

ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT VÀ QUẶNG HÓA NIKEL XÂM TÁN TRONG ĐÁ SIÊU MAFIC KHỐI BẢN PHÚC

Nguyễn Ngọc Hải^{1,*}, Nguyễn Phương²

¹ Công ty TNHH Mỏ Nikel Bản Phúc, Tạ Khoa, Sơn La, Việt Nam

² Tổng hội Địa chất Việt Nam, 6 Phạm Ngũ Lão, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 08/8/2025

Ngày nhận bài sửa: 15/9/2025

Ngày chấp nhận đăng: 20/9/2025

^{1,*}Tác giả liên hệ:

Email: dcks2014@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu mới về đặc điểm địa chất và quặng hóa sulfur Ni xâm tán trong đá siêu mafic khối Bản Phúc trên cơ sở áp dụng phương pháp địa chất truyền thống kết hợp phương pháp nghiên cứu thành phần vật chất hiện đại và một số phương pháp toán địa chất. Từ nghiên cứu rút ra một số kết quả sau:

Khu mỏ có cấu trúc chung là nếp lồi, nhân là các thành tạo siêu mafic thuộc khối Bản Phúc, hai cánh được cấu thành bởi các đá của hệ tầng Nậm Sập ($D_{1-2}ns$) và một phần của hệ tầng Bản Cãi.

Đá siêu mafic khối Bản Phúc có thành phần cao magne (40 - 47%MgO) và rất thấp titan, crom và các nguyên tố kiềm. Khối xâm nhập siêu mafic Bản Phúc có tính phân dị gồm 3 đới từ trên xuống (UB1, UBT và UB2). Trong đó UB2 là đới dưới chủ yếu là dunit, UB1 là đới trên chủ yếu là đá peridotit và UBT là đới trung gian chuyển tiếp.

Các khe nứt phân bố trong khối siêu mafic Bản Phúc đa phần cắm về đông bắc (30^0) với góc dốc $70-80^0$. Thế nằm này phù hợp với thế nằm của ranh giới khối siêu mafic và đới quặng sulfur xâm tán ở phía nam khối siêu mafic Bản Phúc.

Quặng sulfur nikel xâm tán trong khối siêu mafic Bản Phúc gồm hai loại là quặng sulfur Ni nguyên sinh và quặng Ni phong hóa. Quặng Ni phong hóa gồm quặng sulfur bán oxy hóa, quặng sulfur oxy hóa hoàn toàn.

Thân quặng sulfur Ni nguyên sinh có quy mô lớn, phân bố chủ yếu ở đới UB2 và ít hơn trong đới UBT. Hình thái thân quặng khá phức tạp với hình thái dạng vĩa, thấu kính, dải, dải phân nhánh, dạng bảm đáy hoặc treo; kéo dài khoảng 865m, rộng 350 - 400 m. Chiều dày biến đổi từ 0,75m đến 143,98m, trung bình 27,29m, biến đổi không ổn định ($V_m = 73\%$), chiều dày các lớp kẹp từ 1,8m đến 76,82m, trung bình 15,66m. Khoáng vật quặng chủ yếu là pentlandit, violarit, valerit.

Quặng bán oxy hóa, là đới quặng chuyển tiếp từ thân quặng sulfur Ni nguyên sinh, phân bố ở phần trên thân quặng Ni xâm tán nguyên sinh và nằm dưới phần thân quặng bị oxy hóa hoàn toàn, có chiều dài tương đương thân quặng nguyên sinh, dày 1,1 - 44,28 m, trung bình 14,83 m. Khoáng vật chứa nikel gồm pentlandit, violarit, valerit bị oxy hóa khoảng 1- 10%.

Quặng oxy hóa hoàn toàn là đới quặng sulfur nikel bị oxy hóa hoàn toàn nằm ở phần trên cùng của thân quặng sulfur xâm tán, giáp với bề mặt địa hình, chiều dày từ 2,5 - 41,72 m, trung bình 18,47 m. Khoáng vật chứa nikel gồm có limolit, goethite và saponit.

Từ khóa: đặc điểm địa chất, quặng hóa sulfur Ni xâm tán, Bản Phúc

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nikel là kim loại cơ bản, có giá trị kinh tế cao, được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp sản xuất thép không gỉ, siêu hợp kim, pin sạc, công

ngiệp hóa học, thủy tinh, sơn, mạ, lọc hóa dầu, trong nông nghiệp. Năm 2019, thế giới tiêu thụ khoảng 2,4 triệu tấn, dự kiến sẽ tăng đều trong thời gian tới với tốc độ tăng trưởng tiêu thụ khoảng



2,2%/năm. Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy, khoáng sản Ni thường được hình thành và có liên quan chặt chẽ với khoáng sản khác như Cu, Co, nhóm PGE (nhóm nguyên tố platin). Các mỏ khoáng sản Ni có 02 loại hình nguồn gốc chính: nguồn gốc magma và nguồn gốc phong hóa (Zhang et al, 2002). Kiểu mỏ nguồn gốc magma chủ yếu liên quan đá magma siêu mafic (dunit, peridotit, pyroxenit) hình thành do phân dị của magma giàu sulfur. Ở Việt Nam, kiểu quặng sulfur Ni – Cu nguồn gốc magma đã được phát hiện ở Tạ Khoa, tỉnh Sơn La (Bản Phúc, Bản Chạng, Bản Khoa, Bản Mong,...), ở Cao Bằng (suối Cùn, Đông Chạng),....

Khu vực Tạ Khoa, tỉnh Sơn La là vùng có tiềm năng lớn nhất về quặng Ni của nước ta. Quặng Ni Bản Phúc đã được các nhà Địa chất Liên Xô (trước đây) và Việt nam tìm kiếm từ năm 1956; giai đoạn 1959 - 1963 các nhà địa chất Việt Nam và chuyên gia Trung Quốc tiến hành tìm kiếm chi tiết khu vực Bản Phúc. Năm 1960 - 1963, Đoàn địa chất 17 đã tiến hành công tác thăm dò (hào, khoan, lò, giếng), kết quả đã tính được tổng trữ lượng trong cân đối ($B + C_1 + C_2$) là 119.402 tấn Ni, 40.493 tấn Cu và 3.437 tấn Co. Giai đoạn 1993 - 2006, Công ty TNHH mỏ Nikel Bản Phúc tiến hành thăm dò tỷ mỉ. Kết quả thăm dò đã xác định trong khu vực mỏ tồn tại 02 kiểu quặng gốc: sulfur nikel đặc xít nằm ngoài khối xâm nhập và quặng sulfur xâm tán trong khối xâm nhập có quy mô lớn (trên 20 triệu tấn quặng), nhưng hàm lượng thấp, khoảng 0,4% Ni (Ashby, 1990; Baker, 1990; Anonymoust, 1992; Bates, 1996; Đinh Hữu Minh, 2005). Giai đoạn 2008 - 2013, Công ty TNHH mỏ Nikel Bản Phúc tiến hành thăm dò bổ sung thân quặng sulfur đặc xít. Giai đoạn 2014-2022 Công ty tiến hành thăm dò thân quặng sulfur Ni xâm tán trong khối xâm nhập mỏ Bản Phúc, kết quả đã tính được 44.772 nghìn tấn quặng ở trữ lượng cấp 122 và tài nguyên cấp 333, tương ứng có 225.724 tấn Ni, 25.498 tấn Cu và 5.561 tấn Co. Công tác khai thác quặng Ni đặc xít mỏ Bản Phúc được tiến hành từ năm 2013, với công suất 360.000 tấn quặng/năm.

Mặc dù đã được đầu tư thăm dò từ năm 1960 và khai thác từ năm 2013, nhưng đến nay một số vấn đề về cấu trúc địa chất khối siêu mafic và liên quan mối liên quan với quặng hóa, cũng như đặc điểm hình thái, cấu trúc các thân quặng Ni sulfur xâm tán phân bố trong khối siêu mafic Bản Phúc vẫn còn nhiều ý kiến khác nhau. Do đó, việc nghiên cứu nhằm đánh giá đầy đủ, toàn diện về đặc điểm địa chất khối siêu mafic Bản phúc và đặc điểm quặng hóa sulfur Ni xâm tán trong khối siêu mafic, làm cơ sở định hướng công tác thăm dò mở rộng, thăm dò xuống sâu và đánh giá khoáng sản đi kèm trong

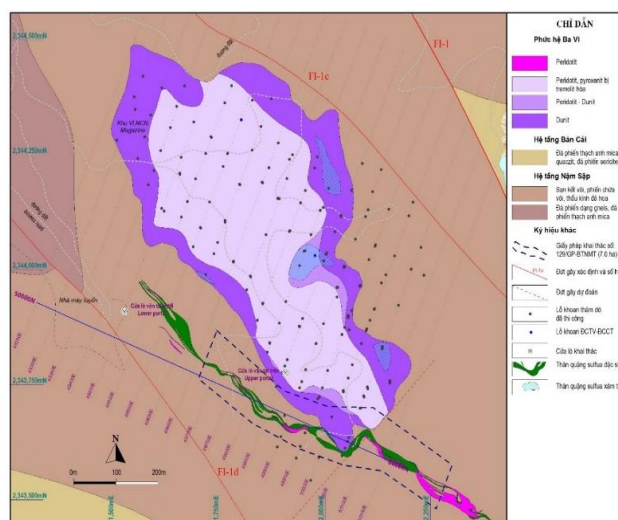
khối siêu mafic Bản Phúc nói riêng, khu vực Ta Khoa nói chung là rất cần thiết. Trong khuôn khổ bài báo, tác giả giới thiệu một số kết quả nghiên cứu mới về đặc điểm cấu trúc địa chất và quặng hóa sulfur nikel xâm tán trong đá siêu mafic khối Bản Phúc trên cơ sở tổng hợp tài liệu từ các công trình trước; chủ yếu là tài liệu thăm dò của Công ty TNHH mỏ Nikel Bản Phúc [...], kết hợp kết quả nghiên cứu bổ sung về thành phần vật chất bằng phương pháp phân tích hiện đại, kết quả nghiên cứu phân tích khe nứt bằng phương pháp siêu âm thành lỗ khoan, kết hợp một số phương pháp toán địa chất.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan về đối tượng nghiên cứu

Tham gia vào cấu trúc địa chất khu mỏ nikel Bản Phúc gồm hệ tầng Nậm Sập (D_{1-2ns}) và hệ tầng Bản Cãi (D_{3bc}). Hệ tầng Nậm Sập gồm tập 1 và tập 2. Các đá tập 1 của hệ tầng có diện phân bố nhỏ ở phía Bắc và Tây Bắc của khu Bản Phúc, có thành phần thạch học gồm các đá phiến mica, đá phiến thạch anh-mica. Các đá thuộc tập 2 chiếm phần lớn diện tích nghiên cứu, thành phần gồm sạn kết vôi, đá hoa, đá phiến vôi, đá phiến mica xen quartzit.

Các đá bị uốn lượn khá phức tạp theo đường phương và hướng cắm, nhưng phương phát triển chung là Tây Bắc - Đông Nam. Thế nằm của các đá lộ ra trên mặt cũng như theo tài liệu lỗ khoan ở phía đông nam khối Bản Phúc đa phần cắm về Đông Bắc (50° - 70°), với góc dốc 70° - 85° . Các đá hệ tầng Nậm Sập phân bố ở phía Đông Bắc khối xâm nhập Bản Phúc có thể nằm ngược lại cắm về phía Tây Nam với góc dốc từ 50° - 80° (Hình 1).



**Hình 1. Sơ đồ địa chất khoáng sản mỏ nikel
Bản Phúc [4]**



Trong khu vực nghiên cứu, ngoài các khối siêu mafic còn có các đá xâm nhập dạng đai mạch. Khối siêu mafic Bản Phúc chứa khoáng hóa sulfur Ni - Cu có cấu trúc dạng hình chậu, phân bố ở trung tâm Tạ Khoa. Trên bình đồ khối xâm nhập siêu mafic Bản Phúc có dạng elip, kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam (144° - 342°) khoảng 1020 m, chiều rộng 200- 420 m, chiều dày lớn nhất 470 m, gần song song với thể nằm của các đá hệ tầng Nậm Sập, với diện tích khoảng 0,4 km². Cấu trúc chung dạng hình chậu.

Trong phạm vi khu Bản Phúc đã phát hiện và xác định được các đứt gãy phát triển chủ yếu phương Tây Bắc - Đông Nam, gồm:

Đứt gãy FI-1 nằm phía Đông Bắc, kéo dài khoảng 2 km theo phương Tây Bắc - Đông Nam. Đứt gãy FI-1 là đứt gãy nghịch và trượt bằng trái với hướng cắm về phía Tây Nam (240°) góc dốc 75- 80° . Cự ly dịch trượt khoảng 1,5 km.

Đứt gãy FI-1c nằm ở phía Đông Bắc của khối siêu mafic Bản Phúc, kéo dài 1,8km theo phương Tây Bắc - Đông Nam (130° - 310°), là đứt gãy nghịch có hướng cắm về tây nam (220°), mang tính chất của đứt gãy trượt bằng trái với cự ly dịch trượt khoảng 40 m, mặt trượt cắm dốc 85° .

Đứt gãy FI-1d nằm ở phía tây nam khối siêu mafic, kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam (140° - 320°) khoảng 4,7 km, là đứt gãy thuận có hướng cắm về Tây Nam (230°), mang tính chất của đứt gãy trượt bằng phải với cự ly dịch trượt khoảng 80m, góc cắm mặt trượt 85° .

Khu Bản Phúc được đặc trưng bởi cấu trúc lõm, trục nếp lõm kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam và chạy dọc theo trục dài của khối siêu mafic Bản Phúc. Các đá của hệ tầng Nậm Sập phân bố xung quanh khối xâm nhập Bản Phúc bị uốn nếp tạo thành nếp lõm.

Khoáng hóa Ni mỏ Bản Phúc liên quan các thành tạo siêu mafic phức hệ Bản Xang, gồm 02 kiểu quặng: quặng sulfur Ni đặc xít phân bố bên ngoài khối siêu mafic và quặng sulfur Ni xâm tán phân bố trong khối siêu mafic. Các kiểu khoáng hóa này là sulfur magma dung ly được hình thành từ khối siêu mafic Bản Phúc. Quặng sulfur đặc xít được hình thành vào giai đoạn phân dị sớm, sulfur xâm tán trong khối là sản phẩm phân dị muộn hơn [1].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp địa chất truyền thống, kết hợp thu thập, tổng hợp và xử lý tài liệu

- Lộ trình khảo sát địa chất bổ sung, thu thập tài liệu ở các vết lộ tự nhiên, hào, mẫu lõi khoan và lấy phân tích bổ sung một số mẫu lát mỏng, khoáng tương.

- Thu thập, tổng hợp tài liệu, đánh giá độ tin cậy của các nguồn tài liệu thu thập được từ các công trình có trước.

2.2.2. Các phương pháp nghiên cứu thành phần vật chất quặng

Để nghiên cứu thành phần vật chất quặng, ngoài tổng hợp tài liệu từ các nghiên cứu trước, tác giả đã phân tích bổ sung thành phần khoáng vật (phân tích mẫu lát mỏng, khoáng tương): Sử dụng phương pháp QEMSCAN Particle Mineralogical Analysis (PMA) ở khoảng cách điểm ảnh 1,5 μ m pixel. QEMSCAN được thực hiện bởi phòng phân tích ALS Metallurgy tại Perth, Úc; XRD được thực hiện tại Viện Địa chất - Viện Hàn Lâm Khoa học Công nghệ Việt Nam trên thiết bị Empyrean (PANalytical- Hà Lan), sử dụng phần mềm HighScore Plus định lượng khoáng vật và phòng phân tích ALS Metallurgy tại Perth, Úc trên thiết bị Bruker D4 và D2, sử dụng phần mềm SIROQUANT định lượng khoáng vật.

Số lượng mẫu phân tích bổ sung 33 mẫu.

Phân tích hóa các nguyên tố được thực hiện tại phòng phân tích SGS của Pháp, chi nhánh tại Hải Phòng và phòng phân tích ALS Metallurgy tại Perth, Úc bằng phương pháp AAS và ICP- OES.

2.2.3. Nghiên cứu khe nứt

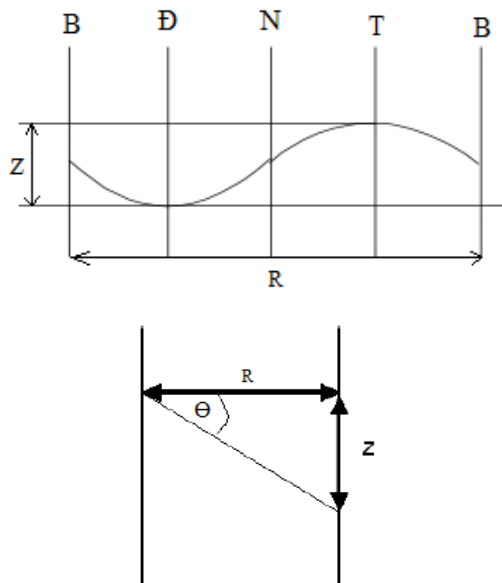
- Sử dụng phương pháp ATV với dụng cụ phát sóng siêu âm tới thành lỗ khoan và đo tín hiệu phản hồi trong suốt quá trình đi dọc lỗ khoan, tạo ra hình ảnh phản xạ sóng siêu âm 3600 liên tục của thành lỗ khoan với độ phân giải cao, đưa ra hình ảnh trực quan về thành lỗ khoan và cấu trúc lõi khoan.

- Kết quả đo ATV thành lỗ khoan sẽ thu được hình ảnh siêu âm liên tục thành lỗ khoan, được dùng để phân tích khe nứt, vị trí biểu hiện đứt gãy hoặc các lớp thạch học mỏng có thành phần khác nhau.



Các bước chính xử lý dữ liệu đo ATV gồm:

- Chọn và đánh dấu các vết nứt trên hình ảnh thu được.
- Tính toán đường kính lỗ khoan (D) thông qua thời gian truyền sóng (Travelttime).
- Xác định góc phương vị hướng dốc và tính toán góc dốc của mặt yếu.
- Xây dựng biểu đồ “nòng nọc” thể hiện góc dốc và góc phương vị.
- Xây dựng mô hình 3D của thành lỗ khoan thể hiện trạng thái của thành lỗ khoan.



Hình 2. Mô hình xử lý dữ liệu đo ATV

Góc dốc (Θ) xác định theo công thức:

$$\tan \Theta = \frac{Z}{R} \quad (1)$$

Trong đó: Z - Biên độ vết nứt (xác định trên hình ảnh thu được); R - Đường kính lỗ khoan, với $R = 2 * (T * V + R_c)$; T - Thời gian truyền sóng; V - Vận tốc sóng trong dung dịch khoan và R_c - Bán kính thiết bị.

Ví dụ: Góc phương vị (Θ) được xác định trên hình ảnh thu được (Hình 2) là vết nứt (khe nứt) có phương vị tây – đông.

2.2.4. Phương pháp toán thống kê

- Phương pháp toán thống kê một chiều: Phương pháp toán thống kê một chiều là phương

pháp được sử dụng rộng rãi trong điều tra, thăm dò khoáng sản rắn [8, 9; 10, 12]. Để áp dụng phương pháp này, các nhà nghiên cứu phải giả thiết rằng các giá trị quan sát đo đặc phân tích... nhận được từ đối tượng khoáng sản thông qua tài liệu điều tra, thăm dò là một dãy các biểu tượng ngẫu nhiên không phụ thuộc.

Trong bài báo, tác giả sử dụng phương pháp toán thống kê một chiều để xử lý tài liệu và xác định các đặc trưng phân bố thống kê của chiều dày và hàm lượng các nguyên tố trong thân quặng sulfur nikel xâm tán.

- Mô hình thống kê hai chiều: Sử dụng nhằm xác định mối quan hệ tương quan giữa các thông số địa chất thân quặng với nhau. Mối quan hệ tương quan giữa các thông số nghiên cứu (hàm lượng với chiều dày thân quặng) xác định theo công thức [2, 10, 11, 12]:

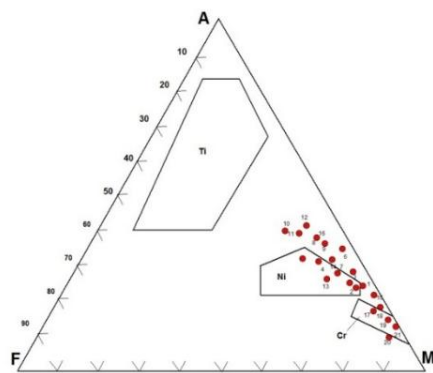
$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}} \quad (2)$$

Trong đó: x_i ; y_i : Lần lượt là giá trị của nguyên tố (hoặc độ sâu phân bố - Z) x và y tại mẫu (điểm) thứ i; n là số mẫu (điểm) nghiên cứu.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm cấu trúc, thành phần vật chất và mối quan hệ với khoáng hóa sulfur nikel

Kết quả tổng hợp tài liệu từ các công trình trước, kết hợp tài liệu mới nghiên cứu bổ sung cho thấy khối siêu mafic Bản Phúc có thành phần là đá siêu mafic, xuyên lên dọc theo phương của của tập trầm tích chứa vôi thuộc hệ tầng Nậm Sập và kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam ($144^\circ - 342^\circ$). Mặt cắt ngang của khối có dạng hình thấu, dạng elip hoặc hình chày. Thành phần gồm các đá dunit, peridotit bị biến đổi mạnh thành serpentinit. Tuổi đồng vị của các đá siêu mafic khoảng 257 - 270 tr.n. [5]. Các đá siêu mafic Bản Phúc rất cao magne (40- 47% MgO) và rất thấp titan, crom, kiềm nhưng trội đất hiếm nhẹ nhóm (Bảng 1). Hàm lượng Ni trong đá siêu mafic không có sulfur cao hơn nhiều trị số clack trong đá siêu mafic (0.2%); đặc điểm thạch hóa này đặc trưng cho các vùng sinh khoáng nikel (Hình 3).



Hình 3. Tiềm năng sinh khoáng của đá siêu mafic Bản Phúc (theo kiểu A.I. Bogatrev) với: F = FeO+Fe₂O₃; A = CaO + Na₂O + K₂O; M = MgO [3]

Hàm lượng trung bình oxyt các nguyên tố chính, các nguyên tố vết, đất hiếm và nhóm platin (PGE) tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Hàm lượng trung bình oxyt các nguyên tố chính, các nguyên tố vết, đất hiếm và PGE

Thành phần	Hàm lượng (%)			Thành phần	Hàm lượng (%)		
Oxit	UB2	UBT	UB1	Oxit	UB2	UBT	UB1
SiO ₂	43,87	45,36	44,60	MnO	0,15	0,15	0,11
TiO ₂	0,07	0,13	0,11	Cr ₂ O ₃	0,09	0,08	0,08
MgO	47,50	44,84	43,13	Na ₂ O	0,02	0,05	0,01
FeO	7,82	5,55	5,90	K ₂ O	0,21	0,82	0,01
CaO	0,67	0,14	4,27	P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,05
Al ₂ O ₃	1,63	2,97	1,74	S	0,42	0,11-0,16	0,08
Nguyên tố vết	Hàm lượng (ppm)			Nguyên tố vết	Hàm lượng (ppm)		
Ba	9	69	9	Rb	2	27	0
Cl	626	1313	642	Sr	5	0	56
Cr	842	758	834	V	16	41	34
Co	113	106	98	Y	5	6	7
Cu	39	677	45	Zn	19	56	47
Ni	4600	4295	3534	Zr	4	23	17
Nb	0	0	1	Tỷ lệ S/Ni	0,91	0,256- 0,373	0,227
S			0,008				
Đất hiếm	Hàm lượng (ppm)			Đất hiếm	Hàm lượng (ppm)		
La	0,6	3,2	2,6	Gd	0,3	1,3	1,3
Ce	1,0	6,0	5,4	Dy	0,2	1,6	1,5
Nd	0,8	3,8	3,4	Ho	0,1	0,2	0,3
Sm	0,3	1,2	1,3	Er	0,2	0,9	0,8
Eu	0,1	0,4	0,3	Yb	0,1	0,3	1,0
Nhóm platin	Hàm lượng (ppb)			Nhóm platin	Hàm lượng (ppb)		
Pt	60	620	6	Os	24	255	6
Pd	74	610	6	Ir	16	150	6
Ru	44	290	8	Au	5	25	5
Rh	10	70	1				



- Đới UB1 được cấu thành bởi đá peridotit nằm trên cùng, chiếm khối lượng chính. Thành phần gồm: olivin bị serpentin hóa (50-70%) thành phần vật chất trung gian chiếm 30- 50% gồm mica, vermiculit và fuxit (>5%), chlorit, actinolit, tremolit, magnesit... Các đá trong đới UB1 hầu như không chứa Ni dạng sulfur, chỉ tồn tại Ni dạng oxit. Ni trong đá UB1 có hàm lượng trung bình 0,353%, Cu: 0,005%, Co: 0,01%, hàm lượng S rất thấp trung bình 0,08%, tỷ lệ S/Ni là 0,227 (Bảng 1).

- Đới UBT được cấu thành bởi đá dunit có cấu tạo dồn tích trung bình. Đây là loại đá chuyển tiếp từ dunit dồn tích chặt sít của UB2 sang dunit dồn tích trung bình nên phân bố liên kết với đới dunit UB2 bên trong trung tâm khối. Đá bị serpentin hóa rất mạnh (hơn 65 -80%), olivin tàn dư, 20- 35% vật chất trung gian gồm phlogopit, chlorit, fuxit, tremolit và breinesit tạo thành các đám hạt dài dạng sợi, vẩy, mọc xen kẽ với sulfur chứa Ni. Mức độ xâm tán sulfur Ni- Cu yếu hơn so với đá dunit dồn tích chặt sít trong UB2, nhưng cao hơn đá UB1. Hàm lượng Ni trung bình 0,4295%; Cu: 0,0068%; Co: 0,01%; S: 0,11- 0,16%; tỷ lệ S/Ni là 0,256 - 0,373 (Bảng 1), cao hơn đới UB1.

- Đới UB2 được cấu thành bởi đá dunit với olivin cấu tạo dồn tích chặt sít, nằm dưới cùng của khối xâm nhập. Khoáng vật olivin chiếm tới 90-

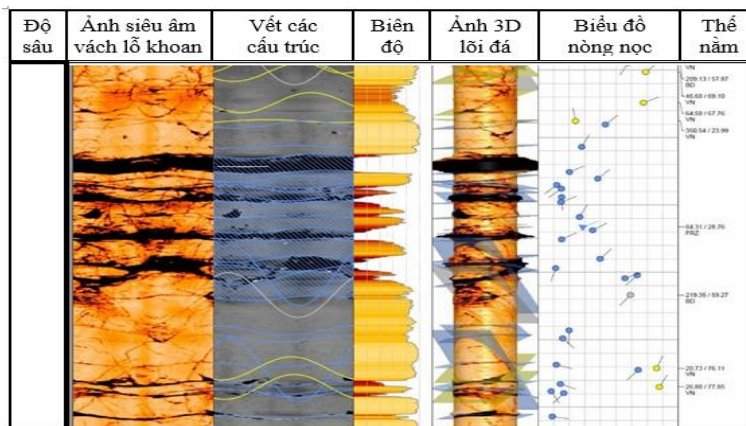
93%, bị serpentin hóa, vật chất trung gian (5-10%) nằm giữa các hạt olivin gồm phlogopit, chlorit, fuxit, tremolit, breinesit, magnetit và các hạt sulfur Ni xâm tán, chủ yếu là pentlandit, ít hơn là pyrotin. Quặng sulfur Ni xâm tán chủ yếu phân bố trong đới này. Hàm lượng Ni trung bình 0,46%; Cu: 0,0039%; Co: 0,011%; S: 0,42%; tỷ lệ S/Ni đạt 0,91 (Bảng 1).

Từ kết quả trên nhận thấy, sulfur Ni xâm tán phân bố chủ yếu ở dạng bám đáy nằm trong đới olivinit dồn tích chặt sít (UB2) và ít hơn là trong đới olivin dồn tích trung bình (UBT).

3.2. Đặc điểm khe nứt kiến tạo

Để nghiên cứu đặc điểm khe nứt phát triển trong khối siêu mafic, nhóm tác giả sử dụng công nghệ siêu âm thành lỗ khoan ATV cho kết quả hình ảnh 360⁰ liên tục của thành lỗ khoan. Kết quả đo tại 07 lỗ khoan trong khối siêu mafic được sử dụng để xây dựng các biểu đồ hoa hồng thể hiện sự phân bố các hệ thống khe nứt cũng như hướng cấm của khe nứt đá trong đá siêu mafic khối Bản Phúc.

Trên Hình 4, trích dẫn kết quả đo và luận giải các yếu tố cấu trúc trong lỗ khoan BP19-44 bằng phương pháp ATV.



Hình 4. Kết quả đo và luận giải các yếu tố cấu trúc trong LK BP19-44 bằng phương pháp ATV

Trên cơ sở kết quả đo và luận giải các yếu tố cấu trúc trong lỗ khoan tương tự lỗ khoan BP19-44 bằng phương pháp ATV rút ra một số kết luận về đặc điểm khe nứt phát triển trong khối siêu mafic Bản Phúc như sau:

- Tại khu Tây Bắc khối, chủ yếu là các khe nứt phát triển trong đới quặng có hướng cấm về phía Bắc (355 - 360⁰) với góc dốc đứng 87- 89⁰, thứ yếu là các khe nứt cấm về phía Đông (92⁰), với góc dốc đứng 86 - 87⁰; ngoài ra, còn có các khe nứt cấm thoải về phía Đông Bắc (40-45⁰) với góc dốc thoải

17 - 25⁰. Tại đây, các khe nứt ở phân bố dưới thân quặng sulfur nikel có hướng cấm về phía Nam (190⁰) với góc dốc đứng 80 - 82⁰ và có loạt khe nứt cấm về phía Đông Bắc (31⁰), với góc dốc 70 - 75⁰.

- Ở khu Tây Nam khối, chủ yếu là các khe nứt nằm trong đới quặng cấm về phía Đông Bắc (59⁰) với góc dốc 45⁰, thứ yếu là các khe nứt cấm về phía Nam (199⁰) với góc dốc 50⁰. Các đá thuộc cánh treo của thân quặng phát triển chủ yếu các khe nứt có thể nằm cấm về phía Đông Bắc (33⁰),



góc cắm dốc đứng $85 - 88^{\circ}$ và ít hơn là khe nứt có cắm về Tây Nam (222°), góc cắm dốc đứng $85 - 87^{\circ}$.

- Khu vực phía Bắc khối, trong đới quặng các khe nứt chủ yếu cắm về Đông Bắc (41°), với góc dốc $55 - 56^{\circ}$. Các đá thuộc cánh treo của thân quặng bị khe nứt có thể nằm cắm về phía Đông Bắc (33°), dốc thoải (34°) cắt qua.

- Khu vực giữa khối, các khe nứt trong thân quặng có thể nằm chủ yếu cắm về phía Tây Nam 226° với góc dốc 65° .

- Khu vực phân bố các đá hệ tầng Nậm Sập nằm sát ranh giới phía Bắc khối xâm nhập, các khe nứt chủ yếu cắm về phía Đông Bắc 35° với góc dốc thoải 36° . Các khe nứt này phù hợp với đường hướng dốc của ranh giới khối xâm nhập và thân quặng xâm tán.

Các kết quả nghiên cứu khe nứt trong lò khai thác cho thấy chủ yếu phát triển khe nứt cắm về Đông Bắc (30°) với góc dốc $70 - 80^{\circ}$. Thế nằm này phù hợp với thế nằm của ranh giới khối siêu mafic và đới quặng sulfur xâm tán ở phía Nam khối siêu mafic. Hệ thống khe nứt này có vai trò quan trọng trong quá trình hình thành thân quặng sulfur Ni xâm tán và thúc đẩy quá trình phong hóa quặng nguyên sinh và đá vây quanh.

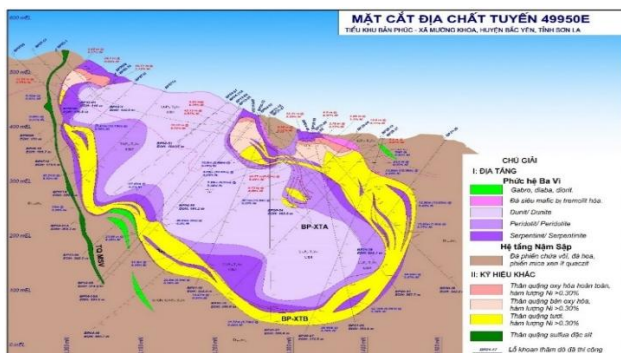
3.3. Đặc điểm quặng hóa

Quặng sulfur nikel xâm tán trong khối siêu mafic Bản Phúc gồm có loại quặng sulfur tươi và quặng phong hóa gồm quặng sulfur bán oxy hóa và oxy hóa hoàn toàn. Các thân quặng xâm tán trong khối siêu mafic có dạng khá phức tạp với hình thái dạng vĩa, thấu kính, dải, dải phân nhánh. Sau đây là đặc điểm từng loại quặng hóa.

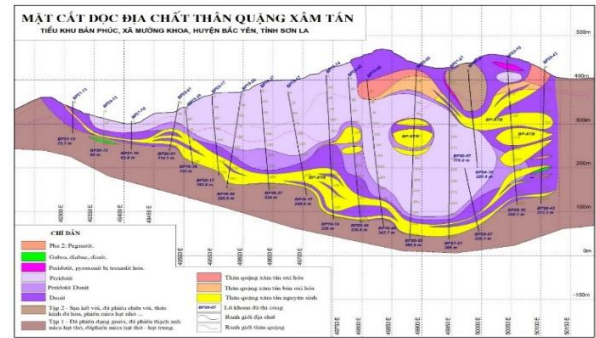
- *Quặng sulfur nguyên sinh*

Đặc điểm hình thái - cấu trúc thân quặng

Quặng xâm tán nguyên sinh phân bố dạng chấu bằm đáy khối xâm nhập có quy mô lớn nhất của khu mỏ nikel Bản Phúc (Hình 5). Về hình thái thân quặng khá phức tạp chủ yếu dạng vĩa, dạng dải, dải phân nhánh, dạng thấu kính bằm đáy hoặc dạng treo (Hình 6)



Hình 5. Mặt cắt theo tuyến 49950E khu mỏ nikel Bản Phúc (thu từ tỷ lệ 1:1.000) [4]



Hình 6. Mặt cắt dọc thân quặng sulfur xâm tán khu mỏ Bản Phúc (thu từ tỷ lệ 1: 1.000) [4]

Thân quặng phát triển liên tục theo phương Tây Bắc - Đông Nam, kéo dài khoảng 865 m. Thân quặng có cấu trúc chung dạng nếp lồi, mặt trực thay đổi từ dốc đứng đến dốc thoải. Ở phía Tây Bắc thân quặng, thế nằm cánh Đông Bắc cắm về Tây Nam với góc dốc từ $12^{\circ} - 50^{\circ}$ trung bình 34° , cánh Tây Nam cắm về Đông Bắc với góc dốc từ $15^{\circ} - 57^{\circ}$ trung bình 34° ; phía Đông Nam thân quặng, mặt trực nếp lồi cắm về Đông Bắc với góc dốc từ $50^{\circ} - 80^{\circ}$, trung bình 60° . Thân quặng nằm cách bề mặt địa hình từ 16 m (tuyến 49400E) đến 377 m (tuyến 49900E). Thân quặng được khống chế bởi 167 công trình khoan. Chiều dày thân quặng biến đổi từ 0,75 m đến 143,98 m trung bình 27,29 m, mức độ biến đổi chiều dày quặng không ổn định ($V_m = 73\%$). Trong thân quặng có các lớp đá kẹp, số lượng thay đổi không theo quy luật, các lớp kẹp dày từ 1,8 m đến 76,82 m, trung bình 15,66 m.

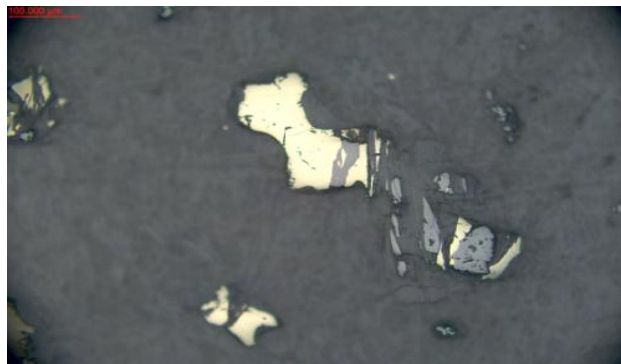
- *Đặc điểm khoáng vật*

Để xác định thành phần khoáng vật (trong mẫu lát mỏng và mẫu khoáng tương), đã sử dụng các phương pháp phân tích (QEMSCAN, XRD), phân tích thành phần độ hạt để nghiên cứu đánh giá thành phần vật chất mẫu. Kết quả phân tích xác định thành phần các khoáng vật quặng và phi quặng như sau:

Khoáng vật sulfur Ni nguyên sinh chiếm khoảng 2,5%, bao gồm pyrotin (0,07%), pentlandit (0,79%), violarit (0,04%), valerit (0,36%), khoáng vật sulfur Ni mọc ghép (0,72%). Các khoáng vật quặng phân bố xâm tán chủ yếu trong đá thuộc đới UB2 (ảnh 1) và ít trong đới UBT, thường phân bố trong các khoảng trống giữa các hạt olivin và cùng với tổ hợp khoáng vật phlogopit, fuxit, carbonat, antigonit; thường có cấu tạo đám, kích thước từ trên dưới 1mm đến 5- 6mm, đôi chỗ có cấu tạo xâm tán dày, kiến trúc hạt tha hình.



Ảnh 1. Quặng sulfur xâm tán trong đá thuộc đới UB2, lỗ khoan BP20-26, độ sâu 71,2 m, khu mỏ Bản Phúc [6].

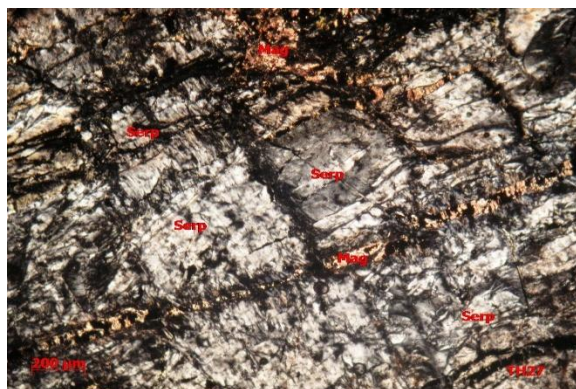


Ảnh 2. Pentlandit dưới dạng những mảnh vỡ trong magnetit, chỉ ra mối quan hệ phản ứng, với sự phát triển của magnetit với pentlandit. RFL. PPL. Trường quan sát ~1 mm.

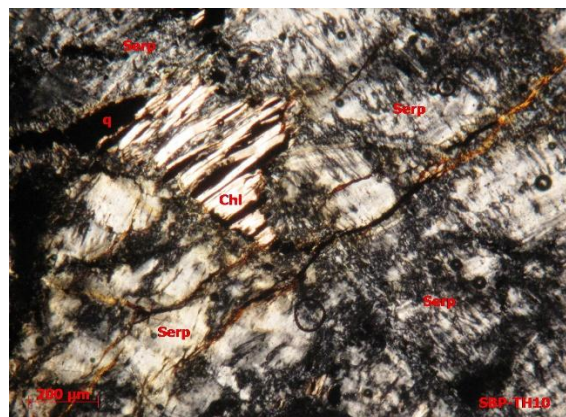
Pentlandit là khoáng vật chứa Ni chủ yếu được tìm thấy trong mẫu, chiếm khoảng 0,79% khối lượng mẫu. Khoáng vật pentlandit chủ yếu dạng hạt nhỏ kích thước 0,02-0,05 mm, có ít dạng hạt to 0,3 mm nằm trong các cấu trúc xen kẽ (ảnh 2). Trong mẫu còn có mặt các khoáng vật vết gồm violarit và millerit, có hàm lượng rất nhỏ ($\leq 0,05\%$). Một vài hạt khoáng vật chứa Ni-As - (S) cũng được tìm thấy. Một số khoáng vật chứa Ni có xu hướng liên kết chặt chẽ với các khoáng vật silicat. Những khoáng vật kích thước nhỏ, mọc xen này có thể dẫn đến những dấu hiệu các nguyên tố trộn lẫn ở các điểm phân tích QEMSCAN.

Các khoáng vật phi quặng chiếm 95% - 97%, trong đó chiếm chủ yếu là serpentin 82,1%, Amphibol 1,85%, talc 0,69%, magnetit và hematit 4,79%, chlorit 2,59%, phlogopit, mica và các khoáng vật tương tự: 2,39%, carbonat/brucit và khoáng vật tương tự: 2,52%

Trong hầu hết trong các lát mỏng, serpentin là khoáng vật phong hóa phổ biến nhất và thường đi cùng với tremolit, phlogopit và chlorit với tỷ lệ khác nhau. Talc hiếm gặp hơn, brucit và cacbonat được quan sát thấy dưới dạng mạch muộn (Ảnh 3, 4).



Ảnh 3. Khoáng vật serpentin (Serp), tạo thành các mảng mạch song song, kéo dài theo chiều dài hạt protolith. Các mạch serpentin muộn cắt ngang các mạch sớm tại góc cao ở một vài nơi. TL. XPL. Trường quan sát ~4 mm



Ảnh 4. Chlorit (Chl) là khoáng vật phụ xuất hiện trong một loạt các cấu trúc sau: Mạch cắt ngang mạch serpentin (Serp) và thường liên kết với magnetit và sulfur. TL. XPL. Trường quan sát ~1 mm

- Thành phần hóa học

Sử dụng kết quả phân tích mẫu hóa, sử dụng phương pháp thống kê một chiều xử lý tập mẫu. Từ kết quả xử lý thống kê rút ra một số kết quả sau:

Hàm lượng của Ni biến đổi từ 0,001% đến 3,02%, trung bình 0,48%, mức độ biến đổi hàm lượng Ni không đồng đều ($V_c = 69\%$); hàm lượng Cu từ 0,0004% đến 0,9%, trung bình 0,08%, biến đổi rất

không đồng đều ($V_c = 110\%$); Co từ 0,002% đến 0,04%, trung bình 0,01%, biến đổi đồng đều ($V_c = 35\%$). Hàm lượng Mg biến đổi từ 0,77% đến 28,3% trung bình 23,15%; hàm lượng Fe từ 0,26% đến 39,7% trung bình 5,27%. Hàm lượng S từ 0,005% đến 23,5% trung bình 0,52%; hàm lượng As từ 1 ppm đến 1.535 ppm trung bình 34 ppm; hàm lượng Cr từ 7 ppm đến 8.890 ppm trung bình 586 ppm; hàm lượng Pb từ 1 ppm đến 2.510 ppm trung bình 7 ppm; hàm lượng Zn từ 1 ppm đến 2.200 ppm trung bình 57 ppm; hàm lượng Au từ 0,001 ppm đến 0,25 ppm trung bình 0,02 ppm; hàm lượng Pt từ 0,003 ppm đến 0,43 ppm trung bình 0,08 ppm; hàm lượng Pd từ 0,001 ppm đến 0,55 ppm trung bình 0,1 ppm. Nhìn chung hàm lượng các nguyên tố khác trong thân quặng rất thấp, ngoại trừ Mg và Fe.

Sử dụng công thức (1) tính hệ số tương quan cặp một số nguyên tố kim loại với Ni trong quặng sulfurr nikel nguyên sinh, kết quả tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. Ma trận tương quan của một số kim loại

	Ni	Cu	Co	Ag	Au	Pt	Pd
Ni	1.0	0.74	0.77	0.46	0.20	0.61	0.57
Cu		1	0.62	0.45	0.19	0.35	0.34
Co			1	0.16	0.11	0.30	0.16
Ag				1	0.19	0.36	0.45
Au					1	0.16	0.17
Pt						1	0.90
Pd							1.0

Từ Bảng 2 cho thấy: Ni có quan hệ thuận khá chặt chẽ với Co, Cu, tương đối chặt chẽ với Pt, Pd, Ag và có quan hệ kém chặt chẽ với Au; Pt quan hệ rất chặt chẽ với Pd và Ni; Cu quan hệ chặt chẽ với Ni và Co. Kết quả này phù hợp với tài liệu phân tích mẫu khoáng tương và kết quả nghiên cứu mẫu công nghệ [4].

b. Quặng nikel phong hóa

Quặng nikel phong hóa là sản phẩm quá trình oxy hóa hoàn toàn hoặc bán oxy hóa phân bố thành hai đới: đới bán oxy hóa và đới oxy hóa hoàn toàn có thành phần khoáng vật, cấu tạo, kiến trúc quặng khác nhau. Về cơ bản hình thái, kích thước thân quặng nikel phụ thuộc vào hình thái, kích thước ban đầu của thân sulfur nikel.

- *Quặng nikel bán oxy hóa*: Phân bố trong đới UBT là phần chuyển tiếp từ thân quặng sulfur nikel

nguyên sinh và dưới phần thân quặng Ni bị oxy hóa hoàn toàn. Khoáng vật quặng bao gồm khoáng vật sulfur, một phần bị oxy hóa. Quặng sulfur bán phong hóa phân bố từ cost +275 m (tuyến 49750E) đến +495 m (tuyến 50050E), phân bố ở rìa phía Nam và Bắc khối xâm nhập siêu mafic Bản Phúc, chiều dài khoảng 850 m. Thân quặng bán phong hóa (bán oxy hóa) đã được khổng lồ bởi 52 lỗ khoan. Các thân quặng bán phong hóa có chiều dày là 1,1 m (LK BP20-11), dày lớn nhất là 44,28 m (LK BP19-29), trung bình 14,83 m, biến đổi không ổn định ($V_m = 73,36\%$).

Khoáng vật quặng bao gồm khoáng vật sulfur và một phần bị oxy hóa (khoảng 1- 10%) phân bố trong đá siêu mafic bị phong hóa. Kết quả xử lý thống kê như sau: Hàm lượng Ni trong đới quặng UBT giao động từ 0,30% đến 1,28%, trung bình 0,55%, biến đổi tương đối ổn định ($V_c = 40,11\%$); Cu từ 0,001% đến 0,28%; trung bình 0,08%; Co từ 0,01% tới 0,02% Co, trung bình 0,011%; S trung bình 0,34%; As trung bình 0,02%; Cr: 0,05%; Fe : 5,29%; Mg: 21,32%; Pb: 0,0005% Pb và Zn là 0,005% Zn. Ngoại trừ Mg và Fe, hàm lượng các nguyên tố kim loại khác trong kiểu quặng này rất thấp.

Quặng oxy hóa hoàn toàn: Được hình thành do quá trình oxy hóa quặng sulfur nikel nguyên sinh (Ảnh 5), phân bố ở phần trên cùng của thân quặng sulfur xâm tán, thuộc đới UB1, phân bố từ cost +305 m (tuyến 49750E) tới cost +515 m (tuyến 50050E), giáp với bề mặt địa hình, phân bố ở phía Nam và Bắc khối siêu mafic bản Phúc; chiều dài khoảng 850 m.



Ảnh 5. Quặng sulfur bị oxy hóa hoàn toàn tại độ sâu 11,1m LK BP21-12 [4]



Kích thước, hình thái và thành phần khoáng vật quặng khác ít nhiều so với thân quặng sulfur nikel nguyên sinh, sự khác biệt đó có lẽ là do quá trình phong hóa hoàn toàn (oxy hóa) tạo nên. Đới quặng được khống chế bởi 44 lỗ khoan. Phần phía Bắc và Nam quặng phân bố không liên tục tạo thành các thấu kính mỏng, từ phần giữa tới rìa phía Đông khối xâm nhập siêu mafic, thân quặng phát triển khá liên tục và tương đối ổn định. Chiều dày từ 2,5 m (LKBP20-46) m đến 41,72 m (LK BP19-40), trung bình 18,47 m. Trong thân quặng hầu như không có lớp kẹp. Khoáng vật chứa nikel gồm limolit, goethit và saponit.

Các khoáng vật này chiếm 1- 8% trong đá siêu mafic bị phong hóa. Hàm lượng Ni trong quặng từ 0,29% đến 1,29%, trung bình 0,59%; hàm lượng Cu từ 0,00% đến 0,39%, trung bình 0,09%; Co từ 0,001% đến 0,02%, trung bình 0,011%.

4. KẾT LUẬN

➤ Khu mỏ Nikel Bản Phúc có cấu trúc chung là nếp lồi, nhân là các thành tạo siêu mafic thuộc khối Bản Phúc, hai cánh được cấu thành bởi các của hệ tầng Nậm Sập ($D_{1-2}ns$) và một phần của hệ tầng Bản Cải. Khối siêu mafic có dạng hình chấu kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam, gần song song với thể nằm của các đá hệ tầng Nậm Sập. Mặt cắt ngang của khối có dạng hình phễu, elip hoặc hình chấu. Các đá siêu mafic Bản Phúc rất cao magne và rất thấp titan, crom, các nguyên tố kiềm, nhưng giàu đất hiếm nhẹ;

➤ Khối siêu mafic Bản Phúc có tính phân dị mạnh, dựa vào đặc điểm cấu tạo dồn tích nguyên sinh và đặc điểm thạch học của đá siêu mafic đã phân chia thành 3 đới từ trên xuống gồm UB1, UBT và UB2. Các đới có đặc điểm về thành phần vật chất, cấu tạo và kiến trúc của khoáng vật tạo đá khác nhau và mức độ chứa quặng nikel cũng khác nhau. Thành phần của đá siêu mafic phân bố trong các đới và các quá trình uốn nếp mạnh mẽ là các yếu tố có vai trò quan trọng trong quá trình tạo quặng và định vị các thân quặng sulfur nikel xâm tán trong khối siêu mafic Bản Phúc;

➤ Kết quả nghiên cứu khe nứt bằng phương pháp siêu âm thành lỗ khoan đã góp phần làm sáng tỏ đặc điểm của các hệ thống khe nứt phát triển trong khối siêu mafic, bước đầu đánh giá vai trò của chúng trong quá trình tạo quặng sulfur nikel xâm tán trong đá siêu mafic ở khu mỏ Bản Phúc;

➤ Quặng sulfur nikel xâm tán trong khối siêu mafic Bản Phúc gồm có hai loại quặng: quặng sulfur Ni nguyên sinh và quặng sulfur bị phong hóa (quặng sulfur bán oxy hóa và quặng sulfur bị oxy

hóa hoàn toàn). Quặng sulfur Ni xâm tán có quy mô lớn, phân bố chủ yếu ở đới UB2 và ít hơn trong đới UBT. Các thân quặng sulfur nikel dạng xâm tán phân bố trong khối siêu mafic có hình thái khá phức tạp, dạng vĩa, thấu kính, dải, dải phân nhánh, bảm đáy hoặc treo; kéo dài khoảng 865m, rộng 350 - 400 m. Chiều dày biến đổi từ 0,75 m đến 143,98 m, trung bình 27,29 m, biến đổi không ổn định ($V_m = 73\%$), chiều dày các lớp kẹp từ 1,8 m đến 76,82 m, trung bình 15,66 m. Khoáng vật quặng nguyên sinh chủ yếu là pentlandit, violarit, valerit;

Hàm lượng Ni trong quặng xâm tán thuộc loại nghèo, trung bình 0,48%, biến đổi thuộc loại không ổn định; Nguyên tố Ni có quan hệ thuận khá chặt chẽ với Co, Cu, tương đối chặt chẽ với Pt, Pd, Ag và có quan hệ kém chặt chẽ với Au. Ngoại trừ Ni, các nguyên tố kim loại, đất hiếm và nhóm PGE có hàm lượng thấp, không có ý nghĩa công nghiệp độc lập, một số nguyên tố cần nghiên cứu thêm xem có thu hồi và có hiệu quả kinh tế trong quá trình khai thác, tuyển làm giàu quặng Ni không;

➤ Quặng sulfur nikel phong hóa là sản phẩm của quá trình oxy hóa hoàn toàn và bán oxy hóa quặng sulfur nikel nguyên sinh thuộc phần trên khối xâm nhập. Quặng bán oxy hóa là phần nối tiếp lên trên của thân quặng sulfur nguyên sinh nên hình thái, kích thước về cơ bản tương đồng với hình thái, kích thước của thân quặng nguyên sinh. Quặng oxy hóa hoàn toàn là phần nối tiếp của quặng bán oxy hóa được hình thành do quá trình oxy hóa hoàn toàn quặng sulfur nikel nguyên sinh. Thân quặng có hình thái, kích thước, cấu trúc đã bị thay đổi so với thân quặng nguyên sinh và bán phong hóa. Quặng nikel phong hóa thuộc đới UB2 bị trôi lên hoặc gần mặt đất. Khoáng vật chứa nikel gồm có limolit, goethite và saponit. Các khoáng vật này chiếm 1-8% trong đá siêu mafic bị phong hóa. Đây là loại quặng khó tuyển so với quặng nguyên sinh.

Thân quặng sulfur Ni nguyên sinh có quy mô lớn, phân bố chủ yếu ở đới UB2 và ít hơn trong đới UBT. Hình thái thân quặng khá phức tạp với hình thái dạng vĩa, thấu kính, dải, dải phân nhánh, dạng bảm đáy hoặc treo; kéo dài khoảng 865 m, rộng 350 - 400 m. Chiều dày biến đổi từ 0,75 m đến 143,98 m, trung bình 27,29 m, biến đổi không ổn định ($V_m = 73\%$), chiều dày các lớp kẹp từ 1,8 m đến 76,82 m, trung bình 15,66 m. Khoáng vật quặng chủ yếu là pentlandit, violarit, valerit.

Quặng bán oxy hóa, là đới quặng chuyển tiếp từ thân quặng sulfur Ni nguyên sinh, phân bố ở phần trên thân quặng Ni xâm tán nguyên sinh và nằm dưới phần thân quặng bị oxy hóa hoàn toàn, có chiều dài tương đương thân quặng nguyên sinh, dày 1,1 - 44,28 m, trung bình 14,83 m. Khoáng vật



chứa nikel gồm pentlandit, violarit, valerit bị oxi hóa khoảng 1- 10%.

Quặng oxy hóa hoàn toàn là đôi quặng sulfur nikel bị oxy hóa hoàn toàn nằm ở phần trên cùng

của thân quặng sulfur xâm tán, giáp với bề mặt địa hình, chiều dày từ 2,5 - 41,72 m, trung bình 18,47 m. Khoáng vật chứa nikel gồm có limolit, goethite và saponit □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Phan Hoàng Giang (cb) (2004). *Báo cáo đề tài “Nghiên cứu triển vọng quặng nikel và khoáng sản đi kèm (Cu, Co, PGE) liên quan các thành tạo mafic, siêu mafic miền bắc Việt Nam”*. Đề tài cấp bộ, mã số TNMT. 2023.562.14. Lưu trữ Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm.
- [2]. Lương Quang Khang, Nguyễn Phương, Khương Thế Hùng, Bùi Hoàng Bắc, Nguyễn Văn Lâm (2018). *Phương pháp xử lý thông tin địa chất*. NXB Giao thông Vận tải, (ISBN: 978- 604- 76- 1760).
- [3]. Nguyễn Ngọc Hải (2013). *Đặc điểm địa chất và các yếu tố khống chế quặng hóa Nickel khu vực Đông Bắc mỏ Bản Phúc*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật Địa chất. Lưu trữ viện trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.
- [4]. Nguyễn Ngọc Hải (cb) (2024). *Báo cáo kết quả thăm dò quặng nikel – đồng, tại khu Tạ Khoa, Hồng Ngải, thuộc các xã Tạ Khoa, Mường Khoa, Hồng Ngải, Song Pe, huyện Bắc Yên và khu Tà Hộc, xã Tà Hộc, huyện Mai Sơn, tỉnh Sơn La*. Lưu trữ Trung tâm Thông tin và Lưu trữ Địa chất.
- [5]. Trần Trọng Hòa (cb) (2011). *Hoạt động magma và sinh khoáng nội mảng miền Bắc Việt nam*. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội
- [6]. Đinh Hữu Minh (cb) (2006). *Báo cáo kết quả thăm dò mỏ nikel Bản Phúc, xã Mường Khoa, huyện Bắc Yên, tỉnh Sơn La*. Lưu trữ Trung tâm Thông tin và Lưu trữ Địa chất.
- [7]. Đinh Hữu Minh (cb) (2013). *Báo cáo kết quả thăm dò bổ sung mỏ nikel Bản Phúc*. Lưu trữ Trung tâm Thông tin và Lưu trữ Địa chất.
- [8]. Dodge, Y. (2006). *The Oxford Dictionary of Statistical Terms*, OUP. ISBN 0-19-920613-9.
- [9]. Hair J.F., Anderson R.E., Tatham R.L. and Black W.C. (1998). *Multivariate data analysis*. 5th
- [10]. John C. Davis (2002). *Statistics and Data Analysis in Geology*. Third Edition. ISBN 0-471 -17275-8
- [11]. Каждан, А.Б. (1974). *Методологические основы разведки полезных ископаемых*. Изд: Москва “Недра”, 272
- [12]. П.А. Рыжов, В.М.Гудков (1966). *Применение математической статистики при разведка недр*. Изд: “Недра” Москва, 234 с.

GEOLOGY AND CHARACTERISTICS OF DISSEMINATED NICKEL MINERALIZATION IN THE BAN PHUC ULTRAMAFIC INTRUSION

Hai Ngoc Nguyen^{1,*}, Phuong Nguyen ²

¹Ban Phuc Nickel Mines Ltd., Ta Khoa, Son La, Vietnam

²Federation of Geological Associations, 6 Pham Ngu Lao, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 8/8/2025

Revised: 15/9/2025

Accepted: 20/9/2025

^{1,*} Corresponding author:

Email: dcks2014@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents new research results on the geological characteristics and disseminated Ni-sulfide mineralization in the Ban Phuc ultramafic intrusion, based on the application of traditional geological methods combined with modern rock composition analysis techniques and several geological mathematical methods. The study yields the following key findings:



The deposit is characterized by a syncline, with the core composed of ultramafic rocks of the Ban Phuc intrusion. Its limbs consist of rocks of the Nam Sap Formation (D_{1-2ns}) and partly of the Ban Cai Formation.

The Ban Phuc ultramafic rocks are characterized by high magnesium content (40–47% MgO), very low titanium, chromium and alkali elements. The Ban Phuc ultramafic intrusive body is strongly differentiated into three zones from top to bottom (UB1, UBT, and UB2). UB2 is the lower zone consisting mainly of dunitite. UB1 is the upper zone consisting mainly of peridotite. UBT is an intermediate transition zone.

Fractures within the Ban Phuc ultramafic body are mostly oriented northeast (30°) with dip angles of 70° – 80° . This orientation is consistent with the structural trend of the ultramafic body boundary and the disseminated sulfide zone located in the southern part of the Ban Phuc ultramafic intrusion.

The disseminated Ni-sulfide ores in the Ban Phuc ultramafic intrusion occur in two types: primary Ni-sulfide ores and weathered Ni ores. The weathered ores include partially oxidized sulfide ores and completely oxidized sulfide ores.

The primary Ni-sulfide ore bodies are large in scale, mainly distributed in UB2 and to a lesser extent in UBT. They have complex morphologies, occurring as layers, lenses, bands, branching bands, as well as basal and hanging wall types. They extend about 865 m in length and 350–400 m in width. Thickness ranges from 0.75 m to 143.98 m, with an average of 27.29 m and high variability ($V_m = 73\%$). The rock interlayer thickness varies from 1.8 m to 76.82 m, averaging 15.66 m. The main ore minerals are pentlandite, violarite, and valleriite.

Partially oxidized ore forms a transitional zone from primary Ni-sulfide ore bodies, occurring above the primary disseminated Ni-sulfide ore and below completely oxidized ore. This zone has a length like that of the primary ore body, with thicknesses ranging from 1.1 m to 44.28 m (average 14.83 m). The Ni-bearing minerals, including pentlandite, violarite, and valleriite, are oxidized by about 1–10%.

Completely oxidized ore is the uppermost zone of the disseminated Ni-sulfide ore body, directly adjacent to the ground surface. Thickness ranges from 2.5 m to 41.72 m, averaging 18.47 m. The Ni-bearing minerals include limonite, goethite, and saponite.

Keywords: geological characteristics, disseminated Ni-sulfide mineralization, Ban Phuc

@ Vietnam Mining Science and Technology Association