



## Journal of Mining and Earth Sciences

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



# Geological setting, lead-zinc mineralization characteristics and its potential prospects in the Na Bop - Pu Sap area, Cho Don, Northeastern Vietnam



Hung The Khuong<sup>1,\*</sup>, Dac Xuan Ngo<sup>2</sup>, Toan Thi Ta<sup>1</sup>, Duong Thuy Thi Phan<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> The Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 25<sup>th</sup> Feb. 2024

Revised 12<sup>th</sup> May 2024

Accepted 21<sup>st</sup> May 2024

#### Keywords:

Cho Don,

Lead-zinc potential prospects,

Na Bop-Pu Sap area,

Northeastern Vietnam,

Ore characteristics.

### ABSTRACT

*The Lo Gam structural zone is recognized as a crucial area for the occurrence of lead-zinc deposits in Northeast Vietnam, encompassing the distinguished territories of Cho Dien and Cho Don. Specifically, within the Cho Don area, the Na Bop-Pu Sap area emerges as particularly noteworthy owing to the considerable scale and quality of its lead-zinc ore deposits. In order to comprehensively investigate the geological attributes and lead-zinc mineralization phenomena prevalent in Na Bop-Pu Sap, a suite of analytical techniques including petrographic analyses, mineralogical examinations, scanning electron microscopy (SEM), and ICP-MS were employed. Furthermore, stable isotope investigations and single mineral sphalerite analyses were conducted to assess the origin of metal constituents and the physicochemical conditions conducive to ore genesis. The Na Bop-Pu Sap area is under the influence of the NW-SE fault system, with the ore structure predominantly manifesting as bands and veins aligned parallel to the foliations of hosted rock. This configuration suggests a close association between the formation of lead-zinc ore and the foliation processes occurring within the shear zones. The assemblage of ore minerals within the region primarily comprises galena, sphalerite, pyrite, pyrrhotite, and arsenopyrite. Integration of S and Pb isotopic analyses alongside single mineral sphalerite assessments reveals that the ore-forming solutions emanate from both magmatic activity and sedimentary sources, with lead-zinc ore deposition occurring at temperatures ranging from low to medium. Projections suggest that the Na Bop-Pu Sap mining area may exhibit relative degrees of erosion extending to depths of approximately 600 meters below the existing terrain surface. This comprehensive examination of the ore characteristics in the Na Bop-Pu Sap mine area yields invaluable insights, thereby advancing our understanding of the potential for deep-seated lead-zinc mineral resources within the Northeastern Vietnam.*

Copyright © 2024 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.2024.65(3).02



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

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



# Bối cảnh địa chất, đặc điểm quặng hóa và triển vọng chì-kẽm khu vực Nà Bốp-Pù Sáp, Chợ Đồn, Đông Bắc Việt Nam

Khuông Thế Hùng<sup>1,\*</sup>, Ngô Xuân Đắc<sup>2</sup>, Tạ Thị Toán<sup>1</sup>, Phan Thị Thùy Dương<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 25/02/2024

Sửa xong 12/5/2024

Chấp nhận đăng 21/5/2024

Từ khóa:

Chợ Đồn,

Đặc điểm quặng hóa,

Đông Bắc Việt Nam,

Mỏ Nà Bốp-Pù Sáp,

Triển vọng chì-kẽm.

### TÓM TẮT

Đới cấu trúc Lô Gâm được xem như một trong những khu vực quan trọng về khoáng hóa chì-kẽm ở vùng Đông Bắc Việt Nam với 2 vùng nổi tiếng, đó là Chợ Đồn và Chợ Đồn. Trong vùng Chợ Đồn, khu vực Nà Bốp-Pù Sáp được xem là một trong những khu vực có quy mô và chất lượng quặng chì-kẽm đáng được quan tâm. Để nghiên cứu đặc điểm địa chất, quặng hóa chì-kẽm Nà Bốp-Pù Sáp, các phân tích thạch học, khoáng tướng, hiển vi điện tử quét (SEM) và ICP-MS được thực hiện. Ngoài ra, các nghiên cứu đồng vị bền và phân tích đơn khoáng sphalerit cũng được tổng hợp phục vụ đánh giá nguồn kim loại và điều kiện hóa lý tạo quặng. Khu vực Nà Bốp-Pù Sáp được khổng chế bởi hệ thống đứt gãy Tây Bắc - Đông Nam (TB-ĐN). Cấu tạo quặng dạng dải và mạch song song với phiến đá vây quanh và phát triển chủ yếu theo ranh giới giữa các phiến cho thấy quá trình thành tạo quặng chì-kẽm liên quan chặt chẽ đến quá trình ép trượt của đới trượt trong khu vực. Tổ hợp các khoáng vật quặng trong khu vực chủ yếu gồm galenit, sphalerit, pyrit, pyrotin, arsenopyrit. Kết quả tổng hợp tài liệu đồng vị S, Pb và phân tích đơn khoáng sphalerit cho thấy nguồn dung dịch tạo quặng đến từ hoạt động magma và đá trầm tích, với nhiệt độ tạo quặng Pb-Zn thuộc nhiệt độ thấp đến trung bình. Mức độ bóc mòn tương đối ở khu mỏ Nà Bốp-Pù Sáp dự kiến có thể tồn tại đến độ sâu khoảng 600 m so với bề mặt địa hình hiện tại. Nghiên cứu đặc điểm quặng hóa mỏ Nà Bốp-Pù Sáp cung cấp thông tin giá trị và thúc đẩy sự hiểu biết hơn về triển vọng khoáng sản chì-kẽm ẩn sâu ở vùng Đông Bắc Việt Nam.

© 2024 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

\*Tác giả liên hệ

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

DOI: 10.46326/JMES.2024.65(3).02

## 1. Mở đầu

Mỗi một kiểu mỏ hoặc nhóm kiểu mỏ tương đồng được nhận dạng bởi đặc điểm địa chất-quặng hóa. Do đó, nghiên cứu đặc điểm địa chất-quặng hóa cho phép xác lập mô hình nguồn gốc mỏ. Mô hình nguồn gốc mỏ quặng, như một kiểu mô hình thông thường chúng được biểu đồ hóa để

giải thích sự xuất hiện, cấu trúc và phân bố quặng trong một mỏ khoáng. Điều này dựa trên tổng hợp thông tin về cấu trúc và môi trường thạch học của mỏ quặng, hình thái thân quặng, sự biến đổi nhiệt độ và tính phân đới, nguồn gốc vật liệu và dung dịch tạo quặng, tuổi đá và quy luật hình thành (Misra, 2000; Pirajno, 2009; Khuong và nnk., 2023b). Áp dụng kiến thức chi tiết từ nghiên cứu về mô hình mỏ quặng đặc trưng, ta có thể sử dụng nó để tìm kiếm mỏ quặng mới, xác định loại khoáng sản cụ thể cần tìm, dự báo đặc điểm địa chất và quy mô của mỏ, lập kế hoạch đầu tư và chiến lược tìm kiếm mỏ khoáng sản cụ thể, đặc biệt là những mỏ ẩn. Một mô hình mỏ khoáng hoàn chỉnh có thể chỉ ra các đặc điểm từ phần đỉnh đến phần đáy của mỏ (như biến đổi nhiệt dịch, cấu trúc-kiến tạo, sự phân tán các nguyên tố chỉ thị và nhiều yếu tố khác), từ đó cho phép xác lập các dấu hiệu tìm kiếm và dự đoán khả năng tồn tại quặng hóa dưới sâu. Những hiểu biết này là cơ sở lý luận đáng tin cậy cho việc nghiên cứu các kiểu mỏ cũng như cấu trúc khổng lồ quặng hóa khu vực.

Quặng chì-kẽm ở Việt Nam tập trung nhiều nhất trong các cấu trúc địa chất Paleozoi vùng Đông Bắc Bộ, đặc biệt là trong cấu trúc Lô Gâm hoặc trên ranh giới giữa cấu trúc Lô Gâm và cấu trúc Phú Ngũ, mà về mặt kiến tạo thuộc đai uốn nếp rìa khối Bắc Việt Nam-Nam Trung Hoa (Trần và nnk., 2009; Đỗ và nnk., 2005; 2010; Trần và nnk., 2004; 2010). Trong các cấu trúc này, các thành tạo địa chất chứa khoáng hoá chì-kẽm là các hệ tầng trầm tích carbonat, lục nguyên-carbonat tuổi Paleozoi sớm-trung với hàng chục tụ khoáng chì-kẽm có quy mô mỏ hoặc điểm quặng phân bố trong 2 vùng quặng chủ yếu được gọi là vùng quặng Chợ Điền và Chợ Đồn. Trong đó, các mỏ Nà Bốp-Pù Sáp, Lũng Vàng, Ba Bờ, Nà Tùm thuộc về vùng quặng Chợ Đồn.

Theo một số quan điểm trước đây, chì-kẽm khu vực Chợ Đồn liên quan với các đá granit phức hệ Phia Bioc (Nguyễn, 1982; Nguyễn và nnk., 2010). Trên cơ sở nghiên cứu thạch địa hóa, các thành tạo granit phức hệ Phia Bioc được xếp vào nhóm granitoid tạo núi, thuộc loại granitoid va chạm lục địa (CCG) (Hoàng và Dương, 2004), hoặc thậm chí được gắn với hoạt động magma liên quan với plume manti (Nguyễn và nnk., 2002; Trần và nnk., 2011). Tuy nhiên, một số nghiên cứu gần đây lại cho rằng quặng chì-kẽm mỏ Nà Bốp-Pù Sáp có thể được thành tạo liên quan nguồn gốc với các đá

granit ở dưới sâu tuổi cổ hơn phức hệ Phia Bioc (Trần và nnk., 2010; Khuong và nnk., 2023a). Chính vì vậy, việc nghiên cứu chi tiết và toàn diện đặc điểm quặng hóa chì-kẽm trong khu vực góp phần làm sáng tỏ nguồn gốc và triển vọng khoáng sản ẩn, sâu là cần thiết.

Nghiên cứu lựa chọn khu vực Nà Bốp-Pù Sáp như một khu vực chuẩn cho việc nghiên cứu đặc điểm quặng hóa (tập trung quặng sunfua), mô hình nguồn gốc mỏ và dự báo triển vọng khoáng sản dưới sâu, từ đó định hướng cho công tác tìm kiếm, thăm dò khoáng sản chì-kẽm ẩn, sâu trong khu vực Chợ Đồn.

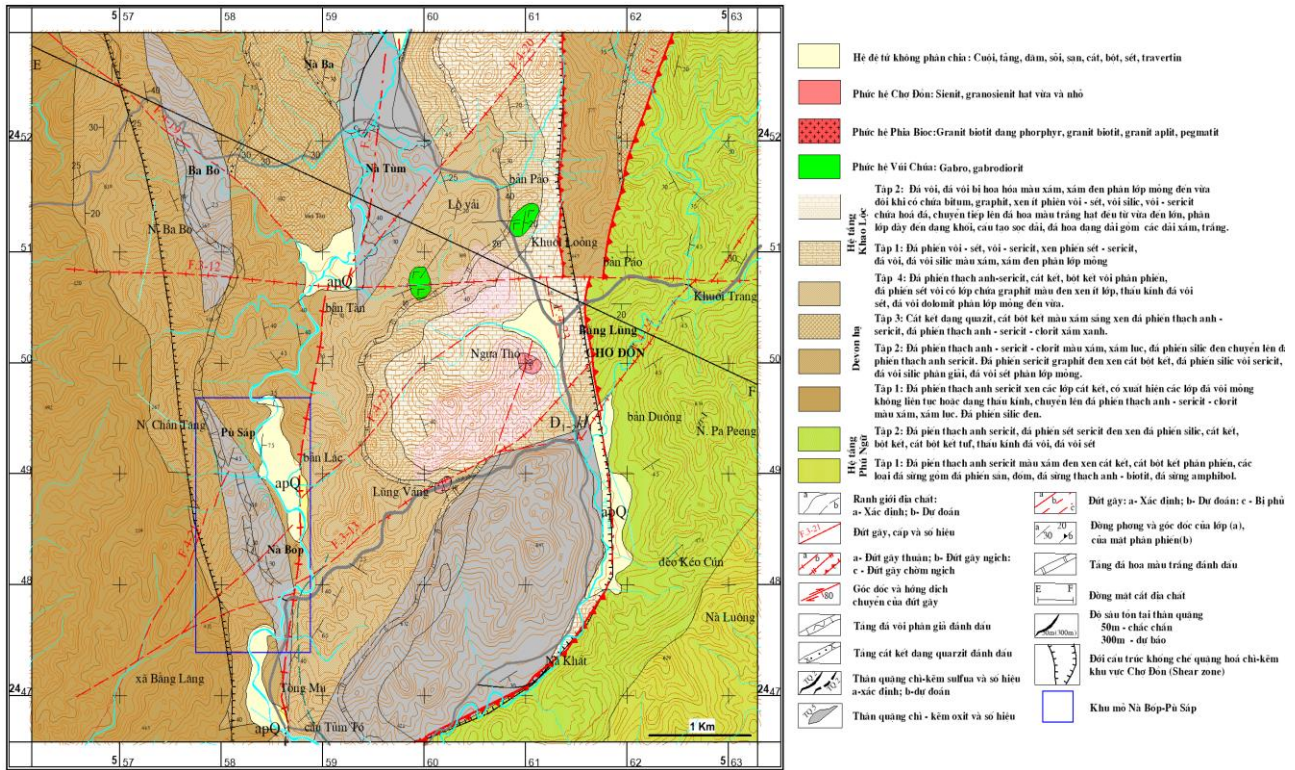
## 2. Sơ lược về bối cảnh địa chất khu vực Chợ Đồn và khu mỏ Nà Bốp-Pù Sáp

Khu vực Chợ Đồn nằm về phía tây nam tỉnh Bắc Kạn, mỏ Nà Bốp-Pù Sáp thuộc địa phận xã Bằng Lăng, huyện Chợ Đồn, cách thị trấn Bằng Lũng về đông nam từ 3÷3,5 km (Hình 1).

Theo Nguyễn và nnk. (1974), Tăng và nnk. (2016), khu vực Chợ Đồn nói chung, mỏ Nà Bốp-Pù Sáp nói riêng chủ yếu bao gồm trầm tích lục nguyên xen carbonat thuộc phân hệ tầng dưới, hệ tầng Cốc Xô ( $D_1-D_2e\ Cx_1$ ). Các thành tạo trầm tích có phương kéo dài gần ĐB-TN, cắm về đông và Đông Nam với góc dốc thay đổi từ  $25\div 45^\circ$ .

Các thành tạo của hệ tầng Cốc Xô phân thành 2 tập. Tập 1 ( $D_1-D_2e\ Cx_1^1$ ) được phát triển ở phía tây của Nà Bốp với thành phần chủ yếu là đá phiến thạch anh, thạch anh-sericit. Tập này có phương kéo dài gần BN, cắm về đông, ít chứa các thân quặng chì-kẽm. Tập 2 ( $D_1-D_2e\ Cx_1^2$ ) chiếm hầu hết diện tích nghiên cứu, bị phân cắt bởi nhiều hệ thống đứt gãy. Tập 2 gồm nhiều lớp đá vôi bị biến đổi và thay đổi theo thành phần thạch học từ dưới lên trên, gồm 8 lớp đá. Lớp 1 đến lớp 8 có thành phần và cấu trúc khác nhau, bao gồm đá phiến thạch anh, đá vôi, thạch anh-sericit và khoáng hóa Pb, Zn.

Khu vực nghiên cứu có hai hệ thống đứt gãy gồm TB-ĐN và ĐB-TN. Hệ thống đứt gãy TB-ĐN là hệ thống đứt gãy lớn, cắt qua các tập đá, tạo thành khối riêng biệt. Đứt gãy xuất hiện trong cấu trúc đá vôi và tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành các mạch Pb, Zn. Hệ thống đứt gãy ĐB-TN: phát triển mạnh mẽ, bám sát đến toàn bộ cấu trúc mỏ. Hệ thống này làm dịch chuyển và phức tạp hóa cấu trúc mỏ và thân quặng.



Hình 1. Sơ đồ địa chất khu vực Chợ Đồn, Bắc Kạn và vị trí mỏ Nà Bốp-Pù Sáp (Nguyễn và nnk., 1974; Tăng và nnk., 2016).

Các thành tạo magma chỉ xuất lộ một số chỏm đá syenit, granodiorit thuộc phức hệ Chợ Đồn ( $\xi K_2-Ecd$ ), các đá bị biến đổi mạnh.

Nhìn chung, khu mỏ Nà Bốp-Pù Sáp được khống chế bởi 2 hệ thống đứt gãy chính. Hệ thống đứt gãy TB-ĐN và ĐB-TN tạo điều kiện cho việc hình thành các mạch Pb, Zn. Các hệ thống đứt gãy khác gây dịch chuyển và tạo cấu trúc phức tạp cho mỏ.

**3. Thu thập mẫu và phương pháp nghiên cứu**

**3.1. Thu thập mẫu**

Tổng 15 mẫu lát mỏng, 20 mẫu mài láng và 05 mẫu SEM được thu thập và phân tích ở mỏ Nà Bốp-Pù Sáp. Thêm vào đó, 06 mẫu quặng chì-kẽm được thu thập tại moong khai thác của mỏ Ba Bò và Nà Tùm để phân tích đánh giá độ sâu bóc mòn thân quặng, trong đó khu mỏ Nà Tùm lấy 02 mẫu quặng sunfua, khu Ba Bò 04 mẫu quặng sunfua. Ngoài ra, các số liệu nghiên cứu trước cũng được tổng hợp, tính toán và xử lý phục vụ cho việc nghiên cứu đặc điểm quặng hóa chì-kẽm khu mỏ Nà Bốp-Pù Sáp.

**3.2. Phương pháp nghiên cứu và tổng hợp tài liệu**

Trên cơ sở các công bố về quặng hóa Pb-Zn khu vực Chợ Đồn cũng như các kết quả nghiên cứu của chính nhóm tác giả về phân tích đồng vị bền (S, Pb), tất cả được tổng hợp, phân tích góp phần làm sáng tỏ nguồn kim loại quặng.

**3.3. Phương pháp nghiên cứu thành phần vật chất quặng**

**3.3.1. Phân tích thành phần khoáng vật và hóa học quặng**

Để nghiên cứu thành phần khoáng vật và hóa học của quặng chì-kẽm (gồm các nguyên tố chính, nguyên tố hiếm vết và các nguyên tố vi lượng), các mẫu cục được chuẩn bị mài thành các lát mỏng và đánh bóng tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Kính hiển vi (Carl Zeiss - Axio Scop. A1) và kính hiển vi điện tử quét (SEM) kết hợp với phổ X-ray tự phát (EDS) (Quanta 450, Công ty FEI, Hillsboro, Hoa Kỳ) được sử dụng ban đầu giúp xác định, lựa chọn

mẫu và đánh giá khoáng vật quặng một cách tốt nhất có thể.

Các nguyên tố chính, nguyên tố vết và nguyên tố vi lượng của 08 mẫu quặng chì-kẽm được lựa chọn, phân tích bằng phương pháp ICP-MS trên thiết bị Agilent 7700x tại Trung tâm Phân tích và thí nghiệm các nguyên tố phóng xạ, Liên đoàn Địa chất Xạ-Hiếm. Quá trình chuẩn bị mẫu tuân theo Tiêu chuẩn cơ bản của Việt Nam (TCCS 01/XH: 2012). Giới hạn phát hiện cho hầu hết các nguyên tố là một phần tỷ (ppb).

### 3.3.2. Xác định nhiệt độ đồng hóa bao thể từ đơn khoáng sphalerit

Frenzel và nnk. (2016) đã chỉ ra rằng hàm lượng của Ga, Ge, Fe, Mn và In trong đơn khoáng sphalerit được kiểm soát mạnh mẽ bởi nhiệt độ của dung dịch; kết quả xử lý thống kê theo phân tích yếu tố chính (PC) cho thấy, yếu tố chính đầu tiên của tập dữ liệu (PC1\*) có mối tương quan rất chặt với nhiệt độ đồng hóa của các bao thể chất lỏng (T) ( $R^2 = 0.82$ ,  $P < 2 \times 10^{-16}$ ). Mối quan hệ giữa PC1\* và các nguyên tố trong đơn khoáng sphalerit được thể hiện như sau:

$$PC1^* = \ln \left( \frac{C_{Ga}^{0.22} \times C_{Ge}^{0.22}}{C_{Fe}^{0.37} \times C_{Mn}^{0.20} \times C_{In}^{0.11}} \right) \quad (1)$$

Với  $C_{Ga}$ ,  $C_{Ge}$ ,  $C_{Fe}$ ,  $C_{Mn}$ ,  $C_{In}$  lần lượt là hàm lượng Ga (ppm), Ge (ppm), Fe (%), Mn (ppm) và In (ppm) trong đơn khoáng sphalerit.

Công thức biểu diễn mối quan hệ giữa nhiệt độ đồng hóa bao thể (T) và yếu tố chính (PC1\*):

$$T (^{\circ}C) = - (54.4 \pm 7.3) \times PC1^* + (208 \pm 10) \quad (2)$$

## 3.4. Phương pháp dự báo triển vọng quặng chì-kẽm

### 3.4.1. Nghiên cứu cấu trúc địa chất

Địa tầng: Các dung dịch nhiệt dịch mang khoáng hóa sau khi được tách ra từ lò magma di chuyển lên phía trên gặp môi trường thuận lợi sẽ kết tinh và thành tạo các mỏ quặng. Nghiên cứu các đá chứa quặng tại từng khu mỏ sẽ giúp xác định được các tập đá, loại đá có môi trường hóa lý thuận lợi cho quá trình kết tinh quặng hóa của từng khu mỏ. Các tập đá này phải phát triển sâu thì mới tồn tại các thân quặng sâu.

Magma: hầu hết các mỏ nhiệt dịch nói chung và các thành tạo quặng chì-kẽm sulfua nói riêng đều được kết tinh từ các dung dịch nhiệt dịch tách ra từ các thể, lò magma. Việc nghiên cứu mối quan hệ về thành phần, thuộc tính, không gian, thời gian của quặng hóa với các thể magma giúp xác định được nguồn gốc quặng hóa. Mức độ bóc mòn của các thể magma liên quan đến quặng hóa có thể xác định được mức độ bóc mòn của thân quặng và khả năng tồn tại dưới sâu của chúng.

Cấu trúc - kiến tạo: các đứt gãy, đới dập vỡ đóng vai trò là kênh dẫn dung dịch tạo quặng đồng thời cũng là nơi tích tụ, lấp đầy quặng hóa. Các nếp uốn, các kiến trúc vòm nhỏ trong một phức nếp lồi là nơi thuận lợi cho việc tập trung nhiều loại quặng hóa nguồn gốc nhiệt dịch. Các nếp uốn, các vòm nâng nhỏ thường đi kèm với các hệ thống đứt gãy kéo theo bậc II, tạo nên vị trí thuận lợi cho việc tập trung quặng, nhất là phần cánh của nếp uốn, rìa các vòm nâng. Vì vậy, việc nghiên cứu các hệ thống đứt gãy sâu, các hệ thống cộng sinh và các cấu trúc nếp uốn đóng vai trò quan trọng trong công tác nghiên cứu quặng hóa ẩn sâu.

### 3.4.2. Đánh giá theo hình thái kích thước thân quặng và dạng cư trú

Trên cơ sở các tài liệu nghiên cứu về chiều dày, chiều dài theo đường phương, chiều sâu theo hướng dốc của các thân quặng trong hàng trăm mỏ nhiệt dịch xâm nhập wolfram, fluorit, molibden, vàng, đồng, thiếc và uranium trên thế giới; Lir (1984) đã xác lập được mối tương quan giữa chiều dài theo đường phương (l) với chiều sâu theo hướng dốc (h) của các thân quặng nhiệt dịch, tính toán được hệ số (k) của các thông số này theo công thức:

$$k = \frac{h}{l} \quad (3)$$

Theo công thức (3), Lir (1984) đã tính toán hệ số  $k = 0,3$  cho quặng hóa chì-kẽm có dạng mạch. Từ kích thước theo đường phương của các thân quặng chì-kẽm tại khu vực Nà Bống-Pù Sáp cho phép tính toán tương đối độ sâu tồn tại của các thân quặng chì-kẽm. Tuy nhiên, do đặc tính của các thân quặng chì-kẽm thường không kéo dài liên tục, tính ổn định thấp nên để đánh giá chính xác độ sâu tồn tại quặng hóa cần đánh giá tổng thể đới quặng hóa.

### 3.4.3. Đánh giá theo độ sâu bóc mòn

Sự thay đổi điều kiện lắng đọng quặng theo phương thẳng đứng là một trong những nguyên nhân quan trọng nhất dẫn đến việc hình thành các thành tạo khoáng vật quặng có thành phần khác nhau. Một trong những phương pháp đánh giá độ sâu phân bố các thân quặng chì-kẽm là tính toán sự phân bố theo chiều thẳng đứng của các nguyên tố tạo quặng, từ đó tính toán hệ số bóc mòn thân quặng theo công thức đề xuất của Beue và Grigoryan (1975) như sau.

$$K_z = \frac{Pb \times Zn \times Ba}{Co \times Ni \times Sn} \quad (4)$$

Trong đó:  $K_z$  - hệ số bóc mòn; Pb, Zn, Ba, Co, Ni, Sn - hàm lượng các nguyên tố (ppm);  $K_z < 0,1$  dưới đới thành tạo quặng;  $0,1 \leq K_z \leq 10.000$  trong đới thành tạo quặng;  $K_z > 10.000$  trên đới thành tạo quặng. Tuy nhiên, để xác định độ sâu bóc mòn thân quặng ngoài hệ số  $K_z$  người ta sử dụng kết hợp với hệ số K sau.

$$K = \frac{Pb}{Pb + Zn} \quad (5)$$

Theo Beue và Grigoryan (1975) thì mức độ bóc mòn thân quặng ( $K_z$ ) tương quan nghịch với hệ số K này. Kết quả tính toán hệ số bóc mòn của từng khu mỏ có thể xác định được mức độ bóc mòn và khả năng tồn tại quặng hóa.

## 4. Kết quả và thảo luận

### 4.1. Cấu trúc khống chế quặng hóa chì-kẽm

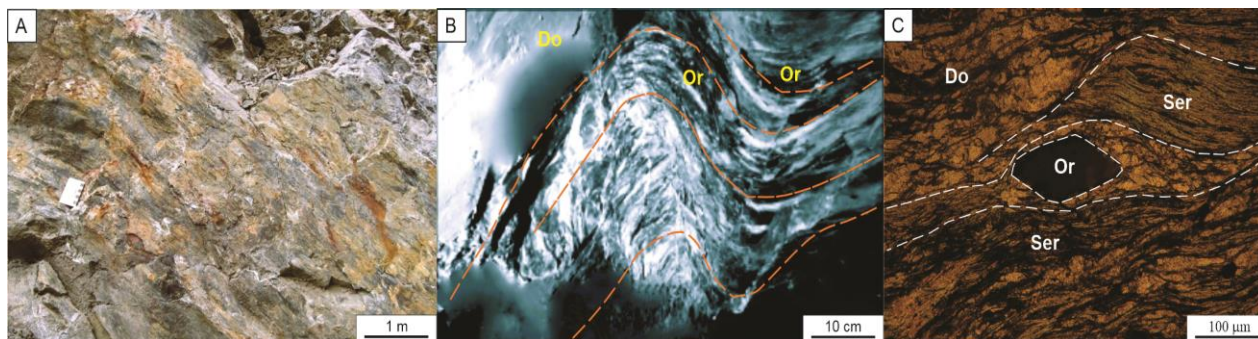
Các thân quặng Pb-Zn mỏ Nà Bộp-Pù Sáp được định vị theo hệ thống đứt gãy phương TB-ĐN, đây là hệ thống đứt gãy lớn, cắt qua các tập đá và tạo điều kiện thuận lợi cho việc hình thành các mạch Pb, Zn (Hình 2A). Việc quan sát thấy quặng chì-kẽm có cấu tạo chính dạng dải, thấu kính và mạch song song với các phiến đá vây quanh, biến dạng giòn dẻo, phát triển chủ yếu theo ranh giới giữa các phiến (Hình 2B, C). Điều này chứng minh quặng có kiến trúc đồng kiến tạo, gợi ý quặng chì-kẽm được hình thành cùng quá trình xiết ép các đá cacbonat tạo khoảng trống để dung dịch nhiệt dịch chứa quặng tiêm nhập vào. Do vậy, các thân quặng chì-kẽm mỏ Nà Bộp-Pù Sáp được nhận định thành tạo có thể liên quan đến quá trình ép trượt của đới đứt gãy phương TB-ĐN trong khu vực.

### 4.2. Hình thái, kích thước thân quặng, cấu tạo quặng

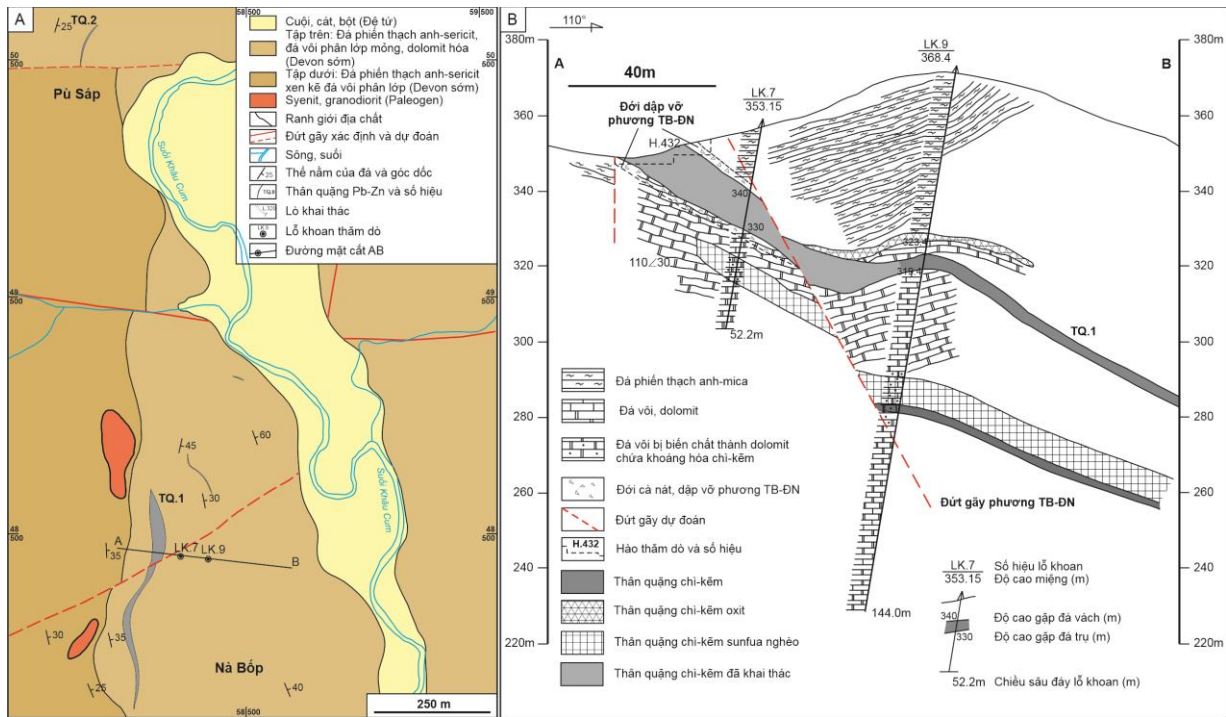
Theo Đào (2011), trong khu vực mỏ, đã xác định được 3 thân quặng (TQ.1, TQ.2, TQ.4) và 8 thân khoáng hoá chì-kẽm (TK.3; TK.5; TK.6; TK.7; TK.8; TK.9; TK.10; TK.11).

Thân quặng 1 (TQ.1): phân bố phía nam khu vực nghiên cứu với chiều dài khoảng 700 m, kéo dài theo phương gần bắc nam, cắm về đông với góc dốc thay đổi từ  $25^\circ$  -  $55^\circ$ . Tiếp xúc chặt chẽ với đá vôi biến đổi, dolomit hoá. Biến đổi nhiệt dịch liên quan đến dolomit hoá, clorit hoá, dolomit hoá mạnh mẽ (Hình 3A, B). Ranh giới thân quặng và đá vây quanh rõ ràng, hàm lượng Pb và Zn trung bình là 7,78 ppm và 7,27 ppm.

Thân quặng 2 (TQ.2): phân bố ở Pù Sáp, khoảng 1000 m phía bắc TQ.1; chiều dài khoảng 100 - 120 m theo phương TB - ĐN (Hình 3A). Thân



Hình 2. Các dạng cấu trúc khống chế quặng Pb-Zn ở khu mỏ Nà Bộp-Pù Sáp: A-Mặt trượt đứt gãy phương TB-ĐN, B-Biến dạng giòn dẻo uốn nếp chứa quặng ở phần đỉnh hoặc vòm nếp uốn (ảnh chụp dưới lò chợ ở cost +320 m), C-Kiến trúc quặng đồng kiến tạo quan sát dưới ảnh lát mỏng. Chữ viết tắt: Do-Dolomit, Or-Quặng Pb-Zn sunfua, Ser-Sericit.



Hình 3. A - Sơ đồ địa chất mỏ chì-kẽm Nà Bốp-Pù Sáp và vị trí đường mặt cắt AB; B - Mặt cắt địa chất theo đường AB và thân quặng chì-kẽm TQ.1 dạng giả tầng (Đào, 2011).

quặng dạng mạch, lấp đầy khe nứt, phát triển trong các hang karst. Biến đổi nhiệt dịch đá vây quanh quặng gồm dolomit hoá, clorit hoá. Kiến trúc quặng đa dạng từ tha hình đến tự hình, thay thế gặm mòn. Hàm lượng Pb và Zn thay đổi, trung bình là 3,78%.

Thân khoáng hoá 3 (TK.3): nằm ở phía bắc, cách TQ.1 khoảng 150 m; chiều dài khoảng 50÷60 m theo phương ĐB-TN. Thân quặng dạng lấp đầy khe nứt, quặng sunfua đã bị phong hoá thành quặng oxit.

Thân quặng 4 (TQ.4): nằm ở phần trung tâm khu vực nghiên cứu, khoảng 400 m phía bắc TQ.1; chiều dài khoảng 50÷60 m theo phương TB-ĐN. Quặng nằm dạng dốc đứng xuyên cắt đá vôi biến đổi và dạng lấp đầy khe nứt.

Thân khoáng hoá 5-11 (TK.5-11): đa dạng về vị trí, hình dạng và biến đổi nhiệt dịch. Các thân khoáng hoá nằm gần chĩnh hợp trong các đá vôi và đá phiến thạch anh-sericit. Hầu hết các thân khoáng cũng chứa các khoáng vật quặng sunfua, phần trên bị phong hoá thành quặng oxit.

Phân tích hóa học: hàm lượng Pb, Zn, Pb+Zn thay đổi đều trong các thân quặng và thân khoáng hoá. Trung bình toàn mỏ, hàm lượng Pb và Zn thuộc loại quặng vừa.

Cấu tạo quặng: trong quá trình nghiên cứu mẫu mài láng tại các thân quặng mỏ Nà Bốp-Pù Sáp, đã được xác định các kiểu cấu tạo kiến trúc quặng như sau:

Cấu tạo dải, thấu kính đặc xít: quặng có cấu tạo chính dạng dải, thấu kính và mạch song song với các phiến đá vây quanh, phát triển chủ yếu theo ranh giới giữa các phiến (Hình 2C). Bao gồm các dải đơn khoáng sphalerit hoặc pyrit có cấu trúc cầu. Kết cấu chủ yếu là các dải được kết tinh xen kẽ, hoặc dải pyrotin trong lớp đá vôi dolomit hạt mịn. Khoáng vật của nhóm này thường có kiến trúc hạt tha hình kích thước lớn, bị cà nát và ép mạnh.

Cấu tạo mạch và mạch xâm tán: đặc trưng cho tất cả các khoáng vật quặng. Mạch xâm tán thường xuất hiện, cho thấy quá trình biến chất và thay thế đá và quặng.

Cấu tạo xâm tán dày, ổ đặc xít: hình thành do biến chất và trao đổi thay thế giữa đá và quặng từ giai đoạn trước.

Cấu tạo keo: các khoáng vật biểu sinh trong đới oxy hóa (goetit) thường có kiến trúc tấm hạt tha hình, hạt nửa tự hình. Quặng thường có kiến trúc tấm hạt, hạt nửa tự hình và thay thế gặm mòn.

Kiến trúc hạt tự hình: đặc trưng cho tinh thể được kết tinh tự do từ chất nóng chảy hoặc dung dịch khí-nước hậu magma. Thường thấy ở các khoáng vật thành tạo sớm như pyrit, arsenopyrit, có hình thoi, vuông vắn, kích thước lớn.

Kiến trúc hạt nửa tự hình: đặc trưng cho các khoáng vật kết tinh chưa hoàn chỉnh, có mặt ranh giới rõ ràng nhưng còn các mặt khác chưa hoàn chỉnh, lấp đầy. Phổ biến ở tất cả các khoáng vật quặng trong mẫu.

Kiến trúc hạt tha hình: dạng tinh thể méo mó, góc cạnh không phát triển. Kết quả của quá trình kết tinh trong dung dịch nhiệt dịch. Phổ biến trong tập mẫu và thường xuất hiện ở nhiều khoáng vật quặng.

### 4.3. Đặc điểm quặng hóa

#### 4.3.1. Thành phần vật chất quặng

\* Khoáng vật quặng

Khoáng vật quặng nguyên sinh: là những khoáng vật phổ biến (>5%) bao gồm galenit, pyrit,

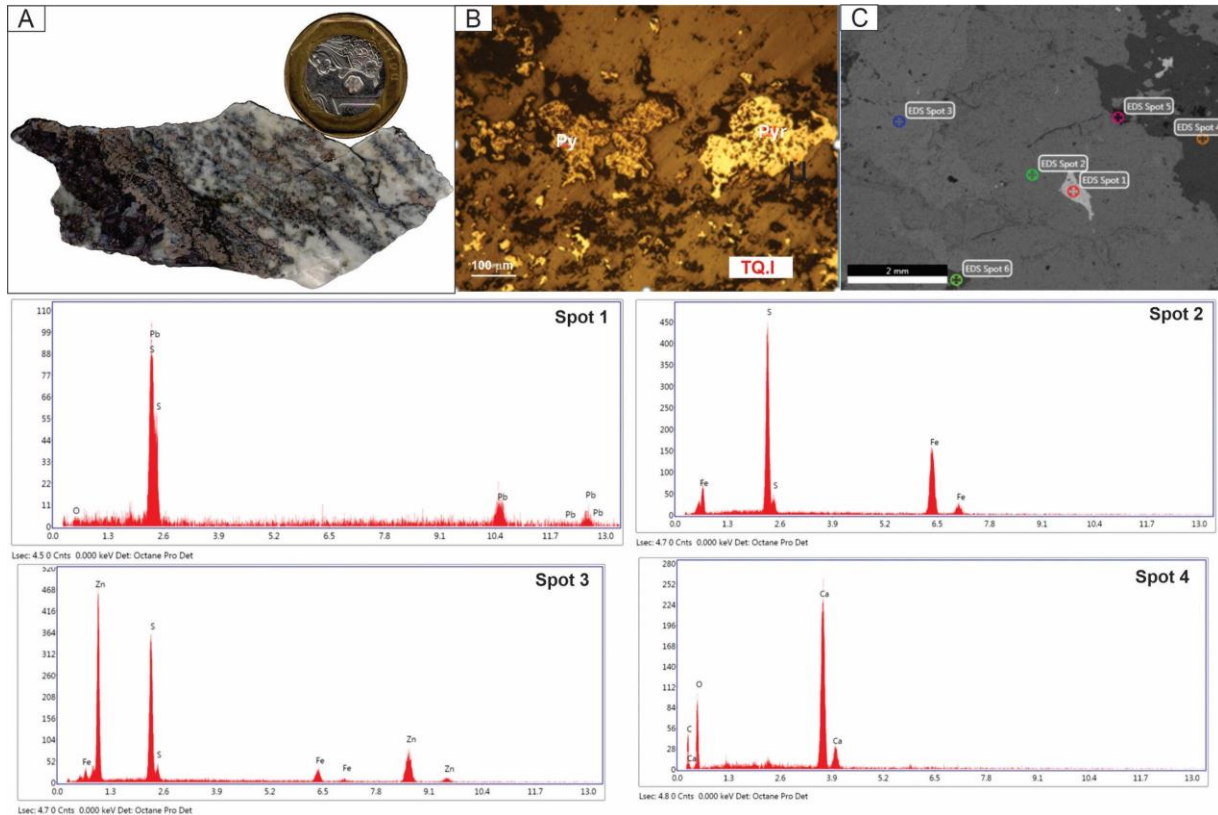
pyrotin, sphalerit; chiếm 1÷5% có arsenopyrit; dưới 1% có Chancopyrit, marcazit, hematit, argentit, tetraedrit, tennantit và casiterit (Hình 4).

Galenit (PbS): là khoáng vật quan trọng về mặt công nghiệp, thường đi kèm với sphalerit, Chancopyrit và pyrit trong mạch thạch anh hoặc đá vôi bị hoa hóa. Galenit có mặt trong hầu hết các mẫu với nhiều dạng khác nhau, chiếm khoảng 20÷30% khoáng vật quặng. Xác định được hai thể hệ galenit, galenit thể hệ I (galenit I) và galenit thể hệ II (galenit II) (Hình 4C).

Sphalerit (ZnS): khoáng vật có trong nhiều mẫu quặng, chiếm tới 25÷30% tổng khối lượng; thường có màu đen, nâu sẫm, nâu xám. Sphalerit có hai thể hệ, đó là sphalerit I và sphalerit II.

Pyrit (FeS<sub>2</sub>): đây là khoáng vật phổ biến trong quặng, chiếm tỷ lệ lớn; có ba loại gồm pyrit I, pyrit II và pyrit III. Pyrit thường bị đập vỡ, cà nát và có tàn dư của khoáng vật phi quặng (Hình 4B).

Arsenopyrit (FeAsS): có mặt với số lượng ít, thường cộng sinh với pyrit và pyrotin. Tinh thể có dạng hình tấm lăng trụ, bán thoi, dạng hạt nhỏ.



Hình 4. Quặng chì-kẽm sunfua thân quặng TQ.1 mỏ Nà Bốp-Pù Sáp: A-Quặng sunfua xâm tán trong đá vôi, B-Khoáng vật pyrit, pyrotin dưới kính khoáng tương, C-Mẫu phân tích SEM thể hiện khoáng vật galenit (Spot 1), pyrit/pyrotin (Spot 2), pyrotin và sphalerit (Spot 3), canxit (Spot 4).



Pyrotin ( $Fe_{x-1}S_x$ ): phổ biến với hai loại pyrotin I và pyrotin II. Pyrotin I thường cộng sinh với arsenopyrit và pyrit, có dạng ổ đặc xít. Pyrotin II thường kết hợp với thạch anh và canxit, nửa tự hình.

Chancopyrit ( $CuFeS_2$ ): có mặt trong một số mẫu, nhưng tỷ lệ không đáng kể. Thường tập trung dạng tha hình hoặc xâm tán không đều trong đá.

\* Khoáng vật thứ sinh: Goetit và hydro goetit phát triển ven rìa hạt pyrit, tạo kiến trúc gặm mòn thay thế. Anglesit, seruxit hình thành ven rìa hạt galenit dưới dạng đường riềm, thường thay thế hoàn toàn.

#### 4.3.2. Đá biến đổi

Các đới khoáng hóa Pb-Zn chủ yếu xuất hiện trong các đới biến đổi nhiệt dịch với mức độ khác nhau.

Hiện tượng biến đổi nhiệt dịch phổ biến bao gồm thạch anh hóa, canxit hóa, dolomit hóa và sericit hoá. Đá biến đổi thường có chiều rộng không ổn định.

Canxit hóa: phổ biến trong các đá vôi bị nứt nẻ, dập vỡ, đặc biệt là gần các mạch quặng có các đới khe nứt. Canxit thường tạo thành các mạch, vi mạch với độ dày từ vài mm đến 20 mm. Các tập hợp canxit thường có dạng hạt ẩn tinh, vi hạt tha hình từ nhỏ đến lớn.

Dolomit hóa: xảy ra mạnh mẽ trong đá vôi bị cà nát, tạo ra kiến trúc hạt tự hình, nửa tự hình, hạt biến tinh, thay thế. Mức độ biến đổi dolomit có thể làm mất dấu vết canxit, hoặc ngược lại, biến đổi thành đá vôi tái kết tinh bị dolomit hoá.

Thạch anh hóa: xảy ra muộn nhất trong các quá trình biến đổi, thường chồng lấn lên các hiện tượng biến đổi khác. Tạo thành các ổ, đám, vi

mạch, mạng mạch thạch anh trên nền canxit, dolomit. Thạch anh có dạng hạt tha hình, lăng trụ nửa tự hình, ít hơn là dạng lăng trụ tự hình.

#### 4.3.3. Nhiệt độ tạo quặng

Nhiệt độ tạo quặng chì-kẽm được xác định từ hàm lượng các nguyên tố trong đơn khoáng sphalerit khu vực Chợ Đồn trình bày ở Bảng 1.

Kết quả tính toán cho thấy nhiệt độ tạo quặng chì-kẽm khu vực Chợ Đồn dao động từ 193<sup>o</sup>C đến 215,8<sup>o</sup>C, số liệu này khá phù hợp với dữ liệu nung nổ bao thể đã công bố trước đây (Đỗ, 2005; Nguyễn, 2010). Điều này chứng tỏ quặng Pb-Zn mỏ Nà Bống-Pù Sáp được thành tạo trong khoảng nhiệt độ thấp đến trung bình.

### 4.4. Nguồn gốc quặng

#### 4.4.1. Nguồn gốc S và Pb trong quặng Pb-Zn

Theo Khuong và nnk. (2023a), kết quả phân tích đồng vị S (Bảng 2) cho thấy giá trị của tổ phần đồng vị  $\delta^{34}S$  tập trung trong khoảng 0,1÷6,8‰, trong đó giá trị cho galenit 0,1÷5,3‰, sphalerit 6,4÷6,8‰, pyrotin 4,1÷5,2‰, các giá trị này có sự biến thiên không lớn, ngụ ý các khoáng vật này đến từ một nguồn tạo quặng. Giá trị đồng vị S của tổ hợp quặng sunfua đều < 10‰, trong đó có 3 giá trị cho galenit < 1,5‰ và tiệm cận 0‰ chứng tỏ quặng hóa sunfua có thể liên quan đến nguồn sâu có thể từ các hoạt động magma khu vực và bị hỗn nhiễm bởi các đá trầm tích biển có thành phần carbonat vây quanh (Pirajno, 2009).

Kết quả phân tích đồng vị Pb (Bảng 3) được biểu diễn trên biểu đồ Zatman và Doe (1981), cho thấy quặng hóa sunfua khu mỏ Nà Bống - Pù Sáp có xu hướng nghiêng về lớp vỏ dưới (Hình 5).

#### 4.4.2. Thời kỳ tạo quặng

Bảng 1. Thành phần các nguyên tố trong đơn khoáng sphalerit (Trần và nnk., 2010) và nhiệt độ thành tạo quặng của các mỏ chì-kẽm Chợ Đồn được tính theo công cụ đo địa nhiệt kế GGIMFis (theo công thức (1) và (2)) (Frenzel và nnk., 2016).

Tên mỏ	Thành phần hóa học các nguyên tố trong đơn khoáng sphalerit (ppm)											PC1*	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>min</sub> (°C)
	Cd	Ga	S	Fe (%)	Zn (%)	In	Ge	Bi	Mn	Cu	Sn			
Ba Bờ	2120	1	333360	8,002	57,933	40	30	80	650	-	-	0,081	214,2	193,0
Lũng Vàng	2040	110	333850	8,889	56,233	770	1	120	980	16530	90	0,057	215,3	194,5
Nà Bống	1680	90	335630	9,546	55,268	450	1	50	5320	1970	360	0,049	215,7	195,0
Nà Tùm	1690	70	334270	7,892	57,423	1190	1	110	660	4650	3620	0,052	215,6	194,8
Pù Sáp	1740	120	336160	10,055	55,176	1440	1	160	1400	1550	250	0,047	215,8	195,1

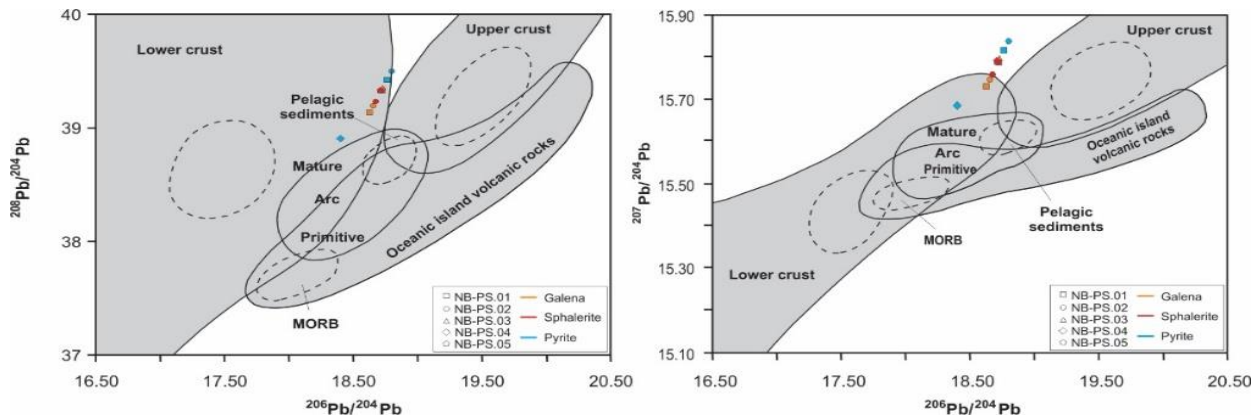
Bảng 2. Kết quả phân tích đồng vị  $\delta^{34}S\%$  (Khuong và nnk, 2023a).

Số hiệu mẫu	Vị trí lấy mẫu	$\delta^{34}SCDT\%$		
		Galenit	Sphalerit	Pyrit
NB-PS.01	TQ.1, lộ trên mặt	4,8	6,4	5,2
NB-PS.02	TQ.1, lộ trên mặt	5,3	6,8	4,6
NB-PS.03	TQ.1, 387 m lò dọc vỉa	4,5	6,7	-
NB-PS.04	TQ.1, 400 m lò dọc vỉa	-	-	5,8
NB-PS.05	TQ.1, 381 m lò dọc vỉa	-	6,4	4,1
NB-PS.06	TQ.2, 324 m lò dọc vỉa	1,3	-	-
NB-PS.07	TQ.2, 302 m lò dọc vỉa	0,1	2,5	-
NB-PS.08	TQ.2, 296 m lò dọc vỉa	0,7	3,2	-

Bảng 3. Kết quả phân tích đồng vị chì (Khuong và nnk, 2023a).

Số hiệu mẫu	Khoáng vật	$^{208}Pb/^{204}Pb$ (*)	$^{207}Pb/^{204}Pb$ (*)	$^{206}Pb/^{204}Pb$ (*)	Tuổi mô hình (Ma)
NB-PS.01	Galenit	39,142	15,730	18,564	510
NB-PS.01	Pyrit	39,425	15,815	18,632	424
NB-PS.01	Sphalerit	39,329	15,787	18,612	586
NB-PS.02	Galenit	39,196	15,746	18,578	531
NB-PS.02	Pyrit	39,501	15,836	18,651	448
NB-PS.02	Sphalerit	39,235	15,758	18,588	547
NB-PS.03	Galenit	39,356	15,794	18,615	598
NB-PS.03	Sphalerit	39,323	15,787	18,606	590
NB-PS.04	Pyrit	38,909	15,685	18,451	503
NB-PS.05	Sphalerit	39,333	15,789	18,605	595

Chú ý: (\*) Một sai số bên ngoài của tỷ lệ đồng vị Pb là 0,1% cho  $^{206}Pb/^{204}Pb$ , 0,15% cho  $^{207}Pb/^{204}Pb$  và 0,2% cho  $^{208}Pb/^{204}Pb$  ở mức tin cậy 2 $\sigma$ .



Hình 5. Biểu đồ biểu diễn giá trị đồng vị chì và bối cảnh thành tạo quặng Pb-Zn mỏ Nà Bống-Pù Sáp (Zartman và Doe, 1981).

Kết quả nghiên cứu cho thấy quặng chì-kẽm khu mỏ Nà Bống-Pù Sáp có đặc điểm của các mỏ nhiệt dịch trong các đá cacbonat. Quá trình hình thành khoáng hóa chì-kẽm được khống chế bởi các đới đứt gãy có biểu hiện biến dạng dẻo dọc theo các khe nứt trong khu vực. Phân tích đồng vị lưu huỳnh và chì đã tiết lộ rằng nguồn vật chất cung cấp lưu huỳnh cho sự hình thành quặng chì-kẽm bắt nguồn từ một nguồn dưới sâu liên quan

đến hoạt động magma tuổi Neoproterozoi đến Cambri ở khu vực Chợ Đồn, kết hợp với các đá trầm tích cacbonat ở vỏ trái đất. Hệ thống đứt gãy phát triển trong vỏ trái đất hoạt động như các kênh dẫn dung dịch nhiệt dịch trong các đá trầm tích Devon sớm. Những đá này bị nóng chảy bởi các dòng chất lỏng magma di chuyển lên, kết hợp với dung dịch quặng và lắng đọng trong các cấu trúc thuận lợi.

Quặng chì-kẽm có cấu tạo phân phối, vi uốn nếp, dòng chảy và khúc dồi; cấu trúc xuyên cắt clorit và pyrit nguồn gốc biến chất; các hạt sphalerit giàu sắt,... Điều này chứng tỏ quặng hóa được hình thành trước biến chất và trước uốn nếp, nghĩa là các giai đoạn kiến tạo về sau làm phức tạp hóa thân quặng.

Các dấu hiệu nứt nẻ do co ngót, cấu tạo dăm đan xen với các lớp hoặc dải pyrit (marcasit) cấu tạo cầu (cấu tạo keo kết tinh và keo biến tinh) bị dập vỡ tạo thành các mảnh dăm,... chứng tỏ do tác động của biến chất nhiệt động cũng như biến chất trao đổi của giai đoạn tạo quặng nhiệt dịch - biến chất trao đổi sau này, loại quặng nhiệt dịch - trầm tích bị thay đổi nhiều hoặc toàn bộ cấu tạo và kiến trúc ban đầu. Ngoài ra, các khoáng vật thường có kiến trúc hạt tự hình (khoáng vật giai đoạn sớm arsenopyrit), nửa tự hình hoặc tha hình, cấu tạo đặc xít, xâm tán dạng ổ đặc xít, xâm tán dày hoặc xâm tán mạng mạch có thể là tổ hợp cộng sinh đặc trưng cho giai đoạn thành đá và biến chất các thân quặng hình thành vào giai đoạn nhiệt dịch - trầm tích trước đó.

Kết quả phân tích ICP-MS các mẫu lấy từ thân quặng TQ.1 cho thấy hàm lượng Pb vượt trội hơn so với Zn. Trái ngược với điều đó, hàm lượng Pb lại thấp hơn so với Zn trong thân quặng TQ.2, như trong báo cáo của Bùi (2010). Điều này ngụ ý quặng hóa được thành tạo trong những điều kiện hóa lý khác nhau, nguyên nhân có thể giải thích do quặng hóa bị ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo về sau gây phức tạp về thành phần, nhằm lẫn về thời gian tạo khoáng. Hơn nữa, dữ liệu nghiên cứu về đồng vị lưu huỳnh và chì cho thấy nguồn gốc của các vật liệu tạo quặng có mối liên hệ chặt chẽ với hoạt động magma xảy ra ở độ sâu lớn hơn là chúng được tách ra từ các đá cacbonat vây quanh thân quặng hoặc quá trình thoát khí dưới đáy biển.

#### **4.5. Mô hình nguồn gốc quặng chì-kẽm mỏ Nà Bốp-Pù Sáp**

Khu mỏ Nà Bốp-Pù Sáp đáng chú ý bởi sự hiện diện của quặng chì-kẽm không chỉ trong các tầng trầm tích chính mà còn phân bố trong các khu vực đứt gãy chứa quặng, điều này cho thấy mối liên hệ giữa các tầng chứa quặng, đứt gãy chứa quặng và thân quặng. Các đặc điểm địa chất của mỏ có nhiều điểm tương đồng với mỏ kiểu MVT, bao gồm bối cảnh kiến tạo, kiểu đá chứa quặng, kiểu biến đổi đá vách và thành phần khoáng vật

(Bảng 4; Tran và nnk., 2010; Nguyễn và nnk., 2010). Tuy nhiên, mỏ Pb-Zn Nà Bốp-Pù Sáp cũng có một số đặc điểm địa chất riêng biệt khác với các loại hình mỏ MVT tiêu biểu, như cấu trúc khổng chế quặng độc đáo, đặc điểm thạch học, mối quan hệ với đá magma, kiến trúc quặng và tuổi mô hình của quặng chì-kẽm và đá vây quanh và nhiều yếu tố khác (Đỗ và nnk., 2010; Phạm và nnk., 2014).

Dựa trên cấu tạo và kiến trúc của quặng chì-kẽm được quan sát ngoài thực địa và nghiên cứu trong phòng thí nghiệm cho thấy quặng Pb-Zn được hình thành giai đoạn đồng kiến tạo, nơi phổ biến các khoáng vật sericit bị ép phiến đi cùng với quặng chì-kẽm (Hình 2C), thấy rằng mỏ chì-kẽm Nà Bốp-Pù Sáp không có các đặc điểm điển hình của mỏ MVT hoặc SEDEX mà chúng có mối liên hệ với kiểu mỏ chì-kẽm chứa trong đới trượt. Quặng hóa thể hiện hai giai đoạn khoáng hóa chồng khác nhau, giai đoạn đồng sinh hình thành các thân quặng chì-kẽm dạng vỉa chính hợp với đá vây quanh, đây là giai đoạn có dáng dấp của mô hình mỏ kiểu SEDEX (Đỗ và nnk., 2005; 2010; Khương và nnk., 2023a). Giai đoạn khoáng hóa sau liên quan đến loại hình nhiệt dịch biến chất trao đổi, dung dịch tạo quặng có khả năng liên quan đến các khối granit dưới sâu như một số nghiên cứu trước đề cập (Trần và nnk., 2004; Nguyễn, 2010).

#### **4.6. Dự báo triển vọng quặng chì-kẽm mỏ Nà Bốp-Pù Sáp**

Quy mô quặng hóa: Đới quặng ở Nà Bốp-Pù Sáp có quy mô khá lớn, phần lộ trên mặt có chiều dài khoảng 2000 m, chiều rộng 350 m (Hình 1). Áp dụng công thức (3), độ sâu đới quặng thường tương quan thuận với quy mô ( $H = 0,3 \times l$  với  $l$  là chiều dài (m) thân quặng hoặc đới quặng), với quan điểm đó thì chiều sâu tồn tại đới quặng trong khu mỏ có thể xuống đến 600 m so với bề mặt địa hình hiện tại. Độ sâu tồn tại quặng hóa này thuộc khoảng độ sâu thành tạo mỏ quặng kiểu mô hình SEDEX, dao động từ 500÷1000 m dưới bề mặt (Andrew, 2015).

Biểu hiện khoáng sản ẩn, sâu: theo kết quả thăm dò của Công ty TNHH Hoàng Nam Bắc Kạn (2023), một số vị trí thân quặng chì-kẽm đã gặp ở độ sâu trên 100 m, chiều sâu gặp quặng lớn nhất trong các công trình khoan là 144,3 m (lỗ khoan LK5-1) ở khu Pù Chạng nằm ngay cạnh khu Nà Bốp (phần kéo dài xuống sâu của đới quặng Pb-Zn ở khu Nà Bốp).

Bảng 4. Bảng so sánh đặc điểm mỏ Nà Bốp-Pù Sáp với mỏ SEDEX và MVT.

Đặc điểm	Mỏ Nà Bốp-Pù Sáp	Mỏ chì-kẽm sunfua dạng khối trong trầm tích (SEDEX)	Mỏ chì-kẽm kiểu bồn trũng Missisipi (MVT)
Trữ lượng và hàm lượng hợp phần có ích ở các mỏ cụ thể	Quặng chì-kẽm 32 nghìn tấn; Pb+Zn từ 6 đến 19%; Cu không có ý nghĩa Phân phối theo hai phương thức của Zn: (Zn + Pb)	Hầu hết > 30 triệu tấn; nhiều mỏ chứa > 100 triệu tấn quặng; Thông thường Cu+Zn+Pb > 10%, Cu < 1%; Phân phối theo hai phương thức của Zn: (Zn + Pb)	Chủ yếu quặng < 1 triệu tấn; Zn + Pb từ 3÷10%, đặc biệt không có Cu Phân phối theo hai phương thức của Zn: (Zn + Pb)
Kim loại được thu hồi hoặc tập trung	Kim loại chính: Pb, Zn Ít hơn: Ag, Cd	Kim loại chính: Zn, Pb (+Cu trong một số mỏ) Ít hơn: Cu, Ag	Kim loại chính: Zn, Pb Ít hơn: Cd, Ag, Ge
Đặc điểm của tổ hợp khoáng vật quặng và đá mạch	Thạch anh + arsenopyrit + pyrotin + galenit + sphalerit + pyrit	Pyrit/pyrotin + sphalerit + galenit ± chancopyrit ± barit.	Sphalerit ± galenit ± fluorit ± barit ± pyrit/marcasit ± cancit/dolomit ± đá phiến silic
Chuỗi đá chứa quặng đặc trưng	Đá vôi, đá dolomit và đá phiến sericit thuộc tập 2 hệ tầng Cốc Xô	Trầm tích biển từ nông đến sâu, tạo thành bởi mảnh vụn và cacbonat, kèm theo các thấu kính mỏng tuft; hình thành thường không liên quan đến trầm tích màu đỏ lục địa và trầm tích muối.	Đá cacbonat nước nông, đá cacbonat dạng nền (đá vôi và đá vôi dạng dolomit); quặng nằm trong đá vôi dạng dolomit hơn là trong đá vôi.
Tuổi đá chứa quặng	Devon sớm	Proterozoi sớm đến Paleozoi muộn; phổ biến tuổi Proterozoi sớm đến muộn	Proterozoi sớm đến Jura, phổ biến trong Paleozoi
Bản chất của khoáng hóa	Khoáng hóa chỉnh hợp với đá vôi, thân khoáng dạng mạch, lấp đầy khe nứt, hang karst, xuyên cắt đá vôi biến đổi	Chỉnh hợp, thấu kính xếp chồng của sunfua dạng khối dạng tầng (đồng sinh) nằm dưới một đới khoáng hóa không đồng nhất (sau tạo đá).	Khoáng hóa dạng giả tầng, từ dạng khối đến xâm tăn, lấp vào các khoảng trống, thường nhất là gắn kết các mảnh dăm của đá hỗn hợp; ít hơn có khoáng hóa dạng thay thế.
Biến đổi nhiệt dịch	Biến đổi thạch anh hóa, calcit hóa, dolomit hóa, sericit hoá và sự dập vỡ ở đá trụ.	Biến đổi đá trụ không đồng đều, trong nhiều trường hợp thay đổi từ mạnh đến không có.	Dolomit hóa (không nhất thiết do dung dịch quặng), silic hóa, tăng độ kết tinh illit.
Phân đới kim loại	Không rõ ràng, không có kiểu phân đới đặc trưng	Cu => Zn => Pb => barit	Không có các kiểu phân đới đặc trưng
Dung dịch tạo quặng	Độ muối trung bình (4.65÷8.00% NaCl), nhiệt độ trung bình (193÷215°C)	Độ muối cao (10÷30% NaCl), nhiệt độ trung bình (100÷300°C)	Độ muối cao (> 15% NaCl), nhiệt độ thấp (thường 100÷150°C)
Khống chế khoáng hóa	Đá cacbonat dạng nền, đứt gãy	Thung lũng-rift, đứt gãy đồng trầm tích, bồn trũng môi trường khử, đá nguồn thích hợp cho kim loại.	Đá cacbonat dạng nền, thân dập vỡ, sự thay đổi tương đá, móng cao và vát nhọn, đứt gãy, bề mặt ranh giới chuyển tiếp đá vôi-đá vôi dạng dolomit.
Mô hình nguồn gốc	Khoáng hóa sau tạo đá	Đồng trầm tích - trầm tích phun khí đến đồng tạo đá từ nước muối bồn trũng	Khoáng hóa sau tạo đá từ nước muối vùng vịnh
Bối cảnh kiến tạo	Chưa rõ ràng	Hầu hết rift nội lục	Đai chòm nghịch rìa lục địa, bể trầm tích nội lục (rìa)

Độ sâu bóc mòn thân quặng: để đánh giá toàn diện về khu vực nghiên cứu, một số thân quặng chì-kẽm thuộc khu vực Chợ Đồn được lựa chọn tính toán. Áp dụng công thức (4) cho phép tính hệ số bóc mòn thân quặng chì-kẽm ( $K_z$ ) (Bảng 5).

Kết quả tính toán cho thấy hệ số  $K_z$  thay đổi từ  $79.10^6$  đến  $599.10^6$  (Nà Tùm),  $38.10^6$  đến  $4090.10^6$  (Ba Bò). Với kết quả này cho thấy quặng chì-kẽm khu vực Chợ Đồn đặc trưng cho phần trên đới thành tạo quặng, khu Nà Tùm bị bóc mòn nhiều hơn so với Ba Bò. Để tăng sự tin cậy cho việc đánh giá hệ số  $K_z$ , hệ số K theo công thức (5) được sử dụng kết hợp.

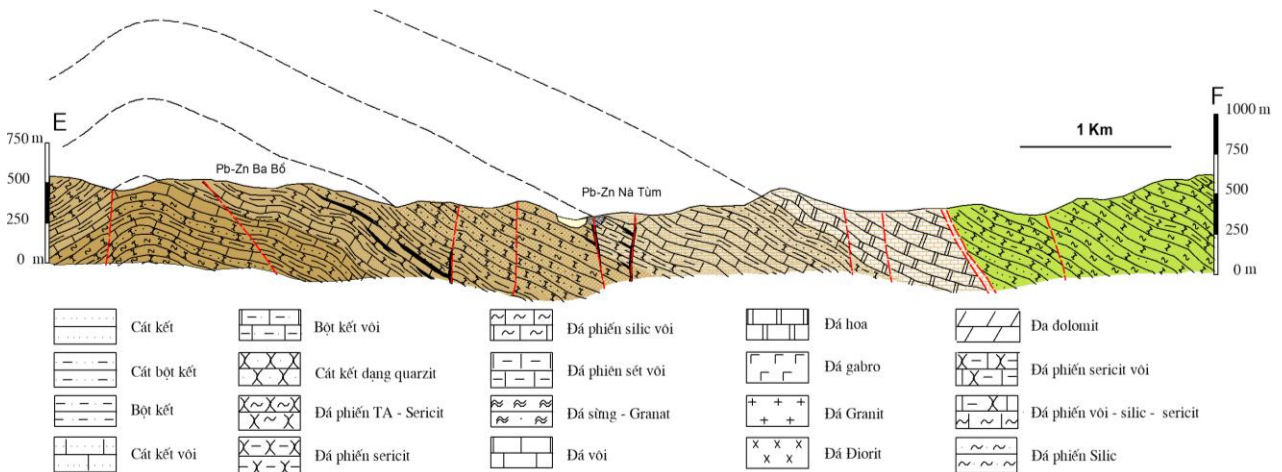
Xét theo chiều từ mỏ Nà Khắt → Nà Bốp → Nà Tùm → Lũng Váng → Pù Sáp → Ba Bò, mức độ bào mòn của mỏ Nà Khắt là lớn nhất, nhỏ nhất là mỏ Ba Bò (Bảng 6). Kết quả này khá phù hợp về mặt cấu trúc địa chất chung của khu vực Chợ Đồn-Chợ Điền, đó là cấu trúc phức nếp lồi Phía Khao. Trong cấu trúc nếp lồi này, mỏ Nà Khắt, Nà Bốp, Nà Tùm nằm ở phần rìa cánh nếp lồi và phân bố trong các thành tạo đá vôi-lục nguyên của hệ tầng Devon sớm-giữa nên bị bào mòn tương đối nhiều. Ngược lại, mỏ Ba Bò, Pù Sáp nằm gần trung tâm nếp lồi hơn nhưng phân bố trong tập đá cacbonat tuổi Devon sớm, nằm dưới tập đá vôi-lục nguyên nên mức độ bóc mòn ít hơn (Hình 6).

Bảng 5. Bảng tính hệ số bóc mòn thân quặng ( $K_z$ ) một số mỏ khu vực Chợ Đồn.

Tên mỏ	Số hiệu mẫu	Hàm lượng kim loại trong quặng (ppm)						Hệ số $K_z$
		Pb	Zn	Ba	Co	Ni	Sn	
Nà Tùm	NT.01 (sun.)	145900	100800	642,85	12,67	13,5	698,71	$79.10^6$
	NT.02 (sun.)	87400	51200	631,51	10,55	14,73	30,36	$599.10^6$
Ba Bò	BB.01 (sun.)	54900	209400	521,7	12,33	19,85	16,96	$1445.10^6$
	BB.02 (sun.)	3200	86200	1430,68	4,78	13,15	4,94	$1271.10^6$
	BB.03 (sun.)	414600	15100	1042,37	13,97	13,76	8,3	$4090.10^6$
	BB.04 (sun.)	61100	01800	882,87	9,26	15,76	17,29	$38.10^6$

Bảng 6. Kết quả tính toán hệ số K của các mỏ thuộc khu vực Chợ Đồn.

TT	Tên mỏ	Hệ số K	Ý nghĩa bóc mòn
1	Nà Khắt	0,17	Mức độ bóc mòn giảm dần
2	Nà Bốp	0,60	
3	Nà Tùm	0,66	
4	Lũng Váng	0,73	
5	Pù Sáp	0,79	
6	Ba Bò	0,88	



Hình 6. Mặt cắt địa chất theo đường EF (Hình 1) thể hiện sự phân bố các mỏ chì-kẽm trong cấu trúc nếp lồi Phía Khao khu vực Chợ Đồn, Bắc Kạn (Tăng và nnk., 2016).

Trên cơ sở phân tích cấu trúc địa chất chứa quặng chì-kẽm, đặc điểm quặng hóa và đánh giá triển vọng quặng chì-kẽm cho phép dự báo diện tích khu vực Ba Bò - Nà Bốp có khả năng phát hiện quặng chì-kẽm ẩn, sâu.

## 5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đặc điểm địa chất, quặng hóa và triển vọng quặng chì-kẽm khu vực Nà Bốp-Pù Sáp cho phép rút ra các kết luận sau:

Hệ thống đứt gãy phương TB-ĐN đóng vai trò khống chế cấu trúc khu mỏ và tạo điều kiện thuận lợi cho hình thành mạch chì-kẽm. Quặng chì-kẽm có kiến trúc đồng kiến tạo, nơi phổ biến các khoáng vật sericit bị ép phiến đi cùng với quặng chì-kẽm. Điều đó đưa đến nhận định các thân quặng Pb-Zn có thể liên quan đến quá trình ép trượt của đới trượt phát triển theo phương TB-ĐN trong khu vực.

Hình thái, kích thước thân quặng, cấu tạo quặng đã được xác định, với sự phân biệt giữa các thân quặng TQ.1, TQ.2, TQ.4 và các thân khoáng hoá TK.3 đến TK.11. Các thân quặng và thân khoáng hoá này có phân bố và kiến trúc đặc trưng, đóng góp vào hiểu biết về đa dạng của mỏ.

Phân tích hóa học của quặng đã cho thấy hàm lượng Pb và Zn thay đổi đều trong các thân quặng và thân khoáng hoá. Cấu tạo quặng được mô tả chi tiết, bao gồm cấu tạo dải, thấu kính đặc xít, cấu tạo mạch và mạch xâm tán, cấu tạo xâm tán dày, ổ đặc xít, cấu tạo keo, kiến trúc hạt tự hình, hạt nửa tự hình và hạt tha hình.

Nguồn kim loại tạo quặng được xác định trên phân tích đồng vị S, Pb. Kết quả cho thấy kim loại Pb, Zn được tách ra từ các đá granit dưới sâu, thuộc lớp vỏ dưới. Nhiệt độ tạo quặng được xác định từ phân tích đơn khoáng sphalerit, kết quả cho thấy quặng Pb-Zn khu mỏ Nà Bốp-Pù Sáp được thành tạo ở khoảng nhiệt độ thấp đến trung bình (195-215,8<sup>o</sup>C).

Mô hình nguồn gốc quặng chì-kẽm mỏ Nà Bốp-Pù Sáp được xây dựng dựa trên cấu tạo và kiến trúc quặng, cũng như đặc điểm địa hóa và đồng vị bền. Mỏ có nhiều đặc điểm tương đồng với mô hình SEDEX và MVT, nhưng cũng có những đặc điểm riêng biệt, chẳng hạn như cấu trúc khống chế độ sâu và mối quan hệ với đá magma.

Nghiên cứu về độ sâu bóc mòn các thân quặng Pb-Zn khu vực Chợ Đồn cho phép dự báo triển vọng quặng chì-kẽm ẩn, sâu khu mỏ Nà Bốp-

Pù Sáp. Quặng hóa Pb-Zn khu vực nghiên cứu có tiềm năng khá lớn và quặng hóa tồn tại dưới sâu là đáng kể (khoảng 600 m dưới bề mặt hiện tại).

## Lời cảm ơn

Bài báo được hỗ trợ từ kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số B2023-MDA-08.

## Đóng góp của tác giả

Khương Thế Hùng - xây dựng ý tưởng khoa học, bố cục và hoàn thiện bài báo; Ngô Xuân Đắc - phân tích dữ liệu, điều tra, khảo sát; Tạ Thị Toán - đánh giá và chỉnh sửa; Phan Thị Thùy Dương - xử lý số liệu, biên tập hình vẽ.

## Tài liệu tham khảo

- Andrew, J., (2015). Sedimentary Exhalative Ore Deposits (lecture note). 911Metallurgist. <https://www.911metallurgist.com/blog/sedimentary-exhalative-ore-deposits> (accessing date: 5, 24, 2015).
- Beue, A. A. & Grigoryan, S. V. (1975). Các phương pháp địa vật lý tìm kiếm và khai thác các mỏ khoáng sản rắn. *Nhà xuất bản Nedra* (tiếng Nga).
- Bùi, V. S. (chủ biên) (2010). Báo cáo thăm dò quặng chì-kẽm khu vực Nà Bốp-Pù Sáp, huyện Chợ Đồn, tỉnh Bắc Kạn. *Lưu trữ Tổng Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*, Hà Nội.
- Đào, T. B. (2011). *Nghiên cứu đặc điểm và sự phân bố sinh khoáng chì-kẽm vùng Việt Bắc, miền Bắc Việt Nam*. Luận án tiến sĩ, Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam, 201 trang.
- Đỗ, Q. B., Đàm, Q. C., Kiêu, T. C., Nguyễn, M. H., Nguyễn, T. Q. (2005). Nghiên cứu xác lập triển vọng quặng chì-kẽm, vàng và các khoáng sản khác đi kèm vùng Phia Dạ - Nà Cang, các tỉnh Cao Bằng và Bắc Kạn. *Lưu trữ Tổng cục Địa chất và Khoáng sản*, 193 trang.
- Đỗ, Q. B., Đàm, Q. C., Nguyễn, C. Đ., Phùng, Q. Đ., Nguyễn, T. H. L., Nguyễn, T. Q., Vũ, T. S. (2010). Nghiên cứu triển vọng quặng đồng, chì-kẽm và các khoáng sản khác đi kèm dải quặng Quán Bạ - Pắc Nặm các tỉnh Hà Giang, Cao Bằng và Bắc Kạn. *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản*, 180 trang.

- Frenzel, M., Hirsch, T., Gutzmer, J. (2016). Gallium, germanium, indium, and other trace and minor elements in sphalerite as a function of deposit type - A meta-analysis. *Ore Geological Review*, 76, 52-78.
- Hoàng, S. & Dương, Đ. N. (2004). Phân loại granitoid miền bắc Việt Nam theo chế độ kiến tạo. *Tạp chí Địa chất*, 285, 11-12.
- Khuong, T. H., Le, X. T., Awadh, S. M., Ta, V. T., Ngo, X.D., Nguyen, K. D. (2023a). Geology, Pb and S isotope geochemistry, and genesis of the Na Bop-Pu Sap lead-zinc deposit in the Cho Don area, Northeastern Vietnam. *Iraqi Geological Journal*, 56, 2, 164-177.
- Khuong, T. H., Nguyen, V. D., Nguyen, T. C., Pham, N. S. (2023b). Geological and geochemical characteristics of the Pac Lang gold deposits, Northeastern Vietnam and their potential prospects. *Inzynieria Mineralna*, 2(52), 311-318.
- Li, H., Wu, Q. H., Evans, N. J., Zhou, Z. K., Kong, H., Xi, X. S., Lin, Z. W. (2018). Geochemistry and Geochronology of the Banxi Sb Deposit: Implications for Fluid Origin and the Evolution of Sb Mineralization in Central-Western Hunan, South China. *Gondwana Research*, 55, 112-134.
- Li, H., Xi, X. S., Sun, H. S., Kong, H., Wu, Q., Wu, C., Gabo-Ratio, J. A. S. (2016). Geochemistry of the Batang Group in the Zhaokalong Area, Yushu, Qinghai: Implications for the Late Triassic Tectonism in the Northern Sanjiang Region, China. *Acta Geologica Sinica: English Edition*, 90(2), 704-721.
- Lir, I. V. (1984). Kích thước trung bình của các thân quặng nhiệt dịch theo đường phương và hướng dốc. *Nhà xuất bản Nedra* (tiếng Nga).
- Misra, K. C. (2000). Understanding mineral deposits. *Springer Dordrecht*, XV, 845 pages.
- Nguyễn, K. Q. (chủ biên) (1974). Địa chất và khoáng sản từ Bắc Kạn tỷ lệ 1:200.000. *Trung tâm thông tin Lưu trữ và Bảo tàng Địa chất*, Hà Nội.
- Nguyễn, K. V. (1982). Tuổi phóng xạ và tính chuyên hoá khoáng của các granit phức hệ Píphia Bioc trên cơ sở các tài liệu địa hoá và đồng vị chì. *Tạp chí Địa chất*, 154, 24-26.
- Nguyễn, V. N., Mai, T. T., Đỗ, Đ. N., Nguyễn, V. H., Nguyễn, M. L., Đoàn, T. N. H., Nguyễn, V. L. (2010). Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học để xây dựng các mô hình thành tạo quặng chì-kẽm ở miền Bắc Việt Nam. *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản*.
- Nguyen, V. T., Ngo, P. A., Phung, V. D., Pham, H. H., Vuong, M. S. (2002). New data on the Rb-Sr isotopic age of granitoids from the Song Hin complex. *Journal of Geology, series B*, 19-20, 103-107.
- Pham, N. C., Ishiyama, D., Tran, T. A. (2014). Mineralization of Indium in Northern Vietnam: A Study on Mineralogy and Geochemistry of the Na Bop and Lung Hoai Deposits in the Cho Don and Cho Dien Mining Area. *Acta Geologica Sinica*, 88(s2), 194-196.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal Processes and Mineral Systems. *Springer*, 1249 pages.
- Tăng, Đ. N., Chu, V. L., Nguyễn, P. (2016). Đánh giá triển vọng khoáng sản ẩn, sâu (Pb-Zn, Au-Sb) và các khoáng sản khác ở các vùng có triển vọng thuộc đông nam đới Lô Gâm. *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản*.
- Todt, W., Cliff, R. A., Hanser, A., Hofmann, A. W. (1996). Evaluation of a <sup>202</sup>Pb-<sup>205</sup>Pb Double Spike for High-Precision Lead Isotope Analysis. *Geophysical Monograph Series*, 95, 429-437.
- Trần, T. A. (chủ biên) (2010). Nghiên cứu thành phần đi kèm trong các kiểu tụ khoáng kim loại cơ bản và kim loại quý, hiếm có triển vọng ở miền Bắc Việt Nam nhằm nâng cao hiệu quả khai thác chế biến khoáng sản và bảo vệ môi trường. *Đề tài mã số KC08.24/06-10, Bộ Khoa học và Công nghệ*, Hà Nội, 459 trang.
- Trần, T. A. (2011). Đặc điểm khoáng vật - địa hóa và nguồn gốc các mỏ chì-kẽm cấu trúc Lô Gâm, miền Bắc Việt Nam. *Tạp chí các Khoa học về Trái đất*, 33(3ĐB), 393-408.
- Trần, T. H. (chủ biên) (2004). Điều tra đánh giá tiềm năng khoáng sản đi kèm trong một số mỏ chì-kẽm và đồng ở MBVN. *Lưu trữ Viện Địa chất*, Hà Nội.

- Trần, T. H., Trần, T. A., Phạm, T. D., Trần, Q. H., Bùi, Á. N., Trần, V. H., Phạm, N. C. (2010). Khoáng sản đi kèm trong các kiểu quặng chì-kẽm và đồng miền Bắc Việt Nam. *Tạp chí các Khoa học về Trái đất*, 32(4), 289-298.
- Trần, V. T., Thái, Q. L., Phan, C. T. (2009). Tài nguyên khoáng sản Việt Nam. *Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*, Hà Nội.
- Xu, B., Jiang, S. Y., Luo, L., Zhao, K. D., Ma, L. (2017). Origin of the granites and related Sn and Pb-Zn polymetallic ore deposits in the Pengshan district, Jiangxi province, South China: Constraints from geochronology, geochemistry, mineral chemistry, and Sr-Nd-Hf-Pb-S isotopes. *Mineralium Deposita*, 52(3), 337-360.
- Zartman, R. E., & Doe, B. R. (1981). Plumbotectonics - The model. *Tectonophysics*, 75, 135-162.