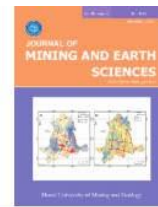




## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



# Sources of Au-bearing mineralisation at the Me Xi Au deposit, Central Truong Son Belt, Vietnam: Evidence from sulfur isotopic composition



Truong Xuan Le <sup>1,2,3,\*</sup>, Khin Zaw <sup>4</sup>, Ban Xuan To <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Geosciences and Geoengineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup> Centre for Excellence in Analysis and Experiment (CEAE), Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>3</sup> Economic Geology and Sustainable Development Research Team (EGSD), Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

<sup>4</sup> CODES ARC Centre of Excellence in Ore Deposits, University of Tasmania, Private Bag 126, Hobart, Tasmania 7001, Australia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 20<sup>th</sup> Feb. 2025

Revised 07<sup>th</sup> May 2025

Accepted 26<sup>th</sup> May 2025

#### Keywords:

Gold mineralisation,  
Me Xi,  
Sulphur isotope,  
Truong Son Belt.

### ABSTRACT

*The Truong Son Belt is one of the most prospective gold metallogenic belts in Southeast Asia. Gold mineralization at Me Xi, located in the central part of the Truong Son Belt in Quang Tri Province, Vietnam, represents a hydrothermal gold system that has not yet been extensively explored or studied, particularly in sources of ore-forming components. In this paper, we present new findings on the origin of gold mineralisation at Me Xi based on sulfur isotope ( $\delta^{34}\text{S}$ ) analyses of pyrite samples collected from two distinct gold-bearing hydrothermal stages (Stages 2 and 3). The  $\delta^{34}\text{S}$  values of Stage 2 pyrite samples range from  $-8.61\text{‰}$  to  $-0.19\text{‰}$  ( $n=11$ ), with the majority ranging from  $-4.58\text{‰}$  to  $-2.47\text{‰}$  ( $n=7$ ). These values are characteristic of sulfur from a predominantly magmatic source. However, several low  $\delta^{34}\text{S}$  values (i.e.,  $-8.61\text{‰}$  and  $-7.94\text{‰}$ ) suggest a partial contribution of sulfur from the black carbonaceous host rocks of the Long Dai Formation. Pyrite from Stage 3 hydrothermal veins displays relatively homogeneous  $\delta^{34}\text{S}$  values, ranging from  $-4.38\text{‰}$  to  $-3.18\text{‰}$  ( $n=9$ ), which aligns closely with the main  $\delta^{34}\text{S}$  range observed in Stage 2. Integrating these isotopic results with geological setting and the metallogenic history of the Truong Son Belt and Me Xi area, the sulphur isotopic study results suggest that the gold mineralisation at Me Xi was primarily derived from magmatic sources, with minor contributions from sedimentary host rocks.*

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [lexuantruong@humg.edu.vn](mailto:lexuantruong@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(3).08



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>

# Nguồn gốc quặng hóa vàng tại khu vực Me Xi, đới Trường Sơn, miền trung Việt Nam: Bằng chứng từ đồng vị lưu huỳnh

Lê Xuân Trường<sup>1,2,3,\*</sup>, Khin Zaw<sup>4</sup>, Tô Xuân Bản<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Trung tâm thí nghiệm công nghệ cao, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>3</sup> Nhóm nghiên cứu Địa chất Khoáng sản và Phát triển bền vững, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

<sup>4</sup> CODES ARC Trung tâm nghiên cứu Địa chất Mỏ, Đại học Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<p><b>Quá trình:</b>                      Nhận bài 20/2/2025                      Sửa xong 07/5/2025                      Chấp nhận đăng 26/5/2025</p> <p><b>Từ khóa:</b>                      Đới Trường Sơn,                      Đồng vị lưu huỳnh,                      Me Xi,                      Quặng hóa vàng.</p>	<p>Đới Trường Sơn là một trong những đai sinh khoáng vàng tiềm năng nhất của khu vực Đông Nam Á. Quặng hóa vàng tại Me Xi, nằm ở trung tâm đới Trường Sơn, tỉnh Quảng Trị, Việt Nam, là một tụ quặng nhiệt dịch chưa được thăm dò và nghiên cứu chi tiết, đặc biệt về nguồn gốc vật chất thành tạo quặng. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày các kết quả nghiên cứu nguồn gốc của quặng vàng tại Me Xi dựa trên kết quả phân tích đồng vị lưu huỳnh (<math>\delta^{34}\text{S}</math>) thu thập từ các mẫu pyrite trong hai giai đoạn nhiệt dịch chứa vàng (các giai đoạn 2 và 3). Giá trị <math>\delta^{34}\text{S}</math> từ các mẫu pyrite thuộc giai đoạn 2 dao động từ -8,61‰ đến -0,19‰ (<math>n = 11</math>), trong đó phần lớn tập trung trong khoảng từ -4,58‰ đến -2,47‰ (<math>n = 7</math>). Dải giá trị này đặc trưng cho lưu huỳnh có nguồn gốc chính từ magma. Một số mẫu có giá trị <math>\delta^{34}\text{S}</math> nhỏ (-8,61‰ và -7,94‰) cho thấy sự hiện diện của lưu huỳnh từ nguồn đá vây quanh là trầm tích màu đen giàu vật chất hữu cơ của hệ tầng Long Đại. Giá trị <math>\delta^{34}\text{S}</math> từ pyrite trong các mạch nhiệt dịch giai đoạn 3 tương đối đồng nhất, dao động từ -4,38‰ đến -3,18‰ (<math>n = 9</math>), tương đồng với khoảng giá trị <math>\delta^{34}\text{S}</math> chính trong giai đoạn 2. Kết hợp với bối cảnh địa chất và lịch sử kiến tạo của đới Trường Sơn và khu vực Me Xi, kết quả nghiên cứu đồng vị lưu huỳnh chỉ ra rằng quặng hóa vàng tại Me Xi có nguồn gốc chủ yếu từ magma hỗn nhiễm với phần nhỏ lưu huỳnh nguồn gốc trầm tích từ đá vây quanh.</p>

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [lexuantruong@humg.edu.vn](mailto:lexuantruong@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(3).08

## 1. Mở đầu

Đới Trường Sơn là cấu trúc địa chất lớn nhất trong khối Đông Dương (Indochina). Ranh giới phía bắc được xác định bởi đới khâu Sông Mã, phía nam là đới khâu Tam Kỳ - Phước Sơn (Hình 1a). Lịch sử địa chất của đới Trường Sơn chủ yếu bị chi phối bởi hai thời kỳ kiến tạo, bao gồm thời kỳ tạo núi Caledoni tuổi Ordovic-Silur (O-S) và Indosini tuổi Permi - Trias sớm (P-T<sub>1</sub>) (Dung và nnk., 2024).

Đới Trường Sơn (TSB) cũng là một đai sinh khoáng tiềm năng trong khối Đông Dương, đặc biệt với khoáng sản vàng (Au), đồng (Cu) và chì-kẽm (Pb-Zn) được thành tạo trong nhiều kiểu mỏ nguồn gốc khác nhau (Zaw và nnk., 2014). Các mỏ khoáng sản kim loại chủ yếu phân bố trong các đá trầm tích tuổi từ Cambri đến Devon, bị biến chất phổ biến ở tương phiến lục (Lepvrier và nnk., 2004; Zaw và nnk., 2014). Cấu trúc địa chất có tiềm năng sinh khoáng lớn nhất được ghi nhận liên quan đến đai tạo núi Trường Sơn là đới khâu Tam Kỳ - Phước Sơn, nơi đã phát hiện nhiều loại hình mỏ nguồn gốc khác nhau, bao gồm: mỏ Au ( $\pm$ W) skarn và Au nhiệt dịch trong đá trầm tích biến chất tại khu vực Bồng Miêu; quặng Cu-Zn-Pb kiểu VHMS ở Đức Bó, Quảng Nam (Zaw và nnk., 2014); mỏ Au-Pb-Zn kiểu intrusion-related (nhiệt dịch môi trường khử nguồn gốc magma) tại Phước Sơn (Manaka, 2014); và mỏ Cu-Au porphyry-skarn và Au kiểu Carlin-like tại cụm mỏ Sepon, Lào (Cromie, 2010).

Tại phía bắc đới Trường Sơn, các mỏ vàng nhiệt dịch nông ở Phu Kham, Lào (Zaw và nnk., 2014) và kiểu low-sulfidation epithermal (nhiệt dịch nông môi trường khử liên quan đến các thể porphyry dưới sâu) tại Phu He và Bản Hoayxai, Lào (Manaka, 2008) đã được ghi nhận và nghiên cứu bước đầu. Tại vùng trung tâm đới Trường Sơn (hai tỉnh Quảng Bình và Quảng Trị), có khoảng 30 tụ quặng vàng đã được phát hiện. Trong tỉnh Quảng Trị, các tụ quặng vàng đáng chú ý gồm có: Me Xi, Xà Lồi, Động Chật, Động Phật, Bạch Đàn, Làng Ho, Ba Tung, Trầm Cốc, La Sâm, A Vao, A Đang và A Pey. Trong khi đó, tại tỉnh Quảng Bình, cũng có nhiều khu vực quặng hóa vàng được phát hiện, bao gồm: Khe Nang - Khe Nét, Khe Đáp - Khe Trường - Khe Đá Trắng, Suối Kín, Xà Khía, Khe Rêu, Đường 10, Đường 16, Vít Thu Lu. Quặng vàng nhiệt dịch trong khu vực trung tâm đới Trường

Sơn chủ yếu phân bố trong các đá trầm tích biến chất và phần lớn chúng chưa được nghiên cứu một cách hệ thống và chi tiết. Lepvrier và nnk. (2004) ghi nhận tương biến chất trong vùng phổ biến từ phiến lục đến amphibolite.

Cho đến nay, tụ quặng vàng Me Xi tại tỉnh Quảng Trị đã được nghiên cứu sơ bộ nhằm xác định kiểu quặng hóa vàng khu vực trung tâm đới Trường Sơn. Trường và nnk. (2015) đã phân tích đặc điểm hình thái, cấu tạo, kiến trúc và địa hóa của pyrite trong các giai đoạn nhiệt dịch khác nhau tại Me Xi nhằm xác định khả năng tồn tại của kiểu quặng hóa vàng Carlin trong vùng trên cơ sở dấu hiệu của kiểu quặng hóa vàng Carlin trong cụm mỏ Cu-Au, Au khu vực Sepon, Lào (Cromie, 2010), cách Me Xi khoảng 40km về phía Tây. Kết quả nghiên cứu chưa ghi nhận được kiểu quặng hóa vàng Carlin tại Me Xi. Gần đây, Lê và nnk. (2024) đã nghiên cứu các đặc điểm khoáng hóa cơ bản của tụ quặng Me Xi trên cơ sở khảo sát, đo vẽ ngoài thực địa, mô tả lõi khoan, phân tích thành phần khoáng vật của đá và quặng dưới kính hiển vi. Tuy nhiên, để hiểu rõ hơn về tiềm năng sinh khoáng vàng tại khu vực Me Xi và vùng lân cận, cần có các nghiên cứu chi tiết về nguồn gốc của quặng và dung dịch nhiệt dịch, điều kiện hóa lý của quá trình quặng hóa, thời kỳ tạo khoáng và quy luật phân bố của quặng. Trong bài báo này, các tác giả tập trung nghiên cứu đồng vị lưu huỳnh trong sulphide thu thập từ các giai đoạn nhiệt dịch chứa vàng, nhằm xác định nguồn gốc của quặng vàng tại khu vực Me Xi, tạo tiền đề cho các công tác nghiên cứu tiếp theo về quặng hóa vàng khu vực trung tâm đới Trường Sơn.

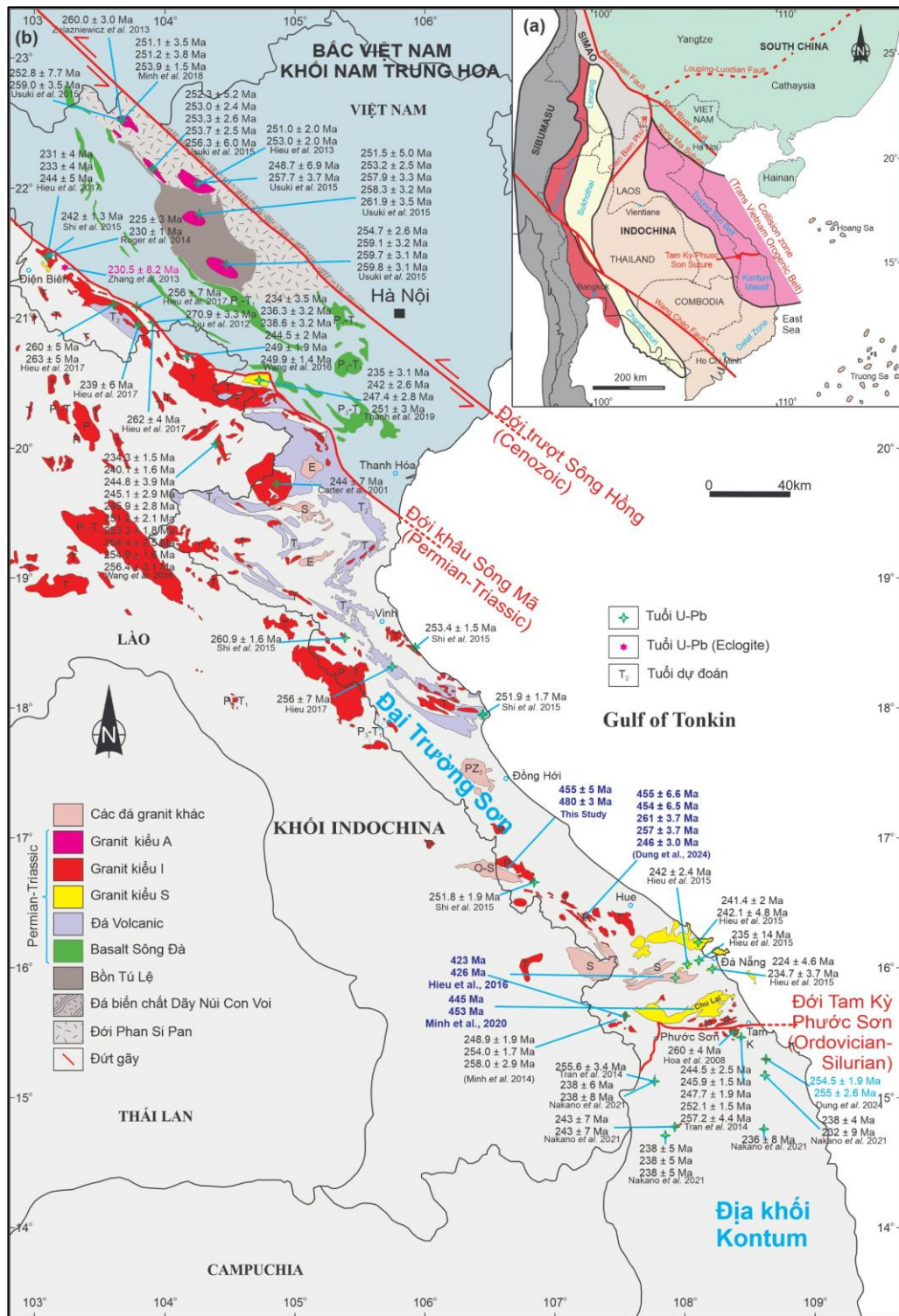
## 2. Đặc điểm địa chất và quặng hóa

### 2.1. Đặc điểm địa chất

#### 2.1.1. Địa chất vùng

Đặc điểm địa chất của đới Trường Sơn được đơn giản hóa và thể hiện trong Hình 1b. Các hoạt động magma và kiến tạo của vùng chủ yếu chịu tác động bởi hai thời kỳ kiến tạo Caledoni tuổi Ordovic-Silur (O-S) và Indosini tuổi Permi - Trias sớm (P-T<sub>1</sub>).

Thời kỳ kiến tạo Caledoni bắt đầu bằng quá trình hút chìm về hai phía giữa đới Trường Sơn với Nam Trung Hoa ở phía bắc và khối Kon Tum ở phía nam giai đoạn ~520÷450 tr. năm (Ma)



Hình 1. (a) Vị trí của tụ quặng vàng Me Xi trong sơ đồ kiến tạo khu vực Đông Nam Á (cập nhật từ Dung và nnk., 2024); (b) Bản đồ địa chất giản lược của khối Indochina, thể hiện các hoạt động magma từ thời kỳ Caledoni tuổi Ordovic-Silur đến Indosini tuổi Permi-Trias. Tuổi của các đá trong bản đồ được tham khảo từ: Carter và nnk., 2001; Hoa và nnk., 2008; Liu và nnk., 2012; Żelaźniewicz và nnk., 2013; Hieu và nnk., 2013, 2015, 2017; Zhang và nnk., 2013; Tran và nnk., 2014; Roger và nnk., 2014; Shi và nnk., 2015; Wang và nnk., 2016; Minh và nnk., 2020; Thanh và nnk., 2019; Hung và nnk., 2022; Dung và nnk., 2024.



(Dung và nnk., 2024). Quá trình va chạm giữa đới Trường Sơn và khối Kon Tum diễn ra trong khoảng  $\sim 450 \div 430$  Ma dọc theo đới khâu Tam Kỳ - Phước Sơn (Dung và nnk., 2024).

Hoạt động magma trong thời kỳ Caledoni sớm (giai đoạn hút chìm) bao gồm sự hình thành của các đá granitoid kiểu I trước va chạm tuổi  $\sim 452$  Ma rải rác ở phía bắc đới khâu Tam Kỳ - Phước Sơn (Dung và nnk., 2024), đá diorit tuổi  $\sim 470$  Ma và tuf rhyolit tuổi  $\sim 476$  Ma ở đông nam Lào (Gardner và nnk., 2017). Tại khối Kon Tum, hoạt động magma diễn ra mạnh mẽ, đặc trưng bởi sự hình thành các đá có thành phần từ mafic đến axit ( $\sim 476 \div 488$  Ma và  $\sim 457 \div 467$  Ma) ở phía tây đới đứt gãy Poko, đá diorit đến granite ( $\sim 451 \div 457$  Ma, 468 Ma,  $473 \div 485$  Ma) ở khu vực phía nam đới khâu Tam Kỳ - Phước Sơn và phía đông đứt gãy Poko (Thuy và nnk., 2024; Trong và nnk., 2021; Nagy và nnk., 2001).

Quá trình va chạm giữa khối Kon Tum và đới Trường Sơn được minh chứng bởi các đá xâm nhập đồng va chạm tuổi  $\sim 455 \div 445$  Ma thuộc phức hệ Chu Lai ở phía bắc đới khâu Tam Kỳ - Phước Sơn (Jiang và nnk., 2020; Minh và nnk., 2020). Sự thành tạo của các đá này được xếp vào cùng giai đoạn với các thành tạo granite kiểu S ( $\sim 428$  Ma) thuộc phức hệ Sông Chảy ở đông bắc Việt Nam (Roger và nnk., 2000). Sự va chạm giữa hai khối địa chất dẫn đến quá trình biến chất tương phiến lục phát triển rộng rãi trong toàn vùng và các đá biến chất tương amphibolit ở một số khu vực cục bộ (Tri và nnk., 2009; Maluski và nnk., 2005). Hoạt động magma sau va chạm được biểu hiện qua sự hình thành các đá granit thuộc phức hệ Đại Lộc ( $\sim 415 \div 423$  Ma) ở phía bắc đới Tam Kỳ - Phước Sơn (Jiang và nnk., 2020; Trong và nnk., 2021), cùng với các đá magma tuổi O-S được ghi nhận rải rác ở phía nam đới Trường Sơn (Nguyễn và nnk., 1996).

Thời kỳ kiến tạo Indosini bắt đầu bằng quá trình hút chìm, khối Nam Trung Hoa bị hút xuống dưới khối Đông Dương vào kỷ Permi sớm và kết thúc bằng quá trình va chạm giai đoạn Trias sớm dọc theo đới khâu Sông Mã (Dung và nnk., 2024). Giai đoạn hút chìm của được minh chứng bằng các thành tạo magma xâm nhập trung tính đến granitoid kiểu I ( $\sim 290 \div 245$  Ma) trên toàn bộ đới Trường Sơn và khối Kon Tum, bao gồm các đá tuổi  $\sim 260$  Ma của phức hệ Điện Biên từ khu vực dọc theo đới khâu Sông Mã đến trung tâm đới Trường

Sơn (Shi và nnk., 2015; Hieu và nnk., 2017). Trong giai đoạn va chạm, các granite kiểu S tuổi  $\sim 245 \div 230$  Ma đã được hình thành (Hieu và nnk., 2015) cùng với các thành tạo biến chất có tương phiến lục đến amphibolit trong đới Trường Sơn (Carter và nnk., 2001; Lepvrier và nnk., 2004) và các đá biến chất tương amphibolit - granulit trong khối Kon Tum (Maluski và nnk., 2005).

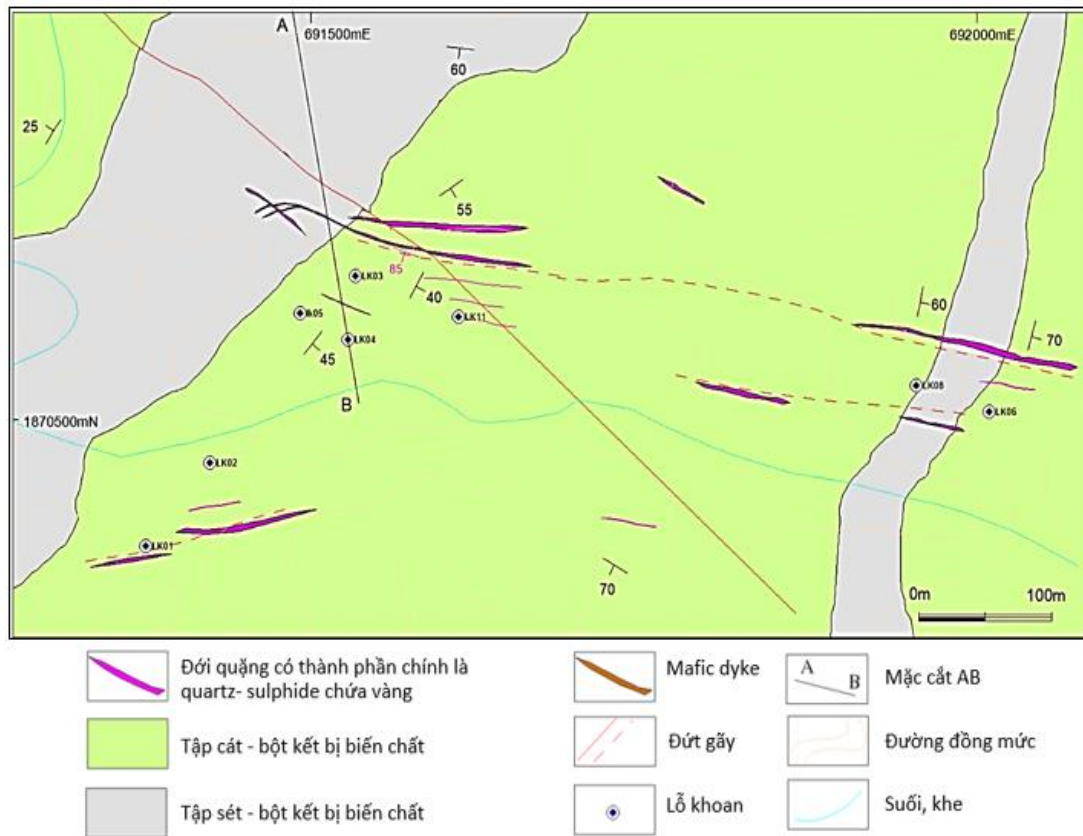
### 2.1.2. Địa chất khu vực Me Xi

Đá trầm tích tại khu vực Me Xi bao gồm các đá phiến có thành phần ban đầu là cát bột kết, cát kết, cát bột kết chứa vôi, các đá phiến sét và đá phiến đen, được xếp vào hệ tầng Long Đại có tuổi Ordovic - Silur sớm. Các đá này bị biến chất đến tương phiến lục và được phân chia thành tập chính: phiến bột kết-cát kết và phiến bột kết-sét kết. Tập phiến bột kết-cát kết bao gồm các phiến bột kết mỏng xen kẽ với các phiến hoặc thấu kính cát kết mỏng (Le và nnk., 2024; Hình 2). Tập bột kết-phiến sét bao gồm bột kết và bột kết chứa vôi xen kẽ với phiến màu xám đến đen và phiến sét chứa vôi (Le và nnk., 2024).

Các đá magma trong khu vực bao gồm dolerit porphyritic và các đai mafic. Đá dolerit porphyritic nằm cách trung tâm tụ quặng Me Xi khoảng 3 km về phía tây nam. Loại đá này chứa khoảng  $\sim 40\%$  khoáng vật tối màu, bao gồm olivin, pyroxen, biotit và hornblend, cùng với  $\sim 60\%$  plagioclas (Le và nnk., 2024). Các khoáng vật đã bị biến đổi một phần thành các khoáng vật thứ sinh như chlorite, epidot và sericit (Le và nnk., 2024). Các đai mạch mafic có màu xám lục và cấu tạo hạt mịn, được ghi nhận trong mẫu lõi khoan và tại các điểm lộ ngoài khu vực trung tâm mỏ Me Xi (Hình 2; Le và nnk., 2024). Cả hai loại đá magma được ghi nhận tại Me Xi đều chứa các mạch thạch anh - sulphide nhỏ với thành phần khoáng vật gồm pyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena và chalcopryrite, đi kèm với các khoáng vật biến đổi nhiệt dịch như chlorite, epidot, sericit và thạch anh (Le và nnk., 2024).

### 2.2. Đặc điểm quặng hóa vàng Me Xi

Khu vực Me Xi gồm tám thân khoáng chứa vàng (Au) được phân bố trong hai đới khoáng hóa (Hình 2). Đới khoáng hóa chính kéo dài khoảng 640 m với chiều rộng biến đổi từ  $10 \div 60$  m. Đới này chứa các thân khoáng vàng quan trọng nhất của khu vực, bao gồm một vết lộ quặng hóa vàng



Hình 2. Bản đồ địa chất và khoáng sản khu vực Me Xi (Le và nnk., 2024).

trong lò 3 m với hàm lượng 51,7 g/t Au (Axiom, 2006). Đới khoáng hóa thứ hai, nằm về phía tây nam của khu vực nghiên cứu, bao gồm hai thân quặng vàng nhỏ hơn với tổng chiều dài khoảng ~160 m và bề dày trung bình từ 0,5÷2 m (Le và nnk., 2024).

Khoáng hóa vàng tập trung chủ yếu trong các mạch thạch anh - sulphide cấu tạo dạng mạng mạch, xuyên cắt các đá trầm tích biến chất của hệ tầng Long Đại. Le và nnk. (2024) đã xác định được bốn giai đoạn khoáng hóa vàng tại Me Xi, bao gồm:

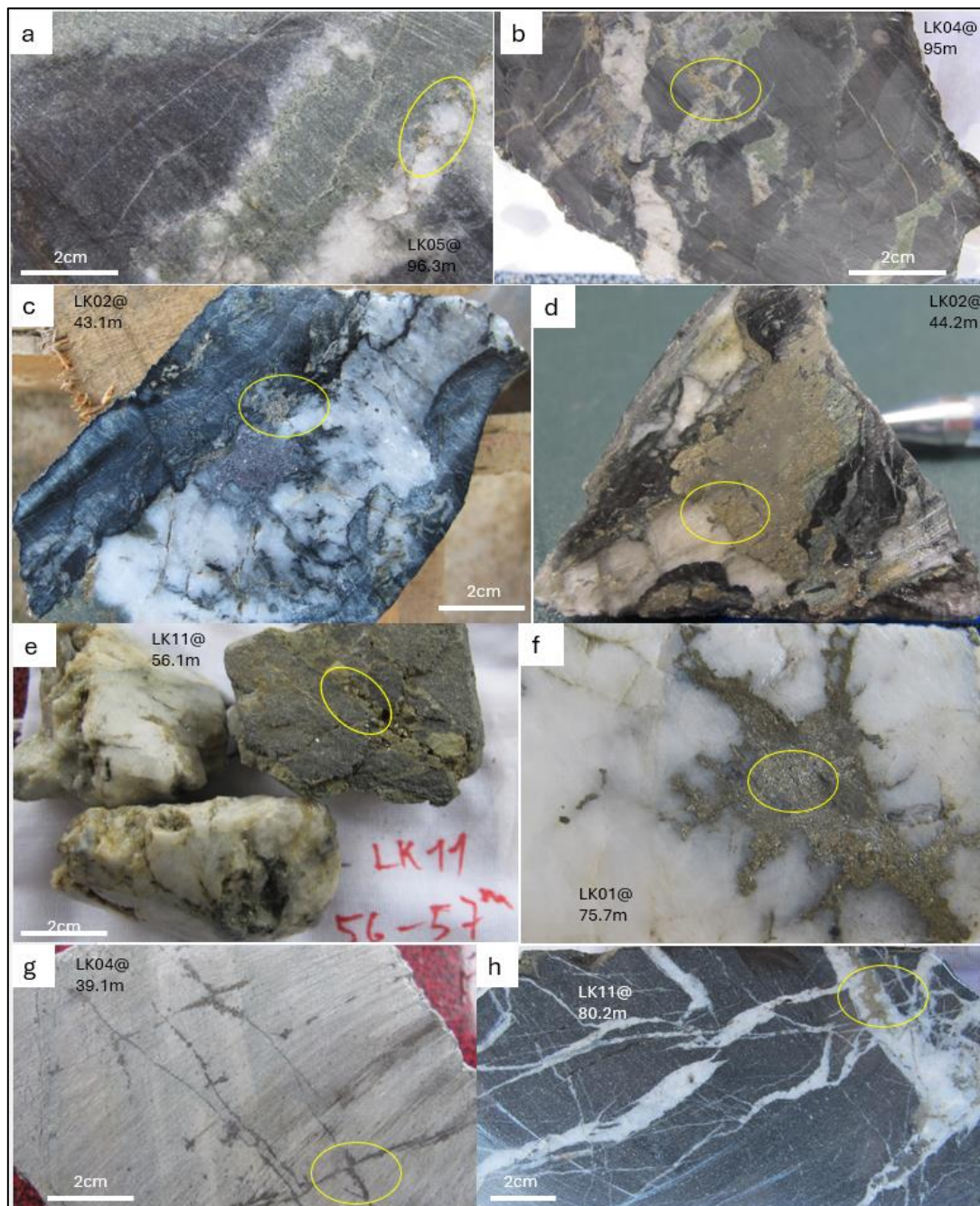
- + Giai đoạn 1 (trước tạo quặng): Thạch anh - pyrite - chalcopyrite.
- + Giai đoạn 2 (đồng tạo quặng): Thạch anh - chlorite - calcite - pyrite - pyrrhotite - arsenopyrite - galena - chalcopyrite - vàng.
- + Giai đoạn 3 (đồng tạo quặng): Thạch anh - sericite - chlorite - calcite - pyrite - chalcopyrite - galena - vàng.
- + Giai đoạn 4 (sau tạo quặng): Thạch anh - calcite - pyrite - chalcopyrite

### 3. Thu thập mẫu

Có tổng số 20 mẫu pyrite trong các giai đoạn nhiệt dịch đồng tạo quặng vàng được thu thập để phân tích đồng vị lưu huỳnh, bao gồm 11 mẫu trong giai đoạn nhiệt dịch 2 và 9 mẫu trong giai đoạn nhiệt dịch 3. Do đã xác định giai đoạn 1 và giai đoạn 4 là các giai đoạn trước và sau tạo quặng nên nghiên cứu này chỉ tập trung phân tích đồng vị lưu huỳnh trong hai giai đoạn 2 và 3, là các giai đoạn sinh quặng vàng. Ảnh đại diện các mẫu được thể hiện tại Hình 3.

### 4. Phương pháp phân tích

Pyrite trong các giai đoạn nhiệt dịch đồng tạo quặng được thu thập từ các mẫu cục. Pyrite được khoan bằng mũi khoan kim cương, kích thước mũi khoan tương tự như mũi khoan nha khoa để tạo ra pyrite dạng bột mịn với khối lượng tối thiểu 8 mg/ mẫu. Các mẫu bột pyrit được phân tích tại Trung tâm phân tích (CSL), Đại học Tasmania bằng thiết bị varioPYRO cube kết hợp với máy đo



Hình 3. Ảnh đại diện các mẫu đồng vị lưu huỳnh tại khu vực Me Xi. Vị trí khoan lấy mẫu được khoanh vàng. (a÷e) Mẫu pyrite nhiệt dịch giai đoạn 2 đi kèm với các mạch và ổ thạch anh - sulphides xuyên cắt đá trầm tích biến chất; (f÷h): Các mẫu pyrite đi kèm với mạch nhiệt dịch thuộc giai đoạn 3 xuyên cắt đá trầm tích biến chất, ngoại trừ; (g): các mạch pyrite xuyên cắt đại mafic.

khối phổ Isoprime100 nhằm xác định tỷ số  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ , từ đó tính ra  $\delta^{34}\text{S}$ .

Bột pyrite trong máy được oxy hóa ở nhiệt độ cao nhằm thu thập khí  $\text{SO}_2$  được sinh ra. Sau đó, giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  trong khí  $\text{SO}_2$  được phân tích định lượng chính xác. Mẫu chuẩn Canon Diablo Troilit

(CDT) được sử dụng trong quá trình phân tích. Độ chính xác của kết quả phân tích  $\delta^{34}\text{S}$  thu được là  $\pm 0,15\text{‰}$ . Quy trình phân tích chi tiết của phương pháp này được mô tả trong Grassineau và nnk. (2001).

Hàm lượng đồng vị bền của lưu huỳnh được thể hiện bằng giá trị delta ( $\delta$ ) với đơn vị phần nghìn (‰) và được tính theo phương trình (1)

$$\delta^{34}S (\text{‰}) = [(R_{\text{mẫu phân tích}}/R_{\text{mẫu chuẩn}} - 1) \times 1000] \quad (1)$$

Trong đó:  $R = {}^{34}S/{}^{32}S$

## 5. Kết quả

Kết quả phân tích đồng vị  $\delta^{34}S$  được thể hiện trong Bảng 1. Đối với các mẫu pyrite trong mạch nhiệt dịch giai đoạn hai, giá trị  $\delta^{34}S$  biến đổi từ -8,61‰ đến -0,19‰ (n=11), chủ yếu trong khoảng -4,58‰ đến -2,47‰ (n=7). Có hai giá trị nhỏ nhất trong khoảng -7,94‰ đến -8,61‰ và hai giá trị lớn nhất trong khoảng -0,43‰ đến -0,19‰.

Giá trị  $\delta^{34}S$  trong các mạch nhiệt dịch giai đoạn 3 khá đồng nhất, dao động trong khoảng -4,38‰ đến -3,18‰ (n=9), tương tự như dải giá trị  $\delta^{34}S$  chính của giai đoạn 2

## 6. Thảo luận

### 6.1. Giá trị đồng vị lưu huỳnh

Giá trị  $\delta^{34}S$  (‰) trong sulphide từ các giai đoạn nhiệt dịch đồng tạo quặng (giai đoạn 2 và 3) khá ổn định, chủ yếu nằm trong khoảng -4,6‰ đến -2,5‰ (n=14), ngoại trừ hai mẫu có giá trị lớn hơn (khoảng -0,4‰ đến -0,19‰).

Lưu huỳnh có nguồn gốc khác nhau sẽ có các

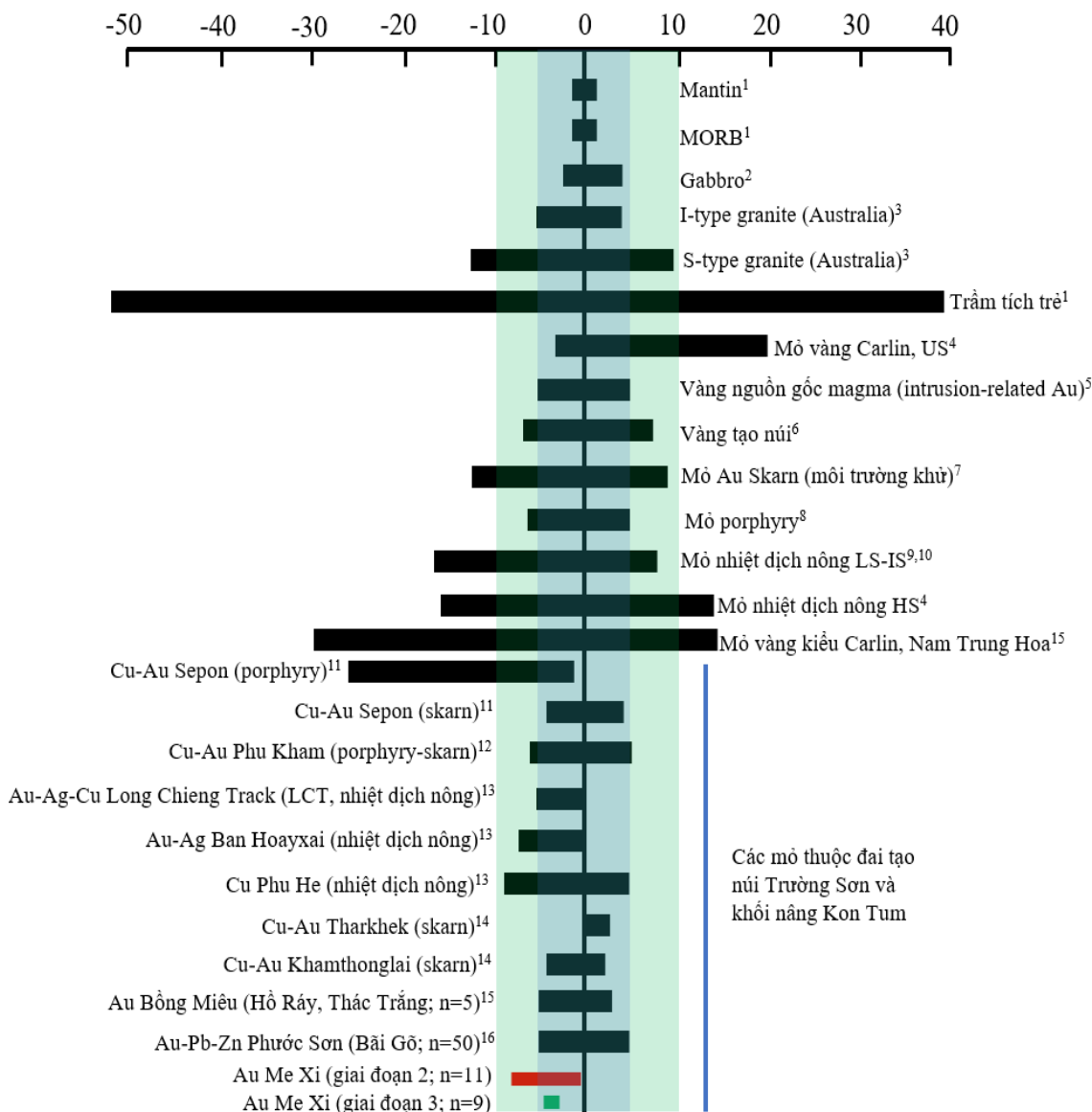
giá trị  $\delta^{34}S$  khác nhau (Ohmoto và Rye, 1979). Các giá trị đặc trưng cho một số nguồn gốc chính được thống kê trong nghiên cứu của Rollinson (1996) như sau: (1) Lưu huỳnh có nguồn gốc magma tương tự như lưu huỳnh nguồn gốc thiên thạch có  $\delta^{34}S$  tiệm cận 0‰; (2) Lưu huỳnh nguồn gốc từ sulfate nước biển tuổi từ Cambri đến nay có giá trị đồng vị  $\delta^{34}S$  từ +10‰ đến +35‰; (3) Lưu huỳnh nguồn gốc từ sulfate trong nước biển hiện đại có giá trị đồng vị  $\delta^{34}S$  từ +18‰ đến +20‰; (4) Lưu huỳnh nguồn gốc trầm tích có dải giá trị  $\delta^{34}S$  rất rộng, từ -70‰ đến >+20‰.

Giá trị  $\delta^{34}S$  từ các giai đoạn nhiệt dịch chứa vàng (-8,61‰ đến -0,19‰) nằm trong khoảng các giá trị của đồng vị lưu huỳnh có nguồn gốc liên quan đến cả magma và trầm tích - biến chất được minh họa trong Hình 4. Với nguồn gốc magma,  $\delta^{34}S$  tại Me Xi nằm trong các dải giá trị có nguồn gốc: (1) Đá magma, bao gồm granit kiểu I-type và S-type (ví dụ, tại Úc); (2) Các mỏ vàng và đồng-vàng liên quan đến magma như hệ thống vàng liên quan đến magma xâm nhập vàng tạo núi, skarn, porphyr và các hệ thống nhiệt dịch nông (high-sulfidation [HS], low- và intermediate-sulfidation [LS-IS]); (3) Các mỏ Cu-Au nguồn gốc magma trong đới Trường Sơn tại Lào, bao gồm mỏ Sepon (kiểu skarn), Phu Kham (porphyr-skarn), Phu He (nhiệt dịch nông) và KTL (skarn). Các giá trị  $\delta^{34}S$  tại Me Xi cũng nằm trong dải giá trị  $\delta^{34}S$  của lưu huỳnh nguồn gốc trầm tích - biến chất, điển hình là trầm tích trẻ và các mỏ vàng kiểu Carlin.

*Bảng 1. Giá trị đồng vị  $\delta^{34}S$  được phân tích từ pyrite trong các mạch nhiệt dịch thuộc giai đoạn 2 và 3 trong đới khoáng hóa vàng tại mỏ Me Xi.*

TT	Số hiệu mẫu (m)	Giai đoạn	$\delta^{34}S_{\text{CDT}}$ (‰)	TT	Số hiệu mẫu (m)	Giai đoạn	$\delta^{34}S_{\text{CDT}}$ (‰)
1	LK05 96,3	2	-4,33	12	LK11 56,1	2	-2,47
2	LK02 43,1	2	-3,51	13	LK01 75,7	3	-3,3
3	LK02 44,2	2	-3,67	14	LK04 39,1	3	-3,47
4	LK05 38,4	2	-2,95	9	LK05 28,6	3	-3,18
5	LK04 95	2	-8,61	15	LK05 33,3	3	-4,38
6	LK04 96,1	2	-7,94	16	LK11 80,2	3	-4,33
7	LK05 26,2	2	-4,31	17	LK11 111,4	3	-4,01
8	LK05 27,6	2	-4,58	18	LK11 113,4	3	-4,34
10	LK08 31,6	2	-0,19	19	LK04 122,8	3	-3,68
11	LK08 58,9	2	-0,43	20	LK11 118,5	3	-3,6





Hình 4. Biểu đồ so sánh giá trị đồng vị lưu huỳnh tại tụ quặng vàng Me Xi với một số mỏ/ kiểu mỏ của vàng, đồng - vàng và nguồn gốc địa chất khác (mantin, MORB, đá granite, gabbro). Tham khảo từ: 1. Rollinson (1993); 2. Sasaki và Ishihara (1979); 3. Coleman (1977); 4. Hofstra và Cline (2000); 5. Thompson và Newberry (2000); 6. Hodkiewicz và nnk. (2009); 7. Zaw và nnk. (2007); 8. Cooke và Simmons (2000); 9. Christie và nnk. (2007); 10. Camprubi và Albinson (2007); 11. Cromie (2010); 12. Backhouse (2004); 13. Manaka (2008); 14. Hotson (2009); 15. Ngô (2024); 16. Manaka (2014).

Kết quả đối sánh giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  tại Me Xi với các nguồn lưu huỳnh khác nhau ở trên cho thấy lưu huỳnh trong quặng vàng tại Me Xi có thể có nguồn gốc magma nhưng có thể bị nhiễm một phần từ lưu huỳnh nguồn gốc trầm tích đi vào dung dịch nhiệt dịch trong quá trình quặng hóa. Quá trình này có thể xảy ra do sự khử  $\text{SO}_4^{2-}$  trong môi trường giàu chất hữu cơ, chẳng hạn như các tập đá

phiến màu đen, tạo ra các giá trị đồng vị lưu huỳnh nhẹ hơn.

Các bất thường cục bộ bao gồm những mẫu có giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  nhỏ hơn (-8,6‰ đến -7,9‰), phản ánh ảnh hưởng trầm tích mạnh hơn. Các mẫu này được thu thập từ mạch nhiệt dịch có cấu tạo dăm kết xuyên cắt đá vây quanh là phiến trầm tích màu đen giàu vật chất hữu cơ, cho thấy sự pha trộn lưu huỳnh giữa nguồn magma và nguồn trầm tích.

Nhận định này sẽ được thảo luận trên cơ sở bối cảnh địa chất kiến tạo của đới Trường Sơn và khu vực Me Xi như dưới đây.

## 6.2. Bối cảnh địa chất và nguồn gốc quặng vàng tại khu vực Me Xi

Đới Trường Sơn là nơi tập trung các hoạt động đứt gãy, magma đa kỳ nhưng có ý nghĩa nhất là hai thời kỳ Caledoni tuổi O-S và Indosini tuổi P-T (vd: Dung và nnk., 2024). Đây là đại sinh khoáng có giá trị kinh tế lớn với nhiều mỏ và tụ quặng được ghi nhận, trong đó đáng chú ý nhất là mỏ Cu-Au Sepon (Lào) và các mỏ vàng đới Bồng Miêu - Phước Sơn (Việt Nam) có quy mô lớn đã và đang được khai thác. Khu vực trung tâm của đại tạo núi Trường Sơn có nhiều mỏ và điểm quặng vàng được ghi nhận, bao gồm các mỏ Cu-Au khu vực Sepon (Lào) có quy mô lớn, cách mỏ Me Xi khoảng 45km về phía tây. Địa chất tại khu mỏ Me Xi cũng mang nhiều đặc điểm của hai thời kỳ magma - kiến tạo ở trên (Caledoni và Indosini). Thời kỳ thứ nhất được đánh dấu bằng các đá magma mafic tuổi  $\sim 433 \pm 22$  Ma, được luận giải có tuổi 411÷430 Ma thành tạo trong môi trường căng giãn sau tạo núi Caledoni (Le và nnk., 2025). Thời kỳ thứ 2 được nhận định là hoạt động biến chất thời kỳ tạo núi Indosini trên cơ sở tổng hợp lịch sử địa chất vùng (vd: Dung và nnk., 2024) và vành zircon biến chất trong các đá trầm tích của khu vực Me Xi (Le và nnk., 2025).

Các đá trầm tích tại mỏ vàng Me Xi bao gồm các đá phiến có thành phần ban đầu là cát bột kết, cát kết, cát bột kết chứa vôi, các đá phiến sét và đá phiến đen, được xếp vào hệ tầng Long Đại có tuổi Ordovic - Silur sớm, bị biến chất đến tương phiến lục. Các đá ở trên tại khu vực Me Xi có thể được phân chia thành hai tập chính, bao gồm cát-bột kết và sét-bột kết. Kết quả định tuổi của đá magma và trầm tích trong khu vực Me Xi (Le và nnk., 2025) cho thấy các đá trầm tích có tuổi nhỏ hơn 580 Ma và lớn hơn  $\sim 430$  Ma.

Kết hợp kết quả phân tích đồng vị lưu huỳnh tại Me Xi với lịch sử địa chất, sinh khoáng của đới Trường Sơn và đặc điểm địa chất - quặng hóa của tụ quặng vàng Me Xi như được tóm tắt ở trên, có thể nhận định lưu huỳnh trong quặng tại Me Xi có nguồn gốc magma hỗn nhiễm với phần nhỏ lưu huỳnh từ đá vây quanh là các đá trầm tích giàu vật chất hữu cơ bị biến chất. Hoạt động magma (đá dolerite và đại mafic) nằm cách thân quặng

khoảng 3 km, có tuổi  $\sim 411 \div 430$  Ma (Le và nnk., 2025). Giai đoạn nhiệt dịch sớm mang vàng (giai đoạn 2; Le và nnk., 2024) với thạch anh thường có màu trắng xám và bị tái kết tinh, đặc trưng cho thạch anh bị biến chất khu vực và được nhận định thành tạo trong bối cảnh địa chất liên quan đến thời kỳ Caledoni, bị biến chất trong giai đoạn Indosini (Le và nnk., 2024). Hai mẫu có giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  gần 0‰ là minh chứng quan trọng của lưu huỳnh nguồn gốc magma. Ngược lại, hai mẫu có giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  nhỏ hơn ( $\sim -8\%$ ) từ mạch thạch anh - sulphide cấu tạo dăm kết phản ánh lưu huỳnh nguồn gốc hỗn hợp, là sự pha trộn giữa lưu huỳnh nguồn gốc magma và đá vây quanh là các đá trầm tích đen giàu chất hữu cơ của hệ tầng Long Đại.

Giai đoạn nhiệt dịch thứ 3 có tổ hợp khoáng vật quặng pyrite - chalcopyrite - galena - vàng. Giai đoạn nhiệt dịch thứ 3 có cấu tạo chủ đạo là mạch, mạng mạch, dăm kết, đặc trưng cho môi trường biến dạng giòn. Thạch anh trong giai đoạn 3 có màu trắng sáng, không bị tái kết tinh. Giai đoạn nhiệt dịch này được nhận định thành tạo trong thời kỳ tạo núi Indosini. Đối với giai đoạn 3, giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  chủ yếu phản ánh nguồn gốc lưu huỳnh magma. Giai đoạn này được cho là hình thành trong pha nhiệt dịch hậu Indosini. Mặc dù chưa xác định được đá magma có tuổi Indosini tại Me Xi, nhưng hoạt động magma mạnh mẽ trong thời kỳ này đã được ghi nhận rõ ràng trong đới Trường Sơn và ở khu vực lân cận của mỏ Me Xi (Cromie, 2010). Do đó, có thể nhận định bước đầu là lưu huỳnh trong giai đoạn 3 tại Me Xi có khả năng bắt nguồn từ dung dịch nhiệt dịch nguồn gốc magma dưới sâu thời kỳ Indosini.

## 7. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu đồng vị lưu huỳnh tại tụ quặng vàng Me Xi, Quảng Trị, trung tâm đới Trường Sơn, tập thể tác giả đưa ra một số kết luận như sau:

- Tại Me Xi, các mẫu pyrite trong mạch nhiệt dịch giai đoạn nhiệt dịch thứ hai (giai đoạn sinh quặng đầu tiên), giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  biến đổi từ  $-8,61\%$  đến  $-0,19\%$  ( $n=11$ ) trong đó chủ yếu trong khoảng  $-4,58$  đến  $-2,95$  ( $n=7$ ). Có hai giá trị nhỏ nhất trong khoảng  $-7,94\%$  đến  $-8,61\%$  và hai giá trị lớn nhất trong khoảng  $-0,43\%$  đến  $-0,19\%$ . Số liệu này đặc trưng cho S nguồn gốc magma bị hỗn nhiễm một phần với S nguồn gốc sinh vật tức nguồn lưu huỳnh từ các tập trầm tích màu đen.

- Giá trị  $\delta^{34}\text{S}$  trong các mạch nhiệt dịch giai đoạn 3 khá đồng nhất, dao động trong khoảng -4,38 đến -2,47‰ (n=9), tương tự như dải  $\delta^{34}\text{S}$  chủ yếu của giai đoạn 2, có nguồn gốc magma.

- Kết hợp số liệu phân tích đồng vị lưu huỳnh với lịch sử kiến tạo sinh khoáng của đới Trường Sơn và đặc điểm địa chất - quặng hóa vàng tại khu vực Me Xi, có thể nhận định quặng hóa vàng tại Me Xi có nguồn gốc chính từ magma hỗn nhiễm với nguồn vật chất từ đá vây quanh và được thành tạo trong 2 thời kỳ gồm hậu Caledoni và Indosini.

### Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài khoa học mã số B2024-MDA-04. Chúng tôi xin trân trọng cảm ơn ông Lê Văn Hải, Nguyễn Văn Đại, GS.TS. Trần Thanh Hải và TS. Abhisit Salam vì sự hỗ trợ quý báu trong quá trình thực hiện nghiên cứu. Chúng tôi xin nghi nhận và cảm ơn sự hỗ trợ từ các cá nhân liên quan tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Chúng tôi cũng xin chân thành cảm ơn Trung tâm Khoa học Trái đất và Địa chất mỏ (CODES), Đại học Tasmania đã hỗ trợ kỹ thuật, cung cấp các thiết bị phân tích mẫu, góp phần quan trọng vào sự thành công của nghiên cứu này.

### Đóng góp của tác giả

Lê Xuân Trường - lập kế hoạch nghiên cứu, thu thập mẫu, gia công mẫu, tổng hợp và xử lý số liệu, viết bài, biên tập hình vẽ và chỉnh sửa; Khin Zaw - hỗ trợ lập kế hoạch nghiên cứu, hỗ trợ thu thập mẫu, phân tích mẫu; Tô Xuân Bản - gia công, phân tích mẫu và xử lý số liệu.

### Tài liệu tham khảo

Axiom, (2006). Axiom Mining LTD Prospectus, *Company Report*.

Backhouse, D. (2004). Geological Setting, Alteration and Nature of Mineralization at the Phu Kham Copper-Gold Deposit. Laos PDR. CODES. *University of Tasmania, Hobart*, 75.

Camprubí, A. and Albinson, T. (2007). Epithermal deposits in México-Update of current knowledge and an empirical reclassification.

Carter, A., Roques, D., Bristow, C. and Kinny, P. (2001). Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic

thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. *Geology*, 29, p. 211-214.

Christie, A. B., Simpson, M. P., Brathwaite, R. L., Mauk, J. L. and Simmons, S. F. (2007). Epithermal Au-Ag and related deposits of the Hauraki goldfield, Coromandel volcanic zone, New Zealand. *Economic Geology*, v. 102, p. 785-816.

Coleman, M. (1977). Sulphur isotopes in petrology. *Journal of the Geological Society*, v. 133, p. 593-608.

Cooke, D. R. and Simmons, S. F. (2000). Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. *Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 221-244.

Cromie, P. W. (2010). *Geological setting, geochemistry and genesis of the Sepon gold and copper deposits*, Laos: Ph.D Thesis, University of Tasmania.

Dung, N. T., Anh, T. T., Hieu, P. T., Minh, P., Truong, L. X., Minh, N. T. and Hung, D. D. (2024). Crustal evolution of Paleozoic-Mesozoic granitoid in Dakrong-A Luoi area, Truong Son belt, central Vietnam: evidence from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Hf isotope composition. *International Geology Review*, p. 1-25.

Gardner, C. J., Graham, I. T., Belousova, E., Booth, G. W. and Greig, A. (2017). Evidence for Ordovician subduction-related magmatism in the Truong Son terrane, SE Laos: Implications for Gondwana evolution and porphyry Cu exploration potential in SE Asia. *Gondwana Research*, v. 44, p. 139-156.

Grassineau, N., Matthey, D. and Lowry, D. (2001). Sulfur isotope analysis of sulfide and sulfate minerals by continuous flow-isotope ratio mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, v. 73, p. 220-225.

Hieu, P. T., Chen, F. K., Thuy, N. T. B., Cường, N. Q. and Li, S. Q. (2013) Geochemistry and zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition of Permian alkali granitoids of the Phan Si Pan zone in northwestern Vietnam. *Journal of Geodynamics*, v. v. 69, p. 106-121.

- Hieu, P. T., Li, S. Q., Yu, Y., Thanh, N. X., Dung, L. T., Tu, V. L., Siebel, W. and Chen, F. (2017). Stages of late Paleozoic to early Mesozoic magmatism in the Song Ma belt, NW Vietnam: evidence from zircon U-Pb geochronology and Hf isotope composition. *International Journal of Earth Sciences*, v. v. 106, p. 855-874.
- Hieu, P. T., Yang, Y. Z., Binh, D. Q., Nguyen, T. B. T., Dung, L. T. and Chen, F. (2015). Late Permian to Early Triassic crustal evolution of the Kontum massif, central Vietnam: zircon U-Pb ages and geochemical and Nd-Hf isotopic composition of the Hai Van granitoid complex. *International Geology Review*, v. v. 57, p. 1877-1888.
- Hoa, T. T., Anh, T. T., Phuong, N. T., Dung, P. T., Anh, T. V., Izokh, A. E., Borisenko, A. S., Lan, C., Chung, S. and Lo, C. (2008). Permo-Triassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indochina. *Comptes Rendus Geoscience*, v. 340, p. 112-126.
- Hodkiewicz, P. F., Groves, D. I., Davidson, G. J., Weinberg, R. F., & Hagemann, S. G. (2009). Influence of structural setting on sulphur isotopes in Archean orogenic gold deposits, Eastern Goldfields Province, Yilgarn, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 44(2), 145-160
- 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.
- Hotson, M. D. (2009). The geochronology and tectonic framework of Cu-Au Prospects in the Phonsovan district, northern Laos. *Unpublished BSc (Hons) thesis, ARC Centre of Excellence in Ore Deposits (CODES), University of Tasmania, Hobart, Australia*, 158.
- Hung, D. D., Tsutsumi, Y., Hieu, P. T., Minh, N. T., Minh, P., Dung, N. T., ... & Kawaguchi, K. (2022). Van Canh Triassic granite in the Kontum Massif, central Vietnam: Geochemistry, geochronology, and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*: X, 7, 100075.
- Jiang, W., Yu, J. H., Wang, X., Griffin, W., Pham, T., Nguyen, D. and Wang, F. (2020). Early Paleozoic magmatism in northern Kontum Massif, Central Vietnam. *Insights into tectonic evolution of the eastern Indochina Block: Lithos*, v. 376, p. 105750.
- Le, T. X., Tran, T. H., Zaw, K. and Le, T. T. (2024). Geological setting and gold mineralisation characteristics at the Me Xi, Vinh Linh, Quang Tri, Vietnam. *Journal of Mining and Earth Sciences*, v. 65, p. 58-69.
- Le, T. X., Zaw, K., Tran, T. H., Meffre S., Hieu, P. T., Khang, L. Q., Luyen, N. D., Tuong, D. T. (2025). Early Paleozoic magmatism and Au mineralisation in the Central Truong Son Belt: Insights from geochronology and lead isotope at the Me Xi gold deposit. *Asian Journal of Earth Sciences*, Under review.
- Lepvrier, C., Maluski, H., Tich, V., Leyreloup, A., Thi, P. T. and Vuong, N. (2004). The Early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son Belt and Kontum Massif); implications for the geodynamic evolution of Indochina. *Tectonophysics*, v. v.393, p. 87-118.
- Liu, J., Tran, M. D., Tang, Y., Nguyen, Q. L., Tran, T. H., Wu, W., Chen, J., Zhang, Z. and Zhao, Z. (2012). Permo-Triassic granitoids in the northern part of the Truong Son belt, NW Vietnam: Geochronology, geochemistry and tectonic implications. *Gondwana Research*, v. v. 22, p. 628-644.
- Maluski, H., Lepvrier, C., Leyreloup, A., Tich, V. V. and Thi, P. T. (2005).  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology of the charnockites and granulites of the Kan Nack complex, Kon Tum Massif: Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. v. 25, p. 653-677.
- Manaka, T. (2008). *Geological setting and mineralisation characteristics of the Long Chieng Track and Ban Houayxai deposits, Lao PDR* (Doctoral dissertation, University of Tasmania).
- Manaka, T. (2014). *A study of mineralogical, geochemical and geochronological characteristics and ore genesis in Phuoc Son Gold deposit area, Central Vietnam*. PhD Thesis, University of Tasmania.
- Minh, N. T., Dung, N. T., Hung, D. D., Minh, P., Yu, Y. and Hieu, P. T. (2020). Zircon U-Pb ages, geochemistry and isotopic characteristics of the Chu Lai granitic pluton in the Kontum



- massif, central Vietnam. *Mineralogy and Petrology*, v. v. 114, p. 289-303.
- Nagy, E. A., Maluski, H., Lepvrier, C., Schärer, U., Thi, P. T., Leyreloup, A. and Thich, V. V. (2001). Geodynamic significance of the Kontum massif in central Vietnam: composite  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and U-Pb ages from Paleozoic to Triassic. *The Journal of Geology*, v. 109, p. 755-770.
- Ngô X. T., (2024). Nghiên cứu xác lập mô hình nguồn gốc và quy luật phân bố một số khoáng sản nội sinh có triển vọng khu vực địa khối Kon Tum. *Báo cáo chuyên đề đề tài khoa học cấp quốc gia*, Mã số: ĐTDL.CN.112/21. Bộ Giáo dục và Đào tạo, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.
- Nguyễn X. D., Đỗ H. N., Đỗ V. C., Hà V. T., Hoàng Đ. K., Lưu L., Phan V. T. (1996). *Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1:200.000, tờ Lệ Thủy - Quảng Trị (E-48-XXIX & E-48-XXX)*. Cục Địa chất Việt Nam.
- Ohmoto, H. and Rye, R. (1979). Isotopes of sulfur and carbon. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, p. 509-567.
- Roger, F., Jolivet, M., Maluski, H., Respaut, J. P., Münch, P., Paquette, J. L., Vu Van, T. and Nguyen Van, V. (2014). Emplacement and cooling of the Dien Bien Phu granitic complex: Implications for the tectonic evolution of the Dien Bien Phu Fault (Truong Son Belt: NW Vietnam). *Gondwana Research*, v. 26, p. 785-801.
- Roger, F., Leloup, P. H., Jolivet, M., Lacassin, R., Trinh, P. T., Brunel, M. and Seward, D. (2000). Long and complex thermal history of the Song Chay metamorphic dome (Northern Vietnam) by multi-system geochronology. *Tectonophysics*, v. 321, p. 449-466.
- Rollinson, H. R. (1993). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical Essex.
- Rollinson, H. R., (1996). *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman.
- Sasaki, A. and Ishihara, S. (1979). Sulfur isotopic composition of the magnetite-series and ilmenite-series granitoids in Japan. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 68, p. 107-115.
- Shi, M. F., Lin, F. C., Fan, W. Y., Deng, Q., Cong, F., Tran, M. D., Zhu, H. P. and Wang, H. (2015). Zircon U-Pb ages and geochemistry of granitoids in the Truong Son terrane, Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. v. 101, p. 101-120.
- Thanh, T. V., Hieu, P. T., Minh, P., Nhuan, D. V. and Thuy, N. T. B. (2019). Late Permian-Triassic granitic rocks of Vietnam: the Muong Lat example. *International Geology Review*, v. 61, p. 1823-1841.
- Thompson, J. F. H., & Newberry, R. J. (2000). Gold deposits related to reduced granitic intrusions. In Hagemann S. G. & Brown P. E., (2000). Gold in 2000. *Economic Geology*, Vol. 13, pp. 377-400.
- Thuy, N. T., Xuan, N. T., Anh, B. t., Minh, P., Hieu, P. T. and Binh, D. Q. (2024). Early Paleozoic tectonic evolution in the central Vietnam: evidence from geochronological and geochemical constraints. *International Geology Review*, p. 1-17.
- Tran, H. T., Zaw, K., Halpin, J. A., Manaka, T., Meffre, S., Lai, C. K., Lee, Y., Le, H. V. and Dinh, S. (2014). The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Gondwana Research*, v. 26, p. 144-164.
- Tri, T. V., Khuc, V., Tam, B. M., Hoang, C. M., Huyen D. T., Truong D. N., Binh, L. D., Bao, N. X., Thanh, T. D. Nam, T. N., Hai, T. T., Anh, T. T., Hoa, T. T. and Nam, N. T. (2009). Geology and natural resources of Vietnam. *Natural Sciences and Technology Publishing House*, Hanoi.
- Trong, N. H., Zong, K., Liu, Y., Yuan, Y., Hieu, P. T., Dung, L. T. and Minh, P. (2021). Early Paleozoic Arc Magmatism and Accretionary Orogenesis in the Indochina Block, Southeast Asia. *The Journal of Geology*, v. 129, p. 33-48.
- Trường, L. X., Zaw, K., Salam, A., Hải, T. T. and Luật, N. Q., (2015). 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. *Tạp chí KHKT Mỏ - Địa Chất*, v. 4, p. 8.
- Wang, S., Mo, Y., Wang, C. and Ye, P. (2016). Paleotethyan evolution of the Indochina Block as deduced from granites in northern Laos. *Gondwana Research*, v. 38, p. 183-196.
- Zaw, K., M., S., Lai, C.K., Santosh, M., Burrett, F.C., Graham, I.T., Manaka, T., Salam, A., Kamvong, T., Cromie, P. (2014). Tectonics and metallogeny of mainland SE Asia - an overview and contribution. *Gondwana Research*.
- Zaw, K., Rodmanee, T., Khositantont, S., Thanasuthipitak, T. and Ruamkid, S. (2007). Geology and genesis of Phu Thap Fah gold skarn deposit, northeastern Thailand: Implications for reduced gold skarn formation and mineral exploration; in Tantiwanit, W. (ed.). *Proceedings of GEOTHAI'07 International Conference on Geology of Thailand*, 21-22 November 2007, Bangkok, Thailand, p.93-95.
- Żelaźniewicz, A., Hòa, T. T. and Larionov, A. N. (2013). The significance of geological and zircon age data derived from the wall rocks of the Ailao Shan-Red River Shear Zone: NW Vietnam. *Journal of Geodynamics*, v. 69, p. 122-139.
- Zhang, R. Y., Lo, C. H., Chung, S. L., Grove, M., Omori, S., Iizuka, Y., Liou, J. G. and Tri, T. V. (2013). Origin and Tectonic Implication of Ophiolite and Eclogite in the Song Ma Suture Zone between the South China and Indochina Blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, v. 31, p. 49-62.