

Đặc điểm thành phần khoáng vật và dạng tồn tại của Au trong mỏ antimon Cự Jút, huyện Cự Jút, tỉnh Đắk Nông

Trần Tuấn Anh¹, Phạm Ngọc Cẩn¹, Vũ Hoàng Ly^{1,2}, Ngô Thị Hường^{1,2}, Phan Đức Lễ³

¹Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

²Đại học Tổng hợp Nobosibirsk, Nobosibirsk, LB Nga

³Trung tâm Thông tin, Lưu trữ và Tạp chí Địa chất, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

Tác giả liên hệ: canpn87@gmail.com

Ngày nhận bài: 02/07/2021

Ngày chấp nhận đăng: 05/09/2021

Từ khóa: Cự Jút, kiểu mỏ Carlin, Au trong pyrit, Au trong arsenopyrit, vàng hạt mịn.

Tóm tắt: Các mẫu quặng của mỏ antimon Cự Jút (Đắk Nông) được thu thập để nghiên cứu đặc điểm thành phần khoáng vật, thành phần hóa học các khoáng vật quặng và dạng tồn tại của Au. Thành phần khoáng vật quặng chủ yếu của mỏ Cự Jút là stibnit, ít hơn có arsenopyrit, pyrit, và chalcopyrit, và một ít magnetit và ilmenit. Dựa theo mối tương quan giữa các khoáng vật, thứ tự thành tạo các khoáng vật trên được cho là bắt đầu từ magnetit và ilmenit đến chalcopyrit, arsenopyrit, và pyrit, và kết thúc ở stibnit. Không quan sát thấy vàng tự sinh trong các mẫu quặng. Tuy nhiên, kết quả phân tích thành phần hóa học của các khoáng vật bằng máy điện tử vi do chỉ ra rằng trong pyrit và arsenopyrit mỏ Cự Jút chứa một lượng đáng kể Au. Đa phần các kết quả của Au cao hơn giới hạn phân tích (0,05 %t hay 500 ppm) và cao nhất lên tới 900 ppm trong pyrit và 1.200 ppm trong arsenopyrit. Kết quả kiểm tra cho thấy Au phân bố không đồng đều trong hạt khoáng vật pyrit và arsenopyrit, thậm chí, trong cùng một hạt khoáng vật có những điểm có Au và có những điểm không có Au. Điều này cho phép nhận định rằng Au trong mỏ Cự Jút tồn tại dưới dạng các hạt siêu mịn (kích thước nano) xâm tán không đều trong các hạt khoáng vật pyrit và arsenopyrit. Ngoài ra, trong các mẫu quặng của mỏ, Au thể hiện mối tương quan dương tốt với As và Fe. Khoáng hóa Au mỏ Cự Jút khá tương đồng với mỏ Hát Han (Bắc Kạn) và Nam Quang (Cao Bằng) và được cho là gần gũi với kiểu mỏ vàng Carlin.

1. Mở đầu

Hiện nay, các mỏ vàng thực thụ, hay các mỏ vàng có hàm lượng cao, đã và đang được khai thác triệt để trong khi số lượng mỏ mới được tìm ra ngày càng giảm dần. Ở một chiều hướng khác, với công nghệ phát triển như hiện nay, nhu cầu sử dụng Au ngày càng tăng lên. Do đó, bên cạnh việc tìm kiếm những mỏ vàng thực thụ mới, người ta ngày càng quan tâm đến các mỏ vàng kiểu đi kèm, các mỏ vàng có hàm

lượng thấp, kiểu vàng khó tuyển tách (với công nghệ truyền thống) hay mỏ vàng tận thu (bãi thải khai thác của các mỏ vàng).

Với việc công nghệ tuyển tách vi sinh đang ngày càng được quan tâm và hoàn thiện hơn, việc đánh giá lại tiềm năng triển vọng các mỏ vàng đi kèm cần thiết được triển khai. Trần Trọng Hòa và Ngô Thị Hường đã lần đầu tiên đánh giá lại dạng tồn tại của vàng hạt mịn và siêu mịn trong các tụ khoáng vàng-sulfit Đông

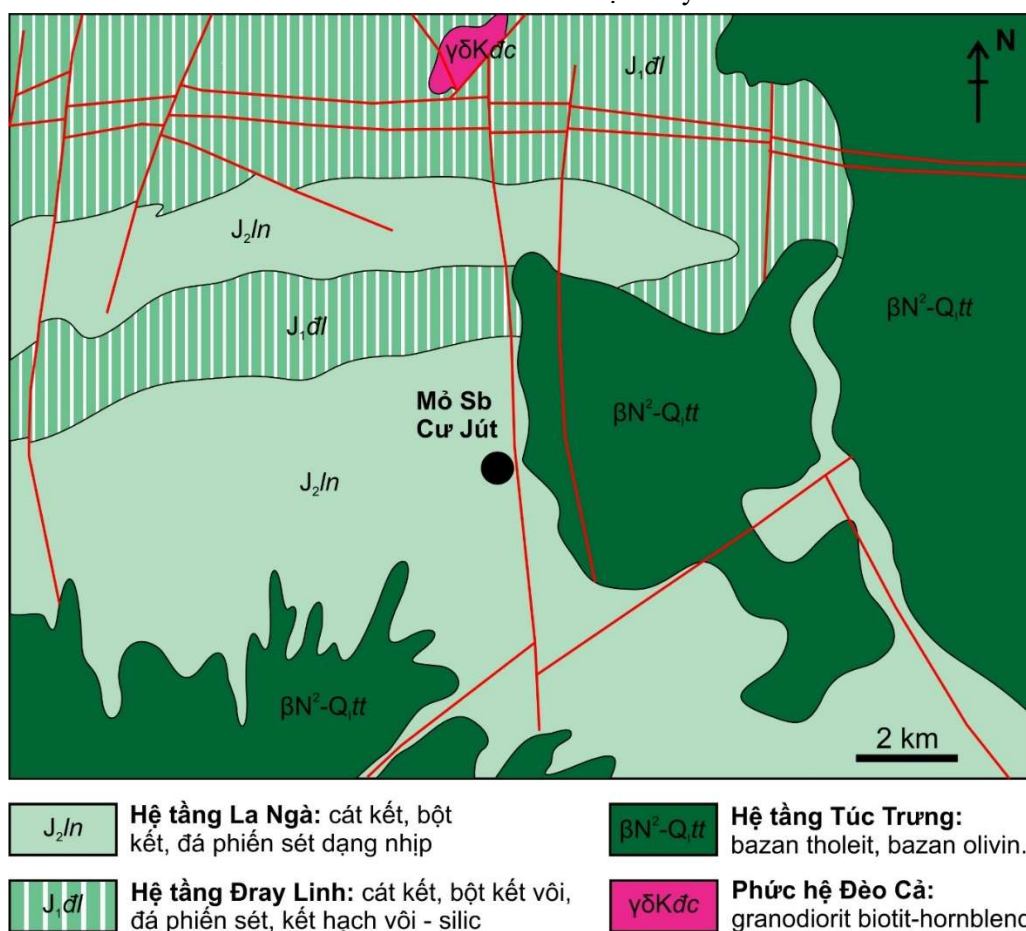
Bắc Việt Nam (Ngô T. Hường et al. 2016; Trần T. Hòa (Chủ biên). 2015). Các thử nghiệm xử lý quặng khó tuyển tách ở khu vực trên cũng cho thấy nhiều triển vọng tận thu vàng ở các mỏ nghiên cứu. Mặt khác, Trần Tuấn Anh đã một lần nữa thống kê, đánh giá lại tiềm năng khoáng sản nói chung khu vực Tây Nguyên (Trần T. Anh (Chủ biên). 2015). Kết quả cho thấy, có nhiều mỏ vàng đi kèm hoặc tụ khoáng có vàng trong thành phần quặng nhưng không quan sát được hạt vàng tự sinh nào trong quặng. Trong đó mỏ Cự Jút là mỏ có tiềm năng với hàm lượng Au trong mẫu quặng nguyên khai lên đến 1 g/t. Để đánh giá triển vọng khoáng sản Au trong quặng mỏ Cự Jút, đặc điểm thành phần khoáng vật quặng, đặc điểm thành phần hóa học các khoáng vật quặng, và dạng tồn tại của Au được nghiên cứu chi tiết. Bài báo này trình bày sơ bộ một số kết quả của các nghiên cứu trên.

2. Sơ lược về đặc điểm địa chất mỏ

antimon Cự Jút

Mỏ antimon Cự Jút nằm trên địa bàn huyện Cự Jút, tỉnh Đắk Nông, có tọa độ $12^{\circ}39'44,5''$ - $107^{\circ}46'41,5''$ nằm ở thượng nguồn suối Ea Mao (có tài liệu ghi là mỏ Ea Mao, (Trần Tính (Chủ biên). 1997)). Điểm quặng được phát hiện và khai thác tận thu từ cuối năm 1993 đầu năm 1994. Mỏ antimon nằm trong các đá cát kết, bột kết và đá phiến sét hệ tầng La Ngà (J_2ln) ngay sát ranh giới của hệ tầng La Ngà với các đá bazan tholeit, bazan olivin của hệ tầng Túc Trưng (βN^2-Q_{tt}) (Hình 1). Yếu tố địa chất khống chế quặng là các hệ thống đứt gãy phương á kinh tuyến cắt. Dọc theo các đứt gãy, đá bị nén ép mạnh, bị biến đổi thạch anh hóa, silic (?) hóa, dăm kết hóa, kaolin hóa và chlorit hóa.

Cho đến thời điểm hiện tại, các thân quặng antimon lộ ra trên bề mặt đều đã bị khai thác tận thu hết. Trữ lượng ở dưới sâu chưa được xác định đầy đủ.



Hình 1. Sơ đồ địa chất mỏ antimon Cự Jút (Sb).

3. Các phương pháp nghiên cứu

Các mẫu phục vụ nghiên cứu được thu thập tại mỏ antimon Cù Jút. Thành phần khoáng vật được phân tích dựa trên soi mẫu mài láng dưới kính hiển vi phân cực Zeiss Primotech tại Viện Địa chất - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam và dưới kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy - SEM) JEOL JSM 6510 LV tại Viện Địa chất và Khoáng vật, Phân Viện Siberi - Viện Hàn lâm Khoa học Nga. Thành phần hóa học của một số khoáng vật được phân tích dựa trên đầu thu tán xạ năng lượng (Energy Dispersive Spectroscopy - EDS) OXFORD gắn trên máy SEM.

Thành phần hóa học của các khoáng vật pyrit, arsenopyrit, và stibnit được phân tích trên máy điện tử vi dò (Electron Probe Micro-Analyzer - EPMA) CAMECA Camebax Viện Địa chất và Khoáng vật, Phân Viện Siberi - Viện Hàn lâm Khoa học Nga.

4. Đặc điểm thành phần khoáng vật

Thành phần khoáng vật quặng trong mỏ antimon Cù Jút bao gồm stibnit, arsenopyrit, pyrit, chalcopyrit, ilmenit, và magnetit. Mức độ phổ biến của các khoáng vật giảm dần theo thứ tự trên.

Stibnit, là khoáng vật quặng chính của mỏ Cù Jút, thường phân bố trong các mạch thạch anh dưới dạng các ổ xâm tán, các mạng mạch. Stibnit tạo thành các ổ lớn có kích thước đến 1-2cm, thậm chí có nhiều chỗ có ổ lớn đến vài cm, luôn quan sát thấy song tinh liên phiên của stibnit (Ảnh 1G). Các đám tinh thể arsenopyrit dạng hình kim và các tinh thể thạch anh khảm trên mặt các hạt stibnit, đôi chỗ còn có Sb tự sinh (Ảnh 1H và Ảnh 2C).

Arsenopyrit là khoáng vật phổ biến thứ hai ở mỏ. Arsenopyrit Cù Jút cũng gặp dưới 2 dạng hình thái khác nhau (ảnh 41 đến ảnh 46). Loại thứ nhất là tập hợp các hạt nhỏ, mịn thành từng hạt lớn hoặc hạt dạng ổ kích thước tới 0,5mm có dạng đối xứng (Ảnh 1E). Dạng thứ hai rất phổ biến trong mẫu nghiên cứu là dạng hình kim (Ảnh 1F). Arsenopyrit hình kim thường tạo thành đám đặc xít trong các mạch thạch anh, đôi chỗ có biểu hiện của quá trình bị đập vỡ và lúc đó một số hạt hình kim thường bị gãy. Kích thước các hạt hình kim này cũng rất khác nhau, trung bình có chiều dài từ 0,05

đến 0,1 mm hoặc lớn hơn. Theo các nghiên cứu trước đây, arsenopyrit có hình thái như trên thường chứa Au trong mạng tinh thể (Trần T. Hòa (Chủ biên). 2015).

Pyrit cũng là khoáng vật rất phổ biến, kích thước các hạt pyrit thay đổi từ 0,1 mm đến vài mm. Pyrit có đặc điểm hình thái đa dạng, ngoài các hạt có dạng tinh thể đúng dạng lập phương, các hạt có dạng đối xứng còn gặp dưới dạng các hạt méo mó tha hình do bị găm mòn hoặc bị oxy hóa, các hạt rất nhỏ không có dạng tinh thể rõ ràng tụ thành đám có các cạnh hơi tròn hoặc lồi lõm kích thước tới 1-2 cm. Nhiều chỗ pyrit bị oxy hóa hoặc bị đập vỡ và các vết nứt được lấp bằng hàng loạt các mạch hydroxyt sắt (Ảnh 1B, 1C, và 1D).

Chalcopyrit là khoáng vật không phổ biến ở trong các mẫu nghiên cứu. Phần lớn các hạt có kích thước nhỏ ($< 0,01\text{mm}$), dạng tha hình, mọc xen hoặc nằm riêng biệt trong các khe nứt của pyrit hoặc xâm tán trong đá nền (Ảnh 1B). Ở các đới oxy hóa, chalcopyrit bị covelin thay thế.

Magnetit và ilmenit là các khoáng vật thứ yếu là tồn tại chủ yếu trong đá. Hầu hết ilmenit bị biến đổi thành titanomagnetit còn magnetit thì bị thay thế bởi pyrit.

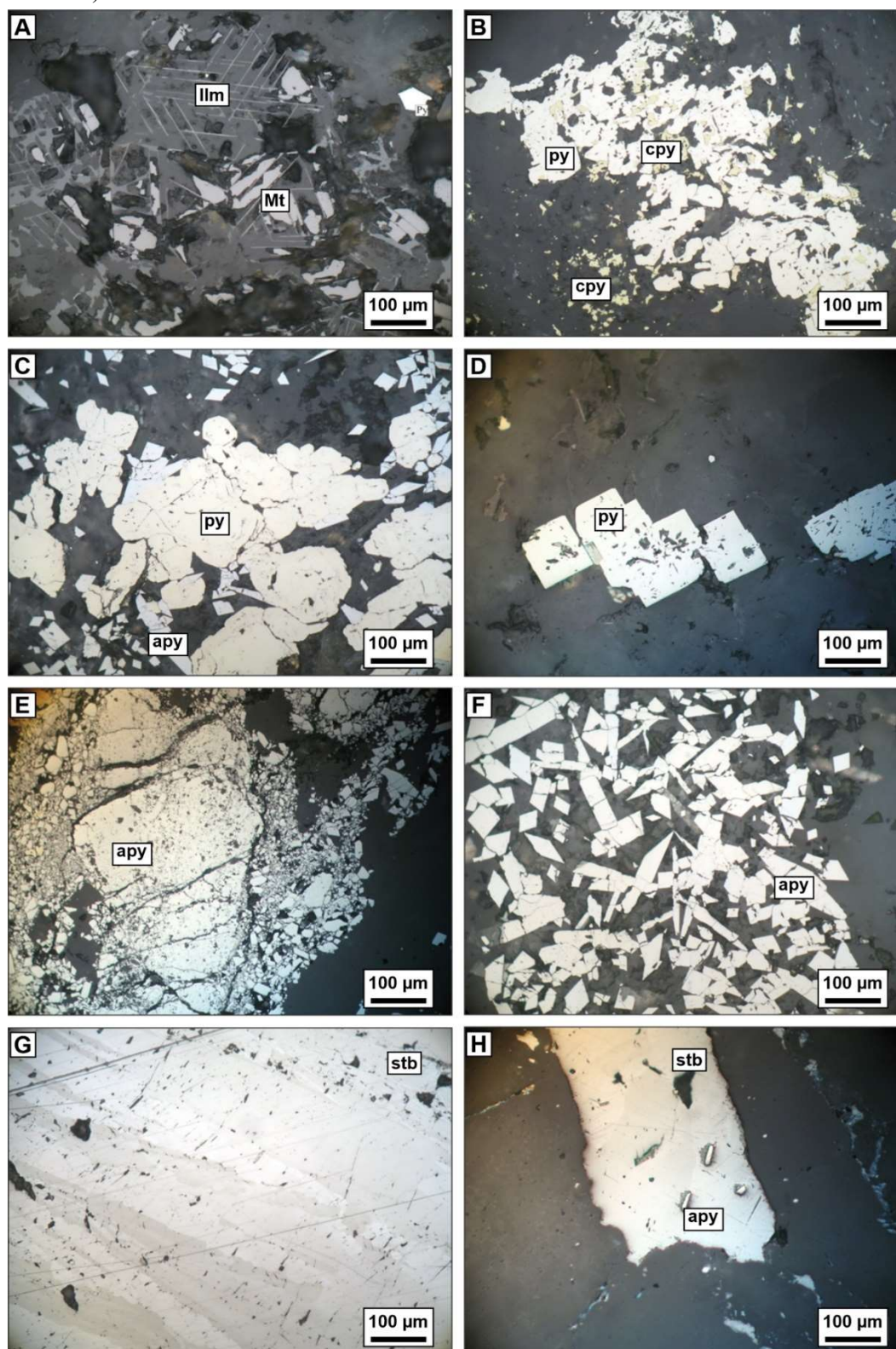
Dựa trên các đặc điểm về thành phần khoáng vật và mối quan hệ giữa các khoáng vật, thứ tự thành tạo các khoáng vật quặng mỏ Cù Jút được cho là bắt đầu từ magnetit và ilmenit đến chalcopyrit, arsenopyrit, và pyrit, và kết thúc ở stibnit. Ngoài ra, không quan sát thấy vàng tự sinh trong mỏ Cù Jút.

5. Đặc điểm thành phần hóa học các khoáng vật sulfid

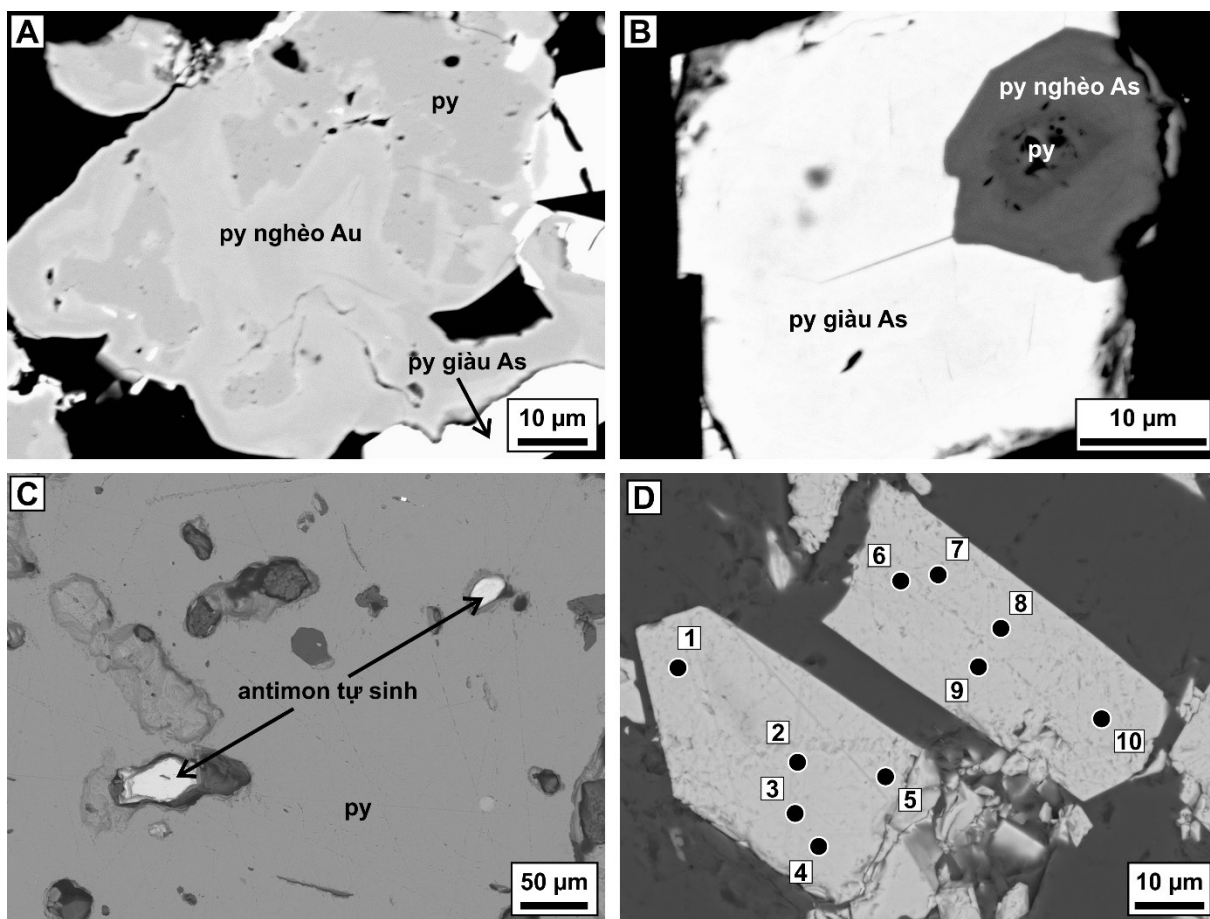
Kết quả phân tích thành phần hóa học các khoáng vật pyrit, arsenopyrit, và stibnit được thể hiện như trong các bảng 1 đến bảng 3.

Hàm lượng S và Fe trong pyrit mỏ Cù Jút lần lượt dao động từ 48,1 đến 54,1%tl (trung bình 52,5%tl) và 44,4 đến 46,8%tl (trung bình 46,0%tl) (Bảng 1; Hình 2). Pyrit mỏ Cù Jút chứa một lượng nhỏ Ni. Hàm lượng Ni dao động trong khoảng rộng từ 0,01 đến 0,58%tl (trung bình 0,07%tl). Dựa trên hàm lượng As, pyrit mỏ Cù Jút có thể phân ra làm 3 loại. Loại 1 không chứa As (py); loại 2 chứa As (py chứa As; $\text{As} \leq 1\%tl$); và loại 3 giàu As (py giàu As; $\text{As} = 2,04-6,68\%tl$) (Bảng 1; Ảnh 2A và 2B;

Hình 1 và 2).



Ảnh 1. Ảnh chụp mẫu mài láng quặng Cư Jút trên kính hiển vi phân cực thể hiện các dạng tồn tại của các khoáng vật: A - ilmenit (Ilm) và magnetit (Mt); B - chalcopyrite (cpy) và pyrit (py); C và D - py và arsenopyrit (apy); E và F - apy; G và H - stibnit (stb) và apy.



Ảnh 2. Ảnh thành phần (compositional images) chụp bằng kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope - SEM) thể hiện dạng tồn tại của các khoáng vật: A và B: py phân đới; C: antimon tự sinh khảm trong py; D: các điểm phân tích thành phần arsenopyrit bằng đầu thu tán xạ năng lượng (Energy Dispersive Spectroscopy - EDS) gắn trên máy SEM. Kết quả được thể hiện như trong [Bảng 2](#).

Pyrit không chứa As (py) thường hình hành ở nhân của hạt khoáng vật, py chứa As thường hình thành ở giữa; còn py giàu As thường hình thành ở rìa của hạt khoáng vật ([Ảnh 2A và 2B](#)). Hàm lượng As trong pyrit mỏ Cú Jút dao động từ 0.017 đến 0.09 % tl (170 đến 900 ppm; giới hạn phân tích là 0,05 %tl hay 500 ppm). Trung bình hàm lượng Au trong tất cả các kết quả phân tích là 570 ppm; trung bình hàm lượng Au sau khi bỏ những kết quả dưới 500 ppm là 650 ppm). Fe (trong py không chứa As), As và Fe+As (trong py chứa và giàu As) thể hiện mối tương quan âm với S trong py tương ứng ([Hình 2](#)). Trong py không chứa As, S và Au thể hiện mối tương quan dương không rõ rệt; trong py giàu As, những kết quả trên giới hạn phân tích của Au thể hiện mối tương quan dương với S ([Hình 3](#)). Công thức phân tử của pyrit mỏ Cú Jút được tính ra như sau: $\text{Fe}_{0,99-1,02}\text{Ni}_{0,0-0,01}\text{As}_{0,0-0,11}\text{Au}_{0,0001}\text{S}_{1,89-2,01}$.

Hàm lượng Fe, As, và S trong arsenopyrit mỏ Cú Jút lần lượt dao động trong khoảng từ 33,3 đến 35,6 %tl (trung bình 34,6 %tl), 40,6 đến 46,1 % tl (trung bình 44,0 % tl), và 20,6 đến 23,8 %tl (trung bình 21,7 %tl) ([Bảng 2; Hình 4](#)). Arsenopyrit mỏ Cú Jút chứa một lượng nhỏ Sb (0,01 đến 1,09 %tl; trung bình 0,34 % tl). Au phân bố không đều trong arsenopyrit mỏ Cú Jút. Hàm lượng Au đo được từ EPMA trong arsenopyrit Cú Jút dao động từ 0,014 đến 0,120 %tl (140 đến 1.200 ppm; giới hạn phân tích 500 ppm). Hàm lượng trung bình của Au trong tất cả các kết quả phân tích là 580 ppm; hàm lượng trung bình của Au sau khi loại bỏ những kết quả dưới giới hạn phân tích là 650 ppm. ([Bảng 2; Hình 5](#)). Trong arsenopyrit mỏ Cú Jút, S và As thể hiện mối tương quan âm; Au không thể hiện mối tương quan rõ rệt với bất kỳ nguyên tố nào khác. Công thức phân tử của arsenopyrit mỏ Cú Jút

được tính ra như sau: $\text{Fe}_{0,96-1,00}\text{As}_{0,84-0,99}\text{Sb}_{0,0-0,01}\text{Au}_{0-0,001}\text{S}_{1,89-2,01}$.

Bảng 1. Thành phần hóa học của pyrit trong quặng antimon Cự Jút

%tl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	46,0	46,2	46,3	46,5	46,3	46,3	45,9	45,8	45,8	46,0
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,07	-	-	0,01	-	0,02	0,01	0,03	-	-
Au	0,055	0,061	0,068	0,032	0,059	0,090	0,059	0,077	0,083	0,065
S	52,9	53,9	52,7	53,1	53,1	53,4	53,0	52,9	53,2	53,0
Tổng	99,0	100,1	99,1	99,6	99,4	99,8	99,0	98,8	99,1	99,0
% nguyên tử										
Fe	33,3	33,0	33,5	33,4	33,4	33,2	33,2	33,2	33,1	33,2
As										
Ni	0,051			0,007		0,010	0,005	0,023		
Au	0,011	0,012	0,014	0,007	0,012	0,018	0,012	0,016	0,017	0,013
S	66,7	67,0	66,5	66,5	66,6	66,8	66,8	66,8	66,9	66,7

Bảng 1 (tiếp)

%tl	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fe	46,7	45,7	45,8	46,5	46,3	46,7	46,5	46,7	46,7	46,5
As	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0,02	0,01	0,09	0,02	0,03	0,01	0,06	0,01	0,01	-
Au	0,059	0,050	0,084	0,058	0,037	0,071	0,058	0,045	0,078	0,057
S	53,0	53,1	52,9	54,1	53,4	53,0	54,1	53,5	53,8	53,2
Tổng	99,9	98,8	98,8	100,7	99,8	99,8	100,7	100,3	100,6	99,8
% nguyên tử										
Fe	33,6	33,0	33,2	33,1	33,2	33,6	33,0	33,4	33,3	33,4
As										
Ni	0,016	0,003	0,063	0,016	0,021	0,008	0,040	0,003	0,007	
Au	0,012	0,010	0,017	0,012	0,008	0,014	0,012	0,009	0,016	0,012
S	66,4	66,9	66,8	66,9	66,7	66,4	66,9	66,6	66,7	66,6

Bảng 1 (tiếp)

%tl	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fe	46,4	46,4	45,4	46,7	46,4	45,6	46,6	46,3	46,8	46,5
As	-	-	3,73	-	-	2,04	-	-	-	-
Ni	-	0,06	-	0,07	0,04	-	-	0,01	-	-
Au	0,054	0,080	0,041	0,082	0,069	0,066	0,060	0,076	0,044	0,059
S	51,9	53,2	49,9	53,3	53,3	50,7	53,6	53,5	53,2	53,5
Tổng	98,4	99,7	99,1	100,2	99,8	98,5	100,3	99,9	100,0	100,0
% nguyên tử										
Fe	33,9	33,4	33,6	33,5	33,3	33,7	33,3	33,2	33,5	33,3
As			2,058			1,122				
Ni		0,042	0,000	0,045	0,029			0,004		
Au	0,011	0,016	0,009	0,017	0,014	0,014	0,012	0,015	0,009	0,012
S	66,1	66,6	64,3	66,5	66,6	65,2	66,7	66,8	66,4	66,7

Bảng 1 (tiếp)

%tl	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Fe	45,0	44,9	46,2	45,8	45,9	45,3	44,4	46,0	44,6	45,2
As	2,58	4,73	-	0,43	-	-	6,68	-	4,47	3,19
Ni	-	-	0,01	-	0,01	0,38	-	0,12	-	-
Au	0,039	0,047	0,056	0,017	0,052	0,056	0,049	0,042	0,054	0,071
S	50,5	48,5	53,2	51,9	52,8	52,8	48,1	53,3	49,3	50,1
Tổng	98,0	98,1	99,5	98,2	98,8	98,5	99,2	99,4	98,5	98,5
% nguyên tử										
Fe	33,4	33,8	33,3	33,6	33,3	32,9	33,3	33,1	33,4	33,5
As	1,427	2,654		0,237			3,741		2,489	1,764
Ni			0,008		0,009	0,263		0,079		
Au	0,008	0,010	0,011	0,004	0,011	0,012	0,010	0,009	0,011	0,015
S	65,2	63,6	66,7	66,2	66,7	66,8	62,9	66,9	64,1	64,7

Bảng 1 (tiếp)

%tl	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Fe	46,4	45,4	46,3	45,9	46,0	46,1	46,2	46,0	45,3	45,7
As	-	3,08	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	0,07	0,11	-	-	0,01	0,01	0,58	0,10
Au	0,061	0,061	0,049	0,027	0,020	0,054	0,040	0,046	0,049	0,054
S	52,9	49,9	53,0	52,5	52,7	52,6	53,0	52,5	52,8	52,5
Tổng	99,4	98,5	99,4	98,6	98,7	98,7	99,2	98,5	98,7	98,3
% nguyên tử										
Fe	33,5	33,7	33,4	33,4	33,4	33,4	33,3	33,5	32,8	33,3
As		1,705								
Ni			0,048	0,076			0,008	0,006	0,398	0,070
Au	0,012	0,013	0,010	0,006	0,004	0,011	0,008	0,009	0,010	0,011
S	66,5	64,6	66,6	66,5	66,6	66,5	66,6	66,5	66,7	66,7

Bảng 1 (tiếp)

%tl	51	52	53	Th.N.	C.N.	Tr.B.
Fe	46,3	46,1	46,3	44,4	46,8	46,0
As	-	-	-	0,43	6,68	3,44
Ni	-	-	-	0,01	0,58	0,07
Au	0,041	0,071	0,063	0,017	0,090	0,057
S	52,6	52,9	52,5	48,1	54,1	52,5
Tổng	99,0	99,0	98,9	98,0	100,7	99,2
% nguyên tử						
Fe	33,6	33,4	33,6	32,8	33,9	33,4
As				0,24	3,74	1,91
Ni				0,000	0,398	0,047
Au	0,008	0,015	0,013	0,004	0,018	0,012
S	66,4	66,6	66,4	62,9	67,0	66,3

Bảng 2. Thành phần hóa học của arsenopyrit trong quặng antimon Cư Jút.

% tl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	34,6	35,2	35,5	34,8	34,2	34,5	33,7	33,8	34,1	34,6
As	43,7	42,2	41,3	44,6	44,7	44,1	44,5	44,4	46,1	43,9

% tl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sb	0,43	0,23	0,65	0,19	0,04	0,31	0,37	0,18	0,10	0,22
Au	0,064	0,066	0,074	0,081	0,085	0,061	0,068	0,074	0,076	0,054
S	21,7	22,5	23,0	20,7	20,9	20,9	21,1	21,0	20,7	21,4
Tổng	100,6	100,1	100,6	100,4	99,9	99,9	99,8	99,4	101,1	100,2
% nguyên tử										
Fe	32,9	33,2	33,2	33,4	32,9	33,2	32,5	32,6	32,6	33,0
As	31,0	29,7	28,9	31,9	32,0	31,6	32,0	32,0	32,8	31,2
Sb	0,186	0,101	0,280	0,084	0,016	0,135	0,164	0,081	0,044	0,097
Au	0,017	0,018	0,020	0,022	0,023	0,017	0,019	0,020	0,021	0,015
S	35,9	37,0	37,6	34,6	35,0	35,0	35,4	35,3	34,5	35,6

Bảng 2 (tiếp)

% tl	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fe	34,6	35,2	34,5	34,4	34,6	34,8	34,9	34,4	35,3	35,5
As	45,0	44,1	44,2	45,8	43,9	43,3	41,6	44,4	41,5	42,8
Sb	0,16	0,11	0,40	0,01	0,21	0,32	0,60	0,56	1,06	0,40
Au	0,028	0,120	0,075	0,075	0,059	0,049	0,039	0,051	0,057	0,066
S	20,9	22,1	21,8	20,6	21,7	22,2	22,5	21,5	23,2	23,0
Tổng	100,6	101,5	101,0	100,9	100,5	100,6	99,6	100,8	101,1	101,8
% nguyên tử										
Fe	33,0	33,0	32,6	32,9	32,9	32,9	33,1	32,7	32,9	33,0
As	32,1	30,8	31,2	32,7	31,1	30,5	29,4	31,5	28,9	29,6
Sb	0,072	0,048	0,172	0,004	0,091	0,137	0,259	0,246	0,454	0,168
Au	0,008	0,032	0,020	0,020	0,016	0,013	0,010	0,014	0,015	0,017
S	34,8	36,1	36,0	34,3	35,9	36,5	37,2	35,6	37,7	37,2

Bảng 2 (tiếp)

% tl	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fe	35,6	35,2	34,1	33,3	34,8	34,8	35,0	34,8	34,1	34,6
As	40,6	43,1	44,7	45,8	44,4	45,2	43,9	43,9	42,9	44,7
Sb	1,09	0,28	0,72	0,50	0,17	0,29	0,35	0,26	0,15	0,57
Au	0,048	0,067	0,046	0,037	0,053	0,066	0,014	0,056	0,057	0,065
S	23,8	22,8	21,3	20,6	21,5	21,0	22,2	21,6	21,9	21,2
Tổng	101,0	101,5	100,8	100,2	100,9	101,3	101,4	100,6	99,1	101,2
% nguyên tử										
Fe	33,0	32,8	32,6	32,1	33,0	33,1	32,9	33,0	32,7	32,9
As	28,1	30,0	31,8	33,0	31,4	32,0	30,7	31,1	30,7	31,7
Sb	0,464	0,118	0,316	0,221	0,072	0,125	0,152	0,111	0,065	0,246
Au	0,013	0,018	0,012	0,010	0,014	0,018	0,004	0,015	0,015	0,018
S	38,4	37,1	35,3	34,6	35,5	34,8	36,3	35,7	36,6	35,1

Bảng 2 (tiếp)

% tl	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Fe	34,5	34,3	34,6	34,4	34,7	34,3	34,4	34,5	34,7	34,4
As	43,5	43,0	44,0	45,5	43,1	45,3	42,4	46,0	44,9	43,3
Sb	0,36	0,38	0,38	0,05	0,27	0,17	0,30	0,15	0,16	0,91
Au	0,051	0,062	0,053	0,039	0,053	0,088	0,062	0,051	0,067	0,035

% tl	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
S	21,6	22,2	21,9	20,6	22,2	21,0	22,7	20,8	21,2	21,5
Tổng	99,9	100,0	101,0	100,6	100,3	100,8	99,8	101,6	101,0	100,1
% nguyên tử										
Fe	33,0	32,6	32,7	33,1	32,8	32,8	32,5	32,8	33,0	32,9
As	31,0	30,5	31,0	32,5	30,4	32,2	29,9	32,6	31,8	30,8
Sb	0,158	0,165	0,164	0,024	0,115	0,075	0,131	0,064	0,070	0,400
Au	0,014	0,017	0,014	0,011	0,014	0,024	0,017	0,014	0,018	0,009
S	35,9	36,7	36,1	34,4	36,7	34,9	37,4	34,5	35,1	35,8

Bảng 2 (tiếp)

% tl	41	42	43	44	45	46	Th.N.	C.N.	Tr.B.
Fe	34,6	34,1	34,4	34,4	34,4	35,0	33,3	35,6	34,6
As	43,3	44,9	45,2	44,5	45,2	42,6	40,6	46,1	44,0
Sb	0,16	0,02	0,11	0,32	0,15	1,02	0,01	1,09	0,34
Au	0,051	0,038	0,051	0,035	0,026	0,071	0,014	0,120	0,058
S	22,4	20,7	21,4	20,9	20,9	22,9	20,6	23,8	21,7
Tổng	100,5	99,8	101,2	100,2	100,6	101,6	99,1	101,8	100,6
% nguyên tử									
Fe	32,6	32,9	32,6	33,0	32,9	32,7	32,1	33,4	32,9
As	30,5	32,3	31,9	31,8	32,3	29,6	28,1	33,0	31,1
Sb	0,071	0,009	0,049	0,141	0,067	0,437	0,004	0,464	0,149
Au	0,014	0,010	0,014	0,010	0,007	0,019	0,004	0,032	0,016
S	36,8	34,8	35,4	35,0	34,8	37,2	34,3	38,4	35,8

Ghi chú: -: dưới giới hạn xác định; Th.N.: thấp nhất; C.N.: cao nhất; Tr.B.: trung bình.

Hàm lượng Sb và S trong stibnit mỏ Cự Jút lần lượt dao động trong khoảng từ 70,3 đến 73,0 %tl (trung bình 71,0 %tl) và 26,4 đến 28,2 %tl (trung bình 27,6 %tl). Các kết quả

phân tích stibnit mỏ Cự Jút không thấy sự xuất hiện của Au. Công thức phân tử của stibnite mỏ Cự Jút được tính ra như sau: $Sb_{2,00-2,09}S_{2,91-3,00}$.

Bảng 3. Thành phần hóa học của stibnit trong quặng antimon Cự Jút.

%tl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sb	71,0	70,3	70,5	70,7	70,7	70,6	70,4	70,7	71,2	70,8
S	27,8	27,8	27,8	27,7	27,8	27,8	27,7	28,0	27,8	27,5
Tổng	98,8	98,1	98,3	98,4	98,5	98,4	98,1	98,7	99,0	98,3
% nguyên tử										
Sb	40,2	39,9	40,0	40,2	40,1	40,1	40,1	39,9	40,3	40,4
S	59,8	60,1	60,0	59,8	59,9	59,9	59,9	60,1	59,7	59,6

Bảng 3 (tiếp)

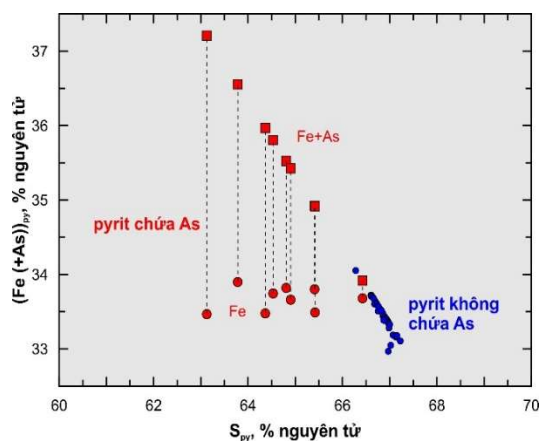
%tl	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Sb	70,6	70,7	70,4	70,7	70,9	70,5	71,0	73,0	70,8	71,1
S	27,7	27,4	27,6	27,7	27,1	27,6	28,0	28,2	28,1	27,8
Tổng	98,2	98,1	98,0	98,3	98,0	98,1	98,9	101,2	98,9	98,9
% nguyên tử										
Sb	40,2	40,5	40,2	40,2	40,8	40,2	40,1	40,6	39,9	40,3
S	59,8	59,5	59,8	59,8	59,2	59,8	59,9	59,4	60,1	59,7

Bảng 3 (tiếp)

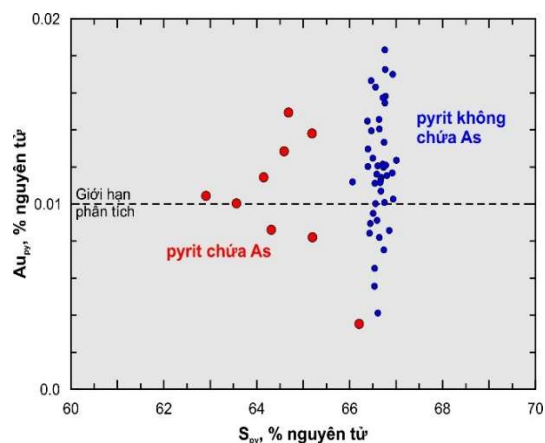
%tl	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Sb	71,1	70,9	72,0	71,0	71,2	71,1	71,1	70,7	71,1	71,8
S	27,6	27,7	27,3	27,7	28,1	27,7	28,0	27,4	27,6	27,2
Tổng	98,7	98,5	99,3	98,7	99,3	98,8	99,0	98,1	98,6	99,1
% nguyên tử										
Sb	40,4	40,3	41,0	40,3	40,0	40,4	40,1	40,4	40,4	41,0
S	59,6	59,7	59,0	59,7	60,0	59,6	59,9	59,6	59,6	59,0

Bảng 3 (tiếp)

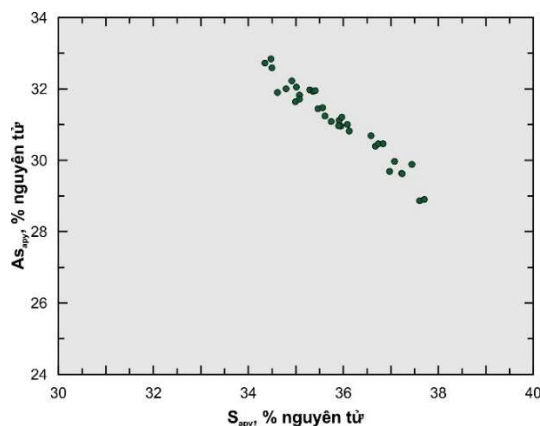
%tl	31	32	33	34	35	Th.N.	C.N.	Tr.B.
Sb	71,1	71,3	71,7	71,2	71,6	70,3	73,0	71,0
S	27,5	27,5	26,4	27,1	27,1	26,4	28,2	27,6
Tổng	98,6	98,8	98,1	98,2	98,7	98,0	101,2	98,6
% nguyên tử								
Sb	40,5	40,5	41,7	40,9	41,1	39,9	41,7	40,4
S	59,5	59,5	58,3	59,1	58,9	58,3	60,1	59,6



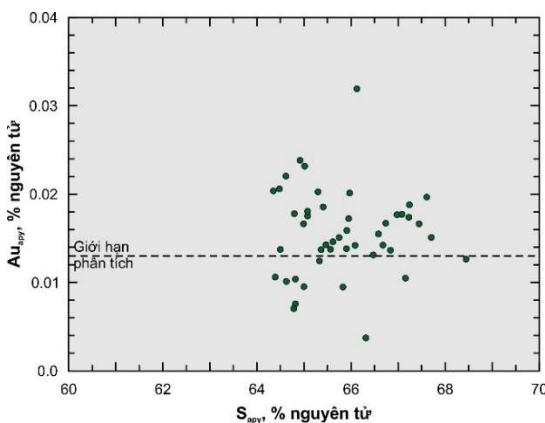
Hình 2. Tương quan giữa S và Fe (hình tròn), Fe+As (hình vuông) trong pyrit mỏ Cự Jút.



Hình 3. Tương quan giữa S và Au trong pyrit mỏ Cự Jút.



Hình 4. Tương quan giữa S và As trong arsenopyrit mỏ Cự Jút.



Hình 5. Tương quan giữa S và Au trong arsenopyrit mỏ Cự Jút.

6. Dạng tồn tại của Au trong quặng antimon Cự Jút

Các kết quả phân tích hàm lượng As bằng EPMA trong các khoáng vật pyrit, arsenopyrit, và stibnit cho thấy khoáng hóa Au chủ yếu liên quan đến giai đoạn đầu của khoáng hóa sulfit với sự hình thành của pyrit và arsenopyrit. Giai đoạn sau của khoáng hóa sulfit với sự hình thành của stibnit không có biểu hiện của khoáng hóa Au.

Tuy khoáng hóa vàng xảy ra đồng thời với khoáng hóa pyrit và arsenopyrit nhưng kết quả phân tích thành phần hóa học của các khoáng vật này cho thấy: 1/ Au phân bố không đều giữa các hạt khoáng vật; 2/ Au không có tương

quan rõ rệt với bất kỳ nguyên tố nào trong hai khoáng vật trên. Kết quả kiểm tra các điểm phân tích bằng SEM-EDS trên hai hạt arsenopyrit ([Ảnh 2D](#); [Bảng 4](#)) cho thấy trong một hạt khoáng vật, Au cũng phân bố không đều, có những khu vực phân tích không thấy sự có mặt của Au và có những khu vực hàm lượng Au khá cao. Đặc điểm thành phần hóa học của pyrit và arsenopyrit này khác tương đồng với mỏ Bô Va (Bắc Kạn) và Nam Quang (Cao Bằng) (Ngô T. Hường et al. 2016; Trần T. Hòa (Chủ biên). 2015) và các mỏ kiểu Carlin khác ở Mỹ, Trung Quốc, và Kazakhstan (Chen et al. 2011; Fleet and Mumin 1997; R. et al. 2011; Zhong et al. 2002).

Bảng 4. Sự phân bố không đều của Au trong arsenopyrit trong quặng antimon Cự Jút. Các điểm phân tích được thể hiện như trong Hình 2D.

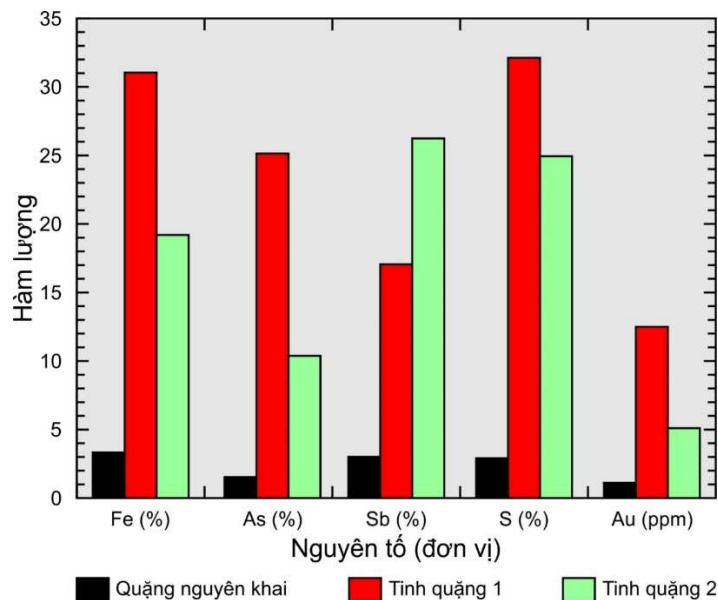
%tl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	36,4	36,4	36,6	36,1	35,5	36,2	35,5	36,0	35,8	36,1
As	42,3	41,5	42,0	43,6	44,4	43,4	43,7	42,2	42,5	42,5
Sb		0,41	0,58					1,67	1,55	
Au		0,51				0,37	0,53	0,37		
S	22,1	22,1	22,5	21,2	20,9	21,8	21,0	21,3	21,3	22,0
Tổng	100,9	100,9	101,6	100,9	100,7	101,8	100,7	101,6	101,2	100,6
% nguyên tử										
Fe	34,2	34,3	34,1	34,2	33,8	34,0	33,9	34,1	33,9	34,0
As	29,6	29,2	29,2	30,8	31,5	30,4	31,1	29,8	30,1	29,8
Sb		0,18	0,25					0,73	0,68	
Au		0,14				0,10	0,14	0,10		
S	36,2	36,3	36,5	35,0	34,7	35,6	34,9	35,2	35,3	36,1

Về mặt địa hóa quặng, để đánh giá mối tương quan giữa Au và một số nguyên tố chính khác, hàm lượng một số nguyên tố được phân tích có 3 kiểu quặng: quặng nguyên khai, tinh quặng 1 và tinh quặng 2 (tuyển bằng phương pháp trọng lực). Trong đó, tinh quặng 1 là tinh quặng giàu As và tinh quặng 2 là tinh quặng giàu stibnit. Kết quả được thể hiện như trong [bảng 5](#). Kết quả phân tích cho thấy tuy hàm lượng Au trong mẫu quặng nguyên khai không cao (1,12 ppm) nhưng trong tinh quặng 1 và tinh quặng 2 lần lượt lên tới 12,5 ppm và 5,1 ppm. Đặc biệt, Au trong các mẫu quặng thể hiện mối tương quan dương mạnh với Fe và As và yếu hơn với S ([Bảng 5](#); [Hình 6](#)).

Như vậy, Au ở mỏ Cự Jút tồn tại ở dạng siêu mịn và phân bố không đều trong các hạt khoáng vật pyrit và arsenopyrit. Các nguyên tử Au lấp vào khoảng trống trong cấu trúc phân tử của các khoáng vật trên chứ không tham gia vào cấu trúc khoáng vật. Kiểu khoáng hóa vàng này được [Saunders](#) và [Williams-Jones](#) giải thích bằng cơ chế keo hóa (Saunders 1990; Williams-Jones, Bowell, and Migdisov 2009). Trong một số điều kiện nhất định, Au có thể tạo thành các hạt keo điện tích âm. Khi gặp điều kiện thích hợp, các hạt keo Au điện tích âm sẽ bị hấp phụ trên các khoáng vật có bề mặt tích điện dương như pyrit chứa As hoặc arsenopyrit.

Bảng 5. Hàm lượng trung bình các nguyên tố chính trong mẫu quặng mỏ Cú Jút.

Mẫu	Quặng nguyên khai	Tỉnh quặng 1	Tỉnh quặng 2
Fe (% tl)	3,32	31,04	19,19
As (% tl)	1,53	25,14	10,38
Sb (% tl)	3,01	17,05	26,24
S (% tl)	2,91	32,12	24,94
Au (ppm)	1,12	12,50	5,10



Hình 6. Biểu đồ phân bố hàm lượng một số nguyên tố chính trong các mẫu quặng mỏ Cú Jút.

7. Kết luận

Khoáng hóa sulfid mỏ Cú Jút chia ra làm hai giai đoạn: Giai đoạn sớm hình thành tổ hợp khoáng vật chalcopyrit, arsenopyrit, và pyrit; giai đoạn muộn hình thành stibnit. Trong đó giai đoạn sau là giai đoạn khoáng hóa chủ yếu hình thành nên khoáng chất kinh tế chính của mỏ là antimon;

Khoáng hóa Au mỏ Cú Jút đi kèm với giai đoạn sớm của khoáng hóa sulfid. Vàng tồn tại ở dạng siêu mịn và phân bố không đều trong các hạt khoáng vật pyrit và arsenopyrit hình kim. Các hạt vàng siêu mịn được cho là lấp vào các khoảng trống trong cấu trúc phân tử của các khoáng vật trên mà không tham gia vào cấu trúc phân tử.

Khoáng hóa Au mỏ antimon Cú Jút có triển vọng khá cao nhưng chưa được sự quan tâm đánh giá cần thiết. Với các công nghệ mới để thu hồi các kiểu quặng Au nghèo và khó xử lý như hiện nay, việc thu hồi Au từ mỏ Cú Jút hoàn toàn có khả năng thực hiện.

Lời cảm ơn

Bài báo là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài mã số TN18/C11 thuộc Chương trình Tây Nguyên 2016-2020. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự cộng tác của các đồng nghiệp Phòng Thạch luận và Sinh khoáng, Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam trong quá trình hoàn thành bài báo này.

Tài liệu tham khảo

Chen, M. H., J. W. Mao, F. P. Bierlein, T. Norman, and U. P. and J. 2011. 'Structural features and metallogenesis of the Carlin-type Lannigou gold deposit, Guizhou Province, China:' *Ore Geology Reviews*, 43: 217-34.

Fleet, M. E., and A. H. Mumin. 1997. 'Gold-bearing pyrite and arsenopyrite from Carlin Trend gold deposits and laboratory synthesis', *American Mineralogist*, 82: 182-93.

Ngô T. Hường, Nevolko P. A., Trần T. Hòa, Trần T. Anh, Phạm T. Dung, and Vũ H. Ly. 2016. 'Một số đặc điểm hình thái và thành phần hóa học của arsenopyrit, pyrit trong các tụ khoáng vàng - sulfide Bó Va và Nam Quang (Đông Bắc Việt Nam)', *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*, 38: 98-107.

- R., K. K., Y. A. Kalinin, E. A. Naumov, M. K. Kolesnikova, and V. N. Korolyuk. 2011. 'Gold-bearing arsenopyrite in eastern Kazakhstan gold-sulfide deposits', *Russian Geology and Geophysics*, 52: 178-92.
- Saunders, J. A. 1990. 'Colloidal transport of gold and silica in epithermal precious-metal deposit', *Nevada: Geology*, 18: 757-60.
- Trần T. Anh (Chủ biên). 2015. "Nghiên cứu, đánh giá khả năng sử dụng tổng hợp một số khoáng sản quan trọng và vị thế của chúng trong phát triển kinh tế - xã hội và bảo đảm an ninh quốc phòng khu vực Tây Nguyên. Báo cáo tổng kết đề tài mã số TN3/T05." In. *Trung tâm thông tin lưu trữ Quốc gia*.
- Trần T. Hòa (Chủ biên). 2015. "Nghiên cứu đánh giá loại hình hàng hạt mịn trong các kiểu quặng hóa khác nhau khu vực Đông Bắc Việt Nam và đề xuất giải pháp công nghệ thu hồi thích hợp không gây ô nhiễm môi trường. Báo cáo tổng kết đề tài mã số KC.08.14/11-15." In. *Trung tâm thông tin lưu trữ Quốc gia*.
- Trần Tính (Chủ biên). 1997. "Bản đồ Địa chất và Khoáng sản Việt Nam 1:200.000 - Tờ Bản Đôn." In. *Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. Hà Nội*.
- Williams-Jones, A. E, R. J. Bowell, and A. Migdisov. 2009. 'Gold in Solution', *Elements, McGill University*, 5: 281-87.
- Zhong, H. R., S. W. Chao, B. X. Wu, T. G. Zhi, and A. H. Hofstra. 2002. 'Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China', *Mineralium Deposita*, 37: 378-92.

Summary

Mineralogical characteristic and mode of occurrence of gold in Cu Jut Sb deposit, Cu Jut district, Dak Nong Province

Tran Tuan Anh, Pham Ngoc Can, Vu Hoang Ly, Ngo Thi Huong, Phan Duc Le

The ores from Cu Jut Sb deposit (Dak Nong Province) were collected to study on mineralogical characteristics and mode of occurrence of gold. Mineral assemblage of the Cu Ju Sb deposit consists of large amount of stibnite, lesser amounts of arsenopyrite, pyrite, chalcopyrite, and small amounts of magnetite and ilmenite. Based on the cutting relationship among the minerals, mineralization sequence in the Cu Jut Sb deposit was thought to start from magnetite and ilmenite, through chalcopyrite, arsenopyrite, and pyrite, to stibnite. Native gold had not been observed, although, there are significant amounts of Au in the chemical compositions of the Cu Jut pyrite and arsenopyrite. Almost results of quantitative analysis for Au in the Cu Jut pyrite and arsenopyrite using an electron probe micro-analyzer (EPMA) higher than detection limit (500 ppm). The Au contents in the Cu Jut pyrite and arsenopyrite reach to 900 and 1,200 ppm, respectively. Distribution of Au in the Cu Jut pyrite and arsenopyrite had been confirmed by using scanning electron microscopy (SEM). Results show that Au distribute heterogeneously, even in a single grain of pyrite and arsenopyrite. This suggests that, in the Cu Jut deposit, gold occur as invisible grains disseminating in the pyrite and arsenopyrite grains. On the other hand, Au show positive correlation with As and Fe in the ores. The gold mineralization in the Cu Jut Sb deposit is thought to similar with gold mineralization in the reported Han Han deposit (Bac Kan) and Nam Quang deposit (Cao Bang) and other Carlin-type gold deposits.

Keywords: *Cu Jut Sb deposit, Carlin-type deposit, Au-bearing pyrite, Au-bearing arsenopyrite, invisible gold.*