

Journal of Mining and Earth Sciences

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

Establishing mining deposit groups and exploration grid patterns in the Binh Minh Coal Mine, Quang Ninh Province by using Geo-mathematical models



An Manh Do ^{1,*}, Dung Tien Nguyen ¹, Thao Thanh Thi Nguyen ¹, Huan Hoang Nguyen², Anh Tuan Pham ², Tuan Ba Dinh ²

¹ Faculty of Geoengineering and Geoscience, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Vinacomin Informatics, Technology, Environment Joint stock Company, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23rd Nov. 2021

Accepted 17th Mar. 2022

Available online 30th Apr. 2022

Keywords:

Binh Minh Coal Mine,
Deposit group,
Exploration grid pattern,
Mathematical model,
Quang Ninh.

ABSTRACT

Binh Minh mine is one of the major mines of the Quang Ninh coal basin and contributes significantly to the country's annual coal reserves. Based on collected data, the paper has synthesized and processed geological data especially applied mathematical methods to identify research objects and describe quantitative properties. The results indicate that the coal seams belong to the group of medium and thick seams, the thickness of the entire seam changes complicatedly, with variable thickness are unstable, its coefficient of variation ($V_m = 53.5$ and 97.7%); the variable slope angle is stable ($V_\alpha = 29.4$ and 44.1%); coal ash level is relatively stable ($V_A = 56.1$ and 74.6%). Coal seams in the group of seams have a level of complexity from simple to relatively complex with the coefficient of formation ($K_{cc} = 0.84$ and 0.96); rate of interbedding rock ($K_k = 8$ and 24%); thickness of interbedding rock ($M_k = 0.16$ and 1.34 m). Quantitative calculation results have shown that the Binh Minh coal deposit belongs to the type III of mining exploration groups. For an exploration of this type of mineral, it is recommended to use a linear grid pattern. The appropriate exploration grid pattern for reserve level 122 is $(200 \div 250) \times (90 \div 100)$ m. Research results are the basis for proposing technical means of coal exploration in mines and areas with similar geological and mineral conditions.

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: domanhan@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).02



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Ứng dụng mô hình toán địa chất trong xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò than mỏ Bình Minh, Quảng Ninh

Đỗ Mạnh An^{1,*}, Nguyễn Tiến Dũng¹, Nguyễn Thị Thanh Thảo¹, Nguyễn Hoàng Huân², Phạm Tuấn Anh², Đinh Bá Tuấn²

¹ Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Công ty Cổ phần Tin học, Công nghệ, Môi trường - Vinacomin, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 23/11/2021

Chấp nhận 17/3/2022

Đăng online 30/4/2022

Từ khóa:

Mạng lưới thăm dò,
Mô hình toán,
Mỏ than Bình Minh,
Nhóm mỏ,
Quảng Ninh.

TÓM TẮT

Mỏ than Bình Minh là một trong những mỏ lớn của bể than Quảng Ninh đã cung cấp trữ lượng khai thác đáng kể phục vụ nhu cầu tiêu thụ than của cả nước. Trên cơ sở dữ liệu thu thập, tổng hợp, xử lý số liệu, cũng như ứng dụng mô hình toán địa chất, các thông số địa chất vỉa than mỏ Bình Minh đã được nhận dạng và nghiên cứu định lượng. Kết quả nghiên cứu cho thấy các vỉa than thuộc nhóm vỉa trung bình đến dày, chiều dày vỉa biến đổi thuộc loại không ổn định ($V_m = 53,5 \div 97,7\%$); góc dốc vỉa biến đổi thuộc loại ổn định ($V_\alpha = 29,4 \div 44,1\%$); độ tro than tương đối đồng đều ($V_A = 56,1 \div 74,6\%$). Các vỉa than thuộc nhóm vỉa đơn giản đến tương đối phức tạp với hệ số cấu tạo vỉa ($K_{cc} = 0,84 \div 0,96$); tỷ lệ đá kẹp ($K_k = 8 \div 24\%$); chiều dày đá kẹp ($M_k = 0,16 \div 1,34$ m). Từ kết quả tính toán định lượng đã xác lập được mỏ than Bình Minh thuộc nhóm mỏ thăm dò phức tạp (nhóm mỏ loại III), để thăm dò với nhóm mỏ dạng này nên sử dụng mạng lưới thăm dò dạng tuyến. Kết quả tính toán theo phương pháp thống kê và hàm ngẫu nhiên ổn định cho thấy, để thăm dò mỏ than Bình Minh đạt cấp trữ lượng 122, mạng lưới thăm dò phù hợp là $(200 \div 250) \times (90 \div 100)$ m. Đây là cứ liệu góp phần lựa chọn mạng lưới, thiết kế phương án thăm dò bổ sung mỏ than Bình Minh nói riêng, cũng như áp dụng định hướng ở các khu vực có điều kiện địa chất khoáng sản tương tự nói chung.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trên thế giới, các phương pháp toán địa chất nghiên cứu cấu trúc các thân khoáng sản để từ đó xây dựng mạng lưới thăm dò hợp lý, góp phần

nâng cao hiệu quả của công tác thăm dò, đánh giá chất lượng và trữ lượng khoáng sản luôn được các nhà địa chất quan tâm nghiên cứu (Matheron, 1963; Krumbein, 1968; Cressie, 1993; Gandhi và Sarkar, 2016). Nhiều tài liệu tiêu biểu liên quan đến nội dung mô hình hóa thân khoáng sử dụng các phương pháp toán đã được công bố (Albarède, 1996; Davis, 2002; Webster và Oliver, 2007). Trong các tài liệu này, các tác giả đã đi sâu trình

*Tác giả liên hệ

E - mail: domanhan@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).02

bày sử dụng các mô hình toán từ thống kê một chiều đến thống kê đa chiều trong nghiên cứu địa chất, trong đó có nghiên cứu mô hình hóa các thân khoáng. Các nội dung trong tài liệu cho thấy, việc mô hình hóa các thân khoáng dựa trên các yếu tố địa chất có ý nghĩa quan trọng, định hướng cho công tác thăm dò và khai thác khoáng sản. Đối với khoáng sản than, trên thế giới cũng đã có nhiều nhà khoa học áp dụng mô hình toán địa chất để giải quyết các nhiệm vụ đa dạng trong thực tế. Saikia (Saikia & Sarkar, 2006; Saikia và nnk., 2007; Saikia và nnk., 2013) đã sử dụng mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định kết hợp với thuật toán kriging để xử lý các thông số địa chất công nghiệp vỉa than, trên cơ sở đó phân tích định lượng mối quan hệ không gian của các thông số nghiên cứu với chiều dày vỉa và đề xuất mạng lưới thăm dò 300 x 300 m với mật độ 16 lỗ khoan/1 km² cho mỏ than Jharia (Ấn Độ). Kết quả nghiên cứu khẳng định hệ phương pháp có thể được áp dụng trong tối ưu hóa mạng lưới thăm dò đối với các mỏ than có điều kiện địa chất tương tự. Sarkar và cộng sự (2007) đã sử dụng phương pháp địa thống kê trong đánh giá độ chứa khí metan theo các tầng, khối khai thác ở mỏ Jharia (Ấn Độ). Kết quả nghiên cứu cung cấp dữ liệu đầy đủ, chính xác phục vụ cho công tác thiết kế khai thác mỏ. Olea và cộng sự (2011) dựa trên bộ cơ sở dữ liệu lỗ khoan thăm dò qua các giai đoạn và sử dụng phương pháp địa thống kê để đánh giá mạng lưới thăm dò áp dụng ở mỏ than Texas (Mỹ), kết quả nghiên cứu đã chỉ ra hạn chế của mạng lưới đang áp dụng trong khu mỏ, đồng thời đề xuất mạng lưới thăm dò bổ sung với các khối trữ lượng phục vụ khai thác (Olea và nnk., 2011). Heriawan và Koike (2008) đã sử dụng mô hình thuật toán kriging đơn biến và đa biến trong đánh giá các dữ liệu về đặc điểm biến đổi hình dạng, chiều dày vỉa cùng các thông số địa chất công nghiệp khác như độ tro, hàm lượng Na, tổng lưu huỳnh và nhiệt lượng để đánh giá mối quan hệ tương quan không gian các thông số nghiên cứu, từ đó đánh giá môi trường thành tạo than và các yếu tố ảnh hưởng đến cấu trúc, chiều dày vỉa và chất lượng than ở mỏ Borneo, Indonesia (Heriawan & Koike, 2008). Hindistan và cộng sự (2010) đã áp dụng mô hình địa thống kê để đánh giá mức độ biến đổi thông số nhiệt lượng dựa theo số liệu thu thập từ các vị trí lò chợ, trên cơ sở đó kiểm soát chất lượng than trong quá trình khai thác. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả của

việc sử dụng mô hình địa thống kê trong quản lý chất lượng và định hướng kế hoạch khai thác mỏ trong ngắn hạn (Hindistan và nnk., 2010). Nhìn chung, các kết quả nghiên cứu nêu trên cho thấy hiệu quả của việc sử dụng các phương pháp toán địa chất trong mô hình hóa thân khoáng, từ đó định hướng cho công tác thăm dò cũng như khai thác mỏ đạt hiệu quả cao.

Hiện nay, đối với khoáng sản than ở nước ta, mạng lưới thăm dò của từng mỏ được lựa chọn dựa theo quy định tại Quyết định số 25/2007/QĐ-BTNMT ngày 31/12/2007 của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2007) về thăm dò, phân cấp trữ lượng và tài nguyên than. Nhìn chung, mạng lưới thăm dò quy định trong quy phạm trên cơ bản và phù hợp, các kết quả thăm dò dựa theo mạng lưới thăm dò quy định đã góp phần giúp các doanh nghiệp tiến hành lập báo cáo tính trữ lượng trình hội đồng đánh giá trữ lượng khoáng sản quốc gia phê duyệt làm cơ sở lập dự án khai thác mỏ. Mặc dù vậy, trên thực tế sản xuất và trong quá trình khai thác khoáng sản, một số vấn đề hạn chế đã xảy ra như: mạng lưới thăm dò không hoàn toàn phù hợp đặc điểm địa chất mỏ, khoảng cách các lỗ khoan thăm dò khá xa nhau nên không phản ánh đúng được chiều dày, thể nằm và các yếu tố vỉa than,... Điều này dẫn đến việc khai thác than gặp nhiều khó khăn, ảnh hưởng kế hoạch khai thác, làm tăng chi phí khai thác, cũng như không đảm bảo được công suất khai thác như theo dự kiến ban đầu (Phạm Tuấn Anh và nnk., 2010). Trong trường hợp này, vấn đề đặt ra cho các nhà địa chất mỏ là bố trí mạng lưới công trình thăm dò bổ sung phù hợp, đạt được mục tiêu thăm dò, vừa đảm bảo độ tin cậy của trữ lượng và hiệu quả kinh tế, vừa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Tác giả Đỗ Mạnh An (2018) đã sử dụng phương pháp toán địa chất, địa thống kê trong nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của đặc điểm cấu trúc địa chất các vỉa than trong đánh giá trữ lượng, tài nguyên than cũng như định hướng lựa chọn mạng lưới thăm dò mỏ than Mạo Khê (Đỗ Mạnh An và nnk., 2018).

Hiện nay, mạng lưới thăm dò trong toàn khu mỏ Bình Minh là không đồng đều. Khu vực phía đông mỏ Bình Minh đã được thăm dò với mạng lưới tuyến cách tuyến là 200 m÷250 m và mạng lưới công trình khoan trên tuyến là 100÷150 m, khu vực còn lại về phía tây có mức độ nghiên cứu rất hạn chế, mạng lưới thăm dò còn thưa, chỉ

tương đương với mức tìm kiếm, tài liệu hiện có chưa đủ cơ sở đánh giá trữ lượng cho từng vỉa (Nguyễn Văn Cư và nnk., 2001). Thực tế trong quá trình khai thác than khu vực phía đông mỏ Bình Minh, nhiều diện tích khai thác không gặp than, phải đan xen thêm các lỗ khoan thăm dò mới vào giữa những vị trí lỗ khoan của mạng lưới thăm dò. Như vậy, mạng lưới thăm dò cũ không phù hợp do kết quả thăm dò không chỉ ra được sự thay đổi chiều dày, cũng như thế nằm của các vỉa than, dẫn tới việc đào các lò khai thác bị lệch so với dự kiến. Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng mô hình toán nhằm xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò than mỏ Bình Minh, tỉnh Quảng Ninh là nhiệm vụ cần thiết, có tính ứng dụng vào thực tế hiện nay.

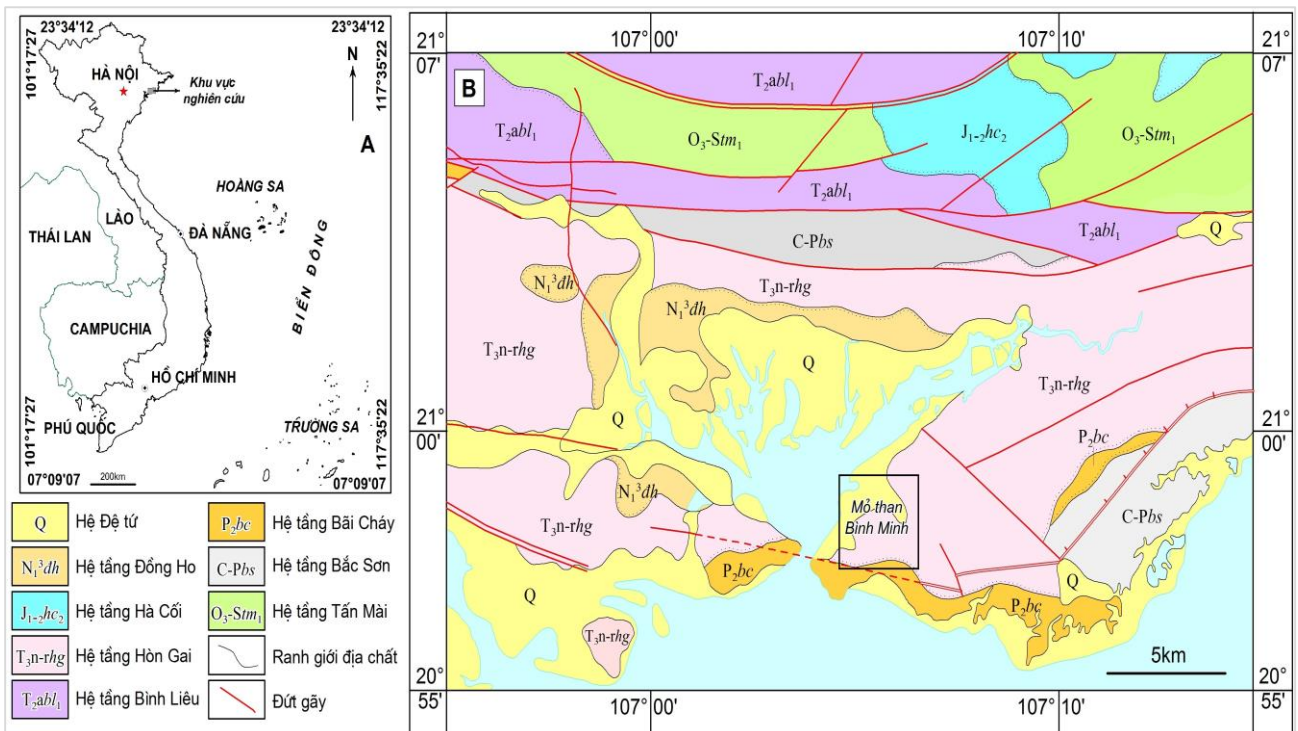
2. Đặc điểm địa chất mỏ than Bình Minh

Mỏ than Bình Minh có diện tích khoảng 14 km², nằm về phía tây của vùng than Hòn Gai - Cẩm Phả, thuộc địa phận thành phố Hạ Long - tỉnh Quảng Ninh. Phía nam giới hạn bởi đứt gãy thuận Hòn Gai, phía đông giáp các khu mỏ Hà Lâm theo trục nếp lồi Hà Lâm, giáp khu mỏ Suối Lại theo trục nếp lồi tiếp giáp đến đứt gãy F₁₄ (Hình 1-B).

Theo Lê Hùng và nnk., (1996) khu mỏ than

Bình Minh bao gồm chủ yếu các thành tạo bột kết, sét kết, cát kết thuộc phân hệ tầng giữa hệ tầng Hòn Gai (T_{3n-rhg₂}). Kết quả thi công thăm dò cho thấy, khu mỏ đã phát hiện 16 vỉa than, ký hiệu từ vỉa V.13 đến V.1c, bao gồm chủ yếu là than cám, xen kẽ các lớp than cứng, mỏng có màu đen, ánh kim, rắn chắc, hầu hết các vỉa than đều có cấu tạo phức tạp, chiều dày không ổn định. Lớp đất, đá kẹp trong phạm vi khu mỏ không lớn, phân bố chủ yếu từ T.II đến T.V khối đông Bình Minh, chiều dày lớp đất, đá kẹp chỉ 5÷15 m. Mỏ than Bình Minh không có khai trường khai thác lộ thiên lớn mà chỉ có các moong khai thác lộ vỉa quy mô nhỏ.

Trong phạm vi khu vực nghiên cứu có các hệ thống nếp uốn và đứt gãy. Các đứt gãy phát triển theo 2 hệ thống phương á kinh tuyến và á vĩ tuyến. Các đứt gãy này thường là ranh giới phân chia các đơn vị cấu trúc chính của mỏ. Các nếp uốn chủ yếu có phương trục phát triển theo phương gần bắc - nam, song song với trục nếp lồi Hà Lâm, hai cánh dốc, biên độ hẹp. Khu mỏ còn tồn tại các nếp uốn liên tiếp nhau và hầu hết bị chia cắt bởi các đứt gãy, khiến cho cấu trúc địa chất khu vực càng phức tạp, các vỉa than bị chia cắt thành nhiều khối địa chất với cấu trúc riêng biệt.



Hình 1. Sơ đồ Việt Nam và vị trí khu vực nghiên cứu (A); Sơ đồ địa chất khu mỏ than Bình Minh, tỉnh Quảng Ninh (Lê Hùng và nnk., 1996) (B).

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp tổng hợp, khảo sát thực địa, thu thập xử lý tài liệu

Trong nghiên cứu này thực hiện các nội dung sau: (a) tổng hợp các tài liệu địa chất và số liệu trong báo cáo địa chất qua các giai đoạn, tiến hành một số lộ trình khảo sát địa chất khu vực nghiên cứu; (b) kiểm tra cập nhật theo tài liệu khai thác một số vỉa than trong khu mỏ Bình Minh; (c) đánh giá toàn bộ tài liệu phân tích các loại mẫu, thiết kế khoan thăm dò, công trình lò khai thác; (d) thu thập, tổng hợp tài liệu từ các công trình nghiên cứu trước; trên cơ sở đó, lựa chọn nguồn tài liệu bảo đảm độ tin cậy để xử lý, nhằm bảo đảm độ tin cậy của các kết luận đưa ra; (e) sử dụng phương pháp phân tích đặc điểm cấu trúc địa chất khu mỏ, cấu trúc các vỉa than và phân tích mặt cắt địa chất theo các tuyến thăm dò.

3.2. Các phương pháp toán địa chất sử dụng để xác lập nhóm mỏ thăm dò

3.2.1. Đánh giá đặc trưng biến đổi các thông số địa chất công nghiệp của vỉa

Các thông số địa chất công nghiệp vỉa than bao gồm chiều dày, độ tro, góc dốc vỉa. Căn cứ vào hệ số biến thiên của thông số nghiên cứu (V), các đặc trưng thống kê của thông số nghiên cứu được xác định theo công thức của (Rujov và Gudkov, 1966; Kajdan, 1974). Dưới đây trình bày cơ sở lý thuyết đối với thông số chiều dày vỉa than (M).

Trường hợp thông số chiều dày vỉa tuân theo mô hình phân bố chuẩn:

- Giá trị trung bình chiều dày vỉa (\bar{M}) tính theo công thức:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i \quad (1)$$

Trong đó: m_i - giá trị chiều dày vỉa than ở điểm cắt thứ i (m); N - số công trình cắt vỉa.

- Phương sai (D) tính theo công thức:

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

Trong đó: X_i - giá trị chiều dày vỉa than ở điểm cắt thứ i (m); \bar{X} - giá trị trung bình chiều dày vỉa (m); N - số công trình cắt vỉa.

- Hệ số biến thiên chiều dày vỉa than (V_m)

được xác định theo công thức:

$$V_m = \frac{\sigma_m 100\%}{\bar{M}} \quad (3)$$

Trong đó: σ_m - phương sai chiều dày vỉa; \bar{M} - chiều dày trung bình (m).

+ Trường hợp thông số chiều dày phân bố theo hàm loga chuẩn thì xác định theo các công thức sau:

- Kỳ vọng toán:

$$\bar{M} = e^{\frac{\ln x + \frac{1}{2}\sigma_{\ln}^2}{2}} \quad (4)$$

$$\bar{M} = 10^{\frac{\lg x}{2}} \cdot e^{2,65\sigma_{\lg}^2}$$

- Phương sai:

$$D = e^{2\mu + \sigma_{\ln}^2} \cdot (e^{\sigma_{\ln}^2} - 1) \quad (5)$$

$$D = 10^{2\lg x} \cdot e^{5,3\sigma_{\lg}^2} \cdot (e^{5,3\sigma_{\lg}^2} - 1)$$

- Hệ số biến thiên:

$$V = \sqrt{e^{\sigma_{\ln}^2} - 1} \cdot 100\% \quad (6)$$

$$V = \sqrt{e^{5,3\sigma_{\lg}^2} - 1} \cdot 100\%$$

Trong đó: \ln_x, \lg_x - giá trị logarit Nêpe và logarit của thông số chiều dày vỉa; $\sigma_{\ln}^2, \sigma_{\lg}^2$ - phương sai logarit tương ứng của thông số nghiên cứu.

3.2.2. Đặc điểm hình dạng và mức độ biến hóa hình dạng vỉa

Để đánh giá mức độ biến hóa hình dạng vỉa than, ngoài việc xem xét đến mức độ biến hóa chiều dày vỉa còn phải nghiên cứu đến các chỉ tiêu phân tích định lượng như: thông số môđun chu tuyến (μ), chỉ tiêu hình dạng vỉa (ϕ) và hệ số phức tạp cấu tạo vỉa (K_{cc}) (Kuzomin, 1972).

a. Đặc điểm hình thái - cấu trúc vỉa than

Hệ số cấu tạo vỉa (K_{cc}): do điều kiện thành tạo, vỉa than có thể gồm một hoặc nhiều lớp than và đá kẹp ngăn cách các lớp than. Để phân biệt than hoặc đá phải dựa vào các chỉ tiêu khoan nổ thân quặng tính trữ lượng, tài nguyên. Số lớp đá kẹp (N_k) nhỏ hơn số lớp than (N_t) một đơn vị: $N_k = N_t - 1$. Số lớp than, hay nói cách khác số lớp kẹp càng

nhieu thì cấu tạo vỉa càng phức tạp. Đánh giá mức độ phức tạp về cấu tạo vỉa có thể sử dụng hệ số cấu tạo vỉa (K_{cc}) và tỷ lệ đá kẹp trong vỉa (K_k), tính theo công thức:

$$K_{cc} = 1 - \frac{\overline{Mk}}{\overline{Mt}} \frac{\overline{Nk}}{\overline{Nt}} \quad (7)$$

$$K_k = \frac{\overline{Mk}}{\overline{Mt}} \cdot 100(\%)$$

Trong đó: \overline{Mt} , \overline{Mk} - chiều dày trung bình các lớp than và lớp đá kẹp (m); \overline{Nt} , \overline{Nk} - số lượng lớp than và số lớp kẹp trung bình của các vỉa than được đánh giá.

K_{cc} có giá trị thay đổi từ 0 ÷ 1; khi K_{cc} tiến đến 0, thì mức độ phức tạp của vỉa tăng lên. Số lượng, chiều dày các lớp đá kẹp và sự biến hóa của chúng cũng ảnh hưởng đến công tác thăm dò và khai thác vỉa than.

b. Đặc điểm hình dạng các vỉa than

Hình dạng vỉa được đánh giá thông qua chỉ tiêu môđun chu tuyến (μ) và chỉ tiêu hình dạng vỉa (ϕ) xác định theo công thức:

$$\mu = \frac{L\phi}{4,7a+1,5\frac{S\phi}{a} - 1,77\sqrt{S\phi}} \quad (8)$$

$$\phi = \frac{V_m \cdot \mu}{k_{cc}}$$

Trong đó: V_m - hệ số biến thiên chiều dày vỉa (%); K_{cc} - hệ số cấu tạo vỉa; $L\phi$ - chiều dài chu vi thực của vỉa xác định trên bình đồ (m); $S\phi$ - diện tích thật của vỉa theo chu vi ϕ (m²);

$$a = \frac{1}{2} L \quad (9)$$

Trong đó: L - chiều dài hình dạng chu vi vỉa (m).

c. Đặc điểm thể nằm và mức độ biến đổi thể nằm của các vỉa than

Góc dốc của các vỉa than có ý nghĩa quan trọng trong công tác thăm dò và khai thác mỏ. Vì vậy khi nghiên cứu mức độ phức tạp của vỉa than không những phải xác định góc dốc vỉa mà còn phải xác

định quân phương sai góc dốc vỉa (α_α) và hệ số biến đổi góc dốc vỉa (K_α).

- Quân phương sai góc dốc vỉa (σ_α)

Quân phương sai góc dốc vỉa (σ_α) được xác định bằng công thức:

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2} \quad (10)$$

Trong đó: N - số lượng điểm đo góc dốc vỉa (tập hợp mẫu); α_i - Giá trị góc dốc đo tại điểm i (độ); $\bar{\alpha}$ - Giá trị góc dốc trung bình của vỉa (độ).

- Hệ số biến đổi góc dốc vỉa (K_α)

Trong thiết kế khai thác, thường chỉ quan tâm đến hệ số biến đổi góc dốc vỉa (K_α) và được tính bằng công thức kinh nghiệm: $K_\alpha = 1,375 \div 0,075 \sigma_\alpha$ theo công thức (11). Căn cứ vào σ_α và K_α các vỉa than được chia thành 3 nhóm như sau: Nhóm I - Khai thác đơn giản ($\sigma_\alpha \leq 5$, $K_\alpha \geq 1$), Nhóm II - Khai thác phức tạp ($\sigma_\alpha: 5 \div 10$, $K_\alpha: 1 \div 0,625$), Nhóm III - Khai thác rất phức tạp ($\sigma_\alpha > 10$, $K_\alpha < 0,625$).

3.3. Các phương pháp xác định mạng lưới thăm dò

3.2.1. Đánh giá theo phương pháp thống kê

Sai số xác định trữ lượng than được xác định theo công thức:

$$\Delta_p = \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_A^2 + \Delta_\alpha^2 + \Delta_s^2} \quad (11)$$

$$\Delta_x = \frac{tV_x}{\sqrt{N}} \quad (12)$$

$$\Delta_s = \frac{S_2}{4S_1} \cdot 100\% \quad (13)$$

Trong đó: Δ_m , Δ_A , Δ_α , Δ_s - sai số tương đối xác định chiều dày trung bình, độ tro trung bình, góc dốc trung bình và diện tích các vỉa than (%); S_1 - diện tích vỉa than nội suy (m²); S_2 - diện tích vỉa than trên bình đồ (m²).

Sai số tương đối của thể trọng trong đa số trường hợp rất nhỏ có thể bỏ qua. Kết quả phân tích độ tro theo tài liệu thăm dò thường có sai số ngẫu nhiên lớn, trong trường hợp này sai số hàm lượng trung bình xác định theo công thức:

$$\Delta_{c'} = \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta_{pt}^2} \quad (14)$$

Với Δ_{pt} - sai số ngẫu nhiên trong phân tích mẫu.

3.2.2. Phân tích mật độ mạng lưới thăm dò theo phương pháp toán thống kê

Theo Kazdan (1997), kết quả thăm dò đạt yêu cầu về độ tin cậy khi sai số của các thông số tính trữ lượng.

$$\sum \Delta = \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_A^2 + \Delta_\alpha^2 + \Delta_s^2} \leq \Delta_{cp} \quad (15)$$

Đối với nhóm mỏ thăm dò loại III, để đạt yêu cầu tính trữ lượng ở cấp 122 bảo đảm an toàn, cần chọn sai số trữ lượng tương đối cho phép theo quy định hiện nay trong khoảng 30÷50%. Do đó, có thể xác định số lượng công trình thăm dò cần thiết để khống chế thân quặng theo công thức:

$$N \geq \frac{(V_m^2 + V_c^2)t^2}{\Delta_{cp}^2} \quad (16)$$

hoặc theo trữ lượng điểm:

$$N \geq \frac{V_q^2 t^2}{\Delta_{cp}^2} \quad (16a)$$

Trong đó: V_m, V_A, V_q - hệ số biến thiên chiều dày, hàm lượng và trữ lượng điểm của vỉa than cần đánh giá; Δ_{cp} - sai số cho phép (30÷50%); t - hệ số xác suất ($t = 2$ tương ứng $P = 0,95$). Thực tế công tác thăm dò và khai thác cho thấy các vỉa than do ảnh hưởng của các yếu tố kiến tạo như uốn nếp, đứt gãy làm thay đổi thể nằm hoặc dịch chuyển, đứt đoạn các vỉa than, do vậy nhiều nhà nghiên cứu đề nghị bổ sung hệ số méo mó của hình dạng vỉa than và lấy giá trị 0,15. Do vậy, số công trình cụ thể là 1,15xN.

Theo Pogrebiski (1973), khi các mỏ khoáng có hệ số biến thiên (như đối với các mỏ than là các thông số chiều dày, góc dốc, độ tro) > (80÷100)% thì số lượng công trình tính theo phương pháp thống kê thường lớn hơn thực tế. Ngược lại, khi hệ số biến thiên < 40% thì số lượng công trình tính toán sẽ nhỏ hơn thực tế. Trường hợp hệ số biến thiên dao động trong khoảng 60÷80% thì phương pháp thường cho kết quả tốt. Khi đó, mật độ mạng lưới thăm dò (S_0) tính theo công thức:

$$S_0 = \frac{S}{N} \quad (17)$$

với $S_0 = a.b$; $a = 0,93\sqrt{S_0}$; $b = 1,07\sqrt{S_0}$

Trong đó: S - diện tích vỉa than (m^2); N - số lượng công trình thăm dò; a - theo đường phương; b - theo hướng dốc.

3.2.3. Đánh giá dựa trên cơ sở lý thuyết hàm ngẫu nhiên ổn định

Các thông số phản ánh đặc điểm địa chất, hình thái - cấu trúc vỉa than có mối quan hệ nhất định, liên quan chặt chẽ với khoảng cách giữa các công trình thăm dò. Dựa trên tính chất đó có thể sử dụng mô hình hàm ngẫu nhiên để mô tả tính biến hóa không gian của các thông số địa chất vỉa than. Từ đó đánh giá, lựa chọn khoảng cách cho mạng lưới giữa các công trình thăm dò.

Hàm ngẫu nhiên ổn định được đặc trưng bởi hàm tương quan ký hiệu $K_{(h)}$, phụ thuộc bước quan sát h , hướng quan sát và hệ số tương quan định mức ký hiệu $r_{(h)}$ (Kajdan 1974). Hàm tương quan xác định theo công thức:

$$K_{(h)} = \frac{1}{N-h} \sum_{i=1}^{N-h} [f(x_i) - \bar{X}][f(x_{i+h}) - \bar{X}] \quad (18)$$

Trong đó: N - số lượng công trình thăm dò; h - số bước quan sát; x_i - giá trị chiều dày vỉa (m); \bar{X} - chiều dày trung bình (m).

Hệ số tương quan định mức còn gọi hệ số tự tương quan xác định theo công thức:

$$r_{(h)} = \frac{K_{(h)}}{\sigma^2} \quad (19)$$

Trong đó: $K_{(h)}$ - Hàm tương quan định mức; σ^2 - phương sai chiều dày vỉa.

Mức độ biến hóa cần sử dụng hệ số biến thiên không tương quan, được xác định theo công thức:

$$V_N = \frac{\sigma_N}{\bar{X}} = V \sqrt{1 - r_{(h)}^2} \quad (20)$$

Trong đó: σ_N - quân phương sai; \bar{X} - chiều dày trung bình (m); V - hệ số biến thiên chiều dày vỉa (%); $r_{(h)}$ - hệ số tương quan định mức.

Trong trường hợp $R(h) > 0$ với mọi h thì xác định kích thước đới ảnh hưởng H theo phương pháp sau:

Xây dựng đồ thị hệ số tương quan định mức:

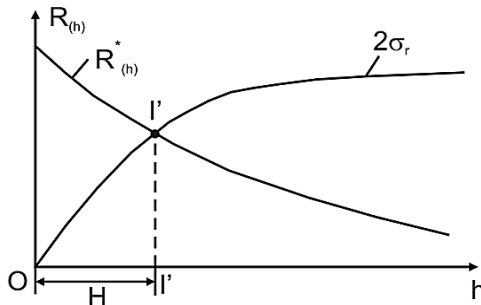
$$R_{(h)}^* = e^{-\alpha.h}; \alpha = \frac{\sum_{i=1}^m \ln |R_{(h_i)}|}{\sum_{i=1}^m h_i} \quad (21)$$

Trong đó: M - số bước quan sát; h - giá trị bước quan sát (m^2).

Xây dựng đồ thị hàm tương quan định mức:

$$2\sigma_r = \frac{2[1 - R_{(h)}^*]}{\sqrt{N}} \quad (22)$$

Từ giao điểm giữa 2 đường cong $R_{(h)}^*$ và $2\sigma_r$ hạ đường vuông góc với Oh cắt Oh tại điểm I' thì khoảng cách OI' là kích thước đới ảnh hưởng H (Hình 2).



Hình 2. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ tương quan giữa h và $R(h)$ (theo Kajdan A.B., 1974).

Để xác định tính dị hướng của khoáng sản, làm cơ sở lựa chọn hình dạng mạng lưới thăm dò, sử dụng hệ số dị hướng ký hiệu I , xác định theo công thức:

$$I = \frac{H_{hd}}{H_{đp}} \quad (23)$$

Trong đó: $H_{đp}$ - kích thước đới ảnh hưởng xác định theo đường phương (m); H_{hd} - kích thước đới ảnh hưởng xác định theo hướng dốc (m).

Mật độ mạng lưới thăm dò ký hiệu S_o , xác định theo công thức:

$$S_o = H_{hd} \cdot H_N \quad (24)$$

Số lượng công trình thăm dò cần thiết đối với thân quặng cần đánh giá:

$$N = \frac{S}{S_o} \quad (25)$$

Điểm thu thập tài liệu có tọa độ (x_i, y_i) cần chuyển về ô mạng có tọa độ (x_k, y_k) thì việc chuyển đổi được thực hiện theo công thức:

$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{D_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i}} \quad (26)$$

Với Z_k là giá trị trung bình của thông số nghiên cứu tại điểm k của ô mạng cơ sở đã thiết lập; D_i là khoảng cách từ điểm k đến điểm gần kề có giá trị Z_i (m).

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Xác lập nhóm mỏ thăm dò

Các vỉa than hầu hết phân bố rộng khắp trên toàn diện tích khu mỏ, các đầu lộ vỉa chủ yếu ở phần phía bắc - đông bắc, các vỉa than có giá trị công nghiệp đều phân bố có quy luật, thường bị vát mỏng, ít có giá trị ở khối đông. Sự thay đổi của vỉa than theo đường phương nhỏ, phần lớn là những vỉa dày và trung bình với cấu tạo đơn giản đến tương đối phức tạp.

Nhìn chung các vỉa than được nghiên cứu thuộc mỏ than Bình Minh có cấu tạo nội bộ từ đơn giản đến tương đối phức tạp, số lượng lớp đá kẹp trung bình trong các vỉa than nhỏ (1÷2 lớp đá kẹp), chiều dày trung bình toàn vỉa biến đổi 2,26÷7,71 m, chiều dày trung bình các lớp đá kẹp trong mỗi vỉa than không lớn 0,16÷1,34 m, trung bình 0,78 m (Bảng 1). Đồng thời, điều kiện thành tạo ban đầu cũng làm thay đổi hình dạng các vỉa than như dạng vỉa, thấu kính. Hình dạng các vỉa than trong khu mỏ chủ yếu bị vát mỏng, ít bào mòn hoặc phân nhánh. Tuy nhiên, bản thân các vỉa than trong khu mỏ được cấu thành bởi cấu trúc phức tạp uốn và chịu ảnh hưởng của nhiều hệ thống đứt gãy lớn nhỏ theo các phương khác nhau đã làm cho các vỉa than bị phân cắt, chiều dày biến đổi mạnh làm phức tạp hóa cấu trúc vỉa (Bùi Văn Sang và nnk., 1997; Phạm Tuấn Anh và nnk., 2010).

Từ kết quả nghiên cứu rút một số nhận xét:

Các vỉa than mỏ Bình Minh duy trì trên mặt xuống dưới sâu (tới -750 m), có cấu trúc địa chất phức tạp, phân bố chủ yếu trên các nếp lồi, nếp lõm liên tiếp nhau và bị phân cắt thành các khối riêng biệt bởi các hệ thống đứt gãy, chiều dày biến đổi không ổn định.

Bảng 1. Đặc điểm cấu tạo các vỉa than mỏ Bình Minh (Phạm Tuấn Anh và nnk, 2010).

Tên vỉa than	Chiều dày toàn vỉa (m)	Chiều dày riêng than (m)	Chiều dày đá kẹp (m)	Số lớp kẹp (số lớp)	Độ dốc vỉa (độ)	Phân loại cấu tạo
V.9	0,1÷6,75 2,26(64)	0,1÷6,75 2,15	0÷1,16 0,16	0÷7 1	5÷70 31	Đơn giản
V.8	0,6÷31,27 4,73(113)	0,6÷13,91 3,75	0÷8,58 0,89	0÷15 2	5÷60 31	Tương đối phức tạp
V.7	0,2÷32,94 3,59(99)	0,2÷17,54 2,88	0÷15,4 0,68	0÷10 1	5÷70 31	Đơn giản
V.6	0,34÷28,01 7,71(138)	0,34÷21,93 6,36	0÷8,17 1,34	0÷18 2	5÷74 30	Tương đối phức tạp
V.5	0,31÷33,2 6,41(163)	0,31÷23,78 5,56	0÷13,56 0,85	0÷10 1	5÷70 30	Đơn giản
Ghi chú: $\frac{\text{Nhỏ nhất} \div \text{lớn nhất}}{\text{Trung bình (Số công trình)}}$						

Bảng 2. Đặc trưng thống kê thông số chiều dày vỉa than mỏ Bình Minh (N=499).

TT	Tên vỉa (N)	Thông số nghiên cứu	Đặc trưng thống kê			Hàm phân bố
			Trung bình (m)	σ_m^2	V_m (%)	
1	V.9 (51)	M_{RT}	2,15	4,41	97,67	loga chuẩn
2	V.8 (99)	M_{RT}	3,75	4,84	58,67	loga chuẩn
3	V.7 (93)	M_{RT}	2,88	2,37	53,45	loga chuẩn
4	V.6 (112)	M_{RT}	6,36	13,69	58,18	loga chuẩn
5	V.5 (144)	M_{RT}	5,56	11,97	62,23	loga chuẩn

Bảng 3. Đặc trưng biến đổi góc dốc các vỉa than mỏ Bình Minh (N = 137).

TT	Tên vỉa (N)	Góc dốc vỉa			Phân loại nhóm mỏ theo K_α
		Trung bình (độ)	σ_α	K_α	
1	V.9 (33)	30	12,45	0,441	Vỉa khai thác phức tạp
2	V.8 (42)	29	12,24	0,457	Vỉa khai thác phức tạp
3	V.7 (20)	31	13,28	0,379	Vỉa khai thác phức tạp
4	V.6 (12)	29	12,52	0,436	Vỉa khai thác phức tạp
5	V.5 (30)	29	14,41	0,294	Vỉa khai thác phức tạp

Bảng 4. Đặc trưng biến đổi độ tro các vỉa than mỏ Bình Minh (N = 675).

TT	Tên vỉa (N)	Độ tro TB của than theo mẫu đơn (%)	Phương sai độ tro than (σ_{A^2})	Hệ số biến thiên độ tro than V^A (%)	Phân loại nhóm mỏ theo độ tro than (V^A)
1	V.9 (35)	18,82	10,55	56%	Tương đối ổn định
2	V.8 (143)	14,46	9,65	67%	Tương đối ổn định
3	V.7 (100)	15,62	9,48	61%	Tương đối ổn định
4	V.6 (203)	12,61	8,63	68%	Tương đối ổn định
5	V.5 (194)	12,58	9,38	75%	Tương đối ổn định

Bảng 5. Kết quả tính toán hệ số phức tạp cấu trúc vỉa mỏ than Bình Minh.

TT	Tên vỉa	Chiều dày trung bình (m)		Số lớp than TB	Số lớp đá kẹp TB	K_{cc}	K_k
		M_K	M_{RT}				
1	V.9	0,16	2,15	2	1	0,96	8%

2	V.8	0,89	3,75	3	2	0,84	24%
3	V.7	0,68	2,88	2	1	0,88	24%
4	V.6	1,34	6,36	3	2	0,86	21%
5	V.5	0,85	5,56	2	1	0,92	15%

Bảng 6. Mức độ phức tạp của mô đun chu tuyến và chỉ số hình dạng các vỉa than.

TT	Tên vỉa	Chỉ tiêu nghiên cứu						
		L ϕ (m)	S ϕ (m ²)	a (m)	V _m (%)	K _{cc}	μ	ϕ
1	V.9	18 506	3 985 787	2 250	97,67	0,96	1,91	1,94
2	V.8	23 003	5 403 181	2 477	58,67	0,84	2,13	1,49
3	V.7	25 288	7 352 817	2 932	53,45	0,88	1,98	1,20
4	V.6	26 913	8 959 851	3 260	58,18	0,86	1,90	1,29
5	V.5	32 234	11 586 684	3 905	62,23	0,92	1,92	1,30

Bảng 7. Bảng tiêu chuẩn các thông số xếp nhóm mỏ thăm dò (Kuzomin, 1972; Kajdan, 1974).

TT	Thông số tính toán	Giá trị thông số	Xếp loại nhóm mỏ
1	Hệ số biến đổi chiều dày (V_m)	66%	Nhóm mỏ II
2	Modun chu tuyến (μ)	1,86	Nhóm mỏ III
3	Chỉ tiêu tỉ lệ đới phá huỷ (P_p)	44%	Nhóm mỏ III
4	Hệ số cấu tạo vỉa (K_{cc})	0,91	Nhóm mỏ III
5	Chỉ tiêu hình dạng vỉa (ϕ)	1,35	Nhóm mỏ III
6	Hệ số biến đổi góc dốc vỉa (K_a)	0,366	Nhóm mỏ III
7	Hệ số biến thiên độ tro than (V_A)	65%	Nhóm mỏ II
8	Chỉ tiêu tính biến vị (P_{bv})	55%	Nhóm mỏ II

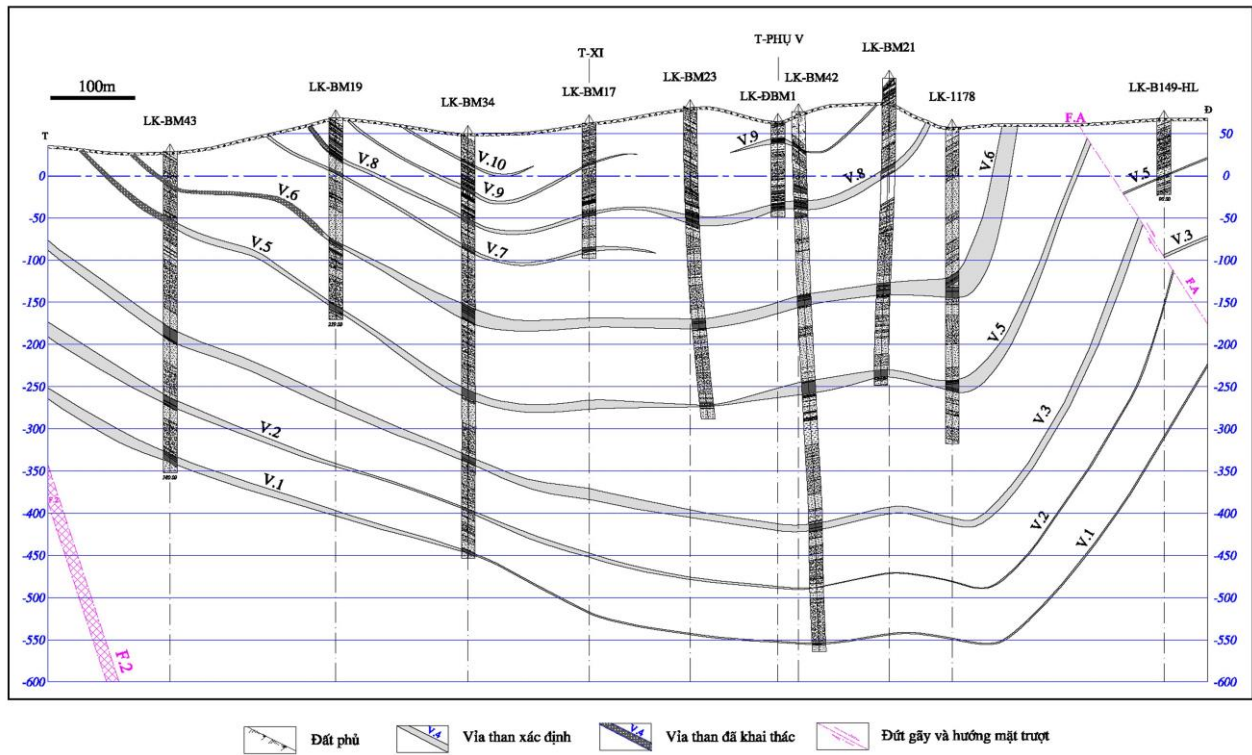
Các vỉa than thuộc nhóm vỉa trung bình và dày, chiều dày toàn vỉa biến đổi phức tạp, hầu hết vỉa có chiều dày biến đổi thuộc loại không ổn định; góc dốc vỉa biến đổi thuộc loại ổn định; độ tro than tương đối ổn định. Các thông số tiêu chuẩn được tính toán làm cơ sở xếp nhóm mỏ thăm dò cho khu mỏ được thể hiện trong Bảng 7. Kết quả xác định phương sai và hệ số biến thiên cho thấy các vỉa than trên thuộc nhóm vỉa cấu tạo đơn giản đến tương đối phức tạp, có ít lớp đá kẹp. Các chỉ tiêu phản ánh mức độ phức tạp cấu trúc vỉa: K_{cc} thay đổi 0,84÷0,96, trung bình 0,91; K_k thay đổi 8÷24%; M_k : 0,16÷1,34 m, như vậy các vỉa than mỏ Bình Minh thuộc nhóm vỉa có mức độ phức tạp từ đơn giản đến tương đối phức tạp. Theo chỉ tiêu hình dạng của vỉa và đặc điểm kiến tạo khu mỏ các vỉa than thuộc nhóm vỉa có hình dạng rất phức tạp ($\varphi = 11,44$, $\phi = 1,35$), cấu trúc địa chất khu mỏ phức tạp ($P_{bv} = 55$), các vỉa bị uốn cong biến đổi mạnh do ảnh hưởng của các nếp uốn (Hình 3).

Các vỉa than giữa các khối được phân chia rõ ràng qua các đứt gãy lớn. Các vỉa trong mỏ có dạng

vỉa đơn, không có dạng vỉa chập. Từ các kết quả nghiên cứu định lượng các thông số đặc trưng về sự biến hóa các thông số địa chất công nghiệp của vỉa than và phân tích đặc điểm cấu trúc địa chất khu mỏ Bình Minh trình bày trên, so sánh với bảng phân loại nhóm mỏ thăm dò (Quyết định số 25/2007/QĐ-BTNMT, 31/12/2017) cho phép xếp mỏ than Bình Minh vào nhóm mỏ thăm dò III.

4.2. Xác lập mạng lưới thăm dò cho mỏ than Bình Minh

Việc xác định mạng lưới thăm dò hợp lý cũng được biết đến như việc tối ưu hóa mạng lưới thăm dò, chúng được thực hiện dựa trên những số liệu thu thập từ công tác thăm dò địa chất. Chúng đặc trưng cho đối tượng thăm dò và phụ thuộc vào đặc điểm cấu trúc địa chất khu mỏ. Để xác định mạng lưới thăm dò cho mỏ than Bình Minh, nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp thống kê, phương pháp dựa trên cơ sở lý thuyết ngẫu nhiên ổn định áp dụng đối với 4 vỉa than từ V.5 đến V.8



Hình 3. Mặt cắt địa chất tuyến P.III mỏ than Bình Minh (Phạm Tuấn Anh, 2010).

là những vỉa than có trữ lượng lớn, phân bố rộng khắp trong khu mỏ từ lộ thiên đến độ sâu -400 m, đảm bảo tính đại diện cho cấu trúc địa chất khu mỏ. Các thông số địa chất công nghiệp của các vỉa than lấy từ các công trình thăm dò qua các giai đoạn được đưa vào tính toán.

4.2.1. Xác lập mạng lưới thăm dò theo phương pháp thống kê

Đối với nhóm mỏ loại III, để đạt yêu cầu tính cấp trữ lượng 122 cho khối trữ lượng thuộc mỏ Bình Minh bảo đảm độ tin cậy, sai số tương đối xác định trữ lượng, được tính theo các công thức (11÷15) ở trên, tính cho các thông số chiều dày, độ tro, góc dốc trung bình và diện tích các vỉa than. Kết quả chỉ ra trữ lượng than có sai số trung bình 44,05%, mức độ sai số khá lớn, tuy nhiên vẫn đảm bảo theo quy định hiện nay về sai số cho phép đối với trữ lượng cấp 122 tối đa là 50% (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2007), trong đó sai số trữ lượng V.7 cao nhất là 49,79%, do vỉa 7 đặc trưng có chiều dày mỏng, cấu tạo phức tạp, bị phân chia thành các thấu kính nhỏ và bị phân cắt bởi các đứt gãy, những yếu tố này làm tăng sai số diện tích vỉa than ($\Delta_S = 46,17\%$). Kết quả tính toán trình bày ở Bảng 8.

Dựa vào kết quả tính toán nêu trong Bảng 1, áp dụng các công thức (16, 17) tính được số lượng công trình thăm dò và mật độ mạng lưới thăm dò cho 4 vỉa than mỏ Bình Minh. Kết quả tổng hợp trong Bảng 9.

Kết quả tính toán trung bình các vỉa than được tính toán chỉ ra rằng mạng lưới thăm dò cho mỏ than Bình Minh được kiến nghị dùng mạng lưới dạng tuyến. Khoảng cách giữa các tuyến thăm dò là 210 m, công trình trên tuyến cách nhau 160 m. Số công trình thăm dò là 30 công trình/km².

4.2.2. Xác lập mạng lưới thăm dò theo hàm ngẫu nhiên ổn định

Trên cơ sở tài liệu thu nhận được từ báo cáo kết quả tính chuyển đổi cấp trữ lượng và tài nguyên khu mỏ Bình Minh năm 2010 (Phạm Tuấn Anh và nnk., 2010), cùng với đó cập nhật số liệu từ các lỗ khoan thăm dò bổ sung, thăm dò khai thác tiến hành tại khu mỏ, nhóm tác giả thực hiện tính toán bán kính tự tương quan $R(h)$ theo đường phương và hướng dốc cho thông số chiều dày thật toàn vỉa của các vỉa than lần lượt từ trên xuống dưới theo độ sâu tồn tại gồm V.8, V.7, V.6 và V.5, đây là các vỉa than lớn nhất, chiếm tỷ trọng lớn trữ lượng than toàn mỏ. Các số liệu tính toán được lấy

theo thông số các lỗ khoan thăm dò, áp dụng tính toán từ 3 tuyến ngang (V.7, V.8) đến 5 tuyến (V.5), kết quả tính toán đảm bảo phản ánh đặc trưng biến đổi của thông số nghiên cứu.

Theo tính chất của hàm ngẫu nhiên ổn định, khi bước quan sát $h = 0$ thì hàm tương quan định mức $R(h) = 1$. Khi bước quan sát $h = 250$ m theo đường phương và $h = 125$ m theo hướng dốc (lấy theo giới hạn trên mật độ mạng lưới theo quy phạm của Bộ Tài nguyên và Môi trường), hàm tương quan $K(h)$ và hàm tương quan định mức $R(h)$ được tính theo các công thức (18, 19). Sau khi xác lập bán kính tự tương quan thực nghiệm $R(h)$ cho các vỉa than nghiên cứu, các công thức theo đề xuất của Lương Quang Khang và nnk. (2020) được áp dụng cho xây dựng mô hình. Sau đó, nhóm tác giả chuyển đổi các đường thực nghiệm $R(h)$ thành đường lý thuyết $R^*(h)$, từ đồ thị thể hiện mối tương quan giữa hàm tương quan định mức $R(h)$ với bước quan sát của các vỉa than có thể xác định được kích thước ảnh hưởng của đới (H) theo đường phương và hướng dốc các vỉa than (Hình 4). Kết quả xác định mật độ và khoảng cách cho mạng lưới thăm dò cho các vỉa than như Bảng 10.

Từ Bảng 9 cho thấy kích thước đới ảnh hưởng theo đường phương thay đổi 167÷276 m, trung bình 236 m; theo hướng dốc 83÷107 m, trung bình 93 m hoặc 34÷72 công trình/km², trung bình 49 công trình/km²; mật độ mạng lưới thăm dò (S_0) 13.861÷28.997 m²/01 CT, trung bình 21.948 m²/01 CT.

Từ kết quả tính toán nêu trên khi áp dụng 2 phương pháp có thể rút ra một số nhận xét sau:

- Trong cả 2 phương pháp, mạng lưới định hướng thăm dò tăng dần theo độ sâu tồn tại của các vỉa than, điều này hoàn toàn phù hợp do mức độ nghiên cứu, mật độ mạng lưới hiện tại còn khá thưa khi các vỉa than xuống độ sâu nhất định, các vỉa than phần dưới sâu (dưới mức -350 m) còn ít công trình khống chế.

- Kết quả tính toán cho thấy có sự tương đồng về khoảng cách định hướng mạng lưới thăm dò theo đường phương trong cả 2 phương pháp, theo đường phương các vỉa than khoảng cách tính toán khá phù hợp với mạng lưới đang được áp dụng, tuy nhiên khoảng cách định hướng theo hướng dốc có sự khác biệt khá lớn. Kết quả xác lập mạng lưới thăm dò theo phương pháp thống kê cho thấy sai số trữ lượng cho các vỉa than nghiên cứu trong khu mỏ đều khá lớn, thay đổi 41,26 (V.5)÷49,79% (V.7), trung bình 44,05%, điều này khẳng định mạng lưới hiện tại áp dụng trong khu mỏ còn nhiều hạn chế, chưa đảm bảo cung cấp tài liệu có độ tin cậy phục vụ cho khai thác.

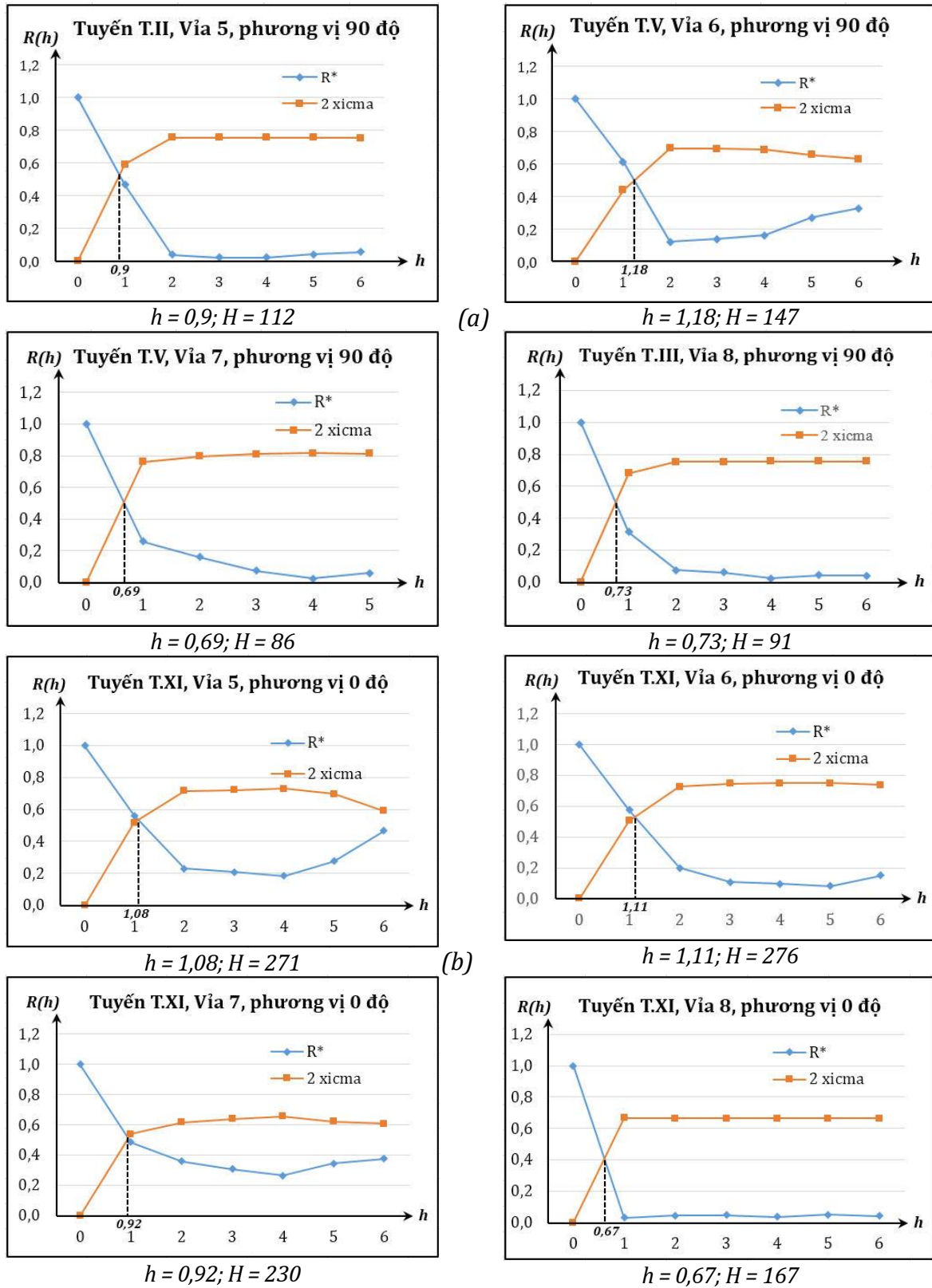
- Đối với các vỉa than, mạng lưới xác lập được kiến nghị áp dụng cho khu mỏ có dạng mạng lưới hình chữ nhật hoặc mạng lưới dạng tuyến, với khoảng cách mạng lưới thăm dò đối với trữ lượng cấp 122 tương ứng nhóm mỏ thăm dò loại III: (200÷250) x (90÷100) m.

Bảng 8. Sai số tương đối của trữ lượng các vỉa than mỏ Bình Minh.

TT	Vĩa than	Sai số tương đối (%) $P = 0,95, t = 2$				
		Δ_s	Δ_m	Δ_A	Δ_α	Δ_{cp}
1	V.8	39,06	11,79	13,47	7,62	43,64
2	V.7	46,17	11,09	12,65	8,03	49,79
3	V.6	36,98	10,99	12,85	8,24	41,49
4	V.5	37,62	10,37	12,50	4,90	41,26
Trung bình		39,96	11,06	12,87	7,20	44,05

Bảng 9. Kết quả xác định mạng lưới thăm dò theo phương pháp thống kê.

TT	Vĩa than	Khoảng cách công trình (m)		Chỉ số dị hướng	Mật độ S_0 (m ²)	Số lượng CT/km ²
		a-đường phương	b-hướng dốc			
1	V.8	184	141	0,77	26.068	38
2	V.7	204	157	0,77	31.953	31
3	V.6	229	176	0,77	40.362	25
4	V.5	228	175	0,77	39.911	25
Trung bình		210	160	0,77	34.573	30



Hình 4. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa hàm tương quan định mức $R(h)$ với bước quan sát (h) theo (a - hướng dốc, PV 90°) và (b - đường phương, PV 0°) các vỉa than V.5, V.6, V.7, V.8.

Bảng 10. Kết quả xác định mạng lưới thăm dò theo hàm ngẫu nhiên ổn định.

TT	Vía than	Kích thước đối ảnh hưởng (H, m)		Hệ số dị hướng (I)	Mật độ S_0 (m ²)	Số lượng CT/km ²
		Theo đường phương	Theo hướng dốc			
1	V.8	167	83	0,50	13.861	72
2	V.7	230	85	0,37	19.550	51
3	V.6	276	98	0,36	27.048	37
4	V.5	271	107	0,39	28.997	34
Trung bình		236	93	0,40	21.948	49

Ngoài công trình trên tuyến, cần thiết sử dụng 10÷15% công trình phi tuyến để khống chế vị trí đứt gãy, uốn nếp, vị trí tách, chập vỉa, vị trí có sự thay đổi đột ngột về chiều dày, cấu trúc vỉa hoặc thay đổi về thể nằm của vỉa. Trong thời gian tới, cần có những phương án thăm dò bổ sung, thăm dò khai thác trong đó bố trí chiều sâu các lỗ khoan hợp lý nhằm xác định chính xác hơn về đặc điểm địa chất các vỉa than ở mức sâu.

5. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu đã đạt được có thể rút ra một số kết luận sau:

- Các vỉa than mỏ Bình Minh có cấu trúc địa chất phức tạp, thuộc nhóm vỉa trung bình và dày, chiều dày toàn vỉa biến đổi phức tạp, hầu hết vỉa có chiều dày biến đổi thuộc loại không ổn định; góc dốc vỉa biến đổi thuộc loại ổn định; độ tro than tương đối ổn định. Theo chỉ tiêu hình dạng của vỉa và đặc điểm kiến tạo khu mỏ, các vỉa than thuộc nhóm vỉa có hình dạng rất phức tạp, cấu trúc địa chất khu mỏ phức tạp, các vỉa bị uốn cong biến đổi mạnh do ảnh hưởng của các nếp uốn. Trên cơ sở phân tích đặc điểm cấu trúc địa chất mỏ, đặc điểm hình thái - kiến trúc của các vỉa than và đặc điểm biến hóa của các thông số địa chất công nghiệp, đã xác lập khu mỏ Bình Minh thuộc nhóm mỏ thăm dò loại III. Trữ lượng thăm dò đối với mỏ nhóm III cấp cao nhất là 122.

- Để thăm dò đạt yêu cầu tính trữ lượng ở cấp 122 cho các vỉa than mỏ Bình Minh, hợp lý nhất sử dụng mạng lưới dạng hình chữ nhật hoặc dạng tuyến, với khoảng cách tuyến cách 200÷250 m, công trình trên tuyến 90÷100 m hoặc trung bình 45÷50 công trình/km². Khi tiến hành công tác thăm dò cần phải có khối lượng công trình dự phòng 10÷15 % tổng khối lượng dự kiến trong đề án. Các công trình dự phòng được sử dụng chủ yếu ở các vị trí đứt gãy, uốn nếp, vị trí tách, chập vỉa, vị

trí có sự thay đổi đột ngột về chiều dày, cấu trúc vỉa hoặc thay đổi về thể nằm của vỉa.

- Mạng lưới thăm dò đề xuất trong bài báo có thể sử dụng để thăm dò các mỏ than có đặc điểm địa chất khoáng sản tương tự mỏ Bình Minh, tỉnh Quảng Ninh.

Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành từ sự hỗ trợ của Đề tài nghiên cứu cấp cơ sở, mã số T20-27.

Đóng góp của các tác giả

Đỗ Mạnh An - nghiên cứu hình thành ý tưởng, phương pháp luận, viết và chỉnh sửa bài báo; Nguyễn Hoàng Huân, Đinh Bá Tuấn - khảo sát thực địa, thu thập tài liệu; Nguyễn Tiến Dũng, Nguyễn Thị Thanh Thảo - kiểm chứng mô hình, tính toán, xử lý số liệu; Phạm Tuấn Anh - phối hợp cập nhật tài liệu, đối sánh thực tế.

Tài liệu tham khảo

- Albarède, F., (1996). Introduction to geochemical modeling. *Cambridge University Press*.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường, (2007). Quy định về phân cấp trữ lượng và tài nguyên than. *Quyết định số 25/2007/QĐ-BTNMT ngày 31/12/2007 của Bộ Tài nguyên và Môi trường*.
- Bùi Văn Sang (cb), (1997). Báo cáo địa chất kết quả thăm dò sơ bộ than khu mỏ Bình Minh. *Lưu trữ Địa chất - Tổng cục ĐC&KS Việt Nam, Hà Nội*.
- Cressie, N. A. C., (1993). Statistics for Spatial Data, 2nd ed. *New York: Wiley*.
- Davis, J. C. & Sampson, R. J., (1986). Statistics and data analysis in geology (Vol. 646). *Wiley New York*.
- Đỗ Mạnh An, Nguyễn Tiến Dũng, Bùi Hoàng Bắc, Khương Thế Hùng, (2018). Đặc điểm hình thái,

- cấu trúc các vỉa than và ảnh hưởng của chúng tới công tác thăm dò, khai thác cánh Nam mỏ Mạo Khê, Quảng Ninh. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, số 59, kỳ 2, tr. 40-48.
- Gandhi, S. M. and Sarkar, B. C., (2016). *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 406p.
- Gomez M. and Hazen K., (1970). Evaluating sulfur and ash distribution in coal seams by statistical response surface regression analysis. *US Department of the Interior, Bureau of Mines. Washington*.
- Heriawan, M. N. & Koike, K., (2008). Identifying spatial heterogeneity of coal resource quality in a multilayer coal deposit by multivariate geostatistics. *International Journal of Coal Geology*, 73(3), 307-330. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2007.07.005>
- Hindistan, M. A., Tercan, A. E. & Ünver, B., (2010). Geostatistical coal quality control in longwall mining. *International Journal of Coal Geology*, 81(3), 139-150. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.12.014>
- Hùng, K. T., Khang, L. Q., Sang, P. N. & Vuong, H. V., (2021). Establishing a Tungsten Deposit Group and a Pattern Grid Exploration in the Nui Phao Area, Northeastern Vietnam. *Proceedings of the International Conference on Innovations for Sustainable and Responsible Mining*, pp 58-78.
- Kajdan, A.B., (1974). Cơ sở phương pháp thăm dò khoáng sản. *Neđra, Moskva (Bản tiếng Nga)*.
- Khang, L. Q., Hùng, K. T., Tuong, N. V., Thu, L. T., (2020). Study on establishing a mining group of deposit and an exploration grid pattern for lead - zinc ore in Ban Lim area, Cao Bang province. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, số 61, kỳ 3, tr. 38-50.
- Krumbein, W. C., (1968). Statistical models in sedimentology 1. *Sedimentology*, 10(1), 7-23.
- Kuzmin, V. I., (1972). Hình học hóa và tính trữ lượng khoáng sản rắn. *Neđra, Moskva (Bản tiếng Nga)*.
- Lê Hùng (cb), (1996). Bản đồ địa chất và khoáng sản nhóm tờ Hòn Gai - Cẩm Phả, tỷ lệ 1:50.000. *Lưu trữ Địa chất - Tổng cục ĐC&KS Việt Nam, Hà Nội*.
- Matheron, G., (1963). Principles of geostatistics. *Economic Geology*, 58(8), 1246-1266. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.58.8.1246>
- Nguyễn Văn Cư (cb), (2001). Báo cáo địa chất kết quả thăm dò khai thác mỏ than Đông Bình Minh. *Lưu trữ Địa chất - Tổng cục ĐC&KS Việt Nam, Hà Nội*.
- Nguyễn Văn Sao (cb), (2012). Báo cáo kết quả điều tra giai đoạn I đề án điều tra, đánh giá tiềm năng than dưới mức -300 m bề than Quảng Ninh. *Lưu trữ Tổng cục địa chất, Hà Nội*.
- Olea, R. A., Luppens, J. A. & Tewalt, S. J., (2011). Methodology for quantifying uncertainty in coal assessments with an application to a Texas lignite deposit. *International Journal of Coal Geology*, 85(1), 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2010.10.001>
- Phạm Tuấn Anh (cb), (2010). Báo cáo kết quả tính, chuyển đổi cấp trữ lượng và cấp tài nguyên khu mỏ than Bình Minh - Hạ Long - Quảng Ninh. *Báo cáo sản xuất. Công ty Cổ phần tin học, công nghệ, môi trường - Vinacomin*.
- Pogrebiski, E. O., (1973). Prospecting and exploration of mineral deposits. *Neđra Publishers, Moscow (Bản tiếng Nga)*.
- Read W. A. and Dean J. M., (1968). A quantitative study of a sequence of coal-bearing cycles in the Namurian of central Scotland. *Sedimentology* 10, pp 121-136.
- Rujov, P. A., Gudkov, V. M., (1966). Áp dụng mô hình thống kê trong thăm dò tài nguyên khoáng sản. *Neđra, Moskva. (Bản tiếng Nga)*.
- Saikia, K & Sarkar, B. C., (2006). Exploration drilling optimisation using geostatistics: a case in Jharia Coalfield, India. *Applied Earth Science*, 115(1), 13-22. <https://doi.org/10.1179/174327506X102787>
- Saikia, K, Sarkar, B. C. & Sinha, P. M., (2007). Application of kriging and simulated annealing for spatial variability modelling of a coal seam. *Applied Earth Science*, 116(1), 37-48. <https://doi.org/10.1179/174327507X167000>
- Saikia, Kalyan & Sarkar, B. C., (2013). Coal exploration modelling using geostatistics in Jharia coalfield, India. *International Journal of*

- Coal Geology*, 112, 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.11.012>
- Sarkar, B. C., Saikia, K., Sarma, M., Pandey, S. & Paul, P. R., (2007). A geostatistical approach to estimation of coal bed methane potentiality in a selected part of Jharia coalfield, Jharkhand. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 55.
- Webster, R., Oliver, M. A., (2007). Geostatistics for environmental scientists. *John Wiley & Sons*.