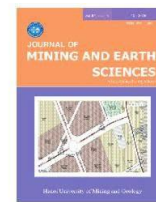




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Petrographic characteristics and industrial implications of high-rank anthracite from the Khe Cham mine, Quang Ninh, northeastern Vietnam



Dung Viet Pham¹, Dac Xuan Ngo^{2,*}, Dung Manh Do¹, Huan Hoang Nguyen¹, Chuong Van Pham³, Chinh Cong Thi Vo⁴

¹ Vinacomin Informatics, Technology, Environment Joint Stock Company, Hanoi, Vietnam

² Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, Hanoi, Vietnam

³ Vinacomin - HaLong Coal Company, Quangninh, Vietnam

⁴ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14th Jan. 2026

Revised 01st May 2026

Accepted 26th May 2026

Keywords:

anthracite,
Khe Cham mine,
Maceral,
Petrographic of coal,
Quang Ninh.

ABSTRACT

Anthracite coal is an important resource in Quang Ninh, Vietnam, characterized by a high degree of metamorphism and high energy value. This study focuses on the petrographic composition of anthracite coal from the Khe Cham mine, Mong Duong Ward, aiming to evaluate the maceral characteristics and utilization potential of this coal type.

Coal samples were collected from active mining tunnels, prepared as polished blocks, and analyzed using reflected-light microscopy in accordance with the standards of the International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). The results indicate that the coal is predominantly composed of vitrinite (accounting for 72÷100%), with inertinite ranging from 0÷3% and liptinite from 0÷7%, reflecting a high metamorphic grade. The vitrinite reflectance (Ro) ranges from 2.174÷ 3.631%, confirming its classification as anthracite according to international standards.

In addition, minor mineral phases such as pyrite, calcite, and quartz were identified in the samples, which may influence coal quality and industrial applications. With low volatile matter, high calorific value, and low impurity content, Khe Cham coal is considered a high-quality fuel source suitable for thermal power generation and metallurgical industries.

This study contributes to the petrographic database of anthracite coal from the Khe Cham mine and provides a scientific basis for optimizing coal processing and utilization, as well as guiding future research on the gasification potential of this high-grade anthracite.

Copyright © 2026 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

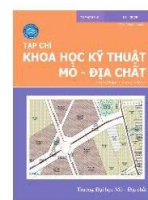
E - mail: nxdac@mae.gov.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(5).06



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Đặc điểm thạch học và ý nghĩa công nghiệp của than antraxit biến chất cao tại mỏ Khe Chàm, Quảng Ninh, đông bắc Việt Nam

Phạm Việt Dũng¹, Ngô Xuân Đắc^{2,*}, Đỗ Mạnh Dũng¹, Nguyễn Hoàng Huân¹, Phạm Văn Chương³, Võ Thị Công Chính⁴

¹ Công ty cổ phần Tin học, Công nghệ, Môi trường - Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

² Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội, Việt Nam

³ Công ty Than Hạ Long - TKV, Quảng Ninh, Việt Nam

⁴ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 14/01/2026

Sửa xong 01/5/2026

Chấp nhận đăng 26/5/2026

Từ khóa:

Maceral,
Mỏ Khe Chàm,
Quảng Ninh,
Thạch học than,
Than antraxit.

Than antraxit là một loại tài nguyên quan trọng tại Quảng Ninh, Việt Nam, đặc trưng bởi mức độ biến chất cao và nhiệt lượng lớn. Nghiên cứu này tập trung phân tích thành phần thạch học của than antraxit tại mỏ Khe Chàm, phường Mông Dương, nhằm đánh giá đặc điểm về thành phần vi phần (maceral) và tiềm năng sử dụng của loại than này.

Các mẫu than được thu thập từ các đường lò đang khai thác, được chuẩn bị dưới dạng tiêu bản đánh bóng và phân tích bằng kính hiển vi phản xạ theo tiêu chuẩn của Ủy ban Quốc tế về Thạch học Than và Chất hữu cơ (ICCP). Kết quả phân tích cho thấy than có thành phần chủ yếu là vitrinite (chiếm 72÷100%), với hàm lượng inertinite từ 0÷3% và liptinite từ 0÷7%, phản ánh mức độ biến chất cao. Độ phản xạ vitrinite (Ro) dao động từ 2,174 ÷ 3,631%, xác nhận cấp than antraxit theo phân loại quốc tế.

Ngoài ra, một số khoáng vật phụ như pyrit, canxit và thạch anh được phát hiện trong các mẫu nghiên cứu, có thể ảnh hưởng đến chất lượng than cũng như các ứng dụng công nghiệp. Với hàm lượng chất bốc thấp, giá trị nhiệt cao và hàm lượng tạp chất thấp, than Khe Chàm được đánh giá là nguồn nhiên liệu chất lượng cao, thích hợp cho các ứng dụng nhiệt điện và công nghiệp luyện kim.

Nghiên cứu này góp phần bổ sung dữ liệu về thành phần thạch học của than antraxit tại mỏ Khe Chàm, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học cho việc tối ưu hóa quá trình chế biến và sử dụng, cũng như định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo về khả năng khí hóa loại than chất lượng cao này.

© 2026 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nxdac@mae.gov.vn

DOI: 10.46326/JMES.2026.67(5).06

1. Mở đầu

Than antraxit là loại than có mức độ biến chất cao, đặc trưng bởi hàm lượng carbon rất cao (trên 86%), hàm lượng chất bốc thấp và nhiệt trị cao. Nhờ những đặc điểm này, than antraxit đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong công nghiệp luyện kim, sản xuất điện năng, vật liệu carbon và khí hóa than. Ngoài ra, tính chất sạch, ít khói và hàm lượng tro thấp cũng khiến antraxit trở thành nguồn nhiên liệu thân thiện với môi trường hơn so với các loại than biến chất thấp (Speight, 2015).

Tại Việt Nam, tỉnh Quảng Ninh là nơi tập trung trữ lượng than antraxit lớn nhất cả nước, cung cấp nguồn nguyên liệu thiết yếu cho phát triển kinh tế - công nghiệp trong suốt nhiều thập kỷ qua. Trong đó, mỏ Khe Chàm, thuộc phường Mông Dương, là một trong những mỏ có quy mô lớn, khai thác bằng phương pháp hầm lò, đóng góp sản lượng lớn than antraxit của Công ty Than Hạ Long thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (Hình 1).

Thành phần thạch học của than, đặc biệt là tỷ lệ các nhóm maceral (gồm vitrinite, inertinite và liptinite), là một trong những chỉ tiêu quan trọng để xác định quá trình hình thành và biến chất của than, đồng thời có ý nghĩa lớn trong việc đánh giá chất lượng và khả năng ứng dụng công nghiệp của than (Taylor và nnk., 1998). Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra mối liên hệ chặt chẽ giữa đặc điểm thạch học với hiệu suất đốt, khả năng phát thải, tiềm năng khí hóa và phân loại than

(Bielowicz & Misiak, 2020). Trong than antraxit, vitrinite thường chiếm ưu thế và có độ phản xạ cao - một chỉ tiêu phản ánh trực tiếp mức độ biến chất của than.

Tuy nhiên, tại mỏ Khe Chàm nói riêng và khu vực tỉnh Quảng Ninh nói chung, các nghiên cứu chuyên sâu về thành phần thạch học ở cấp độ vi mô, chỉ tiêu liên quan đến maceral vẫn còn hạn chế, chủ yếu mới chỉ dừng lại ở các đánh giá địa chất - địa chất công trình, tính chất hóa học tổng quát, các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật truyền thống (ultimate and proximate analysis). Khi xác định giá trị công nghiệp của than mà chỉ căn cứ vào tính chất của than theo các mẫu trung bình như chất bốc (proximate analysis), thành phần cơ sở (ultimate analysis), bề dày, ... thì không được xem là đầy đủ (Taylor và nnk., 1998). Việc thiếu hụt dữ liệu chi tiết về thành phần maceral và khoáng vật kéo theo sự gây cản trở trong việc định hướng khai thác, sử dụng hiệu quả và nghiên cứu phát triển các ứng dụng giá trị gia tăng than như khí hóa và sử dụng các sản phẩm của khí hoá than, sản xuất vật liệu carbon (Li và nnk., 2023).

Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện với mục tiêu phân tích thành phần thạch học của than antraxit tại mỏ Khe Chàm, thông qua các phương pháp hiển vi phản xạ, đo độ phản xạ vitrinite và nhận diện khoáng vật đi kèm. Kết quả thu được sẽ góp phần bổ sung cơ sở dữ liệu thạch học cho than trong khu vực, đồng thời làm rõ đặc điểm của các maceral, xác định chất lượng than, và đánh giá tiềm năng ứng dụng trong các lĩnh vực công nghiệp hiện đại.



Hình 1. Sơ đồ vị trí của Mỏ than Khe Chàm, Quảng Ninh, Việt Nam.

2. Đặc điểm địa chất khu mỏ Khe Chàm

2.1. Địa chất khu mỏ

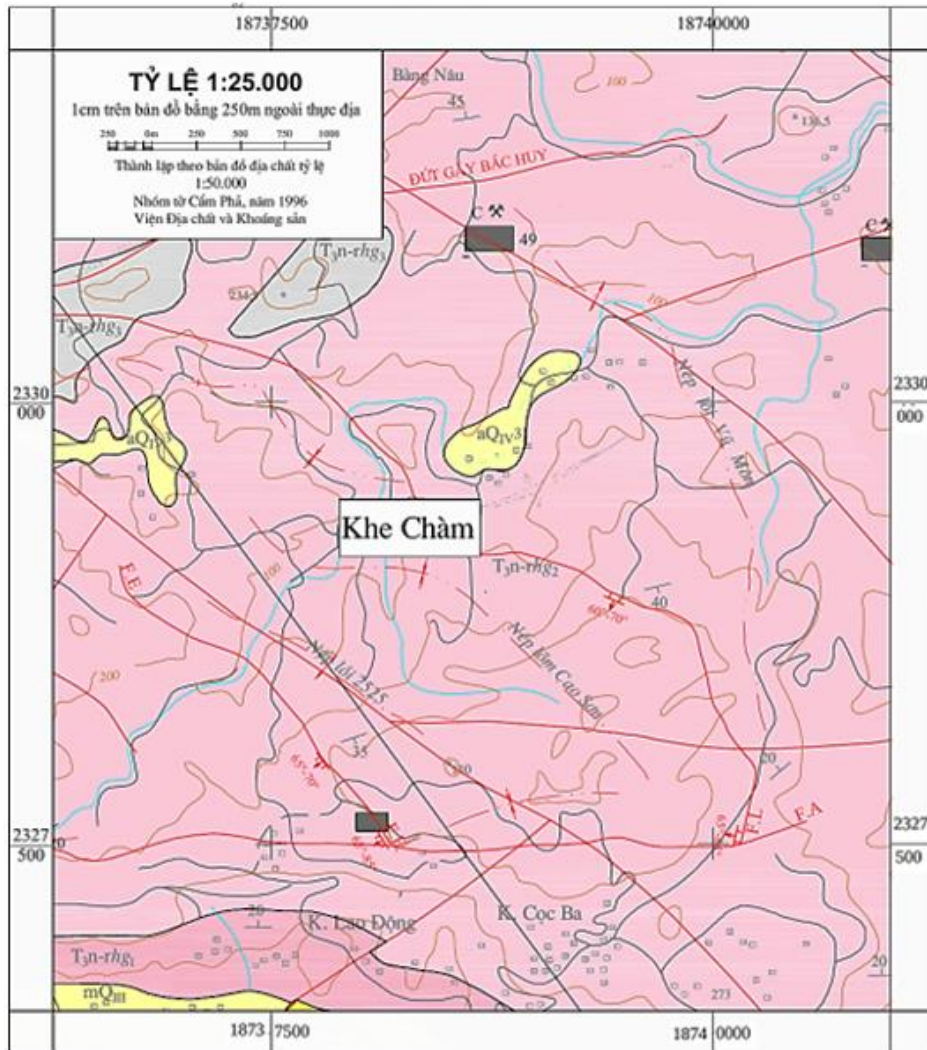
Trong khu vực mỏ Khe Chàm tồn tại hai hệ thống đứt gãy chính gồm hệ thống đứt gãy á vĩ tuyến (F Bắc Huy, F A-A...) và hệ thống đứt gãy trẻ chạy theo phương Tây Bắc - Đông Nam (FE, FL...). Hệ thống đứt gãy trẻ cắt hệ thống đứt gãy cổ tạo ra các khối sụt lún, và cũng chính điều này đã chia khu mỏ thành những khối địa chất có mật độ chứa than khác nhau (Hình 2; Nguyễn và nnk., 2020).

Hệ thống nếp uốn trong khu mỏ cũng chủ yếu chạy theo phương Tây Bắc - Đông Nam (nếp lồi Cao Sơn, nếp lồi 2525). Bên cạnh cũng có nếp lồi 375 chạy theo phương Đông - Tây và nếp lồi Vũ Môn chạy theo phương Tây Bắc - Đông Nam rồi dần chuyển đến phương Bắc - Nam (Hình 2).

Địa tầng khu mỏ gồm các đá thuộc hệ Trias, thống trên, bậc Nori - bậc Reti (T_{3n-rhg}) và các trầm tích lớp phủ đệ tứ. Có khoảng 30 vỉa than đã được phát hiện trong quá trình thăm dò, chúng phân bố ở phần trên và phần giữa của địa tầng này. Kết quả thăm dò mới nhất cho thấy các vỉa than có xu hướng vát mỏng về phía Bắc, có chiều dày ổn định hơn (đảm bảo quy mô công nghiệp) về phía Nam. Các loại đất đá thường gặp gồm cuội kết, sạn kết, cát kết.

Hoạt động kiến tạo phức tạp của khu mỏ đã ảnh hưởng nhiều đến sự phân bố của các vỉa than cũng như chất lượng và thành phần thạch học của than. Quá trình vận động kiến tạo cũng tạo điều kiện cho sự xâm nhập thứ sinh của các khoáng vật.

2.1.1. Trầm tích hệ Trias - Thống trên - Bậc Nori - Bậc Reti (T_{3n-rhg}).



Hình 2. Sơ đồ địa chất khu vực mỏ Khe Chàm.

Trầm tích hệ Trias phân bố trên toàn bộ khu mỏ. Chúng thường nằm ở giữa hai vỉa, phần lớn phân bố thành lớp dày hoặc không phân lớp mà tạo thành tầng dày, nằm chuyển tiếp theo nhịp từ cuội kết, sạn kết, cát kết. Thành phần chủ yếu là các hạt thạch anh, mảnh vụn quarzit với xi măng là silic, sét, carbonat, chalcedon. Ngoài ra còn thấy sự xuất hiện của bột kết và đá phiến sét, chúng thường xuất hiện ở giáp vỉa than (vách và trụ vỉa) hoặc là lớp kẹp trong vỉa (Lê và nnk., 1980).

2.1.2. Trầm tích Đệ Tứ.

Trầm tích Đệ Tứ phủ phủ chỉnh hợp góc lên các đá của hệ tầng Hòn Gai, phân bố hầu khắp khu mỏ. Trầm tích này chủ yếu là các tàn tích, bồi tích tập chung thành một dải về phía Tây của mỏ; ngoài ra, trầm tích lũ tích cũng phân bố tại các thung lũng suối với diện tích hẹp. Thành phần đất đá của trầm tích Đệ Tứ bao gồm cuội, sỏi, sét bờ rời và đôi chỗ xuất hiện các tầng lán. Đây là sản phẩm phong hóa từ các loại đá có trước (Nguyễn và nnk., 2020).

Trong bài báo này, nghiên cứu chỉ tập trung vào vỉa 10 - một vỉa than tương đối ổn định và hiện đang được khai thác. Vỉa 10 có đá vách đặc trưng là các trầm tích hạt thô như cuội kết và sạn kết. Vỉa nằm cách vỉa 9 từ 30÷140 m và nằm dưới vỉa 11 khoảng 95 m; không có lộ vỉa và phân bố rộng khắp toàn khu mỏ. Chiều dày riêng than trung bình của vỉa đạt khoảng 4,65 m. Vỉa có cấu tạo phức tạp, chứa từ 0÷8 lớp kẹp với chiều dày trung bình khoảng 0,39 m; độ dốc trung bình của vỉa khoảng 27° (Nguyễn và nnk., 2020).

2.2. Thu thập mẫu và phương pháp phân tích

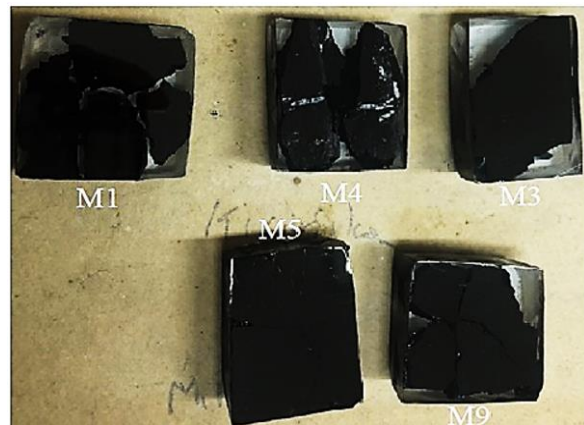
Nghiên cứu sử dụng các mẫu than antraxit được thu thập tại mỏ Khe Chàm, phường Mông Dương, tỉnh Quảng Ninh, Việt Nam. Tổng cộng 10 mẫu than được lấy từ các đường lò đang khai thác thuộc vỉa số 10 vào tháng 7 năm 2021. Quá trình lấy mẫu được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 5580:1991 nhằm đảm bảo tính đại diện cho đặc điểm địa chất của vỉa than trong khu vực nghiên cứu.

Ngay sau khi thu thập tại thực địa, các mẫu được bảo quản trong túi chân không nhằm hạn chế quá trình oxy hóa và mất ẩm, đồng thời được đóng gói cẩn thận để tránh nứt vỡ trong quá trình vận chuyển. Sau đó, các mẫu được gửi tới AGH University of Krakow để phục vụ công tác nghiên cứu.

Tại AGH, các mẫu được bàn giao cho bộ phận gia công mẫu thuộc Phòng thí nghiệm của Khoa Địa chất, Địa vật lý và Bảo vệ Môi trường nhằm tiến hành bảo quản và gia công phục vụ nghiên cứu thạch học. Quá trình gia công mẫu được thực hiện theo tiêu chuẩn của ICCP (1994). Trong tổng số 10 mẫu ban đầu, 05 mẫu đại diện đã được lựa chọn để chế tạo tiêu bản nghiên cứu và gia công đạt yêu cầu kỹ thuật. Ảnh 1 trình bày các mẫu than được lấy trực tiếp từ vỉa than tại thực địa, trong khi Ảnh 2 minh họa các mẫu sau khi gia công.



Ảnh 1. Các mẫu than được gửi sang Ba Lan phân tích.



Ảnh 2. 05 mẫu than đã được mài bóng để phân tích.

Cụ thể, mỗi mẫu than được nhúng trong nhựa epoxy và để đông cứng trong 24 giờ ở nhiệt độ 50°C. Sau khi đông cứng hoàn toàn, mẫu được cắt định hình theo kích thước tiêu chuẩn 1 × 2 × 3 cm. Tiếp theo, mẫu được mài thô bằng giấy nhám có cấp độ hạt từ grit 240÷600, sau đó được đánh

bóng bằng bột alumina ($0,3 \mu\text{m}$) trên vải nỉ, nhằm đạt được bề mặt có độ bóng thích hợp cho quan sát dưới kính hiển vi phản xạ. Toàn bộ các công đoạn từ chọn mẫu, ngâm nhựa, cắt định hình, mài thô đến đánh bóng tinh đều được thực hiện bằng hệ thống thiết bị hiện đại tại phòng thí nghiệm AGH University of Krakow.

Các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật truyền thống (ultimate and proximate analysis) của than được phân tích tại phòng thí nghiệm của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam thông qua Công ty Than Hạ Long. Quá trình lấy mẫu, thí nghiệm, chuyển giao kết quả được thực hiện nghiêm ngặt theo các tiêu chuẩn Việt Nam - TCVN (TCVN 5580:1991, TCVN 173:1975, TCVN 172:1975, TCVN 174:1986, TCVN 175:1986, TCVN 4920:1989, TCVN 200:1986, TCVN 254:1986 và TCVN 4778:1989). (Vietnam Standards and Quality Institute, 2001-2011).



Ảnh 3. Hình ảnh một số thiết bị được sử dụng trong quá trình gia công mẫu.

Ảnh 3 minh họa một số thiết bị được sử dụng trong quá trình gia công mẫu nghiên cứu.

Các mẫu than antraxit đã gia công được phân tích bằng kính hiển vi phản xạ tại AGH University of Krakow, sử dụng hệ thống Zeiss Axio Imager A1m và Zeiss Axioplan imaging Microscope. Quá trình quan sát được thực hiện dưới ánh sáng phản xạ với độ phóng đại 500 lần ($500\times$).

Thành phần maceral (bao gồm vitrinite, inertinite và liptinite) được xác định theo các hệ thống phân loại và tiêu chuẩn ICCP, bảo đảm độ chính xác và khả năng so sánh với các nghiên cứu quốc tế (ICCP, 1998, 2001; Pickel và nnk., 2017). Đặc biệt, độ phản xạ vitrinite (R_o) - chỉ tiêu quan trọng để phân loại mức độ biến chất của than - được đo tối thiểu 100 điểm cho mỗi mẫu, sử dụng

dầu ngâm có chiết suất $n = 1,518$ và ánh sáng đơn sắc bước sóng 546 nm .

Ngoài ra, các khoáng vật vô cơ đi kèm như pyrit, canxit và thạch anh cũng được nhận diện thông qua quan sát vi mô, nhằm đánh giá ảnh hưởng của chúng đến chất lượng và khả năng ứng dụng của than antraxit.

Trong bài báo này, tác giả đã tính giá trị trung bình ($\bar{x}$) và độ lệch chuẩn (S_d) theo các công thức sau:

- Giá trị trung bình $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Trong đó: $\bar{x}$ - giá trị trung bình; n - số lượng mẫu nghiên cứu, x_i : là giá trị của mẫu (quan sát) thứ i .

- Độ lệch chuẩn:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Trong đó: S_d - độ lệch chuẩn; $\bar{x}$ - giá trị trung bình; n - số lượng mẫu nghiên cứu, x_i : là giá trị của mẫu (quan sát) thứ i . Sau khi áp dụng công thức trên cho những chỉ tiêu được nghiên cứu, tác giả đã tính toán giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các chỉ tiêu, kết quả được trình bày trong Bảng 1.

3. Kết quả phân tích

Kết quả phân tích các chỉ tiêu vật lý và thành phần thạch học của 05 mẫu than antraxit tại mỏ Khe Chàm cho thấy sự biến thiên tương đối rõ về các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật truyền thống, thành phần maceral và hàm lượng khoáng vật vô cơ giữa các mẫu nghiên cứu (Bảng 1).

Cụ thể, hàm lượng tro của các mẫu dao động từ $5,12 \div 18,67\%$, trong đó mẫu M5 có hàm lượng tro thấp nhất ($5,12\%$) và mẫu M4 có hàm lượng tro cao nhất ($18,67\%$). Độ ẩm của các mẫu tương đối ổn định, dao động từ $2,72 \div 2,85\%$, với giá trị trung bình khoảng $2,79\%$. Nhiệt lượng dao động từ 31.083 kJ/kg ở mẫu M4 đến 33.037 kJ/kg ở mẫu M5, với giá trị trung bình $31.945,68 \text{ kJ/kg}$. Các kết quả chi tiết về đặc tính vật lý và thành phần thạch học của từng mẫu được trình bày trong Bảng 1.

Thành phần maceral của các mẫu than antraxit nghiên cứu có sự khác biệt đáng kể. Vitrinite là nhóm maceral chiếm ưu thế, với hàm lượng dao động từ 72÷100% và giá trị trung bình đạt 93%. Inertinite có hàm lượng thấp, dao động từ 0÷3%, trung bình 1,6%, trong khi liptinite dao động từ 0÷7%, trung bình 1,8%. Mẫu M4 có hàm lượng vitrinite thấp nhất (72%), đồng thời chứa liptinite cao nhất (7%) và inertinite đạt 3%. Ngược lại, mẫu M5 có thành phần vitrinite đạt 100%. Các kết quả này cho thấy mặc dù vitrinite chiếm ưu thế trong toàn bộ tập mẫu, thành phần maceral vẫn có sự biến đổi giữa các vị trí lấy mẫu (Bảng 1).

Quan sát dưới kính hiển vi phản xạ cho thấy ngoài các maceral, một số mẫu còn chứa các khoáng vật vô cơ và các pha khoáng thứ sinh phân bố trong các khe nứt của maceral (Ảnh 4). Các đặc

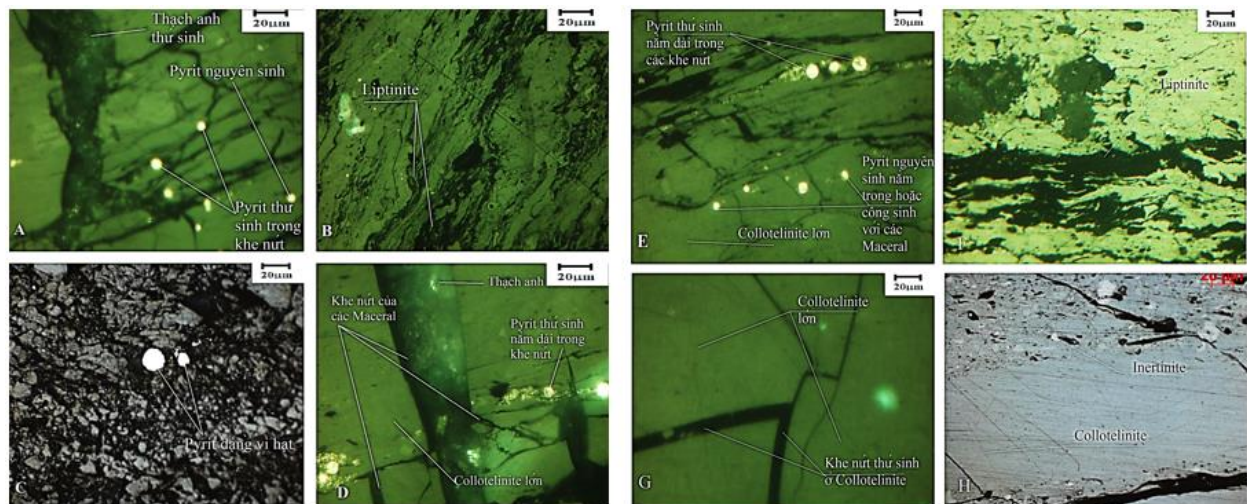
điểm vi mô này được thể hiện chi tiết qua các ảnh thành phần từ Ảnh 4A đến Ảnh 4H.

Tại Ảnh 4A, thạch anh thứ sinh và các hạt pyrit thứ sinh được quan sát rõ trong các khe nứt, đồng thời còn nhận thấy pyrit nguyên sinh nằm bên trong maceral. Đặc điểm này cho thấy pyrit trong mẫu tồn tại ở ít nhất hai kiểu phân bố khác nhau: pyrit nằm trong nền maceral và pyrit lấp đầy hoặc phân bố dọc theo các khe nứt.

Ảnh 4B cho thấy sự xuất hiện của liptinite trong nền vật chất hữu cơ. Liptinite có đặc điểm quang học khác biệt so với phần nền maceral xung quanh, cho phép nhận diện thành phần này dưới kính hiển vi phản xạ. Sự hiện diện của liptinite trong ảnh phù hợp với kết quả định lượng thành phần maceral của mẫu M4, trong đó liptinite đạt 7% (Bảng 1).

Bảng 1. Chi tiết các đặc tính vật lý, thành phần maceral và tỷ lệ khoáng vật vô cơ của mẫu than.

Tên mẫu	Độ tro (%)	Độ ẩm (%)	Nhiệt lượng (kJ/kg)	Chiều dày lấy mẫu (m)	Độ cao so với trụ vỉa (m)	Vitrinite (%)	Liptinite (%)	Inertinite (%)	Khoáng vật vô cơ (%)
M1	6,66	2,85	31660	1,5	0,5	98	0	2	0
M3	5,58	2,72	32158	1,6	2,5	98	0	2	0
M4	18,67	2,74	31083	0,73	0,5	72	7	3	18
M5	5,12	2,84	33037	2,8	1,5	100	0	0	0
M9	5,72	2,81	31790	1,6	2,5	97	2	1	0
$\bar{x}$			31945,68			93	1,8	1,6	3,6
SD			645,9			10,5	2,7	1,0	7,2



Ảnh 4. Đặc điểm thạch học và khoáng vật dưới kính hiển vi phản xạ của than antraxit mỏ Khe Chàm: (A) thạch anh thứ sinh, pyrit nguyên sinh và pyrit thứ sinh trong khe nứt; (B) liptinite; (C) pyrit dạng vi hạt; (D) collotelinite kích thước lớn với pyrit và thạch anh thứ sinh trong khe nứt; (E) pyrit nguyên sinh, pyrit thứ sinh và collotelinite; (F) liptinite; (G) collotelinite kích thước lớn bị cắt bởi khe nứt thứ sinh; (H) collotelinite và inertinite.

Tại Ảnh 4C, pyrit xuất hiện dưới dạng các vi hạt sáng phân bố trong nền mẫu. Hình thái vi hạt của pyrit cho thấy khoáng vật sulfide này không chỉ tập trung trong các khe nứt lớn mà còn có thể tồn tại dưới dạng các hạt kích thước nhỏ phân tán trong than.

Ảnh 4D thể hiện rõ một collotelinite kích thước lớn bị phát triển nhiều khe nứt. Dọc theo các khe nứt quan sát thấy pyrit thứ sinh và thạch anh thứ sinh. Sự phân bố của các khoáng vật này trong hệ thống khe nứt cho thấy chúng hình thành hoặc được tái phân bố sau quá trình hình thành maceral và sau khi các khe nứt phát triển.

Đặc điểm pyrit liên quan đến hệ thống khe nứt tiếp tục được thể hiện rõ ở Ảnh 4E. Trong ảnh này, pyrit thứ sinh nằm trong các khe nứt của collotelinite, trong khi một số hạt pyrit khác nằm trong hoặc gần maceral được xác định là pyrit nguyên sinh. Collotelinite kích thước lớn đồng thời thể hiện rõ các khe nứt cắt qua, cho thấy vật chất hữu cơ đã chịu tác động của quá trình biến dạng sau khi hình thành.

Ảnh 4F tiếp tục ghi nhận sự xuất hiện của liptinite. Đặc điểm này, cùng với Ảnh 4B, cung cấp bằng chứng hiển vi cho kết quả phân tích định lượng liptinite trong mẫu M4. Đây cũng là mẫu có hàm lượng liptinite cao nhất trong 05 mẫu nghiên cứu, đạt 7% (Bảng 1).

Tại Ảnh 4G, collotelinite xuất hiện với kích thước lớn và bị cắt bởi các khe nứt thứ sinh. Các khe nứt phát triển xuyên qua collotelinite làm mất tính liên tục của maceral, phản ánh tác động cơ học xảy ra sau quá trình hình thành than.

Cuối cùng, Ảnh 4H cho thấy sự tồn tại đồng thời của collotelinite và inertinite. Inertinite xuất hiện xen trong nền collotelinite và có đặc điểm quang học khác biệt rõ. Quan sát này phù hợp với kết quả phân tích định lượng, trong đó mẫu M4 có hàm lượng inertinite 3%, cao nhất trong số các mẫu được nghiên cứu (Bảng 1).

Nhìn chung, kết quả quan sát từ Ảnh 4A-4H cho thấy mẫu M4 có thành phần thạch học phức tạp hơn các mẫu còn lại, thể hiện ở hàm lượng vitrinite thấp hơn (72%), sự hiện diện của liptinite (7%), inertinite (3%) và hàm lượng khoáng vật vô cơ cao (18%). Trong khi đó, các mẫu M1, M3 và M5 không ghi nhận khoáng vật vô cơ trong kết quả định lượng, còn mẫu M9 chỉ có lượng khoáng vật đi kèm rất nhỏ. Sự xuất hiện của pyrit và thạch anh dọc theo các khe nứt của collotelinite trong Ảnh

4A, 4D và 4E, cùng với hệ thống khe nứt phát triển trong collotelinite ở Ảnh 4G, cho thấy các mẫu than đã trải qua các quá trình biến đổi sau khi hình thành.

Độ phản xạ trung bình của vitrinite ($AvRo$) được xác định khoảng 2,83%. Giá trị này, kết hợp với sự chiếm ưu thế của vitrinite và các đặc điểm quan sát dưới kính hiển vi, là cơ sở để đánh giá mức độ biến chất cao của than antraxit Khe Chàm

4. Thảo luận

Kết quả phân tích thạch học, các chỉ tiêu vật lý và độ phản xạ vitrinite cho thấy than antraxit tại mỏ Khe Chàm có mức độ trưởng thành cao và thuộc nhóm than biến chất cao theo phân loại của International Committee for Coal and Organic Petrology và United Nations Economic Commission for Europe. Tuy nhiên, để đảm bảo cách diễn giải phù hợp với nguyên lý thạch học than, cần phân biệt rõ vai trò của thành phần maceral với các chỉ tiêu phản ánh mức độ biến chất.

4.1. Thành phần maceral và ý nghĩa về nguồn gốc - môi trường trầm tích

Thành phần maceral của than Khe Chàm với thành phần chủ yếu là vitrinite (72÷100%, trung bình đạt 93%) cho thấy sự ưu thế rõ của nhóm vitrinite. Đặc điểm này có ý nghĩa đối với đánh giá tính chất và khả năng sử dụng than, trong đó thành phần thạch học đã được chứng minh có ảnh hưởng đến hành vi khí hóa (Bielowicz & Misiak, 2020). Ở mỏ Khe Chàm, maceral của nhóm vitrinite chủ yếu là collotelinite. Đặc điểm này phản ánh môi trường hình thành than tương đối ổn định, có điều kiện yếm khí thuận lợi cho quá trình tích tụ và bảo tồn vật chất hữu cơ. Nguồn vật chất hữu cơ ban đầu tham gia quá trình tạo than được cho là tảo, váng tảo và các loại thực vật bậc thấp.

Sự xuất hiện phổ biến của collotelinite có kích thước lớn và cấu trúc tương đối đồng nhất có thể phản ánh điều kiện khí hậu ổn định, môi trường nóng ẩm và bối cảnh địa chất ít biến động kiến tạo. Những điều kiện này tạo thuận lợi cho sự phát triển mạnh của tảo và các thực vật bậc thấp tại các hồ, đầm lầy lớn ngập nước, từ đó cung cấp nguồn vật chất hữu cơ dồi dào và môi trường ổn định cho quá trình tạo than (Taylor và nnk., 1998).

Cần nhấn mạnh rằng, theo quan điểm thạch học than hiện đại, thành phần maceral (bao gồm sự ưu thế của vitrinite hay sự hiện diện của liptinite và inertinite) chủ yếu phản ánh: (i) loại vật liệu hữu cơ ban đầu và (ii) điều kiện trầm tích - môi trường tích tụ than. (Taylor và nnk., 1998).

4.2. Mức độ biến chất của than và ý nghĩa của độ phản xạ vitrinite

Mức độ biến chất của than Khe Chàm được xác định độc lập thông qua độ phản xạ vitrinite (Ro dao động từ $2,17 \div 3,63\%$, trung bình $\sim 2,83\%$). Giá trị này nằm trong khoảng đặc trưng của than antraxit (Hình 3), xác nhận mức độ biến chất cao và giai đoạn tiến hóa muộn của quá trình than hóa. Mức độ biến chất cao này có thể liên quan đến các yếu tố sau:

- Quá trình chôn vùi sâu trong bể trầm tích;
- Ảnh hưởng nhiệt từ các pha magma xâm nhập trong khu vực Quảng Ninh;
- Hoạt động kiến tạo muộn làm gia tăng nhiệt độ và áp suất (Nguyễn và nnk., 2015).

Các đặc điểm vật lý đi kèm như độ ẩm thấp ($\sim 2,79\%$), nhiệt trị cao (~ 31.946 kJ/kg) và hàm lượng chất bốc thấp hoàn toàn phù hợp với đặc trưng của than cấp cao, qua đó tiếp tục củng cố nhận định về mức độ biến chất mạnh của than Khe Chàm.

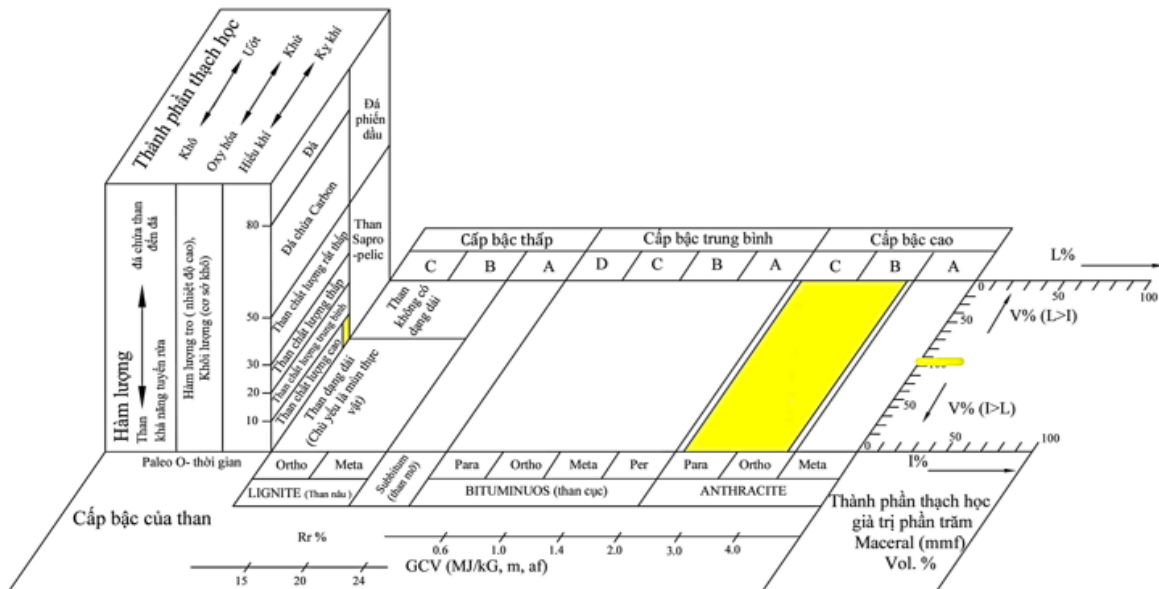
4.3. Biến thiên maceral và vai trò của môi trường trầm tích - kiến tạo

Các đặc điểm thạch học nêu trên được thể hiện rõ qua ảnh hiển vi maceral (Ảnh 5), trong đó collotelinite chủ yếu có kích thước lớn và dạng kéo dài, một số vị trí chứa inertinite hoặc phát triển các khe nứt trong maceral. Sự biến thiên rõ rệt về hàm lượng vitrinite ($72 \div 100\%$), liptinite ($0 \div 7\%$) và các khoáng vật vô cơ phản ánh tính không đồng nhất của môi trường lắng đọng cũng như quá trình tiến hóa sau trầm tích của vỉa than. Mẫu M4 là trường hợp đặc biệt với các đặc điểm nổi bật gồm:

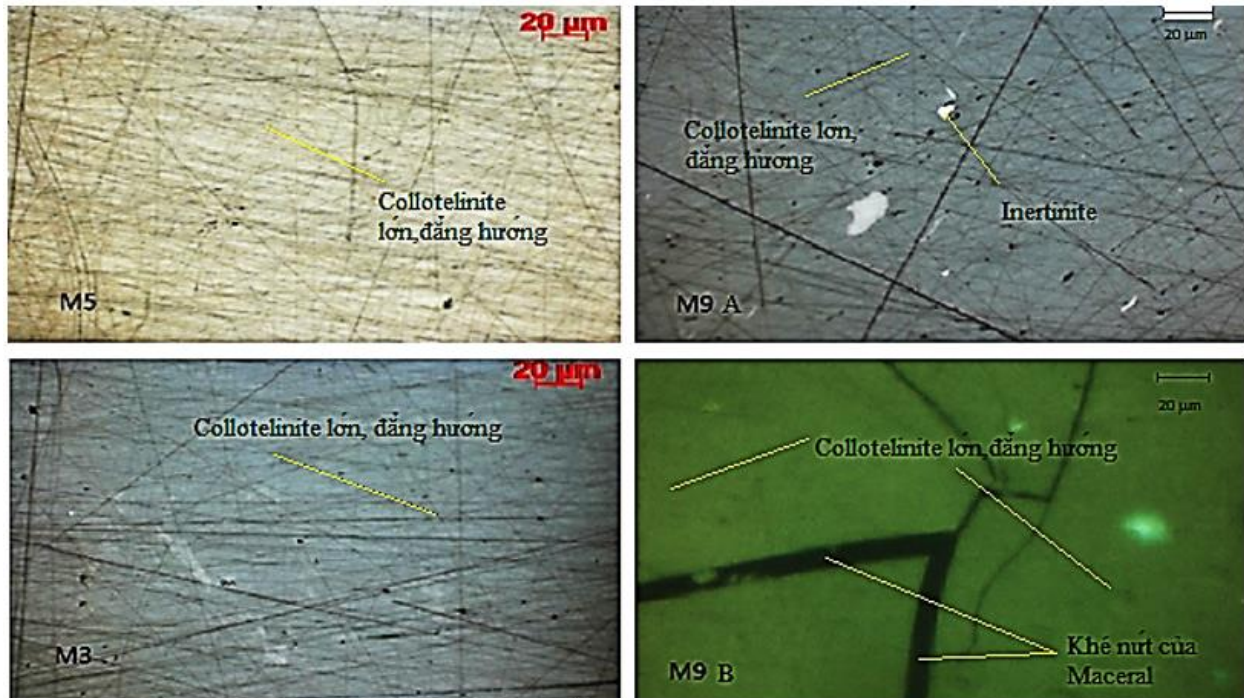
- Hàm lượng vitrinite thấp (72%);
- Hàm lượng liptinite cao (7%);
- Hàm lượng inertinite (3%) - cao nhất trong các mẫu nghiên cứu.

Những đặc điểm này cho thấy mẫu than có khả năng được hình thành trong môi trường đầm lầy ngập nước, giàu vật chất hữu cơ mềm như tảo và mô lá thực vật, nơi điều kiện khử mạnh thuận lợi cho sự bảo tồn các thành phần giàu hydrogen. Sự gia tăng hàm lượng liptinite trong mẫu này cũng gợi ý tiềm năng sinh khí tương đối cao trong quá trình nhiệt phân. Ngoài ra, sự phân bố của các khoáng vật vô cơ như pyrit, thạch anh và canxit trong các khe nứt của maceral, đặc biệt là collotelinite, phản ánh ảnh hưởng của:

- Hoạt động kiến tạo phá hủy;
- Sự xâm nhập của các dung dịch nhiệt dịch tạo khoáng;
- Quá trình biến đổi và kết tinh thứ sinh diễn ra sau khi than hình thành.



Hình 3. Phân loại than Khe Chàm trong hệ thống phân loại chung của UNECE.



Ảnh 5. Đặc điểm hình thái maceral trong các mẫu than Khe Chàm: M5 và M3 - collotelinite kích thước lớn, dạng kéo dài; M9A - collotelinite kích thước lớn chứa inertinite; M9B - collotelinite kích thước lớn với các khe nứt phát triển trong maceral.

Đây là những đặc điểm điển hình của các bề than chịu ảnh hưởng mạnh của hoạt động kiến tạo, phù hợp với bối cảnh địa chất phức tạp của khu vực Đông Bắc Việt Nam.

4.4. So sánh với các mỏ antraxit điển hình

So sánh với than antraxit tại Yangquan Coalfield - cho thấy:

Hàm lượng vitrinite tương đương hoặc cao hơn (70÷90% so với giá trị trung bình 93%);

Độ phản xạ vitrinite nằm trong cùng khoảng giá trị (2,5÷3,5%);

Hàm lượng tro tương đương (5÷15%).

Tuy nhiên, than Khe Chàm thể hiện mức độ biến thiên nội tại lớn hơn, đặc biệt ở mẫu M4, phản ánh sự chi phối mạnh của điều kiện trầm tích và hoạt động kiến tạo khu vực.

4.5. So sánh với tiêu chuẩn sử dụng than antraxit trong một số ngành công nghiệp

Để đánh giá giá trị ứng dụng của than Khe Chàm, các chỉ tiêu đặc trưng của than được so sánh với yêu cầu kỹ thuật trong một số lĩnh vực công nghiệp, kết quả được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. So sánh các chỉ tiêu đặc trưng của than antraxit Khe Chàm với yêu cầu sử dụng trong một số ngành công nghiệp

Chỉ tiêu	Khe Chàm	Luyện kim	Khí hóa	Vật liệu carbon
Vitrinite (%)	72÷100 (TB 93)	>70	>60	>80
Inertinite (%)	0÷3	<10	<15	<5
Ro (%)	2,17÷3,63	2,5÷3,5	2÷4	>2,8
Độ tro (%)	5,12÷18,67	<10	<15	<8
Độ ẩm (%)	~2,79	<5	<10	<3
Nhiệt trị (kJ/kg)	~31.946	>28.000	>25.000	Không yêu cầu

Nhận xét:

- Các mẫu M1, M3, M5 và M9 có chất lượng cao, đáp ứng tốt yêu cầu cho các lĩnh vực luyện kim và khí hóa than;

- Mẫu M5 (vitrinite gần như 100%, Ro cao) cho thấy tiềm năng ứng dụng trong sản xuất vật liệu carbon cao cấp (Li và nnk., 2023);

- Mẫu M4 cần được xử lý tuyển rửa do có lượng inertinite cao (Taylor và nnk, 1998) và khoáng vật vô cơ cao.

4.6. Ý nghĩa công nghiệp và định hướng sử dụng

Với đặc điểm giàu vitrinite, độ phản xạ cao, độ ẩm thấp và nhiệt trị lớn, than Khe Chàm có tiềm năng ứng dụng trong các lĩnh vực sau:

(1) Luyện kim: Sử dụng làm nhiên liệu cho quá trình thiêu kết hoặc làm phụ gia thay thế một phần than cốc (Speight, 2015).

(2) Khí hóa và năng lượng sạch: Làm nguyên liệu cho quá trình sản xuất khí tổng hợp (syngas), phù hợp với công nghệ sản xuất hydrogen sử dụng lò đốt tầng cố định (Tremel và nnk., 2012).

(3) Vật liệu carbon tiên tiến: Sử dụng trong sản xuất graphite tổng hợp, điện cực, vật liệu nano carbon và graphene, đặc biệt đối với các mẫu có độ phản xạ vitrinite cao (Li và nnk., 2022).

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định rằng than antraxit tại mỏ Khe Chàm có mức độ biến chất cao, thuộc loại para-antraxit (Ro trung bình khoảng ~2,83%, với vitrinite chiếm ưu thế, đặc biệt là collotelinite có kích thước lớn và cấu trúc tương đối đồng nhất. Hàm lượng tro và độ ẩm thấp, kết hợp với nhiệt trị cao (trung bình khoảng 31.946 kJ/kg), cho thấy tiềm năng lớn của loại than này trong các ứng dụng năng lượng và khí hóa sản xuất hydrogen.

Tính không đồng nhất của vỉa than được thể hiện thông qua sự biến thiên về thành phần maceral và khoáng vật vô cơ. Trong đó, mẫu M4 có đặc điểm khác biệt với hàm lượng liptinite và khoáng vật vô cơ cao, do đó cần được xử lý sơ bộ (tuyển - rửa) trước khi sử dụng. Các mẫu còn lại (M1, M3 và M5) có chất lượng cao và phù hợp cho sử dụng trực tiếp.

Nghiên cứu cũng đề xuất cần phân tách sản phẩm theo từng khu vực hoặc vị trí vỉa nhằm tối ưu hóa quá trình chế biến và sử dụng than, đồng thời tăng cường công tác giám sát khí mỏ và kiểm soát môi trường trong quá trình khai thác. Đây là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo về tiềm năng sản xuất hydrogen, nguồn gốc khoáng hóa và ảnh hưởng của điều kiện địa chất đến chất lượng than tại khu vực mỏ.

Đóng góp của tác giả

Phạm Việt Dũng - khảo sát thực địa, thu thập mẫu than và số liệu địa chất, phân tích đặc điểm thạch học than, viết nội dung bài báo; Ngô Xuân Đắc - đề xuất ý tưởng nghiên cứu, định hướng nội dung khoa học và phương pháp tiếp cận, tổng hợp, phân tích và luận giải kết quả theo hướng ứng dụng công nghiệp, biên tập và hoàn thiện bản thảo bài báo; Đỗ Mạnh Dũng - nghiên cứu bối cảnh địa chất - kiến tạo khu vực mỏ Khe Chàm, phân tích mối quan hệ giữa đặc điểm biến chất than và điều kiện địa chất; Nguyễn Hoàng Huấn - xử lý và trình bày số liệu phân tích, tham gia viết phần kết quả; Phạm Văn Chương - đánh giá chất lượng than và ý nghĩa công nghiệp; Võ Thị Công Chính - tham gia rà soát tài liệu, trong và ngoài nước, góp ý hoàn thiện cấu trúc bài báo và chỉnh sửa ngôn ngữ khoa học.

Tài liệu tham khảo

- Bielowicz, B., & Misiak, J. (2020). The impact of coal's petrographic composition on its suitability for the gasification process: The example of Polish deposits. *Resources*, 9(9), 111. <https://doi.org/10.3390/resources9090111>.
- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP). (1994). The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel*, 77(5), 349-358. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(98\)80024-0](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)80024-0).
- Lê, Đ. T. (1980). *Thuyết minh "Thăm dò tỉ mỉ khu Khe Chàm, mỏ than Cẩm Phả, Quảng Ninh"*. Trung tâm Thông tin, Lưu trữ và Bảo tàng Địa chất (T181).
- Li, K., Cao, H., Rimmer, S. M., Zhang, H., Li, X., Zhang, Y., & Liu, Q. (2023). Petrographic features and carbon structural evolution of a series of high-temperature treated anthracites. *International Journal of Coal Geology*, 277, 104356. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2023.104356>.
- Li, R., Tang, Y., Che, Q., Ma, P., Luo, P., Lu, X., & Dong, M. (2022). Effects of coal rank and macerals on the structure characteristics of coal-based graphene materials from anthracite in Qinshui Coalfield. *Minerals*, 12(5), 588. <https://doi.org/10.3390/min12050588>.

- Nguyễn, H. H., Đỗ, M. D., Vũ, A. T., Nguyễn, T. H., Đỗ, X. K., & Nguyễn, T. A. (2020). *Báo cáo kết quả thăm dò than khu mỏ Khe Chàm, thành phố Cẩm Phả, tỉnh Quảng Ninh*. Công ty Cổ phần Tin học, Công nghệ, Môi trường Vinacomin.
- Nguyen, V. T., Phan, T. T., & Pham, K. H. (2015). Magmatic activities and tectonic implications in the northeastern Vietnam region: Evidence from petrographic and geochemical data. *Journal of Geosciences*, 60(2), 87-104.
- Pickel, W., Kus, J., Flores, D., Kalaitzidis, S., Christanis, K., Cardott, B. J., ... & Wagner, N. I. C. P. (2017). Classification of liptinite-ICCP System 1994. *International Journal of Coal Geology*, 169, 40-61. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.11.004>.
- Speight, J. G. (2015). *Handbook of coal analysis* (2nd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119037699>.
- Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R., & Robert, P. (1998). *Organic petrology*. Gebrüder Borntraeger.
- Tremel, A., Haselsteiner, T., Kunze, C., & Spliethoff, H. (2012). Experimental investigation of high temperature and highpressure coal gasification. *Applied Energy*, 92, 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.009>.
- Vietnam Standards and Quality Institute. (2001-2011). *TCVN 172:2001; TCVN 173:2001; TCVN 174:2011; TCVN 200:2011*.