



NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BỘ TIÊU CHÍ NHẬN DẠNG ĐẤT HIẾM TRONG VỎ PHONG HÓA

Hoàng Văn Dũng¹, Trịnh Đình Huân¹, Nguyễn Văn Lâm², Trịnh Đức Thiện¹,
Hoàng Thị Thoa³, Ngô Xuân Đắc^{2,*}

¹Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm, Xuân Phương, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 67 Chiến Thắng, Thanh Liệt, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYỂN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 10/9/2025

Ngày nhận bài sửa: 15/10/2025

Ngày chấp nhận đăng: 20/10/2025

^{2,*}Tác giả liên hệ:

Email: nxdac@mae.gov.vn

TÓM TẮT

Các mỏ đất hiếm kiểu hấp phụ ion trong vỏ phong hóa là một trong những loại hình khoáng sản chiến lược có giá trị cao và công nghệ khai thác tuyển đơn giản, đã được phát hiện và khai thác rộng rãi tại Trung Quốc, Myanmar và gần đây là Việt Nam. Bài báo này trình bày một hệ thống 6 nhóm tiêu chí nhận dạng địa chất-môi trường phục vụ công tác điều tra, thăm dò và đánh giá tiềm năng mỏ đất hiếm trong vỏ phong hóa, bao gồm: (1) Đặc điểm đá mẹ, (2) Địa hình-địa mạo, (3) Chỉ số biến đổi hóa học, (4) Điều kiện khí hậu, (5) Thành phần khoáng vật sét hấp phụ, và (6) Dạng tồn tại của REE và phương pháp nhận dạng hiện trường.

Thông qua tổng hợp các nguồn tài liệu trên thế giới và dữ liệu thực địa tại Việt Nam, bài viết nhấn mạnh vai trò ảnh hưởng của đá mẹ felsic giàu REE, khí hậu nhiệt đới-cận nhiệt đới ẩm kéo dài, địa hình đồi thoải, quá trình phong hóa và sự hiện diện của các khoáng vật sét có khả năng trao đổi ion cao (kaolinit, halloysit, illit...) đối với sự hình thành đất hiếm trong vỏ phong hóa. Đồng thời, bài báo cũng đề xuất một số tiêu chí phụ như độ dày tầng phong hóa, chỉ số HREE/LREE, Ce/Ce*... giúp hỗ trợ đánh giá và dự báo tiềm năng quặng hóa. Kết quả nghiên cứu này góp phần xây dựng khung tiêu chí chuẩn hóa, phục vụ định hướng công tác điều tra và đánh giá tài nguyên đất hiếm tại Việt Nam trong bối cảnh nhu cầu đất hiếm toàn cầu ngày càng gia tăng.

Từ khóa: Đất hiếm hấp phụ ion, vỏ phong hóa, REE, tiêu chí nhận dạng, khoáng vật sét, phong hóa nhiệt đới

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đất hiếm là tên gọi chung của nhóm 17 nguyên tố thuộc các nguyên tố lantan (15 nguyên tố từ La đến Lu), cộng với yttri (Y) và scandi (Sc), có tính chất hóa học tương tự nhau và thường phân bố đồng hành trong tự nhiên. Chúng tồn tại dưới hai dạng chính: trong các khoáng vật đất hiếm và dưới dạng hấp phụ ion trong vỏ phong hóa. Với đặc tính từ tính, quang học và xúc tác đặc trưng, đất hiếm đã được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực công nghiệp truyền thống như luyện kim, hóa dầu, chế tạo thủy tinh, gốm sứ, cũng như các lĩnh vực công nghệ cao và quốc phòng.

Sau Hội nghị COP26 (Hội nghị lần thứ 26 của các Bên tham gia Công ước khung của Liên Hợp Quốc về Biến đổi Khí hậu), khi nhiều quốc gia cam kết đạt mức phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050, vai trò của đất hiếm càng trở nên quan trọng trong quá trình chuyển đổi năng lượng toàn cầu. Các ngành công nghiệp mới nổi như sản xuất pin, xe điện, tuốc bin gió, bán dẫn, thiết bị điện tử, hàng không vũ trụ và công nghệ y sinh đều phụ thuộc vào nguồn cung đất hiếm ổn định, đặc biệt là nhóm đất hiếm nặng (HREEs), vốn chủ yếu khai thác từ các mỏ kiểu hấp phụ ion.

Theo báo cáo của Cục Điều tra Địa chất Hoa Kỳ (USGS, 2024), tổng tài nguyên và trữ lượng oxit đất hiếm toàn cầu hiện ước đạt khoảng 120 triệu

tấn. Trong đó, Trung Quốc dẫn đầu với 44 triệu tấn, tiếp theo là Việt Nam (22 triệu tấn), Brazil (21 triệu tấn), Nga (10 triệu tấn), Ấn Độ (6,9 triệu tấn), Úc (4,1 triệu tấn) và Hoa Kỳ (1,8 triệu tấn). Sản lượng khai thác toàn cầu năm 2023 đạt khoảng 350.000 tấn, tăng 17% so với năm trước, chủ yếu đến từ Trung Quốc.

Tại Việt Nam, các hoạt động tìm kiếm, đánh giá và thăm dò đất hiếm đã được triển khai từ năm 1956 đến nay nhưng chủ yếu tập trung loại hình mỏ đất hiếm khoáng vật (Đồng Pao, Yên Phú, Bắc Nậm Xe, Nam Nậm Xe). Từ năm 2010 trở lại đây đã quan tâm đến đất hiếm hấp phụ ion trong vỏ phong hóa như mỏ đất hiếm Bến Đền. Sự phong phú các loại magma cộng với điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm của nước ta. Đây có thể coi là các tiền đề, dấu hiệu địa chất thuận lợi cho sự hình thành của kiểu khoáng hóa đất hiếm hấp phụ ion trong vỏ phong hóa trên đá granit, granodiorit hoặc các thành tạo magma axit khác.

Tuy nhiên, hiện nay Việt Nam vẫn chưa có một bộ tiêu chí hoàn chỉnh để nhận dạng và đánh giá kiểu khoáng hóa đất hiếm hấp phụ ion trong vỏ phong hóa. Điều này gây khó khăn trong công tác điều tra địa chất khoáng sản, xác định vùng triển vọng và khoanh định tài nguyên một cách hiệu quả. Trên thế giới, đặc biệt là tại Trung Quốc quốc gia chiếm tỷ trọng lớn trong trữ lượng và sản lượng đất hiếm hấp phụ ion nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các tầng phong hóa giàu sét chứa đất hiếm hình thành trong điều kiện nhiệt đới ẩm trên đá granit có thể là mục tiêu giàu tiềm năng nếu được đánh giá đúng (Bao và Zhao, 2008; Xu et al., 2017; Yang et al., 2013; Wu et al., 2020).

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng một bộ tiêu chí khoa học, định lượng và thực tiễn để nhận dạng kiểu đất hiếm hấp phụ ion trong vỏ phong hóa, thông qua việc tổng hợp các đặc điểm địa chất, địa hóa, khoáng vật học và bối cảnh địa tầng của các khu vực nghiên cứu điển hình, đồng thời tham chiếu các mô hình đã công bố trên thế giới. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần làm cơ sở khoa học cho công tác tìm kiếm - thăm dò và quản lý tài nguyên đất hiếm tại Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở khoa học và cách tiếp cận

Nghiên cứu nhận dạng các mỏ đất hiếm kiểu hấp phụ ion trong vỏ phong hóa dựa trên cơ sở đặc điểm địa chất, thạch học, địa hóa và các chỉ tiêu khoáng vật học của đá mẹ. Các yếu tố như loại magma, thành phần địa hóa (ΣREE , HREE/LREE, Eu/Eu^* , Ce/Ce^*), mức độ phong hóa (CIA, pH), điều kiện khí hậu, địa hình và cơ chế hấp phụ được

xem là các chỉ tiêu cơ bản để đánh giá khả năng hình thành và làm giàu đất hiếm trong vỏ phong hóa.

Các tiêu chí được tổng hợp và đánh giá dựa trên kết quả phân tích mẫu đá, đất phong hóa tại Việt Nam và tham khảo các công trình nghiên cứu trong và ngoài nước (Zhou et al., 2020; Chen et al., 2020; Nguyễn Văn Hòa, 2021; Xu et al., 2017).

2.2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu bao gồm các thân quặng đất hiếm hấp phụ ion phân bố tại Việt Nam (như Bến Đền, Long Nan, Xóm Giấu), đồng thời so sánh với các mỏ kiểu tương tự ở Nam Trung Quốc, Madagascar, Myanmar và Lào. Phạm vi nghiên cứu tập trung vào việc xác định:

Đặc điểm đá mẹ (felsic granitoid, tuff, rhyolit) và mức độ biến đổi phong hóa;

Thành phần địa hóa – khoáng vật đặc trưng cho các pha magma giàu REE;

Cấu trúc địa mạo, điều kiện kiến tạo và khí hậu chi phối quá trình phong hóa;

Cơ chế giải phóng – hấp phụ ion REE trong môi trường phong hóa.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp địa chất - thạch học

Mô tả chi tiết đặc điểm thành phần khoáng vật, cấu tạo, kiến trúc đá mẹ bằng kính hiển vi phân tích khoáng tướng, thạch học và phân tích SEM. Phân loại kiểu đá magma (felsic–intermediate) để nhận diện các pha magma có tiềm năng tạo đất hiếm.

2.3.2. Phương pháp địa hóa

Phân tích hàm lượng tổng đất hiếm (ΣREE), phân nhóm HREE/LREE, và chỉ số đồng vị (Eu/Eu^* , Ce/Ce^*) bằng ICP–MS. Kết hợp xác định chỉ số phong hóa CIA (Chemical Index of Alteration) theo công thức Nesbitt & Young (1982):

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O} \times 100$$

Trong đó CaO^* là phần oxit canxi đã hiệu chỉnh theo hàm lượng silicat bền.

2.3.3. Phương pháp hóa lý và môi trường

Đo pH của đất phong hóa, phân tích dạng tồn tại của REE trong các pha rắn (kaolinit, halloysit, illit) bằng phương pháp chiết dung dịch amoni sulfat $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$. Kết hợp phân tích môi trường khí hậu – thủy văn nhằm đánh giá tác động của nhiệt độ, lượng mưa, địa hình đến sự hình thành mỏ.

2.3.4. Phương pháp tổng hợp – mô hình hóa



Tích hợp các dữ liệu địa hóa, thạch học và địa mạo để xây dựng mô hình tiến hóa magma và quá trình phong hóa, đồng thời xác định mối liên hệ giữa các pha magma granit–granosyenit và sự tích tụ REE trong lớp vỏ phong hóa.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc điểm đá mẹ và thành phần địa hóa

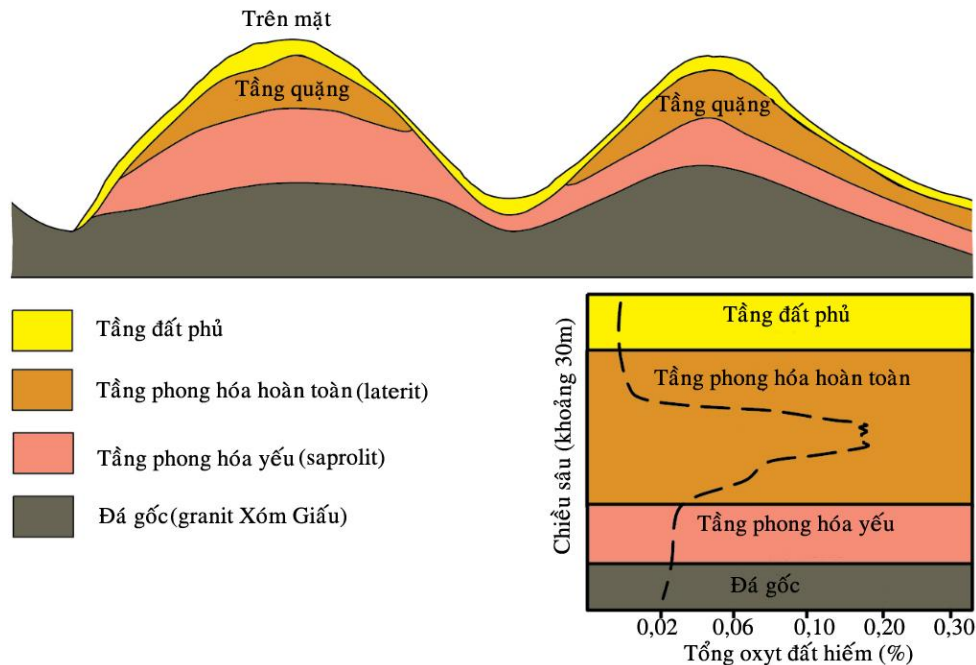
Đá mẹ của các mỏ đất hiếm hấp phụ ion tại Việt Nam chủ yếu là granit, granodiorit và rhyolit thuộc hệ magma felsic, giàu kiềm ($K_2O + Na_2O = 6-12\%$), nghèo Fe, Mg, Ca.

Tổng hàm lượng đất hiếm (ΣREE) dao động từ 200–1000 ppm, cá biệt đạt đến >1000 ppm. Phân bố các nguyên tố REE thường tập trung trong các khoáng vật như monazit, allanite, bastnäsit, xenotim, zircon và fluocarbonat Ca–Y, là nguồn cung cấp REE chính cho vỏ phong hóa (Zhou et al., 2020).

Các mỏ chứa hàm lượng HREE cao thường có mặt của khoáng vật gadolinit, xenotim, polycrase, trong khi các mỏ giàu LREE thường chứa monazit và bastnäsit. Thành phần địa hóa cho thấy các đá thuộc hệ calc–alkaline, đặc trưng cho điều kiện hình thành trong môi trường đới hút chìm hoặc hậu va chạm.

3.2. Kiến trúc địa mạo và điều kiện kiến tạo

Các mỏ đất hiếm hấp phụ ion thường phát triển trong các khu vực địa hình trung bình đến thấp, sườn thoải hoặc vai đồi có tốc độ bóc mòn chậm, cho phép duy trì lớp phong hóa dày và ổn định. Quá trình phong hóa hóa học kéo dài trong điều kiện khí hậu ẩm nhiệt đới tạo điều kiện giải phóng và hấp phụ các ion REE trong lớp sét kaolinit–halloysit. Ở Việt Nam, các thân quặng Bến Đền và Long Nan phân bố trong địa hình trung bình đến cao (500–800 m), trên các khối granit cổ Trias – Cambri.



Hình 1. Mối liên hệ giữa pha magma và quá trình phong hóa hình thành mỏ đất hiếm hấp phụ ion

3.3. Mức độ phong hóa và chỉ số CIA

Giá trị chỉ số CIA phản ánh mức độ phong hóa và tích tụ REE. Theo Nesbitt & Young (1982):

Giai đoạn đầu: $CIA = 60-70 \rightarrow$ tăng phong hóa nhẹ;

Giai đoạn trung bình: $CIA = 70-80 \rightarrow$ bắt đầu giải phóng REE;

Giai đoạn mạnh: $CIA > 80 \rightarrow$ tích tụ REE chủ yếu.

Tại khu vực Bến Đền, CIA dao động 62–88%, tương ứng với các mức phong hóa trung bình đến

mạnh; trong khi ở Long Nan giá trị 66–92% (Nguyễn Văn Hòa, 2021).

3.4. Ảnh hưởng của pH và môi trường hấp phụ

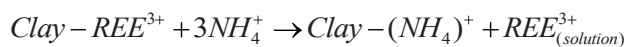
Độ pH quyết định dạng tồn tại và khả năng hấp phụ của REE.

pH thấp (4.5–5.0): REE tồn tại dạng hòa tan, dễ di chuyển;

pH trung bình (5.5–6.5): REE hấp phụ mạnh lên khoáng sét;

pH cao (>6.5): REE dễ kết tủa, giảm khả năng hấp phụ.

Các khoáng vật sét như kaolinit, halloysit, illit, muscovit đóng vai trò hấp phụ chủ yếu. Phản ứng trao đổi ion điển hình:



Kết quả thực nghiệm tại Trung Quốc và Việt Nam cho thấy khả năng hấp phụ cao nhất trong pH 5.5–6.5 và nhiệt độ trung bình 20–30°C (Wu et al., 2020).

3.5. Điều kiện khí hậu – yếu tố quyết định phong hóa

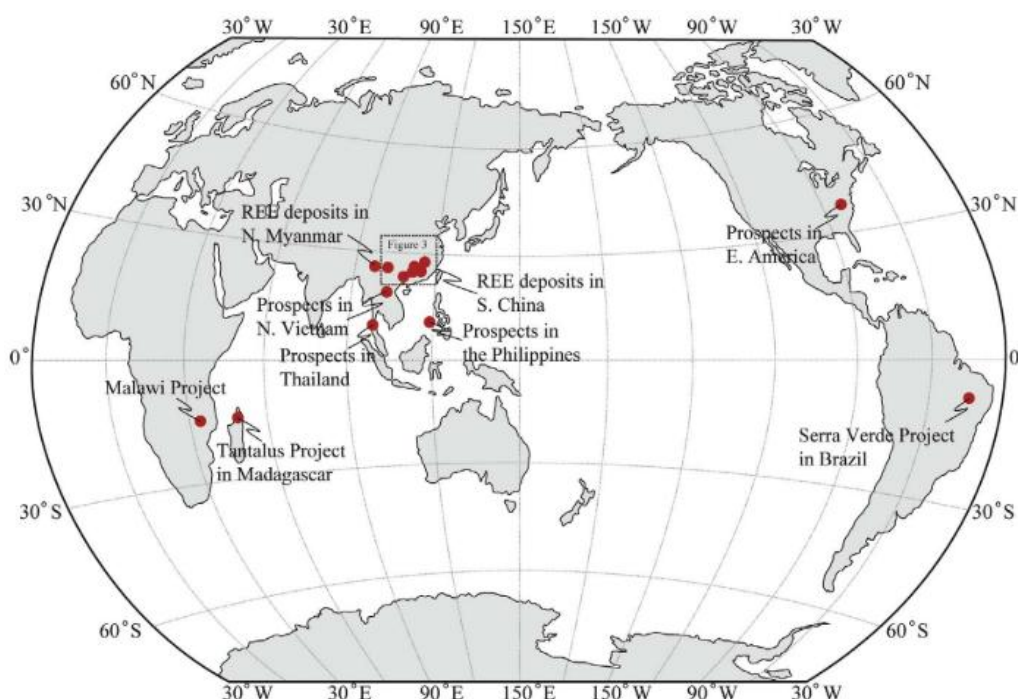
Khí hậu ẩm nhiệt đới gió mùa được xem là điều kiện tối ưu cho sự hình thành mỏ đất hiếm hấp phụ ion. Các yếu tố thuận lợi bao gồm:

Nhiệt độ trung bình năm: 20–30°C

Lượng mưa: 1200–2000 mm/năm

Địa hình cao, thoát nước tốt, phong hóa mạnh

Chu kỳ ẩm – khô xen kẽ thúc đẩy quá trình hòa tan và tái hấp phụ.



Hình 2. Sự phân bố của các mỏ đất hiếm hấp phụ ion trong vỏ phong hóa trên thế giới – Sameshima & Watanabe, 2016

3.6. Phân bố và đặc điểm địa hóa REE trong đất phong hóa

Phân tích mẫu đất phong hóa tại các mỏ Bến Đèn và Long Nan cho thấy:

Hàm lượng TR_2O_3 dao động 0.2–1.1 wt%;

Nhóm REE nhẹ chiếm ưu thế (55–57%),

Nhóm REE nặng chiếm 43–45%.

Tỷ lệ LREE/HREE phản ánh kiểu phong hóa khác nhau:

Mỏ giàu LREE: liên quan đến quá trình giải phóng monazit–bastnäsit;

Mỏ giàu HREE: liên quan đến giải phóng xenotim–gadolinit.

Bảng 1. Tỷ lệ REE nhẹ và nặng trong các mỏ đất hiếm hấp phụ ion

TT	Thành phần	Hàm lượng (wt%)	Tỷ lệ % với TR_2O_3
1	TR_2O_3	0,20–1,1	100
2	Nhóm nhẹ (LREE)	0,11–0,64	55–57
3	Nhóm nặng (HREE)	0,08–0,45	43–45



3.7. Tỷ lệ dị thường đồng vị Eu/Eu, Ce/Ce**

Chỉ số Eu/Eu* và Ce/Ce* phản ánh mức độ phân dị và môi trường oxy hóa – khử.

Eu/Eu* < 1: môi trường oxy hóa, đặc trưng cho quá trình phong hóa mạnh.

Ce/Ce* > 1: môi trường khử, đặc trưng cho tích tụ REE nhẹ.

Kết quả tại các mỏ Bến Đền và Long Nan cho thấy giá trị Eu/Eu* = 0,57–0,83, Ce/Ce* = 0,92–1,06, chứng tỏ REE được tích tụ chủ yếu trong điều kiện oxy hóa yếu – trung bình, phù hợp với kiểu mỏ hấp phụ ion.

4. KẾT LUẬN

➢ Việt Nam là một trong những quốc gia có điều kiện tự nhiên thuận lợi cho sự hình thành các mỏ đất hiếm trong vỏ phong hóa, đặc biệt là các mỏ đất hiếm hấp phụ ion. Loại hình mỏ này mặc dù có tổng hàm lượng đất hiếm (Σ REE) không cao, song thường tập trung nhiều nguyên tố đất hiếm nặng (HREE) có giá trị kinh tế cao, trong khi công nghệ khai thác và chế biến lại đơn giản, thân thiện với môi trường;

➢ Bài viết đã tổng hợp và đưa ra bộ 6 tiêu chí nhận dạng địa chất – môi trường để phục vụ hiệu quả công tác điều tra, đánh giá và thăm dò tài nguyên đất hiếm trong vỏ phong hóa, bao gồm: (1) Đặc điểm đá mẹ; (2) Địa hình – địa mạo; (3) Chỉ số biến đổi hóa học (CIA, pH...); (4) Điều kiện khí hậu và thời gian phong hóa; (5) Thành phần khoáng vật sét hấp phụ; (6) Dạng tồn tại của REE và phương pháp nhận dạng nhanh ngoài thực địa;

➢ Bên cạnh đó, bài viết cũng đề xuất một số tiêu chí phụ bổ sung như: độ dày tầng phong hóa, chỉ số HREE/LREE, tỷ lệ Ce/Ce*, mức độ phát triển hệ thống khe nứt, và sự hiện diện của hệ thống nước ngầm nhằm hỗ trợ nhận diện nhanh vùng có tiềm năng tích tụ đất hiếm hấp phụ ion;

➢ Bộ khung tiêu chí này không chỉ mang ý nghĩa học thuật mà còn có giá trị ứng dụng thực tiễn cao, góp phần định hướng công tác thăm dò và đánh giá tài nguyên đất hiếm tại Việt Nam trong bối cảnh nhu cầu REE toàn cầu ngày càng tăng, đặc biệt cho các ngành công nghiệp công nghệ cao và chuyển đổi năng lượng □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bao, Z., & Zhao, Z. (2008). Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geology Reviews*, 33(3–4), 519–535.
- [2]. Chen, H., Liu, J., Zeng, Q., et al. (2020). REE-rich granites and weathering profiles in South China: Implications for the formation of ion-adsorption-type rare earth deposits. *Journal of Geochemical Exploration*, 217, 106558.
- [3]. Li, Y., Li, W., Deng, W., et al. (2020). Geomorphic evolution and preservation of ion-adsorption-type rare earth element deposits in South China. *Ore Geology Reviews*, 117, 103308.
- [4]. Lu, Y., Jiang, S., Yuan, Z., et al. (2020). Weathering behavior and REE mobility in peralkaline rocks: Insights from Madagascar REE-rich regolith. *Journal of Asian Earth Sciences*, 196, 104383.
- [5]. Nesbitt, H.W., & Young, G.M. (1982). *Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites*. *Nature*, 299, 715–717.
- [6]. Nguyễn Đắc Đồng và nnk (1997). *Báo cáo tìm kiếm đất hiếm nhóm nặng và khoáng sản đi kèm phần Tây Bắc Việt Nam*. Lưu trữ: Liên đoàn Địa chất Xạ – Hiếm, Hà Nội.
- [7]. Nguyễn Văn Hòa và nnk (2021). *Báo cáo kết quả thăm dò khoáng sản quặng đất hiếm khu vực Bến Đền, huyện Bảo Thắng, tỉnh Lào Cai*. Lưu trữ: Trung tâm Thông tin Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.
- [8]. Sanematsu, K., & Watanabe, Y. (2016). Characteristics and genesis of ion adsorption-type REE deposits. *Reviews in Economic Geology*, 18, 53–67.
- [9]. Trịnh Đình Huân và nnk (2011). *Báo cáo kết quả điều tra đánh giá tiềm năng đất hiếm khu vực Bến Đền, huyện Bảo Thắng, tỉnh Lào Cai*. Lưu trữ: Trung tâm Thông tin Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.
- [10]. Wu, C., Li, W., Yang, X., et al. (2020). Mineralogical and chemical characteristics of ion-adsorption-type rare earth deposits in South China: Implications for exploration and exploitation. *Ore Geology Reviews*, 117, 103276.
- [11]. Wu Chengyu, Huang Dianhao (1990). REE Geochemistry in the Weathered Crust of Granites, Longnan Area, Jiangxi Province. *Chinese Science Bulletin*, 35(6), 498–503.
- [12]. Xu, C., Wang, L., Yu, C., et al. (2017). Geochemical characteristics and weathering mechanism of ion-adsorption type REE deposit in Longnan, South China. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 17(2), 99–111.

- [13]. Yang, X.J., Lin, A., Wu, Y., et al. (2013). China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. *Environmental Development*, 8, 131–136.
- [14]. Zhou, M.F., Li, Y., Sun, M., et al. (2020). *Origin of ion-adsorption type rare earth element deposits in weathered granites in South China*. *Minerals*, 10(9), 739.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài khoa học cấp Bộ, mã số TNMT.2024.02.01

STUDY ON ESTABLISHING A SET OF CRITERIA FOR IDENTIFYING RARE EARTH ELEMENTS IN WEATHERING CRUSTS

Hoang Van Dung¹, Trinh Dinh Huan¹, Nguyen Van Lam², Trinh Duc Thien¹,
Hoang Thi Thoa³, Ngo Xuan Dac^{2,*}

¹Radioactive and Rare Earth Geological Division, Xuan Phuong, Ha Noi, Vietnam

²Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, 67 Chien Thang, Ha Noi, Vietnam

³Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 10/9/2025

Revised: 15/10/2025

Accepted: 20/10/2025

^{2,*} Corresponding author:

Email: nxdac@mae.gov.vn

ABSTRACT

Ion-adsorption type rare earth element (REE) deposits in weathering crusts represent a strategic class of mineral resources with high economic value and relatively simple mining and processing technologies. These deposits have been extensively discovered and exploited in China, Myanmar, and more recently in Vietnam. This paper presents a framework of six groups of geological–environmental identification criteria to support the investigation, exploration, and assessment of the potential of REE deposits in weathered crusts, including: (1) Characteristics of parent rocks, (2) Topography and geomorphology, (3) Chemical alteration indices, (4) Climatic conditions, (5) Composition of REE-adsorbing clay minerals, and (6) Forms of REE occurrence and field identification methods.

Through a synthesis of international literature and field data from Vietnam, this study emphasizes the controlling roles of REE-enriched felsic parent rocks, long-term tropical to subtropical humid climates, gentle hill topography, deep chemical weathering, and the presence of clay minerals with high cation exchange capacities (kaolinite, halloysite, illite, etc.). In addition, the paper proposes several supplementary criteria, such as the thickness of the weathering profile, HREE/LREE ratio, and Ce/Ce anomaly, to assist in the rapid evaluation of orebody potential. These findings contribute to the development of a standardized identification framework for REE resources in Vietnam, in the context of increasing global demand for rare earth elements.*

Keywords: *Ion-adsorption REE, weathering crust, REE, identification criteria, clay minerals, tropical weathering*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association