

# ĐỘ TINH KHIẾT CỦA VÀNG VÀ ĐẶC ĐIỂM ĐỊA HÓA CỦA PYRIT: DẤU HIỆU NHẬN BIẾT ĐẶC ĐIỂM HÓA LÝ VÀ NGUỒN GỐC QUẶNG VÀNG ME XI, VĨNH LINH, QUẢNG TRỊ

LÊ XUÂN TRƯỜNG<sup>1</sup>, KHIN ZAW<sup>2</sup>, ABHISIT SALAM<sup>2</sup>,  
TRẦN THANH HẢI<sup>1</sup>, NGUYỄN QUANG LUẬT<sup>1</sup>

1: Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội;

2: Trung tâm nghiên cứu Địa chất - Mỏ, CODES, Đại học Tasmania, Australia

**Tóm tắt:** Bài báo giới thiệu những kết quả nghiên cứu địa hóa vàng và pyrit ở tụ khoáng vàng Me Xi, Vĩnh Linh, Quảng Trị. Bằng các phương pháp phân tích khác nhau, kết quả phân tích microzon các hạt vàng tự sinh cho độ tinh khiết của vàng cao (~845), phản ánh vàng ở đây được di chuyển trong dung dịch chủ yếu bằng phức clorua trong môi trường nhiệt độ cao (>300 °C) đặc trưng cho nguồn gốc magma của dung dịch mang quặng. Trong khi đó, độ tinh khiết tương đối của vàng được tính toán từ kết quả phân tích nung luyện mẫu cục biến đổi trong phạm vi rộng, từ 268 đến 953, đa số (~75%) từ 800 đến 900. Các giá trị trung bình-thấp (<~750) của độ tinh khiết tương đối của vàng cho thấy vàng còn được hòa tan trong dung dịch nhiệt dịch bằng phức bisulphua và lắng đọng ở điều kiện nhiệt độ trung bình thấp (<~300 °C). Kết quả phân tích LA ICP-MS địa hóa pyrit trong các mạch thạch anh-sulphua-vàng cho hàm lượng cao các kim loại As, Sb, Ag, Pb, Cu, Bi, Ni ở phần rìa của pyrit 2 (Py2B). Đây là các kim loại có độ hòa tan thấp trong môi trường giàu vật chất hữu cơ và chúng có thể được huy động từ các tập đá trầm tích màu đen ở Me Xi vào dung dịch nhiệt dịch thông qua quá trình di chuyển của dung dịch nhiệt dịch hoặc quá trình tuần hoàn của dung dịch có nguồn nước khí quyển ở dưới sâu, tạo nên pyrit có hàm lượng cao Ni-Cu-As-Ag-Sb-Pb-Bi. Mặc dù độ tập trung của vàng trong pyrit rất thấp (hầu hết <1ppm) nhưng nó tỷ lệ thuận với hàm lượng của các kim loại Ni, Cu, As, Ag, Sb, Pb, Bi, trong pyrit 2B. Kết quả này ứng với mô hình tạo quặng trong đó một lượng nhỏ Au được làm giàu trong pha muộn của giai đoạn quặng hóa vàng ở Me Xi.

## 1. Mở đầu

Tụ khoáng vàng Me Xi nằm ở huyện Vĩnh Linh, phía bắc tỉnh Quảng Trị, thuộc đai tạo núi Trường Sơn. Điểm quặng hóa này nằm trong khu vực có nhiều mỏ và điểm quặng vàng như Xa Lòi, Động Phật, Động Vàng, Vít Thu Lu, Xà Khía, Khe Rêu, Bạch Đàn, Làng Ho, Ba Tung, Trầm Cốc, A Vao, A Đàng, A Pey và Sepon (Lào). Quặng vàng Me Xi được phát hiện từ năm 1999 trong quá trình đo vẽ bản đồ địa chất tờ Thanh Sơn và Linh Thượng, tỷ lệ 1:50 000. Từ năm 2012, Công ty Axiom Mining Vietnam đã thực hiện một số công tác thăm dò sơ bộ quặng vàng ở Me Xi như đào hào, khoan thăm dò, lấy và phân tích các mẫu cục, mẫu đất và mẫu địa hóa bùn đáy. Tuy nhiên, vẫn chưa có công trình khoa học nào nghiên cứu nguồn

gốc và cơ chế lắng đọng quặng vàng ở đây. Trong bài báo này, đặc điểm hóa lý và nguồn gốc của dung dịch mang quặng cũng như cơ chế lắng đọng của vàng ở Me Xi được luận giải dựa trên các kết quả nghiên cứu độ tinh khiết của vàng và đặc điểm địa hóa của pyrit trong giai đoạn tạo quặng.

## 2. Khái quát đặc điểm địa chất và quặng hóa vàng tụ khoáng Me Xi

Các mạch thạch anh-sulphua-vàng phân bố dọc theo các đứt gãy có phương phát triển Đông Đông Bắc-Tây Tây Nam trong các đá trầm tích có thành phần chủ yếu là bột kết xen kẹp với các đá ít phổ biến hơn gồm sét kết, sét kết màu đen và cát kết có tuổi U-Pb zircon là  $579 \pm 6$  Ma [2]. Trong bản đồ địa chất tờ Thanh Sơn và Linh Thượng tỷ lệ 1:50.000, các đá này được

xếp vào tập giữa của hệ tầng Long Đại có tuổi Ordovician-Silurian Sớm [1]. Đá magma trong vùng nghiên cứu gồm các đai cơ basal và dolerit porphyr thuộc nhóm đá tholeit có tuổi U-Pb apatit  $433 \pm 19$  Ma [2]. Trên cơ sở quan hệ xuyên cắt giữa các đai cơ basal và dolerit porphyr với các mạch quặng nhiệt dịch (nhiều vị trí của mẫu lõi khoan thể hiện các đai cơ basal xuyên cắt các mạch quặng nhiệt dịch trong khi ở một số vị trí khác lại cho thấy các đai cơ porphyr bị các mạch quặng nhiệt dịch cắt qua), có thể thấy tuổi thành tạo quặng hóa ở Me Xi nằm trong khoảng thời gian thành tạo giữa hai pha magma gồm pha sớm là các đai dolerit porphyr và pha muộn là các đai cơ basal.

Có 4 giai đoạn nhiệt dịch được xác định trong khu vực, trong đó vàng được lắng đọng trong giai đoạn nhiệt dịch thứ 2 dưới dạng vàng tự sinh cùng với các khoáng vật chính gồm thạch anh, clorit, pyrit và các khoáng vật thứ yếu như chalcopyrit, electrum, arsenopyrit, pyrotin, galenit và calcit. Quặng vàng có cấu tạo mạng mạch với chiều dày phổ biến của các mạch từ vài mm đến 3cm, hiếm khi đạt tới 50cm. Vì vậy, các vành biến đổi nhiệt dịch cạnh mạch gồm thạch anh hóa, clorit hóa, sericit hóa và calcit hóa phát triển trong phạm vi rất nhỏ, thông thường là vài mm đến vài cm bao quanh các mạch thạch anh-sulphua-vàng.

### 3. Kết quả nghiên cứu

#### 3.1. Độ tinh khiết của vàng

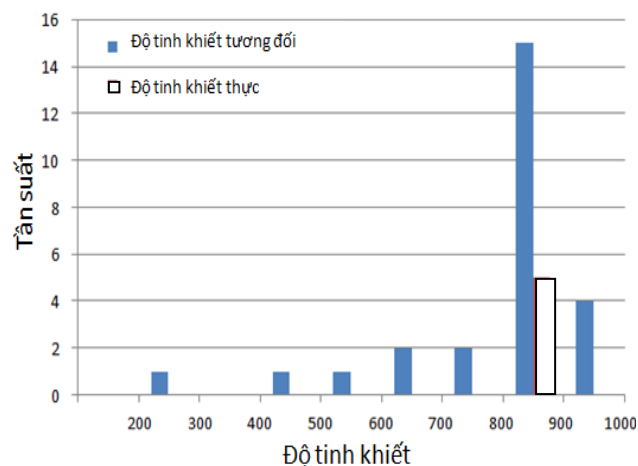
Độ tinh khiết của vàng được [9] xác lập bằng công thức  $(Au/(Au+Ag)) \cdot 1000$  (wt‰). Trong địa chất khoáng sản, độ tinh khiết của vàng đã được nhiều nhà địa chất sử dụng để xác định đặc điểm hóa lý của dung dịch mang quặng và môi trường lắng đọng quặng như nhiệt độ thành tạo quặng, độ pH của dung dịch mang quặng, độ muối và các phức hòa tan của vàng như  $Cl^-$  và  $(HS)^-$  trong dung dịch [4; 9; 12; 21; 23, 24].

Độ tinh khiết của vàng ở Me Xi được phân tích microzon (EMPA-electron microprobe) dưới máy CAMECA SX100 tại Phòng Thí nghiệm trung tâm của Trường Đại học Tasmania, Australia. Có 5 hạt vàng được lấy ở độ sâu ~50m so với bề mặt được phân tích microzon. Kết quả cho thấy độ tinh khiết và

hàm lượng của vàng trong các hạt vàng tự sinh là khá cao, tương ứng với ~845(wt‰) và ~83 (wt%) (bảng 1). Ngoài ra, hàm lượng Au và Ag từ kết quả phân tích nung luyện các mẫu cục ở Me Xi cũng được sử dụng để tính toán độ tinh khiết tương đối của vàng. Độ tinh khiết tương đối này biến đổi trong phạm vi rộng từ 268 đến 953 (n=27) nhưng phần nhiều (n=17) đạt giá trị từ 800 đến 900. Sự biến đổi của độ tinh khiết thực và độ tinh khiết tương đối của vàng cũng được thể hiện trong biểu đồ tần suất độ tinh khiết của vàng (hình 1).

Bảng 1. Kết quả microzon độ tinh khiết thực của vàng ở Me Xi, Quảng Trị [2]

Số hiệu mẫu	Ag (wt.%)	Au (wt.%)	Au+Ag (wt.%)	Độ tinh khiết (wt.‰)
A20-2 hạt 1	15.06	82.82	97.88	846.13
A20-2 hạt 2	15.52	83.85	99.38	843.78
A20-2 hạt 3	15.32	84.23	99.54	846.12
A20-2 hạt 4	15.76	83.99	99.76	841.96
A20-2 hạt 5	15.37	84.34	99.70	845.87



Hình 1. Biểu đồ tần suất độ tinh khiết thực và tương đối của vàng Me Xi, Quảng Trị

#### 3.2. Đặc điểm địa hóa của pyrit

Pyrit được thành tạo trong rất nhiều môi trường địa chất khác nhau. Trong quá trình kết tinh, pyrit bắt giữ hầu hết những nguyên tố có mặt trong dung dịch nhiệt dịch vào trong cấu

trúc tinh thể của nó [20]. Hàm lượng của các nguyên tố vết bị giữ lại trong các tinh thể pyrit phản ánh thành phần của dung dịch nhiệt dịch. Nhiều nhà khoa học bao gồm [3; 10; 17; 25] đã/đang nghiên cứu đặc điểm địa hóa của pyrit để luận giải môi trường địa hóa thành tạo pyrit và nguồn gốc của dung dịch tạo quặng. Đặc điểm địa hóa của pyrit còn có thể được sử dụng để hỗ trợ công tác tìm kiếm thăm dò một cách gián tiếp trên cơ sở xác định các kiểu pyrit hoặc thứ tự các giai đoạn tạo khoáng và giai đoạn tạo quặng ở một mỏ [13; 14; 19]. Trong mục này, đặc điểm địa hóa của pyrit thành tạo trong giai đoạn tạo quặng vàng ở Tụ khoáng Me Xi được nghiên cứu nhằm xác định môi trường địa hóa lắng đọng quặng và luận giải nguồn gốc của dung dịch mang quặng.

### 3.2.1. Phương pháp nghiên cứu

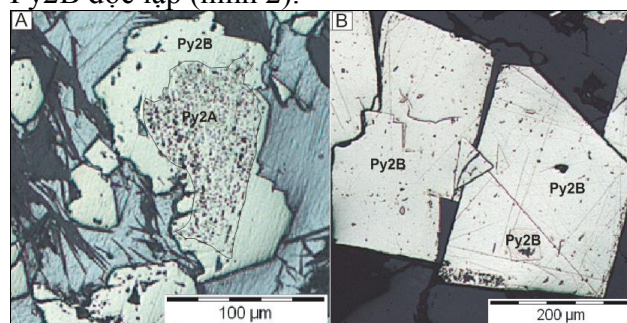
Có 5 mẫu pyrit trong các mạch thạch anh-sulphua-vàng được chọn để phân tích đặc điểm địa hóa các nguyên tố vết. Thành phần và hàm lượng các nguyên tố được xác định bằng phương pháp phân tích hình ảnh (map) và phân tích điểm (spot). Trong đó, 2 mẫu được phân tích hình ảnh và 3 mẫu được phân tích điểm. Đầu tiên, các mẫu pyrit được cắt tròn với đường kính khoảng 2,3cm, dày khoảng 1cm rồi được gắn nhựa epoxy trước khi được phân tích dưới kính hiển vi điện tử để lựa chọn các hạt pyrit có 2 giai đoạn/pha thành tạo trở lên. Các mẫu pyrit cũng được nhúng axit nitric (70% HNO<sub>3</sub>) để làm nổi bật kiến trúc bên trong. Việc nhúng axit được thực hiện bằng cách nhỏ vài giọt axit nitric 70% lên trên bề mặt mẫu. Sau khoảng 20 giây, để các mẫu dưới vòi nước chảy nhẹ nhằm làm sạch axit trên bề mặt mẫu. Sau đó, các mẫu được làm khô bằng máy sấy trước khi được phân tích bằng kính hiển vi điện tử.

Có 36 nguyên tố vết trong pyrit bao gồm Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, La, Gd, Hf, Ta, W, Pt, Au, Tl, Pb, Bi, Th và U được phân tích hàm lượng bằng phương pháp quang phổ plasma laser (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry/LA ICP-MS) tại Trung tâm Nghiên cứu Địa chất Mỏ (CODES), Trường Đại học Tasmania, Australia. Khi bắn tia laser lên

bề mặt mẫu phân tích, khoảng 1µm bề dày của pyrit tại điểm bắn được tách ra khỏi mẫu và được vận chuyển cùng với hỗn hợp khí He và Ar đến bộ plasma và khối phổ (ICP-MS) để xác định hàm lượng các nguyên tố trong pyrit. Các mẫu chuẩn của pyrit được phân tích trước và sau mỗi mẫu ảnh pyrit hoặc sau 25 điểm bắn trong phân tích điểm. Trước quá trình phân tích, bề mặt các mẫu được làm sạch bằng bộ laser. Đối với phương pháp phân tích ảnh, đường kính tiết diện điểm bắn áp dụng là 8µm và các điểm bắn được bố trí tạo thành các đường song song liền nhau bao phủ hạt pyrit. Tốc độ di chuyển trung bình của đầu bắn là 3µ/s. Đối với phương pháp phân tích điểm, đường kính tiết diện điểm bắn áp dụng là 35µm. Nội dung của phương pháp phân tích LA ICP-MS địa hóa pyrit được trình bày chi tiết hơn trong bài báo “Routine quantitative multi-element analysis of sulphide minerals by laser ablation ICP-MS: Standard development and consideration of matrix effects” của [6].

### 3.2.2. Đặc điểm hình thái của pyrit

Pyrit của giai đoạn quặng hóa thạch anh-sulphua - vàng gồm 2 pha. Pyrit của pha sớm (Py2A) thường có kiến trúc dạng bột, tinh thể tự hình, đôi chỗ bắt gặp tinh thể bán tự hình hoặc tha hình có độ hạt khoảng 0.03-0.3 mm (hình 2A). Pyrit của pha muộn (Py2B) cũng có hình thái tinh thể biến đổi từ tha hình đến tự hình, đôi khi phát triển bao quanh các nhân Py2A hoặc tồn tại dưới dạng các hạt/tập hợp các hạt Py2B độc lập (hình 2).

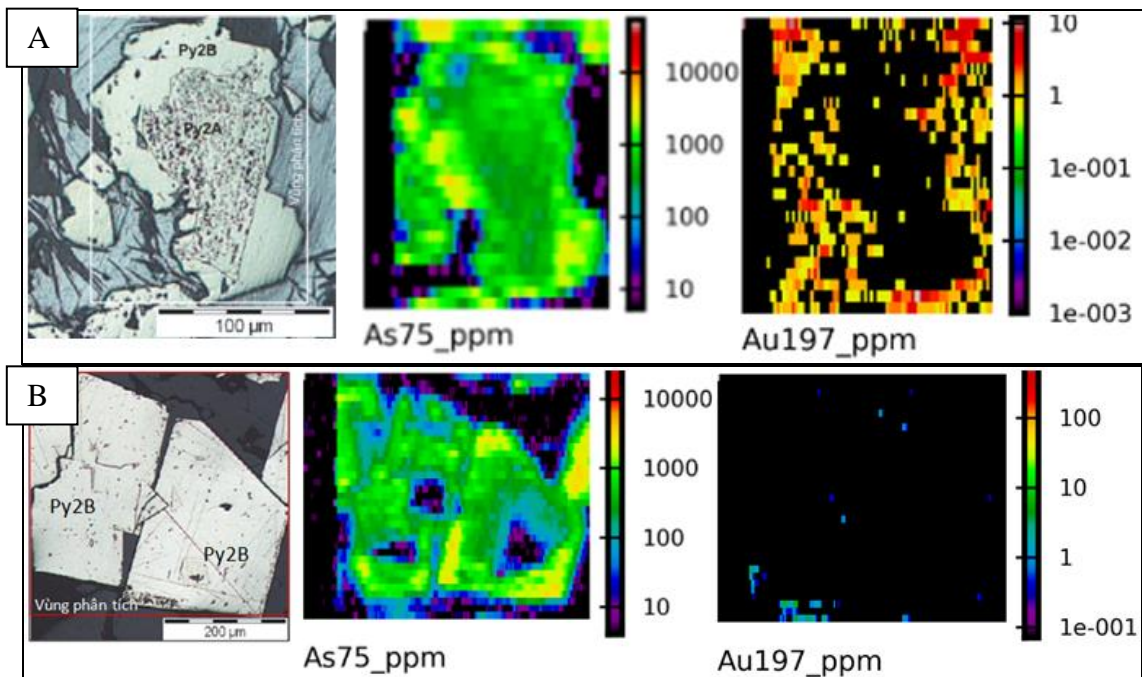


Hình 2. Các hình thái đặc trưng của pyrit trong giai đoạn quặng hóa Au ở Me Xi, Quảng Trị. A. Pyrit 2 tha hình gồm nhân Py2A có cấu tạo dạng bột và vành Py2B có cấu tạo tương đối đồng nhất. Mẫu LK02@44.2m. B. Pyrit 2B hạt thô, bán tự hình. Mẫu LK11@56.1m

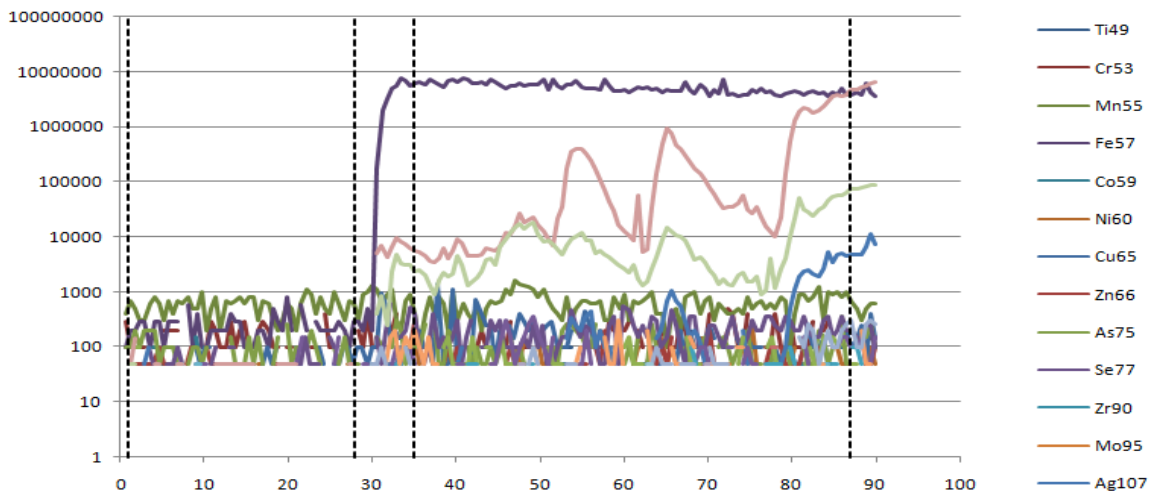
### 3.3.3. Thành phần các nguyên tố vết của pyrit

Sự tập trung của các nguyên tố vết trong pyrit 2A và 2B rất khác nhau (hình 3 thể hiện đại diện 2 nguyên tố vết As và Au trong pyrit). Py2A có hàm lượng các nguyên tố vết thấp đến rất thấp, ngoại trừ Cu và Ni. Hàm lượng Pb và Ag trong Py2B ở mẫu LK02@44.2m rất cao, phần lớn là do ảnh hưởng galenit bao quanh Py2B trong quá trình phân tích gây nên. Ngoài ra, nhiều vi tinh galenit trong Py2B có kiến trúc phân hủy dung dịch cứng của mẫu LK02@44.2m cũng được phát hiện bằng

phương pháp phân tích điểm (hình 4). Vì vậy để tránh sai sót, hàm lượng nguyên tố vết Pb và Ag trong Py2B được lấy từ mẫu pyrit số LK05@39.7m. Nhìn chung, Py2B có hàm lượng của hầu hết các nguyên tố vết cao hơn hẳn Py2A (ngoại trừ Cu), đặc biệt là hàm lượng Ni với tỉ lệ  $Ni_{Py2B} / Ni_{Py2A}$  là 709/1.3 ppm. Độ tập trung của As trong Py2B cũng lớn hơn hẳn so với Py2A. Ngoài ra, riềm của Py2B còn có hàm lượng cao các kim loại Ni, Cu, As, Ag, Sb, Pb và Bi.



Hình 3. Ảnh LA-ICPMS đại diện cho một số khoáng vật vết của pyrit 2A và 2B ở Tự khoáng vàng Me Xi, Quảng Trị. A. Mẫu LK02@44.2m. B. Mẫu LK05@39.7m

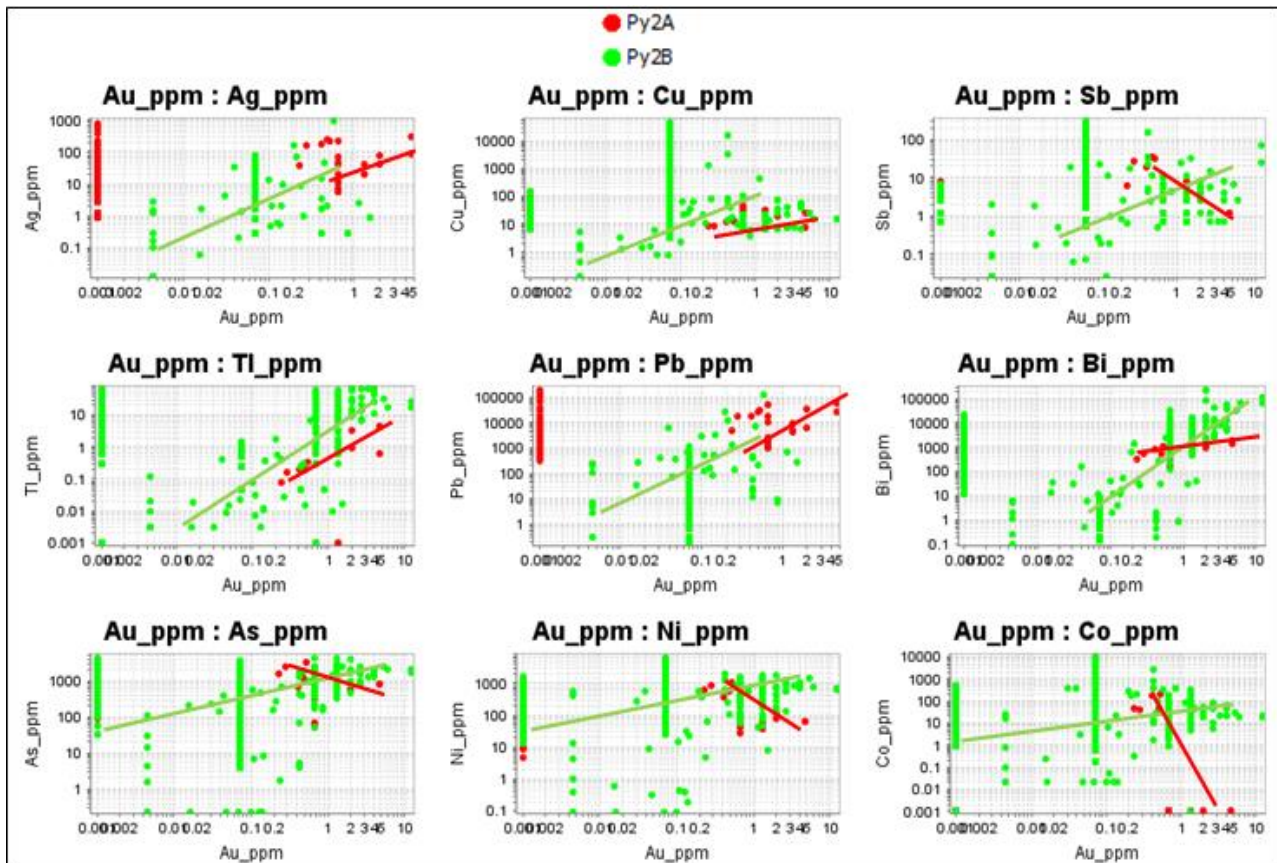


Hình 4. Thành phần các nguyên tố vết của pyrit 2B từ phân tích điểm LA ICP-MS



Mặc dù hàm lượng Au trong Py2A và Py2B rất thấp (đa số <1ppm) nhưng nó vẫn thể hiện mối quan hệ tương quan với hàm lượng của một số kim loại. Trong Py2A, vàng có quan hệ tương quan thuận với Ag, Cu, Tl, và Pb nhưng

tương quan nghịch với Sb, As, Ni và Co (hình 5). Trong Py2B, vàng có quan hệ tương quan thuận với các kim loại gồm Ag, Cu, Sb, Tl, Pb, Bi, As, Ni và Co (hình 5).



Hình 5. Mối quan hệ tương quan giữa hàm lượng Au và các kim loại Ag, Cu, Sb, Tl, Pb, Bi, As, Ni, Co trong Py2A và 2B ở tụ Khoáng vàng Me Xi, Quảng Trị

#### 4. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu độ tinh khiết của vàng trong các kiểu mỏ vàng nhiệt dịch ở Nhật Bản của [24] cho thấy độ tinh khiết của vàng hoặc electrum tỉ lệ thuận với nhiệt độ thành tạo và hàm lượng clorua/độ muối trong dung dịch mang quặng. Trong môi trường dung dịch nhiệt dịch có độ muối cao và nhiệt độ cao thì vàng được vận chuyển bằng phức clorua hơn là phức bisulphua. Ngược lại, khi dung dịch mang quặng có nhiệt độ thì thấp phức hòa tan chủ yếu của Au là bisulphua. Nghiên cứu của [18] ở mỏ vàng Khakandha cũng cho kết quả tương tự, độ tinh khiết của vàng tỉ lệ thuận với độ sâu và nhiệt độ thành tạo. Ngoài ra, khi nghiên cứu các mỏ VHMS ở Tasmania, Australia, [12] kết luận

độ tinh khiết của vàng/electrum cao và ổn định (700-1000) xảy ra khi vàng lắng đọng ở nhiệt độ cao (~300-350 °C) và thường đi kèm với một số khoáng vật quặng khác như pyrit, chalcopyrit, galenit và sphalerit. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu trên, độ tinh khiết microzon của vàng cao (~ 845) ở Me Xi phản ánh vàng được hòa tan bằng phức clorua trong dung dịch nhiệt dịch và lắng đọng trong môi trường nhiệt độ cao, đặc trưng cho một bộ phận của dung dịch nhiệt dịch nguồn gốc magma. Tuy nhiên, số lượng mẫu được phân tích bằng phương pháp microzon rất hạn chế, không đại diện cho toàn bộ khu vực Me Xi. Vì vậy, độ tinh khiết tương đối của vàng (268-953) tính toán từ kết quả phân tích nung luyện các mẫu cục được sử dụng

để luận giải điều kiện hóa lý của dung dịch mang quặng ở phạm vi lớn hơn. Sự biến đổi của độ tinh khiết tương đối của vàng trong phạm vi rộng (268-953) phản ánh sự tồn tại của cả 2 phức hòa tan của vàng trong dung dịch mang quặng là clorua, bisulphua và vàng được lắng đọng trong dải nhiệt độ từ thấp đến cao. Các đặc điểm trên phản ánh dung dịch mang quặng có thể được pha trộn từ 2 nguồn nước khác nhau là nguồn nước magma và nguồn nước khí quyển. Các luận giải phù hợp với một số kết quả nghiên cứu mẫu bao thể và đồng vị S, bao gồm dải nhiệt độ đồng hóa bao thể 186-394°C, lượng muối trong dung dịch mang quặng 0.37-16.9 wt.% NaCl và S có nguồn gốc magma [2].

Trong loại hình quặng Au nhiệt dịch được khống chế bởi các yếu tố cấu trúc cắt qua các đá trầm tích giàu vật chất hữu cơ, Au và các kim loại As, Sb, Pb, Cu, Bi thường được làm giàu từ nguồn dung dịch nhiệt dịch nguồn gốc magma và/hoặc từ đá vây quanh giàu vật chất hữu cơ dưới tác động của các dòng dung dịch nhiệt dịch và/hoặc quá trình biến chất khu vực. Đây là nguyên nhân hình thành các hạt pyrit có riềm Au-As-Sb-Pb-Cu-Bi (như trong mỏ Au kiểu Carlin) hoặc các hạt Au tự sinh [5; 7; 11; 16]. Đáng lưu ý, [17] sử dụng một nhóm các nguyên tố vết của pyrit bao gồm Au, V, As, Mo, Se, Ni, Ag, Zn để chứng minh các kim loại này được huy động từ đá vây quanh giàu vật chất hữu cơ trong các mỏ vàng tạo núi hoặc mỏ vàng Carlin bởi vì những nguyên tố này thường bị bắt giữ (không tan hoặc ít tan) trong môi trường giàu vật chất hữu cơ. Khi quá trình biến chất khu vực xảy ra hoặc dưới tác động của các dòng dung dịch nhiệt dịch, những kim loại trên thoát vào dung dịch nhiệt dịch và khi gặp điều kiện thuận lợi chúng sẽ lắng đọng cùng với pyrit hoặc tạo thành các hạt vàng tự sinh. Mặc dù pyrit ở tụ khoáng Au Me Xi có hàm lượng Au thấp (hầu hết <1 ppm) nhưng vẫn có một số đặc điểm tương tự như pyrit được thành tạo trong mỏ vàng kiểu Carlin hoặc mỏ vàng tạo núi như riềm As-Sb-Ag-Pb-Cu-Bi-Ni (trong Py2B) và độ tập trung của vàng tỷ lệ thuận với các nguyên tố Ag, As, Sb, Pb, Cu, Bi, Ni (trong Py2B). Các kết quả nghiên cứu này cho thấy nhóm các kim loại As-Sb-Ag-Pb-Cu-Bi-Ni ( $\pm$ Au) có thể được làm giàu

từ các tập đá trầm tích giàu vật chất hữu cơ trong khu vực mỏ.

Theo [8], quá trình tuần hoàn của nước khí quyển ở đới gần bề mặt hoặc dưới sâu cũng huy động vàng và các kim loại khác từ đá vây quanh vào dung dịch nhiệt dịch. Kết quả phân tích mẫu bao thể ở Me Xi cho thấy có sự pha trộn giữa dung dịch nhiệt dịch từ dưới sâu đi lên và dung dịch có nguồn nước mặt tại thời điểm lắng đọng quặng [2]. Dữ liệu này tạo cơ sở tin cậy hơn để kết luận rằng các kim loại As-Sb-Ag-Pb-Cu-Bi ( $\pm$ Au) được huy động/làm giàu từ đá trầm tích giàu vật chất hữu cơ trong khu vực thông qua quá trình tuần hoàn nước khí quyển và hoạt động của các dòng dung dịch nhiệt dịch dưới vỏ trái đất. Ngoài ra, kết luận này tương thích với kết quả đồng vị chì có nguồn gốc lớp vỏ và tỉ lệ Ni/Co>0.1 trong Py2 [2] - một thông số phản ánh Ni được làm giàu từ đá vây quanh giàu vật chất hữu cơ trong các mỏ vàng nhiệt dịch [13; 14; 25].

## 5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu địa hóa Au và pyrit ở tụ khoáng Au Me Xi, Vĩnh Linh, Quảng Trị cho thấy:

1) Độ tinh khiết microzon cao ( $\sim$ 845) của vàng cùng với dải rộng độ tinh khiết tương đối của vàng (268-953) được xác định từ kết quả phân tích nung luyện mẫu cục cho thấy: (1) sự tồn tại của 2 phức của vàng trong dung dịch mang quặng là vàng clorua (vd:  $\text{AuCl}_2$ ) và vàng bisulphua (vd:  $\text{Au}(\text{HS})_2$ ); (2) vàng được lắng đọng trong dải nhiệt độ từ thấp đến cao; và (3) Sự tồn tại của phức vàng clorua và quá trình lắng đọng vàng ở nhiệt độ cao phản ánh sự có mặt của dung dịch nhiệt dịch nguồn gốc magma.

2) Hàm lượng cao của các kim loại As-Sb-Ag-Pb-Cu-Bi ( $\pm$ Au) tập trung phần riềm của pyrit 2B là do chúng được huy động từ đá vây quanh giàu vật chất hữu cơ thông qua quá trình di chuyển của dung dịch nhiệt dịch và quá trình tuần hoàn của dung dịch nguồn nước mặt.

Các kết luận trên phù hợp với các kết quả nghiên cứu khác như: (1) dải nhiệt độ đồng hóa bao thể 186-394°C; (2) lượng muối trong dung dịch mang quặng 0.37-16.9 wt. % NaCl; (3) S có nguồn gốc magma; và Pb có nguồn gốc lớp vỏ [2].

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Đình Sâm, Phạm Văn Ái, Mai Văn Hạc, Dương Văn Huân, Nguyễn Việt Hùng, Nguyễn Tiến Thành, Lê Minh Tiêu, Nguyễn Khắc Thứ, 1999. Bản đồ Địa chất Thanh Sơn (E-48-106-D) và Linh Thượng (E-48-118-B), nhóm tờ Vít Thu Lu, tỷ lệ 1:50.000: Liên Đoàn Địa chất Trung Trung Bộ.
- [2]. Truong, L. X., 2014, Geological setting and mineralisation characteristics of the Me Xi gold deposit, Quang Tri Province, central Vietnam; Master thesis of Economic Geology, unpublished: University of Tasmania.
- [3]. Bralía, A., Sabatini, G., and Troja, F., 1979, A revaluation of the Co/Ni ratio in pyrit as geochemical tool in ore genesis problems: *Mineralium Deposita*, v. 14, p. 353-374.
- [4]. Cole, D., and Drummond, S., 1986, The effect of transport and boiling on Ag/Au ratios in hydrothermal solutions: a preliminary assessment and possible implications for the formation of epithermal precious-metal ore deposits: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 25, p. 45-79.
- [5]. Cromie, P. W., 2010, Geological setting, geochemistry and genesis of the Sepon gold and copper deposits, Laos: Ph.D Thesis v. University of Tasmania.
- [6]. Danyushevsky, L., Robinson, P., Gilbert, S., Norman, M., Large, R., McGoldrick, P., and Shelley, M., 2011, Routine quantitative multi-element analysis of sulphide minerals by laser ablation ICP-MS: Standard development and consideration of matrix effects: *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, v. 11, p. 51-60.
- [7]. Deditius, A. P., Utsunomiya, S., Reich, M., Kesler, S. E., Ewing, R. C., Hough, R., and Walshe, J., 2011, Trace metal nanoparticles in pyrit: *Ore Geology Reviews*, v. 42, p. 32-46.
- [8]. Emsbo, P., Hofstra, A. H., Lauha, E. A., Griffin, G. L., and Hutchinson, R. W., 2003, Origin of high-grade gold ore, source of ore fluid components, and genesis of the Meikle and neighboring Carlin-type deposits, northern Carlin trend, Nevada: *Economic Geology*, v. 98, p. 1069-1105.
- [9]. Fisher, N. H., 1945, The fineness of gold, with special reference to the Morobe gold field, New Guinea: *Economic Geology*, v. 40, p. 449-495.
- [10]. Fleischer, M., 1955, Minor elements in some sulfide minerals: *Econ. Geol.*, v. 50, p. 1024.
- [11]. Hofstra, A. H., and Cline, J. S., 2000, Characteristics and models for carlin-type gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 163-220.
- [12]. Huston, D. L., Bottrill, R. S., Creelman, R. A., Zaw, K., Ramsden, T. R., Rand, S. W., Gemmell, J. B., Jablonski, W., Sie, S., and Large, R. R., 1992, Geologic and geochemical controls on the mineralogy and grain size of gold-bearing phases, eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: *Economic Geology*, v. 87, p. 542-563.
- [13]. Large, R., 2013, Using pyrit chemistry in exploration in short course: "Ore Deposit Geochemistry, Hydrology and Geochronology": Master of Economic Geology, University of Tasmania.
- [14]. Large, R. R., Bull, S. W., and Maslennikov, V. V., 2011, A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits: *Economic Geology*, v. 106, p. 331-358.
- [15]. Large, R. R., Bull, S. W., Scott, R., and Meffre, S., 2010, Stratiform Organic-rich V-As-Mo-Se-Ni-Ag-Zn-Au Horizons in the Popovich and Roberts Mountains Formations, Carlin District, Nevada: *Geological Society of Nevada*, p. 59-60.
- [16]. Large, R. R., Danyushevsky, L., Hollit, C., Maslenniko, V., Meffre, S., Gilbert, S., Bull, S., Scott, R., Emsbo, P., Thomas, H., Singh, B., and Foster, J., 2009, Gold and Trace Element Zonation in Pyrit Using a Laser Imaging Technique: Implications for the Timing of Gold in Orogenic and Carlin-Style Sediment-Hosted Deposits: *Society of Economic Geologists*, v. 104, p. 635-668.
- [17]. Large, R. R., Maslennikov, V. V., Robert, F., Danyushevsky, L. V., and Chang, Z., 2007, Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrit and gold in the giant Sukhoi Log

- Deposit, Lena gold province, Russia: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, v. 102, p. 1233-1267.
- [18]. Levitan, G., 2008, Gold Deposit of the CIS, p. 311.
- [19]. Makoundi, C., Zaw, K., Large, R. R., Meffre, S., Lai, C.-K., and Hoe, T. G., 2013, Geology, geochemistry and metallogenesis of the Selinsing gold deposit, central Malaysia: Gondwana Research.
- [20]. Mann, S., Sparks, N. H. C., Frankel, R. B., Bazylinski, D. A., and Jannasch, H. W., 1990, Biomineralisation of ferromagnetic greigite (Fe<sub>3</sub>S<sub>4</sub>) and iron pyrit (FeS<sub>2</sub>) in a magnetotactic bacterium: Nature, v. 343.
- [21]. Morrison, G. W., Rose, W. J., and Jaireth, S., 1991, Geological and geochemical controls on the silver content (fineness) of gold in gold-silver deposits: Ore Geology Reviews, v. 6, p. 333-364.
- [22]. Seward, T. M., 1973, Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions: Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 37, p. 379-399.
- [23]. Seward, T. M., and Barnes, H. L., 1997, Metal transport by hydrothermal ore fluids, Chapter 6 in "Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits", p. 435-486.
- [24]. Shikazono, N., and Shimizu, M., 1987, The Ag/Au ratio of native gold and electrum and the geochemical environment of gold vein deposits in Japan: Mineralium Deposita, v. 22, p. 309-314.
- [25]. Thomas, H. V., Large, R. R., Bull, S. W., Maslennikov, V., Berry, R. F., Fraser, R., Froud, S., and Moye, R., 2011, Pyrit and pyrotin textures and composition in sediments, laminated quartz veins, and reefs at Bendigo gold mine, Australia; insights for ore genesis: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, v. 106, p. 1-31.

#### ABSTRACT

#### Gold fineness and pyrite geochemistry: Evidences for physico-chemical conditions and genesis of ore-bearing fluids at Me Xi Au Deposit, Quang Tri, Vietnam

**Le Xuan Truong<sup>1</sup>, Khin Zaw<sup>2</sup>, Abhisit Salam<sup>2</sup>, Tran Thanh Hai<sup>1</sup>, Nguyen Quang Luat<sup>1</sup>**

*1: Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam;*

*2: Centre of Excellence in Ore Deposits, CODES, University of Tasmania, Hobart, Australia*

The paper present gold and pyrite study result at the Me Xi gold deposit in Vinh Linh, Quang Tri, central Vietnam. Electron microprobe analysis of gold grains from ore Stage 2 sample yielded high gold fineness values (~845), implying that the transport of Au in ore fluids takes place as chloride complexes rather than bisulphite complexes and the gold transport occurred in high temperature (>300 °C). However, the wide range of the inferred gold fineness (IGF) values (268-953 with a mode of 850-953) calculated from the fire assay analysis may suggest various physico-chemical conditions of Au-bearing fluid. The low-moderate IGF may reflect the low-moderate temperature (<300 °C) of gold deposition and gold is transported by bisulphite complexes. The LA ICP-MS trace element investigation of pyrite shows very poor Au content (mostly <1 ppm) and no inclusion of free Au in all selected pyrite. However, it shows a positive correlation between the concentrations of Au and Ag, Cu, Sb, Tl, Pb, Bi, As, Ni and Co in pyrite 2B. The Stage 2 pyrite exhibit Ni-As-Ag-Sb-Pb-Cu-Bi rims as the concentrations of those metals in the rim of the late sub-stage pyrite 2B. The high concentrations those metals in Stage 2 may be partially leached from the organic-rich host sequence of shale and black shale by hydrothermal fluids with the convection of meteoric water.