



# ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ TIN CẬY CỦA TRỮ LƯỢNG THAN MỎ CAO SƠN, QUẢNG NINH BẰNG MÔ HÌNH TOÁN ĐỊA CHẤT

Khuong Thế Hùng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Biển Đông<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup> Công ty cổ phần than Cao Sơn, Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam

**Tóm tắt.** Mỏ than Cao Sơn nằm về phía nam tỉnh Quảng Ninh, thuộc dải than Hòn Gai, nơi được đánh giá là một trong những khu vực có tiềm năng lớn về than khoáng của nước ta. Trên cơ sở tổng hợp tài liệu, xử lý số liệu về các thông số địa chất – công nghiệp mỏ bằng mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định và toán thống kê cho thấy độ tin cậy về trữ lượng than mỏ Cao Sơn phụ thuộc vào các thông số như cấu trúc địa chất, đặc biệt là khoảng cách giữa các công trình thăm dò, tiếp đến là các thông số tính trữ lượng như chiều dày, thể trọng, góc dốc vỉa than. Kết quả xác định theo mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định chỉ rõ khoảng cách giữa các công trình thăm dò đều nằm lân cận kích thước đối ảnh hưởng, như vậy mạng lưới thăm dò thi công về cơ bản phù hợp với nhóm mỏ và đặc tính biến đổi các thông số địa chất vỉa than, đáp ứng yêu cầu tính trữ lượng cấp 121 và 122. Kết quả đánh giá sai số tính trữ lượng than bằng mô hình toán thống kê mỏ Cao Sơn cho thấy với xác suất tin cậy 0,95 thì sai số trữ lượng thay đổi từ  $\pm 10,89 \div \pm 12,35\%$ , nghĩa là trữ lượng than tính toán trong giai đoạn thăm dò bảo đảm độ tin cậy cho khai thác. Kết quả nghiên cứu góp phần lựa chọn các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác và tin cậy trong đánh giá trữ lượng than mỏ Cao Sơn nói riêng, cho các mỏ than thuộc bể than Quảng Ninh nói chung.

**Từ khóa:** trữ lượng than, mô hình toán địa chất, mỏ Cao Sơn, tỉnh Quảng Ninh

## 1 Giới thiệu

Thực tiễn công tác thăm dò và khai thác đã chỉ ra rằng, trong tự nhiên không bao giờ các thân khoáng có hình dạng, kích thước, yếu tố thể nằm, các đặc trưng về chất lượng và các thông số địa chất thân khoáng giống nhau trên toàn bộ thân khoáng [1, 2, 3]. Chính sự biến hóa tự nhiên này mà việc nội và ngoại suy tài liệu thăm dò có độ tin cậy khác nhau. Để nhận thức đối tượng nghiên cứu trong quá trình thăm dò mỏ khoáng và mô tả định lượng sự biến hoá các tính chất quan trọng của các thông số địa chất thân khoáng, người ta thường sử dụng rộng rãi phương pháp mô hình hoá, đặc biệt là các loại mô hình toán địa chất [1, 2, 3, 4].

Theo báo cáo tổng hợp tài liệu và tính lại trữ lượng khoáng sàng Khe Chàm II- IV, mỏ than Cao Sơn đã được thăm dò bổ sung đến mức -500m với mạng lưới cấp 121 là 125 x 125m, cấp 122 là 150 x 150m, và cấp 333 là 300 x 300m [6, 7]. Kết quả thăm dò đã cung cấp những tài liệu cần thiết về chất lượng, trữ lượng than và điều kiện khai thác mỏ cho công tác khai thác

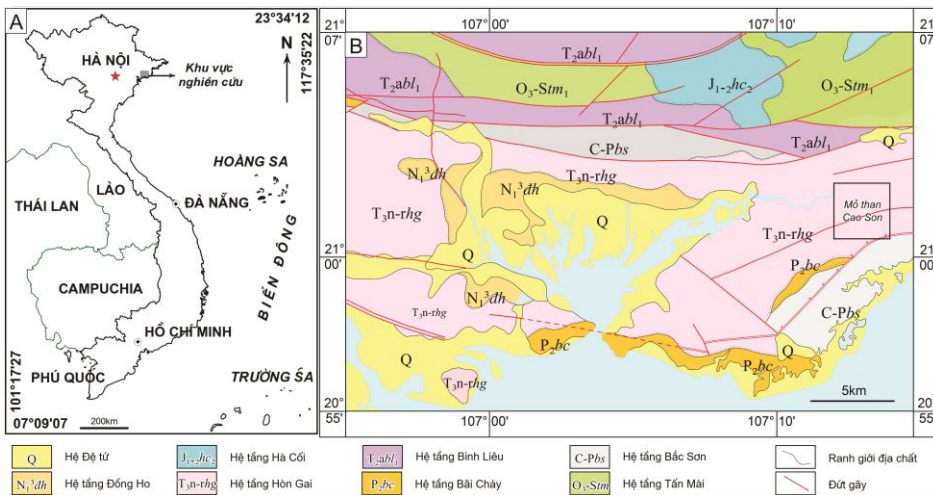
\* Corresponding: [khuongthehung@humg.edu.vn](mailto:khuongthehung@humg.edu.vn)

trong nhiều năm qua. Hiện mô đang khai thác bằng phương pháp lộ thiên đến cốt -70m. Phân tích tài liệu thăm dò cho thấy, mức độ nghiên cứu chi tiết chủ yếu tập trung từ lộ via đến cốt -200m, từ cốt -200m đến cốt -500m mức độ nghiên cứu còn sơ bộ, chỉ có một số ít công trình khoan khống chế các vỉa than. Vì vậy, việc đánh giá độ tin cậy của tài liệu thăm dò nói chung, trữ lượng than ở khu vực thăm dò nói riêng làm cơ sở định hướng thăm dò dưới sâu là hết sức cần thiết. Địa tầng của khu Cao Sơn chứa các vỉa than từ vỉa V1 đến vỉa V20 và một số vỉa phụ dạng thấu kính đi kèm. Tuy nhiên, các vỉa than V14-5, V13-1, V12, V11, V10 được đánh giá có triển vọng khai thác, và thực tế hiện nay hầu hết các moong khai thác đang tập trung vào những vỉa này. Do vậy, bài viết lựa chọn tập trung nghiên cứu cho các vỉa than nêu trên.

## 2 Khái quát về đặc điểm địa chất mỏ

Mỏ Cao Sơn thuộc khoáng sàng Khe Chàm, phường Mông Dương, thành phố Cẩm Phả, tỉnh Quảng Ninh. Khu mỏ cách trung tâm thành phố Cẩm Phả khoảng 4 km về phía tây nam, nằm bên trái đường quốc lộ 18A từ Hạ Long đi Mông Dương (Hình 1-A).

Trong khu mỏ có mặt các trầm tích Trias thuộc hệ tầng Hòn Gai, phân hệ tầng giữa và các trầm tích bờ rời hệ Đệ Tứ (Lê Hùng và nnk, 1996, Hình 1-B). Thành phần thạch học của phân hệ tầng Hòn Gai giữa bao gồm các lớp cuội kết, cát kết, bột kết, sét kết, sét than và các vỉa than nằm xen kẽ nhau, chiều dày địa tầng khoảng 1.800 m. Phân hệ tầng Hòn Gai giữa là đối tượng chứa các vỉa than công nghiệp (Hình 2).

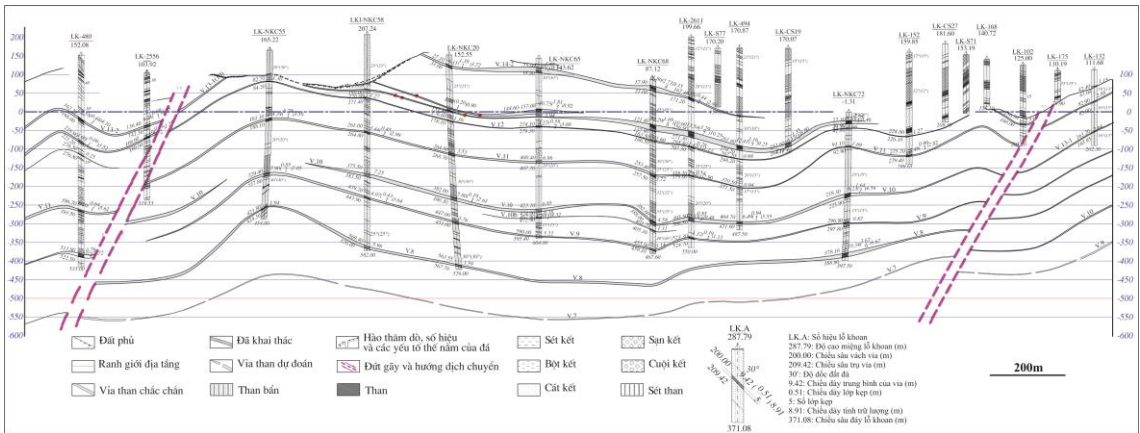


**Hình 1.** A-Bản đồ Việt Nam và vị trí vùng Cẩm Phả, B-So đồ địa chất vùng Cẩm Phả, Quảng Ninh và vị trí khu mỏ Cao Sơn [5]

Trầm tích hệ Đệ tứ (Q) phủ trực tiếp lên các thành tạo của phân hệ tầng Hòn Gai giữa, chúng được phân bố ở các khu vực thấp, thung lũng xung quanh khu mỏ. Thành phần trầm

tích bao gồm cuội, sỏi, cát, sét bờ rời, đôi nơi là các tầng lãn, đây là sản phẩm phong hoá từ các đá có trước.

Trong khu mỏ Cao Sơn phát triển các nếp uốn và hệ thống các đứt gãy, chúng làm phức tạp và gây khó khăn cho công tác đồng danh vỉa và khai thác than.



Hình 2. Mất cắt địa chất tuyến XVI mỏ than Cao Sơn [6, 7]

### 3 Số liệu và phương pháp nghiên cứu

Trong thực tế thăm dò, độ tin cậy về trữ lượng khoáng sản có thể được đánh giá bằng nhiều phương pháp khác nhau; trong đó, phương pháp toán thống kê, địa thống kê hoặc hàm ngẫu nhiên ổn định là những phương pháp thuộc mô hình toán địa chất được áp dụng gián tiếp xác định độ tin cậy của trữ lượng thông qua đánh giá độ tin cậy của mạng lưới thăm dò và sai số của các thông số ảnh hưởng đến độ tin cậy của công tác tính trữ lượng.

Tất cả các sai số tính trữ lượng được chia thành ba nhóm cơ bản đó là sai số địa chất, sai số kỹ thuật và sai số liên quan đến lựa chọn phương pháp tính trữ lượng [9, 10].

Sai số địa chất liên quan chủ yếu đến việc mở rộng (ngoại suy) tài liệu thực tế thu thập trong công trình thăm dò ra các khu vực lân cận (phương pháp khoan nổi thân khoáng, liên hệ các mặt cắt theo hệ thống tuyến thăm dò, xác định quy luật phân bố không gian của thành phần có ích và có hại,...). Trong thực tế, sai số địa chất thường là sai số lớn nhất trong tính trữ lượng nhưng ít được quan tâm. Theo nhiều nhà nghiên cứu, sai số địa chất trong tính trữ lượng có thể lên tới 10 - 15%.

Sai số kỹ thuật liên quan chủ yếu đến kỹ thuật đo và xác định các thông số ban đầu (chiều dày, kết quả phân tích mẫu,...) để tính trữ lượng như: đo chiều dày, phân tích hoá, xác định hàm lượng thành phần có ích, thể trọng, đo diện tích...

Các sai số kỹ thuật liên quan đến tính trữ lượng gồm có:

+ Sai số xác định thể trọng ( $\Delta_d$ ) dao động từ 5% [8] đến 10% [9].

+ Sai số xác định diện tích ( $\Delta_s$ ) trên bình đồ từ 2 - 3%.

Sai số đo chiều dày ( $\Delta_m$ ) thay đổi phụ thuộc vào chiều dày thân quặng (via than), loại công trình thăm dò và phương pháp đo. Theo Vaxiliev (1929), sai số chiều dày thường từ 2 - 3% [8]. Tuy nhiên, Kreige và cộng sự (1940) lại cho rằng, sai số đo chiều dày những mạch quặng trong công trình khai đào thường từ 2 - 10%, còn theo lỗ khoan đến 20 - 30% [9]. Trong đó, sai số lớn nhất chủ yếu liên quan với những mạch quặng có chiều dày mỏng.

Sai số ngẫu nhiên trung bình cho phép trong phân tích hoá ( $\Delta_c$ ) của độ tro than thường dao động từ 1 - 20%, đôi khi tới 30%. Trong trường hợp chung, sai số này thường nằm trong khoảng  $\pm (2 - 5\%)$  đối với via than độ tro thấp và tới  $\pm (25 - 30\%)$  đối với via than có độ tro cao.

### 3.1 Cơ sở tài liệu

Tài liệu sử dụng trong nghiên cứu này, chủ yếu là tài liệu trong báo cáo kết quả thăm dò khu mỏ than Khe Chàm do Nguyễn Hoàng Huân chủ biên (2012) [6], kết hợp các tài liệu khoan thăm dò bổ sung phần dưới sâu khu mỏ Cao Sơn thời gian gần đây. Đặc biệt, các dữ liệu thu thập bổ sung từ báo cáo kết quả thăm dò và tính lại trữ lượng của khoáng sàng than Khe Chàm II-IV [7] cũng được sử dụng trong bài báo này.

Dữ liệu tính toán thống kê và xây dựng hàm ngẫu nhiên được dựa trên các số liệu thu thập từ 157 công trình khoan và hào đã thi công qua các thời kỳ và giai đoạn thăm dò trên phạm vi khu mỏ Cao Sơn.

### 3.2 Phương pháp tính trữ lượng

Căn cứ vào đặc điểm địa chất, đặc điểm phân bố, thể nằm của via than, trữ lượng than mỏ than Cao Sơn được tính theo phương pháp Secang [6, 7].

Trữ lượng than trong từng khối được tính theo công thức tính sau:

$$Q_i = S_i \times m_i \times D = S_b \times \sec\alpha_i \times m_i \times D \quad (1)$$

$$\text{Trữ lượng via:} \quad Q = \sum Q_i \quad (1a)$$

trong đó:  $Q_i$  - Trữ lượng than của khối tính trữ lượng thứ  $i$  (tấn),  $Q$  - Tổng trữ lượng than của via (tấn),  $S_i$  - Diện tích thật trong khối tính trữ lượng thứ  $i$  ( $m^2$ ),  $S_b$  - Diện tích hình chiều bằng mặt trụ via ( $m^2$ ),  $\alpha_i$  - Góc gốc trung bình của via trong khối tính trữ lượng thứ  $i$  (độ),  $m_i$  - Chiều dày thật trung bình của via trong khối tính trữ lượng thứ  $i$  (m),  $D$  - Thể trọng than ( $D=1,39$  tấn/ $m^3$ ).

### 3.3 Phương pháp nghiên cứu

#### Mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định

Sử dụng mô hình hàm ngẫu nhiên cho phép giải quyết nhiều vấn đề liên quan đến thăm dò và khai thác mỏ. Mô hình hàm ngẫu nhiên gồm hai dạng chính là hàm ngẫu nhiên ổn định và hàm ngẫu nhiên không ổn định. Đặc trưng của hàm ngẫu nhiên ổn định là kỳ vọng toán  $M(x)$  và phương sai  $D(x)$  là đại lượng không thay đổi theo bất kỳ tọa độ không gian nào, tức không phụ thuộc vào vị trí của điểm quan sát, hàm tương quan  $K(h)$  phụ thuộc vào bước quan sát  $h$  và là đại lượng véctơ phụ thuộc vào hướng quan sát  $h$ . Trong phạm vi nghiên cứu này, mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định được sử dụng để góp phần đánh giá độ tin cậy của trữ lượng than thông qua đánh giá mạng lưới thi công các công trình thăm dò đã tiến hành tại mỏ Cao Sơn.

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  $r(h)$  [10]. Hàm tương quan xác định theo công thức.

$$K(h) = \frac{1}{n-h} \sum_{i=1}^{n-h} [f(x_i) - X][f(x_i + h) - X] \quad (2)$$

trong đó:  $n$  - Số lượng điểm quan sát,  $h$  - Khoảng cách giữa các điểm quan sát được thể hiện bằng số khoảng cách giữa các điểm kề nhau,  $X$  - Giá trị trung bình (kỳ vọng toán) của thông số nghiên cứu.

Khi giải quyết nhiệm vụ thực tế thường sử dụng hàm tương quan định mức  $r(h)$ :

$$r(h) = \frac{K(h)}{\sigma^2} \quad (3)$$

Hàm tương quan định mức cho phép tách phương sai  $\sigma^2$  ban đầu thành hai phần: Phương sai tương quan không gian:  $\sigma_k^2 = \sigma^2 \times r^2(h)$ ; và hợp phần phương sai ngẫu nhiên:  $\sigma_H^2 = \sigma^2 \times [1 - r^2(h)]$ .

Công thức (3) cho thấy, khi bước quan sát ( $h$ ) tăng thì phần phương sai tương quan không gian giảm, còn hợp phần ngẫu nhiên (không tương quan không gian) tăng dần đến giới hạn  $\sigma^2$ . Bước quan sát mà giá trị của thông số  $r(h)$  bị triệt tiêu, còn phương sai ngẫu nhiên trùng với  $\sigma^2$  ( $\sigma_H^2 = \sigma^2$ ) được gọi là giới hạn tự tương quan  $R$ . Giới hạn này đặc trưng cho kích thước đối ảnh hưởng của các điểm quan sát.

Khi bước quan sát  $h < R$  thì giá trị của thông số là đại lượng ngẫu nhiên phụ thuộc và khi đó, hệ số biến thiên của thông số nghiên cứu ( $V_H$ ) được xác định theo công thức:

$$V_H = \frac{\sigma_H}{X} = \frac{\sigma}{X} \sqrt{1 - r^2(h)} = V \sqrt{1 - r^2(h)} \quad (4)$$

Khi bước  $h > R$ , hệ số tương quan  $r(h) = 0$  và  $V_H = V$ , nghĩa là tính biến hoá được đặc trưng bởi hệ số biến thiên thông thường và có thể sử dụng mô hình thống kê để nghiên cứu đặc trưng biến hoá của quặng hoá. Trong trường hợp  $R(h) > 0$  với mọi  $h$  thì xác định kích thước đới ảnh hưởng  $H$  theo phương pháp sau.

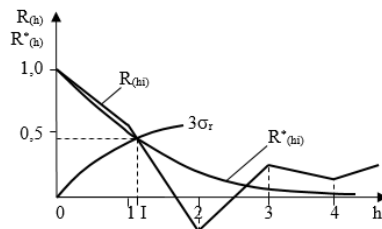
Xây dựng đồ thị hệ số tương quan định mức:

$$R^*(h) = e^{-\alpha \cdot h}; \alpha = \frac{\sum_{i=1}^m \ln |R(h_i)|}{\sum_{i=1}^m h_i} \tag{5}$$

trong đó:  $m$ - số bước quan sát;  $h$  - giá trị bước quan sát.

Dựa vào kết quả tính toán  $R(h_i)$  và  $R^*(h_i)$  xây dựng đồ thị tương quan không gian, trục hoành thể hiện khoảng cách bước quan sát ( $h_i$ ), trục tung là giá trị  $R(h)$  và  $R^*(h_i)$ .

Tại vị trí  $R^*(h)$  giao cắt đồ thị  $2\sigma_r$  hoặc  $3\sigma_r$  ( $\sigma_r = \frac{1}{\sqrt{N}} \times [1 - R^*(h)]$ ) hạ đường vuông góc xuống trục hoành, giả sử cắt trục hoành tại điểm  $I$ , khi đó khoảng cách  $OI$  chính là kích thước đới ảnh hưởng cần xác định ( $H=OI$ ) (Hình 3).



Hình 3. Mô hình hàm tương quan không gian  $R(h)$  [10]

Dựa vào kích thước đới ảnh hưởng ( $H$ ) cho phép xác định chỉ số dị hướng và lựa chọn khoảng cách bố trí công trình thăm dò.

Để đặc trưng cho mức độ dị hướng có thể sử dụng hệ số dị hướng ( $A$ ) xác định theo công thức:

$$A = \frac{I_d}{I_{df}} \tag{6}$$

trong đó:  $I_d$  - Kích thước ảnh hưởng ( $H$ ) theo hướng dốc,  $I_{df}$  - Kích thước ảnh hưởng ( $H$ ) theo đường phương.

Dựa vào chỉ số dị hướng  $A$  để lựa chọn hình dạng bố trí công trình thăm dò. Khi  $A \cong 1$  tốt nhất sử dụng mạng lưới hình vuông, còn khi  $A \neq 1$  nên áp dụng mạng lưới hình chữ nhật hoặc mạng lưới dạng tuyến.

## Phương pháp toán thống kê

Phương pháp toán thống kê được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu địa chất, trong đó có lĩnh vực đánh giá độ tin cậy của công tác tính trữ lượng khoáng sản.

Theo công thức (1 và 1a), trữ lượng than mỏ Cao Sơn được tính bằng phương pháp Secang, nên sai số trữ lượng chủ yếu là sai số thể tích và thể trọng than. Do vậy, sai số chung đánh giá trữ lượng than trong mô hình thống kê tương ứng với tổng sai số đánh giá thể tích khối tính trữ lượng/tài nguyên và thể trọng than; trong đó sai số thể tích bao gồm sai số chiều dày và diện tích vỉa than.

Trong điều kiện các thông số tuân theo luật phân bố chuẩn hoặc quy về phân bố chuẩn, sai số chiều dày vỉa tính theo công thức:

$$\Delta_m = \frac{tV}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

Trong đó:  $\Delta_m$  - Sai số chiều dày,  $t$  - Hệ số xác suất chọn  $t = 1,96$ , tương ứng xác suất tin cậy là 0,95;  $V$  - Hệ số biến thiên chiều dày vỉa,  $N$  - Số lượng công trình thăm dò.

Theo Kazdan (1977) [10], tổng sai số kỹ thuật trong tính trữ lượng ở từng khối được xác định theo công thức sau:

$$\sum \Delta = \sqrt{\Delta_m^2 + \Delta_s^2 + \Delta_d^2} \quad (8)$$

Tổng sai số tính theo công thức (8) có thể chiếm 12 - 15% hoặc hơn.

## 4 Kết quả và thảo luận

### 4.1 Các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác tính trữ lượng

Độ chính xác tính trữ lượng khoáng sản trong lòng đất phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó quan trọng nhất là yếu tố địa chất, hệ thống và mật độ mạng lưới thăm dò, phương pháp nội suy tài liệu địa chất và phương pháp xác định các thông số địa chất - công nghiệp (thông số tính trữ lượng).

*Yếu tố địa chất* ảnh hưởng đến độ chính xác của tính trữ lượng tương đối đa dạng, bao gồm cấu trúc địa chất mỏ, loại khoáng sản, hình dạng, điều kiện thể nằm và cấu trúc nội bộ của thân khoáng, số lượng thân khoáng, mức độ biến hoá của các thông số địa chất - công nghiệp. Mỏ (vỉa than) càng phức tạp thì sai số tính trữ lượng có nguy cơ càng lớn và ngược lại.

*Hệ thống và mật độ mạng lưới thăm dò* là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng quyết định đến độ chính xác của tính trữ lượng khoáng sản trong lòng đất. Khi hệ thống thăm dò, mật độ và sự định hướng của mạng lưới thăm dò được lựa chọn không hợp lý có thể dẫn đến nhận thức sai lệch về đặc điểm địa chất mỏ, hình dạng, độ sâu thể nằm và qui luật phân bố

của khoáng sản... là nguyên nhân làm tăng sai số tính trữ lượng. Trong trường hợp chung, cấu trúc địa chất mỏ và số lượng trữ lượng được xác định càng chính xác thì mật độ mạng lưới thăm dò càng cao và chi phí càng lớn. Vì vậy, để nâng cao hiệu quả của công tác thăm dò và độ chính xác của tính trữ lượng cần lựa chọn hợp lý hệ thống và hình dạng mạng lưới thăm dò trên cơ sở phân tích đầy đủ về nhóm mỏ thăm dò, tính không đồng nhất và tính dị hướng của khoáng sản (via than).

*Các phương pháp nội suy tài liệu địa chất* bao gồm phương pháp khoanh nổi thân khoáng, liên hệ các mặt cắt theo hệ thống tuyến thăm dò, xác định qui luật phân bố không gian của thành phần có ích và có hại. Kết quả nội suy tài liệu địa chất là cơ sở để xác định tất cả tài liệu ban đầu cho tính trữ lượng, đó là diện tích, chiều dày, thể trọng và hàm lượng thành phần có ích. Chính vì vậy, phương pháp nội suy tài liệu địa chất được coi là một trong những yếu tố thực tế phát sinh sai số và dẫn đến là giảm hoặc tăng việc xác định trữ lượng khoáng sản trong lòng đất. Để giải quyết vấn đề này, các nhà địa chất cần phải phân tích, lựa chọn các phương pháp nội suy tài liệu địa chất phù hợp với đối tượng thăm dò.

*Phương pháp xác định các thông số địa chất - công nghiệp* (thông số tính trữ lượng) ảnh hưởng trực tiếp đến việc khoanh nổi hình dạng via than và xác định số lượng trữ lượng than trong lòng đất. Mức độ ảnh hưởng của chúng đặc biệt lớn khi xuất hiện sai số hệ thống trong quá trình lấy, gia công và phân tích mẫu hoặc xác định các thông số khác. Các sai số này chỉ có thể khắc phục bằng cách hoàn thiện phương pháp và kỹ thuật lấy mẫu, phương pháp đo chiều dày, diện tích và xử lý mẫu đặc cao (mẫu dị thường).

Theo Nguyễn Hoàng Huân và nnk (2012) [6, 7], kết quả đánh giá trữ lượng còn lại cho các via than mỏ Cao Sơn đến cuối năm 2013, tổng hợp ở bảng 1.

**Bảng 1.** Trữ lượng than còn lại ở mỏ Cao Sơn [6]

Tên via	Trữ lượng (tấn)		Tài nguyên (tấn)		
	122	Tổng cộng	333	334a	Tổng cộng
14-5	12 840 760	12 840 760			
14-4	1 023 619	1 023 619			
14-2	8 733 208	8 733 208			
14-1	352 409	352 409			
13-2	3 263 773	3 263 773			
13-1	26 846 582	26 846 582	162 454		162 454
12	4 766 997	4 766 997	616 073		616 073
11	19 585 447	19 585 447			
10	32 587 743	32 587 743			



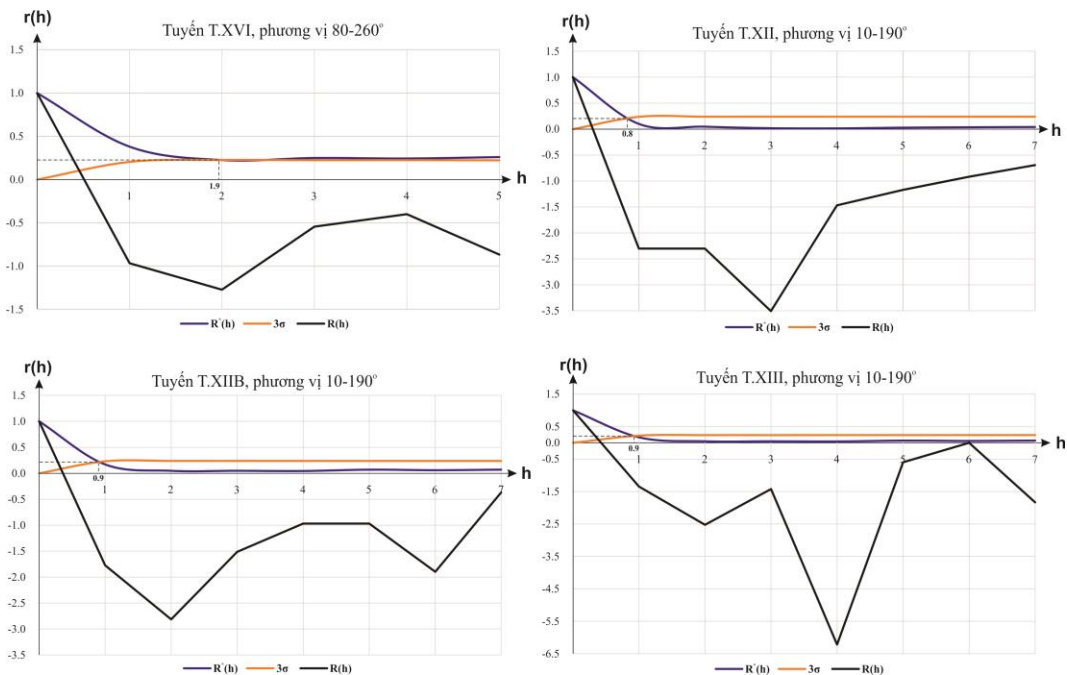
Tên vỉa	Trữ lượng (tấn)		Tài nguyên (tấn)		
	122	Tổng cộng	333	334a	Tổng cộng
9	15 490 767	15 490 767	898 489		898 489
8	15 528 047	15 528 047	9 293 747		9 293 747
Tổng	141 019 352	141 019 352	10 970 763		10 970 763

#### 4.2 Đánh giá độ tin cậy mạng lưới thăm dò mỏ Cao Sơn

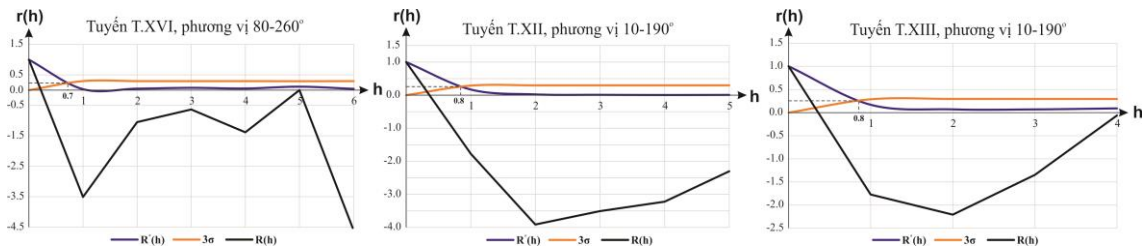
Mỏ Cao Sơn có cấu tạo dạng một nếp lồi, các tuyến thăm dò bố trí trên bình đồ theo phương vị 10 - 190° cách nhau 150m và công trình khoan trên tuyến xác định trên bình đồ cách nhau trung bình 115m [6, 7]. Do các vỉa than nằm trong cấu trúc dạng nếp lồi Cao Sơn, nên tồn tại tại khái niệm tuyến dọc và tuyến ngang. Vì vậy, để xác định khoảng cách giữa các công trình thăm dò trên tuyến theo phương vị 80 - 260° đã tiến hành liên kết các công trình trên những tuyến thăm dò phương vị 10 - 190°. Như vậy, trên bình đồ mạng lưới công trình thăm dò thực tế là 115m × 150m.

Để đánh giá độ tin cậy của mạng lưới thăm dò, mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định được áp dụng cho các tuyến thăm dò có số lượng công trình cắt qua các vỉa V13-1, V12, V11.

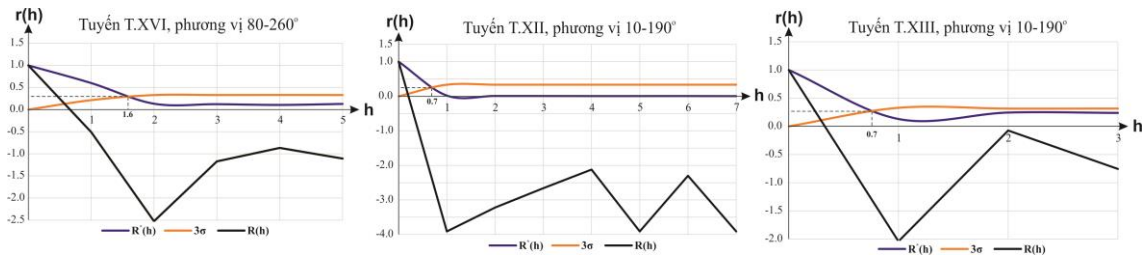
Kết quả tính toán hàm ngẫu nhiên ổn định theo các tuyến thăm dò đối với một số vỉa được lựa chọn trình bày ở các hình 4, 5, 6.



Hình 4. Đồ thị hàm ngẫu nhiên ổn định theo các tuyến thăm dò vỉa V13 - 1



Hình 5. Đồ thị hàm ngẫu nhiên ổn định theo các tuyến thăm dò via V12



Hình 6. Đồ thị hàm ngẫu nhiên ổn định theo các tuyến thăm dò via V11

Tổng hợp kết quả khảo sát hàm ngẫu nhiên ổn định theo các tuyến thăm dò có phương vị 80 – 260° và 10- 190° tương ứng với một số vỉa than được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả khảo sát hàm ngẫu nhiên ổn định

Tên vỉa	Tuyến	Phương vị (độ)	Giá trị h	Kích thước đối ảnh hưởng (m)		Hệ số dị hướng trung bình (A)
				Theo đường phương ( $I_{đf}$ )	Theo hướng dốc ( $I_d$ )	
13 - 1	TXVI	80 - 260	1,90	285		92:210=0,44
	TXII	10 - 190	0,80		92	
	TIIB	10 - 190	0,90		104	
	TXIII	10 - 190	0,90		104	
12	TXVI	80 - 260	0,70	105		
	TXII	10 - 190	0,80		92	
	TXIII	10 - 190	0,80		92	
11	TXVI	80 - 260	1,60	240		
	TXII	10 - 190	0,70		81	
	TXIII	10 - 190	0,70		81	

Từ bảng 2 cho thấy, kích thước đối ảnh hưởng theo đường phương thay đổi từ 105÷285m, kích thước ảnh hưởng theo hướng dốc thay đổi từ 81÷104m và có tính dị hướng rõ ràng (A=0,44). Như vậy, mạng lưới thăm dò đã áp dụng (115mx150m) cho các vỉa than mỏ Cao

Son về cơ bản phù hợp với tính chất dị hướng của các vỉa than và đáp ứng yêu cầu mạng lưới thăm dò mỏ than Cao Sơn, thuộc nhóm mỏ tương đối phức tạp (nhóm mỏ loại II). Tuy nhiên, để đáp ứng tốt yêu cầu cho quá trình khai thác, giai đoạn thăm dò phục vụ khai thác cần tiến hành phân tích chi tiết yếu tố cấu trúc vỉa trên cơ sở bình đồ đẳng trụ, đẳng chiều dày để bố trí bổ sung công trình đáp ứng yêu cầu khoảng cách giữa các công trình thăm dò theo hướng dốc không vượt quá 104 m đối với các khối tính trữ lượng cấp 122 và 75 m đối với các khối tính trữ lượng cấp 121, khoảng cách giữa các tuyến thăm dò cách nhau không quá 210 m đối với các khối tính trữ lượng cấp 122 và 140 m đối với các khối tính trữ lượng cấp 121.

#### 4.3 Đánh giá độ tin cậy trữ lượng theo phương pháp toán thống kê

Phương pháp toán thống kê được áp dụng khá rộng rãi trong nghiên cứu địa chất, trong đó có lĩnh vực đánh giá độ tin cậy và chính xác của trữ lượng khoáng sản. Như đã trình bày ở trên, trữ lượng than mỏ Cao Sơn được tính bằng phương pháp Secang nên sai số trữ lượng chủ yếu là sai số thể tích vỉa và thể trọng than. Căn cứ vào các thông số đã tính toán, theo công thức (7) sai số chiều dày vỉa được đánh giá như ở bảng 3.

**Bảng 3.** Sai số chiều dày vỉa

TT	Tên vỉa	Số công trình	V <sub>m</sub> (%)	Sai số chiều dày (%)
1	14 - 5	97	60	11,94
2	13 - 1	157	72	11,26
3	12	102	55	10,67
4	11	80	51	11,17
5	10	54	39	10,40

Sai số diện tích vỉa ( $\Delta_s$ ): do các vỉa than ít biểu hiện các nếp uốn dạng lượn sóng, nên khi xác định diện tích trên bình đồ chiếu bằng qua các đường đẳng trụ thường có sai số nhỏ nhờ việc ứng dụng các phần mềm chuyên dụng (như AutoCAD hoặc Mapinfor) để đo diện tích vỉa than. Chính vì vậy, ở trường hợp mỏ Cao Sơn, nhóm nghiên cứu lựa chọn sai số diện tích đo trên bình đồ bằng 3%.

Sai số thể trọng than tính cho từng vỉa được áp dụng tính theo công thức (7) tương tự đối với sai số chiều dày. Kết quả tính toán tổng hợp ở bảng 4.

**Bảng 4.** Sai số thể trọng vỉa

TT	Tên vỉa	Số công trình	V <sub>a</sub> (%)	Sai số thể trọng (%)
1	14 - 5	148	5,76	0,93
2	13 - 1	138	4,08	0,68

TT	Tên vỉa	Số công trình	V <sub>d</sub> (%)	Sai số thể trọng (%)
3	12	36	6,75	2,20
4	11	68	6,27	1,49
5	10	96	5,79	1,16

Để xác định sai số trữ lượng than ở các khu vực chi tiết hóa, áp dụng công thức (8) sai số trữ lượng ΔQ (%) được tính toán và tổng hợp trong bảng 5.

**Bảng 5.** Sai số trữ lượng

SST	Vỉa	t	Δ <sub>μ</sub>	Δ <sub>σ</sub>	Δ <sub>δ</sub>	ΔΘ (%)
1	14-5	1,96	11,94	3,0	0,93	±12,35
2	13-1		11,26	3,0	0,68	±11,67
3	12		10,67	3,0	2,20	±11,30
4	11		11,17	3,0	1,49	±11,67
5	10		10,40	3,0	1,16	±10,89

Số liệu tính toán cho thấy với xác suất tin cậy 0,95 thì sai số trữ lượng thay đổi từ ± 10,89 ÷ ± 12,35% là hợp lý và chấp nhận được cho cấp trữ lượng 121 và 122 đối với nhóm mỏ thăm dò loại II như mỏ Cao Sơn [11].

## 5 Kết luận

Kết quả tổng hợp, phân tích tài liệu, đánh giá độ tin cậy trữ lượng than mỏ Cao Sơn, Quảng Ninh cho phép rút ra một số kết luận như sau:

Dữ liệu thu thập từ 157 công trình hào và khoan được xử lý bằng mô hình toán thống kê và mô hình hàm ngẫu nhiên ổn định. Kết quả khảo sát theo các tuyến thăm dò có phương vị 80 – 260° và 10 - 190° đối với 3 vỉa than V13-1, V12 và V11 cho thấy, các vỉa than có tính chất dị hướng với hệ số dị hướng 0,44. Do vậy, trong quá trình thăm dò phục vụ khai thác cần điều chỉnh mạng lưới thăm dò mỏ than Cao Sơn đảm bảo nguyên tắc khoảng cách giữa các công trình thăm dò theo hướng dốc bằng 0,44 lần khoảng cách giữa các tuyến thăm dò.

Kết đánh giá sai số trữ lượng than ở các diện tích thăm dò thuộc mỏ Cao Sơn cho thấy với xác suất tin cậy 0,95 thì sai số trữ lượng thay đổi từ ± 10,89 ÷ ± 12,35% có thể chấp nhận được trong ngưỡng cho phép đối với cấp trữ lượng 121 và 122, nghĩa là trữ lượng đã tính toán trong giai đoạn thăm dò cơ bản đáp ứng độ tin cậy cho khai thác.

## Tài liệu tham khảo

1. Albarède F (1996). *Introduction to geochemical modeling*. Cambridge University Press.
2. Gandhi SM and Sarkar BC (2016). *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 406p.
3. Saikia K and Sarkar BC (2006). Exploration drilling optimisation using geostatistics: a case in Jharia Coalfield, India. *Applied Earth Science*, 115(1), 13-22.
4. Sarkar BC, Saikia K, Sarma M, Pandey S, Paul PR (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(12), 586-594.
5. Lê Hùng (chủ biên) (1996). *Bản đồ địa chất và khoáng sản nhóm từ Hòn Gai - Cẩm Phả, tỷ lệ 1:50.000*. Lưu trữ Địa chất - Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội.
6. Nguyễn Hoàng Huân (chủ biên) (2012). *Báo cáo tổng kết kết quả thăm dò khu mỏ than Khe Chàm, thành phố Cẩm Phả - Quảng Ninh, Hà Nội*.
7. Nguyễn Hoàng Huân (chủ biên) (2018). *Báo cáo tổng hợp tài liệu và tính lại trữ lượng khoáng sàng Khe Chàm II-IV, thành phố Cẩm Phả - Quảng Ninh, Hà Nội*.
8. Vaxiliev IX và Kazakovski DA (1929). *Xử lý số liệu địa hóa trong thăm dò khoáng sản*. Neđra, Moskva (Bản tiếng Nga).
9. Kreige AA, Rozin AA, Pojariski KL (1940). *Phương pháp tìm kiếm thăm dò khoáng sản rắn*. Neđra, Moskva (Bản tiếng Nga).
10. Kazdan AB (1977). *Cơ sở phương pháp thăm dò khoáng sản*. Neđra, Moskva (Bản tiếng Nga).
11. Quy định về phân cấp trữ lượng và tài nguyên than (2007). Quyết định số 25/2007/QĐ-BTNMT ngày 31/12/2007 - Bộ Tài nguyên và Môi trường.

## EVALUATION OF THE COAL RESERVE RELIABILITY IN THE CAO SON MINE, QUANG NINH PROVINCE BY USING GEOMATHEMATIC MODELS

**Abstract.** The Cao Son mine is located in the southern part of the Quang Ninh province. It belongs to the Hon Gai coal zone, where many coal resources have been estimated in Vietnam. Based on synthesizing and processing data of the mining geological parameters by using stable random function and statistical methods, results show that the coal reserve reliability depends on some elements such as geological conditions, especially in the distances between exploration works, and parameters of calculating coal reserves as thickness, density, and declination angle on coal seams. The stable random function for calculating the affected range indicates that most exploration works satisfy the appropriate pattern grid exploration for reserve level 121 and 122 in the Cao Son mine. The statistic models based on the confidence probability of 0.95 are applied in this paper to estimate coal reserve reliability in the study area, resulting in  $\pm 10.89 \div \pm 12.35\%$  of coal reserve errors. It indicates that calculating coal resources during the exploration process is good enough for the exploited design. Results also provide an overview of the affected elements of coal resource reliability, serving as a basis for determining the errors of coal resources in the Cao Son mine. Generally, these can be applied to other coal deposits occurring in similar geological and mining conditions in the Quang Ninh basin.

**Keywords:** coal reserves, geomathermatic models, Cao Son mine, Quang Ninh province