



# TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

## KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

# ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

## **ĐƠN VỊ TỔ CHỨC**

**Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)**

## **CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC**

**Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam**

**Tổng hội Địa chất Việt Nam**

**Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam**

**Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu**

**Hội Cơ học Đá Việt Nam**

**Hội Công trình ngầm Việt Nam**

**Hội Dầu khí Việt Nam**

**Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam**

**Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam**

**Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam**

**Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam**

**Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam**

**Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam**

**Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam**

**Viện Khoa học Công nghệ Mỏ**

## **BAN TỔ CHỨC**

**Trưởng ban**

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

**Phó Trưởng ban**

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

**Ủy viên**

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS. TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Lâm, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Xuân Thảo, *Hội Công nghệ Khoan - Khai thác Việt Nam*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Lê Đức Tình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Thị Phúc An, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Đào Hồng Quảng, *Viện Khoa học Công nghệ Mỏ*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Hội Dầu khí Việt Nam*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Ái Thụy, *Hội Địa chất Kinh tế Việt Nam*

TS Bùi Yên Tĩnh, *Cục Bản đồ - Bộ Tổng tham mưu*

## **BAN KHOA HỌC**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
GS.TS Võ Trọng Hùng, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*  
GS.TS Trương Xuân Luận, *Tổng Hội Địa chất Việt Nam*  
GS.TS Bùi Xuân Nam, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*  
GS.TS Đỗ Như Tráng, *Hội Cơ học Đá Việt Nam*  
PGS.TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Lê Ngọc Ánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Lê Minh Thống, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*  
PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*  
TS Lê Quang Duyến, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Cao Khải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Văn Phóng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Bách Thảo, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN BIÊN TẬP**

### **Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

PGS.TS Nguyễn Viết Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS. TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN THƯ KÝ**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Phạm Đức Thọ, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Khắc Long, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
TS Dương Thành Trung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **WEBSITE HỘI THẢO**

Thông tin chi tiết của Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERS2024 được đăng tải trên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd.humg.edu.vn/>

## **ĐỊA CHỈ LIÊN HỆ**

Phòng Khoa học công nghệ, Trường Đại học Mở - Địa chất, số 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội, Việt Nam. ĐT: (+84) 24.3838643



## MỤC LỤC

Ban tổ chức hội nghị .....	i
Mục lục.....	iii
Lời nói đầu .....	v
Chương trình hội nghị .....	vii
Tiểu ban Dữ liệu lớn và chuyển đổi số trong khoa học trái đất, tài nguyên môi trường.....	1
Tiểu ban Trí tuệ nhân tạo, IOT, Blockchain và ứng dụng.....	38
Tiểu ban Cơ - Điện.....	71
Tiểu ban Dầu khí tích hợp.....	114
Tiểu ban Địa chất và tài nguyên du lịch.....	238
Tiểu ban Địa chất công trình - Địa kỹ thuật.....	312
Tiểu ban Địa chất thủy văn và Tài nguyên nước.....	430
Tiểu ban Tài nguyên địa chất và Quản lý bền vững.....	516
Tiểu ban Quản lý tài nguyên và Môi trường.....	597
Tiểu ban Công nghệ mới trong xử lý môi trường.....	730
Tiểu ban Phát triển bền vững khoa học công nghệ Mô và Môi trường.....	818
Tiểu ban Phát triển bền vững công nghiệp khai thác và Quản lý an toàn.....	899
Tiểu ban Những tiến bộ trong chế biến khoáng sản và tái chế.....	971
Tiểu ban Xây dựng công trình với phát triển bền vững.....	1039
Tiểu ban Kỹ thuật Trắc địa - Bản đồ và Hệ thống thông tin địa lý.....	1301
Tiểu ban Vật lý, Hóa học và ứng dụng.....	1384
Tiểu ban Toán, Cơ học và ứng dụng.....	1512
Tiểu ban Ngôn ngữ học.....	1634

# **TIỂU BAN TÀI NGUYÊN ĐỊA CHẤT VÀ QUẢN LÝ BỀN VỮNG**



## MỤC LỤC

Nghiên cứu sử dụng pegmatit bán phong hóa khu vực Dị Nậu, Tam Nông, Phú Thọ làm nguyên liệu sản xuất gạch granite <i>Tạ Thị Toán, Phạm Thị Thanh Hiền</i> .....	519
Các yếu tố ảnh hưởng đến phát triển sản phẩm du lịch đá quý ở Việt Nam <i>Phạm Thị Thanh Hiền, Tạ Thị Toán</i> .....	523
Các phương pháp nghiên cứu quặng sheelit ẩn sâu khu vực Pia Oắc, Cao Bằng <i>Hoàng Thị Thoa</i> .....	529
Đặc điểm chất lượng đá phiến sét khu vực Bim Sơn, Thanh Hóa và khả năng sử dụng làm nguyên liệu xi măng portland <i>Nguyễn Thị Thanh Thảo, Đỗ Mạnh An, Thepphakone SAVATH</i> .....	535
Đặc điểm chất lượng kaolin khu vực Chơn Thành, Bình Phước và khả năng thu hồi khoáng sản cát đi kèm <i>Nguyễn Thị Thanh Thảo, Phan Việt Sơn, Trần Xuân Tuấn</i> .....	542
Results on mineralogy and geochemistry of rare earth elements in the Dong Pao deposit and the orientation of Vietnam's rare earth industry <i>Tình Thanh Bui; Yasushi WATANABE; Khang Quang Luong</i> .....	548
Nhận định ban đầu về tiềm năng quặng đất hiếm kiểu hấp phụ ion khu vực Muanghiam, tỉnh Houaphan, nước CHDCND Lào <i>Lưu Công Trí, Trịnh Đình Huân, Bùi Hoàng Bắc, Hoàng Văn Dũng</i> .....	554
Đặc điểm quặng hóa vàng gốc khu Tiến Thành, Yên Thành, Nghệ An <i>Lê Thị Thu</i> .....	560
Các đặc điểm địa chất và quặng hóa cơ bản của kiểu mỏ vàng tạo núi <i>Lê Xuân Trường</i> .....	566
Đặc điểm thạch địa hóa granitoid khối Tương Dương khu vực Bắc Trung Bộ, Việt Nam <i>Khương Thế Hùng, Nguyễn Văn Đạt</i> .....	572
Nghiên cứu đặc điểm phân bố, khoáng vật, địa hóa, tuổi thành tạo vỏ, kết hạch Fe-Mn vùng biển khơi Nam Trung Bộ, Việt Nam <i>Nguyễn Khắc Du, Nguyễn Hữu Hiệp, Vũ Trường Sơn</i> .....	579
Đặc điểm phân bố và chất lượng quặng sa khoáng titan - zircon khu vực Tuy Phong - Bắc Phan Thiết, tỉnh Bình Thuận <i>Đỗ Mạnh An, Đào Thị Nhân, Bùi Hoàng Bắc, Nguyễn Thị Thanh Thảo</i> .....	585
Hoạt động kiến tạo và điều kiện thời tiết khống chế quá trình trầm tích trong các lưu vực sông xung quanh Biển Đông <i>Phạm Như Sang, Nguyễn Hữu Hiệp</i> .....	591

## Các đặc điểm địa chất và quặng hóa cơ bản của kiểu mỏ vàng tạo núi

Lê Xuân Trường<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup>Trung tâm Phân tích Thí nghiệm Công nghệ cao

---

### TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu các đặc điểm địa chất – quặng hóa chính của kiểu mỏ vàng tạo núi (orogenic gold deposits) trên cơ sở tổng hợp các kết quả nghiên cứu chi tiết về đặc điểm địa chất – quặng hóa các mỏ và các đai sinh khoáng vàng tạo núi trên thế giới. Các đặc điểm này bao gồm vị trí địa chất, bối cảnh kiến tạo, quy luật phân bố, các cấu trúc khống chế quặng hóa, đặc điểm quặng hóa cơ bản, đặc điểm địa hóa và nguồn gốc của quặng. Kiểu mỏ vàng tạo núi cung cấp ~1/3 sản lượng vàng của thế giới. Mỏ được thành tạo chủ yếu trong giai đoạn kết thúc của quá trình tạo núi, giai đoạn chuyển giao từ va chạm sang tách giãn. Quặng hóa vàng thường phân bố trong các đá biến chất tương phiến lục. Các mỏ có thể phân bố đơn lẻ hoặc tập chung thành các cụm mỏ bị khống chế bởi các đứt gãy nhánh của một đứt gãy khu vực có kích thước kéo dài đến hàng trăm km, thậm chí hàng nghìn km. Quặng có cấu tạo đặc trưng cho môi trường biến dạng giòn hoặc giòn dẻo ở độ sâu >5 km, thường chứa khoảng 2÷5% khoáng vật sulphide có thành phần chính là pyrite ± arsenopyrite. Quặng hóa có nhiệt độ thành tạo phổ biến ~250÷350°C và thường tỷ lệ thuận với hàm lượng pyrrhotite trong quặng. Vàng tồn tại dưới dạng hạt vàng tự sinh với tỷ lệ Au/Ag cao, từ 5 đến 10. Dung dịch nhiệt dịch thường giàu CO<sub>2</sub>, nghèo NaCl (phổ biến trong khoảng 3÷7wt%), có độ pH trung bình, tính khử yếu, đồng vị oxy ( $\delta^{18}\text{O}$ ) thường dao động từ +6 đến +13‰, đồng vị  $\delta^{13}\text{C}$  thường từ -11 đến -2‰ và đồng vị  $\delta^{34}\text{S}$  biến đổi trong phạm vi rất rộng.

*Từ khóa:* Vàng tạo núi; vàng nhiệt dịch; vàng trong đá phiến lục.

---

### 1. Mở đầu

Công tác nghiên cứu địa chất các mỏ khoáng trên thế giới phát triển rất mạnh trong khoảng 30 năm trở lại đây nhờ sự phát triển vượt bậc về công nghệ, thiết bị thí nghiệm đi kèm với các phương pháp nghiên cứu phân tích định lượng hiện đại. Nhờ đó, đối với khoáng sản vàng, các nhà địa chất đã xác lập được 9 kiểu mỏ nội sinh như sau:

- 1) Vàng tạo núi (Orogenic Au; Goldfarb và nnk, 2005; Goldfarb và Groves, 2015);
- 2) Vàng kiểu mỏ Carlin (Carlin-type Au deposits; Cline và nnk, 2005);
- 3) Cu-Au/ Au/ Cu-Au-Mo porphyry (Sillitoe và nnk, 2000; Cooke và nnk, 2005; Seedorff và nnk, 2005);
- 4) Cu-Au nhiệt dịch nông trong môi trường oxy hóa (Cu-Au high sulfidation epithermal; Simmons và nnk, 2005);
- 5) Au-Ag nhiệt dịch nông trong môi trường trung tính – khử (Au-Ag low-intermediate sulfidation epithermal; Simmons và nnk, 2005);
- 6) Cu-Au ( $\pm\text{Fe}$ , U, REE) IOCG (Williams và nnk, 2005; Skirrow, 2022);
- 7) Au-Ag ( $\pm\text{Sb}$ , Hg, Cu, Zn, Pb) VHMS (Franklin và nnk, 2005);
- 8) Vàng nhiệt dịch nguồn gốc magma (Intrusion related Au; Hart, 2007);
- 9) Vàng trong Skarn (Meinert, 2000; Meinert và nnk, 2005).

Trong số 9 kiểu mỏ trên, kiểu mỏ vàng tạo núi được ghi nhận là loại hình mỏ nguồn gốc có sản lượng vàng khai thác lớn nhất trên thế giới. Theo thống kê từ 119 mỏ vàng nổi tiếng, sản lượng vàng khai thác từ kiểu mỏ này chiếm ~52% tổng sản lượng vàng được khai thác trên thế giới, vượt trội so với sản lượng vàng được khai thác từ các mỏ porphyry, nhiệt dịch nông và mỏ vàng kiểu Carlin (Goldfarb và nnk, 2005). Các mỏ vàng tạo núi thường có hàm lượng vàng trung bình giao động từ ~1 đến 10 g/t. Các mỏ lớn có trữ lượng từ 70 tấn đến 1.000 tấn vàng, ngoại trừ một số mỏ khổng lồ như Muruntau (~5.300 tấn), Ashanti (~2.070 tấn) và mỏ Golden Mile (~2000 tấn) (Goldfarb và nnk, 2005).

### 2. Các đặc điểm địa chất – quặng hóa chính của kiểu mỏ vàng tạo núi

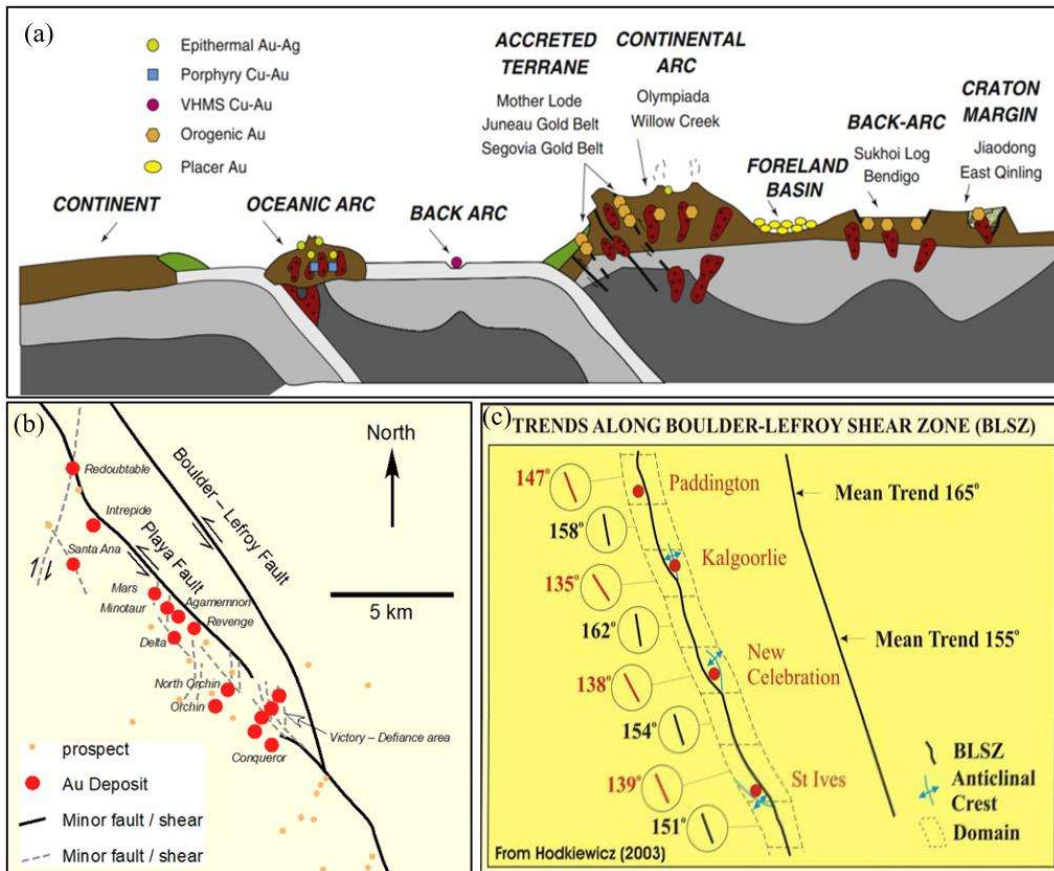
\* Tác giả liên hệ

Email: lexuantruong@humg.edu.vn



## 2.1. Đặc điểm địa chất

Các mỏ vàng tạo núi có tuổi thành tạo từ cổ (Archean) đến trẻ (Cenozoic), được thành tạo trong giai đoạn muộn của quá trình tạo núi và chủ yếu phân bố trong các đá biến chất tương phiến lục (Goldfarb và nnk, 2005), thuộc các đới nê-m-tăng-trưởng của cung magma nội lục, ít hơn là trong các đới tách giãn sau cung (Hình 1a; Goldfarb và Groves, 2015). Trong số 25 mỏ vàng tạo núi lớn nhất trên thế giới, có 18 mỏ được thành tạo trong các đá biến chất tương phiến lục, 04 mỏ trong đá biến chất tương phiến lục - amphibolite, 01 mỏ trong tương biến chất granulite (ngoại trừ mỏ Tick Hill, Australia chưa được thống kê; Le và nnk, 2021a,b; Le và nnk, 2022, Le và nnk, 2024) và 02 mỏ trong đá biến chất thấp dưới tương phiến lục (Goldfarb và nnk, 2005). Trong mỗi đại sinh khoáng vàng tạo núi, các mỏ thường phân bố thành các cụm liên quan đến các đứt gãy nhánh của một hoặc một số đứt gãy sâu (Goldfarb và nnk, 2005, Robert và nnk, 2005). Ví dụ tại khu vực Kambalda Goldfield thuộc đại sinh khoáng Yilgarn Craton, Australia, có 17 mỏ vàng phân bố tập trung thành 5 cụm mỏ và một số đới khoáng hóa dọc theo đứt gãy khu vực Playa Fault (Robert và nnk, 2005). Các đứt gãy khu vực không chế hoạt động sinh khoáng có chiều dài lên đến hàng trăm km, thậm chí cả nghìn km (Goldfarb và nnk, 2005).



Hình 1. (a) Vị trí kiến tạo của một số kiểu mỏ nguồn gốc của vàng. Các mỏ vàng tạo núi được thành tạo trong đới nê-m-tăng-trưởng (accreted terrane) thuộc cung magma nội lục (continental arc) và trong các đới tách giãn sau cung (back-arc) (Goldfarb và Groves, 2015); (b) Các mỏ vàng tạo núi phân bố thành các mỏ đơn lẻ và các cụm mỏ dọc theo đứt gãy Playa hoặc các đứt gãy nhánh của đứt gãy chính, khu vực St Ives, vùng Kambalda, Tây Úc (Cox và Ruming, 2004); (c) Sơ đồ thể hiện phương vị của các đới khoáng hóa vàng so với phương vị các đứt gãy chính ở Tây Úc (Hodkiewicz, 2003).

Các đại sinh khoáng vàng tạo núi nổi tiếng thế giới được ghi nhận cho đến nay gồm có Superior Province (Canada), Yilgarn Craton (Australia), West Africa Craton (Tây châu Phi), Arabian-Nubian Shield (Khu vực Á-Phi hai bên bờ Biển Đỏ), Lachlan Fold Belt (Australia), Ural Mountains (Nga), Central Asia Variscan (Trung Á), East China - Southeast Russia (Trung - Nga), Russian Far East (vùng viễn đông nước Nga) và Sierra Nevada Foothills (Mỹ). Trong số đó, đại sinh khoáng Yilgarn Craton (Australia) với 28 mỏ lớn và 54 mỏ nhỏ có trữ lượng và tài nguyên vàng lớn nhất, tương ứng với ~3.400 tấn và ~6.420 tấn vàng. Mỏ

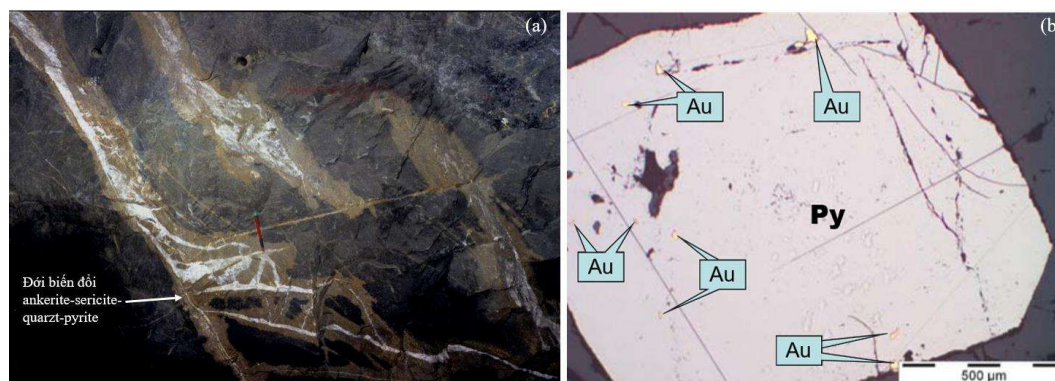
vàng Golden Mile đai sinh khoáng này có trữ lượng ~2.000 tấn vàng, là một trong những mỏ vàng tạo núi lớn nhất thế giới (Goldfarb và nnk, 2005; Robert và nnk, 2005).

## 2.2. Đặc điểm quặng hóa cơ bản

Các mỏ vàng tạo núi phân bố trong các đới uốn nếp, shear, các đứt gãy nhánh liên quan đến đứt gãy sâu trong môi trường biến dạng từ giòn-dẻo đến giòn (Hình 1b). Các thân quặng quặng có quy mô và hình thái, kích thước bị khống chế bởi các yếu tố cấu trúc kiến tạo, thường có chiều dài > 1 km, sâu tới hơn 0,5 km theo đường hướng dốc, rộng từ vài mét đến vài chục mét. Các mỏ lớn có kích thước lên tới 2-10km, rộng ~1 km, sâu đến 2÷3 km (Goldfarb và nnk, 2005). Các thân quặng và đới quặng hóa vàng thường tập trung tại các đới mờ, đới biến đổi, gấp khúc liên quan đến đứt gãy lớn (Hình 1c; Hodkiewicz, 2003). Nhiều mỏ vàng tạo núi phân bố cạnh các đới cấu trúc “Jog” có phương vị lệch khoảng 10-25°C so với phương vị của đứt gãy khu vực (Hodkiewicz, 2003; Groves và nnk, 2018).

Quặng có cấu tạo biến đổi đa dạng, từ mạng mạch, dăm kết trong đới biến dạng giòn đến các loại cấu tạo đặc trưng cho môi trường biến dạng giòn – dẻo, bao gồm cấu tạo shear, uốn nếp, vò nhàu, xâm tán, khúc đôi,... (Goldfarb và nnk, 2005). Quặng có thành phần khoáng vật đơn giản, giàu thạch anh, hàm lượng sulphide khá thấp, chủ yếu giao động trong khoảng 2÷5% (Goldfarb và nnk, 2005). Thành phần sulphide chính trong quặng là pyrite và arsenopyrite, ít hơn là pyrrhotite, chalcopyrite, sphalerite, galena và có thể có một số khoáng vật sulphides khác (vd: Goldfarb và nnk, 2005). Trong nhiều mỏ, hàm lượng pyrrhotite trong quặng tỷ lệ thuận với nhiệt độ thành tạo quặng. Vàng tồn tại dưới dạng hạt vàng tự sinh (khác với dạng tồn tại chính của vàng trong kiểu mỏ Carlin) với hàm lượng trung bình giao động chủ yếu trong khoảng 1÷10 g/t, không có nhiều mỏ vàng tạo núi có hàm lượng trung bình >10 g/t (ví dụ: Bendigo, Kolar, Kiland Lake, Grass Vale, Cmbell-Red Lake,...; Goldfarb và nnk, 2005). Tỷ lệ Au/Ag trong quặng cao, biến đổi từ 5 đến 10, tương đương với giá trị gold finess > 900, phổ biến trong khoảng 920÷940 (Goldfarb và nnk, 2005).

Sự có mặt của các khoáng vật biến đổi nhiệt dịch đi kèm với quặng hóa phụ thuộc vào thành phần đá vây quặng nhưng thường có carbonate, sulfide, sericite, chlorite, K-feldspar, biotite, tuamaline và albite. Tùy thuộc và cường độ dập vỡ và thẩm thấu của khí nhiệt dịch đi vào đá vây quanh tại từng vị trí quặng hóa mà có mức độ biến đổi nhiệt dịch khác nhau. Nhìn chung, quặng được thành tạo trong giai đoạn biến chất giết lùi (kết thúc quá trình tạo núi) nên có các đặc điểm khác biệt về khoáng vật và cấu tạo quặng so với đá biến chất quanh quặng. Trong trường hợp quặng được thành tạo ở nhiệt độ cao, và đá vây quanh chứa carbonate, tổ hợp các khoáng vật đá biến đổi được thành tạo có thể tương tự như tổ hợp các khoáng vật biến đổi thuộc nhóm đá skarn. Nhiệt độ tạo quặng phổ biến của quặng hóa vàng tạo núi giao động trong khoảng 250-350°C. Các mỏ tuổi Archean thường được thành tạo ở dải nhiệt độ cao hơn, khoảng 325÷400°C (Groves và nnk, 2020). Tuy nhiên tại các mỏ được thành tạo có độ sâu lớn (>10 km), thậm chí lên đến gần 20 km (Groves và nnk, 2020), nhiệt độ tạo quặng sẽ cao hơn nhiều, tương đương với nhiệt độ thành tạo đá biến chất vây quanh quặng.



Hình 2. (a) Ảnh đại diện của mạch thạch anh – sulphide chứa vàng tại mỏ vàng tạo núi Mt Charlotte, Kalgoorlie, Tây Úc (Image from Zhaoshan Chang). (b) Bao thể vàng (Au) trong các hạt pyrite (Py) tại mỏ vàng tạo núi Sukhoi Log (Image from Ross Large).

## 2.3. Đặc điểm địa hóa và nguồn gốc quặng

Mỏ vàng tạo núi được thành tạo chủ yếu trong môi trường địa kiến tạo liên quan đến hoạt động tạo núi và biến chất khu vực đi kèm, thường xảy ra trong giai đoạn kết thúc của một chu kỳ tạo núi, giai đoạn chuyển tiếp giữa và chạm và tách giãn của hai mảng kiến tạo. Nguồn gốc của quặng vàng thuộc kiểu mỏ này từ lâu đã được tranh luận rộng rãi, từ đá magma mafic - axit (Tomkins, 2013; Gaboury, 2019), đến mô

hình nguồn gốc trầm tích biến chất (Large và nnk, 2011; Tomkins, 2013). Trong đó mô hình trầm tích biến chất, với các kết quả nghiên cứu định lượng về địa hóa khoáng vật và đồng vị liên tục được cập nhật, đã và đang được sử dụng rộng rãi hơn trong việc định hướng công tác tìm kiếm và thăm dò mỏ.

Dung dịch nhiệt dịch trong kiểu mỏ vàng tạo núi thường được cho là có nguồn gốc từ các thể magma axit trong lớp vỏ dưới hoặc giữa và dung dịch được tách ra trong quá trình biến chất khu vực liên quan đến hoạt động tạo núi liên quan di chuyển theo các đứt gãy sâu từ dưới lên (Goldfarb và Groves, 2015). Tùy thuộc vào lịch sử địa chất kiến tạo và magma ở từng đai sinh khoáng và từng cụm mỏ, kết hợp số liệu địa hóa và đồng vị bên đề luận giải quặng có nguồn gốc biến chất hoặc nguồn gốc magma vượt trội hơn so với các nguồn gốc khác. Nhìn chung, chưa có công trình khoa học nào thể hiện rõ nguồn gốc của mỏ vàng tạo núi liên quan đến một thể magma nhất định nào đó, tương như kiểu mỏ skarn, porphyry, epithermal hay VMS/ VHMS (Goldfarb và Groves, 2015). Ngược lại, mô hình nguồn gốc trầm tích biến chất của mỏ vàng tạo núi tại rất phù hợp với lịch sử địa chất của đai sinh khoáng. Các số liệu phân tích địa hóa, động vị của các thành phần trong quặng cũng rất phù hợp với mô hình này (Goldfarb và Groves, 2015).

Dung dịch mang quặng thường giàu  $\text{CO}_2$  ( $5\div 20$  mol%)  $\text{CH}_4$  và/ hoặc  $\text{N}_2$ , thường chứa  $0,01\div 0,36$  mol%  $\text{H}_2\text{S}$ , có độ muối thấp đến trung bình, phổ biến trong khoảng  $3\div 7\text{wt}\%$  NaCl, thường có độ pH trung bình ( $\sim 5,5$ ) và tính khử yếu ( $0,01\div 0,36$  mol%  $\text{H}_2\text{S}$ ) (Goldfarb và Groves, 2015). Đồng vị oxy ( $\delta^{18}\text{O}$ ) từ các khoáng vật chứa oxy trong quặng dao động phổ biến từ  $+6$  đến  $+11\%$  đối với quặng tuổi tiền Cambrian và từ  $+7$  đến  $+13\%$  đối với quặng tuổi Phanerozoic (Goldfarb và Groves, 2015). Đồng vị hydro ( $\delta\text{D}$ ) và lưu huỳnh ( $\delta^{34}\text{S}$ ) biến đổi rất mạnh tùy thuộc vào nguồn gốc của dung dịch nhiệt dịch và lưu huỳnh tại từng mỏ (Goldfarb và Groves, 2015). Đồng vị hydro ( $\delta\text{D}$ ) tại nhiều mỏ lớn của thể giới thường thay đổi trong khoảng từ  $-80$  đến  $-20\%$  (Goldfarb và nnk, 2005) trong khi đồng vị lưu huỳnh ( $\delta^{34}\text{S}$ ) giao động phổ biến trong khoảng  $0\div 10\%$  nhưng có thể thấp hoặc cao hơn nhiều trong một số trường hợp, phản ánh lưu huỳnh đa nguồn gốc tham gia vào dung dịch tạo quặng (Goldfarb và nnk, 2005). Đồng vị  $\delta^{13}\text{C}$  thường biến đổi trong khoảng  $-11$  đến  $-2\%$  (Goldfarb và Groves, 2015).

### 3. Kết luận

Trên cơ sở tổng hợp các kết quả nghiên cứu đã được công bố về kiểu mỏ vàng tạo núi, có thể tóm tắt các đặc điểm địa chất – quặng hóa cơ bản của loại hình mỏ này như:

- Phần lớn được thành tạo trong giai đoạn kết thúc của quá trình tạo núi, giai đoạn chuyển giao từ va chạm sang tách giãn giữa hai mảng địa chất;
- Vị trí kiến tạo chính là các cung tạo núi nội lục, tại các đới nê-m tăng trưởng của rài lục địa tích cực. Ngoài ra còn có một số mỏ được thành tạo trong các đới tách giãn sau cung;
- Phần lớn các mỏ được thành tạo trong đá biến chất tương phiến lục so với số ít các mỏ được thành tạo trong tương biến chất cao hơn hoặc thấp hơn;
- Quặng được thành tạo trong giai đoạn biến chất giạt lùi nên có các đặc điểm khác biệt về khoáng vật và cấu tạo quặng so với đá biến chất quanh quặng;
- Các mỏ phân bố đơn lẻ hoặc thành các cụm mỏ bị khống chế bởi các đứt gãy nhánh của một hoặc một số đứt gãy khu vực có kích thước kéo dài lên đến hàng trăm km, thậm chí hàng nghìn km;
- Quặng có cấu tạo đa dạng, từ mạng mạch, đám kết trong đới biến dạng giòn đến cấu tạo dạng shear, uốn nếp, xâm tán, trao đổi thay thế và/ hoặc khúc dồi trong đới biến dạng giòn - dẻo, thường có độ sâu thành tạo  $> 5$  km;
- Thân quặng thường có chiều dài  $> 1$  km, chiều sâu tới hơn  $0,5$  km theo đường hướng dốc, rộng từ vài mét đến vài chục mét. Các mỏ lớn có kích thước lên tới  $2\div 10$  km, rộng  $\sim 1$  km, chiều sâu đến  $2\div 3$  km;
- Phần lớn các thân quặng chứa  $2\div 5\%$  khoáng vật sulfides với thành phần chủ yếu gồm pyrite và arsenopyrite. Hàm lượng pyrrhotite trong quặng thường tỉ lệ thuận với nhiệt độ thành tạo quặng;
- Vàng tồn tại dưới dạng hạt vàng tự nhiên, hiếm khi tồn tại dưới dạng dung dịch cứng trong tinh thể pyrite hoặc arsenopyrite như trong kiểu mỏ Carlin;
- Đa số các mỏ có hàm lượng vàng trung bình  $< 10$  g/t. Tỉ lệ Au/Ag cao, biến đổi từ  $5$  đến  $10$ , tương đương với giá trị gold finess  $> 900$ , phổ biến trong khoảng  $920\div 940$ ;
- Sự có mặt của các khoáng vật biến đổi nhiệt dịch đi kèm phụ thuộc vào thành phần đá vây quặng nhưng thường có carbonate, sulfide, sericite, chlorite, K-feldspar, biotite, tuamaline và albite. Trong trường hợp quặng được thành tạo ở nhiệt độ cao, các khoáng vật đá biến đổi tương tự như tổ hợp các khoáng vật đá skarn;
- Nhiệt độ tạo quặng phổ biến là  $250\div 350^\circ\text{C}$ , các mỏ tuổi Archean thường được thành tạo ở dải nhiệt độ cao hơn, khoảng  $325\div 400^\circ\text{C}$ . Tuy nhiên tại các mỏ được thành tạo có độ sâu lớn ( $> 10$  km), nhiệt độ tạo quặng sẽ cao hơn nhiều, tương đương với nhiệt độ thành tạo đá biến chất vây quanh quặng;

- Đặc điểm của dung dịch nhiệt dịch là: giàu CO<sub>2</sub> (5÷20 mol%); độ muối thấp đến trung bình, phổ biến trong khoảng 3÷7wt% NaCl; thường có độ pH trung bình (~5,5); tính khử yếu (0,01÷0,36 mol% H<sub>2</sub>S);
- Đồng vị oxy ( $\delta^{18}\text{O}$ ) dao động phổ biến từ +6 đến +11‰ đối với quặng tuổi tiền Cambrian và từ +7 đến +13‰ đối với quặng tuổi Phanerozoic;
- Đồng vị hydro ( $\delta\text{D}$ ) và lưu huỳnh ( $\delta^{34}\text{S}$ ) biến đổi rất mạnh tùy thuộc vào nguồn gốc của dung dịch nhiệt dịch và lưu huỳnh tại từng mỏ.  $\delta^{34}\text{S}$  phổ biến trong khoảng 0÷10‰ nhưng có thể thấp hoặc cao hơn nhiều trong một số trường hợp, phản ánh lưu huỳnh đa nguồn gốc tham gia vào dung dịch tạo quặng;
- Đồng vị  $\delta^{13}\text{C}$  thường biến đổi trong khoảng -11 đến -2‰.

#### Lời cảm ơn

Bài báo là sản phẩm của đề tài khoa học công nghệ thuộc quỹ NAFOSTED, mã số 105.02-2023.09. Tác giả xin chân thành cảm ơn các cá nhân và tổ chức có liên quan đã giúp đỡ tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

#### Tài liệu tham khảo

- Cline, J. S., Hofstra, A. H., Muntean, J. L., Tosdal, R. M., and Hickey, K. A., 2005. Carlin-type gold deposits in Nevada: Critical geologic characteristics and viable models.
- Cooke, D. R., Hollings, P., and Walshe, J. L., 2005. Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls. *Economic geology*, v. 100, p. 801-818.
- Cox, S., and Ruming, K., 2004, The St Ives mesothermal gold system, Western Australia—a case of golden aftershocks?: *Journal of Structural Geology*, v. 26, p. 1109-1125.
- Franklin, J., Gibson, H., Jonasson, I., and Galley, A., 2005. Volcanogenic massive sulfide deposits.
- Gaboury, D., 2019, Parameters for the formation of orogenic gold deposits: *Applied Earth Science*, v. 128, p. 124-133.
- Gaboury, D., 2021, The neglected involvement of organic matter in forming large and rich hydrothermal orogenic gold deposits: *Geosciences*, v. 11, p. 344.
- Goldfarb, R. J., Baker, T., Dubé, B., Groves, D. I., Hart, C. J., and Gosselin, P., 2005. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terrain.
- Goldfarb R. J., Groves D. I., 2015. Orogenic gold: common ore-forming fluid and metal sources through time. *Lithos*.233:2–26.
- Gosselin, P., and Dubé, B., 2005. Gold deposits of the world: Distribution, geological parameters and gold content: *Geological Survey of Canada Open File 4895*, 271 p. (CD-ROM).
- Groves, D. I., Santosh, M., Goldfarb, R. J., and Zhang, L., 2018. Structural geometry of orogenic gold deposits: Implications for exploration of world-class and giant deposits: *Geoscience Frontiers*, v. 9, p. 1163-1177.
- Groves, D. I., Santosh, M., and Zhang, L., 2020. A scale-integrated exploration model for orogenic gold deposits based on a mineral system approach: *Geoscience Frontiers*, v. 11, p. 719-738.
- Hart, C. J., 2007, Reduced intrusion-related gold systems: *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division*, v. 5, p. 95-112.
- Large, R. R., 1992. Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits; features, styles, and genetic models: *Economic geology*, v. 87, p. 471-510.
- 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.
- Le, T. X., Dirks, P. H., Sanislav, I. V., Harris, C., Huizenga, J. M., Cocker, H. A., and Manestar, G. N., 2022. Quartz oxygen isotopes from Tick Hill area in Mount Isa Inlier: indication of a regional fluid overprint: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 69, p. 439-452.
- Le, T. X., Dirks, P. H., Sanislav, I. V., Huizenga, J. M., Cocker, H. A., and Manestar, G. N., 2021a. Geochronological constraints on the geological history and gold mineralization in the Tick Hill region, Mt Isa Inlier: *Precambrian Research*, v. 366, p. 106422.
- Le, T. X., Dirks, P. H., Sanislav, I. V., Huizenga, J. M., Cocker, H. A., and Manestar, G. N., 2021b. Geological setting and mineralization characteristics of the Tick Hill Gold Deposit, Mount Isa Inlier, Queensland, Australia: *Ore Geology Reviews*, v. 137, p. 104288.
- Le, T., Dirks, P. H., Sanislav, I., Huizenga, J. M., Cocker, H., and Nguyen, G., 2024. P–T conditions of metamorphic and hydrothermal events at Tick Hill gold deposit, Mount Isa, Queensland, Australia: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 71, p. 538-552.
- Meinert, L. D., 2000, *Gold in skarns related to epizonal intrusions*, Book.
- Meinert, L. D., Dipple, G. M., and Nicolescu, S., 2005. World skarn deposits. Book.
- Robert, F., Poulsen, K. H., Cassidy, K. F., and Hodgson, C. J., 2005. *Gold metallogeny of the Superior*

and Yilgarn cratons.

Seedorff, E., Dilles, J. H., Proffett, J. M., Einaudi, M. T., Zurcher, L., Stavast, W. J., Johnson, D. A., and Barton, M. D., 2005. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features.

Sillitoe, R. H., 2000. *Gold-rich porphyry deposits*: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery.

Simmons, S. F., White, N. C., and John, D. A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits.

Skirrow, R. G. 2022. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits – A review (part 1): Settings, mineralogy, ore geochemistry and classification. *Ore Geology Reviews* 140, 104569.

Tomkins, A. G., 2013, On the source of orogenic gold: *Geology*, v. 41, p. 1255-1256.

Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontboté, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, N. H., and Marschik, R., 2005. *Iron oxide copper-gold deposits*: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin.

## ABSTRACT

### Basic characteristics of geology and mineralization for the orogenic gold deposits

Le Xuan Truong<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Mining and Geology

<sup>2</sup>Center for Excellence in Analysis and Experiment

This paper introduces the main geological and mineralization characteristics of orogenic gold deposits based on the synthesis of detailed research results from different orogenic gold deposits and metallogenic belts worldwide. These characteristics include geological settings, tectonic contexts, distribution patterns, ore-controlling structures, basic mineralization features, geochemistry, and sources of the ore. Orogenic gold deposits account for approximately one-third of the world's gold production. The deposit mainly occurs during the transitional period from collision to extension in orogenic belts. The deposits are typically found in metamorphic rocks at greenschist facies, in the form of either as isolated deposits or in clusters controlled by subsidiary faults of a regional fault with scales up to hundreds to thousands of kilometers, in brittle or brittle-ductile deformation environments at depths greater than 5 km. The ore usually contains about 2÷5% sulfide minerals which mainly include pyrite and arsenopyrite. The formation temperature of the mineralization is typically around 250÷400°C and is often positively correlated to the pyrrhotite contents. Gold exists as native gold grains with a high Au/Ag ratio, ranging from 5 to 10. The hydrothermal solutions are generally rich in CO<sub>2</sub>, low in NaCl (commonly ~ 3÷7 wt%), with neutral pH, and weakly reducing conditions. The oxygen isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ) typically range from +6 to +13‰ while carbon isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ) usually vary from -11 to -2‰. The sulfur isotopic composition of sulfide minerals associated with gold varies widely in this type of deposit.

**Keywords:** Orogenic gold deposits; Mesothermal gold deposits; Gold in greenschist facies metamorphic rocks.