

NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ TUYỂN NỞ QUẶNG APATIT LOẠI III TẠI KHAI TRƯỜNG 27, 28, 29 XÃ BÁT XÁT, TỈNH LÀO CAI

Hồ Ngọc Hùng¹, Nguyễn Thu Thủy^{1,*}, Nguyễn Văn Trọng¹

Nguyễn Thị Quỳnh Liên¹, Nguyễn Thị Minh Giang¹

¹Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: thuthuyn88@gmail.com

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào công nghệ tuyển nổi quặng apatit loại III tại các khai trường 27, 28, 29 thuộc xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai. Loại quặng này đặc trưng bởi hàm lượng P_2O_5 thấp (12–16%) và chứa nhiều khoáng tạp silicat, cacbonat và sét, làm cho quá trình làm giàu trở nên khó khăn và ít được khai thác hiệu quả. Hai mẫu đại diện (M1 và M2) được phân tích bằng XRD, kính hiển vi phân cực, AAS, ICP-OES và phân bố kích thước hạt. Kết quả cho thấy phần lớn P_2O_5 tập trung ở cấp hạt mịn <0,045 mm, đòi hỏi phải nghiền mịn để giải phóng khoáng vật apatit. Các thí nghiệm tuyển nổi được tiến hành nhằm xác định sơ đồ và thông số công nghệ tối ưu. Sơ đồ đề xuất gồm 1 tuyển chính – 3 tuyển tinh – 1 tuyển vớt, với các điều kiện tối ưu: độ mịn nghiền 85–90% cấp hạt <0,074 mm, bùn quặng 25% rắn, pH = 9,0, thuốc tập hợp axit béo 500 g/t (tỷ lệ MD/VH = 150/350 g/t) và thủy tinh lỏng 500 g/t. Trong điều kiện này, tinh quặng đạt hàm lượng P_2O_5 >32% và hiệu suất thu hồi 83–85%. So với các nghiên cứu trước tại Cam Đường và Tầng Loỏng (hiệu suất thường 70–75%), kết quả này cho thấy mức cải thiện rõ rệt và tương đương với một số công nghệ tuyển nổi quốc tế. Điểm nổi bật là việc sử dụng thiết bị và thuốc tuyển sẵn có trong nước, giúp tăng tính khả thi, giảm phụ thuộc nhập khẩu. Nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa khoa học khi bổ sung dữ liệu về quặng apatit loại III tại khu vực mới, mà còn mang ý nghĩa thực tiễn trong việc tận thu nguồn quặng nghèo, giảm áp lực khai thác quặng giàu và đảm bảo nguồn nguyên liệu ổn định cho sản xuất phân bón trong nước.

Từ khóa: Quặng apatit loại III; Công nghệ tuyển nổi; Thuốc tuyển nổi; Mỏ Lào Cai; Thu hồi photphat

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Apatit là khoáng vật photphat quan trọng. Nó giữ vai trò chủ yếu trong sản xuất phân bón, hóa chất công nghiệp và một số vật liệu kỹ thuật cao [1]. Ở Việt Nam, mỏ apatit Lào Cai là nguồn tài nguyên photphat duy nhất có quy mô lớn, phân bố thành nhiều loại quặng khác nhau từ giàu đến nghèo [2]. Trong số đó, quặng apatit loại III chiếm tỷ lệ trữ lượng đáng kể. Tuy nhiên, hàm lượng P_2O_5 thấp (12–20%) và chứa nhiều khoáng tạp như silicat, dolomit, cacbonat. Điều này làm cho quá trình làm giàu phức tạp và hiệu suất thu hồi thấp nếu chỉ áp dụng công nghệ tuyển nổi thông thường [3, 4].

Trên thế giới, hai hướng công nghệ chủ yếu được áp dụng là tuyển nổi trực tiếp và tuyển nổi ngược. Tuyển nổi trực tiếp thường dùng cho quặng chứa nhiều khoáng silicat, trong khi tuyển nổi ngược thích hợp với quặng giàu cacbonat

[5, 6]. Ở Việt Nam, các nghiên cứu tuyển quặng apatit loại III được tiến hành từ thập niên 1960. Chúng tập trung nhiều nhất tại khu vực Cam Đường và Tầng Loỏng. Các nghiên cứu này đạt tinh quặng với hàm lượng P_2O_5 khoảng 32%, nhưng hiệu suất thu hồi chỉ đạt 50–70% [7, 8]. Nguyên nhân là do khoáng vật apatit tồn tại ở dạng hạt mịn. Mức độ giải phóng không triệt để và cộng sinh phức tạp với khoáng tạp [9].

Quặng apatit ở khu mỏ nghiên cứu chịu phong hóa mạnh và có đặc điểm khoáng tướng khác biệt so với vùng mỏ trung tâm. Tuy nhiên, cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu hệ thống nào về thành phần vật chất và chế độ tuyển tối ưu của quặng loại III tại khu vực này. Khoảng trống khoa học hiện hữu là thiếu dữ liệu vi mô về mối quan hệ giữa đặc điểm khoáng vật và hiệu quả tuyển nổi. Đồng thời, cũng chưa xác định được sơ đồ công nghệ hợp lý. Xuất phát từ

thực tiễn đó, nghiên cứu này được tiến hành với ba mục tiêu. Thứ nhất, xác định thành phần vật chất của quặng apatit loại III xã Bát Xát. Thứ hai, nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tuyển nổi. Thứ ba, xây dựng sơ đồ công nghệ tuyển nổi hợp lý để thu được tinh quặng có hàm lượng P_2O_5 trên 32% và hiệu suất thu hồi trên 83%. Kết quả góp phần tận thu nguồn quặng nghèo và giảm áp lực khai thác quặng giàu tại mỏ apatit Lào Cai.

Nghiên cứu được thực hiện dựa trên nguyên lý tuyển nổi khoáng vật. Đặc trưng khoáng vật học của quặng apatit loại III cho thấy phần lớn P_2O_5 tập trung ở cấp hạt mịn, do đó yêu cầu nghiền mịn để giải phóng apatit khỏi các khoáng tạp như silicat và cacbonat. Quá trình làm giàu được tối ưu hóa bằng cách kiểm soát các yếu tố then chốt như độ mịn nghiền, nồng độ bùn, pH và liều lượng hóa chất tuyển.

Tại Việt Nam, quặng apatit tập trung chủ yếu ở tỉnh Lào Cai với trữ lượng ước tính trên 2,5 tỷ tấn, trong đó phần lớn là quặng loại II và III có hàm lượng P_2O_5 thấp, khó tuyển [1, 2]. Nhu cầu sử dụng quặng apatit trong nước hiện rất lớn, đặc biệt cho các nhà máy sản xuất phân bón như DAP Đình Vũ, DAP Lào Cai, và phân lân nung chảy Văn Điển. Tuy nhiên, do chất lượng quặng nghèo, trong nhiều giai đoạn Việt Nam phải nhập khẩu quặng hoặc tinh quặng phosphate từ thị trường quốc tế để đáp ứng nhu cầu sản xuất [12, 16]. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết đối với việc nghiên cứu các giải pháp công nghệ tuyển – đặc biệt là tuyển nổi – nhằm nâng cao hiệu quả khai thác, sử dụng nguồn quặng trong nước, giảm phụ thuộc nhập khẩu và gia tăng giá trị chuỗi sản phẩm phân bón cũng như hóa chất gốc phosphate.

Điểm khác biệt quan trọng của nghiên cứu này là tập trung trực tiếp vào quặng apatit nghèo loại III tại Việt Nam, vốn có thành phần khoáng vật phức tạp và ít được nghiên cứu trước đây. Trong khi đó, Trung Quốc chủ yếu khai thác quặng apatit giàu với quy mô công nghiệp và hệ công nghệ tuyển nổi đã rất hoàn thiện [20, 21]; Ma-rốc lại xử lý quặng giàu cacbonat với hệ công nghệ tuyển nổi ngược đặc thù [18]. Nghiên cứu này vì vậy mang tính thực tiễn cao khi vừa

tận dụng điều kiện công nghệ, thuốc tuyển sẵn có trong nước, vừa đạt hiệu suất so sánh được với các công nghệ tiên tiến quốc tế [22]. Đây là cơ sở khoa học và công nghệ quan trọng để triển khai ở quy mô công nghiệp tại Việt Nam. Nghiên cứu cũng giải quyết vấn đề thực tiễn của ngành khoáng sản Việt Nam, đó là sự cạn kiệt của quặng apatit giàu và nhu cầu tận thu nguồn quặng nghèo loại III có trữ lượng lớn. Kết quả đạt được cho thấy hiệu suất thu hồi P_2O_5 cao hơn đáng kể so với các nghiên cứu trước đây tại Việt Nam. Quan trọng hơn, việc sử dụng các thiết bị và thuốc tuyển có sẵn trong nước làm tăng tính khả thi và giảm sự phụ thuộc vào nhập khẩu, mở ra cơ hội ứng dụng công nghệ này vào sản xuất công nghiệp.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Mẫu nghiên cứu

- Hai mẫu quặng apatit loại III ký hiệu M1 và M2 được lấy tại các khai trường 27, 28, 29 – xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai.

- Mẫu được lấy theo TCVN 9418:2012, đảm bảo tính đại diện và đồng nhất.

- Quặng nguyên khai được gia công giảm lược, lấy các mẫu phân tích thành phần vật chất và các mẫu thí nghiệm.

2.2. Thiết bị nghiên cứu

- Bruker D8 Advance (XRD): phân tích khoáng vật.

- Kính hiển vi phân cực Axiokop 40: nghiên cứu đặc điểm khoáng tương.

- AAS và ICP-OES: phân tích thành phần hóa học.

- Mastersizer 2000: xác định phân bố kích thước hạt.

- Máy tuyển nổi Denver dung tích 1,5 L.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Phân tích khoáng vật: bằng XRD và kính hiển vi phân cực.

- Phân tích thành phần hóa học: bằng AAS và ICP-OES.

- Xác định thành phần độ hạt: Mastersizer 2000.

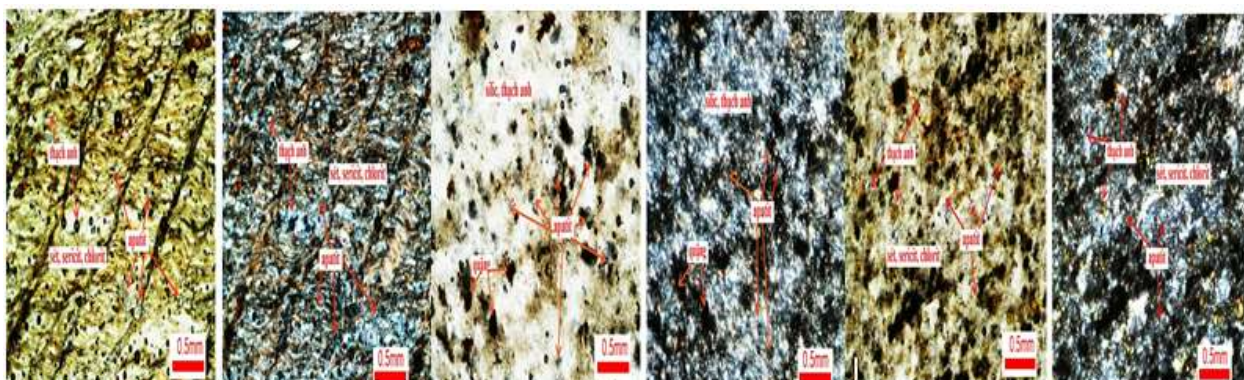
- Thí nghiệm tuyển nổi: thực hiện trên máy Denver dung tích 1,5 L để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ (độ mịn nghiền, nồng độ bùn, pH, thuốc tập hợp, thuốc đè chìm) và thí nghiệm sơ đồ tuyển nổi.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

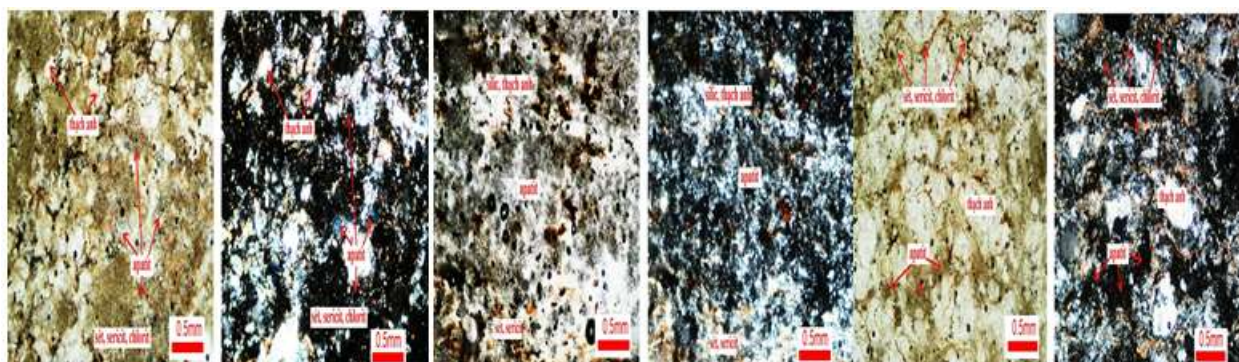
3.1. Thành phần vật chất

Phân tích XRD và khoáng tương thạch học cho thấy quặng apatit loại III tại khu vực Bản Vược – Bản Qua chứa các khoáng vật chính

như: fluorapatit $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]$, illit $[(\text{K}, \text{H}_3\text{O})(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2, (\text{H}_2\text{O})]]$, thạch anh $[\text{SiO}_2]$, ngoài ra còn có một số khoáng vật khác như: kaolinit $[\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4]$; clorit $[\text{Mg}_2\text{Al}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{O})_8]$; feldpat $[(\text{K}, \text{Na}, \text{Ca}, \text{Al})\text{AlSi}_3\text{O}_8]$; amphibon $[(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mg}, \text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]$; hydrobioit, gipxit. Các khoáng tạp này tồn tại ở kích thước rất mịn, phân bố đồng đều trong đá, gây khó khăn cho quá trình giải phóng hạt có ích.



Hình 1. Kết quả phân tích khoáng tương, thạch học mẫu M1



Hình 2. Kết quả phân tích khoáng tương, thạch học mẫu M2

Thành phần hóa học của hai mẫu M1 và M2 được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học chủ yếu của mẫu quặng apatit loại III

Mẫu	Thành phần và hàm lượng các chỉ tiêu phân tích (%)					
	P ₂ O ₅	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂
M1	12,31	1,78	14,53	2,70	6,99	50,78
M2	16,51	1,27	16,66	4,24	9,38	44,70

Từ Bảng 1 cho thấy: hàm lượng P₂O₅ trong quặng nguyên khai thấp, dao động từ 12,31% (M1) đến 16,51% (M2). Hàm lượng SiO₂ cao (50,78% ở M1 và 44,70% ở M2), chứng tỏ quặng chứa nhiều khoáng silicat, là tạp chất chính gây khó khăn trong quá trình tuyển nổi.

Hàm lượng Al₂O₃ và Fe₂O₃ ở mức đáng kể, đặc biệt ở M2 (Al₂O₃ = 9,38%; Fe₂O₃ = 4,24%), cho thấy sự cộng sinh mạnh với khoáng sét và oxit sắt. Hàm lượng CaO tương đối cao (14,53–16,66%), phản ánh sự có mặt của khoáng cacbonat, có thể ảnh hưởng đến môi trường pH

trong quá trình tuyển. Từ đặc điểm này, có thể thấy quặng apatit loại III khu vực Bản Vược – Bản Qua có đặc tính nghèo P_2O_5 , giàu SiO_2 và chứa nhiều khoáng tạp mịn, đòi hỏi phải tối ưu hóa công nghệ tuyển nổi để vừa nâng cao hàm lượng P_2O_5 vừa tăng hiệu suất thu hồi.

Kết quả phân tích độ hạt cho thấy phần lớn P_2O_5 tập trung ở cấp hạt mịn -0,045 mm, chiếm 42–44% tổng lượng P_2O_5 (Bảng 2). Điều này chứng tỏ cần nghiền mịn đến cấp -0,074 mm để giải phóng apatit, đồng thời tối ưu chế độ tuyển nổi để tận thu quặng có ích ở cấp hạt mịn.

Bảng 2. Thành phần độ hạt theo cấp hạt quặng apatit khai trường 27, 28, 29

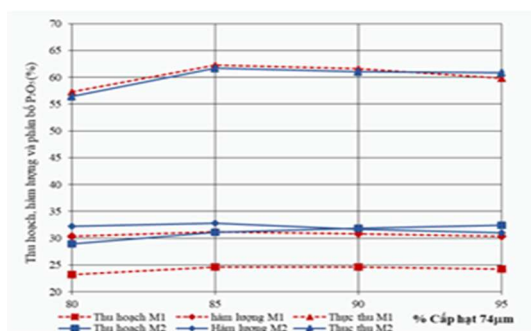
xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai

Cấp hạt (mm)	Thu hoạch (%)		Hàm lượng P_2O_5 (%)		Phân bố P_2O_5 (%)	
	M1	M2	M1	M2	M1	M2
- 2 + 1	19,34	17,51	5,99	12,81	9,42	13,58
- 1 + 0,5	23,87	21,20	14,02	15,96	27,18	20,25
- 0,5 + 0,1	8,23	14,75	13,33	15,27	8,71	13,48
- 0,1 + 0,074	3,29	3,69	14,02	14,02	3,75	3,09
- 0,074 + 0,045	5,76	5,99	14,15	17,74	6,62	6,36
- 0,045	39,51	36,87	14,02	19,13	44,32	42,21
Q. Nguyên khai	100,00	100,00	12,31	16,51	100,00	100,00

3.2. Ảnh hưởng của các thông số công nghệ

3.2.3. Ảnh hưởng của pH môi trường

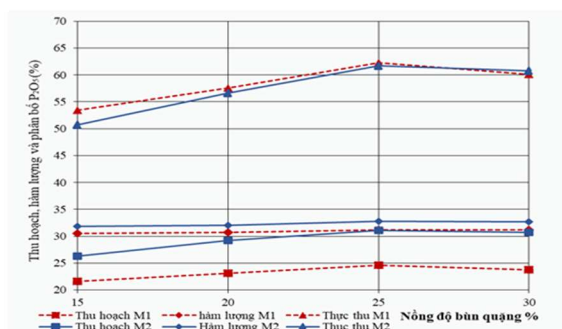
3.2.1. Ảnh hưởng của độ mịn nghiền



Hình 3. Ảnh hưởng độ mịn nghiền tới các chỉ tiêu tuyển

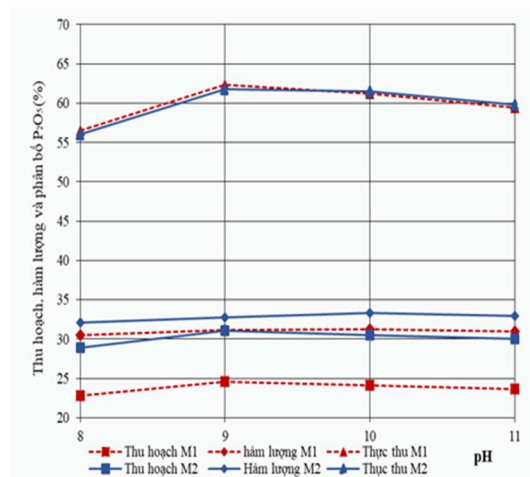
Đã xác định được độ mịn nghiền tối ưu là 85–90% cấp hạt -0,074 mm.

3.2.2. Ảnh hưởng của nồng độ bùn



Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ bùn đến kết quả tuyển nổi

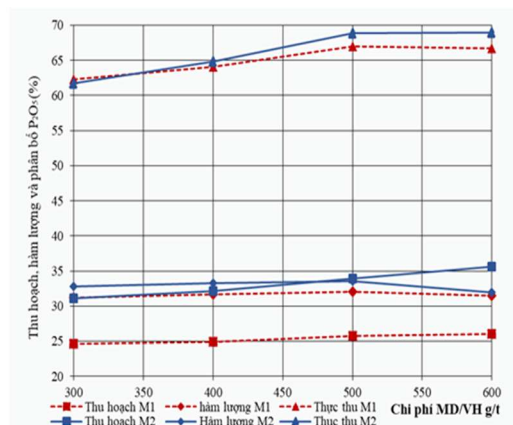
Nồng độ bùn tối ưu 25% rắn.



Hình 5. Ảnh hưởng của pH môi trường đến tuyển nổi apatit

Đã xác định được pH tối ưu là 9,0.

3.2.4. Ảnh hưởng của chi phí thuốc tập hợp

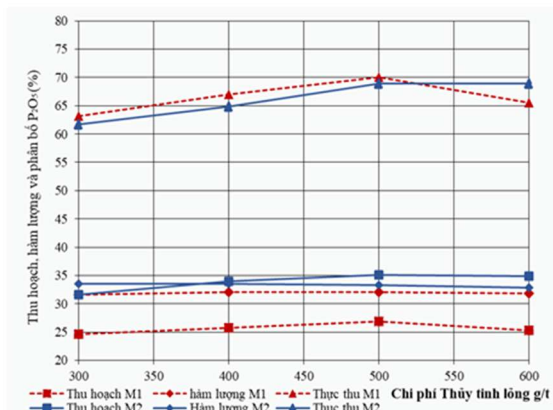


Hình 6. Ảnh hưởng của chi phí MD/VH đến tuyển nổi apatit

Chi phí thuốc tập hợp tối ưu là 500 g/t với tỷ lệ thuốc tập hợp MD/VH = 150/350 g/t.

3.2.5. Ảnh hưởng của chi phí thuốc đề chìm

Chi phí thuốc đề chìm thủy tinh lỏng tối ưu là 500 g/t.



Hình 7. Ảnh hưởng của chi phí thủy tinh lỏng đến tuyển nổi apatit

3.3. Thí nghiệm sơ đồ vòng kín

Căn cứ vào các kết quả nghiên cứu điều kiện tuyển nổi tài đã tiến thí nghiệm 2 sơ đồ tuyển nổi vòng kín có sự quay vòng của các sản phẩm trung gian nhằm tăng thực thu tinh quặng apatit đồng thời một lần nữa kiểm tra lại các điều kiện và chế độ tuyển quặng apatit khai

trường 27, 28, 29 xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai, cũng như để khẳng định lại các chỉ tiêu công nghệ tuyển nổi có thể đạt được trong phòng thí nghiệm đối với mẫu quặng nghiên cứu.

Sơ đồ 1 dựa trên sơ đồ một số nhà máy tuyển quặng apatit đang hoạt động bao gồm: 1 tuyển nổi chính, 1 tuyển vết và 2 tuyển tinh.

Sơ đồ 2 đã cải tiến gồm: 1 tuyển nổi chính, 1 tuyển vết và 3 tuyển tinh.

Kết quả thí nghiệm tuyển sơ đồ vòng kín được trình bày trong Bảng 3.

Dựa trên kết quả thực nghiệm Bảng 3, Sơ đồ 2 đã chứng minh được hiệu quả vượt trội hơn so với Sơ đồ 1 trong việc tuyển nổi quặng apatit loại III. Sơ đồ 2 đạt được thực thu 83,07% (đối với mẫu M1) và 85,09% (đối với mẫu M2), cao hơn rõ rệt so với Sơ đồ 1 (81,76% và 82,87%). Tinh quặng apatit từ Sơ đồ 2 có hàm lượng P₂O₅ cao hơn (32,27% và 32,58%) so với Sơ đồ 1 (30,36% và 30,29%). Lượng P₂O₅ bị mất đi trong đuôi thải của Sơ đồ 2 (16,93% và 14,91%) thấp hơn so với Sơ đồ 1 (18,24% và 17,13%). Sơ đồ 2 không chỉ tối ưu hóa việc thu hồi khoáng vật có giá trị mà còn nâng cao chất lượng sản phẩm, làm giảm lượng P₂O₅ thất thoát. Do đó, đây là sơ đồ công nghệ được khuyến nghị để tuyển mẫu quặng apatit xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm sơ đồ vòng kín

Sơ đồ	Sản phẩm	Thu hoạch, %		Hàm lượng P ₂ O ₅ , %		Thực thu P ₂ O ₅ , %	
		M1	M2	M1	M2	M1	M2
Sơ đồ 1	Tinh quặng apatit	33,15	45,17	30,36	30,29	81,76	82,87
	Đuôi thải	66,85	54,83	3,36	5,16	18,24	17,13
	Quặng đầu	100,00	100,00	12,31	16,51	100,00	100,00
Sơ đồ 2	Tinh quặng apatit	31,69	43,12	32,27	32,58	83,07	85,09
	Đuôi thải	68,31	56,88	3,05	4,33	16,93	14,91
	Quặng đầu	100,00	100,00	12,31	16,51	100,00	100,00

3.4. Thảo luận

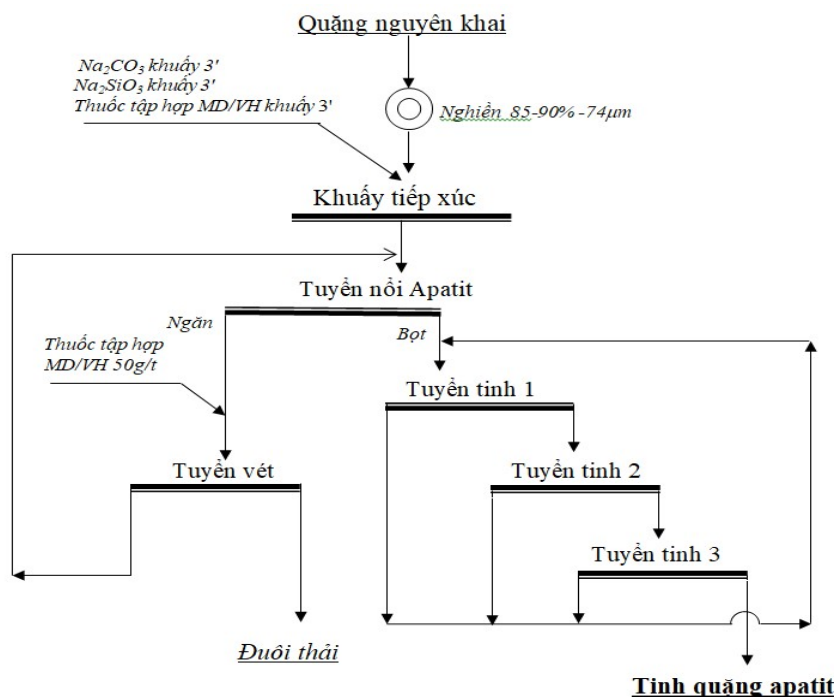
Kết quả nghiên cứu cho thấy quặng apatit loại III tại xã Bát Xát, Lào Cai có khả năng làm giàu đáng kể nhờ tuyển nổi, song hiệu quả phụ thuộc chặt chẽ vào thành phần khoáng tạp đi

kèm. Hàm lượng cao của SiO₂, Fe₂O₃ và Al₂O₃ gây ảnh hưởng bất lợi đến hiệu suất tuyển nổi. SiO₂ tồn tại chủ yếu ở dạng thạch anh mịn, dễ trôi theo bọt, làm giảm độ tinh khiết tinh quặng. Fe₂O₃ và Al₂O₃ thường cộng sinh dưới dạng

khoáng oxit – hydroxyt, có bề mặt hoạt tính cao, dễ hấp phụ thuốc tập hợp, dẫn đến hiện tượng “thu hồi giả” và làm giảm chọn lọc. Việc lựa chọn pH = 9,0–9,5 giúp hạn chế tương tác bất lợi này, tăng độ chọn lọc bề mặt hạt apatit so với tạp chất.

Một điểm mạnh của nghiên cứu là sử dụng hệ thuốc tuyển nội địa. Điều này khác với nhiều công trình quốc tế vốn sử dụng các hệ thuốc tập

hợp – đề chìm phức tạp, giá thành cao [12–15]. Nhờ đó, công nghệ có tính khả thi cao trong điều kiện Việt Nam, nơi các nhà máy tuyển quặng hoạt động với quy mô vừa và nhỏ, khó tiếp cận hóa chất nhập khẩu đắt tiền. So sánh với các công nghệ quốc tế (Trung Quốc, Mỹ, Ma-rốc), hiệu suất của nghiên cứu này chỉ thấp hơn 2–3%, nhưng ưu thế lớn là tính phù hợp và khả năng triển khai nhanh.



Hình 8. Sơ đồ công nghệ tuyển nổi quặng apatit khai trường 27, 28, 29 xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai

Bảng 4. Trình bày sự đối chiếu định lượng với các nghiên cứu quốc tế điển hình.

Nghiên cứu	Loại quặng	Quốc gia	Phương pháp tuyển nổi	P ₂ O ₅ tinh quặng (%)	Hiệu suất thu hồi P ₂ O ₅ (%)
Mẫu M1 (nghiên cứu này)	Loại III (nghèo)	Việt Nam	pH 9,0–9,5, thuốc tập hợp axit béo, thuốc đề chìm	32,27	83,07
Mẫu M2 (nghiên cứu này)	Loại III (nghèo)	Việt Nam	pH 9,0–9,5, thuốc tập hợp axit béo, thuốc đề chìm	32,58	85,09
[12]	Quặng nghèo	Mỹ	Tuyển nổi trực tiếp, oleat	34,00	85–87
[13]	Quặng trung bình	Trung Quốc	Tuyển nổi trực tiếp, hệ thuốc đặc thù	33,50	82–84
[14]	Quặng trung bình	Mỹ	Tuyển nổi trực tiếp, oleat	32,00	82,0
[15]	Quặng giàu	Jordan	Tuyển nổi trực tiếp, oleat	35,00	86,0
[18]	Quặng giàu cacbonat	Ma-rốc	Tuyển nổi ngược, hệ thuốc oleat – silicat	31,50	81–83
[19]	Quặng trung bình	Mỹ	Tuyển nổi trực tiếp, oleat – silicat	32,80	84–86

Không chỉ thế, kết quả nghiên cứu góp phần giảm áp lực khai thác quặng giàu (loại I và II) đang dần cạn kiệt, đồng thời giảm phụ thuộc vào nguồn P_2O_5 nhập khẩu. Việc tận thu quặng nghèo loại III không chỉ giúp đa dạng hóa nguồn cung trong nước cho sản xuất DAP và phân lân nung chảy, mà còn góp phần sử dụng tài nguyên hiệu quả và bền vững.

Tuy nhiên, nghiên cứu mới dừng ở quy mô phòng thí nghiệm, chưa đánh giá được đầy đủ các yếu tố vận hành liên tục trong môi trường công nghiệp, như độ ổn định bột, ảnh hưởng thời gian lưu bùn hay chi phí vận hành dài hạn. Do đó, hướng nghiên cứu tiếp theo cần triển khai thử nghiệm ở quy mô pilot, tiến tới áp dụng ở quy mô công nghiệp. Điều này sẽ là bước quan trọng để khẳng định tính ổn định và hiệu quả kinh tế của công nghệ. Đây là cơ sở khoa học quan trọng cho việc xây dựng dây chuyền tuyển nổi công nghiệp, hướng tới khai thác bền vững và hiệu quả nguồn tài nguyên phosphate trong nước.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chứng minh khả năng tuyển quặng apatit loại III tại xã Bát Xát, tỉnh Lào Cai từ hàm lượng P_2O_5 thấp (12–16%) lên tinh quặng đạt trên 32% với hiệu suất thu hồi 83–85% nhờ áp dụng sơ đồ tuyển nổi tối ưu. Kết quả này khẳng định tính khả thi về khoa học và thực tiễn, góp phần tận thu nguồn quặng nghèo, giảm áp lực khai thác quặng giàu và giảm phụ thuộc nhập khẩu P_2O_5 cho sản xuất phân bón trong nước. Tuy nhiên, công nghệ hiện mới được thử nghiệm ở quy mô phòng thí nghiệm, chưa phản ánh đầy đủ các yếu tố vận hành liên tục và hiệu quả kinh tế ở quy mô công nghiệp. Do đó, cần triển khai thử nghiệm trên dây chuyền sản xuất thực tế, đồng thời nghiên cứu bổ sung các loại thuốc tuyển mới thân thiện môi trường và đánh giá tác động đến quản lý chất thải. Những hướng đi này sẽ tạo cơ sở cho việc ứng dụng rộng rãi công nghệ trong khai thác bền vững nguồn tài nguyên apatit tại Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. W. A. Deer, R. A. Howie, and J. Zussman, *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, 3rd ed. London: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 2013.
2. Trần Văn Trị, *Địa chất khoáng sản Việt Nam*, Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
3. Hoàng Văn Quang and Nguyễn Văn Thắng, "Nghiên cứu đặc điểm khoáng vật quặng apatit loại III Lào Cai," *Tạp chí Khoa học Trái đất*, vol. 34, no. 2, pp. 153–162, 2012.
4. Nguyễn Thị Thu and Đỗ Minh Hạnh, "Tuyển nổi quặng apatit loại III bằng thuốc tập hợp nội địa," *Tạp chí Hóa học và Công nghiệp*, vol. 57, no. 4, pp. 24–30, 2015.
5. H. Sis and S. Chander, "Reagents used in the flotation of phosphate ores: A critical review," *Minerals Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 577–585, 2003.
6. A. Z. M. Abouzeid, "Physical and thermal treatment of phosphate ores — An overview," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 85, no. 4, pp. 59–84, 2008.
7. Hoàng Quốc Hùng, *Kết quả nghiên cứu tuyển quặng apatit loại III tại Tầng Loỏng*, Báo cáo khoa học, Viện Khoa học Vật liệu, 1994.
8. Lê Văn Bình and Nguyễn Văn Tùng, "Thí nghiệm tuyển nổi quặng apatit loại III khu vực Cam Đường," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Mỏ*, vol. 5, pp. 21–27, 2001.
9. H. El-Shall, P. Zhang, and N. A. Abdel-Khalek, "Beneficiation technology of phosphate ores," *Phosphorus, Sulfur, and Silicon*, vol. 179, no. 4, pp. 739–756, 2004.
10. TCVN 9418:2012, *Quặng và tinh quặng – Phương pháp lấy mẫu*, Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ, 2012.
11. TCVN 4296:2009, *Quặng apatit – Yêu cầu kỹ thuật*, Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ, 2009.
12. J. R. Oliveira, M. F. Lima, and P. R. da Silva, "Flotation of low-grade apatite ores: Challenges and perspectives," *Minerals Engineering*, vol. 74, pp. 123–132, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.10.004>

13. Y. Zhang, X. Liu, and C. Xu, "Optimization of reagent schemes for phosphate flotation: A review," *Powder Technology*, vol. 339, pp. 354–366, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.045>
14. S. El-Shall, A. El-Mofty, and H. Abdel-Khalek, "Selective flotation of phosphate minerals: New developments and future challenges," *Separation and Purification Technology*, vol. 250, 117228, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117228>
15. A. Al-Thyabat and R. Al-Zoubi, "Recent advances in flotation of phosphate ores with emphasis on the role of depressants," *Minerals*, vol. 13, no. 2, p. 211, 2023. <https://doi.org/10.3390/min13020211>
16. Vinachem, "Bảo cáo ngành phân bón và nhu cầu apatit tại Việt Nam," Hà Nội, 2021.
17. IFA (International Fertilizer Association), *Phosphate Fertilizers Global Market Report 2022–2023*, Paris, 2023.
18. M. Abdelkhalek et al., "Reverse flotation of carbonate-rich phosphate ores in Morocco," *Minerals Engineering*, vol. 170, pp. 107–118, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107118>
19. H. El-Shall et al., "Beneficiation of phosphate ores by flotation using oleate–silicate systems in the United States," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 210, 105–116, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2022.105116>
20. USGS, *Mineral Commodity Summaries: Phosphate Rock*, Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2023. <https://doi.org/10.3133/mcs2023>
21. Y. Ruan, T. Zhang, J. Liu et al., "A review of flotation of phosphate ores," *Minerals*, vol. 9, p. 253, 2019. <https://doi.org/10.3390/min9050253>
22. Z. Derhy, Y. Taha, R. Hakkou, M. Benzaazoua, "Review of the main factors affecting the flotation of phosphate ores," *Minerals*, vol. 12, p. 1498, 2022. <https://doi.org/10.3390/min12121498>

Thông tin của tác giả:**Ths. Hồ Ngọc Hùng**

Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Điện thoại: +(84)917.116.659 - Email: hunghn@ims.vast.ac.vn

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

Ths. Nguyễn Thị Quỳnh Liên

Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Điện thoại: +(84)392.642.809 - Email: lienntq@ims.vast.ac.vn

Ths. Nguyễn Thị Minh Giang

Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Điện thoại: +(84)985.054.739 - Email: giangntm@ims.vast.ac.vn

STUDY ON FLOTATION TECHNOLOGY OF TYPE III APATITE ORE AT MINING SITES 27, 28, AND 29 IN BAT XAT COMMUNE, LAO CAI PROVINCE

Information about authors:

Ho Ngoc Hung, M.S., Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, email: hunghn@ims.vast.ac.vn

Nguyen Thu Thuy, PhD Candidate, Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology

Nguyen Van Trong, PhD Candidate, Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology

Nguyen Thi Quynh Lien, M.S., Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology

Nguyen Thi Minh Giang, M.S., Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology

ABSTRACT:

This study focuses on the flotation technology of Type III apatite ores from mining sites 27, 28, and 29 in the Ban Vuoc – Ban Qua area, Bat Xat district, Lao Cai province, Vietnam. These ores are characterized by low P_2O_5 contents (12–16%) and high proportions of silicate, carbonate, and clay minerals, which pose challenges for beneficiation and limit industrial applications. Two representative samples (M1 and M2) were analyzed using XRD, polarizing microscopy, AAS, ICP-OES, and particle size distribution. Results indicated that most P_2O_5 is concentrated in the fine fraction (<0.045 mm), highlighting the need for fine grinding to liberate apatite minerals. Flotation tests were carried out to determine the optimal flowsheet and processing parameters. The proposed scheme consists of one rougher flotation, three cleaners, and one scavenger. Optimal conditions were: grinding fineness of 85–90% <0.074 mm, pulp density of 25% solids, pH = 9, fatty acid collector dosage of 500 g/t (MD/VH = 150/350 g/t), and sodium silicate dosage of 500 g/t. Under these conditions, the concentrate achieved P_2O_5 grades of $>32\%$ with recoveries of 83–85%. Compared with previous studies in Cam Duong and Tang Loong, where recoveries typically reached only 70–75%, these results represent a notable improvement and are comparable to some international flotation technologies. A key advantage is the reliance on locally available equipment and reagents, ensuring feasibility and reducing dependence on imports. This research provides new scientific data on Type III apatite ores from a previously unreported area and demonstrates practical significance in improving low-grade ore utilization, reducing pressure on high-grade deposits, and ensuring a stable domestic supply of raw materials for fertilizer production.

Keywords: Type III Apatite Ore, Flotation Technology, Flotation reagent, Lao Cai Mine, Phosphate Recovery

REFERENCES

1. W. A. Deer, R. A. Howie, and J. Zussman, *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, 3rd ed. London: Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 2013.
2. V. T. Tran, *Geology and Mineral Resources of Vietnam*. Hanoi: Science and Technology Publishing House, 2006.
3. V. Q. Hoang and V. T. Nguyen, "Study on mineralogical characteristics of type III apatite ore in Lao Cai," *Journal of Earth Sciences*, vol. 34, no. 2, pp. 153–162, 2012.
4. T. T. Nguyen and M. H. Do, "Flotation of type III apatite ore using domestic collectors," *Journal of Chemistry and Industry*, vol. 57, no. 4, pp. 24–30, 2015.
5. H. Sis and S. Chander, "Reagents used in the flotation of phosphate ores: A critical review," *Minerals Engineering*, vol. 16, no. 7, pp. 577–585, 2003.

6. A. Z. M. Abouzeid, "Physical and thermal treatment of phosphate ores — An overview," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 85, no. 4, pp. 59–84, 2008.
7. Q. H. Hoang, *Research results on flotation of type III apatite ore at Tang Loong*, Scientific Report, Institute of Materials Science, 1994.
8. V. B. Le and V. T. Nguyen, "Flotation experiments on type III apatite ore in Cam Duong area," *Journal of Mining Science and Technology*, vol. 5, pp. 21–27, 2001.
9. H. El-Shall, P. Zhang, and N. A. Abdel-Khalek, "Beneficiation technology of phosphate ores," *Phosphorus, Sulfur, and Silicon*, vol. 179, no. 4, pp. 739–756, 2004.
10. TCVN 9418:2012, *Ores and concentrates – Sampling methods*. Hanoi: Ministry of Science and Technology, 2012.
11. TCVN 4296:2009, *Apatite ores – Technical requirements*. Hanoi: Ministry of Science and Technology, 2009.
12. J. R. Oliveira, M. F. Lima, and P. R. da Silva, "Flotation of low-grade apatite ores: Challenges and perspectives," *Minerals Engineering*, vol. 74, pp. 123–132, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.10.004>
13. Y. Zhang, X. Liu, and C. Xu, "Optimization of reagent schemes for phosphate flotation: A review," *Powder Technology*, vol. 339, pp. 354–366, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.07.045>
14. S. El-Shall, A. El-Mofty, and H. Abdel-Khalek, "Selective flotation of phosphate minerals: New developments and future challenges," *Separation and Purification Technology*, vol. 250, p. 117228, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117228>
15. A. Al-Thyabat and R. Al-Zoubi, "Recent advances in flotation of phosphate ores with emphasis on the role of depressants," *Minerals*, vol. 13, no. 2, p. 211, 2023. <https://doi.org/10.3390/min13020211>
16. Vinachem, *Fertilizer Industry Report and Apatite Demand in Vietnam*. Hanoi, 2021.
17. IFA (International Fertilizer Association), *Phosphate Fertilizers Global Market Report 2022–2023*. Paris, 2023.
18. M. Abdelkhalek et al., "Reverse flotation of carbonate-rich phosphate ores in Morocco," *Minerals Engineering*, vol. 170, pp. 107–118, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2021.107118>
19. H. El-Shall et al., "Beneficiation of phosphate ores by flotation using oleate–silicate systems in the United States," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 210, pp. 105–116, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2022.105116>
20. USGS, *Mineral Commodity Summaries: Phosphate Rock*. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2023. <https://doi.org/10.3133/mcs2023>
21. Y. Ruan, T. Zhang, J. Liu et al., "A review of flotation of phosphate ores," *Minerals*, vol. 9, p. 253, 2019. <https://doi.org/10.3390/min9050253>
22. Z. Derhy, Y. Taha, R. Hakkou, and M. Benzaazoua, "Review of the main factors affecting the flotation of phosphate ores," *Minerals*, vol. 12, p. 1498, 2022. <https://doi.org/10.3390/min12121498>

Ngày nhận bài: 24/08/2025;

Ngày nhận bài sửa: 19/09 /2025;

Ngày chấp nhận đăng: 26/09/2025.