ này thường có quy mô lớn, với nhiều loại khoáng sản có ích đi kèm và quặng thường được thành tạo ở độ sâu tương đối nông nên thu hút được rất nhiều nhà địa chất và khai thác khoáng sản quan tâm. Bài báo trình bày khái quát những nét chung nhất về đặc điểm mỏ IOCG như: khái niệm về loại hình mỏ IOCG; thời gian và không gian phân bố; bối cảnh thành tạo và các hoạt động magma liên quan quá trình tạo quặng; các đặc trưng về địa chất, cấu trúc khổng chế, đá biến đổi vây quanh quặng, biến đổi nhiệt dịch liên quan đến quặng hóa và mô hình nguồn gốc của quá trình tạo quặng. Từ những đặc điểm và khái niệm về loại hình nguồn gốc mỏ IOCG bài viết tiến hành đối sánh với mỏ Sin Quyền, Việt Nam để đưa ra kết luận về loại hình nguồn gốc mỏ này.

Từ khóa: IOCG, Sin Quyền.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Năm 1975, Công ty khai thác mỏ Tây Úc phát hiện ra mỏ quặng oxit sắt - đồng - vàng - uranium - đất hiếm rất lớn ở Olympic Dam khu vực phía nam nước Úc. Phát hiện đó đã làm cho các nhà địa chất và những chủ đầu tư khai thác khoáng sản đặc biệt quan tâm đến loại hình mỏ này. Chính vì vậy, từ thời điểm đó có rất nhiều nhà địa chất trên thế giới tập trung nghiên cứu về đặc điểm địa chất, quặng hóa và những đặc trưng điển hình cho loại hình nguồn gốc mỏ này. Vào những năm cuối của thế kỷ 20, Hitzman đã xếp mỏ Olympic Dam (Úc), mỏ quặng sắt Kiruna (Thụy Điển), các mỏ sắt khu vực núi Wernecke (Canada) và mỏ quặng Fe-Nb-REE-Baian Obo (Trung Quốc) vào cùng một loại hình mỏ, bởi chúng có nhiều điểm tương đồng về đặc điểm quặng hóa và nguồn gốc thành tạo. Đặc điểm chung của loại hình mỏ này là có hàm lượng oxit sắt thấp titan (magnetit, hematit) và liên quan mật thiết với quá trình biến đổi nhiệt dịch kiềm (natri hóa, kali hóa). Thân quặng thường được khổng chế theo các đới cấu trúc nhất định, đặc biệt phát triển trong các đới dập vỡ nứt nẻ. Hitzman (1992) lần đầu tiên đặt tên cho loại hình mỏ này với cái tên là mỏ oxit sắt - đồng - vàng, tên tiếng anh là: Iron oxide - copper - gold (IOCG). Những năm sau đó, một

cuộc cách mạng tìm kiếm những mỏ tương tự được mở rộng và kết quả đã phát hiện được một số mỏ ở đông bắc nước Úc, khu vực trung tâm dãy Andes ở Nam Mỹ và một loạt mỏ IOCG trữ lượng rất lớn được tìm thấy ở đai sinh khoáng vùng Carajas của Brazil. Sau 25 năm nghiên cứu chuyên sâu và mở rộng; đặc biệt là trong nửa đầu thế kỷ này, có rất nhiều quan điểm khác nhau về đặc điểm khoáng hóa và những biến đổi nhiệt dịch liên quan đến quặng hóa đối với loại hình mỏ IOCG. Tuy nhiên, các vấn đề về nguồn vật chất tạo khoáng và nguồn dung dịch tạo quặng, mối quan hệ giữa quá trình tạo khoáng với hoạt động magma và cơ chế làm giàu của các nguyên tố kim loại đến nay vẫn còn tranh luận. Do vậy, loại hình mỏ này vẫn được xem là một trong những loại hình mỏ được quan tâm nghiên cứu nhất hiện nay để làm rõ hơn những vấn đề còn tồn tại chưa được làm sáng tỏ. Ngoài ra, loại hình mỏ IOCG mang lại giá trị kinh tế rất lớn trong khai thác, ngoài quặng sắt, đồng, vàng còn có đất hiếm.

Mỏ Sin Quyền thuộc tỉnh Lào Cai là một trong những mỏ có trữ lượng lớn của Việt Nam, ngoài sản lượng khai thác quặng đồng, thì vàng cũng mang lại giá trị kinh tế lớn cho mỏ. Mỏ đồng Sin Quyền được phát hiện vào năm 1961, từ cuối năm



1961 đến 1969 mở được tìm kiếm và thăm dò tỉ mỉ do Đoàn Địa chất 5 thực hiện. Đến năm 1975 công tác thăm dò tỉ mỉ mỏ đồng Sin Quyền hoàn thành và đánh giá mỏ có trữ lượng khoáng sản Cu, Fe, Au, đất hiếm lớn nhất ở Việt Nam (Tạ Việt Dũng 1975). Chính vì vậy, mỏ đồng Sin Quyền được rất nhiều nhà địa chất trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu. Bài viết nhằm giới thiệu tổng quan về sự phân bố theo không gian và thời gian của các mỏ IOCG điển hình đã được nghiên cứu chi tiết về địa chất và đặc điểm quặng hóa trên thế giới, từ đó có cái nhìn tổng thể đánh giá, đối sánh với mỏ Sin Quyền, Việt Nam.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Khái niệm về loại hình mỏ oxit sắt - đồng - vàng (IOCG)

Năm 1992 Hitzman lần đầu tiên đưa ra mô hình nguồn gốc mỏ IOCG, đây là nguồn tài liệu rất quan trọng để ứng dụng cho công tác tìm kiếm, thăm dò cho các mỏ trên thế giới đạt hiệu quả cao, đặc biệt là đã phát hiện thêm các mỏ IOCG mới ở khu vực Cloncurry nước Úc từ đó dần khơi dậy sự quan tâm mạnh mẽ trong giới học thuật và ngành khai thác mỏ đối với loại hình mỏ này. Nhưng khi có quá nhiều công trình nghiên cứu được công bố thì khái niệm về loại hình mỏ IOCG đã bị khái quát hóa rộng ra. Nhiều quan điểm cho rằng các mỏ IOCG bao gồm tất cả những mỏ được đặc trưng bởi khoáng hóa magnetit-hematit. Theo quan điểm này thì ngoài những mỏ IOCG điển hình, còn bao gồm cả những mỏ magnetit-apatit (Kiruna), mỏ sắt - đồng - (vàng) kiểu skarn và tất cả những mỏ có chứa quặng magnetit. Tuy nhiên, một vài loại hình mỏ trên không mang đầy đủ những đặc điểm điển hình của kiểu mỏ IOCG. Do vậy, Groves (2010) và nhóm nghiên cứu đã đưa ra định nghĩa mang tính chặt chẽ hơn về loại hình nguồn gốc mỏ IOCG bao gồm những đặc điểm chính sau: (1) Mỏ có trữ lượng quặng đồng và vàng đạt giá trị kinh tế; (2) Mỏ có nguồn gốc nhiệt dịch và được khống chế về mặt cấu trúc bởi các đứt gãy, đặc biệt là đứt gãy dạng giòn và ranh giới tiếp xúc với đá vây quanh; (3) Giàu oxit Fe thấp titan (magnetit, hematit) hoặc các khoáng vật carbonat và silicat chứa Fe; (4) Ngoài quặng sắt, đồng, vàng có thể có sự làm giàu của các nguyên tố đất hiếm và nguyên tố vi lượng như: U, F, Ba, Co, Ni, và P; (5) Quá trình biến đổi natri hóa, calci hóa phát triển trên diện rộng; quá trình

silic hóa không phổ biến; và (6) Khoáng hóa có tuổi thành tạo liên quan mật thiết với sự hình thành của hoạt động magma khu vực, nhưng về mặt không gian thì các thể magma đóng vai trò nguồn cung cấp vật chất tạo quặng thường không nằm gần với các thân quặng.

2.2. Thời gian, không gian và quy mô phân bố mỏ IOCG trên thế giới

Mỏ IOCG phân bố rộng ở cả sáu lục địa trên thế giới nhưng những mỏ lớn phân bố chủ yếu ở Úc, Mỹ, Canada, Chile, Peru, Nam Phi, Brazil và Trung Quốc (Hình H.1).



H.1. Sơ đồ phân bố mỏ IOCG trên thế giới (theo Corriveau, 2007)

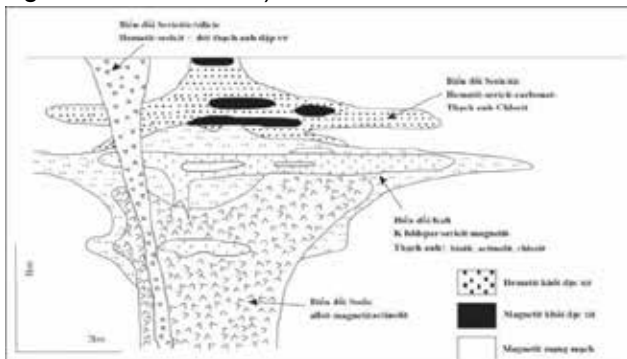
Năm 2010, Groves đã tổng kết và đưa ra bản đồ phân bố các mỏ IOCG lớn trên thế giới. Trên bản đồ này, có thể thấy rằng ngoại trừ hai khu vực Candelaria và Manto Verde, các mỏ IOCG đều nằm phần rìa của các lục địa có tuổi cổ. Điều này hoàn toàn khác với sự phân bố và bối cảnh thành tạo của các mỏ có nguồn gốc skarn. Qua thống kê tuổi thành tạo của loại hình mỏ IOCG thấy rằng chúng có tính chu kỳ rất rõ và đỉnh của chu kỳ tạo khoáng liên quan đến giai đoạn Paleoproterozoic muộn đến Mesoproterozoic sớm (Groves, 2010). Hầu hết các mỏ IOCG lớn hình thành trong giai đoạn Proterozoic bao gồm: mỏ Olympic Dam (Úc); khu vực Cloncurry ở Tây Bắc Queensland và khu vực Tennant Creek ở phía Bắc nước Úc có tuổi hình thành là 1800-1600 triệu năm. Quá trình tạo khoáng ở giai đoạn Precambrian cũng tương đối phổ biến liên quan đến quá trình hội tụ và tách giãn các siêu lục địa trên toàn cầu (Kenorland, Columbia, and Rodinia). Loại hình mỏ IOCG có tuổi thành tạo cổ nhất ở khu vực Carajas của Brazil hình thành trong giai đoạn Archean muộn (2.55-2.75 tỷ năm), mỏ Salobo (2.57 tỷ năm). Ngoài ra, một số mỏ IOCG được hình thành trong Paleozoi như mỏ Bafq ở

2.5.2. Đặc điểm hình dạng thân quặng

Hình dạng thân quặng được quyết định bởi hai yếu tố đó là cấu trúc khổng chế và đá vây quanh quặng. Các thân quặng mỏ IOCG có hình dạng phức tạp, bao gồm: đới dập vỡ dạng ống, dạng mạch, thấu kính ít hơn là dạng phân lớp, phân tầng, dải và các hình dạng bất quy tắc. So với các loại hình mỏ khác, mỏ IOCG có đặc điểm nổi bật nhất là thân quặng thường nằm trong các đới dập vỡ dạng ống. Ví dụ: thân quặng chính của mỏ Olympic Dam ở Úc, Candelaria ở Chi Lê nằm trong một đới dập vỡ dạng ống khổng lồ.

2.5.3. Đới biến đổi liên quan khoáng hóa

Các đới biến đổi liên quan đến quặng hóa của mỏ IOCG có mối tương quan chặt chẽ với đặc tính đá vây quanh, nguồn dung dịch nhiệt dịch và độ sâu thành tạo quặng. Năm 1992, Hitzman nghiên cứu đặc trưng biến đổi nhiệt dịch liên quan đến quặng hóa của mỏ Olympic Dam (Hình.3), thấy rằng chúng có tính phân đới rất điển hình, phần dưới sâu được đặc trưng bởi biến đổi natri tạo tổ hợp khoáng vật albit-magnetit-actinolit, phần phía trên là quá trình biến đổi kali tạo tổ hợp khoáng vật feldspar kali-sericit-magnetit, phần trên cùng là biến đổi sericit tạo tập hợp các khoáng vật hematit-sericit-carbonat-chlorit và thạch anh. Khoáng vật magnetit chủ yếu ở phần dưới sâu và sâu vừa, hematit chủ yếu ở phần nông liên quan đến quá trình sericit hóa. Tuy nhiên, cũng có nhiều mỏ quá trình biến đổi liên quan đến quặng hóa được đặc trưng bởi nhiều thời kỳ và nhiều giai đoạn của quá trình nhiệt dịch. Tại khu vực Kiruna phía Bắc Thụy Điển, đại sinh khoáng Kangdian Đông Nam Trung Quốc và mỏ Sin Quyền, Tây Bắc Việt Nam các mỏ trải qua nhiều thời kỳ và giai đoạn tạo khoáng (Li Xiaochun, 2017; Ngô Xuân Đắc, 2020).

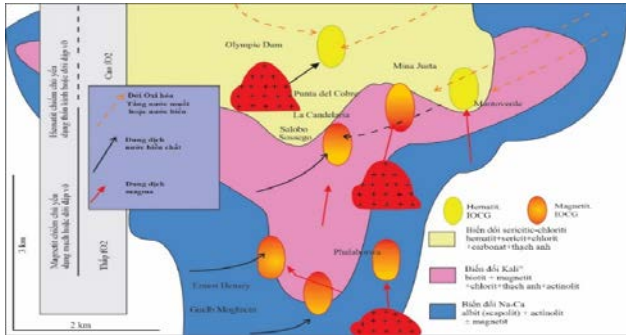


H.3. Mô hình đới biến đổi nhiệt dịch điển hình mỏ IOCG
(theo Hitzman, 1992)

2.6. Mô hình nguồn gốc mỏ IOCG

Hiện nay, chủ yếu có hai quan điểm khác nhau về nguồn dung dịch tạo quặng của mỏ IOCG bao gồm nguồn gốc magma và phi magma. Nguồn dung dịch tạo quặng không liên quan magma là nguồn dung dịch lấy từ trên bề mặt trái đất, ở các bồn trũng hay dung dịch nước biển chết (Hình H.4). Nguồn dung dịch tạo quặng liên quan các thể magma thường có nhiệt độ và độ muối cao và hệ số bay hơi của oxy thấp. Nhiều quan điểm cho rằng sự hình thành mỏ IOCG có liên quan mật thiết về mặt không gian và thời gian đến các hoạt động magma quy mô khu vực, chúng cung cấp nguồn nhiệt, nguồn nước và nguồn vật chất cần thiết cho quá trình tạo quặng (Megan, 2015). Một số học giả đã phân tích các đồng vị C, S và Sr trong đá biến đổi của mỏ IOCG cho rằng nguồn vật chất tạo quặng có nguồn gốc từ magma (Antoni 2015). Ngoài ra, Pollaro (2000) đã nghiên cứu dung dịch tạo quặng trong mỏ IOCG và cho rằng sự tồn tại phổ biến của CO₂ là một dấu hiệu cho thấy nguồn gốc magma (Polard, 2000). Một số tác giả có quan điểm nguồn dung dịch từ các bồn trũng, bởi dung dịch trong các bồn trũng rất giàu các nguyên tố halogen, với tỷ lệ Cl/S cao và lưu huỳnh thấp, cho thấy chúng có mối quan hệ gần gũi với các loại đá hình thành do quá trình bay hơi trong thời cổ đại (Megan, 2015). Có ý kiến cho rằng các hoạt động magma chỉ cung cấp nguồn nhiệt, thúc đẩy sự tuần hoàn đối lưu của nguồn dung dịch bồn trũng và hòa trộn với chất lỏng magma làm kết tủa các khoáng vật quặng trong mỏ IOCG, các mỏ Cloncurry IOCG ở Úc điển hình cho quan điểm này. Khác với hai quan điểm trên, mô hình tạo quặng từ nguồn dung dịch biến chất, thì nguồn nhiệt từ đá magma không đóng vai trò quan trọng trong tạo quặng, mặc dù có tồn tại đá magma ở khu vực mỏ (Barton, 2004). Theo quan điểm này, các tác giả cho rằng nguồn dung dịch do quá trình biến chất khu vực, dung dịch biến chất thẩm thấu vào đá vây quanh và di chuyển theo các khe nứt kiến tạo, trong môi trường thuận lợi quặng được lắng đọng kết tủa tạo thành mỏ. Tuy nhiên, những số liệu mới nhất cho thấy mô hình tạo quặng với sự trộn lẫn của nguồn dung dịch biến chất với nguồn magma phổ biến hơn và được nhiều nhà nghiên cứu thừa nhận (Hình H.4). Hầu hết các mỏ IOCG

đã biết đều có liên quan mật thiết với các hoạt động magma, nguồn gốc không magma chỉ mang tính chất bổ sung cho mô hình tạo quặng và đóng vai trò thứ yếu. Trong quá trình hình thành quặng, dung dịch magma thường trải qua sự trộn lẫn với nước trên mặt, trong các bồn trũng cổ và với dung dịch biến chất.



H.4. Mô hình nguồn gốc mỏ IOCG (theo Chen, 2008)

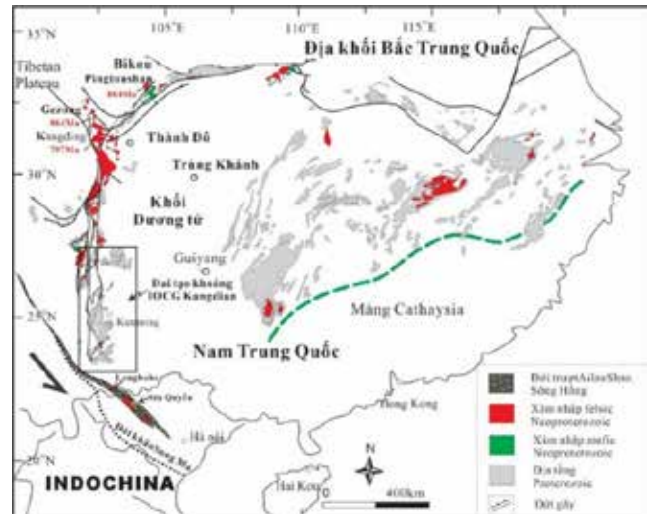
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm địa chất mỏ Sin Quyền

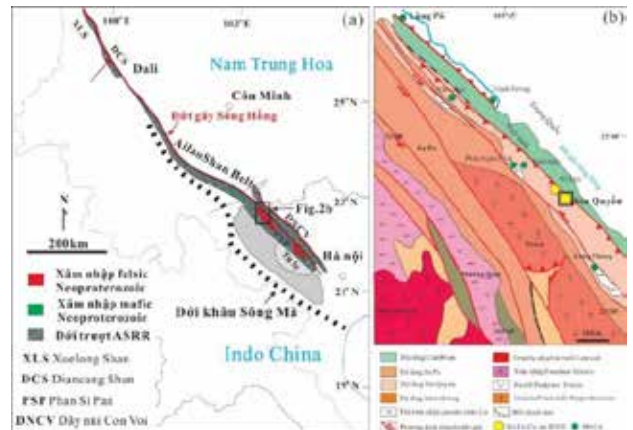
Mỏ Sin Quyền nằm ở phía tây nam của đới trượt Ailao Shan-Sông Hồng (ASRR), thuộc Tây Bắc Việt Nam (Hình H.5). Những nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng khu vực Tây Bắc Việt Nam trải qua hai sự kiện nhiệt kiến tạo kể từ giai đoạn Mesozoic sớm. Giai đoạn đầu tiên là sự hợp nhất của khối Hoa Nam và khối Đông Dương dọc theo đới khâu Sông Mã có tuổi ~ 250 Ma. Giai đoạn thứ hai là chuyển động dịch trượt dọc theo đới ASRR do va chạm giữa mảng Ấn Độ và mảng Âu-Á trong Kainozoic (Leloup 1995). Quá trình dịch chuyển kiến tạo dọc theo đứt gãy ASRR làm cho bán đảo Đông Dương bị dịch chuyển về phía đông nam so với mảng Hoa Nam, Trung Quốc một khoảng ~ 500 km (Hình H.5). Do đó, có nhiều quan điểm cho rằng phần Tây Bắc Việt Nam trước đây thuộc một phần của mảng Dương Tử (Chung, 1998).

Đới sinh khoáng Sin Quyền-Lũng Pô nằm ở phía Đông Bắc của đai tạo khoáng Ailao Shan-Phan Si Pan với hơn 10 mỏ Fe-Cu lớn nhỏ khác nhau, đây là đới sinh khoáng Cu quan trọng nhất ở Việt Nam (Hình H.6a, H.6b). Trong đó, mỏ Sin Quyền được đánh giá có trữ lượng lớn nhất, với 52,8 triệu tấn quặng, hàm lượng 14% Fe, 0,91% Cu, 0,7% LREE (La, Ce và Nd) và 0,44 g/T Au (Mc Lean 2001). Những tài liệu mới nhất cho thấy mỏ Sin Quyền có trữ lượng khoảng hơn 90 triệu tấn quặng,

với hàm lượng trung bình là 0,9% Cu (Phạm Quốc Duy, 2015). Mỏ Sin Quyền được khai thác lộ thiên bắt đầu từ năm 2006, với sản lượng trung bình hàng năm là ~ 30.000 tấn kim loại Cu.



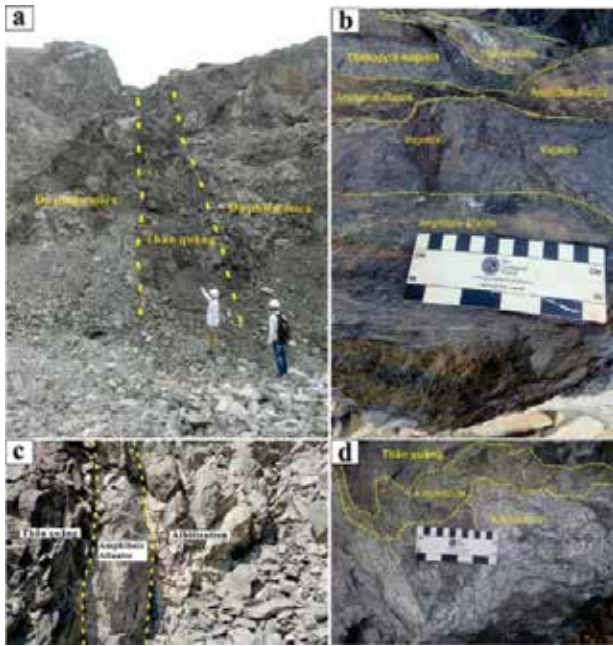
H.5. Sơ đồ phân bố các mỏ IOCG phía Nam Trung Quốc và phía Tây Bắc Việt Nam (theo Zhao, 2011)



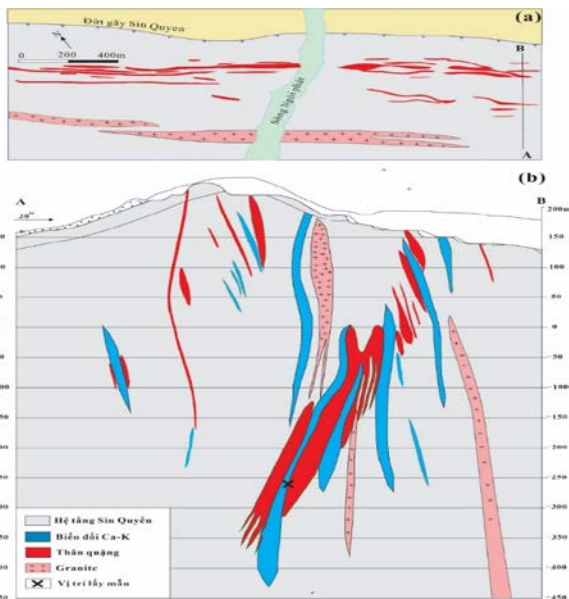
H.6. a) Sơ đồ địa chất kiến tạo phần Tây Bắc Việt nam và Tây Nam Trung Quốc (theo Liu và nnk, 2015);

b) Sơ đồ địa chất và phân bố mỏ quặng đới sinh khoáng Lũng Pô-Sin Quyền (theo Trần Mỹ Dũng và nnk, 2014)

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 và kéo dài theo phương Tây Bắc- Đông Nam,



H.7.a) Thân quặng được khống chế bởi đới dập vỡ nứt nẻ nằm trong hệ tầng Sin Quyên; **b)** Giai đoạn tạo quặng đất hiếm bị xuyên cắt bởi giai đoạn tạo quặng Fe-Cu; **c,d)** Ranh giới ba giai đoạn biến đổi nhiệt dịch natri hóa, calci hóa và kali hóa



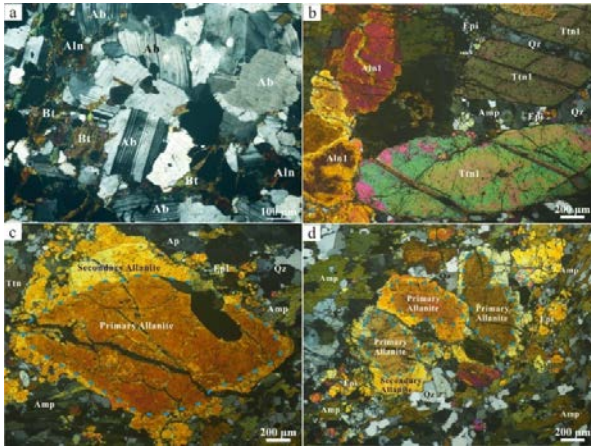
H.8. a) Sơ đồ địa chất và phân bố thân quặng mỏ Sin Quyên; **b)** Mặt cắt địa chất theo đường A-B (theo Tạ Việt Dũng và nnk, 1975 và Phạm Quốc Duy, 2015)

chiếm hầu hết diện tích của mỏ Sin Quyên. 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 280-320°, 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 Quyên (Hình H.7a), thân

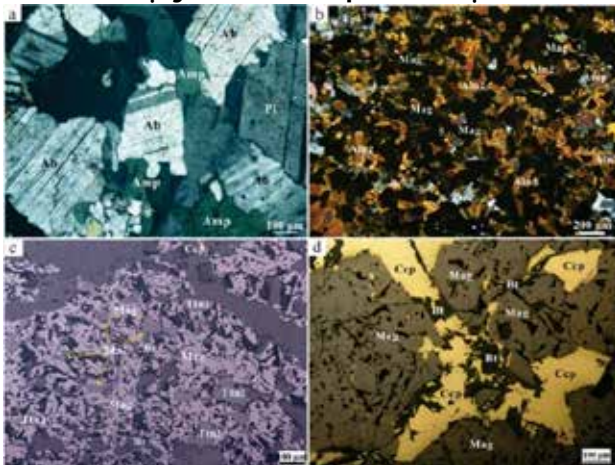
quặng thường ở dạng thấu kính quặng tương đối giàu, đôi chỗ dạng dải. Thân quặng chứa nhiều nguyên tố đất hiếm nhóm nhẹ, với hàm lượng tương đối cao nhưng hiện nay vẫn chưa thu hồi được. Theo tài liệu hiện có trong phạm vi mỏ Sin Quyên đã xác định được 17 thân quặng dạng thấu kính, các thân quặng được khống chế bởi đới dập vỡ nứt nẻ và thường phát triển theo hướng Đông Tây và cắm về phía Bắc hoặc Nam (Hình H.8a).

3.2. Đặc điểm biến đổi nhiệt dịch liên quan đến quặng hóa

Quá trình khảo sát nghiên cứu ngoài thực địa và nghiên cứu trong phòng dưới kính hiển vi thạch học, khoáng tương chúng tôi thấy rằng có ít nhất hai thời kỳ nhiệt dịch liên quan quá trình tạo quặng trong mỏ Sin Quyên (Hình H.7 b,c,d). Thời kỳ đầu tiên được đặc trưng bởi quá trình tạo quặng đất hiếm (REE) liên quan chặt chẽ với biến đổi calci hóa và đặc trưng bởi 3 giai đoạn biến đổi nhiệt dịch. Giai đoạn đầu là quá trình biến đổi natri hóa trước tạo quặng trong đá biến đổi vây quanh quặng tạo nên tổ hợp khoáng vật albit (Hình H.9a), sau đó giai đoạn biến đổi natri hóa bị chùng lên bởi quá trình biến đổi calci hóa. Quá trình biến đổi calci phát triển rất mạnh mẽ tạo nên tổ hợp khoáng vật đặc trưng allanit, titanit đây là những khoáng vật chứa nguyên tố hiếm (REE), do vậy giai đoạn này đại diện cho quá trình thành tạo REE (Hình H.9b). Dưới kính hiển vi, quan sát rõ các hạt khoáng vật allanit có tính phân đới không tuân theo quy luật nhất định qua đó cho thấy khoáng vật allanit đã bị tác động bởi quá trình biến đổi nhiệt dịch trong giai đoạn sau (Hình H.9c). Allanit thường xuất hiện ở dạng các tinh thể lớn tự hình, nửa tự hình với kích thước (200–1000 μm) và thường bị biến đổi epidot hóa trong giai đoạn sau của quá trình nhiệt dịch (Hình H.9c,d). Thời kỳ tạo khoáng thứ 2 cũng là thời kỳ tạo quặng chính của mỏ Sin Quyên, kết quả nghiên cứu dưới kính hiển vi đã xác định được ba giai đoạn biến đổi nhiệt dịch trong thời kỳ này. Giai đoạn thứ 1 đặc trưng bởi quá trình natri hóa trước tạo quặng, tiếp đến là quá trình biến đổi calci-kali hóa liên quan đến quá trình tạo quặng REE và Fe và giai đoạn thứ 3 là quá trình kali hóa liên quan đến quá trình tạo quặng Cu-Au. Giai đoạn 1 trước tạo quặng hình thành chủ yếu tập hợp khoáng vật albit phát triển trong đá vây quanh quặng (Hình H.10a). Loại biến đổi này phân bố rộng rãi trong khu vực mỏ và càng



H.9. Thời kỳ đầu của quá trình nhiệt dịch tạo quặng đất hiếm (a,b,c,d): (a) quá trình biến đổi natri hóa tạo tổ hợp khoáng vật anbit chiếm ưu thế, (b) quá trình biến đổi calci hóa tạo tổ hợp khoáng vật quặng chứa đất hiếm allanit, titanit hạt lớn (c,d) Hạt allanit kích thước lớn bị biến đổi do quá trình nhiệt dịch sau tác động hình thành tính phân đới rõ rệt



H.10. Thời kỳ thứ hai của quá trình nhiệt dịch tạo quặng Fe-Cu: (a) quá trình biến đổi natri hóa tạo tổ hợp khoáng vật anbit, (b) quá trình biến đổi calci hóa tạo tổ hợp khoáng vật quặng chứa đất hiếm allanit hạt nhỏ (c,d) quá trình biến đổi kali hóa tạo quặng Fe-Cu khu mỏ Sin Quyền

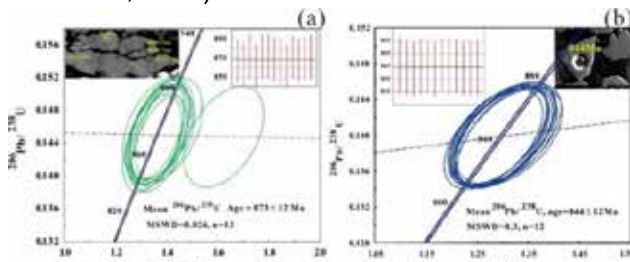
gần thân quặng thì mức độ biến đổi của nó càng giảm dần. Bởi vậy, những đá gốc tiếp giáp với thân quặng thường được thay thế hoàn toàn bằng albit để tạo thành albitit (Hình H.10a). Giai đoạn 2 là sự mở rộng của quá trình biến đổi calci hóa thay thế dần cho natri, đi cùng với nó là quá trình tạo quặng Fe mỏ Sin Quyền. Tổ hợp khoáng vật đặc trưng giai đoạn này là amphibol, allanit hạt nhỏ, biotit và một lượng nhỏ clinopyroxen, garnet, titanit hạt nhỏ và manhetit. Amphibol chiếm hàm lượng lớn và phân bố không đều trong quặng (chiếm 10–50%), chúng thường có màu xanh đậm tạo thành từng hạt đơn lẻ với kích thước từ (10–2000 μm) hoặc tạo thành các tập hợp hạt có chiều dài lên đến 10 cm. Dưới

kính hiển vi, một số hạt amphibol có biểu hiện phân đới không đồng đều, điều đó cho thấy chúng đã bị trải qua quá trình biến chất trong giai đoạn sau. Biotit ít phổ biến hơn amphibol, nhưng phân bố rộng rãi trong giai đoạn này, chúng thường tạo thành từng tập hợp đóng vai trò liên kết giữa amphibol và một số khoáng vật quặng. Đá biến đổi Ca-K chứa lượng lớn quặng Fe, magnetit là quặng oxit sắt chính (Hình 10c,d), ngoài ra còn gặp ít khoáng vật ilmenit. Giai đoạn 3: Đây là giai đoạn phát triển mạnh mẽ biến đổi kali hóa tạo tập hợp khoáng vật biotit đi cùng với quặng sulfua điển hình là hai khoáng vật chalcopyrit và pyrotin (Hình H.10d). Ngoài ra, còn gặp khoáng vật pyrit và cubanit nhưng với hàm lượng nhỏ hơn. Các khoáng vật quặng thường ở dạng hạt tha hình phân bố xâm tán hoặc tạo thành từng ổ trong đá chứa quặng. Nhiều vị trí quan sát rõ chúng tạo tập hợp hạt thay thế cho tổ hợp khoáng vật quặng sinh trước như magnetit, allanit,... Vàng thường tồn tại ở dạng vi hạt xâm tán trong các khoáng vật sulfua.

3.3. Thời gian, không gian thành tạo quặng khu vực mỏ Sin Quyền

Mỏ Sin Quyền nằm ở vị trí gần với đai tạo khoáng Fe-Cu-Au phía Nam Trung Quốc bao gồm một loại các mỏ IOCG điển hình như La La, Yina Chang và Dahong Shan. Một số nghiên cứu trước đã chứng minh rằng đứt gãy AilaoShan-Sông Hồng bị dịch chuyển về phía Đông Nam khoảng trên 500km, Chung (1998) cho rằng phần phía Tây Bắc Việt Nam thuộc một phần mảng Dương Tử Trung Quốc. Do đó, mỏ Sin Quyền Việt Nam rất có thể được hình thành trong cùng một đai tạo khoáng IOCG kéo dài từ Trung Quốc sang Việt Nam. Những kết quả nghiên cứu mới nhất thấy rằng mỏ La La, và mỏ Yina Chang trải qua nhiều thời kỳ tạo quặng nhiệt dịch kéo dài từ giai đoạn 1.7 tỷ năm đến 850 triệu năm (Chen, 2014, Li 2015). Để so sánh tuổi quặng mỏ Sin Quyền với các mỏ IOCG điển hình bên phía Trung Quốc, tác giả đã chọn các loại mẫu quặng đại diện cho các thời kỳ khác nhau và được đặc trưng bởi các tổ hợp cộng sinh khoáng vật khác nhau sử dụng phân tích xác định tuổi quặng. Thời kỳ đầu tiên đặc trưng bởi tổ hợp khoáng vật allanit hạt lớn, titanit hạt lớn, amphibol, epidot trong đó allanit và titanit là hai khoáng vật chứa nguyên tố đất hiếm chủ yếu của mỏ Sin Quyền, đặc biệt là allanit khoáng vật xuất hiện trong các mẫu quặng với tần suất xuất hiện và hàm lượng rất cao (Hình H.9b,c,d). Do vậy đây được xem là thời kỳ tạo quặng đất hiếm của mỏ Sin Quyền.

Thời kỳ thứ hai đặc trưng bởi tổ hợp khoáng vật quặng manhetit, chalcopyrit và vàng tự sinh đây là thời kỳ tạo quặng Fe-Cu-Au, trong đó vàng tự sinh thường xâm tán trên nền của khoáng vật sulfua. Allanit, titanit thời kỳ thứ hai thường tồn tại ở dạng hạt nhỏ xâm tán cùng với manhetit (Hình H.10b,c). Dựa vào hình dạng kích thước và tổ hợp cộng sinh khoáng vật có thể thấy rất rõ allanit và titanit được thành tạo trong hai thời kỳ tạo khoáng khác nhau. Bên cạnh đó khoáng vật titanit có thể định tuổi bằng phương pháp U-Pb; do vậy, đây là khoáng vật lý tưởng để lựa chọn định tuổi xác định 2 thời kỳ tạo quặng mỏ Sin Quyền. Hai mẫu quặng đại diện cho hai thời kỳ tạo quặng được chọn và gia công thành lát mỏng và dùng phương pháp LA-ICPMS bắn điểm trực tiếp trên mẫu lát mỏng xác định tuổi. Kết quả phân tích tuổi ở thời kỳ đầu tiên cho khoảng tuổi khoảng 873 triệu năm đại diện cho giai đoạn thành tạo quặng đất hiếm và thời kỳ thứ hai có tuổi khoảng 844 triệu năm đại diện cho giai đoạn thành tạo quặng Fe-Cu-Au (Hình H.11 a,b). Như vậy, mỏ Sin Quyền đã trải qua ít nhất hai thời kỳ tạo quặng, trên thế giới đã gặp rất nhiều mỏ IOCG trải qua nhiều giai đoạn khoáng hóa chồng đặc biệt đối với những mỏ thành tạo tương đối cổ như mỏ Sin Quyền. Hai thời kỳ tạo khoáng mỏ Sin Quyền được hình thành liên quan đến sự mở rộng của vùng sau cung trong bối cảnh kiến tạo đới hút chìm giữa mảng đại dương và mảng lục địa dọc theo rìa phía Tây của mảng Dương Tử vào thời kỳ Neoproterozoic (Li Xiao Chun, 2017, Ngô Xuân Đắc, 2020).



H.11. Buổi đồ kết quả phân tích tuổi quặng hóa trên khoáng vật titanit chứng minh hai thời kỳ tạo quặng mỏ Sin Quyền: a) thời kỳ đầu tuổi tạo quặng đất hiếm (873 triệu năm); b) thời kỳ thứ hai tuổi thành tạo quặng Fe-Cu-Au (844 triệu năm)

3.4. Nguồn gốc mỏ Sin Quyền

Kết quả nghiên cứu quá trình biến đổi nhiệt dịch liên quan đến quặng hóa và đồng vị S, Nd cho mỏ Sin Quyền cho thấy nguồn vật chất chứa quặng chủ yếu lấy từ nguồn magma và một phần lấy từ nguồn vỏ hỗn hợp (Li Xiao Chun, 2018, Ngô Xuân Đắc,

2020). Quá trình tạo quặng liên quan đến magma còn dựa trên cơ sở kết quả phân tích tuổi quặng Fe-Cu-REE và tuổi của đá magma phân bố dọc theo đai tạo khoáng Ailao Shan có tuổi tương đồng nhau (Ngô Xuân Đắc, 2020). Dựa trên các kết quả nghiên cứu về đặc điểm địa chất, kiến tạo, quặng hóa, đồng vị chứng minh rằng mỏ Sin Quyền có nguồn gốc nhiệt dịch sâu được thành tạo trong môi trường rìa lục địa tích cực, magma felsic giàu REE được tạo ra bởi sự nóng chảy một phần của lớp vỏ lục địa cổ (Li Xiaochun, 2018). Dưới điều kiện nhiệt độ áp suất cao, nguồn dung dịch mang quặng thoát ra từ các thể magma giàu quặng REE, Fe, Cu trong các giai đoạn khác nhau ở dưới sâu trong vỏ trái đất di chuyển lên trên dọc theo hệ thống các đứt gãy giòn trong khu vực. Sau đó dung dịch nhiệt dịch chứa quặng hóa di chuyển lên trên dọc theo hệ thống các đứt gãy thứ cấp trong điều kiện nhiệt độ áp suất giảm, quặng được tích tụ và lắng đọng trong môi trường thích hợp.

4. KẾT LUẬN

➤Mỏ Sin Quyền mang đầy đủ những đặc trưng biến đổi nhiệt dịch điển hình của loại hình mỏ IOCG. Giai đoạn đầu của quá trình biến đổi nhiệt dịch trước tạo quặng natri hóa phát triển mạnh mẽ ở phần ngoài rìa của thân quặng tiếp xúc với đá vây quanh, tiếp đến là quá trình biến đổi calci hóa chủ yếu liên quan đến thành tạo quặng sắt và đất hiếm và sau cùng là quá trình biến đổi kali hóa tạo tổ hợp khoáng vật quặng đồng, vàng;

➤Mỏ Sin Quyền được hình thành ở giai đoạn đầu có tuổi khoảng 873 triệu năm thành tạo quặng đất hiếm tồn tại chủ yếu trong khoáng vật allanit hạt lớn, tiếp đến là giai đoạn tạo quặng Fe-Cu có tuổi khoảng 844 triệu năm. Tuổi khoáng hóa nằm trong giai đoạn 740 đến 880 triệu năm thành tạo đá magma liên quan đến quá trình hút chìm giữa mảng đại dương và mảng lục địa trong khu vực. Đây là bối cảnh kiến tạo điển hình đối với một loạt các mỏ nguồn gốc IOCG nằm trong đai tạo khoáng khu vực dãy Andes, Bắc Mỹ bao gồm một số nước Chi Lê, Peru và Brazil đồng thời giai đoạn thành tạo quặng mỏ Sin trùng với giai đoạn sau của quá trình nhiệt dịch ở một số mỏ IOCG bên Trung Quốc như La La, Yina Chang và Dahong Shan;

➤Các thân quặng mỏ Sin Quyền hình thành trong các đới dập vỡ nứt nẻ có dạng thấu kính, dạng mạch điển hình của loại hình mỏ IOCG. Các quá

trình biến đổi liên quan đến quặng hóa đặc trưng bởi quá trình biến đổi natri hóa trước tạo quặng, sau đó là quá trình biến đổi calci hóa thành tạo quặng đất hiếm và tiếp đến là quá trình biến đổi kali hóa liên quan đến quá trình tạo quặng Fe-Cu-Au;

➤ Mỏ Sin Quyền chủ yếu liên quan đến nguồn

dung dịch nhiệt dịch magma ở nhiệt độ cao. Các nghiên cứu về bối cảnh kiến tạo, nguồn gốc, điều kiện thành tạo, đặc điểm biến đổi nhiệt dịch, đặc điểm quặng hóa cho thấy mỏ đồng Sin Quyền mang đầy đủ những đặc trưng điển hình của loại hình mỏ IOCG □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Antoni, C., and Eduardo G.P. (2015), Mesozoic magmatic-hydrothermal iron oxide deposits (IOCG'clan') in Mexico: A review. *Ore Geology Reviews*.
2. Barton, M.D., and Johnson, D.A. (2004), Footprints of Fe-oxide (Cu-Au) systems. The university of western Australia Special Publication, 33: 112-116. Bell, R.T., 1986. Megbreccias in northeastern Wemecke Mountains, Yukon territory. *Can. Geo.*, 1: 375-384.
3. Chen, W.T., Zhou, M.F. (2014), Ages and compositions of primary and secondary allanite from the Lala Fe-Cu deposit, SW China: implications for multiple episodes of hydrothermal events. *Contrib. Miner. Petrol.* 168 (2).
4. Chung, S.L., Lo, C.-H., Lee, T.Y., Zhang, Y. (1998), Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago. *Nature*, 394(6695): 769.
5. Geordie, M., Andy, W., Nicholas, H.S., Oliver, Patrick, J.W., and Chris, G.R. (2005), Modeling outflow from the Ernest Henry Fe oxide Cu-Au deposit: Implications for ore genesis and exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 85(1): 31-46.
6. Groves, D., Bierlein, F., Meinert, L., Hitzman, M. (2010), Iron Oxide Copper-Gold (IOCG) Deposits through Earth History: Implications for Origin, Lithospheric Setting, and Distinction from Other Epigenetic Iron Oxide Deposits. *Economic Geology*, 105: 641-654.
7. Hitzman, M.W., Oreskes, N., Einaudi, M.T. (1992), Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu U Au REE) deposits. *Precambrian research*, 58(1-4): 241-287.
8. Hitzman, M.W. (2000), Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why. In: Porter, T.M. (ed.), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective*. Australian Mineral Foundation, Adelaide, 9-25.
9. Hoàng Hoa Cương, Nguyễn Đức Hân (1969), Các kiểu tạo quặng vùng Sin Quyền. *Tạp chí Địa chất, Loạt A*, 81-82: 23-32.
10. Leloup, P.H. et al. (1995), The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina. *Tectonophysics*, 251(1-4): 3-10.
11. Li, X.-C., Zhou, M.F. (2017a), Hydrothermal alteration of monazite-(Ce) and chevkinite-(Ce) from the Sin Quyen Fe-Cu-LREE-Au deposit, northwestern Vietnam. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 102(7): 1525-1541.
12. 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.
13. Mclean R.N. (2001), The Sin Quyen iron oxide-copper-gold-rare earth oxide mineralization of North Vietnam, in Porter, T.M., e.d., *Hydrothermal iron oxide copper-gold & related deposits: a global perspective*, vol volume 2. PGC Publishing, Adelaide, pp 293-301
14. Megan, R., Williams, David, A., Holwell, Richard, M., Lilly, George, N.D., and Jain, M.D. (2015), Mineralogical and fluid characteristics of the fluorite-rich Monakoff and El Cu-Au deposits, Cloncurry region, Queensland, Australia: Implications for regional F-Ba-rich IOCG mineralisation. *Ore Geology Reviews*, 64: 103-127.
15. 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



16. Polard, P.J. (2000), Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe oxide Cu-Au mineralization. In: Porter T.M. (eds.), Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective. Australian Mineral Foundation, Adelaide, 27-41.
17. Pham, Q.D. (2015), Exploration report on no.3 and no.7 orebodies of the Sin Quyen copper deposit, Lao Cai Province (in Vietnamese), pp. 1–85
18. Phan Trường Thị (1964), Các đá métasomatit chứa sắt và đồng khu vực Lào Cai. Tạp chí Địa chất, Loạt A, 32: 9-15
19. Tạ Việt Dũng và nnk. (1975), Thăm dò tỉ mỉ khoáng sản đồng Sin Quyên, Lào Cai. Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.
20. Trần Quốc Hải (1969), Tìm hiểu thêm về các thể đá biến chất trao đổi chứa quặng ở Sin Quyen. Tạp chí Địa chất, Loạt A, 85-86: 23-40.

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.

THE ORIGIN OF THE IRON OXIDE – COPPER – GOLD (IOCG) SIN QUYEN DEPOSIT, VIET NAM

Ngo Xuan Duc, Trinh Hai Son, Quach Duc Tin, Khuong The Hung

ABSTRACT

Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits are currently one of the types of mines that many geologists are focusing their research on. They have attracted much attention among worldwide geologists and mineralogists due to their shallow depth, wide variety of mineral species, and large scale. This paper presents an overview of IOCG deposit research, which includes the definition of IOCG deposits with their temporal and spatial distribution, as well as ore-forming environments, ore-forming magmatic rocks, geological features, ore-controlling structures, ore-bearing rocks, mineralized alteration zoning, and the genesis and ore-forming process, which are all related to IOCG deposits. Based on their characteristics and definition, the study compares the IOCG deposits with the Sin Quyen deposit in Vietnam to determine the origin of this type of deposit at this place.

Keyword: IOCG, Sin Quyen

Ngày nhận bài: 15/02/2023;

Ngày gửi phản biện: 17/02/2023;

Ngày nhận phản biện: 20/4/2023;

Ngày chấp nhận đăng: 28/4/2023.

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.