Journal of Mining and Earth Sciences

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

Evaluating the reliability of the exploration and calculating Uranium reserves of the Binh Duong Deposit, Cao Bang province

Phuong Nguyen [1,*], Huan Dinh Trinh [2], Giang Truong Nguyen [3], Chau Le Tran [3]

[1] *Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*
[2] *Geological Division for Radioactive and Rare Elements, Hanoi, Vietnam*
[3] *Council Office of the National Resources and Assessment, Hanoi, Vietnam*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 09th Dec. 2021
Revised 24th Mar. 2022
Accepted 03rd Apr. 2022

Keywords:
Reliability Of The Exploration, Binh Duong Uranium Deposit, Reserve Calculation.

ABSTRACT

This paper presents new results about evaluating the exploration's reliability and Uranium reserve calculation of the Binh Duong deposit, Cao Bang province, by using the multiple math statistical and geostatistics methods. The results indicte:

- The Uranium ore bodies in the Binh Duong deposit are lenticular-shaped, complex morphology and structure. They belong to the small-scale type, with complex changes.

- The Uranium contents of industrial ore bodies calculated by the ore thickness' weighted average method are comparable to those estimated by the adjacent bulk method. However, these values are systematically lower than the mean values.

- The crucial factor in the reliability of the exploration and calculation for reserves in the Binh Duong Uranium deposit are the ore bodies' thickness and random error in sample analysis.

- The error in calculating uranium reserves in the case of taking into account the efficiency of using the internally and externally extrapolating boundaries of the ore body are larger than the case without paying attention to this efficiency.

- The exploration network has been carried out being within 40m along the strike and 20÷40 m along the slope, enough basis to calculate reserves at level 122; however, out of this network only responds to the requirement of calculating resource at level 333.

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

*Corresponding author
E - mail: phuong_mdc@yahoo.com
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).03

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Đánh giá độ tin cậy của công tác thăm dò và tính trữ lượng Urani mỏ Bình Đường, Cao Bằng

Nguyễn Phương [1,*], Trịnh Đình Huấn [2], Nguyễn Trường Giang [3], Trần Lê Châu [3]

[1] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam*
[2] *Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm, Hà Nội, Việt Nam*
[3] *Văn phòng Hội đồng Đánh giá trữ lượng khoáng sản Quốc gia, Hà Nội, Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 19/11/2021
Sửa xong 24/3/2022
Chấp nhận đăng 03/4/2022

Từ khóa:
Độ tin cậy của thăm dò, Mỏ Urani Bình Đường, Tính trữ lượng.

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu, đánh giá độ tin cậy của công tác thăm dò và tính trữ lượng Urani mỏ Bình Đường, tỉnh Cao Bằng trên cơ sở sử dụng phối hợp Phương pháp toán thống kê và Địa thống kê. Kết quả nghiên cứu rút ra một số kết luận sau:

- Các thân quặng Urani khu mỏ Bình Đường có dạng thấu kính, hình thái cấu trúc thuộc loại phức tạp. Thân quặng thuộc loại quy mô nhỏ, biến đổi phức tạp.

- Hàm lượng Urani trung bình trong các thân quặng công nghiệp tính theo phương pháp trung bình gia quyền với chiều dày và phương pháp khối gần kề là xấp xỉ nhau và nhỏ hơn giá trị trung bình tính theo phương pháp trung bình số học.

- Yếu tố quyết định độ tin cậy trong thăm dò và tính trữ lượng Urani đối với mỏ Bình Đường là chiều dày thân quặng và sai số ngẫu nhiên trong phân tích mẫu.

- Sai số tính trữ lượng Urani trong trường hợp có tính đến hiệu suất sử dụng ranh giới nội, ngoại suy thân quặng lớn hơn trường hợp không chú ý đến hiệu suất sử dụng ranh giới nội, ngoại suy thân quặng.

- Mạng lưới thăm dò đã thi công trong phạm vi 40 m theo đường phương và 20÷40 m theo hướng dốc đủ cơ sở tính trữ lượng ở cấp 122; ngoài mạng lưới này chỉ đáp ứng yêu cầu tính tài nguyên ở cấp 333.

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

1. Mở đầu

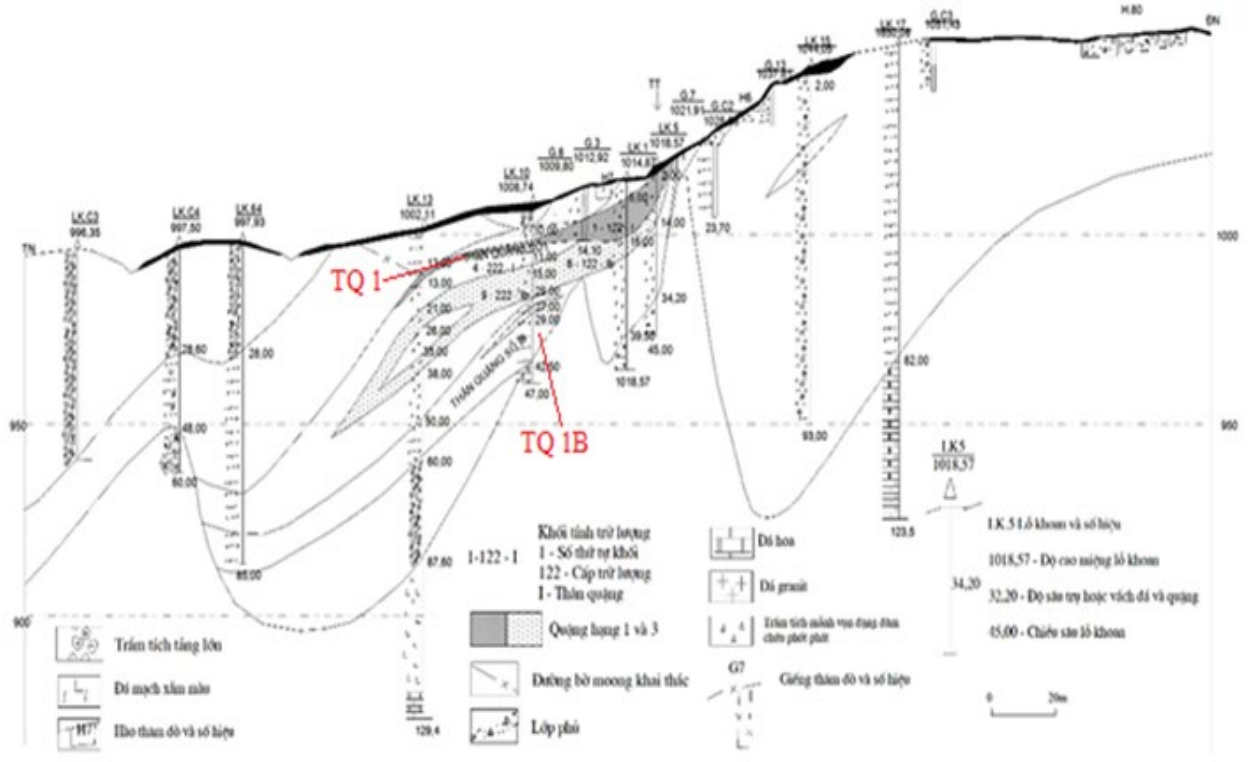
Nước ta được đánh giá là một trong số các quốc gia có tiềm năng lớn về khoáng sản Urani. Các mỏ, điểm quặng hoặc các biểu hiện khoáng hóa Urani được hình thành trong các cấu trúc địa chất với mức độ phức tạp khác nhau, có tuổi từ Proterozoi đến Đệ tứ (Nguyễn, 1990; Nguyễn, 2008; Trịnh, 2020). Trong đó, quặng Urani có triển vọng nhất tập trung chủ yếu ở khu vực Trung bộ và Bắc bộ. Trong thời gian qua, đã có nhiều tổ chức trong và ngoài nước tiến hành công tác nghiên cứu, điều tra, tìm kiếm và thăm dò quặng Urani; trong đó có mỏ Bình Đường, tỉnh Cao Bằng (Phùng, 1986; Nguyễn, 1990; Nguyễn, 2008; Trần,

*Tác giả liên hệ
E - mail: phuong_mdc@yahoo.com
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).03

2017). Tuy nhiên, đến thời điểm hiện nay, kinh nghiệm về thăm dò quặng Urani của nước ta còn nhiều hạn chế, là những cản trở không nhỏ trong việc sử dụng phương pháp đối sánh hoặc phương pháp tương tự để lựa chọn hệ thống thăm dò và phương pháp tính trữ lượng cho loại hình khoáng sản đặc biệt này. Do đó, để góp phần nâng cao hiệu quả và độ tin cậy của công tác thăm dò quặng Urani trên lãnh thổ nước ta, thì việc nghiên cứu đánh giá độ tin cậy của hệ thống thăm dò và phương pháp tính trữ lượng Urani đã sử dụng trong thời gian qua là rất cần thiết. Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu ứng dụng các phương pháp toán địa chất để đánh giá độ tin cậy của mạng lưới thăm dò và phương pháp tính trữ lượng Urani cho kiểu mỏ Bình Đường, góp phần nâng cao hiệu quả công tác thăm dò Urani trên lãnh thổ Việt Nam là hết sức cần thiết.

2. Khái quát về đối tượng nghiên cứu

Về nguồn gốc quặng Urani mỏ Bình Đường hiện còn có các quan điểm khác nhau. Theo Trần Ngọc Thái năm 2017 thì quặng Urani mỏ Bình Đường có nguồn gốc nhiệt dịch nhiệt độ trung bình - thấp (120÷220^{0}C) , thuộc kiểu mỏ Urani dạng mạch, mạng mạch liên quan với granit phức hệ Pia Oắc (Trần, 2017). Theo Phùng (1986) và Nguyễn (1990), quặng Urani mỏ Bình Đường phân bố trong các trầm tích Proluvi - Deluvi cổ (hệ Neogen - N?). Phùng (1986) cho rằng, các thân quặng Urani trong khu mỏ Bình Đường phân bố tập trung trong trầm tích bở rời Proluvi - Deluvi cổ (hệ Neogen - N?), phía bắc tiếp giáp với thung lũng Bình Đường). Chiều dài khoảng 2.000 m, rộng 500÷700 m, được chia làm 4 khu: Khu bắc, khu Đệm, khu trung tâm và khu Nam. Trong diện tích đã thăm dò, các thân quặng được đánh giá gồm thân quặng I và thân quặng II khu trung tâm, thân quặng III khu bắc, ngoài 3 thân quặng này, trong khu mỏ còn một số thân quặng dạng thấu kính, có quy mô nhỏ, hàm lượng thấp nằm trên hoặc dưới các thân quặng chính (Hình 1: thể hiện thân quặng 1B có quy mô nhỏ, hàm lượng thấp nằm dưới thân quặng 1; hình 2: thể hiện thân quặng IIIB có quy mô nhỏ, hàm lượng thấp nằm dưới thân quặng III) (Phùng, 1986). Thân quặng I: phân bố ở khu trung tâm, là thân quặng có quy mô lớn, chất lượng tốt và có điều kiện khai thác thuận lợi nhất của mỏ Bình Đường.



Hình 1. Mặt cắt địa chất tuyến O mỏ Urani Bình Đường, Cao Bằng (theo Phùng, 1986).

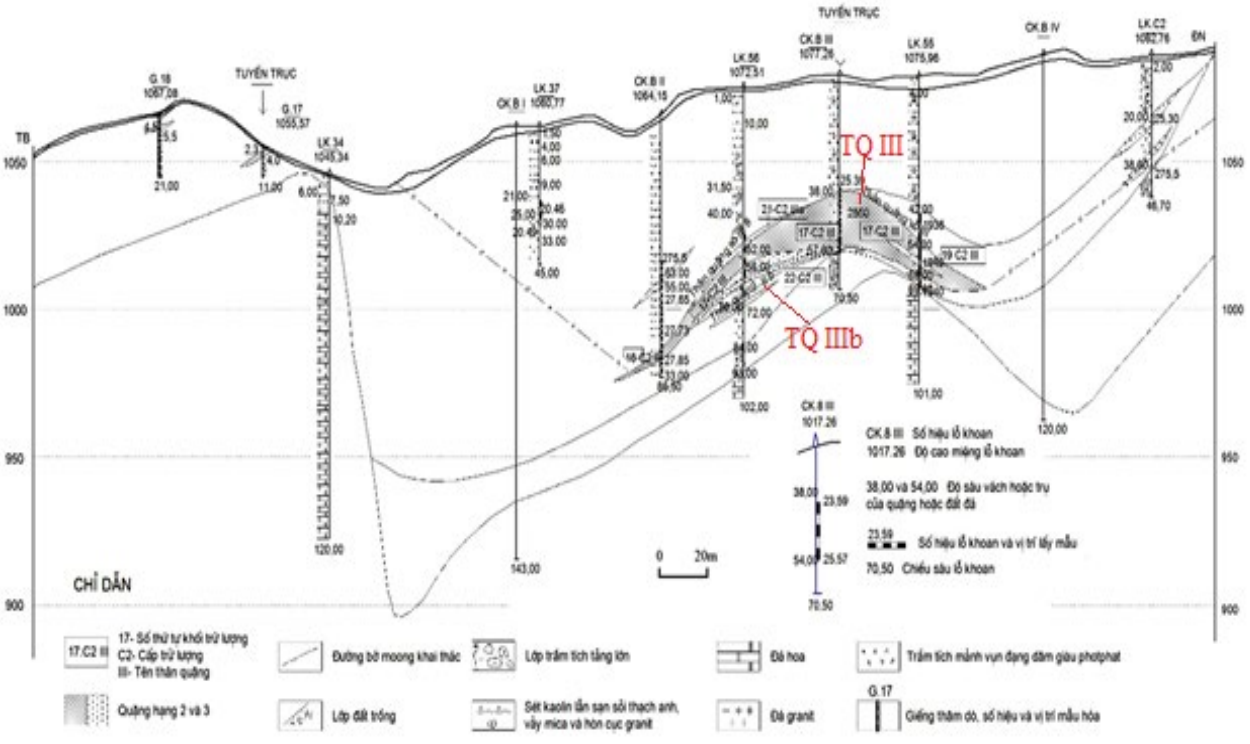
Thân quặng dạng thấu kính, có hình thái cấu trúc khá phức tạp, cắm nghiêng về tây nam với góc dốc thay đổi từ 15÷70 ^{0}C (Hình 1), biến đổi khá đột ngột, không có quy luật. Thân quặng kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, dài trên 200 m, chiều rộng 60÷90 m, dày từ 1÷28 m. Thân quặng dạng thấu kính, lộ trên mặt ở độ cao 1.020÷1.030m, nơi sâu nhất nằm dưới lớp phủ khoảng 40m. Thành phần quặng phức tạp, gồm 2 phần: Các mảnh vụn dạng dăm, cuội, sạn rắn chắc, vật liệu vụn mịn đóng vai trò làm xi măng gắn kết khoáng vật quặng là tocbenit, ít otenit (chiếm khoảng 1%), phân bố rải rác trong thành phần xi măng. Hàm lượng Urani trung bình 0,03÷0,12%. Hàm lượng P_2O_5 trung bình 7,27% (Phùng, 1986; Nguyễn, 1990).

- Thân quặng II: phân bố ở khu trung tâm, thân quặng có dạng hình phễu, có hình thái cấu trúc phức tạp, phân bố trong ranh giới tiếp xúc giữa đá hoa và đá granit. Thân quặng kéo dài theo phương tây bắc - đông nam dài khoảng 130 m, rộng 10÷35 m, dày từ 4÷15 m. Thân quặng có thế nằm thoải (20÷30^{0}C), phân bố ở độ cao 955÷1.000 m, bị phủ khá dày (30÷55 m) (Hình 1). Hàm lượng Urani thay đổi 0,045÷0,065%, trung bình 0,055%. Hàm lượng P_2O_5 trung bình 11,01%, biến đổi không có quy luật (Phùng, 1986; Nguyễn, 1990).

- Thân quặng III: phân bố ở khu bắc, dạng thấu kính nằm nghiêng, bị uốn lượn theo hình dạng lớp trầm tích. Trên bình đồ có dạng gần đẳng thước. Chiều dày thay đổi từ 1÷20 m, trung bình 5÷10 m, thế nằm 310 ∠ 15÷45^{0}C. Thân quặng có hình thái - cấu trúc phức tạp, chứa từ 1÷3 lớp đá kẹp dày từ 1÷8 m; bị phủ khá dày, từ 35÷80 m và phân bố ở độ cao 980÷1.040 m (Hình 2). Khác với các thân quặng khu trung tâm, trong thành phần thân quặng nghèo mảnh vụn dạng dăm, cuội. Khoáng vật quặng chủ yếu là octenit và ít tocbenit. Hàm lượng Urani trong thân quặng thay đổi từ 0,044÷0,053%, trung bình 0,049%, hàm lượng P_2O_5 trung bình là 8,16% (Phùng, 1986; Nguyễn, 1990).

Trong giai đoạn thăm dò (năm 1986), đã lấy hơn 3.000 mẫu phân tích các loại. Hầu hết các mẫu phân tích trong các thân quặng I và II khu trung tâm và thân quặng III khu bắc (Phùng, 1986). Kết quả tổng hợp tài liệu phân tích cho thấy hàm lượng Urani chủ yếu tập trung ở bậc 0,01÷0,05%.

Để khoanh nối thân quặng công nghiệp và tính trữ lượng quặng Urani mỏ Bình Đường, đoàn



Hình 2. Mặt cắt địa chất tuyến 2 mỏ Urani Bình Đường, Cao Bằng (theo Phùng, 1986).

Địa chất 152 (Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm) sử dụng chỉ tiêu trữ lượng như sau:

- Quặng loại I: Hàm lượng biên 0,047% U_3O_8 (0,040% U), hàm lượng công nghiệp tối thiểu 0,1 % U_3O_8 (0,085% U).
- Quặng loại II: Hàm lượng biên 0,023% U_3O_8 (0,02% U), hàm lượng công nghiệp tối thiểu 0,05 % U_3O_8 (0,042% U).
- Chiều dày thân quặng công nghiệp tối thiểu là 1m, chiều dày lớp đá kẹp tối đa 1m.

Phần tài nguyên có hàm lượng > 0,02%U, hàm lượng trung bình theo khối < 0,42% U được tính vào trữ lượng ngoài bảng cân đối, tương ứng cấp tài nguyên 222 hiện nay.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp thu thập, tổng hợp tài liệu

Xem xét toàn bộ tài liệu địa chất và các số liệu trong báo cáo thăm dò, tiến hành một số lộ trình khảo sát địa chất khu vực nghiên cứu. Kiểm tra lại toàn bộ mặt cắt địa chất thăm dò, khu mỏ Bình Đường lưu trữ ở Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm. Xem xét toàn bộ tài liệu phân tích các loại mẫu, thiết đồ khoan và công trình khai đào. 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. Sử dụng phương pháp phân tích đặc điểm cấu trúc địa chất khu mỏ, cấu trúc thân quặng, mặt cắt địa chất tuyến thăm dò. Đã tiến hành chỉnh lý lại một số mặt cắt địa chất thăm dò chính cắt qua các thân quặng I, II và thân III. Kết quả tổng hợp tài liệu cho thấy, trong diện tích khu mỏ Bình Đường chỉ có thân quặng I - khu trung tâm và thân quặng III - khu bắc đã được thăm dò và tính trữ lượng ở cấp C_1 (tương ứng cấp 122 hiện nay); đây cũng là các thân quặng có quy mô lớn, chiếm trữ lượng, tài nguyên chính của khu mỏ; đồng thời tại 2 thân quặng này đã có số lượng công trình khống chế đủ lớn để áp dụng phương pháp toán địa chất. Vì vậy, trong bài báo này, tác giả chỉ sử dụng tài liệu thăm dò của thân quặng I và III để luận giải về độ tin cậy của công tác thăm dò và tính trữ lượng Urani mỏ Bình Đường.

3.2. Lựa chọn phương pháp đánh giá độ tin cậy công tác thăm dò và tính trữ lượng Urani mỏ Bình Đường

a. Phương pháp thống kê

Kết quả tính toán hệ số tự tương quan của các thông số chiều dày, hàm lượng và trữ lượng đã chỉ ra khoảng cách giữa các công trình thăm dò lớn hơn kích thước đới ảnh hưởng (Nguyễn và nnk., 2020), tức là các thông số địa chất thân quặng thu nhận từ các công trình thăm dò được xem là hợp phần biến đổi ngẫu nhiên, không phụ thuộc. Khi đó, sai số tính trữ lượng kim loại được xác định theo công thức (Porotov, 1977):

$$P_Q = \sqrt{P_m^2 + P_c^2 + P_d^2 + P_s^2} \quad (\%) \qquad (1)$$

$$P_x = \frac{V_x.t}{\sqrt{N}} \quad (\%) \qquad (2)$$

Trong đó: P_Q , P_m, P_c, P_d, P_s - sai số tương đối tính trữ lượng, sai số do xác định chiều dày trung bình, hàm lượng trung bình, thể trọng trung bình và diện tích phân bố của thân quặng, t - hệ số xác xuất (chọn $t = 2$); V_x - hệ số biến thiên của thông số chiều dày (m), hoặc hàm lượng (%), thể trọng (T/m^3) và diện tích của thân quặng (m^2); N - số công trình cắt qua thân quặng.

Từ công thức (2) cho thấy sai số tương đối (P_x) của các thông số tính trữ lượng phụ thuộc vào mức độ biến đổi (V_x) và số lượng công trình (N) khống chế thân quặng.

Trong thăm dò địa chất, sai số tương đối của thể trọng trong đa số trường hợp là rất nhỏ, có thể bỏ qua; sai số hàm lượng trung bình xác định theo công thức:

$$P_c^{'} = \sqrt{P_c + P_{pt}} \quad (\%) \qquad (3)$$

Trong đó: P_c - sai số trong tính toán hàm lượng trung bình, xác định theo công thức 2; P_{pt} - sai số phân tích mẫu hóa cơ bản.

Sai số tương đối diện tích thân quặng xác định theo công thức do Protov đề xuất (Protov, 1977):

$$P_S = \frac{S}{4S'}100\% \qquad (4)$$

Hoặc theo công thức do Matheron (trong Nguyễn Văn Hoai và nnk., 1990) đề xuất:

$$P_S = \sqrt{\frac{N_1}{6} + 0{,}061\,\frac{N_2^2}{N}}\ \text{x}100\% \qquad (4a)$$

Trong đó: S - Diện tích thân quặng trong ranh giới nội suy giữa các công trình thăm dò khống chế

thân quặng; S'- tổng diện tích thân quặng tham gia tính trữ lượng/tài nguyên (bao gồm cả diện tích nội và ngoại suy); N - Số công trình gặp quặng trong giới hạn xác định S, N_1, N_2 - số lượng công trình thăm dò theo 2 hướng khác nhau (thường chọn theo đường phương và hướng dốc), với $N_2 > N_1$.

b. Phương pháp địa thống kê

Phương pháp địa thống kê được sử dụng rộng rãi trong đánh giá chất lượng các mỏ khoáng sản kim loại; trong đó có khoáng sản quý hiếm và phóng xạ. Phương pháp áp dụng tốt nhất đối với các thân quặng dạng vỉa, dạng thấu kính có kích thước và hình thái biến đổi mạnh, công trình thăm dò là tập hợp các lỗ khoan thẳng đứng, mạng lưới thăm dò dạng hình học (hình vuông hoặc hình chữ nhật) (Kazdan, 1974; Sinclair and Deraisme, 1983).

Trong khu mỏ Urani Bình Đường, theo tài liệu thăm dò, hầu hết các thân quặng chính có dạng thấu kính, cắm đơn nghiêng; kích thước và hình thái biến đổi mạnh (Phùng, 1986). Hệ thống thăm dò đã sử dụng là các công trình khoan đứng, mạng lưới thăm dò dạng hình vuông (40 x 40 m) khu bắc và hình chữ nhật (40 x 20 m) khu trung tâm (Hình 3).

Vì vậy, tác giả áp dụng các phương pháp (Kazdan, 1974; Sinclair and Deraisme,1983) đề cập dưới đây để đánh giá hiệu quả mạng lưới thăm dò đã thi công và độ tin cậy của công tác tính trữ lượng Urani trong khu mỏ.

- Đánh giá độ tin cậy về việc khoanh nối thân quặng theo tài liệu thăm dò:

+ Theo diện tích: Giả sử phương sai tương đối diện tích thân quặng Urani đã thăm dò ký hiệu và xác định theo công thức:

$$\frac{(\sigma_s')^2}{S^2} = \frac{L_1}{6aN^2}\left(1 + 0{,}44\frac{L_2^2}{L_1}\right) \quad (5)$$

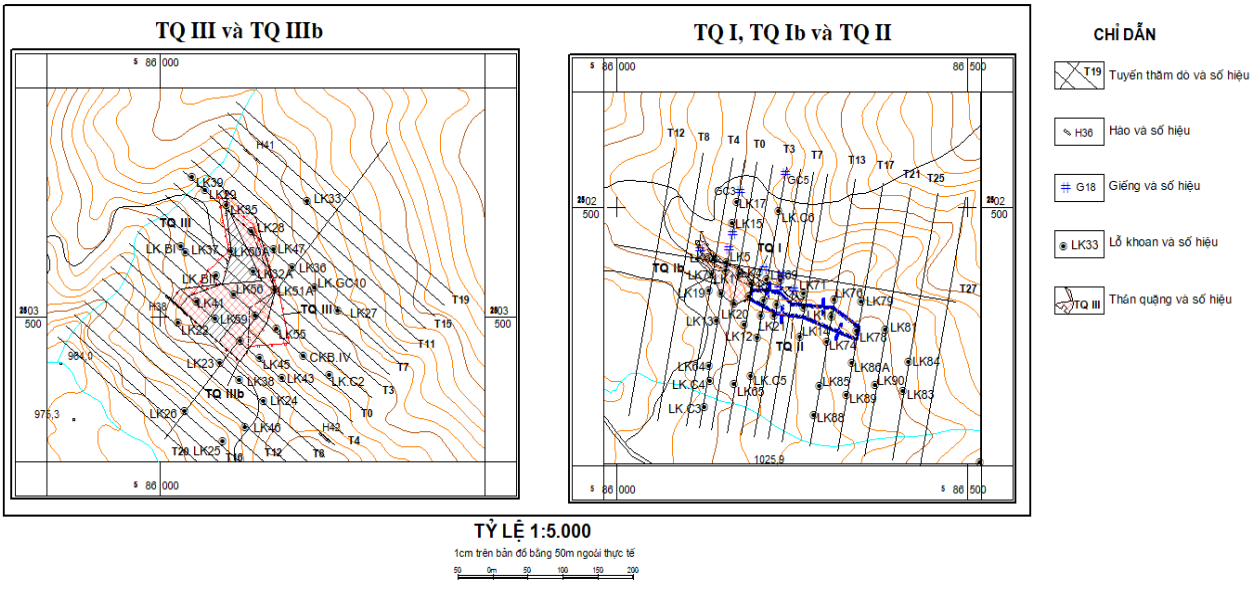
Trong đó : N - Số lỗ khoan khống chế thân quặng trong diện tích đánh giá; a - Kích thước ô mạng thăm dò; L_1, L_2 - là kích thước các cạnh của diện tích thân quặng đánh giá được quy về hình elíp có diện tích tương đương.

+ Theo thể tích: Phương sai đánh giá thể tích được xác định theo công thức sau:

$$\frac{(\sigma_v')^2}{V^2} = \frac{(\sigma_s')^2}{S^2} + \frac{(\sigma_h')^2}{h^2} \quad (6)$$

Trong đó: $\frac{(\sigma_s')^2}{S^2}$ được xác định theo công thức (5); h - chiều dày trung bình của thân quặng.

- Đánh giá độ tin cậy của việc xác định chiều dày trung bình thân quặng và tính trữ lượng Urani theo mạng lưới thăm dò đã thi công: Để đánh giá độ tin cậy của mạng lưới đã thi công và kết quả tính trữ lượng/tài nguyên Urani, cần đánh giá các giá trị sau (Kazdan, 1974):



Hình 3. Bản đồ bố trí công trình thăm dò khu mỏ Urani Bình Đường - Cao Bằng (thu từ tỷ lệ 1: 5.000) (Phùng, 1986).

+ Phương sai logarit chiều dày của các đoạn quặng theo lỗ khoan (σ_h^2);

+ Phương sai logarit trữ lượng đường theo lỗ khoan thăm dò (σ_{hx}^2);

+ Phương sai đánh giá (σ_n^2); xác định theo công thức:

$$\sigma_n^2 = \frac{\sigma_S^2 - \sigma_z^2 - \frac{3}{2}\alpha}{N} + \frac{\left(\sigma_S^2 - \sigma_z^2 - \frac{3}{2}\alpha\right)^2}{2N} \quad (7)$$

Trong đó: Các phương sai σ_S^2, σ_Z^2 lần lượt là phương sai chiều dày, hàm lượng hoặc trữ lượng đường; phương pháp tính các phương sai này có thể xem trong (Kazdan, 1974; Sinclair and Deraisme, 1983);

- Phương sai logarit các giá trị trung bình của các thông số nghiên cứu (chiều dày, trữ lượng đường và hàm lượng) của khối tính trữ lượng trong giới hạn toàn mỏ xác theo công thức (Kazdan, 1974):

$$\sigma_Z^2 = 3\alpha \ln\frac{D}{d} \quad (8)$$

Với α - hệ số phân tán tuyệt đối. Để xác định α, người ta dựng đồ thị Polyvariogramma với trục hoành là logarit của bước quan sát (lnr) và trục tung là giá trị γ (r), xác định theo công thức (Kazdan, 1974):

$$\gamma(r) = 3\alpha(\ln(r/d) + 3/2) \quad (9)$$

Trong công thức 8, 9: *D* - đương lượng đường thể tích khối ảnh hưởng xác định theo công thức:

$$D = \lambda a \quad (10)$$

Với *a* - kích thước ô mạng thăm dò; *λ* - giá trị tra trong các bảng có sẵn (Kazdan, 1974); *d* - đương lượng đường của mẫu; *r* - bước quan sát (khoảng cách công trình thăm dò); *α* - hệ số phân tán tuyệt đối, có thể xác định theo công thức (Kazdan, 1974; Porotov, 1977):

$$3\alpha = \frac{\sigma_{\ln r_2}^2 - \sigma_{\ln r_1}^2}{2(\ln r_2 - \ln r_1)} \quad (11)$$

Với: r_1 và r_2 - bước quan sát (khoảng cách công trình thăm dò).

Trong bài báo, tác giả đã tiến hành tính toán cho các thông số chiều dày (h), hàm lượng (*c*) và trữ lượng đường (*hc*) .

+ Phương sai đánh giá chiều dày trung bình ký hiệu $\sigma_{E_h}^2$ xác định theo công thức:

$$\sigma_{E_h}^2 = \frac{\sigma_{S_h}^2 - \sigma_{Z_h}^2 - \frac{3}{2}\alpha_h}{N} + \frac{\left(\sigma_{S_h}^2 - \sigma_{Z_h}^2 - \frac{3}{2}\alpha_h\right)^2}{2N} \quad (12)$$

+ Phương sai đánh giá giá trị trung bình của trữ lượng đường ký hiệu $\sigma_{E_{hx}}^2$ xác định theo công thức:

$$\sigma_{E_{hx}}^2 = \frac{\sigma_{S_{hx}}^2 - \sigma_{Z_{hx}}^2 - \frac{3}{2}\alpha_{hx}}{N} + \frac{\left(\sigma_{S_{hx}}^2 - \sigma_{Z_{hx}}^2 - \frac{3}{2}\alpha_{hx}\right)^2}{2N} \quad (13)$$

Phương sai đánh giá giá trị trung bình của trữ lượng đường theo công thức trên được áp dụng trong trường hợp không chú ý đến hiệu suất sử dụng ranh giới thân quặng đã khoanh nối.

Trong trường hợp tính đến hiệu suất sử dụng ranh giới thân quặng đã khoanh nối, phương sai đánh giá trữ lượng Urani xác định theo công thức:

$$\sigma_P^2 = \frac{\left(\sigma_S^{'}\right)^2}{S^2} + \sigma_{n_{hx}}^2 \quad (14)$$

Trong đó: $\frac{(\sigma_S')^2}{S^2}$ - phương sai đánh giá diện tích xác định theo công thức (5); $\sigma_{n_{hx}}^2$ - phương sai đánh giá trữ lượng đường, xác định theo công thức:

$$\sigma_{n_{hx}}^2 = \frac{\sigma_{S_{hx}}^2 - \sigma_{Z_{hx}}^2}{N} + \frac{\left(\sigma_{S_{hx}}^2 - \sigma_{Z_{hx}}^2\right)^2}{2N} \quad (15)$$

+ Phương sai đánh giá hàm lượng trung bình của Urani trong các thân quặng công nghiệp $\sigma_{E_x}^2$ xác định theo công thức:

$$\sigma_{E_x}^2 = \frac{\sigma_{S_x}^2 - \sigma_{Z_x}^2 - \frac{3}{2}\alpha_x}{N} + \frac{\left(\sigma_{S_x}^2 - \sigma_{Z_x}^2 \frac{3}{2}\alpha_x\right)^2}{2N} \quad (16)$$

Dựa vào các phương sai đánh giá, tính toán sai số tương đối ($\Delta_{tgđ}$) tương ứng với các thông số nghiên cứu theo công thức (Kazdan, 1974):

$$\Delta_{tgđ}=t\sqrt{\sigma_E^2}\ x100\% \qquad (17)$$

Trong đó: t - hệ số xác suất; σ_E^2 - phương sai đánh giá (chiều dày, trữ lượng đường, hàm lượng).

Các thông số địa chất công nghiệp đặc trưng thu nhận từ các công trình thăm dò cho các thân quặng chính (thân quặng I và thân quặng III) để giải quyết nội dung nghiên cứu gồm: Hàm lượng Urani (U_3O_8) theo mẫu đơn và giá trị trung bình của các công trình thăm dò; chiều dày thân quặng và trữ lượng điểm (chiều dày x hàm lượng) cho từng công trình thăm dò thuộc thân I và thân III.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Đặc trưng phân bố thống kê các thông số địa chất công nghiệp thân quặng Urani

Kết quả tính toán các tham số đặc trưng thống kê của hàm lượng, chiều dày, trữ lượng điểm cho thân quặng TQ. I và TQ.III (Nguyễn và nnk., 2020) trình bày trong Bảng 1.

Từ số liệu ở Bảng 1, tiến hành tính toán hệ số biến thiên cho các thông số nghiên cứu, kết quả như sau: Hàm lượng Urani trong TQ.III phân bố thuộc loại đồng đều (V_c = 37,18%), TQ.I phân bố thuộc loại không đồng đều (V_c = 59,06%); chiều dày thân quặng biến đổi không ổn định (V_m = 69,27÷80,84%) và trữ lượng điểm biến đổi cũng thuộc loại không ổn định (V_q = 87,11 ÷95,82%). Kết quả kiểm nghiêm mô hình phân bố thống kê xác định được hàm lượng Urani trong các thân quặng TQ.I, TQ.III tuân theo hàm phân bố loga chuẩn; còn chiều dày và trữ lượng điểm tuân theo hàm phân bố chuẩn. Đặc điểm biến đổi (hệ số biến thiên) các thông số hàm lượng, chiều dày và trữ lượng điểm của các thân quặng I, III trong khu mỏ không có sự khác nhau nhiều.

4.2. Đánh giá độ tin cậy của công tác thăm dò và tính trữ lượng Urani đã tiến hành trên khu mỏ Bình Đường

Để giải quyết mục tiêu nghiên cứu, tác giả sử dụng phối hợp phương pháp toán thống kê và địa thống kê. Dưới đây trình bày kết quả đánh giá theo các phương pháp đã lựa chọn.

a. Phương pháp thống kê

Từ số liệu trình bày ở bảng 1 và tài liệu thu thập trong báo cáo thăm dò (Phùng, 1986), tiến hành tính toán hàm lượng trung bình và trữ lượng Urani cho thân quặng I và III theo các phương pháp khác nhau (Nguyễn, 1990; Nguyễn và nnk., 2020). Kết quả tổng hợp trong Bảng 2.

Từ Bảng 2, rút ra nhận xét:

Hàm lượng Urani trung bình trong thân quặng công nghiệp xác định theo phương pháp trung bình gia quyền với chiều dày và phương pháp khối gần kề là xấp xỉ nhau và nhỏ hơn giá trị trung bình xác định theo phương pháp trung bình số học.

Bảng 1. Kết quả tính toán các tham số đặc trưng thống kê của TQ.I và TQ.III.

Thân quặng	Chiều dày		Hàm lượng theo mẫu đơn		Hàm lượng TB theo công trình		Trữ lượng đường (mxc)	
	Trung bình (m)	Phương sai	Trung bình (%)	Phương sai	Trung bình (%)	Phương sai	Trung bình (m%)	Phương sai
TQ I	7,16	24,601	0,075	0,001962	0,0736	0,001050	0,419	0,133218
TQIII	5,33	18,567	0,045	0,000280	0,0488	0,000702	0,282	0,073013

Bảng 2. Kết quả tính trữ lượng và hàm lượng trung bình theo các pháp tính trữ lượng.

Thân quặng	Hàm lượng trung bình (%)			Trữ lượng Urani (tấn)		
				Khối địa chất		Vùng gần kề
	Gia quyền với chiều dày (m%)	Trung bình số học	Vùng gần kề	Hàm lượng TB tính theo TB gia quyền với chiều dày	Hàm lượng TB tính theo trung bình số học	
TQ.I	0,0585	0,0726	0,0584	80,84	100,33	90,45
TQ.III	0,0530	0,0478	0,0530	89,45	80,67	100,26

Như vậy, với kiểu mỏ Urani Bình Đường, thì giá trị trung bình hàm lượng Urani tính theo phương pháp trung bình gia quyền với chiều dày hoặc trung bình theo phương pháp khối gần kề có độ tin cậy cao hơn trung bình số học.

Trữ lượng Urani tính theo phương pháp khối gần kề lớn hơn phương pháp khối địa chất, với hàm lượng trung bình khối xác định theo trung bình gia quyền với chiều dày thân quặng (sử dụng trong báo cáo thăm dò năm 1986).

Từ số liệu Bảng 1, áp dụng các công thức (1, 2, 3, 4) để đánh giá sai số trong tính trữ lượng theo phương pháp thống kê. Kết quả tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 3. Đánh giá sai số kết quả tính trữ lượng Urani theo phương pháp thống kê.

Thân quặng	Sai số tương đối (%) (chọn P = 0,68, tương ứng t = 1)			
	Chiều dày	Diện tích	Hàm lượng	Trữ lượng
TQ. I	15,90	4,26	35,13	38,80
TQ. III	25,57	6,14	33,58	42,65

Từ Bảng 3, nhận thấy:

Sai số tính trữ lượng Urani ở mỏ Bình Đường chủ yếu do việc ước lượng hàm lượng trung bình trong các khối tính trữ lượng (thân quặng), tiếp đến là chiều dày.

Sai số tính trữ lượng Urani đối với thân I, III dao động từ 38,8÷42,65%, nằm trong phạm vi cho phép đối với cấp trữ lượng 122 (tương ứng cấp C_1 cũ).

b. Đánh giá theo phương pháp địa thống kê

- Độ tin cậy của diện tích thân quặng công nghiệp đã khoanh nối theo tài liệu thăm dò: Độ tin cậy của việc nội, ngoại suy diện tích thân quặng công nghiệp theo tài liệu thăm dò được đánh giá theo các công thức (5, 6, 7). Kết quả tổng hợp ở các Bảng 4, 5.

Bảng 4. Kết quả đánh giá độ tin cậy của diện tích thân quặng.

Thân quặng	Kích thước các cạnh		Số lỗ khoan N	Phương sai tương đối $\frac{(\sigma_s')^2}{S^2}$
	L_1 (m)	L_2 m		
TQ.I	73,2	30,0	19	0,00181
TQ.III	67,5	59,50	10	0,00377

Bảng 5. Kết quả đánh giá độ tin cậy của thể tích thân quặng.

Thân quặng	Tỷ số $\frac{a}{h}$	Các giá trị tính phương sai	
		$\frac{(\sigma_h')^2}{h^2}$	$\frac{(\sigma_v')^2}{V^2}$
TQ.I	2,8	0,01671	0,01853
TQ.III	7,5	0,02390	0,02768

Trong Bảng 5: *a - khoảng cách giữa các lỗ khoan thăm dò; h - chiều dày trung bình thân quặng.*

- Đánh giá độ tin cậy của việc xác định chiều dày trung bình và kết quả tính trữ lượng Urani theo mạng lưới thăm dò đã thi công:

Trong Bảng 6, tổng hợp tài liệu từ công trình (Nguyễn Văn Hoai, 1990) và áp dụng công thức 11 để tính toán hệ số phân tán tuyệt đối cho các thông số chiều dày λ_h, trữ lượng điểm λ_{hx} và hàm lượng λ_h. Kết quả tổng hợp trong Bảng 7

Bảng 6. Kết quả đánh giá sai số tương đối.

Thân quặng	Phương sai đánh giá σ_V^2	Sai số tương đối (chọn P = 0,95, ứng t = 2) %
TQ.I	0,02415	31,08
TQ.III	0,05237	45,74

Bảng 7. Kết quả xác định hệ số phân tán tuyệt đối của các thông số nghiên cứu.

TQ	Đương lượng đường của thân quặng	Đương lượng đường thể tích TB lỗ khoan	Hệ số phân tán tuyệt đối %		
			α_h	α_{hx}	α_x
TQ.I	218,1	7,29	7,899	6,345	4,709
TQ.III	254,0	5,46	3,622	4,913	1,122

Trên cơ sở tài liệu trong báo cáo thăm dò (Phùng, 1986), tiến hành tính toán các phương sai logarrit chiều dày ($\sigma_{ln_h}^2$), trữ lượng đường ($\sigma_{ln_{hx}}^2$) hàm lượng $\sigma_{ln_x}^2$; sử dụng công thức thức (8) xác định phương sai các giá trị trung bình trong khối (σ_z^2), công thức (11) tính đương lượng đường thể tích khối ảnh hưởng (D). Kết quả tính toán tổng hợp trong Bảng 8.

Áp dụng công thức (12, 13) tính toán phương sai đánh giá các giá trị trung bình của chiều dày ($\sigma_{E_h}^2$), trữ lượng đường ($\sigma_{E_{hx}}^2$), hàm lượng ($\sigma_{E_x}^2$) và áp dụng công thức (17) tính sai số tương đối

tương ứng cho các thông số nghiên cứu. Kết quả tổng hợp ở Bảng 9.

Bảng 8. Kết quả xác định phương sai logarrit các thông số nghiên cứu (σ_S^2) và phương sai các giá trị trung bình khối(σ_z^2).

Thân quặng	Phương sai logarit (σ_S^2)			Giá trị λ	Giá trị D	Phương sai logarit các giá trị trung bình		
	$\sigma^2_{\ln h}$	$\sigma^2_{\ln hx}$	$\sigma^2_{\ln x}$			$\sigma^2_{Z_h}$	$\sigma^2_{Z_{hx}}$	$\sigma^2_{Z_x}$
TQ.I	0,8054	0,6474	0,4800	2,170	43,40	0,3826	0,3075	0,2280
TQ.III	0,4172	0,5658	0,1290	2,049	81,96	0,1291	0,1667	0,380

Bảng 9. Tổng kết quả xác định phương sai đánh giá và sai số tương đối.

Thân quặng	Phương sai đánh giá			Sai số tương đối (chọn P = 0,95, ứng t = 2) %		
	$\sigma^2_{E_h}$	$\sigma^2_{E_{hx}}$	$\sigma^2_{E_x}$	Δq	Δp	Δc
TQ.I	0,02684	0,0 289516	0,0056353	32,76	34,0	15,02
TQ. III	0,033493	0,037843	0,0095137	36,72	38,90	19,50

Từ Bảng 9 nhận thấy, sai số tính trữ lượng theo báo cáo thăm dò (năm 1986) đối với thân quặng TQ.I và TQ.III nằm trong phạm vi sai số cho phép đối với trữ lượng cấp 122. Như vậy, các thân quặng đã thi công công trình thăm dò (khoan, hào, giếng) bảo đảm mạng lưới tuyến cách tuyến (theo đường phương) 40 m và công trình trên tuyến (theo hướng dốc) cách nhau 20÷40 m đủ cơ sở tính trữ lượng cấp 122. Ngoài phạm vi mạng lưới này chưa đủ cơ sở tính trữ lượng cấp 122.

5. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, tác giả rút ra một số kết luận sau:

- Các thân quặng Urani khu mỏ Bình Đường chủ yếu có dạng thấu kính; kích thước nhỏ, chiều dày biến đổi lớn. Yếu tố quyết định độ tin cậy trong thăm dò và tính trữ lượng Urani đối với mỏ Bình Đường là chiều dày thân quặng và sai số ngẫu nhiên trong phân tích mẫu hóa cơ bản.

- Sai số tính trữ lượng Urani trong trường hợp tính đến hiệu suất sử dụng ranh giới nội, ngoại suy thân quặng công nghiệp lớn hơn nhiều so với trường hợp không chú ý đến hiệu suất sử dụng ranh giới nội, ngoại suy.

- Sai số tương đối trong tính trữ lượng Urani của thân TQ.I và TQ.III dao động từ 31,08÷45,74%, thuộc ngưỡng sai số cho phép đối với cấp trữ lượng 122 (tương ứng cấp C_1 cũ). Như vậy, đối với các thân quặng Urani đã thi công công trình thăm dò với mạng lưới tuyến cách tuyến 40m và công trình trên tuyến cách nhau 20÷40 m đủ cơ sở tính trữ lượng ở cấp 122; ngoài phạm vi này, chỉ đáp ứng yêu cầu tính tài nguyên ở cấp 333.

- Trong phạm vi các thân quặng chưa đáp ứng yêu cầu mạng lưới thăm dò nêu trên, để tính trữ lượng cấp 122 cần tiến hành công tác thăm dò nâng cấp hay thăm dò bổ sung. Khi tiến hành công tác thăm dò nâng cấp (bổ sung), ngoài công trình thăm dò bố trí theo mạng lưới cơ bản, cần có 10÷15% công trình dự phòng. Các công trình dự phòng được bố trí ở phạm vi các thân quặng bị vát nhọn đột ngột, vị trí thân quặng có hình thái - cấu trúc phức tạp và vị trí thân quặng tách hoặc nhập.

Các phương pháp sử dụng trong bài báo có thể áp dụng trong đánh giá độ tin cậy của công tác tính trữ lượng, tài nguyên ở các mỏ khác có đặc điểm địa chất khoáng sản Urani tương tự mỏ Bình Đường, Cao Bằng.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Phương - biên soạn nội dung phương pháp nghiên cứu, kết quả và thảo luận và biên tập bài báo; Trịnh Đình Huấn - biên soạn nội dung khái quát về đối tượng nghiên cứu và tham gia tính toán; Nguyễn Trường Giang - tham gia tính toán và biên tập nội dung kết luận của bài báo; Trần Lê Châu - thu thập tài liệu, thành lập các bản vẽ và tham gia tính toán.

Tài liệu tham khảo

Kazdan, A. B. (1974). *Cơ sở phương pháp luận thăm dò.* Nhà xuất bản Nhedra, 271 trang. (bản tiếng Nga).

Nguyễn, P. (cb.) (2008). *Nghiên cứu ứng dụng các giải pháp khoa học và công nghệ để nâng cao hiệu quả công tác tìm kiếm - thăm dò Urani trên lãnh thổ Việt Nam phục vụ chương trình phát triển điện hạt nhân.* Đề tài thuộc dự án KHCN trọng điểm cấp bộ. Mã số B - 2006 - 02- 25 TĐ. Lưu trữ Thư viện trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Nguyễn, P., Trịnh, Đ. H., & Nguyễn, T. G., (2020). Nghiên cứu xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò Urani mỏ Bình Đường, Cao Bằng. *Hội nghị toàn quốc Khoa học trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2020)*, Trường ĐH Mỏ Địa chất, Hà Nội, tr. 90-96.

Nguyễn, V. H. (cb.). (1990). *Đánh giá tiềm năng Urani và một số nguyên liệu khoáng phục vụ cho công nghiệp năng lượng nguyên tử trên lãnh thổ nước Cộng hoà xã hội chủ nghĩa Việt Nam.* Đề tài cấp nhà nước, Mã số 44A - 03 - 02. Lưu trữ Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm.

Phùng, V. C. (cb.). (1986). *Báo cáo địa chất về kết quả thăm dò sơ bộ khu trung tâm và khu bắc mỏ Urani Bình Đường Cao Bằng.* Trung tâm thông tin, Lưu trữ và Tạp chí địa chất.

Porotov, G. X. (1977). *Phương pháp toán trong tìm kiếm và thăm dò khoáng sản*. Nhà xuất bản Leningrad, 106 trang. (bản tiếng Nga).

Sinclair, A. J., & Deraisme, J. (1983). *A Geostatistical study of the eagle copper Vein, northern British Columbia.* Mining Geology. Benchmark Papers in Geology/69, Hutchinson Ros Publishing company, Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 172-183.

Trần, N. T. (cb.). (2017). *Báo cáo kết quả điều tra khoáng sản Urani vùng Bình Đường - Pia Oắc tỷ lệ 1: 25.000.* Lưu Viện nghiên cứu khoa học Địa chất và Khoáng sản.

Trịnh, H. S. (cb.). (2020). *Báo cáo đề tài "Đánh giá tiềm năng tài nguyên Urani Việt Nam" đến thời điểm năm 2019.* Lưu Viện nghiên cứu khoa học Địa chất và Khoáng sản.