

PHÁT TRIỂN NGÀNH CÔNG NGHIỆP ĐẤT HIẾM TẠI VIỆT NAM: HIỆN TRẠNG, RÀO CẢN CÔNG NGHỆ VÀ GIẢI PHÁP CHIẾN LƯỢC

Nguyễn Thu Thùy^{1*}, Nguyễn Văn Trọng¹

¹Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: thuthuyqn88@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày tổng quan hiện trạng khai thác, chế biến và ứng dụng đất hiếm tại Việt Nam, đồng thời phân tích các rào cản kỹ thuật, công nghệ và chính sách trong phát triển ngành công nghiệp đất hiếm. Mục tiêu nghiên cứu nhằm xác định các thách thức chính đang cản trở sự phát triển chuỗi giá trị đất hiếm tại Việt Nam, đối chiếu với kinh nghiệm quốc tế, từ đó đề xuất các giải pháp phù hợp với điều kiện thực tiễn. Phương pháp nghiên cứu dựa trên tổng hợp tài liệu, phân tích so sánh, kết hợp đánh giá định tính các yếu tố kỹ thuật – công nghệ hiện nay. Kết quả cho thấy, Việt Nam có tiềm năng tài nguyên lớn nhưng còn thiếu công nghệ phân tách hiện đại, chưa hình thành chuỗi giá trị khép kín và thiếu chính sách đồng bộ hỗ trợ phát triển. Bài báo đề xuất ba nhóm giải pháp gồm: hoàn thiện công nghệ chế biến; xây dựng thể chế và chính sách phát triển; tổ chức lại chuỗi cung ứng đất hiếm theo hướng tích hợp và bền vững.

Từ khóa: Đất hiếm, chế biến sâu, rào cản công nghệ, chính sách phát triển, chuỗi giá trị.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đất hiếm (rare earth elements – REEs) hiện đang giữ vai trò then chốt trong phát triển công nghiệp công nghệ cao, năng lượng tái tạo và quốc phòng, trở thành vật liệu chiến lược toàn cầu. Trong bối cảnh chuỗi cung ứng đất hiếm đang bị chi phối bởi các quốc gia như Trung Quốc, Mỹ và Úc, Việt Nam – với trữ lượng đất hiếm đáng kể – được kỳ vọng sẽ góp phần quan trọng vào việc đa dạng hóa nguồn cung trên thị trường thế giới. Tuy nhiên, các đặc điểm khoáng vật phức tạp cùng trình độ công nghệ khai thác – chế biến hiện nay vẫn là những thách thức lớn đối với việc phát triển hiệu quả nguồn tài nguyên này.

Từ cuối thế kỷ XIX, đất hiếm đã được ứng dụng trong thực tiễn và ngày nay trở thành vật liệu thiết yếu cho nhiều lĩnh vực công nghiệp và khoa học kỹ thuật như: điện – điện tử, năng lượng hạt nhân, quang học, quang hóa, hàng không vũ trụ, vật liệu siêu dẫn, siêu từ tính, luyện kim, sản xuất thủy tinh, gốm sứ kỹ thuật cao, nông hóa, y – dược học, và phân tích vi lượng. Thị trường đất hiếm trong nhiều năm qua có nhiều biến động mạnh, tác động trực tiếp đến

các hoạt động khai thác, chế biến và ứng dụng trong nước.

Theo số liệu của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS), tổng trữ lượng đất hiếm toàn cầu (tính theo tổng oxit đất hiếm – REO) ước đạt khoảng 90 triệu tấn, trong đó Trung Quốc chiếm 44 triệu tấn, Brazil 21 triệu tấn, Ấn Độ 6,9 triệu tấn, Úc 5,7 triệu tấn, Nga 3,8 triệu tấn, Việt Nam 3,5 triệu tấn (một phần sáu so với con số 22 triệu tấn được báo cáo vào năm 2024). USGS cũng lưu ý rằng trữ lượng của Nga, Nam Phi, Mỹ và Việt Nam đã được điều chỉnh theo các báo cáo của chính phủ và doanh nghiệp liên quan [1].

Tại Việt Nam, tài nguyên đất hiếm được phân bố phong phú, nhu cầu sử dụng tinh quặng REO cho các hoạt động chế biến ngày càng tăng. Trong nhiều năm qua, Việt Nam đã thể hiện rõ quyết tâm phát triển ngành công nghiệp khai thác và chế biến đất hiếm, nhằm khai thác hiệu quả tiềm năng, chủ động nguồn nguyên liệu trong nước, hướng tới mục tiêu trở thành một trong những quốc gia có năng lực sản xuất đất hiếm hàng đầu thế giới. Tuy nhiên, đặc điểm khoáng vật của các mỏ đất hiếm tại Việt Nam rất khác nhau, đồng thời cũng khác

biệt so với quặng đất hiếm trên thế giới. Sự khác biệt này ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả tuyển tách đất hiếm khỏi các khoáng vật cộng sinh trong từng loại quặng.

Nhằm cung cấp cái nhìn toàn diện, bài báo này sẽ tập trung phân tích thành phần vật chất đặc trưng của một số mỏ đất hiếm tại Việt Nam, đồng thời đánh giá thực trạng khai thác, chế biến và sử dụng đất hiếm trong nước hiện nay.

2. ĐẶC ĐIỂM THÀNH PHẦN VẬT CHẤT ĐẤT HIẾM VIỆT NAM

Theo số liệu Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS, 2025), Việt Nam có khoảng 3,5 triệu tấn oxit đất hiếm (REO), xếp thứ sáu toàn cầu sau Trung Quốc, Brazil, Ấn Độ, Úc và Nga. Nguồn tài nguyên này phân bố chủ yếu tại các mỏ đất hiếm gốc như Bắc Nậm Xe, Đông Pao, Nam Nậm Xe và một số mỏ sa khoáng ven biển có chứa khoáng vật monazit. Đặc điểm chung của các mỏ đất hiếm ở Việt Nam là thành phần khoáng vật phức tạp, hàm lượng thấp, kích thước hạt mịn, tỷ lệ khoáng vật đất hiếm cộng sinh cao và mức độ phong hóa khác nhau, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng tuyển tách và làm giàu.

Trữ lượng đất hiếm của Việt Nam chủ yếu tồn tại dưới dạng các mỏ gốc và phong hóa (chiếm tới 99% tổng trữ lượng). Hiện nay đã xác định được 5 mỏ quặng gốc và nhiều mỏ sa khoáng (cả lục địa và ven biển) có chứa đất hiếm, phần lớn thuộc nhóm đất hiếm nhẹ (LREE). Theo thống kê, tổng tài nguyên đất hiếm Việt Nam đạt khoảng 14.926.346 tấn TREO, trong đó trữ lượng và tài nguyên đã đánh giá đạt 4.129.508 tấn TREO. Thông tin chi tiết về các mỏ đất hiếm được tổng hợp trong Bảng 1.

Phân tích bảng số liệu cho thấy phần lớn trữ lượng đất hiếm Việt Nam là nhóm nhẹ, chỉ một số khoáng sàng như Yên Phú và Mường Hum có chứa đất hiếm nhóm nặng (HREE). Ngoài đất hiếm, một số mỏ còn chứa các khoáng vật cộng sinh có giá trị kinh tế như barit và fluorit, với hàm lượng cao tại các mỏ Đông Pao, Nam Nậm Xe và Bắc Nậm Xe. Các mỏ sa khoáng ven biển chứa đất hiếm dưới dạng khoáng vật monazit, có đặc điểm tương tự các mỏ sa khoáng titan trên thế giới. Ngược lại, các mỏ quặng gốc ở Việt Nam có thành phần vật chất và tính chất quặng rất khác biệt so với các mỏ đất hiếm đã được phát hiện trên thế giới, thậm chí khác nhau rõ rệt giữa các mỏ trong nước.

Trong số 5 mỏ quặng gốc lớn, chỉ có mỏ Nam Nậm Xe còn giữ dạng đá cứng nguyên sinh, bốn mỏ còn lại đã bị phong hóa ở các mức độ khác nhau [2]. Các đặc điểm thành phần vật chất của 5 mỏ quặng gốc chính như sau [2–5]:

* Đặc điểm chung:

- Thành phần vật chất phức tạp;
- Kích thước hạt xâm nhiễm mịn đến rất mịn;
- Hàm lượng khoáng vật cộng sinh có ích tương đối cao.

* Đặc điểm riêng:

- Thành phần khoáng vật đất hiếm chủ yếu:
 - + Bắc Nậm Xe: parizit, bastnezit
 - + Nam Nậm Xe: bastnezit, parizit, synkit
 - + Đông Pao: bastnezit, lantanit, xerianit, synkit
 - + Yên Phú: monazit, xenotim, y-cherchit, fergruxonit, samarskit, cherchit, rabdophanit
- Khoáng vật cộng sinh đi kèm.

Bảng 1. Tổng hợp trữ lượng tài nguyên đất hiếm Việt Nam theo mỏ [6-8]

TT	Tên mỏ, điểm quặng	Thành phần khoáng vật	Hàm lượng TREO (%)	Trữ lượng, tài nguyên (tấn)	
				121+122	333+334a
1	Mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe	Bastnezit, parazit, lantanit, orthit, cordilit, fluocerit, sinkirit, mariniakit, monazit, xenotim, uranokiecxit.	+Quặng phong hóa: 2,0 - 16,8% +Quặng gốc: 0,6 - 31,35%	1.744.662	5.962.799
2	Mỏ đất hiếm Đông Pao	Bastnezit, parazit, lantanit, orthit, barit, fluorit.	2,54 - 6,75%	2.158.380	2.552.852
3	Mỏ đất hiếm Nam Nậm Xe	Parazit, bastnezit, lantanit, flogopit.	0,5 - 36,0 %	199.168	3.890.891
4	Mỏ đất hiếm Mường Hum	Monazit, bastnezit, samarskit, rabdophanit, cordilit, exinit, thorit, zircon.	1,0 - 3,18%	-	129.207
5	Mỏ đất hiếm Yên Phú	Fergruxonit, xenotim, monazit, samarskit, orthit, treralit, cherchit, rabdophanit, tocbeconit.	1,01 – 1,21%	27.298	4.082
6	Mỏ monazit Pom Lâu	Monazit, xenotim, orthit	0,15 - 4,8 kg/m ³	-	1.315
7	Mỏ monazit Châu Bình	Monazit, xenotim, orthit	0,15 - 4,8 kg/m ³	-	3.366
8	Mỏ monazit Bản Gió	Monazit, xenotim, orthit	0,15 - 4,8 kg/m ³	-	2.749
9	Mỏ monazit Cát Khánh, Đêzi	Monazit, xenotim	5,42 kg/m ³ monazit	-	193.680
10	Mỏ monazit Mỹ Thọ	Monazit, xenotim	1,41 kg/m ³ monazit	-	50.044
11	Mỏ monazit Kẽ Sung	Monazit, xenotim	2,97 kg/m ³ monazit	-	18.343
12	Mỏ monazit Cẩm Hòa	Monazit, xenotim	-	-	12.619
13	Mỏ monazit Quảng Ngạn	Monazit, xenotim	2,21 kg/m ³ monazit	-	8.256
14	Mỏ monazit Cửa Đại	Monazit, xenotim	1,33 kg/m ³ monazit	-	4.754
15	Mỏ monazit Hòn Gốm	Monazit, xenotim	0,62 kg/m ³ monazit	-	3.885

16	Mỏ monazit Vĩnh Mỹ	Monazit, xenotim	1,00 kg/m ³ monazit	-	3.246
17	Mỏ monazit Kỳ Ninh	Monazit, xenotim	0,73 kg/m ³ monazit	-	2.866
18	Mỏ monazit Tuy Phong	Monazit, xenotim	1,01 kg/m ³ monazit	-	1.594
19	Mỏ monazit Xuân Thịnh	Monazit, xenotim	1,30 kg/m ³ monazit	-	1.478
20	Đất hiếm trong mỏ Đồng Sin Quyền	Orthit, alanit	0,65	-	333.000
	Tổng			4.129.508	*14.926.346

(*) Theo nguồn Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ: 3.500.000 tấn (tháng 3/2025)

+ Bắc Nậm Xe: cacbonat (cocclidit, ankilit, berbankit), photphat (urranpiroclo)

+ Nam Nậm Xe: canxit, siderit, barit, baritoxelestin

+ Đông Pao: barit, fluorit, hydroxit sắt và mangan

+ Yên Phú: manhetit, thạch anh, limonit, sét

- Kích thước hạt khoáng vật đất hiếm:

+ Bắc Nậm Xe: cực mịn (0,005–0,05 mm)

+ Nam Nậm Xe: rất mịn (0,01–0,1 mm)

+ Đông Pao: rất mịn (0,001–0,1 mm)

+ Yên Phú: mịn đến rất mịn (0,02–1,2 mm), phổ biến 0,1–0,3 mm

- Mức độ phong hóa và độ cứng quặng:

+ Nam Nậm Xe: đá cứng, chưa phong hóa

+ Bắc Nậm Xe, Yên Phú: mềm, dễ vỡ, phong hóa và bán phong hóa; tỷ lệ slime 13,17–19,03%

+ Đông Pao: phong hóa mạnh, quặng rất mềm; tỷ lệ slime đến 43,90%.

Sự khác biệt rõ rệt về thành phần vật chất, cấu trúc khoáng vật và mức độ phong hóa giữa các mỏ dẫn đến tính khả tuyển và lựa chọn công nghệ tuyển – chế biến cho từng mỏ đất hiếm ở Việt Nam cũng rất khác nhau.

3. THỰC TRẠNG KHAI THÁC, CHẾ BIẾN VÀ SỬ DỤNG ĐẤT HIẾM VIỆT NAM

3.1. Quá trình nghiên cứu phát triển đất hiếm

Việt Nam đã bắt đầu các hoạt động nghiên cứu liên quan đến đất hiếm từ trước năm 1970. Công tác điều tra, thăm dò tài nguyên đất hiếm do Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm thuộc Tổng cục Địa chất thực hiện. Các nghiên cứu tuyển – chế biến, phân tách và ứng dụng đất hiếm sau đó được triển khai trong khuôn khổ nhiều đề tài thuộc các chương trình khoa học – công nghệ trọng điểm quốc gia, thu hút trên 50 tiến sĩ và hàng trăm cán bộ nghiên cứu trình độ đại học trở lên tham gia.

Từ những năm 1980, đã có nhiều công trình nghiên cứu ở quy mô phòng thí nghiệm và bán công nghiệp về tuyển và chế biến đất hiếm từ các mỏ Nam Nậm Xe, Đông Pao, Yên Phú và các sa khoáng ven biển. Tuy nhiên, cho đến nay, Việt Nam vẫn chưa xây dựng được cơ sở chế biến đất hiếm quy mô công nghiệp thực thụ. Một số công nghệ tuyển nổi tại các mỏ trên đã đạt tinh quặng có hàm lượng >30% TR₂O₃ với hiệu suất thực thu trên 80%, song vẫn gặp nhiều khó khăn do cấu trúc quặng phức tạp và mức độ phong hóa cao.

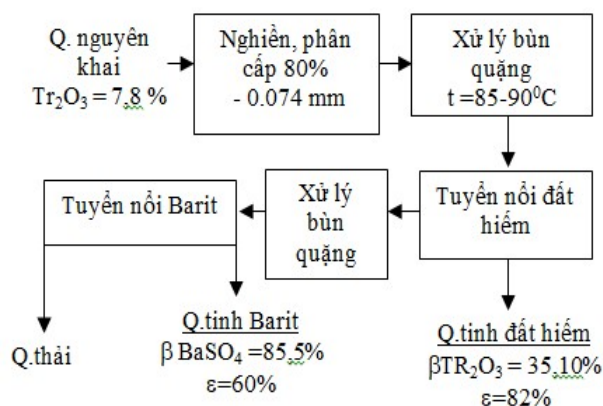
Một số kết quả nổi bật đã đạt được bao gồm:

- Thu hồi monazit từ sa khoáng biển với hàm lượng tinh quặng đạt 54–58% TREO;

- Phân chia kim loại đất hiếm riêng rẽ đã tách được CeO₂, La₂O₃, Pr₆O₁₁ và Nd₂O₃ đạt độ tinh khiết gần 99,9%;

- Trong lĩnh vực luyện kim, đã chế tạo được hợp kim trung gian Fe-Si-RE chứa 18–22% TREO, cùng một số nguyên tố đất hiếm đơn lẻ như Ce, La và Nd.

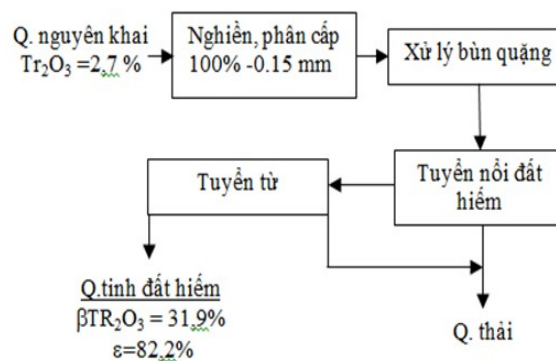
Tùy theo đặc điểm thành phần vật chất của từng mỏ, các sơ đồ công nghệ tuyển được xây dựng riêng biệt. Một số sơ đồ tuyển tiêu biểu như sau:



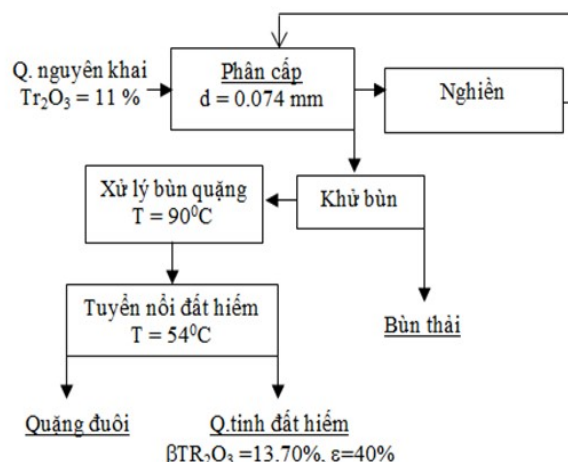
Hình 1. Sơ đồ tuyển quặng đất hiếm Nam Nậm Xe [2]

Với đặc điểm khoáng vật đất hiếm xâm nhiễm mịn – rất mịn, quặng Nam Nậm Xe cần được nghiền đến độ mịn 80% cấp -0,074 mm để giải phóng khoáng vật. Quặng tinh tuyển nổi đạt hàm lượng $TR_2O_3 > 30\%$, với hiệu suất thực thu đạt 82%. Quặng tinh barit đi kèm đạt hàm lượng $BaSO_4 > 85\%$, thực thu 60%. Do quặng chứa canxit và siderit có cấu trúc gắn với đất hiếm, cần áp dụng biện pháp tiền xử lý bùn quặng ở nhiệt độ $85-90^\circ C$ để tăng hiệu quả tuyển, xem Hình 1.

Các khoáng vật đất hiếm ở mỏ Yên Phú thuộc dạng silicat, cộng sinh chủ yếu với oxit sắt, có sự khác biệt rõ rệt về cấu trúc mạng và tính chất bề mặt, thuận lợi cho tuyển nổi chọn lọc mà không cần tiền xử lý ở nhiệt độ cao. Mặc dù hàm lượng RE trong quặng nguyên khai thấp, quặng tinh vẫn đạt $TR_2O_3 > 30\%$, hiệu suất tuyển nổi đạt 82,2%. Tuy nhiên, tuyển từ và tuyển trọng lực không hiệu quả do ảnh hưởng của phong hóa làm thay đổi đặc tính từ tính và tỷ trọng của khoáng vật cộng sinh, xem Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ tuyển quặng đất hiếm Yên Phú [5]

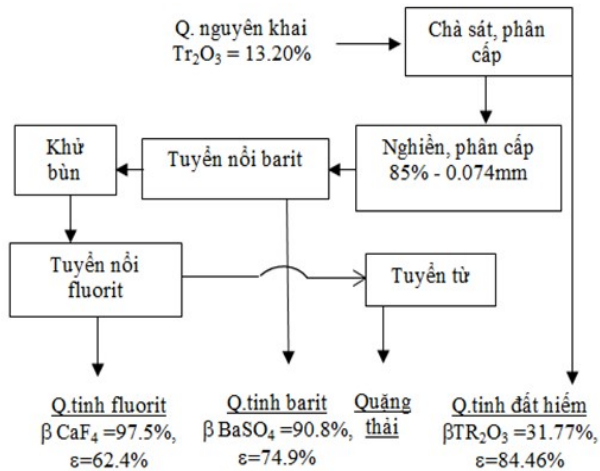


Hình 3. Sơ đồ tuyển quặng đất hiếm phong hóa Bắc Nậm Xe [3]

Các khoáng vật đất hiếm mỏ Bắc Nậm Xe xâm nhiễm cực mịn, quặng phong hóa và bị phá hủy mạnh, ở dạng bột hoặc kết dính với nhau bằng lớp keo hydroxit sắt thành các cục nhỏ, mềm rất dễ bị slam hóa trong quá trình gia công. Các thành phần tạo quặng có độ bền cơ học và hóa học gần như nhau, chúng bị ngấm hydroxit sắt làm biến đổi tính chất lý hóa bề mặt, gây cản trở rất lớn đến quá trình tuyển. Vì vậy, hiệu quả tuyển bằng các phương pháp tuyển thông thường (tuyển trọng lực, tuyển từ, tuyển nổi) rất thấp, hệ số làm giàu chỉ khoảng 1,1 lần, xem Hình 3.

Quặng đất hiếm Đông Pao bị phong hóa mạnh, các khoáng vật đất hiếm giải phóng phụ thuộc vào độ hạt, liên kết cơ học bởi keo hydroxyt sắt và mangan nên dễ bị phá vỡ. Phương pháp nghiền chà sát kết hợp phân cấp xyclon cho tinh quặng đạt $TR_2O_3 > 30\%$ với hiệu suất thu hồi $> 80\%$. Tuy nhiên, phần đất hiếm còn lại trong quặng đuôi tồn tại ở dạng vi tinh

thể, ngấm hydroxyt, gây khó khăn lớn cho tuyển nổi do cấu trúc không đồng nhất và độ xốp cao, xem Hình 4.



Hình 4. Sơ đồ tuyển quặng đất hiếm Đông Pao [3]

Đến nay, Việt Nam đã có 12 dự án nghiên cứu – đầu tư phát triển đất hiếm được cấp phép, trong đó có 4 dự án khai thác mỏ (chủ yếu sử dụng vốn trong nước, 1 dự án đã đi vào hoạt động). Các dự án chế biến sâu (tinh luyện, luyện kim, chiết tách) chủ yếu do doanh nghiệp nước ngoài đầu tư, sử dụng nguyên liệu nhập khẩu hoặc phế liệu điện tử tái chế, sản phẩm sau đó được xuất khẩu hoàn toàn. Trong các năm 2023 và 2024, Việt Nam đã sản xuất và xuất khẩu khoảng 300 tấn đất hiếm mỗi năm [1], [9].

Việt Nam sở hữu tiềm năng đất hiếm lớn, tập trung ở một số khu vực như Tây Bắc và Tây Nguyên, tuy nhiên đặc điểm địa chất phức tạp và trình độ khai thác còn hạn chế đã khiến tài nguyên này chưa được tận dụng hiệu quả. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết trong việc nâng cao năng lực nghiên cứu, đánh giá, và xây dựng chiến lược phát triển khai thác phù hợp.

3.2. Tình hình sử dụng đất hiếm ở Việt Nam

Tại Việt Nam, các nghiên cứu ứng dụng đất hiếm đã được triển khai trong nhiều lĩnh vực như nông nghiệp, chế tạo nam châm vĩnh cửu, biến tính thép, sản xuất hợp kim cầu hóa gang, vật liệu thủy tinh, bột mài và chất xúc tác xử lý khí thải [8], [10–12]. Tuy nhiên, phần lớn các kết quả vẫn chỉ dừng lại ở quy mô phòng thí nghiệm hoặc bán công nghiệp. Một số sản phẩm như

hợp kim trung gian, thủy tinh đặc biệt, phân bón vi lượng và thiết bị tuyển từ dùng nam châm Nd-Fe-B đã được ứng dụng hạn chế, trong khi các sản phẩm nam châm chất lượng cao vẫn phụ thuộc vào nhập khẩu từ Trung Quốc [10].

3.2.1. Ứng dụng trong nông nghiệp và chăn nuôi

Nhiều nghiên cứu đã ứng dụng vi lượng đất hiếm trong phân bón hoặc chế phẩm kích thích sinh trưởng cho cây trồng như lúa, đậu, chè, vải, cà chua... tại các viện nghiên cứu và doanh nghiệp như Viện Khoa học Vật liệu, Viện Công nghệ Xạ hiếm, Trường Đại học Vinh, Cần Thơ, Công ty CP Nông nghiệp Thành Đô,... [1–3], [13], [14].

Các kết quả thử nghiệm cho thấy: với chi phí bổ sung thấp (400.000–1.000.000 đồng/ha/năm), năng suất có thể tăng 10–20%, chất lượng nông sản cải thiện đáng kể. Một số minh chứng nổi bật:

Chế phẩm ĐH93 giúp tăng năng suất lúa 7–12%, đậu tương 7–19% [2], [3].

Phân bón từ đất hiếm giúp tăng năng suất chè tới 24%, tăng caffeine, tanin và chất kháng bệnh [2], [11].

Lantan xitrat kích thích sinh trưởng cà chua, tăng năng suất 15–20% [14], [15].

Trong chăn nuôi, đất hiếm được sử dụng làm phụ gia thức ăn cho gia súc, gia cầm và thủy sản, góp phần tăng trọng 10–20%, giảm chi phí thức ăn và nâng cao khả năng kháng bệnh [2], [10], [12], [16]. Một số ứng dụng thực tế:

Nuôi tôm thẻ: giảm chi phí $\approx$ 10%, tăng năng suất, cải thiện môi trường nước [2], [16].

Nuôi trai lấy ngọc: tăng tỷ lệ sống, màu ngọc đẹp hơn [16], [17].

Nuôi cá: nước ao sạch hơn, cá khỏe và ngon hơn [2], [10].

Nuôi gà: tăng trọng trên 10%, giảm tiêu hao thức ăn [3], [10].

Cơ chế tác động của đất hiếm là tăng cường enzyme, trao đổi chất và hấp thu dinh dưỡng ở mức tế bào, từ đó thúc đẩy sinh trưởng, năng suất và chất lượng [7], [10], [17].

3.2.2. Ứng dụng trong công nghiệp

Việc ứng dụng đất hiếm trong công nghiệp hiện còn nhiều hạn chế. Một số nghiên cứu tại Viện Mỏ – Luyện kim và Viện Công nghệ Xa hiếm đã chế tạo ferro đất hiếm cho luyện kim, bột mài kính, chất khử bọt,... với chất lượng tương đương sản phẩm nhập khẩu (REO > 85%, $D_{50} \approx 1,5 \mu\text{m}$) [2], [4], [10].

Tuy nhiên, chưa thể triển khai sản xuất công nghiệp do thiếu nguyên liệu ổn định, công nghệ đạt chuẩn và cơ sở hạ tầng kỹ thuật đồng bộ [5], [7]. Nguyên nhân chủ yếu đến từ đặc điểm quặng đất hiếm trong nước (monazit, bastnaesit, phong hóa mạnh, nhiều tạp chất như Fe, Th, U) khiến quá trình tinh luyện và chế biến phức tạp [3], [13], [18].

Phần lớn nguồn nguyên liệu trong nước chưa được khai thác hiệu quả, dẫn đến việc Việt Nam chưa tham gia sâu vào chuỗi giá trị toàn cầu về đất hiếm – vốn là trụ cột của các ngành công nghiệp công nghệ cao như điện tử, quốc phòng và xe điện [14], [19].

Nếu khắc phục được các rào cản về công nghệ, chính sách và đầu tư, đất hiếm Việt Nam hoàn toàn có thể được sử dụng rộng rãi trong sản xuất nam châm vĩnh cửu, hợp kim đặc biệt,

vật liệu phát quang và linh kiện điện tử – những sản phẩm chiến lược của cách mạng công nghiệp 4.0 [10], [14], [17].

Mặc dù đất hiếm đã bước đầu được ứng dụng trong một số lĩnh vực như nông nghiệp, công nghiệp luyện kim và xử lý môi trường, nhưng phần lớn vẫn dừng ở quy mô thử nghiệm. Sự thiếu vắng chuỗi cung ứng và công nghệ chế biến sâu là nguyên nhân chính khiến các ứng dụng chưa lan rộng, từ đó hạn chế giá trị gia tăng từ nguồn tài nguyên quý này.

4. Phân tích rào cản và đề xuất giải pháp phát triển ngành công nghiệp đất hiếm tại Việt Nam

4.1. So sánh với các quốc gia điển hình

Sự khác biệt lớn nhất giữa Việt Nam và các quốc gia hàng đầu là khả năng phân tách và tinh chế các nguyên tố đất hiếm. Trong khi Việt Nam mới chỉ dừng lại ở khâu tuyển thô, các nước phát triển đã làm chủ công nghệ chiết bằng dung môi, cho phép họ nắm giữ toàn bộ chuỗi giá trị và hưởng lợi từ các sản phẩm công nghệ cao. Đây chính là thách thức lớn nhất mà Việt Nam cần vượt qua để phát triển bền vững ngành công nghiệp đất hiếm. Cụ thể trình bày trong bảng 2.

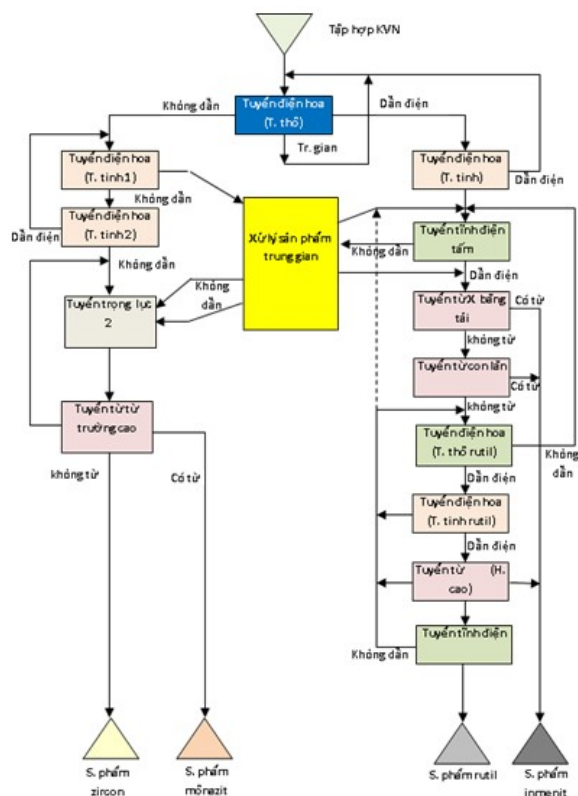
Bảng 2. So sánh công nghệ tuyển đất hiếm của Việt Nam với một số nước điển hình trên thế giới

Tiêu chí	Việt Nam	Các nước điển hình (Trung Quốc, Úc, Ấn Độ)
Công nghệ tuyển	Tuyển trọng lực, tuyển từ yếu, tuyển rửa.	Tuyển nổi, tuyển từ mạnh, tuyển trọng lực.
Công nghệ chế biến chính	Tuyển thô, sản phẩm là quặng tinh có hàm lượng REO cao hơn.	Chiết bằng dung môi, nung từ hóa, sản xuất hợp kim.
Sản phẩm đầu ra	Quặng tinh (concentrate) có hàm lượng REO thấp.	Oxit đất hiếm riêng lẻ, kim loại, hợp kim có độ tinh khiết cao.
Giá trị sản phẩm	Thấp, chỉ là nguyên liệu thô.	Rất cao, phục vụ ngành công nghệ cao.
Quy mô	Nhỏ, phân tán.	Công nghiệp, quy mô lớn.

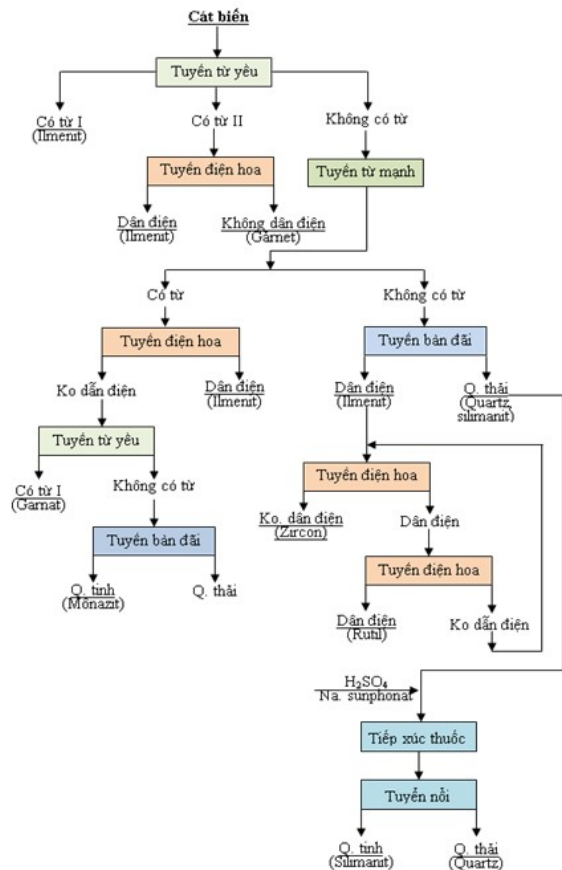
Một số sơ đồ công nghệ tuyển đất hiếm của thế giới được trình bày trong hình 5, hình 6 và hình 7.



Hình 5. Sơ đồ công nghệ tuyển quặng đất hiếm mỏ Bao Đầu, Trung Quốc [20]



Hình 6. Sơ đồ công nghệ tuyển tách monazit của Nhà máy Narngulu, Australia [20]



Hình 7. Sơ đồ công nghệ tuyển tách monazit tại một số nhà máy của Ấn Độ [20]

Trung Quốc hiện chiếm hơn 60% sản lượng đất hiếm toàn cầu và gần như kiểm soát toàn bộ chuỗi giá trị từ khai thác, chế biến đến chế tạo vật liệu công nghệ cao [1], [16], [21]. Nước này đã phát triển hoàn chỉnh hệ thống công nghệ chiết tách, tinh luyện REEs, đồng thời xây dựng các tổ hợp công nghiệp tích hợp quy mô lớn. Ngược lại, Úc lựa chọn chiến lược xuất khẩu tinh quặng và hợp tác quốc tế để phát triển công nghệ chế biến sâu [17]. Hoa Kỳ đẩy mạnh tái chế đất hiếm từ rác thải điện tử và áp dụng công nghệ trao đổi ion [20], trong khi Nhật Bản, Hàn Quốc và EU đầu tư vào các công nghệ tách hấp phụ, sử dụng vật liệu nano và xử lý chất thải phóng xạ bằng vật liệu đặc hiệu [22], [23].

Các quốc gia phát triển đã áp dụng nhiều chiến lược khác nhau trong phát triển ngành đất hiếm, tùy theo đặc điểm tài nguyên và trình độ công nghệ. Tuy nhiên, điểm chung là họ đều xác định đất hiếm là ngành công nghiệp chiến lược cần sự đầu tư đồng bộ từ khai thác đến chế tạo. Điều này gợi mở cho Việt Nam hướng đi phù

hợp, cần đánh giá kỹ rào cản nội tại để hoạch định chính sách và công nghệ sát thực tiễn.

4.2. Rào cản trong phát triển công nghiệp đất hiếm tại Việt Nam

4.2.1. Rào cản kỹ thuật và công nghệ

Các mỏ đất hiếm tại Việt Nam chủ yếu là đất hiếm nhẹ (LREE) và tồn tại dưới dạng monazit, bastnaesit hoặc hấp phụ trong đất phong hóa, có mức độ phong hóa mạnh, hàm lượng thấp, quặng mịn và chứa nhiều tạp chất như sét, barit, Fe, Th, U [3], [5], [18]. Việc tuyển nổi, tuyển từ và chiết dung môi các nguyên tố REEs là quá trình phức tạp, yêu cầu hệ thống công nghệ đa cấp, kiểm soát chặt các thông số như pH, nhiệt độ và sử dụng nhiều dung môi hữu cơ độc hại [10], [13]. Việt Nam hiện chưa làm chủ được công nghệ tinh luyện riêng rẽ từng nguyên tố REEs, dẫn đến sản phẩm chủ yếu là hỗn hợp oxit đất hiếm (REO), không phù hợp với yêu cầu chế tạo vật liệu công nghệ cao.

4.2.2. Rào cản môi trường và quản lý chất thải phóng xạ

Các mỏ như Bắc Nậm Xe, Yên Phú thường có chứa Thori và Urani ở mức có thể gây phóng xạ. Quá trình khai thác và chế biến nếu không kiểm soát tốt sẽ phát sinh nước thải, bùn thải và khí thải phóng xạ, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và sức khỏe cộng đồng. Theo IAEA [22], một số công nghệ xử lý được khuyến nghị gồm: keo tụ – kết tủa bằng vôi hoặc sulfide, hấp phụ trên zeolite biến tính, và đóng rắn bằng xi măng – bentonite. Việt Nam có thể tiếp cận dần qua các dự án hợp tác kỹ thuật hoặc thử nghiệm tại các trung tâm pilot.

4.2.3. Rào cản về hạ tầng và chuỗi cung ứng

Việt Nam hiện chưa có tổ hợp chế biến đất hiếm hoàn chỉnh từ khai thác đến phân tách oxit đơn chất. Phần lớn các nghiên cứu mới dừng ở quy mô phòng thí nghiệm hoặc bán công nghiệp [4], [14]. Chuỗi cung ứng đất hiếm trong nước còn rời rạc, thiếu liên kết giữa các khâu khai thác – chế biến – ứng dụng – tiêu thụ, chưa hình thành mô hình tổ hợp công nghiệp tích hợp như một số quốc gia đã triển khai [7], [24].

4.2.4. Rào cản chính sách và thể chế

Việt Nam hiện chưa có một chiến lược quốc gia riêng về phát triển đất hiếm. Các cơ chế ưu đãi thu hút đầu tư (thuế, đất đai, hỗ trợ công nghệ), chính sách liên kết công – tư và chương trình hợp tác song phương quốc tế với Nhật Bản, Hàn Quốc, EU vẫn còn thiếu [9], [19], [23], [25], [26].

4.3. Đề xuất giải pháp

4.3.1. Giải pháp công nghệ

- Phát triển công nghệ tuyển nổi bằng các thuốc tuyển đặc hiệu như hydroxamic acid cho bastnaesit, phosphoric acid ester cho monazit, và carboxylic acid cho các khoáng vật đất hiếm nhẹ khác.

- Áp dụng tuyển từ phân cấp với cường độ từ khác nhau để xử lý các khoáng vật chứa Fe và đất sét đi kèm.

- Nghiên cứu cải tiến kỹ thuật chiết dung môi sử dụng hệ dung môi phosphine oxide, amine bậc cao và chiết ngược, giúp nâng cao hiệu suất phân tách, tiết kiệm hóa chất và giảm phát thải độc hại.

- Triển khai công nghệ xử lý chất thải phóng xạ theo hướng dẫn của IAEA [22]: keo tụ kết tủa, hấp phụ bằng vật liệu đặc hiệu, đóng rắn chất thải.

- Xây dựng trung tâm thí nghiệm và pilot chế biến đất hiếm theo mô hình quốc tế để thử nghiệm và chuyển giao công nghệ quy mô công nghiệp.

4.3.2. Giải pháp chính sách

Ban hành “Chiến lược quốc gia về phát triển đất hiếm đến năm 2045”, bao gồm:

- Danh mục dự án ưu tiên phát triển công nghiệp đất hiếm;

- Cơ chế ưu đãi đầu tư (thuế thu nhập doanh nghiệp, thuế nhập khẩu thiết bị, hỗ trợ tín dụng...);

- Cơ chế liên kết ba bên: Viện nghiên cứu – Doanh nghiệp – Nhà nước;

- Các chương trình hợp tác quốc tế với Nhật Bản, Hàn Quốc, EU [23], [26].

Bên cạnh đó, để định hướng dài hạn, Việt Nam cần xây dựng lộ trình chiến lược phát triển

ngành đất hiếm đến năm 2045, với ba giai đoạn cụ thể như sau:

- Giai đoạn 1 (đến 2030): Hoàn thiện quy hoạch mỏ, nâng cấp công nghệ khai thác – tuyển quặng, ban hành chính sách hỗ trợ đầu tư và môi trường pháp lý minh bạch.

- Giai đoạn 2 (2031–2035): Phát triển công nghệ chế biến sâu, sản xuất oxit và hợp chất đất hiếm; thúc đẩy ứng dụng trong công nghiệp công nghệ cao và liên kết viện – trường – doanh nghiệp.

- Giai đoạn 3 (2036–2045): Hoàn thiện chuỗi giá trị nội địa, tham gia chuỗi cung ứng toàn cầu, xuất khẩu sản phẩm chế biến sâu và hình thành trung tâm nghiên cứu – chuyển giao công nghệ đất hiếm cấp quốc gia.

4.3.3. Giải pháp tổ chức chuỗi giá trị

Quy hoạch xây dựng tổ hợp công nghiệp đất hiếm tích hợp, bao gồm các khâu: khai thác – chế biến – sản xuất bán thành phẩm – chế tạo vật liệu ứng dụng cao như nam châm, hợp kim, linh kiện điện tử.

Phân tích kinh tế sơ bộ cho thấy: trong khi giá xuất khẩu quặng thô chỉ đạt 2.000–3.000 USD/tấn REO, thì sản phẩm oxit đơn chất có giá 10.000–50.000 USD/tấn tùy nguyên tố; vật liệu ứng dụng như nam châm NdFeB, hợp kim pin có thể đạt tới hàng trăm nghìn USD/tấn. Điều này cho thấy giá trị gia tăng từ chế biến sâu và sản xuất vật liệu là rất lớn [14], [21], [24].

Việc đầu tư vào chế biến sâu sẽ mang lại giá trị gia tăng đáng kể, đồng thời giúp nội địa hóa chuỗi cung ứng, giảm phụ thuộc vào nhập khẩu và nâng cao khả năng cạnh tranh công nghiệp của Việt Nam.

Hướng tới hình thành một ngành công nghiệp chiến lược, có tính tự chủ và khả năng tham gia sâu vào chuỗi giá trị toàn cầu.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

5.1. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích một cách có hệ thống và toàn diện hiện trạng khai thác, chế biến và ứng dụng đất hiếm tại Việt Nam, từ đó chỉ ra những rào cản lớn về công nghệ, môi trường, chính sách và thị trường. Bằng việc tham chiếu

kinh nghiệm quốc tế từ các quốc gia dẫn đầu như Trung Quốc, Australia, Mỹ và Nhật Bản, bài báo cung cấp góc nhìn so sánh có chiều sâu, giúp làm rõ khoảng cách phát triển giữa Việt Nam và thế giới trong chuỗi giá trị đất hiếm.

Đóng góp khoa học nổi bật của bài viết thể hiện qua ba nội dung chính:

- Xây dựng khung phân tích ba trụ cột phát triển ngành đất hiếm gồm: (i) năng lực công nghệ – kỹ thuật; (ii) chính sách và cơ chế quản lý; (iii) tích hợp chuỗi giá trị nội địa hóa. Khung này có thể làm cơ sở tham khảo cho hoạch định chính sách trong bối cảnh Việt Nam đang định vị lại vai trò chiến lược của đất hiếm trong phát triển công nghiệp quốc gia.

- Đề xuất mô hình phát triển theo chuỗi giá trị từ khai thác – tuyển – làm giàu – chế biến sâu – sản phẩm ứng dụng, thay vì chỉ tập trung vào khai thác và xuất khẩu thô như hiện nay. Mô hình này đồng thời tính đến yếu tố bảo vệ môi trường và cân bằng lợi ích giữa các chủ thể.

- Xác lập lộ trình chiến lược phát triển ngành đất hiếm đến năm 2045, gồm ba giai đoạn định hướng theo mục tiêu cụ thể: (i) từ nay đến 2030 – tập trung nâng cấp công nghệ khai thác và tuyển quặng; (ii) giai đoạn 2031–2035 – phát triển công nghiệp chế biến sâu và vật liệu chức năng; (iii) giai đoạn sau 2035 – hội nhập vào chuỗi cung ứng toàn cầu và phát triển công nghiệp hỗ trợ.

Những kết luận này không chỉ có ý nghĩa về mặt học thuật mà còn có tính ứng dụng cao trong hoạch định chính sách và điều phối chiến lược phát triển ngành công nghiệp đất hiếm của Việt Nam trong dài hạn.

5.2. Kiến nghị

Để hiện thực hóa mục tiêu phát triển bền vững ngành đất hiếm, nghiên cứu đề xuất một số kiến nghị trọng tâm như sau:

- Ban hành Chiến lược quốc gia về phát triển đất hiếm đến năm 2045 với mục tiêu rõ ràng, cơ chế điều phối liên ngành và kế hoạch đầu tư trung – dài hạn.

- Ưu tiên đầu tư và chuyển giao công nghệ chế biến sâu, đặc biệt trong các công đoạn tách chiết nguyên tố đơn chất, xử lý môi trường và

sản xuất vật liệu ứng dụng có giá trị cao (nam châm vĩnh cửu, xúc tác, pin, điện tử...).

- Thiết lập quỹ nghiên cứu và phát triển đất hiếm do Nhà nước đồng tài trợ, nhằm thúc đẩy hợp tác giữa viện nghiên cứu – doanh nghiệp – trường đại học, tăng cường năng lực nội sinh trong đổi mới công nghệ và nhân lực chất lượng cao.

- Hoàn thiện thể chế, đặc biệt về cấp phép, thuế tài nguyên, kiểm soát môi trường và bảo vệ

nguồn nước, nhằm tạo hành lang pháp lý minh bạch, ổn định và phù hợp với thông lệ quốc tế.

- Tăng cường hợp tác quốc tế có chọn lọc, nhất là với các quốc gia có công nghệ tiên tiến trong khai thác và chế biến đất hiếm (Nhật Bản, Hàn Quốc, EU...), đồng thời tham gia vào các sáng kiến khu vực để nâng cao năng lực cạnh tranh và đảm bảo an ninh nguyên liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Công ty CP Nông nghiệp Thành Đô. (2014–2023). *Kết quả sản xuất phân bón đất hiếm vi lượng*.
2. Tiến, N. B. (2021, June). Một số thành tựu ứng dụng các sản phẩm đất hiếm trong công nghiệp, nông nghiệp tại Việt Nam. *Hội thảo Đất hiếm*, Lai Châu.
3. Hạnh, N. V., & Quý, N. Đ. (2014). Đổi mới định hướng phát triển công nghiệp đất hiếm Việt Nam. *Hội nghị KHCN Tuyển khoáng toàn quốc lần III*, Hà Nội.
4. Viện Công nghệ Xạ hiếm. (2015). *Chế tạo và ứng dụng phụ gia đất hiếm trong sản xuất kính*. Báo cáo đề tài cấp Bộ.
5. Hạnh, N. V., & Quý, N. Đ. (2021, June). Định hướng phát triển bền vững chế biến, sử dụng đất hiếm và bảo vệ môi trường. *Hội thảo Đất hiếm*, Hà Nội.
6. Bộ Công Thương. (2008). *Quyết định số 25/2008/QĐ-BCT phê duyệt Quy hoạch phân vùng thăm dò, khai thác, chế biến và sử dụng quặng đá quý, đất hiếm và urani giai đoạn đến 2015, có xét đến năm 2025*.
7. Quý, N. Đ., & Hạnh, N. V. (2013, October). Về phát triển đất hiếm Việt Nam. *Hội thảo Khoa học tư vấn phát triển công nghiệp đất hiếm Việt Nam*.
8. Viện Nghiên cứu Năng lượng Nguyên tử Việt Nam. (2001–2003). *Ứng dụng đất hiếm trong chăn nuôi và trồng trọt*. Dự án cấp Bộ.
9. Huấn, T. Đ., Giang, N. T., et al. (2013, October). Tình hình tài nguyên khoáng sản đất hiếm thế giới, Việt Nam và định hướng điều tra, thăm dò. *Hội thảo Khoa học*.
10. Viện Mỏ - Luyện kim. (2010). Nghiên cứu sản xuất hợp kim đất hiếm dùng trong luyện kim. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Vật liệu*.
11. Viện Khoa học Vật liệu – VAST. (1993–2012). *Các kết quả nghiên cứu ứng dụng đất hiếm trong nông nghiệp*.
12. Liên hiệp KH&CN Bắc Ninh. (2004). *Kết quả nghiên cứu đất hiếm với cây vải thiều*. Sở Khoa học & Công nghệ Bắc Ninh.
13. Hạnh, N. V. (2006). *Luận án tiến sĩ: Nghiên cứu tuyển tách đất hiếm Đông Pao*. Hà Nội.
14. USGS. (2025). *Mineral Commodity Summaries 2025: Rare Earths*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf>
15. Đào, T. L. (2019). Ứng dụng đất hiếm trong chăn nuôi thủy sản Việt Nam. *Tạp chí Chăn nuôi Việt Nam*, 45(2), 52–59.
16. Hạnh, N. V. (1987). *Nghiên cứu công nghệ tuyển quặng đất hiếm Nam Nậm Xe – bán công nghiệp*. Hà Nội.

17. Hạnh, N. V. (1993). *Nghiên cứu tuyển quặng đất hiếm Yên Phú – quy mô phòng thí nghiệm và bán công nghiệp*. Hà Nội.
18. Hạnh, N. V., Quý, N. Đ., & Lùng, T. V. (2004). Đặc điểm và tính khả tuyển quặng đất hiếm Việt Nam. *Hội nghị Khoa học lần thứ 16, Trường Đại học Mỏ - Địa chất*, Hà Nội.
19. Tiến, P. A. (2010). Khai thác và sử dụng đất hiếm hiện nay trên thế giới. *Tổng luận, Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia*.
20. Dung, N. T. K., Sơn, N. H., & Được, T. V. (2015). Tổng quan về đất hiếm và công nghệ tuyển quặng đất hiếm trên thế giới và ở Việt Nam. *Hội Tuyển khoáng Việt Nam (VAMPRO)*. <https://vampro.vn/uploads/tqdh.pdf>
21. USGS. (2024). Mineral Commodity Summaries 2024: Rare Earths. United States Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-rare-earths.pdf>
22. IAEA. (2023). Management of Radioactive Waste from Rare Earth Production. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.28. <https://www.iaea.org/publications/14731>
23. JOGMEC. (2023). Rare Earth Resource Development Strategy in Asia-Pacific. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation. <https://www.jogmec.go.jp/>
24. Ứng dụng phân bón đất hiếm cho cây điều. (n.d.). <http://phanbondoanhong.com.vn/nha-nong/tu.../ung-dung-phan-bon-dat-hiem-cho-cay-dieu>
25. Trung tâm Ứng dụng Tiến bộ KH&CN TP.HCM. (2017). Thử nghiệm đất hiếm trong nuôi cá, tôm. *Hội thảo Nông nghiệp sạch TP.HCM*.
26. Thủy, N. T. (n.d.). Hợp tác nghiên cứu đất hiếm giữa Việt Nam và Nhật Bản. <http://vinatom.gov.vn>

Thông tin của tác giả:**NCS. Nguyễn Thu Thủy**

Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Điện thoại: +(84)977.037.215 - Email: thuthuyqn88@gmail.com

NCS. Nguyễn Văn Trọng

Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Điện thoại: +(84)385.688.663 - Email: trongnv@ims.vast.ac.vn

DEVELOPING THE RARE EARTH INDUSTRY IN VIETNAM: CURRENT STATUS, TECHNOLOGICAL BARRIERS, AND STRATEGIC SOLUTIONS

Information about authors:

Nguyen Thu Thuy, Ph.D. Candidate, Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, email: thuthuyqn88@gmail.com

Nguyen Van Trong, Ph.D. Candidate, Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, email: trongnv@ims.vast.ac.vn

ABSTRACT:

This paper provides an overview of the current status of rare earth exploration, processing, and applications in Vietnam, and analyzes key technical, technological, and policy barriers to the development of the rare earth industry. The objective of the study is to identify major constraints

hindering the development of a complete rare earth value chain in Vietnam, benchmark international experiences, and propose context-appropriate solutions. The methodology involves a qualitative review of relevant literature, comparative analysis, and assessment of current technical capabilities. Findings show that Vietnam possesses significant rare earth resources, but lacks advanced separation technologies, an integrated value chain, and supportive policy frameworks. The paper proposes three solution groups: upgrading processing technologies, improving institutional and policy systems, and reorganizing the supply chain toward integration and sustainability.

Keywords: Rare earths, deep processing, technological barriers, policy development, value chain

REFERENCES

1. Thanh Do Agriculture JSC. (2014–2023). Results of rare earth trace element fertilizer production.
2. Tien, N. B. (2021, June). Some achievements in the application of rare earth products in industry and agriculture in Vietnam. Rare Earth Conference, Lai Chau.
3. Hanh, N. V., & Quy, N. D. (2014). Innovation in the development orientation of Vietnam's rare earth industry. 3rd National Mineral Processing Science and Technology Conference, Hanoi.
4. Institute of Rare Radioactive Technology. (2015). Fabrication and application of rare earth additives in glass production. Ministerial-level Research Report.
5. Hanh, N. V., & Quy, N. D. (2021, June). Orientation for sustainable development of rare earth processing, utilization and environmental protection. Rare Earth Conference, Hanoi.
6. Ministry of Industry and Trade. (2008). Decision No. 25/2008/QĐ-BCT approving the planning for exploration, mining, processing, and utilization of gemstones, rare earths, and uranium to 2015 with vision to 2025.
7. Quy, N. D., & Hanh, N. V. (2013, October). On the development of Vietnam's rare earth industry. Scientific Workshop on Consulting for Rare Earth Industry Development in Vietnam.
8. Vietnam Atomic Energy Research Institute. (2001–2003). Application of rare earths in livestock and crop cultivation. Ministerial-level Project.
9. Huan, T. D., Giang, N. T., et al. (2013, October). Global and Vietnam rare earth mineral resources and orientation for survey and exploration. Scientific Conference.
10. Institute of Mining and Metallurgy. (2010). Research on the production of rare earth alloys for metallurgy. Journal of Materials Science and Technology.
11. Institute of Materials Science – VAST. (1993–2012). Research results on the application of rare earths in agriculture.
12. Bac Ninh Union of Science and Technology Associations. (2004). Research results on rare earths for lychee trees. Bac Ninh Department of Science and Technology.
13. Hanh, N. V. (2006). Doctoral dissertation: Research on beneficiation of Dong Pao rare earth ores. Hanoi.
14. USGS. (2025). Mineral Commodity Summaries 2025: Rare Earths. Available: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025.pdf>
15. Dao, T. L. (2019). Application of rare earths in aquaculture in Vietnam. Vietnam Animal Husbandry Journal, 45(2), 52–59.
16. Hanh, N. V. (1987). Research on beneficiation technology of Nam Nam Xe rare earth ores – pilot

scale. Hanoi.

17. Hanh, N. V. (1993). Research on beneficiation of Yen Phu rare earth ores – laboratory and pilot scale. Hanoi.
18. Hanh, N. V., Quy, N. D., & Lung, T. V. (2004). Characteristics and beneficiation potential of Vietnam's rare earth ores. 16th Scientific Conference, Hanoi University of Mining and Geology.
19. Tien, P. A. (2010). Current status of rare earth mining and utilization in the world. Synthesis Report, National Agency for Science and Technology Information.
20. Dung, N. T. K., Son, N. H., & Duoc, T. V. (2015). Overview of rare earths and rare earth ore beneficiation technologies in the world and in Vietnam. Vietnam Association of Mineral Processing (VAMPRO). <https://vampro.vn/uploads/tqdh.pdf>
21. USGS. (2024). Mineral Commodity Summaries 2024: Rare Earths. United States Geological Survey. Available: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-rare-earths.pdf>
22. IAEA. (2023). Management of Radioactive Waste from Rare Earth Production. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.28. Available: <https://www.iaea.org/publications/14731>
23. JOGMEC. (2023). Rare Earth Resource Development Strategy in Asia-Pacific. Japan Oil, Gas and Metals National Corporation. Available: <https://www.jogmec.go.jp/>
24. Application of rare earth fertilizer for cashew trees. (n.d.). Available: <http://phanbondoanhnong.com.vn/nha-nong/tu.../ung-dung-phan-bon-dat-hiem-cho-cay-dieu>
25. Center for Application of Science and Technology Advances, Ho Chi Minh City. (2017). Trial use of rare earths in fish and shrimp farming. Clean Agriculture Workshop, Ho Chi Minh City.
26. Thuy, N. T. (n.d.). Vietnam–Japan cooperation in rare earth research. Available: <http://vinatom.gov.vn>

Ngày nhận bài: 30/07/2025;

Ngày nhận bài sửa: 29/08/2025;

Ngày chấp nhận đăng: 05/09/2025.