

Mô hình nguồn gốc thành tạo mỏ đồng Sin Quyền

Trần Mỹ Dũng

Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam

Tác giả liên hệ: tmd.hung@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/07/2020

Ngày chấp nhận đăng: 3/3/2021

Từ khóa: Mỏ đồng Sin Quyền, hoạt động magma Neoproterozoi, phức hệ biến chất Sin Quyền

Tóm tắt: Mỏ đồng Sin Quyền nằm ở phía đông bắc á địa khu Fan Si Pan, trong mỏ tồn tại một tổ hợp khoáng hóa đồng đi cùng với sắt, đất hiếm và vàng phân bố trong các đá biến chất, biến chất trao đổi thuộc phần trên phức hệ Sin Quyền. Tổng hợp, phân tích kết quả đồng vị bền, đồng vị định tuổi cho thấy quặng hóa khu mỏ Sin Quyền được tạo thành từ dung dịch tạo quặng có nguồn gốc hỗn hợp magma-nhiệt dịch liên quan đến hoạt động magma Neoproterozoi được hình thành do sự hút chìm của vỏ đại dương cổ Prototethys xuống dưới vỏ lục địa Dương Tử. Kết quả phân tích tổ hợp cộng sinh khoáng vật quặng và khoáng vật biến đổi nhiệt dịch cho thấy quặng đồng mỏ Sin Quyền mang đặc trưng của kiểu mỏ IOCG, được hình thành trong hai giai đoạn: giai đoạn I đi cùng với quặng hóa sắt, đất hiếm, urani và các biến đổi natri-calcic hóa (albit hóa và skarn); giai đoạn II đi cùng với khoáng hóa vàng và các biến đổi kali hóa (biến đổi biotit hóa và thạch anh hóa).

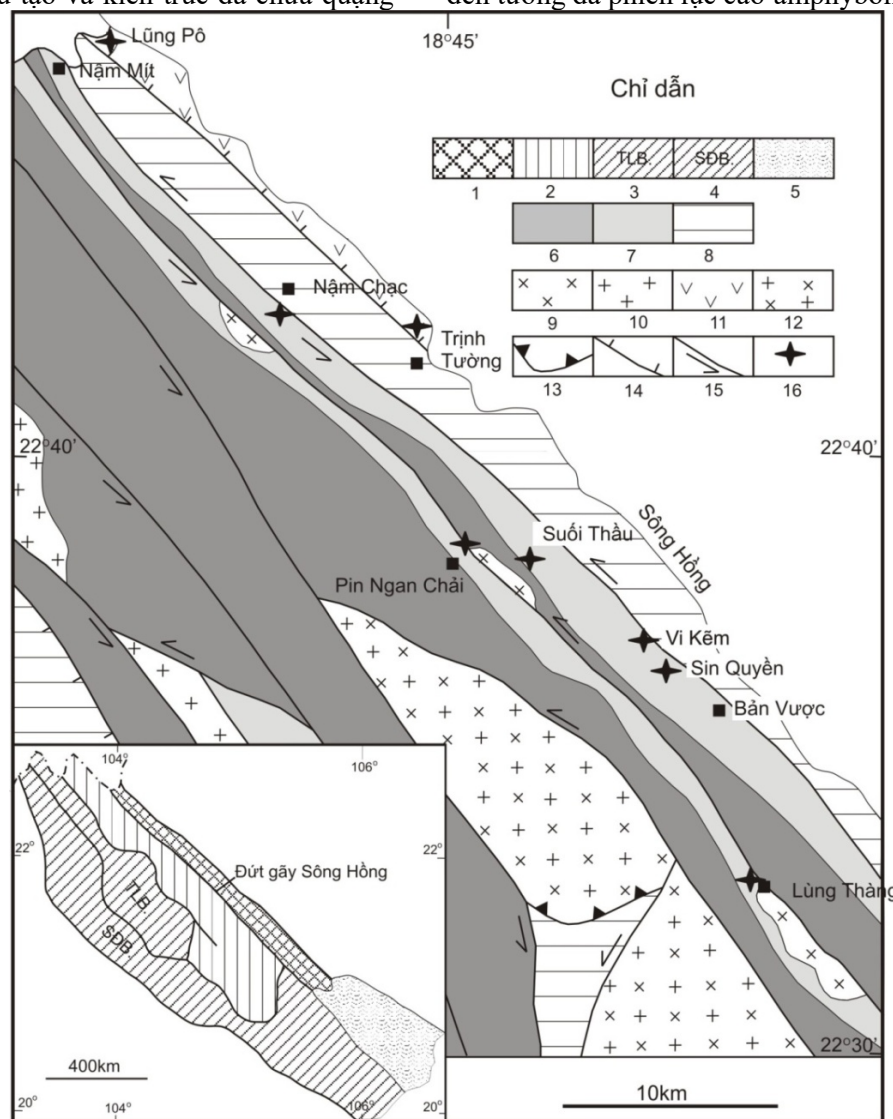
1. Giới thiệu

Mỏ đồng Sin Quyền nằm ở phía đông bắc của địa khu Fan Si Pan, trong diện phân bố các đá biến chất thuộc phức hệ Sin Quyền (Hình 11) (Trần Văn Trị, Vũ Khúc và nnk, 2009). Quặng hóa đồng trong khu mỏ nằm trong một tổ hợp khoáng hóa cùng với sắt, đất hiếm và vàng đi cùng với các đá biến chất trao đổi dạng skarn (Tạ Việt Dũng và nnk, 1975). Mặc dù có nhiều nghiên cứu đã tiến hành, tuy nhiên hiện vẫn tồn tại khá nhiều tranh luận về đặc điểm quặng hóa và nguồn gốc thành tạo của mỏ. Phan Trường Thi (1964) cho rằng khoáng hóa mỏ Sin Quyền phân bố trong một tổ hợp đá biến chất trao đổi có thành phần phức tạp bao gồm: skarn hedenbergit-granat có orthit, skarn hedenbergit-orthit, đá hornblend-magnetit-orthit-biotit-thạch anh, đá albit-magnetit-biotit-hornblend và đá biotit-albit. Tổ hợp đá biến chất này là sản phẩm của quá trình biến chất trao đổi giữa các đá mạch và khối xâm nhập nhỏ có tính axit (là phần nông của một lò magma dưới sâu) với các thể amphybolit trong đá biến chất hệ tầng Sin Quyền. Dung

dịch tạo khoáng oxit sắt và dung dịch tạo khoáng sulfur chứa đồng là cùng một nguồn và liên quan trực tiếp đến quá trình biến chất trao đổi này. Trần Quốc Hải (1969) và Tạ Việt Dũng (1975) phân chia các đá biến chất trao đổi thành 3 nhóm chính: nhóm hedenbergit-hessonit, nhóm hastingsit-biotit và nhóm hastingsit-biotit-plagioclas. Các đá biến chất trao đổi và khoáng hóa đi kèm sản phẩm của quá trình tái nóng chảy granit hóa lặp lại của các đá biến chất ở phần sâu của đứt gãy khu vực. Hoàng Hoa Cương và Nguyễn Đức Hân (1969) cho rằng quặng hóa magnetit-đất hiếm đi cùng với các đá biến chất trao đổi có tuổi tiền Cambri liên quan chặt chẽ với granit phức hệ Posen còn khoáng hóa sulfur là sản phẩm của quá trình nhiệt dịch có thể liên quan đến hoạt động magma trong Kainozoi. Dựa vào tổ hợp cộng sinh khoáng vật quặng sulfur các tác giả đã xác định được nhiệt độ tạo quặng khoảng 400 đến 100°C. Bùi Phú Mỹ và nnk (1978) thông qua công tác đo vẽ bản đồ khu vực cho rằng quặng hóa đồng có thể đi cùng với hoạt động magma tiền Cambri nhưng quặng hóa đất hiếm có thể liên quan đến hoạt động magma

kiềm Kainozoi. McLean (2001) cho rằng mỏ Sin Quyền là một mỏ IOCG (Iron oxide-copper-gold) có đặc trưng riêng. Quá trình tạo khoáng trong mỏ bắt đầu bằng một pha biến đổi albit hóa theo sau là quá trình biến đổi Fe-K làm biến chất các đá gneis và các thể amphybolit, quặng hóa Fe-Cu-Au-REE đi cùng với quá trình biến đổi này, dung dịch nhiệt dịch gây biến đổi và tạo quặng có thể đến từ các khối magma có tuổi tiền Cambri phân bố trong khu vực. Ishihara và nnk (2011) cho rằng khoáng hóa Cu-Fe-Au trong mỏ Sin Quyền được khống chế bởi quá trình dịch trượt của đứt gãy Sông Hồng trong Kanozoi, cấu tạo và kiến trúc đá chứa quặng

và khoáng vật quặng không chịu ảnh hưởng trường ứng lực chứng tỏ quá trình kết tinh và tích tụ quặng có sau quá trình dịch trượt, quặng hóa thành tạo trong thời kỳ Paleogen muộn-Neogen sớm. Khoáng hóa đất hiếm không cùng nguồn gốc với khoáng hóa Cu-Fe-Au mà có thể đến từ các thành tạo granit kiểu A thuộc phức hệ Mường Hum có tuổi Paleogen phân bố dọc theo đứt gãy Sông Hồng. Gas'kov và nnk (2012) cho rằng quặng hóa trong mỏ đồng Sin Quyền nằm trong các đá phun trào mafic kiểu Đảo Síp có tuổi Proterozoi thuộc hệ tầng Sin Quyền sau đó đá vây quanh và quặng hóa cùng bị biến chất đến tướng đá phiến lục cao-amphybolit.



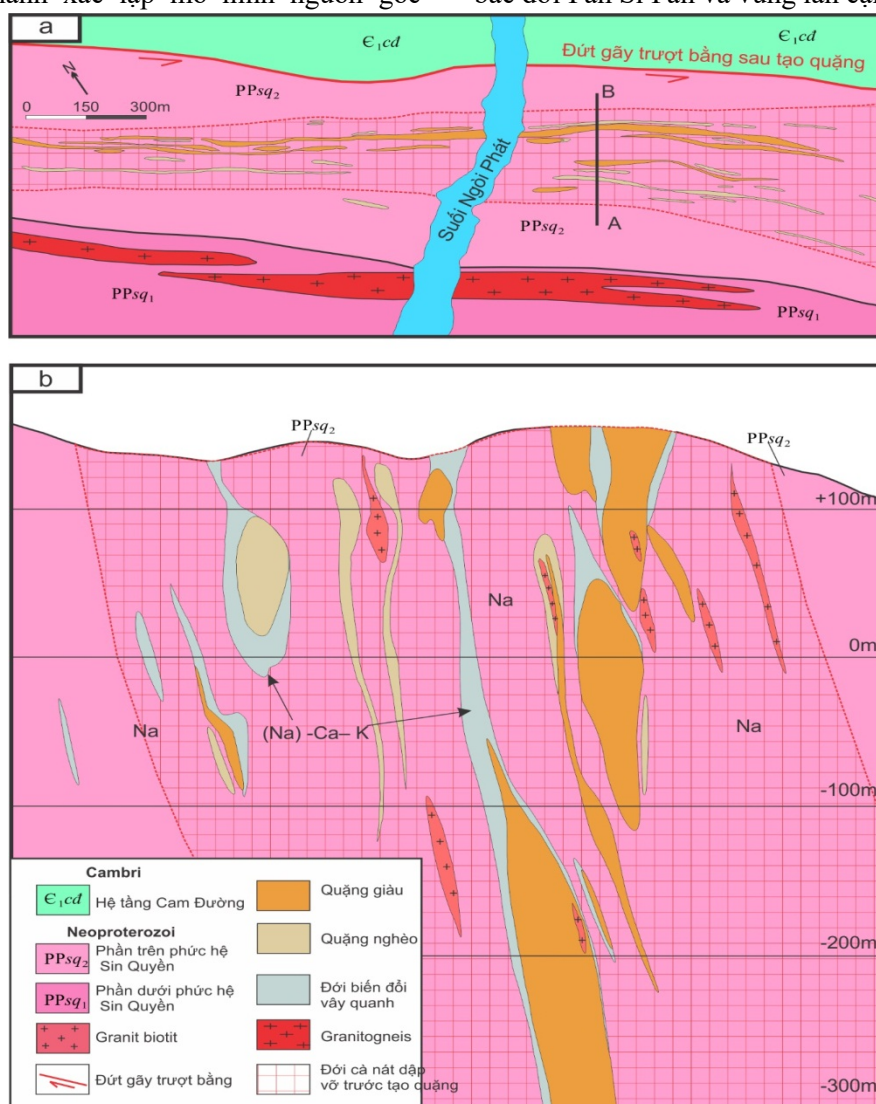
Hình 1. Vị trí kiến tạo vùng nghiên cứu và Sơ đồ địa chất vùng đông bắc á địa khu Fan Si Pan

1- Á địa khu Núi Con Voi; 2- Á địa khu Fan Si Pan; 3- Rift nội lục Permi muộn - Mesozoi Tú Lệ; 4- Rift nội lục Permi muộn - Mesozoi Sông Đà; 5- Trùng nội lục Kainozoi châu thổ Sông Hồng; 6- Gneis xen lớp

mỏng quartzit và quartzit sắt, amphybolit và gneiss amphybol Paleoproterozoi hệ tầng Suối Chiềng; 7- Đá phiến kết tinh, đá phiến thạch anh mica chứa graphit và thau kính amphybolit Paleoproterozoi phức hệ Sin Quyền; 8- Đá trầm tích lục nguyên xen carbonat bị biến chất và đá hoa dolomit Neoproterozoi-Paleozoi; 9- Các thành tạo xâm nhập chưa rõ tuổi; 10- Granit kiềm phức hệ Mường Hum tuổi Permi-Trias sớm; 11- Bazan hệ tầng Viên Nam tuổi Permi muộn; 12- Granitoid phức hệ Po Sen tuổi Neoproterozoi; 13- Đứt gãy nghịch; 14- Đứt gãy thuận; 15- Đứt gãy trượt bằng; 16- Các mỏ quặng và tụ khoáng đồng có tiềm năng lớn.

Trong bài báo này, dựa trên cơ sở tổng hợp, phân tích các kết quả nghiên cứu do tác giả tiến hành trong những năm gần đây tác giả tiến hành xác lập mô hình nguồn gốc

thành tạo mỏ đồng Sin Quyền, phục vụ cho công tác tìm kiếm khoáng sản, đặc biệt là khoáng sản Fe-Cu-Au-đất hiếm (U) rìa đồng bắc đối Fan Si Pan và vùng lân cận.



Hình 2. Vị trí kiến tạo của khu mỏ Sin Quyền (a) và Sơ đồ địa chất và quặng hóa khu mỏ (b)

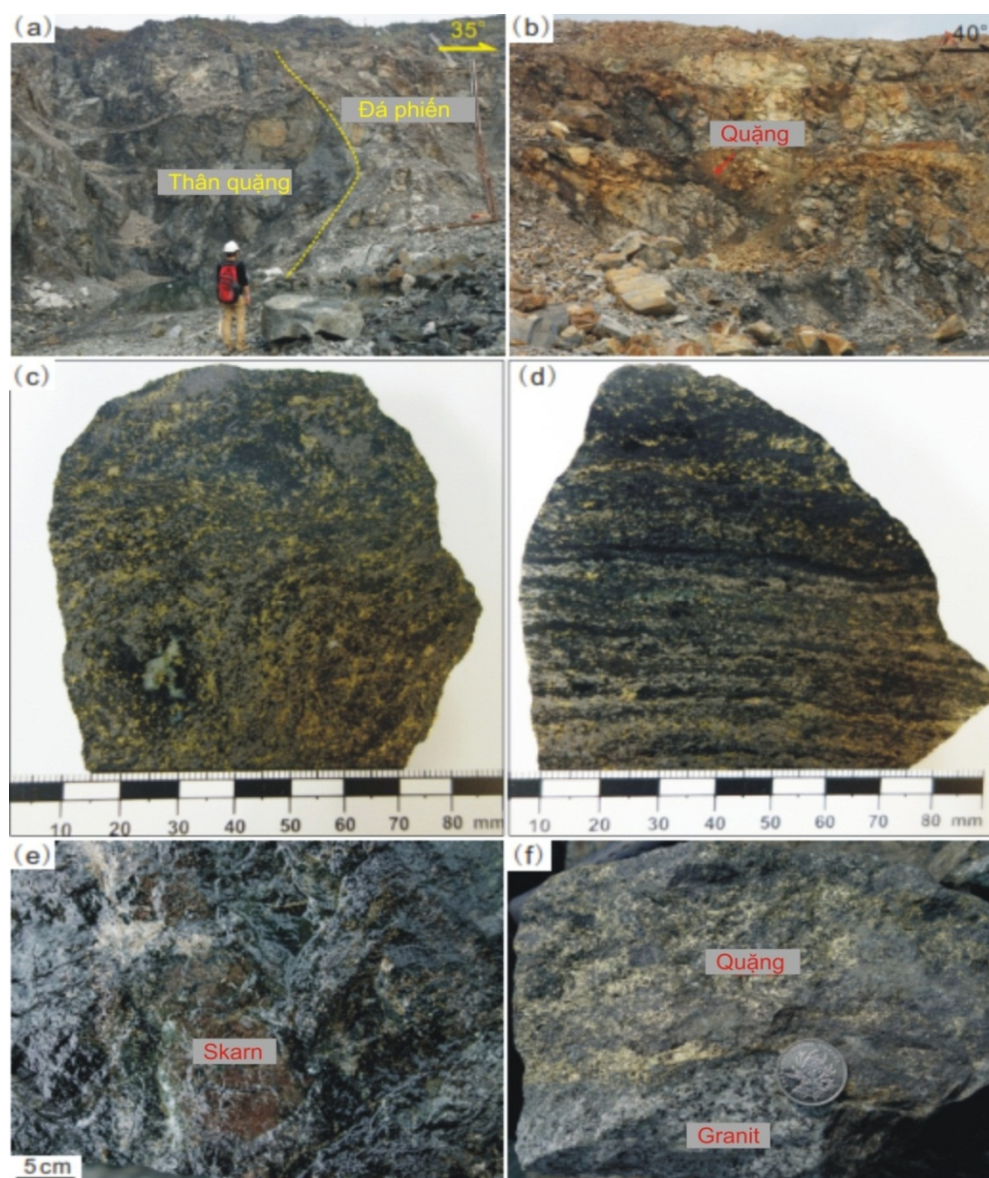
2. Đặc điểm địa chất và quặng hóa mỏ đồng Sin Quyền

Các thành tạo trầm tích bị biến chất thuộc phức hệ Sin Quyền chiếm phần lớn diện tích khu mỏ Sin Quyền. Các đá thuộc phần dưới của phức hệ phân bố ở rìa tây nam khu mỏ,

kéo dài theo phương tây bắc-đông nam (Hình 2), thành phần gồm đá phiến thạch anh 2 mica có graphit bị migmatit hóa và gneiss biotit có graphit bị migmatit hoá, đôi chỗ có gặp granat, turmalin. Các đá thuộc phần trên của phức hệ phân bố ở phía đông bắc khu mỏ

và kéo dài theo phương tây bắc-đông nam, chiếm hầu hết diện tích của mỏ đồng Sin Quyền, thành phần gồm đá phiến thạch anh 2 mica bị migmatit hoá, gneisbiotit bị migmatit hoá (Hình 2). Các đá thuộc phần trên của phức hệ bị dập vỡ, phiến hóa mạnh, bị biến chất không đều, trong các đới dập vỡ phiến hóa có chứa các đá biến chất trao đổi giàu

amphybol, pyroxen, allanit chứa quặng Fe-Cu-Au. Các thể amphybolit, granitogneis, granitoid phân bố rộng rãi trong khu mỏ khiến cho cấu tạo của phần trên hệ tầng Sin Quyền trở nên phức tạp. Toàn bộ quặng đồng của khoáng sàng Sin Quyền đều nằm trong phần này.

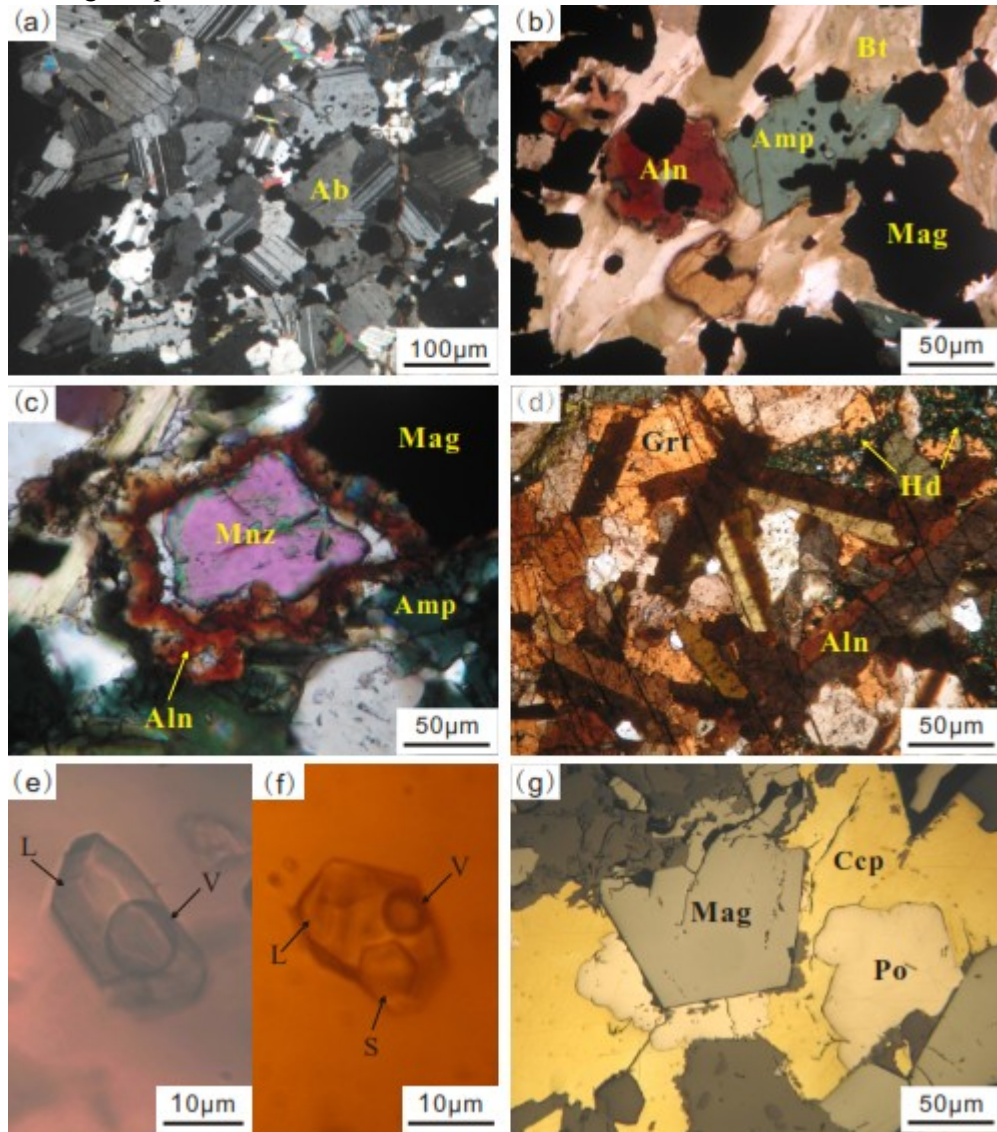


Hình 3. Một số hình ảnh về quặng hóa đồng Sin Quyền

a) Quặng hóa cắt qua mặt phiến của đá biến chất vây quanh (Ảnh chụp tại moong khai thác Khu Tây mỏ Sin Quyền); b) Quặng hóa ở dạng chuỗi mạch, chuỗi ố thấu kính lấp đầy đới cà nát dập vỡ (Ảnh chụp tại moong khai thác Khu Đông mỏ Sin Quyền); c) quặng dạng khối đặc sít; d) quặng dạng dải lấp đầy theo mặt phiến; tổ hợp khoáng vật quặng xuất hiện cùng nhau trong các diện biến đổi kiểu skarn; f) quặng hóa bị granit biotit sau quặng cắt qua.

Đá hoa thuộc hệ tầng Đá Đinh tuổi Neoproterozoi không lộ ra trên mặt địa hình, chỉ gặp ở độ sâu +50m trở xuống, phân bố thành một diện nhỏ trong khu mỏ. Phần phía dưới, hệ tầng có quan hệ kiến tạo với các đá

phần trên hệ tầng Sin Quyền qua đứt gãy nghịch Ngòi Phát, phía phía trên hệ tầng nằm không chỉnh hợp dưới với hệ tầng Cam Đường có thành phần chủ yếu là đá phiến carbonat-thạch anh chứa apatit.



Hình 4. Một số hình ảnh về tổ hợp khoáng vật quặng mỏ Sin Quyền

a) Biến đổi natri trước tạo quặng, sự thay thế đá vây quanh bởi plagioclas giàu albit; b,c) Biến đổi calci xảy ra cục bộ trong đới quặng, tổ hợp khoáng vật chính: amphibol, apatit, pyrit, biotit; c,d); amphibol, apatit, pyroxen và biotit đi cùng khoáng hóa Fe-REE-Cu; e) bao thể 2 tướng khí - lỏng trong granat của quặng hóa đồng Sin Quyền; f) bao thể 3 tướng khí - lỏng - rắn trong granat của quặng hóa đồng Sin Quyền; g) Pyroxen và chalcopyrite cộng sinh cùng magnetit quan sát được trên mẫu khoáng tương.

Quặng hóa đồng khu mỏ Sin Quyền tạo thành một dải hẹp có bề rộng khoảng 150-200m, kéo dài dọc theo đới cả nát dập vỡ phương tây bắc đông nam với chiều dài khoảng 2 km, chiều sâu phát triển lớn hơn 600m (Hình 2b). Quặng hóa khu mỏ bị không

chế bởi các đứt gãy hoặc đới trượt bằng phương tây bắc - đông nam. Các thân quặng có dạng thấu kính hẹp kéo dài theo phương tây bắc – đông nam trùng với phương chung của cấu tạo phiến kiến tạo dọc theo đới cả nát dập vỡ, cắt qua mặt phiến của đá biến chất

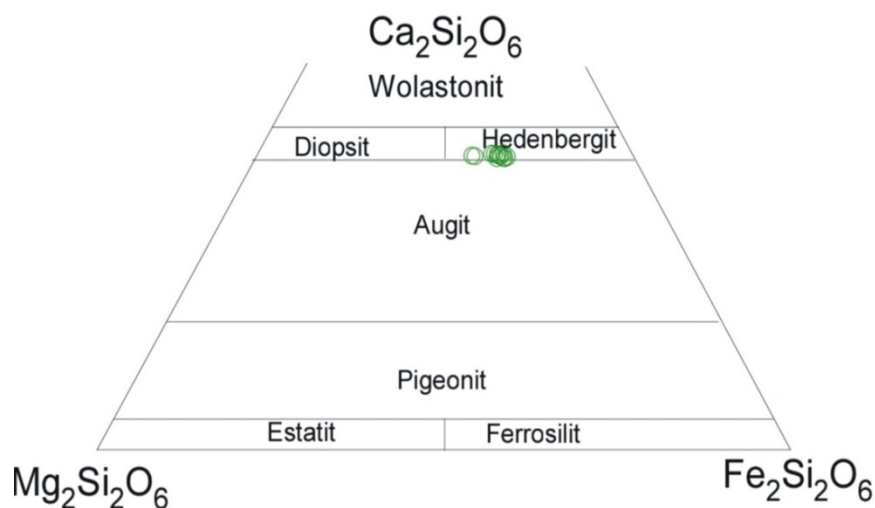
vây quanh (Hình 3a) hoặc thành những chuỗi mạch, chuỗi ở thấu kính lấp đầy đới cả nát dập vỡ (Hình 3b). Dựa vào cấu tạo quặng, quặng hóa đồng Sin Quyền có thể phân thành quặng dạng khối đặc sít (Hình 3c) và quặng dạng dải lấp đầy theo mặt phiến (Hình 3d), với một lượng nhỏ các mạch, vì mạch thạch anh, calcit xuyên cắt không theo quy luật trong đới quặng và đá vây quanh. Magnetit, pyrotin, chalcopyrit và alnalit là những khoáng vật chủ đạo trong quặng hóa đồng Sin Quyền, khoáng vật quặng thứ yếu có monazit, chevkinin, vàng tự nhiên và uraninit. Các tổ hợp khoáng vật này thường xuyên xuất hiện cùng nhau trong các diện biến đổi kiểu skarn (Hình 3e). Quặng hóa thường bị granit biotit sau tạo quặng cắt qua (Hình 3f)

Có 2 tổ hợp giai đoạn biến đổi nhiệt dịch và quặng hóa xuất hiện trong mỏ đồng Sin Quyền bao gồm:

Giai đoạn I: Biến đổi natri trước tạo quặng được đặc trưng bằng sự thay thế các đá vây

quanh quặng bởi plagioclas giàu albit và là biến đổi xuất hiện phổ biến trong hầu hết các đá vây quanh quặng trong khu mỏ (Hình 4a). Tiếp theo sau biến đổi natri là biến đổi calci mang tính cục bộ trong đới quặng với tổ hợp cộng sinh khoáng vật gồm: amphibol, apatit, pyroxen và biotit đi cùng khoáng hóa Fe-REE-Cu

(bastnaessit+monazit+uraninit+pyrotin+chalcopyrit) (Hình 4b,c). Kết quả phân tích EPMA cho thấy pyroxen trong tổ hợp biến đổi này là herdenbergit (Hình 5). Khoáng vật uraninit được nhận biết qua kính hiển vi điện tử quét tích hợp với hệ thống WDS xác định thành phần tại điểm bắn với độ nhạy và độ chính xác <0,1% hàm lượng. Uraninit có dạng hạt đẳng thước, cộng sinh cùng với allanit và magnetit (Hình 4c,d), chứng tỏ chúng thành tạo trong giai đoạn đầu của quặng hóa và xuất hiện trước quá trình tạo quặng sulfur. Quặng sulphur (pyrotin và chalcopyrit cộng sinh cùng magnetit (Hình 4g).



Hình 5. Kết quả phân tích EPMA cho đá chứa quặng khu mỏ Sin Quyền.

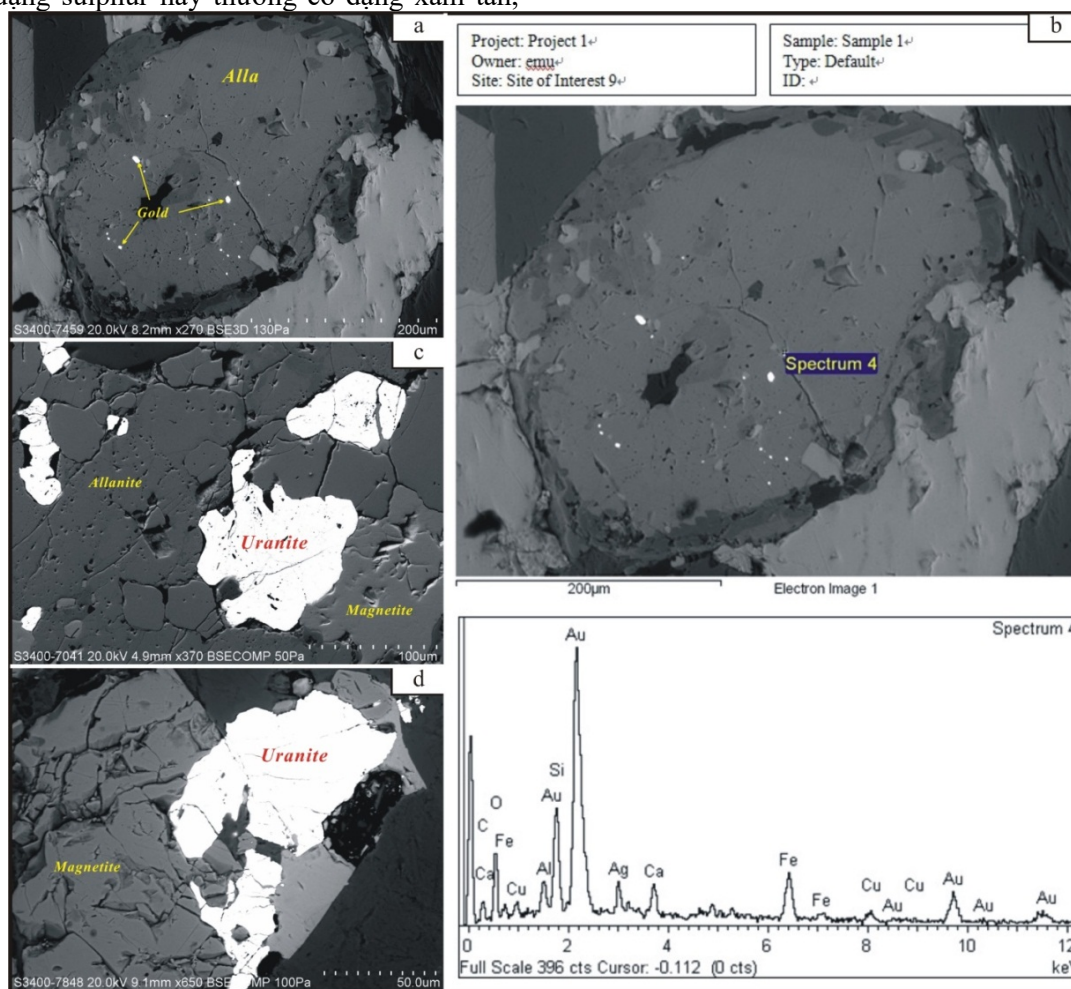
Tại một số khu vực các đá bị biến đổi calci là các đá kiểu skarn với tổ hợp khoáng vật tạo đá chính gồm granat, hedenbergit, allanit và các khoáng vật nhóm sulphur. Kết quả tính chỉ số hóa học của granat trong đá biến chất trao đổi chứa quặng cho thấy chỉ số X_{grossule} trong khoảng 0,62-0,64, với đặc trưng màu vàng, vàng da cam dưới kính hiển vi chứng tỏ khoáng vật granat trong đá chứa quặng khu mỏ Sin Quyền là khoáng vật

hessonit với sự tăng cao đột biến của hàm lượng Ca và Fe. Kết quả phân tích EPMA cho khoáng vật amphibol cho thấy hàm lượng Fe và Ca tăng cao đặc trưng cho khoáng vật hastingsit. Các thành tạo kiểu skarn có quy mô nhỏ, phân bố rải rác, không có hình thái nhất định và thường có quan hệ chuyển tiếp với các kiểu biến đổi khác trong khu mỏ. Trong các đá này, allanit thường cộng sinh cùng các hạt granat và magnetit tự hình và

được bao quanh bởi hedenbergit (Hình 4d). Kiến trúc này cho thấy biến đổi kiểu skarn cộng sinh cùng khoáng hóa Fe-Cu. Trong granat xuất hiện hàng loạt các bao thể khí lỏng có hình thái khá rõ ràng chủ yếu là bao thể 2 tướng khí - lỏng và bao thể 3 tướng khí - lỏng - rắn (Hình 4e,f) với sự xuất hiện của tinh thể muối chứng tỏ granat trong quặng hóa đồng Sin Quyền là granat thành tạo trong quá trình biến chất trao đổi cận nguồn magma.

Giai đoạn II: khoáng hóa Cu-(Au) bắt đầu với lượng nhỏ pyrit, tiếp theo là pyrotin và kết thúc với chalcopyrit và cubanit. Tổ hợp quặng sulphur này thường có dạng xâm tán,

vi mạch hoặc phân dải lấp đầy theo mặt片片 chồng lẫn lên tổ hợp cộng sinh khoáng vật giai đoạn I. Vàng tự nhiên thường xuất hiện ở dạng vi hạt và có quan hệ chặt chẽ với các khoáng vật nhóm sulphur. Vàng tự nhiên là khoáng vật ít gặp trong quặng hóa đồng Sin Quyền. Ngoài ra kết quả nghiên cứu của chúng tôi trên cơ sở sử dụng kính hiển vi điện tử quét và WDS đã xác định được vàng tự nhiên xuất hiện trong quặng hóa ở dạng vảy nhỏ, dạng bao thể nằm trong các tấm tinh thể allanit (Hình 6a,b). Khoáng vật phi quặng trong khu mỏ chủ yếu là biotit, thạch anh và calcit.



Hình 6: Một số hình ảnh về vàng tự nhiên và uraninit dưới kính hiển vi điện tử quét (SEM) và phân tích microzond WDS

a- vàng tự nhiên vi hạt trong allanit; b- điểm bắn và thành phần (xác định bằng thiết bị WDS) dưới kính hiển vi điện tử quét SEM; c,d- uraninit cộng sinh cùng magnetit và allanit.

Kết quả phân tích tuổi U-Pb cho các hạt zircon nhiệt dịch và monazit cộng sinh với

quặng hóa Fe-Cu-Au-REE trong khu mỏ cho thấy quặng hóa đồng Sin Quyền được thành

tạo trong khoảng 841 ± 12 tr.năm đến 836 ± 18 tr.năm, tuổi Sm-Nd cho quặng là 830 ± 87 tr.năm (Li và nnk, 2018a) nằm trong khoảng sai số của kết quả tuổi U-Pb cho zircon và monazit chứng tỏ quặng hóa Fe-Cu-Au-REE mỏ Sin Quyền thành tạo trong khoảng thời gian 830-841 tr.năm tương ứng với Neoproterozoi.

Mối quan hệ về nguồn gốc giữa hoạt động magma Neoproterozoi khu mỏ Sin Quyền và vùng lân cận thể hiện rõ qua các biểu đồ tương quan của đồng vị oxy và đồng vị Hf (Li và nnk, 2018a,b) và kết quả nghiên cứu về nguồn gốc quặng đồng mỏ Suối Thầu ở về phía tây bắc khu mỏ (Tran và nnk, 2016).

3. Mô hình tiến hóa kiến tạo – magma Neoproteroi khu vực và sinh khoáng Fe-Cu-Au

3.1. Mối quan hệ kiến tạo khu vực của hoạt động magma Neoproteroi khu mỏ Sin Quyền và lân cận

Các đá magma xâm nhập trong khu mỏ Sin Quyền và vùng lân cận có tuổi thành tạo trong khoảng 750-834 tr.năm thuộc loại kiềm vôi, và mang những đặc trưng địa hóa của magma cung, đó là giàu LILE, LREE, và nghèo HFSE (Li và nnk, 2018b; Tran nnk, 2016). Những đặc trưng địa hóa của magma cung cũng được xác lập trong các thành xâm nhập mafic, nguồn gốc manti và cùng tuổi với các thành tạo này, xuất hiện trong khu vực đới Ailao Shan, phía nam Trung Quốc (Cai và nnk, 2014; Li và Zhou, 2018; Qi và nnk, 2014; Tran và nnk, 2016). Trong những biểu đồ phân biệt nguyên tố vết, hầu hết các đá granitoid có tuổi Neoproterozoi trong đới Ailao Shan-Phan Si Pan đều rơi vào trường granitoid cung núi lửa và hoàn toàn vắng mặt các đá kiềm cũng như granit kiểu S (Cai và nnk, 2014, 2015; Pham và nnk, 2009; Qi và nnk, 2014). Tất cả những đặc trưng này chứng tỏ rằng các thành tạo xâm nhập tuổi Neoproterozoi trong đới Ailao Shan-Phan Si Pan được hình thành trong bối cảnh có liên quan đến hoạt động hút chìm. Một thành hệ đá như vậy chính là một đặc trưng của bối cảnh kiến tạo có liên quan đến hoạt động hút chìm (Barbarin, 1999). Sự xuất hiện của các khối magma xâm nhập mafic đồng niên đại trong khu vực chứng tỏ rằng hoạt động

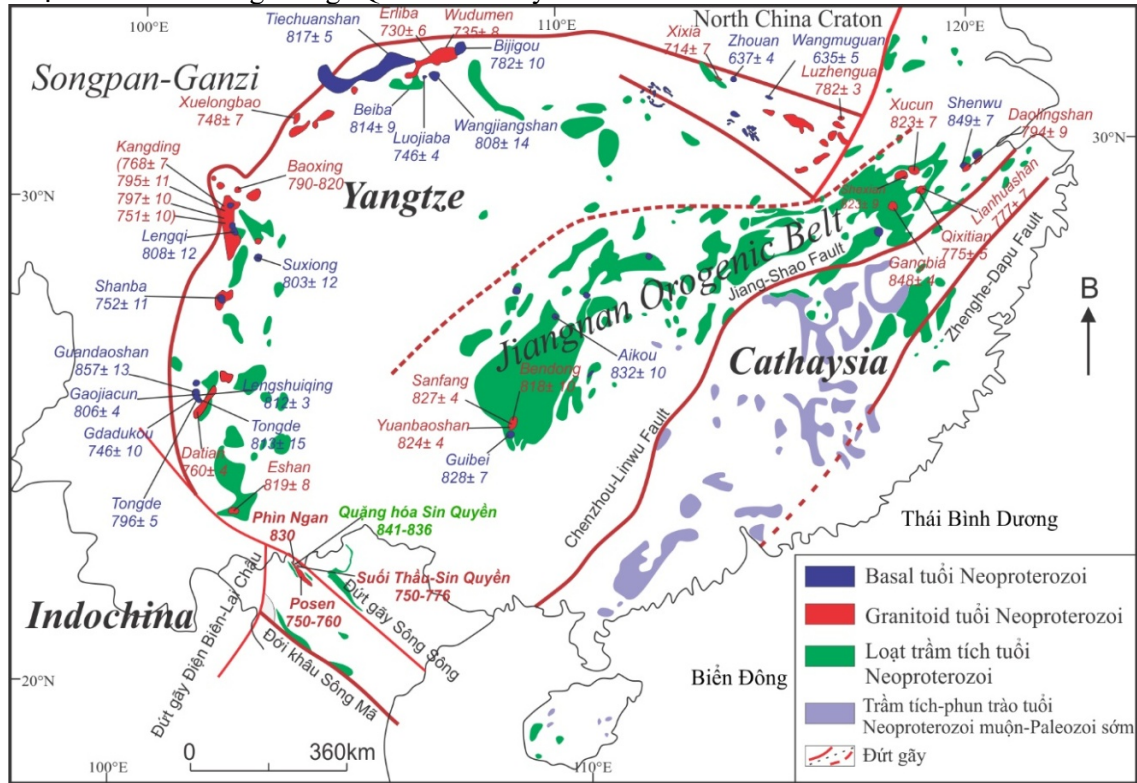
magma mafic đã thực sự tồn tại và cung cấp lượng nhiệt cần thiết cho việc nóng chảy vỏ. Sự nóng chảy vỏ tạo ra bởi magma mafic đáy mảng/nội mảng thường liên quan đến hoạt động căng giãn hoặc trượt căng (Kemp và nnk, 2009). Kết quả nghiên cứu về đặc điểm thạch địa hóa, đặc điểm đồng vị cho thấy các thành tạo xâm nhập Phìn Ngan trong đới Phan Si Pan được xâm nhập trong môi trường địa động lực căng giãn có liên quan đến hoạt động hút chìm (Li và nnk, 2018b).

Kết quả phân tích địa hóa cho granodiorit và granit khối Posen tại khu vực Mường Vi (phía tây vùng nghiên cứu) cho thấy granitoid Posen khá giàu nguyên tố đất hiếm nhóm nhẹ, dị thường âm Eu yếu, giàu các nguyên tố K, Rb, Ba, Pb, Th và U nghèo kiệt các nguyên tố Nb, Ti, P, Zr (Lan và nnk, 2000) chủ yếu thuộc kiểu I granit. Các kết quả nghiên cứu địa hóa đồng vị cho thấy granitoid Posen được tạo ra bởi sự pha trộn giữa các thành phần đến từ man ti, vỏ cổ với các thành phần đến từ vỏ trẻ (Lan và nnk, 2000). Các giá trị biến thiên địa hóa và kết quả phân tích đồng vị Hf cho zircon từ granitoid Posen cho thấy sự tương đồng, gần gũi giữa các thành tạo magma này với các thành tạo granitoid trong khu mỏ Sin Quyền, mang đặc trưng của magma cung.

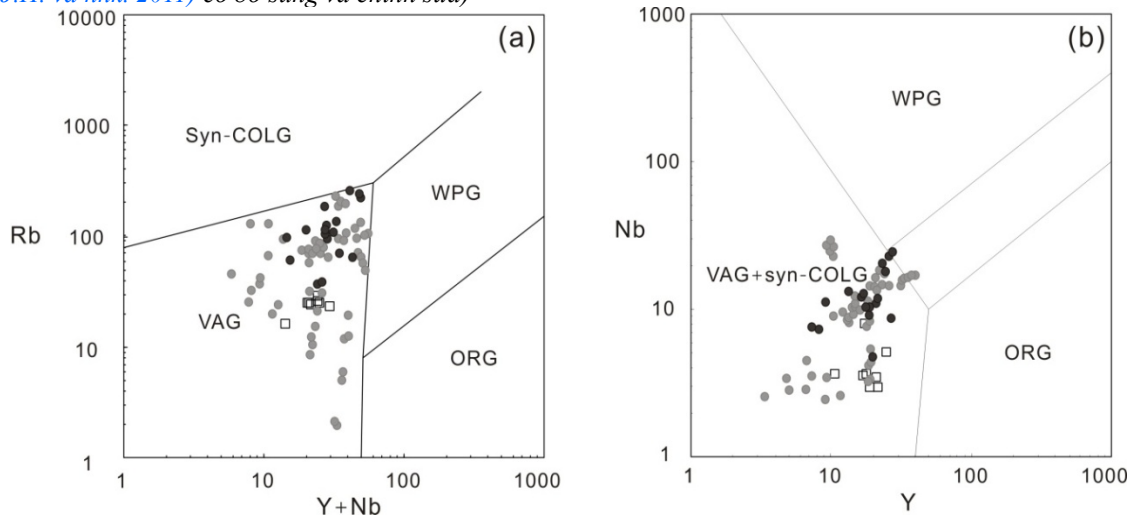
Như vậy, một loạt các khối magma xâm nhập granit đã được nhận dạng trong đới Phan Si Pan, Tây bắc Việt Nam, bao gồm granit Phìn Ngan có tuổi ~825 triệu năm, granit Suối Thầu, các thể granit trong mỏ Sin Quyền và phức hệ Posen có tuổi 760 tr.năm đến 750 tr. năm. Granit Phìn Ngan được sinh ra bởi quá trình nóng chảy từng phần của một vỏ cổ giàu kali, và granitoid Sin Quyền, Posen được bắt nguồn từ sự nóng chảy và pha trộn của các vật chất đến từ manti. Các thành tạo magma xâm nhập granit này được kết tinh trong bối cảnh kiến tạo có liên quan đến hoạt động hút chìm, tương đồng với các khối xâm nhập tạo ra do hút chìm tuổi Neoproterozoi xuất hiện dọc rìa tây của địa khối Dương Tử, phía nam Trung Quốc (Hình 7). Nhận định này phù hợp với kết quả xử lý địa hóa trên biểu đồ phân chia các trường kiến tạo của các thành tạo granitoid (Hình 8, 9). Sự tương quan về magma này cùng với những dấu hiệu địa chất trùng khớp khác nữa chứng tỏ khu

vực Tây bắc Việt Nam nhiều khả năng đại diện cho bộ phận dịch chuyển về phía đông nam của địa khối Dương Tử dọc theo đới trượt Ailaoshan-Sông Hồng. Quan điểm này

cũng đã được nhiều nhà nghiên cứu đề cập, chứng minh (Lan và nnk. 2001; Trần N. Nam. 2001).

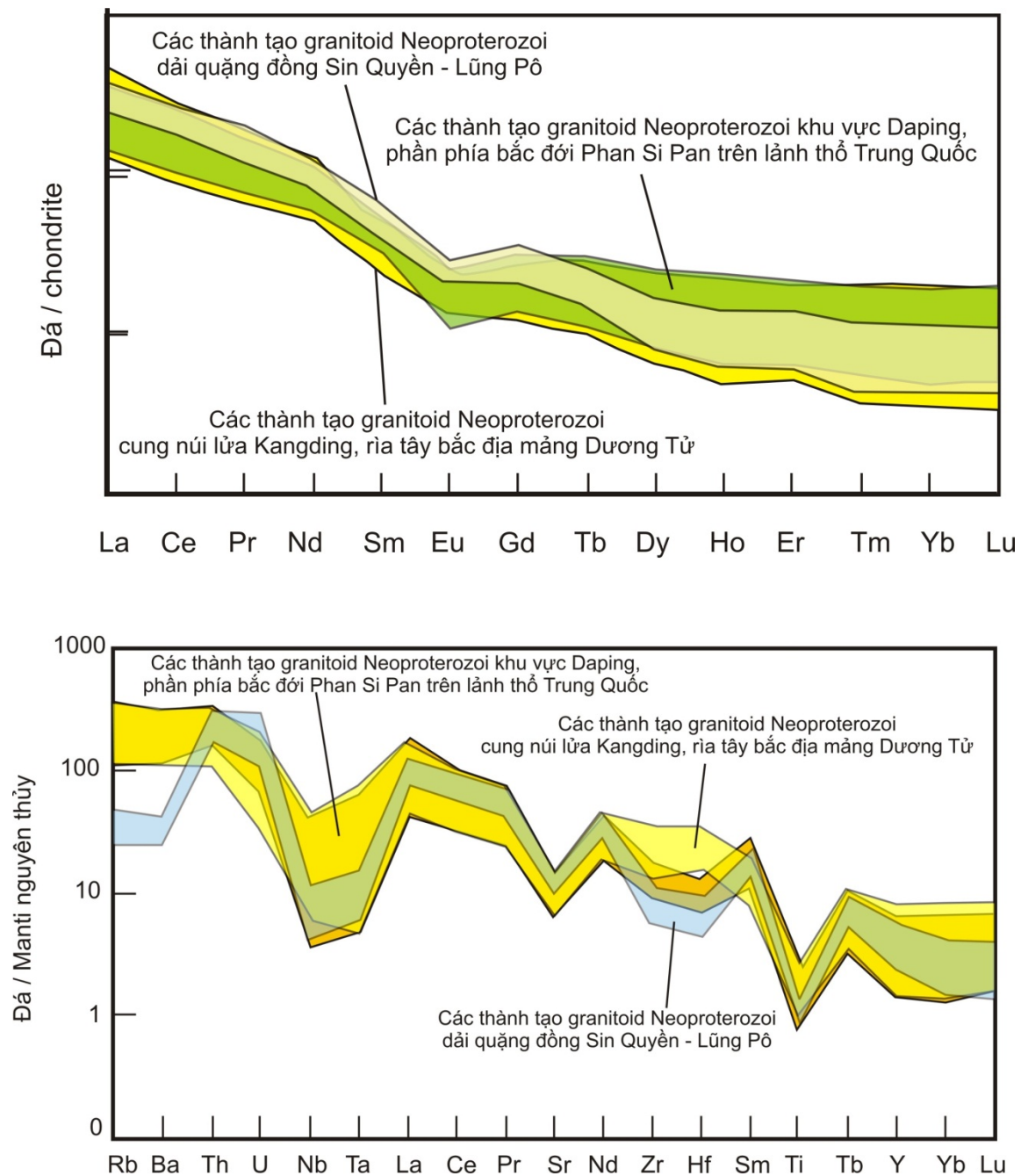


Hình 7. Sơ đồ phân bố các thành tạo Neoproteroi thuộc địa mảng Hoa Nam (Dựa trên hình vẽ của (Zhao J.H. và nnk. 2011) có bổ sung và chỉnh sửa)



Hình 8: Biểu đồ phân chia các trường kiến tạo cho granitoid (Pearce et al, 1984)

Vòng tròn màu đen là kết quả trong đề tài này, Hình vuông là kết quả cho khối granitoid Suối Thầu, hình tròn màu nâu nhạt là giá trị tổng hợp từ (Lan Q.Y. và nnk. 2000; Pham và nnk. 2009) cho khối Posen; (Qi X.X. và nnk. 2014) cho khối D'aping tuổi Neoproterozoi phân bố tại phần phía bắc đới Phan Si Pan trên lãnh thổ Trung Quốc.



Hình 9. Đối sánh về đặc điểm địa hóa các thành tạo magma khu vực tuổi Neoproterozoic liên quan đến khoáng hóa Cu-Fe-Au.

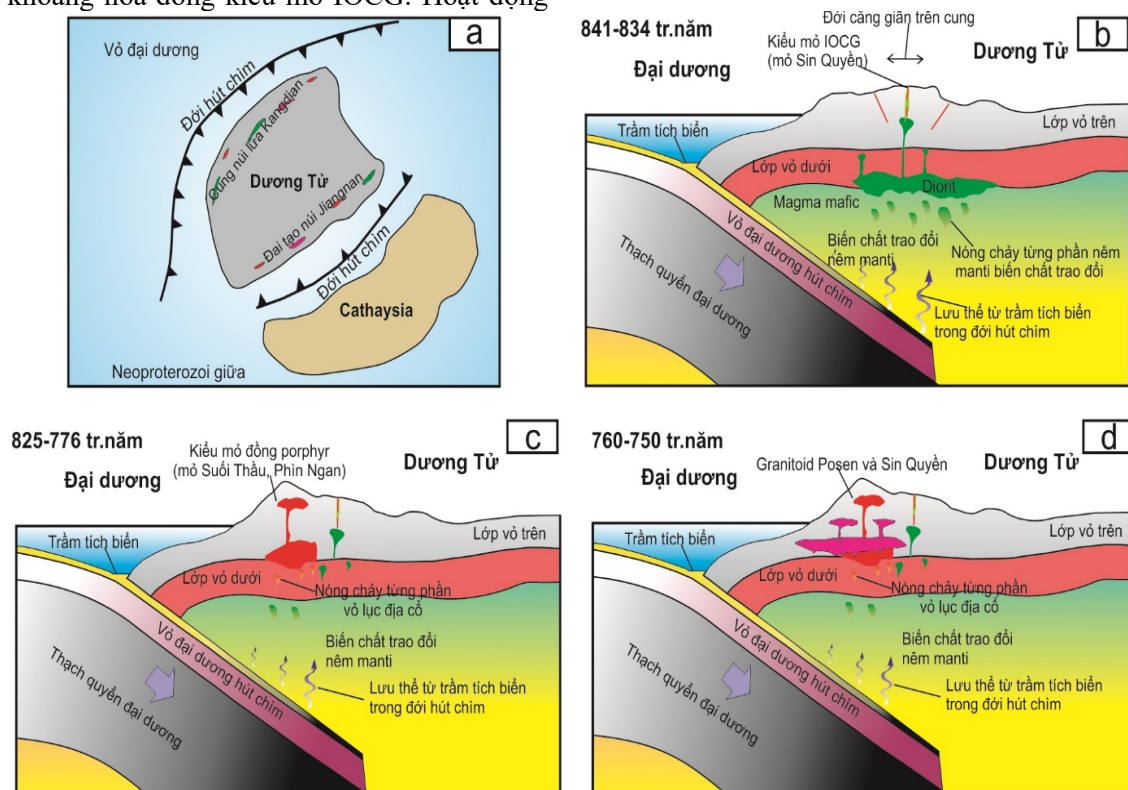
3.2. Mô hình tạo kiến tạo – sinh khoáng khu vực hình thành quặng hóa mủ Sin Quyền

Trước Neoproterozoic các đá biến chất trình độ cao thuộc vùng nghiên cứu có vai trò là móng kết tinh của địa mảng cổ được cấu thành từ các đá biến chất trình độ cao phức hệ Suối Chiềng và phức hệ Sin Quyền. Sang giai đoạn Neoproterozoic (841-834 tr.năm) địa mảng Dương Tử phát sinh mạnh mẽ hoạt

động magma mafic-trung tính liên quan đến nguồn manti và hoạt động magma hút chìm (Hình 10a). Mặc dù các loại hình granitoid khá đa dạng nhưng khoảng tuổi thành tạo gần như tương đồng với hoạt động magma trung tính đến bazơ (Li và nnk, 2018b), điều này chứng tỏ hoạt động magma granitoid hình thành trong cùng một bối cảnh kiến tạo. Hoạt động kiến tạo dẫn đến quá trình căng giãn cục bộ trên cung, hình thành các đới cà nát dập

vỡ dọc theo các đứt gãy thuận. Hoạt động magma cung phát triển mạnh mẽ và chia thành 3 giai đoạn chính: giai đoạn I (841-834 tr.năm) hoạt động hút chìm của mảng vỏ đại dương Prototethys xuống dưới vỏ lục địa Dương Tử dẫn đến sự hình thành magma kiềm vôi mafic - trung tính liên quan đến khoáng hóa đồng (Hình 10b). Tại khu vực Sin Quyền, hoạt động magma có thể kết tinh ở dưới sâu (10-15km), dung dịch hậu magma đi lên theo hệ thống đới cà nát dập vỡ gây biến đổi các đá vây quanh và thành tạo khoáng hóa đồng kiểu mỏ IOCG. Hoạt động

magma cung giai đoạn 2 dẫn đến sự nóng chảy từng phần lớp vỏ dưới đóng vai trò là vỏ lục địa cô, lò magma được tạo thành từ nguồn lưu thể manti, bộ phận nóng chảy lớp vỏ dưới và hình thành nên các đá magma là các thành tạo magma kiềm vôi trung tính axit kiểu Phìn Ngan và Suối Thầu có xu hướng đi lên theo các hệ thống đới cà nát dập vỡ và các thớ chẻ mặt trực của các nếp lồi khu vực, kết tinh ở độ sâu nông hơn (2-5km) hình thành khoáng hóa đồng kiểu mỏ đồng porphyr nghèo molybden (Hình 10c).



Hình 10. Mô hình thành tạo các loại hình mỏ chính trong khu vực.

Giai đoạn 3 là hoạt động của granit kiềm vôi kiểu Posen và các đai mạch granit trong khu mỏ Sin Quyền (Hình 10d), giai đoạn magma này có biểu hiện khoáng sản yếu, chưa tìm thấy các biểu hiện khoáng hóa có giá trị liên quan, trong khu mỏ Sin Quyền đóng vai trò xuyên cắt và phá hủy quặng hóa, đôi chỗ làm giàu cục bộ tại rìa tiếp xúc với các thân quặng mỏ Sin Quyền. Hoạt động kiến tạo Neoproterozoic muộn và Pleozoi sớm chỉ ghi nhận được với sự xuất hiện của các thành tạo trầm tích lục nguyên – carbonat của Loạt Sa Pa, hệ tầng Cam Đường, Bản Nguồn và Bản Páp phủ bất chỉnh hợp lên trên các

thành tạo biến chất và magma có trước mang đặc trưng của rìa lục địa thụ động. Hoạt động kiến tạo Indosini (Permian muộn – Trias sớm) phát triển cục bộ tại rìa tây vùng nghiên cứu với xuất hiện của tổ hợp á xâm nhập – phun trào mafic Viên Nam đi cùng với nó là các hoạt động dập vỡ kiến tạo cục bộ với sự lấp đầy dung dịch nhiệt dịch sau magma hình thành khoáng hóa đồng kiểu Lũng Pô. Hoạt động kiến tạo Kainozoi thể hiện rõ nét trong vùng nghiên cứu với sự xuất hiện của các đứt gãy trượt bằng khu vực và hoạt động magma kiềm kiểu Pu Sam Cáp và các đứt gãy nghịch xuất hiện tại những vùng nén ép nằm kẹp

giữa hai hệ thống đứt gãy trượt bằng. Giai đoạn kiến tạo này đóng vai trò phá hủy quặng hóa, chia cắt vùng nghiên cứu thành các khối thấu kính kiến tạo với sự biến dạng mạnh mẽ ở rìa mỗi khối, phần nội bộ khối biến dạng yếu hơn nên có sự bảo toàn quặng hóa đã hình thành. Hoạt động kiến tạo này chia cắt, dịch trượt đẩy phần phía tây bắc vùng nghiên cứu nâng cao, phần phía đông bắc vùng nghiên cứu có xu hướng sụt xuống dẫn đến càng về phía tây nam quặng hóa càng tồn tại dưới sâu có thể tồn tại các thân quặng ẩn sâu.

3.3. Mô hình nguồn gốc hình thành mỏ đồng Sin Quyền

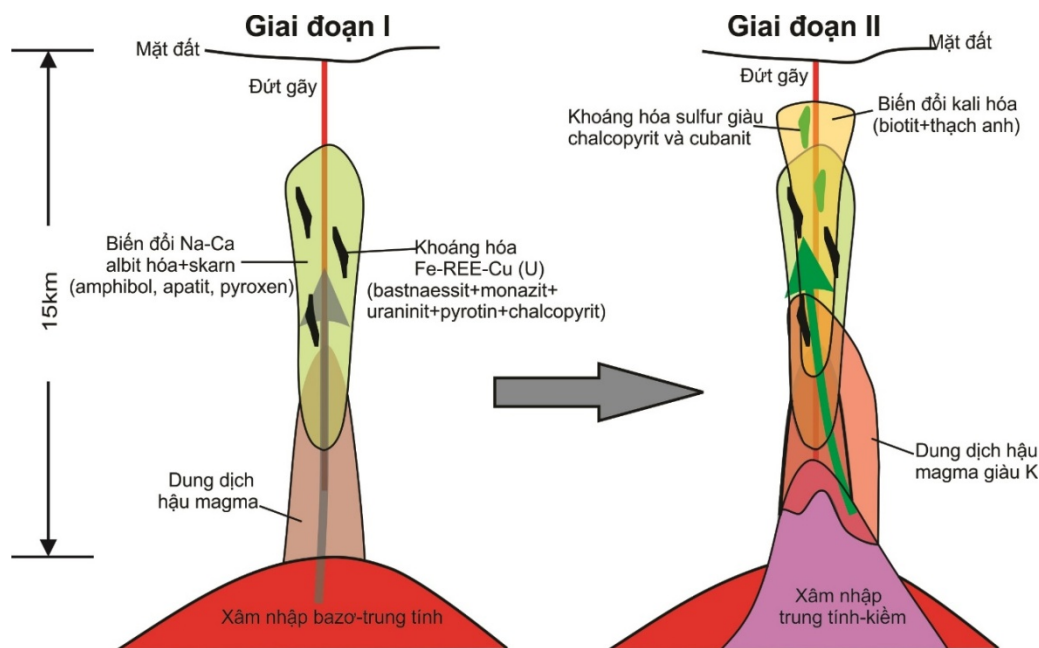
Những nghiên cứu đã tiến hành tại khu mỏ Sin Quyền đã đưa ra nhiều nhận định về việc xác lập kiểu loại hình nguồn gốc cho mỏ Sin Quyền. Một số tác giả cho rằng mỏ đồng Sin Quyền thuộc về kiểu mỏ conchedan đồng kiểu đảo Síp sau đó bị biến chất cùng với quá trình biến chất khu vực để hình thành hệ tầng Sin Quyền. Quá trình biến chất được cho là đạt đến tướng amphibolit cao với sự xuất hiện của tổ hợp pyroxen-granat-plagioclas và hornblende (Gas'kov *nnk*, 2012). Mặc dù vậy những kết quả nghiên cứu của (Tạ Việt Dũng và *nnk*, 1975) và những nghiên cứu về tổ hợp khoáng vật và EPMA lại cho thấy các tổ hợp đá biến đổi trong khu mỏ Sin Quyền thể hiện rõ nét cho kiểu mỏ có nguồn gốc biến chất trao đổi “dạng skarn”. Quặng hóa đồng trong đá biến chất hệ tầng Sin Quyền là một tổ hợp quặng hóa gồm Fe-Cu-Au-REE-U và các kim loại đi kèm khác. Tổ hợp khoáng vật chính chứa Fe, Cu, Au, REE, U cùng tồn tại trong những tổ hợp cộng sinh khoáng vật có mối quan hệ gần gũi và cùng một hệ thống tạo quặng. Kết quả phân tích EPMA cho các khoáng vật vây quanh quặng cho thấy đây là những khoáng vật giàu Ca, Fe và kali; trong đó granat là hessonit, pyroxen là hedenbergit và amphibol là hastingsit mang đặc trưng của biến đổi kiểu skarn (Shimazaki, 1982). Kết quả đối sánh giữa hàm lượng Cl và Fe/Fe+Mg cho thấy khoáng vật amphibol và biotit vây quanh quặng khá giàu Cl (Hình 11), sự xuất hiện của các bao thể khí lỏng siêu muối trong granat chứng tỏ quặng hóa đi cùng quá trình biến chất trao đổi kiểu skarn liên quan đến nguồn dung dịch hậu magma.

Những nghiên cứu về kiểu mỏ IOCG (oxyt sắt-đồng-vàng-đất hiếm-urani) cho thấy đây là một kiểu mỏ khá điển hình trên thế giới, đặc trưng cơ bản của kiểu mỏ này là sự liên quan mật thiết của chúng với hoạt động magma trung tính ở dưới sâu. Các khối xâm nhập liên quan đến quặng hóa thường kết tinh ở độ sâu khoảng 15km, sau đó dung dịch nhiệt dịch giàu sắt được chiết suất ra từ quá trình kết tinh của những khối magma này, sau đó được di chuyển theo những đứt gãy có mặt đứt gãy gần như thẳng đứng, đi lên gây biến chất trao đổi và tích đọng trong những khu vực thuận lợi thường ở độ sâu 3-5km cách bề mặt, hình thành lên mỏ IOCG. Những nghiên cứu trên thế giới cho thấy quá trình tạo quặng IOCG thường bắt đầu bằng quá trình biến chất trao đổi Ca-Na-Fe trên diện rộng, sau đó là các quá trình biến chất trao đổi K-Fe và các quá trình biến đổi nhiệt dịch khác.

Dựa trên tổ hợp cộng sinh khoáng vật, đặc điểm các đá biến đổi và quặng hóa, chúng tôi cho rằng mỏ đồng Sin Quyền mang nhiều đặc trưng cho kiểu loại hình mỏ IOCG, đây cũng là nhận định của một số nghiên cứu có uy tín trên thế giới (McLean, 2001; Zhou và *nnk*, 2014). Giá trị $\delta^{34}\text{S}$ của những khoáng vật sulfid trong mỏ Sin Quyền có một khoảng hẹp, dao động gần giá trị 0‰ (-0,8 đến +3,1‰) (Li và Zhou, 2018), nó trùng với trường thành phần của sulfur nguồn magma (Seal, 2006). Kết quả này cho thấy quá trình hình thành quặng liên quan đến dung dịch tạo quặng kiểu hỗn hợp magma-nhiệt dịch mang đặc trưng cho kiểu mỏ IOCG (Williams và *nnk*, 2005). Biến chất tiếp xúc kiểu skarn xuất hiện trong rất nhiều các mỏ IOCG, kiểu mỏ mà thường được cho rằng là phản ánh mối quan hệ tiếp xúc giữa dung dịch nhiệt độ cao có nguồn gốc magma với các đá vây quanh giàu Ca (Ismail và *nnk*, 2014; Wang và Williams, 2001; Williams và *nnk*, 2005). Do vậy, với sự xuất hiện một cách cục bộ các biến đổi kiểu skarn trong mỏ Sin Quyền một lần nữa ủng hộ quan điểm về sự liên quan của dung dịch kiểu hỗn hợp magma-nhiệt dịch trong quá trình hình thành quặng. Mỏ Sin Quyền là một mỏ IOCG gần gũi với mô hình tạo quặng đến hoạt động magma của (Williams và *nnk*, 2005). Dựa trên kết quả nghiên cứu, tác giả bước đầu đưa ra mô hình

tổng quát giải thích về nguồn gốc thành tạo cho mỏ đồng Sin Quyền (Hình 11). Theo đó, sự hình thành quặng hóa mỏ Sin Quyền trải qua hai giai đoạn: giai đoạn I: dung dịch nhiệt dịch hậu magma triết tách từ các khối xâm nhập bazơ-trung tính dưới sâu đi lên dọc theo đứt gãy có mặt đứt gãy gần như thẳng đứng tạo ra hiện tượng tương biến đổi natri hóa

trên diện rộng, tiếp theo sau biến đổi skarn cục bộ đi cùng với khoáng hóa Fe-REE-Cu; giai đoạn II: dung dịch nhiệt dịch hậu magma giàu kali được hình thành đi lên tạo hiện tượng biến đổi kali hóa (biotit và thạch anh) chồng lấn lên các đá biến đổi và quặng hóa giai đoạn I hình thành quặng hóa Cu-Au đi cùng với tổ hợp các khoáng vật quặng sulfur.



Hình 11. Mô hình tổng quát giải thích về sự hình nguồn gốc thành tạo cho mỏ đồng Sin Quyền
Kết luận

1. Quặng hóa Fe-Cu-Au-REE (U) khu mỏ Sin Quyền được tạo thành từ dung dịch tạo quặng có nguồn gốc hỗn hợp magma-nhiệt dịch liên quan đến hoạt động magma Neoproterozoic hình thành do sự hút chìm của vỏ đại dương cổ Prototethys xuống dưới vỏ lục địa Dương Tử.

2. Quặng hóa đồng mỏ Sin Quyền mang đặc trưng của kiểu mỏ IOCG được hình thành trong hai giai đoạn. Theo đó, quặng hóa đồng-quặng giai đoạn I đi cùng với quặng hóa sắt, đất hiếm, urani và các biến đổi natri-calcic hóa (biến đổi albit hóa và skarn); quặng đồng giai đoạn II đi cùng với khoáng hóa vàng và các biến đổi kali hóa (biến đổi biotit hóa và thạch anh hóa).

Tài liệu tham khảo

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments.

Vol. 46 Lithos 605-626.

Bùi Phú Mỹ và nnk. 1978. Báo cáo đo vẽ lập bản đồ địa chất và khoáng sản nhóm tờ Lào Cai – Kim Bình, tỷ lệ 1:200.000. *Lưu trữ Tổng cục Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội.*

Cai Y., Wang Y., Cawood P.A., Zhang Y., Zhang A. 2015. Neoproterozoic crustal growth of the Southern Yangtze Block: Geochemical and zircon U–Pb geochronological and Lu–Hf isotopic evidence of Neoproterozoic diorite from the Ailaoshan zone. *Precambrian Research* 266: 137–149.

Cai, Y. F., Y. J. Wang, P. A. Cawood, W. M. Fan, H. C. Liu, X. W. Xing, Y. Z. Zhang. 2014. Neoproterozoic subduction along the Ailaoshan zone, South China: geochronological and geochemical evidence from amphibolite. *Precambrian Research* 245: 13–28.

Gas'kov I.V., Tran T.A., Tran T.H., Pham T.D., Nevolko P.A., Pham N.C. 2012. The Sin Quyen Cu-Fe-Au-REE deposit (northern Vietnam): composition and formation conditions *Russian Geology and Geophysics* 53:442–456.

- Hoàng Hoa Cường, Nguyễn Đức Hân. 1969.** Các kiểu tạo quặng vùng Sinh Quyền. *Tạp chí địa chất. Loạt A (81-82): 23-32.*
- Ishihara S., Hirano I. H., Hoshino M., Pham N.C., Pham T.D., Tran T.A. 2011.** Mineralogical and chemical characteristics of the allanite-rich copper and iron ores from the Sin Quyen mine, northern Vietnam. *Bulletin of the Geological Survey of Japan* 62: 197-209.
- Ismail R., Ciobanu C.L., Cook N.J., Teale G.S., Giles D., Mumm AS, W. B. 2014.** Rare earths and other trace elements in minerals from skarn assemblages, Hillside iron oxide-copper-gold deposit, Yorke Peninsula, South Australia. *Lithos* 184-187: 456-477.
- Kemp A.I.S., Hawkesworth C.J., Collins W.J., Gray C.M., Blevin P.L. 2009.** Isotopic evidence for rapid continental growth in an extensional accretionary orogen: The Tasmanides, eastern Australia. *Vol. 284. Earth and Planetary Science Letters* 455-466.
- Lan, C.Y., Chung S.L., Lo C.H., Lee T.Y., Wang P.L., Li H., Dinh V.T. 2001.** First evidence for Archean continental crust in northern Vietnam and its implications for crustal and tectonic evolution in Southeast Asia. *Geology* 29: 219-222.
- Lan Q.Y., Chung S.L., Shen J.J.S., Lo C.H., Wang P.L., Tran T.H., Hoang H.T., Mertzman S.A. 2000.** Geochemical and Sr±Nd isotopic characteristics of granitic rocks from northern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences* 18: 267-280.
- Li X.C., Zhao J.H., Zhou M.F., Gao J.F., Sun W.H., Tran M.D. 2018a.** Neoproterozoic granitoids from the Phan Si Pan belt, Northwest Vietnam: Implication for the tectonic linkage between Northwest Vietnam and the Yangtze Block. *Precambrian Research* 309: 212-230.
- Li X.C., Zhou M.F., Chen W.T., Zhao X.F., Tran M.D. 2018b.** Uranium-lead dating of hydrothermal zircon and monazite from the Sin Quyen Fe-Cu-REE-Au-(U) deposit, northwestern Vietnam. *Mineralium Deposita* 53: 399-416.
- Li X.C., Zhou M.F. 2018.** The Nature and Origin of Hydrothermal REE Mineralization in the Sin Quyen Deposit, Northwestern Vietnam. *Economic Geology*. 113: 645-673.
- 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, volume 2. Adelaide, PGC Publishing: p. 293301.*
- Pham, T.H., Chen F.K., Wang W., Nguyen T.B.T., Bui M.T., Nguyen Q.L. 2009.** Zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition of the Posen granite in northwest Vietnam *Acta Petrologica Sinica* 25: 3141-3152.
- Phan Trường Thị. 1964.** Các đá métasomatit chứa sắt và đồng khu vực Lào Cai. *Tạp chí địa chất. Loạt A (32): 9-15.*
- Qi X.X., Santosh M., Zhu L.H., Zhao Y.H., Hu Z.C., Zhang C., Ji F.B. 2014.** Mid-Neoproterozoic arc magmatism in the northeastern margin of the Indochina block, SW China: Geochronological and petrogenetic constraints and implications for Gondwana assembly. *Precambrian Research* 245: 207-224.
- Seal R.R. 2006.** Sulfur isotope geochemistry of sulfide minerals *Rev. Mineral Geochem.* 61: 633-677.
- Tạ Việt Dũng và nnk. 1975.** Thăm dò tỉ mỉ khoáng sản đồng Sin Quyền, Lào Cai. *Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.*
- Tran M.D., Liu J.L., Li X.C., Dang M.C. 2016.** Geology, Fluid Inclusion and Isotopic Study of the Neoproterozoic Suoi Thau Copper Deposit, Northwest Vietnam. *Acta Geologica Sinica* 90: 913-927.
- Trần Ngọc Nam. 2001.** Tuổi của các phức hệ Ca Vành và xóm Gấu. Chứng liệu tin cậy đầu tiên từ phân tích SHRIMP U-Pb Zircon *Tạp chí Địa chất* 262: 1-11.
- Trần Quốc Hải. 1969.** Tìm hiểu thêm về các thể đá biến chất trao đổi chứa quặng ở SQ. *Tạp chí địa chất. Loạt A (85-86): 23-40.*
- Trần Văn Trị, Vũ Khúc (đồng chủ biên) và nnk. 2009.** Địa chất và Tài nguyên Việt Nam. *NXB Khoa học Tự nhiên và Công Nghệ, Hà Nội.*
- Wang S.Q., Williams P.J. 2001.** Geochemistry and origin of Proterozoic skarns at the Mount Elliott Cu-Au(-Co-Ni) deposit, Cloncurry district, NW Queensland, Australia. *Mineral Deposita* 36: 109-124.
- Williams P.J, Barton M.D, Johnson D.A., Fontboté L., Haller A., Mark G., Oliver N.H.S., Marschik R. 2005.** Iron-oxide-copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology 100th Anniversary Volume: 371-406.*
- Zhao J.H., Zhou M.F., Yan D.P., Zheng J.P., Li J.W. 2011.** Reappraisal of the ages of Neoproterozoic strata in South China: No connection with the Grenvillian orogeny. *Geology* 39: 299-302.
- Zhou M.F, Zhao X.F., Chen W.T., Li X.C., Wang W., Yan D.P., Qiu H.N. 2014.** Proterozoic Fe-Cu metallogeny and supercontinental cycles of the southwestern Yangtze block, southern China and northern Vietnam. *Earth-Sci rev* 139:59-82.

Summary
Original model of the Sin Quyen copper deposit

Trần Mỹ Dũng

Sin Quyen copper deposit is located in the northeast of Fan Si Pan Surterrane with concentrations of Fe, Cu, Au and REE are hosted in upper part of Paleoproterozoic Sin Quyen metamorphic complex. Synthesis and analysis of results of stable isotopes, isotopic dating show that the mineralization in the Sin Quyen deposit is made up of a solution of mixed magmatic-hydrothermal origin related to Neoproterozoic igneous activity formed by the subduction of the Prototethys oceanic crust to the continental crust of Yangtze. The results of paragenetic sequence of mineralization and alteration indicated that the copper mineralization of the Sin Quyen has the characteristics of IOCG type deposit, is formed in two stages: stage I is accompanied by Fe, REE, U and sodium-calcium alterations (albit and skarn minerals); stage II is accompanied by gold mineralization and potassium alteration (biotit and quartz).

Từ khóa: Mỏ đồng Sin Quyền, hoạt động magma Neoproterozoi, phức hệ biến chất Sin Quyền