

**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**

Chuyên ngành: Khoáng vật học và địa hóa học

Mã số: 9.44.02.05

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA CHẤT

Hà Nội - 2023

Công trình này được hoàn thành tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

PGS.TS. Nguyễn Văn Phổ

Hội Địa hóa – Tổng hội Địa chất Việt Nam

TS. Nguyễn Thị Thục Anh

Hội Địa hóa – Tổng hội Địa chất Việt Nam

Phản biện 1: PGS.TS. Đỗ Đình Toát

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Khắc Giảng

Phản biện 3: PGS.TS. Nguyễn Hoàng

Luận án sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án Tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam vào hồi giờ, ngày tháng..... năm 2023

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia

- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ

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 chí 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].

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. 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. Xuất phát từ nhận thức về tính cấp thiết của vấn đề và liên hệ với điều kiện thực tế ở Việt Nam, NCS 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.

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. 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 Bản Phúc, đối tượng cần chú ý là hồ thải quặng đuôi, còn ở cụm mỏ 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.

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 [1, 2, 3]; các xâm nhập phân lớp gabbro - peridotit cấu trúc Lô - Gâm; các xâm nhập Iherzolit (picrit) gabbronorit cấu trúc Sông Hiến [4, 5, 6].

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 [7, 8].

1.1.1. Tổng quan về mỏ nickel Bản Phúc

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.

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 [14, 15, 16]. 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.

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

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) [27], 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.

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.

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*” [36]. 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 Điện (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.

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

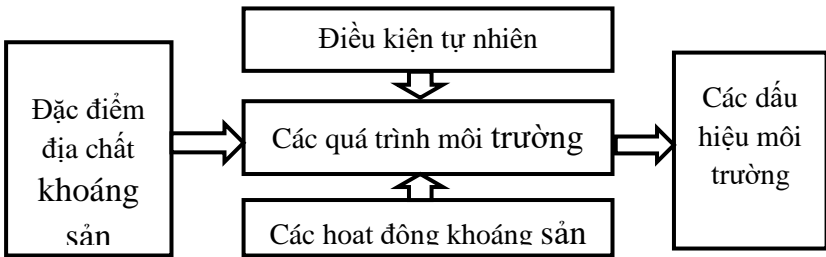
CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý luận

2.1.5. Định nghĩa mô hình địa môi trường

Theo định nghĩa của Plumlee và Nash (1995), *Mô hình địa môi trường mỏ 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*”.

2.1.6. Các hợp phần của mô hình mỏ khoáng



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

2.2. Các phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu của luận án, Nghiên cứu sinh lựa chọn những phương pháp nghiên cứu như sau:

2.2.1. Phương pháp tổng hợp, phân tích tài liệu

2.2.2. Phương pháp khảo sát thực địa, lấy mẫu

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

2.2.3.1. Phương pháp nghiên cứu thạch học lát mỏng

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

2.2.3.3. Phương pháp phân tích khoáng tương

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

2.2.4.1. Phương pháp hấp thụ nguyên tử (AAS)

2.2.4.2. Phương pháp huỳnh quang tia X (XRF)

2.2.5. Phương pháp tính toán acid - bazơ

2.2.6. Phương pháp Thí nghiệm về sự tạo thành acid mỗ

2.2.7. Phương pháp mô hình hóa

CHƯƠNG 3

MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG MỎ NICKEL BẢN PHÚC

3.1. Các yếu tố kiểm soát môi trường mỏ nickel Bản Phúc

3.1.1. Đặc điểm quặng hóa mỏ nickel Bản Phúc

- *Thân quặng I*: nằm ở phía nam mỏ, là thân quặng sulfid nickel - đồng đặc sít dạng mạch cảm về đông bắc ($20 - 25^\circ$) với góc dốc $70 - 90^\circ$, đường phương kéo dài theo hướng tây bắc - đông nam khoảng 900 m, 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 0,15 m đến 39,98 m. Chiều dày quặng từ 0,15 đến 38,78 m, phổ biến từ 2 m đến 5 - 6 m. Thân quặng I có từ 1 - 5 lớp đá kẹp bên trong dạng thấu kính, chiều dày lớp kẹp từ 1 đến 8,3 m phổ biến từ 1,5 đến 3 m. Chiều dày thân quặng có xu hướng giảm dần theo chiều sâu, đến độ sâu +100 m hầu như không còn giá trị công nghiệp [9].

- *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 chúc về phía đông bắc [9].

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...

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

Quặng sulfid nickel - đồng xâm tán trong đá 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.

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 [9].

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 [9].

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 sừng hoá, có nứt 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. 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. 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.

3.1.8. Các hoạt động khoáng sản

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.

3.2. Các dấu hiệu môi trường mỏ nickel Bản Phúc

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

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 QCVN. 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.

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

Hàm lượng Cu dao động trong khoảng 101 đến 275 mg/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, cụ thể có tới 20/47 mẫu có hàm lượng Cu cao hơn mức cho phép. Tuy không có quy định về hàm lượng cho phép đối với Ni, nhưng trong các mẫu đất đã phân tích hàm lượng Ni cũng khá cao (trung khoảng 105 mg/kg - 292 mg/kg).

CHƯƠNG 4

MÔ HÌNH ĐỊA MÔI TRƯỜNG 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, chưa 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% [19].

4.1.1.2. Đặc điểm quặng hóa khu Phan Thanh

Quặng nickel - đồng trong đá magma siêu mafic khối Phan Thanh được đặt là thân quặng số 1 (TQ1). 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

4.1.1.3. Đặc điểm quặng hóa khu thôn 5 Hà Trì

Đặc điểm quặng sulfua cấu tạo xâm tán, mạch, đặc sét, 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.

Quặng nickel - đồng trong đá magma siêu mafic khối thôn 5 Hà Trì được đặt là thân quặng số 2 (TQ2). Việc khoan nối các thân quặng để tính trữ lượng dựa vào hàm lượng đã khoan định được 3 thấu kính quặng trong khối thôn 5 Hà Trì có ký hiệu như sau: TQ2.1, TQ2.2, TQ2.3 [19].

4.1.2. Thành phần khoáng vật

Kết quả phân tích khoáng tương cho thấy thành phần khoáng vật của mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì có thành phần chủ yếu như sau: Pyrotin, Pentlandit, Chalcopyrit, Pyrit và một số khoáng vật khác.

4.1.3. Thành phần hóa học

Thành phần hóa học là một trong những yếu tố quan trọng của mô hình mỏ khoáng, quyết định đến các dấu hiệu môi trường. Tổng hợp những tài liệu nghiên cứu và kết quả phân tích thành phần hóa học các mẫu

lấy tại khu vực 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%.

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.

4.1.7. 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 300 mm, 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 - 400 m. 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 - 400 m, 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.

4.2.8. 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 ổ 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:

4.2.8.1. 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. Mở 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 100 m, rộng khoảng 60 m), 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.

4.2.8.2. 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 khoanh 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 Tân 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 4.16).

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

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

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.

4.2.2. Môi trường đất mỏ nickel Suối Cùn - Hà Trì

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.

CHƯƠNG 5
DỰ BÁO CÁC VẤN ĐỀ MÔI TRƯỜNG TIỀM ẨN VÀ ĐỀ XUẤT
CÁC GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU Ô NHIỄM
MÔI TRƯỜNG

5.1. Dự báo các vấn đề môi trường tiềm ẩn

5.1.1. Dự báo về các vấn đề môi trường tiềm ẩn mỏ nickel Bản Phúc

5.1.1.1. Tính toán khả năng sinh acid

Dự vào kết quả phân tích các mẫu quặng đuôi được lấy tại hồ thải và tiềm năng tạo acid trong quặng đuôi thải được tính toán.

Bảng 5.1. Tiềm năng tạo acid của quặng đuôi thải

Số hiệu mẫu	Hàm lượng lưu huỳnh (% Sulfua)	NAPP (kgH ₂ SO ₄ /t)	Tỷ lệ ANC/MPA	NAG (kgH ₂ SO 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 các chỉ số cho thấy tại các khu vực hồ thải của mỏ nickel Bản Phúc có khả năng sinh acid cao, chứng tỏ đã xảy ra quá trình oxy hóa các khoáng vật sulfid để tạo thành acid.

** Sự tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán kim loại nặng ở đá thải, bãi chứa, sân công nghiệp dạng đổ đọng.*

Bảng 5.2. Kết quả xác định tiềm năng tạo acid đá thải

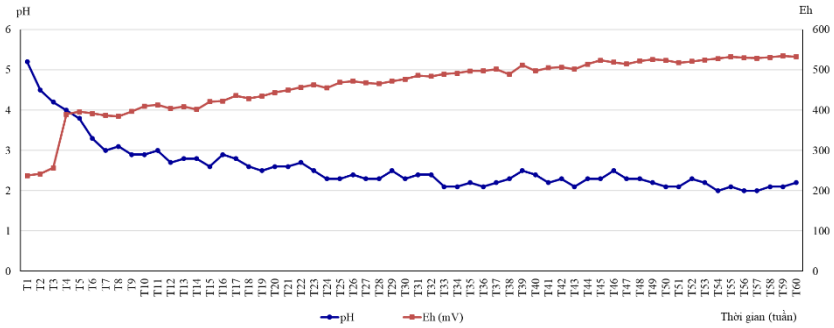
Mẫu quặng lấy	Lưu huỳnh (%)	NAPP (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tỷ lệ ANC/MPA	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tiềm năng tạo acid
Mẫu lấy tại bãi chứa	17,1	126	0,03	114	Rất cao

Mẫu lấy tại đường dốc tải quặng	15,7	122	0,02	103	Rất cao
---------------------------------	------	-----	------	-----	---------

5.1.1.2. Kết quả thí nghiệm khả năng tạo acid mỏ và phân tán các kim loại nặng

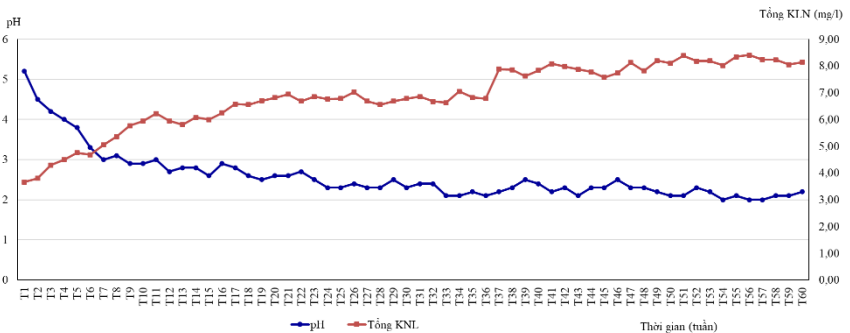
Thí nghiệm được tiến hành với quặng sulfid nickel đặc sít được lấy tại bãi chứa sau khai thác có thành phần hóa học là: 4,02% Ni; 2,16% Cu; 0,17% Co; 25,3% S; 43,21% Fe.

* Sự thay đổi pH, Eh

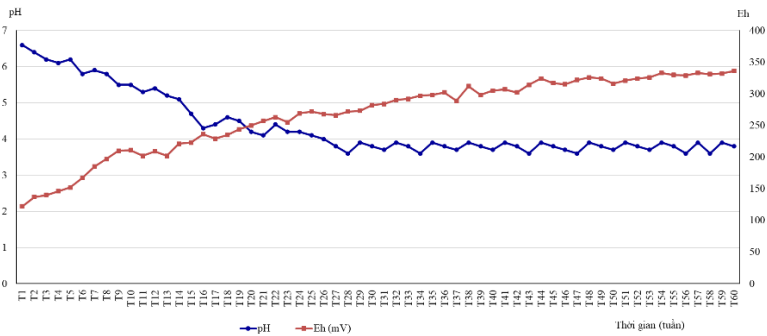


Hình 5.1. Sự thay đổi pH, Eh theo thời gian trong thí nghiệm với quặng đặc sít mỏ nickel Bản Phúc

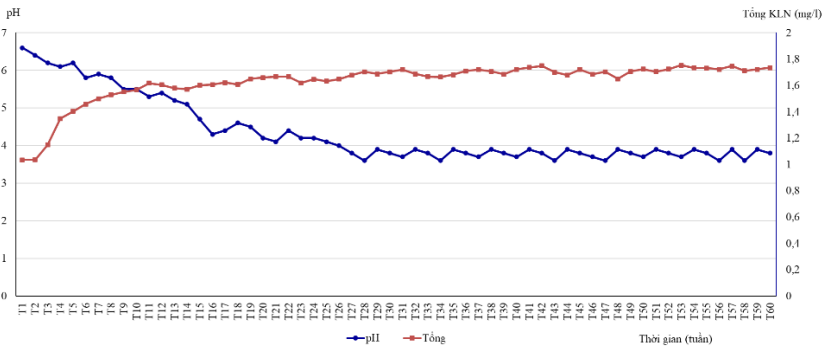
* Sự phát sinh các kim loại nặng



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



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

5.1.2. Dự báo về các vấn đề môi trường tiềm ẩn mỏ nickel Suối

Củn - Hà Trì

5.1.2.1. Tính toán khả năng tạo thành dòng thải acid mỏ

Bảng 5.3. Kết quả xác định tiềm năng tạo acid đá thải

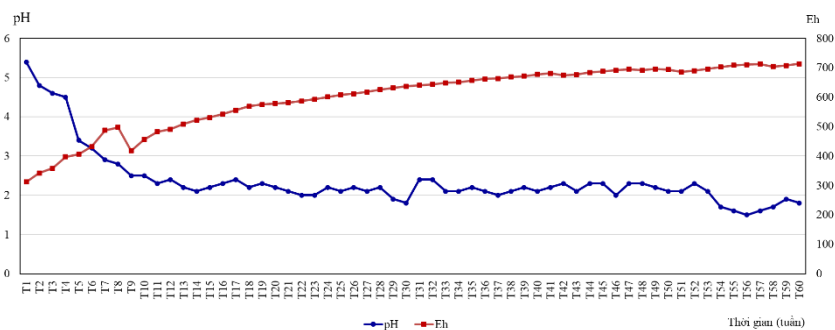
Mẫu quặng lấy	Lưu huỳnh sulfua (%)	NAPP (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tỷ lệ ANC/MPA	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	Tiềm năng tạo acid
Mẫu lấy tại moong khai thác	3,85	118	0,02	103	Rất cao
Mẫu lấy tại bãi chứa quặng	3,72	114	0,03	97	Rất cao

Kết quả tính toán cho thấy khả năng tạo acid tại khu vực moong khai thác và bãi chứa quặng dạng đồng của khu vực Suối Cùn là rất lớn.

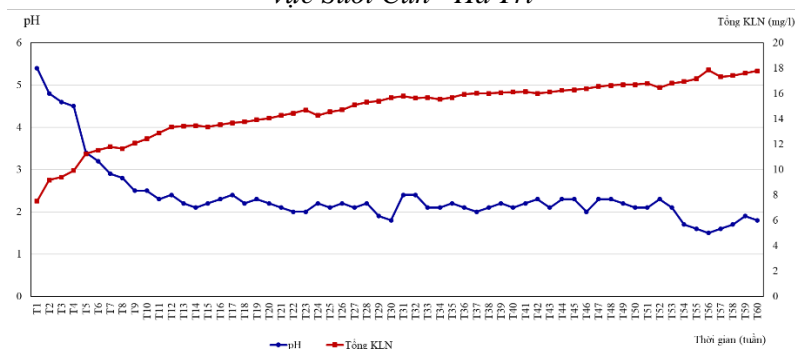
5.1.2.2. Kết quả thí nghiệm về sự tạo thành dòng thải acid mỏ và phân tán kim loại nặng mỏ Suối Cùn - Hà Trì

Thí nghiệm được tiến hành với quặng đặc sít được lấy tại moong khai thác khu vực Hà Trì có thành phần hóa học là: 4,32% Ni ; 0,12% Cu ; 0,023% Co ; 13,15% Fe ; 2,06% S.

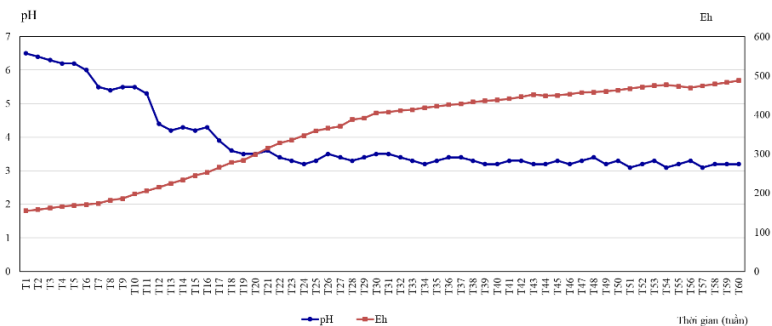
* Sự thay đổi độ pH, Eh



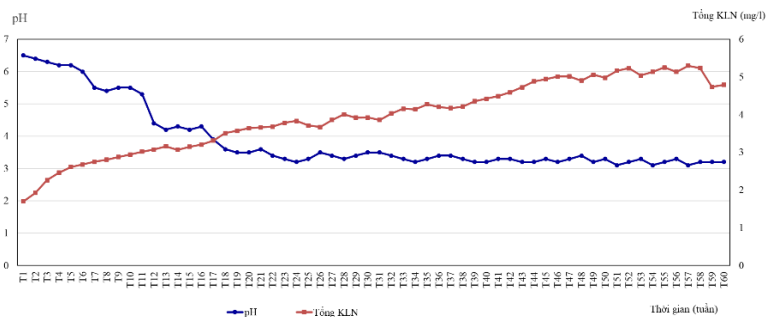
Hình 5.7. Sự thay đổi pH, Eh trong thí nghiệm với quặng đặc sít của khu vực Suối Cùn - Hà Trì



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



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 Củn - Hà Trì

5.2. Đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường

5.2.1. Các biện pháp xử lý dòng thải acid mỏ

5.2.2. Đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường mỏ nickel Bản Phúc

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.

- Đối với nước thải hàm 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.

5.2.3. Đề xuất các giải pháp giảm thiểu ô nhiễm môi trường 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 hàm 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.

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.

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 nghiệp 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 mô 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. **Phạm Văn 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. **Phạm Văn 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 gia, 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. **Pham Van 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) Nhà xuất bản Dân Trí, ISBN: 978-604-331-965-1

10. **Pham Van 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.