



ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ ẢNH HƯỞNG MÔI TRƯỜNG TRÊN CƠ SỞ NGHIÊN CỨU ĐỊA HÓA ĐẤT VÀ VỎ PHONG HÓA KHU VỰC HÀM YÊN - BA BỂ

VŨ XUÂN LỰC¹, NGUYỄN VĂN NIỆM², NGUYỄN KHẮC GIẢNG³, NGUYỄN THỊ THỤC ANH³,
TRẦN VĂN THÀNH¹, ĐỖ ĐỨC NGUYỄN²

¹ Liên đoàn Bản đồ và Địa chất biển miền Bắc

² Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản Việt Nam

³ Viện Địa hóa, môi trường và Phát triển bền vững

Tóm tắt

Khu vực Hàm Yên - Ba Bể nằm trong vùng có cấu trúc địa chất phức tạp, được cấu thành bởi nhiều đối tượng địa chất khác nhau, các đá bị phong hóa mạnh, nhiều khu vực tạo vỏ phong hóa có chiều dày khá lớn. Kết quả nghiên cứu cho thấy, trong đất và vỏ phong hóa của khu vực có sự tập trung, tích tụ cao của nhiều nguyên tố có khả năng ảnh hưởng đến môi trường như Pb, Zn, Cu, Cd, As, Cr, Ni... trong nhiều đối tượng địa chất khác nhau. Tùy theo tuổi (hệ tầng, phức hệ) mà mỗi đối tượng nêu trên phổ biến loại nguyên tố và hàm lượng khác nhau. Đây là dấu hiệu về khả năng có thể có nguy cơ ảnh hưởng đến môi trường trong khu vực. Kết quả nghiên cứu cũng đã xác định được mối liên quan khá chặt chẽ của các vành phân tán và các nguyên tố tích tụ cao trong vỏ phong hóa trên với nhiều yếu tố như thạch học - địa tầng, magma, đứt gãy, uốn nếp, địa hình, địa mạo, đặc điểm phân bố quặng gốc trong khu vực. Trên cơ sở tiêu chí về đặc điểm địa hóa đất (các vành phân tán); địa hóa vỏ phong hóa (mức độ tích tụ các nguyên tố); tiền đề (thạch học - địa tầng, magma, cấu trúc, địa hình - địa mạo) và dấu hiệu (điểm lộ quặng, các đới biến đổi...) cũng như mức độ vượt giới hạn theo quy định hiện hành của chúng, nhóm nghiên cứu dự kiến phân chia các vùng trong khu vực ra những mức độ có nguy cơ bị ô nhiễm khác nhau như sau: (i) Vùng có nguy cơ rất cao (Đồng Lạc, Bằng Lũng) với nguyên tố Pb, As, Zn, Cd, Cu, Ni, (Cr); (ii) Vùng có nguy cơ cao (Ngọc Hội, Hàm Yên, Linh Thông) với nguyên tố As, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr; (iii) Vùng có nguy cơ (Bản Ba, Quang Minh, Nặng Khả, Hòa An) với các nguyên tố As, Cu, Cr Pb, Zn. Những kết quả nghiên cứu đã thu nhận được là cơ sở để khoanh định diện tích cần được tiếp tục điều tra, đánh giá để xác định mức độ ảnh hưởng lên môi trường và đưa ra biện pháp phòng tránh trong tương lai.

Từ khóa: Địa hóa đất, vỏ phong hóa, ô nhiễm kim loại nặng, vành phân tán địa hóa, đánh giá rủi ro môi trường, thạch học và địa tầng, tích tụ nguyên tố, phân vùng ô nhiễm.

Ngày nhận bài: 5/8/2025; **Ngày sửa chữa:** 29/8/2025; **Ngày duyệt đăng:** 19/9/2025.

Assessment of environmental impact risks based on soil geochemistry and weathering crust research in Ham Yen - Ba Be area

Abstract

Ham Yen - Ba Be area is located in a complex geological structure, composed of many different geological objects, strongly weathered rocks, many areas creating weathering crusts with quite large thickness. Research results show that in the soil and weathering crust of the area, there is a high concentration and accumulation of many elements that can affect the environment such as Pb, Zn, Cu, Cd, As, Cr, Ni, ... in many different geological objects. In each of the above objects, depending on the age (formation, complex), the common types of elements and their content are different. These are signs of the potential risk of affecting the environment in the area. Research results have also identified a fairly close relationship between the dispersion rings and highly accumulated elements in the above weathering crust with factors such as lithology-stratigraphy, magma, faults, folds, topography, geomorphology, and distribution characteristics of original ores in the area. Based on the criteria of soil geochemical characteristics (dispersion rings), weathering crust geochemistry (level of element accumulation) and premises (lithology-stratigraphy, magma, structure, topography-geomorphology), signs (ore exposures, transformation zones, ...), as well as the level of exceeding the limits according to their current regulations, the authors plan to divide the areas in the region into different levels of risk of contamination as follows: Very high risk areas: including Dong Lac, Bang Lung areas with elements Pb, As, Zn, Cd, Cu, Ni, (Cr). High risk areas: including Ngoc Hoi, Ham Yen, Linh Thong areas with high risk of elements As, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr. Risk areas: including Ban Ba, Quang Minh, Nang Kha, Hoa An areas with risk of elements As, Cu, Cr Pb, Zn. The obtained studies are the basis for delineating areas that need further investigation and assessment to determine the level of environmental impact and propose preventive measures.

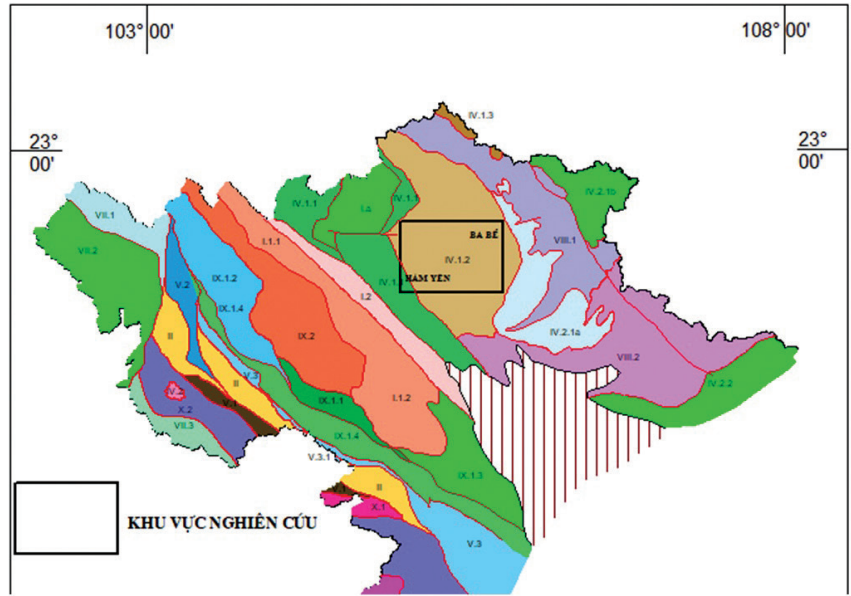
Keywords: Soil geochemistry, weathering crust, heavy metal contamination, geochemical dispersion halo, environmental risk assessment, lithology and stratigraphy, element accumulation, contamination zoning.

Classification: O13, Q51, R11.

1. MỞ ĐẦU

Trong những năm qua, trên thế giới, nhiều nghiên cứu về địa hóa đất và vô phong hóa, phục vụ lĩnh vực tìm kiếm, thăm dò khoáng sản cũng như quản lý môi trường đã được thực hiện và áp dụng rộng rãi. Điển hình như Butt C., 2015 đã khái quát các cơ sở của phương pháp thăm dò vô phong hóa để áp dụng cho vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới. Ashoke K. Talapatra, 2020 thì đề cập đến phương pháp tìm kiếm quặng ẩn thông qua vô phong hóa. Dimitrios E. và nnk, 2021 lại giới thiệu nguyên tắc đo vẽ bản đồ sử dụng đất bền vững trên cơ sở các thông số địa hóa. Paul Alexandre, 2021 khi tổng kết các công tác địa hóa tìm kiếm đã khẳng định rằng các phương pháp nghiên cứu địa hóa, trong đó có địa hóa vô phong hóa là một trong những phương tiện trợ giúp đắc lực trong tìm kiếm, thăm dò khoáng sản. Nhiều công trình nghiên cứu gần đây của De Caritat P et al., 2017; Rajkumar H., Naik P.K., Rishi M.S., 2018; Ahmed Saleh et al., 2019; Imran Khan, Bharat C. Choudhary, Saifi Izhar et al., 2023; Li, P.; Gong, Q và nnk., 2024; Yuchen Yan et al., 2025 cũng khẳng định tính hiệu quả của của việc ứng dụng địa hóa vô phong hóa và địa hóa đất trong các lĩnh vực tìm kiếm khoáng sản và môi trường.

Tại Việt Nam, nghiên cứu địa hóa đất và địa hóa vô phong hóa bắt đầu được áp dụng những năm gần đây trong các công trình nghiên cứu địa chất, tìm kiếm và đo vẽ bản đồ địa chất, quản lý tài nguyên môi trường với các công bố của các tác giả thuộc Viện Địa chất - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản; Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam; Đại học Mỏ - Địa chất; Đại học Khoa học Tự nhiên (Đại học Quốc gia Hà Nội)... Trong đó có thể kể đến các



Hình 1. Vị trí khu vực Hàm Yên - Ba Bể trong mối quan hệ với các yếu tố cấu trúc lớn của Việt Nam (Nguyễn Công Thuận và nnk, 2024). IV.1.1- Khối Sông Lô (khối Hàm Yên); IV.1.2 - Khối Lô Gâm (gồm phụ khối Ba Bể và Chiêm Hóa)

công trình của Phạm Văn An và nnk, 1998; Phạm Văn Thanh và nnk, 1998; Nguyễn Khắc Giảng và nnk., 2006, 2022; Nguyễn Văn Niệm và nnk, 2023; Nguyễn Thị Thục Anh và Đỗ Ngọc Lê Dung, 2023.... Gần đây nhất là “Đề tài Xây dựng nền địa hóa đa mục tiêu quốc gia cho sáu tỉnh biên giới phía Bắc” của Viện Địa chất - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Trần Tuấn Anh và nnk, 2024).

Khu vực nghiên cứu thuộc vùng cấu trúc Đông Bắc bộ, nằm trong các khối cấu trúc Lô Gâm và Sông Lô (Trần Văn Trị và nnk, 2008; Nguyễn Công Thuận và nnk, 2024 (Hình 1)). Đây là vùng có cấu trúc phức tạp, gồm nhiều đối tượng địa chất khác nhau, nhiều biểu hiện khoáng sản có thể tác động đến môi trường và đã được nhiều nhà địa chất quan tâm, nghiên cứu, trong đó đáng chú ý là công trình đo vẽ 1:200.000 tờ Bắc Kạn (Nguyễn Kinh Quốc, 1974); các công trình đo vẽ 1: 50.000 có nhóm tờ Na Hang - Ba Bể (Nguyễn Văn Quý, 1992); nhóm tờ Đại Thị - Phía Khao, Bắc Kạn (Đỗ Văn Doanh, 1992); nhóm tờ Chiêm Hóa (Đình Thế Tân, 1987). Những công trình này chủ yếu mới chỉ tập trung vào công tác lập bản đồ và điều tra khoáng sản chung, chưa có nghiên cứu sâu hoặc đánh giá tác động môi trường của chúng, đặc biệt là dựa trên đặc điểm địa hóa đất, vô phong hóa.

Ở các công trình đo vẽ 1:50.000, ngoài ghi nhận và phát hiện được nhiều điểm khoáng sản có thể ảnh hưởng đến môi trường như Pb-Zn, Au, Sb, Pi, nhóm nghiên cứu đã tiến hành lấy mẫu địa hóa đất theo mạng lưới. Kết quả, đã khoanh vùng được một số khu vực tập trung cao các vành phân tán của một số nguyên tố có thể thể ảnh hưởng đến môi trường trong vùng như As, Pb, Zn, Cu, Cr, Ni. Đây là cơ sở quan trọng để nhận định sơ bộ những khu vực tiềm ẩn bị ảnh hưởng môi trường trong khu vực. Ngoài ra, các mỏ Pb-Zn trong khu vực do có quy mô và triển vọng tốt nên đã được nhiều doanh nghiệp tiến hành khai thác, chế biến, nhất là khu vực Chợ Đồn tạo ra nhiều bãi thải nên mức độ nguy cơ ô nhiễm trong khu vực rất cao. Bên cạnh đó, theo số liệu của các trạm y tế địa phương, tại Bản Thi (Chợ Đồn) và một số khu vực khác nơi đang



khai thác nhiều điểm quặng Pb-Zn thì số người bị máu nhiễm chì, xương khớp tăng khá cao, phù hợp với kết quả nghiên cứu. Từ nhu cầu chung và đặc điểm tại khu vực nêu trên, Đề tài “Nghiên cứu đề xuất quy định kỹ thuật lập bản đồ địa hóa đất và vỏ phong hóa đa mục tiêu tỷ lệ 1/250.000” đã chọn khu vực làm vùng áp dụng thử nghiệm, tiến hành lấy mẫu địa hóa đất theo mạng lưới tuyến tỷ lệ 1:250.000 tại khu vực Hàm Yên (khối cấu trúc Sông Lô) (Hình 1) và lộ trình khảo sát địa chất lấy mẫu địa hóa mặt cắt vỏ phong hóa trên các mặt cắt đại diện cũng như đầy đủ, qua nhiều đối tượng địa chất khác nhau của các khối cấu trúc. Mục đích nhằm chính xác hóa lại các kết quả địa hóa đất đã có; sơ bộ nhận định mức độ nguy cơ ô nhiễm môi trường (ÔNMT) trong khu vực trên cơ sở các kết quả mẫu phân tích có độ tin cậy cao (ICP-MS, ICP đồng thời 36 nguyên tố, quang phổ plasma) kết hợp các phương pháp xử lý hiện đại.

Kết quả của Đề tài đã ghi nhận có sự tập trung của nhiều vành phân tán các nguyên tố có thể gây ảnh hưởng đến môi trường như Cu, Pb, Zn, As, Cd, Cr, Ni; nghi nhận sự tăng cao của nhiều nguyên tố nêu trên trong nhiều kiểu vỏ phong hóa khác nhau, đáng chú ý là tại khu vực Đông Nam khối Ba Bể, một số nguyên tố có sự tăng cao so với giới hạn cho phép rất nhiều lần như Pb, Zn, As.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ CƠ SỞ TÀI LIỆU

2.1. Phương pháp

- *Thu thập, tổng hợp tài liệu:* Nhóm nghiên cứu đã thu thập, tổng hợp, phân tích, xử lý toàn bộ tài liệu về cấu trúc địa chất, thành tạo địa chất, vỏ phong hóa, khoáng sản, địa hóa của các công trình lập bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000, 1:50.000...; tài liệu về đánh giá, thăm dò khoáng sản; tài liệu nghiên cứu chuyên sâu về địa hóa đất trong khu vực về khoáng sản, môi trường, đất nông nghiệp. Kết quả tổng hợp đã chỉ ra ở một số khu vực (Chợ Đồn, Bản Thi, Hàm Yên...) có nhiều nguyên tố tích tụ cao trong đất có thể liên quan đến khoáng sản, ảnh hưởng đến môi trường, cây trồng.

- *Khảo sát:* Nhóm nghiên cứu đã tiến hành nhiều lộ trình khảo sát để thu thập các mặt cắt vỏ phong hóa theo tuyến có hướng vuông góc với phương cấu trúc, qua tất cả mọi đối tượng địa chất và bậc địa hình khác nhau. Kết quả đã phân chia chi tiết được đá gốc và các kiểu vỏ phong hóa liên quan cũng như mặt cắt của chúng cho từng đối tượng địa chất (lục nguyên biến chất cao, lục nguyên hạt mịn, lục nguyên carbonat...) cho một số bậc địa hình khác nhau và lấy mẫu phân tích.

- *Lấy mẫu và phân tích mẫu:* Nhóm nghiên cứu đã tiến hành lấy các loại mẫu gồm: Mẫu địa hóa đất được lấy tại khu vực Hàm Yên theo mạng lưới (2,3 - 2,7 km

x (200 - 310 m) theo tuyến vuông góc với cấu trúc địa chất khu vực, khối lượng là 140 mẫu. Mẫu địa hóa vỏ phong hóa được lấy đại diện cho tất cả các kiểu vỏ và cho từng đối tượng bằng hình thức lấy mẫu rãnh với kích thước 5 cm x 10 cm x 1 (1 là chiều dài mẫu tùy thuộc chiều dày đới), khối lượng là 106 mẫu. Mẫu đất cây trồng cho các kiểu đất, tại một phần diện đất lấy 2 tầng (tầng O+A và B), chiều sâu khoảng 60 - 70 cm, khối lượng là 20 mẫu cho 10 kiểu đất. Đối với mẫu địa hóa bãi thải, đã lấy 5 mẫu tại các bãi thải đá loại sau khai thác và bùn sau tuyển của các mỏ chì kẽm, nhà máy tuyển khu vực Chợ Đồn. Mẫu nước (5 mẫu), được lấy tại các ngọn khe nhỏ nhằm đánh giá môi trường nước. Các mẫu đã được tiến hành phân tích cho loại mẫu ICP-MS, ICP đồng thời 36 nguyên tố, quang phổ plasma 15 nguyên tố đất hiếm, nước toàn phần và vi lượng nước, phân tích mẫu đất.

2.2. Cơ sở tài liệu

Tổng hợp, đánh giá kết quả đo vẽ các tờ tỷ lệ 1:200.000 và các nhóm tờ tỷ lệ 1:50.000 cùng một số công trình đánh giá, thăm dò khoáng sản tại khu vực Hàm Yên - Ba Bể (Đỗ Văn Doanh, 1982; Nguyễn Văn Quý, 1992; Nguyễn Văn Quý, 1992). Các tài liệu của Đề tài “Nghiên cứu đề xuất quy định kỹ thuật lập bản đồ địa hóa đất và vỏ phong hóa đa mục tiêu tỷ lệ 1/250.000” Mã số: TNMT. 2024.02.05” (Vũ Xuân Lược và nnk).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kết quả tổng hợp, phân tích, xử lý tài liệu và kết quả nghiên cứu của Đề tài, nhóm nghiên cứu sơ lược đặc điểm địa hóa đất và vỏ phong hóa, mối liên quan với khả năng ảnh hưởng môi trường khu vực Hàm Yên - Ba Bể như sau:

3.1. khái quát đặc điểm địa chất khoáng sản

Về địa tầng: Trong diện tích nghiên cứu có nhiều đối tượng địa chất với đặc điểm thành phần khá đa dạng, mức độ biến dạng, biến chất và nhiều tuổi khác nhau, gồm: Các trầm tích lục nguyên hạt vừa tới mịn, lục nguyên carbonat, carbonat, lục nguyên silic thuộc các hệ tầng Chiêm Hóa tuổi Meso-proterozoi (PR₂ch); Chạm Chu tuổi Cambri sớm-giữa (Є₁-2cc); Hà Giang tuổi Cambri giữa (Є₂hg); Phú Ngũ tuổi Ordovic-Silur (O-Spn); Pia Phương tuổi Silur giữa-Devon sớm(S₂-D₁pp); Cốc Xô tuổi Devon sớm-giữa (D₁-D₂cc) và Văn Lãng tuổi Nori-Reti (T₃n-rvl).

Về magma: Trong khu vực nghiên cứu có các thành tạo xâm nhập acid phức hệ Ngân Sơn tuổi Silua muộn (γS₂ns); các thành tạo xâm nhập mafic phức hệ Núi Chúa tuổi Permi muộn (vəP₃nc); xâm nhập acid kiềm phức hệ Pia Ma tuổi Permi muộn-Triat sớm (ξγP₃-T₁nc); xâm nhập acid phức hệ Phia Bioc tuổi Permi muộn-Triat sớm (γP₃-T₁pb).



Về cấu trúc kiến tạo: Theo Trần Văn Trị và nnk, 2008; Nguyễn Công Thuận, 2024, khu vực nghiên cứu thuộc 2 khối cấu trúc: (i) Lô Gâm (được chia làm 2 khối nhỏ là Ba Bể và Chiêm Hóa); (ii) Sông Lô (khối Hàm Yên). Trong đó khối cấu trúc Hàm Yên được cấu thành chủ yếu bởi các thành tạo hệ tầng Phú Ngũ, Hà Giang, xâm nhập phức hệ Ngân Sơn, Phia Bioc. Khối Ba Bể được cấu thành chủ yếu bởi các thành tạo hệ tầng Phú Ngũ, Pia Phương, Cốc Xô, xâm nhập acid phức hệ Pia Ma, Phia Bioc. Khối Chiêm Hóa được cấu thành bởi các thành tạo hệ tầng Chiêm Hóa, Chạm Chu, Hà Giang.

Về vỏ phong hóa: Theo Ngô Quang Toàn & Nguyễn Thành Vạn, 1995 và kết quả nghiên cứu của Đề tài, vùng nghiên cứu đã phân chia được các kiểu vỏ phong hóa sau: Vỏ ferosialit phát triển rộng rãi trên các thành tạo hệ tầng Hà Giang, Phú Ngũ, Pia Phương, Cốc Xô, Văn Lãng và phức hệ Núi Chúa; vỏ sialit phát triển chủ yếu trên các thành tạo xâm nhập acid của các phức hệ magma Ngân Sơn, Pia Ma, Phia Bioc và vỏ silicit phát triển hạn chế trên một số thành tạo lục nguyên hạt vừa bị biến chất (cát kết) của hệ tầng Chạm Chu, Hà Giang.

Về khoáng sản: Tại khu vực nghiên cứu đã ghi nhận được nhiều mỏ quặng có thể ảnh hưởng đến môi trường như Pb, Zn, Au, Sb, Pi... trong đó nhiều mỏ đã đang được khai thác, chế biến tại khu vực.

3.2. Đặc điểm địa hóa đất và vỏ phong hóa

3.2.1. Đặc điểm địa hóa đất

Khu vực nghiên cứu đã ghi nhận được nhiều vành phân tán của các nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường với nhiều hàm lượng khác nhau (Hình 2, 3). Tùy theo từng khối cấu trúc, chúng có những đặc điểm riêng, trong đó:

Khối cấu trúc Ba Bể: Trong khối cấu trúc đã ghi nhận sự phân bố nhiều vành phân tán của các nguyên tố có thể gây ảnh hưởng đến môi trường là Pb, Zn, Cu, Sn, As, Ni, Cr. Đặc điểm chung của các vành này là phân bố khá tập trung ở một số khu vực như Bản Thi - Bằng Lũng (Pb, Zn, Cu, As... bậc 3 - 2) (Hình 2); khu vực Linh Thông (các vành Cu, Ni, Cr bậc 2 - 3), nhiều vành có diện phân bố khá rộng. Ngoài ra chúng còn tập trung ở một số khu vực khác như Phong Huân (các vành Pb bậc 2); Yên Lập (các vành Pb, Zn bậc 2 - 3); Cao Trĩ (các vành Cu, Pb bậc 1); Năng Khả (các vành Pb bậc 1 - 3); Minh Quang (Cu); Khau Tinh - Đà Vị (Pb, Cr).

Khối cấu trúc Chiêm Hóa: Trong khối cấu trúc đã ghi nhận được phân bố nhiều vành phân tán của các nguyên tố như Pb, Zn, Cu, Ni, Zr. Đặc điểm chung là các vành có sự phân bố không tập trung, hàm lượng thấp (bậc 1 - 2 là chủ yếu), tuy diện phân bố rộng, song các vành bậc cao ở đây có diện tích rất hạn chế (Hình

2). Đáng chú ý, một số khu vực như khu Tân Thành - Thái Sơn gồm các vành Pb, Zn, Cu, Cr, Ni bậc 1 - 2, đôi chỗ có bậc 3 của Pb, Z; khu Đức Xuân - Phù Lưu - Minh Hương gồm các vành Pb, Zn, Cu, Cr (As), Ni bậc 1 - 2, đôi chỗ bậc 3; khu Tân An - Ngọc Hội (các vành Pb, Zn, Cu, Cr, As, Ni bậc 1 - 3; Hòa An (các vành Pb, Zn, Cu, Cr bậc 1 - 2).

Khối cấu trúc Hàm Yên: Trong khối cấu trúc đã ghi nhận được phân bố một số vành phân tán của các nguyên tố Pb, Zn, Cu, Ni. Đặc điểm chung các vành là chúng phân bố khá tập chung ở phía Nam Đông Nam, còn phía Bắc và Tây thì thưa hơn. Diện tích các vành có nhiều quy mô khác nhau và có hàm lượng tương đối thấp bậc 1 - 2, ít có vành bậc 3.

3.2.2. Đặc điểm địa hóa vỏ phong hóa

Trong vỏ phong hóa của khu vực nghiên cứu đã ghi nhận được nhiều kiểu vỏ, trong đó ở nhiều khu vực có sự tập trung cao của những nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường như As, Pb, Zn, Cd, Cu, Cr... (Hình 2, 3, Bảng 1). Tùy theo từng khối cấu trúc chúng có những đặc điểm riêng, trong đó:

Khối cấu trúc Ba Bể: Ghi nhận sự tập trung cao của các nguyên tố Pb, Zn, Cu, As, Cd, Cr, Ni (Bảng 1), trong đó As tập trung cao ở vỏ của lục nguyên hạt mịn hệ tầng Phú Ngũ; Pb, Zn, As trong lục nguyên carbonat; As trong lục nguyên hạt mịn và As; Cr trong lục nguyên silic hệ tầng Pia Phương; Pb, As, Zn, Cd, Cu trong lục nguyên hạt vừa (cát kết), lục nguyên vụn thô chứa tuft phun trào acid; Pb, Zn, As trong lục nguyên hạt mịn và lục nguyên carbonat hệ tầng Cốc Xô; As trong xâm nhập kiềm phức hệ Pia Ma.

Khối cấu trúc Chiêm Hóa: Trong khối đã ghi nhận được sự tập trung khá cao của nguyên tố As, Cr tại các thành tạo lục nguyên hạt mịn hệ tầng Hà Giang, Chiêm Hóa và lục nguyên chứa than hệ tầng Văn Lãng (Bảng 1).

Khối cấu trúc Hàm Yên: Trong khối đã ghi nhận được sự tập trung cao của nguyên tố As, Zn, Cr, Cu, Ni. Đặc điểm phân bố của các nguyên tố như Bảng 1, đặc biệt có sự tích tụ cao của Cr trong lục nguyên hạt vừa (cát kết biến chất) và Cu trong lục nguyên hạt mịn hệ tầng Phú Ngũ; As, Zn, Cr trong lục nguyên hạt mịn hệ tầng Hà Giang.

Đặc điểm trên cho thấy, các thành tạo lục nguyên hạt vừa và lục nguyên carbonat, lục nguyên hạt mịn hệ tầng Cốc Xô (Ảnh 1,2,3) tích tụ nhiều nguyên tố, thường với hàm lượng cao, một số nơi rất cao so với các thành tạo khác, nhất là khu vực Bản Thi - Bằng Lũng, đồng thời cũng phù hợp trong đó đã ghi nhận nhiều vành phân tán và quặng gốc của Pb-Zn, Cu, Sb, Ag, Pi... Tiếp đến là các thành tạo lục nguyên hạt mịn hệ tầng Hà Giang khu vực Chiêm Hóa và thấp hơn các thành tạo khác trong khối Chiêm Hóa.



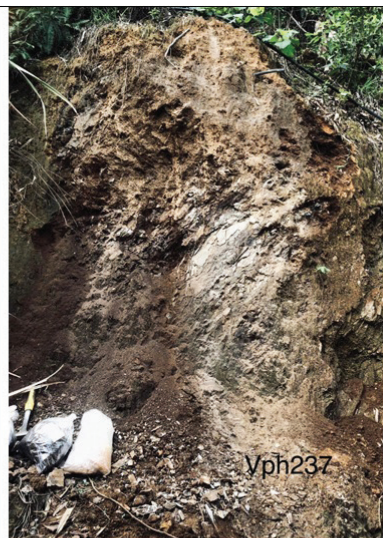
Bảng 1. Bảng thống kê và so sánh giá trị của các nguyên tố so với giới hạn theo QCVN 03:2023/BTNMT

SHM	Kiểu vô phong hóa	Các nguyên tố							Giới hạn theo QCVN 03:2023/BTNMT
		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
VPH.90	C _{pn} (Khối HY)	< 20	< 2	154,6	29,2	52,8	23	64,1	Vùng loại 1 (Cd < 4, Cu < 150, As < 25, Hg < 12, Pb < 200, Cr < 150, Zn < 300, Ni < 100)
VPH.93	C _{pn} (Khối HY)	< 20	< 2	164,4	13,5	32,7	57,9	70,2	
VPH.117	L _{pn} (Khối HY)	< 20	11,2	86,9	< 5	25,2	< 5	98	
VPH.122	L _{pn} (Khối HY)	< 20	< 2	22,3	152,1	10,9	13,2	107,3	
VPH.20	L _{hg} (Khối HY)	27,6	< 2	88,4	12,2	14,3	8,6	39	
VPH.22	L _{hg} (Khối HY)	< 20	< 2	199,2	57,1	60,9	27,3	94,7	
VPH.42	L _{hg} (Khối HY)	27,5	< 2	110	49	24,1	50	142,5	
VPH.61	L _{hg} (Khối HY)	< 20	< 2	77,7	39,4	174,2	28,7	134,5	
VPH.97	L _{hg} (Khối HY)	< 20	4,5	116,9	32,2	38,8	< 5	64,6	
VPH.143	L _{hg} (Khối HY)	< 20	< 2	53,8	24,4	24,2	47,1	861,3	
VPH.149	L _{hg} (Khối HY)	38,8	< 2	126,1	49,6	39,1	59,5	135,5	
VPH.151	L _{hg} (Khối HY)	45,4	< 2	87,8	74,5	33,1	47,4	181,3	
VPH.152	L _{hg} (Khối HY)	38,2	< 2	95,9	24,2	20,5	36,3	60,5	
VPH.153	L _{hg} (Khối HY)	22,1	< 2	260,1	28	68,6	28,6	79,5	
VPH.150	L _{hg} (Khối HY)	54,1	< 2	93,3	34,6	57,1	39,4	125,2	
VPH.160/1	L _{ch}	< 20	< 2	157,6	31,1	37,6	51,2	99,3	
VPH.103	L _{ch}	128,9	< 2	63,1	< 5	11,1	20,1	60,5	
VPH.165	L _{hg} (Khối CH)	49,6	< 2	90,8	42,3	29,4	19,1	76,1	
VPH230	L _{pn} (Khối BB)	27,6	< 2	76,9	25,7	37,4	75,6	165,2	
VPH.212	LSI _{pp}	27,1	< 2	202,2	< 5	35	26,3	105,9	
VPH237	LCA _{pp}	47,6	< 2	47,9	< 5	15,5	268,4	402,7	
VPH237/1	LCA _{pp}	58,2	< 2	45,6	32,5	19	307,7	381,9	
VPH248	LCA _{cc}	116,6	50,5	145,8	57,9	113,3	15.969,7	16.273,4	
VPH248/1	LCA _{cc}	84,2	20,8	171,7	175,4	293,6	11523,9	9.049,2	
VPH245/1	LCA _{cc}	29,1	< 2	85	41,9	45,3	44,4	138,7	
VPH.517	L _{pp}	59	< 2	85,4	61,6	43,6	74,3	174,5	
VPH243	LCA _{pp}	91,3	< 2	100,3	73,1	51,5	71,7	916,9	
VPH243	LCA _{pp}	66,6	< 2	92,6	62,3	41,5	41,5	714,2	
VPH.175	C _{cx}	1.339,1	< 2	78,4	89,6	33,2	404,3	374,3	
VPH.175/2	C _{cx}	82,8	< 2	103,7	22,9	35,9	33,9	72,5	
VPH.174	LR _{cx}	124,5	< 2	80,2	45,4	20,4	97,4	126	
VPH.174/1	LR _{cx}	96,2	< 2	60,7	34,5	25,9	83,3	100,9	
VPH.172/1	L _{vl}	541,5	< 2	103,2	42	23,9	81,2	237	
VPH238	Quặng Pb-Zn	171,8	24,9	39,7	40,8	46,6	421,7	6.255,6	
VPH238/1	Quặng Pb-Zn	6.290,9	148,6	55,5	163,6	16,8	4.623,2	26.533,3	
BT.01	Bãi Thái Pb-Zn	4.136,3	44,5	52,1	827,5	19,3	64.044,4	16.499,9	
BT.02	Bãi Thái Pb-Zn	113	16,6	41,7	83,1	38,1	4.675,8	6.495	
BT.03	Bãi Thái Pb-Zn	61,9	6,7	44,4	33,4	15,2	3.852,9	3.475,5	
BT.04	Bãi Thái Pb-Zn	327,6	< 2	95,9	251	15,9	18.667,6	4.451,2	

1339,1	Hàm lượng vượt từ gần 3 lần đến trên 3 lần so với tiêu chuẩn	Grns	Xâm nhập acid phức hệ Ngân Sơn
124,5	Hàm lượng vượt từ gần 2 lần đến gần 3 lần so với tiêu chuẩn	Grpb	Xâm nhập acid phức hệ Phia Bioc
82,8	Hàm lượng vượt trên 1 lần đến gần 2 lần so với tiêu chuẩn	Grpm	Xâm nhập kiềm phức hệ Pia Ma
Lch	Lục nguyên biến chất hệ tầng Chiêm Hóa	Gbnc	Xâm nhập mafic phức hệ Núi Chúa
Chg	Lục nguyên hạt vừa (cát kết) hệ tầng Hà Giang	Lsipp	Lục nguyên silic hệ tầng Pia Phương
Lhg	Lục nguyên hạt mịn hệ tầng Hà Giang	Lcapp	Lục nguyên carbonat hệ tầng Pia Phương
Lcc	Lục nguyên hệ tầng Chạm Chu	Ccx LRex	Lục nguyên hạt vừa (cát kết) và lục nguyên vụn thô chứa tuft riolit? hệ tầng Cốc Xô
Cpn	Lục nguyên hạt vừa (cát kết) hệ tầng Phú Ngũ	Lcx	Lục nguyên hạt vừa (cát kết) và lục nguyên mịn hệ tầng Cốc Xô
Lpn	Lục nguyên hạt mịn hệ tầng Phú Ngũ	LCAcx	Lục nguyên carbonat hệ tầng Cốc Xô
		Lvl	Lục nguyên chứa than hệ tầng Văn Lãng



Ảnh 1. Vết lộ VPH.248: Vô phong hóa trong trầm tích lục nguyên carbonat hệ tầng Cốc Xô khu vực Chợ Đồn



Ảnh 2. Vết lộ VPH.248: Vô phong hóa trong trầm tích thành tạo lục nguyên hạt vừa hệ tầng Cốc Xô

Ảnh 3. Vết lộ VPH.237: Vô phong hóa trong trầm tích lục nguyên carbonat hệ tầng Pia Phương khu vực Chợ Đồn

3.3. Mối liên quan của địa hóa đất và vô phong hóa với các yếu tố địa chất trong khu vực nghiên cứu

Kết quả nghiên cứu khu vực cho thấy sự tập trung của các vành phân tán và mức độ tích tụ của các nguyên tố trong vô phong hóa, trong đó có những nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường, liên quan chặt chẽ vào các yếu tố địa chất như đối tượng địa chất; yếu tố cấu trúc; mức độ biến dạng, biến chất; hoạt động magma; đặc điểm địa hình, địa mạo... của khu vực. Với mỗi khối cấu trúc có sự khác nhau bởi các yếu tố trên sẽ cho ta sự tập trung và tích tụ khác nhau. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu hiện có, nhóm nghiên cứu sơ bộ đưa ra quy luật phân bố và mối liên quan của chúng như sau:

3.3.1. Về yếu tố thạch học, địa tầng
 Trong vô phong hóa ferosialit phát triển trên các đá lục nguyên hạt mịn: Với thành phần chủ yếu là các đá phiến sét, có thể là tiền đề thuận lợi (màng chắn) cho sự tích tụ tạo quặng của nhiều loại khoáng sản hay các dị thường của chúng. Các thành tạo này khi bị phong hóa thường tạo vô phong hóa giàu sét, chiều dày lớn, có khả năng hấp phụ, tích tụ cao nguyên tố từ quặng gốc hoặc được tích tụ, làm giàu trong đá gốc nói trên, trong đó có những nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường như As, Pb, Zn, Cd... Tuy nhiên, tùy thuộc vào đặc điểm thạch học của từng hệ tầng, mức độ biến chất, biến dạng mà sự làm giàu của các nguyên tố có sự khác nhau về loại, hàm lượng của chúng. Trong đó:

Khối Ba Bể: Trong các thành tạo hệ tầng Phú Ngũ thường tích tụ cao nhiều nguyên tố trong vô phong hóa là As, Cr, Ni và bên trên chúng đã ghi nhận được sự tập trung các vành phân tán của Pb, Zn. Với các thành tạo hệ tầng Pia Phương là Cu, Ni, Zn, As, đi cùng với chúng trên mặt là sự tập trung các vành phân tán Pb, Zn, Ni. Với các thành tạo hệ tầng Cốc Xô là Pb, Zn, As, Cr và phân bố bên trên là các vành phân tán Pb, Zn, Cu, Cr.

Khối Chiêm Hóa: Với hệ tầng Chiêm Hóa thường tích tụ cao của các nguyên tố As, Cr, đi cùng trên mặt (địa hóa đất) là các vành phân tán của Pb, Zn, Cu, Cr; với các thành tạo hệ tầng Hà Giang là As, đi cùng trên mặt là các vành phân tán Pb, Zn, Y, Cu, Ni; với các thành tạo hệ tầng Chạm Chu là Pb, Zn, Cu, Ni phân bố trên mặt là các vành Pb, Zn.

Khối Hàm Yên: Trong các thành tạo hệ tầng Phú Ngũ thường tích tụ cao của các nguyên tố Cu, Ni, Zn, Cr, đi cùng trên mặt là các vành phân tán Pb, Zn, Cu. Với các thành tạo hệ tầng Hà Giang là Cu, Zn, Ni, As, Cr, đi cùng trên mặt là các vành phân tán Pb, Zn.

Từ kết quả trên cho thấy, trong các thành tạo đất và vô phong hóa



phát triển trên các thành tạo lục nguyên hạt mịn có sự liên quan chặt chẽ với những nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường là Pb, Zn, Cu, Cr có mức độ tăng cao vừa từ 1,3 - 6,7 lần, điều đó khá phù hợp với tính chất giàu sét và khả năng hấp phụ lớn của chúng.

Trong vỏ phong hóa silicit, ferosialit phát triển trên các đá lục nguyên hạt vừa (cát kết biến chất): Với đặc trưng là các trầm tích có kích thước hạt lớn nên chúng thường bị đập vỡ, biến dạng mạnh, tạo điều kiện thuận lợi cho các thành tạo quặng gốc, nhất là các loại khoáng sản nhiệt độ vừa và thấp (khu vực Bằng Lũng), trong đó có chứa một số nguyên tố có thể gây ảnh hưởng đến môi trường. Các thành tạo này khi bị phong hóa thường tạo vỏ phong hóa nghèo sét, chiều dày mỏng. Quá trình phong hóa các nguyên tố ảnh hưởng đến môi trường được tích tụ cao hoặc làm giàu trong đá gốc cũng được tích tụ làm giàu trong các thành tạo vỏ phong hóa và đất bên trên. Tuy nhiên, tùy thuộc vào đặc điểm từng vùng mà sự làm giàu của các nguyên tố có sự khác nhau về loại nguyên tố và hàm lượng của chúng. Trong đó:

Khối Ba Bể: Trong các thành tạo hệ tầng Phú Ngũ thường tích tụ cao các nguyên tố trong vỏ phong hóa, gồm: Pb, Zn, Ni, Cu và bên trên chúng đã ghi nhận được sự phân bố các vành phân tán của Pb, Zn, Zr. Với các thành tạo hệ tầng Cốc Xô là As, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr, đi cùng với chúng trên mặt phân bố nhiều vành phân tán bậc cao của Pb, Zn, Cu, As.

Khối Chiêm Hóa: Trong các thành tạo vỏ phong hóa silicit phát triển trong các thành tạo hệ tầng Chạm Chu, Hà Giang trên mặt là các vành Pb, Zn, Cu, Sb, Cr, Ti.

Khối Hàm Yên: Trong các thành tạo vỏ ferosialit hệ tầng Phú Ngũ mới ghi nhận tích tụ cao của nguyên tố Cr, đi cùng trên mặt là các vành phân tán Pb, Zn, Cu.

Từ kết quả trên cho thấy, trong các thành tạo đất và vỏ phong hóa phát triển trên các thành tạo lục nguyên hạt vừa thường có sự liên quan chặt chẽ với các nguyên tố Pb, Zn, As, Cu, Cd có mức độ tăng cao vừa từ 1,3 - 6,7 lần. Điều này cũng phù hợp với đặc điểm địa tầng đất hạt thô, độ lỗ hổng cao, khả năng thẩm thoát nguyên tố nhanh, nếu bên dưới có những tầng sét dạng màn chắn thì đó chính là đối tượng lưu giữ hợp chất có ích cũng như ảnh hưởng đến môi trường, cần nghiên cứu tiếp để có thông tin về tiềm năng kim loại có khả năng gây ô nhiễm nguồn gốc ion và thẩm động.

Trong vỏ phong hóa ferosialit phát triển trên các đá lục nguyên carbonat: Các trầm tích này có tính chất là môi trường thuận lợi cho việc trao đổi vật chất của nhiều nguyên tố và đan xen nhiều lớp sét, vì vậy chúng còn là các màn chắn để tích tụ sau trao đổi. Tùy thuộc vào đặc điểm của từng hệ tầng, mức độ biến dạng mà

sự làm giàu của các nguyên tố có sự khác nhau về loại nguyên tố và hàm lượng của chúng. Trong đó:

Khối Ba Bể: Trong các thành tạo hệ tầng Pia Phương thường tích tụ cao các nguyên tố trong vỏ phong hóa, gồm As, Pb, Zn, Cu, Cr và bên trên chúng đã ghi nhận được các vành phân tán của Pb, Zn, Cu. Với các thành tạo hệ tầng Cốc Xô là Pb, As, Zn, Cd, Ni, Cu, đi cùng trên mặt với nhiều vành phân tán bậc cao của Pb, Zn.

Từ kết quả trên cho thấy, trong các thành tạo đất và vỏ phong hóa phát triển trên các thành tạo lục nguyên carbonat có sự làm giàu khá cao của nguyên tố As, Pb, Zn, Cd, Cu, với mức độ tăng cao từ vài lần đến hơn 100 lần giới hạn cho phép. Điều đó cho thấy khả năng tích tụ của các nguyên tố này trong phần đá này rất lớn.

Trong vỏ phong hóa ferosialit phát triển trên các đá lục nguyên silic của hệ tầng Phú Ngũ: Với đặc trưng của các trầm tích này là giàu SiO_2 , giòn, dễ đập vỡ nên đôi khi cũng tạo kênh dẫn thuận lợi cho sự tích tụ của một số loại quặng (nhiệt độ thấp), trong đó có loại chứa những nguyên tố dễ gây ảnh hưởng tới môi trường (Sb). Quá trình phong hóa đôi khi cũng đã tích tụ làm giàu các nguyên tố As, Cr và đi cùng bên trên có vành phân tán của Cu, Pb, song thường có hàm lượng thấp, chúng tỏ các thành tạo có khả năng tích tụ kém những nguyên tố dễ ảnh hưởng đến môi trường.

Trong vỏ phong hóa ferosialit phát triển trên các đá lục nguyên chứa than của hệ tầng Văn Lãng: Các trầm tích này khá đa dạng về độ hạt và có chứa vật chất than nên có tính chất hơi phức tạp. Hiện trong hệ tầng mới ghi nhận sự tích tụ tập trung các nguyên tố trong vỏ phong hóa gồm As, Cr, đôi chỗ ghi nhận khá cao, vượt 2,7 lần quy định và bên trên có phân bố các vành phân tán của Pb. Nói chung kiểu vỏ này có khả năng tích tụ không cao các nguyên tố dễ ảnh hưởng đến môi trường.

3.3.2. Về yếu tố magma

Trong vỏ phong hóa sialit phát triển trên các đá magma xâm nhập acid, acid-kiềm: Với phức hệ Ngân Sơn, trong vỏ phong hóa đã có sự tích tụ, làm giàu của một số nguyên tố Pb và bên trên phân bố các vành phân tán của Pb, Zn. Với phức hệ Phia Bioc, trong khối Ba Bể trên mặt có phân bố các vành phân tán của Cr; trong khối Hàm Yên gồm Pb, Zn, Cu và bên trên phân bố các vành phân tán của Ni. Với phức hệ Pia Ma, trong vỏ phong hóa đã có sự tích tụ, làm giàu của một số các nguyên tố như Zn, As. Từ kết quả trên cho thấy, trong các thành tạo đất và vỏ phong hóa nói trên thường có sự tập trung các nguyên tố thể ảnh hưởng đến môi trường là As, Pb, Zn, Cu nhưng mức độ không lớn.

Trong vỏ phong hóa ferosialit phát triển trên các đá magma xâm nhập mafic: Trong phức hệ Núi Chúa ghi nhận được tích tụ cao của Cu trong vỏ phong hóa và bên trên là các vành phân tán bậc cao của Cu, Ni...



Khu vực có thể ảnh hưởng môi trường bởi các nguyên tố Cu, Ni.

3.3.3. Về yếu cấu trúc kiến tạo

Đứt gãy: Kết quả nghiên cứu cho thấy, quan hệ giữa các khối địa chất và nhiều ranh giới giữa các đới trượt địa chất trong khối ở khu vực nghiên cứu là các đới trượt, với nhiều quy mô đôi khi khá lớn. Trong đó, các đá bị biến dạng mạnh, có thể đó là những kênh dẫn dung dịch để tích tụ tạo quặng hoặc tập trung cao của nhiều nguyên tố có thể gây ảnh hưởng đến môi trường. Quá trình phong hóa của các đới biến dạng này, các nguyên tố tạo quặng trong thân quặng gốc hoặc được làm giàu trong các đới biến dạng đã được tích tụ trong thành tạo đất và vỏ phong hóa bên trên. Đặc điểm phân bố của các nguyên tố trong đất và vỏ phong hóa cũng có liên quan chặt chẽ với các đới này như diện phân bố và hình dạng của chúng. Bởi vậy, kết quả nghiên cứu địa hóa đất và vỏ phong hóa cũng định hướng ra được diện phân bố, mức độ tập trung của các nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường theo các đới. Cụ thể trong khu vực có các cấu trúc như:

Khu vực Đông Lạc - Bản Thi - Bằng Lũng (1): Nơi phân bố các thành tạo hệ tầng Phú Ngũ, Cốc Xô, Pia Phương, quan hệ giữa các thành tạo của các hệ tầng này được ghi nhận đều là quan hệ kiến tạo bởi các đới trượt có quy mô khá lớn. Các đá trong đó bị biến dạng mạnh; các thân quặng gốc Pb-Zn, Sb, Au, Pi hầu hết nằm trùng với các đới trượt này (phương á Kinh tuyến đến Đông Bắc Tây Nam). Tại đây tập trung nhiều vành phân tán bậc cao của các nguyên tố Pb, Zn, Cu, As, các vành có phương và hình dạng khá trùng với phương của thân quặng gốc cũng như phương cấu tạo biến dạng trong vùng. Trong vỏ phong hóa ở phần trung tâm của các đới trượt này có sự tăng cao, đôi khi rất cao của nhiều nguyên tố như Pb, As, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr...; mức độ tập trung và hàm lượng của các vành phân tán cũng như các nguyên tố trong vỏ phong hóa ra xa khỏi đới thừa và giảm đi rõ rệt (Bảng 1, Hình 2).

Khu vực Yên Lập - Ngọc Hội (2): Đây là khu vực thuộc phần giáp ranh giới với khối Ba Bể và khối Chiêm Hóa, quan hệ giữa chúng là các đới trượt lớn, có phạm vi rộng, các đá trong đới bị biến dạng mạnh mẽ. Các vành phân tán Pb, Zn, thân quặng gốc Cu, Sb, As, Pi và kiểu vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố Pb, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, As đều có phương kéo dài nằm trùng với phương của các đới trượt này (á Vĩ tuyến).

Khu vực Tân Thành - Thái Sơn - Hàm Yên (3): Thuộc phần giáp ranh giới của khối Hàm Yên phía Tây và khối Chiêm Hóa ở phía Đông, các đá trong khu vực bị biến dạng rất mạnh. Các vành phân tán Pb, Zn, Sn, Cu, Ni; thân quặng gốc Pb-Zn, As và những nguyên tố tích tụ cao trong vỏ phong hóa As, Cr, Zn, Ni, Cu đều

có phương kéo dài, nằm trùng với phương của các đới trượt này (Tây Bắc - Đông Nam); ở phía Bắc chúng cũng phân bố xoay theo phương của đới trượt (Đông Đông Bắc - Tây Tây Nam).

Khu vực Đức Xuân - Phù Lưu (4): Trên cơ sở phân tích cấu trúc, có lẽ ranh giới giữa các thành tạo carbonat xen với lục nguyên của hệ tầng Hà Giang ở đây có thể là ranh giới kiến tạo với phương cấu trúc là á Kinh tuyến, các đá 2 bên có thể bị biến dạng mạnh. Khu vực có tập trung của nhiều vành phân tán của Pb, Zn, Cu, với phương và hình thái tương đồng với ranh giới trên. Hiện trong vùng đã ghi nhận được một số điểm quặng gốc Pb - Zn, Pi ở phía Bắc.

Từ những đặc điểm nêu trên cho thấy, sự phân bố của các vành phân tán, các nguyên tố trong vỏ phong hóa có mối liên quan chặt chẽ với các đới biến dạng và đặc điểm phân bố các điểm quặng gốc, bởi vậy nó có ý nghĩa định hướng cho công tác đánh giá môi trường trong khu vực khá tốt.

Uốn nếp: Trong khu vực đã ghi nhận được nhiều các nếp uốn với nhiều quy mô, giai đoạn khác nhau. Ở một số cấu trúc, nếp uốn đã ghi nhận chúng có mối liên quan đến đặc điểm phân bố của các nguyên tố địa hóa đất và vỏ phong hóa cũng như quặng gốc trong vùng mà có thể gây ảnh hưởng đến môi trường, trong đó có khu vực Bản Thi được cấu tạo bởi cấu trúc nếp lồi khá lớn với nhân là đá vôi, hai bên cánh là đá lục nguyên xen vôi và lục nguyên hạt mịn hệ tầng Pia Phương. Nếp uốn có phương trục kéo dài á Kinh tuyến, trùng với phương của các đới trượt Đông Lạc - Bản Thi - Bằng Lũng. Tại trung tâm của nếp lồi phân bố khá nhiều vành bậc cao cùng các điểm quặng gốc của Pb, có hình thái khá đồng phương với phương phát triển của nếp uốn và đới trượt nói trên.

Ở các khu vực nếp uốn khác, đôi chỗ có cấu tạo khá tương đồng như khu vực Khau Tinh (Phía Bắc), Tây Quang Minh và cũng đã ghi nhận được một số vành phân tán của Pb nên cần lưu ý.

3.3.4. Về yếu địa mạo, địa hình

Đặc điểm địa hình, địa mạo có ảnh hưởng nhiều đến mức độ phong hóa và chiều dày vỏ phong hóa, từ đó cũng ảnh hưởng đến tích tụ của các nguyên tố trong đất và vỏ phong hóa trong vùng. Hiện trong khu vực đã ghi nhận được một số khu vực địa hình có bề mặt khá thoải, đi với chúng là vỏ phong hóa khá dày như:

Khu vực Hàm Yên (2): Phân bố các thành tạo trầm tích hệ tầng Phú Ngũ, Hà Giang và các xâm nhập acid phức hệ Ngân Sơn, Phia Bioc. Địa hình ở đây khá thấp, thoải, chủ yếu là dạng đồi bát úp, địa hình xung quanh đều cao. Các vỏ thành tạo trong khu vực này rất dày (từ 5 đến hơn 30 m), đặc biệt là trong các thành tạo xâm nhập acid. Trong vỏ phong hóa và đất đã ghi nhận



sự tích tụ cao của nhiều nguyên tố As, Cr, Zn, Ni, Cu.

Khu vực Bằng Lũng (1): Phân bố các thành tạo trầm tích hệ tầng Phú Ngũ, Cốc Xô. Các vỏ thành tạo trong khu vực này cũng khá dày (từ 5 đến hơn 15 m), với địa hình xung quanh khá cao. Trong vỏ phong hóa và đất đã ghi nhận sự tích tụ cao đôi khi rất cao của nhiều nguyên tố như Pb, As, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr.

Khu vực Linh Thông (3): Phân bố các thành tạo xâm nhập mafic phức hệ Núi Chúa. Các vỏ thành tạo trong khu vực này rất dày (từ 5 đến hơn 10 m). Trong vỏ phong hóa và đất đã ghi nhận sự tích tụ cao của nhiều nguyên tố đặc biệt là Cu, Ni, Cr.

3.4. Dự báo nguy cơ tìm ẩn ô nhiễm môi trường trên cơ sở nghiên cứu địa hóa đất và vỏ phong hóa

Trên cơ sở đặc điểm địa hóa đất và vỏ phong hóa, cùng với tiền đề, dấu hiệu hiện có khác và theo quy định hiện hành (QCVN 03: 2023/BTNMT), nhóm nghiên cứu dự kiến phân chia các vùng trong khu vực ra nhiều mức độ nguy cơ bị ô nhiễm khác nhau với các tiêu chí sau:

Vùng có nguy cơ rất cao: Phân bố tập trung nhiều vành phân tán, các vành có hàm lượng bậc cao; có sự tích tụ cao vượt giới hạn rất nhiều lần quy định hiện hành của các nguyên tố trong vỏ phong hóa; có nhiều điểm quặng gốc có thể gây ÔNMT; có nhiều tiền đề và dấu hiệu khác như thạch học, các đới biến dạng, uốn nếp, các thành tạo magma, địa hình, địa mạo.

Vùng có nguy cơ cao: Phân bố tập trung nhiều vành phân tán, các vành có hàm lượng trung bình đến cao; có sự tích tụ cao vượt giới hạn nhiều lần quy định hiện hành của các nguyên tố trong vỏ phong hóa; có các điểm quặng gốc có thể gây ÔNMT; có các tiền đề và dấu hiệu khác như thạch học, các đới biến dạng, uốn nếp thuận lợi tạo quặng, các thành tạo magma, địa hình, địa mạo.

Vùng có nguy cơ: Phân bố tập trung một số vành phân tán, các vành có hàm lượng trung bình đến thấp; có sự tích tụ cao vượt giới hạn theo quy định hiện hành của một số nguyên tố trong vỏ phong hóa; có hoặc không có các điểm quặng gốc có thể gây ÔNMT; có một số tiền đề và dấu hiệu khác như thạch học, các đới biến dạng, uốn nếp thuận lợi tạo quặng, địa hình, địa mạo.

Từ các tiêu chí trên, nhóm nghiên cứu đã phân chia vùng nghiên cứu thành các vùng có nguy cơ khác nhau như sau (Hình 2, Bảng 2), cụ thể:

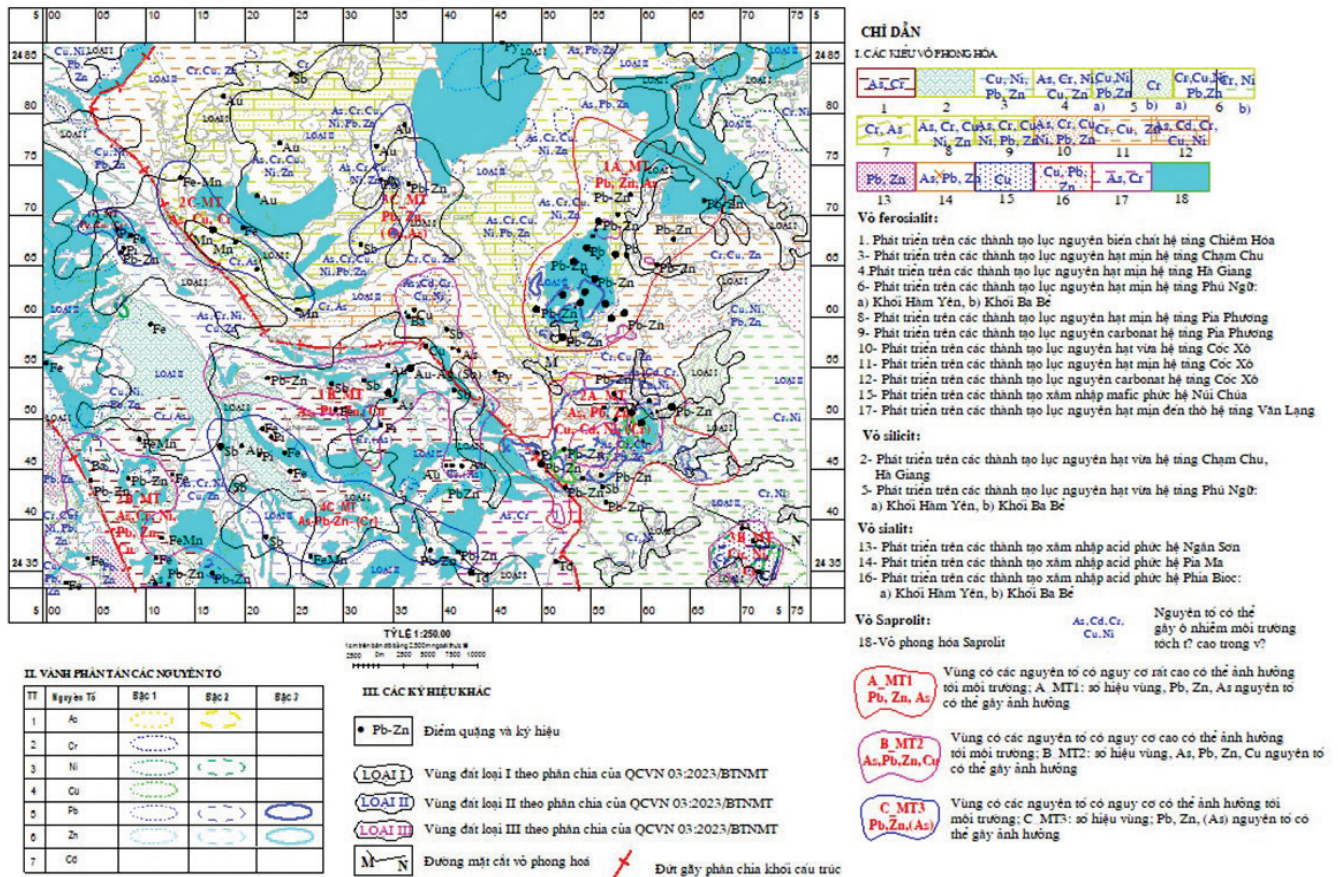
Vùng có nguy cơ rất cao: Vùng 1A_MT (Đồng Lạc): Trong vùng phân bố nhiều vành phân tán hàm lượng bậc cao của Pb và các điểm quặng gốc Pb-Zn. Các thành tạo vỏ phong hóa có sự tích tụ cao của các nguyên tố As, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr; nhiều nguyên tố trong đó vượt giới hạn theo quy định từ 1,2 - 46,7 lần. Các nguyên tố chính có thể gây ảnh hưởng rất cao đến

môi trường trong khu vực là Pb, Zn, As. Vùng 2A_MT (Bằng Lũng): Trong vùng phân bố nhiều vành phân tán hàm lượng bậc cao của Pb, Zn, Cu, As và các điểm quặng gốc Pb-Zn, Sb, Pi. Các thành tạo vỏ phong hóa có sự tích tụ cao của các nguyên tố As, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr, trong đó nhiều nguyên tố vượt giới hạn theo quy định từ 1,2 - 160,1 lần. Những nguyên tố chính có thể gây ảnh hưởng rất cao đến môi trường trong khu vực là As, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, (Cr).

Vùng có nguy cơ cao: Vùng 1B_MT (Ngọc Hội): Trong vùng có các vành phân tán hàm lượng bậc vừa tới thấp của Pb, Zn, Cu, Ni và các điểm quặng gốc As, Au, Sb, Cu, Pb-Zn, Pi. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố As, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr. Các nguyên tố chính có thể gây ảnh hưởng cao đến môi trường trong khu vực là As, Pb, Zn, Cu. Vùng 2B_MT (Hàm Yên): Trong vùng phân bố nhiều vành phân tán hàm lượng bậc cao của Pb, Zn, Ni, Cr, Cu và các điểm quặng gốc Pb-Zn. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, nhiều nguyên tố trong đó vượt quy định cho phép hơn 1 đến vài lần. Những nguyên tố chính có thể gây ảnh hưởng cao đến môi trường trong khu vực là As, Pb, Zn, Cu. Vùng 3B_MT (Linh Thông): Trong vùng phân bố nhiều vành phân tán hàm lượng bậc cao của Cu, Ni, Cr và các điểm quặng gốc Ti, Cu. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố Cu. Các nguyên tố chính có thể gây ảnh hưởng cao đến môi trường trong khu vực là Cu, Ni, Cr.

Vùng có nguy cơ ảnh hưởng: Vùng 1C_MT (Xuân Đức): Trong vùng phân bố một số vành phân tán hàm lượng bậc cao với diện tích nhỏ của Pb, Zn, Cr và các điểm quặng gốc Pb-Zn. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố As, Cr, Ni, Cu, Zn. Những nguyên tố chính có nguy cơ gây ảnh hưởng đến môi trường trong khu vực là Pb, Zn (Cr). Vùng 2C_MT (Quang Minh): Trong vùng phân bố một số vành phân tán hàm lượng bậc trung bình - thấp, với diện tích vừa phải của Cu, Ni. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của các nguyên tố As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, trong đó các nguyên tố As, Cr vượt quy định 1,1 - 1,3 lần. Những nguyên tố có nguy cơ gây ảnh hưởng đến môi trường trong khu vực là As, Cu, Cr. Vùng 3C_MT (Năng Khả): Trong vùng phân bố một số vành phân tán hàm lượng bậc trung bình - thấp, với diện tích nhỏ của Pb, Zn, Cu và các điểm quặng gốc Pb-Zn, Au, Sb. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. Những nguyên tố có nguy cơ gây ảnh hưởng đến môi trường trong khu vực là Pb, Zn, (Cu, As). Vùng 4C_MT (Hòa An): Trong vùng có các vành phân tán hàm lượng bậc vừa tới thấp - trung bình của Pb, Zn, Cr, Cu, Ni và các điểm quặng gốc Pb-

HÌNH 2: SƠ ĐỒ MÔI TRƯỜNG
KHU VỰC HÀM YÊN (TUYÊN QUANG) - HỒ BA BỂ (BẮC KẠN)



Zn, Sb, Au, Pi. Các thành tạo vỏ phong hóa có tích tụ cao của nguyên tố As, Cr, Ni, Cu, Zn, trong đó các nguyên tố As vượt quy định 2,0 lần. Những nguyên tố có thể nguy cơ gây ảnh hưởng đến môi trường trong khu vực là As-Pb-Zn- (Cr).

3.5. Thảo luận

Việc hàm lượng các nguyên tố có thể gây ảnh hưởng đến môi trường tập trung rất cao trong một số kiểu vỏ phong hóa của các thành tạo hệ tầng Cốc Xô, Pia Phương hay trong các bãi thải của mỏ và nhà máy tuyển quặng Pb-Zn khu vực Chợ Đồn. Tuy nhiên, công tác nghiên cứu, đánh giá môi trường trên các đối tượng này thực sự chưa được quan tâm, vì vậy cần lưu ý.

Do mức độ nghiên cứu còn hạn chế về mật độ lấy mẫu, phương pháp phân tích (các kết quả trong đo vẽ 1:50.000), nên việc nhận định về mối liên quan của các nguyên tố trong đất và vỏ phong hóa với yếu tố trong khu vực cũng như phân chia vùng mức độ nguy cơ ô nhiễm mới chỉ ở mức độ sơ bộ, để chính xác hơn, cần đầu tư nghiên cứu chi tiết hơn.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu địa hóa đất và vỏ phong hóa cho thấy, khu vực Hàm Yên - Ba Bể tập trung nhiều nguyên tố có thể ảnh hưởng đến môi trường như Pb, Zn, Cu,

Cd, Cr, As, Ni. Tùy theo đặc điểm, đối tượng cấu thành lên khối cấu trúc mà mức độ tích tụ loại nguyên tố và hàm lượng có khác nhau. Cụ thể, trong các thành tạo lục nguyên hạt vừa và lục nguyên carbonat, lục nguyên hạt mịn hệ tầng Cốc Xô tích tụ nhiều nguyên tố với hàm lượng cao, một số nơi rất cao so với các thành tạo khác, đặc biệt là khu vực Bản Thi - Bằng Lũng và cũng phù hợp trong đó đã ghi nhận nhiều vành phân tán cùng quặng gốc của Pb-Zn, Cu, Sb, Ag, Pi... Tiếp đến là các thành tạo lục nguyên hạt mịn hệ tầng Hà Giang, khu vực Chiêm Hóa và thấp hơn các thành tạo khác trong khối Chiêm Hóa. Kết quả nghiên cứu cũng đã xác định được sự tích tụ cao các nguyên tố trên có liên quan chặt chẽ vào các yếu tố như thạch học - địa tầng, magma, đứt gãy, uốn nếp, địa hình - địa mạo. Trên cơ sở tiêu chí về đặc điểm địa hóa đất, địa hóa vỏ phong hóa và tiền đề, dấu hiệu khác cùng mức độ vượt giới hạn theo quy định hiện hành, nhóm nghiên cứu dự kiến phân chia các vùng trong khu vực ra nhiều mức độ có nguy cơ bị ô nhiễm khác nhau với tiêu chí: (i) Vùng có nguy cơ rất cao, gồm 1A_MT (Đồng Lạc), với nguyên tố Pb, Zn, As; 2A_MT (Bằng Lũng), với nguyên tố Pb, As, Zn, Cd, Cu, Ni, (Cr); (ii) Vùng có nguy cơ cao, gồm 1B_MT (Ngọc Hội), với nguyên tố

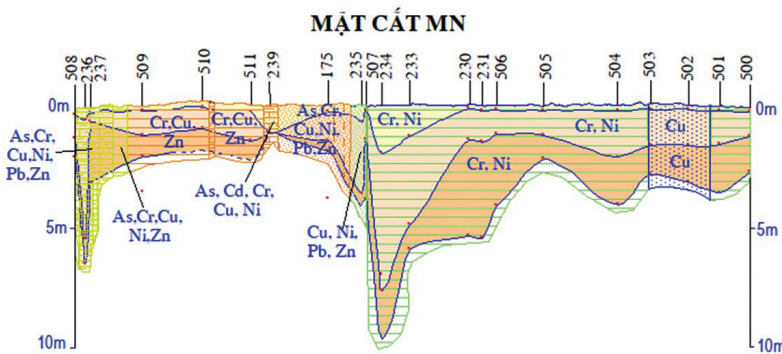


As, Pb, Zn, Cu; 2B_MT (Hàm Yên), với nguyên tố As, Pb, Zn, Cu ; 3B_MT (Linh Thông), với nguyên tố Cu, Ni, Cr; (iii) Vùng có nguy cơ, gồm 1C_MT (Bản Ba), với nguyên tố Pb, Zn (Cr); 2C_MT (Quang Minh), với nguyên tố As, Cu, Cr; 3C_MT (Năng Khả), với nguyên tố Pb, Zn, (Cu, As); 4C_MT (Hòa An), với nguyên tố As-Pb-Zn- (Cr). Trong những vùng nói trên, khu vực Đông Nam (Bằng Lũng, Bản Thi) - nơi phân bố nhiều điểm khoáng sản, nhiều vành phân tán nguyên tố bậc hàm lượng cao và trong vỏ phong hóa có nhiều nguyên tố vượt mức cho phép rất nhiều lần, tiềm ẩn nguy cơ cao nhất, đặc biệt là trong các thành tạo lục nguyên carbonat, lục nguyên hạt vừa hệ tầng Cốc Xô. Do diện phân bố rộng các đối tượng gây ô nhiễm cũng như sự phân bố tiếp giáp khá gần khu dân cư, vì thế các cơ quan, đơn vị chức năng cần phải có quy hoạch trong việc khai thác quặng hoặc công tác tái định cư, để vận động dân cư rời khỏi vùng có nguy cơ cao.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu sử dụng kết quả của Đề tài “Nghiên cứu đề xuất quy định kỹ thuật lập bản đồ địa hóa đất và vỏ phong hóa đa mục tiêu tỷ lệ 1/250.000”, Mã số: TNMT. 2024.02.05. Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Văn An và nnk, 1998. Điều tra đánh giá đặc điểm môi trường địa sinh thái của lớp thổ nhưỡng và vỏ phong hóa phục vụ cho quy hoạch phát triển bền vững và chuyển đổi cơ cấu cây trồng trên diện tích gò đồi, núi thấp ở huyện Phố Yên và thị xã Sông công tỉnh Thái nguyên. Báo Cáo đề tài. Sở Nông nghiệp Thái Nguyên.
2. Nguyễn Thị Thục Anh và Đỗ Ngọc Lê Dung, 2023. Sơ lược đặc điểm địa hóa môi trường đất vỏ phong hóa bazan khu vực Bù Đốp, tỉnh Bình Phước, tiềm năng phát triển các dự án chuỗi theo hướng ứng dụng công nghệ cao. Kỷ yếu Hội nghị khoa học toàn quốc: “Địa hóa, Môi trường và Phát triển bền vững”. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. ISBN: 978-604-357-130-1.
- 2a. Trần Tuấn Anh (chủ biên), 2024. Báo cáo bước I của Dự án “Xây dựng nền địa hóa đa mục tiêu quốc gia cho sáu tỉnh biên giới phía Bắc”. Viện Địa



Hình 3. Mặt cắt vỏ phong hóa theo đường MN (vị trí trên sơ đồ Hình 2. Góc Đông Nam), thể hiện sự tích tụ các nguyên tố trong các thành tạo vỏ phong hóa trên các đối tượng địa chất khác nhau, có thể gây ÔNMT khu vực Hàm Yên - Ba Bể (ký hiệu trên mặt cắt được chú thích tại Hình 2)

Bảng 2: Thống kê đặc điểm các vùng có nguy cơ bị ô nhiễm khu vực Hàm Yên - Ba Bể

Số hiệu vùng	Các nguyên tố có tích tụ cao trong vỏ phong hóa	Các vành phân tán nguyên tố (phân bố)	Các điểm quặng gốc	Các nguyên tố có thể gây ảnh hưởng	Mức độ nguy cơ
1A-MT	Pb (6,7 - 46,7), Zn (1,5 - 3,2), As (1,2 - 1,8), Cu, Cd, Ni, Cr	Pb	Pb-Zn	Pb, Zn, As	Rất cao
2A-MT	Pb (1,5 - 160,1), As (1,1 - 125,8), Zn (1,3 - 54,2), Cd (4,5 - 14,9), Cu (1,2 - 1,7), Ni (2,9), Cr (1,1)	Pb, Zn, Cu, As	Pb-Zn, Sb, Pi	Pb, As, Zn, Cd, Cu, Ni, (Cr)	
1B-MT	As, Zn, Cu, Cd, Ni, Cr	Pb, Zn, Cu, Ni	As, Au, Sb, Cu, Pb-Zn, Pi	As, Pb, Zn, Cu	Cao
2B-MT	As (1,1 - 5,2), Cr (1,1 - 1,7), Ni (1,7), Zn (2,9), Cu (1,01), Pb,	Pb, Zn, Ni, Cr, Cu	Pb-Zn	As, Pb, Zn, Cu	
3B-MT	Cu	Cu, Ni, Cr	Ti	Cu, Ni, Cr	
1C-MT	As, Cr, Ni, Cu, Zn	Pb, Zn, Cr	Pb- Zn	Pb, Zn (Cr)	Có nguy cơ
2C-MT	As (1,1), Cr (1,3), Cu, Ni, Pb, Zn	Cu, Ni		As, Cu, Cr	
3C-MT	As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	Pb, Zn, Cu	Pb-Zn, Au, Sb	Pb, Zn, (Cu, As)	
4C-MT	As (2), Cr, Ni, Cu, Zn	Pb, Zn, Cr, Cu, Ni	Pb-Zn, Sb, Au, Pi	As-Pb-Zn- (Cr)	



- chất - Viện Hàn Lâm Khoa học và Công Nghệ Việt Nam, Hà Nội.
3. Đỗ Văn Doanh (Chủ biên), 1982. Địa chất và Khoáng sản 1:50.000 tờ Đại Thị - Phía Khao, Bắc Kạn) F-48-67B, 68A.
 - 3a. Nguyễn Khắc Giảng và nnk., 2006. Nghiên cứu đặc điểm vô phong hóa và thổ nhưỡng trên diện tích gò đồi của một số khu vực điển hình thuộc vùng Trung du Bắc bộ phục vụ quy hoạch phát triển nông lâm nghiệp bền vững. Báo Cáo đề tài cấp Bộ. Bộ Giáo dục và Đào tạo.
 4. Nguyễn Khắc Giảng và nnk, 2022. Nghiên cứu đặc điểm Địa hóa môi trường đất của các vùng chuyên canh rau an toàn trên địa bàn huyện Đông Anh và Gia Lâm, Thành phố Hà Nội. Báo cáo Tổng kết Đề tài LH các hội KHKT VN.
 - 4a. Vũ Xuân Lực (CNĐT) và nnk (đang thực hiện). Đề tài “Nghiên cứu đề xuất quy định kỹ thuật lập bản đồ địa hóa đất và vô phong hóa đa mục tiêu tỷ lệ 1/250.000” Mã số: TNMT. 2024.02.05.
 5. Nguyễn Văn Niệm và nnk, 2023. Định hướng các tham số của hệ phương pháp địa hóa phục vụ tìm kiếm khoáng sản ẩn ở Việt Nam trong thời kỳ mới. Kỳ yếu Hội nghị khoa học toàn quốc: “Địa hóa, Môi trường và Phát triển bền vững”. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. ISBN: 978-604-357-130-1.
 6. Nguyễn Kinh Quốc (Chủ biên), 1974. Địa chất và Khoáng sản 1:200.000 tờ Bắc Kạn F-48-XV.
 7. Nguyễn Văn Quý (Chủ biên), 1992. Địa chất và Khoáng sản nhóm tờ Na Hang - Ba Bể F48-56A (Thomtchay), F48-56c (Ba Bể) 1:50.000.
 - 8c. Địa chất và Khoáng sản 1:50.000 nhóm tờ Chiêm Hóa, Hà Tuyên (Tuyên Quang), Chăm Chu (F-48-67A) Hàm Yên (F-48-67C), Chiêm Hóa (F-48-67D), Chợ Đồn (F-48-68C).
 9. Phạm Văn Thanh và nnk, 1998. Nghiên cứu địa hóa môi trường đất, ảnh hưởng của chúng tới cây trồng và sức khỏe cộng đồng ở vùng đất thấp Nam Hà Nội. Báo cáo tổng kết đề tài. Lưu trữ Viện KHCĐCKS.
 10. Ngô Quang Toàn và Nguyễn Thành Vạn, 1995. Công trình “Bản đồ các thành hệ vô phong hóa miền Bắc Việt nam tỷ lệ 1:500.000”.
 11. Nguyễn Công Thuần (Chủ biên), 2024. Biên tập, tổng hợp, lập bản đồ địa chất khoáng sản tỷ lệ 1:250.000 vùng Tây Bắc” thuộc Đề án “Điều tra tổng thể về khoáng sản và hoàn thiện nền bản đồ địa chất tỷ lệ 1/50.000 vùng Tây Bắc phục vụ quy hoạch phát triển bền vững kinh tế - xã hội”.
 12. Trần V. Trị, Vũ Khúc (Đồng Chủ biên), 2008. Địa chất và Tài nguyên Việt Nam. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
 13. De Caritat P, Main P.T, Grunsky E.C & A. W. Mann A.W, 2017. Recognition of geochemical footprints of mineral systems in the regolith at regional to continental scales. Australian Journal of Earth Sciences, 2017 Vol. 64, No. 8, 1033–1043 <https://doi.org/10.1080/08120099.2017.1259184>.
 14. Rajkumar H., Naik P.K., Rishi M.S., 2018. Evaluation of heavy metal contamination in soil using geochemical indexing approaches and chemometric techniques. International Journal of Environmental Science and Technology <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2081-4>.
 15. Ahmed Saleh, Yehia H. Dawood and Ahmed Gad, 2019. Assessment of Potentially Toxic Elements' Contamination in the Soil of Greater Cairo, Egypt Using Geochemical and Magnetic Attributes.
 16. Imran Khan, Bharat C. Choudhary, Saifi Izhar et al., 2023. Exploring geochemical distribution of potentially toxic elements (PTEs) in wetland and agricultural soils and associated health risks. Environmental Science and Pollution Research <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25141-2>.
 17. Li, P.; Gong, Q.; Chen, S.; Liu, N.; Li, P.; Li, J.; Wu, X.; Li, X.; Wang, X, 2024. Regional Geochemical Characteristics of Lithium in the Mufushan Area, South China. Applied Sciences Switzerland 2024 DOI: 10.3390/app14051978.
 18. Butt, C.R.M., 2015. The Development Of Regolith Exploration Geochemistry In The Tropics And Sub-Tropics, Ore Geology Reviews (2015), doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.08.018.
 19. Paul Alexandre, 2021. Distribution and Dispersion of Elements and Formation of Surface Anomalies. In the book “Practical Geochemistry”. Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment ISBN 978-3-030-72452-8, 124 Pags.
 20. Ashoke K. Talapatra, 2020. Geochemical Exploration and Modelling of Concealed Mineral Deposits. © Capital Publishing Company, New Delhi, India 2020.
 21. Dimitrios E. Alexakis, George D. Bathrellos et al., 2021. Land Suitability Mapping Using Geochemical and Spatial Analysis Methods. Applied. Sciences, 2021, 11(12), 5404.
 22. Yuchen Yan, Zhongfang Yang, Shengfei Yang, Anmin Xu and Duoxun Xu., 2025. The Geochemical Characteristics and Exploitation Threshold of Copper in the Cultivated Soils of Guanzhong Plain, Shaanxi Province. Agronomy 2025, 15, 256. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020256>.