

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



PHẠM VĂN CHUNG

**XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG CÁC MỎ SULFID
NICKEL - ĐỒNG CÓ NGUỒN GỐC MAGMA Ở VIỆT NAM**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA CHẤT

Hà Nội - 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ
CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

**XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG CÁC MỎ SULFID
NICKEL - ĐỒNG CÓ NGUỒN GỐC MAGMA Ở VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Khoáng vật học và địa hóa học

Mã số: 9.44.02.05

LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA CHẤT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

- 1. PGS.TS. NGUYỄN VĂN PHỒ**
- 2. TS. NGUYỄN THỊ THỤC ANH**

Hà Nội - 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực, chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Phạm Văn Chung', with a long horizontal stroke extending to the right.

Phạm Văn Chung

LỜI CẢM ƠN

Luận án được thực hiện tại khoa Các khoa học trái đất - Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Trong suốt quá trình nghiên cứu, nghiên cứu sinh đã nhận được sự hướng dẫn tận tình và đầy tâm huyết của các Thầy cô giáo hướng dẫn khoa học là PGS.TS. Nguyễn Văn Phở và TS. Nguyễn Thị Thục Anh. Nghiên cứu sinh kính gửi đến các thầy cô lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất.

Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn các thầy cô, các nhà khoa học: GS.TSKH. Đặng Trung Thuận, GS.TSKH. Đặng Văn Bát, PGS.TS. Phạm Tích Xuân, PGS.TS. Phạm Quý Nhân, TS. Đinh Hữu Minh, PGS.TS. Nguyễn Khắc Giảng, TS. Quách Đức Tín, TS. Nguyễn Quốc Phi, PGS.TS. Đỗ Văn Nhuận, PGS.TS. Nguyễn Phương, PGS.TS. Nguyễn Hoàng, PGS.TS. Nguyễn Văn Hoàng, PGS.TS. Nguyễn Văn Bình, PGS.TS. Nguyễn Thùy Dương, PGS.TS. Nguyễn Thị Hoàng Hà, PGS.TS. Hoàng Thị Minh Thảo, TS. Phạm Thị Dung, TS. Lê Thu Thủy cùng nhiều nhà khoa học, chuyên gia đã trao đổi, góp ý cho nghiên cứu sinh trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành luận án.

Nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn Lãnh đạo Học viện Khoa học và Công nghệ, Lãnh đạo Viện Địa chất, các phòng nghiên cứu, quản lý thuộc Viện Địa chất và Ban Giám hiệu, Khoa Địa chất - Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội đã tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu sinh trong quá trình học tập, nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn Công ty TNHH Mỏ nickel Bản Phúc, Trung tâm phân tích thí nghiệm Địa chất và các cơ quan, đơn vị chuyên môn đã giúp đỡ nghiên cứu sinh hoàn thiện luận án.

Cuối cùng, nghiên cứu sinh xin cảm ơn sự động viên, chia sẻ của gia đình, người thân và bạn bè đồng nghiệp.

Hà Nội, ngày 6 tháng 6 năm 2023

Tác giả luận án



Phạm Văn Chung

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài.....	1
2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	2
3. Mục tiêu của luận án.....	2
4. Nội dung nghiên cứu.....	2
5. Luận điểm bảo vệ.....	3
6. Những điểm mới của luận án.....	3
7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	3
8. Cơ sở tài liệu.....	4
9. Bố cục của luận án	5
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG	6
1.1. Tổng quan về khu vực nghiên cứu.....	6
1.1.1. Tổng quan về mỏ nickel Bản Phúc	6
1.1.2. Tổng quan về cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì.....	14
1.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu mô hình địa môi trường	23
1.1.1. Tình hình nghiên cứu mô hình địa môi trường trên thế giới	24
1.1.2. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng mô hình địa môi trường các mỏ khoáng tại Việt Nam.....	28
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	31
2.1. Cơ sở lý thuyết	31
2.1.1. Khái niệm về mô hình và sự phân loại.....	31
2.1.2. Khái niệm về mô hình địa môi trường	33
2.1.3. Các hợp phần của mô hình địa môi trường.....	35
2.1.4. Đặc trưng của môi trường kiểu mỏ sulfid.....	40
2.2. Phương pháp luận	42
2.3. Các phương pháp nghiên cứu.....	44
2.3.1. Phương pháp tổng hợp, phân tích tài liệu	44
2.3.2. Phương pháp khảo sát thực địa, lấy mẫu	45
2.3.3. Nhóm các phương pháp nghiên cứu thành phần khoáng vật.....	47
2.3.4. Nhóm các phương pháp nghiên cứu thành phần hóa học	49
2.3.5. Phương pháp tính toán acid - bazơ	50

2.3.6. Phương pháp Thí nghiệm về sự tạo thành acid mỏ	51
2.3.7. Phương pháp mô hình hóa	53
CHƯƠNG 3. MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG MỎ NICKEL BẢN PHÚC...	54
3.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường mỏ nickel Bản Phúc	54
3.1.1. Đặc điểm quặng hóa mỏ nickel Bản Phúc	54
3.1.2. Thành phần khoáng vật quặng mỏ nickel Bản Phúc	55
3.1.3. Thành phần hóa học mỏ nickel Bản Phúc.....	59
3.1.4. Trữ lượng khoáng sản và quy mô mỏ nickel Bản Phúc	60
3.1.5. Đá vây quanh.....	61
3.1.6. Đặc điểm địa chất thủy văn	61
3.1.7. Đặc điểm tự nhiên.....	65
3.1.8. Các hoạt động khoáng sản	65
3.2. Các quá trình môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc.....	70
3.2.1. Quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid.....	70
3.2.2. Quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường	71
3.3. Các dấu hiệu môi trường mỏ nickel Bản Phúc	72
3.3.1. Đặc điểm môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc	72
3.3.2. Đặc điểm môi trường nước dưới đất mỏ nickel Bản Phúc	76
3.3.3. Đặc điểm môi trường đất mỏ nickel Bản Phúc	76
CHƯƠNG 4. MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG CỤM MỎ NICKEL SUỐI CỬN - HÀ TRÌ.....	81
4.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	81
4.1.1. Đặc điểm quặng hóa cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	81
4.1.2. Thành phần khoáng vật	83
4.1.3. Thành phần hóa học.....	85
4.1.4. Trữ lượng khoáng sản và quy mô mỏ.....	86
4.1.5. Đặc điểm đá vây quanh mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	87
4.1.6. Đặc điểm địa chất thủy văn của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	87
4.1.7. Điều kiện tự nhiên.....	88
4.1.8. Các hoạt động khoáng sản cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	88
4.2. Các quá trình môi trường của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	90
4.2.1. Quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid.....	90

4.2.2. Quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường	90
4.3. Các dấu hiệu môi trường cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì.....	91
4.3.1. Môi trường nước mặt cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	91
4.3.2. Môi trường đất cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	94
CHƯƠNG 5. CÁC VẤN ĐỀ MÔI TRƯỜNG TIỀM ẨN VÀ ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP NGĂN NGỪA Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG	98
5.1. Kết quả tính toán acid - bazơ.....	98
5.1.1. Kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ ở mỏ nickel Bản Phúc.....	98
5.1.2. Kết quả tính toán acid - bazơ ở mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	99
5.2. Kết quả thí nghiệm về sự tạo thành dòng thải acid mỏ và tách chiết kim loại nặng.....	99
5.2.1. Kết quả thí nghiệm về khả năng tạo acid mỏ và tách chiết kim loại nặng của quặng nickel Bản Phúc.....	99
5.2.2. Kết quả thí nghiệm về khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ tách chiết kim loại nặng ở cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì	104
5.3. Các vấn đề ô nhiễm môi trường tiềm ẩn	108
5.3.1. Các vấn đề môi trường tiềm ẩn mỏ nickel Bản Phúc	108
5.3.2. Các vấn đề môi trường tiềm ẩn ở cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	110
5.4. Đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường	112
5.4.1. Các biện pháp xử lý dòng thải acid mỏ.....	112
5.4.2. Đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường mỏ nickel Bản Phúc	118
5.4.3. Đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì	119
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	120
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN.....	122
TÀI LIỆU THAM KHẢO	124
PHỤ LỤC KẾT QUẢ PHÂN TÍCH MẪU	133

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT, CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Nội dung
AAS	Phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử
AMD	Dòng thải acid mỏ
BTNMT	Bộ tài nguyên và môi trường
DO	Oxy hòa tan
ĐCTV	Địa chất thủy văn
ĐCCT	Địa chất công trình
ĐTM	Đánh giá tác động môi trường
GIS	Hệ thống thông tin địa lý
MPA	Khả năng sinh acid tối đa
NAPP	Khả năng sinh acid thực
NAG	Kiểm định sự sinh acid thực
NAC	Khả năng trung hoà acid
QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
PGE	Nhóm nguyên tố platin
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
THCSKV	Tổ hợp cộng sinh khoáng vật
TNHH	Trách nhiệm hữu hạn

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 2.1. Thành phần của nước sử dụng trong thí nghiệm	51
Bảng 3.1. Kết quả phân tích một số mẫu quặng nickel đặc sít.....	59
Bảng 3.2. Kết quả phân tích một số mẫu quặng nickel xâm tán	60
Bảng 3.3. Kết quả phân tích thành phần khoáng vật quặng đuôi trong hồ thải của mỏ Nickel Bản Phúc bằng phương pháp Ronghen.....	69
Bảng 3.4. Kết quả phân tích các mẫu nước mặt tại khu vực mỏ nickel Bản Phúc	72
Bảng 3.5. Kết quả phân tích mẫu nước ngầm khu vực mỏ nickel Bản Phúc ..	76
Bảng 3.6. Kết quả phân tích mẫu đất khu vực mỏ nickel Bản Phúc.....	77
Bảng 4.1. Thành phần khoáng vật của khu vực Suối Cùn - Hà Trì	83
Bảng 4.2. Kết quả phân tích thành phần hóa học một số mẫu quặng nickel ...	86
khu mỏ Suối Cùn - Hà Trì.....	86
Bảng 4.3. Kết quả phân tích mẫu nước mặt khu vực Suối Cùn - Hà Trì	91
Bảng 4.4. Kết quả phân tích các mẫu đất khu vực Suối Cùn - Hà Trì	94
Bảng 5.1. Kết quả tính toán khả năng tạo acid mỏ của quặng đuôi.....	98
Bảng 5.2. Kết quả tính toán khả năng tạo acid đá thải	99
Bảng 5.3. Kết quả tính toán khả năng tạo acid của quặng Ni - Cu cụm mỏ....	99
Suối Cùn - Hà Trì.....	99

DANH MỤC CÁC HÌNH

Hình 1.1. Sơ đồ địa chất khu Tại Khoa, Dựa theo tài liệu của Trần Trọng Hòa và nnk năm 2011 [11]	9
Hình 1.2. Sơ đồ địa chất khu vực Suối Cùn - Hà Trì, Dựa theo tài liệu gốc của Lepvrier et al. (2011) [13] và Trần Trọng Hòa và nnk năm 2011 [11]	21
Hình 2.1. Sơ đồ tổng quát của mô hình địa môi trường.....	35
Hình 2.2. Sơ đồ mô hình địa môi trường mỏ khoáng	42
Hình 2.3. Sơ đồ vị trí lấy mẫu khu vực mỏ nickel Bản Phúc.....	46
Hình 2.4. Sơ đồ vị trí lấy mẫu khu vực Hà Trì	46
Hình 2.5. Sơ đồ lấy mẫu khu vực Suối Cùn.....	47
Hình 3.1. Sơ đồ mạng lưới sông suối của mỏ khu vực nickel Bản Phúc.....	62
Hình 3.2. Sơ đồ phân bố độ pH trong môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc...	73
Hình 3.3. Sơ đồ phân bố hàm lượng Ni trong môi trường nước mặt mỏ nickel.....	74
Bản Phúc	74
Hình 3.4. Sơ đồ phân bố hàm lượng của Cu trong môi trường nước mặt mỏ	74
nickel Bản Phúc.....	74
Hình 3.5. Sơ đồ mô phỏng sự phân tán kim loại nặng trong môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc.....	75
Hình 3.6. Sơ đồ mô phỏng độ pH trong môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc	75
Hình 3.9. Sơ đồ mô phỏng hàm lượng KLN trong đất mỏ nickel Bản Phúc	79
Hình 4.1. Sơ đồ phân bố độ pH trong môi trường nước mặt khu Suối Cùn	93
Hình 4.2. Sơ đồ phân bố độ pH trong môi trường nước mặt khu Hà Trì.....	94
Hình 4.3. Sơ đồ mô phỏng hàm lượng các kim loại nặng trong môi trường đất mỏ nickel Hà Trì	96
Hình 5.1. Sự thay đổi pH, Eh theo thời gian trong thí nghiệm với quặng đặc sít... mỏ nickel Bản Phúc	100
Hình 5.2. Biểu đồ mô tả sự biến thiên tổng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng đặc sít mỏ nickel Bản Phúc	101
Hình 5.3. Biểu đồ mối liên quan giữa hàm lượng các kim loại nặng và độ pH trong thí nghiệm với quặng đặc sít mỏ nickel Bản Phúc.....	101
Hình 5.4. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng xâm tán mỏ nickel	102
Bản Phúc	102
Hình 5.5. Biểu đồ biến thiên tổng hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán mỏ nickel Bản Phúc	103
Hình 5.6. Biểu đồ sự liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán mỏ nickel Bản Phúc.....	103
Hình 5.7. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng đặc sít của khu vực	104
Suối Cùn - Hà Trì.....	104

Hình 5.8. Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng đặc sít của khu vực Suối Cùn	105
Hình 5.9. Tương quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng.....	105
Hình 5.10. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng xâm tán của khu vực Suối Cùn - Hà Trì	106
Hình 5.11. Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán của khu vực Suối Cùn - Hà Trì	107
Hình 5.12. Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán của khu vực Suối Cùn	107

DANH MỤC CÁC ẢNH

Ảnh 1.1. Dunit bị serpentinit hóa, tremolit và chlorit hóa nhẹ [19].....	8
Ảnh 1.2. Đá Gabro porphyrit [19].....	8
Ảnh 1.3. Đá Peridotit biến đổi hoàn toàn [19].....	9
Ảnh 1.4. Dunit biến đổi hoàn toàn thành Serpentinit [19].....	9
Ảnh 1.5. Đá gabrodiabas tại khu Hà Trì	17
Ảnh 1.6. Đá peridotit có sulfid xâm tán tại khối Phan Thanh	18
Ảnh 1.7. Đá peridotit tại khu Hà Trì	19
Ảnh 2.1. Hình ảnh thí nghiệm mô phỏng quá trình oxy hóa quặng sulfid	52
Ảnh 3.1. Penlandit (Pld) tạo vi mạch thay thế gắn kết pyrotin (Pyr) trên nền phi quặng	54
Ảnh 3.2. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế pyrotin (Pyr).....	54
Ảnh 3.3. Mẫu BP.160 quặng nickel đặc sít được lấy trong lò khai thác	57
Ảnh 3.4. Mẫu BP.301 Pentlandit (Pld), pyrotin (Pyr), chalcopyrit (chp) tạo tổ hợp đặc sít	57
Ảnh 3.5. Chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt)	57
Ảnh 3.6. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt).....	57
Ảnh 3.7. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết cho pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt).....	57
Ảnh 3.8. Pyrotin (Pyr), penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) tạo tập hợp đặc sít	57
Ảnh 3.9. Pyrotin (Pyr) bị penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết	58
Ảnh 3.10. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết cho pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt)	58
Ảnh 3.11. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế pyrotin (Pyr).....	58
Ảnh 3.12. Pyrotin (Pyr) thay thế cho khoáng vật của đá.....	58
Ảnh 3.13. Bãi tập kết quặng sau khai thác của mỏ nickel Bản Phúc.....	66
Ảnh 3.14. Nhà máy tuyển nổi nickel Bản Phúc	68
Ảnh 3.15. Hồ thải quặng đuôi mỏ nickel Bản Phúc.....	69
Ảnh 4.1. Chalcopyrit (Chp) tạo ô thay thế, gắn kết pyrotin (Pyr) trên nền phi quặng	83

Ảnh 4.2. Pyrotin (Pyr) bị penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) tạo ổ thay thế gắn kết	83
Ảnh 4.3. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết trên nền đá.....	84
Ảnh 4.4. Geothit (gh) thay thế, giả hình pyrotin trên nền phi quặng.....	84
Ảnh 4.5. Pyrotin (Pyr) hạt tha hình bị penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) và geothit (Gh) thay thế	84
Ảnh 4.6. Pyrotin (Pyr), penlandit (Pld) hạt tha hình xâm tán trên nền đá.....	84
Ảnh 4.7. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết.....	84
Ảnh 4.8. Pyrotin (Pyr) bị penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết	84
Ảnh 4.9. Chalcopyrit (Chp), pyrotin (Pyr), penlandit (Pld) bị oxy hóa nhẹ trên bề mặt	85
Ảnh 4.10. Covenlin (Cv), bornit (Bo) tạo màng mỏng thay thế chalcopyrit (Chp).....	85
Ảnh 4.11. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết.....	85
Ảnh 4.12. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết trên nền đá....	85
Ảnh 4.13. Hoạt động khai thác tại khu vực Hà Trì.....	89
Ảnh 5.1. Đá thải của mỏ nickel_Bản Phúc	110
Ảnh 5.2. Quặng bị oxy hóa tại bãi tập kết cũ của mỏ nickel Bản Phúc.....	110

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản là ngành đóng góp vào sự phát triển kinh tế của rất nhiều quốc gia. Tuy nhiên các hoạt động khoáng sản cũng là một trong những ngành công nghiệp gây nhiều tác động tiêu cực đến môi trường. Trên thế giới đã ghi nhận rất nhiều mỏ khoáng sản gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng, thậm trí có một số mỏ đã trở thành các thảm họa môi trường [1, 2, 3]. Trong số các mỏ gây ô nhiễm môi trường thì các mỏ sulfid kim loại có nguy cơ cao nhất vì chúng có khả năng sinh ra dòng thải acid và kèm theo đó là phát tán các kim loại nặng vào môi trường [4, 5, 6]. Trong quá trình khai thác và chế biến, các khoáng vật sulfid kim loại tiếp xúc với nước và không khí, bị oxy hóa tạo dòng thải acid và làm phân tán các kim loại nặng vào nguồn nước mặt, nước ngầm, môi trường đất, gây ảnh hưởng đến sức khỏe của người dân xung quanh.

Vấn đề môi trường trong khai thác khoáng sản ở các giai đoạn trước, trong và sau khi mỏ hoạt động từ lâu đã là mối quan tâm của các nhà khoa học và các cơ quan quản lý [7, 8]. Việc nghiên cứu, đánh giá tác động của hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản đến môi trường không chỉ là việc xác định tình hình ô nhiễm môi trường, các nguồn gây ô nhiễm mà còn phải tìm ra công cụ dự báo những vấn đề môi trường tiếp theo trong tương lai để có những giải pháp phòng ngừa giảm thiểu ô nhiễm tới mức thấp nhất có thể. *Mô hình địa môi trường* các mỏ khoáng chính là công cụ hữu ích để giải quyết vấn đề này [9, 10].

Việc xây dựng mô hình địa môi trường các mỏ khoáng trên thế giới đã đạt được những tiến bộ đáng kể trong những năm qua. Tuy nhiên ở nước ta, việc này mới chỉ bắt đầu trong vài năm gần đây. Do vậy, việc tiếp cận với *mô hình địa môi trường* là hướng nghiên cứu rất cần thiết ở Việt Nam. Xây dựng *mô hình địa môi trường* các mỏ khoáng sản là một trong những giải pháp góp phần vào sự phát triển bền vững ngành khai thác khoáng sản [9].

Ở nước ta, trong những năm gần đây các hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản đã và đang phát triển mạnh mẽ. Thực tế cho thấy, vấn đề ô nhiễm môi trường trong khai thác và chế biến khoáng sản xảy ra không chỉ khi mỏ đang hoạt động mà còn tiếp tục nhiều năm sau khi mỏ đã đóng cửa, đặc biệt là các mỏ sulfid [9]. Trong khi đó, việc nghiên cứu xây dựng mô hình địa môi trường các mỏ khoáng

như một công cụ phục vụ nhận dạng, phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường hầu như chưa được quan tâm một cách đầy đủ [9, 10]. Xuất phát từ nhận thức về tính cấp thiết của vấn đề và liên hệ với điều kiện thực tế ở Việt Nam, tác giả đã lựa chọn đề tài luận án “**Xây dựng mô hình địa môi trường các mỏ sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma ở Việt Nam**”. Các mỏ sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma ở Việt Nam đến nay đã được phát hiện ở hai khu vực: khu vực mỏ nickel Bản Phúc thuộc xã Mường Khoa, huyện Bắc Yên, tỉnh Sơn La và khu vực các điểm mỏ nickel - đồng Suối Cùn thuộc xã Ngũ Lão, điểm quặng Đông Chang, Phan Thanh thuộc xã Quang Trung, điểm mỏ Hà Trì thuộc xã Hà Trì, huyện Hòa An, tỉnh Cao Bằng [11].

2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- *Đối tượng nghiên cứu:* Môi trường đất, môi trường nước xung quanh các mỏ, quặng gốc, quặng phong hóa và các bãi thải, bãi chứa quặng, hồ thải của hai mỏ nickel Bản Phúc và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì. Điểm chung của hai mỏ và cụm mỏ này là chúng đều cùng thuộc kiểu mỏ có nguồn gốc magma dung ly trong các đá siêu mafic [11]. Tuy nhiên chúng lại nằm trong các cấu trúc địa chất khác nhau với các đá vây quanh có thành phần khác nhau. Các mỏ này cũng ở trong các giai đoạn khác nhau của vòng đời mỏ, trong khi Bản Phúc là mỏ đã được khai thác (hiện tạm ngừng hoạt động) còn cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì mới ở giai đoạn thăm dò và chuẩn bị khai thác. Do đó việc chọn hai đối tượng vừa có đặc điểm chung vừa có các đặc thù riêng không những cho phép xây dựng được mô hình địa môi trường mang tính tổng quát cao hơn mà còn có thể trực tiếp góp phần vào việc đánh giá tác động môi trường của cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì trước khi mỏ đi vào hoạt động.

- *Phạm vi nghiên cứu:* Diện tích các mỏ và các vùng lân cận có liên quan về mặt địa chất và môi trường mỏ.

3. Mục tiêu của luận án

- Xây dựng được mô hình địa môi trường các mỏ nickel Bản Phúc và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì.

- Dự báo các vấn đề môi trường tiềm ẩn và đề xuất các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường tại các mỏ sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma.

4. Nội dung nghiên cứu

- Nghiên cứu thành phần khoáng vật, thành phần hóa học và các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường, các dấu hiệu môi trường của các mỏ khoáng;

- Nghiên cứu tính toán và thực nghiệm để dự báo khả năng tạo dòng thải acid mỏ và phát sinh kim loại nặng vào môi trường;

- Đề xuất những giải pháp để giảm thiểu ô nhiễm môi trường tại các mỏ khoáng sản sulfid nói chung và kiểu mỏ sulfid nickel - đồng nói riêng.

5. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Các mỏ nickel Bản Phúc (Sơn La) và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì (Cao Bằng) đều thuộc cùng một kiểu mô hình địa môi trường mỏ sulfid nguồn gốc magma, đặc trưng bởi sự có mặt của hai loại quặng đặc sít và quặng xâm tán, liên quan đến các đá siêu mafic với thành phần khoáng vật quặng là các sulfid Ni - Cu. Tuy nhiên dấu hiệu môi trường ở hai khu mỏ có sự khác nhau do có sự khác biệt về đặc điểm địa chất cụ thể ở từng mỏ, tình trạng hoạt động mỏ và một số đặc điểm khác.

Luận điểm 2: Vấn đề môi trường tiềm ẩn ở cả hai mỏ nickel Bản Phúc (Sơn La) và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì (Cao Bằng) là sự hình thành dòng thải acid mỏ, kéo theo đó là nguy cơ ô nhiễm kim loại nặng, đặc biệt là Cu và Ni. Đối với mỏ nickel Bản Phúc, đối tượng cần chú ý là hồ thải quặng đuôi, còn ở cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì những vấn đề môi trường tiềm ẩn này cần được quan tâm khi lập kế hoạch khai thác.

6. Những điểm mới của luận án

- Xây dựng mô hình địa môi trường cho kiểu mỏ khoáng sản sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma gồm các hợp phần là các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường và các dấu hiệu môi trường.

- Nghiên cứu các quá trình ô nhiễm tại các mỏ khoáng, chỉ ra nguyên nhân sâu xa của sự ô nhiễm môi trường tại các mỏ khoáng sulfid. Mô phỏng quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid để tạo thành dòng acid mỏ làm tăng khả năng phân tán các kim loại nặng từ mỏ khoáng ra môi trường xung quanh.

- Dự báo các vấn đề ô nhiễm môi trường tiềm ẩn từ đó đưa ra các giải pháp giảm thiểu tại các mỏ sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học:

- Nghiên cứu xây dựng mô hình địa môi trường mỏ sulfid Ni - Cu nguồn gốc magma sẽ đóng góp thêm tư liệu cho việc nghiên cứu trong lĩnh vực môi trường, đặc

biệt là môi trường khai thác khoáng sản;

- Nghiên cứu chi tiết các đặc điểm địa hóa và các quá trình địa hóa ở các mỏ sulfid Ni - Cu nguồn gốc magma sẽ đóng góp cho sự phát triển của khoa học địa hóa nói chung và địa hóa môi trường nói riêng.

Ý nghĩa thực tiễn:

- Kết quả nghiên cứu xây dựng mô hình địa môi trường các mỏ Bản Phúc và Cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì sẽ trực tiếp cung cấp tư liệu và cơ sở cho việc xây dựng kế hoạch bảo vệ môi trường ở các mỏ Bản Phúc và cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì.

- Mô hình địa môi trường các mỏ Bản Phúc và cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì có thể áp dụng rộng rãi cho các mỏ cùng kiểu và sẽ cung cấp cho các nhà quản lý một công cụ hữu ích khi ra quyết định cấp phép khai thác mỏ, cung cấp cho các nhà quản lý, tổ chức, cá nhân hoạt động trong lĩnh vực khai thác khoáng sản và bảo vệ môi trường một phương tiện để đánh giá những vấn đề môi trường tiềm ẩn ở các mỏ khoáng phục vụ cho công tác bảo vệ môi trường khai thác khoáng sản nói chung.

8. Cơ sở tài liệu

Luận án được xây dựng trên kết quả của của các đề tài KHCN do nghiên cứu sinh làm chủ nhiệm gồm: “*Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định hành vi địa hóa và cơ chế phân tán của các nguyên tố độc hại (Cu, Ni, As, Pb) trong môi trường nước mặt khu vực các mỏ khoáng sản đồng - nickel; Lấy ví dụ mỏ nickel Bản Phúc*”, mã số: 13.01.16.C.01 thuộc Chương trình Khoa học Công nghệ của Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2016; Đề tài “*Nghiên cứu xây dựng mô hình phát tán các kim loại nặng vào môi trường khu vực có khoáng sản sulfur*”, mã số: TNMT.2021.562.01 thuộc “*Chương trình phát triển khoa học cơ bản trong lĩnh vực Khoa học trái đất theo Quyết định số 562/QĐ-TTg ngày 25 tháng 04 năm 2017 của Thủ tướng chính phủ. Mã số chương trình: 562*”. Luận án còn tham khảo các kết quả của đề tài “*Nghiên cứu đánh giá tiềm năng và triển vọng quặng Cu, Au, Ni khu vực Tây Bắc*”, Thuộc Chương trình Khoa học và Công nghệ trọng điểm cấp Nhà nước giai đoạn 2013 - 2018 “*Khoa học và Công nghệ phục vụ phát triển bền vững vùng Tây Bắc*”, mã số: KHCN - TB.02T/13 - 18, trong đó NCS là thành viên tham gia thực hiện. Ngoài ra NCS còn tham khảo tài liệu của Báo cáo kết quả thăm dò và tính trữ lượng mỏ nickel Bản Phúc và Báo cáo thăm dò nâng cấp các khối tài nguyên: ii.333, iii.333, iv.333, v.333, vi.333 và vii.333 trong phạm vi giấy phép khai thác số 1211/GP-

BTNMT của mỏ nickel Bản Phúc xã Mường Khoa, huyện Bắc Yên, tỉnh Sơn La và Báo cáo kết quả thăm dò quặng niken - đồng tại khu vực thuộc xã Quang Trung và xã Hà Trì, huyện Hòa An, tỉnh Cao Bằng.

Các tài liệu nguyên thủy được sử dụng cho luận án gồm: 40 mẫu quặng gốc, 25 mẫu quặng thứ sinh, 15 mẫu đá siêu mafic và các đá vây quanh, 91 mẫu bùn đáy, 97 mẫu nước mặt và 3 mẫu nước ngầm, 5 mẫu quặng đuôi;

Kết quả của các phân tích: thạch học 16 mẫu, khoáng tương 20 mẫu, XRF 45 mẫu bùn đáy, XRD 3 mẫu, AAS 330 mẫu nước, AAS 46 mẫu đất lấy tại khu vực Suối Cùn - Hà Trì. Các số liệu đo đạc một số thông số hóa lý môi trường nước pH, Eh, nhiệt độ tại thực địa. Các phân tích XRF được thực hiện trên máy XRF cầm tay tại Công ty TNHH Mỏ nickel Bản Phúc, các phân tích XRD, AAS và hóa được thực hiện tại Trung tâm Phân tích thí nghiệm Địa chất.

9. Bố cục của luận án

Ngoài phần mở đầu và kết luận kiến nghị, Luận án gồm 5 chương như sau:

Chương 1. Tổng quan về khu vực nghiên cứu và tình hình nghiên cứu mô hình địa môi trường

Chương 2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Chương 3. Mô hình địa môi trường mỏ nickel Bản Phúc

Chương 4: Mô hình địa môi trường mỏ nickel Suối Cùn

Chương 5: Các vấn đề môi trường tiềm ẩn và đề xuất các giải pháp ngăn ngừa ô nhiễm môi trường.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG

1.1. Tổng quan về khu vực nghiên cứu

Ở nước ta, các kết quả nghiên cứu cho đến nay đã xác lập được ba khu vực với ba kiểu tổ hợp magma siêu mafic - mafic có triển vọng về Ni - Cu: các xâm nhập siêu mafic trong tổ hợp basalt - komatit cấu trúc Sông Đà [11, 12, 13]; các xâm nhập phân lớp gabbro - peridotit cấu trúc Lô - Gâm; các xâm nhập lherzolit (picrit) gabbronorit cấu trúc Sông Hiến [14, 15].

Kết quả của công tác tìm kiếm thăm dò trong nhiều năm đã phát hiện ra các mỏ sulfid Ni - Cu trong các khu vực kể trên: mỏ nickel Bản Phúc trong cấu trúc Sông Đà, nhóm mỏ Ni - Cu khu mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì trong cấu trúc Sông Hiến. Còn trong phạm vi cấu trúc Lô Gâm cũng đã phát hiện một số biểu hiện quặng hóa Cu - Ni, song tại đây triển vọng thuộc về quặng Fe - Ti trong khối gabbro Núi Chúa. Do vậy, trong phạm vi luận án, nghiên cứu sinh tập trung vào các mỏ sulfid Ni - Cu ở hai khu vực cấu trúc Sông Đà và cấu trúc Sông Hiến, chủ yếu nhấn mạnh bối cảnh địa chất, các đá mafic - siêu mafic liên quan đến quặng hóa và cuối cùng là mô hình tạo quặng của các mỏ [16, 17, 18, 19].

Các mỏ sulfid Cu - Ni được chọn làm đối tượng nghiên cứu được phân bố ở 2 đới cấu trúc khác nhau: mỏ nickel Bản Phúc nằm trong đới Sông Đà và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì trong đới Sông Hiến.

1.1.1. Tổng quan về mỏ nickel Bản Phúc

1.1.1.1. Vị trí địa lý

Mỏ nickel Bản Phúc thuộc xã Mường Khoa, huyện Bắc Yên, tỉnh Sơn La. Tuy mỏ nằm ở vùng núi, có dân cư thưa thớt nhưng vị trí của mỏ lại có ý nghĩa về mặt môi trường. Từ mỏ nickel Bản Phúc có suối Phúc, suối Dăm chảy ra sông Đà, các suối này là con đường phân tán các kim loại nặng vào môi trường. Các chất ô nhiễm không chỉ ảnh hưởng đến môi trường xung quanh mỏ mà còn ảnh hưởng đến nguồn nước của sông Đà, là nguồn cung cấp nước sinh hoạt rất quan trọng ở vùng hạ lưu. Các kim loại nặng từ mỏ nickel Bản Phúc cần phải được kiểm soát, không để phân tán vào môi trường nước, môi trường đất [19].

1.1.1.2. Đặc điểm địa chất mỏ nickel Bản Phúc

a. Địa tầng

Tham gia vào cấu trúc địa chất của mỏ có các đá biến chất của hệ tầng Tạ Khoa ($D_{1-2} tk$) và các đá biến chất phần dưới của hệ tầng Bản Cải ($D_3 bc$).

* *Hệ tầng Tạ Khoa ($D_{1-2} tk$):* Các đá của hệ tầng Tạ Khoa phân bố ở phần phía tây và phía đông nam mỏ, chiều dày khoảng 200 - 300m. Các đá thuộc phần trên của hệ tầng Tạ Khoa, có thành phần chủ yếu là phiến mica hạt thô màu xám bạc, cấu tạo nhẵn bề mặt dạng sóng, đá phiến thạch anh mica hạt trung trong đó các hạt thạch anh dạng thon dài, có màu xám lục tới xám tối [19].

* *Hệ tầng Bản Cải ($D_3 bc$):* Trong khu mỏ Nickel Bản Phúc, phân bố chủ yếu là các đá biến chất thuộc phần thấp của phân hệ tầng Bản Cải dưới. Căn cứ vào thành phần thạch học chia làm hai tập:

- *Tập dưới ($D_3 bc^1_1$):* Các đá của tập dưới chiếm khối lượng chủ yếu trong mỏ, phân bố hầu hết diện tích mỏ. Chiều dày khoảng 200 - 250m. Phần dưới cùng của tập là các đá dăm kết vôi hạt thô màu xám, xám đen, loang lổ, cấu tạo dăm. Mảnh dăm là các mảnh vụn tròn cạnh và bán tròn cạnh, sắc cạnh của đá phiến thạch anh mica màu xám đen hạt trung. Các mảnh dăm được gắn kết bằng xi măng cacbonat có màu xám sáng bị biến chất mạnh kết tinh thành kiến trúc hạt dạng đường kính. Phần này có độ dày khoảng 50m, thế nằm không ổn định. Đây có thể coi là tầng lót đáy của các trầm tích hệ tầng Bản Cải [19]. Chuyển tiếp lên là các đá phiến chứa vôi phân lớp mỏng với chiều dày lớp 2 - 3cm, xen kẹp các thấu kính đá hoa hạt thô màu xám [19].

- *Tập trên ($D_3 bc^2_1$):* Các đá phần trên là các đá trầm tích biến chất không chứa vôi, đặc trưng là sự xen kẽ khá đều của đá phiến mica hạt nhỏ và quartzit phân lớp mỏng tới trung bình. Tại vị trí tiếp giáp với khối xâm nhập Bản Phúc, các đá vây quanh và đá kẹp trong đới sulfid Ni - Cu đặc sít thường bị biến chất, bị silic hoá tạo nên các đá sừng, phiến silic, đôi chỗ có sừng granat, sừng cordierit. Các đá tập trên tầng Bản Phúc phân bố chủ yếu khu vực giữa của mỏ và Đông Bắc mỏ với thế nằm không ổn định, cắm dốc 60 - 80°. Chiều dày của tập này khoảng 200m [19].

Các đá phân bố xung quanh khối xâm nhập Bản Phúc bị biến chất nhiệt tạo thành đới đá sừng rộng. Các loại đá sừng gồm có sừng hạt mịn kiến trúc hạt biến tinh phân lớp mỏng và đá phiến mica sừng hoá kiến trúc vảy biến tinh. Theo đặc điểm thành phần khoáng vật, các loại đá sừng được phân thành đá sừng calcit - thạch anh

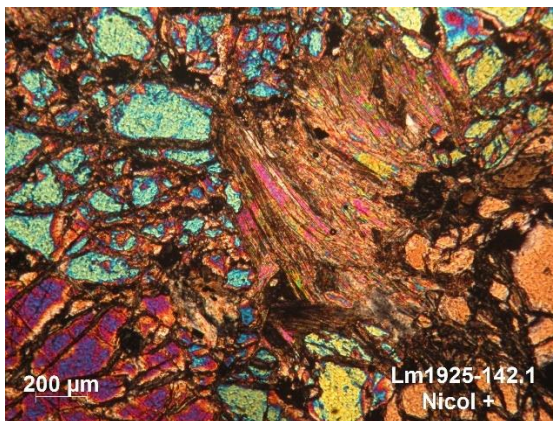
- diopxit, đá sừng quartzit, sừng thạch anh - cordierit, sừng thạch anh - cordierit - biotit và sừng thạch anh - cordierit - felspat.

Các lớp, thấu kính đá hoa phân bố xung quanh khối xâm nhập cũng bị biến chất tiếp xúc làm cho đá có mức độ hoa hoá mạnh hơn các nơi khác. Đá có màu xám đen, phân lớp dày, kiến trúc hạt biến tinh. Thành phần khoáng vật của đá hoa gồm 70 - 80% calcit và dolomit, 3 - 5% mica, 7 - 15% tremolit, 3 - 10% thạch anh [19].

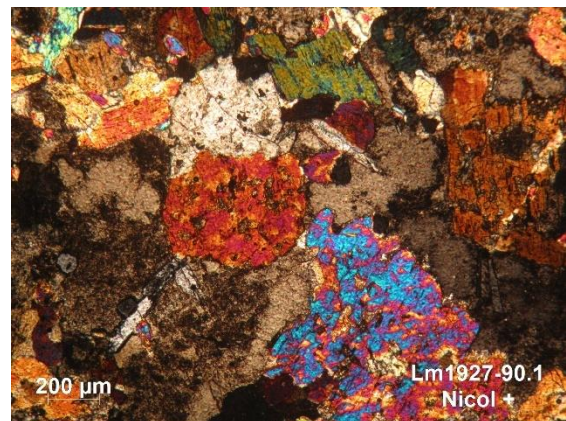
b. Các thành tạo magma

Các thành tạo magma trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc chủ yếu là các đá mafic và siêu mafic liên quan đến các các xâm nhập sâu. Các đá thuộc nhóm siêu mafic Bản Phúc phân bố chỉ trong phạm vi hai khối Bản Phúc và Bản Khoa. Các đá siêu mafic Bản Phúc gồm có các đá dunit, olivinit, Peridotit bị biến đổi mạnh thành Serpentin (ảnh 1.1; ảnh 1.2; ảnh 1.3; ảnh 1.4) Các đá olivinit và peridotit còn tươi chỉ thấy ở phần sâu của khối Bản Phúc. Các đá thường có màu đen xanh, xám đen đôi khi xám đen, xám lục đốm trắng và đốm nâu khi bị phong hoá. Thành phần chủ yếu là olivin bị serpentin hoá mạnh hạt thô đẳng thước và có chỗ thon rất dài và ít hỗn hợp phlogopit, vermiculit, fucxit, magnezit, talc, serpentin, magnetit ở khoảng giữa các hạt olivin. Đá có các cấu tạo dồn tích, hạt thô. Độ từ tính rất mạnh [19].

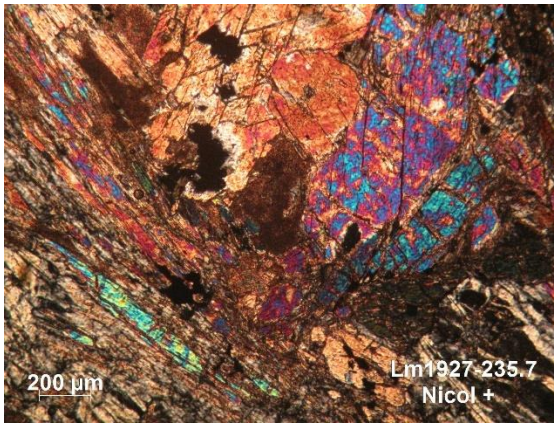
Về mặt hoá học các đá siêu mafic Bản Phúc có đặc điểm riêng biệt so với tất cả các đá trong khu vực. Chúng có đặc điểm rất cao oxit magnesi; thấp oxit chrom, natri, kali, titan và nhôm; trung bình về oxit silic, hơi cao về oxit calci với các đá khác trong khu vực do biến đổi.



Ảnh 1.1. Dunit bị serpentin hóa, tremolit và chlorit hóa nhẹ [19]



Ảnh 1.2. Đá Gabro porphyrit [19]

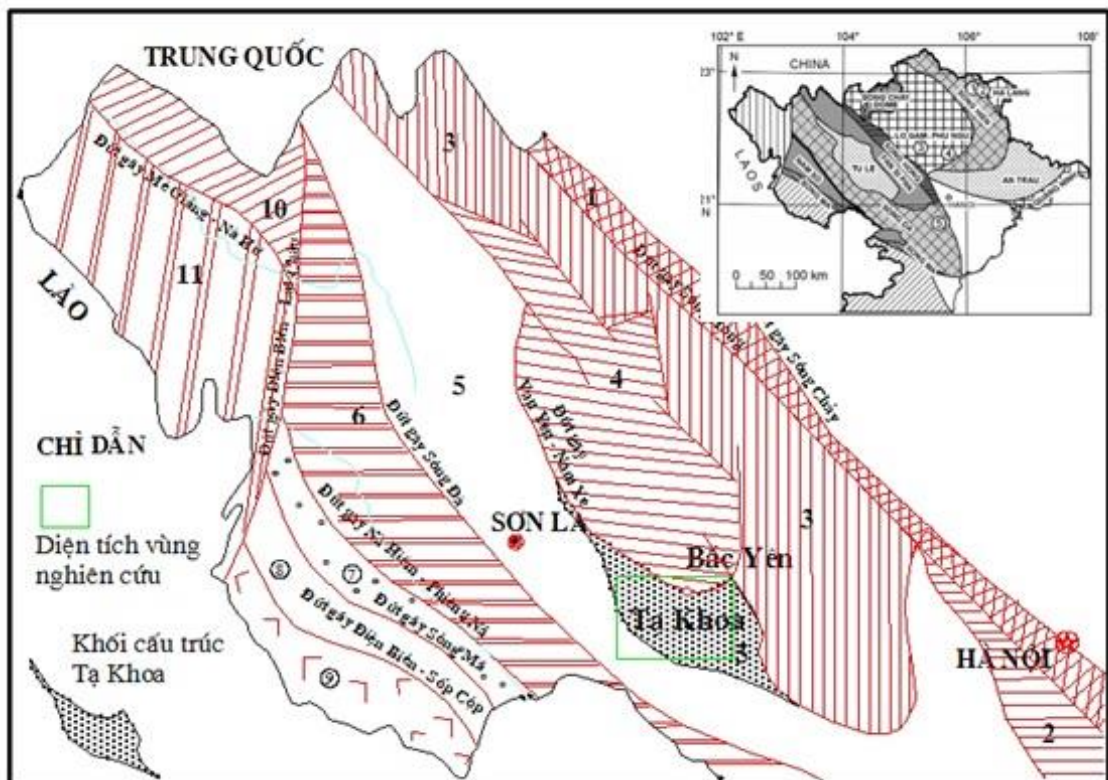


Ảnh 1.3. Đá Peridotit biến đổi hoàn toàn [19]



Ảnh 1.4. Dunit biến đổi hoàn toàn thành Serpentinít [19]

Mỏ nickel Bản Phúc liên quan đến các thành tạo siêu mafic của phức hệ Bản Xang [18]. Mỏ gồm hai kiểu quặng: sulfid đặc sít bên ngoài khối siêu mafic và sulfid xâm tán nằm bên trong khối siêu mafic (hình 1.1).



Hình 1.1. Sơ đồ địa chất khu Tạ Khoa, Dựa theo tài liệu của Trần Trọng Hòa và nnk năm 2011 [11]

Các kiểu khoáng hóa này đều là các sulfid magma dung ly được hình thành từ khối magma siêu mafic Bản Phúc. Sulfid đặc sít được thành tạo vào giai đoạn phân dị dung ly sớm, sulfid xâm tán trong khối là sản phẩm phân dị dung ly muộn hơn [13, 14]. Chính vì vậy mà khoáng hoá sulfid đặc sít giàu các nguyên tố platin hơn trong khu vực kể cận [18].

c. Kiến tạo

Mỏ nickel Bản Phúc nằm trong vùng Tạ Khoa thuộc đới cấu trúc Sông Đà. Theo các công trình đã công bố về cấu trúc địa chất đới Sông Đà, đại đa số các tác giả đều xem đới Sông Đà là một đới rift nội lục nằm giữa hai đới nâng gồm đới Sông Mã ở phía tây và đới Phan Xi Păng ở phía đông, được ngăn cách bằng các đứt gãy sâu. Đới rift được đặc trưng bằng sự phát triển rộng rãi và đa dạng các đá phun trào và xâm nhập thành phần mafic - siêu mafic. Những đặc điểm này hoàn toàn thoả mãn với các quan niệm của thế giới về rift nội lục [20, 21, 22, 23, 24, 25].

Rift Sông Đà phát triển theo phương tây bắc đông nam, trải dài trên vài trăm km từ Ninh Bình qua Hòa Bình, Sơn La tới biên giới Việt Trung. Trên bình đồ cấu trúc chung, rift Sông Đà nằm ở phần rìa của mảng Indochina và gần ranh giới giữa mảng này và mảng Nam Trung Hoa [23, 25]. Ranh giới của hai mảng có phương tây bắc - đông nam [26].

Các đá phun trào chiếm một khối lượng chính trong rift, có thành phần mafic - siêu mafic. Theo Poliacov, có 3 kiểu tổ hợp mafic - siêu mafic trong phạm vi cấu trúc Sông Đà. Phần trung tâm nơi bị bóc mòn mạnh mà điển hình là Nậm Muội và Tạ Khoa chủ yếu là các đá basalttoit cao magnesi, thấp kiềm và thấp titan, đi cùng với chúng là các thân xâm nhập siêu mafic với thành phần tương tự các đá núi lửa cùng rất cao magne, rất thấp kiềm và titan. Phủ trên chúng là các đá núi lửa basalttoit cao titan, cao kiềm và các đá salit kiềm có thành phần tương ứng với những tổ hợp kiềm tương phản. Phần rìa phía tây như đới Sơn La và phần thấp ở phía đông nam như vùng Ba Vì, Hòa Bình, Kim Bôi cũng như khu vực đông bắc như Nậm So, Suối Cẩn và Đồng Nghệ có các tổ hợp basalt - andezit - dolerit - picrit á kiềm cùng với các thân xâm nhập siêu mafic nhỏ có độ kiềm và titan khá cao [12, 13].

Khu vực Tạ Khoa là phần trung tâm của rift Sông Đà cả về phân đới ngang cũng như dọc theo phương phát triển. Về mặt cấu trúc, khu vực Tạ Khoa là một nếp lồi [18]. Phân nhân của cửa nếp lồi được cấu thành bởi các đá biến chất cao của hệ tầng Tạ Khoa tuổi Devon dưới. Phần cánh của nếp lồi là các đá trầm tích biến chất thấp hơn của hệ tầng Bản Cải tuổi Devon giữa. Các đá của hệ tầng Bản Cải cắm ngược lại với trục nếp uốn thể hiện bản chất ôm lồi nhân nếp lồi. Phủ bất chỉnh hợp lên các đá trầm tích phun trào và phun trào mafic của hệ tầng Viên Nam [18].

Các tập đá phun trào của hệ tầng Viên Nam có thể nằm cắm vào trong về phía

trục uốn nếp. Thế nằm của các đá phun trào chứng tỏ phần trục nếp lồi là trục tách giãn và các đá phân bố gần trục có tuổi trẻ hơn các đá phun trào ven rìa. Đặc điểm này phản ánh hình ảnh của một rift nội lục tích cực. Qua đó có thể thấy phần trung tâm của nếp lồi Tạ Khoa được hình thành do hệ quả của quá trình tạo vòm ở giai đoạn ban đầu của rift Sông Đà. Khu vực nhân nếp lồi với đặc điểm biến chất cao cùng với sự có mặt của các khối siêu mafic khá lớn như khối Bản Phúc và Bản Khoa [18]. Quá trình tạo quặng sulfid Cu - Ni trong đó có mỏ Bản Phúc nổi tiếng đi liền với khối siêu mafic này. Các đai siêu mafic khác và một loạt các đai pegmatit phân bố hạn chế trong các đá biến chất dạng gneis, các tập đá sừng chứng tỏ đây là một vòm nhiệt. Sự phân bố của các tập phun trào mafic có xu hướng phân đới ngang cũng như thế nằm của chúng cắm vào trục rift phản ánh đặc điểm xuất hiện hoạt động núi lửa và tách giãn muộn hơn tạo vòm. Tại đây chủ yếu có các thành tạo phun trào mafic và siêu mafic của pha sớm [18, 19].

Từ hai khu vực này đi về hai phía của rift các đá có độ acid tăng dần lên. Xu hướng này cũng phản ánh rõ ràng rằng khu vực Tạ Khoa và Nậm Muội liên quan tới nguồn sâu hơn và có độ nóng chảy cao hơn, trong khi đó các khu vực khác ứng với nguồn nông hơn với độ nóng chảy thấp hơn nên phổ biến magma tương phản [18].

Khi nghiên cứu về địa hoá - khoáng vật của các đá núi lửa cao magnesi của rift Sông Đà, Poliacov đã cho rằng các đá này tương ứng với các đặc trưng thành phần của các đá thuộc seri basalt - komatit. Cũng theo tác giả này chất nền manti ban đầu của các tổ hợp mafic - siêu mafic của rift có thành phần theo tính toán tương ứng với peridotit granat. Kết quả nghiên cứu tuổi tuyệt đối bằng đồng vị Rb-Sr cho các đá basalt cao magnesi vùng Nậm Muội của Poliacov cho tuổi 257 ± 24 triệu năm, tương đương với Pecmi muộn [18].

Đặc điểm này cùng với tính nguyên thủy của magma trong khu vực Tạ Khoa cao hơn các đới khác thông qua loạt magma cao magnesi của khu vực này có thể đây là nơi chịu tác động trực tiếp của nham manti vào giai đoạn đầu của quá trình phát triển rift [18].

Trong khu vực Tạ Khoa, hoạt động uốn nếp đã từng diễn ra hết sức mạnh mẽ, kết quả là tạo thành một nếp lồi hay vòng lồi, khối siêu mafic Bản Phúc là trung tâm của nếp lồi. Hoạt động uốn nếp là một trong những yếu tố quan trọng để không chế quặng hóa trong khu vực [18].

Trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc có một đứt gãy chạy theo phương tây bắc - đông nam và được coi là trục phát triển của khối Bản Phúc [18]. Đứt gãy này đã tạo ra đới phá huỷ làm cho các đá ở cánh đông bắc khối xâm nhập bị dập vỡ, cắt siết, vò nhàu với các cấu tạo dăm kết kiến tạo, cataclazit rất phổ biến, đôi chỗ có các mặt trượt graphít hoá. Đứt gãy này không chế sự phát triển của khối Bản Phúc cũng như các thân xâm nhập khác dọc theo chúng.

Nhìn chung các đới khe nứt phát triển theo các đứt gãy chủ đạo mà ở đây là những đứt gãy tây bắc - đông nam trước xâm nhập. Do đó ngoài yếu tố phát triển theo khe nứt song song với ranh giới khối siêu mafic.

d. Nguồn gốc mỏ nickel Bản Phúc

Theo rất nhiều các công trình khoa học đã được công bố và tài liệu thăm dò có thể thấy khoáng hoá sulfid của mỏ nickel Bản Phúc thuộc kiểu magma dung ly. Kiểu khoáng hoá này đặc trưng cho mỏ nickel Bản Phúc và các điểm khoáng hoá Suối Đán, Bản Khoa, Bản Trạng, Bản Tao, Nam Bản Trạng, Bản Mông, Hồng Ngài trong cấu trúc Tạ Khoa [18]. Chúng phát triển trong đới giãn tách với dị thường từ mạnh, phương 290 - 300°, gần trục nếp lồi Tạ Khoa. Sulfid nickel tồn tại ở dạng mạch sulfid đặc sít liên quan trực tiếp với các khối siêu mafic lớn như khối Bản Phúc và các đai siêu mafic kiểu Bản Mông. Sulfid nickel xâm tán bám đáy trong các thân siêu mafic cao magnesi như khối Bản Phúc, Bản Khoa và trong các thân xâm nhập siêu mafic thể vĩa phân dị mạnh gồm periodotit tới melanogabro như Hồng Ngài [18].

Căn cứ vào sự phân bố, thành phần vật chất, đặc điểm cấu tạo kiến trúc của các loại quặng sulfid Ni - Cu trong mỏ có thể thấy chúng được thành tạo trong các giai đoạn khác nhau trong thời kỳ tạo khoáng sulfid magma dung ly của mỏ Bản Phúc. Sulfid đặc sít được xếp vào giai đoạn sớm của quá trình phân dị magma dung ly từ magma khối siêu mafic Bản Phúc. Sulfid xâm tán bên trong các đá olivinit phân bố ở phần đáy và vách hiện tại là sản phẩm của phân dị dung ly muộn hơn [18].

Sulfid đặc sít phân bố ở cánh nằm của khối xâm nhập và hơn nữa trong vách trong khối xâm nhập còn có những thấu kính sulfid đặc sít có mối liên chặt chẽ về không gian như đã nêu ở trên nên chúng là các sản phẩm của pha phân dị dung ly giàu sulfid đầu tiên của magma khối Bản Phúc khi xét về mặt không gian hay xét theo mối quan hệ giữa các thể địa chất. Sự phân bố ở cánh nằm khối xâm nhập rõ ràng dung thể sulfid với một lượng nhỏ magma silicat bị lẫn vào đã thoát ra từ đáy buồng

do tác nhân kiến tạo, hoặc do sức ép địa tĩnh của khối magma bên trên, rồi tiêm nhập vào các đới khe nứt trong đá sừng. Do nhiệt độ bên ngoài giảm nhanh nên magma silicat lẫn trong dung thể sulfid kết tinh nhanh theo kiểu tôi nguội nên chúng tạo thành các đá siêu mafic - mafic hạt mịn như lớp tôi nguội trong đới ranh giới của khối xâm nhập. Trong mỏ các đai siêu mafic này chứa sulfid dạng thấu kính đặc sít và phổ biến là xâm tán [17, 18].

Căn cứ vào sự phân bố, thành phần vật chất, đặc điểm cấu tạo kiến trúc của các loại quặng sulfid Ni - Cu trong mỏ có thể thấy chúng được thành tạo trong các giai đoạn khác nhau trong thời kỳ tạo khoáng sulfid magma dung ly của mỏ Bản Phúc. Sulfid đặc sít được xếp vào giai đoạn sớm của quá trình phân dị magma dung ly từ magma khối siêu mafic Bản Phúc. Sulfid xâm tán bên trong các đá olivinit phân bố ở phần đáy và vách hiện tại là sản phẩm của phân dị dung ly muộn hơn. Sulfid đặc sít phân bố ở cánh nằm của khối xâm nhập và hơn nữa trong vách trong khối xâm nhập còn có những thấu kính sulfid đặc sít có mối liên chặt chẽ về không gian như đã nêu ở trên nên chúng là các sản phẩm của pha phân dị dung ly giàu sulfid đầu tiên của magma khối Bản Phúc khi xét về mặt không gian hay xét theo mối quan hệ giữa các thể địa chất. Phân dị dung ly là sự tách ra của một bộ phận magma giàu sulfid kim loại khỏi dung thể silicat ngay trong trạng thái lỏng khi dung thể magma bão hoà sulfid. Với quan niệm về phân dị dung ly như vậy rõ ràng chỉ có giai đoạn đầu tiên khi khối magma đang còn trong trạng thái lỏng bão hoà sulfid do nhiệt độ hạ xuống có thể phân tách ra được hai phần riêng biệt của khối magma với phần magma giàu sulfid kim loại phân bố ở đáy. Chỉ có giai đoạn này mới có khả năng tạo nên các tích tụ sulfid đặc sít bám đáy hay các thân sulfid đặc sít phân bố trong cánh nằm khối xâm nhập [17, 18].

Khi sulfid đặc sít tiêm nhập vào đới khe nứt ở dưới sâu nên tốc độ giảm nhiệt chậm và ổn định do đó các khoáng vật sulfid kết tinh và phân tách triệt để. Sự phân bố của các khoáng vật và cũng như sự phân đới của các nguyên tố tạo quặng cho thấy quá trình kết tinh của dung thể sulfid tuân theo quy luật là các sản phẩm dung dịch cứng đơn sulfid với chủ yếu là sulfid sắt và nickel kết tinh trước lắng đọng ở cánh nằm và phần trung tâm thân sulfid, phần dung dịch tàn dư giàu đồng phân bố ở phần trên và nhất là ở phần mép và đới xâm tán bên ngoài thân sulfid đặc sít. Do nhiệt độ giảm dần dung dịch cứng đơn sulfid phân tách thành pentlandit và pyrotin tạo thành

các đám hạt lớn có kiến trúc mọc xen hạt thô. Tuy nhiên, rải rác vẫn có kiến trúc phân huỷ dung dịch cứng như kiến trúc lamela hay chuỗi hạt nhỏ pentlandit trên nền pyrotin [17, 18].

Dung dịch sulfid sau kết tinh dung dịch cứng đơn sulfid trở thành dung dịch sulfid tàn dư giàu đồng. Dung dịch này bị ép ra phần rìa mạch và ra ngoài thâm nhập vào các khe nứt phát triển trong các đá nằm kẹp giữa các nhánh sulfid đặc sít và chủ yếu ra phần khe nứt cánh treo của thân sulfid đặc sít tức là khoảng giữa thân sulfid đặc sít và khối xâm nhập. Quá trình này đã hình thành nên đới quặng sulfid giàu đồng xâm tán bên ngoài thân sulfid đặc sít [18].

Sulfid xâm tán trong khối xâm nhập là loại quặng có cấu tạo xâm tán. Các đám sulfid nằm trong các khoảng trống giữa các hạt olivin có dạng ép dẹt méo mó phụ thuộc vào hình thái khe trống. Đặc điểm này chứng tỏ chúng bị kẹt lại trong quá trình di chuyển xuống đáy và kết tinh muộn hơn các khoáng vật tạo đá. Như vậy về mặt quan hệ giữa olivin và sulfid rõ ràng sulfid được tách ra dưới dạng giọt từ các magma chưa kết tinh bên trên các đám olivin đã và đang kết tinh. Điều này cho thấy rõ ràng sulfid xâm tán trong khối xâm nhập thành tạo muộn hơn so với sulfid đặc sít [18, 19]. Mật độ xâm tán sulfid trong các đới quặng khá đồng đều và cũng được thể hiện ở hàm lượng nickel trong các mẫu trong thân quặng khá giống nhau nên có thể thấy quá trình tách ra của olivin và sulfid đã xảy ra liên tục theo một tỷ lệ khá cố định ứng với điểm bão hoà lưu huỳnh do lượng sắt giảm và nhiệt độ hạ đều đặn. Do yếu tố trọng lực chi phối sự phân bố của sulfid và olivin trong khối nên sulfid chủ yếu nằm trong các đới olivinit [18, 19].

1.1.2. Tổng quan về cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì nằm trong cấu trúc Sông Hiến, liên quan đến các thành tạo mafic - siêu mafic. Các nhà nghiên cứu cho rằng đới Sông Hiến là đới rift nội lục [22, 23, 24]. Lịch sử tiến hóa của bình đồ đới cấu trúc Sông Hiến được thể hiện qua sự phát triển của các thành tạo trầm tích - magma. Tại đới Sông Hiến, các thể xâm nhập magma được xuyên lên dọc theo các đứt gãy đứt gãy ranh giới [27, 28, 29]. Các thể magma chứa sulfid này tạo thành một chuỗi các xâm nhập dạng thấu kính sắp xếp gần như tuyến tính theo hướng tây bắc và đi liền với chúng là các khoáng hóa tại Suối Cùn, Hà Trì đã được phát hiện [22].

1.1.2.1. Vị trí địa lý

Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là một nhóm mỏ gồm các điểm mỏ có quặng hóa nickel được phát hiện thuộc địa phận xã Ngũ Lão, xã Quang Trung, xã Hà Trì, huyện Hoà An tỉnh Cao Bằng [28]. Diện phân bố của các thân quặng rộng, các thân quặng có dạng ô. Sự phân tán các thân quặng trên quy mô rộng sẽ gây khó khăn cho công tác quản lý hoạt động khai thác và sự kiểm soát môi trường cũng khó khăn.

1.1.2.2. Đặc điểm địa chất mỏ khu vực Suối Cùn - Hà Trì

a. Các phân vị địa tầng

Đặc điểm địa chất cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì được các tác giả nghiên cứu và đã thành lập được các tờ bản đồ địa chất. Trong khu vực mỏ có mặt các phân vị địa tầng sau:

* Hệ tầng Mía lé ($D_1 ml$)

Hệ tầng Mía Lé được chia làm 2 tập, trong diện tích tờ bản đồ có mặt tập 2 ($D_1 ml_2$) phân bố ở phía đông nam diện tích vùng nghiên cứu, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam. Thành phần thạch học gồm: bột kết, phiến sét, đá vôi, đá phiến sét vôi, cát kết, màu xám, xám đen, xám tro, cấu tạo phân lớp mỏng. Chứa phong phú hoá thạch nằm trong đá phiến sét, bột kết. Chiều dày 150 - 250m [28].

* Hệ tầng Bắc Sơn ($C-P_2 bs$)

Trầm tích của hệ tầng Bắc Sơn phân bố về phía đông, đông bắc diện tích vùng nghiên cứu, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam. Thành phần thạch học gồm: đá vôi hạt mịn màu xám đến xám sáng, xám trắng, cấu tạo phân lớp dày đến cấu tạo khối [19]. Chiều dày > 500m.

* Hệ tầng Bằng Giang ($P_3 - T_1 bg$)

Phân bố ở trung tâm tờ bản đồ, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam. Thành phần thạch học gồm: bazan hạnh nhân, bazandolerit, andesitobazan và tuf của chúng, xen các lớp hay thấu kính đá phiến sét, bột kết, cát kết, đá vôi, sét vôi màu xám đen, xám tro. Chiều dày: 400 - 700m [28].

* Hệ tầng Sông Hiến ($T_1 sh$)

Trầm tích của hệ tầng Sông Hiến phân bố ở trung tâm và phía đông bắc và tây nam diện tích tờ bản đồ, được chia làm 3 tập.

- Tập 1 ($T_1 sh_1$): Thành phần thạch học gồm: Ryolit, ryodacit, dacit và tuf của chúng xen các lớp đá cát kết, phiến sét, bột kết, thấu kính đá vôi, sét vôi màu xám

đen. Chiều dày 150 - 200m [28].

- *Tập 2 ($T_1 sh_2$)*: Thành phần thạch học gồm: Cát kết tuf, cát bột kết, bột kết, phiến sét màu xám, xám vàng, xen lớp mỏng hoặc thấu kính đá phun trào acit, đôi nơi có thấu kính nhỏ đá vôi, sét vôi màu xám đen. Chiều dày 100 - 120m. [28]

- *Tập 3 ($T_1 sh_3$)*: Phân bố về phía tây nam vùng khảo sát, chiếm một diện tích nhỏ. Thành phần thạch học gồm: cát bột kết, đá phiến sét màu xám đen, xen lớp mỏng đá cát kết, cát kết tuf. Chiều dày 50 - 80m [28].

* *Hệ tầng Cao Bằng ($N_1^3 cb$)*

Phân bố về phía tây bắc vùng nghiên cứu, phủ bất chỉnh hợp lên trên trầm tích của hệ tầng Sông Hiến được chia làm 2 tập [28].

- *Tập 1 ($N_1^3 cb_1$)*: Thành phần thạch học gồm: Cuội kết, sạn kết, hỗn tạp xen lớp mỏng thấu kính đá cát kết. Chiều dày 100 - 150m [28].

- *Tập 2 ($N_1^3 cb_2$)*: Thành phần thạch học gồm: Cuội kết, sạn kết, cát kết, hỗn tạp xen kẹp đá bột kết, sét than và lớp mỏng than nâu. Chiều dày 50 - 100m [28].

* *Hệ Đệ Tứ không phân chia (Q)*

Trầm tích của hệ Đệ tứ chiếm một diện tích nhỏ, phân bố ở thành phố Cao Bằng dọc theo sông Bằng Giang và dọc theo quốc lộ 4A kéo dài theo phương tây bắc đông nam, phủ trực tiếp lên trên bề mặt đá gốc hoặc bề mặt phong hoá của đá gốc. Thành phần gồm: cuội, sỏi, cát, sét, bột bở rời, dày 10 - 15m [28].

b. Các thành tạo magma

Trong diện tích vùng nghiên cứu có 2 phức hệ magma xâm nhập.

* *Phức hệ Cao Bằng*

Phức hệ Cao bằng được Nguyễn Văn Chiền xác lập năm 1965 gồm tổ hợp các khối bazơ và siêu mafic được xếp vào tuổi $T_2 - K_2$. Trong bản đồ địa chất Việt Nam tỷ lệ 1/500 000 các đá nêu trên được xếp vào phức hệ Cao Bằng nhưng tuổi Triat sớm - giữa. Báo cáo đo vẽ bản đồ địa chất và tìm kiếm khoáng sản nhóm từ Cao Bằng - Đông Khê của Nguyễn Thế Cường năm 1999, phức hệ Cao Bằng chỉ gồm các đá xâm nhập mafic và siêu mafic và xếp vào tuổi Permi muộn - Triat sớm ($vP_3 - T_1 bg$) được chia làm 2 pha [28, 29].

- *Pha 1 ($vP_3-T_1 cb_1$)*

Khối nằm rải rác, kéo dài dọc theo hệ thống đứt gãy phương tây bắc - đông nam.

Đặc điểm phân bố và cấu tạo địa chất: Trong diện tích vùng khảo sát phân bố dọc theo hệ thống đứt gãy phương tây bắc - đông nam có 3 khối lớn (khối Suối Cùn, Khuổi Khoang, khối thôn 5 Hà Trì và một số khối nhỏ nằm rải rác trong vùng [29].

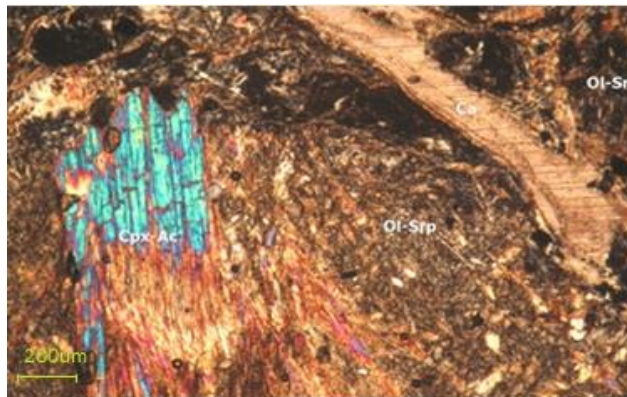
Đặc điểm thạch học và khoáng vật: Dựa vào thành phần khoáng vật, hoá học và các đặc điểm kiến trúc, có thể phân chia các xâm nhập mafic thành các biến loại sau: gabrodiabas, congadiabas, diabas và granophyr. Kiến trúc hạt nhỏ, đôi khi dạng porphy. Thành phần khoáng vật khá ổn định plagioclas (55 - 60%); Pyroxen (30 - 35%), khoáng vật quặng: ilmenit, magnetit. Trong những biến loại giàu thạch anh (15 - 18%) đá có thành phần tương ứng với diorit thạch anh hơn granodiorit có kiến trúc kiểu granophyr rất đặc trưng, và tạo thành đá trung gian giữa congadiabas và granophyr [29].

Kết quả phân tích mẫu lát mỏng cho thấy thành phần thạch học chủ yếu là gabro, gabrodiabas, gabronorit, congadiabas, diabas, màu xám, xám xanh, kiến trúc hạt nhỏ đến vừa, cấu tạo khối. Thành phần khoáng vật chủ yếu là: Plagioclas, Pyroxen. Kiến trúc hạt nhỏ đến vừa, bị biến đổi thứ sinh từ nhẹ đến mạnh [29].

- Plagioclas dạng lăng trụ, tấm tự hình, kích thước từ 0,5mm đến 2,5mm, không màu cát khai hoàn toàn, chiếm 40% đến 65%, trong diabas, congadiabas chiếm rất thấp từ 37% đến 56% [28].

- Pyroxen xiên dạng lăng trụ tha hình, kích thước từ 0,5 - 1,5mm màu phớt lục cát khai hoàn toàn, chiếm từ 23% đến 55%, trong diabas chiếm 36 - 45% [28].

- Pyroxen thoi chỉ gặp ở một số mẫu, dạng lăng trụ, tấm nửa tự hình, tha hình, kích thước từ 1 - 2,5mm, bị sepeptin hoá dạng sợi, vi vẩy tha hình, không màu, cát khai rất hoàn toàn [28].



Ảnh 1.5. Đá gabrodiabas tại khu Hà Trì

Đặc điểm thạch địa hoá: Về thành phần hoá học ($\text{TiO}_2 = 0,5 - 1,45\%$), $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,03 - 0,2\%$; Tỷ lệ $\text{TiO}_2/\text{P}_2\text{O}_5 = 15,6 - 26$. Chúng đặc trưng cho độ kiềm thấp hàm lượng $\text{MgO} = 4,85 - 8,6\%$; độ kiềm $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1,83 - 2,91\%$. thuộc loại tương đối thấp kali và natri thường trội hơn kali $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 3,9 - 24,8$ [28].

Hàm lượng Cu, Ni, Co, Cr tương đối thấp: Cu = 58 - 179ppm; Ni = 68 - 111ppm; Co = 39 - 72ppm; Cr = 61 - 293ppm. Về tổng thể các đá xâm nhập thành phần chủ yếu bazơ thuộc phức hệ Cao Bằng có đặc trưng về hàm lượng Ni - Cu rất gần gũi với bazantoid hệ tầng Bằng Giang và điều đó chứng tỏ rằng chúng có quan hệ mật thiết về nguồn gốc [28].

- Pha 2 (vP₃-T_{1cb2})

Đặc điểm phân bố và cấu tạo địa chất: các thành tạo magma của pha này phân bố dọc theo hệ thống đứt gãy phương tây bắc - đông nam gồm có các khối: Khối Suối Cùn, khối nam Suối Cùn, khối khuổi Bắc, khối thôn Phan Thanh (Khuổi Giàng), khối thôn 5 Hà Trì và một số khối nhỏ nằm rải rác trong vùng [28].

Thành phần thạch học của các khối này khá đơn giản chủ yếu là peridotit, lertzolit [29]. Đặc điểm cấu tạo địa chất của các khối cho thấy trong khu vực thường tạo thành các khối xâm nhập độc lập, có thành phần không phức tạp.



Ảnh 1.6. Đá peridotit có sulfid xâm tán tại khối Phan Thanh

Đặc điểm thạch học và khoáng vật:

+ Peridotit có thành phần khoáng vật chủ yếu là Olivin (40 - 70%), orto Pyroxen và clin Pyroxen (20 - 25%), đôi khi có plagioclas (đến 10%), Biotit (5%) [28]. Khoáng vật phụ đặc trưng: Cromspinel, Ilmenit và sulfua. Kiến trúc gần toàn tự

hình.

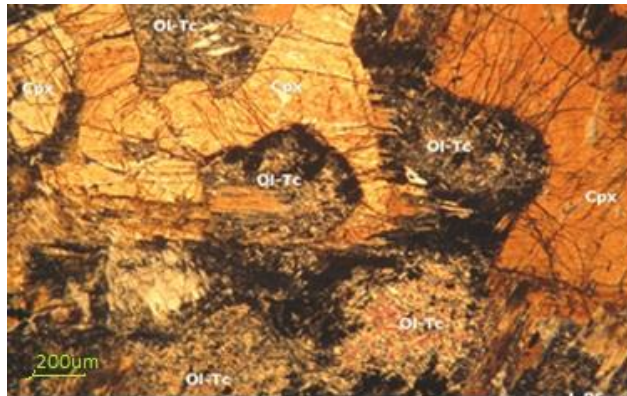
+ Kết quả phân tích mẫu lát mỏng thành phần khoáng vật chủ yếu là: Olivin, Pyroxen, Plagioclas, Phlogopit và khoáng vật quặng.

- Olivin dạng hạt tự hình, găm mòn tàn dư, kích thước nguyên thủy 1 - 3mm, bị tan hoá, một số bị Serpentin hoá. Talc dạng vẩy ẩn tinh, vi vẩy tha hình, không màu, cát khai hoàn toàn. Serpentin dạng sợi, vi vẩy tha hình, không màu. Thành phần trong đá peridotit từ 22% đến 60%, trong dulit chiếm 90% [28].

- Pyroxen xiên dạng lăng trụ, tấm tha hình, phân bố cục bộ, thường bao quanh hạt Olivin, kích thước từ 1 - 3mm, không màu, cát khai hoàn toàn, tất xiên. Thành phần trong đá peridotit (verlit) từ 32% đến 45%, plagioperidotit chiếm từ 32% đến 40%, trong dulit chiếm 6% [28].

- Pyroxen thoi dạng lăng trụ, tấm nửa tự hình, thường bao quanh các hạt Olivin, kích thước từ 0,5 - 2,5mm, màu phớt lục, cát khai hoàn toàn. Thành phần trong đá peridotit (verlit) từ 20% đến 27%, peridotit (lerzolit) từ 20% đến 27% [28].

- Phlogopit chỉ gặp ở một số mẫu dạng tấm tha hình, kích thước từ 0,1 - 1mm, màu nâu đỏ, đa sắc, cát khai hoàn toàn. Thành phần trong đá peridotit từ 3 - 5% [28].



Ảnh 1.7. Đá peridotit tại khu Hà Trì

Khoáng vật quặng: Trong đá magma siêu mafickhoáng vật quặng gồm: Pyrotin, Pentlandit, Chalcopyrit, Cromspinel, Ilmenit... Trong các khoáng vật sulfua chiếm ưu thế nhất là Pyrotin (đến 60 - 70%) đôi khi có hàm lượng khá cao của Ni (đến 0,43%) và Co (đến 0,11%) [29].

Pentlandit là những hạt đẳng thước hoặc những hạt dạng tấm kéo dài và thành phần của chúng tương ứng với công thức lý thuyết và chứa một lượng các hợp chất phụ không đáng kể.

Cromspilel tạo thành những tinh thể tự hình có thành phần thay đổi

alumocromit ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 19,33\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 31,12\%$; $\text{FeO} = 17,7\%$) [29].

Đặc điểm thạch địa hoá: Dựa theo tương quan ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) - $\text{FeO}t$ - MgO trong đá siêu bazơ, theo tương quan $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ chúng gần gũi với các bazơ thuộc loạt kiềm vôi.

Kết quả nghiên cứu các đá magma trong pha này đều giàu các nguyên tố Cu (104 - 1088 ppm), Ni (841 - 2726 ppm), Cr (512 - 1237 ppm) song tương đối nghèo Co (105 - 150 ppm) và V (63 - 125 ppm). Tỷ lệ Ni / Ni + Cu và Ni / Co trong chúng dao động trong khoảng 0,74 - 0,84 và 7,86 - 18,17 hoàn toàn phù hợp với đặc điểm phân bố của các nguyên tố trong các xâm nhập siêu mafic có triển vọng quặng hoá sulfua Ni - Cu. Sự tương quan Cu - Ni các điểm có biểu hiện sùng hoá tạo thành một nhóm tách biệt hẳn với đá xâm nhập mafic. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong đá bazơ và siêu mafic khá giàu các nguyên tố quý hiếm [29].

Khoáng sản liên quan đến xâm nhập siêu mafic phức hệ Cao Bằng khá phong phú và đa dạng. Các đá siêu mafic và siêu mafic (peridotit, lertzolit) có triển vọng sulfua Ni - Cu và các nguyên tố quý hiếm nhóm platin đi kèm [29].

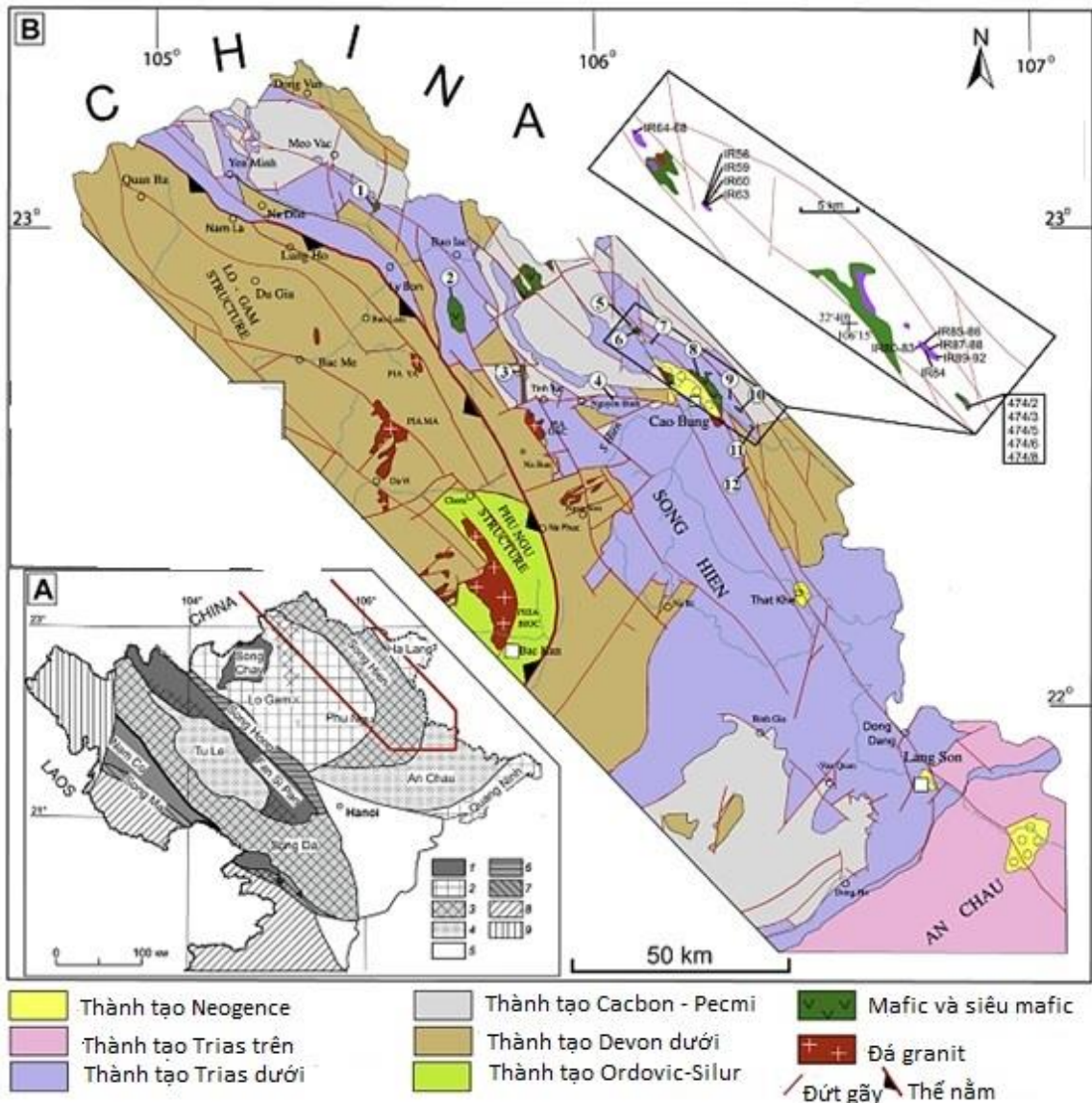
** Phức hệ Núi Điện (γ_{T1-2nđ})*

Phân bố về phía đông - đông nam thành phố Cao Bằng cách khoảng 6km, có dạng kéo dài theo phương tây bắc - đông nam và nằm trên cánh tây nam của đứt gãy Cao Bằng - Lạng Sơn, phía bắc của khối tiếp xúc xuyên cắt với đá vôi C₂ - P₁ gây skarn hoá, dolomit hoá. Phía nam và tây nam các đá granit có quan hệ gần như chuyển tiếp sang ryodacit và ryolit của hệ tầng Sông Hiến, phía bắc của khối bị phủ bởi trầm tích Neogen.

Đặc điểm thạch học khoáng vật: Thành phần thạch học chủ yếu là granit, amphibol, đôi khi có granit amphibon - biotit với các biến loại khác nhau về vi kiến trúc: nửa tự hình (kiến trúc granit) và granophyr. Thành phần khoáng vật thạch anh 25 - 28%; Felspat kali 30 - 35%; Plagioclas 20 - 25%; Biotit 5%; Amphibol 5%. Khoáng vật phụ Apatit, Ziricon, Sfen [29].

Đặc điểm thạch địa hoá: Thành phần hoá học của granit: silic ($\text{SiO}_2 = 69,21\%$); ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7,56\%$) kali trội hơn natri ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1,5$). Granit khá giàu Rb (194 ppm), Zr (663 ppm); Y (115 ppm), Sr (89 ppm), Nb (18 ppm) [29].

Khoáng sản liên quan đến granit là sắt - magnetit nguồn gốc skarn. Quặng sắt ở đây tạo thành mỏ quy mô nhỏ, trữ lượng chỉ tính riêng cho mỏ Nà Lũng 10 triệu tấn.



Hình 1.2. Sơ đồ địa chất khu vực Suối Cùn - Hà Trì, Dựa theo tài liệu gốc của Lepvrier et al. (2011) [13] và Trần Trọng Hòa và nnk năm 2011 [11]

c. Kiến tạo

Cấu trúc Sông Hiến là một đới cấu trúc âm, có hình cánh cung về phía Đông Bắc, có ranh giới phức tạp và cắt qua các cấu trúc Caledoni Chang Pung, Phú Ngũ, Hạ Lang, Bắc Sơn (Hình 1.2). Đới cấu trúc này kéo dài 20 km theo hướng Tây Bắc uốn cong về phía Nam - Đông Nam với chiều rộng 20 - 70 km và nối với đới cấu trúc An Châu qua đứt gãy Sông Thương ở phía Đông Nam [22, 24].

Các xâm nhập siêu mafic - mafic đới Sông Hiến được lý giải là: (i) sản phẩm

hoạt động của magma nội mảng liên quan đến plume [22]: (ii) sản phẩm liên quan đến quá trình đóng kín đại dương cổ Paleotethys giữa Đông Dương và Nam Trung Hoa; (iii) các sản phẩm của hoạt động magma sau cùng liên quan đến quá trình cổ kết mảng Sibumasu với khối liên hợp Đông Dương - Nam Trung Hoa; (iv) sản phẩm của quá trình hút chìm và va chạm giữa các craton Yangtze và Cathaysia của khối Nam Trung Hoa; (v) các thành tạo của phức hệ ophiolit [22]. Đa số các nhà nghiên cứu cho rằng đới Sông Hiến là đới rift nội lục.

Vùng nghiên cứu có 3 hệ thống đứt gãy:

- Hệ thống phương tây bắc - đông nam. Đây là hệ thống đứt gãy phát triển sớm nhất trong vùng cùng với đứt gãy thuận Cao Bằng - Tiên Yên, là đứt gãy sâu phân đới hoạt động từ cuối Paleozoi, đóng vai trò khống chế cấu trúc địa chất và sinh khoáng vùng nghiên cứu, phân chia địa tầng, song song với nó là hàng loạt đứt gãy cùng phương. Dọc theo hệ thống đứt gãy này là các biểu hiện magma xâm nhập mafic, siêu mafic phức hệ Cao Bằng [22].

- Hệ thống đứt gãy phương đông bắc - tây nam và phương á vĩ tuyến, hai hệ thống này chiếm số lượng ít, làm phức tạp thêm cấu trúc địa chất trong vùng.

d. Nguồn gốc mỏ khu mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Theo các tác giả nghiên cứu trong các công trình trước đã kết luận khoáng sản sulfid nickel - đồng của mỏ nickel - đồng khu mỏ Suối Cùn - Hà Trì có nguồn gốc magma dung ly phân bố trong các khối siêu mafic phức hệ Cao Bằng pha 2 ($vP_3 - T_{1cb_2}$) [28, 29].

Khu vực Suối Cùn - Hà Trì gồm một nhóm mỏ sulfid nickel có nguồn gốc magma dung ly, liên quan đến các thành tạo mafic và siêu mafic thuộc phức hệ Cao Bằng, trong luận án này nghiên cứu sinh gọi chung là cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì. Xét trong bối cảnh địa chất về nguồn gốc và thành phần quặng hóa có thể thấy có cùng kiểu mỏ với mỏ nickel Bản Phúc.

Từ tổng quan hai đới cấu trúc Sông Đà và Sông Hiến có thể thấy rằng các mỏ sulfid Cu - Ni magma đều liên quan đến các thành tạo mafic - siêu mafic. Các thành tạo này đều là kết quả của quá trình tạo rift nội lục. Sự khác biệt về các thành tạo magma mafic - siêu mafic ở 2 khu vực này được thể hiện ở mức độ tập trung của chúng. Tại đới Sông Đà, các khối magma được xuyên lên từ dưới sâu trong quá trình tạo vòm và sinh rift, chủ yếu là các khối lớn như Bản Khoa, Bản Sang, từ đó khoáng

hóa sulfid Cu - Ni cũng tập trung hơn, trong đó có mỏ Bản Phúc nổi tiếng Trong khi đó tại đới Sông Hiến, các thể xâm nhập magma không được xuyên lên dọc theo các đứt gãy đứt gãy ranh giới [27]. Các thể magma chứa sulfid này tạo thành một chuỗi các xâm nhập dạng thấu kính sắp xếp gần như tuyến tính theo hướng tây bắc và đi liền với chúng là các khoáng hóa tại Suối Cùn, Hà Trì đã được phát hiện.

1.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu mô hình địa môi trường

Ngay từ bước khởi đầu của ngành học địa chất - khoáng sản của các khoa học địa chất thì các nhà địa chất đã hướng tới sự phân loại các mỏ khoáng trên cơ sở các tiêu chí địa chất, khoáng vật và địa hóa, với những nỗ lực nhằm hệ thống hóa những hiểu biết về các mỏ khoáng cũng như hỗ trợ cho việc tìm kiếm. Những nỗ lực này để phân loại các mỏ khoáng là sự phát triển “*các mô hình mỏ khoáng*” [30]. Mô hình mỏ khoáng được sắp xếp một cách hệ thống lượng thông tin mô tả một số hay toàn bộ các đặc tính cần thiết của nhóm mỏ khoáng đã được chọn; sự ghép nhóm các mỏ dựa trên cơ sở các đặc điểm chung, tạo cơ sở cho sự phân loại, những chi tiết về các đặc điểm đòi hỏi cho việc xếp thành nhóm, chính là cơ sở cho một *mô hình mỏ khoáng*. Các mô hình mỏ khoáng được sắp xếp từ mô tả đơn giản tới *mô hình nguồn gốc* [30]. *Mô hình nguồn gốc* cao hơn hẳn so với *mô hình mô tả* bởi lẽ nó tạo cơ sở để phân biệt các thuộc tính cần thiết với các thuộc tính ngoại lai và nó có tính linh hoạt tạo ra sự biến đổi về cội nguồn, quá trình và những không chế bản địa. Nhìn chung, mô hình mô tả là tiên quyết cần thiết cho mô hình nguồn gốc [9].

Các mỏ khoáng sản đã được phân loại theo đặc điểm địa chất và khoáng vật học trong nhiều thập kỷ, nhưng các mỏ khoáng sản có thể được phân loại theo đặc điểm môi trường (mô hình địa môi trường) của chúng chỉ bắt đầu từ những năm 90 của thế kỷ trước. Từ đó đến nay các mô hình địa môi trường của các mỏ khoáng sản đã cung cấp các dự đoán về các vấn đề môi trường tiềm ẩn liên quan đến các loại mỏ cụ thể trong quá trình khai thác và chế biến khoáng sản [31, 32, 33]. Việc phát triển một mô hình khái niệm địa môi trường rất hữu ích để ngăn ngừa hoặc giảm thiểu các vấn đề môi trường trước, trong và sau khi thăm dò, phát triển các hoạt động khai thác ở một lãnh thổ chứa khoáng hóa hoặc kiểu mỏ khoáng cụ thể, và để đánh giá các điểm mỏ bị bỏ hoang và các yêu cầu khắc phục chúng [31, 32, 33].

Mô hình địa môi trường là một trong những bước tiến của con người nhằm thống kê những hiểu biết của con người về mỏ khoáng. Các mỏ khoáng đã được xây

dựng thành những mô hình nguồn gốc để tìm ra quy luật thành tạo giúp cho con người có thể tìm kiếm, thăm dò, quy hoạch khai thác, ... Khi vấn đề về môi trường mỏ khoáng trở nên nghiêm trọng thì các dấu hiệu môi trường được coi như hợp phần không thể thiếu khi đánh giá hiệu quả hoạt động của mỏ. Từ đó, các nhà nghiên cứu đã phát triển mô hình địa môi trường dựa trên hai khía cạnh là mô hình mỏ khoáng và các dấu hiệu môi trường [9, 31].

1.1.1. Tình hình nghiên cứu mô hình địa môi trường trên thế giới

Trên thế giới, mô hình địa môi trường từ lâu đã trở thành mũi nhọn của nghiên cứu môi trường trong Chương trình Tài nguyên Khoáng sản (Mineral Resources Program - MRP) của Hoa Kỳ, đã được Plumlee và Nash xác định lần đầu (1995) [34], Trong 25 năm qua, nhiều tiến bộ đã được thực hiện để thúc đẩy nỗ lực này trên cơ sở từng kiểu mỏ, *tập trung vào các vấn đề mỏ bị bỏ hoang và gần đây là các vấn đề khai thác trong tương lai*. Khái niệm mô hình địa môi trường đã nhận được sự tán thưởng rộng rãi trong cộng đồng môi trường toàn cầu [9, 34].

Định nghĩa về mô hình địa môi trường của Plumlee và Nash (1995) là cơ sở để tiếp cận mô hình địa môi trường của mỏ khoáng. Tuy nhiên khi áp dụng vào từng kiểu mỏ cụ thể cần phải được xây dựng thành những hợp phần để dễ hiểu hơn.

Tại nhiều nước người ta đã phát triển khái niệm mô hình địa môi trường thông qua các khóa đào tạo ngắn hạn, ví dụ: “Phân tích địa môi trường các mỏ khoáng” tại Hội thảo quốc tế lần thứ 5 về dòng thải acid, tổ chức tại Denver, Colorado vào 21 tháng 5 năm 2000. Tuyển tập được sắp xếp đầu tiên để giới thiệu tóm tắt những khái niệm cơ bản về địa hóa chất rắn, kiến thức nền tảng tối thiểu về các khái niệm địa hóa làm nền tảng cho các mô hình địa môi trường. Tiếp đó, tóm tắt của các kỹ thuật trình chiếu nhanh để diễn tả những ảnh hưởng tiềm ẩn của bãi thải mỏ được thể hiện. Cuối cùng, các mô hình riêng lẻ được trình diễn trong khuôn khổ hội thảo đã được mở rộng từ những nghiên cứu chìa khóa của các mỏ đến những tổng hợp nhà nước và thế giới.

Trong giai đoạn hiện tại, các mô hình địa môi trường có thể phục vụ một số mục đích bao gồm: (1) thiết lập các điều kiện cơ bản ban đầu cho các mỏ, được lập kế hoạch; (2) cải thiện quy hoạch và phát triển mỏ bằng cách dự đoán tốt hơn và giảm thiểu các vấn đề môi trường tiềm ẩn; (3) cải thiện công tác khắc phục hậu quả tại các điểm mỏ bị bỏ hoang bằng cách vạch ra phạm vi các vấn đề tiềm ẩn có thể gặp phải tại một địa điểm; và (4) đánh giá các vấn đề đất mỏ bị bỏ hoang bằng cách cung cấp

một công cụ để xác định, sắp xếp thứ tự ưu tiên và lập kế hoạch cho các nỗ lực khắc phục hậu quả.

Việc xây dựng mô hình bao gồm việc tổng hợp dữ liệu thực nghiệm về các đá chứa, khoáng vật nguyên sinh và thứ sinh, và địa hóa nguyên tố vết, kết hợp với các phương pháp khai thác và chế biến quặng, thủy văn, địa hình và khí hậu [31, 32, 34, 35, 36].

Các mỏ bị bỏ hoang là đối tượng đáng quan tâm. Có hàng ngàn đồng chất thải mỏ bị bỏ hoang hiện có trên nhiều địa điểm khác nhau trên thế giới, trong đó có nhiều mỏ nằm ở thượng lưu các nguồn nước. Các chất thải của các mỏ này đã và đang gây nên những hậu quả môi trường nghiêm trọng cần được đánh giá và giảm thiểu. Việc đánh giá khả năng di chuyển của kim loại, sản sinh dòng thải acid và các tác động độc hại do phong hóa của các đồng chất thải mỏ bỏ hoang là một lĩnh vực ngày càng cần thiết vì các tác động môi trường của các bãi thải mỏ không hoạt động trên khắp thế giới [8].

Trong nghiên cứu về tác động tiềm tàng của đồng chất thải mỏ đối với môi trường, điều quan trọng là phải hiểu (các) nguồn có thể gây ô nhiễm kim loại, các quy trình kiểm soát việc thải chúng ra môi trường và cơ chế vận chuyển của chúng [31, 32]. Các quá trình này liên quan đến độ nhạy cảm và độ sẵn có của (các) pha khoáng vật thường chứa các chất gây ô nhiễm đối với các phản ứng biến đổi, phong hóa và hòa tan [9]. Hiểu được các quy trình này là chìa khóa để đưa ra các quyết định sáng suốt về giảm thiểu, làm sạch, tiêu hủy và khắc phục hậu quả đối với các địa điểm đã khai thác.

Dự án mô tả chất thải mỏ của cơ quan khảo sát địa chất Hoa Kỳ đã thực hiện một cách tiếp cận đa ngành để tập hợp, phát triển và tinh chỉnh các phương pháp và công cụ để xác định đặc điểm và sàng lọc chất thải mỏ rắn bị phong hóa. Các nhà nghiên cứu từ nhiều lĩnh vực khác nhau, bao gồm địa vật lý, địa hóa, hóa học phân tích, địa chất, khoáng vật học, viễn thám và không gian, đã làm việc cùng nhau tại các bãi thải khai thác kim loại ở Colorado và New Mexico để phát triển một "bộ công cụ" tích hợp nhằm sàng lọc nhanh chóng và xác định đặc điểm của các đồng chất thải mỏ trong quá khứ. Các công cụ được phát triển từ công trình này có thể được sử dụng để xếp hạng và ưu tiên các đồng chất thải mỏ bị bỏ hoang [8].

Tiếp theo là các công trình nghiên cứu của hàng loạt tác giả đã xây dựng mô

hình địa môi trường cho một loạt các kiểu mỏ khác nhau. Các mô hình địa môi trường của các kiểu mỏ khoáng khác nhau như:

- Các mỏ sulfid magma
- Các mỏ serpentinit và asbest trong các đá carbonat
- Các mỏ carbonatit
- Các mỏ Th - đất hiếm dạng mạch.
- Các mỏ skarn thay thế Sn và (hay) W
- Các mỏ greisen Sn và W
- Các mỏ Mo Climax
- Các mỏ Cu porphyr
- Các mỏ Fe skarn
- Các mỏ đa kim dạng mạch và thay thế
- Các mỏ Au - Ag - Te dạng mạch
- Các mỏ sulfid đặc sít đi cùng với các đá núi lửa
- Các mỏ Co - Cu Blackbird
- Các mỏ nhiệt dịch nhiệt độ thấp dạng mạch Creede, Comstock và Sado
- Các mỏ Au thạch anh - alunite nhiệt dịch nhiệt độ thấp
- Các mỏ Mn nhiệt dịch nhiệt độ thấp
- Các mỏ Sn nằm trong ryolit
- Các mỏ oxid Cu - U - Au - REE thấp Ti
- Các mỏ Au kiểu Carlin
- Các mỏ Hg Almaden
- Các mỏ Hg silica - carbonat
- Các mỏ antimon - thạch anh
- Các mỏ Fe Algoma
- Các mỏ Cu trong trầm tích
- Các mỏ Zn - Pb - Ag trầm tích thoát khí-SEDEX
- Các mỏ Pb - Zn kiểu Thung lũng Mississippi - MTV
- Các mỏ U dung dịch ống dăm kết sục lỗ
- Các mỏ Fe Superior
- Các mỏ Mn trầm tích
- Các mỏ Au thạch anh dạng mạch thấp sulfid

- Các mỏ Au dạng tầng trong các thành tạo sắt

Trong đó một số mô hình địa môi trường cho các kiểu mỏ nổi bật được công bố như:

- Kiểu mỏ porphyr molypden. Bằng cách tổng hợp dữ liệu địa chất, thủy văn và địa hóa. Hành vi môi trường của kim loại liên quan đến hai hệ thống mỏ quặng porphyr molypden (Mo) [37, 38]. Hai hệ thống này đại diện cho các tổ hợp granit chứa Mo có flor cao (kiểu Climax) và một tổ hợp granodiorit chứa flor thấp.

- Kiểu mỏ sulfid chứa cacbonat: Nora K. Foley đã phát triển các mô hình địa môi trường cho các mỏ khoáng sản cụ thể dựa trên nền tảng địa chất, khoáng vật học và các đặc điểm môi trường; cụ thể là mô hình địa môi trường: mỏ cacbonat miền nền Austinville, Virginia và các kiểu mỏ cacbonat Thung lũng Mississippi (MVT) ở Hoa Kỳ. Một kết luận quan trọng được đưa ra là các mỏ chứa trong cacbonat là một nhóm có một số xác suất thấp nhất đối với các tác động xấu đến môi trường vì khả năng tạo ra acid và kim loại nặng do hàm lượng sulfid của chúng, được cân bằng bởi tiềm năng trung hòa acid cao của đá chủ cacbonat [36, 37, 38].

- Kiểu mỏ skarn - mô hình địa môi trường các mô skarn thay thế cacbonat đa kim được giới thiệu hành vi môi trường của các mỏ chứa cacbonat biến động tùy theo kiểu mỏ. Môi trường tiềm năng đối với hệ thống thoát nước mỏ acid ở các mỏ tùy thuộc vào sự phân bố của pyrit trong chất thải mỏ và sự tiếp xúc của chất thải pyrit với phong hóa oxy hóa và sự sẵn có của các khoáng vật cacbonat trung hòa acid [37].

- Kiểu mỏ đa kim dạng mạch: mô hình địa môi trường cho các mỏ đa kim dạng mạch đã được đề cập đến trong một nghiên cứu điển hình ở khu khai thác Coeur d'Alene và các so sánh với hệ thống thoát nước từ các mỏ khoáng hóa ở đai khoáng sản Colorado và lưu vực Humboldt. Nghiên cứu tập trung xem xét các đặc điểm địa hóa của nước, chủ yếu là thoát nước từ các mòm lộ quặng và bãi thải, cũng như các thông số và quy trình chính ảnh hưởng đến thành phần của chúng. Cụ thể, giải quyết ảnh hưởng của phản ứng các khoáng vật pyrit và cacbonat đến thành phần thoát nước [36, 37, 38].

- Kiểu mỏ thủy ngân: mô hình địa môi trường kiểu mỏ thủy ngân của đã được xây dựng, các tác giả đã chỉ ra rằng hầu hết các mỏ thủy ngân đều chứa chất thải mỏ và đất bị ô nhiễm thủy ngân là nguồn cung cấp cho cả các loại thủy ngân hòa tan và thủy ngân dạng hạt. Các mối quan tâm về môi trường liên quan đến khai thác và chế

biển quặng chứa thủy ngân bao gồm ô nhiễm đất, trầm tích và nước do chất thải của mỏ; hơi thủy ngân thoát ra trong quá trình chế biến quặng và từ chất thải quặng mỏ; và hệ thống thoát nước của mỏ thủy ngân và thải kim loại độc hại vào các đầu nguồn [35].

- Kiểu mỏ sulfid đặc sít đáy biển: khi nghiên cứu môi trường các mỏ này, các tác giả đã cho rằng các mỏ sulfid đặc sít được đặc trưng bởi các loại quặng chứa hơn 50% khoáng vật sulfid, như pyrit, pyrotin, chalcopyrit, sphalerit, và galen, cùng những loại khác. Đây là kiểu mỏ có tiềm năng lớn nhất đối với các tác động xấu đến môi trường. Nếu khai thác không đúng cách, các mỏ này có khả năng tạo acid cao do hàm lượng sulfid cao, hàm lượng kim loại nặng cao và khả năng trung hòa acid thấp do đá chủ silicat của chúng, tất cả đều có thể góp phần gây ra các tác động có hại đến hệ sinh thái thủy sinh và sức khỏe con người. Mức độ của tác động môi trường tiềm ẩn phụ thuộc mạnh mẽ vào thiết lập thủy văn của từng mỏ riêng lẻ và chất thải rắn của nó [36, 37, 38].

Hiện nay, các mô hình địa môi trường đã và đang được mô tả chi tiết trong nhiều kiểu mỏ. Chúng thể hiện các sưu tập có kinh nghiệm các số liệu để tạo ra khả năng dự đoán mạnh mẽ các phạm vi có thể của tác động môi trường. Những nỗ lực trong tương lai chờ đợi vào sự phát triển các mô hình địa môi trường nguồn gốc định lượng. Các mô hình địa môi trường có thể phục vụ một số mục tiêu như:

- Xác lập các điều kiện giới hạn trước khi khai thác cho các mỏ không hoạt động, hoạt động và đã được lập kế hoạch;
- Cải tiến việc lập kế hoạch và phát triển mỏ nhờ tiên đoán và giảm thiểu tốt hơn các vấn đề môi trường tiềm ẩn;
- Tăng cường giải quyết các vấn đề tại các mỏ đã đóng cửa bằng cách phác họa các vùng có các vấn đề môi trường tiềm ẩn mà có thể gặp phải tại địa điểm;
- Đánh giá các vấn đề đất đai của các mỏ đã đóng cửa bằng cách tạo ra công cụ cho việc xác định, sắp xếp thứ tự ưu tiên và lập kế hoạch cho những cố gắng chấn chỉnh [36].

Có thể thấy rằng, Các mô hình địa môi trường được sử dụng như kim chỉ nam cho các lĩnh vực có dấu hiệu môi trường mà có thể áp dụng cho các mỏ khoáng [34].

1.1.2. Tình hình nghiên cứu và ứng dụng mô hình địa môi trường các mỏ khoáng tại Việt Nam

Ở Việt Nam, vấn đề xây dựng và áp dụng các mô hình địa môi trường còn rất mới. Các nhà khoa học mới tiếp cận được các lý thuyết cơ bản về mô hình địa môi trường. Các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng, quá trình phát tán, lan truyền các chất ô nhiễm vào môi trường và các vấn đề xử lý ô nhiễm mà chưa đề cập nhiều đến bản chất của quá trình ô nhiễm và những vấn đề môi trường tiềm ẩn.

Trong công trình nghiên cứu về hành vi địa hóa của Pb trong môi trường mỏ Pb - Zn Chợ Điền, PGS.TS. Nguyễn Văn Phổ và nnk đã nhận ra rằng, ở môi trường giàu cacbonat (kiềm nhẹ) chì rất khó di chuyển trong nước mặt và nước dưới đất, chỉ tồn đọng ở lớp đất mặt, từ đó gây ô nhiễm Pb trong bụi đất ở khu vực khai thác và chế biến quặng [39, 40].

Năm 2010, PGS.TS. Nguyễn Văn Phổ và nnk công bố những nghiên cứu đầu tiên về mô hình địa môi trường các mỏ khoáng tại Việt Nam trên Tạp chí Các khoa học về trái đất là *“Mô hình địa môi trường các mỏ khoáng và ý nghĩa của chúng trong đánh giá ảnh hưởng do khai thác mỏ”* [9]. Trong công trình này các tác giả đã khái quát về mô hình địa môi trường và ý nghĩa của mô hình địa môi trường trong quản lý nhà nước, quy hoạch khai thác khoáng sản, đánh giá những ảnh hưởng trong và sau khi kết thúc khai thác mỏ.

Tiếp đó, trong những năm 2009 - 2010, Viện Địa chất đã chủ trì Đề tài trọng điểm cấp Nhà nước KC-08/27-06.10 *“Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các bãi thải khai thác và chế biến khoáng sản kim loại đến môi trường và sức khỏe con người và đề xuất biện pháp giảm thiểu”* do PGS.TS. Phạm Tích Xuân làm chủ nhiệm. Đề tài này đã đề cập đến địa hóa môi trường các bãi thải mỏ khoáng sản kim loại như: mỏ Pb - Zn Chợ Điền (Bắc Kạn), mỏ titan Cây Châm (Thái Nguyên), mỏ đồng Sin Quyền (Lào Cai), mỏ antimon Mậu Duệ (Hà Giang), mỏ thiếc Kỳ Lâm (Tuyên Quang). Kết luận quan trọng của đề tài là: các bãi thải từ khai thác và chế biến khoáng sản kim loại đều có những vấn đề về môi trường; Tuy nhiên mỗi mỏ có vấn đề môi trường riêng, tùy thuộc vào hàm lượng các sulfid có trong quặng. Đề tài cũng nghiên cứu ảnh hưởng của các chất độc hại tới môi trường và sức khỏe con người; đồng thời đề xuất và thử nghiệm một số giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường [40].

Có thể thấy, các công trình trên đã đạt được những tiến bộ đáng kể trong việc xây dựng các *mô hình địa môi trường* ở Việt Nam. Tuy nhiên, cho đến nay chưa có

các công trình nghiên cứu mô hình địa môi trường của các kiểu mỏ, chưa đề cập đến nguyên lý cho rằng các kiểu mỏ khoáng có đặc điểm địa chất giống nhau (cùng một kiểu nguồn gốc) có các dấu hiệu môi trường tương tự và từ đó có thể dự đoán được các dấu hiệu môi trường này. Đây chính là vấn đề tồn tại và cũng chính là hướng đề tài mà NCS chọn làm đề tài cho luận án của mình.

CHƯƠNG 2

CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

Trong các mỏ khoáng, các yếu tố tự nhiên, điều kiện địa chất và các hoạt động khoáng sản có ảnh hưởng rất lớn đến môi trường mỏ và khu vực xung quanh. Thành phần vật chất của quặng là yếu tố căn bản quyết định các dấu hiệu môi trường của mỏ. Các mỏ có cùng kiểu nguồn gốc sẽ có những dấu hiệu môi trường tương tự [9]. Các yếu tố tự nhiên và các hoạt động khoáng sản làm thay đổi tốc độ của các quá trình oxy hóa và rửa lựa, hòa tan các chất trong môi trường [10].

Từ những nhận định như trên có thể thấy rằng, nghiên cứu môi trường của các mỏ khoáng cần phân loại và đúc kết thành các quy luật để dự báo các vấn đề ô nhiễm tiềm ẩn từ đó đưa ra các kịch bản để phòng ngừa, giảm thiểu ô nhiễm. Một trong những công cụ để hệ thống những quy luật và hiểu biết là sử dụng các mô hình.

2.1.1. Khái niệm về mô hình và sự phân loại

2.1.1.1. Khái niệm

Ngày nay hầu hết các ngành khoa học đều sử dụng “mô hình”. Tuy nhiên có rất nhiều phương pháp tiếp cận khác nhau cùng sử dụng thuật ngữ “mô hình”. Với nhiều nhà nghiên cứu mô hình được hiểu là các mô hình số phức tạp chạy trên máy tính, trong một số ngành khoa học khác mô hình được hiểu như một dạng mẫu tương tự. Mô hình không chỉ xuất hiện trong khoa học tự nhiên mà còn xuất hiện trong khoa học xã hội, trong kinh tế hay trong đời sống hàng ngày. Như vậy mô hình là một khái niệm cơ bản của khoa học, ứng dụng của mô hình rất rộng và đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong khoa học [41].

Khi xây dựng mô hình việc thu thập thông tin về đối tượng nghiên cứu là chưa đủ, cần thiết phải tổng quát hóa dữ liệu được thu thập thành các công thức. Bởi vì các công thức này sẽ giúp ta giải quyết những bài toán tương tự, giúp ta mở rộng phạm vi hiểu biết và làm giàu tri thức [41]. Mô hình đã được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau. Trong mỗi lĩnh vực, khái niệm về “mô hình” cũng được khái niệm khác nhau.

Mô hình là cách tiếp cận của rất nhiều lĩnh vực nghiên cứu khoa học, sử dụng các mô hình sẽ giúp cho các nhà nghiên cứu có thể khái quát, mô tả hay mô phỏng các hiện tượng sự vật trong tự nhiên hoặc trình bày các quá trình hoạt động trong đời

sống xã hội. Các quá trình tự nhiên có thể rất trừu tượng và phức tạp nhưng khi được mô phỏng bằng các mô hình sẽ trở lên dễ hiểu hơn. Các hoạt động kinh tế được khái quát thành các mô hình kinh doanh, các mô hình sản xuất. Các hoạt động xã hội khác cũng được khái quát thành các mô hình.

Tóm lại “Mô hình” có thể được khái niệm như sau: *Mô hình là một phương pháp dùng để khái quát, mô phỏng, mô tả một cách có chủ đích các sự vật hiện tượng trong tự nhiên hoặc các hoạt động của con người.*

2.1.1.2. Phân loại mô hình

Thực tế hiện nay có rất nhiều kiểu mô hình, có thể thống nhất phân loại các mô hình như sau:

1) Mô hình mô tả (mô hình bằng lời hay chữ viết). Các mô hình này được trình bày dưới dạng một loạt các đề xuất dựa trên ngôn ngữ tự nhiên và dùng để mô tả một lĩnh vực thực tế cụ thể [41].

2) Mô hình toán - bao hàm một lớp rất rộng lớn các mô hình quen thuộc (dựa trên ngôn ngữ hình thức với các qui tắc hữu hạn) sử dụng phương pháp toán học rất đa dạng. Mô hình này gồm một hệ các phương trình phức tạp mô tả các quá trình vật lý phức tạp [41].

3) Mô hình thông tin - một lớp các mô hình quen thuộc mô tả các quá trình thông tin (sự xuất hiện, truyền, biến đổi và sử dụng thông tin) trong các hệ có bản chất khác nhau [41].

4) Mô hình sơ đồ, biểu đồ - là mô hình trình bày các quá trình, hoạt động trong tự nhiên và trong xã hội dưới dạng những sơ đồ, hình ảnh, biểu đồ, ...[41].

Sự khác biệt giữa các mô hình mô tả bằng lời, toán học, tin học, sơ đồ chỉ là tương đối: hoàn toàn có thể coi các mô hình thông tin là một lớp con của mô hình toán. Tuy nhiên, bởi vì ngày nay tin học đã là một ngành khoa học độc lập tách khỏi toán học, vật lý và văn học cũng như các ngành khoa học khác cho nên việc xếp các mô hình tin học thành một lớp riêng biệt là điều cần thiết [41].

2.1.1.3. Nguyên lý xây dựng mô hình

Chúng ta xem xét những nguyên lý cơ bản mô hình hóa phản ánh kinh nghiệm đã được đúc kết như sau:

- *Nguyên lý đủ thông tin.* Với sự thiếu vắng hoàn toàn của thông tin về hệ thống được cần xây dựng mô hình là không thể. Bên cạnh đó nếu sự đầy đủ thông tin về hệ

thống sẽ khiến việc mô hình hóa nó mất đi ý nghĩa cần thiết. Do vậy, tồn tại một mức độ tới hạn cho những thông tin tiên nghiệm về hệ thống (mức độ đủ thông tin), trong trường hợp đạt được mức độ này, có thể xây dựng được mô hình thích hợp [41].

- *Nguyên lý khả năng hiện thực.* Mô hình được xây dựng phải đảm bảo đạt được mục tiêu được đặt ra cho nghiên cứu với xác suất khác không và sau một bước thời gian hữu hạn. Thường thì bước thời gian tới hạn P_0 nào đó của xác suất đạt được mục tiêu $P(t)$, cùng với giới hạn t_0 thời gian đạt mục tiêu sẽ được cho trước. Mô hình được coi là có thể chấp nhận được nếu điều kiện: $P(t_0) \geq P_0$ được thực hiện [41].

- *Nguyên lý đa mô hình.* Mô hình được xây dựng cần phải phản ánh những tính chất của hệ thực (hay hiện tượng) và các tính chất này trực tiếp ảnh hưởng lên tính hiệu quả được lựa chọn. Tương ứng với nguyên lý này là khi sử dụng một mô hình cụ thể bất kỳ chỉ cần công nhận một vài khía cạnh nào đó của thực tế. Để có thể nhận được hệ đầy đủ, cần một tập hợp các mô hình cho phép từ các khía cạnh khác nhau cũng như với các mức độ khác nhau phản ánh quá trình [41].

- *Nguyên lý liên hợp.* Trong đại đa số trường hợp một hệ thống phức tạp có thể biểu diễn dưới dạng các bộ phận liên hợp (hệ con) thích hợp cho việc mô tả toán học một cách phù hợp. Với các hệ con này có thể sử dụng các sơ đồ toán học chuẩn để mô tả. Nguyên lý liên hợp còn cho phép xem xét một cách mềm dẻo hệ đã cho từ các khía cạnh khác nhau phụ thuộc vào mục tiêu nghiên cứu [41].

- *Nguyên lý tham số hóa.* Trong nhiều trường hợp, hệ thống được mô hình hóa có một số hệ con tương đối độc lập đặc trưng bởi một tham số xác định. Các hệ con như vậy có thể được thay thế bởi các giá trị số tương ứng mà không cần mô tả chi tiết chức năng của chúng. Khi cần thiết, sự phụ thuộc các giá trị của tham số này vào tình huống có thể được cho dưới dạng bảng, đồ thị hay biểu thức giải tích (công thức). Nguyên lý tham số hóa có thể cho phép làm giảm thiểu khối lượng và thời gian mô hình hóa. Tuy nhiên cần lưu ý rằng tham số hóa sẽ làm giảm tính tương thích của mô hình [41].

2.1.2. Khái niệm về mô hình địa môi trường

Theo định nghĩa của Plumlee và Nash (1995), *Mô hình địa môi trường mở khoáng là tập hợp lượng thông tin về địa chất, địa hóa, địa vật lý, thủy văn, kỹ thuật - công nghệ liên quan với hành vi địa hóa của các mỏ khoáng tương tự nhau về mặt địa chất trước và sau khi có các hoạt động khai thác và chế biến quặng*” [34].

Từ định nghĩa trên có thể thấy mô hình địa môi trường được xây dựng dựa trên nền tảng địa chất các mỏ khoáng sản. Địa chất mỏ khoáng, cũng như các quá trình địa hóa, về cơ bản kiểm soát các điều kiện môi trường tồn tại trong các khu vực khoáng hóa tự nhiên trước khi khai thác, và các điều kiện do khai thác và chế biến khoáng sản. Các yếu tố kiểm soát tự nhiên quan trọng khác như khí hậu và các yếu tố con người (bao gồm các phương pháp khai thác và chế biến khoáng sản) làm thay đổi hầu hết các tác động môi trường được kiểm soát bởi địa chất mỏ khoáng và các quá trình địa hóa.

Định nghĩa về mô hình địa môi trường là nền móng cho những nghiên cứu sau này, định ra cách tiếp cận mới trong nghiên cứu môi trường mỏ khoáng. Mô hình địa môi trường có thể hiểu là sự phát triển của mô hình mỏ khoáng công thêm các dấu hiệu môi trường. Tuy nhiên, theo định nghĩa “*mô hình địa môi trường*” của Plumlee và Nash chưa phân loại các hợp phần theo nhóm các yếu tố, do vậy làm cho người đọc khó tiếp cận.

Môi trường mỏ khoáng là kết quả của những quá trình rất phức tạp, chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố khác nhau. Khi nghiên cứu về môi trường mỏ cần làm rõ vai trò của những yếu tố ảnh hưởng đến môi trường, các quá trình môi trường, các dấu hiệu môi trường. Mô hình địa môi trường của mỏ khoáng là sự kết hợp các yếu tố về địa chất khoáng sản với các vấn đề môi trường.

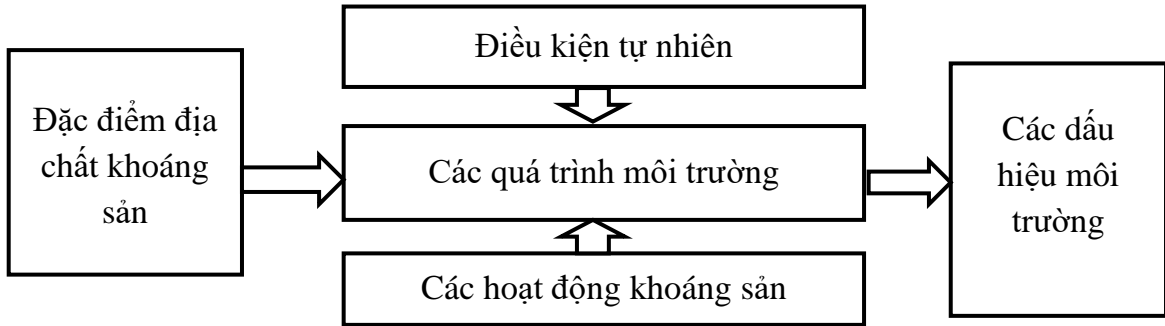
Có thể khái niệm về mô hình địa môi trường mỏ khoáng như sau: *Mô hình địa môi trường mỏ khoáng là mô hình lý thuyết được trình bày bằng chữ viết, mô tả các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường, các quá trình môi trường và các dấu hiệu môi trường của mỏ khoáng.*

Từ khái niệm này có thể nhận thấy các yếu tố đầu vào của mô hình là các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường của mỏ khoáng có thể được phân loại và chia thành các nhóm như: Các yếu tố về địa chất khoáng sản, các yếu tố về đặc điểm tự nhiên, các hoạt động khoáng sản.

Các mỏ khoáng của một kiểu nhất định có các đặc điểm địa chất tương tự cũng phải có các *dấu hiệu môi trường* tương tự có thể được định lượng bằng dữ liệu hiện trường và trong phòng thí nghiệm thích hợp và được tóm tắt trong một mô hình địa môi trường cho kiểu mỏ đó. Các quá trình môi trường của mỏ khoáng đặc trưng cho mỗi mỏ như: quá trình phong hóa khoáng vật sulfid, quá trình khuếch tán hay tích tụ

các kim loại nặng, ...

Các dấu hiệu môi trường được hiểu là đầu ra của mô hình, gồm các đặc điểm về môi trường đất, môi trường nước, sinh vật, ... Khi nghiên cứu mô hình địa môi trường cho kiểu mỏ sulfid nikel - đồng có nguồn gốc magma, nghiên cứu sinh đã tổng hợp thành các hợp phần và được khái quát theo sơ đồ (Hình 2.1) như sau:



Hình 2.1. Sơ đồ tổng quát của mô hình địa môi trường

2.1.3. Các hợp phần của mô hình địa môi trường

2.1.3.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường

Môi trường mỏ được quyết định bởi các yếu tố địa chất khoáng sản của mỏ như: thành phần khoáng vật, thành phần hóa học, đặc điểm quặng hóa, đá vây quanh, đặc điểm thủy văn, ... Ngoài ra, môi trường mỏ còn bị ảnh hưởng bởi các yếu tố tự nhiên như: địa hình, khí hậu, các hoạt động khoáng sản [9, 10].

a. Nhóm các yếu tố địa chất khoáng sản

* Đặc điểm quặng hóa

Đặc điểm quặng hóa bao gồm các yếu tố như sự phân bố quặng hóa, độ sâu thân quặng, thế nằm của thân quặng, ... Những yếu tố quặng hóa quyết định đến phương pháp khai thác và chế biến khoáng sản. Từ đó đặc điểm quặng hóa có ý nghĩa rất lớn đến môi trường.

* Thành phần khoáng vật quặng và phi quặng

Thành phần khoáng vật là yếu tố quyết định các dấu hiệu môi trường của mỏ. Các khoáng vật trong quặng sulfid có nhiều nguy cơ tiềm ẩn tạo thành dòng thải acid mỏ và giải phóng các kim loại nặng khi bị phong hóa. Các khoáng vật quặng bao gồm cả khoáng vật nguyên sinh và khoáng vật thứ sinh cần được nghiên cứu và mô tả chi tiết để dự báo những quá trình biến đổi liên quan đến các dấu hiệu môi trường có thể xảy ra.

Tốc độ phong hóa của các khoáng vật đóng một vai trò quan trọng trong các

quá trình môi trường, bao gồm việc tạo ra dòng thải acid và kim loại nặng thải ra môi trường từ chất thải rắn của mỏ và quặng đuôi trong quá trình chế biến khoáng sản. Các khoáng vật sulfid khác nhau có khả năng phong hóa khác nhau: pyrotin (Fe_{1-x}S) > chalcocit (Cu_2S) > galen (PbS) > sphalerit (ZnS) > pyrit (FeS_2) > enargit (CuAsS) > marcasit (FeS) > cinnabar (HgS) > molybdenit (MoS) [38].

Nhiều khoáng vật thứ sinh được hình thành từ quặng chứa sulfid và quặng đuôi bị phong hoá, khá dễ hoà tan và có thể đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát sự di chuyển các kim loại từ các vị trí mỏ. Trong số các khoáng vật thứ sinh này, phổ biến nhất và quan trọng với môi trường là muối sulfat kim loại của calci (thạch cao), sắt (jarosit, melanterit, copiapit, rhomboclas và nhiều khoáng vật khác), đồng (chalcanthit, brochantit và các khoáng vật khác), kẽm (goslarit), magnessi (pickeringit) và các kim loại khác [38].

Ngoài ra khi mô tả các khoáng vật quặng có khả năng tạo acid, cũng cần nghiên cứu những khoáng vật có khả năng trung hòa acid. Các khoáng vật có khả năng trung hòa acid tốt như nhóm cacbonat có trong thành phần của đá vây quanh có vai trò hết sức quan trọng [38].

** Thành phần hóa học*

Thành phần hóa học của các loại quặng hóa và của các đá có trong phạm vi của mỏ khoáng là những yếu tố cơ bản cần phải mô tả trong quá trình xây dựng mô hình địa môi trường. Hàm lượng các nguyên tố hóa học trong mỏ khoáng là cơ sở để đánh giá, dự báo các dấu hiệu môi trường, chúng ảnh hưởng mạnh mẽ đến các tập hợp các nguyên tố phân tán vào môi trường từ các kiểu mỏ nhất định. Trong các mỏ khoáng sản sulfid kim loại luôn tiềm ẩn nhiều nguy cơ ô nhiễm kim loại nặng do sự có mặt các nguyên tố chính trong quặng và các nguyên tố đi kèm, nguyên tố vết.

** Đặc điểm đá vây quanh*

Đá vây quanh có vai trò quan trọng, ảnh hưởng đến môi trường của mỏ. Nếu thành phần đá vây quanh chứa nhiều khoáng vật kiềm, hoặc kiềm thổ thì khả năng trung hòa acid sẽ rất cao. Nếu thành phần đá vây quanh là các đá alumosilicat thì khả năng trung hòa acid sẽ kém.

** Trữ lượng hay quy mô mỏ*

Trữ lượng của mỏ hay quy mô mỏ là một trong những yếu tố không thể bỏ qua khi xây dựng mô hình địa môi trường. Các mỏ càng lớn thì có tuổi thọ mỏ càng dài,

lượng chất thải càng lớn, phạm vi ảnh hưởng rộng dẫn đến sự tích lũy ô nhiễm cao. Trên thế giới đã ghi nhận những mỏ rất lớn, thời gian khai thác hàng trăm năm, lượng chất thải hàng trăm triệu tấn nhưng cũng có những điểm mỏ có trữ lượng nhỏ chỉ khai thác trong thời gian ngắn, thông thường các mỏ nhỏ, hoặc rất nhỏ không được đầu tư hệ thống công trình đồng bộ nên cũng để lại rất nhiều vấn đề như xử lý chất thải, hoàn thành các công trình bảo vệ môi trường.

** Đặc điểm địa chất thủy văn của mỏ*

Nước mặt và nước ngầm là những yếu tố rất quan trọng cần xem xét khi nghiên cứu môi trường của mỏ. Các yếu tố thủy văn tham gia vào cả quá trình phong hóa, quá trình rửa trôi và quá trình lan truyền các chất ô nhiễm ra môi trường. Trong khi nước mặt là tác nhân chủ yếu của quá trình phong hóa các khoáng vật quặng thì nước dưới đất lại có ý nghĩa rất quan trọng trong việc khai thác mỏ. Nước thải hầm lò, nước trong các moong khai thác thường hòa tan rất nhiều kim loại.

b. Nhóm các yếu tố tự nhiên

Vị trí địa lý và địa hình của mỏ có ý nghĩa rất lớn đến môi trường xung quanh. Vị trí địa lý của mỏ gần hay xa khu vực dân cư là vấn đề phải được đánh giá những tác động của môi trường. Các vấn đề ô nhiễm có thể ảnh hưởng đến sức khỏe người dân sống xung quanh mỏ, trong một số trường hợp, vị trí của mỏ cũng là yếu tố có nên quyết định khai thác mỏ hay không.

Địa hình khu vực có mỏ khoáng có ý nghĩa rất lớn đến khả năng tích tụ hay phân tán các khoáng vật và lan truyền các chất ô nhiễm ra môi trường, địa hình có liên quan đến hình dạng các sông suối là kênh dẫn các chất ô nhiễm từ mỏ ra môi trường xung quanh.

Khí hậu có ảnh hưởng lớn môi trường của các mỏ khoáng, lượng mưa và nhiệt độ ảnh hưởng đến lượng nước có sẵn như dòng chảy bề mặt, mực nước dưới đất, tốc độ phản ứng, lượng vật chất hữu cơ và các thông số khác ảnh hưởng đến quá trình phong hóa các đá chứa khoáng hóa và quặng. Sự rửa lũa các nguyên tố có xu hướng diễn ra mạnh mẽ ở vùng khí hậu nhiệt đới ẩm và kém hơn ở các sa mạc khô hạn. Các dấu hiệu môi trường liên quan đến các mỏ khoáng có thể thay đổi đôi chút trên quy mô địa phương do các biến đổi vi khí hậu. Về chi tiết, chủ đề này rất phức tạp, nhưng một số khái quát có thể được thực hiện bằng cách xem xét độ linh động, sự lắng đọng và hấp phụ của nguyên tố trong đất và các đới biểu sinh của mỏ quặng [38].

c. Nhóm yếu tố liên quan đến hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản

Các phương pháp khai thác và chế biến khoáng sản được sử dụng để khai thác mỏ phụ thuộc nhiều vào các đặc điểm địa chất và khoáng vật học của quặng. Trong hầu hết các trường hợp, lượng acid và kim loại trong dòng thải của các mỏ có đặc điểm địa chất tương tự tăng dần từ nước thoát ra từ các công trình ngầm, đến nước thoát từ các bãi thải của mỏ, nước thoát từ các bãi thải chế biến quặng và cuối cùng là trong các moong hở. Xu hướng này phản ánh việc tiếp cận ngày càng nhiều với các tác nhân phong hóa (nước và oxy trong khí quyển), tăng diện tích bề mặt của các khoáng vật sulfid tiếp xúc với phong hóa và tăng cơ hội cho nồng độ bay hơi nhanh hơn và có nhiều khả năng bị gió và nước phân phối tốt hơn các quặng hạt thô tương tự trong quặng.

Công nghệ kỹ thuật chế biến khoáng sản có tầm quan trọng hàng đầu liên quan đến các kỹ thuật sử dụng các hóa chất là vấn đề tiềm tàng. Ví dụ, hỗn hợp thủy ngân đã được sử dụng rộng rãi làm kỹ thuật khai thác vàng ở Hoa Kỳ trong thế kỷ trước. Do đó, đất và trầm tích có thể bị ô nhiễm thủy ngân tại nhiều địa điểm nơi mà quá trình hỗn hống đã được thực hiện trong lịch sử, nhưng sẽ không được đặc trưng bởi lượng thủy ngân tăng cao.

2.1.3.2. Các quá trình môi trường

Khi nghiên cứu về môi trường của mỏ khoáng cần phải làm rõ các quá trình môi trường diễn ra xung quanh mỏ khoáng. Các quá trình môi trường có thể xuất phát từ tự nhiên hay do tác động của con người. Trong luận án này, nghiên cứu sinh tập trung vào nghiên cứu các quá trình môi trường xuất phát từ bản chất quặng hóa của mỏ. Các vấn đề như chất thải sinh hoạt của con người, các nguồn ô nhiễm do các hoạt động của cơ giới làm vương vãi dầu mỡ, ... đã được đề cập trong báo cáo đánh giá tác động môi trường.

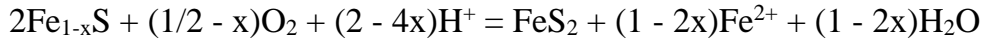
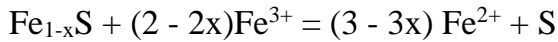
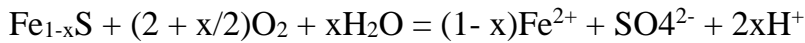
Các quá trình môi trường trong các mỏ khoáng sản kim loại nói chung và các mỏ sulfid nickel - đồng nói riêng chủ yếu là quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid và quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường [10].

a. Quá trình oxy hóa các khoáng vật

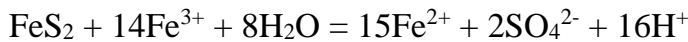
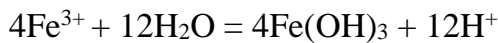
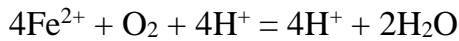
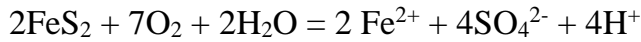
Tại các mỏ sulfid nickel - đồng nguồn gốc magma có thành phần khoáng vật chủ yếu là pyrotin, pyrit, chalcopyrit, pentlandit ... Các khoáng vật sulfid khi bị oxy hóa sẽ phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng vào môi trường có

thể diễn ra theo các cơ chế khác nhau tùy theo đặc điểm của từng mỏ, điển hình là sự oxy hóa của pyrotin và pyrit [10].

Quá trình oxy hóa pyrotin như sau:



Quá trình oxy hóa pyrit xảy ra theo các phản ứng sau:



b. Quá trình phân tán các chất vào môi trường

Các nguyên tố kim loại trong các mỏ khoáng và trong môi trường xung quanh khu vực có mỏ khoáng có ảnh hưởng đến chất lượng môi trường. Các nghiên cứu cho rằng con đường phân tán các kim loại nặng và các chất độc hại vào môi trường ở các mỏ khoáng là qua môi trường nước [10]. Khác với các chất gây ô nhiễm hữu cơ, các kim loại nặng không thể tự phân hủy cũng không thể bị biến mất, chúng di chuyển vào trong môi trường nước, môi trường đất tạo thành nơi tập hợp thứ sinh của chúng.

Khi diễn ra các phản ứng hóa học giữa khoáng vật sulfid với oxy và nước, một lượng kim loại được giải phóng và hòa tan trong nước [10]. Các nguyên tố kim loại thường được phân tán vào môi trường qua các dòng chảy tạm thời, sông suối sau đó tích tụ trong đất ở vùng tiếp nhận.

2.1.3.3. Các dấu hiệu môi trường

Các dấu hiệu môi trường có thể dễ dàng nhận biết bằng trực quan như màu sắc của nước mặt, sự phát triển của sinh vật, trong một số trường hợp cần phải phân tích định lượng về thành phần các chất, các kim loại có trong môi trường đất, môi trường nước trong phạm vi ảnh hưởng của mỏ khoáng tới môi trường. Các chỉ số về độ pH, Eh cần được đo đạc để đánh giá chất lượng của môi trường. Từ đó chỉ ra cách tiếp cận khi nghiên cứu môi trường nói chung và môi trường các mỏ khoáng là thông qua khảo sát thực tế và thông qua các chỉ số được đo hay các phương pháp phân tích mẫu. Trong các mỏ sulfid kim loại, sự tạo thành dòng thải acid mỏ là dấu hiệu quan trọng để đánh giá chất lượng môi trường. Có thể nghiên cứu dòng thải acid mỏ thông qua

việc quan trắc hiện trường và phân tích các mẫu.

a. Đặc điểm môi trường nước

- Các thông số hoá lý môi trường nước mặt, nước ngầm (pH, độ dẫn điện)
- Biểu hiện ô nhiễm (thông qua hàm lượng kim loại nặng và các chất độc hại)

b. Đặc điểm môi trường đất

Đất tại những khu vực là phạm vi ảnh hưởng của dòng thải acid mỏ hoặc bị ô nhiễm kim loại nặng từ các mỏ khoáng sản thường có màu nâu đỏ, màu vàng nhạt, các chỉ số phân tích về hàm lượng các kim loại nặng trong đất vượt quá tiêu chuẩn.

2.1.4. Đặc trưng của môi trường kiểu mỏ sulfid

Trong các mỏ sulfid kim loại, vấn đề môi trường được quan tâm nhất là sự tạo thành dòng thải acid mỏ và khả năng phân tán các kim loại nặng vào môi trường [42, 43].

2.1.4.1. Những nguồn phát sinh dòng thải acid mỏ

Những nguồn phát sinh dòng thải acid mỏ thường bắt nguồn từ những khu vực có chứa thành phần khoáng vật sulfid. Một số khu vực có nguy cơ sinh ra dòng thải acid mỏ như:

a. Bãi thải

Bãi đá thải của các mỏ là khu vực chứa các vật liệu đổ thải của mỏ, trong quá trình bóc phủ, đào lò sẽ phát sinh lượng đá thải. Các loại đá thải có thể tồn tại các khoáng vật sulfid, tiềm ẩn nhiều nguy cơ tạo thành AMD hay ARD [44 - 72].

b. Bãi chứa quặng

Các bãi chứa quặng thô (bãi tập kết quặng) là khu vực chứa quặng sau khai thác. Trong bãi tập kết quặng, nồng độ sulfid có thể cao hơn hàm lượng có trong bãi thải. Do thời gian tiếp xúc của quặng thường tương đối ngắn khi quặng được đưa vào xử lý nên khả năng sinh AMD không lớn như trong bãi thải [55, 56].

c. Moong hay các vỉa lộ thiên

Các moong hay các vỉa lộ thiên có thể chứa các khoáng chất sulfid có khả năng sản sinh ra AMD. Mức độ nước ngầm xuống thấp quanh moong trong thời gian khai thác mỏ có thể ảnh hưởng đến khối lượng vật liệu sulfid tiếp xúc với không khí và khối acid sinh ra. AMD từ các đá vách có thể ngấm vào moong hay nước ngầm tại chỗ. Việc này có thể ảnh hưởng đến chất lượng của nước bơm ra từ các máy bơm trong moong hay giếng nước ngầm trong lúc hoạt động. AMD sinh ra từ sự oxy hoá

các đá vách và trong các đường thu nước thải chảy về moong cũng có thể có những tác động lâu dài đối với chất lượng nước của moong sau khi đóng mở. Trong một số trường hợp, các moong có thể được đổ đầy lại một phần hay toàn bộ bằng đá thải. Khối lượng đá thải còn lại trong vùng bão hoà không thay đổi trên mực nước ngầm thu hồi được trong moong có thể là nguồn AMD đáng kể đối với mạch nước ngầm. Cần phải xem xét nguồn sinh ra AMD này để bảo đảm nó không làm ảnh hưởng đến các mục tiêu đóng mở [53, 54].

d. Các mỏ hầm lò

Các vấn đề liên quan đến đá vách tại các nơi khai thác mỏ hầm lò cũng tương tự như những chỗ trong các moong khai thác. Các khoáng vật sulfid tiếp xúc với không khí có thể là nguồn sản sinh ra AMD. Việc này có thể ảnh hưởng đến chất lượng của nước ngầm hoặc nước mặt [68].

e. Vật liệu xây dựng

Một nguồn sinh ra AMD tại mỏ thường bị bỏ quên là các vật liệu được sử dụng để xây dựng các công trình như đập, đường xá và bờ kè. Có nhiều thí dụ trong đó việc sử dụng đá có chứa khoáng vật sulfid để xây dựng đã dẫn đến kết quả là nguồn phát tán AMD trên toàn bộ khu mỏ. Điều này có thể gây ra những vấn đề quản lý nước sử dụng trong hoạt động to lớn. Các đặc tính địa hóa học của tất cả các vật liệu được dùng trong xây dựng (kể cả sử dụng để phục hồi) phải được thẩm định trước để xác định liệu vật liệu này có thích hợp vào mục đích xây dựng các công trình cần xét về mặt địa hóa học [62, 63].

2.1.4.2. Yếu tố ảnh hưởng đến mức độ sản sinh ra AMD

Nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng đến sự sinh ra AMD như nồng độ và khối lượng chất thải. Yếu tố thúc đẩy của việc oxy hoá các khoáng vật sulfid sản sinh ra AMD [44 - 72]. Các yếu tố ảnh hưởng đến sự oxy hoá sulfid gồm:

- Quy mô, hàm lượng kim loại và hình dạng của bãi thải, bãi chứa, ...
- Điều kiện khí hậu.
- Thành phần hóa học của nước tham gia phản ứng;
- Nhiệt độ tại vị trí phản ứng;
- Sinh thái vi sinh vật của các bề mặt khoáng chất.
- Các hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản
- Các giải pháp bảo vệ môi trường

** Những chỉ dấu của AMD*

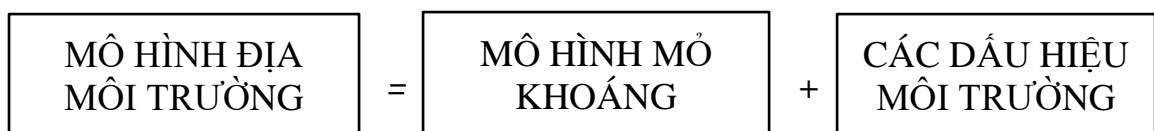
Những chỉ dấu nhìn thấy được của AMD có thể gồm:

- Nước có màu đỏ hay trong lạ thường;
- Oxit sắt màu cam - nâu kết tủa trong đường nước thải;
- Lớp phủ mặt dày đặc những sợi tảo màu lục ở đáy của dòng suối với nước trong lạ thường;
- Cá hay các sinh vật dưới nước khác bị chết khi hoà AMD với nước tiếp nhận;
- Hình thành lớp kết tủa trên bề mặt sông suối;
- Sinh trưởng hoặc thảm thực vật bị chết hay đất bị trọc;
- Đóng cặn muối trắng hay có màu dọc theo bờ của những dòng suối và dọc theo các nhánh của hồ thải trong mùa khô.

Những kết quả phân tích thành phần của mẫu nước mặt, nước ngầm, mẫu đất xung quanh khu vực mỏ khoáng là cơ sở để đánh giá mức độ ô nhiễm của mỏ khoáng.

2.2. Phương pháp luận

Các nhà kinh tế địa chất đã rất nỗ lực phân loại các mỏ khoáng để đánh giá hiệu quả kinh tế cũng như tổng hợp thành các phương pháp tìm kiếm thăm dò mỏ. Từ sự mô tả các yếu tố của mỏ khoáng các nhà nghiên cứu đã xây dựng được các *mô hình nguồn gốc* cho từng kiểu mỏ. Tuy nhiên khi đánh giá hiệu quả kinh tế của mỏ thì không thể bỏ qua yếu tố môi trường. Do vậy “*mô hình địa môi trường*” ra đời là sự cần thiết của thực tiễn để đánh giá hiệu quả của mỏ khoáng. Mô hình địa môi trường là sự phát triển rộng hơn của mô hình mỏ khoáng, nhằm mục đích tạo ra cơ sở khoa học cho sự tính toán hiệu quả của mỏ, trong đó vấn đề môi trường của các mỏ khoáng là một yếu tố không thể bỏ qua. Từ những thông tin về mỏ khoáng, các quá trình môi trường phức tạp có thể xem xét, hệ thống và khái quát hóa thành một mô hình địa môi trường mỏ khoáng (hình 2.2).



Hình 2.2. Sơ đồ mô hình địa môi trường mỏ khoáng

Từ khái niệm về mô hình địa môi trường cho thấy cách tiếp cận của luận án là mô hình hóa, trong đó mô hình địa môi trường mỏ khoáng là mô hình nhận thức được trình bày dưới dạng diễn giải, mô tả các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường, thông qua

các quá trình địa hóa (phong hóa, biến đổi các khoáng vật), các quá trình sinh học môi trường dẫn đến phát sinh các dấu hiệu môi trường. Các mỏ khoáng sản khác nhau, có những đặc điểm khác nhau nên sẽ có một mô hình địa môi trường riêng. Như vậy, mô hình địa môi trường có thể dự báo những nguy hiểm về sự ô nhiễm môi trường tiềm ẩn qua việc phân tích mối quan hệ giữa các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường với các dấu hiệu môi trường.

Trong các mỏ khoáng sản sulfid, các quá trình môi trường, quá trình địa hóa diễn ra rất phức tạp, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến môi trường như điều kiện tự nhiên, đặc điểm địa chất mỏ, đặc điểm quặng hóa, các hoạt động khoáng sản, ... Trong đó, thành phần khoáng vật quyết định các dấu hiệu môi trường. Các quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid để tạo thành dòng thải acid mỏ và làm phân tán các kim loại nặng vào môi trường là một trong các vấn đề cốt lõi. Do vậy, cần tập trung làm rõ các nguyên nhân và mối quan hệ nhân quả của các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường và các dấu hiệu môi trường, từ đó dự báo các vấn đề ô nhiễm môi trường tiềm ẩn và đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Các quá trình môi trường của mỏ khoáng đã diễn ra ngay sau khi được hình thành, tuy nhiên các quá trình này thường xảy ra chậm, khi có các hoạt động khoáng sản làm cho các sulfid có điều kiện để tiếp xúc với các tác nhân gây phong hóa làm cho tốc độ các phản ứng xảy ra nhanh hơn gấp nhiều lần. Các quá trình ô nhiễm của mỏ khoáng có thể kéo dài hàng trăm năm sau khi kết thúc khai thác. Nghiên cứu các quá trình môi trường trong các mỏ khoáng cần làm rõ thành phần vật chất của mỏ, bối cảnh địa chất, các dấu hiệu môi trường. Những phương pháp nghiên cứu phải kết hợp sử dụng những phương pháp truyền thống và những phương pháp hiện đại, đặc biệt là cần mô hình hóa các quá trình môi trường. Để làm rõ mối quan hệ giữa các yếu tố quyết định môi trường mỏ cần nghiên cứu những vấn đề sau:

- Nghiên cứu đặc điểm quặng hóa, thành phần khoáng vật, thành phần hóa học của mỏ, các nguồn thải của mỏ.
- Nghiên cứu sự ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên đến môi trường của mỏ khoáng.
- Nghiên cứu vai trò của các hoạt động khoáng sản trong quá trình khai thác và các giải pháp bảo vệ môi trường trong và sau khi kết thúc khai thác.

- Nghiên cứu chất lượng dòng thải mỏ (đặc điểm hóa học dòng thải) có ý nghĩa quan trọng trong quy hoạch mỏ, đặc biệt là việc quản lý chất thải và dòng tiêu thoát mỏ.

- Dự báo chất lượng dòng thải được tiến hành cả định tính cũng như định lượng. Dự báo định tính bao gồm đánh giá tình trạng acid có thể phát triển trong bãi thải mỏ với khả năng giải phóng kim loại và độ acid của dòng thải bằng cách nhận biết những khoáng vật có khả năng tạo acid, các khoáng vật có khả năng trung hòa acid. Dự báo định lượng dựa trên các cân bằng phản ứng hóa học thường cho kết quả chính xác hơn và việc đánh giá định lượng chất lượng dòng tiêu thoát mỏ vẫn là công cụ hữu hiệu trong việc quản lý AMD và đánh giá ảnh hưởng môi trường.

Các công cụ dự báo gồm các hướng nghiên cứu sau:

- Nghiên cứu địa chất - thạch học
- Nghiên cứu thủy văn, địa chất thủy văn
- Các phương pháp phân tích khoáng vật, địa hóa
- Phương pháp tính toán acid - bazơ
- Phương pháp thí nghiệm
- Phương pháp mô hình hóa

2.3. Các phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp tổng hợp, phân tích tài liệu

Thu thập tổng hợp các tài liệu đã công bố và tài liệu lưu trữ về địa chất, khoáng sản các mỏ, các nghiên cứu chuyên đề, các bài báo liên quan, các tài liệu tìm kiếm thăm dò, đánh giá tác động môi trường, v.v... Các tài liệu nghiên cứu nguồn gốc mỏ, thành phần khoáng vật học, thạch học và cấu trúc, các đặc điểm địa chất quan trọng có ảnh hưởng đến môi trường. Thu thập và tổng hợp các tài liệu về thủy văn và địa chất thủy văn bao gồm các tài liệu về bổ cập nước (mưa, bốc hơi, thấm qua), dòng chảy và tháo khô (nguồn xuất lộ, khai thác nước ngầm, rò rỉ, dòng tiêu thoát, dòng chảy ra sông hay suối). Ảnh hưởng của moong khai thác, các công trình khai thác ngầm, các bãi thải đến điều kiện thủy văn và địa chất thủy văn. Trong luận án này, nghiên cứu sinh đã tiến hành thu thập các tài liệu về địa chất, báo cáo thăm dò, luận án, luận văn, các báo cáo khoa học về thạch luận, địa hóa, báo cáo đánh giá tác động môi trường, tài liệu quan trắc môi trường tại hai khu vực mỏ nickel Bản Phúc và khu vực mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì.

2.3.2. Phương pháp khảo sát thực địa, lấy mẫu

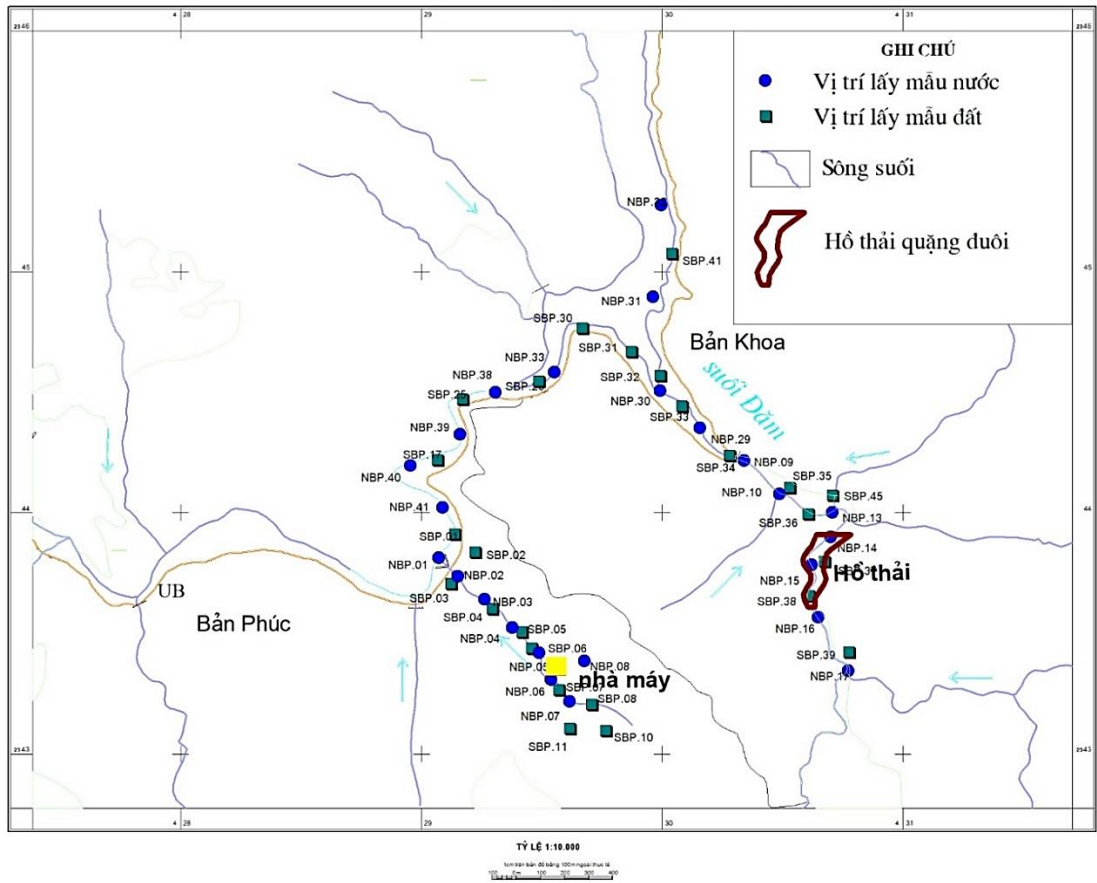
Tiến hành khảo sát thực địa và kết hợp những tài liệu thu thập trong quá trình làm việc tại mỏ, thu thập bổ sung các mẫu đá, mẫu quặng, các mẫu vật cho công tác thí nghiệm và phân tích trong phòng. Thu thập các mẫu nước nhằm xác định các chất gây ô nhiễm trong nước mặt và nước ngầm; đo đạc các thông số hóa học (pH, Eh, nhiệt độ).

- Các mẫu quặng góc, quặng thứ sinh, đá vây quanh được lấy trong các lỗ khoan, vết lộ, lò khai thác. Các loại mẫu lấy theo đúng tiêu chuẩn và quy chuẩn để đảm bảo tính đại diện, mẫu được bảo quản theo đúng quy chuẩn. Các loại mẫu được lấy để phục vụ công tác nghiên cứu thành phần khoáng vật theo phương pháp khoáng tương, phân tích lát mỏng, phân tích thành phần hóa học.

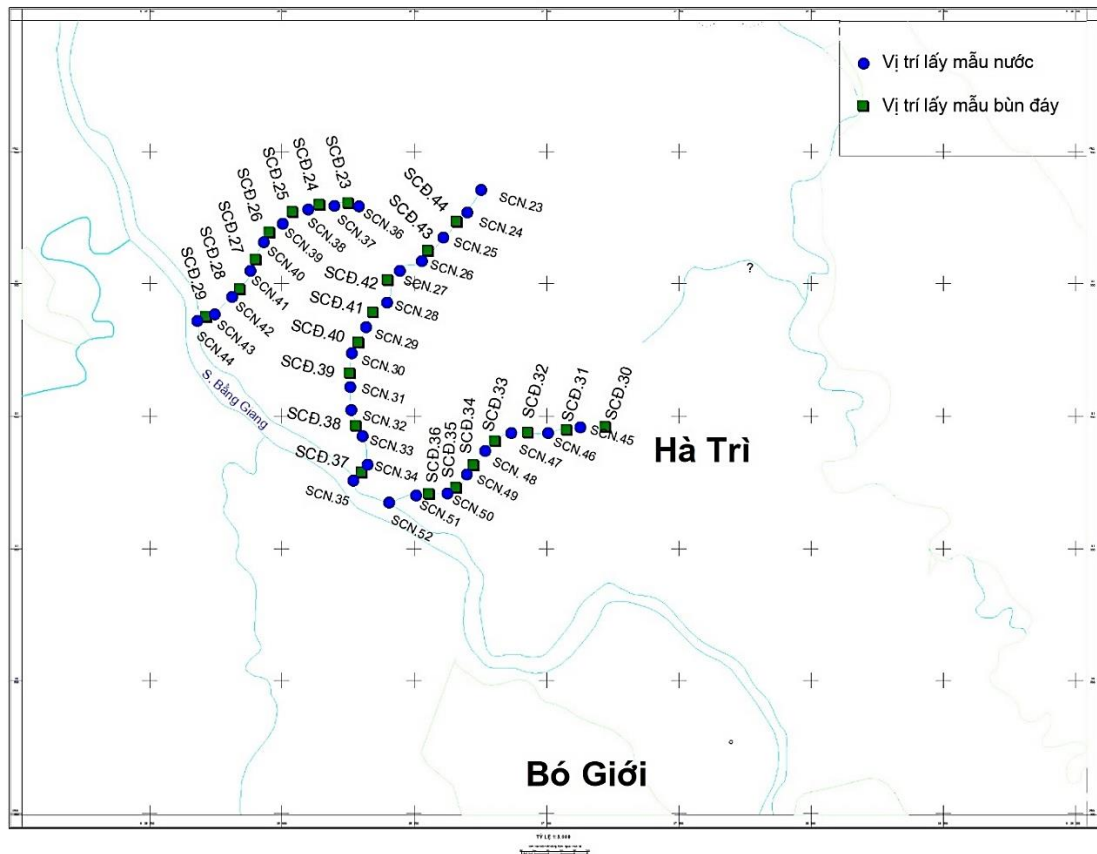
- Các mẫu nước mặt được lấy tại hồ thải, các suối chảy qua những khu vực có hoạt động khoáng sản để đánh giá mức độ ô nhiễm, hàm lượng các kim loại nặng. Các mẫu được lấy tại các vị trí là dòng thải từ mỏ, mẫu nước mặt được lấy bằng chai nhựa sạch 500l, trước khi lấy phải xúc chai 3 lần, để tránh kết tủa, mẫu được bảo quản bằng một lượng acid HCl và được ghi số hiệu mẫu, tọa độ lấy mẫu, thời gian lấy. Mẫu được lấy và bảo quản theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 6663 - 6: 2018 về lấy mẫu nước tại sông suối. Sau khi lấy mẫu được gửi đến Trung tâm Phân tích thí nghiệm địa chất để phân tích.

- Mẫu đất được lấy tại các khu vực là bãi tập kết quặng, sân công nghiệp, lấy theo các dòng suối chảy ra từ mỏ khoáng để đánh giá mức độ phân tán của các kim loại nặng vào môi trường. Mẫu đất được lấy bằng ống lấy mẫu bùn đáy sau đó được gói bằng túi bóng và ghi số hiệu mẫu, tọa độ lấy mẫu, thời gian lấy. Mẫu được gửi phân tích tại Trung tâm Phân tích thí nghiệm địa chất để phân tích.

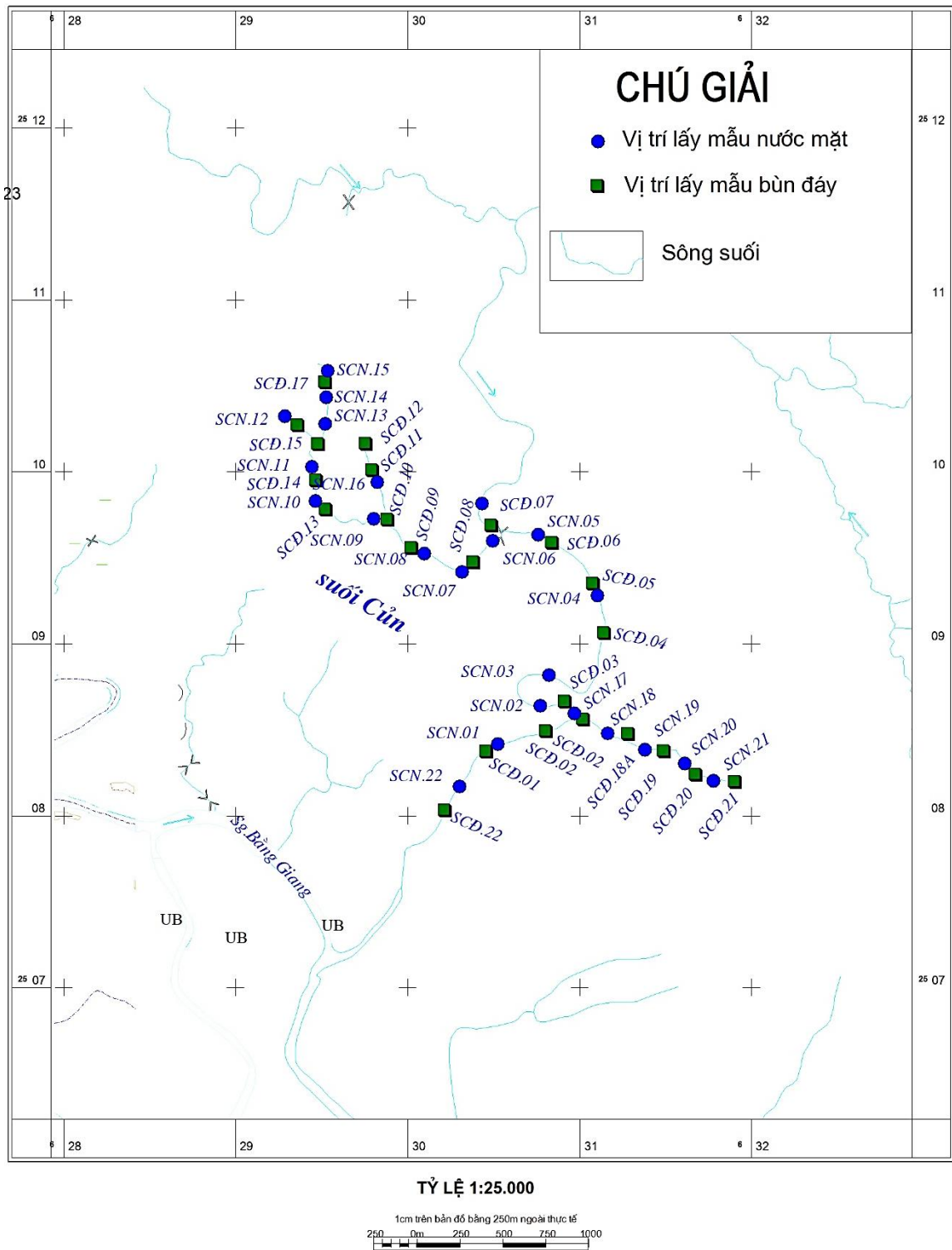
Trong quá trình thực địa sẽ tiến hành lấy các loại mẫu: 40 mẫu quặng góc, 25 mẫu quặng thứ sinh, 15 mẫu đá vây quanh, 91 mẫu đất, 97 mẫu nước, 5 mẫu quặng đuôi để nghiên cứu, đánh giá đặc điểm môi trường của mỏ khoáng và những khu vực xung quanh. Dưới đây là các sơ đồ lấy mẫu của các khu vực nghiên cứu.



Hình 2.3. Sơ đồ vị trí lấy mẫu khu vực mỏ nickel Bản Phúc



Hình 2.4. Sơ đồ vị trí lấy mẫu khu vực Hà Trì



Hình 2.5. Sơ đồ lấy mẫu khu vực Suối Cùn

2.3.3. Nhóm các phương pháp nghiên cứu thành phần khoáng vật

2.3.3.1. Phương pháp nghiên cứu thạch học lát mỏng

Để làm rõ đặc điểm thạch học của các loại đá, nghiên cứu sinh lựa chọn phương pháp phân tích thạch học lát mỏng. Mẫu thạch học được dùng để nghiên cứu tên đá, thành phần khoáng vật, tính chất vật lý của đá vây quanh, đới biến đổi thứ sinh, ...

Đây là phương pháp chính dùng để xác định thành phần khoáng vật cấu tạo, kiến trúc của các thành hệ đá trong khu vực. Phương pháp này được tiến hành phân tích dưới kính hiển vi phân cực trong ánh sáng thấu quang. Trong luận án, nghiên cứu sinh tiến hành lấy và phân tích các mẫu lát mỏng đại diện cho các đá siêu mafic, mafic, đá mạch, đá vây quanh để làm rõ về thành phần thạch học của các thành tạo liên quan. Mẫu lát mỏng được gia công và phân tích tại Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản.

2.3.3.2. Phương pháp phân tích nhiễu xạ Ronghen (XRD)

Phương pháp XRD là phương pháp xác định các pha khoáng vật, cấu trúc và kích thước mạng tinh thể khoáng vật. Phương pháp này đặc biệt hữu ích trong nghiên cứu các vật chất dạng vi tinh, đặc biệt là các khoáng vật sét, và các khoáng vật thứ sinh khác. Phương pháp này đặc biệt hữu ích trong nghiên cứu thành phần khoáng vật của các sản phẩm phong hóa do chúng phần lớn ở dạng vi tinh hoặc ẩn tinh. Nguyên lý của phương pháp là phân tích các phổ nhiễu xạ do ảnh hưởng của các tinh thể khoáng vật khác nhau. Nguyên lý này dựa trên định luật Bragg: $2d\sin\theta = n\lambda$ (trong đó: λ là bước sóng tia X tới, d là khoảng cách giữa các mặt phẳng, θ là góc phản xạ, n là bậc phản xạ). Kết quả thu được các giản đồ nhiễu xạ trên màn hình với các peak cường độ khác nhau, mỗi peak đặc trưng cho các pha tinh thể khác nhau. Dựa vào các peak này để xác định các khoáng vật có trong mẫu. Các mẫu được phân tích trên máy nhiễu xạ Roentgen D8 - Advance (hãng Bruker CHLB Đức) có thông số kỹ thuật như sau: Điện áp: 40kv, Dòng điện: 40mA, Ống phát: Coban (Đồng), Bước nhảy (increment): $0,015^\circ 2\theta$, Tốc độ quét (scan speed) hay thời gian ngưng: 0,3s, Phạm vi quét: $5 - 60^\circ$. (tùy theo đối tượng mẫu), Hệ thống khe: Divergence slit: 0.6mm, Anti - scatter slit: 0.6mm, detector slit: 1.0mm, Filter: Fe (Ni), Cơ sở dữ liệu: Theo bộ dữ liệu PDF2 (ICDD) Hoa Kỳ - đi kèm theo phần mềm xử lý của máy.

Phương pháp phân tích nhiễu xạ Ronghen được sử dụng để nghiên cứu thành phần khoáng vật có kích thước vi mô, Trong luận án, nghiên cứu sinh đã tiến hành phân tích 3 mẫu quặng đuôi để xác định thành phần của các khoáng vật và các nguyên tố trong hồ thải. Mẫu Ronghen được phân tích tại Trung tâm Phân tích Thí nghiệm Địa chất.

2.3.3.3. Phương pháp phân tích khoáng tương

Nghiên cứu các khoáng khoáng vật quặng sulfid dưới kính hiển vi phản quang. Nghiên cứu để làm rõ thành phần khoáng vật quặng, đặc điểm cấu tạo, kiến trúc của quặng. Phương pháp này cho phép xác định nhanh chóng, tương đối chính xác về thành phần khoáng vật, cấu tạo, kiến trúc quặng, tổ hợp cộng sinh khoáng vật quặng. Trong luận án này, nghiên cứu sinh lựa chọn phương pháp phân tích khoáng tương để phân tích các mẫu quặng tại mỏ nickel Bản Phúc và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì. Mẫu khoáng tương được lấy ở các lõi khoan, vết lộ tự nhiên, công trình hào. Mẫu khoáng tương được gia công và phân tích tại Trường Đại học Mỏ Địa chất.

2.3.4. Nhóm các phương pháp nghiên cứu thành phần hóa học

2.3.4.1. Phương pháp hấp thụ nguyên tử (AAS)

Phương pháp phổ hấp thụ nguyên tử (Atomic Absorbtion Spectrometric - AAS) là phương pháp dựa trên nguyên lý hấp thụ của hơi nguyên tử. Khi cho chiếu vào đám hơi nguyên tử một năng lượng bức xạ đặc trưng của riêng nguyên tử đó. Sau đó đo cường độ còn lại của bức xạ đặc trưng này sau khi đã bị đám hơi nguyên tử hấp thụ, sẽ tính ra được nồng độ nguyên tố có trong mẫu đem phân tích.

Phương pháp phổ hấp thụ nguyên tử AAS cho phép xác định được các nguyên tố chính và các nguyên tố vết. Trong quá trình thực hiện luận án, nghiên cứu sinh sử dụng phương pháp hấp thụ nguyên tử phân tích các mẫu nước của thí nghiệm và mẫu nước lấy tại thực địa, mẫu địa hóa đất tại khu vực mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì. Các mẫu được tiến hành gia công và phân tích tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử PinAAcle 900T, do hãng PerkinElmer của Mỹ sản xuất năm 2019.

2.3.4.2. Phương pháp huỳnh quang tia X (XRF)

Phương pháp XRF được sử dụng để xác định thành phần nguyên tố chính trong các mẫu nguyên cứu. Nguyên lý của phương pháp là sử dụng nguồn phát tia X, kích thích các điện tử của mẫu, tạo ra sự phát xạ tia X thứ cấp, dựa vào việc ghi lại phổ tia X phát ra mà phân tích được thành phần hóa học của vật rắn. Với ưu điểm cho kết quả nhanh, dụng cụ và chuẩn bị mẫu đơn giản, cho kết quả chính xác trong phân tích định lượng ngay cả với những nguyên tố có hàm lượng thấp (giới hạn dò tìm cỡ ppm).

Phương pháp huỳnh quang tia X (XRF) là kỹ thuật phân tích được sử dụng khá rộng rãi hiện nay để xác định các nguyên tố chính và nguyên tố vết của các mẫu đá. Nó có thể phân tích đến 80 nguyên tố với phổ rộng của độ nhạy, nồng độ phát hiện từ 100% cho đến vài phần triệu. Nó là phương pháp nhanh và có thể phân tích số lượng lớn các phân tích chính xác trong khoảng thời gian tương đối ngắn. Nghiên cứu sinh thực hiện phân tích bằng thiết bị XRF cầm tay để xác định hàm lượng các nguyên tố trong các mẫu quặng, mẫu đá vây quanh, mẫu đất tại mỏ nickel Bản Phúc có thông số: Nguồn phát tia X DigiX-50 kV, Cường độ dòng: 200 μ A; Cảm biến phát hiện tia X Fast SDD; Năng lượng phân giải: 140 eV @ Mn Ka; Tốc độ đếm: > 500,000 cps.

2.3.5. Phương pháp tính toán acid - bazơ

Để tính toán khả năng tạo acid, nghiên cứu sinh tiến hành các thí nghiệm để tính toán các chỉ số: Khả năng tạo acid tối đa (MPA); Khả năng trung hòa acid (NAC); Khả năng thực tạo acid (NAPP); Kiểm định khả năng tạo acid (NAG) [73, 74]. Trong quá trình thực hiện luận án, nghiên cứu sinh đã thu thập các mẫu là mẫu tại hồ thải quặng đuôi (mỏ nickel Bản Phúc), mẫu quặng gốc tại bãi chứa quặng, mẫu lấy tại các moong khai thác của mỏ nickel Hà Trì để tiến hành phân tích, làm thí nghiệm để tính toán các chỉ số như sau:

- MPA: Khả năng tạo acid tối đa (Maximum Potential Acidity - MPA) được tính theo công thức $MPA = \%S \times 30,6$, trong đó S là hàm lượng lưu huỳnh (S) tổng. MPA là chỉ số chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố gây nhiễu như thành phần khoáng vật, khả năng tham gia vào các phản ứng hóa học tạo acid [73, 74].

- ANC: Khả năng trung hòa acid (Acid Neutralizing Capacity - ANC) đại lượng đo khả năng trung hòa acid của đất đá vây quanh. ANC thường được xác định bằng thực nghiệm. Khả năng trung hòa acid của đá vây quanh được xác định bằng cách cho acid sulfuric loãng 0,1% vào mẫu và chuẩn hóa về pH = 7. Mẫu đá vây quanh được lựa chọn là đá trầm tích chứa vôi của hệ tầng Bản Cải (mỏ nickel Bản Phúc) và đá siêu mafic của phức hệ Cao Bằng (khu mỏ Hà Trì). Từ những kết quả thí nghiệm có thể xác định được lượng acid đã tiêu tốn để trung hòa được đá vây quanh. Kết quả cho thấy các đá chứa vôi của hệ tầng Bản Cải trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc có khả năng trung hòa acid rất tốt, Các đá siêu mafic của phức hệ Cao Bằng là đá vây quanh ở khu vực Hà Trì có khả năng trung hòa acid rất kém.

Hai chỉ số khả năng tạo acid tối đa (MPA) và khả năng trung hòa acid (NAC) là hai chỉ số cơ bản của phương pháp tính toán acid - bazơ. Từ việc tính toán hai chỉ số này có thể phân tích khả năng tạo acid tại các mỏ khoáng thông qua việc tính toán khả năng tạo acid (NAPP) và tỷ lệ ANC/MPA như sau [73, 74].

- Khả năng tạo acid (NAPP) được xác định bằng $NAPP = MPA - ANC$

Nếu MPA nhỏ hơn ANC thì NAPP âm, có nghĩa là mẫu có thể có đủ ANC để ngăn ngừa sự tạo ra acid. Trái lại, nếu MPA vượt quá ANC thì NAPP sẽ dương, tức là vật liệu có thể thuộc loại sinh ra acid. NAPP được biểu diễn theo đơn vị là $kg H_2SO_4/t$ [73, 74].

- Tỷ lệ ANC/MPA là tỷ số giữa khả năng trung hòa acid và khả năng tạo acid tối đa. Nếu tỷ lệ ANC/MPA mà nhỏ hơn 1 chứng tỏ khả năng tạo acid mỏ [73, 74].

2.3.6. Phương pháp Thí nghiệm về sự tạo thành acid mỏ

Để mô phỏng cho quá trình tạo thành dòng thải acid mỏ và tách chiết các kim loại nặng của các vật liệu trong moong khai thác, các bãi thải, bãi tập kết quặng. Nghiên cứu sinh đã tiến hành thí nghiệm mô phỏng sự oxy hóa các khoáng vật sulfid trong các moong khai thác, bãi thải dạng đống, bãi tập kết quặng của mỏ như sau:

*** Chuẩn bị**

- Lấy 4 loại quặng, mỗi loại quặng là 5 kg mẫu đưa vào thí nghiệm gồm:

+ Mẫu quặng đặc sít tại mỏ nickel Bản Phúc

+ Mẫu quặng xâm tán tại mỏ nickel Bản Phúc

+ Mẫu quặng đặc sít tại khu vực Hà Trì

+ Mẫu quặng xâm tán tại khu vực Hà Trì

- Chuẩn bị 4 ống có đường kính là $\varnothing 80$ mm x 500mm có đáy và được gắn với khóa xả nước (ảnh 2.1).

- Nước đưa vào làm thí nghiệm là nước được pha có thành phần tương tự nước mưa tự nhiên, dựa theo những tài liệu quan trắc của mỏ nickel Bản Phúc, dựa theo các tài liệu quan trắc nội mỏ của mỏ nickel Bản Phúc (bảng 2.1).

Bảng 2.1. Thành phần của nước sử dụng trong thí nghiệm

Thành phần	Ca²⁺	Na⁺	Cl⁻	SO₄²⁻	NH₄⁺	Mg²⁺	NO₃⁻	HCO₃⁻	pH
Nồng độ (mg/l)	2,5	8,0	4,0	5,45	1,5	2,2	4,45	24,5	6,8

* Cách tiến hành

Cho các mẫu quặng được đập có độ hạt từ 0,1 đến 30mm vào trong các ống nghiệm, để tự nhiên trong một tuần, sau đó đổ nước đã pha vào các ống nghiệm sao cho ngập quặng và ngâm trong khoảng 2 giờ, tiếp theo xả nước ra, lấy mẫu để tiến hành đo các chỉ số như pH, Eh, nhiệt độ và đem phân tích các kim loại nặng (Ni, Cu, Fe, As, Cd).

Những tuần tiếp theo vẫn sẽ được tiến hành các bước gồm: để quặng trong điều kiện thoáng khí bằng cách mở van xả đáy, sau một tuần sẽ tiến hành đóng van xả và đổ nước đã được pha vào các ống để ngâm 2 giờ sau đó mở van xả để lấy mẫu nước của mỗi ống.



Ảnh 2.1. Hình ảnh thí nghiệm mô phỏng quá trình oxy hóa quặng sulfid

* Lưu giữ kết quả

Kết quả sau mỗi tuần một lần lấy mẫu từ các ống nghiệm sẽ được đo nhanh các chỉ số môi trường và được ghi chép lại cẩn thận. Các mẫu nước được lấy sẽ gửi đi phân tích hàm lượng các kim loại nặng và được thống kê để tìm ra quy luật của biến động của các chỉ số môi trường.

Thí nghiệm được tiến hành trong 60 tuần, các kết quả thí nghiệm là sự mô phỏng quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid để tạo thành dòng thải acid và giải phóng các kim loại nặng vào môi trường.

2.3.7. Phương pháp mô hình hóa

Mô hình địa môi trường mỏ khoáng được xây dựng là mô hình nhận thức, mô phỏng các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường, các quá trình địa hóa, các quá trình phong hóa các khoáng vật, các quá trình môi trường và các dấu hiệu môi trường. Có rất nhiều các thông tin cần được tính toán và mô tả trong khi xây dựng mô hình địa môi trường của mỏ khoáng. Các thành phần của mô hình địa môi trường đôi khi cần đến những mô hình con để mô tả, mô phỏng. Tóm lại, mô hình địa môi trường mỏ khoáng là mô hình đa biến và là mô hình tổng quát, gồm nhiều mô hình nhỏ.

Các mỏ khoáng sản khác nhau, có những đặc điểm khác nhau nên sẽ có một mô hình địa môi trường riêng. Như vậy, mô hình địa môi trường có thể dự báo những nguy hiểm về sự ô nhiễm môi trường tiềm ẩn qua việc phân tích mối quan hệ giữa các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường với các dấu hiệu môi trường. Đối với các mỏ khoáng sản sulfid nickel - đồng có thành phần khoáng vật gồm nhiều khoáng vật sulfid khi bị phong hóa sẽ phát sinh dòng thải acid mỏ. Sự phát sinh dòng thải acid mỏ luôn đi kèm với sự phân tán các kim loại nặng vào môi trường.

CHƯƠNG 3

MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG MỎ NICKEL BẢN PHÚC

3.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường mỏ nickel Bản Phúc

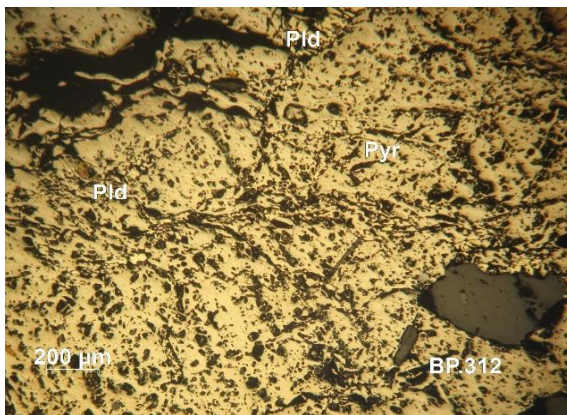
3.1.1. Đặc điểm quặng hóa mỏ nickel Bản Phúc

Khoáng hoá sulfid Ni - Cu của mỏ nickel Bản Phúc gồm 2 loại quặng như sau:

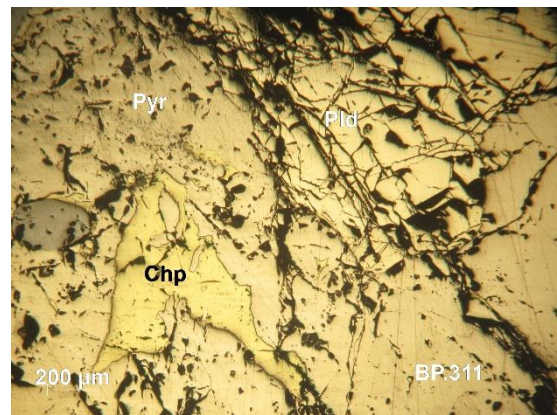
1. Quặng sulfid Ni - Cu đặc sít dạng mạch, thấu kính nằm trong đá gốc trầm tích biến chất, tiếp giáp khối xâm nhập siêu mafic hoặc nằm trong đới sulfid Ni - Cu xâm tán trong khối siêu mafic. Quặng sulfid Ni - Cu đặc sít có 2 kiểu tổ hợp cộng sinh khoáng vật (THCSKV):

THCSKV: pyrotin - pentlandit (ảnh 3.1)

THCSKV: pyrotin - pentlandit - chalcopyrit (ảnh 3.2)



Ảnh 3.1. Penlandit (Pld) tạo vi mạch thay thế gắn kết pyrotin (Pyr) trên nền phi quặng



Ảnh 3.2. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế pyrotin (Pyr)

2. Quặng sulfid Ni - Cu xâm tán nằm trong khối siêu mafic, được hình thành trong quá trình magma dung ly, phân bố chủ yếu phần đáy khối xâm nhập trong đá dunit, peridotit, hoặc xâm tán xung quanh sulfid Ni - Cu đặc sít dạng mạch. Hàm lượng Ni tương đối thấp < 1%. Quặng sulfid Ni - Cu xâm tán trong khối siêu mafic Bản Phúc thuộc phức hệ Bản Xang ($T_3 \delta bx$), phân bố ở phần đáy khối siêu mafic, thuộc kiểu mỏ magma dung ly. Quặng sulfid Ni - Cu xâm tán trong khối siêu mafic có thể thu hồi tinh quặng bằng phương pháp tuyển nổi như quặng sulfid Ni - Cu đặc sít. Song, hàm lượng MgO trong tinh quặng thu hồi được rất cao trên 7%, hiện đang tiếp tục được đánh giá [18, 19].

Các thân quặng trong mỏ nickel Bản Phúc được phân chia như sau:

- Thân quặng I: nằm ở phía nam mỏ, là thân quặng sulfid nickel - đồng đặc sít

dạng mạch cắm về đông bắc (20 - 25°) với góc dốc 70 - 90°, đường phương kéo dài theo hướng tây bắc - đông nam khoảng 900m, nằm ở ven rìa phía nam khối siêu mafic Bản Phúc. Chiều dày toàn bộ thân quặng I kể cả lớp kẹp bên trong thay đổi từ 0,15m đến 39,98m. Chiều dày quặng từ 0,15 đến 38,78m, phổ biến từ 2m đến 5 - 6m. Thân quặng I có từ 1 - 5 lớp đá kẹp bên trong dạng thấu kính, chiều dày lớp kẹp từ 1 đến 8,3m phổ biến từ 1,5 đến 3m. Chiều dày thân quặng có xu hướng giảm dần theo chiều sâu, đến độ sâu +100m hầu như không còn giá trị công nghiệp [18, 19].

Theo hướng cắm, thân quặng bị uốn lượn với góc dốc nhỏ nhất 40 - 50°, nhưng không phổ biến. Theo tài liệu thăm dò chưa phát hiện có các đứt gãy phá huỷ kiến tạo làm phức tạp hoá điều kiện thể nằm của thân quặng cũng như là ảnh hưởng đến điều kiện khai thác mỏ.

Về chất lượng quặng, theo điểm công trình cắt qua thân quặng hàm lượng Ni dao động từ 0,21% đến 6,38%, trung bình toàn thân quặng > 1,44% hàm lượng Cu trung bình 0,69%, hàm lượng trung bình Co 0,05% [19].

- *Thân quặng II và thân quặng III*: là loại quặng sulfid Ni - Cu xâm tán phân bố trong khối siêu mafic Bản Phúc. Quặng sulfid xâm tán trong khối siêu mafic có quy mô lớn hơn nhiều so với quặng đặc sít. Căn cứ vào sự phân bố của các đá dunit và peridotit, phần đáy của khối siêu mafic Bản Phúc chính là phía đông nam và hơi ngả về phía tây nam. Phần phía đông, khối xâm nhập có dạng như một nếp lồi và có hướng chức về phía đông bắc [19].

3.1.2. Thành phần khoáng vật quặng mỏ nickel Bản Phúc

3.1.2.1. Thành phần khoáng vật quặng sulfid nickel - đồng đặc sít

Từ kết quả phân tích các mẫu khoáng tương có thể thấy thành phần khoáng vật quặng của quặng nickel như sau:

- Pyrotin: 66 - 92%, trung bình 74%
- Pentlandit: 5 - 35%, trung bình 15%
- Chalcopyrit: 5 - 18%, trung bình 8%

Các khoáng vật phi quặng gồm amphibol (actinolit, tremolit), albit, plagioclas, chlorit, epidot, calcit, biotit, thạch anh...

Các khoáng vật chứa nickel chủ yếu là pentlandit (Fe, Ni)₉S₈. Các dạng tồn tại của pentlandit:

- Pentlandit đặc sít dạng tấm, có kích thước hạt từ 0,1 đến 0,5mm (ảnh 3.8).

- Pentlandit nằm trong pyrotin hạt thô (ảnh 3.11). Các hạt pyrotin có kích thước 0,5mm có chứa các hạt nhỏ pentlandit đẳng thước với kích thước hạt dao động 0,05 - 0,2mm (ảnh 3.7).

- Tổ hợp khoáng vật pentlandit - pyrotin - chalcopyrit. Tổ hợp khoáng vật này có thể là các hạt pyrotin hạt thô có các vi mạch chalcopyrit và ít pentlandit kích thước hạt 0,03 - 0,15mm và ở dạng hỗn hợp chủ yếu là pentlandit, chalcopyrit và ít pyrotin (ảnh 3.9).

- Một tỉ lệ nhỏ pentlandit tồn tại dưới dạng các hạt xâm tán mịn ($<50\mu\text{m}$) cùng với pyrotin mẫu trong tremolit.

Các khoáng vật chứa đồng chủ yếu là chalcopyrit. chalcopyrit xuất hiện theo trật tự phổ biến xấp xỉ như sau:

- Các hạt riêng lẻ với kích thước từ 0,08 đến 2mm.

- Trong tổ hợp chalcopyrit, pyrotin, cấu tạo đơn giản, thường là các hạt thô, kích thước lớn hơn 0,1mm.

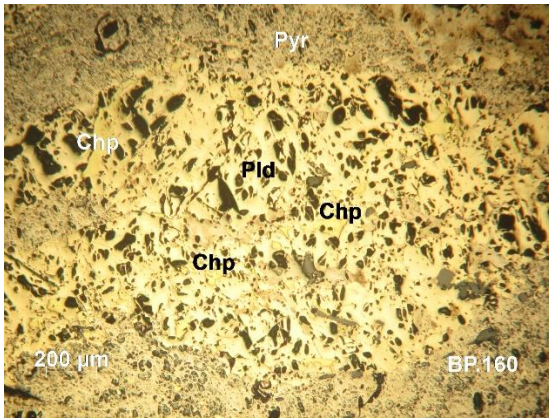
- Nằm trong tổ hợp pyrotin - pentlandit hoặc riêng lẻ. Kích thước các hạt chủ yếu $> 0,1\text{mm}$.

- Nằm trong silicat như trong prenit, biotit clinozoisit, quartzit biotit và horblend thạch anh. Kích thước hạt chalcopyrit dao động từ dưới 50 đến $200\mu\text{m}$.

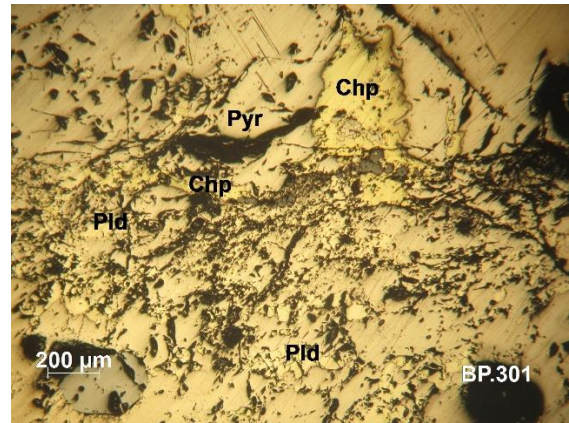
- Tổ hợp khoáng vật pentlandit - pyrotin - chalcopyrit. Tổ hợp khoáng vật này có thể là các hạt pyrotin hạt thô có các vi mạch chalcopyrit và ít pentlandit kích thước hạt 0,03 - 0,15mm và ở dạng hỗn hợp chủ yếu là pentlandit, chalcopyrit và ít pyrotin.

- Hiếm gặp các tổ hợp khoáng vật vi mạch trong tổ hợp granat - chalcopyrit - pyrotin. Thành phần khoáng vật quặng sulfid nickel - đồng đặc sít được thể hiện trong một số ảnh khoáng tương.

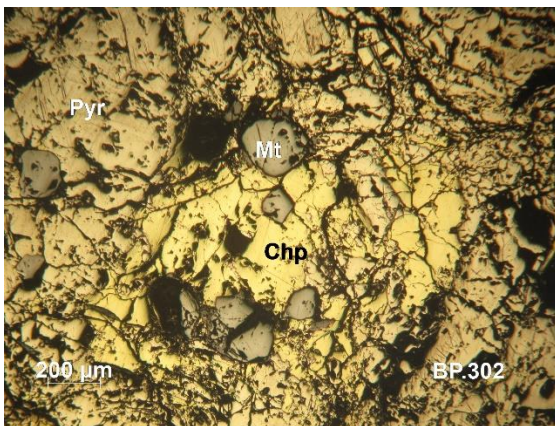
- Quặng sulfid nickel - đồng đặc sít chứa một lượng lớn pyrotin và một lượng nhỏ các khoáng vật chứa MgO (amphibol). Để có được tinh quặng nickel đạt chất lượng thương phẩm thì hàm lượng MgO phải nhỏ hơn $< 5\%$ với thành phần khoáng vật như vậy quặng sulfid đặc sít hoàn toàn thoả mãn điều kiện này.



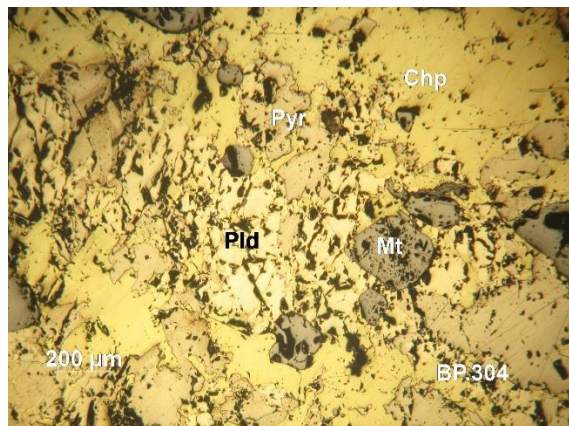
Ảnh 3.3. Mẫu BP.160 quặng nickel đặc sít được lấy trong lò khai thác



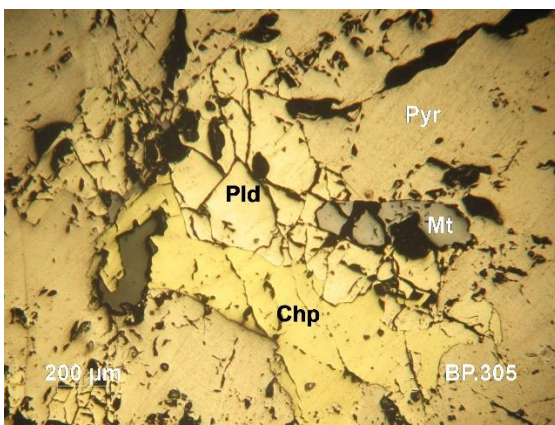
Ảnh 3.4. Mẫu BP.301 Pentlandit (Pld), pyrotin (Pyr), chalcopyrit (chp) tạo tổ hợp đặc sít



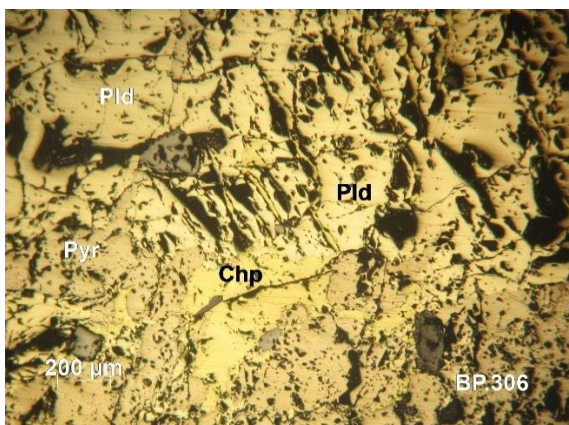
Ảnh 3.5. Chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt)



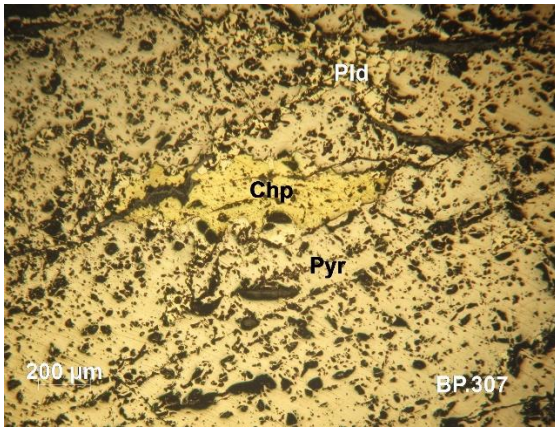
Ảnh 3.6. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt)



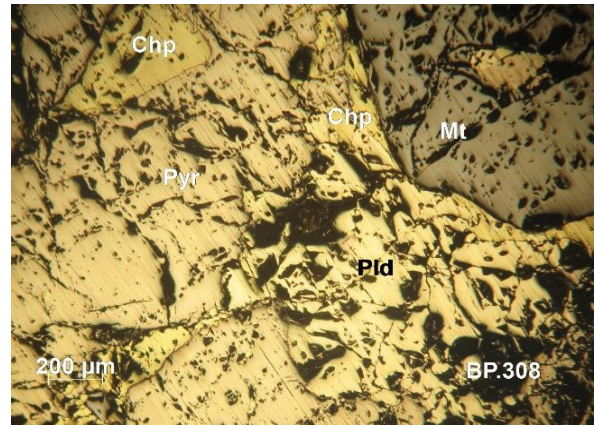
Ảnh 3.7. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết cho pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt)



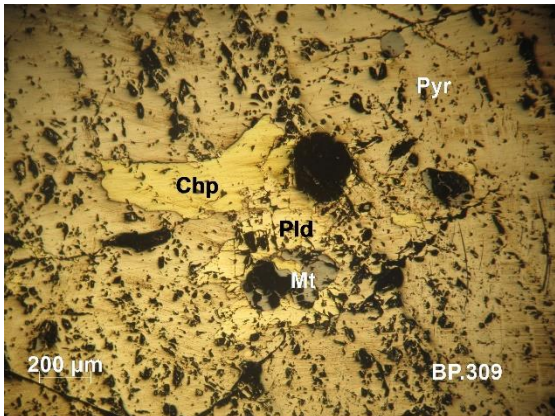
Ảnh 3.8. Pyrotin (Pyr), penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) tạo tập hợp đặc sít



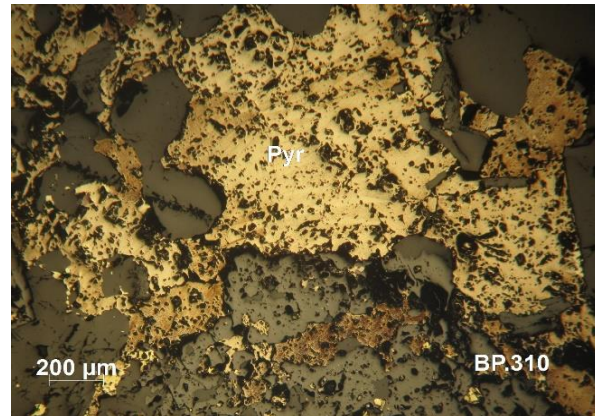
Ảnh 3.9. Pyrotin (Pyr) bị penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết



Ảnh 3.10. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết cho pyrotin (Pyr) và manhetit (Mt)



Ảnh 3.11. Penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) thay thế pyrotin (Pyr)



Ảnh 3.12. Pyrotin (Pyr) thay thế cho khoáng vật của đá

3.1.2.2. Thành phần khoáng vật quặng sulfid nickel - đồng xâm tán

Quặng sulfid nickel - đồng xâm tán trong đáy khối xâm nhập có các khoáng vật quặng chiếm khoảng 5 - 10%, với thành phần chủ yếu là pentlandit, ít pyrotin, violarit, valerit. Chi tiết như sau:

TPKV tạo đá: chiếm tỷ lệ khoảng 90%.

Serpentin: 85% (lizarit và antigorit)

Cacbonat + chlorit + tremolit + phlogopit < 5%.

TPKV quặng: chiếm tỷ lệ khoảng 10%

Magnetit + valerit + pyrotin + pentlandit + violarit.

Các khoáng vật chứa nickel chủ yếu là pentlandit, ít violarit và valerit. Chúng có thể tồn tại dưới các dạng tập hợp sau đây:

Pentlandit - violarit hạt thô, đôi khi đi cùng với pyrotin hạt thô, valerit thay thế pyrotin phần rìa hoặc tạo thành mạch riêng rẽ. Các khoáng vật nickel thường có kích thước hạt từ 0,1 đến 0,5 mm.

Tổ hợp pentlandit - violarit - magnetit. Các hạt khoáng vật hạt mịn, đẳng thước hoặc thon dài, định hướng theo các sợi serpentinit. Các hạt khoáng vật nickel có kích thước 10 - 30µm. Đôi khi các khoáng vật này bị valerit hoá ở phần rìa.

Pentlandit, violarit phân bố trong pyrotin hạt thô. Các hạt sulfid đẳng thước kích thước 0,1mm; ngoại lệ có hạt 0,5mm bên cạnh các hạt có kích thước trên 0,1mm.

Các hạt mịn pentlandit - violarit hình tam giác nhọn hoặc hình kim trong các đám serpentinit, kích thước thường dưới 50µm.

3.1.3. Thành phần hóa học mỏ nickel Bản Phúc

3.1.3.1. Thành phần hoá học của quặng sulfid nickel - đồng đặc sít

Kết quả phân tích thành phần hoá học của quặng Ni - Cu đặc sít được trình bày trong bảng 3.1. Từ bảng 3.1 có thể thấy quặng sulfid nickel - đồng đặc sít có hàm lượng khá cao về nickel, nhưng rất thấp về các nguyên tố nhóm platin và vàng, không có hoặc rất thấp các nguyên tố có hại.

Các kết quả phân tích mẫu hóa cơ bản của thân quặng sulfid nickel - đồng đặc sít (TQI) hàm lượng biên 0,2% Ni, có hàm lượng trung bình 1,44% Ni; 0,69% Cu; 0,05% Co; 25 ppb Au; 64 ppb Pt; 30 ppb Pd; 14,42% S; 2,28% Mg; 26,7% Fe [19].

Quặng sulfid nickel - đồng đặc sít thuần tuý không có phần xâm tán cạnh mạch có hàm lượng trung bình của các kim loại gồm: 4,73% Ni; 1,84% Cu; 0,14% Co; 17,56 ppb Au; 67,55ppb Pt; 45,35ppb Pd; 0,84ppb Mg; 23,8% S; 41,45% Fe [19].

Trong quá trình nghiên cứu, nghiên cứu sinh đã tiến hành lấy và phân tích bổ sung một số mẫu để đối sánh với kết quả thăm dò. Các mẫu được phân tích bằng phương pháp XRF tại mỏ nickel Bản Phúc. Các kết quả phân tích có sự tương đồng về thành phần hóa học với kết quả thăm dò của mỏ nickel Bản Phúc (bảng 3.1 và bảng 3.2).

Bảng 3.1. Kết quả phân tích một số mẫu quặng nickel đặc sít

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (%)					
		Ni	Cu	Co	Fe	Mg	S
1	QĐX.01	4,21	1,33	0,15	44,20	0,86	18,6

2	QĐX.02	4,17	1,84	0,22	42,14	0,65	23,24
3	QĐX.03	3,88	1,86	0,23	40,76	0,78	20,43
4	QĐX.04	4,23	1,54	0,19	39,04	0,69	21,53
5	QĐX.05	4,12	1,93	0,21	42,85	0,58	23,41
6	QĐX.06	4,28	2,13	0,14	43,12	0,87	20,13
7	QĐX.07	4,02	1,78	0,16	40,03	0,92	22,37

3.1.3.2. Thành phần hoá học của quặng sulfid nickel - đồng xâm tán

Thành phần một số nguyên tố trong quặng xâm tán được trình bày trong bảng 3.2. Nhìn chung quặng sulfid nickel - đồng xâm tán có hàm lượng thấp Ni thấp nhưng Mg cao, có hàm lượng trung bình Ni: 0,47%; Cu 0,03%; Co 0,016%; Pt 122 ppb; Pd 140 ppb; Au 42 ppb; Fe 6,46%; Mg 22,05% [19].

Bảng 3.2. Kết quả phân tích một số mẫu quặng nickel xâm tán

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (%)					
		Ni	Cu	Co	Fe	Mg	S
1	QXT.01	0,31	0,02	0,013	8,18	23,76	4,06
2	QXT.02	0,27	0,05	0,021	11,24	19,27	3,76
3	QXT.03	0,48	0,05	0,019	9,87	22,65	5,02
4	QXT.04	0,23	0,03	0,015	7,79	23,56	4,65
5	QXT.05	0,12	0,02	0,017	9,64	22,15	4,16
6	QXT.06	0,24	0,03	0,020	10,05	20,17	3,88

Kết quả phân tích cho thấy hàm lượng các nguyên tố MgO cao. Với đặc điểm về thành phần hoá học khó có thể thoả mãn yêu cầu hàm lượng MgO < 7% trong tinh quặng theo yêu cầu của luyện kim.

3.1.4. Trữ lượng khoáng sản và quy mô mỏ nickel Bản Phúc

Theo các tài liệu thăm dò, mỏ nickel Bản Phúc có trữ lượng như sau:

Thân quặng 1: Thân quặng nằm ở phía đông nằm khối xâm nhập, có chiều dài khoảng 250m, phát triển trong đới rộng 200m nhưng phân nhánh, phình ra thụt vào tạo nên một hình thái rất không đồng nhất, chiều dày 3,5 đến 54m. Thân quặng xuất lộ ngay trên mặt và phát triển xuống sâu tới 400m. Hàm lượng quặng trung bình Ni: 0,68%, Cu: 0,26%, Co: 0,02%. Hàm lượng các nguyên tố nhóm platin thấp < 1 ppm.

Thân quặng 2: Thân quặng này là kiểu bám đáy điển hình có dạng hình chấu, phân bố từ giữa khối tới phía tây, dài khoảng 350m, rộng 100 đến 150m. Chiều dày từ 3,5 đến 20m. Hàm lượng quặng trung bình 0,65%, Ni, 0,1% Cu. Hàm lượng các nguyên tố nhóm platin thấp < 0,5 ppm.

Thân quặng 3: Thân quặng này nằm ở vách đông bắc khối xâm nhập nhưng không phát triển xuống sâu nên gọi là thân quặng treo. Đây là thân quặng có dạng như cái dĩa dày, chiều dày thay đổi từ 8,5 m đến 19m, chiều rộng đến 150m và chiều dài 100m. Hàm lượng quặng trung bình 0,7%Ni, 0,22% Cu và 0,02% Co. Hàm lượng các nguyên tố nhóm platin thấp < 0,5ppm.

Tổng trữ lượng quặng đặc sít là 4.570.000 tấn, trữ lượng quặng xâm tán là 71.601.000 tấn [19].

3.1.5. Đá vây quanh

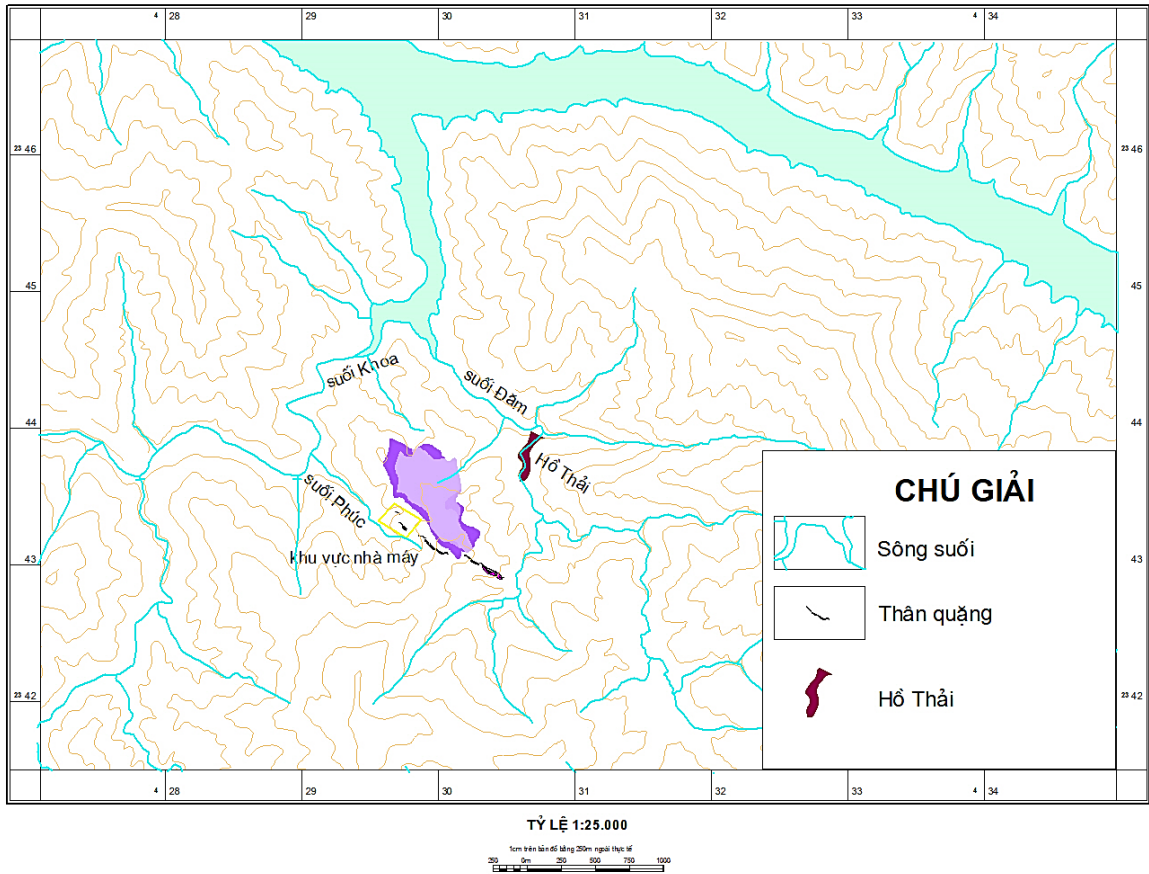
Đá vách, trụ của thân quặng đặc sít là các đá trầm tích biến chất của hệ tầng Bản Cải, bị sùng hoá, có nút nẻ chủ yếu theo mặt lớp, có thành phần chứa cacbonat. Do đá vây quanh có thành phần chứa cacbonat nên khả năng trung hòa acid rất tốt.

Các thân quặng xâm tán nằm trong các khối siêu mafic nên thành phần của đá vây quanh của các thân quặng xâm tán là các đá siêu mafic. Các đá siêu mafic không có khả năng trung hòa acid tốt như các đá trầm tích lục nguyên có thành phần cacbonat của hệ tầng Bản Cải.

3.1.6. Đặc điểm địa chất thủy văn

3.1.6.1. Đặc điểm nước mặt

Khu vực nghiên cứu gần dòng sông Đà, chảy theo phương tây bắc - đông nam. Dòng sông Đà đã bị chặn lại làm đập thủy điện nên hiện tại đoạn sông này đã trở thành hồ. Các suối trong khu vực chảy theo phương tây nam - đông bắc và phương đông nam - tây bắc đổ vào sông Đà. Các suối được hình thành theo đới phá huỷ kiến tạo và những đới đất đá có độ cứng thấp nên phương dòng chảy trùng với đường phương của đá gốc. Trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc có suối Phúc chảy qua cửa nhà máy tuyển khoáng và cửa lò chính và suối Đăm chảy qua khu vực hồ thải quặng đuôi. Hai suối này đổ vào suối Khoa trước khi chảy ra sông Đà. Hệ thống sông suối có ý nghĩa rất quan trọng trong việc phân tán các chất ô nhiễm vào môi trường. Các suối trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc là con đường phân tán các chất ô nhiễm vào môi trường.



Hình 3.1. Sơ đồ mạng lưới sông suối của mỏ khu vực nickel Bản Phúc

Đặc điểm nước mặt có ý nghĩa rất quan trọng đến môi trường của mỏ, nước không chỉ tham gia vào các quá trình oxy hóa mà còn hòa tan các kim loại nặng, vận chuyển, phân tán ra môi trường.

Khu mỏ nằm trên địa hình cao 480 - 500m, cách cửa suối Khoa đổ vào sông Đà trước đây khoảng 3km về phía Bắc. Đó là đỉnh chia nước giữa hai nhánh suối Khoa: suối Đăm ở phía đông bắc và suối Phúc ở phía tây nam.

Suối Khoa là suối lớn nhất, chảy theo hướng tây nam - đông bắc, nằm ngoài khu mỏ. Theo số liệu quan trắc, lưu lượng nhỏ nhất 84,7 l/s (ngày 21/2/1961), lớn nhất 3736 l/s (ngày 11/9/1960), trung bình 130 - 222 l/s. Hiện nay, từ Bản Khoa về phía hạ lưu, thung lũng bị ngập nước với chiều rộng 250 - 300m, là một phần hồ chứa nước Hòa Bình có mực nước dâng bình thường +115 m [19].

Suối Đăm bắt nguồn từ Bản Trạng, chảy theo hướng đông nam - tây bắc, chiều dài 12km. Thung lũng hình chữ V với các sườn nghiêng dưới góc 30 - 45°. Lòng hẹp và dốc, mở rộng về phía hạ lưu đến 10 - 15m và lớn hơn. Chiều sâu mực nước 0,2 - 0,5m về mùa khô, tăng lên 2 - 3m vào mùa mưa lũ. Lưu lượng nhỏ nhất 8,97 l/s (tháng 7/2005), lớn nhất 153,34 l/s (tháng 8/2005), trung bình 39,59 l/s. Các suối nhánh của

suối Đăm thường ngắn, có chiều dài từ 500 đến 1200m, lòng hẹp. Lưu lượng nhỏ nhất 0,063 l/s, lớn nhất 1,637 l/s, trung bình 0,328 - 0,971/s [19].

Suối Bản Phúc ở phía tây nam. Số liệu quan trắc tại trạm WBP1 đặt cách mép nước hồ Tạ Khoa 200 m cho lưu lượng nhỏ nhất 0,407 l/s (tháng 7/2005), lớn nhất 9,143 l/s, trung bình 3,301 l/s. Các suối nhánh có lưu lượng trung bình chỉ vào khoảng 0,682 - 0,848 l/s [19].

Ngoài ra, còn có những suối nhỏ khác như suối Đông Sơn, suối Hẹ, suối cửa lò 402, v.v... chỉ có nước vào mùa mưa, thường bị cạn kiệt vào mùa khô.

Trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc không có dòng mặt chảy qua thân quặng, các suối thường ngắn, bắt nguồn từ các sườn cao với lòng hẹp và dốc, thoát nước nhanh chảy ra ngoài, không gây ảnh hưởng lớn đến khai thác. Tuy nhiên các suối chảy qua khu vực nhà máy và khu vực hồ thải quặng đuôi có vai trò to lớn ảnh hưởng đến môi trường.

3.1.6.2. Đặc điểm nước dưới đất

Nước dưới đất là một trong những yếu tố thủy văn quan trọng không chỉ trong hoạt động khai thác mà cả trong các vấn đề môi trường. Nước dưới đất sẽ làm phát sinh nước thải hầm lò. Khi trên mặt bị ô nhiễm sẽ làm ảnh hưởng đến chất lượng nước ngầm là nguồn nước sinh hoạt của người dân. Căn cứ vào đặc điểm thành phần thạch học và sự tồn tại của nước trong đất đá trong mỏ nickel Bản Phúc, có thể chia ra các đơn vị địa chất thủy văn sau đây:

Tầng chứa nước trong lỗ hổng của trầm tích mềm rời Đệ Tứ (Q), bao gồm các trầm tích eluvi phân bố rất hạn chế trên các đỉnh và sườn cao, trầm tích deluvi trên các sườn thấp và thoải và trầm tích aluvi phân bố dưới dạng dải hẹp ven các suối lớn. Thành phần thạch học là sét hay sét pha lẫn dăm vụn đá gốc, cát sỏi cuội. Chiều dày từ 0,5 - 10m, trung bình 3 - 5m. Nước không áp, tồn tại trong các lỗ hổng của đất đá. Ven các thung lũng suối Tạ Khoa, Bản Phúc, suối Đăm, Bản Trạng phát hiện một số mạch lộ nước với lưu lượng từ 0,1 - 0,5 l/s. Về mùa khô lưu lượng các mạch giảm dần, nhiều nơi mất hẳn hoặc xuất hiện dạng thấm rỉ, tạo thành các khoanh nhỏ đất lầy hóa trên bề mặt các bãi bồi cao ven chân sườn. Nguồn cung cấp chủ yếu là nước mưa. Thoát ra mạng sông suối. Tầng nước này có diện phân bố hẹp và chiều dày mỏng và là tầng có ảnh hưởng lớn nhất đến môi trường [19].

Tầng chứa nước trong khe nứt - mặt lớp của đá phiến silic thuộc tập trên của

phụ hệ tầng Bản Cải dưới ($D_3bc_1^2$). Phân bố thành các dải hẹp ở phía tây nam và đông bắc khu mỏ, dài khoảng 600 - 650m và rộng 12 - 150m. Thành phần thạch học là đá phiến silic, đá sừng xen các lớp mỏng quaczit hạt nhỏ màu xám hay xám lục, bị chia cắt bởi các đai mạch đá siêu mafic bị tremolit hóa. Cấu tạo khối, kiến trúc phân phiến hoặc phân lớp mỏng. Chiều dày 15 - 200m và lớn hơn [19].

Tầng chứa nước khe nứt - Karst của đá phiến vôi, đá hoa thuộc tập dưới của phụ hệ tầng Bản Cải dưới ($D_3bc_1^1$). Phân bố ở phần phía tây nam và đông bắc khu mỏ. Thành phần thạch học là đá vôi, đá hoa xen các lớp mỏng đá phiến sét chứa vôi và dăm kết vôi hạt thô màu xám đen chứa grafit. Cấu tạo khối đặc sít. Kiến trúc dạng dải. Chiều dày chưa xác định. Đất đá rắn chắc, nứt nẻ không đều. Phần trên mặt cắt bị phong hóa, đá nứt nẻ mạnh, có xu hướng giảm dần theo chiều sâu. Đối phong hóa dày 50 - 100m. Nước dưới đất tồn tại trong các khe nứt và hang hốc nhỏ karst. Có áp hoặc không áp [19].

Phức hệ chứa nước trong khe nứt - mặt lớp của đá phiến hệ tầng Tạ Khoa (D_1-2tk). Phức hệ này lộ ra hai dải ở phía đông bắc và tây nam ngoài khu mỏ. Thành phần thạch học là đá phiến mica màu nâu vàng, phốt đỏ. Đá rắn chắc, bị biến chất khu vực, nứt nẻ yếu. Nước tồn tại trong các khe nứt và mặt lớp. Căn cứ vào đặc điểm thành phần thạch học có thể suy đoán đất đá nghèo nước và tính thấm kém. Nguồn cung cấp là nước mưa, thoát ra sông suối. Vì phức hệ chứa nước nằm ngoài khu mỏ, không ảnh hưởng đến khai thác quặng, cho nên nó không phải là đối tượng nghiên cứu trong quá trình thăm dò [19].

Đới chứa nước trong khe nứt của đá magma xâm nhập phức hệ Bản Xang (dT_1bx). Đới này lộ ra thành một khối lớn ở khu vực trung tâm có chiều dài 940m, chiều rộng 200 - 400m và chiều sâu 450 - 470m [19]. Đá hình chậu. Nằm chồng lên trên đá trầm tích biến chất phụ hệ tầng dưới của hệ tầng Bản Cải D_3bc_1 . Thành phần thạch học là đá peridotit bị serpentin hóa mạnh màu xám lục hay xám nâu, chuyển xuống peridotit màu xanh đen và dưới cùng là dunit bị serpentin hóa màu xám xanh. Đá có cấu tạo khối đặc sít, kiến trúc hạt tự hình, chứa quặng sulfid nickel - đồng xâm tán. Đá rắn chắc, nứt nẻ yếu. Phần trên bị phong hóa, khe nứt phát triển nhiều hơn, giảm dần theo chiều sâu. Nước tồn tại trong các khe nứt, không có áp.

Từ những phân tích nói trên có thể nói rằng nguồn nước ngầm rất khan hiếm, trong quá trình khai thác, nước thải hàm lò xuất hiện không nhiều. Tuy nhiên, nước

thải hầm lò chứa nhiều hóa chất và kim loại nặng cần có giải pháp thu gom, xử lý.

3.1.7. Đặc điểm tự nhiên

3.1.7.1. Điều kiện khí hậu

Mỏ nickel Bản Phúc nằm trong vùng Tây Bắc Việt Nam có hai mùa rõ rệt. Mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 9, mưa nhiều từ tháng 6 đến tháng 8, nhiệt độ cao nhất 33 - 42°C. Mùa khô từ tháng 10 đến tháng 4 năm sau, nhiệt độ thấp nhất có thể tới 2°C, cao nhất 28°C, trung bình từ 12 đến 14°C. Lượng mưa trung bình trong năm khoảng 2032 mm. Độ ẩm trung bình khoảng 80%. Lượng nước bốc hơi trung bình hàng năm khoảng 1345 mm. Khu vực này chịu ảnh hưởng của gió mùa đông bắc và đông nam, đầu mùa hè có gió tây, nóng và khô.

Với đặc điểm khí hậu nóng ẩm, có lượng mưa tương đối lớn là một trong những yếu tố làm cho quặng hóa bị phong hóa mạnh. Các khoáng vật sulfid sau khi được khai thác sẽ nhanh chóng bị phong hóa làm xuất hiện dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng vào môi trường.

3.1.7.2. Đặc điểm địa hình

Mỏ nickel Bản Phúc nằm trong khu vực có địa hình núi cao, dốc đứng, phân cắt mạnh, hiểm trở. Độ cao thấp nhất 100 m, cao nhất 1969 m, trung bình cao 700 m. Các dãy núi chạy theo phương tây bắc - đông nam và bị chia cắt bởi hệ thống suối chảy theo phương tây nam - đông bắc và đông nam - tây bắc. Địa hình phân cắt mạnh, sườn dốc từ 30 - 40°. Các thung lũng có dạng chữ V đặc trưng cho địa hình xâm thực dọc mạnh. Trong vùng không có nhiều địa hình trũng và phẳng.

Do địa hình khá dốc nên các khoáng vật khi bị phong hóa nhanh chóng bị nước rửa trôi. Tại các khu vực mặt bằng là bãi chứa, bãi thải nước không đọng lại lâu mà nước mưa sẽ được chảy qua các con suối để ra sông Đà. Khu vực mỏ nickel Bản Phúc có kiểu địa hình dốc và phân cắt mạnh nên không thuận lợi cho quá trình oxy hóa các khoáng vật tại các khu vực đổ thải dạng đống.

3.1.8. Các hoạt động khoáng sản

3.1.8.1. Hoạt động khai thác

Hoạt động khai thác của mỏ nickel Bản Phúc trong những năm vừa qua là khai thác thân quặng đặc sít bằng phương pháp hầm lò, các thân quặng xâm tán vẫn đang tiếp tục được nghiên cứu. Các công nghệ khai thác được áp dụng là:

- Hệ thống khai thác chia lớp khâu quặng bằng khoan nổ mìn và chèn lò.

- Hệ thống khai thác buồng lưu quặng.
- Hệ thống khai thác lò dọc vỉa phân tầng khấu quặng bằng khoan nổ mìn.

Có thể nhận thấy phương pháp khai thác thân quặng đặc sít tại mỏ nickel Bản Phúc trong những năm qua được tiến hành rất hiệu quả, phù hợp với đặc điểm của thân quặng. Những ảnh hưởng đến môi trường không lớn, nước thải hầm lò được thu gom và xử lý rất tốt. Nước thải hầm lò chảy ra từ các địa tầng, các khu vực khai thác theo các rãnh nước, giếng khoan chảy vào hệ thống lò chứa nước ở cost +180m. Để thoát nước mỏ, thiết kế xây dựng một trạm bơm trung tâm để bơm nước ra ngoài.

Trong quá trình khai thác, quặng sulfid đặc sít từ dưới lò được vận chuyển lên bãi tập kết quặng nguyên khai (ảnh 3.13). Quặng này sau đó được đưa vào cấp liệu cho nhà máy tuyển. Hiện tại chỉ vết tích của bãi tập kết quặng với một đám quặng đã bị phong hóa có màu vàng nâu. Các mẫu đất được lấy ở xung quanh khu vực này.



Ảnh 3.13. Bãi tập kết quặng sau khai thác của mỏ nickel Bản Phúc

Do công suất của nhà máy tuyển nổi được thiết kế để phù hợp với công suất khai thác nên khai thác đến đâu, tuyển đến đó do vậy thời gian lưu quặng không dài, các khoáng vật chưa kịp bị oxy hóa để tạo thành dòng thải acid mỏ. Tuy nhiên, nhưng tại đây vẫn quan sát thấy quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid. Các khoáng vật này khi gặp điều kiện thuận lợi dễ dàng tiếp xúc với nước và không khí, nhanh chóng xảy ra các phản ứng oxy hóa tạo thành H_2SO_4 và giải phóng các kim loại nặng. Chính quá trình này đã tạo ra các oxit và hydroxit sắt màu vàng nâu trong đám quặng còn lại ở bãi tập kết quặng.

Các kim loại nặng sẽ theo nước mặt, nước ngầm phân tán vào môi trường qua

đập tràn hoặc do thấm thấu qua thân đập vào suối Đăm rồi chảy theo suối Khoa vào sông Đà. Đây là một trong những vấn đề nghiêm trọng trong tương lai vì thời gian ảnh hưởng kéo dài sau khi kết thúc khai thác. Một vấn đề khác là nếu để xảy ra các sự cố do vỡ đập thì sẽ gây ra thảm họa môi trường.

3.1.8.2. Hoạt động chế biến khoáng sản

Trong khu vực mỏ được xây dựng một nhà máy tuyển nổi công suất 200.000 tấn quặng/năm để tuyển quặng nickel (ảnh 3.14). Tinh quặng sau tuyển là sản phẩm cuối cùng để cung cấp cho thị trường. Tại đây không diễn ra hoạt động luyện quặng do vậy không phát sinh khí SO₂. Các khâu chính trong quá trình tuyển quặng như sau:

** Khâu đập nghiền*

Do đặc điểm kiến trúc hạt khoáng vật quặng rất mịn, các hạt penlandit nằm trong các hạt pyrotin do vậy phải nghiền mịn để tách các hạt khoáng ra khỏi đá vây quanh nhằm nâng cao khả năng thu hồi quặng. Nhà máy lựa chọn phương pháp đập hai giai đoạn và một giai đoạn nghiền bi tiếp theo. Dùng một bunke bằng thép thông thường tháo tải bằng cấp liệu rung để chứa quặng sau đập. Không lựa chọn bãi chứa quặng ngoài trời để chứa quặng sau đập vì có khả năng sinh bụi.

** Khâu tuyển nổi*

Nhà máy lựa chọn phương pháp tuyển nổi với hai giai đoạn: giai đoạn tuyển chính và giai đoạn tuyển tinh. Quặng đuôi của giai đoạn tuyển chính và tuyển tinh được tuyển vét trước khi thải vào hồ thải.

** Khâu cô đặc, lọc và vận chuyển tinh quặng*

Tinh quặng tuyển nổi cuối cùng được khử nước trong một bể cô đặc thông thường với hệ thống pha loãng tự động; bể này được chọn kích thước sao cho có thể hoạt động không cần chất kết bông để tránh ảnh hưởng xấu đến kết quả lọc tinh quặng. Bùn cô đặc tinh quặng được chứa trong một bể chứa có khuấy có dung tích chứa ổn định lưu lượng trước khâu lọc ép. Vì sàng tách rác trước cấp liệu tuyển nổi đã loại bỏ hết các tạp chất nên chỉ cần các giỏ lưới đơn giản ở đầu ra ống xả nước tràn vào bể chứa nước sản xuất và đầu ra ống xả bùn cô đặc vào bể chứa cấp liệu máy lọc tinh quặng.

Tinh quặng nikel sau tuyển không thuộc loại khó tách nước và sử dụng máy lọc ép là có thể thu được sản phẩm đạt yêu cầu cho công tác vận chuyển tiêu thụ. Vì vậy một máy lọc ép khung ngang bản đứng được lựa chọn sử dụng để tách nước.

** Khâu lắng cô đặc, bơm quặng đuôi và nước tuần hoàn*

Bùn quặng đuôi sẽ được bơm vào hồ thải quặng đuôi bằng hệ thống đường ống có các trạm bơm thủy lực. Để giảm ô nhiễm môi trường cần phải giữ chất rắn quặng đuôi chìm dưới mặt nước để giảm thiểu quá trình oxy hoá và sản sinh acid nên đập của hồ thải phải giữ và điều tiết cho quặng đuôi luôn bị ngập nước.

** Thuốc tuyển:*

Nhà máy tuyển nổi sử dụng các loại thuốc tuyển như sau:

- Thuốc điều chỉnh pH - Cacbonat Natri
- Thuốc tập hợp - Etyl Xantat Natri
- Thuốc tạo bọt - InterFroth IF50:
- Thuốc đè chìm đá thải sulfur - Metabisulfit Natri
- Thuốc đè chìm đá thải không sulfur - Carboxy Metyl Xenlulô
- Chất kết bông

** Các loại chất thải gồm 2 loại:* Đá thải trong quá trình đào lò và quặng đuôi.

- Đá thải trong quá trình đào lò chuẩn bị sản xuất như lò tiếp cận, lò xuyên vỉa, ... có khối lượng trung bình hàng năm khoảng 3.500 m³. Đá thải do đào lò trong năm đầu xây dựng cơ bản ít được đổ để san lấp tạo dựng mặt bằng các cửa lò và mặt bằng sân công nghiệp. Từ năm thứ 2 trở đi đá thải đào lò được đổ ngay vào các khoảng không đã khai thác trong hầm lò mà không cần vận chuyển ra mặt bằng.

- Quặng đuôi: được đổ vào phía trên đập thải suối Đăm nằm ở phía Đông khai trường mở cách nhà máy tuyển 2km. Vận tải thải quặng đuôi bằng bơm và đường ống bùn. Quặng đuôi sau khi tuyển có khối lượng hàng năm khoảng: 172.500 tấn.



Ảnh 3.14. Nhà máy tuyển nổi nickel Bản Phúc

Mỏ nickel Bản Phúc được khai thác xong thân quặng đặc sít và đang tạm dừng các hoạt động khai thác. Hoạt động tuyển khoáng đã tạo ra hồ thải quặng đuôi như hình 3.15.



Ảnh 3.15. Hồ thải quặng đuôi mỏ nickel Bản Phúc

Kết quả phân tích mẫu quặng đuôi trong hồ thải của mỏ nickel Bản Phúc bằng phương pháp Ronghen (bảng 3.3 và hình 3.2) cho thấy trong thành phần quặng đuôi vẫn chứa thành phần các khoáng vật sulfid. Các khoáng vật sulfid trong quặng đuôi khi bị oxy hóa sẽ tạo thành dòng thải acid mỏ.

Bảng 3.3. Kết quả phân tích thành phần khoáng vật quặng đuôi trong hồ thải của mỏ Nickel Bản Phúc bằng phương pháp Ronghen

STT	Tên các khoáng vật	Thành phần (%)
1	Illit - $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_8](\text{OH})_2$	30 - 32
2	Clorit - $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{Si}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	4 - 6
3	Thạch Anh - SiO_2	39 - 41
4	Felspat - $\text{KNaAlSi}_3\text{O}_8$	3 - 5
5	Gotit - $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2 - 4
6	Amphibol	1 - 3
7	Calcit - CaCO_3	3 - 5
8	Pyrotin - Fe_{1-x}S	5 - 7
9	Chalcopyrit - CuFeS_2	<1
10	Stanit - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$	<1

Theo tính toán, tổng khối lượng quặng đuôi thải phát sinh trong quá trình khai thác và chế biến thân quặng đặc sít là xấp xỉ 2.087.000 tấn, tương đương 1.334.000 m³ (dung trọng của quặng đuôi là 1,55 tấn/m³). Nếu tiếp tục khai thác các thân quặng xâm tán thì lượng quặng đuôi phát sinh sẽ rất lớn.

3.2. Các quá trình môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc

3.2.1. Quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid

Các khoáng vật sulfid tồn tại trong thành phần quặng đuôi, quặng nguyên khai, đất đá thải của hoạt động khai thác. Các khoáng vật sulfid khi tiếp xúc với oxy và nước trong không khí sẽ nhanh chóng bị oxy hóa. Các phản ứng hóa học sẽ được xảy ra, một trong những sản phẩm của các phản ứng hóa học là sự tạo thành dòng thải acid mỏ và giải phóng các kim loại nặng.

Quặng đuôi là phần thải của quá trình tuyển khoáng, trong thành phần của quặng đuôi sẽ vẫn chứa một số khoáng vật sulfid mà quá trình tuyển không thể thu hồi. Sau khi bị oxy hóa sẽ tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng ra môi trường. Hồ thải quặng đuôi tiềm ẩn nhiều nguy cơ gây ô nhiễm môi trường lâu dài. Trong quặng đuôi các khoáng vật sulfid còn sót lại chưa thu hồi hết khi bị oxy hóa sẽ phát sinh AMD và phân tán các kim loại nặng vào môi trường. Quá trình này có thể diễn ra trong nhiều năm sau khi kết thúc khai thác.

Quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid ở đá thải, bãi chứa, sân công nghiệp dạng đống đồng. Trong quá trình khai thác và sau khi khai thác các loại quặng được tập kết thành dạng đống. Đối với quặng đặc xít được khai thác bằng phương pháp hầm lò thì lượng đá thải trong quá trình đào lò sẽ được sử dụng để chèn, khi tiến hành các lò khai thác thì tất cả khối lượng đào lò được vận chuyển ra bãi tập kết gọi là quặng nguyên khai. Quặng nguyên khai đặc xít là sản phẩm của quá trình khai thác thân quặng đặc xít gồm các khoáng vật có sulfid và đá vây quanh sẽ được đưa vào cấp liệu cho nhà máy tuyển. Quặng nguyên khai xâm tán (chưa khai thác) gồm các khoáng vật sulfid xâm tán trong đá.

Kết quả của quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid tại các bãi thải, bãi chứa quặng, ... là tạo ra acid. Sự tạo thành dòng thải acid mỏ kèm theo sự hòa tan các kim loại nặng và các chất độc hại khác. Một trong những sản phẩm của các phản ứng này là acid sulfidic, acid sulfidic là một acid rất mạnh có khả năng hòa tan các kim loại và các chất độc hại vào môi trường. Do thành phần khoáng vật của mỏ là tổ hợp của

nhều khoáng vật sulfid như: pyrotin, pyrit, pentlandit, chalcopyrit, ... Các khoáng vật này khi gặp điều kiện thuận lợi dễ dàng tiếp xúc với nước và không khí, nhanh chóng xảy ra các phản ứng oxy hóa tạo thành H_2SO_4 .

Dung dịch acid sinh ra trong quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid có thể hòa tan các kim loại và các chất độc hại khác từ đó chúng phân tán vào môi trường, gây ô nhiễm môi trường. Trong bãi thải, bãi chứa quặng sau khai thác nước mưa chảy tràn và nước trong các lỗ hổng tương tác với các vật chất rắn của bãi thải. Các phản ứng hóa học của các khoáng vật sulfid diễn ra rất mạnh và quá trình hòa tan các kim loại nặng, các chất độc hại bắt đầu diễn ra. Hàm lượng các kim loại nặng tăng rất nhanh trong dung dịch và có thể đạt đến bão hòa. Thành phần của các kim loại nặng khác nhau phụ thuộc vào thành phần ban đầu của quặng và vật chất trong bãi thải, bãi chứa quặng.

Các vật chất rắn là đất đá thải tại bãi thải, bãi chứa quặng, đường vận chuyển, sân công nghiệp, ... chứa một lượng các khoáng vật sulfid mà khi tiếp xúc với môi trường không khí và nước sẽ xảy ra các phản ứng hòa tan tạo thành dòng thải acid mỏ. Sau đó nước mưa chảy tràn qua bãi thải, bãi chứa quặng, đường vận chuyển, sân công nghiệp sẽ cuốn theo dòng thải acid và các kim loại nặng vào môi trường đặc biệt là môi trường nước mặt.

3.2.2. Quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường

Quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường thực chất là quá trình hòa tan các kim loại có trong thành phần hóa học của quặng sau khi bị oxy hóa và được khuếch tán ra môi trường xung quanh theo nguyên lý của sự khếch tán từ nơi có nồng độ cao ra xung quanh có nồng độ thấp. Khi nghiên cứu về sự phân tán của các kim loại nặng tại các mỏ khoáng ra môi trường, nghiên cứu sinh nhận thấy vai trò rất lớn của yếu tố động lực dòng chảy. Con đường phân tán các kim loại nặng chủ yếu là thông qua môi trường nước mặt. Các nguyên tố kim loại nặng sau khi được giải phóng bởi các phản ứng hóa học sẽ bị rửa trôi theo nước mưa chảy tràn, nước suối phân tán ra môi trường thông qua các suối trong khu vực (suối Đăm, suối Phúc). Các kim loại nặng sẽ bị hấp phụ vào môi trường đất ở những nơi là phạm vi ảnh hưởng của nước mặt. Nước ngầm và sinh vật trong phạm vi ảnh hưởng cũng có thể bị nhiễm các kim loại nặng.

3.3. Các dấu hiệu môi trường mỏ nickel Bản Phúc

3.3.1. Đặc điểm môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc

Môi trường nước mặt là một trong những dấu hiệu môi trường rất dễ nhận biết mức độ ô nhiễm. Kết quả phân tích các mẫu nước mặt trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc được lấy trong các đợt khảo sát và được phân tích bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử - AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất. Kết quả được tổng hợp trong bảng 3.4.

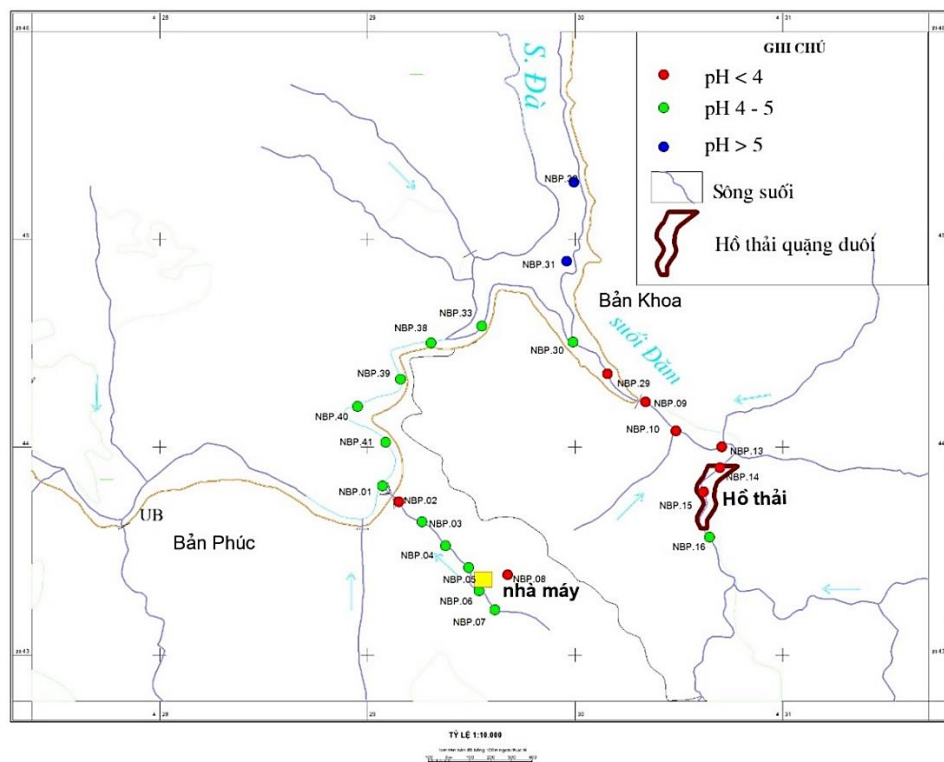
Bảng 3.4. Kết quả phân tích các mẫu nước mặt tại khu vực mỏ nickel Bản Phúc

STT	Số Hiệu mẫu	pH	Eh (mV)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)	Cd (mg/l)	Tổng KLN (mg/l)
1	NBP.01	4,2	450	1,223	1,578	5,4	0,0106	0,0032	8,2148
2	NBP.02	3,9	560	1,425	1,778	5,2	0,0102	0,0034	8,4166
3	NBP.03	4,1	475	1,235	1,678	5,6	0,011	0,0031	8,5271
4	NBP.04	4,3	482	1,239	1,612	5,2	0,0116	0,0035	8,0661
5	NBP.05	4,2	467	1,258	1,571	5,8	0,0112	0,0034	8,6436
6	NBP.06	4,1	454	1,346	1,672	5,2	0,0104	0,0036	8,2320
7	NBP.07	4,4	485	1,313	1,634	5,3	0,0126	0,0033	8,2629
8	NBP.09	3,6	547	1,623	1,545	5,6	0,0102	0,0023	8,7805
9	NBP.10	3,7	638	1,682	1,605	5,5	0,0112	0,0031	8,8013
10	NBP.13	3,8	645	1,92	1,705	5,8	0,0114	0,0034	9,4398
11	NBP.14	4,1	678	1,97	1,813	5,7	0,0102	0,0035	9,4967
12	NBP.15	4,2	656	1,98	1,856	5,4	0,011	0,0037	9,2507
13	NBP.16	4,1	634	1,87	1,801	4,5	0,0048	0,0019	8,1777
14	NBP.29	3,8	537	1,523	1,645	4,3	0,0048	0,0021	7,4749
15	NBP.30	3,9	538	1,282	1,405	4,2	0,0058	0,0011	6,8939
16	NBP.31	6,7	255	0,262	0,246	1,2	0,0004	0,0003	1,7087
17	NBP.32	6,7	213	0,122	0,143	1,5	0,0002	0,0006	1,7658
18	NBP.33	4,3	521	1,082	1,105	3,2	0,0072	0,0014	5,3956
19	NBP.38	3,9	542	1,082	1,105	3,4	0,0064	0,0024	5,5958
20	NBP.39	4,5	322	0,736	0,846	3,7	0,0054	0,0017	5,2891

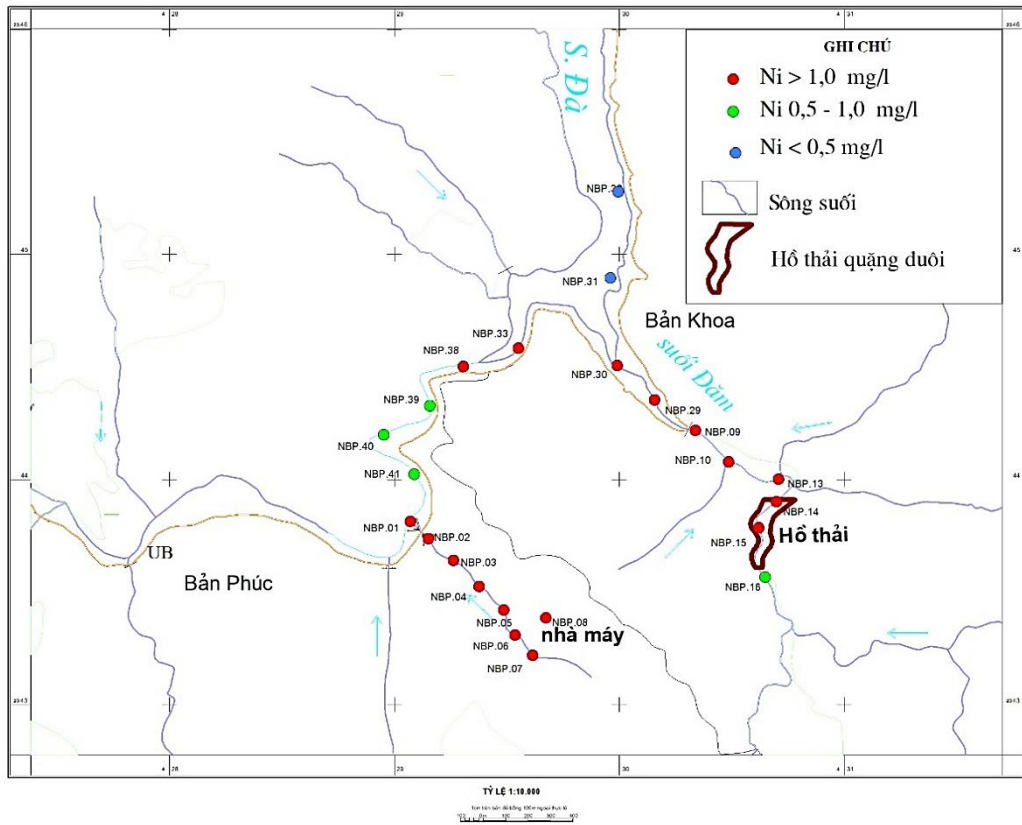
STT	Số Hiệu mẫu	pH	Eh (mV)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)	Cd (mg/l)	Tổng KLN (mg/l)
21	NBP.40	5,4	298	0,687	0,812	3,5	0,0042	0,0013	5,0045
22	NBP.41	5,1	308	0,723	0,887	3,5	0,0044	0,0015	5,1159

Độ pH của nước mặt ở khu vực mỏ Bản Phúc dao động từ 3,6 đến 6,7, trong đó có 31/45 mẫu có pH thấp hơn mức cho phép (<5,5) chiếm tới ~69%. Hàm lượng Cu từ 0,122 mg/l đến 1,98 mg/l, trong đó có 30/45 mẫu có hàm lượng Cu vượt mức cho phép chiếm 67%. Đáng chú ý, nước mặt ở khu mỏ Bản Phúc có hàm lượng Ni khá cao từ 0,143 mg/l đến 1,856 mg/l và đều vượt giá trị cho phép theo tiêu chuẩn về nước thải công nghiệp sử dụng cho sinh hoạt. Có thể thấy, ở khu vực mỏ Bản Phúc tồn tại dòng thải acid mỏ gây pH thấp ở khá nhiều mẫu đồng thời có biểu hiện ô nhiễm Cu và Ni trong nước mặt.

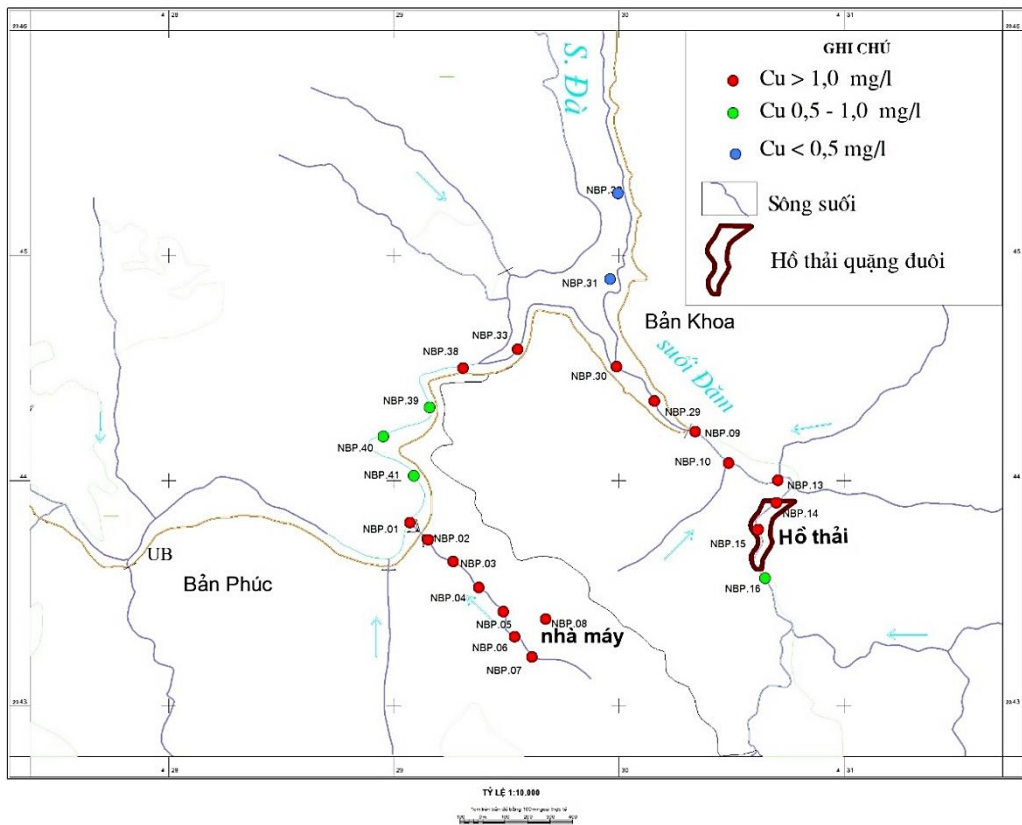
Để mô phỏng sự phân tán các kim loại nặng vào môi trường của mỏ nickel Bản Phúc, nghiên cứu sinh sử dụng các sơ đồ phân bố độ pH và một số kim loại nặng trong nước mặt ở khu mỏ Bản Phúc được thể hiện trên hình 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6 Các sơ đồ được xây dựng dựa trên cơ sở khảo sát thực tế và các số liệu về mẫu nước mặt được nghiên cứu.



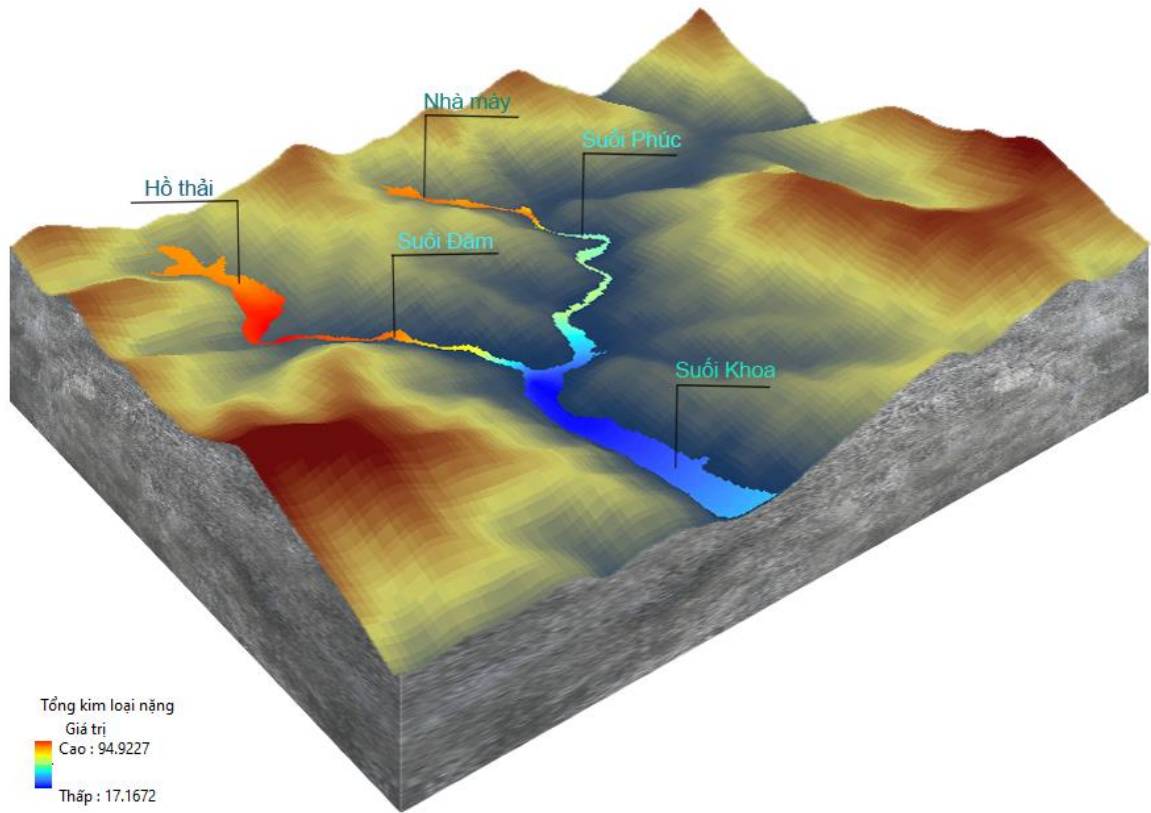
Hình 3.2. Sơ đồ phân bố độ pH trong môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc



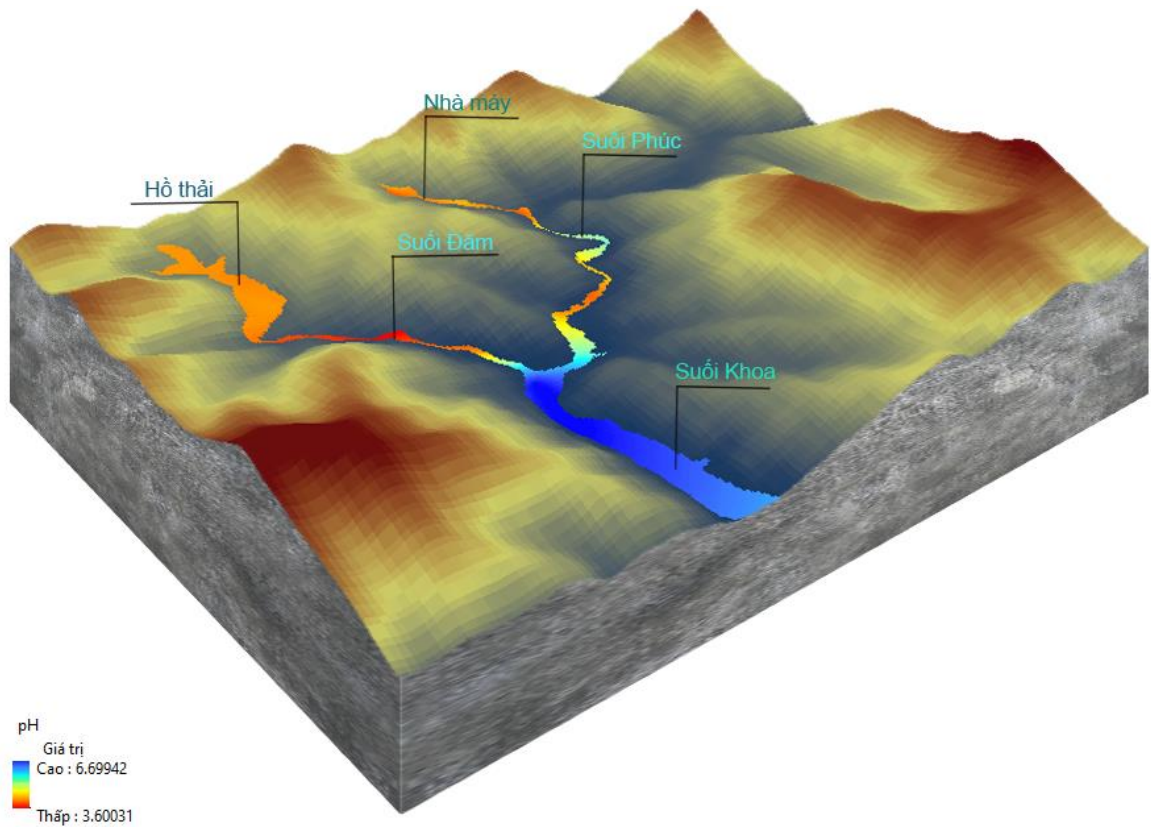
Hình 3.3. Sơ đồ phân bố hàm lượng Ni trong môi trường nước mặt mở nickel Bản Phúc



Hình 3.4. Sơ đồ phân bố hàm lượng của Cu trong môi trường nước mặt mở nickel Bản Phúc



Hình 3.5. Sơ đồ mô phỏng sự phân tán kim loại nặng trong môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc



Hình 3.6. Sơ đồ mô phỏng độ pH trong môi trường nước mặt mỏ nickel Bản Phúc

Từ các sơ đồ phân bố độ pH và một số nguyên tố kim loại nặng trong môi trường nước mặt khu vực mỏ nickel Bản Phúc cho thấy độ pH trong các mẫu nước gần khu vực hồ thải quặng đuôi, các suối chảy qua khu vực mỏ thấp. Hàm lượng các nguyên tố kim loại nặng trong các mẫu nước mặt tại các khu vực hồ thải quặng đuôi, bãi chứa quặng, sân công nghiệp rất cao. Chứng tỏ các khoáng vật sulfid có trong quặng đuôi, bãi chứa, sân công nghiệp khi bị oxy hóa tạo thành dòng thải acid mỏ và giải phóng các kim loại nặng, các nguyên tố kim loại nặng sẽ theo nước phân tán vào môi trường đất.

3.3.2. Đặc điểm môi trường nước dưới đất mỏ nickel Bản Phúc

Đặc điểm môi trường nước dưới đất được thể hiện qua các mẫu nước ngầm được lấy tại các lỗ khoan và được phân tích bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất (bảng 3.5).

Bảng 3.5. Kết quả phân tích mẫu nước ngầm khu vực mỏ nickel Bản Phúc

TT	Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Kết quả		QCVN 09 - MT: 2015 /BTNMT
			NG1	NG2	
1	pH		5.9	6.3	5,5 - 8,5
2	Nickel (Ni)	mg/l	0,8	0,3	0,02
3	Đồng (Cu)	mg/l	1,4	2,7	1,0
4	Sắt (Fe)	mg/l	16	41	5
5	Asen (As)	mg/l	0,02	0,01	0,05
6	Cadimi (Cd)	mg/l	0,003	0,002	0,005

Qua kết quả phân tích các chỉ số cho thấy nước ngầm tại hai giếng khoan trong khu vực mỏ nickel Bản Phúc đã có hàm lượng các nguyên tố Fe, Ni, Cu cao hơn tiêu chuẩn QCVN 09 - MT: 2015 /BTNMT. Mẫu nước thải hầm lò có độ pH rất thấp (pH = 2,2), hàm lượng các kim loại nặng cao vượt quá nhiều lần so với tiêu chuẩn cho phép.

3.3.3. Đặc điểm môi trường đất mỏ nickel Bản Phúc

Nghiên cứu sinh đã tiến hành lấy các mẫu đất là các mẫu trầm tích dòng, dọc theo các suối để tiến hành những nghiên cứu về mức độ ô nhiễm kim loại nặng trong đất. Kết quả phân tích hàm lượng các kim loại nặng trong các mẫu đất, mẫu trầm tích dòng được lấy tại các đợt khảo sát và được phân tích bằng phương pháp hấp thụ

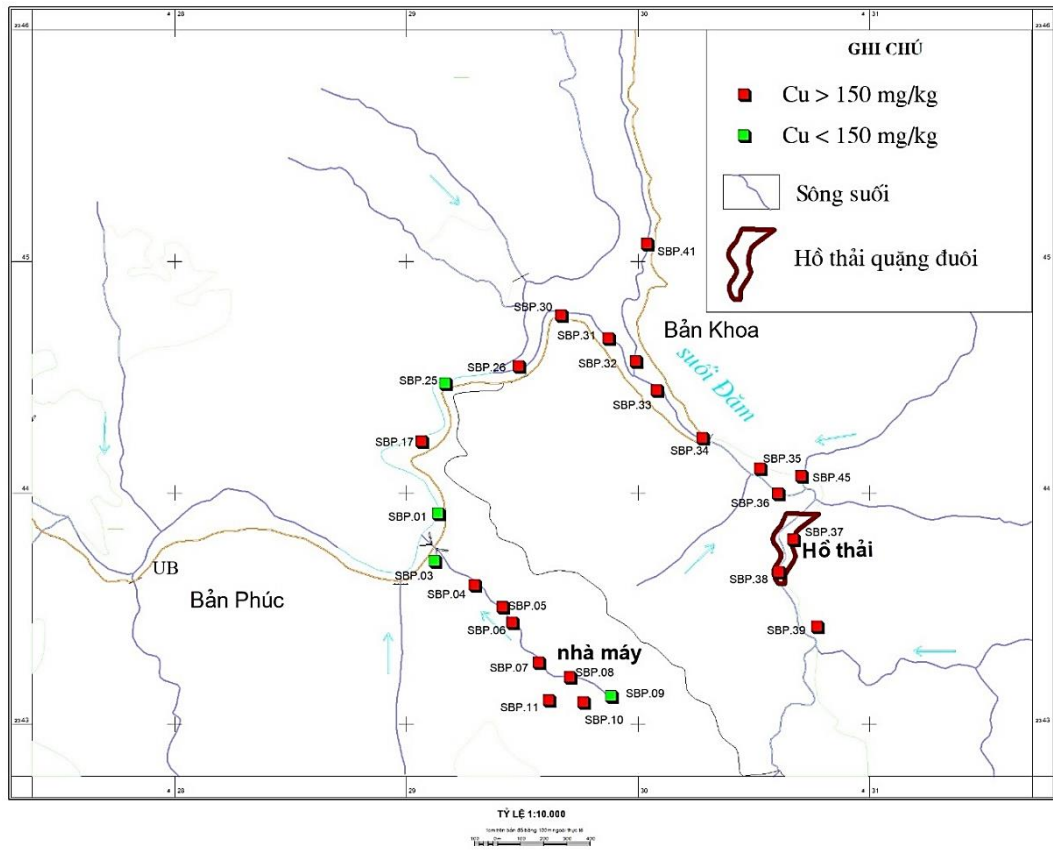
nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất, được tổng hợp trong bảng 3.6

Bảng 3.6. Kết quả phân tích mẫu đất khu vực mỏ nickel Bản Phúc

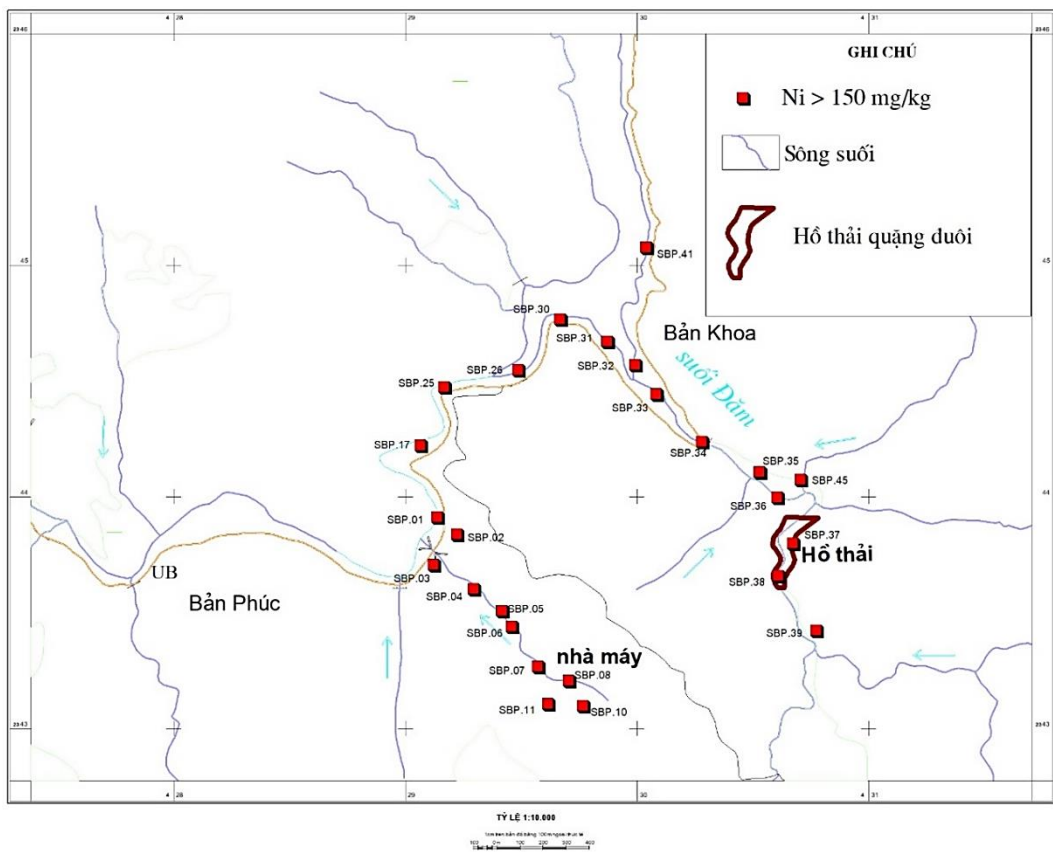
STT	Số Hiệu mẫu	Thành phần (mg/kg đất khô)					Tổng KLN
		Cu	Ni	Fe	As	Cd	
1	SBP.01	142	187	34514	8,5	1,72	34853,22
2	SBP.03	145	231	42047	9,2	1,56	42433,76
3	SBP.04	153	214	40232	9,7	1,94	40610,64
4	SBP.05	189	223	41824	8,1	1,87	42245,97
5	SBP.06	217	243	42124	11,1	1,76	42596,86
6	SBP.07	223	256	45678	10,3	2,12	46169,42
7	SBP.08	236	253	44389	10,5	2,23	44890,73
8	SBP.09	134	162	38445	8,4	1,08	38750,48
9	SBP.10	242	261	43945	11,2	2,23	44461,43
10	SBP.25	143	164	37245	6,4	1,05	37559,45
11	SBP.26	152	167	37376	6,7	1,02	37702,72
12	SBP.30	156	172	37745	6,5	1,04	38080,54
13	SBP.31	174	183	38912	6,2	1,12	39276,32
14	SBP.32	194	213	40125	9,3	2,12	40543,42
15	SBP.33	213	242	45641	9,8	2,23	46108,03
16	SBP.34	245	276	47463	11,3	2,25	47997,55
17	SBP.35	248	281	47852	11,6	2,31	48394,91
18	SBP.37	264	282	47642	11,1	2,14	48201,24
19	SBP.38	275	292	48523	12,1	2,34	49104,44
20	SBP.41	184	189	38945	6,2	1,12	39325,32
21	SBP.45	216	251	45647	9,8	2,23	46126,03

Hàm lượng Cu dao động trong khoảng 101 đến 275mg/kg. So sánh với tiêu chuẩn QCVN 03 - MT: 2015/BTNMT về thành phần tối đa của các nguyên tố kim loại nặng cho đất sử dụng làm đất lâm nghiệp thì môi trường đất tại một số điểm lấy mẫu trong mỏ nickel Bản Phúc có hàm lượng Cu vượt mức cho phép.

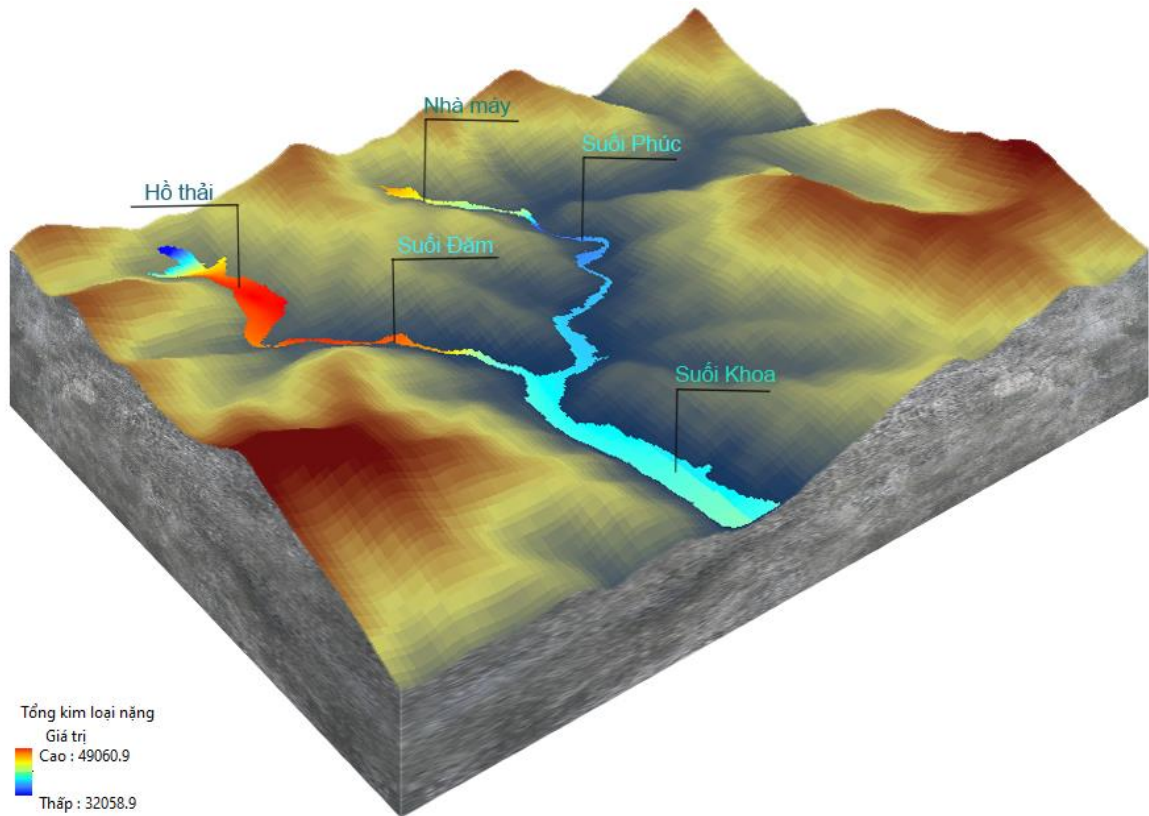
Để mô phỏng sự ô nhiễm kim loại nặng trong môi trường đất tại khu vực mỏ nickel Bản Phúc, nghiên cứu sinh đã xây dựng các sơ đồ phân tán dựa trên những kết quả phân tích. Từ kết quả phân tích các mẫu đất là các mẫu trầm tích dòng được lấy tại các suối của khu vực mỏ nickel Bản Phúc, nghiên cứu sinh đã tổng hợp và biểu diễn trên các sơ đồ sau:



Hình 3.7. Sơ đồ biểu diễn hàm lượng Cu trong đất mỏ Nickel Bản Phúc



Hình 3.8. Sơ đồ biểu diễn hàm lượng Ni trong đất mỏ Nickel Bản Phúc



Hình 3.9. Sơ đồ mô phỏng hàm lượng KLN trong đất mỏ nickel Bản Phúc

Từ sơ đồ phân bố hàm lượng các kim loại nặng trong đất của khu vực mỏ nickel Bản Phúc cho thấy các kim loại nặng phân tán dọc theo các dòng chảy (suối Phúc và suối Đăm). Phạm vi ảnh hưởng của sự phân tán kim loại nặng là khu vực hạ lưu của các suối, nơi tập trung canh tác nông nghiệp và sinh sống của nhân dân địa phương. Sự ảnh hưởng của các kim loại nặng đến sức khỏe của người dân xung quanh vẫn chưa có những nghiên cứu tổng hợp đánh giá. Tuy nhiên cần phải sử dụng những giải pháp để giảm thiểu sự ô nhiễm kim loại nặng tại khu vực mỏ nickel Bản Phúc.

Qua mô hình địa môi trường của mỏ nickel Bản Phúc có thể tóm tắt được một số nội dung chính như sau:

- Mỏ nickel Bản Phúc nằm ở vùng Tây Bắc Bộ, có địa hình dốc đứng, phân cắt mạnh, khí hậu khô nóng. Trong khu vực mỏ có nhiều suối chảy qua, thảm thực vật phát triển mạnh. Những yếu tố tự nhiên có ảnh hưởng rất lớn đến quá trình phong hóa và hòa tan các chất ô nhiễm, đặc biệt là các kim loại nặng.

- Mỏ nickel Bản Phúc là mỏ có kiểu sulfid Ni - Cu có nguồn gốc magma dung ly, gồm hai loại quặng chính là quặng đặc sít và quặng xâm tán, thành phần khoáng vật quặng chủ yếu là các khoáng vật sulfid như: pyrotin, chalcopyrit, penlandit, ...

- Hiện tại mỏ nickel Bản Phúc đã khai thác xong thân quặng đặc sít bằng phương pháp hầm lò, các thân quặng xâm tán vẫn đang được thăm dò và nghiên cứu để tiến hành khai thác trong tương lai. Các hoạt động khoáng sản làm phát sinh các nguồn thải, các khoáng vật sulfid trong chất thải bị oxy hóa mạnh.

- Các quá trình môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc diễn ra rất phức tạp thông qua hai quá trình chính là quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid và quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường.

- Các dấu hiệu môi trường của mỏ nickel Bản Phúc chủ yếu là sự xuất hiện dòng thải acid mỏ và phân tán kim loại nặng. Trong đó, đáng lưu ý hơn cả là nguy cơ ô nhiễm tiềm ẩn của hồ thải quặng đuôi.

CHƯƠNG 4

MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG CỤM MỎ NICKEL SUỐI CÚN - HÀ TRÌ

4.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

4.1.1. Đặc điểm quặng hóa cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Khoáng sản nickel - đồng trong cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì tập trung ở ba khu vực là: khu vực Suối Cùn hiện đã được khai thác một phần và đang tiếp tục được điều tra; khu vực Phan Thanh đã được thăm dò, chưa khai thác; khu vực Hà Trì đã được thăm dò, đang được tiến hành xây dựng cơ bản để khai thác.

4.1.1.1. Đặc điểm quặng hóa khu vực Suối Cùn

Mỏ quặng này nằm về phía đông bắc thành phố Cao Bằng thuộc địa phận xã Ngũ Lão, huyện Hoà An. Đặc điểm quặng sulfid trong magma siêu mafic, thuộc vào kiểu xâm tán, các khoáng vật chủ yếu là: pyrotin, pentlandit, chalcopyrit, magnetit. Hàm lượng Ni: 0,2 - 1,63%; Cu: 0,06 - 0,8%; Co: vết 0,11%; S: 0,3 - 6,91% [28].

4.1.1.2. Đặc điểm quặng hóa khu Phan Thanh

Liên quan đến khối magma siêu mafic Phan Thanh phân bố ở trung tâm thôn Phan Thanh, cách Ủy ban xã Quang Trung khoảng 2km về phía tây nam, chiều dài 3000 m, rộng từ 50 - 200m, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam. Phần phía tây của khối có quan hệ kiến tạo với trầm tích của hệ tầng Sông Hiến. Thành phần thạch học của khối theo kết quả phân tích mẫu lát mỏng chủ yếu là peridotit, plagioperidotit, dunit.

Thành phần thạch học chủ yếu là peridotit màu xám xanh, xanh xẫm. Khoáng vật quặng chủ yếu là: pyrotin, chalcopyrit, pentlandit, xâm tán tập trung ở trung tâm và tiếp giáp tây nam của khối. Hàm lượng Ni từ 0,43 - 1% ; Cu từ 0,16 - 0,33% ; Co từ 0,006 - 0,023% ; S từ 0,41 - 2,87% [28].

Dựa vào hàm lượng nickel đã khoan được 3 thấu kính quặng trong khối Phan Thanh có ký hiệu như sau: TQ1.1, TQ1.2, TQ1.3.

Thân quặng (TQ1.1): Phân bố trên khối Phan Thanh, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, chiều dài 500 m, rộng trung bình 50m. Chiều dày thay đổi 3m trung bình thân quặng 23,74m. Hàm lượng Ni từ 0,401 - 4,940% trung bình 0,588%, Cu từ 0,101 - 0,810% trung bình 0,223%, Co từ 0,012 - 1,320% trung bình 0,031% [28].

Thân quặng (TQ1.2): Phân bố ở trung tâm khối Phan Thanh, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, chiều dài 400m, rộng trung bình 60m. Chiều dày thay đổi từ 6 - 23,5m trung bình thân quặng 10,5 m. Hàm lượng Ni từ 0,400 - 0,927% trung bình 0,505%, Cu từ 0,088 - 0,329% trung bình 0,175%, Co từ 0,013 - 0,067% trung bình 0,022% [28].

Thân quặng (TQ1.3): Phân bố về phía nam khối Phan Thanh, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, rộng trung bình 120 m, chiều dày thay đổi từ 10 - 137,8m trung bình thân quặng 40,28m. Hàm lượng Ni từ 0,40 - 1,690% trung bình 0,541%, Cu từ 0,024 - 0,603% trung bình 0,173%, Co từ 0,005 - 0,280% trung bình 0,020% [28].

4.1.1.3. Đặc điểm quặng hóa khu thôn 5 Hà Trì

Đặc điểm quặng sulfid cấu tạo xâm tán, mạch, đặc sít, thấu kính trong đá peridotit. Thành phần khoáng vật quặng chủ yếu là pyrotin, pyrit, chalcopyrit, khoáng vật thứ sinh chủ yếu là azuzit và malachit.

Khối magma siêu mafic khu thôn 5 Hà Trì phân bố ở phía đông nam diện tích vùng thăm dò, cách Ủy ban Nhân dân xã Hà Trì khoảng 1,5 km về phía tây nam. Khối có hình dạng tương đối phức tạp, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam khoảng 2000 m, chiều rộng từ 60m đến 110m. Thành phần thạch học của khối theo kết quả phân tích mẫu lát mỏng chủ yếu là peridotit và plagioperidotit.

Quặng nickel - đồng trong đá magma siêu mafic khối thôn 5 Hà Trì được khoan nổi thành các thân quặng có ký hiệu như sau: TQ2.1, TQ2.2, TQ2.3 [28].

Thân quặng (TQ2.1): Phân bố ở phần phía Bắc khối thôn 5 Hà Trì, kéo dài theo phương đông bắc - tây nam, chiều dài 250m, rộng trung bình 110m, chiều dày thay đổi từ 12 - 60,2m, chiều dày trung bình 34,21m. Hàm lượng Ni từ 0,400 - 7,780% trung bình 0,787%, Cu từ 0,096 - 2,460% trung bình 0,338%, Co từ 0,001 - 1,860% trung bình 0,030% [28].

Thân quặng (TQ2.2): Phân bố ở phần phía đông bắc khối thôn 5 Hà Trì, kéo dài theo phương á kinh tuyến, chiều dài 100m, rộng trung bình 50m, chiều dày thay đổi từ 1,9m đến 15,5m, chiều dày trung bình 8m. Hàm lượng Ni từ 0,404 - 3,170% trung bình 0,787%, Cu từ 0,051 - 1,650% trung bình 0,327%, Co từ 0,014 - 0,180% trung bình 0,031% [28].

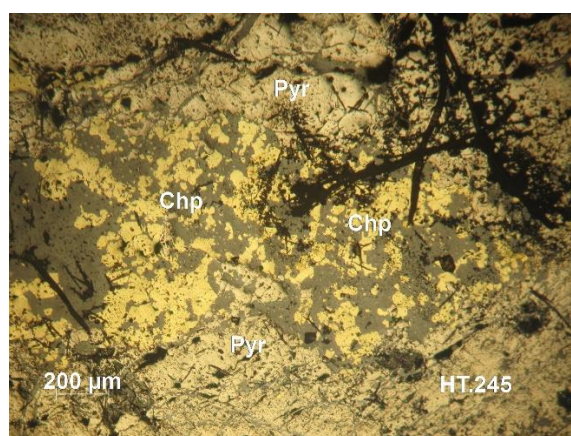
Thân quặng (TQ2.3): Thân quặng phân bố về phía nam diện tích thăm dò khu thôn 5 Hà Trì, kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, chiều dài 300m, rộng trung bình 70m, chiều dày thay đổi từ 11m, chiều dày trung bình 51,10m. Hàm lượng Ni từ 0,400 - 1,340% trung bình 0,562%, Cu từ 0,097 - 0,608% trung bình 0,237%, Co từ 0,014 - 0,039% trung bình 0,022% [28].

4.1.2. Thành phần khoáng vật

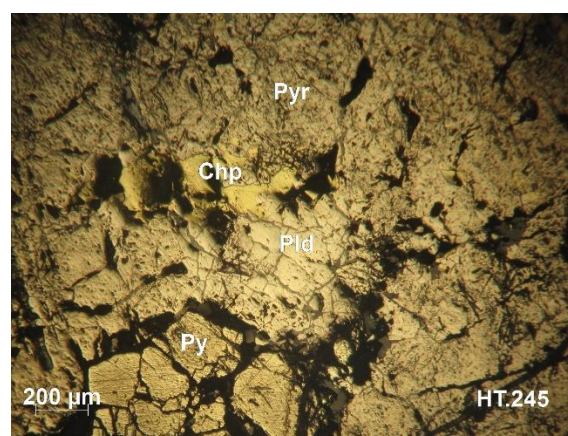
Kết quả phân tích khoáng tương cho thấy thành phần khoáng vật của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có thành phần chủ yếu như sau:

Bảng 4.1. Thành phần khoáng vật của khu vực Suối Cùn - Hà Trì

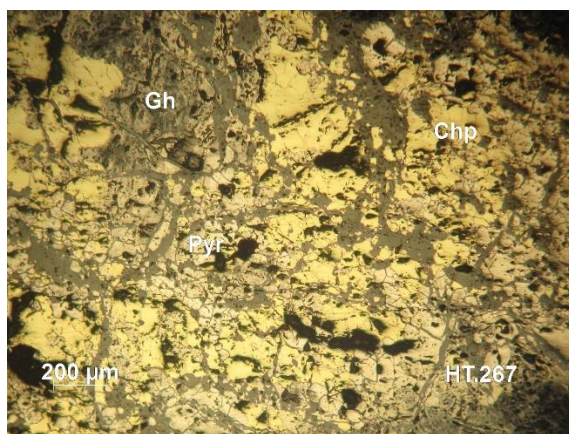
Khoáng vật nguyên sinh			Khoáng vật thứ sinh		
Tên khoáng vật	Tần suất xuất hiện (%)	Hàm lượng (%)	Tên khoáng vật	Tần suất xuất hiện (%)	Hàm lượng (%)
Pyrotin	94	1 - 70	Covelin	6	< 0,1 - 0,1
Pentlandit	86	0,1 - 10	Gotit	4	ít - < 0,5
Chalcopyrit	100	0,01 - 10	Limonit	2	Không đáng kể
Sphalerit	52	< 0,01 - 0,1			
Magnetit	86	< 0,1 - 1			
Pyrit	12	1 - 10			



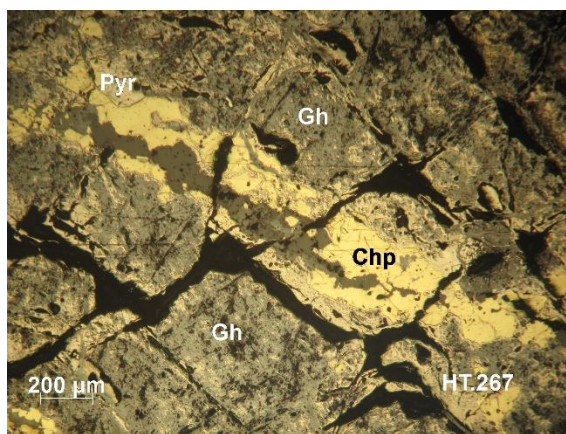
Ảnh 4.1. Chalcopyrit (Chp) tạo ổ thay thế, gắn kết pyrotin (Pyr) trên nền phi quặng



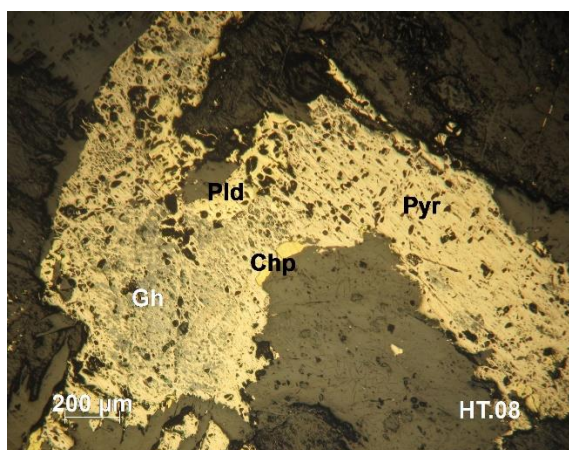
Ảnh 4.2. Pyrotin (Pyr) bị penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) tạo ổ thay thế gắn kết



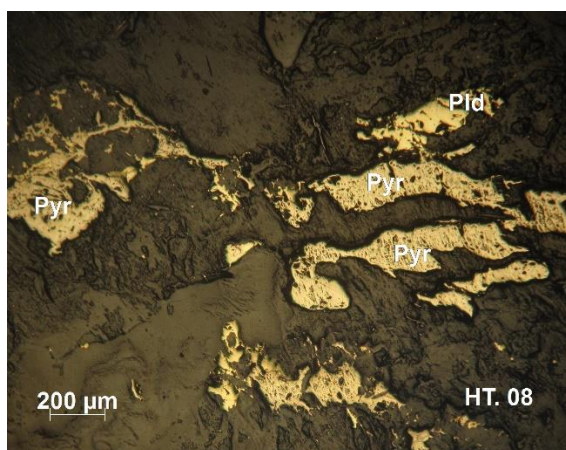
Ảnh 4.3. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết trên nền đá



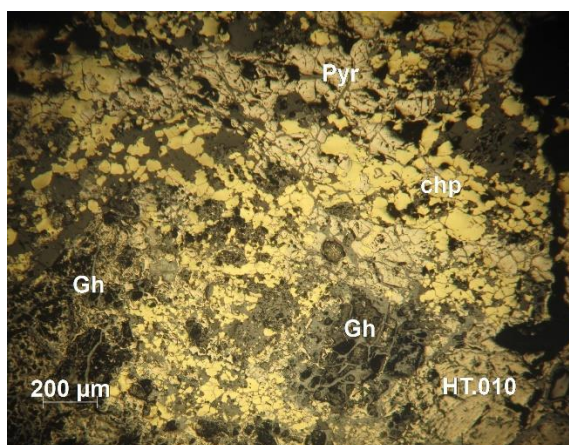
Ảnh 4.4. Geothit (gh) thay thế, giả hình pyrotin trên nền phi quặng



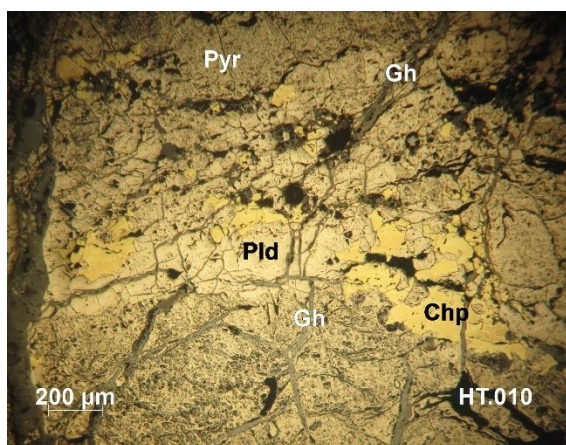
Ảnh 4.5. Pyrotin (Pyr) hạt tha hình bị penlandit (Pld), chalcopyrit (Chp) và geothit (Gh) thay thế



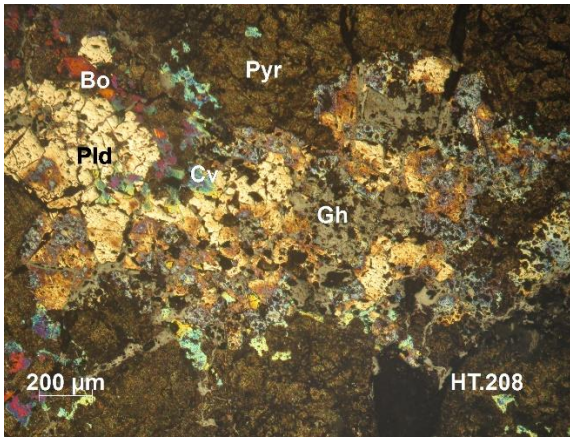
Ảnh 4.6. Pyrotin (Pyr), penlandit (Pld) hạt tha hình xâm tán trên nền đá



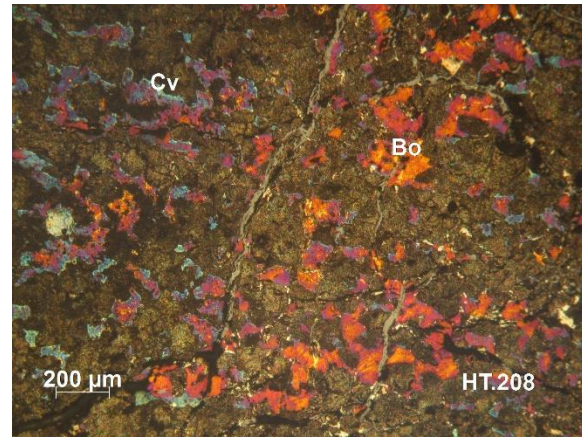
Ảnh 4.7. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết



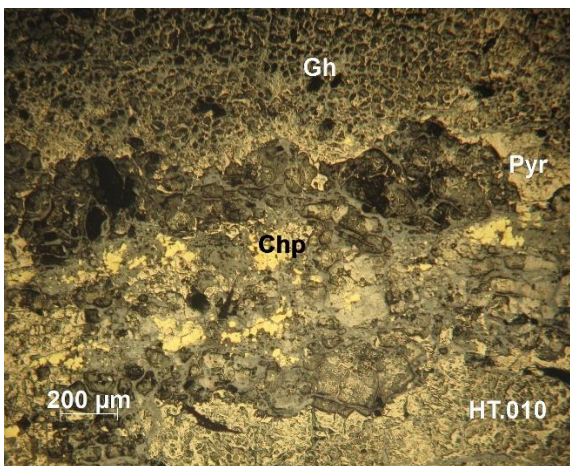
Ảnh 4.8. Pyrotin (Pyr) bị penlandit (Pld) và chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết



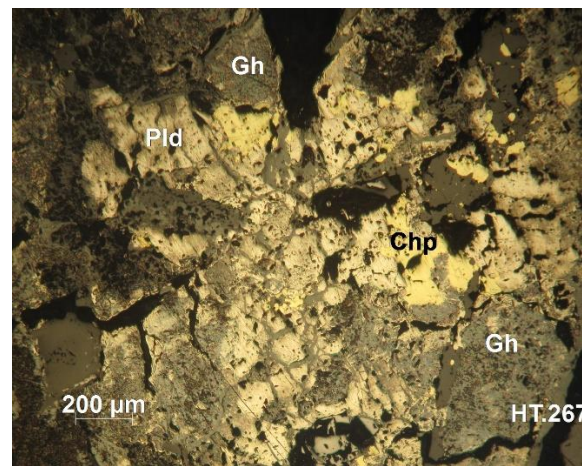
Ảnh 4.9. Chalcopyrit (Chp), pyrotin (Pyr), penlandit (Pld) bị oxy hóa nhẹ trên bề mặt



Ảnh 4.10. Covenlin (Cv), bornit (Bo) tạo màng mỏng thay thế chalcopyrit (Chp)



Ảnh 4.11. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết



Ảnh 4.12. Pyrotin (Pyr) bị chalcopyrit (Chp) thay thế gắn kết trên nền đá

4.1.3. Thành phần hóa học

Tổng hợp những tài liệu nghiên cứu và kết quả phân tích thành phần hóa học các mẫu lấy tại khu vực mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có thành phần hóa học trung bình là: Ni từ 0,563 - 2,801%, Cu từ 0,238 - 0,344%, Co từ 0,022 - 0,032%. Các mẫu quặng được lấy tại moong khai thác và vết lộ như trong các đợt khảo sát. Kết quả phân tích bằng phương pháp hấp phụ nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất (bảng 4.2). Thành phần hóa học của các mẫu được lấy trong khu vực cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì cho thấy có sự phân đôi giữa quặng gốc và quặng bị phong hóa. Tại khu vực Hà Trì có xuất hiện loại quặng thứ sinh được làm giàu do quá trình phong hóa.

Bảng 4.2. Kết quả phân tích thành phần hóa học một số mẫu quặng nickel khu mỏ Suối Cùn - Hà Trì

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (%)					
		Ni	Cu	Co	Fe	Mg	S
1	SC.112	0,21	0,31	0,05	64,20	0,71	18,6
2	SC.126	0,37	0,84	0,02	52,14	0,65	13,24
3	SC.103	1,88	0,72	0,10	60,76	0,73	10,43
4	HT.05	2,23	1,54	0,03	49,04	0,99	21,53
5	HT.06	1,98	1,23	0,12	52,83	0,18	23,41
6	HT.07	1,45	0,15	0,04	53,11	0,27	20,13
7	HT.08	0,18	0,72	0,06	60,04	0,42	22,37
8	HT.09	0,26	0,28	0,03	60,05	0,56	18,37

4.1.4. Trữ lượng khoáng sản và quy mô mỏ

Theo các tài liệu thu thập được cho thấy khoáng sản nickel - đồng trong vùng nghiên cứu rất phân tán và thường có dạng ổ. Tại một số vị trí có những ổ quặng đặc sít đã bị khai thác tự phát. Hiện nay, khoáng sản nickel - đồng trong vùng nghiên cứu đã và đang được quản lý tốt hơn, tập trung vào hai khu vực là:

* **Khu vực Bản Cùn** đã cấp phép cho Công ty TNHH Một thành viên tài nguyên khoáng sản Hội Thăng khai thác.

*** Khu vực quặng nickel - đồng Hà Trì**

- Thân quặng số 1 khu Phan Thanh phân chia thành 3 thân quặng, khoanh định được 3 khối trữ lượng 122; 7 khối tài nguyên cấp 333.

- Thân quặng số 2 (thôn 5 Hà Trì) phân chia thành 3 thân quặng, khoanh định được 4 khối trữ lượng 122 và 13 khối tài nguyên cấp 333.

Kết quả tính trữ lượng:

- Tổng trữ lượng cấp 122 là 3.457.097 tấn quặng, chứa 30.963 tấn Ni và các kim loại khác [28].

- Tài nguyên cấp 333 là 10.982.378 tấn quặng, chứa 86.503 tấn Ni và các kim loại khác [28].

Hiện nay, mỏ này đã kết thúc giai đoạn thăm dò và đã được cấp phép cho công ty Tấn Phát chuẩn bị khai thác.

4.1.5. Đặc điểm đá vây quanh mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Các thân quặng trong khu vực nghiên cứu chủ yếu là dạng ổ, nằm trong các khối siêu mafic hoặc mafic, các thân quặng nằm ở độ sâu không lớn, có dạng thấu kính. Đá vây quanh các thân khoáng chủ yếu là đá siêu mafic và đá mafic, các đá này có tính trung hòa acid kém [19, 20]. Do vậy khi khai thác bằng phương pháp lộ thiên sẽ phải bóc đi phần lớp phủ và phần rìa của các thân quặng. Lượng chất thải bóc đi sẽ mang theo các khoáng vật sulfid, đây là vấn đề hết sức nghiêm trọng với môi trường.

4.1.6. Đặc điểm địa chất thủy văn của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

4.1.6.1. Đặc điểm nước mặt

Sông Bằng Giang là sông chính chảy qua trung tâm thành phố Cao Bằng và chảy qua phía tây khu vực khảo sát, sông chảy theo hướng tây bắc - đông nam. Ngoài ra còn các suối nhánh như suối Cốc Tém và các nhánh suối nhỏ khác chảy qua khu vực nghiên cứu, đổ vào sông Bằng Giang. Nhìn chung hệ thống sông suối ở khu vực khá nhiều, từ các điểm mỏ có những suối nhỏ chảy ra các suối chính trước khi chảy vào sông Bằng Giang. Mạng lưới sông suối có ý nghĩa rất lớn về mặt môi trường vì chúng là kênh dẫn các chất ô nhiễm phát sinh trong các mỏ ra môi trường.

Các dòng nước mặt trên khu vực nghiên cứu có sông Bằng Giang và một số khe suối chính cùng hệ thống suối và dòng chảy nhỏ. Chúng có đặc điểm là có độ dốc lớn, cắt sâu vào đá gốc, lòng khe hẹp, dòng chảy nhanh ở thượng nguồn. Lưu lượng dòng chảy thay đổi theo mùa, mùa mưa. Về mùa khô, khe này có lưu lượng nhỏ, có ảnh hưởng trực tiếp tới công tác khai thác thân quặng sau này.

4.1.6.2. Đặc điểm các tầng chứa nước dưới đất

- *Tầng chứa nước khe nứt trong trầm tích lục nguyên hệ tầng Sông Hiến (T_{1sh1}):* Diện phân bố chiếm một phần nhỏ ở phía bắc khu Hà Trì và một phần nhỏ ở phía nam khu Hà Trì với diện tích khoảng 0,068km². Đây là địa tầng không chứa quặng. Thành phần gồm đá ryolit, ryodacit, tuf ryolit, felsit, cát kết tuf ryolit, cát kết, phiến sét, bột kết, thấu kính đá vôi, sét vôi màu xám đen. Đá nứt nẻ phần trên, xuống sâu, độ nứt nẻ giảm. Đây là tầng nghèo nước [28].

- *Đới chứa nước khe nứt phức hệ Cao Bằng (vP₃-T_{1cb1} và σP₃-T_{1cb2}):* Diện phân bố chiếm chủ yếu khu vực nghiên cứu kéo dài từ tây bắc xuống đông nam. Đây là địa tầng có chứa các thân quặng nickel - đồng. Thành phần gồm đá gabro,

gabrodiabas pha 1 và peridotit, plagioperidotit, dunit pha 2. Đá nứt nẻ, phong hóa mạnh ở phần trên, xuống sâu, độ nứt nẻ giảm. Đây là tầng nghèo nước. Lưu lượng các nguồn lộ tự nhiên trong tầng phát hiện được 11 nguồn, lưu lượng từ 0,013 l/s (điểm lộ HT.46) đến 0,14 l/s [28].

4.1.7. Điều kiện tự nhiên

4.1.7.1. Điều kiện khí hậu

Khí hậu trong vùng chịu ảnh hưởng khí hậu miền Đông Bắc Bộ. Mùa mưa từ tháng 5 đến tháng 10, tập trung chủ yếu từ tháng 6 đến tháng 8, lượng mưa cao nhất có thể đạt 200 đến 300mm, mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau, lượng mưa thấp. Nhiệt độ cao nhất vào tháng 7 đến tháng 8 có thể đạt tới 35 đến 36°C, nhiệt độ thấp nhất vào tháng 1 đến tháng 2, có thể xuống tới -1°C, có hiện tượng sương muối và băng giá. Điều kiện khí hậu tại khu vực này làm cho các khoáng vật sulfid dễ dàng bị oxy hóa tạo thành các dòng thải acid mỏ và phân tán kim loại nặng vào môi trường.

4.1.7.2. Đặc điểm địa hình

Khu mỏ Suối Cùn - Hà Trì thuộc vùng có địa hình núi thấp, sườn thoải, có độ cao tuyệt đối 200 - 400m. Dựa vào đặc điểm địa hình có thể chia thành 2 dạng địa hình như sau:

+ Địa hình núi thấp: Bao gồm các đỉnh núi có độ cao trung bình từ 300 - 400m, đặc trưng là các dải núi thấp đến trung bình, đỉnh tròn, sườn thoải.

+ Địa hình thung lũng: Được phân bố chủ yếu dọc theo các sông, suối, phương tây bắc - đông nam.

Đặc điểm địa hình đồi núi thấp và thung lũng tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình phong hóa do vậy vỏ phong hóa trong khu vực dày.

4.1.8. Các hoạt động khoáng sản cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Các hoạt động khoáng sản trong vùng nghiên cứu chủ yếu là hoạt động thăm dò và một số hoạt động khai thác tại khu vực Bản Cùn, ngoài ra có một số vị trí là ô quặng bị khai thác trái phép. Dựa vào đặc điểm của các khu vực có thể phân chia các hoạt động khoáng sản theo các khu vực như sau:

4.1.8.1. Các hoạt động khoáng sản tại khu vực Bản Cùn

Điểm quặng nickel - đồng Suối Cùn đã được cấp phép khai thác cho Công ty TNHH Một thành viên tài nguyên khoáng sản Hối Thăng với diện tích 2,68 km² thuộc địa phận xã Ngũ Lão, xã Quang Trung, huyện Hoà An và tổ 9 + 10 phường Sông

Bằng, thành phố Cao Bằng, tỉnh Cao Bằng. Mỏ đã đi vào khai thác từ tháng 12 năm 2008. Công ty đã tiến hành khai thác bằng cả phương pháp lộ thiên (moong dài 100m, rộng khoảng 60m), khai thác bằng phương pháp hầm lò (đã khai thác hai đường lò dọc vỉa). Điểm mỏ Suối Cùn được cấp phép khai thác trước khi Luật Khoáng sản năm 2010 có hiệu lực do vậy các vấn đề về đánh giá tác động môi trường và phương án cải tạo phục hồi môi trường còn nhiều hạn chế.

4.1.8.2. Các hoạt động khoáng sản tại khu vực Quang Trung, Hà Trì

Khu vực Quang Trung - Hà Trì có nhiều tiềm năng về khoáng sản Ni - Cu, khoáng sản tại đây đã được tiến hành thăm dò. Kết quả thăm dò đã khoan nổi được một số thân khoáng có dạng thấu kính, quặng hóa tập trung dạng ổ. Quặng hóa có cả quặng đặc sít và quặng xâm tán. Hoạt động thăm dò không có ảnh hưởng nhiều đến môi trường.

Trước khi Công ty Cổ phần Khoáng sản Tấn Phát tiến hành thăm dò, có một số vị trí có quặng Ni - Cu dạng đặc sít dạng ổ đã được khai thác trái phép, các hoạt động khai thác trên quy mô nhỏ lẻ (ảnh 4.13).

Các thân quặng có độ sâu không lớn chủ yếu được khai thác lộ thiên. Hoạt động này đã làm ảnh hưởng đến môi trường và đã làm xuất hiện dòng thải acid mỏ tại một số suối nhỏ chảy qua các điểm quặng được khai thác.



Ảnh 4.13. Hoạt động khai thác tại khu vực Hà Trì

4.2. Các quá trình môi trường của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì chưa có nhiều hoạt động khai thác, tuy nhiên khoáng mạnh mẽ nhưng cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có cùng kiểu mỏ với mỏ Nickel Bản Phúc, do vậy các vấn đề ô nhiễm môi trường có thể được dự báo nhờ vào kinh nghiệm nghiên cứu của mỏ Nickel Bản Phúc. Các quá trình môi trường của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì như sau:

4.2.1. Quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid

Quá trình phong hóa các khoáng vật quặng xảy ra tại moong khai thác, các bãi chứa, bãi thải dạng đống, ... Kết quả của các phản ứng oxy hóa các khoáng vật quặng là phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng vào môi trường. Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có đặc điểm địa chất mỏ, đặc điểm quặng hóa chủ yếu là dạng ô và độ sâu không lớn do vậy phương pháp khai thác được sử dụng là phương pháp lộ thiên. Phương pháp khai thác lộ thiên sẽ làm cho các khoáng vật quặng có nhiều cơ hội tiếp xúc với nước và không dễ dàng bị oxy hóa tự nhiên.

Trong quá trình khai thác và sau khi khai thác các loại quặng được tập kết thành dạng đống. Kết quả của quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid: pyrotin, pyrit, pentlandit, chalcopyrit, ... tại các bãi thải, bãi chứa quặng. Các khoáng vật này khi gặp điều kiện thuận lợi dễ dàng tiếp xúc với nước và không khí, nhanh chóng xảy ra các phản ứng oxy hóa tạo thành H_2SO_4 .

4.2.2. Quá trình phân tán các kim loại nặng vào môi trường

Khi quặng nguyên khai được tập kết ra ngoài, quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid ngay lập tức diễn ra do sự tiếp xúc của quặng với oxy và nước trong không khí. Các phản ứng hóa học sẽ làm phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng như: Ni, Cu, Fe, As, Cd vào môi trường thông qua nước mưa chảy tràn vào các con suối rồi phân tán vào đất, nước ngầm.

Trong bãi thải, bãi chứa quặng sau khai thác nước mưa chảy tràn và nước trong các lỗ hổng tương tác với các vật chất rắn của bãi thải. Các phản ứng hóa học của các khoáng vật sulfid diễn ra rất mạnh và quá trình hòa tan các kim loại nặng, các chất độc hại bắt đầu diễn ra. Thành phần của các kim loại nặng khác nhau phụ thuộc vào thành phần ban đầu của quặng và vật chất trong bãi thải, bãi chứa quặng.

Tại khu vực cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có thành phần là các khoáng vật sulfid nên hoàn toàn có khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ. Tại các moong khai

thác, bãi thải quặng nghèo, bãi chứa là những nơi xảy ra quá trình phong hóa và các phản ứng hòa tan diễn ra mạnh. Nước mưa và nước chảy tràn sẽ hòa tan và mang vào môi trường các kim loại nặng.

Con đường phân tán các kim loại nặng vào môi trường khu vực cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là thông qua các dòng chảy trên mặt là các suối chảy từ các khai trường đến nguồn tiếp nhận là sông Bằng Giang. Ở khu vực hạ lưu các suối, các kim loại nặng sẽ xâm nhiễm vào môi trường đất và sinh vật.

4.3. Các dấu hiệu môi trường cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

4.3.1. Môi trường nước mặt cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Kết quả đo các chỉ số môi trường tại thực địa và kết quả phân tích hàm lượng một số kim loại nặng trong môi trường nước mặt tại cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì được lấy trong các đợt khảo sát và phân tích bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất tổng hợp trong phần phụ lục và được thể hiện qua bảng 4.3.

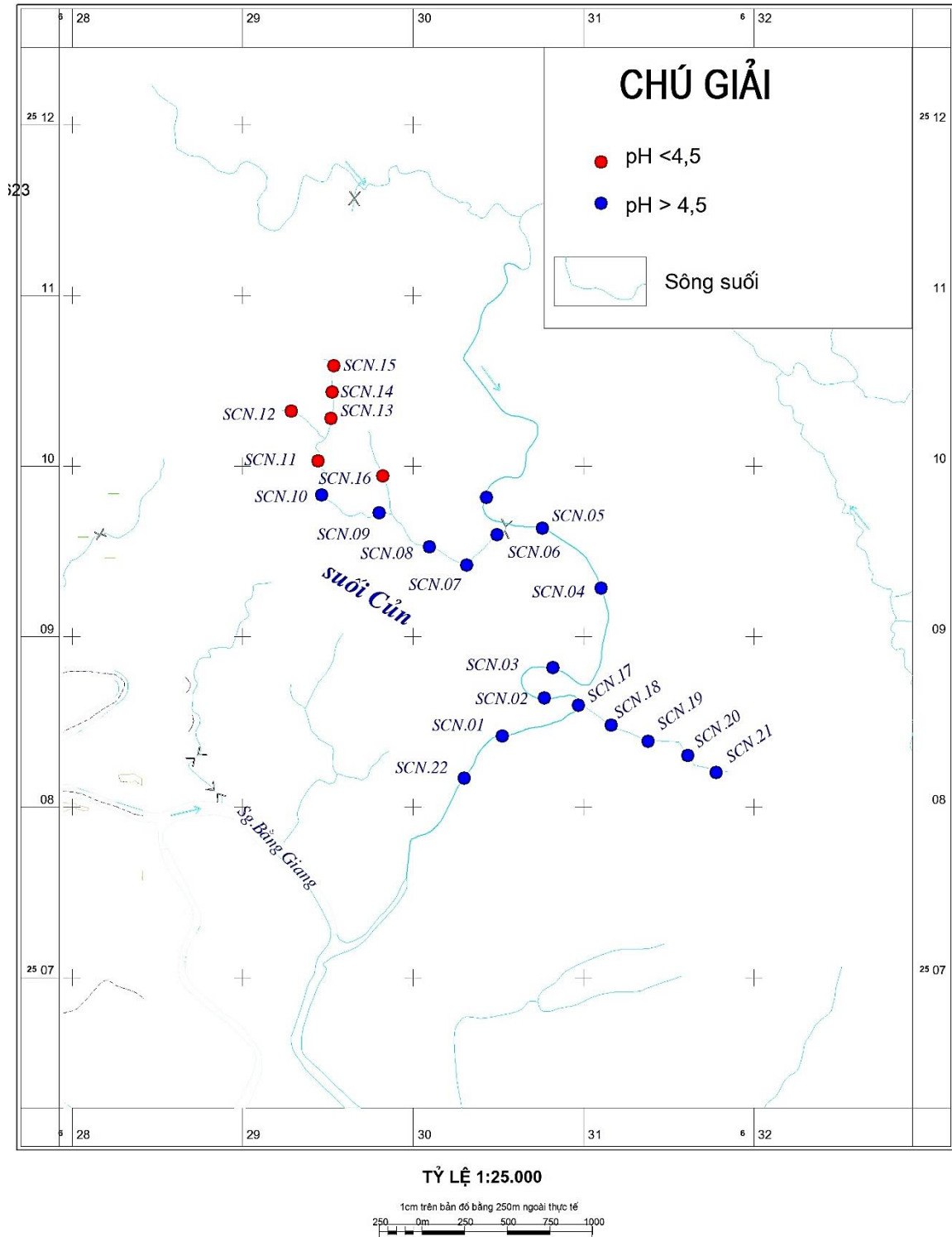
Bảng 4.3. Kết quả phân tích mẫu nước mặt khu vực Suối Cùn - Hà Trì

TT	Số hiệu mẫu	Thành phần						
		pH	Eh (mV)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)	Cd (mg/l)
1	SCN.01	6,7	230	0,214	0,301	2,4	0,0026	0,0032
2	SCN.02	6,4	225	0,235	0,356	4,7	0,0042	0,0042
3	SCN.03	6,3	239	0,246	0,364	5,5	0,0056	0,0046
4	SCN.04	5,8	345	0,289	0,375	7,7	0,0072	0,0044
5	SCN.05	5,6	371	0,316	0,384	8,6	0,0092	0,0051
6	SCN.06	5,9	289	0,267	0,315	5,2	0,0058	0,0038
7	SCN.07	6,3	276	0,206	0,276	4,1	0,0036	0,0027
8	SCN.08	5,4	315	0,312	0,419	8,7	0,0082	0,0046
9	SCN.09	5,1	326	0,348	0,428	9,2	0,009	0,0051
10	SCN.10	4,8	334	0,357	0,435	9,7	0,0096	0,0054
11	SCN.11	4,2	387	0,568	0,745	12,4	0,0128	0,0078
12	SCN.12	3,6	458	1,278	1,526	25,6	0,0172	0,0068
13	SCN.13	3,2	426	1,725	2,143	27,9	0,0244	0,0075
14	SCN.14	3,4	386	1,356	1,745	24,9	0,0204	0,0068
15	SCN.15	3,1	455	1,672	2,468	29,3	0,0312	0,0072
16	SCN.16	3,8	218	1,245	1,686	18,9	0,0154	0,0051
17	SCN.17	5,8	312	0,914	1,134	14,6	0,0124	0,0048
18	SCN.18	6,3	289	1,258	1,742	13,3	0,0196	0,0064
19	SCN.19	5,9	211	0,836	1,023	10,5	0,0138	0,0052

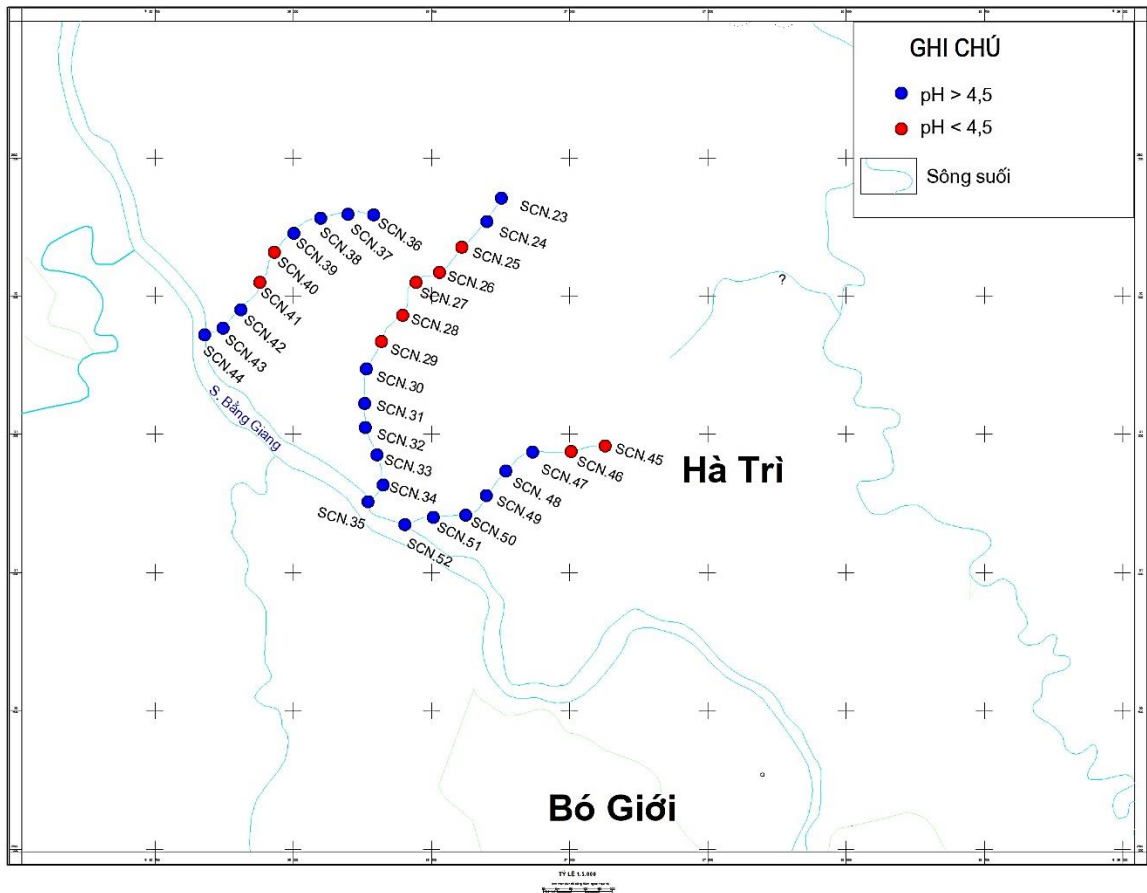
TT	Số hiệu mẫu	Thành phần						
		pH	Eh (mV)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Fe (mg/l)	As (mg/l)	Cd (mg/l)
20	SCN.20	6,2	198	0,645	0,788	9,8	0,0142	0,0044
21	SCN.21	6,4	166	0,569	0,513	8,4	0,0126	0,0035
22	SCN.22	6,2	173	0,426	0,303	7,9	0,0142	0,0036
23	SCN.23	5,8	221	0,601	0,587	9,1	0,0166	0,0055
24	SCN.24	5,2	264	0,896	0,713	11,4	0,0182	0,0068
25	SCN.25	4,3	315	0,956	1,042	15,6	0,0204	0,0075
26	SCN.26	4,4	322	1,025	1,348	16,9	0,0168	0,0065
27	SCN.27	4,6	341	0,863	0,923	17,6	0,0152	0,0058
28	SCN.28	4,1	321	0,976	1,124	18,8	0,0142	0,0046
29	SCN.29	4,3	302	0,869	1,025	19,4	0,0132	0,0035
30	SCN.30	5,6	286	0,756	0,894	18,8	0,0116	0,0041
31	SCN.31	6,2	274	0,635	0,714	16,2	0,0108	0,0036
32	SCN.32	6,4	211	0,512	0,578	15,4	0,0094	0,0035
33	SCN.33	5,8	246	0,516	0,589	11,8	0,0108	0,0045
34	SCN.34	6,3	225	0,454	0,327	10,7	0,0082	0,0036
35	SCN.35	5,7	278	0,467	0,402	11,4	0,0074	0,0028
36	SCN.36	6,2	246	0,712	0,636	13,5	0,0096	0,0046
37	SCN.37	6,1	258	0,874	0,987	14,6	0,0102	0,0062
38	SCN.38	5,9	321	0,938	1,026	16,2	0,0158	0,0084
39	SCN.39	5,4	379	1,123	1,325	19,7	0,0194	0,0075
40	SCN.40	4,6	312	1,056	1,545	18,9	0,0158	0,0062
41	SCN.41	3,2	451	1,623	1,784	21,5	0,0208	0,0089
42	SCN.42	6,3	224	0,328	0,259	19,6	0,009	0,0062
43	SCN.43	5,8	268	0,412	0,358	18,4	0,0096	0,0051
44	SCN.44	5,6	257	0,624	0,725	21,7	0,0138	0,0063
45	SCN.45	4,4	284	1,258	1,847	25,8	0,0192	0,0075
46	SCN.46	3,5	361	1,514	2,479	35,6	0,0246	0,0089
47	SCN.47	5,4	216	0,75	0,623	20,4	0,0116	0,0069
48	SCN.48	5,9	187	0,634	0,428	21,9	0,0128	0,0087
49	SCN.49	6,2	247	0,536	0,387	18,6	0,0114	0,0076
50	SCN.50	6,3	258	0,412	0,306	17,2	0,0092	0,0054
51	SCN.51	6,5	271	0,498	0,347	19,8	0,0102	0,0062
52	SCN.52	6,2	225	0,334	0,259	18,7	0,009	0,0062
QCVN 08 - MT: 2015/ BTNMT cột B1		5,5		0,5	0,1	1,5	0,05	0,01

Nước mặt ở khu vực Suối Cùn - Hà Trì có độ pH dao động từ 3,1 đến 6,7, trong đó có 21/52 mẫu có pH thấp hơn mức cho phép (pH = 5,5) chiếm 40%, trong

đó có những mẫu có pH rất thấp (SCN.15, pH = 3,1). Hàm lượng Ni dao động trong khoảng 0,259 mg/l đến 2,479 mg/l và tất cả đều vượt tiêu chuẩn cho phép. Hàm lượng Cu dao động trong khoảng 0,206 mg/l đến 1,725 mg/l, trong đó có 34/52 mẫu có hàm lượng vượt tiêu chuẩn cho phép chiếm 60% số mẫu. Rõ ràng là, môi trường nước mặt ở khu vực này đã có biểu hiện ô nhiễm.



Hình 4.1. Sơ đồ phân bố độ pH trong môi trường nước mặt khu Suối Cùn



Hình 4.2. Sơ đồ phân bố độ pH trong môi trường nước mặt khu Hà Trì

Đáng chú ý là các mẫu có độ pH thấp và hàm lượng kim loại nặng cao đều tập trung gần các nơi đã phát hiện ra các thân quặng Ni - Cu hoặc đã từng có các hoạt động khai thác quặng Ni - Cu. Như vậy, có thể thấy quặng Ni - Cu chính là nguồn gây ô nhiễm.

4.3.2. Môi trường đất cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Kết quả phân tích một số nguyên tố kim loại trong môi trường đất của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là các mẫu trầm tích dòng được lấy tại các suối chảy từ các khu vực có thân quặng. Các mẫu đất được phân tích bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất, kết quả tổng hợp trong bảng 4.4.

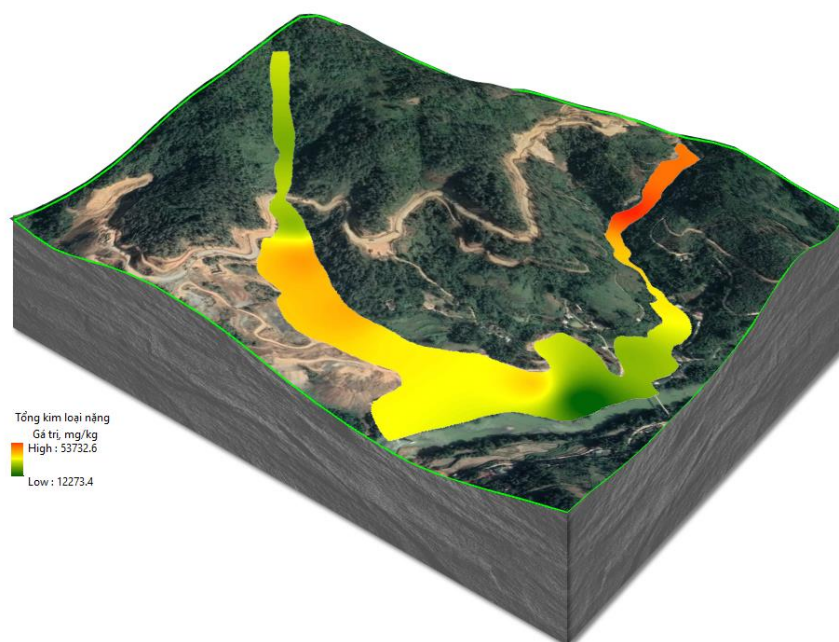
Bảng 4.4. Kết quả phân tích các mẫu đất khu vực Suối Cùn - Hà Trì

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/kg đất khô)				
		Cu	Ni	Fe	As	Cd
1	SCĐ.01	8,2	8,7	2451,5	0,045	0,075
2	SCĐ.02	12,6	13,5	2587,3	0,0396	0,086

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/kg đất khô)				
		Cu	Ni	Fe	As	Cd
3	SCĐ.03	14,6	18,2	2861,4	0,0434	0,091
4	SCĐ.04	16,7	15,3	1893,7	0,021	0,026
5	SCĐ.05	15,2	17,6	3147,9	0,0374	0,076
6	SCĐ.06	24,6	29,8	4123,5	0,0578	0,075
7	SCĐ.07	27,5	37,1	4021,5	0,0656	0,124
8	SCĐ.08	31,1	42,5	4368,7	0,0694	0,175
9	SCĐ.09	32,8	46,1	4612,3	0,049	0,105
10	SCĐ.10	28,7	37,8	3924,8	0,0426	0,107
11	SCĐ.11	15,7	18,6	2547,3	0,0434	0,093
12	SCĐ.12	12,4	13,9	2638,9	0,0428	0,086
13	SCĐ.13	47,1	54,7	5124,7	0,0778	0,187
14	SCĐ.14	43,6	51,2	5278	0,0568	0,175
15	SCĐ.15	32,2	45,7	4215,6	0,0576	0,164
16	SCĐ.16	22,1	28,7	3568,7	0,0352	0,103
17	SCĐ.17	24,6	27,9	3625,6	0,037	0,115
18	SCĐ.18	29,4	31,7	3824,5	0,0512	0,124
19	SCĐ.18A	34,1	36,8	4123,5	0,0496	0,125
20	SCĐ.19	33,6	34,7	3586,1	0,0422	0,118
21	SCĐ.20	35,6	41,2	3928,6	0,065	0,207
22	SCĐ.21	31,4	39,8	4025,8	0,0532	0,123
23	SCĐ.22	21,3	25,4	3614,7	0,0332	0,102
24	SCĐ.23	28,4	31,7	3915,6	0,0228	0,098
25	SCĐ.24	30,1	34,5	4023,5	0,043	0,125
26	SCĐ.25	32,5	34,2	4123,5	0,0396	0,142
27	SCĐ.26	28,6	30,5	3817,5	0,0258	0,127
28	SCĐ.27	17,5	20,3	2614,7	0,021	0,064
29	SCĐ.28	16,4	18,5	2536,9	0,0244	0,071
30	SCĐ.29	14,8	16,7	2987,6	0,029	0,089
31	SCĐ.30	17,2	18,6	2864,1	0,0304	0,075
32	SCĐ.31	18,4	21,1	3214,5	0,0374	0,122
33	SCĐ.32	25,4	31,4	3526,8	0,0434	0,189
34	SCĐ.33	18,7	19,6	3845,7	0,0408	0,162
35	SCĐ.34	17,6	18,4	3412,3	0,0346	0,121
36	SCĐ.35	15,6	17,5	3124,7	0,0322	0,124
37	SCĐ.36	14,3	16,8	2789,1	0,0216	0,091
38	SCĐ.37	12,4	15,6	2415,8	0,0178	0,048
39	SCĐ.38	35,8	41,2	4512,6	0,063	0,125

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/kg đất khô)				
		Cu	Ni	Fe	As	Cd
40	SCĐ.39	41,2	56,8	4639,8	0,065	0,247
41	SCĐ.40	43,5	54,7	4712,5	0,0614	0,218
42	SCĐ.41	41,5	52,4	4359,8	0,0648	0,217
43	SCĐ.42	47,6	62,4	4265,7	0,083	0,286
44	SCĐ.43	38,6	41,3	4123,5	0,0654	0,205
45	SCĐ.44	41,1	52,3	4215,6	0,0572	0,187
QCVN 03 - MT: 2015/BTNMT		150	-	-	20	3

So sánh với tiêu chuẩn QCVN 03 - MT: 2015/BTNMT về thành phần tối đa của một số nguyên tố kim loại nặng cho đất sử dụng làm đất lâm nghiệp thì môi trường đất tại một số điểm lấy mẫu trong cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có giá trị nằm trong giới hạn cho phép, chưa có biểu hiện ô nhiễm.



Hình 4.3. Sơ đồ mô phỏng hàm lượng các kim loại nặng trong môi trường đất mỏ nickel Hà Trì

Qua mô hình địa môi trường của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có thể rút ra một số nhận xét như sau:

- Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì gồm một nhóm các điểm mỏ phát triển theo hướng tây bắc - đông nam, thuộc khu vực huyện Hòa An, tỉnh Cao Bằng. Mỏ được nhiều nhà nghiên cứu kết luận là mỏ có nguồn gốc magma thực sự, có cùng kiểu

nguồn gốc magma dung ly, nằm trong cấu trúc Sông Hiến, liên quan đến các thành tạo siêu mafic và mafic của phức hệ Cao Bằng.

- Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì, có thành phần khoáng vật tương tự với mỏ nickel Bản Phúc, gồm các khoáng vật chủ yếu là : pyrotin, chalcopyrit, penlandit, ... do vậy các quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid của hai mỏ sẽ tương tự như nhau. Tuy nhiên, do có sự khác nhau về đặc điểm địa hình, sự phân bố quặng hóa, các hoạt động khoáng sản mà dấu hiệu môi trường có những điểm khác biệt.

- Các hoạt động khai thác tại cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì chủ yếu là khai thác lộ thiên, do vậy sự oxy hóa các khoáng vật sulfid tại các khu vực như moong khai thác, bãi thải rắn là rất mạnh mẽ. Khó kiểm soát các nguồn ô nhiễm do diện tích lớn các nguồn thải.

- Các yếu tố tự nhiên như địa hình và khí hậu tại khu vực cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì rất thuận lợi cho quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid. Các khoáng vật thứ sinh được tích tụ và hình thành nên các thân quặng nickel biểu sinh.

- Các dấu hiệu môi trường tại khu vực cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là có sự xuất hiện các dòng thải acid mỏ và hàm lượng cao các kim loại nặng trong nước mặt, trong đất.

- Các vấn đề môi trường tiềm ẩn tại cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là sự ô nhiễm kim loại nặng tại khu vực hạ lưu các suối chảy từ các khu vực khai thác. Nguồn tiếp nhận nước thải là sông Bằng Giang có nguy cơ ô nhiễm do hàm lượng kim loại nặng từ các nguồn thải.

CHƯƠNG 5

CÁC VẤN ĐỀ MÔI TRƯỜNG TIỀM ẨN VÀ ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP NGĂN NGỪA Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG

5.1. Kết quả tính toán acid - bazơ

5.1.1. Kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ ở mỏ nickel Bản Phúc

Để đánh giá khả năng tạo thành dòng thải acid tại mỏ nickel Bản Phúc, nghiên cứu sinh đã sử dụng phương pháp tính toán acid - bazơ dựa vào các kết quả phân tích các mẫu thông qua các chỉ số: NAPP - Khả năng thực tạo acid; MPA - Khả năng tạo acid tối đa; ANC - Khả năng trung hòa acid; NAG - Kiểm định khả năng tạo acid. Phương pháp tính toán được trình bày trong chương 2 của luận án. Kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ của vật liệu hồ thải quặng đuôi mỏ Bản Phúc được trình bày trong bảng 5.1.

Bảng 5.1. Kết quả tính toán khả năng tạo acid mỏ của quặng đuôi

Số hiệu mẫu	Hàm lượng lưu huỳnh (% Sulfua)	NAPP (kgH_2SO_4/t)	Tỷ lệ ANC/MPA	NAG (kgH_2SO_4/t)	Khả năng tạo acid
QĐBP.01	7,3	34	0,3	28	Khả năng cao
QĐBP.02	7,4	35	0,2	30	Khả năng cao
QĐBP.03	7,6	38	0,3	33	Khả năng cao
QĐBP.04	7,7	39	0,4	35	Khả năng cao
QĐBP.05	7,2	33	0,1	27	Khả năng cao
Trung bình	7,5	31,8	0,26	32,6	Khả năng cao

Kết quả tính toán cho thấy các chỉ số ANC/MPA và NAG đều cho thấy quặng đuôi mỏ Bản Phúc có khả năng sinh acid cao, trong khi khả năng trung hoà acid tương đối thấp (chỉ số ANC/MPA: $0,1 \div 0,3$). Có thể nói rằng quặng đuôi ở hồ thải của mỏ Bản Phúc có tiềm năng tạo dòng thải acid mỏ cao.

Kết quả tính toán khả năng tạo acid mỏ của vật liệu bãi tập kết quặng được thể hiện trong bảng 5.2. Các chỉ số ANC/MPA và NAG đều cho thấy các vật liệu này có khả năng tạo acid rất cao, đồng thời khả năng trung hoà acid rất thấp (chỉ số ANC/MPA rất thấp: $0,02 \div 0,03$). Điều đó cho thấy tiềm năng tạo dòng thải acid mỏ của các vật liệu này rất cao.

Bảng 5.2. Kết quả tính toán khả năng tạo acid đá thải

Mẫu quặng lấy	Lưu huỳnh (%)	NAPP (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tỷ lệ ANC/MP A	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tiềm năng tạo acid
BP.Q01	17,1	126	0,03	114	Rất cao
BP.Q.02	15,7	122	0,02	103	Rất cao

Ghi chú:

- BP.Q.01 là mẫu lấy tại bãi chứa
- BP.Q.02 là mẫu lấy tại nhà máy

5.1.2. Kết quả tính toán acid - bazơ ở mỏ nickel Suối Cùn - Hà trì

Tương tự như mỏ nickel Bản Phúc, kết quả tính toán khả năng tạo acid mỏ của các kiểu quặng ở nhóm mỏ Suối Cùn - Hà Trì được trình bày trong bảng 5.3.

Bảng 5.3. Kết quả tính toán khả năng tạo acid của quặng Ni - Cu cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì

Mẫu quặng lấy	Lưu huỳnh sulfua (%)	NAPP (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tỷ lệ ANC/MPA	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tiềm năng tạo acid
HT.Q01	3,85	118	0,02	103	Rất cao
HT.Q02	3,72	114	0,03	97	Rất cao

Ghi chú:

- HT.Q01: Mẫu lấy tại moong khai thác;
- HT.Q02. Mẫu lấy tại bãi chứa quặng

Kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ đối với các kiểu quặng của nhóm mỏ Suối Cùn - Hà Trì cho thấy, các chỉ số ANC/MPA và NAG đều chứng tỏ chúng có khả năng tạo acid rất cao, đồng thời khả năng trung hoà acid của các đá vây quanh rất thấp (chỉ số ANC/MPA rất nhỏ : 0,02 - 0,03). Các chỉ số tính toán cho thấy quặng thải ở các mỏ Suối Cùn - Hà Trì có tiềm năng tạo dòng thải acid mỏ rất cao.

5.2. Kết quả thí nghiệm về sự tạo thành dòng thải acid mỏ và tách chiết kim loại nặng

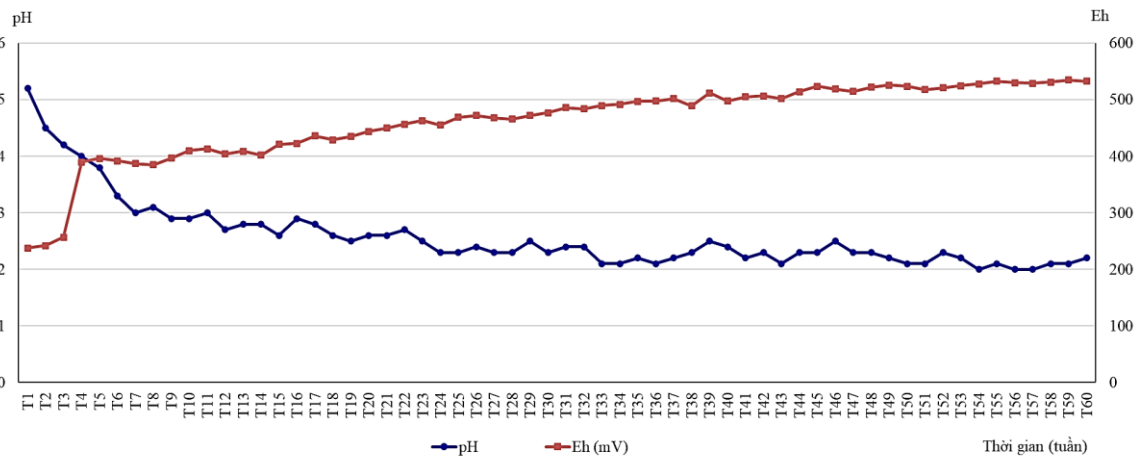
5.2.1. Kết quả thí nghiệm về khả năng tạo acid mỏ và tách chiết kim loại nặng của quặng nickel Bản Phúc

5.2.1.1. Kết quả thí nghiệm đối với quặng sulfid đặc sít của mỏ nickel Bản Phúc

Thí nghiệm được tiến hành với quặng sulfid nickel đặc sít được lấy tại bãi chứa sau khai thác có thành phần hóa học là: 4,02% Ni; 2,16% Cu; 0,17% Co; 25,3% S; 43,21% Fe. Kết quả phân tích các mẫu nước lấy trong quá trình thí nghiệm, được phân tích bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất (kết quả được tổng hợp trong phần phụ lục).

* Sự thay đổi pH, Eh

Kết quả thí nghiệm đối với mẫu quặng đặc sít có thể thấy độ pH giảm nhanh trong sáu tuần đầu và sau đó ổn định ở mức thấp (pH = 2 - 3). Từ đó có thể thấy quá trình oxy hóa diễn ra rất nhanh, các phản ứng hóa học diễn ra làm oxy hóa các khoáng vật sulfid, phát sinh acid mỏ ngay sau khi được tiếp xúc với oxy và nước có trong không khí (hình 5.1).



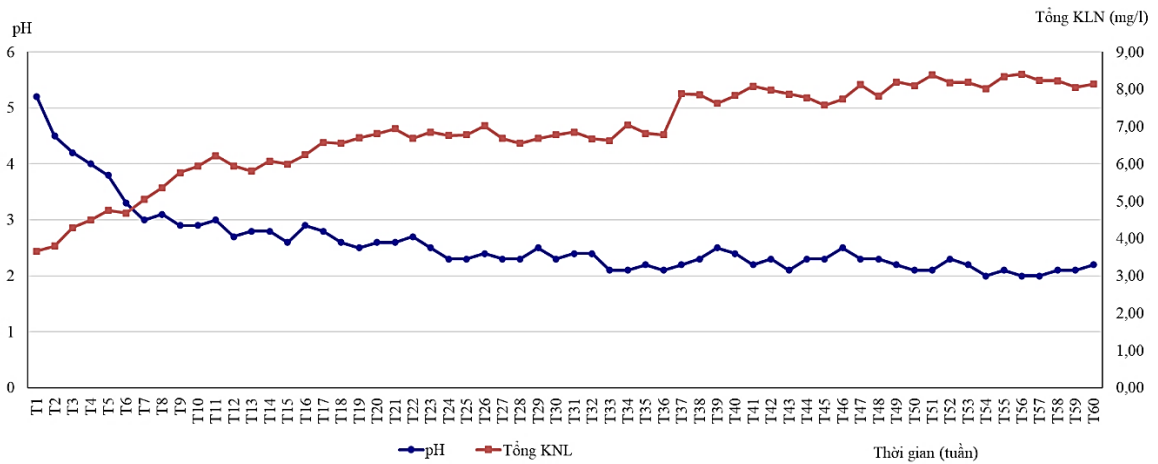
Hình 5.1. Sự thay đổi pH, Eh theo thời gian trong thí nghiệm với quặng đặc sít mỏ nickel Bản Phúc

Kết quả thí nghiệm cho thấy Trong khi độ pH giảm, Eh lại tăng dần theo thời gian, chứng tỏ môi trường có tính oxy hóa mạnh. Các khoáng vật sulfid sau khi bị oxy hóa để tạo thành acid sẽ làm cho tốc độ của các phản ứng hóa học tăng. Quá trình oxy hóa luôn ở mức cao sau một vài tuần được tiếp xúc với không khí và hơi nước.

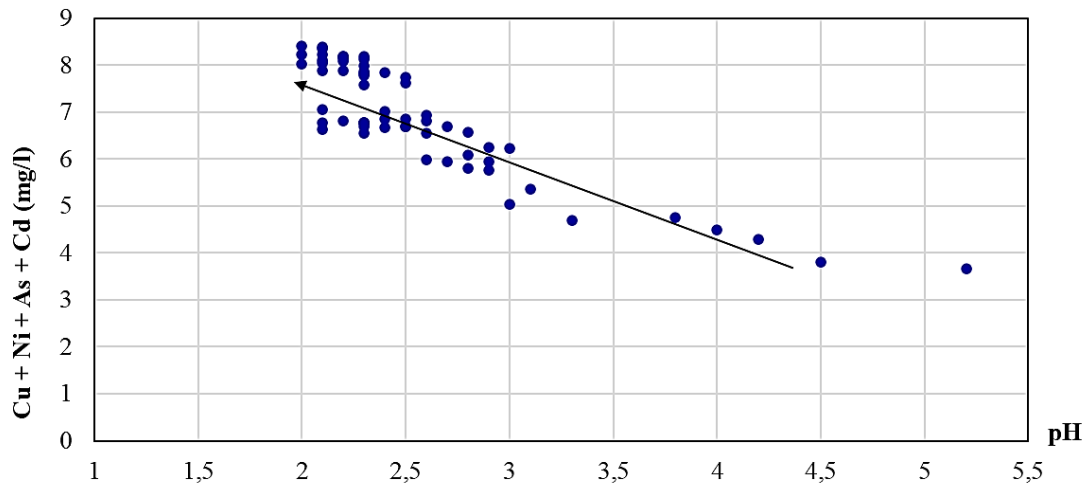
Khi xảy ra các phản ứng hóa học giữa các khoáng vật sulfid với nước và oxy sẽ tạo ra $\text{Fe}(\text{OH})_3$ đây là một trong các chất có tính oxy hóa mạnh sau đó $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sẽ trở thành các chất tham gia phản ứng với các khoáng vật sulfid. Sản phẩm của các phản ứng hóa học liên tiếp xảy ra sẽ tạo ra môi trường acid do lượng H_2SO_4 liên tục

được sản sinh, kèm theo đó là các kim loại nặng được giải phóng, thể hiện qua màu sắc của nước thu được thường có màu nâu vàng.

** Sự phát sinh các kim loại nặng*



Hình 5.2. Biểu đồ mô tả sự biến thiên tổng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng đặc sít mỏ nickel Bản Phúc



Hình 5.3. Biểu đồ mối liên quan giữa hàm lượng các kim loại nặng và độ pH trong thí nghiệm với quặng đặc sít mỏ nickel Bản Phúc

Kết quả thí nghiệm với quặng nickel đặc sít cho thấy hàm lượng các nguyên tố kim loại nặng tăng dần sau khoảng 6 - 7 tuần đầu sau đó ổn định ở mức cao. Điều đó chứng tỏ khả năng tách chiết kim loại nặng từ quặng đặc sít cao, cho thấy tiềm năng phát tán kim loại nặng rất lớn. Xu hướng là độ pH càng giảm thì hàm lượng các kim loại nặng càng tăng.

Kết quả của thí nghiệm với quặng đặc sít của mỏ nickel Bản Phúc cho thấy các khu vực như bãi chứa, sân công nghiệp là những nơi tiềm ẩn nhiều khả năng sinh

AMD và phân tán các kim loại nặng vào môi trường.

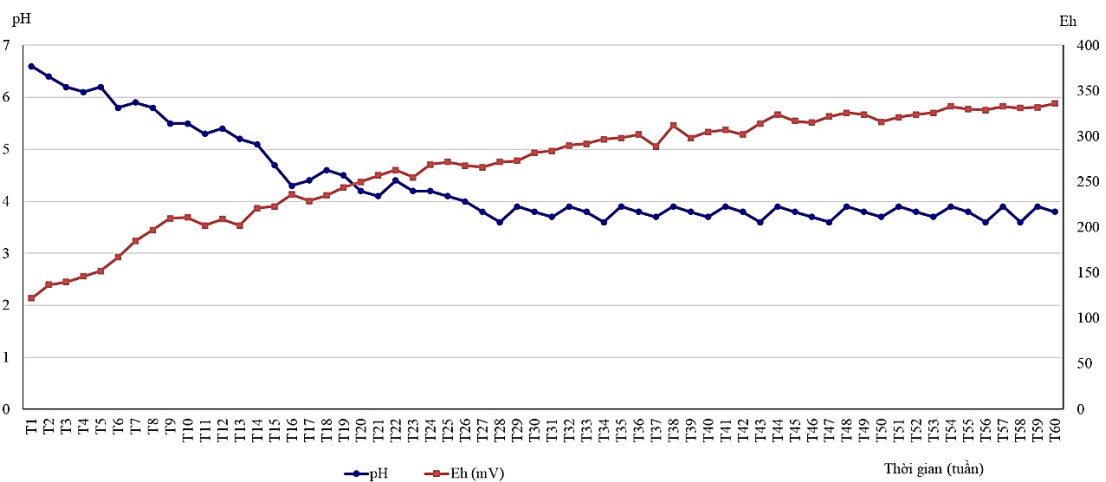
5.2.1.2. Kết quả thí nghiệm với quặng xâm tán tại mỏ nickel Bản Phúc

Thí nghiệm với quặng xâm tán có thành phần hóa học là: Ni: 0,63%; Cu: 0,04%; Co: 0,016; Fe: 7,15%; S: 12,03%. Kết quả thí nghiệm với quặng xâm tán được thống kê và tổng hợp trong phần phụ lục. Để thể hiện diễn biến của thí nghiệm với quặng xâm tán, nghiên cứu sinh sử dụng phương pháp thống kê và thể hiện qua các giản đồ như sau:

* Sự thay đổi pH và Eh

Kết quả thí nghiệm với quặng xâm tán cho thấy độ pH giảm dần theo thời gian, tốc độ thay đổi pH chậm và sau khoảng mười năm tuần thì ổn định. Từ đó cho thấy quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid trong quặng xâm tán đã diễn ra, tuy nhiên do hàm lượng các khoáng vật sulfid thấp hơn quặng đặc sít nên tốc độ thay đổi pH chậm và không xuống quá thấp.

Sự thay đổi của Eh theo chiều hướng tăng dần theo thời gian, tốc độ tăng Eh trong thí nghiệm với quặng xâm tán chậm hơn trong thí nghiệm với quặng đặc sít do thành phần các khoáng vật sulfid quặng thấp hơn.

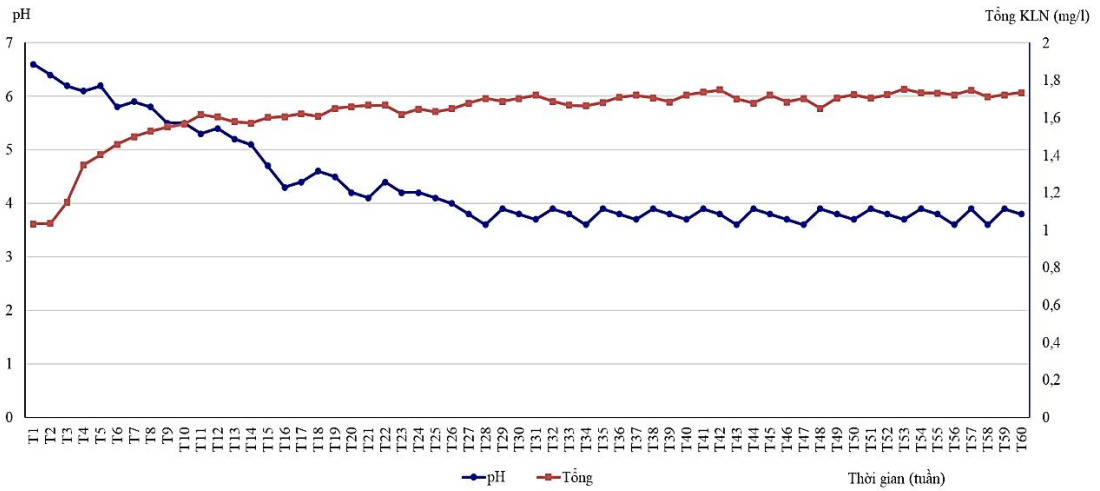


Hình 5.4. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng xâm tán mỏ nickel Bản Phúc

* Tách chiết các kim loại nặng

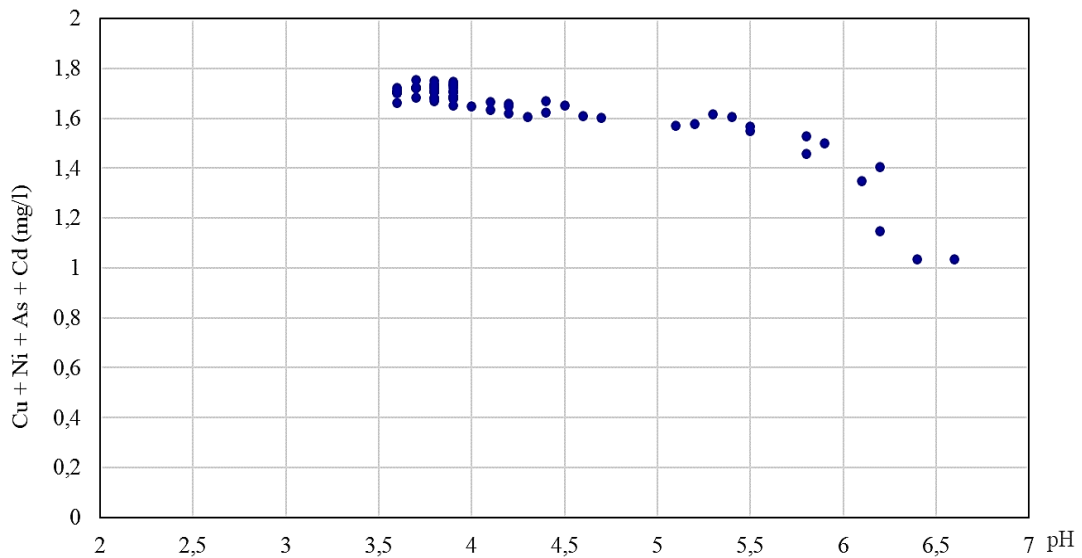
Tương tự như quặng đặc sít, quặng nickel xâm tán có chứa các khoáng vật sulfid, tuy nhiên thành phần các khoáng vật quặng thấp hơn nhiều so với quặng đặc sít, khi phản ứng với oxy và nước trong không khí làm phát sinh acid sulfuric và giải phóng các kim loại nặng từ các khoáng vật quặng. Tốc độ giải phóng kim loại nặng

trong thí nghiệm với quặng xâm tán khá chậm so với quặng đặc sít song hàm lượng các kim loại nặng tăng dần sau khoảng 15 tuần thì ổn định.



Hình 5.5. Biểu đồ biến thiên tổng hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán mỏ nickel Bản Phúc

* Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng



Hình 5.6. Biểu đồ sự liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán mỏ nickel Bản Phúc

Qua kết quả thí nghiệm với quặng xâm tán tại mỏ nickel Bản Phúc, có thể thấy khả năng sinh acid và phân tán các kim loại nặng vào môi trường. Nếu trong tương lai các thân quặng xâm tán được khai thác bằng phương pháp lộ thiên thì sẽ tạo ra các moong khai thác, lượng chất thải rắn lớn, đây là nguy cơ tiềm ẩn cho ô nhiễm môi trường.

5.2.2. Kết quả thí nghiệm về khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ tách chiết kim loại nặng ở cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì

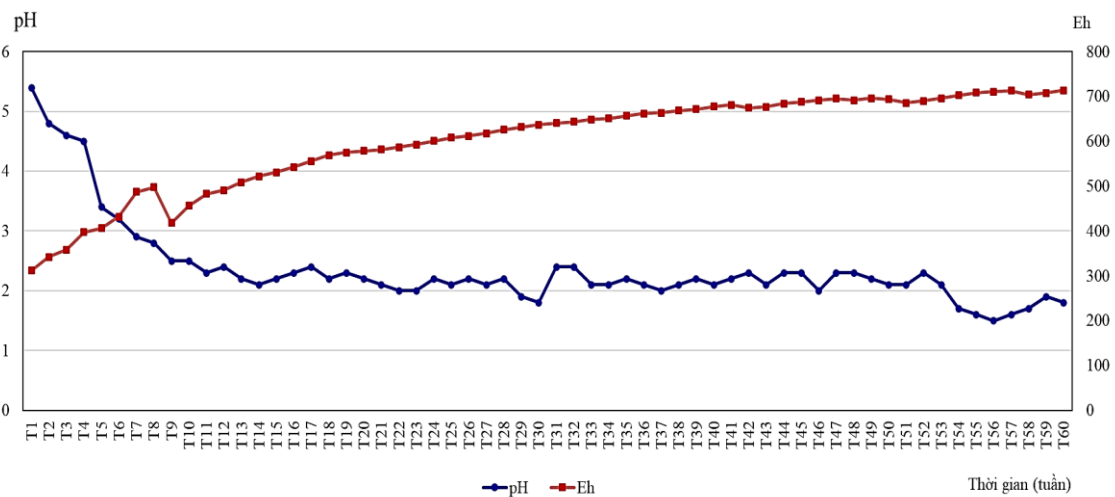
5.2.2.1. Thí nghiệm với quặng đặc sít tại cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Mẫu quặng đặc sít được lấy tại moong khai thác khu vực Hà Trì có thành phần hóa học là: 4,32% Ni ; 2,12% Cu ; 0,023% Co ; 13,15% Fe ; 2,06% S. Kết quả phân tích các mẫu nước lấy trong quá trình thí nghiệm, được phân tích bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử AAS tại Trung tâm phân tích thí nghiệm địa chất (kết quả được tổng hợp trong phần phụ lục).

* Sự thay đổi độ pH, Eh

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ pH giảm rất nhanh trong 7 tuần đầu sau đó ổn định dần ở mức thấp từ 1,5 đến 2,9. Như vậy chứng tỏ đã có sự oxy hóa các khoáng vật sulfid, các phản ứng sinh acid xảy ra ngay khi quặng được tiếp xúc với không khí và độ ẩm có trong không khí.

Tương tự như pH, Eh trong các mẫu nước được lấy trong các lần thí nghiệm có sự thay đổi rất rõ rệt, Eh tăng dần trong khoảng thời gian 60 tuần làm thí nghiệm từ 312 đến 714. Chứng tỏ các quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid làm gia tăng thế oxy hóa khử của môi trường.



Hình 5.7. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng đặc sít của khu vực Suối Cùn - Hà Trì

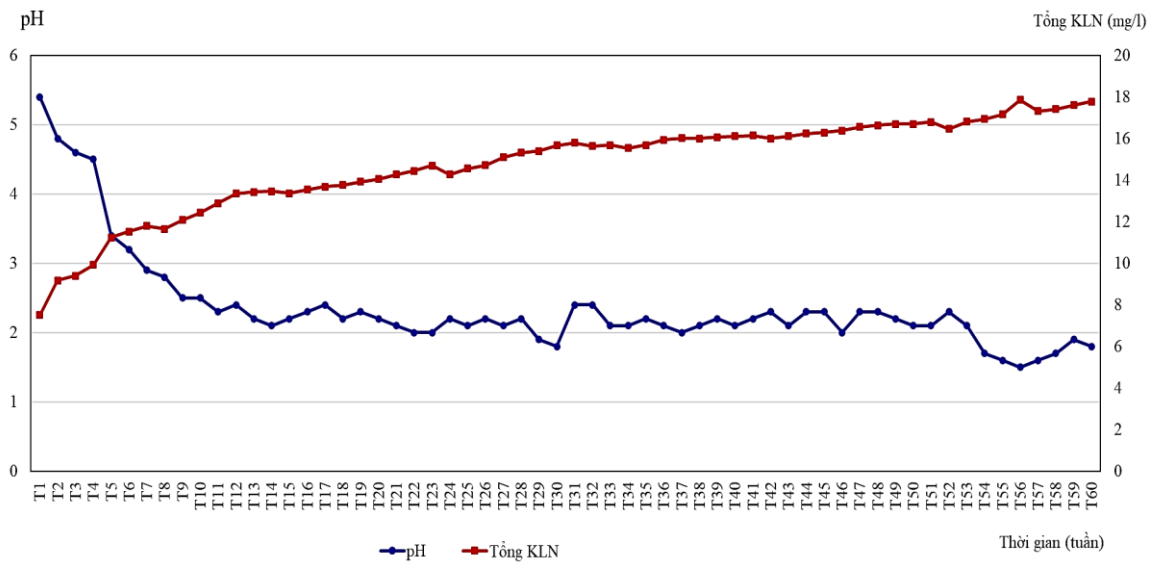
* Tách chiết một số các kim loại nặng

Qua thí nghiệm với quặng nickel đặc sít của khu vực Suối Cùn cho thấy hàm lượng các nguyên tố kim loại nặng trong các mẫu nước tăng dần theo thời gian chứng

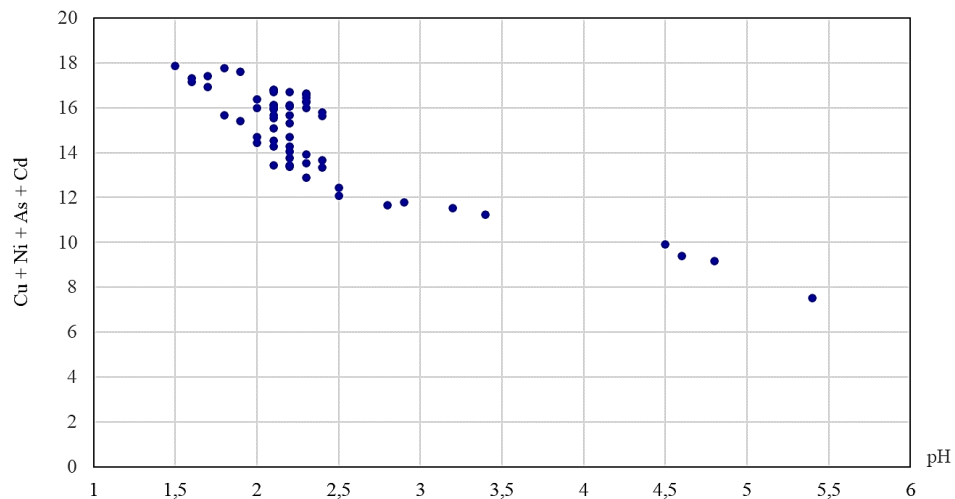
tỏ quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid đã giải phóng các kim loại nặng vào môi trường.

** Mối liên quan giữa hàm lượng các kim loại nặng và độ pH*

Khi độ pH giảm do sự tạo thành acid sulfuric là sản phẩm của các phản ứng oxy hóa các khoáng vật sulfid thì hàm lượng các nguyên tố kim loại nặng cũng được tăng nhanh. Độ pH càng thấp thì hàm lượng các kim loại nặng càng tăng. Như vậy có thể kết luận rằng trong các bãi thải rắn, bãi chứa dạng đông khi các khoáng vật sulfid bị phong hóa sẽ sinh ra acid và hòa tan các kim loại nặng.



Hình 5.8. Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng đặc sít của khu vực Suối Cùn



Hình 5.9. Tương quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng

5.2.2.2. Thí nghiệm với quặng xâm tán của cụm mỏ Suối Cùn - Hà Trì

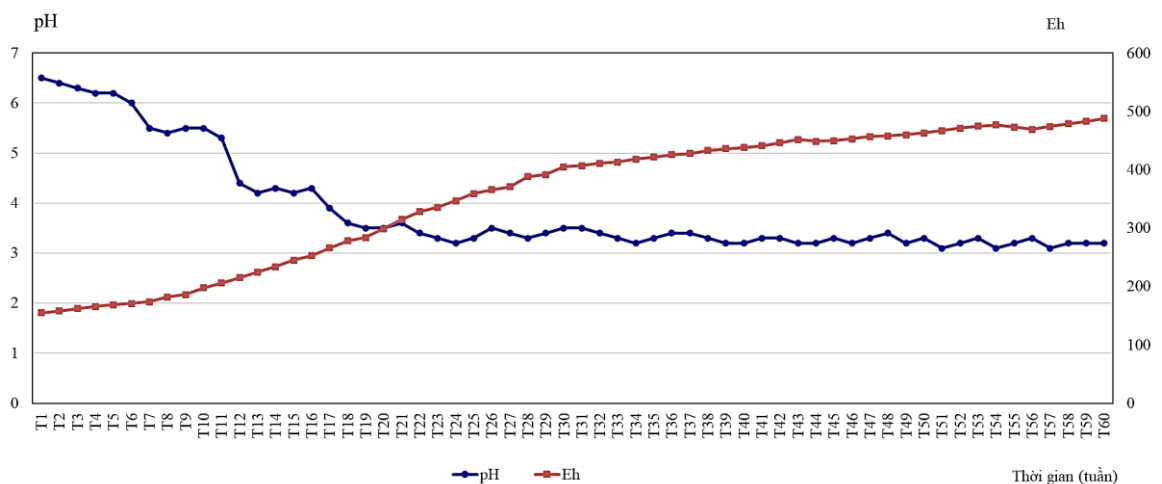
Quặng nickel xâm tán được lấy tại điểm mỏ Suối Cùn có thành phần hóa học là: 0,83 %Ni ; 0,17 %Cu ; 0,0014 %Co ; 6,82 %Fe ; 5,48%S. Kết quả thí nghiệm được tổng hợp trong phần phụ lục.

* Sự thay đổi độ pH

Kết quả thí nghiệm với mẫu quặng nickel xâm tán lấy tại khu vực Suối Cùn cho thấy độ pH giảm rất nhanh trong 15 tuần đầu sau đó ổn định dần ở mức thấp từ 4,9 đến 3,1. Như vậy chứng tỏ đã có sự oxy hóa các khoáng vật sulfid, các phản ứng sinh acid xảy ra ngay khi quặng được tiếp xúc với không khí và độ ẩm có trong không khí.

* Sự thay đổi Eh

Tương tự như pH, Eh trong các mẫu nước được lấy trong các lần thí nghiệm có sự thay đổi rất rõ rệt, Eh tăng dần trong khoảng thời gian 60 tuần làm thí nghiệm từ 155 đến 488. Chứng tỏ các quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid làm gia tăng thể oxy hóa khử của môi trường.



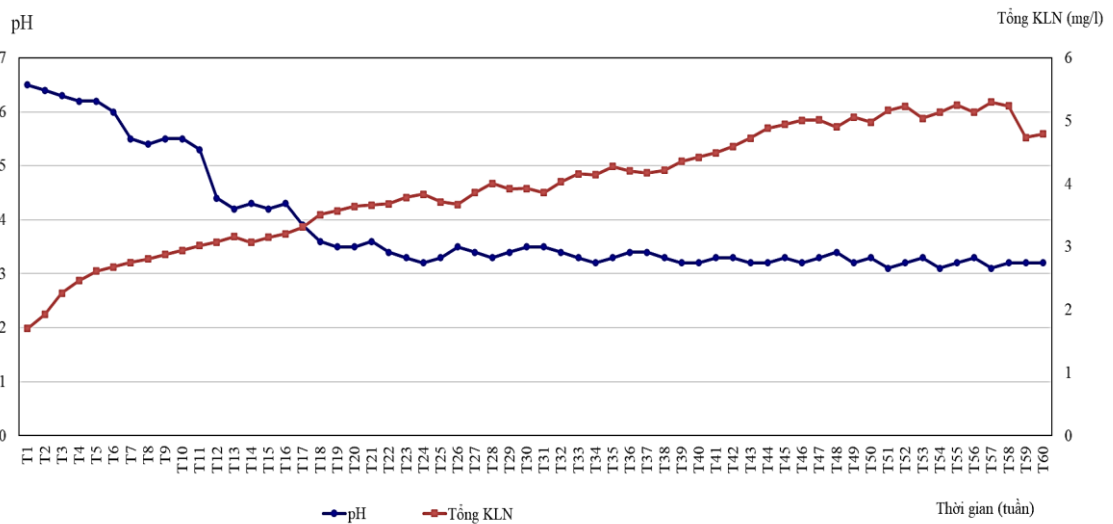
Hình 5.10. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng xâm tán của khu vực Suối Cùn - Hà Trì

* Sự thay đổi nồng độ các kim loại nặng

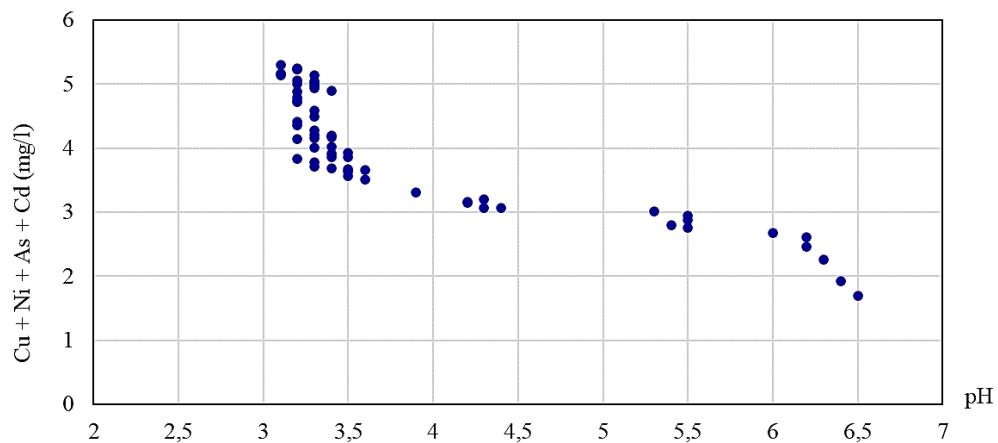
Qua thí nghiệm với quặng nickel xâm tán của khu vực Suối Cùn cho thấy hàm lượng các nguyên tố kim loại nặng trong các mẫu nước tăng dần theo thời gian chứng tỏ quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid đã giải phóng các kim loại nặng vào môi trường.

** Mối liên quan giữa hàm lượng các kim loại nặng và độ pH*

Từ sơ đồ mối liên quan giữa hàm lượng các kim loại nặng và độ pH có thể thấy độ pH giảm chậm hơn so với quặng đặc sít, hàm lượng các kim loại nặng cũng tăng chậm hơn so với quặng đặc sít. Tương tự như quặng đặc sít, thí nghiệm với quặng xâm tán có độ pH càng thấp thì hàm lượng các kim loại nặng càng tăng. Như vậy có thể kết luận rằng trong các bãi thải rắn, bãi chứa dạng đồng tuy có chứa hàm lượng các khoáng vật sulfid thấp nhưng khi các khoáng vật sulfid bị phong hóa sẽ sinh ra acid và hòa tan các kim loại nặng.



Hình 5.11. Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán của khu vực Suối Cùn - Hà Trì



Hình 5.12. Mối liên quan giữa độ pH và hàm lượng các kim loại nặng trong thí nghiệm với quặng xâm tán của khu vực Suối Cùn

Từ các giản đồ về sự biến đổi các chỉ số pH, Eh, hàm lượng các kim loại nặng của hai khu vực nghiên cứu có thể thấy có sự khác biệt cơ bản là ở mỏ nickel Bản

Phúc trong những tuần đầu có sự biến đổi rất rõ rệt các chỉ số pH, Eh, hàm lượng các kim loại nặng, cụ thể độ pH giảm nhanh, Eh và hàm lượng các kim loại nặng tăng nhanh ở những tuần đầu sau đó ổn định dần. Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì thì trong những tuần đầu biến thiên đều các chỉ số pH, Eh, hàm lượng các kim loại nặng sau đó ổn định. Sự khác biệt này có thể giải thích là do sự khác nhau của mẫu đưa vào thí nghiệm, các mẫu được lấy tại mỏ nickel Bản Phúc còn khá tươi, chưa bị oxy hóa nên khi tiếp xúc với oxy và nước sẽ nhanh chóng xảy ra các phản ứng. Các mẫu lấy tại cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là các mẫu đã bị phong hóa nên tốc độ phản ứng trong những tuần đầu không có sự thay đổi đột ngột như các mẫu của mỏ nickel Bản Phúc.

Vai trò của khí hậu, địa hình, mạng sông suối, thảm thực vật là những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình di chuyển, phân tán các kim loại nặng vào môi trường. Theo các nhà nghiên cứu trên thế giới thì con đường phân tán chủ yếu của các kim loại nặng từ các mỏ khoáng vào môi trường chủ yếu là nước mặt. Thực tế nghiên cứu tại mỏ nickel Suối Cùn cho thấy, các kim loại nặng được giải phóng từ các bãi chứa, bãi thải, các móng khai thác, ... sẽ được nước mưa chảy tràn làm phân tán ra môi trường theo các suối, các dòng chảy tạm thời.

5.3. Các vấn đề ô nhiễm môi trường tiềm ẩn

Từ những kết quả tính toán và thí nghiệm tại hai khu vực nghiên cứu cho thấy khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán kim loại nặng vào môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì là rất cao.

5.3.1. Các vấn đề môi trường tiềm ẩn mỏ nickel Bản Phúc

Các kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ và kết quả thí nghiệm cho thấy tại những khu vực như: hồ thải, bãi chứa quặng, bãi thải, sân công nghiệp, ... của mỏ nickel Bản Phúc có nhiều nguy cơ tiềm ẩn phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán một số kim loại nặng vào môi trường. Các chỉ số NAPP, ANC/MPA và NAG được tính toán đều cho thấy khả năng tạo acid rất cao.

Khi quặng nguyên khai được tập kết ra ngoài, quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid ngay lập tức diễn ra do sự tiếp xúc của quặng với oxy và nước trong không khí. Các phản ứng hóa học sẽ làm phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng như: Ni, Cu, Fe, As, Cd vào môi trường thông qua nước mưa chảy tràn vào các con suối rồi phân tán vào đất, nước ngầm.

Dung dịch acid sinh ra trong quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid có thể hòa tan các kim loại và các chất độc hại khác từ đó chúng phân tán vào môi trường và gây ô nhiễm. Trong bãi thải, bãi chứa quặng sau khai thác nước mưa chảy tràn và nước trong các lỗ hổng tương tác với các vật chất rắn của bãi thải. Các phản ứng hóa học của các khoáng vật sulfid diễn ra rất mạnh và quá trình hòa tan các kim loại nặng, các chất độc hại bắt đầu diễn ra. Hàm lượng các kim loại nặng tăng rất nhanh trong dung dịch và có thể đạt đến bão hòa. Thành phần của các kim loại nặng khác nhau phụ thuộc vào thành phần ban đầu của quặng và vật chất trong bãi thải, bãi chứa quặng.

Hồ thải quặng đuôi là một trong những vấn đề môi trường rất quan trọng. Thành phần của hồ thải còn chứa rất nhiều kim loại nặng, đây là khu vực luôn tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm môi trường. Để đảm bảo ngừa được ô nhiễm cần phải giữ an toàn cho đập thải để không cho chất thải tràn ra ngoài và có những biện pháp xử lý hồ thải.

Tại mỏ Nickel Bản Phúc có thành phần là các khoáng vật sulfid nên hoàn toàn có khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ. Tại các bãi thải rắn, bãi chứa quặng, sân công nghiệp có khoáng sản vương vãi là những nơi xảy ra quá trình phong hóa và các phản ứng hòa tan diễn ra mạnh. Nước mưa và nước chảy tràn sẽ hòa tan và mang vào môi trường các chất độc hại. Trong các bãi thải và bãi chứa quặng sau khai thác đồ đồng thường có pH thấp và hàm lượng kim loại nặng cao.

Các vật chất rắn là đất đá thải tại bãi thải, bãi chứa quặng, đường vận chuyển, sân công nghiệp, ... chứa một lượng các khoáng vật sulfid mà khi tiếp xúc với môi trường không khí và nước sẽ xảy ra các phản ứng hòa tan tạo thành dòng thải acid mỏ. Sau đó nước mưa chảy tràn qua bãi thải, bãi chứa quặng, đường vận chuyển, sân công nghiệp sẽ cuốn theo dòng thải acid và các kim loại nặng vào môi trường đặc biệt là môi trường nước mặt.

Nếu trong tương lai mỏ nickel Bản Phúc tiếp tục được khai thác các thân quặng xâm lấn bằng phương pháp lộ thiên thì khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ là rất lớn do diện lộ các moong khai thác, thể tích bãi thải, khối lượng quặng đuôi lớn.



*Ảnh 5.1. Đá thải của mỏ nickel
Bản Phúc*



*Ảnh 5.2. Quặng bị oxy hóa tại bãi tập
kết cũ của mỏ nickel Bản Phúc*

5.3.2. Các vấn đề môi trường tiềm ẩn ở cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Các kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ và kết quả thí nghiệm cho thấy cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có nhiều nguy cơ tiềm ẩn phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán một số kim loại nặng vào môi trường. Các chỉ số NAPP, ANC/MPA và NAG được tính toán tại mỏ cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì cho thấy khả năng tạo acid rất cao. Các moong khai thác và các bãi chứa, bãi thải là những khu vực đang lưu tâm.

Quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid trong khu vực mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì xảy ra tại moong khai thác, các bãi chứa, bãi thải dạng đổ đống, ... Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có đặc điểm quặng hóa chủ yếu là dạng ỏ và độ sâu không lớn do vậy phương pháp khai thác được sử dụng là phương pháp lộ thiên. Phương pháp khai thác lộ thiên sẽ làm cho các khoáng vật quặng có nhiều cơ hội tiếp xúc với nước và không dễ dàng bị oxy hóa tự nhiên.

Theo kết quả tổng hợp các tài liệu của những công trình trước đó và kết quả khảo sát của nghiên cứu sinh, trong thành phần của quặng hóa vùng nghiên cứu có chứa các khoáng vật sulfid do vậy nguy cơ tạo thành dòng thải acid mỏ là rất lớn. Tại các khu vực đã có các hoạt động khai thác, các khoáng vật sulfid bị oxy hóa sinh ra acid sulfuric và giải phóng các kim loại nặng vào môi trường.

Trong quá trình khai thác và sau khi khai thác các loại quặng được tập kết thành dạng đống. Kết quả của quá trình phong hóa các khoáng vật sulfid tại các bãi thải, bãi chứa quặng, ... là tạo ra acid. Một trong những sản phẩm của các phản ứng này là acid sulfidic, acid sulfidic là một acid rất mạnh có khả năng hòa tan các kim loại và các chất độc hại vào môi trường. Do thành phần khoáng vật của mỏ là tổ hợp

của nhiều khoáng vật sulfid như: pyrotin, pyrit, pentlandit, chalcopyrit, ... Các khoáng vật này khi gặp điều kiện thuận lợi dễ dàng tiếp xúc với nước và không khí, nhanh chóng xảy ra các phản ứng oxy hóa tạo thành H_2SO_4 .

Khi quặng nguyên khai được tập kết ra ngoài, quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid ngay lập tức diễn ra do sự tiếp xúc của quặng với oxy và nước trong không khí. Các phản ứng hóa học sẽ làm phát sinh dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng như: Ni, Cu, Fe, As, Cd vào môi trường thông qua nước mưa chảy tràn vào các con suối rồi phân tán vào đất, nước ngầm.

Dòng thải acid mỏ và nguy cơ phân tán các kim loại nặng vào môi trường là một trong những vấn đề hết sức nghiêm trọng tại cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì. Do trong thành phần khoáng vật của mỏ có nhiều khoáng vật sulfid và trong thành phần hóa học có nhiều kim loại nặng như: Ni, Cu, As, Cd, ... nên khi bị phong hóa các khoáng vật sulfid sẽ giải phóng lưu huỳnh để kết hợp với nước và oxy có trong không khí để tạo thành acid sulfuric và giải phóng các kim loại nặng. Trong quá trình khảo sát, nghiên cứu sinh đã phát hiện dòng thải acid tại một số khu vực là moong khai thác và bãi tập kết quặng. Dòng thải acid có màu nâu đỏ, hàm lượng các kim loại trong các mẫu nước rất cao.

Cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì chưa có nhiều hoạt động khai thác, tuyển khoáng mạnh mẽ nhưng cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có cùng kiểu mỏ với mỏ nickel Bản Phúc, do vậy các vấn đề ô nhiễm môi trường có thể được dự báo nhờ vào kinh nghiệm nghiên cứu của mỏ nickel Bản Phúc. Đó là ý nghĩa của mô hình địa môi trường mỏ khoáng. Mô hình địa môi trường mỏ khoáng cung cấp những thông tin trước khi khai thác và dự báo các vấn đề tiềm ẩn dựa vào những kinh nghiệm của những mỏ tương tự, có cùng kiểu mỏ.

Mỏ nickel Suối Cùn có cùng kiểu mỏ với mỏ nickel Bản Phúc, thành phần quặng hóa khá giống nhau do vậy những kinh nghiệm về công tác môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc có thể áp dụng với mỏ nickel Suối Cùn. Trong các vấn đề môi trường thì AMD và phân tán các kim loại nặng là vấn đề cần được quan tâm.



Ảnh 5.3. Hoạt động khai thác tại khu vực Hà Trì

Trong quá trình khai thác bằng phương pháp lộ thiên sẽ phát sinh một lượng rất lớn chất thải rắn là quặng nghèo, trong thành phần có chứa các khoáng vật sulfid là nguy cơ rất lớn cho vấn đề môi trường của khu vực.

Quặng đuôi cũng là vấn đề nghiêm trọng cần được tính toán để chứa và xử lý. Nước mưa chảy tràn qua các bãi thải, bãi chứa, khai trường khai thác rất lớn, trong thành phần của nước mưa chảy tràn sẽ kéo theo các kim loại nặng cần phải có hệ thống thu gom và xử lý trước khi thải ra môi trường.

Trong những năm tiếp theo, mỏ nickel Suối Cùn tiếp tục khai thác và xây dựng nhà máy tuyển khoáng thì vấn đề ô nhiễm môi trường do quặng đuôi là rất nghiêm trọng. Do vậy cần phải có phương án thiết kế hồ thải và xử lý quặng đuôi.

5.4. Đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường

Để phòng ngừa ô nhiễm môi trường tại các mỏ sulfid kim loại mà cơ bản nhất là phòng ngừa sự tạo thành dòng thải acid mỏ phải sử dụng những giải pháp ngăn chặn sự tiếp xúc của quặng với môi trường để tránh các phản ứng hóa học. Một trong những giải pháp quan trọng nhất là quản lý các nguồn chất thải, nước thải. Ngoài ra, có thể sử dụng các phương pháp như đê chìm quặng đuôi, chất thải.

5.4.1. Các biện pháp xử lý dòng thải acid mỏ

Sử dụng tính chất phản ứng trung hòa acid của các bazơ người ta sử dụng chúng để trung hòa acid. Trong tự nhiên nhiều khoáng vật và vật chất có khả năng trung hòa acid, điển hình là các đá cacbonat. Trong trường hợp các đá chứa quặng và đá vây quanh là đá vôi, thì khả năng suất hiện dòng thải acid thấp. Hiện tượng này là do đá vôi đã trung hòa acid sinh ra trong quá trình oxy hoá quặng sulfid [40]. Trong thực tế các chất trung hòa thường được sử dụng gồm: sút NaOH, soda Na_2CO_3 , vôi

(CaO, Ca(OH)₂), đá vôi (CaCO₃) hoặc ammoniac (NH₃).

5.4.1.1. Các phương pháp loại bỏ kim loại ra khỏi dung dịch

* Phương pháp kết tủa

Dạng tồn tại và hàm lượng các kim loại trong nước ảnh hưởng rất lớn đến sự lựa chọn hóa chất cũng như hệ thống xử lý AMD. Nguyên lý cơ bản trong xử lý AMD là làm tăng độ pH và kết tủa các hydroxyt. Tuy nhiên, các kim loại khác nhau kết tủa ở pH khác nhau. Tùy thuộc vào thành phần của kim loại trong AMD, cần lựa chọn hóa chất thích hợp để đưa pH lên mức có thể kết tủa các kim loại cần xử lý.

* Phương pháp hấp phụ

Người ta dùng các vật liệu có khả năng hấp thụ kim loại nặng tốt chẳng hạn: hydroxyt Fe dạng vô định hình, hydroxyt Al, vật chất hữu cơ v.v...

* Phương pháp sinh học

Phương pháp sinh học sử dụng một số loài thực vật kết hợp với các vi sinh vật sống trong đất và nước có khả năng trung hoà acid và cố định kim loại nặng để xử lý dòng thải acid mỏ. Một số loài thực vật có khả năng cố định kim loại nặng tốt như: bèo tây, dương xỉ, một số thực vật thủy sinh v.v...

Cần làm giảm sự hình thành của AMD ngay từ ban đầu, các phương pháp này được gọi chung là kiểm soát nguồn. Do nước và oxy là hai nhân tố chính trong hình thành AMD do đó cần phải loại bỏ hoặc cả hai hoặc ít nhất một trong hai tác nhân đó, việc này sẽ giúp cho việc ngăn chặn hoặc giảm thiểu AMD.

Phương pháp tồn trữ dưới nước thường được sử dụng đối với quặng đuôi có khả năng sinh acid, nhằm ngăn chặn tiếp xúc giữa các khoáng vật và oxy hòa tan. Kiểu tồn trữ này có thể hiệu quả hơn nếu được phủ một lớp sét hay vật chất hữu cơ, nó giúp cho việc hạn chế xâm nhập của oxy và tránh cho nước trong hồ quặng đuôi bị khuấy đục do gió và sóng. Lớp phủ khô đối với các đồng thải trên bề mặt cũng có thể kết hợp với một lớp vật chất hữu cơ. Lớp phủ khô bằng sét được sử dụng rộng rãi nhưng nó cũng có thể bị hư hại do thay đổi thời tiết theo mùa, vào mưa khô lớp này có thể bị nứt nẻ. Một đề xuất khác là trộn lẫn các chất thải với các chất có khả năng trung hòa acid tạo thành một hỗn hợp an toàn. Một phương án theo hướng này là trộn apatit vào chất thải chứa pyrit để chuyển Fe(III) thành photphat Fe(II) do đó làm giảm khả năng hoạt động của Fe(III) như là một chất oxy hóa. Tuy nhiên việc hạn chế oxy hóa sulfid bằng cách này chỉ có thể tạm thời do có hiệu ứng bao bọc do các khoáng vật photphat tạo thành. Một số vi sinh vật có khả năng thúc đẩy quá trình oxy hóa, do

đó đã có nhiều thí nghiệm trong phòng cũng như ngoài hiện trường nhằm tìm giải pháp ngăn chặn hoạt động của chúng trong các đồng thái. Người ta có thể sử dụng một số hóa chất để diệt loại vi khuẩn này, nhưng nhìn chung phương pháp này ít được sử dụng do tác dụng của nó không ổn định và đòi hỏi phải sử dụng thường xuyên loại hóa chất này.

5.4.1.2. Các biện pháp giảm thiểu tạo AMD

Do sự khó khăn trong việc ngăn chặn nguồn AMD, thông thường người ta phải hướng sang các phương pháp giảm thiểu ảnh hưởng của nó đến môi trường xung quanh đặc biệt là nước hạ nguồn. Cách tiếp cận này gọi là “kiểm soát giảm thiểu”. Thường chúng được chia thành các quá trình “chủ động” và “thụ động”. Các quá trình chủ động sử dụng các vật liệu kiềm để trung hòa dòng tiêu thoát acid mỏ và kết tủa kim loại. Các quá trình thụ động sử dụng các hệ sinh thái ngập nước tự nhiên hoặc nhân tạo. Các hệ thụ động có nhiều ưu điểm hơn so với các hệ chủ động vì ít phải vận hành cũng như duy tu và do đó cũng giảm chi phí, mặc dù các hệ này nhiều khi cũng đòi hỏi đầu tư lớn và không phải ở đâu cũng thực hiện được [40].

a. Công nghệ xử lý chủ động

Công nghệ phổ biến nhất để giảm thiểu dòng acid là giải pháp xử lý chủ động bằng cách sử dụng các chất trung hòa. Việc thêm các chất kiềm vào AMD làm tăng độ pH, tăng tốc độ oxy hóa Fe(II) (đôi khi người ta sử dụng cả việc sục khí hoặc thêm vào các chất oxy hóa mạnh như oxy già) và làm cho nhiều kim loại có trong dung dịch kết tủa dưới dạng hydroxyt và cacbonat. Kết quả thu được là bùn giàu Fe và chứa nhiều kim loại khác tùy thuộc vào thành phần của nước xử lý. Nhiều hóa chất được sử dụng như vôi sống (CaO), vôi tôi (Ca(OH)₂), CaCO₃, Na₂CO₃, NaOH, MgO và Mg(OH)₂. Giữa các hóa chất này có sự khác biệt về hiệu quả xử lý cũng như chi phí. Chẳng hạn, sút (NaOH) có thể xử lý hiệu quả hơn gấp 1,5 lần so với vôi nhưng lại đắt gấp 9 lần. Mặc dù các phương pháp xử lý bằng hóa chất có hiệu quả tốt nhưng nhược điểm của chúng là chi phí cao và luôn gặp phải vấn đề về chất thải thứ sinh là lượng bùn sau xử lý. Do các phương pháp xử lý bằng hóa chất dựa trên những công nghệ đơn giản để xử lý AMD, người ta đã phát triển những cải tiến nhằm tăng hiệu quả của phương pháp và làm giảm các vấn đề liên quan với chất thải thứ sinh [40].

* Đá vôi (CaCO₃)

Đá vôi đã được dùng nhiều thập kỷ nay để nâng pH lên và kết tủa kim loại

AMD. Đây là loại rẻ nhất, an toàn nhất và dễ dàng sử dụng nhất. Điểm yếu là thời gian phản ứng chậm, suy giảm hiệu quả trung hòa do bị bao bọc bởi tủa Fe(III) và các hydroxyt khác, khó xử lý AMD có tỷ lệ Fe(III)/Fe(II) cao, không hiệu quả trong việc xử lý Mn.

* *Vôi sống (CaO) và vôi tôi (Ca(OH)₂*

Vôi là hóa chất được ưa chuộng vì nó dễ sử dụng và an toàn, hiệu quả và không quá đắt. Điểm yếu chính là lượng bùn sinh ra lớn (so với đá vôi), tuy không quá đắt nhưng lượng sử dụng lại lớn nên đòi hỏi đầu tư khá cao.

* *Soda (Na₂CO₃)*

Soda là hóa chất rất hiệu quả để xử lý dòng AMD nhỏ ở những vùng sâu, vùng xa. Điểm yếu chính của nó là giá soda cao (so với đá vôi) và các khả năng lắng kém của các chất lơ lửng tạo thành.

* *Sút (Na(OH)*

Sút đặc biệt hiệu quả để xử lý dòng AMD thấp ở những vùng sâu, xa và để xử lý AMD có Mn cao. Điểm yếu chính là giá thành cao, nguy hiểm khi tiếp xúc, lắng bùn kém.

* *Amoniac*

Amoniac khan xử lý hiệu quả AMD có tỷ lệ Fe(III)/Fe(II) và hàm lượng Mn cao. Giá amoniac thấp hơn sút và có nhiều ưu thế so với sút. Tuy nhiên, amoniac khó sử dụng và nguy hiểm và có thể ảnh hưởng đến điều kiện sinh học ở hạ nguồn. Nó độc đối với cá và các sinh vật thủy sinh khác, ảnh hưởng tới dinh dưỡng và bị nitrat hóa. Nhìn chung ngày nay amoniac đã bị cấm dùng, trong trường hợp cần thiết phải được phép và cần phải có quan trắc.

b. Các công nghệ xử lý thụ động

Các hệ thống xử lý thụ động rất đa dạng được phát triển trong khoảng 20 năm trở lại đây. Các hệ thống xử lý thụ động phổ biến gồm: các vùng đất ngập nước thông khí, các vùng đất ngập nước yếm khí hay vùng đất ngập nước có bốn phân, vùng đất ngập nước có dòng chảy mặt hoặc dòng chảy bên trong, các hồ xử lý AMD, các lò phản ứng sinh học và các barie thấm hoạt tính. Một số hệ thụ động sử dụng sự hòa tan của đá vôi trong hồ hay kênh dẫn để trung hòa AMD. Thông thường người ta kết hợp các kênh kín khí, hồ đá vôi hay các kênh đá vôi hở. Các hệ này hoạt động trong một số năm nhưng chắc chắn đá vôi sẽ bị bao bọc bởi hydroxyt Fe và Al làm giảm

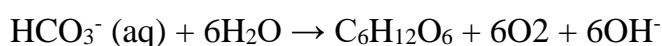
khả năng trung hòa của đá vôi và có thể làm tắc hệ. Các hệ xử lý như các vùng ngập nước yếm khí, các hệ thống tạo kiềm liên tục, các lò phản ứng sinh học, các barie thấm tương tác đều đòi hỏi cung cấp các vật chất hữu cơ cho các phản ứng phân hủy để tạo ra carbon cho quá trình sinh kiềm yếm khí [40].

** Hệ xử lý bằng kênh đá vôi yếm khí*

Một giải pháp để đưa kiềm vào AMD là sử dụng kênh đá vôi yếm khí (anoxic limestone drains - ALD). Mục đích của hệ thống này là giữ cho trạng thái khử để tránh oxy hóa Fe(II) và kết tủa hydroxyt Fe(III) gây lớp phủ trên đá vôi ngăn cản hoạt động của nó. Trong kênh yếm khí, áp suất riêng phần của CO₂ tăng làm tăng thêm khả năng hòa tan đá vôi do đó làm tăng độ kiềm. Về lý thuyết kênh đá vôi yếm khí đòi hỏi rất ít việc vận hành và duy trì khi đã xây dựng nó được coi là hướng tiếp cận thụ động. Trong hệ này đá vôi được xây dựng thông thường với lớp đáy bằng chất dẻo và phủ bằng lớp sét để nước có thể di chuyển bên trong giữa các viên đá vôi và ngăn cản không cho oxy xâm nhập vào. Chiều rộng kênh dao động trong khoảng (0,6 - 1m) với những kênh hẹp hoặc tới 10 - 20m đối với các kênh rộng và thường sâu khoảng 1,5m và chiều dài khoảng 30m. Mặc dù kênh đá vôi sinh kiềm với chi phí thấp hơn so với một số hệ thống khác nhưng nó khó có thể xử lý toàn bộ dòng AMD. Khi dòng AMD giàu Fe và Al có thể gây tắc do kết tủa các hydroxyt. Kênh yếm khí nhìn chung thường được sử dụng như là một bộ phận của một hệ xử lý thụ động trong các hệ ngập nước thông khí hoặc yếm khí [40].

** Các giải pháp sinh học*

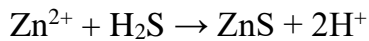
Nguyên lý của các phương pháp này là dựa trên cơ sở một số loài vi sinh vật có khả năng sinh kiềm và cố định kim loại, về bản chất là làm đổi chiều phản ứng sinh acid. Trong khi ở các vùng đất ngập nước được thiết kế để xử lý AMD, một số loại thực vật có vai trò trong việc cải thiện chất lượng nước vẫn còn đang được nghiên cứu. Các quá trình vi sinh tạo kiềm thuần chủ yếu là các quá trình khử bao gồm khử nitơ, sinh metal, khử sulfat và khử Fe và Mn. Sự amoni hóa (sinh amoni từ các hợp chất hữu cơ chứa N) cũng là quá trình sinh kiềm. tuy nhiên do trong AMD thường có hàm lượng Fe và Mn do đó kiềm sinh ra do khử các hợp chất của chúng mới là đáng kể. Quá trình quang hợp của vi sinh nhờ tiêu thụ bazơ yếu (bicacbonat) để tạo ra bazơ mạnh hơn cũng sinh kiềm theo phản ứng:



Các vi khuẩn đóng vai trò xúc tác trong phản ứng khử sulfat thành sulfid và tạo kiềm nhờ chuyển một acid mạnh (H_2SO_4) sang thành một acid yếu:



Ngoài tác dụng làm tăng độ pH, quá trình khử sulfat còn là một cơ chế quan trọng để loại các kim loại độc hại ra khỏi AMD (chẳng hạn như Zn hay Cd) do tạo thành các sulfid khó tan:



Quá trình oxy hóa Fe(II) thành Fe(III) nhờ sinh vật (là chất ít tan ở pH cao hơn 2,5) là quá trình cố định kim loại chính ở các hệ đất ngập nước và các lò phản ứng sinh học.

- Hệ đất ngập nước thoáng khí

Hệ đất ngập nước thoáng khí nhìn chung được xây dựng để xử lý nước có độ acid yếu vì các phản ứng xảy ra trong đó chủ yếu là oxy hóa Fe và thủy phân Fe(III) tạo thành và đây cũng là phản ứng sinh acid.

Thường người ta kết hợp hệ đất ngập nước thoáng khí với kênh đá vôi yếm khí để tránh sự giảm pH. Để duy trì môi trường oxy hóa hệ đất ngập nước thoáng khí thường có độ sâu nhỏ và hoạt động nhờ dòng nước mặt

- Hệ đất ngập nước yếm khí

Ngược với hệ đất ngập nước thoáng khí, phản ứng cơ bản trong hệ đất ngập nước yếm khí là các phản ứng khử. Các hệ đất ngập nước yếm khí còn được gọi là các lò phản ứng sinh học. Tuy nhiên, các rễ cây có thể gây hại cho hệ khi nó ăn sâu vào đới kín khí làm cho oxy có thể xâm nhập vào. Các phản ứng có xúc tác sinh học xảy ra trong hệ này sẽ sinh kiềm và tạo thành các sulfid sinh học, do đó nó có thể được sử dụng để xử lý AMD.

- Nguyên tắc lựa chọn giải pháp xử lý

Việc lựa chọn phương pháp nào để xử lý AMD phụ thuộc vào các yếu tố kinh tế và môi trường. Tuy vậy nhiều khi giá trị môi trường của các hệ xử lý không hiện hữu ngay. Thông thường nếu lượng AMD lớn người ta thường dùng các phương pháp xử lý chủ động, đặc biệt khi dòng tiêu thoát là acid. Yếu tố địa hình hay khó khăn về mặt bằng có thể hạn chế các hệ thụ động. Tuy nhiên, ngày nay xu thế chung là sử dụng các hệ thụ động để tránh chi phí cao do sử dụng hóa chất và phải giải quyết vấn đề chất thải thứ sinh. Tuy nhiên việc lựa chọn hình thức nào phải có những hiểu biết

về bản chất AMD, về yêu cầu xử lý và phải có kiến thức về các giải pháp xử lý mới có thể có được sự lựa chọn hợp lý. Sự ổn định và bền vững của bất kỳ hệ nào mà ta lựa chọn đều là yếu tố hàng đầu trong các tiêu chí lựa chọn.

5.4.2. Đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường mỏ nickel Bản Phúc

Xuất phát từ các nguyên nhân gây ô nhiễm môi trường và các nguy cơ ô nhiễm môi trường tiềm ẩn trong tương lai. Vấn đề then chốt là phải làm giảm sự tiếp xúc của các khoáng vật quặng với không khí, Các nguồn thải phải được thu gom và xử lý. nghiên cứu sinh đề xuất một số giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc như sau:

- Đối với hồ thải quặng đuôi trước tiên phải giữ an toàn cho đập để tránh sự cố vỡ đập bằng cách thường xuyên kiểm tra độ an toàn của đập. Tiến hành bơm phủ lớp bùn đất trên bề mặt sau khi khai thác xong. Quan trắc môi trường hồ thải định kỳ để giám sát môi trường.

Cần xây dựng một đập ngăn nước phía hạ lưu của nhà máy tuyển quặng trong thung lũng Tây Bản Phúc. Đập này sẽ tập hợp khối lượng trầm tích từ hầm lò khai thác, khu chứa quặng nguyên khai, khu nhà máy và các chất thải khác tại hạ lưu của khu nhà máy.

Diện tích yêu cầu đối với hồ chứa trầm tích khoảng 1.800 m² với trữ lượng 4.000m³, việc bổ sung đá vôi như một nhân tố trung hoà vào dòng đuôi quặng là cần thiết nhằm đảm bảo trong quá trình nhà máy hoạt động nước thải ra từ đập đuôi quặng sẽ được trung hoà.

Quặng đuôi sẽ được phủ bởi ít nhất là 4m nước trong quá trình hoạt động và 5m khi đóng cửa mỏ. Lớp nước phủ bổ sung vào lớp nước tối thiểu 2 m là để dự phòng bay hơi. Với đuôi quặng có khả năng tạo axit thì đòi hỏi cần phải được thải bằng ống ngầm ngập dưới mặt nước ít nhất 1m.

Trong thời kỳ đóng cửa mỏ cần phải tạo ra lớp vật liệu dày 100mm, ít thấm phủ trên lớp quặng đuôi. Điều này được thực hiện bằng cách bơm các vật liệu tàn tích và sùn tích qua hệ thống thải quặng đuôi. Khoảng 5000 m³ vật liệu được bơm vào cuối giai đoạn vận hành.

- Đối với nước thải hầm lò, nước mưa chảy tràn qua sân công nghiệp, đường vận tải nội mỏ, bãi chứa quặng nguyên khai cần phải xây dựng các hệ thống thu gom

nước để tập trung xử lý trước khi thải ra môi trường.

- Đối với chất thải rắn dạng đồ đồng phát sinh trong quá trình khai thác phải được quy hoạch và thiết kế bãi thải được xây dựng tường ngăn bằng các vật liệu có tính trung hòa acid, xây dựng hệ thống xử lý nước thải, đặc biệt là nước thải acid mỏ.

Các biện pháp giảm thiểu ô nhiễm được áp dụng tại mỏ nickel Bản Phúc hiệu quả nên các vấn đề môi trường được kiểm soát khá tốt, không xảy ra các sự cố môi trường, sự phân tán các kim loại nặng vào môi trường được kiểm soát và xử lý. Tuy nhiên các quá trình môi trường tại hồ thải quặng đuôi và các bãi chứa, bãi thải quặng có thể kéo dài hàng trăm năm sau khi kết thúc khai thác, do vậy cần phải xử lý triệt để vấn đề tạo dòng thải acid mỏ và phân tán kim loại nặng vào môi trường.

5.4.3. Đề xuất các giải pháp phòng ngừa và giảm thiểu ô nhiễm môi trường cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

Các vấn đề ô nhiễm môi trường tại khu vực Suối Cùn chủ yếu là do sự oxy hóa các khoáng vật sulfid trong các moong, các bãi chứa, bãi thải rắn, bãi thải quặng đuôi, nước thải hầm lò, ... làm phát sinh AMD và phân tán các kim loại nặng ra môi trường. Do vậy cần phải có những giải pháp xử lý các vấn đề ô nhiễm môi trường.

Đặc điểm các thân quặng của khu mỏ Suối Cùn - Hà Trì khá nông nên phương pháp khai thác lộ thiên sẽ tạo ra các moong có diện tích lớn, lượng nước thoát ra từ moong sẽ rất lớn, nhất là vào mùa mưa. Nước mưa sẽ hòa tan các kim loại được giải phóng từ các khoáng vật, do vậy cần phải xây dựng hệ thống xử lý loại nước mưa chảy tràn và nước trong các moong khai thác.

Cần xây dựng hồ thải quặng đuôi và có giải pháp bảo vệ môi trường từ quặng đuôi, có thể tham khảo mỏ nickel Bản Phúc về phương pháp thu gom và xử lý quặng đuôi.

Có thể sử dụng phương pháp địa môi trường để trung hòa acid mỏ bằng các vật liệu sẵn có trong khu vực là các đá cacbonat. Các khu vực bãi chứa, bãi thải cần được quy hoạch và xây dựng bằng vật liệu có tính kiềm để làm giảm sự phát sinh dòng thải acid mỏ.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

1. Mô hình địa môi trường các mỏ sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma là mô hình lý thuyết được trình bày dưới dạng mô tả. Các hợp phần của mô hình địa môi trường là các yếu tố ảnh hưởng đến môi trường (đặc điểm quặng hóa, đặc điểm tự nhiên, đặc điểm địa chất khoáng sản, đặc điểm thủy văn, các hoạt động khoáng sản, ...), các quá trình môi trường và các dấu hiệu môi trường.

2. Mỏ nickel Bản Phúc và cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có cùng kiểu mô hình địa môi trường là mỏ Ni - Cu nguồn gốc magma dung ly, tồn tại hai loại quặng là quặng đặc sít và quặng xâm tán, thành phần khoáng vật quặng chủ yếu là pyrotin, chalcopyrit, penlandit. Các khoáng vật sulfid có trong thành phần của hai mỏ khi bị phong hóa sẽ tạo thành dòng thải acid mỏ và là phân tán kim loại nặng. Tuy nhiên, mỗi mỏ lại có những đặc điểm riêng về điều kiện tự nhiên, đặc điểm quặng hóa và các công trình khai thác do vậy mà dấu hiệu môi trường của hai mỏ có những điểm khác biệt.

3. Các kết quả tính toán cân bằng acid - bazơ và kết quả thí nghiệm với các loại quặng của các mỏ sulfid nickel - đồng có nguồn gốc magma tại hai khu vực nghiên cứu cho thấy chúng đều có khả năng tạo acid và tách chiết kim loại nặng cao. Do đó, những vấn đề môi trường tiềm ẩn ở cả hai khu vực là khả năng hình thành dòng thải acid mỏ và nguy cơ ô nhiễm kim loại nặng cho môi trường, đặc biệt là Cu và Ni.

4. Các biện pháp phòng ngừa ô nhiễm môi trường tại các mỏ sulfid nói chung và các mỏ sulfid nickel có nguồn gốc magma nói riêng là phải ngăn ngừa sự tiếp xúc của quặng với không khí để làm giảm quá trình oxy hóa tạo thành dòng thải acid mỏ. Tại mỏ nickel Bản Phúc, các giải pháp đã và đang được tiến hành khá tốt. Tuy nhiên cần phải duy trì các công trình bảo vệ môi trường trong những năm tiếp theo. Các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường của mỏ nickel Bản Phúc là tài liệu tham khảo quan trọng để áp dụng cho cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì. Tuy nhiên cần dựa vào đặc điểm thực tế các công trình khai thác của cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì để thực hiện.

Kiến nghị

1. Sự tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng vào môi trường tại các mỏ kim loại nói chung và các mỏ sulfid nickel - đồng nói riêng diễn ra trong thời gian dài trong và sau khi khai thác. Các quá trình ô nhiễm môi trường tại các mỏ sulfid diễn ra rất phức tạp, chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, do vậy cần có những nghiên cứu tiếp theo để làm rõ hơn, đặc biệt là vai trò của vi sinh vật.

2. Các cơ quan quản lý nhà nước khi thẩm định, phê duyệt các dự án khai thác và chế biến khoáng sản sulfid cần chú ý đến những nguy cơ tạo thành dòng thải acid mỏ và sự phân tán các kim loại nặng vào môi trường. Khi kết thúc các hoạt động khoáng sản phải thực hiện nghiêm chỉnh việc đóng cửa mỏ để đảm bảo không gây ô nhiễm môi trường.

3. Các doanh nghiệp khai thác và chế biến khoáng sản sulfid cần chấp hành nghiêm chỉnh các biện pháp bảo vệ môi trường, đặc biệt không được xả nước thải có tính acid và chứa các kim loại nặng chưa được xử lý vào môi trường. Phải thực hiện công tác quan trắc môi trường định kỳ để giám sát các nguy cơ tiềm ẩn gây ô nhiễm.

4. Có thể sử dụng các giải pháp địa môi trường để giảm thiểu ô nhiễm môi trường do sự tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại nặng như quy hoạch những khu vực chứa quặng đuôi, xây dựng đập, xây dựng những bãi chứa quặng thải bằng những vật liệu có tính trung hòa acid, thu gom nước thải hầm lò, nước mưa chảy tràn qua các khu vực bãi chứa, bãi thải, sân công nghiệm để xử lý trước khi thải ra môi trường.

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ
CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. **Phạm Văn Chung** (2017) “*Ý nghĩa của mô hình địa môi trường mở khoáng trong quản lý tài nguyên khoáng sản theo hướng phát triển bền vững. Áp dụng tại mỏ nickel Bản Phúc - Sơn La*”. Tạp chí Tài nguyên và Môi trường. Số 18 (272)/9-2017. ISSN: 1859-1477.

2. **Phạm Văn Chung** (2017). *Kết quả ban đầu nghiên cứu đánh giá ô nhiễm kim loại nặng trong môi trường nước mặt ở mỏ nickel Bản Phúc*. Tạp chí Tài nguyên và Môi trường. Số 7 (261)/4-2017. ISSN: 1859-1477.

3. **Phạm Văn Chung** (2017) “*Hoạt động khai thác khoáng sản theo hướng phát triển bền vững tại mỏ nickel Bản Phúc, tỉnh Sơn La*”. Kỷ yếu hội thảo “Giảng đường xanh - Hướng tới bảo vệ môi trường và phát triển bền vững”. Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội. Nhà xuất bản Lao Động. ISBN: 978-604-59-9003-2.

4. **Pham Van Chung** (2018). “*Environmental geochemistry characteristics and concerned matter at Ban Phuc nickel mine, muong khoa commune, Bac Yen district, Son La province*”. Proceedings GEOSEA 2018. Nhà xuất Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. ISBN: 978-604913-751-8.

5. **Pham Van Chung** (2019). “*Environmental geological characteristics village area 5, Ha Tri commune, Hoa An district, Cao Bang province*”. Proceedings Innovative Water Solutions for Viet Nam and Region - Vietnam International water Week 2019 (VACI 2019). Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội. ISBN: 978-604-67-1216-9.

6. **Phạm Văn Chung**, Nguyễn Thị Phương Thanh (2020). “*Đặc điểm các thân quặng nickel - đồng khu vực thôn 5, xã Hà Trì, huyện Hòa An, tỉnh Cao Bằng*”. Tạp chí Tài nguyên và Môi trường. Số 13 (339)/7-2020. ISSN: 1859-1477.

7. **Phạm Văn Chung**, Đỗ Mạnh Tuấn (2021). “*Đặc điểm địa môi trường và sự tạo thành dòng thải acid tại mỏ pyrit Minh Quang, huyện Ba Vì, thành phố Hà Nội*”. Tạp chí Khoa Học Tài nguyên và Môi trường số 38 (12/2021). ISSN 0866-7608.

8. **Phạm Văn Chung**, Nguyễn Thị Phương Thanh, Nguyễn Khắc Hoàng Giang (2021). “*Nghiên cứu sự tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán các kim loại*

nặng vào môi trường tại mỏ nickel Bản Phúc”. Hội thảo “Nghiên cứu chuyên giao, ứng dụng khoa học công nghệ trong sử dụng hợp lý tài nguyên, bảo vệ môi trường và phát triển bền vững”. Nhà xuất bản Khoa học Tự Nhiên và Công nghệ. ISBN: 978-604-9988-83-7.

9. **Phạm Văn Chung**, Nguyen Van Pho, Nguyen Thi Thuc Anh (2022). “*Signs of acid mine drainage and distribution of heavy metal into the environment at Ban Phuc nickel mine*”. Proceedings of Vietnam International water conference (VIWC 2022) Dan Tri Publishing House, ISBN: 978-604-331-965-1

10. **Phạm Văn Chung**, Nguyen Van Pho, Nguyen Thi Thuc Anh (2022). “*forecasting potential risks of environmental pollution in the Ha Tri nickel mine*”. In *Proceedings “Technology in Natural Disaster Prevention and Risk Reduction”* at Hanoi University of Natural Resources and Environment, Vietnam, on 31 August 2022. PUBLISHING HOUSE FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY. ISBN: 978-604-357-070-0.

11. **Phạm Văn Chung**, Vũ Thị Hồng Cẩm, Nguyễn Thị Mai Hương (2023). “*Kết quả thí nghiệm sự tạo thành dòng thii axit mỏ và giải phóng kim loại nặng từ quặng sunfua nickel tại bãi chứa quặng mỏ nickel Bản Phúc*”. Kỷ yếu Hội nghị khoa học toàn quốc “Địa hóa, môi trường và phát triển bền vững” Nhà xuất bản Khoa học Tự Nhiên và Công nghệ. ISBN: 978-604-357-130-1.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Joan O. Grimalt, Miguel Ferrer, Enrique Macpherson. (1999). *The mine tailing accident in Aznalcollar*. *The Science of the Total Environment* 242 1999 (3-11).
2. Katarzyna Sołek-Podwika, Krystyna Ciarkowska, Dorota Kaleta. (2016). Assessment of the risk of pollution by sulfur compounds and heavy metals in soils located in the proximity of a disused for 20 years sulfur mine (SE Poland). *Journal of Environmental Management*. Volume 180, 15 September 2016, Pages 450-458
3. Neale, A. (2003). “*Overview of the ARD Management Program at PT Freeport Indonesia Operations in Papua Province, Indonesia*.” In *Proceedings of Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD 2003)*. Cairns, Queensland, Australia.
4. Miller S. D, Andrina J. and Richards. D (2003a). “*Overburden Geochemistry and ARD ScaleUp investigations at the Grasberg Mine, Papua Province, Indonesia*.” In *Proceedings of Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD 2003)*. Cairns, Queensland, Australia.
5. Miller S. D., Smart R. St., Andrina J. and Richards. D (2003b). “*Evaluation of Limestone Covers and Blends for Long Term ARD Control at the Grasberg Mine, Papua Province, Indonesia*.” In *Proceedings of Sixth International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD 2003)*. Cairns, Queensland, Australia.
6. Schumann R, Robertson AM, Gerson AR, Fan R, Kawashima N, Li J and Smart StC (2015). Iron sulfides ain’t iron sulfides: a comparison of acidity generated during oxydation of Pyrite and pyrrhotite in waste rock and tailing materials. In *Proceedings of the 10th International Conference on AcidRock Drainage and International Mining and Water Association Annual Conference, 21-24 April 2015, Santiago, Chile*.
7. Smith, K.S., Ramsey, C.A., and Hageman, P.L., 2000, Sampling strategy for the rapid screening of mine-waste dumps on abandoned mine lands: ICARD 2000, *Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., v. II, p. 1453-1461.

8. Hakou Rachid et al., 2005. *Environmental Characterization of the Abandoned Kettara Mine Wastes (Moroco)*. *Post-Mining 2005, November 16-17, Nancy, France*. <http://crc-bussiere.uqat.ca/hakkouetal.pdf>
9. Nguyễn Văn Phổ, Phạm Tích Xuân (2011): “*Mô hình địa môi trường các mỏ khoáng và ý nghĩa của chúng trong đánh giá ảnh hưởng môi trường do khai thác mỏ*”. Tạp chí Các khoa học về trái đất, số 33(4) 661-668.
10. Nguyễn Văn Phổ (2013), “*Phong hoá nhiệt đới ẩm Việt Nam*”, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.
11. Trần Trọng Hòa, Trần Tuấn Anh, Phạm Thị Dung, Ngô Thị Phương, Borisenko, A.S., Izokh, A.E., 2011. Sinh khoáng Permi - Trias miền Bắc Việt Nam. Tạp chí các Khoa học về Trái Đất, 33(3Đb), 409-422.
12. Hoa, T.T., Izokh, A.E., Polyakov, G.V., Borisenko, A.S., Anh, T.T., Balykin, P.A., Phuong, N.T., Rudnev, S.N., Van, V.V., Nien, B.A. 2008a. Permo-Triassic magmatism and metallogeny of Northern Vietnam in relation to the Emeishan plume. *Russian Geology and Geophysics* 49, 480-491.
13. Lepvrier, C., Faure, M., Vuong, N.V., Tich, V.V., Lin, W., Thang T.T., Phuong T.H. 2011. North-directed Triassic nappes in Northeastern Vietnam (East Bac Bo). *Journal of Asian Earth Sciences* 41, 56-68.
14. Tri, T.V., Khuc, V. (eds) 2011. *Geology and Earth Resources of Vietnam*. Publishing House for Science and Technology, 645 p (In English).
15. Trần Văn Trị, Vũ Khúc (2010), “*Địa chất và tài nguyên Việt Nam*”, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.
16. Lê Thạch Xinh và Hoàng Trí Nghị (1964), *Cấu tạo địa chất vùng Tạ Khoa*, Tạp san Địa Chất, số 33 -1964.
17. Hà Phát Vinh, Dư Khai Cơ và Đàm Nhật Tông (1964), *Báo cáo tổng kết thăm dò khoáng sàng đồng - nickel Bản Phúc*, Lưu trữ Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội.
18. Đinh Hữu Minh (2003), “*Cấu trúc địa chất và đặc điểm quặng hóa sulfid Nickel - Đồng mỏ Bản Phúc Sơn La*”. Luận án tiến sĩ - Thư viện đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
19. Đinh Hữu Minh, Nguyễn Ngọc Hải và nnk (2006), “*Báo cáo thăm dò mỏ Nickel - Bản Phúc*”. Trung tâm Thông tin Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.

20. Barnes S. J. (1993), *Reconnaissance geochemical study of Ban Phuc nickel deposit and associated rocks, Northern Vietnam*, Report of BPNM, Institute of Minerals, Energy and Construction, Australia.

21. Polyakov G.V., R.A. Shelepaev, Tran T.H., A.E. Izokh, P.a. Balykin, Ngo T.Tp, Tran Q.H., Bui A.N., 2009. The layered peridotite - gabbro complex as manifestation of Permo-Triassic mantle plume in Northern Vietnam. *Russian Geology and Geophysics* 50, 501-516.

22. Trần Trọng Hoà và nnk (2005), “*Hoạt động magma nội mảng lãnh thổ Việt Nam và khoáng sản liên quan*” Lưu trữ Viện Địa chất - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội.

23. Faure, M., Lepvrier, C., Nguyen, V.V., Vu, V.T., Lind, W., Chend, Z. 2014. The South China block-Indochina collision: where, when, and how? *Journal of Asian Earth Sciences* 79, 260-274.

24. Hoa, T.T., Anh, T.T., Phuong, N.T., Pham, T.D., Tran, V.A., Izokh, A. E., Borisenko, A.S., Lan, C.Y., Chung, S.L., Lo, C.H. 2008b. PermoTriassic intermediate-felsic magmatism of the Truong Son belt, eastern margin of Indochina. *Comptes Rendus Geoscience* 340, 112-126.

25. Halpin, J.A., Tran, H.T., Lai, C.-K., Meffre, S., Crawford, A.J., Zaw, K., 2016. *UPb zircon geochronology and geochemistry from NE Vietnam: a ‘tectonically disputed’ territory between the Indochina and South China blocks*. *Gondwana Res.* 34, 254-273.

26. Thanh, N.X., Hai, T.T., Hoang, N., Lan, V.Q., Kwon, S., Itaya, T., Santosh, M. 2014. Backarc mafic-ultramafic magmatism in Northeastern Vietnam and its regional tectonic significance. *Journal of Asian Earth Sciences* 90, 45-60.

27. Cai J.X., Zhang K.J., 2009 A new model for the Indochina and South China collision during the Late Permian to the Middle Triassic. *Tectonophysics* 467, 35-43.

28. Trần Minh Quang và nnk, (2017). *Báo cáo kết quả thăm dò quặng niken - đồng tại khu vực thuộc xã Quang Trung và xã Hà Trì, huyện Hòa An, tỉnh Cao Bằng*. Trung tâm lưu trữ Địa chất, Hà Nội.

29. Nguyễn Khắc Giảng, 1999. *Đặc điểm địa hóa khoáng vật vỏ phong hóa trên các đá siêu mafic miền Bắc Việt Nam và sinh khoáng có liên quan*. Luận án tiến sĩ địa chất. Hà Nội.

30. A.J. Naldrett (1981), "*Nickel Sulphide Deposits: Classification, Composition and Genesis*", *Economic Geology*, 75th Anniversary Volume, pp 628 - 685.
31. Plumlee, G.S., Smith, K.S., Montour, M.R., Ficklin, W.H., and Mosier, E.L., 1999. *Geologic controls on the composition of natural waters and mine waters draining diverse mineral-deposit types*, in Filipek, L.H., and Plumlee, G.S., eds., *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part B: Case Studies and Research Topics: Reviews in Economic Geology*, v.6B, p.373-432.
32. Plumlee, G.S., and Logsdon, M., eds. (1999) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Reviews in Economic Geology, Volume 6A, Processes, Techniques, and Health Issues*. Economic Geology Publishing Company, Littleton, Colorado, USA, 371 pp.
33. Plumlee, G.S. (1999) *The environmental geology of mineral deposits*, in Plumlee, G.S., and Logsdon, M., (eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Reviews in Economic Geology, Volume 6A, Processes, Techniques, and Health Issues*. Economic Geology Publishing Company, Littleton, Colorado, USA, pp. 71-116.
34. Plumlee G.S., and Nash J.T., 1995: *Geoenvironmental models of mineral deposits - fundamentals and applications*: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-831, p.1-9.
35. Tuttle, M., Wanty, R.B., and Berger, B.R., 2002, *Environmental behavior of two molybdenum porphyry systems*, in Seal, R.R., II, and Foley, N.K., eds., *Geoenvironmental Models of Mineral Deposits: U.S Geological Survey Open-File Report 02-195*, p. 65-86.
36. Foley, N.K., 2002a, *Environmental geochemistry of platform carbonate-hosted sulfide deposits*, in Seal, R.R., II, and Foley, N.K., eds., *Geoenvironmental Models of Mineral Deposits: U.S Geological Survey Open-File Report 02-195*, p. 87-100.
37. Foley, N.K., 2002b, *A geoenvironmental lifecycle model: The Austinville platform carbonate deposit, Virginia*, in Seal, R.R., II, and Foley, N.K., eds., *Geoenvironmental Models of Mineral Deposits: U.S Geological Survey Open-File Report 02-195*, p. 101-107.

38. Seal, Robert R. II and Foley, Nora K., "Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types" (2002). Publications of the US Geological Survey. 83. Geoenvironmental Model Refinement and Advancement.

39. Nguyen Van Pho, 2006: *Migration capacity of lead in environment and problem of lead pollution in Cho Dien lead-zinc deposit*, Geology, Serie B, No.27, pp.79-86.

40. Phạm Tích Xuân, Nguyễn Văn Phở, Hoàng Tuyết Nga, Đoàn Thu Trà, Cai Vân Trường, Nguyễn Văn Thu, Vũ Mạnh Long, 2010. “*Vấn đề ô nhiễm kim loại nặng do hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản kim loại ở miền Bắc Việt Nam*”. Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học kỷ niệm 35 năm ngày thành lập Viện KHCNVN, 2010.

41. Bùi Tá Long (2008), *Mô hình hóa môi trường*, Nhà xuất bản Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.

42. Seal R. R., N. K. Foley (2002) Progress on Geoenvironmental Models for Selected Mineral Deposit Types. Publications of the US Geological Survey.

43. Cox D.P. and Singer, D.A., eds., 1986: *Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693*, 379p.

44. Adam P Jarvis et al, 2012. *Mitigation of pollution from abandoned metal mines*. Environment Agency - March 2012.

45. Williams, D, Fowler, J, van Zyl, D (2015). ‘Mine planning and acidrock management’, in *Proceedings of the 10th International Conference on AcidRock Drainage and IMWA 2015*, 21-24 April - 1 May 2015, Santiago, Chile, 10 pp.

46. Wilson, GW (2008). ‘Why are we still struggling with acid rock drainage?’, *Geotechnical News*, June, pp. 51-56.

47. Wilson, GW, Williams, DJ, Rykaar, EM (2003). ‘The integrity of cover systems: an update’, in *Proceedings of 6th International Conference on Acid Rock Drainage* (pp. 445-451), 14-17 July 2003, Cairns, Australia.

48. Wunderly, MD, Blowes, DW, Frind, EO, Ptacek, CJ (1996). ‘Sulfide mineral oxydation and subsequent reactive transport of oxydation products in mine tailings impoundments: a numerical model’, *Water Resources Research*, 32(10):3,173-3,187.

49. Lê Đăng Hoan, Nguyễn Anh, Lê Minh Châu, Vũ Thúy Loan (1998), "*Dòng thải acid trong khai thác quặng sulfid*", Tạp chí Công nghiệp mỏ 5, tr.9-18.

50. Scott, PA, Eastwood, G, Johnston, G, Carville, D (1997). 'Early exploration and pre-feasibility drilling data for the prediction of acidmine drainage for waste rock', in McLean, R, Bell, C (eds), *Proceedings of the 3rd Australian Workshop on Acid Mine Drainage* (pp. 195-201), Townsville, Australian Centre for Minesite Rehabilitation Research, Darwin Northern Territory.

51. Taylor, JR, Pape, S, Murphy, NC (2005). 'A summary of passive and active treatment technologies for acidand metalliferous drainage (AMD)', in *Proceedings of the 5th Australian Workshop on Acid Drainage*, Freemantle, Western Australia.

52. Waters, J, Pape, S, Taylor, J (2014). 'Tools for assisting with the assessment of acidand metalliferous drainage (AMD), in Miller, H, Preuss, L (eds), *Proceedings of the Eighth Australian Workshop on Acidand Metalliferous Drainage*, 29 April - 2 May 2014, Adelaide, South Australia, JKTech Pty Ltd, Brisbane, pp. 435.

53. Wright, J, Conca, JL (2006). 'Remediation of groundwater contaminated with Zn, Pb and Cd using a permeable reactive barrier with Apatite II', in Barnhisel, RI (ed.), *7th International Conference on AcidRock Drainage (ICARD)* (pp. 2514-2527), 26-30 March 2006, St Louis, Missouri, American Society of Mining and Reclamation, Lexington, Kentucky.

54. Ziemkiewicz, P., J. Renton and T. Rymer, 1991, "*Prediction and Control of AcidMine Drainage: Effect of Rock Type and Amendment*," in Proceedings Twelfth Annual West Virginia Surface Mine Drainage Task Force Symposium, April 3-4, 1991, Morgantown, West Virginia.

55. Andrina, J, Wilson, GW, Miller, SD (2012). 'Waste rock kinetic testing program: assessment of the scale up factor for sulfate and metal release rates', in WA Price, C Hogan, G Tremblay (eds), *Proceedings of the Ninth International Conference on AcidRock Drainage*, Ottawa, Canada, 20-26 May 2012, 12 pp.

56. Blowes, D, Moncur, M, Smith, L, Segeo, D, Bennett, J, Garvie, A, Linklater, C, Gould, D, Reinson, J (2006). 'Construction of two large-scale waste rock piles in a continuous permafrost region', in Barnhisel, RI (ed.), *Proceedings of the Seventh*

International Conference on AcidRock Drainage (pp. 187-199), St Louis, Missouri, American Society of Mining and Reclamation.

57. Bratty, M, Lawrence, R, Kratochvil, D, Marchant, B (2006). ‘*Applications of biological H₂S production from elemental sulfur in the treatment of heavy metal pollution including acidrock drainage*’, in Barnhisel, RI (ed.), *Proceedings 7th International Conference on AcidRock Drainage* (pp. 271-281), St Louis, Missouri, 26-30 March 2006, American Society of Mining and Reclamation, Lexington, Kentucky.

58. Dowd (2005). ‘The business case for prevention of acidrainage’, in Bell, CL, McLean, RW (eds), *Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Acid Mine Drainage* (pp. 1-10), Fremantle, Western Australia, 29-31 August 2005, Australian Centre for Minerals Extension and Research, Brisbane.

59. Hakan Tarras-Wahlberg N., Lan T. Nguyen, 2008. *Environmental regulatory failure and metal contamination at the Giap Lai Pyrite mine, Northern Vietnam*. *Journal of Environmental Management*, Volume 86, Issue 4, Pages 712-720.

60. Ritchie, AIM, Bennett, JW (2003). ‘The Rum Jungle mine: a case study’, in Jambor, JL, Blowes, DW, Ritchie, AIM (eds), *Environmental aspects of mine wastes*, Mineralogical Association of Canada short course series, vol. 31, pp. 385-406,

61. Robertson, A, Kawashima, N, Smart, R, Schumann, R (2015). ‘Management of pyrrhotite tailings at Savannah Nickel Mine: a decade of experience and learning’, in *Proceedings of the 10th International Conference on Acid Rock Drainage and International Mining and Water Association Annual Conference*, Santiago, Chile, 21-24 April 2015.

62. Taylor G, Spain A, Timms G, Kuznetsov, V, & Bennett J (2003). ‘The medium-term performance of waste rock covers - Rum Jungle as a case study’, in *Proceedings of the Sixth International Conference on Acid Rock Drainage* (pp. 383-397), 12-18 July 2003, Cairns, QLD, Australia.

63. Taylor, J, Waring, C (2001). ‘The passive prevention of ARD in underground mines by displacement of air with a reducing gas mixture: GaRDS’, *Mine Water and the Environment*, 20:2-7.

64. Richards, DG, Borden, RK, Bennett, JW, Blowes, DW, Logsdon, MJ, Miller, SD, Slater, S, Smith, L, Wilson, GW (2006). 'Design and implementation of a strategic review of AMD risk in Rio Tinto', in Barnhisel, RI (ed.), *Proceedings of the Seventh International Conference on Acid Rock Drainage* (pp. 1657-1672), St Louis, Missouri, American Society of Mining and Reclamation.

65. Ritchie, AIM (1994). 'Sulfide oxydation mechanisms: controls and rates of oxygen transport', in Jambor, JL, Blowes, DW (eds), *Short course handbook on environmental geochemistry of sulfide mine-wastes*, vol. 22, chapter 8, Mineralogical Association of Canada, Quebec.

66. Schmiermund R, L, M. C. Lazo and C. C. Parnow (2006). *Applications of geoenvironmental models to accelerated Eia and permitting processes for Andean porphyry Cu-Au deposit*. Paper presented at the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), March 26-30, 2006, St. Louis MO. R.I. Barnhisel (ed.) Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), 3134

67. Smith, K.S., Ramsey, C.A., and Hageman, P.L., 2000, *Sampling strategy for the rapid screening of mine-waste dumps on abandoned mine lands: ICARD 2000*, Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc., v. II, p. 1453-1461.

68. Patterson, BM, Robertson, BS, Woodbury, RJ, Talbot, B, Davis, GB (2006). 'Long-term evaluation of a composite cover overlaying a sulfidic tailings facility', *Mine Water and the Environment*, 25:137-145.

69. Dagenais, AM, Aubertin, M, Bussière, B (2006). 'Parametric study on the water content profiles and oxydation rates in nearly saturated tailings above the water table', in Barnhisel, RI (ed.), *Proceedings of the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)* (pp. 405-420), 26-30 March 2006, St Louis, Missouri, American Society of Mining and Reclamation, Lexington, Kentucky.

70. Brown, PL, Wickham, MP, Waples, JS, Stevens, CR, Payne, KL, Vinton, BG, Logsdon, M (2009). 'Estimation of long-term lime demand for remediation of ARD-contaminated groundwater at the Bingham Canyon Mine, Utah, USA', in *Proceedings: Securing the Future and 8th International Conference on AcidRock Drainage* (p. 10), 22-26 June 2009, Skelleftea, Sweden.

71. Bruno Bussière, 2009. *Acid Mine Drainage from Abandoned Mine Sites: Problematic and Reclamation Approaches*. Proc. of Int. Symp. on Geoenvironmental Eng., ISGE2009 September 8-10, 2009, Hangzhou, China.

72. Barbara Palumbo-Roe et al, 2009. *Prediction of the long-term performance of abandoned lead zinc mine tailings in a Welsh catchment* *Journal of Geochemical Exploration*. Volume 100, Issues 2-3, February-March 2009, Pages 169-181

73. Stewart, W, Miller, S, Thomas, JE, Smart, R (2003). 'Evaluation of the effects of organic matter on the net acidgeneration (NAG) test', in *Proceedings of the Sixth International Conference on AcidRock Drainage* (pp. 211-222), 12-18 July 2003, Cairns.

74. Warwick A. Stewart , Stuart D. Miller, and Roger Smart (2006) "Advances in acid rock drainage (ard) characterisation of mine wastes". *At the 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD), March 26-30, 2006, St. Louis MO. R.I. Barnhisel (ed.) Published by the American Society of Mining and Reclamation (ASMR), 3134 Montavesta Road, Lexington, KY 40502.*

PHỤ LỤC KẾT QUẢ PHÂN TÍCH MẪU

Bảng 1: Kết quả thí nghiệm đối với quặng sulfid đặc sít mỏ nickel Bản Phúc

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/l)						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
1	BPĐX.T1	5,2	238	2,1312	1,4734	83,045	0,0478	0,0145
2	BPĐX.T2	4,5	242	2,1621	1,5554	94,587	0,0654	0,0187
3	BPĐX.T3	4,2	257	2,5386	1,6732	116,641	0,0683	0,0191
4	BPĐX.T4	4	390	2,6713	1,7224	136,514	0,0702	0,0342
5	BPĐX.T5	3,8	396	2,7835	1,8645	134,825	0,0713	0,0366
6	BPĐX.T6	3,3	392	2,6536	1,9231	135,542	0,0744	0,0358
7	BPĐX.T7	3	387	2,9132	2,0356	136,314	0,0688	0,0296
8	BPĐX.T8	3,1	385	3,1443	2,1103	136,623	0,0705	0,0356
9	BPĐX.T9	2,9	397	3,2242	2,4346	137,136	0,0712	0,0361
10	BPĐX.T10	2,9	410	3,2812	2,5606	136,915	0,0665	0,0325
11	BPĐX.T11	3	413	3,4768	2,6456	134,108	0,0682	0,0289
12	BPĐX.T12	2,7	404	3,1163	2,745	136,913	0,0596	0,0276
13	BPĐX.T13	2,8	409	3,0523	2,6658	134,701	0,0613	0,0284
14	BPĐX.T14	2,8	402	3,1406	2,8435	135,547	0,0647	0,0303
15	BPĐX.T15	2,6	421	3,0844	2,8135	136,424	0,0655	0,0307
16	BPĐX.T16	2,9	423	3,2231	2,9245	137,216	0,0671	0,0313
17	BPĐX.T17	2,8	436	3,4271	3,0429	138,811	0,0743	0,0346
18	BPĐX.T18	2,6	429	3,3215	3,1278	139,668	0,0745	0,0322
19	BPĐX.T19	2,5	435	3,4642	3,1341	140,213	0,0712	0,0322
20	BPĐX.T20	2,6	444	3,5125	3,1896	141,133	0,0736	0,0355
21	BPĐX.T21	2,6	450	3,5831	3,2631	140,932	0,0698	0,0287
22	BPĐX.T22	2,7	457	3,4726	3,1145	138,832	0,0705	0,0279
23	BPĐX.T23	2,5	463	3,5432	3,2108	139,247	0,0716	0,0288
24	BPĐX.T24	2,3	455	3,4812	3,1822	141,401	0,0715	0,0304
25	BPĐX.T25	2,3	469	3,4623	3,2212	140,915	0,0706	0,0297
26	BPĐX.T26	2,4	472	3,5519	3,3635	140,212	0,0745	0,0324
27	BPĐX.T27	2,3	468	3,4726	3,1145	138,832	0,0705	0,0279
28	BPĐX.T28	2,3	466	3,3215	3,1278	139,668	0,0745	0,0322
29	BPĐX.T29	2,5	472	3,4726	3,1145	138,832	0,0705	0,0279
30	BPĐX.T30	2,3	477	3,4623	3,2212	140,915	0,0706	0,0297
31	BPĐX.T31	2,4	486	3,5652	3,1842	141,302	0,0708	0,0303
32	BPĐX.T32	2,4	484	3,4812	3,0946	142,317	0,0711	0,0305
33	BPĐX.T33	2,1	490	3,3956	3,1325	145,133	0,0712	0,0297
34	BPĐX.T34	2,1	492	3,6512	3,2925	146,247	0,0707	0,0322

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/l)						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
35	BPĐX.T35	2,2	497	3,4612	3,2542	145,914	0,0714	0,0313
36	BPĐX.T36	2,1	498	3,4623	3,2212	146,715	0,0706	0,0288
37	BPĐX.T37	2,2	502	4,5203	3,2612	148,102	0,0685	0,0325
38	BPĐX.T38	2,3	489	4,571	3,1856	148,827	0,0703	0,0316
39	BPĐX.T39	2,5	512	4,4512	3,0724	149,206	0,0714	0,0321
40	BPĐX.T40	2,4	498	4,4878	3,2447	150,423	0,0708	0,0325
41	BPĐX.T41	2,2	505	4,5612	3,4212	151,245	0,0717	0,0321
42	BPĐX.T42	2,3	507	4,4256	3,4512	150,623	0,0712	0,0322
43	BPĐX.T43	2,1	502	4,4123	3,3623	150,745	0,0689	0,0312
44	BPĐX.T44	2,3	514	4,3625	3,3115	148,912	0,0714	0,0305
45	BPĐX.T45	2,3	524	4,2315	3,2415	147,623	0,0706	0,0299
46	BPĐX.T46	2,5	519	4,3315	3,3126	150,132	0,0678	0,0235
47	BPĐX.T47	2,3	515	4,5312	3,4832	153,105	0,0756	0,0325
48	BPĐX.T48	2,3	522	4,4721	3,2415	150,412	0,0742	0,0314
49	BPĐX.T49	2,2	526	4,6312	3,4612	151,723	0,0733	0,0298
50	BPĐX.T50	2,1	524	4,5133	3,4825	151,431	0,0732	0,0308
51	BPĐX.T51	2,1	518	4,7123	3,5648	151,834	0,0722	0,0314
52	BPĐX.T52	2,3	521	4,6536	3,4236	151,731	0,071	0,0306
53	BPĐX.T53	2,2	525	4,5335	3,5512	151,623	0,0714	0,0305
54	BPĐX.T54	2	528	4,4686	3,4521	150,112	0,0705	0,0288
55	BPĐX.T55	2,1	533	4,6523	3,5841	154,213	0,0721	0,0323
56	BPĐX.T56	2	530	4,7125	3,5964	151,324	0,0714	0,0318
57	BPĐX.T57	2	529	4,6625	3,4723	150,643	0,0712	0,0304
58	BPĐX.T58	2,1	531	4,5923	3,5423	151,325	0,0708	0,0284
59	BPĐX.T59	2,1	535	4,4925	3,4612	151,413	0,0696	0,0279
60	BPĐX.T60	2,2	533	4,5876	3,4512	150,932	0,0715	0,0312

Bảng 2: Kết quả thí nghiệm đối với quặng sulfid xâm tán mỏ Nickel Bản Phúc

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/l)						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
1	BPXT.T1	6,6	122	0,5423	0,4623	21,715	0,0245	0,005
2	BPXT.T2	6,4	137	0,5623	0,4417	32,135	0,0251	0,006
3	BPXT.T3	6,2	140	0,6348	0,4812	32,645	0,0263	0,006
4	BPXT.T4	6,1	146	0,7563	0,5468	33,214	0,0371	0,008
5	BPXT.T5	6,2	152	0,7745	0,5831	43,425	0,0386	0,007
6	BPXT.T6	5,8	167	0,8121	0,6015	43,324	0,0378	0,006
7	BPXT.T7	5,9	185	0,8314	0,6214	43,464	0,0381	0,008
8	BPXT.T8	5,8	197	0,8401	0,6413	43,024	0,0396	0,007
9	BPXT.T9	5,5	210	0,8524	0,6524	43,324	0,0387	0,007
10	BPXT.T10	5,5	211	0,8497	0,6712	43,246	0,0376	0,008
11	BPXT.T11	5,3	202	0,8624	0,7102	43,642	0,0357	0,008
12	BPXT.T12	5,4	209	0,8596	0,7014	43,521	0,0361	0,007
13	BPXT.T13	5,2	202	0,8426	0,6921	43,356	0,0372	0,007
14	BPXT.T14	5,1	221	0,8497	0,6856	43,432	0,0298	0,006
15	BPXT.T15	4,7	223	0,8632	0,7005	43,624	0,0306	0,006
16	BPXT.T16	4,3	236	0,8546	0,7124	43,326	0,0312	0,007
17	BPXT.T17	4,4	229	0,8615	0,7214	43,512	0,0331	0,006
18	BPXT.T18	4,6	235	0,8534	0,7125	43,487	0,0342	0,008
19	BPXT.T19	4,5	244	0,8712	0,7324	43,678	0,0354	0,011
20	BPXT.T20	4,2	250	0,8736	0,7415	43,589	0,0346	0,009
21	BPXT.T21	4,1	257	0,8691	0,7542	43,612	0,0351	0,008
22	BPXT.T22	4,4	263	0,8761	0,7486	43,512	0,0335	0,009
23	BPXT.T23	4,2	255	0,8456	0,7312	43,425	0,0328	0,009
24	BPXT.T24	4,2	269	0,8623	0,7445	43,325	0,0316	0,008
25	BPXT.T25	4,1	272	0,8526	0,7398	43,645	0,0317	0,009
26	BPXT.T26	4	268	0,8625	0,7456	43,524	0,0326	0,008
27	BPXT.T27	3,8	266	0,8742	0,7569	43,712	0,0356	0,012
28	BPXT.T28	3,6	272	0,8856	0,7712	43,812	0,0368	0,01
29	BPXT.T29	3,9	273	0,8698	0,7702	43,736	0,0372	0,011
30	BPXT.T30	3,8	282	0,8712	0,7856	44,023	0,0369	0,009
31	BPXT.T31	3,7	284	0,8836	0,7912	44,087	0,0376	0,008
32	BPXT.T32	3,9	290	0,8656	0,7758	43,932	0,0346	0,011
33	BPXT.T33	3,8	292	0,8597	0,7623	43,914	0,0375	0,008
34	BPXT.T34	3,6	297	0,8639	0,7515	43,856	0,0368	0,011
35	BPXT.T35	3,9	298	0,8712	0,7656	43,812	0,0354	0,009
36	BPXT.T36	3,8	302	0,8856	0,7725	44,123	0,0389	0,012

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/l)						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
37	BPXT.T37	3,7	289	0,8903	0,7821	44,025	0,0375	0,011
38	BPXT.T38	3,9	312	0,8854	0,7725	43,932	0,0378	0,011
39	BPXT.T39	3,8	298	0,8723	0,7648	43,824	0,0396	0,008
40	BPXT.T40	3,7	305	0,8821	0,7923	44,025	0,0387	0,009
41	BPXT.T41	3,9	307	0,9021	0,7812	44,123	0,0401	0,012
42	BPXT.T42	3,8	302	0,9045	0,7942	43,925	0,0387	0,011
43	BPXT.T43	3,6	314	0,8836	0,7738	43,726	0,0349	0,008
44	BPXT.T44	3,9	324	0,8748	0,7568	43,624	0,0378	0,009
45	BPXT.T45	3,8	317	0,8903	0,7821	44,025	0,0375	0,011
46	BPXT.T46	3,7	315	0,8723	0,7648	43,824	0,0396	0,008
47	BPXT.T47	3,6	322	0,8856	0,7712	43,812	0,0368	0,01
48	BPXT.T48	3,9	326	0,8712	0,7324	43,678	0,0354	0,011
49	BPXT.T49	3,8	324	0,8854	0,7725	43,932	0,0378	0,011
50	BPXT.T50	3,7	316	0,8923	0,7824	43,825	0,0387	0,01
51	BPXT.T51	3,9	321	0,8897	0,7712	43,647	0,0356	0,009
52	BPXT.T52	3,8	324	0,8975	0,7865	43,514	0,0324	0,007
53	BPXT.T53	3,7	326	0,9127	0,7923	43,645	0,0389	0,009
54	BPXT.T54	3,9	333	0,9012	0,7856	43,914	0,0387	0,008
55	BPXT.T55	3,8	330	0,8956	0,7924	43,825	0,0347	0,009
56	BPXT.T56	3,6	329	0,8923	0,7824	43,925	0,0367	0,01
57	BPXT.T57	3,9	333	0,9121	0,7823	40,123	0,0402	0,012
58	BPXT.T58	3,6	331	0,8812	0,7856	44,023	0,0359	0,009
59	BPXT.T59	3,9	332	0,9027	0,7723	43,645	0,0388	0,009
60	BPXT.T60	3,8	336	0,9032	0,7851	43,914	0,0382	0,008

**Bảng 3: Kết quả thí nghiệm với mẫu quặng Nickel đặc sít
cụm mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì**

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/l)						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
1	SCĐX.T1	5,4	312	4,5829	2,8912	157,512	0,0236	0,0115
2	SCĐX.T2	4,8	342	5,5625	3,5552	167,587	0,0352	0,0187
3	SCĐX.T3	4,6	358	5,6723	3,6712	168,641	0,0383	0,0132
4	SCĐX.T4	4,5	397	5,9813	3,8745	170,215	0,0398	0,0164
5	SCĐX.T5	3,4	406	6,6432	4,5325	174,201	0,0425	0,0214
6	SCĐX.T6	3,2	432	6,7658	4,6814	175,689	0,0446	0,0235
7	SCĐX.T7	2,9	487	6,9712	4,7516	174,512	0,0451	0,0256
8	SCĐX.T8	2,8	498	6,8912	4,6923	172,564	0,0427	0,0242
9	SCĐX.T9	2,5	418	7,0236	4,9721	173,631	0,0456	0,0247
10	SCĐX.T10	2,5	456	7,1415	5,2101	175,814	0,0464	0,0248
11	SCĐX.T11	2,3	483	7,3845	5,4203	178,647	0,0473	0,0236
12	SCĐX.T12	2,4	491	7,4812	5,7823	183,215	0,0484	0,0242
13	SCĐX.T13	2,2	509	7,5125	5,8447	182,149	0,0474	0,0239
14	SCĐX.T14	2,1	522	7,5642	5,8115	183,647	0,0476	0,0246
15	SCĐX.T15	2,2	531	7,4968	5,7914	181,575	0,0468	0,0231
16	SCĐX.T16	2,3	543	7,5712	5,8935	183,726	0,0471	0,0269
17	SCĐX.T17	2,4	556	7,6914	5,9123	184,215	0,0474	0,0258
18	SCĐX.T18	2,2	569	7,7423	5,9425	185,475	0,0479	0,0268
19	SCĐX.T19	2,3	575	7,8912	5,9512	186,723	0,0484	0,0271
20	SCĐX.T20	2,2	579	7,9423	6,0253	187,812	0,0498	0,0275
21	SCĐX.T21	2,1	582	8,0514	6,1346	188,925	0,0489	0,0277
22	SCĐX.T22	2	587	8,1542	6,2134	189,125	0,0495	0,0279
23	SCĐX.T23	2	593	8,1961	6,4139	189,325	0,0496	0,0281
24	SCĐX.T24	2,2	601	8,0842	6,1125	187,824	0,0456	0,0268
25	SCĐX.T25	2,1	608	8,1145	6,3625	188,712	0,0468	0,0274
26	SCĐX.T26	2,2	612	8,1654	6,4714	189,125	0,0471	0,0278
27	SCĐX.T27	2,1	618	8,2514	6,7546	189,725	0,0494	0,0284
28	SCĐX.T28	2,2	626	8,3412	6,8912	191,142	0,0501	0,0297
29	SCĐX.T29	1,9	632	8,3648	6,9514	190,817	0,0507	0,0288
30	SCĐX.T30	1,8	637	8,5123	7,0612	192,145	0,0513	0,0297
31	SCĐX.T31	2,4	641	8,5624	7,1425	192,514	0,0502	0,0287
32	SCĐX.T32	2,4	644	8,4986	7,0542	193,517	0,0512	0,0279
33	SCĐX.T33	2,1	649	8,6125	6,9832	197,569	0,0522	0,0288
34	SCĐX.T34	2,1	651	8,5824	6,8724	197,213	0,0506	0,0245

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần (mg/l)						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
35	SCĐX.T35	2,2	657	8,6425	6,9536	199,802	0,0516	0,0264
36	SCĐX.T36	2,1	662	8,7415	7,1125	202,524	0,0515	0,0314
37	SCĐX.T37	2	664	8,8913	7,0325	201,715	0,0514	0,0298
38	SCĐX.T38	2,1	669	8,8658	7,0517	201,232	0,0506	0,0301
39	SCĐX.T39	2,2	672	8,8765	7,1024	201,515	0,0512	0,0299
40	SCĐX.T40	2,1	678	8,8976	7,1325	201,924	0,0509	0,0308
41	SCĐX.T41	2,2	681	8,9312	7,1225	203,124	0,0512	0,0304
42	SCĐX.T42	2,3	675	8,8846	7,0214	202,416	0,0511	0,0297
43	SCĐX.T43	2,1	677	8,9425	7,0856	203,541	0,0532	0,0304
44	SCĐX.T44	2,3	684	9,0123	7,1425	204,213	0,0526	0,0311
45	SCĐX.T45	2,3	688	9,0325	7,1645	208,614	0,0536	0,0308
46	SCĐX.T46	2	692	9,0725	7,2147	209,656	0,0518	0,0304
47	SCĐX.T47	2,3	695	9,1216	7,3514	223,106	0,0521	0,0312
48	SCĐX.T48	2,3	692	9,1725	7,3742	224,325	0,0518	0,0317
49	SCĐX.T49	2,2	696	9,2235	7,3914	221,865	0,0514	0,0311
50	SCĐX.T50	2,1	694	9,1826	7,4215	224,647	0,0523	0,0324
51	SCĐX.T51	2,1	686	9,2546	7,4435	224,823	0,0542	0,0317
52	SCĐX.T52	2,3	690	9,1124	7,2564	219,848	0,0502	0,0308
53	SCĐX.T53	2,1	696	9,3642	7,3614	223,546	0,0534	0,0311
54	SCĐX.T54	1,7	703	9,4215	7,4235	225,642	0,0516	0,0314
55	SCĐX.T55	1,6	709	9,5647	7,5012	230,413	0,0523	0,0326
56	SCĐX.T56	1,5	711	9,8934	7,8716	238,512	0,0526	0,0346
57	SCĐX.T57	1,6	713	9,6314	7,5911	231,217	0,0513	0,0355
58	SCĐX.T58	1,7	704	9,6635	7,6489	232,218	0,0524	0,0348
59	SCĐX.T59	1,9	708	9,7529	7,7589	238,624	0,0536	0,0368
60	SCĐX.T60	1,8	714	9,8945	7,7924	239,125	0,0522	0,0344

**Bảng 4: Kết quả thí nghiệm với mẫu quặng nickel xâm tán mỏ
nickel Suối Cũn - Hà Trì**

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
1	SCXT.T1	6,5	155	1,0235	0,6548	52,512	0,0177	0,0056
2	SCXT.T2	6,4	158	1,1536	0,7425	58,914	0,0186	0,0087
3	SCXT.T3	6,3	162	1,3624	0,8746	61,214	0,0203	0,0094
4	SCXT.T4	6,2	166	1,4612	0,9645	64,563	0,0265	0,0115
5	SCXT.T5	6,2	169	1,5242	1,0523	66,213	0,0278	0,0117
6	SCXT.T6	6	171	1,5523	1,0845	67,123	0,0284	0,0121
7	SCXT.T7	5,5	174	1,5912	1,1203	67,524	0,0288	0,0123
8	SCXT.T8	5,4	182	1,6205	1,1426	67,756	0,0291	0,0131
9	SCXT.T9	5,5	186	1,6654	1,1712	67,615	0,0287	0,0128
10	SCXT.T10	5,5	198	1,6786	1,2236	68,945	0,0296	0,0135
11	SCXT.T11	5,3	206	1,7213	1,2546	69,125	0,0302	0,0139
12	SCXT.T12	4,4	215	1,7425	1,2863	69,912	0,0301	0,0138
13	SCXT.T13	4,2	225	1,7745	1,3426	71,214	0,0308	0,0142
14	SCXT.T14	4,3	234	1,7314	1,2934	70,523	0,0311	0,0138
15	SCXT.T15	4,2	245	1,7625	1,3428	71,343	0,0307	0,0135
16	SCXT.T16	4,3	253	1,7768	1,3824	72,214	0,0311	0,0143
17	SCXT.T17	3,9	266	1,8456	1,4215	74,642	0,0323	0,0156
18	SCXT.T18	3,6	278	1,8869	1,5746	76,425	0,0342	0,0164
19	SCXT.T19	3,5	284	1,8954	1,6234	77,546	0,0348	0,0175
20	SCXT.T20	3,5	299	1,9124	1,6748	77,945	0,0351	0,0177
21	SCXT.T21	3,6	315	1,8965	1,7145	78,569	0,0349	0,0181
22	SCXT.T22	3,4	328	1,9045	1,7235	78,845	0,0352	0,0184
23	SCXT.T23	3,3	336	1,9437	1,7845	79,631	0,0361	0,0188
24	SCXT.T24	3,2	347	1,9564	1,8247	79,746	0,0362	0,0186
25	SCXT.T25	3,3	359	1,8745	1,7867	78,814	0,0341	0,0174
26	SCXT.T26	3,5	366	1,8452	1,7764	75,698	0,0336	0,0168
27	SCXT.T27	3,4	371	1,9124	1,8924	78,614	0,0345	0,0179
28	SCXT.T28	3,3	388	2,0264	1,9234	79,142	0,0363	0,0185
29	SCXT.T29	3,4	392	1,9834	1,8847	78,543	0,0351	0,0178
30	SCXT.T30	3,5	405	1,9745	1,8948	78,835	0,0366	0,0181
31	SCXT.T31	3,5	407	1,9536	1,8524	77,944	0,0351	0,0174
32	SCXT.T32	3,4	411	2,0415	1,9342	78,936	0,0362	0,0175
33	SCXT.T33	3,3	413	2,0896	2,0145	79,124	0,0375	0,0184
34	SCXT.T34	3,2	418	2,1042	1,9814	79,634	0,0377	0,0189

STT	Số hiệu mẫu	Thành phần						
		pH	Eh (mV)	Ni	Cu	Fe	As	Cd
35	SCXT.T35	3,3	422	2,1845	2,0342	81,147	0,0382	0,0191
36	SCXT.T36	3,4	426	2,1742	1,9745	80,647	0,0374	0,0188
37	SCXT.T37	3,4	428	2,1547	1,9632	80,245	0,0378	0,0192
38	SCXT.T38	3,3	433	2,2356	1,9214	81,345	0,0388	0,0201
39	SCXT.T39	3,2	436	2,2526	2,0431	84,612	0,0401	0,0199
40	SCXT.T40	3,2	438	2,3241	2,0345	85,942	0,0406	0,0208
41	SCXT.T41	3,3	441	2,3645	2,0634	86,934	0,0411	0,0212
42	SCXT.T42	3,3	446	2,4513	2,0817	87,342	0,0409	0,0207
43	SCXT.T43	3,2	452	2,5474	2,1163	88,945	0,0415	0,0211
44	SCXT.T44	3,2	449	2,6786	2,1431	89,124	0,0413	0,0209
45	SCXT.T45	3,3	450	2,7245	2,1543	91,431	0,0412	0,0212
46	SCXT.T46	3,2	453	2,7648	2,1823	91,153	0,0407	0,0209
47	SCXT.T47	3,3	457	2,7836	2,1689	92,214	0,0413	0,0211
48	SCXT.T48	3,4	458	2,7564	2,0875	91,564	0,0405	0,0204
49	SCXT.T49	3,2	460	2,8147	2,1842	92,741	0,0411	0,0208
50	SCXT.T50	3,3	463	2,7936	2,1247	91,986	0,0406	0,0211
51	SCXT.T51	3,1	467	2,8434	2,2613	92,246	0,0413	0,0214
52	SCXT.T52	3,2	471	2,8865	2,2845	93,441	0,0414	0,0216
53	SCXT.T53	3,3	475	2,7842	2,1946	92,541	0,0412	0,0211
54	SCXT.T54	3,1	477	2,8436	2,2314	93,715	0,0417	0,0213
55	SCXT.T55	3,2	473	2,8742	2,3141	94,215	0,0421	0,0212
56	SCXT.T56	3,3	469	2,7934	2,2815	93,517	0,0417	0,0211
57	SCXT.T57	3,1	474	2,8936	2,3412	94,216	0,0416	0,0209
58	SCXT.T58	3,2	479	2,7896	2,3843	95,612	0,0413	0,0212
59	SCXT.T59	3,2	483	2,3456	2,3456	94,808	0,0211	0,0218
60	SCXT.T60	3,2	488	2,3745	2,3745	96,412	0,0214	0,0215