

## Journal of Mining and Earth Sciences

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

# An overview of some dating methods of mineralization

Hung The Khuong \*

Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam



### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 28<sup>th</sup> Nov. 2020

Revised 09<sup>th</sup> Mar. 2021

Accepted 01<sup>st</sup> Apr. 2021

#### Keywords:

Dating mineralization,  
Isotopic system,  
Rb - Sr, Re - Os, and Ar - Ar.

### ABSTRACT

*One of the most important achievements of applying radioactive isotope in the geological study is to determine the age of mineralization. Based on the synthesis, comparison, and evaluation of the popular isotopic systems in dating mineralization, the Rb - Sr, Re - Os, and Ar - Ar dating methods are discussed in this study. The results show that the Rb - Sr dating method is likely to be successfully applied to sulfide mineralization. If the mineralization contains little or no sulfide minerals, then the method is applied to other minerals in an ore mineral association. The Re - Os dating method has shown great success when it is applied to hydrothermal deposits, especially for the molybdenite - bearing vein deposits. The limitation of the method is that when the concentration of the Os element in molybdenite is low, it is difficult to establish the Re/Os ratio in a single mineral. The Ar - Ar isotope system for dating mineralization often uses mica or feldspar minerals, which are minerals with blocking temperatures ranging from 150÷350 °C, and later metamorphic periods have higher than 350 °C often overprinted these minerals. Generally, tectonic, magmatic, and metamorphic events, which occur after mineralization, can cause difficulty in determining the age of mineralization and collecting analysis samples.*

Copyright © 2021 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

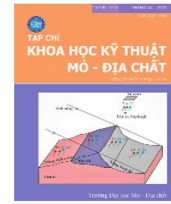
E - mail: [khuongthehung@humg.edu.vn](mailto:khuongthehung@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(2).03



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

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



# Tổng quan về một số phương pháp định tuổi thành tạo khoáng hoá

Khương Thế Hùng \*

Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 28/11/2020

Sửa xong 09/3/2021

Chap nhận đăng 01/4/2021

Từ khóa:

Định tuổi khoáng hóa,

Hệ đồng vị,

Rb - Sr, Re - Os và Ar - Ar.

### TÓM TẮT

Một trong những thành tựu quan trọng của việc áp dụng đồng vị phóng xạ trong nghiên cứu địa chất là định tuổi khoáng hoá. Trên cơ sở tổng hợp, đối sánh và đánh giá hệ đồng vị phổ biến trong định tuổi khoáng hóa hiện nay, một số phương pháp định tuổi tuyệt đối sử dụng hệ đồng vị Rb - Sr, Re - Os và Ar - Ar được xem xét trong nghiên cứu này. Kết quả nghiên cứu cho thấy, phương pháp Rb - Sr định tuổi áp dụng thành công với các thành tạo khoáng hóa sunfua, trường hợp khoáng hóa chứa ít hoặc không chứa đồng vị trên thì phương pháp được áp dụng cho các khoáng vật cộng sinh với chúng. Phương pháp Re - Os định tuổi áp dụng hiệu quả cho các mỏ nhiệt dịch, đặc biệt đối với các mỏ chứa molibdenit. Phương pháp bị hạn chế khi hàm lượng Os thấp, việc xác lập tỉ số Re/Os trong đơn khoáng là một thực tế khó khăn. Hệ đồng vị Ar - Ar định tuổi thường sử dụng khoáng vật mica hay feldpat, đây là những khoáng vật có nhiệt độ đóng dao động  $150 \div 350$  °C, những giai đoạn nhiệt kiến sinh về sau có nhiệt độ lớn hơn  $350$  °C thường ghi đè lên những khoáng vật này. Nhìn chung, các hoạt động kiến tạo, magma và biến chất xảy ra sau quá trình tạo khoáng thường gây khó khăn cho việc xác định tuổi và lấy phân tích mẫu.

© 2021 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Tuổi thành tạo khoáng hoá là một bộ phận then chốt có thể cung cấp những thông tin quan trọng để làm sáng tỏ nguồn gốc thành tạo của bất kỳ khoáng sản nào. Tuổi khoáng hoá cung cấp thông tin liên kết các yếu tố tạo quặng (hoạt động xâm nhập, vị trí kiến tạo, cơ chế tái biến chất, nguồn của chất lỏng tạo quặng và hợp phần quặng,...). Đặc

biệt, tuổi khoáng hoá còn giúp cho việc xác định cụ thể hơn mô hình nguồn gốc tạo quặng. Những năm gần đây, nguồn gốc mỏ sunfua đặc xít trong đá phun trào (VMS) được làm sáng tỏ hơn và được xem là sản phẩm của một sự kiện đồng sinh hơn là một sự kiện biểu sinh. Hơn thế nữa, việc tiếp tục thiếu hiểu biết về một mô hình nguồn gốc có thể chấp nhận chung cho các mỏ biểu sinh như: kiểu thung lũng Mississippi (MTV), nguyên do cũng từ việc thiếu số liệu định tuổi khoáng hoá chính xác cho hầu hết loại hình này (Ruiz và nnk, 1985). Như vậy, một nghiên cứu toàn diện về khoáng sản đều phải cố gắng xác định thời gian tạo khoáng một cách chính xác nhất có thể.

\*Tác giả liên hệ

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

DOI: 10.46326/JMES.2021.62(2).03

Tương tự nguyên lý định tuổi các thành tạo địa chất nói chung, tuổi thành tạo khoáng hoá nói riêng cũng bao gồm tuổi tương đối và tuổi tuyệt đối của thời điểm khoáng hoá được hình thành. Tuổi thành tạo khoáng hoá trong một mỏ có thể được xác định trực tiếp bởi tuổi vật chất tạo quặng hoặc thông qua các khoáng vật, hợp phần cộng sinh với các thành tạo trên. Do vậy, tùy thuộc vào việc sử dụng các khoáng vật cụ thể trong quá trình định tuổi cho ra các phương pháp phân tích thích hợp. Dựa trên một số phương pháp định tuổi khoáng hóa được áp dụng phổ biến hiện nay, bài báo tiến hành thảo luận một số phương pháp định tuổi khoáng hóa sử dụng hệ đồng vị Rb - Sr, Re - Os và Ar - Ar. Với những phân tích nêu trên có thể nói tuổi khoáng hóa là tiền đề quan trọng định hướng cho việc luận giải mối liên quan của quặng hóa với nguồn vật chất sinh ra nó. Do điều kiện địa chất phức tạp, sự ảnh hưởng của các sự kiện kiến tạo về sau, quá trình hậu magma, khiến cho khu vực bị tái biến dạng, biến chất, cấu trúc - kiến tạo bị xáo trộn, gây khó khăn cho việc xác định chính xác thời gian tạo quặng. Vì vậy, bài báo trình bày nội dung, ưu điểm và tồn tại của từng phương pháp qua đó nhằm cung cấp cho người đọc một cái nhìn bao quát về tính ứng dụng và khả năng áp dụng trong những điều kiện cụ thể.

## 2. Một số phương pháp định tuổi khoáng hoá

Số liệu đồng vị không cung cấp câu trả lời duy nhất cho bất kỳ vấn đề địa chất nào, những đặc trưng đồng vị tương tự nhau trong một mỏ khoáng có thể được cung cấp bởi các quá trình địa chất hoàn toàn khác nhau, cùng một quá trình tổng hợp có thể cung cấp các đồng vị đặc trưng không giống nhau dưới những điều kiện khác nhau (Ohmoto, 1986; Lin và nnk., 2020). Tuy nhiên, số liệu đồng vị bổ sung cho các nghiên cứu địa chất liên quan (khoáng vật, địa hóa,...) góp phần làm sáng tỏ hơn thông tin của quá trình tạo quặng (thời gian tạo khoáng, nhiệt độ hình thành, cơ chế kết tinh,...). Một cách tổng thể, ngoại trừ phương pháp Ar - Ar các phương pháp xác định tuổi đồng vị Rb - Sr và Re - Os đều dựa trên nguyên tắc xây dựng đường đẳng thời (isochron).

Phương trình chung cho phân rã phóng xạ của một hệ kín được viết như sau.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1)$$

$$D = N_o - N \quad (2)$$

$$\frac{D}{N} = e^{-\lambda t} - 1 \quad (3)$$

Trong đó:  $\lambda$  - hằng số phân rã  $\lambda = 0,693/\text{chu kỳ bán phân rã}$ ;  $N_o$  - số nguyên tử ban đầu của đồng vị mẹ;  $N$  - số nguyên tử còn lại của đồng vị mẹ;  $D$  - số nguyên tử của đồng vị con;  $t$  - thời gian phân rã phóng xạ (giây).

### 2.1. Phương pháp Rb - Sr định tuổi

Phương pháp Rb - Sr định tuổi dựa trên các đồng vị Stronti được đo trong mẫu đá tổng hoặc trong các khoáng vật chứa Sr tách ra từ đá mẹ. Stronti có bốn đồng vị tự nhiên ( $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  và  $^{84}\text{Sr}$ ) và hầu hết là đồng vị bền, chỉ có đồng vị  $^{87}\text{Sr}$  là phóng xạ và là sản phẩm của phân rã phóng xạ  $^{87}\text{Rb}$ . Do đó, hàm lượng  $^{87}\text{Sr}$  trong một khoáng vật hoặc đá chứa Rb của một hệ kín đối với Rubidi và Stronti phụ thuộc không chỉ về giá trị  $^{87}\text{Sr}$  của nó ban đầu  $^{87}\text{Sr}_o$  mà phải bao hàm cả nguồn bổ sung cho phóng xạ  $^{87}\text{Sr}$ . Từ phương trình tổng quát (1), hàm lượng  $^{87}\text{Sr}$  của một hệ Rb - Sr kín có thể được biểu diễn như sau:

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_o + ^{87}\text{Rb}(e^{\lambda t} - 1) \quad (4)$$

Trong đó:  $\lambda$  - hằng số phân rã của phân rã phóng xạ  $^{87}\text{Rb}$  đến  $^{87}\text{Sr}$  ( $\lambda = 1,39 \times 10^{11}/\text{năm}$ );  $t$  - tuổi địa chất của khoáng vật hoặc đá (triệu năm).

Chuẩn hoá phương trình trên với  $^{86}\text{Sr}$ , phương trình (4) rút gọn thành.

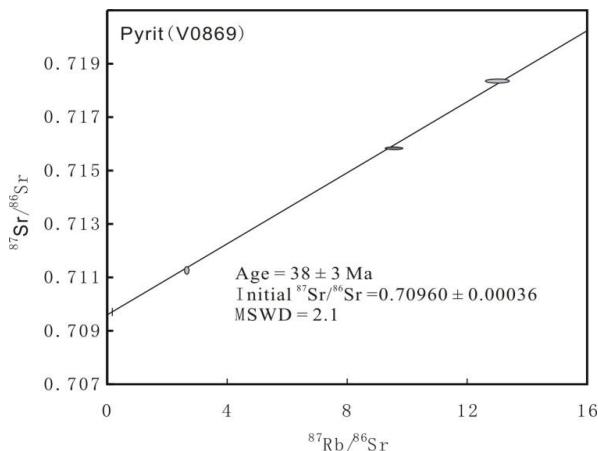
$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}\right)_o + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}\right)(e^{\lambda t} - 1) \quad (5)$$

Phương trình (5) được dùng làm cơ sở cho định tuổi bằng phương pháp Rb - Sr. Với giá trị ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) và ( $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ) thu được từ quá trình phân tích mẫu, khi đó phương trình (5) có thể xác định được thời gian ( $t$ ) nếu tỉ số ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>o</sub> ban đầu đã biết. Mặt khác, nếu tỉ số ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>o</sub> không xác định được như các trường hợp thông thường, giải pháp được đưa ra bằng cách chọn một loạt các mẫu với một biên độ rộng của tỉ số (Rb/Sr) và thoả mãn các giả thiết như: 1 - chúng được hình thành đồng thời; 2 - có cùng một tỉ số ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>o</sub> ban đầu; 3 - được bảo tồn trong những hệ kín kể từ khi hình thành (Faure, 1986). Tập hợp các mẫu này cho phép xác lập một đường thẳng (còn gọi là đường đẳng thời) trên đồ thị của  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  (trục x) so với  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (trục y). Giao điểm của trục y với đường đẳng thời cho giá trị ban đầu ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>o</sub> và tuổi địa

chất của các mẫu (t) được xác định từ độ dốc của đường thẳng ( $e^{\lambda t} - 1$ ), hoặc giải phương trình (5) cho thời gian (t). Ví dụ, tập hợp các tỉ số đồng vị stronti trong mẫu pyrit thu được từ quặng molibdenit Ô Quy Hồ, tây bắc Việt Nam vẽ ra một đường thẳng có tỉ số ban đầu ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>o</sub> bằng  $0,70960 \pm 0,00036$  và xác định tuổi thành tạo của tổ hợp tạo quặng (pyrit, molipdenit, chalcopyrit) là  $38 \pm 3$  Ma (Hình 1). Kết quả đạt được phù hợp với trường quan hệ địa chất của quặng molibdenit và khối granit xâm nhập phía tây Ô Quy Hồ (Tran Tuan Anh và nnk., 2002). Ngoài ra, trong sai số cho phép các kết quả định tuổi tuyệt đối  $72 \div 41$  Ma (Nguyễn Trung Chí, 1999) cho khối xâm nhập axit này cũng liên quan mật thiết về nguồn cung cấp quặng.

Những năm đầu của thập niên 80, Ruiz và đồng nghiệp (1984) đã dùng phương pháp Rb - Sr cho việc định tuổi khoáng hoá trong đá vây quanh giàu Rb. Khoáng vật mạch được lựa chọn phân tích ở đây là canxit và các khoáng vật khác chứa Sr. Phương pháp này cũng được ứng dụng trong định tuổi tạo khoáng ở ba mỏ khác nhau: White Pine (Michigan - Mỹ), Panasqueira (Bồ Đào Nha) và Parral (Mexico). Các kết quả thu được sau đó so sánh với các kết quả định tuổi từng được áp dụng của các nghiên cứu trước đây, đã cho thấy sự tương quan tương đối phù hợp (Hình 2).

Tại Hình 2, đường liền nét biểu diễn tuổi đạt được bởi các nhà nghiên cứu cho mỏ Parral - Mexico (Ruiz, 1983), Panasqueira - Bồ Đào Nha (Clark, 1970; Schermerhorn, 1981) và White Pine (Watts, 1981); Đường thẳng với đường tròn đen thể hiện tuổi đạt được từ nghiên cứu của York

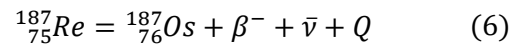


Hình 1. Đường đẳng thời Rb - Sr khoáng vật pyrit trong mẫu V0869 mỏ Molibdenit Ô Quy Hồ, tây bắc Việt Nam (MSWD là giá trị trung bình trọng lượng) (Phạm Trung Hiếu, 2010).

(1969); Đường thẳng với đường tròn trắng biểu diễn kết quả tuổi đạt được từ phương trình (5).

## 2.2. Phương pháp Re - Os định tuổi

Reni có hai đồng vị tự nhiên với độ phong phú lần lượt là  $^{185}\text{Re}=37,398 \pm 0,016\%$  và  $^{187}\text{Re}=62,602 \pm 0,016\%$ . Khối lượng nguyên tử của Re bằng  $186,20679 \pm 0,00031$  (Gramlich và nnk., 1973).  $^{187}\text{Re}$  phóng xạ và chuyển thành  $^{187}\text{Os}$  bền bằng phản ứng phân rã phóng xạ hạt  $\beta^-$ , với phản hạt neutrino  $\bar{\nu}$  và năng lượng dưới dạng nhiệt  $Q$  như sau:

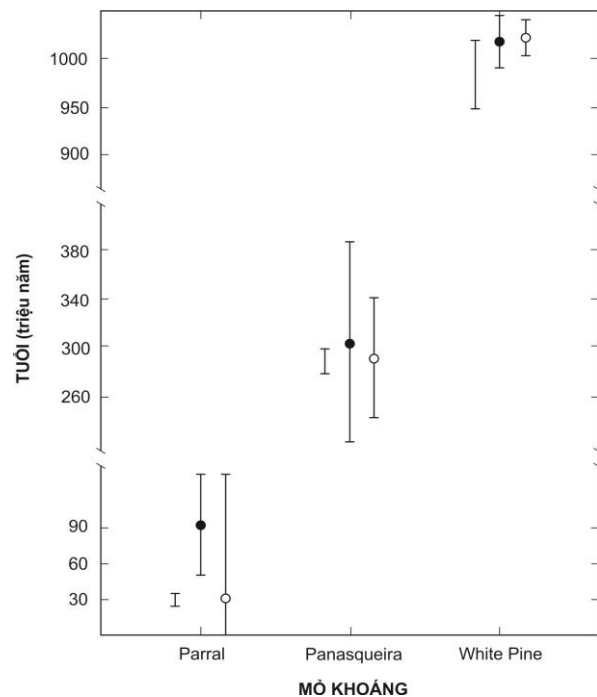


Osmi có 7 đồng vị tự nhiên bền vững. Độ phổ biến của các đồng vị Os lần lượt là:  $^{184}\text{Os}=0,0239\%$ ,  $^{186}\text{Os}=1,600\%$ ,  $^{187}\text{Os}=1,510\%$ ,  $^{188}\text{Os}=13,286\%$ ,  $^{189}\text{Os}=16,251\%$ ,  $^{190}\text{Os}=26,369\%$  và  $^{192}\text{Os}=40,957\%$ . Khối lượng nguyên tử của Os bằng  $190,2386$ .

Theo phương trình tổng quát (1), đối với hệ Re - Os có dạng:

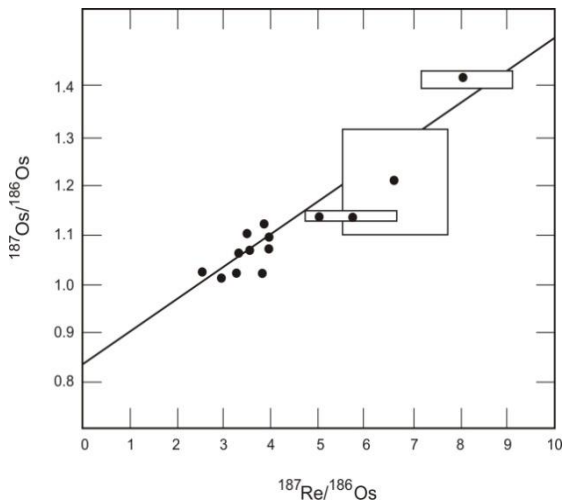
$$\frac{^{187}\text{Os}}{^{186}\text{Os}} = \left( \frac{^{187}\text{Os}}{^{186}\text{Os}} \right)_o + \left( \frac{^{187}\text{Re}}{^{186}\text{Os}} \right) (e^{\lambda t} - 1) \quad (7)$$

Hirt và nnk. (1963) tiến hành định tuổi mẫu sắt



Hình 2. Kết quả định tuổi khoáng hoá bằng phân tích đồng vị Rb - Sr trong nghiên cứu của Ruiz (1984) và những kết quả khác cho mỏ Parral, Panasqueira và White Pine.

thiên thạch bằng phương pháp Re - Os từ phân tích 14 điểm giá trị ( $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ ). Những điểm số liệu xác định một đường đẳng thời như Hình 3 có độ dốc cung cấp tuổi  $4,0 \pm 0,8$  tỉ năm và tỉ số ( $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ )<sub>o</sub> ban đầu đạt 0,83. Kết quả định tuổi này là phù hợp với các kết quả thu được bằng những phương pháp khác, điều này nói lên thiên thạch trở thành hệ kín trong khoảng  $4,5 \div 4,7$  tỉ năm trước đây. Giá trị 0,83 của tỉ số ( $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ )<sub>o</sub> ban đầu được suy luận từ đường đẳng thời thiên thạch là thấp hơn tỉ số  $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$  của bất kỳ mẫu nào trên mặt đất. Tỉ số  $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$  thấp nhất của mẫu trên mặt đất đạt  $0,882 \pm 0,007$  (trong một mẫu của Os từ trầm tích Witwatersrand ở Nam Phi) và mẫu Os từ các vùng khác (Úc, vùng núi Ural (Nga), Nam Mỹ và Alaska) có tỉ số cao hơn (lên đến  $1,086 \pm 0,010$ ). Tất cả điều này minh chứng rằng sự



Hình 3. Đường đẳng thời Re - Os cho sắt thiên thạch. Độ dốc đường đẳng thời xác định một tuổi  $4,0 \pm 0,8$  tỉ năm với giả thiết chu kỳ bán phân rã của  $^{187}\text{Re}$  là  $4,3 \pm 0,5$  tỉ năm. Tỉ số ( $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ )<sub>o</sub> ban đầu là 0,83 (mô phỏng theo Anders, 1962, dùng dữ liệu của Herr và nnk, 1961).

khác nhau là thực sự tồn tại trong thành phần đồng vị của Os trên mặt đất.

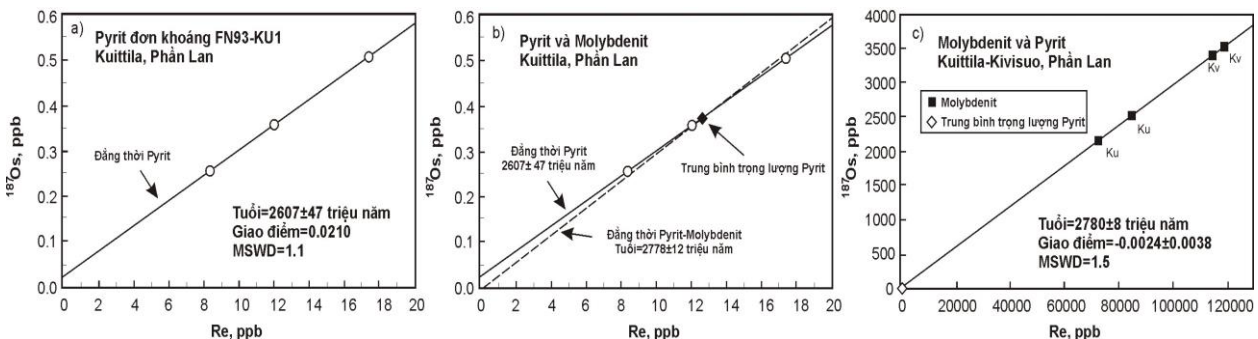
Trong molibdenit Re có lượng lớn, trong khi đó không chứa Os ban đầu, vì thế phương trình (7) xác định tuổi molibdenit theo phương pháp Re - Os có thể viết lại đơn giản hơn (hằng số phân rã  $\lambda = 1,61 \times 10^{-11}$  năm<sup>-1</sup>,  $t$  - thời gian).

$$\left(\frac{^{187}\text{Os}}{^{186}\text{Os}}\right) = \left(\frac{^{187}\text{Re}}{^{186}\text{Os}}\right) (e^{\lambda t} - 1) \tag{8}$$

suy ra  $\left(\frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}}\right) = (e^{\lambda t} - 1)$

Trong tự nhiên, các mẫu  $^{187}\text{Re}$  luôn chiếm 1,60% của tổng tất cả các đồng vị Re, nên khi định tuổi của molibdenit không cần phải xác định thành phần đồng vị của Re. Trong khi đó, hàm lượng của  $^{187}\text{Os}$  được xác định bằng phương pháp khối - phổ kế bổ sung đồng vị. Vì thế việc định tuổi molibdenit được giản lược đi rất nhiều.

Stein và nnk. (1998) sử dụng hệ đồng vị Re - Os trong định tuổi khoáng hoá Molipdenit và Pyrit từ hai thể xâm nhập tiền Cambri (Fennoscandia, Phần Lan) nhằm kiểm tra tính bền vững của hệ đồng vị này trong địa khu bị biến chất và biến chất trao đổi xảy ra sau. Tuổi Re - Os trung bình 2778,8 Ma và 2781,8 Ma đạt được từ mẫu molibdenit khu vực Kuittila và Kivisuo phù hợp với tuổi U - Pb zircon (2753,5 Ma) cho xâm nhập tonalit Kuittila. Ngoài ra, tiến hành phân tích Re - Os cho đơn khoáng pyrit được thực hiện trên cùng mẫu phân tích molibdenit từ xâm nhập Kuittila, cũng cho giá trị tuổi trung bình 2770,120 Ma tương đồng với tuổi molibdenit (Hình 4). Như vậy, kết quả thu được thể hiện tính hữu dụng của hệ đồng vị Re - Os trong định tuổi đơn khoáng molibdenit và pyrit của các thể xâm nhập axit, cũng như khẳng định tính bền



Hình 4. Kết quả định tuổi khoáng hoá bằng phương pháp Re - Os được thực hiện trên khoáng vật molibdenit và pyrit khu vực Kuittila - Kivisuo, Phần Lan (Stein và nnk, 1998).

vững của hệ đồng vị này trong những địa khu chịu ảnh hưởng của các sự kiện sau magma.

### 2.3. Phương pháp Ar - Ar định tuổi

Phương pháp  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  định tuổi dựa trên sự thành tạo  $^{39}\text{Ar}$  trong mẫu chứa K được chiếu trong lò hạt nhân. Khi đó xảy ra phản ứng chuyển biến  $n \rightarrow p$  và được kí hiệu  $^{39}\text{K}(n,p)^{39}\text{Ar}$ . Số lượng  $^{39}\text{Ar}$  mới sinh trong mẫu khi chiếu:  $^{39}\text{Ar} = ^{39}\text{K} \tau \int \phi(\varepsilon) \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$ , ở đây  $\tau$  - thời gian chiếu;  $\phi(\varepsilon)$  - mật độ chùm neutron có năng lượng  $\varepsilon$ ;  $\sigma(\varepsilon)$  - tiết diện thu nhận năng lượng  $\varepsilon$ .

Số lượng nguyên tử của đồng vị  $^{40}\text{Ar}^*$ , được sinh ra do phân rã  $^{40}\text{K}$  sau thời gian tồn tại của mẫu, được xác định theo công thức.

$$^{40}\text{Ar}^* = \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right) ^{40}\text{K} (e^{\lambda t} - 1) \quad (9)$$

Trong đó:  $\lambda_e$  - hằng số phân rã của  $^{40}\text{K}$  do thâu tóm điện tử;  $\lambda$  - hằng số phân rã đầy đủ của  $^{40}\text{K}$ .

Tỉ số  $^{39}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$  trong mẫu đem chiếu được xác định bằng phương trình.

$$\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}} = \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right) \frac{^{40}\text{K}}{^{39}\text{K}} \tau \int \phi(\varepsilon) \sigma(\varepsilon) d(\varepsilon) \quad (10)$$

Để đơn giản phương trình (10), đặt đại lượng  $J$  theo phương trình.

$$J = \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right) \frac{^{40}\text{K}}{^{39}\text{K}} \tau \int \phi(\varepsilon) \sigma(\varepsilon) d(\varepsilon) \quad (11)$$

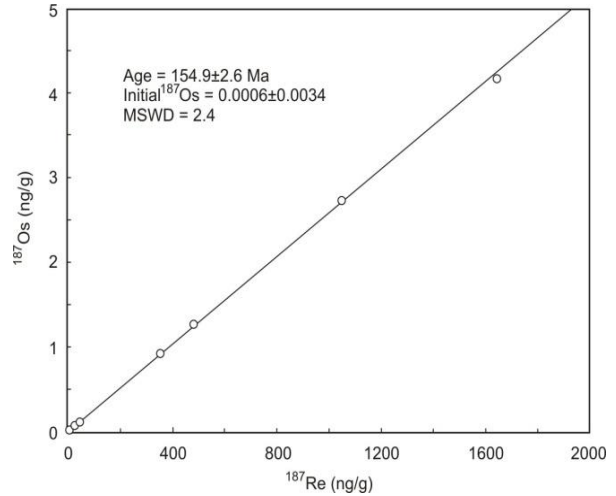
$$J = (e^{\lambda t} - 1) \frac{^{39}\text{Ar}}{^{40}\text{Ar}^*} \quad (12)$$

Để xác định giá trị  $J$  cùng với mẫu định tuổi trong lò phản ứng hạt nhân, tiến hành chiếu mẫu chuẩn có tuổi K - Ar đã biết. Sau đó tính tuổi ( $t$ ).

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left( \frac{^{40}\text{Ar}^*}{^{39}\text{Ar}} J + 1 \right) \quad (13)$$

Tuổi phổ  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  của khoáng vật chứa kali như mutcovit, biotit và phlogopit, đã từng cho thấy tính hữu dụng trong định tuổi giai đoạn khoáng hoá và biến đổi trong hệ nhiệt dịch (Lanphere, 1988). Gần đây, những kết quả nghiên cứu của Pen và nnk. (2006) khẳng định thêm điều này, cho thấy sự tương quan giữa hai phương pháp định tuổi  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  và  $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$ . Đường đẳng thời  $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$  xác định tuổi  $154,9 \pm 2,6$  Ma cho mẫu molibdenit từ

mỏ Yaogangxian, phía nam Trung Quốc là tương đồng với tuổi phổ  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  ( $153,04 \pm 1,08$  Ma và  $155,1 \pm 1,10$  Ma) của hai khoáng vật phlogopit và mutcovit trong cùng một mỏ (các Hình 5, 6).



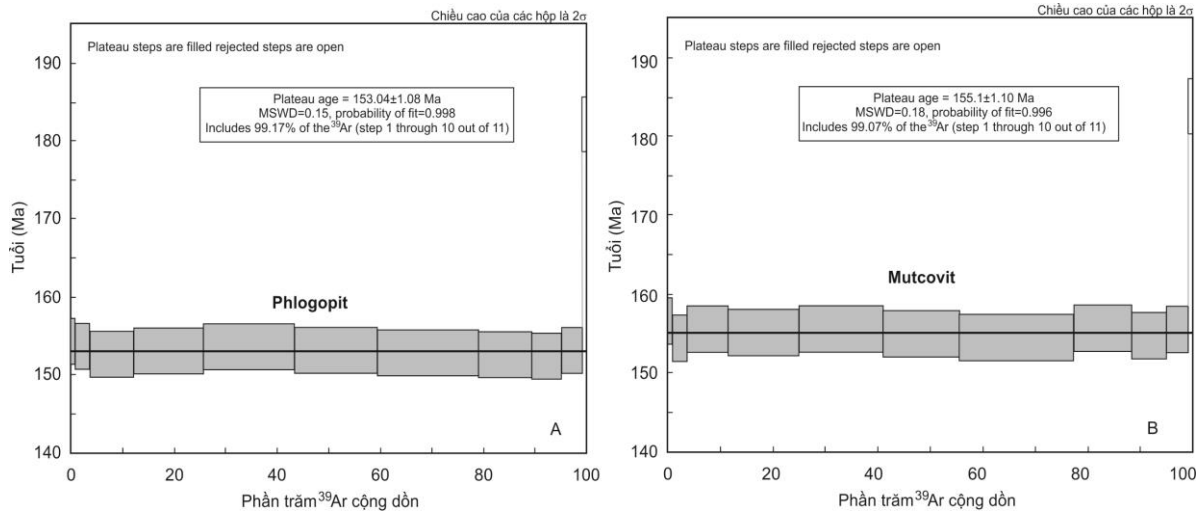
Hình 5. Biểu đồ đẳng thời  $^{187}\text{Re} - ^{187}\text{Os}$  cho mẫu molibdenit từ mỏ Vonfam Yaogangxian, nam Trung Quốc (Peng và nnk., 2006).

### 3. Thảo luận

Về nguyên lý định tuổi của các hệ đồng vị, cần thiết phải thoả mãn ba điều kiện sau: 1 - cùng nguồn gốc; 2 - cùng thời gian thành tạo; 3 - hệ kín (Faure, 1986; Degao và nnk., 2020; Nguyễn Đình Luyện và nnk., 2020). Nhưng do điều kiện địa chất phức tạp và ảnh hưởng của các sự kiện nhiệt dịch, kiến tạo về sau, quá trình hậu magma, dẫn tới làm khó khăn cho việc xác định chính xác thời gian tạo quặng hoặc thậm chí khoáng hóa không còn đảm bảo các điều kiện nêu trên. Do đó, việc áp dụng các phương pháp định tuổi như thế nào cho hợp lý là việc làm hết sức cần thiết.

#### 3.1. Phương pháp Rb - Sr

Ứng dụng phương pháp Rb - Sr định tuổi khoáng hoá bị giới hạn trực tiếp bởi sự khó khăn của việc chọn được một bộ mẫu phù hợp cho việc vẽ ra một đường đẳng thời. Như đã đề cập ở trên, khi nguồn cung cấp tỉ số đồng vị phóng xạ Rb/Sr cho khoáng hoá chứa Sr không những từ một dung dịch tạo quặng duy nhất mà hai nguồn hoặc nhiều hơn bao gồm cả từ đá vây quanh, khi đó bộ mẫu thu được từ hỗn hợp có thể biến đổi của hai thành phần Rb/Sr và  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  khác nhau sẽ cung cấp một



Hình 6. Tuổi phổ  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  cho phlogopit (a) và mutcovit (b) từ mỏ Yaogangxian, nam Trung Quốc (theo Peng và nnk., 2006).

đường thẳng trong biểu đồ  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  so với  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , về bản chất đường thẳng biểu diễn một dòng pha trộn không phải một đẳng thời. Các khoáng sản chứa khoáng vật của Sr kết tinh từ chất lỏng có thành phần đồng vị và hoá học thay đổi là thực tế có thể xảy ra đưa đến kết quả sai lệch trong định tuổi. Lange và nnk. (1983) áp dụng phương pháp Rb - Sr cho một tập mẫu galen để xác định tuổi của khoáng hoá Pb - Zn ở Viburnum Trend (phía đông nam Missouri, Mỹ). Tuy nhiên, nếu khoáng hoá galen đã không kết tinh từ một chất lỏng khoáng hoá có thành phần đồng vị Rb - Sr đồng nhất, như thảo luận của Ruiz (1985), nghĩa là “đường đẳng thời” của Lange và nnk. (1983) sẽ biểu diễn một đường trộn lẫn (cho kết quả là tuổi hỗn hợp), không có ý nghĩa địa chất.

Ứng dụng triển vọng nhất của các đồng vị stronti là dùng làm chất chỉ thị cho chất lỏng nhiệt dịch. Nguyên do việc sử dụng các đồng vị Sr có một số thuận lợi nhất định hơn các đồng vị H và O vì chúng không bị ảnh hưởng phân đoạn nghiêm trọng trong hệ thống đồng vị của mình; tỉ số đồng vị Stronti có thể chỉ ra nguồn gốc của chất rắn hòa tan (chất tan) trong chất lỏng nhiệt dịch; trong một số trường hợp nguồn tỉ số  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  có thể được xác định một cách chính xác (chất lỏng magma nên có cùng tỉ số  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  như nguồn magma). Từ tỉ số  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  đo được trong các khoáng vật mạch (canxit, dolomit, fluorit, barit) của mỏ kẽm Elmwood (Tennessee, Mỹ), Grant và Bliss (1983) thấy rằng các khoáng vật tiền sunfua được hình thành từ một nguồn chất lỏng ở trạng thái cân bằng đồng vị với đá cacbonat vây quanh và các khoáng

vật hậu sunfua được kết tinh từ một chất lỏng có chứa nhiều phóng xạ Stronti. Từ nhận định này đi đến kết luận rằng các quặng sunfua trong mỏ được kết tinh bởi sự pha trộn của hai nguồn chất lỏng khác biệt.

Trong thực tế phương pháp này được áp dụng để xác định thời gian thành tạo của khoáng hoá, nhưng do một số khoáng hóa không chứa đồng vị Rb - Sr cho nên việc xác định chúng mang tính chất gián tiếp. Việc lựa chọn mẫu trong quá trình phân tích hết sức quan trọng, nếu không sẽ khó tránh khỏi những sai lầm về luận giải thời gian tạo quặng. Từ khâu lựa chọn mẫu ngoài thực địa cho tới khi thực hiện các quá trình tách mẫu cũng như phân tích hoá học nhằm tách thuần khiết đồng vị Rb - Sr là việc làm hết sức cần trọng. Cần phân biệt các khoáng vật chứa đồng vị Rb, Sr liệu có sinh thành cùng giai đoạn tạo khoáng hay không. Câu trả lời này hiện tại gây khó khăn cho các nhà khoa học, vì sự phức tạp của quá trình tiến hóa vỏ Trái Đất, nhiều giai đoạn tạo khoáng khác nhau đan xen gây khó khăn cho công việc này.

### 3.2. Phương pháp Re - Os

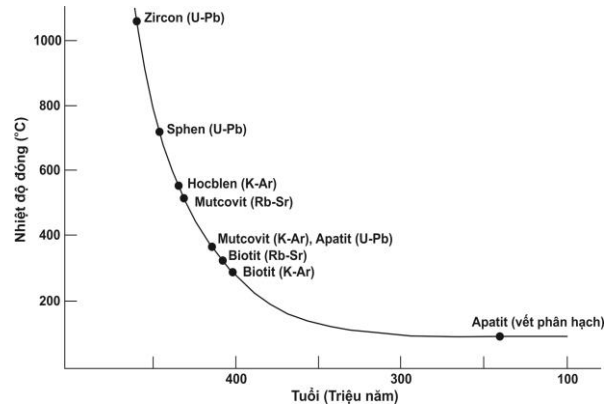
Hàm lượng Re của molibdenit từng được xác định bởi Riley (1967), Hirt và nnk. (1963). Độ tập trung Re công bố gần đây (thay đổi 2,0÷230 ppm) với một giá trị trung bình khoảng 42 ppm cho 19 mẫu. Mặt khác, hàm lượng Os của khoáng vật này ít hơn 0,2 ppm và chủ yếu là do xuất hiện của phóng xạ  $^{187}\text{Os}$  hình thành bởi phân rã tại chỗ của  $^{187}\text{Re}$ . Cho nên, molibdenit có một tỉ số Re/Os rất cao và

phù hợp cho định tuổi bằng phương pháp Re - Os. Do đó, phương pháp Re - Os ứng dụng định tuổi mỏ mạch nhiệt dịch là một quan tâm đúng đắn và cho kết quả định tuổi khá chính xác mỏ dạng mạch chứa molibdenit. Ngoài ra, khi hàm lượng Os trong molibdenit thấp, việc xác lập tỉ số Re/Os trong đơn khoáng cũng là một thực tế khó khăn. Tuy nhiên, phương pháp Re - Os định tuổi molibdenit và quặng đồng sunfua chứa, Re hoàn toàn đáp ứng yêu cầu cho phân tích các mỏ như vậy thường gặp khó khăn hơn khi định tuổi bằng những phương pháp khác. Về tổng thể, phương pháp Re - Os có độ thành công rất cao do hàm lượng Re trong các mẫu phân tích thường cao, chỉ cần phân tích vi lượng là có thể vẽ được đường đẳng thời và xác định được thời gian tạo quặng. Trong thời gian tới hy vọng sẽ tìm thêm những loại quặng hoá khác chứa Re, Os để xác định tuổi thành tạo của chúng là việc làm hết sức ý nghĩa. Có lẽ một ngày không xa phương pháp định tuổi Re - Os sẽ là một trong những phương pháp chủ đạo đem lại thông tin thiết thực hơn trong công tác nghiên cứu khoáng sản.

### 3.3. Phương pháp Ar - Ar

Những mỏ chứa mica và fenspat có thể được định tuổi bởi phương pháp  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  và  $^{87}\text{Rb} - ^{86}\text{Sr}$ , nhưng chỉ với điều kiện là những khoáng vật đó có thể chỉ ra khoáng vật định tuổi có thời gian thành tạo đồng thời với thời gian tạo khoáng. Một giả định quy ước cơ sở cho phương pháp  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  rằng mẫu không chứa Ar tại thời điểm hình thành và không mất bất kỳ Ar nào về sau bởi sự khuếch tán. Trong những hệ địa chất cụ thể, việc thoả mãn tất cả những điều đó ít nhiều bị hạn chế bởi những sự kiện kiến sinh, hậu magma. Hơn thế nữa, trong khu vực có nhiều canxit (carbonat sinh sau) từ kinh nghiệm của các nhà phân tích thấy rằng, phương pháp Ar - Ar cũng gặp những khó khăn khi định tuổi khoáng hoá vì bột cacbonat có ảnh hưởng đến kết quả tính toán.

Phương pháp  $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$  có ưu điểm là khả năng áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu các thành tạo quặng hoá, nhưng kết quả có đại diện cho tuổi thành tạo của quặng hoá hay không vẫn là câu hỏi vẫn đang còn nhiều tranh cãi. Hệ đồng vị Ar - Ar nhiệt độ đóng dao động từ  $150 \div 350^\circ\text{C}$  (Hình 7), chính vì thế những pha nhiệt kiến sinh và những hoạt động của các giai đoạn tạo khoáng về sau với nhiệt độ lớn hơn  $350^\circ\text{C}$  có thể ghi nhận lên các khoáng vật mica hay felspats. Vì vậy, để luận giải



Hình 7. Biểu đồ liên hệ giữa tuổi khoáng vật và nhiệt độ đóng của chúng trong đá syenit Glen Dessary, Scotland (theo van Breemen và nnk, 1979).

tuổi thành tạo khoáng hoá mang tính đại diện cần phải kết hợp với nhiều phương pháp định tuổi khác sẽ cho phép tổng quan hơn và suy luận một cách chính xác hơn về tuổi thành tạo của quặng hoá.

Cần có một cách nhìn và nhận định khách quan là không tồn tại một phương pháp định tuổi tuyệt đối nào tối ưu cho tất cả các trường hợp trong nghiên cứu địa chất và định tuổi khoáng hóa. Việc lựa chọn hệ đồng vị nào để định tuổi khoáng hóa là hoàn toàn phụ thuộc vào kinh nghiệm và chuyên môn của nhà địa chất. Trong những trường hợp khó xác định tuổi tạo khoáng, thường phải kết hợp nhiều phương pháp định tuổi khác nhau nhằm đem lại kết quả toàn diện nhất về thời gian tạo khoáng.

## 4. Kết luận

Trên cơ sở tổng quan về các phương pháp định tuổi khoáng hoá bằng hệ đồng vị Rb - Sr, Re - Os và Ar - Ar, nguyên lý cơ bản cũng như ưu, nhược điểm của chúng, kết quả cho thấy:

Về tổng thể, các phương pháp định tuổi khoáng hóa sử dụng các cặp đồng vị khác nhau đã được ứng dụng rất rộng rãi trong nghiên cứu khoáng sản như việc xác định nguồn gốc quặng, nguồn vật chất tạo quặng cũng như tuổi thành tạo và hành vi của từng loại quặng khác nhau. Tuy nhiên, đối với mỗi phương pháp định tuổi cụ thể đều có những điểm mạnh và điểm hạn chế riêng.

Phương pháp Rb - Sr định tuổi có khả năng áp dụng thành công với các thành tạo khoáng hóa sunfua liên quan đến các đá magma axit và trung tính, trong một số trường hợp khi các thành tạo khoáng hóa chứa ít hoặc không chứa đồng vị trên thì phương pháp được áp dụng gián tiếp cho các



khoáng vật cộng sinh với khoáng vật quặng. Tuy nhiên, nhiệt độ đóng của các khoáng vật định tuổi bằng hệ đồng vị Rb - Sr thường thấp nên chúng bị ảnh hưởng của các giai đoạn kiến tạo xảy ra sau và thường ít khi thỏa mãn điều kiện là một hệ kín.

Phương pháp Re - Os định tuổi thể hiện sự thành công đáng kể khi áp dụng cho các mỏ nhiệt dịch, đặc biệt kết quả định tuổi khá chính xác đối với các mỏ dạng mạch chứa molibdenit. Hạn chế của phương pháp là khi hàm lượng Os trong molibdenit thấp, việc xác lập tỉ số Re/Os trong đơn khoáng cũng là một thực tế khó khăn. Hệ đồng vị Ar - Ar cho định tuổi khoáng hóa thường sử dụng các khoáng vật mica hay feldspat, đây là những khoáng vật có nhiệt độ đóng dao động 150÷350°C, những giai đoạn nhiệt kiến sinh về sau có nhiệt độ lớn hơn 350°C thường ghi đè lên những khoáng vật này. Do vậy, khi lựa chọn khoáng vật định tuổi bằng phương pháp Ar - Ar phải hết sức thận trọng, để kết quả được đại diện có thể sử dụng phối hợp các phương pháp định tuổi và áp dụng cho nhiều khoáng vật khác nhau.

Vấn đề địa chất phức tạp, khoáng hóa thường chịu sự ảnh hưởng của các giai đoạn kiến tạo, hoạt động magma, biến chất về sau, điều này dẫn đến khó khăn cho công tác chọn mẫu và định tuổi khoáng hóa. Bài báo giúp người đọc có cái nhìn tổng quan hơn và lựa chọn phương pháp phân tích hợp lý hơn. Trên cơ sở tổng hợp các nghiên cứu trên có thể cho thấy, khi xác định thời gian tạo khoáng cần lựa chọn phương pháp phân tích hợp lý để tránh lãng phí về thời gian và vật chất.

### Đóng góp của tác giả

Tác giả thực hiện nghiên cứu tổng quan, tổng hợp dữ liệu và xây dựng bản thảo, cũng như luận giải, phân tích và đánh giá vấn đề thảo luận. Tác giả đã thực hiện tất cả những chỉnh sửa quan trọng.

### Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành tại Bộ môn Tìm kiếm - Thăm dò, Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất với sự trao đổi, góp ý của các bạn đồng nghiệp, đặc biệt sự cung cấp số liệu và sự trao đổi hết sức quý báu từ PGS.TS Phạm Trung Hiếu.

### Tài liệu tham khảo

Anders, E., (1962). Meteorite ages. Reviews of

*Modern Physics*, 34, 287 - 325.

Clark, A. H. (1970). Potassium - argon age and regional relationships of the Panasqueira tin - tungsten mineralization. *Servies Geologicos de Portugal, Comunicayies*, 54, 243 - 261.

Degao, Z., Anthony, E. W. J., Jiajun, L., David, S., Chao, L., Xiao, W. H., Liang, Q., Donghang, G. (2019). Evaluating the Use of the Molybdenite Re - Os Chronometer in Dating Gold Mineralization: Evidence from the Haigou Deposit, Northeastern China. *Economic Geology*, 114(5), 897 - 915.

Faure, G. (1986). Principles of isotope geology. Second edition. *Wiley*. United States, 589 pages.

Gramlich, J. W., Murphy, T. J., Garner, E. L., Shields, W. R. (1973). Absolute isotopic abundance ratio and atomic weight of a reference sample of rhenium. *Journal of Research of the National Bureau of Standards. Section A, Physics and Chemistry*, 77A(6), 691 - 698.

Grant, N. K., Bliss, M. C. (1983). Strontium isotope and rare earth element variations in minerals from the Elmwood - Gordonsville mines. central Tennessee. In *Proc. Interna. Mississippi Valley - type Pb - Zn deposits. Rolla. Missouri. 1982 - Proc. Vol.. G. Kisman Grant, W. P. Pratt and J. W. Koenig (eds.)*. 206 - 210. Rolla. Missouri: Univ. Missouri Press.

Herr, W., Hoffmeister, W., Hirt, B., Geiss, J., Houtermans, F. G. (1961). Versuch zur Datierung von Eisenmeteoriten nach der Rhenium - Osmium Methode. *Z. Naturforsch.*, 16a, 1053.

Hirt, B., Herr, W., Hoffmeister, W. (1963). Age determinations by the rhenium - osmium method. In *International Atomic Energy Agency, Radioactive Dating: Proceedings of the Symposium on Radioactive Dating*, Athens, 19 - 23 November 1962, 35 - 44.

Lanphere, M. A. (1988). High - resolution  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  chronology of Oligocene volcanic rocks, San Juan Mountains, Colorado. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 1425 - 1434.

Lin, L., Chen, R., Pang, Z., Chen, H., Xue, J., Jia, H., (2020). Sulfide Rb - Sr, Re - Os and In Situ S Isotopic Constraints on Two Mineralization

- Events at the Large Hongnipo Cu Deposit, SW China. *Minerals*, 10(5), 414.
- Nguyễn Đình Luyện, Phạm Trung Hiếu, Đỗ Văn Nhuận, Trần Ngọc Thai, Lê Thị Thu và Hoàng Thị Thoa. (2020). Khai quật về phương pháp định tuổi đồng vị U - Pb trong cassiterit. Áp dụng xác định tuổi khoáng hoa Sn - W mỏ Lũng Mườì khu vực Pia Oắc, Cao Bằng. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 61(5), 1 - 10.
- Nguyễn Trung Chi. (1999). *Thạch học các granitoid kiểm ở tây bắc Việt Nam*. Tóm tắt Luận án Tiến sỹ, Thư viện Quốc gia, Hà Nội. 30 trang.
- Ohmoto, H. (1986). Stable isotope geochemistry of ore deposits. In *Reviews in Mineralogy* 16 (Isotopes), 491 - 559. Blacksburg, Virginia: Min. Soc. Am.
- Peng, J., Zhou, M. F., Hu, R., Shen, N., Yuan, S., Bi, X., Du, A., Qu, W. (2006). Precise molybdenite Re - Os and mica Ar - Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China. *Miner Deposita*, 41, 661 - 669.
- Phạm Trung Hiếu (2010). Tuổi thành tạo của khoáng hoá molibden Ô Quy Hồ Tây Bắc Việt Nam và ý nghĩa địa chất. *Tạp chí các khoa học và Trái đất*, 32(2). 199 - 204.
- Riley, G. (1967). Rhenium concentrations in Australian molybdenites by stable isotope dilution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, 1489 - 1498.
- Ruiz, J. (1983). *Geochemistry of fluorite mineralization and associated rocks from northern Mexico*. Doctor thesis, Ann Arbor: University of Michigan. 202 p.
- Ruiz, J., Jones, L., Kelly, W. C. (1984). Rubidium - Strontium dating of ore deposits hosted by Rb - rich rocks, using calcite and other common Sr - bearing minerals. *Geology*, 12, 259 - 262.
- Ruiz, J., Kelly, W. C., Kaiser, C. J. (1985). Strontium isotopic evidence for the origin of barites and sulfides from the Mississippi Valley - type ore deposits in southeast Missouri - a discussion. *Economic Geology*, 80 773 - 778.
- Schermerhorn, L. J. G. (1981). *Project Iberogranite Report I: International Union of Geological Sciences*. p5.
- Stein, H. J., Sundblad, K., Markey, R. J., Morgan, J. W., Motuza, G. (1998). Re - Os ages for Archean molybdenite and Pyrite, Kuittila - Kivisuo, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting. *Mineralium Deposita*, 33, 329 - 345.
- Tran Tuan Anh, Tran Trong Hoa, Pham Thi Dung. (2002). Granites of the Yeyensun complex and their significance in tectonic interpretation of the early Cenozoic stage in West Bacbo. *Journal of Geology (Hanoi), Series B(19-20)*, 43 - 53.
- Van Breemen, O., Aftalion, M., Pankhurst, R. J. and Richardson, S. W. (1979). Age of the Glen Dessary Syenite, Inverness - shire: diachronous Palaeozoic metamorphism Across the Great Glen. *Scott. J. Geol.*, 15, 49 - 62.
- Watts, D. R. (1981), Paleomagnetism of the Fond du Lac Formation and the Eileen and Middle River Sections with implications for Keweenawan tectonics and the Grenville problem. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18. 829 - 841.