

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

Vũ Mạnh Hào

**ĐẶC ĐIỂM KIẾN TẠO KHU VỰC HÒA AN, CAO BẰNG
VÀ MỐI LIÊN QUAN VỚI KHOÁNG HÓA NIKEN - ĐỒNG**

Ngành: Địa chất học

Mã số: 9.440201

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội – 2022

Công trình hoàn thành tại: **Bộ môn Địa chất, Khoa Khoa học và kỹ thuật Địa chất,
Trường Đại học Mở - Địa chất**

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS Ngô Xuân Thành

2. TS. Trần Văn Miến

Phản biện 1: **GS.TSKH Đặng Văn Bát**

Phản biện 2: **PGS.TS Hoàng Văn Long**

Phản biện 3: **TS Nguyễn Bá Minh**

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường họp tại Trường Đại học Mở - Địa chất vào hồi.....giờ, ngày.....tháng.....năm

Có thể tìm hiểu luận án tại: **Thư viện Quốc Gia - Hà Nội**

Thư viện Trường Đại học Mở - Địa chất

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài nghiên cứu

Khoáng sản niken là khoáng sản kim loại có giá trị kinh tế cao do chúng là nguyên liệu chính trong phát triển các ngành công nghiệp mũi nhọn, nhu cầu về nguồn nguyên liệu này tăng đều đặn khoảng 2,2%/năm. Hiện nay, ở nước ta đã phát hiện được nhiều mỏ điểm quặng niken có quy mô công nghiệp, liên quan đến các thể siêu mafic như ở Sơn La, Thanh Hoá và Cao Bằng.

Trong khu vực Đông Bắc, những năm gần đây, có một số công trình bước đầu nghiên cứu về cấu trúc kiến tạo, thạch luận các đá magma siêu mafic chứa quặng niken - đồng, điển hình như các công trình của tác giả Trần Trọng Hoà, 2004, 2008; Trần Thanh Hải, 2007, 2011; Ngô Xuân Thành, 2014; Halpin, 2015 v.v... Kết quả nghiên cứu gần đây đã giải quyết được những vấn đề ở mức độ khác nhau về địa chất, kiến tạo và khoáng hoá niken - đồng trên một số khối siêu mafic trong khu vực Cao Bằng. Đồng thời kết quả nghiên cứu cũng cho thấy vùng nghiên cứu có đặc điểm địa chất phức tạp, bao gồm nhiều thể địa chất: các thành tạo trầm tích, magma xâm nhập và phun trào có tuổi và nguồn gốc khác nhau, hầu hết là các thể kiến tạo ngoại lai, giới hạn bởi các đới trượt quy mô lớn (Trần Thanh Hải và nnk, 2007). Đặc biệt, trong khu vực Hoà An - Cao Bằng còn có mặt các thành tạo siêu mafic chứa tiềm năng đáng kể niken - đồng và các khoáng hoá có ích khác, hiện đang được thăm dò để đưa vào khai thác. Như vậy, những hiểu biết về đặc điểm kiến tạo khu vực, mối quan hệ không gian và nguồn gốc của các thành tạo địa chất cũng như vai trò của chúng đối với khoáng hoá liên quan không chỉ đem lại những hiểu biết mới về lịch sử địa chất khu vực mà còn có ý nghĩa thực tiễn quan trọng trong dự báo và đánh giá tài nguyên địa chất trong khu vực và vùng lân cận cũng như các thành tạo địa chất khác có đặc điểm tương tự. Vì vậy, Đề tài “**Đặc điểm kiến tạo khu vực Hoà An, Cao Bằng và mối liên quan với khoáng hoá niken - đồng**” được đặt ra có ý nghĩa quan trọng cả về khoa học và tính thực tiễn đối với vấn đề nêu trên.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Làm sáng tỏ đặc điểm kiến tạo, bối cảnh hình thành magma, mối liên quan giữa yếu tố cấu trúc kiến tạo, yếu tố magma với khoáng hoá niken - đồng khu vực Hoà An, nhằm cung cấp dữ liệu cho công tác định hướng tìm kiếm, đánh giá khoáng sản niken - đồng liên quan đến đá xâm nhập siêu mafic khu vực nghiên cứu.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

- Đối tượng: Các thành tạo địa chất, cấu tạo địa chất và khoáng hoá niken - đồng liên quan đến xâm nhập siêu mafic.

- Phạm vi nghiên cứu: Khu vực Hoà An, tỉnh Cao Bằng.

4. Nhiệm vụ của luận án

- Làm sáng tỏ về thành phần vật chất, tuổi các thành tạo địa chất và bối cảnh địa chất hình thành của chúng.

- Làm sáng tỏ đặc điểm thành phần, tuổi đá magma và đánh giá bản chất kiến tạo, khả năng sinh khoáng niken - đồng liên quan đến các thể xâm nhập siêu mafic khu vực Hoà An - Cao Bằng.

- Nghiên cứu đặc điểm cấu trúc kiến tạo khu vực Hoà An, phân tích vai trò của yếu tố cấu trúc kiến tạo với quá trình tạo khoáng niken - đồng liên quan đến xâm nhập siêu mafic. Luận giải mối quan hệ giữa kiến tạo - magma - sinh khoáng niken đồng.

5. Ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn của luận án

5.1. Ý nghĩa khoa học

Việc xác định các giai đoạn kiến tạo, xác lập pha biến dạng kiến tạo và xác định mối liên quan của magma siêu mafic với quá trình tạo khoáng niken - đồng là những phát hiện khoa học quan trọng, làm cơ sở luận giải về bản chất và sự phân bố các thành tạo địa chất cũng như sự phân bố khoáng hoá niken - đồng trong khu vực nghiên cứu.

Những số liệu mới, đồng bộ của luận án về đặc điểm cấu trúc kiến tạo, bối cảnh địa động lực, đặc điểm thạch địa hoá các đá magma, khả năng sinh khoáng, tuổi đồng vị và đặc điểm khoáng hóa niken - đồng trong vùng nghiên cứu là những đóng góp quan trọng vào hệ thống văn liệu địa chất ở Việt Nam.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Việc xác định được các pha biến dạng kiến tạo, đặc biệt là các pha biến dạng kiến tạo liên quan mật thiết đến sự hình thành và phân bố các khối xâm nhập siêu mafic, có ý nghĩa quan trọng trong việc định hướng công tác nghiên cứu, khoanh định các diện tích triển vọng khoáng hoá niken - đồng trong vùng nghiên cứu.

Những số liệu mới về đặc điểm thạch địa hoá đá magma siêu mafic và đặc điểm khoáng hoá niken - đồng của luận án có giá trị trong việc xác lập kiểu quặng hoá và mối liên quan của chúng với bối cảnh kiến tạo là cơ sở định hướng cho công tác điều tra, đánh giá, thăm dò khoáng sản trong khu vực Hoà An, Cao Bằng.

6. Các luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Khu vực Hoà An đã trải qua ít nhất 05 giai đoạn kiến tạo từ Paleozoi sớm đến Kainozoi, trong đó giai đoạn Paleozoi muộn - Mesozoi sớm đóng vai trò quan trọng trong thành tạo các đá magma mafic, siêu mafic và quặng niken - đồng. Các thành tạo địa chất trong khu vực đã bị tác động ít nhất bởi 05 pha biến dạng kiến tạo, gồm pha biến dạng thứ nhất xảy ra trong Paleozoi sớm, pha thứ hai và pha thứ ba xảy ra trong Mesozoi sớm, các pha biến dạng thứ tư và thứ năm xảy ra trong Kainozoi.

Luận điểm 2: Các khối xâm nhập siêu mafic tại khu vực Hoà An có nguồn gốc manti giàu vật chất vỏ được hình thành trong bối cảnh sau cung, chúng có vai trò sinh khoáng niken - đồng, trong đó kiểu quặng xâm tán trong các đá siêu mafic là chủ đạo, sinh khoáng niken trội hơn đồng, PGE. Các thân khoáng niken - đồng tập trung ở phần thấp của các khối siêu mafic, chúng bị các pha biến dạng chồm nghịch thứ hai và thứ ba đẩy trôi, tái phân bố và bị pha biến dạng thứ tư, thứ năm làm chia cắt và dịch chuyển.

7. Các điểm mới trong luận án

Đã xác định được 5 giai đoạn kiến tạo trong lịch sử phát triển kiến tạo khu vực Hoà An. Trong đó giai đoạn Paleozoi muộn - Mesozoi sớm liên quan đến sự hình thành và phân bố các thể magma xâm nhập siêu mafic chứa khoáng hoá niken - đồng.

Đã xác lập được 5 pha biến dạng kiến tạo tác động trong vùng nghiên cứu và vai trò của từng pha biến dạng đối với quá trình hình thành, phân bố và tái sắp xếp các thành tạo địa chất và quặng niken - đồng khu vực Hoà An.

Đã làm sáng tỏ về thành phần vật chất, tuổi thành tạo, đặc điểm địa hoá các đá magma Paleozoi muộn - Mesozoi sớm mafic, từ đó góp phần xác định bối cảnh rìa lục địa tích cực trong đới kiến tạo Sông Hiến - An Châu ở giai đoạn này.

Đã làm sáng tỏ được đặc điểm nguồn gốc quặng niken - đồng sulfua khu vực Hoà An, trong đó quặng tồn tại dạng xâm tán trong các thể siêu mafic là chủ đạo.

Phát hiện sự tồn tại của đá magma granodiorit có tuổi 441-450 tr.n (Ordovic) trong khu vực Hoà An, Cao Bằng.

8. Kết cấu của luận án

Ngoài phần mở đầu và kết luận, luận án gồm 4 chương:

Chương 1. Tổng quan về khu vực nghiên cứu

Chương 2. Cơ sở lý luận và hệ phương pháp nghiên cứu

Chương 3. Đặc điểm địa chất và khoáng sản niken - đồng khu vực Hoà An - Cao Bằng

Chương 4. Đặc điểm kiến tạo khu vực Hoà An và mối quan hệ quặng hoá niken - đồng

9. Cơ sở tài liệu của luận án

Luận án được hoàn thành trên cơ sở tài liệu có trước trong khu vực và đặc biệt là kết

quả phân tích do chính NCS thực hiện từ năm 2016 đến nay, gồm: 50 mẫu thạch học tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Trung tâm Phân tích thí nghiệm địa chất; 50 mẫu xác định thành phần khoáng vật tạo đá, 34 mẫu phân tích thành phần địa hóa nguyên tố chính, nguyên tố vết, 5 mẫu phân tích thành phần địa hóa đồng vị Sr, Nd và Pb Trường Đại học Okayama, Nhật Bản; 15 mẫu phân tích cặp đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ được phân tích tại Viện khoa học cơ bản Hàn Quốc (KSBI); 11 mẫu phân tích thành phần nhóm nguyên tố Platin được phân tích tại Phòng phân tích Actlabs, Canada và 08 mẫu định tuổi bằng đồng vị U-Pb trên khoáng vật zircon của đá gabbrodiabas, gabro bằng công nghệ MC-ICP-MS, tại Trường Đại học Okayama, Nhật Bản.

10. Nơi thực hiện đề tài

Luận án được thực hiện tại Bộ môn Địa chất, Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội.

NỘI DUNG LUẬN ÁN

Chương 1. Tổng quan khu vực nghiên cứu

1.1. Khái quát về vị trí và đặc điểm vùng nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc địa phận huyện Hoà An, tỉnh Cao Bằng, cách thành phố Cao Bằng khoảng 8,0km về phía tây bắc. Khu vực nghiên cứu có địa hình núi thấp, sườn thoải, có độ cao tuyệt đối 200-500m, hệ thống sông suối trong vùng chủ yếu chảy theo hướng đông nam, giao thông thuận lợi cho việc điều tra, nghiên cứu địa chất.

1.2. Lịch sử nghiên cứu địa chất

1.2.1. Giai đoạn trước năm 1954: Trong giai đoạn này công tác nghiên cứu địa chất chủ yếu do các nhà địa chất người Pháp nghiên cứu có tính chất khu vực, có ý nghĩa tham khảo về mặt địa tầng, magma, kiến tạo ở tỷ lệ nhỏ và mang tính khu vực.

1.2.2. Giai đoạn sau năm 1954: Từ năm 1971 đến 1974, Phạm Đình Long và nnk đã tiến hành đo vẽ lập bản đồ địa chất khoáng sản nhóm tờ Chình Si-Long Tân ở tỷ lệ 1:200.000; Từ năm 1999 đến 2011 công tác đo vẽ địa chất tỷ lệ 1:50.000 có các nhóm tờ Cao Bằng-Đông Khê, Trùng Khánh, Hà Quảng của các tác giả Nguyễn Thê Cương, Nguyễn Công Thuận, Vũ Quang Lân; Công tác thăm dò khu Hà Trì được Nguyễn Minh Quang thực hiện năm 2017. Về nghiên cứu chuyên đề có các công trình nổi trội như: Trần Trọng Hoà và nnk, 2004, 2008b; Polyakov và nnk, 2009; Lepvrier và nnk, 2011; Trần Thanh Hải và nnk, 2007; Cai, J.X., Zhang, K.J, 2009; Qin và nnk, 2011; 2012; Trần Thanh Hải và nnk, 2011; Jacqueline A.Halpin, Trần Thanh Hải, Chun-KitLai, Sebastien Meffre, Anthony J.Crawford, KhinZaw, 2015; Ngô Xuân Thành và nnk, 2014; ... Số liệu nghiên cứu của các công trình này có ý nghĩa rất quan trọng trong việc luận giải và lập lại lịch sử tiến hoá kiến tạo của vùng.

1.3. Vị trí vùng nghiên cứu trong bình đồ cấu trúc kiến tạo khu vực

Dovjikov A. E. và nnk., 1965, Trần Văn Trị và nnk., 1977, vùng nghiên cứu được xếp vào đới cấu trúc Sông Hiến và Hạ Lang, thuộc “miền chuẩn uốn nếp Đông Việt Nam”; Những năm gần đây, vùng Đông Bắc nói chung và vùng Sông Hiến nói riêng còn chưa thống nhất về vị trí kiến tạo của chúng. Trong đó, đáng chú ý gồm các quan điểm kiến tạo đều cho rằng phần Đông Bắc Việt Nam là một phần của bình đồ kiến tạo khối Nam Trung Hoa (Trần Trọng Hòa và nnk., 2008; Trần Văn Trị và nnk., 2015), hay đới melange kiến tạo (ophiolit, cung núi lửa..., Trần Thanh hải và nnk., 2011; Halpin và nnk., 2015). Như vậy, kết quả nghiên cứu trong những năm gần đây đã đem đến những hiểu biết mới khẳng định vùng Đông Bắc nói chung và vùng nghiên cứu nói riêng trải qua nhiều chế độ kiến tạo, liên quan đến một rìa lục địa tích cực, bao gồm nhiều thành tạo địa chất phức tạp, bị biến dạng mạnh mẽ và đa kỳ thay vì nhận thức đây là một rìa lục địa dạng “nền” khá bình ổn về kiến tạo.

1.4. Khái quát đặc điểm địa chất vùng nghiên cứu và lân cận

Các thành tạo trầm tích: gồm các đá phiến của hệ tầng Thần Sa; trầm tích lục nguyên, trầm tích carbonat, đá phiến Mia Lé, Nà Quán, Bắc Sơn, Tóc Tát, Đồng Đăng, các thành tạo phun trào basalt, basalt cầu gôi của hệ tầng Bằng Giang; rhyolit, 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 của hệ tầng Sông Hiến và trầm tích Kainozoi.

Các thành tạo magma xâm nhập: Các thể xâm nhập có thành phần mafic, siêu mafic phức hệ Cao Bằng và các đá xâm nhập thành phần granit đến granodiorit phức hệ Núi Điện có tuổi Trias sớm - giữa.

Khái quát đặc điểm kiến tạo: Theo Trần Văn Trị và Vũ Khúc (2009) và Trần Văn Trị (2015), giai đoạn Paleozoi sớm, đới Sông Hiến - An Châu thuộc phụ đới Đông Việt Bắc trong đới Đông Bắc Bộ, đã phân chia 4 tổ hợp thạch kiến tạo và 6 pha biến dạng kiến tạo.

1.3. Một số tồn tại trước đây

1.3.1. Về địa tầng: Một số mối quan hệ giữa các hệ tầng trong vùng nghiên cứu còn chưa rõ, điển hình như quan hệ giữa các thành tạo tuổi Devon, quan hệ giữa hệ tầng Sông Hiến và hệ Bằng Giang, quan hệ giữa hệ tầng Bắc Sơn, Bằng Giang với các hệ tầng cổ hơn.

1.3.2. Về magma: Tuổi thành tạo chủ yếu dựa vào một số ít kết quả nghiên cứu tuổi U-Pb, Rb-Sr của các công trình và tham khảo từ khu vực, trong đó các đá mafic, siêu mafic được xếp vào tuổi P₃-T₁, các thành tạo rhyolit được xếp vào T₂ và các đá xâm nhập có tuổi T₁. Về địa hóa và thạch luận magma vẫn còn khá sơ sài trong khu vực Hòa An, đặc biệt chưa có nghiên cứu đồng bộ về địa hóa, tuổi đồng vị (U-Pb zircon), đồng vị nguồn để đánh giá nguồn hình thành magma, bối cảnh thành tạo magma và các quá trình magma, cũng như khả năng sinh khoáng niken - đồng của các đá magma xâm nhập phức hệ Cao Bằng.

1.3.3. Về cấu trúc kiến tạo: Trong khu vực Hoà An các nghiên cứu về cấu trúc kiến tạo còn chưa được tiến hành chi tiết hoặc thiếu số liệu định lượng về kiến tạo để lập lại lịch sử tiến hoá kiến tạo cũng như đánh giá vai trò cấu trúc kiến tạo, tác động kiến tạo đến sự phân bố thành tạo địa chất, đặc biệt là các thể mafic và siêu mafic chứa khoáng hoá niken - đồng trong khu vực.

1.3.4. Về khoáng hoá Ni-Cu trong siêu mafic: Các nghiên cứu chuyên sâu, định lượng nhằm xác định nguồn gốc khoáng hóa đặc điểm khoáng hóa niken - đồng cũng như sử dụng các nghiên cứu về chuyên hoá địa hoá nhóm PGE, đồng vị S... chưa được tiến hành. Công tác nghiên cứu sâu về đặc điểm địa hóa, đồng vị magma kết hợp với đặc điểm thạch học magma siêu mafic để làm sáng tỏ đặc tính sinh khoáng niken - đồng và dạng tồn tại các thân khoáng sản niken - đồng trong khu vực nghiên cứu còn sơ sài, thiếu sự đồng bộ.

Chương 2. Cơ sở lý luận và hệ phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý luận

2.1.1. Kiến tạo khu vực

Kiến tạo là các quá trình kiểm soát cấu trúc và tính chất của vỏ Trái đất và sự tiến hóa của nó qua thời gian. Chúng bao gồm các quá trình hình thành lục địa, đại dương, nâng trôi tạo núi, sụt lún tạo bồn trầm tích, hoạt động núi lửa, biến chất, biến dạng... và cách thức mà các mảng kiến tạo của Trái đất tương tác với nhau. Việc nghiên cứu đặc điểm cấu trúc - kiến tạo của các vật chất trong khu vực tạo điều kiện cho việc lập lại lịch sử phát triển kiến tạo khu vực đó.

2.1.2. Biến dạng và quan hệ biến dạng

Biến dạng kiến tạo là các hiện tượng biến dạng của đá dưới tác động của các vận động kiến tạo. Lịch sử địa chất của một khu vực, vỏ Trái đất có thể trải qua nhiều giai đoạn biến dạng khác nhau, mỗi giai đoạn được đặc trưng bởi một chế độ biến dạng và để lại một tổ hợp các cấu tạo đặc trưng trong các đá của một khu vực nhất định. Một giai đoạn phát triển biến dạng được gọi là một “pha biến dạng” và một tổ hợp các cấu tạo địa

chất đặc trưng của pha đó được gọi là một thể hệ cấu tạo. Để khôi phục được lịch sử biến dạng khu vực, cần phải nhận dạng và phân chia được các thể hệ cấu tạo đặc trưng cho từng pha biến dạng, xác định được tuổi tương đối của chúng và luận giải được bản chất của các chế độ biến dạng tác động lên các đá (Trần Thanh Hải, 2017).

2.1.3. Khái quát về các mỏ sulfua Ni - Cu magma dung ly

* **Các mỏ khoáng sulfua Ni-Cu magma dung ly:** Hiện nay, các mỏ sulfua Ni-Cu magma dung ly là nguồn khai thác chính niken trên thế giới. Kiểu quặng sulfua Ni-Cu có liên quan với đá magma siêu mafic hình thành do quá trình phân dị magma giàu sulfua, điển hình như: mỏ Petsenga-Nga, Norilsk-Nga, Sudbury-Canada, Jinchuan-Trung Quốc và một số mỏ khác ở Úc, Mỹ, Nam Phi... Ở Việt Nam, khoáng hóa kiểu thành hệ quặng sulfua Ni-Cu đã tìm thấy ở vùng Tạ Khoa, tỉnh Sơn La, ở Cao Bằng.

* **Bối cảnh kiến tạo và sinh khoáng Ni-Cu:** Trong môi trường manti trên các đới hút chìm, magma có tính kiềm và bị oxy hóa mạnh hơn magma tholeitic hoặc komatic, điều này làm tăng độ hòa tan của S, là một thông số quan trọng trong việc hình thành chất lỏng sulfua để hình thành các mỏ khoáng niken - đồng. Hiện nay, đã tìm thấy một số mỏ niken - đồng liên qua đến môi trường đới sau cung liên quan đến hoạt động hút chìm như: mỏ khoáng Ni-Cu Ferguson Lake, Nunavut, Canada; mỏ Yueyawan, Huangshangdong, Kalatongkte hoặc Xiangshan ở Trung Quốc.

* **Mức độ bão hòa S và khả năng tập trung quặng Cu-Ni-PGE:** Mức độ nóng chảy nguồn manti quyết định quan trọng đến lượng nguyên tố siderophile và S đi vào pha lỏng của magma, trong đó quá trình bão hòa S trong pha lỏng xảy ra khi mức độ nóng chảy nguồn đủ lớn (thông thường trên 15-25%) để tạo nên các mỏ quặng Cu-Ni-PGE sulfua. Quá trình bão hòa S xảy ra, ngoài yếu tố nóng chảy nguồn cao, có thể có các yếu tố như hiện tượng trộn lẫn magma với vật chất vỏ giàu S, quá trình kết tinh phân đoạn, sự thay đổi nhiệt độ và áp suất kết tinh magma hoặc quá trình tác động của vật chất trầm tích vào trong manti (Sproule et al., 2002).

2.1.4. Các quá trình địa chất kiểm soát thành phần hoá học magma

* **Quá trình nóng chảy nguồn manti:** Nghiên cứu về sự hình thành đá magma có hai quá trình cơ bản là quá trình nóng chảy từng phần manti hay vỏ Trái đất hình thành các lò magma nguyên thủy và quá trình nguội lạnh kết tinh từ dung thể hình thành đá cứng. Trong đó, quá trình nóng chảy từng phần được chia làm 02 kiểu là nóng chảy theo mẻ và nóng chảy phân đoạn hay còn gọi là nóng chảy Rayleigh. Quá trình kết tinh phân dị, tùy thuộc vào dung thể ban đầu mà trong quá trình kết tinh một dung thể có thể cho ta những sản phẩm khác nhau.

* **Mức độ nóng chảy nguồn manti và sự liên quan với tiềm năng Cu-Ni-PGE:** Thành phần của magma được thành tạo phụ thuộc vào thành phần của nguồn đá và mức độ nóng chảy nguồn manti. Mức độ nóng chảy phụ thuộc vào nhiệt độ, áp suất và sự thay đổi thành phần manti do vật chất trộn lẫn. Nhiệt độ và vật chất trộn lẫn vào manti càng lớn thì mức độ nóng chảy càng cao, trong khi đó áp suất giảm là điều kiện cho manti nóng chảy, áp suất cao làm cho vật liệu ở manti nóng chảy khó khăn. Magma tholeit olivin và picrit liên quan đến mức độ nóng chảy manti 15-30%. Magma komatit được thành tạo do manti nóng chảy rất cao, có thể đến >35%. Như vậy, mức độ nóng chảy có mối liên quan đến tiềm năng sinh các loại hình khoáng sản khác nhau, ví dụ như: Nguồn manti là nguyên thủy có mức độ nóng chảy phải đạt 17-25% sẽ để phần lớn vật chất Cu, PPGE trong manti có thể thoát ra ngoài đi lên cùng dòng magma (Rehkämper et al., 1999).

2.1.5. Mối liên quan giữa hoạt động magma với các quá trình kiến tạo

Hoạt động magma luôn gắn liền với các bối cảnh kiến tạo nhất định. Theo các học thuyết về kiến tạo mảng, trên cơ sở của các bối cảnh kiến tạo có thể xác định được 3 môi trường trong đó magma có thể hình thành: Magma đới tách giãn giữa đại dương; magma

ria mảng hội tụ và magma nội mảng.

2.2. Phương pháp luận

2.2.1. Nhận dạng các cấu tạo do biến dạng kiến tạo: Các cấu tạo biến dạng được hình thành do các quá trình biến dạng tạo ra và có những đặc điểm khác biệt với các cấu tạo nguyên thủy. Để phân biệt được giữa cấu tạo do biến dạng tạo ra và các cấu tạo nguyên thủy cần phải nhận biết và phân biệt được các tiêu chí nhận dạng như: nếp uốn, đứt gãy, cấu tạo mặt, cấu tạo đường.

2.2.2. Phân chia các pha biến dạng: Để phân chia được các pha biến dạng ta phải biết được, mỗi một pha biến dạng tạo ra một thể hệ cấu tạo được hình thành có các đặc điểm đặc trưng, một thể hệ được thành tạo là tập hợp các cấu tạo được thành tạo trong cùng một khoảng thời gian, dưới tác dụng của cùng một trường ứng suất.

2.2.3. Xác định tuổi của các sự kiện biến dạng: Tuổi của các sự kiện biến dạng gồm có tuổi tương đối và tuổi tuyệt đối. Tuổi tương đối: là tuổi xác định các cấu tạo được thành tạo trước hoặc sau. Tuổi tuyệt đối: là tuổi xác định thời gian cụ thể mà pha biến dạng đó xảy ra. Để xác định tuổi tuyệt đối thường sử dụng phương pháp định tuổi đồng vị phóng xạ.

2.2.4. Phân chia tổ hợp thạch - kiến tạo: Tập hợp các đá có quan hệ không gian gần gũi nhau, được thành tạo trong những khoảng thời gian kề cận nhau, trong những môi trường được đặc trưng bởi một bối cảnh kiến tạo nhất định và đại diện cho một giai đoạn tiến hoá địa chất nhất định (Kondie, 1989).

2.3. Cách tiếp cận: Để làm sáng tỏ đặc điểm cấu trúc kiến tạo, lịch sử địa chất và mối quan hệ của chúng với quá trình tạo khoáng niken - đồng trong đá siêu mafic khu vực Hoà An, Cao Bằng như mục tiêu của luận án, NCS đã áp dụng những cách tiếp cận và các phương pháp nghiên cứu vừa mang tính kế thừa, truyền thống và hiện đại đã và đang được áp dụng trên thế giới và trong nước.

2.4. Các phương pháp nghiên cứu: Trong báo cáo này, NCS sử dụng tổ hợp phương pháp nghiên cứu chủ đạo là: Khảo sát, nghiên cứu thực địa và thu thập mẫu; nghiên cứu trong phòng và phương pháp mô hình hóa.

Chương 3. Đặc điểm địa chất và khoáng sản niken - đồng khu vực Hoà An - Cao Bằng

3.1. Địa tầng

3.1.1. Hệ tầng Thân Sa (ϵ_{3ts}): Thành phần thạch học chủ yếu là cát kết hạt nhỏ đến vừa, hạt không đều xen ít bột kết, sét kết. Đá bị biến dạng phiến và bị biến đổi yếu với sự xuất hiện của chlorit, mica thuộc tương biến chất phiến lục mang tính khu vực.

3.1.2. Hệ tầng Mia Lé ($D_1 ml$): Thành phần thạch học chủ yếu: cát, bột kết xen kẽ với những lớp mỏng sét vôi, thấu kính vôi, trên cùng là đá phiến sét lẫn với những lớp kẹp sét vôi.

3.1.3. Hệ tầng Nà Quán (D_1-nq): Thành phần thạch học của hệ tầng chủ yếu là đá vôi, vôi sét, vôi silic, đôi khi bị dolomit hoá, hoa hoá.

3.1.4. Hệ tầng Tóc Tát (D_3-C_{1tt}): Thành phần chủ yếu là đá vôi phân dải xen ít đá vôi phân lớp mỏng tới trung bình hoặc dày, phần cao hệ tầng có chứa vôi mangan.

3.1.5. Hệ tầng Bắc Sơn ($C-P_2bs$): Thành phần thạch học chủ yếu là đá vôi dạng khối, đá vôi phân lớp dày, hạt mịn, màu xám, xám sáng, xám trắng ở phần trên và phần dưới là đá vôi chứa sét, vôi silic.

3.1.6. Hệ tầng Đồng Đăng (P_3-dd): Thành phần chủ yếu là cuội kết vôi dạng thấu kính, bauxit màu xanh hạt nhỏ, cấu tạo hạt đậu, chuyển lên trên là các đá vôi trùng các đá vôi vi hạt, ít đá vôi sét đôi khi bị dolomit hoá, cấu tạo phân lớp trung bình đến dày.

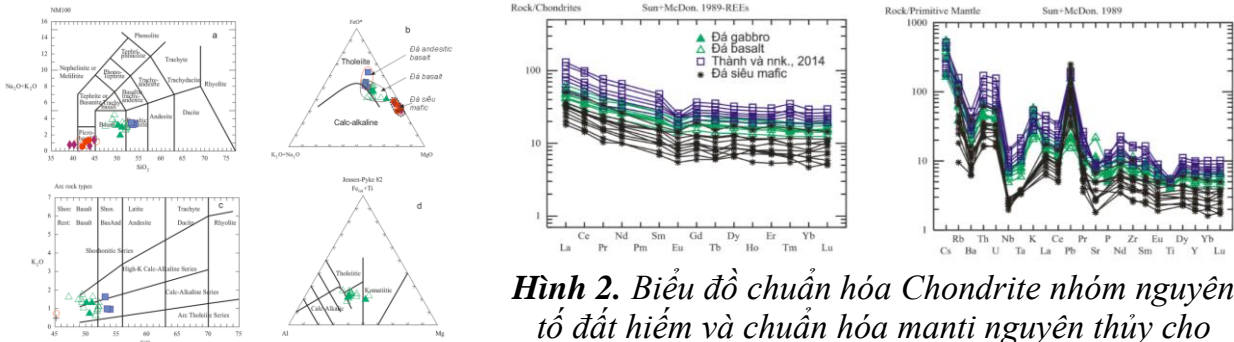
3.1.7. Hệ tầng Bằng Giang (P_3-T_1bg): Thành phần thạch học chủ yếu là basalt hạnh nhân, basalt dolerit, andesitobasalt và tuf của chúng, xen các lớp hay thấu kính đá phiến sét, bột kết, cát kết, đá vôi, sét vôi. Đặc biệt, trong các lớp phun trào bazan này có nhiều lớp

hoặc tập được cấu tạo bởi các thể dạng cầu gôi, có quan hệ kiến tạo với các đá vây quanh.

Đặc điểm nguyên tố chính: Hàm lượng SiO_2 giao động từ 47,0-53,72%, MgO từ 6,22-12,34%, tổng $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ biến đổi từ 3,01-4,42% và thuộc trường magma basalt đến andesit basalt. Trên các biểu đồ cho thấy các đá mafic thuộc kiểu basalt calc-alkali tholeit đến kiểu calc-alkali cao K, thấp TiO_2 (0,89-1,25%), Al_2O_3 (12,75-16,45%), hàm lượng FeO^T biến đổi 8,29-11,97% và chỉ số Mg\# ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$) khá cao, biến đổi từ 54,36 đến 69,44%.

Đặc điểm nguyên tố hiếm, vết: Đá mafic có đặc trưng nhóm đất hiếm nhẹ (LREE) được làm giàu với tỷ số $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2,09-2,71$, nhóm nguyên tố đất hiếm nặng (HREE) gần như nằm ngang, chứng tỏ đá xuất phát từ nguồn manti spinel đến plagioclase - spinel. Các mẫu đều có sự nghèo hóa Eu, với tỷ số $\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N/\sqrt{(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)}$ thay đổi từ 0,75-0,90, hiện tượng nghèo Eu có thể liên quan đến sự phân đoạn của khoáng vật plagioclase. Trên biểu đồ đối sánh mẫu với giá trị manti nguyên thủy, các đá basalt khu vực Hoà An có đặc điểm là các nguyên tố ion lớn (LILE) được làm giàu như Rb, Ba, K, Cs. Các nguyên tố cường độ trường lực cao (HFSEs) như Nb, Ta, Zr, Hf, P và Ti bị làm nghèo khá mạnh, điển hình các nguyên tố Nb, Ta bị nghèo hóa rất mạnh trong khi Th, U lại có mức độ làm giàu khá mạnh.

Đặc điểm địa hóa và đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, Pb:

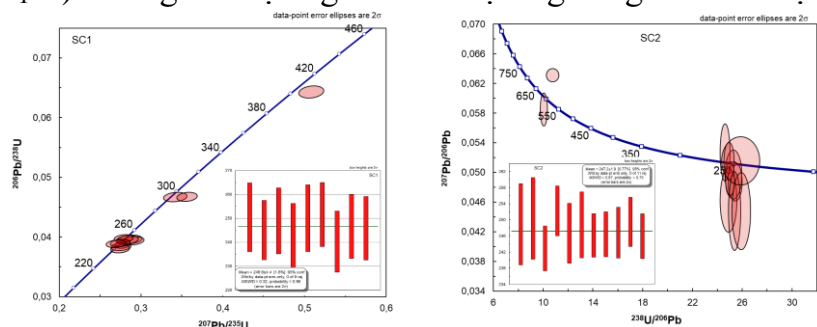


Hình 2. Biểu đồ chuẩn hóa Chondrite nhóm nguyên tố đất hiếm và chuẩn hóa manti nguyên thủy cho nhóm nguyên tố vết cho các đá mafic và andesit basalt khu vực Cao Bằng

Hình 1. Biểu đồ phân loại đá mafic, siêu mafic

Các đá mafic có đặc điểm tỷ số đồng vị (đồng vị ban đầu tính cho 250tr.n.) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cao, biến đổi từ 0,7064 đến 0,7097 và tỷ số đồng vị và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ thấp (0,5120-0,5121); giá trị $\epsilon\text{Nd}(t)$ trong các đá mafic biến đổi từ -5,9920 đến -3,9652, tương đồng với nguồn manti giàu kiểu EMII. Đồng vị Pb ban đầu (tính cho 250 tr.n.) có đặc điểm $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0$ từ 18,1814 đến 19,4764, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0$ từ 15,7596 đến 15,8332 và tỷ số đồng vị $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0$ biến đổi từ 37,9150 đến 39,9009. Các giá trị đồng vị đưa trên biểu đồ tương quan, nằm trên đường trộn lẫn giữa Manti nghèo (DM) với nguồn vỏ (HIMU), khá tương đồng với kiểu nguồn manti giàu kiểu II (EMII) Sự tương đồng giá trị đồng vị giữa các đá basalt và gabbro chứng tỏ chúng được xuất phát cùng nguồn manti trong cùng bối cảnh kiến tạo.

4.1.8. Hệ tầng Sông Hiến (T_{1sh}): Trong khu vực nghiên cứu hệ tầng Sông Hiến có mặt cả 3 tập, diện phân bố lớn và tập trung ở trung tâm khu vực Hoà An: Tập 1 (T_{1sh1}): rhyolit, 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; Tập 2 (T_{1sh2}): Cát kết tuf, cát bột kết, phiến sét màu xám, xám vàng,



Hình 3. Kết quả phân tích U-Pb mẫu rhyolit (SC1, SC2)

xen lớp mỏng hoặc thấu kính đá phun trào acit, thấu kính nhỏ đá vôi, sét vôi màu xám đen; Tập 3 (T_{1sh3}): Cát bột kết, đá phiến sét màu xám đen, xen lớp mỏng đá cát kết, cát kết tuf.

Đặc điểm tuổi: Kết quả xác định tuổi đồng vị U-Pb trên khoáng vật zircon của hai mẫu SC1, SC2 (khu Suối Cùn) cho giá trị tuổi lần lượt là $246,6 \pm 4,4 \text{ tr.n}$ và $247,2 \pm 1,9 \text{ tr.n}$ (hình 3).

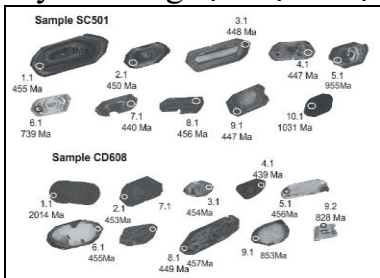
3.1.9. Hệ tầng Cao Bằng (N_1^{3cb}): Thành phần thạch học chủ yếu cuội kết, sạn kết, hỗn tạp xen lớp mỏng thấu kính đá cát kết, xen kẹp đá bột kết, sét than và lớp mỏng than nâu.

3.1.10. Hệ Đệ tứ không phân chia (Q): Thành phần cuội, sỏi, cát, sét, bột bờ rời.

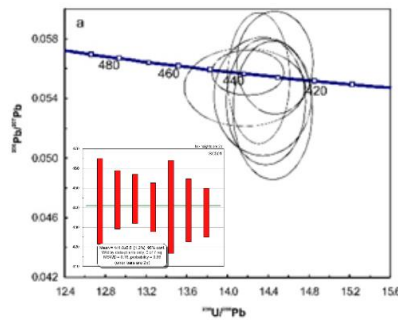
3.2. Magma

3.2.1. Magma xâm nhập Ordovic muộn: Đây là thành tạo magma được phát hiện mới trong khu vực Hoà An, thành tạo magma granodiorit được thu thập tại phần đáy lỗ khoan HT115.1 (độ sâu 65,4m) khu vực Hà Trì và đáy lỗ khoan K7.07 (độ sâu 105m) khu vực Phan Thanh, chúng có ranh giới phía trên với đá magma siêu mafic. Đá có cấu tạo khối, sáng màu, hạt thô, bị phiến hoá mạnh, đá bị dập vỡ và phong hoá mạnh.

Đặc điểm tuổi thành tạo: Kết quả xác định tuổi đồng vị U-Pb trên khoáng vật zircon bằng công nghệ MC-ICP-MS tại Nhật Bản cho tuổi trung bình $441-450 \text{ tr.n}$. Kết quả định tuổi mới này đã khẳng định sự tồn tại của các thành tạo magma Paleozoi sớm trong khu vực nghiên cứu.



Hình 4. Ảnh CL một số hạt zircon mẫu SC501 và DC608



Hình 5. Kết quả xác định tuổi mẫu granodiorit khu vực Hòa An

3.2.2. Phức hệ Cao Bằng

* Siêu mafic

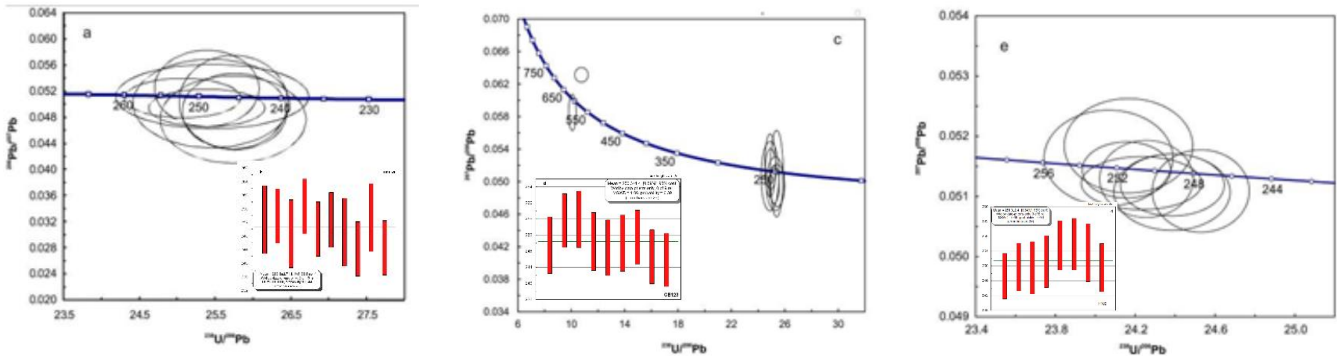
Các thành tạo siêu mafic có kích thước nhỏ, xuất lộ chủ yếu ở phần trung tâm vùng nghiên cứu dọc theo đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên. Trong khu vực nghiên cứu đã phát hiện và khoan định được hơn 6 khối siêu mafic chính: Suối Cùn, Khuổi Khoang, Khuổi Bắc, Nà Cạn, Phan Thanh và khối Hà Trì. Đá có thành phần thạch học của các khối siêu mafic chủ yếu là lherzolit, wehilit chứa plagioclas xen kẽ và ít đá gabbro. Đá có kiến trúc hạt toàn tự hình, đôi khi gặp kiến trúc khảm (các tinh thể nhỏ olivin khảm trên mặt tấm pyroxen), kích thước hạt trung bình, thường cỡ 0,5-1,0mm. **Thành phần nguyên tố chính:** Hàm lượng SiO_2 tập trung chủ yếu trong khoảng 37,02-45,19%, MgO từ 18,63-30,64%, Al_2O_3 từ 5,22-9,7%, FeOT từ 5,67-13,23%, CaO từ 3,32-7,32%, hàm lượng TiO_2 thấp (từ 0,2-1,3%), Na_2O (từ 0,1231-2,96%), K_2O (từ 0,0635-1,746%). Từ sự tương đồng về thành phần khoáng vật, kiến trúc, đặc điểm thạch học giữa khối siêu mafic khu vực nghiên cứu chúng ta chứng tỏ chúng là cùng một nguồn magma ban đầu.

Đặc điểm địa hóa nguyên tố vết: Các nguyên tố đất hiếm nhẹ được làm giàu tương đối với tỷ lệ $(\text{La}/\text{Sm})_N$ khoảng 1,2-2,4, trong khi nhóm nguyên tố đất hiếm nặng bị làm nghèo nhẹ đến gần như không thay đổi từ Gd đến Yb với $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ khoảng 1,1 đến 1,3. Tất cả các mẫu đều có dị thường âm Eu yếu có thể phản ánh do kết tinh phân dị yếu của khoáng vật plagioclase. Trên biểu đồ tương quan giữa mẫu với Manti nguyên thủy cho thấy chúng có đặc điểm khá tương đồng với các đá mafic hệ tầng Bằng Giang với các nguyên tố lithophil được làm giàu khá mạnh (Ba, Rb, Cs), các nguyên tố trường lực mạnh như Nb, Ta bị làm nghèo mạnh trong khi Th, U và Pb lại được làm giàu. Tất cả các mẫu không có biểu hiện Zr bị làm nghèo cho thấy đá có thể có sự tác động của vật chất vỏ trong quá trình manti nóng chảy hoặc trong quá trình hỗn nhiễm vỏ của hoạt động xâm nhập (Hình 2).

Đặc điểm đồng vị ($^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$)_i và ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)_i: Kết quả phân tích 11 mẫu đồng vị các đá siêu mafic trong lỗ khoan khu vực Hà Trì, Phan Thanh, Đông Sang cho thấy các đá siêu mafic có tỷ số đồng vị ban đầu ($^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$)_i biến đổi từ 7,082-7,093; giá trị ϵNd (t) biến đổi từ -3,97 đến -5,65, tương đồng với nguồn manti giàu kiểu EMII.

* Mafic

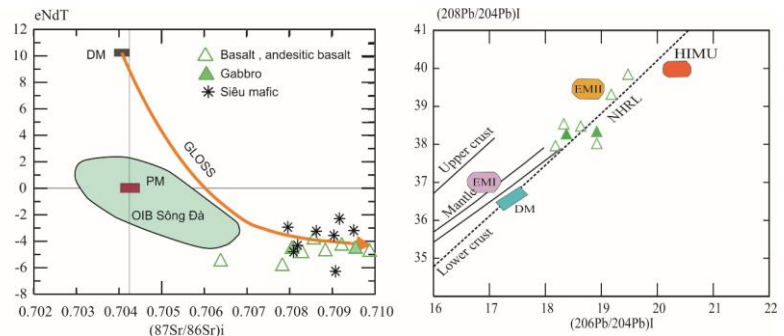
Các thành tạo xâm nhập gabbrodolerit xuất hiện khá phổ biến trong khu vực nghiên cứu như khu Phan Thanh, Hà Trì, Suối Cùn, Khuổi Khoang, Khuổi Bắc, Nà Cạn... Các đá xâm nhập mafic có thể kích thước nhỏ, dạng thấu kính kéo dài, chúng xuyên cắt các trầm tích lục nguyên, đôi khi nằm trong tập các đá siêu mafic phức hệ Cao Bằng. Đá bị ép phiến, vỡ vụn và bị các mạch cacit, thạch anh giai đoạn sau xuyên cắt. Ranh giới các thành tạo xâm nhập mafic có quan hệ kiến tạo với các thành tạo xung quanh bởi đứt gãy nghịch, chõm nghịch là chủ yếu. Đá gabrodiabas có màu xám đôi khi xám phớt lục, cấu tạo khối, kiến trúc hạt nhỏ, vừa ophit, khảm ophit. Thành phần khoáng vật (%): Plagioclas 55-59, pyroxen xiên 40-43, khoáng vật phụ thường gặp là apatit; khoáng vật chứa quặng chủ yếu là chalcopyrit, pyrit dạng xâm tán thưa. Các khoáng vật plagioclas bị zoizit, sericit hóa, đôi khi plagioclas bị biến đổi hoàn toàn. Đặc điểm tuổi đồng vị U-Pb trên khoáng vật zircon: Các thành tạo gabbrodiabas, gabro được định tuổi bằng đồng vị U-Pb trên khoáng vật zircon bằng công nghệ MC-ICP-MS tại Hàn Quốc, kết quả xác định cho giá trị tuổi từ 250-251tr.n.



Hình 7. Tuổi trung bình mẫu CB168, CB123, HT02 đá gabrodiabas khu vực Hoà An

Đặc điểm địa hoá nguyên tố chính: Hàm lượng SiO_2 giao động từ 50,15-53,17%, MgO từ 5,66-9,23%, tổng ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) biến đổi từ 2,89-4,30 và thuộc trường magma gabbro-diorit. Các đá gabrodiabas thuộc kiểu calc-alkali tholeit đến kiểu calc-alkali cao K, thấp TiO_2 (0,85-1,06%), Al_2O_3 (13,44-16,71%), hàm lượng FeO^T biến đổi 7,43-12,08% và chỉ số $\text{Mg}\#$ ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$) khá cao, biến đổi từ 51,68 đến 71,77%.

Đặc điểm nguyên tố hiếm, vết: Các đá gabrodiabas địa hóa nhóm nguyên tố hiếm vết tương đồng với các đá basalt hệ tầng Bằng Giang, tỷ số $(\text{La}/\text{Sm})_N = 2,20-2,79$. Các mẫu đều có sự nghèo hóa Eu, với tỷ số $\text{Eu}/\text{Eu}^* =$ từ 0,55-0,89. Trên biểu đồ đối sánh mẫu với giá trị Manti nguyên thủy các đá basalt và gabrodiabas khu vực Hoà An có sự phân bố tương đồng, các nguyên tố ion lớn (LILE) được làm giàu như Rb, Ba, K, Cs. Các nguyên tố cường độ trường lực cao (HFSEs) như Nb, Ta, Zr, Hf, P và Ti bị làm nghèo khá mạnh, điển hình các nguyên tố Nb, Ta bị nghèo hóa rất mạnh trong khi Th, U lại có mức độ làm giàu khá mạnh; Đặc điểm địa hóa và đồng vị $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, Pb: Kết quả phân tích các tỷ số đồng vị (đồng vị ban đầu tính cho 250tr.n.) cho thấy các đá

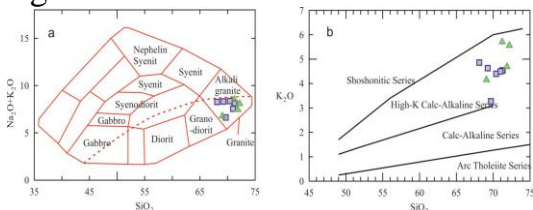


Hình 6. Biểu đồ tương quan xác định nguồn đá magma siêu mafic, mafic khu Hoà An

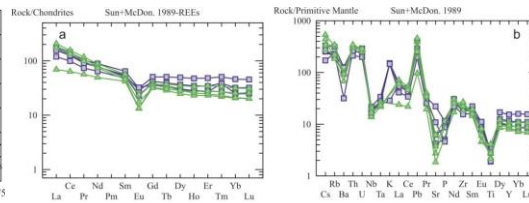
gabbrodiabas có tỷ số $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ cao, biến đổi từ 0,708072 đến 0,70957 và tỷ số đồng vị và $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ thấp (0,512085-0,512086); giá trị ϵNd (t) trong các đá mafic biến đổi từ -4,68222 đến -4,6669, tương đồng với nguồn manti giàu kiểu EMII. Đồng vị Pb ban đầu (tính cho 250 trn.) có đặc điểm $(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0$ từ 18,1814 đến 19,4764, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0$ từ 15,7596 đến 15,8332 và tỷ số đồng vị $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_0$ biến đổi từ 37,9150 đến 39,9009. Các giá trị đồng vị đưa trên biểu đồ tương quan, nằm trên đường trộn lẫn giữa manti nghèo (DM) với nguồn vỏ (HIMU), khá tương đồng với kiểu nguồn manti giàu kiểu II (EMII). Sự tương đồng giá trị đồng vị giữa các đá basalt và gabbro chứng tỏ chúng được xuất phát cùng nguồn manti trong cùng bối cảnh kiến tạo.

3.2.3. Phức hệ Núi Điện ($\gamma\text{T}_{1-2\text{nd}}$)

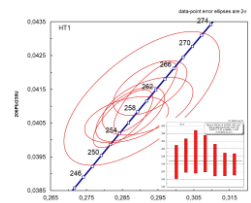
Các thành tạo phức hệ Núi Điện ($\gamma\text{T}_{1-2\text{nd}}$) có diện tích không lớn ở phía tây nam diện tích khu vực nghiên cứu, kéo dài theo phương TB-ĐN và nằm trên cánh tây nam của đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên, phía bắc của khối tiếp xúc xuyên cắt với đá vôi của hệ tầng Bắc Sơn (C-P) gây skarn hoá, dolomit hoá. Phía nam và tây nam, các đá granit có quan hệ gần như chuyển tiếp sang ryodacit và rhyolit của hệ tầng Sông Hiến, phía bắc của khối bị phủ bởi trầm tích Neogen hệ tầng Cao Bằng. Đá có thành phần thạch học chủ yếu là granit amphibol, đôi khi có granit amphibol - 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%, feldpat kali 30-35%, plagioclas 20-25%, biotit 5%, amphibol 5%. Khoáng vật phụ apatit, zircon, sfen; Đặc điểm địa hoá như sau: $\text{SiO}_2 = 68,11-71,3\%$, tổng $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})=6,66-8,36\%$, hàm lượng K_2O khá cao 3,09-4,86%, hàm lượng TiO_2 thấp 0,41-0,73%. Trên biểu đồ tương quan tất cả các mẫu nghiên cứu rơi vào trường granit, kiểu kiềm vôi cao K. Trên biểu đồ đối sánh mẫu với Chondrit và manti nguyên thủy cho thấy đá granit Núi Điện khu vực nghiên cứu có đặc điểm các nguyên tố đất hiếm nhẹ được làm giàu tương đối, tỷ lệ $(\text{La}/\text{Sm})_N$ từ 1,5-1,8, nhóm nguyên tố đất hiếm nặng bị làm nghèo, yếu từ Gd đến Yb với $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ khoảng 1,0-1,1, dị thường âm Eu yếu phản ánh do kết tinh phân dị yếu của khoáng vật plagioclase. Trên biểu đồ tương quan giữa mẫu với Manti nguyên thủy cho thấy chúng có những đặc điểm khá tương đồng với các đá mafic hệ tầng Bằng Giang, các nguyên tố lithophil được làm giàu khá mạnh (Ba, Rb, Cs) trong khi các nguyên tố trường lực mạnh như Nb, Ta bị làm nghèo mạnh, Th, U và Pb lại được làm giàu.



Hình 8. A. Biểu đồ phân loại đá magma xâm nhập SiO_2 và $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ (Middlemost, 1994); b. Biểu đồ phân loại đá theo hàm lượng K_2O (Peccerillo và Taylor, 1976)



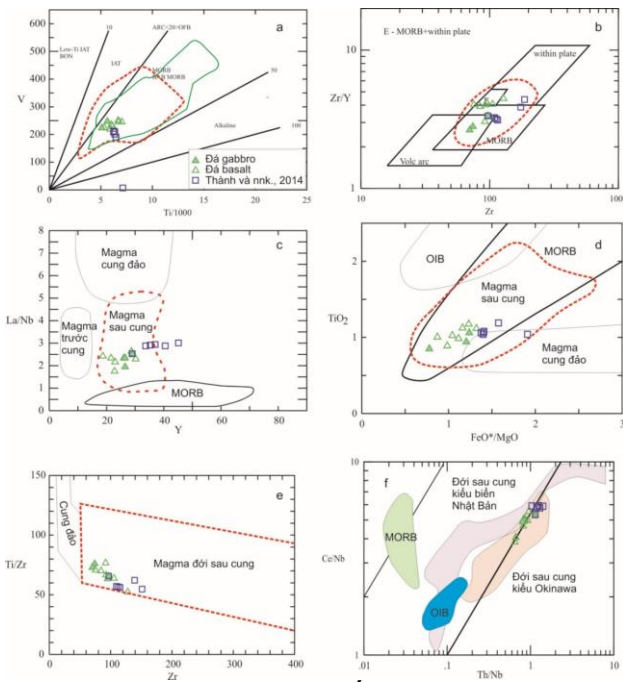
Hình 9. a. Biểu đồ đối sánh mẫu với Chondrit; b- Biểu đồ so sánh mẫu với Manti nguyên thủy các đá granit Núi Điện (Theo Sun và McDought, 1989)



Hình 10: Kết quả tuổi U-Pb mẫu granodiorit (256tr.n)

3.2.4. Điều kiện địa động lực hình thành các đá magma Paleozoi muộn - Mesozoi sớm khu vực Hòa An

* **Bối cảnh kiến tạo của các tổ hợp magma:** Các kết quả nghiên cứu về tuổi thành tạo và bản chất kiến tạo của các đá magma siêu mafic, gabbro, basalt, granit và rhyolit cho thấy trong giai đoạn Paleozoi muộn - Mesozoi sớm khu vực nghiên cứu thuộc rìa lục địa tích cực. Trong đó các đá rhyolit và granodiorit thuộc kiểu magma cung magma đối hút chìm trong khi đó các đá mafic và siêu mafic tương ứng với kiểu magma hình thành ở bồn sau cung (Hình 12, 13).



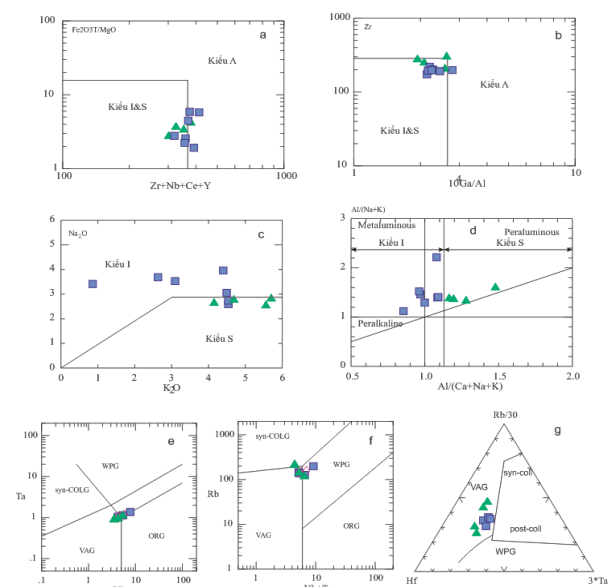
Hình 12. Tương quan tỷ số địa hóa (a) Ti với V, (b) Zr với Zr/Y, (c) Y với La/Nb, (d) FeO*/MgO với TiO₂, (e) Zr với Ti/Zr, và (f) Th/Nb với Ce/Nb thể hiện các mẫu nghiên cứu tương đồng với kiểu magma mafic hình thành liên quan đến đới tách giãn sau cung

* **Bối cảnh địa động lực của các thành tạo magma Paleozoi muộn - Mesozoi sớm:** Kết quả nghiên cứu tuổi của các thành tạo magma xâm nhập trong khu vực cho thấy khu vực nghiên cứu có một tổ hợp đá magma có tuổi và nguồn gốc hết sức khác nhau, đá xâm nhập siêu mafic có tuổi cổ nhất (270tr.n) rồi đến các đá mafic (263tr.n) và các đá axit có tuổi rất khác biệt (440tr.n) và (256tr.n). Các nghiên cứu khác về các đá phun trào cũng cho thấy sự phân dị, trong đó các đá phun trào đáy đại dương tuổi có thể tới 330tr.n còn các phun trào axit kiểu lục địa tuổi trung bình khoảng 250tr.n. Một điểm đặc biệt là tất cả các thành tạo magma có tuổi khác nhau đều tập trung trong một khu vực nhỏ là dọc ranh giới của đới cấu trúc Sông Hiến với các thành tạo vây quanh, trong một đới biến dạng chòm nghịch nhiều pha. Ranh giới giữa chúng đều là các hệ thống đới trượt chòm nghịch quy mô lớn và tất cả các thành tạo nói trên đều là các nê-mi kiến tạo ngoại lai. Cấu trúc này thường thấy và là đặc trưng của một đới khâu kiến tạo hình thành do sự phá hủy một rìa lục địa tích cực diễn ra trong Mesozoi sớm như đề xuất bởi Trần Thanh Hải et al., (2011), Tran and Halpin (2011) và Halpin et al. (2015). Như vậy, vùng nghiên cứu có thể là một phần đới khâu Dian Qiong - Sông Hiến (Cai and Jiang, 2011; Halpin et al., 2015) và có thể là phần kéo dài của đới khâu Sông Mã nếu tính đến sự dịch trượt và biến dạng trong Kainozoi của các đứt gãy khu vực như Sông Cháy và ít hơn là Cao Bằng - Tiên Yên đi qua khu vực này.

3.3. Đặc điểm quặng hoá niken - đồng sulfua

3.3.1. Thành phần khoáng vật quặng: Quặng sulfua xâm tán có thành khoáng vật quặng chủ yếu là: pyrotin chiếm từ 0,5-20%, chalcopyrit chiếm từ 0,1-2%, pentlandit chiếm từ 0,01-2%, magnetit chiếm từ 0,1-2%, covelin chỉ gặp ở một vài mẫu <0,1%. Quặng sulfua đặc sít có thành phần chủ yếu là: pyrotin đến 80%, chalcopyrit đến 10%, pentlandit đến 10%, ít hơn là sphalerit hàm lượng từ 0,01- 0,1%, magnetit <0,1%, pyrit 1-10% và covelin <0,1%.

3.3.2. Đặc điểm địa hoá quặng: Kết quả phân tích các thành phần nhóm PGE của 11 mẫu đá siêu mafic có mức độ xâm tán sulfua niken - đồng từ thưa đến đặc sít tại Canada



Hình 13. Biểu đồ tương quan thành phần địa hóa các đá granit khu vực Hòa An. (a, b, c, d) Biểu đồ phân loại kiểu granit; (e, f, g) Các biểu đồ phân định bối cảnh của granit (theo Whalen et al. 1987; Shand, 1943; Pearce và nnk., 1984; Harris và nnk., 1986; Maniar và nnk. 1989)

bằng phương pháp phân tích HR-ICP-MS như sau: Quặng sulfua chứa 1,6-7,8% hàm lượng Ni, 0,8-1,0% Cu, và 1,3-4,2 ppm tổng Pt + Pd giá trị hàm lượng trong quặng sulfua khoảng 1,1% hàm lượng Ni, 0,35% Cu, và 0,7 ppm tổng Pt + Pd. Tỷ lệ Cu/Pd là 7086, Pd/Ir > 100, và (Pt + Pd)/Ir > 140, Cu/Pd, Pd/Ir và (Pt + Pd)/Ir trong quặng sulfua tương ứng lần lượt là 3367-10571 (trung bình 7400).

Đồng vị $\delta^{34}\text{S}$ của các khoáng hóa sulfua dao động trong khoảng từ -1,5 đến + 3,4 ‰ (T. V. Svelitskaya và nnk., 2015 và 2017). Trên sơ đồ phân bố nguyên tố PGE, Cu, Ni các đá siêu mafic khu vực Cao Bằng cho thấy chúng có đường phân bố các nguyên tố PGE, Cu, Ni tương tự nhau và thể hiện sự khá tương đồng phân đoạn các nguyên tố, với đặc trưng các nguyên tố Pd, Pt được làm giàu tương đối so với các nguyên tố khác, và nghèo nguyên tố Os, tổng lượng PGE không cao.

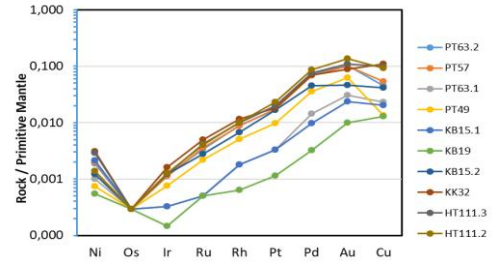
3.3.2. Nguồn gốc quặng Ni-Cu khu vực Hòa An

Để đánh giá nguồn gốc quặng sulfua, NCS sử dụng các kết quả phân tích nhóm platin (PGE), kết hợp với chỉ số lưu huỳnh. Kết quả đưa lên biểu đồ cho thấy đá mafic, siêu mafic tại khu vực Hòa An cho thấy chúng thuộc kiểu magma xâm nhập cao magie. Với giá trị đồng vị S ở đây là -3,4 đến +1,0 các sulfua trong đá nghiên cứu có nguồn gốc từ cùng nguồn manti nguyên thủy bị làm giàu tác động bởi các lưu huỳnh từ vật chất vỏ (giá trị âm thấp hơn -1,5). Như vậy, các thành tạo chứa quặng niken - đồng trong khu vực nghiên cứu liên quan đến các thành.

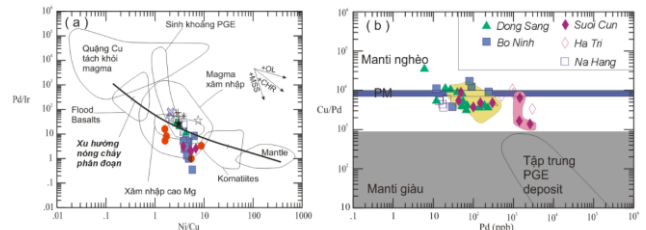
tạo quặng kiểu magma thật sự có nguồn trực tiếp từ manti giàu vật chất vỏ

3.3.3. Nóng chảy nguồn manti và khả năng tập trung quặng Cu-Ni: Magma mafic, siêu mafic hình thành trong giai đoạn kiến tạo Paleozoi muộn - Mesozoi sớm do quá trình nóng chảy trực tiếp từ nguồn manti dưới sâu. Kết quả phân tích đồng vị và địa hoá nguyên tố hiếm vết cho thấy các đá này được hình thành liên quan đến nguồn manti giàu kiểu II (EMII). Sự làm giàu vật chất vỏ trong manti này dẫn đến quá trình nóng chảy nguồn manti tạo nên các thành tạo magma chứa khoáng hoá Ni-Cu khu vực Hòa An. Để tính toán mức độ nóng chảy của nguồn manti NCS sử dụng mô hình tương quan giữa La/Sm với Gd/Yb (Becker và Le Roex, 2006) và La/Yb với Dy/Yb (Thirlwall và nnk, 1994). Kết quả cho thấy các đá siêu mafic là sản phẩm nóng chảy từ nguồn manti chứa spinel với mức độ nóng chảy khoảng 3%-10% (Hình 17 a, b). Với mức độ nóng chảy nguồn này là thấp và tương ứng với điều kiện hình thành kiểu magma sinh khoáng Ni là chủ đạo, trong khi sinh khoáng Cu, PGE thấp (O'Neill et al., 1995; Leshner and Stone, 1996).

3.3.4. Khả năng sinh khoáng hoá Ni-Cu của magma siêu mafic: Đá magma siêu mafic có thể liên quan đến tạo khoáng kim loại màu như Cu, Ni, Fe, Co, Cr... Kết quả phân tích hóa của các đá siêu mafic phức hệ Cao Bằng khu vực Hòa An được tính toán và đưa lên biểu đồ dự báo tiềm năng sinh quặng của các đá siêu mafic, nhận thấy đá siêu mafic khu vực Hòa An nằm trong trường sinh khoáng Cu-Ni và là trường sinh khoáng đặc trưng cho đá siêu mafic. Như vậy, các đặc điểm địa hóa đá magma siêu mafic trong khu vực Hòa An cho thấy chúng hoàn toàn có khả năng sinh khoáng Cu, Ni. Kết quả này hoàn toàn phù hợp

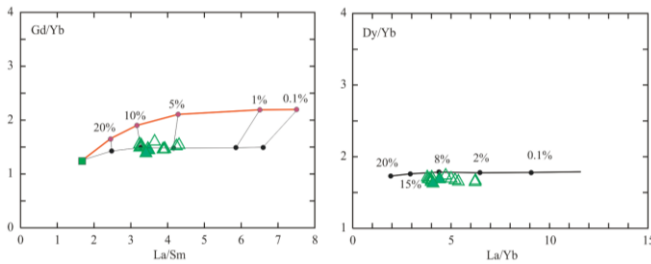


Hình 14. Chuẩn hóa nhóm PGE quặng sulfua trong đá siêu mafic với Chondrite

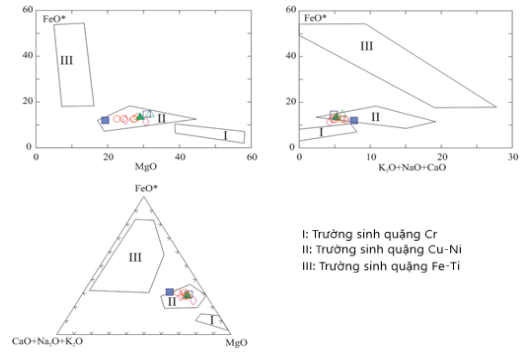


Hình 15. Sự phân bố Cu/Pd và Pd (theo Barnes và nnk., 1993), thể hiện các trường hình thành quặng Ni-Cu sulfur và nhóm PGE (a) và biểu đồ đối sánh tỷ số Ni/Cu và Pd/Ir với các trường magma trong các điều kiện kiến tạo khác nhau (b)

với đặc điểm phân bố khoáng hóa Cu, Ni sulfua trong các thành tạo siêu mafic trong khu vực nghiên cứu.



Hình 17. Ước tính mức độ nóng chảy nguồn manti sử dụng các nguyên tố đất hiếm các đá siêu mafic khu vực Phan Thanh và Suối Cùn. (a) La/Sm với Gd/Yb (Becker và Le Roex, 2006), (b) La/Yb với Dy/Yb (Thirlwall et al., 1994)



Hình 18. Biểu đồ xác định trường sinh khoáng các đá siêu mafic

3.3.5. Quá trình phân dị và tập trung quặng Ni-Cu trong đá magma siêu mafic

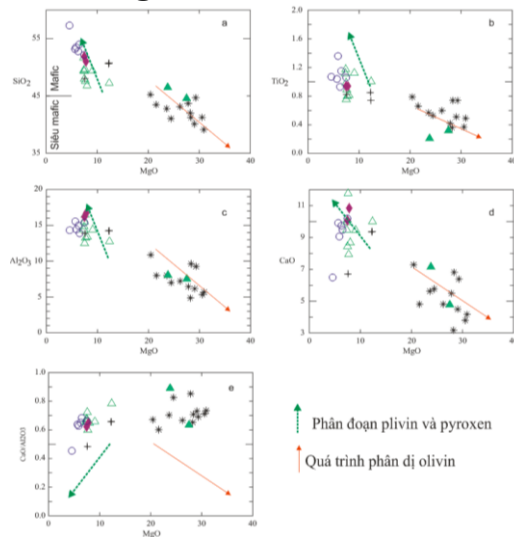
Đánh giá mức độ kết tinh phân đoạn của đá magma:

Quá trình kết tinh phân đoạn được đánh giá trên cơ sở liệt kết tinh Bowen trên cơ sở số liệu địa hóa nguyên tố. Để đánh giá quá trình kết tinh phân đoạn, NCS sử dụng biểu đồ tương quan nguyên tố MgO với các nguyên tố chính khác của đá magma.

Trên sơ đồ Harker (Hình 19) cho thấy các mối tương quan nghịch giữa MgO với các nguyên tố chính SiO₂ với Al₂O₃, TiO₂, CaO, và P₂O₅. Tương quan nghịch với SiO₂ cho thấy có sự kết tinh phân đoạn giữa các khoáng vật có tính mafic cao (olivin, orthopyroxen) với nhóm có tính mafic thấp hơn (clinopyroxen, plagioclas).

Tương quan nghịch với nguyên tố Al₂O₃, CaO (nguyên tố điển hình trong khoáng vật clinopyroxen và plagioclas) cho thấy các đá có sự kết tinh phân đoạn đồng thời olivin với clinopyroxen và plagioclas trong các mẫu nghiên cứu. Quan hệ nghịch giữa Al₂O₃ với hàm lượng MgO đồng thời dị thường Eu trên biểu đồ đối sánh Chondrit chứng tỏ quá trình kết tinh phân đoạn plagioclas đã xảy ra trong các đá nghiên cứu.

Đánh giá khả năng tập trung quặng Ni-Cu trong quá trình magma: Để đánh giá quá trình kết tinh phân đoạn liên quan đến quặng Cu, Ni, PGE với các khoáng vật tạo đá (olivine, pyroxen...), NCS sử dụng biểu đồ tương quan giữa MgO với Ni, Cu và giữa Ir với Pd, Pd và Cu/Pd nhóm PGE với nhóm nguyên tố hiếm vết. Tương quan thuận giữa nhóm nguyên tố điển hình của olivin (MgO) với Ni, Cu (nguyên tố quặng) cho thấy quá trình kết tinh phân đoạn olivine đồng thời với kết tinh phân đoạn khoáng vật quặng Ni, Cu sulfua. Trên các sơ đồ tương quan giữa Ir với Pd/Ir và giữa Pd với Cu/Pd cho thấy các quặng sulfua trong khu vực nghiên cứu chủ yếu phân bố theo trường kết tinh phân đoạn và quá trình phân dị cùng olivin, chứng tỏ quá trình tập trung quặng Cu-Ni-PGE trong các đá đi kèm với quá trình kết tinh phân đoạn và tập trung quặng trong giai đoạn sớm của magma, liên quan đến phân đoạn và phân dị olivine trong các đá.



Hình 19. Sơ đồ Harker thể hiện mối tương quan giữa thành phần MgO với các nguyên tố chính khác trong đá mafic, siêu mafic Hoà An

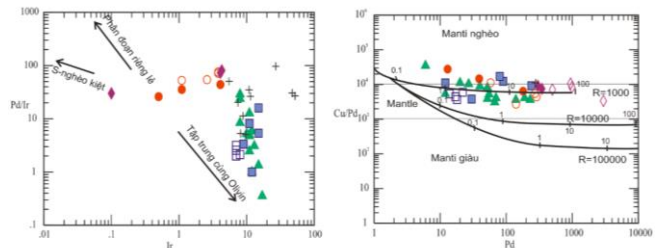
Kết quả phân tích mẫu trong khối siêu mafic có xu hướng ít thay đổi tỷ số Pd/Ir, điển hình cho quá trình kết tinh phân đoạn cùng olivin và có sự nghèo hóa S trong quá trình tạo quặng (Hình 20a). Trên sơ đồ quan hệ giữa Pd và Cu/Pd (Hình 20b) cho thấy các số liệu nghiên cứu chủ yếu phân bố có liên quan đến manti nghèo với mức độ kết tinh phân đoạn của các khoáng vật sulfua mức độ trung bình đến thấp ($R=1000$, hình 20b). Trên Hình 21 thể hiện mối tương quan giữa nguyên tố nhóm PGE với các tỷ số Zr/Nb và Th/Nb (tỷ số địa hóa thể hiện hỗn nhiễm vỏ trong magma) để đánh giá khả năng trình kết tinh phân đoạn magma, quá trình tách quặng sunfid trong magma với sự tác động của thành phần vật chất vỏ trong magma. Các số liệu nghiên cứu khối siêu mafic vùng nghiên cứu cho thấy xu hướng nguyên tố Pd và Pt nghèo trong đá magma tương đồng với mức độ vật chất vỏ tác động tăng (Zr/Nb và Th/Nb tăng)... Nguyên nhân này là do khoáng vật nhóm sunfid đã bị tách ra khỏi magma kéo theo sự đi ra của nguyên tố PGE trong các mẫu bị vật chất vỏ tác động mạnh. Mức độ tách quặng ra khỏi magma do tác động của vật chất vỏ được thấy rõ trong các mẫu khu vực Phan Thanh.

Tóm lại, các khoáng vật quặng Ni-Cu sulfua khu vực Hòa An liên quan đến nguồn manti có mức độ nóng chảy thấp hình thành trong các đá magma siêu mafic. Đặc điểm địa hóa các đá siêu mafic cho thấy chúng có khả năng sinh khoáng Ni là chủ đạo, mức độ sinh khoáng Cu, PGE khá thấp. Quặng sulfua tập trung chủ đạo liên quan đến quá trình kết tinh phân đoạn trong giai đoạn sớm cùng các khoáng vật tạo đá olivin, quá trình tách dòng quặng tạo nên các quặng đặc sít không cao.

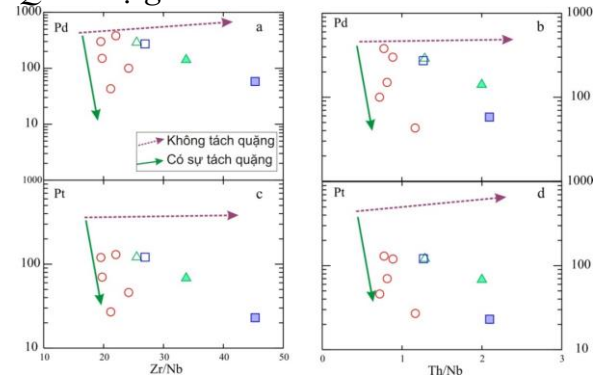
Chương 4. Đặc điểm kiến tạo khu vực Hoà An và mối quan hệ quặng hoá Ni-Cu

4.1. Khái quát chung

Khu vực Hoà An (Cao Bằng) thuộc vùng đông bắc Việt Nam, là một cấu trúc địa chất có nguồn gốc và lịch sử địa chất phức tạp, trải qua nhiều giai đoạn biến dạng chồng lấn lên nhau (Nguyễn Công Thuận, 2005; Vũ Quang Lâm, 2011, Phạm Đình Trường, 2004; Trần Thanh Hải và nnk., 2006; 2011; Halpin et al., 2015). Trần Thanh Hải và nnk., (2006, 2011), Halpin et al., (2015) đã cho rằng khu vực nghiên cứu là mảnh sót của một đới khâu kiến tạo, có thể liên quan tới và là một phần của đới khâu Dian Qiong - Tây Quảng Tây (Cai and Zhang, 2009) và Ailao Shan - Sông Mã hình thành trong Permi muộn, bị phá hủy và làm dịch chuyển bởi các hệ thống đứt gãy khu vực như *Điện Biên Phủ*, *Sông Hồng* và *Hepu-Hetai*. Trần Trọng Hòa và nnk., (2008) cho rằng các thành tạo magma Paleozoi muộn-Mesozoi sớm trong khu vực có thể là một phần của tinh magma lớn Emeishan (ELIP). Trần Văn Trị và Vũ Khúc (2009) và Trần Văn Trị và nnk., 2015 cho rằng vùng nghiên cứu là một phần của đới Sông Hiến - An Châu, trong đó giai đoạn Permi - Mesozoi được xếp vào kiểu hệ rift nội lục phát triển chồng trên đai tạo núi đa kỳ Neoproterozoi - Paleozoi sớm Đông Bắc Bộ.



Hình 20. a. Ir và Pd/Ir quá trình kết tinh phân đoạn khoáng hóa sulfua với khoáng vật tạo đá; b. Quan hệ giữa Pd và Cu/Pd cho nhóm PGE.



Hình 21. Quan hệ giữa Pd và Pt với Zr/Nb và Th/Nb thể hiện xu hướng tách quặng và không tách quặng sulfua trong đá magma siêu mafic nghiên cứu (theo Song và nnk., 2009)

4.2. Các tổ hợp thạch kiến tạo (THTKT)

4.2.1. THTKT rìa lục địa thụ động Paleozoi sớm: gồm các đá trầm tích của hệ tầng Thần Sa, lộ ra với diện tích không lớn ở phía đông bắc của vùng nghiên cứu. Sự đồng nhất về thành phần thạch học và cấu tạo trầm tích của hệ tầng Thần Sa chứng tỏ rằng các thành tạo thuộc tổ hợp này đã được lắng đọng trong một bồn trầm tích có chế độ trầm tích bình ổn như một phần của một thềm lục địa thụ động. Các thành tạo này bị biến dạng mạnh mẽ, bị phân phiến hoàn toàn, đi cùng là các nếp uốn đặng nghiêng và có thể là các đới chõm nghịch song song cấu tạo nếp uốn, thể hiện bởi các đới mylonit hóa (Nguyễn Công Thuận, 2005). Đi cùng với sự biến dạng là sự biến chất tới tương phiến lục làm xoá nhoà gần như toàn bộ cấu tạo trầm tích nguyên thủy. Các thành tạo này nằm dưới một bất chỉnh hợp khu vực lớn và bị các tổ hợp trầm tích Devon sớm phủ bất chỉnh hợp, thể hiện một giai đoạn dài nâng lên, biến dạng và bóc mòn của tổ hợp này trước khi bị vùi sâu và phủ bất chỉnh hợp bởi các thành tạo trẻ hơn.

4.2.2. THTKT rìa lục địa thụ động Paleozoi giữa - muộn: Trong vùng nghiên cứu, tổ hợp thạch kiến tạo rìa lục địa thụ động Paleozoi giữa, gồm các tập trầm tích có thành phần từ lục nguyên vụn thô tới carbonat, carbonat - silic và silic tương biến sâu tuổi Devon sớm đến Cacbon sớm của các đá thuộc các hệ tầng Mia Lé, Nà Quán và Tóc Tát. Trong diện tích nghiên cứu tổ hợp bao gồm 3 tổ hợp thạch học: (a) Tổ hợp thạch học lục nguyên tương ven rìa, gồm các đá trầm tích lục nguyên hạt mịn phân lớp mỏng tuổi Devon sớm thuộc hệ tầng Mia Lé. Khu vực lân cận, các trầm tích lục nguyên vụn thô, từ cuối kết đến cát kết màu đỏ, tương lục địa tuổi Devon Sớm (Trần Văn Trị và Vũ Khúc, 2009) phủ bất chỉnh hợp trên một nền đá biến dạng (Hệ tầng Thần Sa) và chuyển lên trên là các trầm tích lục nguyên tương biến nông (hệ tầng Mia Lé) cho thấy tổ hợp thạch học này được hình thành trong giai đoạn đầu của sự sụt lún và hình thành bồn trầm tích sau một giai đoạn gián đoạn trầm tích lâu dài từ cuối Cambri muộn đến đầu Devon sớm; (b) Tổ hợp thạch học trầm tích lục nguyên carbonat tương thềm lục địa gồm các thành tạo lục nguyên carbonat phân lớp mỏng và carbonat phân lớp dày hoặc dạng khối hệ tầng Nà Quán (D_{1-2nq}), đặc trưng cho môi trường của thềm thụ động; (c) Tổ hợp thạch học trầm tích lục nguyên - carbonat - silic phân lớp mỏng chứa mangan tuổi Devon muộn đến Cacbon sớm (hệ tầng Tóc Tát), đá vôi phân lớp dày chứa silic tuổi Cacbon sớm đến Permi giữa hệ tầng Bắc Sơn đặc trưng cho tương nước sâu, nghèo trầm tích của vùng chân lục địa, thuộc một rìa thụ động. Tập trầm tích này không chỉ trong khu vực Đông Bắc Bộ mà toàn bộ phần nam của mảng Nam Trung Hoa và bắc của mảng Đông Dương, thể hiện bởi sự xuất hiện của các tập trầm tích carbonat dày hoặc dạng của hệ tầng Bắc Sơn phân bố rộng khắp. Nhìn chung, tổ hợp thạch kiến tạo Devon-Permi sớm trong khu vực nghiên cứu đặc trưng cho sự tiến triển của một bồn trũng trầm tích từ giai đoạn tách giãn tới hình thành một rìa lục địa thụ động. Đặc biệt, trong giai đoạn có sự xuất hiện các thành tạo magma vỏ đại dương điển hình bằng sự phát hiện basalt cầu gối tuổi Rb-Sr khoảng 334tr.n (Trần Thanh Hải và nnk., 2007), đây là minh chứng cho thấy sự tồn tại của đại dương lớn giai đoạn này.

4.2.3. Tổ hợp thạch kiến tạo rìa lục địa thụ động Paleozoi muộn: Trong giai đoạn Permi muộn, vùng nghiên cứu đặc trưng bằng loạt trầm tích carbonat - lục nguyên xen lẫn các tập, ở bauxit tuổi Permi muộn. Như vậy, trong giai đoạn này có sự chuyển tiếp từ trầm tích tương biến sâu sang tương biến nông, thể hiện một giai đoạn biến thoái vào khoảng cuối Permi muộn. Một số nhà địa chất (Carter and Clift, 2008; Metcalfe, 2013) cho rằng vào giai đoạn này Paleotethys đang khép lại do sự hội nhập các địa mảng và chuyển thành chế độ biến nông trước khi bị phá hủy bởi hoạt động va chạm tạo núi trong giai đoạn Paleozoi muộn và chuyển sang một chế độ rìa lục địa tích cực. Đặc biệt, Vũ Quang Lân (2011) đã mô tả sự tồn tại của các trầm tích carbonat tuổi Permi muộn xen kẹp trong đá basalt tại khu vực

Hòa An. Bên cạnh đó, sự xuất hiện của các xâm nhập và phun trào tuổi từ 270tr.n (Permi giữa) đến 250tr.n trong khu vực đã chứng tỏ vào giai đoạn khoảng Permi giữa vùng nghiên cứu đã chuyển từ chế độ thụ động sang một rìa lục địa tích cực tạo cung magma và với sự đập vỡ vỏ lục địa và hình thành một bồn tách giãn.

4.2.4. Tổ hợp thạch kiến tạo rìa lục địa tích cực Paleozoi muộn đến Mesozoi sớm:

Trong giai đoạn Permi giữa đến - Trias sớm vùng nghiên cứu nằm trong chế độ kiến tạo tích cực, được đánh dấu bằng tổ hợp thạch kiến tạo các đá magma xâm và phun trào tuổi Permi giữa đến Trias sớm, gồm các xâm nhập siêu mafic, mafic, trung tính và axit. Trong khu vực Hòa An nói riêng và đới Sông Hiến nói chung, các thành tạo thuộc hệ tầng Sông Hiến phân bố chủ đạo về phía tây nam. Ở trung tâm vùng nghiên cứu là các đá thuộc phức hệ Núi Điện (granit, granodiorit chứa hornblende). Kết quả nghiên cứu của tác giả về đặc điểm thạch - địa hóa và tuổi các thành tạo magma này đã xác định các thành tạo magma granodiorit phức hệ Núi Điện và các thành tạo rhyolit hệ tầng Sông Hiến thuộc kiểu magma cung trong đới hút chìm. Các thành tạo mafic, siêu mafic phân bố thành dải không liên tục kéo dài theo phương TB-ĐN nằm giữa vùng nghiên cứu. Chúng gồm các đá phun trào thành phần mafic, chủ yếu là basalt porphyr, plagiobasalt, basalt hạnh nhân màu xanh lục đến lục nhạt, thuộc hệ tầng Bằng Giang có tuổi Permi muộn bao quanh các khối siêu mafic. Tổ hợp đá xâm nhập thuộc phức hệ Cao Bằng này có thành phần hỗn tạp và có dạng nằm bao gồm các thể không liên tục, vây quanh bởi các đứt gãy chòem nghịch. Tuổi của các thành tạo này được xem là từ 270-260tr.n (Trần Trọng Hòa và nnk., 2008; Halpin và nnk., 2015). Kết quả nghiên cứu của tác giả cho thấy chúng được hình thành trong quá trình tách giãn nội lục và hình thành bồn trũng sau cung. Chúng cũng có thể là một phần của tổ hợp ophiolit (Trần Thanh Hải và nnk, 2011, Tran and Halpin, 2011; Halpin et al., 2015) kiểu sau cung. Các kết quả nghiên cứu này đã góp phần quan trọng để xác nhận tổ hợp thạch kiến tạo giai đoạn Paleozoi muộn - Mesozoi sớm (Permi giữa - Trias sớm) trong khu vực nghiên cứu thuộc tổ hợp thạch kiến tạo rìa lục địa tích cực.

4.2.5. Tổ hợp thạch kiến tạo rift nội lục Kainozoi: Tổ hợp đá đặc trưng là các đá trầm tích tương lục địa tuổi Neogen thuộc hệ tầng Cao Bằng, lấp đầy bồn trũng kéo toạc Cao Bằng ở phía tây vùng nghiên cứu. Các thành tạo này được hình thành trong một bồn trũng kéo toạc được khống chế và do kết quả hoạt động trượt bằng dọc theo hệ thống đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên và chủ yếu là các đứt gãy trượt bằng trong Kainozoi.

4.2.6. Các thành tạo bờ dời hệ Đệ tứ: Do đặc điểm địa hình bị phân cắt mạnh mẽ mà vùng nghiên cứu có nhiều bồn trũng giữa núi hoặc thung lũng sông hiện đại, trong đó lấp đầy các trầm tích trẻ, có tuổi Đệ tứ với thành phần trầm tích khác nhau.

4.3. Đặc điểm biến dạng

4.3.1. Pha biến dạng thứ nhất (D1):

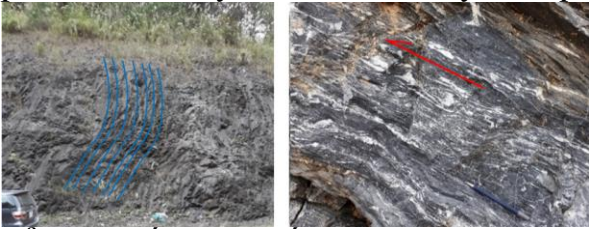
Pha biến dạng thứ nhất (D1) chỉ quan sát được trong các thành tạo thuộc Hệ tầng Thần Sa tại phía đông bắc khu vực Hòa An. Đặc trưng của pha biến dạng D1 sự hình thành các cấu tạo phiến S1 (Ảnh 1) phát triển trong toàn bộ hệ tầng Thần Sa. Có nơi các cấu tạo phiến thường tạp thành các đới mylonit hóa, đi kèm là các nếp uốn đẳng nghiêng có mặt trực song song cấu tạo phiến. Các cấu tạo này bị uốn nếp và dịch chuyển mạnh mẽ bởi các thể hệ cấu tạo muộn hơn. Đặc điểm này xóa nhòa hầu như toàn bộ



Ảnh 1. Cấu tạo phiến biến dạng cao S1 trong hệ tầng Thần Sa quan sát tại điểm khảo sát TS1 phía đông bắc khu vực Hòa An

cấu trúc nguyên thủy của đá và làm cho thể nằm của phiến hết sức phức tạp. Pha biến dạng D1 còn đi kèm với các hoạt động biến chất tương phiến lục mang tính khu vực trong các thành tạo Thần Sa (Nguyễn Công Thuận, 2005; Trần Văn Trị và Vũ Khúc, 2011). Với những đặc trưng uốn nếp này, chúng tỏ một sự kiện biến dạng kiểu uốn nếp chòm nghịch đã diễn ra trong giai đoạn sau Cambri muộn. Sự vắng mặt các thành tạo trầm tích tuổi Ordovic - Silur trong khu vực Hòa An và Cao Bằng chứng tỏ vùng nghiên cứu ở chế độ biến dạng và nâng kiến tạo từ sau Cambri muộn đến hết Silur và có thể tương đồng với pha biến dạng thứ nhất.

4.3.2. Pha biến dạng thứ hai (D2): Pha biến dạng D2 phát triển rộng rãi và tác động tới tất cả các đá có tuổi trước Trias giữa. Pha biến dạng thứ hai diễn ra trong điều kiện biến dạng dẻo, đặc trưng bởi sự phát triển của các hệ thống đới trượt chòm nghịch, đi cùng là các nếp uốn có mặt trục song song với chúng trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Các cấu trúc cơ bản thuộc Pha biến dạng D2 là các đới trượt chòm nghịch quy mô lớn, đi kèm là hệ thống các nếp uốn nghiêng, đảo và đẳng nghiêng quy mô khác nhau. Trên bình đồ cấu trúc, các đới trượt chòm nghịch thế hệ 2 đóng vai trò là ranh giới của hầu hết các thành tạo magma xâm nhập và phun trào mafic. Các đới này liên kết với nhau tạo thành một đới lớn kéo dài phương tây bắc - đông nam và bị cắt qua và làm dịch chuyển bởi các cấu tạo của pha biến dạng muộn hơn. Các đới trượt chòm nghịch thế hệ thứ hai (F2) thường quan sát dễ dàng tại thực địa (Ảnh 2, 3). Ở nhiều nơi, các đới này vận chuyển các thành tạo địa chất cổ hơn chòm phủ lên các thành tạo trẻ hơn. Trên vết lộ, các đới trượt thế hệ 2 thường có chiều dày hàng chục cm đến hàng chục mét, đặc trưng bởi hiện tượng tạo phiến từ tiền mylonit đến siêu mylonit phát triển trong nhiều loại đá khác nhau (Ảnh 2).

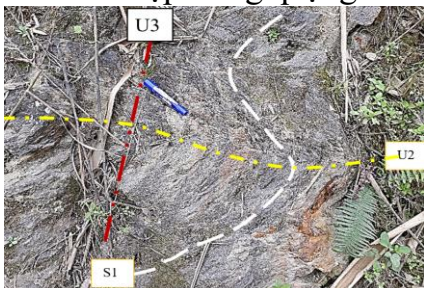


Ảnh 2. Cấu tạo phiến S_1 trong basalt hệ tầng Bằng Giang và đới biến dạng cao trong đá vôi hệ tầng Bắc Sơn do tác động bởi D2

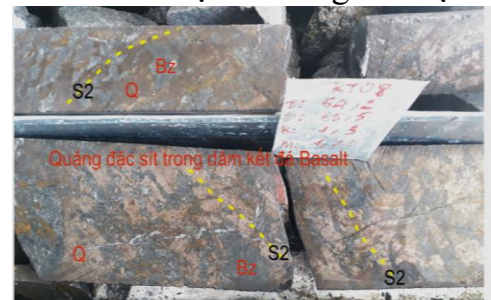


Ảnh 3. Đới trượt dẻo thuộc pha biến dạng thứ 2 tạo ranh giới kiến tạo giữa các thành tạo địa chất

Cấu tạo phiến thuộc pha biến dạng thứ hai cũng phát hiện rộng rãi trong các thành tạo siêu mafic chứa quặng trong khối Suối Cùn, Phan Thanh, Hà Trì, đặc biệt là dọc ranh giới tiếp xúc giữa các thể siêu mafic và các đá vây quanh. Trong các đới này, các đá siêu mafic quặng sulfua niken xâm tán từng bị ép dẹt, kéo dài, tạo các đới phiến hóa và có nơi tạo mylonit. Quặng sulfua dạng đặc sít thường tập trung và lấp đầy khe nứt, còn các khoáng vật quặng có trước thường bị ép dẹt và kéo dài tạo các dải phiến (Ảnh 5). Mối quan hệ này cho thấy các đới trượt F2 là tác nhân tái tập trung quặng hóa để tạo thành các thân sulfua đặc sít trong khu vực này.



Ảnh 4. Cấu tạo phiến S_1 trong hệ tầng Thần Sa bị tác động bởi D2 tạo nên nếp uốn U_2 có mặt trục gần như nằm ngang và sau đó lại bị uốn nếp nhẹ bởi nếp uốn của pha biến dạng D3



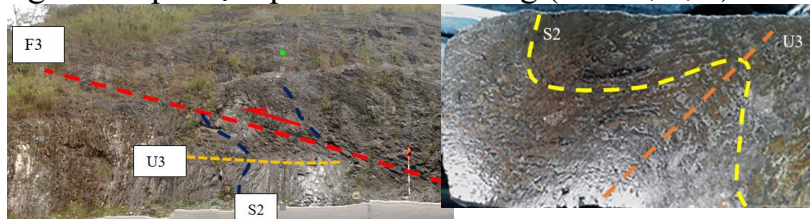
Ảnh 5. Đới chứa quặng sulfua niken đặc sít phát triển chòm lên cấu tạo phiến hình thành trong đá siêu mafic tại khu vực Phan Thanh (LK08)

Như vậy, trong khu vực nghiên cứu, các hệ thống đới trượt chòm nghịch thuộc pha biến dạng D2 (F2) phát triển rộng rãi nhất đóng vai trò quan trọng trong bình đồ cấu trúc khu vực. Kiểu biến dạng chòm nghịch này đặc trưng cho va chạm địa mảng diễn ra giai đoạn Trias sớm. Các biến dạng này là nguyên nhân của sự phá hủy các thành tạo địa chất ở rìa bồn trũng, vận chuyển, xếp chồng các thành tạo có nguồn gốc và tuổi khác nhau, trong đó làm chòm phủ của đá cổ hơn lên trên các thành tạo trẻ hơn dọc theo sự phân bố của chúng để tạo thành các thể ngoại lai trong đới hỗn độn kiến tạo, điển hình cho một đới khâu. Đây chính là nguyên nhân mà các thành tạo địa chất có nguồn gốc và tuổi khác nhau đều tập trung trong đới này như đã mô tả ở các phần trên. Các đứt gãy F2 cũng đóng vai trò là tác nhân làm dập vỡ các thành tạo xâm nhập magma mafic, siêu mafic thành các nêp kiến tạo và đẩy trôi chúng đi lên dọc theo các đứt gãy và tạo ra các đới không chế sự thành tạo khoáng hoá niken - đồng đặc sít trong khu vực.

4.3.3. Pha biến dạng thứ ba (D3): Pha biến dạng phát triển rộng rãi và tác động tới tất cả các đá có tuổi trước Trias giữa và các cấu tạo có trước. Pha biến dạng này diễn ra trong chế độ dẻo đến giòn dẻo chúng đặc trưng bởi các đới đứt gãy nghịch/chòm nghịch có phương chủ đạo là TB-ĐN. Đi cùng với chúng là các nếp uốn có mặt trục song song với hệ thống trượt D3 trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Pha biến dạng này tạo nên các đới cấu trúc trượt chòm nghịch quy mô lớn và các hệ thống nếp uốn nghiêng, nếp uốn đảo hẹp, vòm nhọn quy mô khu vực. Trên bình đồ cấu trúc, các đới trượt chòm nghịch thể hệ thứ 3 đóng vai trò là ranh giới của nhiều thành tạo địa chất trong khu vực, cắt qua làm dịch chuyển, biến dạng uốn nếp các cấu tạo thuộc pha biến dạng thứ biến dạng có trước. Trên thực địa, hệ thống biến dạng thuộc pha biến dạng thứ 3 thường quan sát khá phổ biến. Các cấu tạo thuộc pha biến dạng thứ 3 tạo nên các phức nếp uốn lớn và thường giao thoa với các nếp uốn cổ hơn và bị các cấu tạo trẻ tác động tạo nên cấu trúc hết sức phức tạp. Ở nhiều nơi, sự giao thoa biến dạng giữa pha biến dạng thứ ba và pha biến dạng thứ hai thể hiện bằng các đới trượt và hệ thống uốn nếp được quan sát rất rõ ràng (Ảnh 4, 5, 6).



Ảnh 4. Cấu tạo phiến S₂, đới trượt F2 tạo ranh giới kiến tạo



Ảnh 5. Các cấu tạo phiến S₂, bị uốn nếp do tác động (U₃) của D3, đi kèm là hệ thống đứt gãy F3

Các đá siêu mafic chứa quặng bị pha biến dạng thứ 3 chia cắt khô, tạo ranh giới kiến tạo (Ảnh 4), quặng bị biến dạng phiến hóa trong pha biến dạng thứ 2 bị biến dạng uốn nếp tạo nên cấu tạo nếp uốn có trục nằm nghiêng (Ảnh 5). Các bằng chứng này cho thấy pha biến dạng thứ ba là tác nhân chia cắt các thể siêu mafic chứa quặng, quặng đặc sít trong khu vực và đẩy trôi dạng khô tảng di chuyển đến các vị trí khác nhau thông qua các đới trượt chòm nghịch đồng thời gây biến dạng chúng tạo nên sự phân bố quặng phức tạp trong khu vực nghiên cứu. Trong đới kiến tạo Sông Hiến - An Châu, nghiên cứu các thành tạo trầm tích tuổi Trias muộn đến Jura thể hiện giai đoạn tạo núi do va chạm lục địa (Trần Văn Trị và Vũ Khúc, 2009; Trần Văn Trị, 2015). Các cấu tạo của pha biến dạng thứ 3 có lẽ được hình thành tương đương với giai đoạn này (khoảng sau T₃ đến Jura). Sự kiện khép bồn này đã thành tạo đới khâu Dian - Qiong - Sông Hiến (Trần Thanh Hải và nnk., 2011; Halpin và nnk., 2015).

4.3.4. Pha biến dạng thứ tư (D4):

Pha biến dạng (D4) trùng với hoạt động đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên, đặc trưng của pha biến dạng này là tạo nên hệ thống đứt gãy nghịch, nghịch trượt bằng trái đi kèm với hệ thống biến dạng dòn đến dòn dẻo và chúng có mặt phong phú trong khu vực nghiên cứu. Phương cấu tạo của các đứt gãy thuộc pha này là TB-ĐN. Đi cùng với chúng là sự hình thành một số nếp uốn quan sát được trong trầm tích Neogen, kiểu nếp uốn vòm rộng, mặt trục song song với hệ thống đứt gãy thuộc pha biến dạng D4 trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Pha biến dạng này tác động đến các thành tạo có tuổi Miocen và các thành tạo cổ hơn và bị các trầm tích Đệ Tứ phủ. Trên cơ sở đó tác giả cho rằng pha biến dạng thứ 4 diễn ra vào khoảng cuối Neogen. Đặc điểm cấu tạo cũng như giai đoạn hoạt động của pha biến dạng này khá tương đồng với pha trượt trái, trái nghịch của đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên (Wysocka và nnk., 2020).

4.3.5. Pha biến dạng thứ năm (D5): Pha biến dạng D5 là pha biến dạng xảy ra ở điều kiện dòn, quy mô nhỏ. Hệ thống đứt gãy thuộc pha biến dạng này tác động cục bộ đến các thành tạo đá và các cấu tạo biến dạng thuộc các pha biến dạng sớm hơn trong khu vực, chúng diễn ra trong chế độ hoàn toàn dòn đặc trưng bởi các đứt gãy trượt bằng trái và trượt bằng phải phương chủ đạo là ĐB-TN. Nghiên cứu các vết lộ địa chất cho thấy các biểu hiện đứt gãy của pha biến dạng này chủ đạo là các hệ thống đứt gãy và khe nứt có độ dốc lớn, chủ yếu là trượt bằng phải thuận với phương chủ yếu là ĐB-TN đi kèm là các đới biến dạng dăm, mòn kiến tạo và các mặt trượt đứt gãy (Ảnh 8).

4.4. Lịch sử tiến hóa kiến tạo khu vực

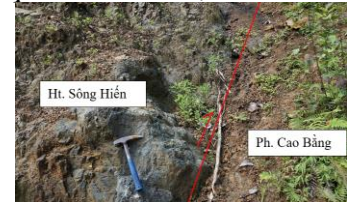
4.4.1. Giai đoạn Cambri muộn: Trong giai đoạn Paleozoi sớm khu vực Hòa An nằm trong một rìa lục địa thụ động đặc trưng bởi các thành tạo lục nguyên - carbonat - silic phân lớp mỏng thuộc tương thềm hoặc rìa lục địa, được lắng đọng trong một bồn trầm tích có chế độ trầm tích bình ổn. Các thành tạo này nằm trên một phức hệ móng cổ hơn nhưng sự xuất lộ của móng này trong phạm vi khu vực nghiên cứu và vùng đông bắc bộ chưa thể xác định được.

4.4.2. Giai đoạn Oclovic - Silur: Trong khu vực nghiên cứu không tồn tại các trầm tích tuổi Oclovic - Silur mà các thành tạo cổ nhất phủ lên các đá tuổi Cambri muộn là các trầm tích tuổi Devon Sớm, tạo nên một bất chỉnh hợp khu vực quy mô lớn và chúng tỏ trong giai đoạn này vùng nghiên cứu trải qua chế độ nghịch đảo kiến tạo, biến dạng và bóc mòn. Toàn bộ các thành tạo trầm tích Cambri muộn đã bị biến dạng mạnh mẽ trong pha biến dạng thứ nhất (D1) trong điều kiện biến chất tương phiến lục, tạo các hệ thống cấu tạo phiến khu vực, đi kèm là sự uốn nếp và đứt gãy chờm nghịch liên quan tới quá trình tạo núi và được xem là tương đồng với pha tạo núi Caledoni.

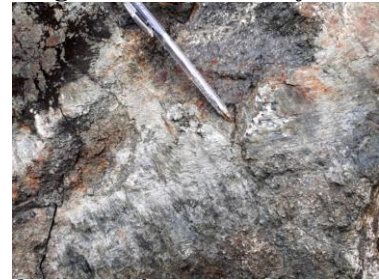
4.4.3. Giai đoạn Paleozoi giữa: Giai đoạn này toàn bộ khu vực Đông Bắc cũng như trong khu vực Hòa An được đặc trưng bởi chế độ sụt lún tạo bồn trầm tích. Hoạt động sụt lún tạo bồn trũng đã bắt đầu từ khoảng Devon sớm và hình thành trầm tích tương ven rìa giai đoạn này. Bồn trầm tích phát triển sang chế độ biển, đại dương trong giai đoạn khoảng cuối Devon sớm đầu Devon giữa, thể hiện bằng loạt trầm tích biển nông, biển



Ảnh 6. Mặt trượt nghịch liên quan đến pha biến dạng D4 cắt qua các cấu tạo có trước



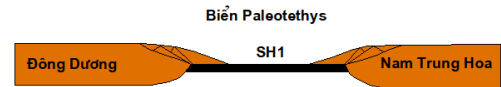
Ảnh 7. Đới trượt nghịch pha kiến tạo thứ 4 tạo nên ranh giới giữa khối siêu mafic



Ảnh 8. Cấu tạo đường trượt liên quan đến trượt bằng phải (Pha D5)

ven rìa. Vào cuối Devon đến khoảng Carbon - Permian sớm, quá trình sụt lún trong giai đoạn này có lẽ đã phát triển cực thịnh, thuộc chế độ biển sâu, bồn đại dương.

Sự phát hiện các thể basalt cầu gôi khu vực đèo Bông Lau, Khu Khoang có thành phần tương đồng vỏ đại dương, tuổi Rb-Sr là 334tr.n (Trần Thanh Hải và nnk., 2007) là minh chứng về sự tồn tại vỏ đại dương trong giai đoạn này (SH1). Kết quả nghiên cứu trong khu vực Hòa An giai đoạn này tương đồng với mô hình đưa ra của Halpin và nnk (2015) cho khu vực Đông Bắc. Quá trình tách giãn giai đoạn này đã hình thành một đại dương cổ phân chia địa khối Nam Trung Hoa và Đông Dương, trong đó khu vực Đông Bắc là một phần của địa khối Đông Dương (Hình 22).



Hình 22. Mô hình mô tả tách giãn giai đoạn tách giãn hình thành bồn đại dương Paleotethys và sự phân bố địa khối Nam Trung Hoa và Đông Dương, trong đó Đông Bắc là một phần của khối Đông Dương (Theo Halpin và nnk., 2015)

4.4.4. Giai đoạn Paleozoi muộn: Vào giai đoạn Permian sớm đến khoảng đầu Permian muộn, vùng nghiên cứu tiếp tục phát triển trầm tích kế thừa bồn trũng rìa lục địa thụ động của giai đoạn trước và hoạt động kiến tạo tương đối bình ổn cho tới đầu Permian muộn. Vào khoảng đầu Permian muộn, giai đoạn này khu vực nghiên cứu nói riêng và đới kiến tạo Sông Hiến - An Châu nói chung được đánh dấu bằng sự thành tạo các trầm tích carbonat, lục nguyên carbonat và trầm tích giàu nhôm của hệ tầng Đồng Đăng, đặc trưng cho tương biển nông, gần bờ. Đặc điểm trầm tích này cho thấy vào giai đoạn Permian muộn khu vực bắt đầu có sự nâng lên toàn bộ khu vực (Trần Văn Trị và nnk., 2009; Trần Văn Trị và nnk., 2015).

4.4.5. Giai đoạn Paleozoi muộn - Mesozoi sớm: Trong giai đoạn Permian giữa đến đầu Trias sớm (khoảng 274-250tr.n), hoạt động magma diễn ra mạnh mẽ trên toàn bộ vùng nghiên cứu cũng như đới Sông Hiến - An Châu. Hoạt động magma giai đoạn này hình thành các tổ hợp magma granit, granodiorit và rhyolit (256-247tr.n) và tổ hợp magma xâm nhập, phun trào mafic, siêu mafic (274-250tr.n). Các kết quả của nghiên cứu này cho phép khẳng định tổ hợp magma giai đoạn 274-247tr.n trong khu vực thuộc kiểu magma rìa lục địa tích cực, liên quan đến một hoạt động hút chìm trong khu vực. Đồng thời, trong giai đoạn này cũng đánh dấu hoạt động sụt lún rìa lục địa tích cực liên quan đến kiểu bồn sau cung (kiểu Okinawa). Sự kiện tách giãn này đã tạo nên tổ hợp đá mafic, siêu mafic, trung tính, basalt cầu gôi xen lẫn các tập trầm tích đá cát kết, phiến sét, bột kết, thấu kính đá vôi, sét vôi phát hiện trong khu vực. Hoạt động tách giãn bồn sau cung cũng đã tạo điều kiện cho quá trình nóng chảy manti có nguồn tương đối sâu đi lên hình thành nên các thể siêu mafic chứa quặng Ni-Cu trong khu vực Hòa An. Những phát hiện mới này kết hợp với các kết quả nghiên cứu của Trần Thanh Hải (2011), Tran and Halpin (2011), Halpin et al (2015), Ngô Xuân Thành (2014) trong khu vực Sông Hiến, tác giả đã xây dựng một mô hình kiến tạo liên quan đến hoạt động hút chìm giai đoạn 274-247tr.n (Hình 23). Hoạt động hút chìm của mảng đại dương cổ dưới lục địa Đông Dương trong giai đoạn Permian - Trias đã hình thành nên cung núi lửa Trường Sơn (Halpin et al (2015)). Phân bố magma từ cung hút chìm đến sau cung (từ tây nam sang đông bắc) trong vùng nghiên cứu cũng như vị trí của vùng nằm về phía tây nam đới khâu Dian - Qiong - Sông Hiến, tác giả cho rằng tổ hợp magma trong vùng nghiên cứu được hình thành liên quan đến hoạt động hút chìm của mảng đại dương cổ xuống dưới khối Nam Trung Hoa. Theo nghiên cứu này, sự tách giãn sau cung có thể diễn ra từ 270tr.n, liên quan tới sự hình thành một cung magma lục địa. Theo mô hình này đòi hỏi phải có một đới hút chìm cầm về phía địa mảng Nam Trung Hoa, ngược với mô hình của Halpin et al (2015) và một số nghiên cứu khác đề xuất một đới hút chìm về phía địa mảng Đông Dương. Nghiên cứu này đề xuất rằng trong quá trình phát triển Paleotethys, sự ép nén của các địa mảng Đông Dương và Nam Trung Hoa dọc theo rìa địa mảng cũng như tạo một trũng sau cung.

4.4.5. Giai đoạn cuối Mesozoi sớm -

Mesozoi giữa: Sự kiện tạo núi, khép bồn trầm tích trong khu vực diễn ra khoảng 245tr.n trước (Trần Thanh Hải và nnk., 2011) và vùng tồn tại chế độ lục địa kéo dài đến tận Kainozoi, thể hiện

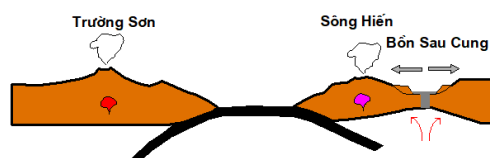
bởi hàng loạt pha biến dạng. Trong giai đoạn từ 245tr.n, sự hội nhập của Nam Trung Hoa vào Đông Dương dẫn tới sự phá hủy của Paleotethys và hai rìa lục địa liên quan đại dương này đã dẫn tới sự phá hủy bồn sau cung trước khi sự kiện va chạm cực đại diễn ra (Hawkins, J.W., 1995). Sự phá hủy bồn này đã dẫn tới pha biến dạng thứ hai, tạo đai biến dạng uốn nếp - chồm nghịch, làm cho các thành tạo đá đại dương và cung magma bị đẩy trôi, biến dạng và dịch chuyển trượt chồm lên nhau trong một đới khâu kiến tạo Dian Qiong - Sông Hiến. Như vậy giai đoạn va chạm ghi nhận được ở khu vực nghiên cứu khá tương đồng với sự kiện va chạm giữa khối Đông Dương và Nam Trung Hoa (Halpin và nnk., 2015). Sự kiện va chạm tạo núi này đã hình thành các đới khâu Dian - Qiong - Sông Hiến và hình thành nên tổ hợp ophiolit kiểu vỏ đại dương (SH1, Trần Thanh Hải và nnk., 2011; Halpin và nnk., 2015) và tổ hợp magma cung và sau cung hút chìm (SH2) (Hình 24).

Tiếp theo, sự va chạm địa mảng tiếp tục diễn ra dọc rìa lục địa mới được hình thành Đông Dương - Nam Trung Hoa với sự khép của Mesotethys và hội nhập của mảng Sibumasu vào Đông Dương (Metcalf, 2013) đã dẫn tới sự kiện biến dạng tiếp theo của pha biến dạng 3. Pha biến dạng 3 là các hệ thống đứt gãy nghịch, chồm nghịch diễn ra trong môi trường dồn dẽo tới dồn tiếp tục làm các thành tạo địa chất và các cấu tạo cổ hơn bị biến dạng, tạo thành các đới chồm nghịch uốn nếp quy mô lớn và định hình khung cấu trúc khu vực. Như vậy, hai sự kiện biến dạng liên quan tới pha biến dạng 2 và 3 có vai trò quan trọng trong sự dịch

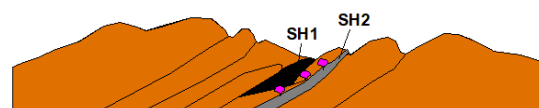
chuyển và đẩy trôi các thể địa chất dưới sâu và tạo nên các ranh giới kiến tạo phức tạp trong khu vực nghiên cứu.

4.4.6. Giai đoạn Kainozoi: Trong giai đoạn này, khu vực nghiên cứu tiếp tục tồn tại chế độ lục địa. Vào khoảng Oligocen vùng nghiên cứu bị tác động bởi hoạt động của đới đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên. Hệ thống đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên được ghi nhận hoạt động trong Kainozoi với tính chất đặc trưng là hệ thống đứt gãy trượt bằng trái, nghịch. Một số nghiên cứu gần đây và kết quả của nghiên cứu này cũng cho thấy đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên (pha biến dạng 4) trong pha này đã cắt qua và làm dịch chuyển đáng kể các thành tạo địa chất ở hai bên cánh đi hàng chục km đồng thời gây biến dạng, tái biến dạng các đá và các pha biến dạng có trước. Trong khu vực Đông Bắc, pha trượt trái, nghịch này được cho là có vai trò chính hình thành hàng loạt các bồn trũng kiểu kéo toạc ghi nhận tại Cao Bằng, Lạng Sơn. Trong giai đoạn Pliocen - Đệ Tứ, đới đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên chuyển sang chế độ hoạt động trượt bằng phải - thuận, pha trượt phải được xác nhận là xảy ra yếu, với cự li dịch chuyển không nhiều (pha biến dạng thứ năm).

4.5. Vai trò của kiến tạo khu vực với sinh khoáng niken - đồng khu Hoà An

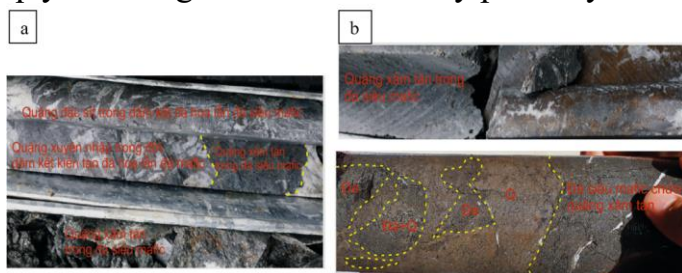


Hình 23. Cấu hình kiến tạo khu vực nghiên cứu trong giai đoạn 270-250tr.n



Hình 24. Va chạm giữa khối Nam Trung Hoa và Đông Dương (bao gồm Đông Bắc) xảy ra khoảng 245-240tr.n. hình thành nên các tổ hợp ophiolit (SH1) dọc đới khâu Dian - Qiong - Sông Hiến (Halpin và nnk., 2015) và các thành tạo magma cung, sau cung khu vực Sông Hiến - An Châu.

4.5.1. Vai trò của hoạt động biến dạng kiến tạo Trias sớm (D2): Pha biến dạng thứ hai tác động làm phiến hóa các thành tạo siêu mafic chứa quặng đi kèm với hoạt động chia cắt, chõm trượt các thể siêu mafic chứa quặng. Tác động của pha biến dạng này khi các thể siêu mafic đang ở trạng thái dẻo nóng tạo nên sự tập trung quặng dọc theo các đới phiến trong đá siêu mafic và trong các đới dăm kết kiến tạo của đá vây quanh. Kết quả của quá trình này là tạo nên các đới tập trung quặng cao trong đá siêu mafic và trong các đới dăm kết kiến tạo của đá vây quanh đã được tìm thấy trong khu vực Hòa An. Trong những cấu trúc thuận lợi, sự tập trung quặng này có thể tạo nên các ổ quy mô đáng kể như đã tìm thấy phần tây bắc khối Hà Trì (Ảnh 8, 9).



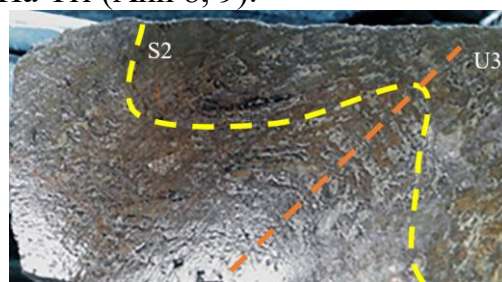
Ảnh 8. Ranh giới đá siêu mafic với đá carbonat bị dăm hóa chứa quặng Ni-Cu sulfua dạng xuyên nhập quan sát trong lỗ khoan LK111.1 (31,5m) khu vực Hà Trì (a) và quặng đặc sít trong đới dăm kết kiến tạo thành phần siêu mafic quán sát tại lỗ khoan LK64.2 (17,5m) khu vực Phan Thanh (b)

Hoạt động kiến tạo chõm nghịch quy mô khu vực trong giai đoạn này đã làm dịch chuyển, đẩy trôi các khối siêu mafic và quặng hoá với cường độ lớn. Kết quả là tạo nên các quan hệ chõm nghịch giữa các khối siêu mafic với đá vây quanh, đồng thời làm chia cắt, dịch chuyển các thể siêu mafic thành các khối khác nhau chõm trượt và thay đổi thứ tự nguyên thủy của chúng (Ảnh 10).

4.5.2. Vai trò của hoạt động biến dạng kiến tạo Mesozoi giữa - Jura (D3): Hoạt động chõm nghịch của pha biến dạng thứ ba tiếp tục tác động đến các thành tạo siêu mafic chứa quặng, làm cho chúng bị tái biến dạng, dịch chuyển, trong đó đáng chú ý các quặng bị biến dạng phiến hóa trong pha biến dạng thứ 2 đã bị tác động và uốn nếp phức tạp cấu trúc quặng. Pha biến dạng thứ ba đã tiếp tục đẩy trôi các thể siêu mafic làm tăng cường sự dịch chuyển của các khối siêu mafic và quặng về phía đông, đông nam. Quá trình này đã tạo nên các ranh giới kiến tạo giữa các đá siêu mafic với các đá khác trong khu vực Hòa An. Các quan hệ này được thể hiện bằng các đới chõm trượt ghi nhận được trong nội khối siêu mafic tạo nên sự chia cắt, dịch chuyển phức tạp thêm thứ tự, quan hệ nguyên thủy của đá (Ảnh 10, Hình 25).

4.5.3. Vai trò của hoạt động kiến tạo Kainozoi (D4, D5):

Pha biến dạng thứ tư (D4): Pha biến dạng D4 được đặc trưng bởi biến dạng dòn, dòn dẻo dọc các đới đứt gãy trượt bằng trái, trái nghịch. Pha biến dạng này với quy mô dịch chuyển theo phương ngang khá lớn là nguyên nhân tái sắp xếp, phân bố các thành tạo siêu mafic trong khu vực theo phương song song với hệ thống đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên.



Ảnh 9. Quặng bị biến dạng phiến kéo dài do tác động của pha biến dạng thứ hai (S2) và bị biến dạng uốn nếp (U3) do tác động của pha biến dạng thứ ba gặp trong lỗ khoan khu vực Hà Trì

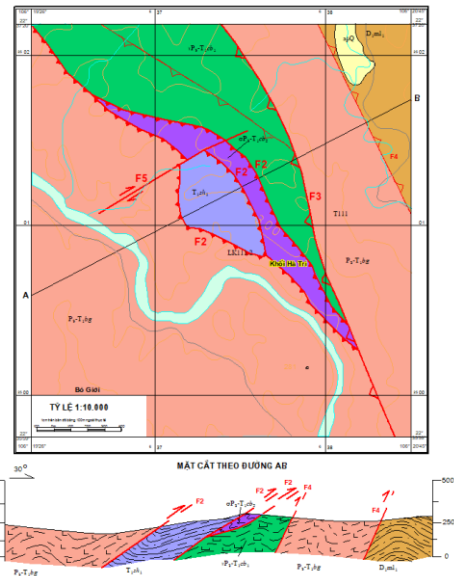


Ảnh 10. Các đứt gãy nghịch/chõm nghịch (F2) pha biến dạng thứ 2 (D2) làm chia cắt nội khối Phan Thanh

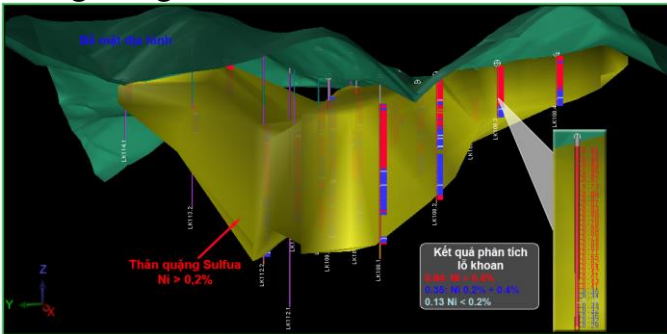
Hệ thống đứt gãy nghịch thuộc pha biến dạng kiến tạo này một lần nữa đã chia cắt, đẩy trôi tạo ranh giới kiến tạo giữa đá siêu mafic và các đá khác trong khu vực Hòa An như đã quan sát được ngoài thực địa và trên bình đồ cấu trúc khu vực (Hình 26, 27).

Pha biến dạng thứ năm (D5): Hoạt động của pha biến dạng thứ năm diễn ra khá yếu, đặc trưng bởi những mặt trượt, đới dăm kiến tạo, đới mùn đứt gãy được phát hiện hạn chế trong các thành tạo siêu mafic. Nghiên cứu các mặt trượt, đới biến dạng cho thấy các đới trượt này gây ra dịch trượt không đáng kể tới các thành tạo địa chất chứa quặng trong khu vực nghiên cứu, điển hình như các đới cấu tạo quan sát trong các khối siêu mafic Suối Cùn, Phan Thanh, Đông Sang...

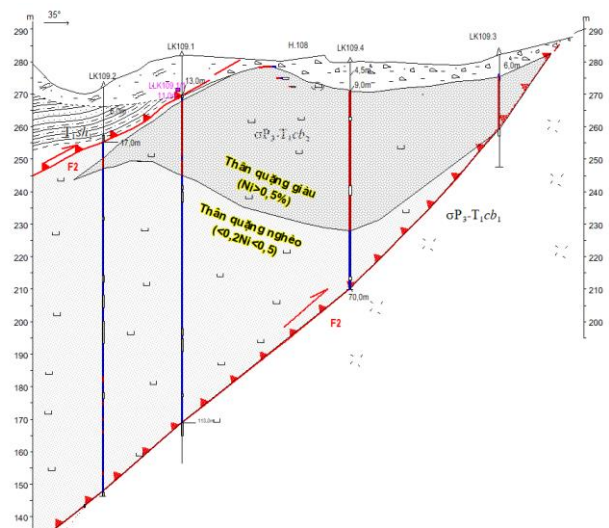
Trên cơ sở đó, NCS cho rằng pha biến dạng D5 ít có vai trò nhiều trong việc dịch chuyển, tái sắp xếp và tái cấu trúc các thành tạo quặng nói riêng và thành tạo địa chất nói chung trong khu vực Hòa An.



Hình 25. Đứt gãy pha biến dạng kiến tạo thứ 2 (F2); pha biến dạng thứ 3 (F3) tác động tạo ra ranh giới kiến tạo và đẩy trôi các thể siêu mafic



Hình 26. Mô hình hoá khối siêu mafic khu vực Hà Trì sự phân bố hàm lượng niken không theo quy luật của dung ly do tác động do hoạt động kiến tạo pha biến dạng thứ D2, D3



Hình 27. Mặt cắt T109 khối siêu mafic Phan Thanh bị tác động bởi pha biến dạng thứ D2, D3 làm thay đổi quy luật phân bố hàm lượng quặng Ni-Cu

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Từ kết quả tổng hợp, xử lý, phân tích từ các tài liệu đã nghiên cứu của vùng kết hợp với công tác khảo sát nghiên cứu của NCS về thành phần vật chất, môi trường thành tạo, bối cảnh kiến tạo, đặc điểm biến dạng, quan hệ không gian các thể địa chất, nguồn gốc thành tạo, NCS có một số kết luận sau:

1. Khu vực Hòa An có lịch sử phát triển địa chất phức tạp, đã trải qua ít nhất 05 giai đoạn kiến tạo, trong đó, giai đoạn Paleozoi muộn - Mesozoi sớm khu vực nghiên cứu thuộc kiểu rìa lục địa tích cực, có vai trò quan trọng trong thành tạo các đá magma mafic, siêu mafic và quặng niken - đồng sulfua.

2. Các thành tạo địa chất trong khu vực đã bị tác động ít nhất bởi 05 pha biến dạng kiến tạo chính, gồm pha biến dạng thứ nhất (D1) diễn ra trong chế độ dẻo, hình thành trong Paleozoi sớm; Pha biến dạng thứ hai (D2) diễn ra trong chế độ dẻo đi kèm hoạt động trượt chòm nghịch hình thành vào khoảng cuối Trias sớm; Pha biến dạng thứ ba (D3) diễn ra trong chế độ dẻo, dòn dẻo liên quan đến các đứt gãy nghịch, chòm nghịch phát triển trong khoảng Trias muộn đến trước Jura; Pha biến dạng thứ tư (D4) diễn ra vào khoảng Pliocen - Miocen, điển hình bằng các đới trượt trái, trái nghịch phương TB-ĐN; Pha biến dạng thứ năm (D5) trong giai đoạn Miocen - Đệ Tứ, đặc trưng là các hệ thống đứt gãy trượt bằng phải, phải thuận.

3. Quặng niken - đồng trong khu vực Hòa An thuộc kiểu quặng có nguồn gốc magma thật sự, quặng tồn tại dạng xâm tán trong các thể xâm nhập siêu mafic là chủ đạo. Các đá magma xâm nhập siêu mafic khu vực Hoà An có vai trò sinh khoáng niken - đồng, trong đó sinh khoáng niken trội hơn đồng, PGE.

4. Các hoạt động biến dạng giai đoạn Mesozoi sớm đến Kainozoi có vai trò tái tập trung quặng, không chế ranh giới các thành tạo chứa quặng trong khu vực nghiên cứu. Trong đó, pha biến dạng thứ hai có vai trò tập trung quặng tạo thành các đới quặng, ổ quặng có mật độ cao trong các khối siêu mafic và trong các đới dăm kết kiến tạo vây quanh. Hai pha biến dạng thứ hai và thứ ba có vai trò không chế sự trôi lộ của các thành tạo quặng thông qua các dịch trượt chòm nghịch hướng từ tây nam sang đông bắc. Pha kiến tạo thứ tư có vai trò chia cắt, tái dịch chuyển đá chứa quặng theo cả phương ngang và phương thẳng đứng. Các pha biến dạng kiến tạo này đã chúng tái sắp xếp, định hình lại khung cấu trúc khu vực như hiện tại.

Kiến nghị

1. Tiếp tục nghiên cứu chi tiết về thành tạo magma có tuổi Ordovic có mặt trong vùng (diện phân bố, thành phần thạch học, khoáng vật, đặc điểm địa hoá...) để bổ sung vào dữ liệu địa chất nhằm luận giải đúng đắn về lịch sử phát triển địa chất khu vực.

2. Mở rộng nghiên cứu cho các đá magma trong đới Việt Trung, tìm kiếm nhận dạng các khối mafic, siêu mafic dọc theo đứt gãy Cao Bằng - Tiên Yên để làm rõ đặc điểm kiến tạo thành tạo nên chúng cũng như khoáng hóa liên quan phục vụ cho công tác quy hoạch điều tra, thăm dò khoáng sản nói chung và khoáng sản niken - đồng nói riêng.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

Tiếng Việt

1. Vũ Mạnh Hào, Nguyễn Thanh Hương (2016), “Vai trò của đứt gãy Cao Bằng-Tiên Yên đối với các thành tạo chứa đồng niken khu vực Cao Bằng”, *Tạp chí Địa chất, Loạt A, số 359, 9/2016, tr. 33-39.*
2. Vũ Mạnh Hào, Ngô Xuân Thành, Trần Mỹ Dũng, Trần Văn Miến, Trần Hải Nam, Đặng Hương Giang (2019), “Điều kiện magma và khả năng sinh khoáng Ni-Cu-PGE khối siêu mafic Phan Thanh, khu Hoà An, tỉnh Cao Bằng”, *Tạp chí Địa chất Loạt A, số 368/2019, tr. 46-59.*
3. Nguyễn Văn Nguyên, Đồng Văn Giáp, Hà Xuân Bình, Vũ Mạnh Hào, Đinh Đức Anh, Nguyễn Thị Bích Thủy, Hồ Thị Thu (2019), “Một số kết quả nghiên cứu của Gossans muôn phía Bắc CHDCND Lào và ý nghĩa của chúng trong điều tra đánh giá và thăm dò khoáng sản”, *Tạp chí Địa chất Loạt A, số 369-370/2020, tr. 66-77.*

Tiếng Anh

1. Ngo Xuan Thanh, Tran Thanh Hai, Vu Manh Hao, Nguyen Quoc Hung, Le Xuan Truong (2016), “Geodynamic setting and metallogenic potential of ultramafic massifs in Cao Bang area, NE VietNam. International conferences on earth sciences and sustainable geo-resources development, *ESASGD 2016, tr.n 48-54.*
2. Vu Manh Hao, Nguyen Truong Tai, Tran Van Mien, Ngo Xuan Thanh, Tran Minh Quang (2018), “Contribution of slab aqueous fluid and sediment melt components to the Permian mafic rocks in the Cao Bang area: Evidences from geochemical compositions and Nd, Pb, Sr isotope systematics”, *GEOSEA, tr.n 89.*
3. Nguyen Thi Bich Thuy, Quach Duc Tin, Ho Thi Thu, Tran Dai Dung, Nguyen Duc Chinh, Bui The Anh, Nguyen Thi Xuan, Dang Van Long, Vu Manh Hao (2018), U-Bp zircon age of Dien Binh granitoid pluton in Bo Y, Ngoc Hoi, Kon Tum province and its geological implications, *GEOSEA, tr.n 328.*