LIÊN HIỆP CÁC HỘI KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT VIỆT NAM
HỘI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ MỎ VIỆT NAM

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT MỎ TOÀN QUỐC LẦN THỨ XXIX

ĐỘT PHÁ PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG

KHOA HỌC, CÔNG NGHỆ, ĐỔI MỚI SÁNG TẠO VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ TRONG NGÀNH CÔNG NGHIỆP MỎ VÀ NĂNG LƯỢNG VIỆT NAM

NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG
ĐÀ NẴNG - 2025

Scanned with CamScanner

MỤC LỤC

Trang

PHẦN I. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG

1. Một số điểm mới trong chính sách khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo: Liên hệ với ngành công nghiệp mỏ và năng lượng — 15
Đào Duy Anh

2. Đột phá ứng dụng khoa học công nghệ trong khai thác than hầm lò tại Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam — 25
Vũ Anh Tuấn

3. PetroVietnam đổi mới mô hình tăng trưởng dựa trên nền tảng Khoa học Công nghệ, Đổi mới sáng tạo và Chuyển đổi số — 33
Trần Bình Minh

4. Khoáng sản chiến lược: khái niệm cơ bản và vai trò then chốt của ngành khai khoáng trong một tương lai phát thải ròng bằng 0 và phát triển bền vững — 39
Trần Thanh Hải

5. Nghiên cứu và phát triển công nghệ chế biến quặng đất hiếm tại Viện Công nghệ xạ hiếm — 56
Phạm Quang Minh, Lê Bá Thuận, Hoàng Nhuận, Vương Hữu Anh, Ngô Văn Tuyến, Phùng Vũ Phong, Hoàng Xuân Thi

6. Đánh giá hiện trạng và đề xuất đổi mới sáng tạo thúc đẩy kinh tế tuần hoàn trong doanh nghiệp ngành khai khoáng Việt Nam — 74
Nguyễn Thúy Lan

7. Quy định của pháp luật về địa chất và khoáng sản: Cơ hội và thách thức trong chuyển đổi số - đổi mới sáng tạo cho ngành công nghiệp khai khoáng — 87
Lại Hồng Thanh

8. Đột phá phát triển ứng dụng khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số trong công nghiệp mỏ và năng lượng Việt Nam: cơ hội và thách thức — 100
Võ Chí Mỹ, Nguyễn Quốc Long, Võ Ngọc Dũng

9. Phát triển ứng dụng khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số trong các trường đại học đáp ứng nhu cầu của các doanh nghiệp mỏ và năng lượng — 109
Bùi Xuân Nam, Nguyễn Quốc Long, Trần Quang Hiếu, Lê Thị Thu Hoa

10. Chuyển đổi số trong lĩnh vực khai thác mỏ trên thế giới và bài học cho các doanh nghiệp khai thác mỏ Việt Nam — 122
Giang Quốc Khánh, Vũ Thị Duyên

Scanned with CamScanner

11. Cơ khí Than - Khoáng sản - Thành tựu, bài học và định hướng phát triển, đổi mới 143

Mai Ngọc Thạch, Hứa Ngọc Sơn, Tạ Ngọc Hải

12. Đột phá công nghệ trong khai thác dầu khí phi truyền thống: bài học từ Hoa Kỳ 157

Bùi Thanh Bình

13. Ứng dụng Big data, AI, IOT và Blockchain trong khai thác thông minh, giám sát an toàn và truy xuất nguồn gốc tài nguyên 173

Hoàng Hùng Thắng, Đặng Đình Đức, Khương Phúc Lợi, Lưu Quang Thuỷ, Hoàng Văn Nghị

14. Định hướng phát triển công nghệ Titan Việt Nam 184

Trương Đức Chính

15. Chế biến khoáng sản tiết kiệm năng lượng và thân thiện môi trường trong kỷ nguyên chuyển đổi số 193

Nhữ Thị Kim Dung, Vũ Thị Chinh, Phạm Thị Nhung

16. Công nghệ khai thác đất hiếm – Xu hướng toàn cầu và mô hình phù hợp cho Việt Nam 202

Trần Quang Hiếu, Nguyễn Văn Đức

17. Triển khai thực hiện Luật Địa chất và khoáng sản - Lộ trình số hóa cho doanh nghiệp ngành khai khoáng 219

Lại Hồng Thanh

PHẦN II. NHỮNG THÀNH TỰU NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG

18. Công tác Chuyển đổi số trong Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam giai đoạn 2025 - 2030 231

Nguyễn Trọng Tuyên

19. Chuyển đổi số và ứng dụng AI trong khai thác dầu khí Việt Nam: Thực trạng và định hướng phát triển 242

Đinh Đức Huy, Nguyễn Minh Quý, Phạm Trường Giang, Nguyễn Việt Trung, Phan Ngọc Trung, Nguyễn Hồng Minh

20. Chuyển đổi số với mô hình thông tin công trình (BIM), mô hình thông tin khai thác mỏ (MIM) 253

Phạm Tú Phương, Nguyễn Quỳnh Liên

21. Nghiên cứu khả năng áp dụng mô hình cơ giới hóa đồng bộ cho điều kiện vỉa dốc 35 ÷ 55^0 tại các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh 266

Đỗ Văn Hoàng, Phan Văn Việt, Trần Minh Tiến

22. Nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ số trong giám sát, nhận diện, cảnh báo cho công tác xúc bốc - vận tải trên các mỏ lộ thiên thuộc TKV 281

Đoàn Văn Thanh, Đỗ Văn Triều, Đặng Tiến Anh, Đinh Bá Lâm , Trần Đình Bão

Scanned with CamScanner

23. Nghiên cứu đánh giá khả năng áp dụng mô hình lò chợ thông minh tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh 294

Dương Đức Hải, Đỗ Văn Hoàng, Vũ Văn Hội

24. Nghiên cứu áp dụng phương pháp tính toán hộ chiếu nổ mìn trên cơ sở vùng phá hủy, nứt nẻ của khối đá xung quanh lỗ mìn tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh 308

Đinh Văn Cường, Nguyễn Văn Công, Hoàng Phương Thảo, Phạm Công Minh

25. Những thành tựu về ứng dụng khoa học, công nghệ, chuyển đổi số, kinh tế tuần hoàn, giảm phát thải khí nhà kính trong khai thác mỏ tại TKV 322

Nguyễn Việt Hùng, Phạm Tú Phương, Dương Phi Hùng

26. Trạm điện thông minh trong công cuộc số hóa của Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản 338

Phạm Hải Hà, Phạm Thanh Liêm, Nguyễn Anh Nguyên

27. Đổi mới công nghệ vận tải với việc áp dụng hệ thống băng tải dốc cho các mỏ lộ thiên sâu của TKV 348

Lê Đức Phương, Tạ Ngọc Hải, Dmytro Mykhailov

28. Đánh giá khả năng áp dụng ô tô tải lai pin nhiên liệu và pin điện phục vụ khai thác mỏ lộ thiên 360

Nguyễn Đăng Tấn, Tạ Ngọc Hải

29. Giảm tiêu hao năng lượng bằng tạo kết cấu vi mô bề mặt cặp ma sát và khả năng áp dụng trong thiết bị mỏ 372

Lê Văn Lợi, Yu Yinghua, Luo Jing

30. Quy trình thành lập bản đồ địa hình tỷ lệ lớn mỏ lộ thiên bằng thiết bị bay UAV cỡ nhỏ 381

Nguyễn Quốc Long, Võ Chí Mỹ, Kiều Kim Trúc, Đặng Văn Kiên, Nguyễn Đình Huy, Võ Ngọc Dũng

31. Ứng dụng công nghệ UAV vào quản lý hoạt động khai thác đá vôi/đất sét của nhà máy xi măng INSEE Hòn Chông 395

Nghiêm Thị Vân, Trần Duy Bình

32. Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong dự báo hư hỏng của động cơ điện sử dụng trong khai thác mỏ 405

Đỗ Như Ý

33. Xử lý dữ liệu số trong nghiên cứu tối ưu hóa thông số vận hành chân không bình ngưng Nhà máy Nhiệt điện Mạo Khê 413

Nguyễn Anh Nguyên, Phạm Thanh Liêm, Nguyễn Đức Hậu

34. Đánh giá khả năng sử dụng bùn thải quặng đuôi Nhà máy Tuyển đồng Tả Phời để sản xuất gạch xây không nung loại đặc tiêu chuẩn 424

Nguyễn Tam Tính, Phạm Mạnh Hà, Nguyễn Quý Nam, Tăng Văn Lâm

Scanned with CamScanner

35. Một số kết quả nghiên cứu ứng dụng khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số tại Chi nhánh mỏ tuyển đồng Sin Quyền, Lào Cai – Vimico 437

Nguyễn Hoàng Hưng, Trần Thuận Đức

36. Nghiên cứu sử dụng bể lắng dạng tấm nghiêng công suất 15 – 20 m^3/h để lắng đọng bùn thải xưởng tuyển rửa của Công ty Nhôm Đắk Nông – TKV 444

Lê Việt Hà, Phạm Văn Luận, Phạm Thanh Hải, Nguyễn Bá Phong, Hoàng Tuấn Anh

37. Công nghệ tuyển thu hồi quặng tinh bạc từ nguồn bã thải của quá trình điện phân kẽm của Công ty Cổ phần Kim loại màu Thái Nguyên 455

Nguyễn Thị Hồng Gấm, Đỗ Thị Như Quỳnh, Dương Văn Sự, Trần Văn Long, Vũ Thị Ngàn

38. Sử dụng hệ thống xử lý nước thải tuần hoàn cho quá trình tuyển tách khoáng vật nặng trong sa khoáng ven biển 465

Nguyễn Đức Minh, Nguyễn Huy Thục, Hoàng Trọng Nguyên, Lê Thị Ngọc Hoa, Nguyễn Diễm Huyền

39. Phương pháp nung hoàn nguyên – tuyển từ và triển vọng tận thu Ni, Co trong đuôi thải của quá trình tuyển cromit khu vực Thanh Hóa 473

Phùng Tiến Thuật, Trần Trung Tới, Phạm Văn Luận, Nhữ Thị Kim Dung, Phạm Thanh Hải

40. Ứng dụng lọc hơi nước tăng áp trong thải khô các sản phẩm của ngành công nghiệp chế biến khoáng sản 486

Phạm Thanh Hải, Đỗ Thị Oanh

41. Áp dụng công nghệ bán thủy luyện nhằm nâng cao thực thu kẽm tại Nhà máy Kẽm điện phân Thái Nguyên 498

Trần Văn Long, Bùi Huy Tuấn, Nguyễn Văn Hậu, Đỗ Quốc Hương, Vũ Thị Ngàn

PHẦN III. GIỚI THIỆU MỘT SỐ THÔNG TIN CÔNG NGHỆ

42. Triển khai ứng dụng hệ thống đa chức năng quản lý an toàn trong các doanh nghiệp khai thác mỏ của Liên bang Nga 507

Zaiatdinov Damir Fanisovich, Pozolotin Alexander Sergeevich, Aikin Andrey Vladimirovich

43. Kinh nghiệm sử dụng phương pháp địa chấn âm thanh để kiểm soát trạng thái ứng suất – biến dạng khối đá trong điều kiện các mỏ than "Mezhegeyugol" và "Inaglinskaya" – Liên bang Nga 513

Zaiatdinov D. F., Pozolotin A.S., Munasynov I.I.

44. Mỏ thông minh – Giải pháp và khả năng áp dụng tại Việt Nam 521

Trữ Dung, Bùi Văn Toàn, Nguyễn Quang Vinh, Đàm Thanh Sơn, Nguyễn Hoàng Thảo

Scanned with CamScanner

45. BATECO & HAWEE - giải pháp tủ điện license rút kéo thông minh cho ngành mỏ và năng lượng Việt Nam 527

Phạm Anh Tuấn

46. Tang- động cơ điện nam châm vĩnh cửu- Cải tiến đột phá trong dẫn động băng tải 542

Nguyễn Quang Vinh, Đàm Thanh Sơn, Nguyễn Công Hưng

47. Chuyển đổi năng lượng xanh trong giao thông vận tải ngành mỏ 548

Phan Ngọc Cẩm Thành

48. Hệ thống AI thông minh bảo vệ môi trường 552

Xu Huiping

49. Con lăn nhựa có trọng lượng phân tử siêu cao (UHMW-PE)- Một lựa chọn cho băng tải sử dụng trong công nghiệp mỏ 557

Phạm Anh Tuấn, Nguyễn Duy Phương, Phạm Xuân Anh

Scanned with CamScanner

CÔNG NGHỆ KHAI THÁC ĐẤT HIẾM - XU HƯỚNG TOÀN CẦU VÀ MÔ HÌNH PHÙ HỢP CHO VIỆT NAM

Trần Quang Hiếu[1], Nguyễn Văn Đức[2]

[1] Trường Đại học Mỏ – Địa chất, Hà Nội

[2] Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội

Tóm tắt:

Việt Nam được đánh gia là quốc gia có tiềm năng lớn về đất hiếm, xếp khoảng thứ sáu thế giới, với nhiều loại hình mỏ khác nhau, đặc biệt là các mỏ đất hiếm hấp phụ ion phân bố tại một số vùng miền núi như Lai Châu, Lào Cai và Hòa Bình. Tuy nhiên, hoạt động khai thác trong nước đến nay vẫn còn hạn chế, chủ yếu do những thách thức về công nghệ khai thác – chế biến và nguy cơ tác động môi trường khi áp dụng các phương pháp truyền thống. Bài báo này giới thiệu thông tin về xu thế toàn cầu và giới thiệu các công nghệ khai thác tiên tiến, trong đó công nghệ khai thác bằng điện động (Electrokinetic Mining – EKM) được xem là một giải pháp nổi bật. EKM có khả năng nâng cao hiệu suất thu hồi đất hiếm, đồng thời giảm thiểu sử dụng hóa chất và tác động môi trường, phù hợp với yêu cầu phát triển bền vững. Việc nghiên cứu và triển khai EKM được kỳ vọng sẽ giúp Việt Nam làm chủ công nghệ khai thác hiện đại, đáp ứng nhu cầu nguyên liệu chiến lược cho các ngành công nghiệp công nghệ cao, đồng thời đóng góp vào định hướng phát triển bền vững ngành khai khoáng quốc gia.

Từ khóa: *Đất hiếm; mỏ hấp phụ ion; khai thác điện động; công nghệ EKM; khai thác bền vững.*

1. Mở đầu

Khoáng sản ngày càng đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế – xã hội, đặc biệt là các khoáng sản chiến lược phục vụ quá trình chuyển đổi năng lượng bền vững, giảm phát thải carbon [4, 7, 8, 9]. Nhóm nguyên tố đất hiếm (REE) hiện được nhiều quốc gia (phương Tây, Trung Quốc) xếp vào loại vật liệu thiết yếu, không thể thiếu cho các ngành công nghiệp công nghệ cao mới nổi. Ngành công nghiệp đất hiếm thậm chí được coi là bí mật quốc gia; nhiều nước phát triển hạn chế chuyển giao công nghệ đất hiếm ra bên ngoài. Điều này tạo nên thách thức không nhỏ cho các quốc gia giàu tiềm năng đất hiếm như Việt Nam trong việc phát triển công nghệ khai thác – chế biến REE một cách tự chủ.

Các nguyên tố đất hiếm có tính chất từ tính, phát quang và xúc tác đặc biệt, nên giữ vai trò nền tảng trong nhiều ngành công nghiệp mũi nhọn: điện tử, viễn thông, năng lượng sạch, ô tô, y tế, quốc phòng... Chính vì vậy, nhu cầu REE trên thị trường toàn cầu đang gia tăng mạnh mẽ là vật liệu thiết yếu cho các ngành công nghiệp công nghệ cao. Theo dự báo, nhu cầu đất hiếm thế giới có thể tăng 600% trong vài thập kỷ

Scanned with CamScanner

tới; riêng Dysprosium (đất hiếm nhẹ HREE quan trọng cho công nghệ nam châm vĩnh cửu) có thể tăng tới 2.600% vào năm 2035. Tuy nhiên, nguồn cung REE không dễ dàng mở rộng nhanh do chu kỳ phát triển mỏ mới thường kéo dài (trung bình 18 năm mới đưa mỏ đất hiếm vào vận hành thương mại). Hơn nữa, lịch sử khai thác REE đã cho thấy nhiều hệ lụy môi trường nghiêm trọng, khiến các phương thức khai thác truyền thống bị giám sát, hạn chế sử dụng.

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu lựa chọn công nghệ khai thác đất hiếm phù hợp cho Việt Nam có ý nghĩa cấp thiết nhằm đảm bảo an ninh khoáng sản và phát triển kinh tế – công nghiệp bền vững của đất nước. Lựa chọn đúng công nghệ sẽ giúp gia tăng giá trị tài nguyên, giảm phụ thuộc vào xuất khẩu thô, đồng thời tối ưu hóa sử dụng nguồn lực quốc gia. Đầu tư vào các công nghệ khai thác – chế biến hiện đại và cả tái chế đất hiếm từ phế thải sẽ góp phần giảm thiểu chất thải, bảo vệ môi trường, tiết kiệm tài nguyên và thúc đẩy kinh tế tuần hoàn – phù hợp xu hướng toàn cầu, tạo mô hình phát triển bền vững cho ngành công nghiệp đất hiếm Việt Nam.

2. Tổng quan các loại hình mỏ đất hiếm và phương pháp khai thác ở việt nam và thế giới

2.1. Tại Việt Nam

Theo "Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng khoáng sản 2021–2030, tầm nhìn đến 2050", dự kiến đến năm 2030 Việt Nam sẽ khai thác khoảng 2 triệu tấn quặng đất hiếm nguyên khai mỗi năm [1, 2, 3]. Tổng trữ lượng tài nguyên đất hiếm thế giới ước tính khoảng 120 triệu tấn oxit đất hiếm (REO). Trước đây, Việt Nam từng được đánh giá có tiềm năng đất hiếm rất lớn (ước tính ~22 triệu tấn, xếp thứ 2 thế giới sau Trung Quốc). Tuy nhiên, con số này hiện được hiệu chỉnh, theo báo cáo mới nhất của USGS (2025) cho thấy trữ lượng đất hiếm Việt Nam khoảng 3,5 triệu tấn REO – xếp hạng khoảng 6 trên thế giới (sau Trung Quốc, Nga, Mỹ, v.v...), nhưng vẫn vượt qua nhiều quốc gia phát triển về quy mô tài nguyên. Các mỏ đất hiếm Việt Nam phân bố tập trung chủ yếu ở vùng Tây Bắc (Lai Châu, Lào Cai, Yên Bái) và rải rác ven biển miền Trung (Quảng Nam, Bình Thuận...). Trong đó, mỏ Đông Pao (tỉnh Lai Châu) được xác định là mỏ đất hiếm lớn nhất cả nước, có tiềm năng khai thác công nghiệp.

2.1.1. Mỏ đất hiếm Đông Pao (Lai Châu):

Mỏ Đông Pao thuộc xã Bản Hon, huyện Tam Đường, Lai Châu, diện tích gần 133 ha, với tổng trữ lượng địa chất trên ~11,3 triệu tấn, chiếm hơn một nửa trữ lượng đất hiếm cả nước. Mỏ lộ trên diện tích ~10 km^2, gồm khoảng 60 thân quặng (16 thân quặng quy mô lớn, giá trị công nghiệp). Quặng chứa chủ yếu các khoáng vật đất hiếm nhóm fluoro-carbonate như bastnaesite, synchysite, đi kèm barite, fluorite. Các nguyên tố đất hiếm tập trung chủ yếu thuộc nhóm nhẹ (LREE: La, Ce, Pr, Nd) và có các nguyên tố phóng xạ (U, Th) đi kèm. Tổng tài nguyên – trữ lượng tổng oxit đất hiếm (TREO) vào khoảng 4,38 triệu tấn, với hàm lượng quặng dao động từ 0,5% đến 39% TREO. Quặng hình thành do quá trình phong hóa và làm giàu thứ sinh từ các nguyên tố đất hiếm khuếch tán trong đới mạch syenit kiềm (phức hệ Pú

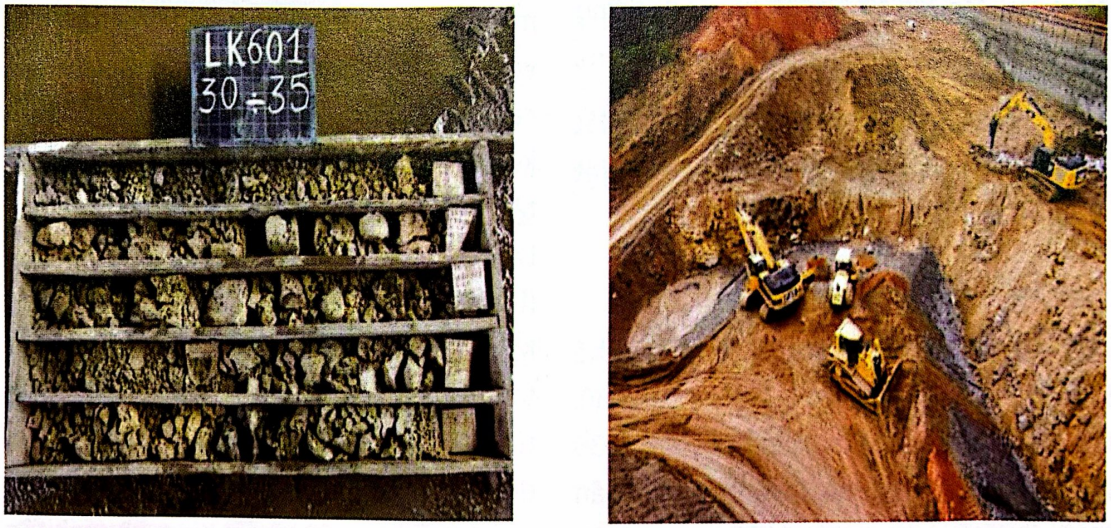
Scanned with CamScanner

Sam Cáp). Bề dày thân quặng đạt 33–83m, hàm lượng trung bình ~2,5–6,0% TREO, chủ yếu là LREE (tới 97% thành phần là Ce, La). Mỏ Đông Pao hiện được khai thác bằng phương pháp lộ thiên; đất đá được phá vỡ bằng khoan – nổ mìn, áp dụng công nghệ khai thác chọn lọc để nâng cao hiệu quả thu hồi quặng.

2.1.2. Các mỏ đất hiếm khác ở Tây Bắc:

Ngoài Đông Pao, Lai Châu còn cụm mỏ đất hiếm Nậm Xe (Nam Nậm Xe và Bắc Nậm Xe). Mỏ Bắc Nậm Xe lộ trên diện tích ~18–20 km^2, nằm trong vùng đá syenit kiềm – granosyenit – granit kiềm có khả năng làm giàu REE (loại hình mỏ xâm nhập kiềm) [6]. Quặng tại đây chứa bastnaesite và xenotime, với tỷ lệ HREE tương đối cao. Tổng trữ lượng tài nguyên đất hiếm ở Bắc Nậm Xe ước tính ~4,09 triệu tấn TR_2O_3, trong đó LREE ~62.97%, HREE ~29.16%. Hàm lượng quặng trung bình ~1,1% TREO (dao động 0,1–7,0%) và có đi kèm các nguyên tố kinh tế khác như niobium (Nb_2O_5 0,01–0,17%), uranium, thorium... Đáng chú ý, tỷ lệ đất hiếm nặng (HREE) ở Bắc Nậm Xe có thể lên tới ~27% tổng REE – điều khá hiếm, cho thấy tiềm năng về HREE tại mỏ này. Mỏ Nam Nậm Xe cũng có quy mô lớn (dự báo tài nguyên monazite sa khoáng ~2 triệu tấn quặng với hàm lượng 0,3–5,42 kg/m^3), tiềm năng thu hồi đất hiếm từ sa khoáng ở mức trung bình.

Tại Lào Cai, một số mỏ đất hiếm đáng chú ý gồm Mường Hum và Yên Phú. Mỏ Yên Phú nằm trong đá granit kiềm A-type, chứa các khoáng vật đất hiếm như xenotime, monazite cùng niobi, urani [5, 6]. Tài liệu thăm dò cho thấy trữ lượng Yên Phú khoảng 5.000 tấn TR_2O_3 với hàm lượng quặng 0,1–7,0% TREO, trung bình ~1,12% TREO. Đặc biệt, nhóm HREE ở Yên Phú chiếm tỷ lệ cao (27% tổng REE) – một đặc điểm quý do đa phần mỏ đất hiếm nội địa chủ yếu là LREE. Mỏ Mường Hum thuộc loại hình xâm nhập kiềm (granit kiềm peralkaline), có dấu hiệu giàu HREE. Quặng ở Mường Hum gắn với các khoáng vật aegirine, arfvedsonite trong đá granit kiềm và cũng có tiềm năng về HREE tương tự Yên Phú [5,6].



Hình 1. Mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe -Lai Châu

Scanned with CamScanner

Bên cạnh các mỏ nguyên sinh, Việt Nam còn có đất hiếm dạng sa khoáng. Mỏ sa khoáng Bù Khang (Nghệ An) là ví dụ tiêu biểu: monazite và xenotime tích tụ trong các bãi bồi ven sông có nguồn gốc từ phong hóa đá granit [2, 5]. Hàm lượng monazite trong cát sa khoáng Bù Khang ước tính khoảng 0,15–4,8 kg/m^3. Tuy quy mô các điểm sa khoáng đất hiếm không lớn so với mỏ nguyên sinh, chúng vẫn là nguồn tài nguyên thứ sinh có thể tận dụng.

2.2. Trên thế giới

2.2.1. Mỏ đất hiếm Bayan Obo (Trung Quốc):

Đây là mỏ đất hiếm lớn nhất thế giới, nằm ở khu tự trị Nội Mông, Trung Quốc [10,11]. Bayan Obo được khai thác lộ thiên, địa chất rất phức tạp với hai thân quặng chính (Main Orebody và East Orebody) nằm trong tầng đá dolomite marble bị cắt phá mạnh bởi đứt gãy. Quặng bao gồm nhiều loại: quặng chứa riebeckite (giàu sắt – natri), quặng chứa aegirine (natri pyroxene) và các dạng quặng banded, massive giàu REE. Khoáng vật đất hiếm chủ yếu gồm bastnaesite, monazite cùng các khoáng đi kèm như riebeckite, aegirine. Bayan Obo cung cấp trên 40% sản lượng đất hiếm toàn cầu, đóng vai trò mỏ chiến lược giúp Trung Quốc gần như thống trị chuỗi cung ứng REE suốt nhiều thập kỷ [13,14,15].



Hình 2. Mỏ Bayan Obo – Trung Quốc



Hình 3. Quặng Niobium

2.2.2. Mỏ đất hiếm Mountain Pass (Hoa Kỳ):

Mỏ Mountain Pass ở sa mạc Mojave, California (gần biên giới Nevada) là mỏ đất hiếm nổi tiếng của Mỹ [13,14]. Đây là mỏ lộ thiên nằm trong khoáng sản carbonatite (magma kiềm chứa carbonat) tương tự điều kiện địa chất của mỏ Đông Pao (Việt Nam). Quặng chính là bastnaesite với hàm lượng cao các LREE (Ce, La, Nd). Mỏ hoạt động từ những năm 1950 và từng là nguồn cung cấp REE lớn nhất thế giới trước khi Trung Quốc vươn lên thống trị thị trường. Sau giai đoạn đóng cửa do cạnh tranh và vấn đề môi trường, Mountain Pass đã được tái khởi động gần đây với sự đầu tư lớn, nhằm đáp ứng nhu cầu nam châm vĩnh cửu gia tăng và đảm bảo an ninh chuỗi cung ứng vật liệu chiến lược cho Mỹ. Mỏ Mountain Pass hiện khai thác quặng bastnaesite và sản xuất cô đặc REE, đóng vai trò quan trọng trong chiến lược giảm phụ thuộc đất hiếm Trung Quốc của phương Tây [12].

Scanned with CamScanner



Hình 4. Mỏ đất hiếm Mountain Pass–Hoa Kỳ

Ngoài Trung Quốc và Mỹ, các nước như Australia, Myanmar, Thái Lan, Ấn Độ, Nga cũng đóng góp sản lượng đất hiếm đáng kể. Australia có trữ lượng đất hiếm lớn (đặc biệt mỏ Mt Weld), đang phát triển công nghiệp chế biến. Myanmar và Thái Lan khai thác các mỏ đất hiếm hấp phụ ion quy mô nhỏ hơn nhưng chất lượng quặng HREE khá cao. Một số nước khác (Canada, Greenland, Việt Nam...) tuy có tiềm năng tài nguyên nhưng sản lượng khai thác hiện còn hạn chế. Xu hướng toàn cầu hiện nay là đa dạng hóa nguồn cung đất hiếm, giảm sự phụ thuộc vào Trung Quốc, thông qua việc phát triển các dự án mỏ mới và đầu tư công nghệ khai thác – chế biến tiên tiến.

3. Các phương pháp khai thác mỏ đất hiếm phổ biến

Xuất phát từ đặc điểm địa chất và tính chất quặng của các mỏ đất hiếm đã nêu, có thể phân loại mỏ đất hiếm thành các nhóm chính và lựa chọn phương pháp khai thác tương ứng cho phù hợp:

- Mỏ quặng hard-rock (loại hình carbonatite, xâm nhập kiềm): Đây là các mỏ quặng đất hiếm nguyên sinh trong đá cứng (như Đông Pao, Nam Nậm Xe, Mountain Pass...). Phương pháp khai thác thường áp dụng là khai thác lộ thiên, do quặng tập trung thành thân rõ rệt trong khối đá. Công nghệ nổ mìn, xúc bốc, vận tải và tuyển khoáng (tuyển nổi, từ, điện) được sử dụng để thu hồi các khoáng vật đất hiếm (bastnaesite, monazite...) khỏi quặng thô. Với loại mỏ này, cần chú trọng biện pháp an toàn phóng xạ do thường đi kèm Th, U.

- Mỏ đất hiếm sa khoáng (placers chứa monazite, xenotime): Tập trung chủ yếu trong cát bồi tích ven sông, bãi biển (ví dụ mỏ Bù Khang, một số vùng ven biển miền Trung). Phương pháp khai thác phù hợp là khai thác sa khoáng bằng sức nước hoặc cơ giới, kết hợp đãi/quặng trọng lực. Thông thường, người ta bơm hút hoặc đãi xúc cát chứa quặng, sau đó dùng phương pháp tuyển trọng lực, tuyển từ để thu hồi tinh

Scanned with CamScanner

quặng monazite, xenotime. Do monazite có tính phóng xạ (chứa ThO_2), cần có quy trình xử lý chất thải phóng xạ an toàn sau tuyển. So với mỏ đá cứng, khai thác sa khoáng ít tốn kém hơn nhưng tỷ lệ thu hồi và quy mô thường nhỏ hơn.

- Mỏ đất hiếm hấp phụ ion (ion-adsorption type): Đây là loại mỏ trong đới phong hóa của đá giàu REE, quặng ở dạng các ion REE^{3+} hấp phụ trên bề mặt khoáng sét (kaolinite, halloysite...). Nhóm mỏ này chứa chủ yếu HREE và có đặc điểm: hàm lượng quặng thấp (thường dưới 0,3% TREO), vỏ phong hóa chứa quặng mỏng (vài mét đến vài chục mét) và hầu như không có khoáng vật phóng xạ đi kèm. Ở Việt Nam, một số điểm quặng hấp phụ ion đã phát hiện như Bến Đền (Lào Cai), Hàm Yên (Tuyên Quang)... song chưa mỏ nào đạt quy mô công nghiệp. Với loại mỏ này, không thể áp dụng hiệu quả phương pháp khai thác cơ giới thông thường vì quặng phân tán, cấp thấp. Trước đây, Trung Quốc sử dụng phương pháp ngâm chiết in-situ (pump leaching): bơm dung dịch muối (thường là ammonium sulfate) vào tầng quặng, rồi thu dung dịch đất hiếm qua giếng thu hồi. Phương pháp ngâm chiết hóa học này có chi phí thấp nhưng gây ra nhiều hệ lụy môi trường nghiêm trọng nếu không được kiểm soát tốt – ví dụ tạo "ao axit độc" ở các vùng mỏ đất hiếm Nam Trung Quốc, ô nhiễm nước ngầm, suy thoái đất và hệ sinh thái. Từ năm 2018, Trung Quốc đã cấm mở mới các mỏ đất hiếm hấp phụ ion dùng công nghệ ngâm chiết ammonium nhằm ngăn chặn ô nhiễm [17].

Từ những đặc điểm tự nhiên, điều kiện địa chất, khai thác các mỏ đất hiếm đã nêu ở phần trên, ta có thể phân loại mỏ đất hiếm và phương pháp khai thác phù hợp theo bảng 1 và bảng 2 dưới đây :

Bảng 1. Các loại mỏ đất hiếm chính

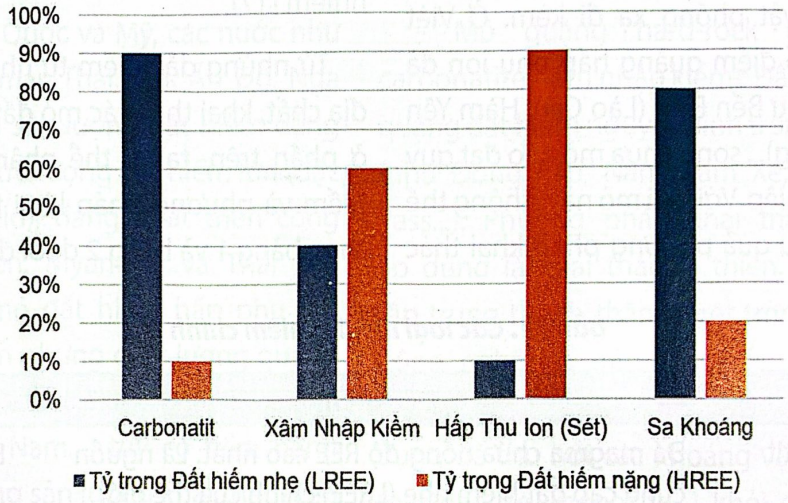
Tên mỏ đất hiếm	Đặc điểm	Khoáng vật
Mỏ Carbonatit	Đá magma chứa nồng độ REE cao nhất. Là nguồn cung cấp đất hiếm nhẹ (LREE) chính của thế giới	Bastnasite
Mỏ xâm nhập kiềm	Đá magma có tiềm năng làm giàu đất hiếm nặng (HREE), rất quan trọng cho công nghệ cao	Eudialyte, Apatit, Xenotim
Mỏ hấp thụ Ion	Hình thành từ phong hóa đá granit. Là nguồn cung cấp đất hiếm nặng (HREE) chính.	REE hấp phụ trên sét
Mỏ sa khoáng	Tích tụ các khoáng vật nặng trong cát sỏi từ các hồ, lòng sông... Từng là nguồn cung đất hiếm trong lịch sử	Monazite, Xenotim

Gần đây, sự phát triển của công nghệ điện động (EKM) đã mở ra hướng tiếp cận mới cho các mỏ hấp phụ ion, thay thế ngâm chiết hóa chất truyền thống. Phần tiếp theo sẽ trình bày chi tiết về nguyên lý và ưu điểm của công nghệ EKM cũng như khả năng ứng dụng tại Việt Nam.

Scanned with CamScanner

Bảng 2. Phân loại các nhóm mỏ đất hiếm ở Việt Nam và phương pháp khai thác

Mỏ đất hiếm	Tỉnh	Nhóm mỏ	Phương pháp khai thác
Đông Pao	Lai Châu	Mỏ Carbonatit	Khai thác lộ thiên
Bắc Nậm Xe Nam Nậm Xe	Lai Châu	Mỏ Carbonatit	Khai thác lộ thiên
Yên Phú	Lào Cai	Mỏ Carbonatit	Khai thác lộ thiên
Mường Hum	Lào Cai	Mỏ Xâm nhập kiềm	Khai thác lộ thiên
Bến Đền	Lào Cai	Mỏ Hấp phụ ion	Khai thác bằng hòa tách đất hiếm tại chỗ, EKM
Bù Khang	Nghệ An	Mỏ Sa khoáng	Khai thác bằng thủy lực (sức nước)



Hình 5. So sánh tỷ trọng đất hiếm nhẹ (LREE) và đất hiếm nặng (HREE)

4. Công nghệ khai thác đất hiếm bằng điện động (electrokinetic mining – ekm)

4.1. Tiềm năng đất hiếm từ các mỏ hấp phụ ion ở Việt Nam

Mỏ đất hiếm hấp phụ ion (còn gọi là mỏ đất hiếm phong hóa ion) là nguồn chính cung cấp đất hiếm nhóm nặng (HREE) trên thế giới, đóng góp hơn 90% nguồn cung HREE toàn cầu. Loại mỏ này hình thành do quá trình phong hóa hóa học mạnh mẽ các đá mẹ giàu REE (granit, rhyolite, tuf...) trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm. Thành phần REE tồn tại dưới dạng các cation hấp phụ trên khoáng sét, có hàm lượng thấp nhưng phân bố trải rộng trong tầng phong hóa.

Tại Việt Nam, đã có một số điểm quặng hấp phụ ion được phát hiện ở vùng đồi núi phía Bắc. Tiêu biểu có các khu vực: Bến Đền (huyện Bảo Thắng, tỉnh Lào Cai), Hàm

Scanned with CamScanner

Yên (Tuyên Quang..., nơi đã khảo sát thấy đất hiếm hấp phụ trong vỏ phong hóa granite-gneiss. So với các mỏ hấp phụ ion nổi tiếng ở Nam Trung Quốc (Giang Tây, Quảng Đông), các điểm quặng dạng này ở Việt Nam có một số hạn chế: hàm lượng trung bình thấp hơn (thường dưới ~0,3% TREO) và tầng phong hóa chứa quặng mỏng hơn (chỉ khoảng 7–20m). Diện phân bố quặng cũng hẹp, trữ lượng nhỏ, mới ở mức tài nguyên dự báo chứ chưa được thăm dò chi tiết. Bù lại, ưu điểm của mỏ ion hấp phụ là hàm lượng các nguyên tố phóng xạ rất thấp – quặng hầu như không chứa urani, thori nên thân thiện với môi trường hơn so với mỏ quặng hard-rock. Nếu áp dụng công nghệ khai thác "xanh" phù hợp, nhóm mỏ này có thể được khai thác hiệu quả mà ít tác động tiêu cực – hoàn toàn phù hợp với các tiêu chí môi trường, xã hội, quản trị (ESG) đang được đề cao trên thế giới.

Hiện tại, chưa có mỏ hấp phụ ion nào ở Việt Nam được phát triển đến quy mô công nghiệp như các mỏ ở Trung Quốc. Các điểm quặng phát hiện hầu hết mới ở giai đoạn điều tra địa chất ban đầu, chưa có dự án khai thác thử nghiệm. Điều này đồng nghĩa với việc Việt Nam vẫn chưa tận dụng được nguồn HREE tiềm năng trong nước. Để vừa đảm bảo nguồn cung đất hiếm cho công nghiệp hiện đại, vừa bảo vệ môi trường, các nhà khoa học trên thế giới đã và đang nghiên cứu phát triển công nghệ khai thác điện động lực (EKM) như một giải pháp đột phá. Đây được coi là hướng tiếp cận mới có thể nghiên cứu áp dụng cho điều kiện Việt Nam trong tương lai gần.

4.2. Nguyên lý khai thác điện động (EKM) cho mỏ đất hiếm hấp phụ ion

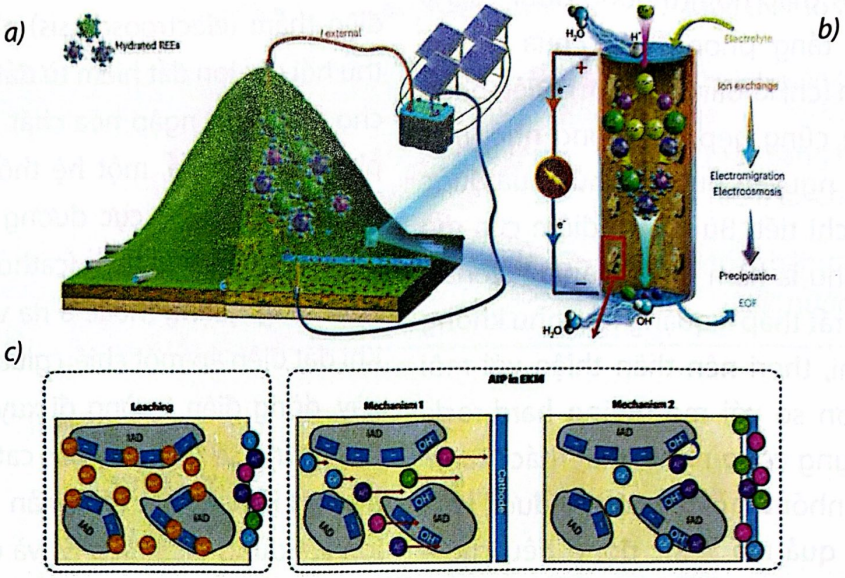
Nguyên lý cơ bản: Công nghệ EKM lợi dụng dòng điện một chiều đặt giữa các điện cực cắm trong thân quặng để tạo ra các hiện tượng điện di (electromigration) và điện thẩm (electroosmosis) nhằm tách và thu hồi các ion đất hiếm từ đất đá, thay thế cho việc bơm ngập hóa chất như phương pháp cũ. Cụ thể, một hệ thống điện cực được bố trí: điện cực dương (anode) đặt phía trên, điện cực âm (cathode) đặt phía dưới tầng quặng (hoặc ở rìa vùng quặng). Khi đặt điện áp một chiều giữa hai điện cực này, dòng điện trường đi xuyên qua khối đất quặng sẽ thúc đẩy các cation REE^{3+} rời bề mặt khoáng sét (do phản ứng trao đổi ion với dung dịch điện ly) và di chuyển có hướng về cathode nhờ lực điện trường (điện di) kết hợp với dòng chảy điện thẩm. Tại điện cực cathode, dung dịch giàu REE sẽ được thu gom qua các giếng thu hồi.

Quá trình này có tính chọn lọc cao: các ion REE di chuyển nhanh hơn nhiều so với ion kim loại nền (Al^{3+}, Fe^{3+}, Ca^{2+}...), do khác biệt về động học và tương tác, nên dung dịch thu được giàu REE với ít tạp chất. Chi tiết minh họa công nghệ EKM được trình bày trong Hình 6.

Bổ sung dung dịch điện ly: Để tăng tính dẫn điện cho môi trường đất và hỗ trợ trao đổi ion, EKM có sử dụng một lượng nhỏ dung dịch điện ly bơm vào tầng quặng. Thông thường, người ta dùng dung dịch muối sunfat loãng (ví dụ $MgSO_4$ hoặc $(NH_4)_2SO_4$ nồng độ thấp) như chất điện ly. Lượng hóa chất được tính toán tối thiểu,

Scanned with CamScanner

chỉ khoảng 20–30% so với khối lượng dung dịch cần dùng trong phương pháp ngâm chiết truyền thống. Việc bổ sung này nhằm đảm bảo đủ độ dẫn điện và duy trì ion sunfat (hoặc amoni) để trao đổi với REE, nhưng vẫn giảm thiểu tối đa hóa chất đưa vào môi trường. Song song quá trình EKM, tại một diện tích đối chứng tương tự, có thể tiến hành thí nghiệm ngâm chiết truyền thống (bơm dung dịch ammonium sulfate bão hòa) để thu thập dữ liệu so sánh trực tiếp giữa hai công nghệ.



Hình 6. Minh họa công nghệ EKM áp dụng cho mỏ đất hiếm hấp phụ ion [19]

Hệ thống xử lý tuần hoàn: Dung dịch thu hồi giàu REE tại cathode sẽ được dẫn qua hệ thống xử lý gồm các bể: bể tách (loại bỏ tạp chất cơ học), bể tinh chế (làm sạch ion đất hiếm), bể tuần hoàn (tái sử dụng dung dịch điện ly) trước khi kết tủa REE dưới dạng carbonate hoặc hydroxit để thu được sản phẩm cuối là REO (oxit đất hiếm). Phần nước và hóa chất sau xử lý được tái chế, bơm trở lại hệ thống (tuần hoàn kín), giúp giảm tiêu thụ tài nguyên nước và hóa chất.

Hiệu suất và thực nghiệm: Các thí nghiệm bước đầu của Viện Địa Hóa Quảng Châu (Trung Quốc) cho thấy công nghệ EKM đạt hiệu suất thu hồi REE ~90%, trong khi lượng hóa chất sử dụng giảm ~80% và tạp chất kim loại giảm ~70% so với kỹ thuật ngâm chiết cũ [17,18,19,20]. Kết quả này được chứng minh qua các thử nghiệm từ quy mô phòng thí nghiệm đến thực địa nhỏ. Hình 12B cho thấy biểu đồ thu hồi REE trong một thí nghiệm trường cho mỏ ion: sau khoảng 50 ngày vận hành EKM, hiệu suất thu hồi đạt trên 95% mà không cần dùng phương pháp khai thác truyền thống. Những con số này khẳng định ưu thế vượt trội của EKM cả về hiệu quả kinh tế (tận thu tài nguyên) lẫn môi trường, mở ra hướng đi mới cho khai thác đất hiếm bền vững.

Đặc biệt, gần đây nhóm nghiên cứu Trung Quốc đã triển khai thành công thử nghiệm EKM ở quy mô công nghiệp (~5.000 tấn quặng) tại một mỏ đất hiếm ion ở Nam

Scanned with CamScanner

Trung Quốc [17,18,19,20]. Kết quả công bố đầu năm 2025 cho thấy: trên 95% REE được thu hồi, giảm 80% lượng thuốc thử, rút ngắn 70% thời gian khai thác, đồng thời cắt giảm ~95% lượng amoniac phát thải ra môi trường. Để đạt được thành tựu này, họ đã phải giải quyết các thách thức về kỹ thuật như: phát triển điện cực polymer dẫn điện (CPE) mới chịu được môi trường đất ẩm ướt ăn mòn (dẫn điện ~200 S/m, chịu dòng 70 A trong nhiều tháng), thiết kế rào cản điện thế (VGB) ngăn rò rỉ dung dịch qua các khe nứt địa tầng bằng cách tạo vùng điện thẩm đối nghịch, và áp dụng chế độ cấp điện luân phiên gián đoạn (IPA) để tiết kiệm năng lượng. Những cải tiến này đã khắc phục các rào cản kỹ thuật chính, đánh dấu cột mốc triển khai EKM ở quy mô lớn lần đầu tiên trên thế giới. Thành công này khẳng định tính khả thi và viễn cảnh thương mại của EKM như một giải pháp "xanh" cho khai thác đất hiếm.

4.3. So sánh công nghệ EKM và phương pháp khai thác truyền thống

Bảng 3 so sánh các tiêu chí chính giữa công nghệ khai thác bằng điện động (EKM) và phương pháp ngâm chiết dung dịch thông thường đối với mỏ đất hiếm hấp phụ ion:

Bảng 3. So sánh công nghệ khai thác đất hiếm bằng điện động (EKM) và phương pháp ngâm chiết truyền thống

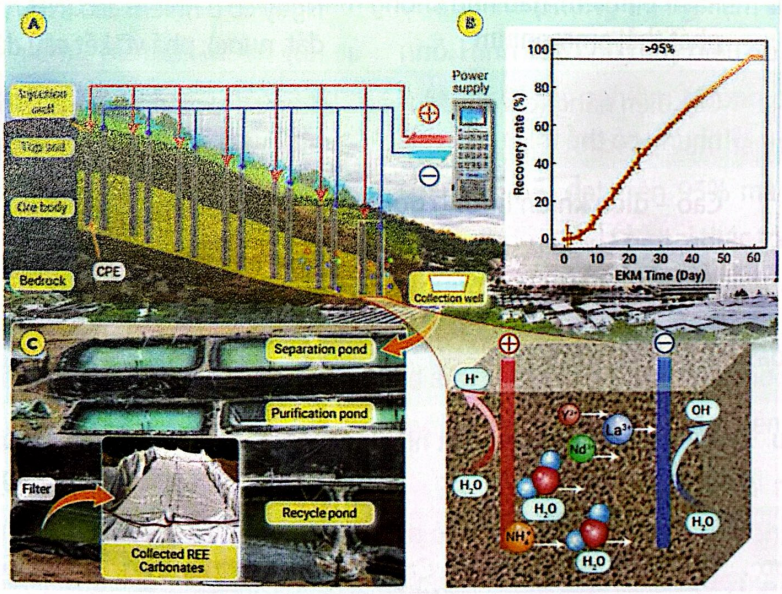
Tiêu chí	Công nghệ EKM (điện động)	Ngâm chiết truyền thống
Cơ chế tách quặng	Dẫn điện qua đất – kích thích điện di & trao đổi ion	Tưới dung dịch hóa chất thấm qua đất – trao đổi ion
Tác nhân hòa tách	Điện trường + một ít muối ($MgSO_4$ loãng, $(NH_4)_2SO_4$ loãng)	Dung dịch muối amoni $(NH_4)_2SO_4$ hoặc $MgSO_4$
Tác động môi trường	Rất ít ô nhiễm, hầu như không phát thải ammonium	Nguy cơ ô nhiễm cao (NH_4^+, NO_3^- ngấm đất, nước); phá vỡ kết cấu đất
Năng lượng tiêu thụ	Cần điện năng (chi phí đầu vào nhưng có thể tối ưu thời gian)	Ít tiêu thụ điện, chủ yếu bơm dịch nhưng phải duy trì lâu dài
Tính chọn lọc	Cao – điều khiển hướng dòng ion, hạn chế ion tạp (Al^{3+}, Fe^{3+}...)	Thấp hơn – nhiều tạp chất kim loại nền bị hòa tan theo
Độ phá hủy đất	Tối thiểu – không cần bóc đất, không làm biến dạng địa hình	Đáng kể – phải đào bới đất, có thể gây xói mòn, sạt lở địa hình
Hiệu suất thu hồi REE	Rất cao – >90%, đặc biệt hiệu quả với HREE	Thấp hơn – thường 40–60%, phụ thuộc nồng độ và nhiều chu kỳ ngâm rửa
Phạm vi áp dụng phù hợp	Mỏ hấp phụ ion trong vỏ phong hóa (ví dụ: Bến Đền, Lào Cai)	Các mỏ hấp phụ ion kiểu cũ (Trung Quốc trước 2018) hoặc mỏ quặng có thể dùng leaching tại chỗ

Scanned with CamScanner

Kết quả cho thấy EKM vượt trội ở hầu hết các tiêu chí: hiệu suất thu hồi cao, chọn lọc REE tốt, hầu như không gây ô nhiễm môi trường và bảo toàn được địa hình khu mỏ. Các nghiên cứu cho thấy EKM có thể thu hồi trên 90% tổng oxit đất hiếm (TREO) trong tầng quặng – cao hơn hẳn mức 40–60% của phương pháp ngâm chiết thông thường. Nhờ sử dụng điện trường thay cho việc bơm tràn hóa chất, lượng hóa chất tiêu thụ giảm tới ~70–80%; ước tính EKM chỉ cần 20–30% khối lượng hóa chất (chủ yếu muối sunfat làm điện ly) so với lượng dung dịch amoni cần cho leaching truyền thống. Điều này đồng nghĩa giảm thiểu tương ứng 70–80% hóa chất đưa vào môi trường, tiết kiệm chi phí và giảm nguy cơ ô nhiễm tồn dư trong đất, nước. Độ tinh khiết dung dịch đất hiếm thu được bằng EKM cao hơn đáng kể – các ion tạp chất (Al^{3+}, Fe^{3+}, Ca^{2+}…) bị hạn chế di chuyển, kết tủa thành khoáng thứ cấp trong đất thay vì theo dung dịch. Kết quả là lượng tạp chất trong dung dịch sản phẩm EKM giảm trên 90% so với dung dịch leach truyền thống, giúp đơn giản hóa khâu xử lý kết tủa và tinh chế cuối dòng (hạ giá thành chế biến). Đặc biệt, EKM hầu như không phát tán chất ô nhiễm ra môi trường: nghiên cứu cho thấy có thể giảm >95% sự phát thải ammonium so với leaching thường. Do không phải đào bới đất hay xả thải chất rắn ra ngoài, cảnh quan và thổ nhưỡng khu mỏ gần như được bảo vệ nguyên vẹn. Những ưu điểm nổi bật này khiến EKM trở thành công nghệ khai thác "xanh" đầy hứa hẹn cho các mỏ đất hiếm dạng hấp phụ ion.

4.4. Đề xuất mô hình ứng dụng thử nghiệm EKM tại Việt Nam

Để triển khai EKM một cách hiệu quả, nên bắt đầu bằng mô hình thử nghiệm quy mô nhỏ tại một mỏ đất hiếm hấp phụ ion tiêu biểu. Chẳng hạn, Việt Nam có thể chọn một khu vực đã xác định có quặng đất hiếm ion-clay ở Tây Bắc (như một phần mỏ Yên Phú hoặc điểm quặng tại Bến Đền, Lào Cai) để tiến hành thí điểm.



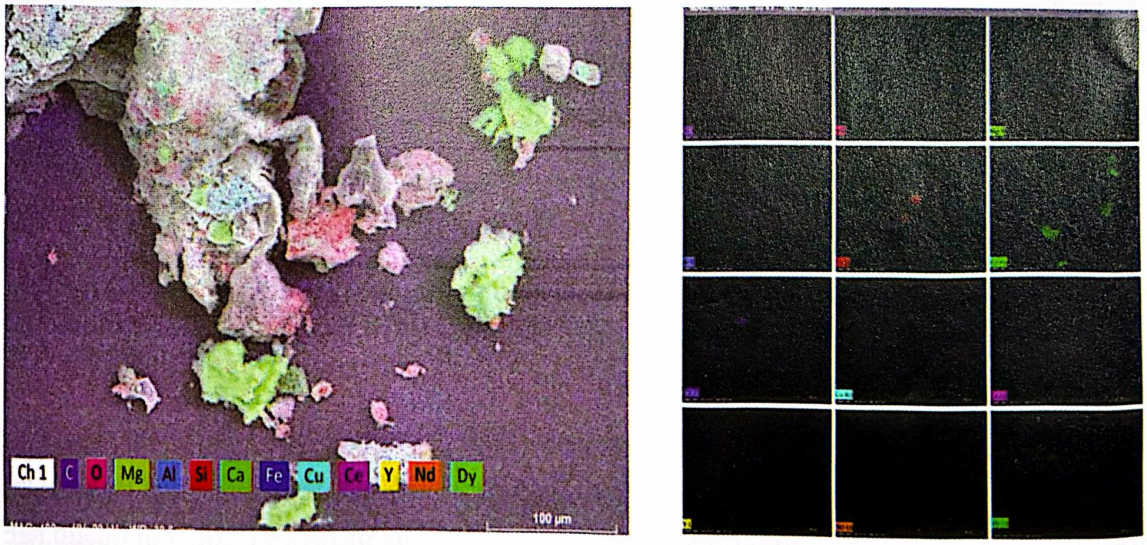
Hình 7. Quy trình EKM – Khai thác đất hiếm bằng điện động học [17]

Scanned with CamScanner

Quy mô thí điểm có thể khoảng vài ngàn tấn quặng (diện tích vài hecta và độ sâu khai thác 10-30 m) – tương đương với thử nghiệm 14 tấn và 5000 tấn mà Trung Quốc đã thực hiện thành công. Mô hình sẽ bao gồm: bố trí mạng lưới điện cực anode gần mặt đất và cathode tại các giếng thu dung dịch phía dưới; sử dụng dung dịch điện giải trung tính (ví dụ $MgSO_4$ loãng) bơm tuần hoàn; áp dụng chiến lược cấp điện luân phiên (ngắt quãng) để tiết kiệm điện năng; đồng thời lắp đặt hệ thống màng chắn điện quanh khu vực khai thác nhằm ngăn dung dịch rò rỉ ra ngoài. Trong suốt quá trình, cần có nhóm chuyên gia địa chất – môi trường giám sát các thông số: pH và nồng độ ion trong nước ngầm quanh mỏ, độ bền của điện cực, tốc độ thu hồi REE theo thời gian, v.v... Dữ liệu này sẽ được so sánh với mô hình dự báo và so với phương pháp hòa tách truyền thống (nếu có trên mẫu quặng tương tự) để đánh giá toàn diện. Quy trình hoạt động của phương pháp EKM trong Hình 7.

5. Mô hình kinh tế tuần hoàn thu hồi đất hiếm từ chất thải

Bên cạnh khai thác đất hiếm từ mỏ nguyên khai, việc thu hồi đất hiếm từ các nguồn chất thải công nghiệp là hướng đi quan trọng theo mô hình kinh tế tuần hoàn. Thay vì chỉ tập trung vào mỏ, đất hiếm có thể được tái chế, tái sử dụng từ các sản phẩm, phế thải sau sử dụng nhằm giảm khai thác mới và hạn chế tác động môi trường. Nhiều nghiên cứu cho thấy các loại chất thải như quặng đuôi tuyển, bùn đỏ (red mud) từ sản xuất alumin, thạch cao phosphor (phosphogypsum) và tro bay nhà máy nhiệt điện đều chứa đất hiếm với hàm lượng đáng kể – có thể lên tới hàng trăm đến hàng nghìn ppm REE. Chẳng hạn, tro bay nhiệt điện Na Dương (Lạng Sơn) được phân tích cho thấy có mặt các nguyên tố đất hiếm (Ce, Y, Nd, Dy) phân tán trong tro ở mức hàng chục ppm. Đây chính là "mỏ đô thị" tiềm năng để thu hồi đất hiếm, đồng thời xử lý chất thải. Hình 8 chỉ ra sự phân bố nguyên tố đất hiếm trong mẫu tro bay từ nhà máy nhiệt điện Na Dương.

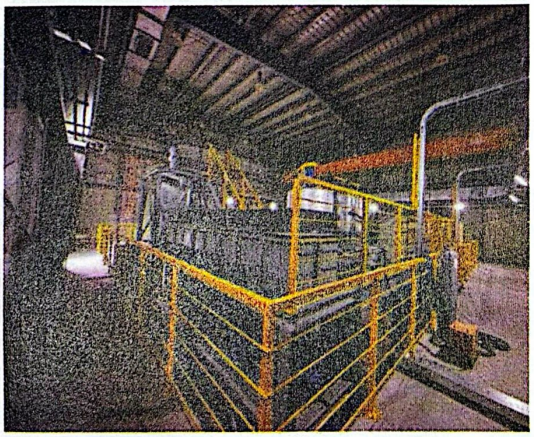


Hình 8. Hình ảnh phân bố nguyên tố trong mẫu tro bay từ nhà máy nhiệt điện Na Dương

Scanned with CamScanner

Quy trình thu hồi REE từ chất thải thường gồm 3 bước chính: (i) Làm giàu sơ bộ: áp dụng tuyển vật lý (tuyển từ, tuyển trọng lực, tuyển nổi) để tập trung khoáng vật mang REE hoặc loại bớt nền silicát; (ii) Hòa tách – tách chiết REE: dùng công nghệ thủy luyện (acid hoặc bazơ) hòa tan REE sau đó tách chiết dung môi để thu dung dịch chứa REE cô đặc; (iii) Kết tủa và hoàn nguyên: kết tủa REE dưới dạng muối (carbonat, hydroxide) rồi nung hoàn nguyên thành oxit đất hiếm (REO) tinh khiết. Quy trình thủy – hóa luyện hiện nay đã khá hiệu quả, hoàn toàn có thể áp dụng ở Việt Nam, tuy nhiên cần tối ưu tùy thuộc từng loại chất thải (vì thành phần hóa học khác nhau).

Hiện tại, Việt Nam chưa có mô hình thu hồi REE từ chất thải quy mô công nghiệp, mặc dù lượng REE trong quặng đuôi titan, tro bay, bùn đỏ là rất đáng kể. Để thúc đẩy hướng đi này, một số giải pháp cần thực hiện: (1) Đầu tư R&D bài bản: nghiên cứu đặc tính từng loại chất thải, phát triển quy trình thu hồi REE phù hợp (ví dụ trích ly Sc từ bùn đỏ, trích Dy, Nd từ bã than thải...); (2) Xây dựng cơ chế khuyến khích: hỗ trợ doanh nghiệp thử nghiệm mô hình kinh tế tuần hoàn, ưu đãi thuế cho sản phẩm tái chế REE; (3) Hợp tác quốc tế: tận dụng kinh nghiệm và công nghệ từ các nước đã triển khai thành công (như Hoa Kỳ, Hàn Quốc...); (4) Đánh giá hiệu quả và tác động: tiến hành các nghiên cứu đánh giá vòng đời (LCA) và phân tích kinh tế (TEA) cho dự án thu hồi REE từ chất thải, đảm bảo mô hình đem lại hiệu quả tổng thể và giảm rủi ro môi trường; (5) Phát triển chuỗi giá trị nội địa: kết nối việc thu hồi REE với các cơ sở chế biến – tinh chế trong nước, nhằm tạo chuỗi sản xuất hoàn chỉnh từ nguồn tái chế đến sản phẩm ứng dụng cuối (nam châm, pin, vật liệu hợp kim...).



Hình 9. Pilot thu hồi các nguyên tố REE từ tro bay tại Kigam, Hàn Quốc



Hình 10: Pilot thu hồi các nguyên tố REE từ than thải của vùng Illinois Basin, bang Kentucky – Hoa Kỳ

Trên thế giới đã có một số dự án đi tiên phong: Viện KIGAM (Hàn Quốc) đã thực hiện các pilot xử lý tro bay để thu hồi REE; Bộ Năng lượng Hoa Kỳ (DOE) tài trợ dự án pilot thu hồi REE từ phế thải than ở bang Kentucky – bước đầu sản xuất được tinh quặng REE ~2% từ nguồn phế thải. Những bài học từ các dự án này cho thấy tính khả thi trong việc

Scanned with CamScanner

thu hồi REE từ chất thải, đồng thời nhấn mạnh tầm quan trọng của thiết kế modul linh hoạt (pilot dạng mô-đun di động của Mỹ có thể triển khai ngay tại bãi thải). Việt Nam với lượng tro xỉ nhiệt điện và bùn đỏ bauxite khổng lồ, hoàn toàn có tiềm năng triển khai mô hình tương tự. Việc kết hợp khai thác mỏ mới (như Đông Pao, Bến Đền) với thu hồi tài nguyên thứ sinh sẽ giúp đa dạng hóa nguồn cung đất hiếm, giảm áp lực khai thác thô và tiến tới xây dựng nền công nghiệp đất hiếm bền vững, khép kín.

6. Kết luận và kiến nghị

6.1. Kết luận

- Tiềm năng đất hiếm Việt Nam lớn nhưng chưa khai thác hiệu quả: Việt Nam sở hữu nguồn tài nguyên đất hiếm đáng kể, với các mỏ quặng lớn giàu LREE ở Lai Châu (Đông Pao, Nam Nậm Xe) và các tụ khoáng sa khoáng (monazite) ở ven biển, cùng tiềm năng HREE tại một số điểm quặng phong hóa ở Lào Cai (Bến Đền, Mường Hum, Yên Phú...). Tuy nhiên, đến nay hầu hết mới dừng ở mức điều tra, khai thác thử hoặc khai thác thô nhỏ lẻ, chưa hình thành chuỗi khai thác – chế biến sâu mang lại hiệu quả kinh tế cao.

- Cần lựa chọn công nghệ phù hợp cho từng loại mỏ đất hiếm: Các loại hình mỏ khác nhau đòi hỏi phương pháp khai thác – chế biến khác nhau. Mỏ quặng cứng (carbonatite, xâm nhập kiềm): áp dụng khai thác lộ thiên truyền thống kết hợp tuyển khoáng và cần chú ý xử lý an toàn phóng xạ. Mỏ sa khoáng (monazite, xenotime): khai thác bằng công nghệ tuyển trọng lực, tuyển từ (ướt/khô) để thu quặng tinh, đồng thời quản lý chất thải phóng xạ thận trọng. Đặc biệt, mỏ hấp phụ ion (phong hóa chứa HREE): nên áp dụng công nghệ điện động học (EKM) – do thân thiện môi trường, không phá hủy lớp đất, hiệu suất thu hồi cao – thay cho phương pháp ngâm chiết hóa chất truyền thống đã lỗi thời. Việc mạnh dạn ứng dụng EKM sẽ giúp Việt Nam khai thác được các mỏ HREE quý (như Bến Đền) mà không gây tác hại sinh thái.

- Đẩy mạnh mô hình kinh tế tuần hoàn trong ngành đất hiếm: Chất thải công nghiệp chứa REE (tro bay, bùn đỏ, quặng đuôi titan...) mở ra cơ hội thu hồi đất hiếm theo mô hình "khai khoáng đô thị". Hiện Việt Nam chưa có dự án nào thu hồi REE từ chất thải quy mô lớn, dù tiềm năng rất đáng kể. Việc triển khai mô hình này sẽ giúp giảm phụ thuộc vào khai thác mỏ mới, đồng thời xử lý được một lượng lớn chất thải rắn công nghiệp. Đây là hướng đi phù hợp với chiến lược phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn mà Việt Nam đang hướng tới.

6.2. Kiến nghị

- Đầu tư phát triển nguồn nhân lực và nghiên cứu công nghệ REE: Cần tập trung đào tạo chuyên gia và đầu tư nghiên cứu phát triển các công nghệ thăm dò, khai thác, chế biến đất hiếm hiện đại. Đặc biệt chú trọng công nghệ thủy luyện, phân tích – tách chiết tinh chế REE và công nghệ khai thác điện động (EKM) cho các mỏ hấp phụ ion. Tăng cường năng lực phân tích, thử nghiệm trong nước để làm chủ quy trình từ khai thác đến chế biến sâu REE.

- Thử nghiệm và chuyển giao công nghệ mới: Khuyến khích triển khai dự án thí điểm EKM tại một mỏ đất hiếm hấp phụ ion (như Bến Đền – Lào Cai) nhằm

Scanned with CamScanner

đánh giá hiệu quả thực tế và hoàn thiện công nghệ trong điều kiện Việt Nam. Song song đó, thúc đẩy hợp tác với các đối tác quốc tế có kinh nghiệm (Trung Quốc, Úc, Hoa Kỳ, Nhật Bản, Hàn Quốc…) để chuyển giao công nghệ tiên tiến về khai thác – chế biến REE. Nhà nước cần có cơ chế hỗ trợ (vốn, chuyên gia) cho các dự án thử nghiệm công nghệ mới, coi đây là khoản đầu tư chiến lược cho tương lai.

- Chính sách ưu đãi và hành lang pháp lý: Xây dựng các chính sách ưu đãi thuế, tín dụng và thủ tục cấp phép môi trường thông thoáng cho các dự án khai thác đất hiếm "xanh" và tái chế REE. Đặc biệt, mô hình thu hồi đất hiếm từ chất thải nên được hưởng ưu đãi và hỗ trợ vì vừa giải quyết ô nhiễm vừa thu hồi tài nguyên quý. Đồng thời, nhanh chóng hoàn thiện khung pháp lý về quản lý khai thác đất hiếm, trong đó lồng ghép các yêu cầu về đánh giá vòng đời (LCA) và phân tích hiệu quả kinh tế (TEA) cho mọi dự án, nhằm lựa chọn được mô hình công nghệ tối ưu, đảm bảo hiệu quả đầu tư và giảm thiểu rủi ro môi trường.

- Phát triển chuỗi giá trị đất hiếm nội địa: Khuyến khích doanh nghiệp trong nước tham gia vào toàn bộ chuỗi giá trị REE – từ khai thác, thu hồi đến chế biến sâu và sản xuất vật liệu ứng dụng (oxit, hợp kim đất hiếm). Mục tiêu hướng tới là Việt Nam có thể ứng dụng đất hiếm trong sản xuất sản phẩm công nghệ cao nội địa (nam châm vĩnh cửu, pin, laser, cảm biến...), thay vì chỉ xuất khẩu thô. Việc này đòi hỏi các chính sách đồng bộ về thu hút đầu tư, phát triển thị trường và bảo hộ sản phẩm trong nước. Nếu làm tốt, công nghệ khai thác hiệu quả (như EKM) kết hợp với chiến lược phát triển chuỗi giá trị sẽ tạo bước ngoặt chuyển đổi ngành khai khoáng Việt Nam theo hướng "mỏ xanh" – hiện đại, thân thiện môi trường và phát triển bền vững ❑

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2023). Quy hoạch thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng khoáng sản 2025–2035. Báo cáo Bộ TN&MT, Hà Nội.

2. Đặng Trung Thuận, Nguyễn Xuân Trường & Trần Thanh Hải (2013). Khảo sát tiềm năng đất hiếm tại các khu vực Tây Bắc và Bắc Trung Bộ, Việt Nam. Tạp chí Địa chất, 4(68), 35-48.

3. Lê Đức An et al. (2020). Hiện trạng phân tích và đánh giá đất hiếm tại Việt Nam. Tạp chí Địa chất, (357), 26-35.

4. Lê Đức An, Trần Quốc Duy & Nguyễn Văn Cường (2020). Phân tích và đánh giá tiềm năng khoáng sản đất hiếm tại Việt Nam. Tạp chí KS & Địa chất, 1(23), 72-81.

5. Nguyễn Văn Bình et al. (2022). Xây dựng bản đồ tiềm năng đất hiếm Việt Nam tích hợp GIS. Tuyển tập Hội nghị Địa chất toàn quốc 2022, 105-112.

6. Nguyễn Văn Cường, Trần Thanh Hải & Nguyễn Văn Bình (1999). Kết quả thăm dò đất hiếm tại mỏ Nam Nậm Xe và Đông Pao. Kỷ yếu Hội nghị KH Địa chất VN, Hà Nội.

7. Nguyễn Xuân Trường (2021). Đánh giá khoáng sản đất hiếm ở Việt Nam và định hướng phát triển ngành. Tạp chí KH&CN Mỏ, 16(12), 120-135.

Scanned with CamScanner

8. Trần Thanh Hải (2017). Thách thức và cơ hội phát triển ngành đất hiếm tại Việt Nam. Tạp chí Năng lượng & Tài nguyên, 9(3), 49-60.

9. Trần Thanh Hải (2017). Thực trạng và giải pháp đầu tư khai thác đất hiếm ở Việt Nam. Hội thảo Chính sách Khoáng sản, Hà Nội.

10. Adamas Intelligence (2022). Rare Earth Elements Market Outlook to 2040. Adamas Report.

11. British Geological Survey – BGS (2022). Rare Earth Elements Profile. BGS Publication.

12. JOGMEC (2022). Japan–Vietnam Cooperation on Rare Earth Development. Technical Report, Tokyo.

13. OECD (2021). Raw Materials for the Green Transition. OECD Publishing.

14. Roskill (2022). Rare Earths: Market Outlook and Trends. Roskill (Wood Mackenzie) Report.

15. USGS (2023). Mineral Commodity Summary – Rare Earths. US Geological Survey, January 2023.

16. World Bank (2020). Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. World Bank Report.

17. Xu, J., Liang, X., Wang, G., Zhu, J., & He, H. (2025). Breakthrough in electrokinetic mining: 5,000 tons of ion-adsorption rare-earth ore successfully mined. The Innovation, 6(5).

18. Gaofeng Wang et al. (2025). Industrial-scale sustainable rare earth mining enabled by electrokinetics. Nature Sustainability, 8(2): 182–189. DOI: 10.1038/s41893-024-01501-9.

19. Gaofeng Wang et al. (2023). A green and efficient technology to recover rare earth elements from weathering crusts. Nature Sustainability, 6(1): 81–92. DOI: 10.1038/s41893-022-00989-3.

20. Mingbing Hu et al. (2025). Kinetics of Ion Exchange in Magnesium Sulfate Leaching of Rare Earths and Aluminum from Ionic Rare Earth Ores. Minerals, 15(3): 290. DOI: 10.3390/min15030290.

21. Qing-Hua Hu et al. (2024). Rationally designed nanotrap structures for efficient separation of rare earth elements over a single step. Nature Communications, 15: 1558. DOI: 10.1038/s41467-024-45810-1.

Scanned with CamScanner

RARE EARTH MINING TECHNOLOGY - GLOBAL TRENDS AND SUITABLE MODELS FOR VIETNAM

Tran Quang Hieu[1], Nguyen Van Duc[2]

[1] *Hanoi University of Mining and Geology*

[2] *Institute of Geological Sciences and Mineral Resources, Hanoi*

Abstract:

Vietnam is recognized as a country with significant rare earth element (REE) potential, ranking approximately sixth worldwide, with diverse deposit types, particularly ion-adsorption clays distributed in mountainous regions such as Lai Châu, Lào Cai, and Hòa Bình. However, domestic exploitation has remained limited, mainly due to technological challenges in mining and processing as well as environmental concerns associated with conventional methods. This paper provides an updated overview of global trends and introduces advanced rare earth mining technologies, with a particular focus on electrokinetic mining (EKM). EKM demonstrates high recovery efficiency while minimizing chemical usage and environmental impacts, making it a sustainable alternative for ion-adsorption deposits. The adoption of EKM is expected to enable Vietnam to master modern mining technologies, secure critical materials for high-tech industries, and contribute to the sustainable development of the national mining sector.

Keywords: *Rare earth; ion adsorption mining; electrokinetic mining; EKM technology; sustainable mining*

Scanned with CamScanner

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT MỎ TOÀN QUỐC LẦN THỨ XXIX

ĐỘT PHÁ PHÁT TRIỂN ỨNG DỤNG

KHOA HỌC, CÔNG NGHỆ, ĐỔI MỚI SÁNG TẠO VÀ CHUYỂN ĐỔI SỐ TRONG NGÀNH CÔNG NGHIỆP MỎ VÀ NĂNG LƯỢNG VIỆT NAM

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN

Giám đốc, Tổng Biên tập

NGÔ ĐỨC VINH

Biên tập: LÊ ĐÌNH CƯỜNG

Chế bản: NGÔ MINH ĐỨC

Thiết kế bìa: NGÔ MINH ĐỨC

Soát bông: KIỀU KIM TRÚC

NGUYỄN LAN ANH

ĐỖ MAI HƯƠNG

Scanned with CamScanner

In 250 cuốn, khổ 19x27cm tại Công ty Cổ phần In truyền thông Việt Nam, địa chỉ: Số 843 đường Hồng Hà, phường Hồng Hà, TP. Hà Nội. Số đăng ký KHXB: 3311-2025/CXBIPH/04-392/XD ngày 26 tháng 8 năm 2025. QĐXB số 118-2025/QĐ-XBXD ngày 26/8/2025. Mã số ISBN: 978-604-82-8623-1. In xong và nộp lưu chiểu Quý 3/2025.

Scanned with CamScanner