



Original Article

Establishing a Mining Group of Deposit and an Exploration Grid Pattern for Uranium Ore Intercalated in Sandstone at Pa Lua - Pa Rong Area, Nong Son Basin

Nguyen Phuong¹, Trinh Dinh Huan², Nguyen Truong Giang³, Le Quyet Tam²,
Nguyen Tien Phu², Nguyen Dinh Than², Tran Le Chau^{3,*}

¹*Vietnam Union of Geological Sciences, 6 Pham Ngu Lao, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam*

²*Geological Division for Radioactive and Rare Elements,*

2 Phuong Canh, Xuan Phuong, Nam Tu Liem, Hanoi, Vietnam

³*The Department of Mineral Resources of Vietnam (DMRV),*

6 Pham Ngu Lao, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam

Received 03 August 2023

Revised 26 March 2024; Accepted 03 April 2024

Abstract: This research shows the results of establishing a mine group and a uranium ore exploration network in Nong Son depression sandstone, Quang Nam province based on the results of exploration of uranium ore bodies in the Pa Lua - Pa Rong area. Some main findings include: i) The uranium content in most industrial ore bodies can be attributed to a lognormal distribution function. The ore bodies (two main ore bodies are referred to as TQ1 and TQ2) have an average uranium concentration from 0,032% to 0,054% U₃O₈ with high variations (with the amount of variation in content (V_c) greater than 100%). The average thickness of the ore bodies is from 2,30 meters to 2,35 meters. The thickness variation coefficient (V_m) varies from 89,4% to 100,3%, indicating the unstable to very unstable type of ore body; and ii) Uranium mines in sandstones of the Pa Lua - Pa Rong type, Nong Son basin mainly belong to exploration mine group III. The most reasonable exploration approach is to use a parallel and fan-shaped network. To calculate the reserves, the distance between drilling routes is set at 50 to 60 meters. To determine the road and pavement, wet set the drilling routes to be 25 to 30 meters apart from each other. This exploration network can be applied to other sandstone mines in the Nong Son basin with similar characteristics to the Pa Lua - Pa Rong mine.

Keywords: Mine group, exploration network, parallel linear and fan-shaped networks.

* Corresponding author.

E-mail address: lechauhx@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.4969>

Xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò quặng urani trong cát kết khu vực Pà Lừa - Pà Rông, trũng Nông Sơn

Nguyễn Phương¹, Trịnh Đình Huấn², Nguyễn Trường Giang³, Lê Quyết Tâm²,
Nguyễn Tiến Phú², Nguyễn Đình Thân², Trần Lê Châu^{3,*}

¹Tổng hội Địa chất Việt Nam, 6 Phạm Ngũ Lão, quận Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

²Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm, 2 Phương Canh, Xuân Phương, Nam Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

³Cục Khoáng sản Việt Nam, 6 Phạm Ngũ Lão, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 03 tháng 8 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 26 tháng 3 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 03 tháng 4 năm 2024

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu kết quả xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò quặng urani trong cát kết trũng Nông Sơn, tỉnh Quảng Nam trên cơ sở kết quả thăm dò các thân quặng urani khu vực Pà Lừa - Pà Rông; kết quả như sau: i) Hàm lượng urani trong hầu hết các thân quặng công nghiệp có thể quy nạp về hàm phân bố loga chuẩn. Các thân quặng (02 thân quặng chính là thân quặng TQ1 và TQ2) có hàm lượng trung bình từ 0,032% đến 0,054% U_3O_8 , hệ số biến thiên hàm lượng (V_c) lớn hơn 100% thuộc loại rất không đồng đều; chiều dày trung bình từ 2,30 m đến 2,35 m, hệ số biến thiên chiều dày (V_m) thay đổi từ 89,4% đến 100,3% thuộc loại không ổn định đến rất không ổn định; và ii) Các mỏ urani trong cát kết kiểu Pà Lừa - Pà Rông, trũng Nông Sơn chủ yếu thuộc nhóm mỏ thăm dò III. Hợp lý nhất là sử dụng mạng lưới dạng tuyến song song và hình rẽ quạt. Để tính trữ lượng trữ lượng yêu cầu khoảng cách giữa các tuyến khoan là 50 - 60 m, các công trình trên tuyến cách nhau 25 - 30 m. Mạng lưới thăm dò này có thể áp dụng cho các mỏ cát kết khác trong trũng Nông Sơn có đặc điểm tương tự mỏ Pà Lừa - Pà Rông.

Từ khóa: Nhóm mỏ, mạng lưới thăm dò, mạng lưới song song và hình rẽ quạt.

1. Mở đầu

Trũng Nông Sơn có cấu trúc địa chất, thành phần thạch học, tuổi và môi trường thành tạo hết sức phức tạp. Lịch sử hoạt động kiến tạo địa chất lâu dài trong Mezozoi đã kéo theo quá trình sinh khoáng nội sinh và ngoại sinh phong phú và đa dạng. Khoáng sản urani đã được phát hiện tại nhiều khu vực khác nhau trên lãnh thổ Việt Nam [1]. Đặc điểm quặng hoá urani trong các vùng khác nhau có những đặc điểm khác nhau và được chia thành 6 vùng sinh khoáng khác nhau [2]. Trong đó, quặng hoá urani trong các trầm tích

lục nguyên tuổi Trias muộn ở vùng Quảng Nam, thuộc rìa bắc địa khối Kon Tum được đánh giá là có triển vọng [3]. Các đá chứa quặng chủ yếu là cát kết hạt trung, hạt nhỏ thuộc phần dưới của hệ tầng An Điem. Các trầm tích này phân bố ở phần rìa của các cấu tạo dạng vồng thuộc cấu trúc trũng Nông Sơn, nơi chúng phủ bất chỉnh hợp lên các trầm tích biến chất tiền Cambri thuộc hệ tầng Khâm Đức – Núi Vú hoặc các trầm tích Cambri - Ordovic thuộc hệ tầng A Vương và các phức hệ magma xâm nhập Đại Lộc, Bến Giằng - Quế Sơn. Ngoài loại quặng phân bố trong cát kết nói trên, urani còn phân bố trong các trầm tích

* Tác giả liên hệ.

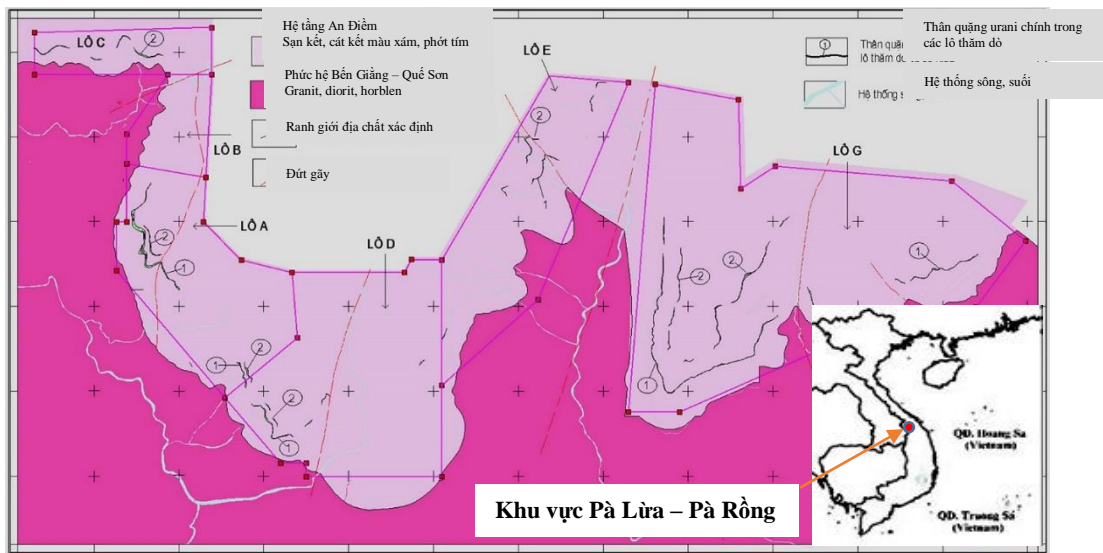
Địa chỉ email: lechauh@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4969>

phun trào thuộc hệ tầng Sông Bung ở rìa phía tây vùng An Điền hoặc trong các đá giàu vật chất hữu cơ và than vùng Nông Sơn [3].

Trong thời gian qua, công tác nghiên cứu urani ở nước ta chủ yếu tập trung nghiên cứu về điều kiện địa chất - kiến tạo, đặc điểm thành phần vật chất, môi trường trầm tích, điều kiện hóa lý thành tạo quặng urani trong cát kết trũng Nông Sơn; điều tra, đánh giá, thăm dò triển vọng quặng urani ở từng khu vực như các công trình nghiên cứu trong luận án tiến sỹ [4-6]; các đề tài nghiên cứu [2, 3, 7-10]; các đề án điều tra, đánh giá tài nguyên urani [11-17]. Tuy nhiên, đến thời điểm hiện nay, cơ sở tài liệu, kinh nghiệm thăm dò

quặng urani nói chung, kiểu quặng trong cát kết trũng Nông Sơn nói riêng chỉ mới được đầu tư thăm dò khu Pà Lừa – Pà Rông trong khi đó còn nhiều diện tích khác cũng có triển vọng urani trong cát kết nhưng chưa được thăm dò chi tiết. Đó là những cản trở không nhỏ trong việc sử dụng phương pháp đối sánh giữa các mỏ hoặc phương pháp tương tự với mỏ khác có cùng điều kiện thành tạo quặng để xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò kiểu quặng urani trong cát kết trên cơ sở nghiên cứu thử nghiệm tại khu mỏ Pà Lừa - Pà Rông, thuộc vùng trũng Nông Sơn, tỉnh Quảng Nam.



Hình 1. Sơ đồ địa chất khoáng sản khu Pà Lừa – Pà Rông, huyện Nam Giang, tỉnh Quảng Nam thu từ tỷ lệ 1: 250.000 [19].

2. Khái quát về đối tượng nghiên cứu (mỏ urani Pà Lừa - Pà Rông được chia thành các khu thăm dò: khu A, khu B - phía tây; khu C - phía tây bắc; khu D, khu E – trung tâm và G – phía đông)

Cấu trúc địa chất khu vực Pà Lừa – Pà Rông nằm trong bình đồ cấu trúc chung của vùng Nông Sơn, Quảng Nam [1, 2, 18]. Khu mỏ Pà Lừa - Pà Rông là diện tích đã được thăm dò, đánh giá chất lượng và tính trữ lượng các thân quặng urani công nghiệp giai đoạn 2011 - 2021. Trong khu vực thăm dò đã phát hiện được 3 tập đá chứa

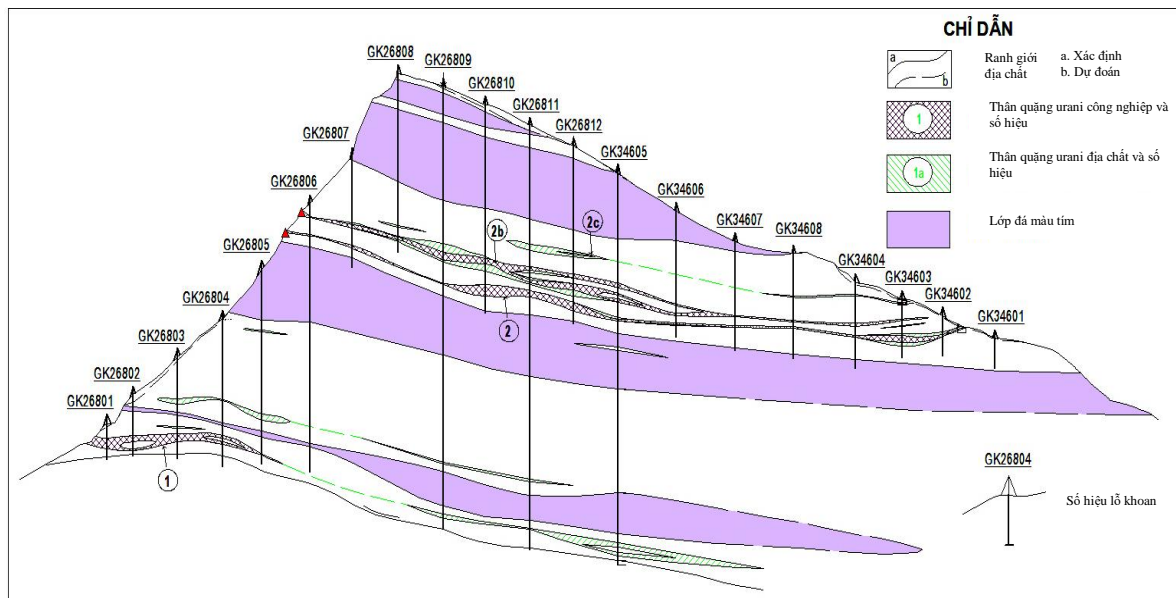
quặng và một số lớp đá chứa quặng có kích thước nhỏ [19]. Các thân quặng urani phân bố trong các đá trầm tích vụn cơ học thuộc hệ tầng An Điền, tuổi Triat muộn (T_{3n} ad), thành phần bao gồm cát kết acko hạt nhỏ đến thô, sạn kết chứa cuội sạn màu xám, xám đen xen kẽ các lớp đá cát kết, bột kết màu tím (Hình 1). Các thân quặng urani chủ yếu dạng lớp (Tabuler) và cắm đơn nghiêng với góc dốc thoải từ 7-15°. Trong đó, thân quặng công nghiệp chủ yếu có dạng thấu kính, chuỗi thấu kính liên kết với nhau theo lớp đá chứa quặng nhất định. Ranh giới giữa quặng và đá vây

quanh thường không rõ ràng, chủ yếu xác định theo kết quả phân tích mẫu [19]. Hình thái cấu trúc thân quặng khá phức tạp. Kết quả công tác thăm dò đã khoan nổi được 9 thân quặng urani, đánh số thứ tự là 1/3, 1/2, 1/1, 1, 1a, 1b; 2, 2b và 3a (ký hiệu là TQ1/3, TQ1/2, TQ1,... TQ3a) và một số thấu kính nhỏ [19] (Hình 2). Dưới đây mô tả một số thân quặng chiếm trữ lượng chính của khu mỏ Pà Lừa - Pà Rồng.

- Thân quặng 1: thân quặng có quy mô và chiếm trữ lượng lớn nhất trong khu vực Pà Lừa - Pà Rồng; phân bố ở khu B, A, D và E và kéo dài sang khu G. Thân quặng có cấu trúc khá phức tạp, xen kẽ bởi các lớp đá không quặng. Khoáng vật quặng nguyên sinh gồm nasturan,

coffinit và tập hợp vi hạt pyrit – sericit - chlorit chứa urani; khoáng vật thứ sinh gồm autunit, uranocircit, uranophan, tocbenit. Toàn thân quặng có hàm lượng từ 0,001% đến 1,966% U_3O_8 , trung bình 0,054% U_3O_8 ; chiều dày từ 0,6m đến 19,1 m, trung bình 2,35 m.

- Thân quặng 2: phân bố tập trung trong lớp đá cát kết hạt nhỏ, hạt trung màu xám xen xám xanh ở khu A và khu G. Thân quặng kéo dài không liên tục theo đường phương từ 220 m – 690 m; theo hướng dốc, thân quặng tồn tại và duy trì tương đối ổn định, có nơi tới 435 m. Toàn thân quặng có hàm lượng từ 0,003% đến 1,014% U_3O_8 , trung bình 0,032% U_3O_8 ; chiều dày từ 0,6 m đến 10,6 m, trung bình 2,30 m.



Hình 2. Mặt cắt địa chất tuyến 268 khu Pà Lừa – Pà Rồng, huyện Nam Giang, tỉnh Quảng Nam thu từ tỷ lệ 1:500 [19].

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp nghiên cứu ngoài trời

Khảo sát chi tiết một số lộ trình địa chất theo tuyến thăm dò, xem xét mẫu lõi khoan lưu ở khu mỏ; các tài liệu phân tích mẫu, thiết kế các công trình khoan, hào, giếng, lò. Khảo sát, chính xác hóa một số mặt cắt chuẩn theo tuyến thăm dò.

Trên cơ sở đó, lựa chọn nguồn tài liệu bảo đảm độ tin cậy để tổng hợp, phân tích và xử lý nhằm bảo đảm độ tin cậy của các kết luận đưa ra.

3.2. Phương pháp nghiên cứu trong phòng

i) Phương pháp mô hình hóa các thông số địa chất thân quặng dưới dạng các mô hình toán học (phương pháp toán địa chất). Đây là một phương

pháp tiên quyết và không thể thiếu trong xử lý tài liệu, tính trữ lượng, xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò khoáng sản;

ii) Phương pháp toán thống kê, mô hình dựa trên cơ sở lý thuyết hàm ngẫu nhiên ổn định và phương pháp phân tích hàm cấu trúc (hàm Variogram) để luận giải nhóm mỏ và xác lập mạng lưới thăm dò hợp lý cho kiểu quặng urani trong cát kết trung Nông Sơn;

iii) Phương pháp thống kê một chiều được sử dụng để xử lý tài liệu, tính toán các đặc trưng thống kê của thông số địa chất thân quặng. Phương pháp cho phép đánh giá về đặc điểm chung của các thông số địa chất thân quặng (hàm lượng, chiều dày,...) không tính đến vị trí và kích thước của mẫu. Dựa vào mô hình phân bố thống kê để xác định các thông số trung bình, phương sai và hệ số biến thiên (\bar{X} , σ^2 , $V\%$) đặc trưng cho tập mẫu nghiên cứu. Đây là một trong số tiêu chuẩn cơ bản được sử dụng để xác lập nhóm mỏ thăm dò khoáng sản rắn [20, 21];

iv) Phương pháp phân tích hàm cấu trúc: khi xét đến những đặc tính không gian của thông số nghiên cứu, lý thuyết toán cơ bản được sử dụng là "lý thuyết biến số vùng". Biến số đó được xem là biến đổi liên tục, điều hòa từ công trình thăm dò (điểm quan sát) này đến công trình thăm dò khác. Giá trị tại một điểm quan sát nào đó có liên quan đến giá trị tổng các điểm khác phân bố cách nhau một khoảng cách nhất định (h). Những điểm quan sát ở khoảng cách xa ít ảnh hưởng hơn so với những điểm có khoảng cách gần. Mặt khác, trong thực tế còn xảy ra hiện tượng là mức độ ảnh hưởng của các điểm quan sát phụ thuộc vào hướng quan sát (phương vị không gian). Như vậy, mức độ phụ thuộc giữa các điểm quan sát phân bố trên một khoảng cách (hi) và theo một hướng xác định nào đó được phản ánh bằng momen tương quan theo công thức:

$$\text{Var}[Z_{(x_1)} - Z_{(x_2)}] = 2\gamma|Z_{(x_1)} - Z_{(x_2)}| \quad (1)$$

với mọi $x_1, x_2 \in D$.

Trong đó: D là tập hợp con cố định trong không gian m chiều; $2\gamma|Z_{(x_1)} - Z_{(x_2)}|$ là hàm của giá số $Z_{(x_1)} - Z_{(x_2)}$ và được G. Matheron gọi là biểu đồ phương sai hay Variogram hoặc hàm cấu trúc (structural function) [22, 23].

Variogram $\gamma(h)$ được định nghĩa như là một nửa kỳ vọng toán của biến ngẫu nhiên và xác định theo công thức:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2 \quad (2)$$

$$\text{hay } \gamma(h) = \frac{1}{2} D[Z_{(x)} - Z_{(x+h)}] \quad (3)$$

Variogram thực nghiệm được xác định theo công thức [24, 25]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2 \quad (4)$$

Trong đó: N(h) là số lượng cặp điểm tính toán ở mỗi bước; $Z_{(x)}, Z_{(x+h)}$ là giá trị của thông số nghiên cứu tại điểm x và x + h, cách nhau một đoạn h theo một hướng xác định.

Sau khi xác định được các $\gamma(h)$ thực nghiệm, cần phải mô hình hoá về các mô hình lý thuyết để khai thác tính ưu việt của mô hình như đánh giá về tính biến đổi, tính đẳng hướng, dị hướng của quặng hoá, luận giải mạng lưới bố trí công trình thăm dò.

Ứng dụng phần mềm Surpac được phát triển bởi tập đoàn Gemcom của Australia (đã và đang sử dụng hơn 20 nước trên thế giới) [26] để phân tích, thiết lập các mô hình Variogram. Trong bài báo, tác giả đã khai thác, sử dụng moduls thiết kế, thành lập và quản trị cơ dữ liệu địa chất - khoáng sản và moduls mô hình hoá địa chất thân quặng để thiết lập các Variogram, làm cơ sở lựa chọn mạng lưới bố trí công trình thăm dò;

v) Thiết lập cơ sở tài liệu

Tiến hành thu thập và thiết lập cơ sở tài liệu cho 2 thân quặng có quy mô lớn và chiếm trữ lượng chính trong khu mỏ Pà Lừa - Pà Rồng là TQ1 và TQ2. Các thông số địa chất thân quặng (hàm lượng, chiều dày, vị trí công trình thăm dò cắt trụ thân quặng) được thu thập gồm:

- Hàm lượng của urani (U_3O_8) ở thân quặng TQ1, TQ2 theo mẫu đơn và giá trị trung bình ở công trình thăm dò;

- Chiều dày thân quặng ở các công trình thăm dò cắt qua thân quặng TQ1, TQ2.

Các số liệu địa chất được thu thập từ các công trình thăm dò gồm lỗ khoan thẳng đứng và công trình khai đào (hào, giếng, lò).

4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Đặc điểm biến đổi của các thông số địa chất trong các thân quặng công nghiệp

Trên cơ sở kết quả thăm dò quặng urani khu Pà Lừa – Pà Rồng [19], báo cáo đã tính toán các tham số đặc trưng thống kê của các thông số địa chất cho các thân quặng urani khu mỏ Pà Lừa – Pà Rồng và được tổng hợp, trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Tổng hợp kết quả tính toán các tham số đặc trưng thống kê chiều dày và hàm lượng TQ1 và TQ2 [19]

Thân quặng	Thông số	Số lượng mẫu và công trình	Min	Max	Trung bình	Hệ số biến thiên (%)
TQ1	Hàm lượng U ₃ O ₈ (%)	2813 mẫu	0,001	1,966	0,054	167,7
	Chiều dày (m)	893 công trình	0,6	19,1	2,35	100,3
TQ2	Hàm lượng (U ₃ O ₈ %)	1186 mẫu	0,003	1,014	0,032	140,8
	Chiều dày (m)	430 công trình	0,6	10,6	2,30	89,4

Từ Bảng 1 rút ra một số nhận xét sau:
 - Hàm lượng trung bình từ 0,032% đến 0,054% và phân bố thuộc loại rất không đồng đều ($V_c > 100\%$).
 - Chiều dày trung bình thân quặng thay đổi từ 2,3 m đến 2,35 m, thuộc nhóm thân quặng có chiều dày mỏng đến trung bình. Phân bố thuộc loại không ổn định đến rất không ổn định ($V_m = 89,4 - 100,3\%$).

Bảng 2. Hàm lượng trung bình các nguyên tố theo tài liệu phân tích hoá nhóm trong TQ1 và TQ2

Thân quặng	Hàm lượng trung bình các nguyên tố										
	Hàm lượng (%)			Hàm lượng (ppb)							
	U ⁴⁺	U ⁶⁺	U ₃ O ₈	Th	V	As	Ag	Au	Pb	P	S
TQ1	0,019	0,025	0,052	0,000005	572,8	272,0	6,015	2,344	469,38	39,39	329,12
TQ2	0,010	0,010	0,020	0,000004	14,6	32,6	1,110	1,58	31,80	29,64	323,68

Bảng 3. Kết quả tính tương quan cặp giữa urani với các nguyên tố

	Be	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se	Mo	Pb	Th	U
Be	1,00	0,19	0,02	0,06	-0,54	0,07	0,11	0,50	0,07	0,14	0,19	-0,03	0,10	-0,04	0,07
V		1,00	0,01	-0,25	-0,06	-0,19	-0,01	-0,05	0,03	0,46	0,71	0,30	0,29	0,03	0,85
Cr			1,00	-0,12	0,06	0,34	0,11	0,01	0,27	-0,18	-0,17	0,18	0,15	0,09	-0,16
Mn				1,00	0,12	0,26	0,05	0,40	0,08	-0,35	-0,41	-0,46	-0,05	-0,19	-0,14
Co					1,00	-0,04	-0,09	-0,36	-0,18	-0,18	-0,16	-0,03	0,11	0,19	0,05
Ni						1,00	0,42	0,46	0,32	-0,36	-0,36	0,01	0,09	0,00	-0,22
Cu							1,00	0,26	0,28	-0,09	-0,14	-0,16	0,32	-0,11	-0,13
Zn								1,00	0,05	-0,20	-0,10	-0,15	0,02	-0,18	-0,10
Ga									1,00	-0,18	-0,14	0,08	0,34	-0,01	0,07
As										1,00	0,48	0,50	0,16	0,03	0,38
Se											1,00	0,43	0,33	0,15	0,30
Mo												1,00	0,19	0,22	0,34
Pb													1,00	-0,01	0,70
Th														1,00	-0,01
U															1,00

Kết quả xử lý tài liệu phân tích mẫu hóa nhóm được tổng hợp trong Bảng 2 và được tính tương quan tại Bảng 3 [19].

Từ Bảng 2 và 3 nhận thấy, hàm lượng U₃O₈ trung bình của mẫu nhóm trong thân quặng 1 cao hơn nhiều so với thân quặng 2, hàm lượng V và

Pb cao hơn so với các nguyên tố khác (V: 14,6 - 572,8 ppm, Pb: 31,8 - 469,38 ppm). Urani có mối quan hệ với các nguyên tố sau: U - V có quan hệ tương quan $r = 0,65$, U - Pb có hệ số tương quan $r = 0,45$, V - Pb có hệ số tương quan $r = 0,49$. Quặng hóa tồn tại tập hợp U - V - Pb. Các nguyên

tổ này hiện tại chưa phát hiện thấy thành phần khoáng vật.

Như vậy, các nguyên tố đi cùng không ảnh hưởng đến việc xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò cho kiểu quặng urani trong cát kết trũng Nông Sơn.

4.2. Hình thái và kích thước các thân quặng

Kết quả nghiên cứu [19] cho thấy: hình thái - cấu trúc các thân quặng tương đối phức tạp, thân công nghiệp có dạng chuỗi thấu kính, phình thóp không rõ quy luật. Chiều dày các thân quặng công nghiệp biến đổi dạng nhảy vọt, gián đoạn và không có quy luật; cấu trúc nội bộ từ đơn giản đến phức tạp (chứa ít đến nhiều lớp đá kẹp).

Giữa chiều dày và hàm lượng U_3O_8 của 02 thân quặng (TQ1 và TQ2) có mối quan hệ thuận khá chặt chẽ với nhau ($R_{xy} = 0,7$ đối với TQ1 và $R_{xy} = 0,6$ đối với TQ2) [27]. Các thân quặng công nghiệp tập trung và tương đối ổn định ở khu trung tâm và có xu hướng giảm dần về phía bắc và phía

nam (theo đường phương) cả về chiều dày và hàm lượng.

Các thấu kính quặng urani công nghiệp phân bố tạo thành chuỗi thấu kính và được liên kết với nhau trong một lớp đá chứa quặng nhất định, với thành phần chủ yếu là cát kết acko hạt thô đến trung, màu xám, xám đen giàu vật chất hữu cơ. Các thấu kính quặng công nghiệp kéo dài theo đường phương từ 35 m đến 250 m, trung bình từ 60 m đến 110 m; theo hướng dốc thay đổi từ 25 - 35 m đến 120 -130 m, trung bình từ 50 m đến 100 m. Khoảng cách gián đoạn giữa các thấu kính urani công nghiệp thay đổi từ 20 m đến 100 m.

4.3. Xác lập mạng lưới công trình thăm dò

4.3.1. Thiết lập cơ sở dữ liệu

Dữ liệu đầu vào được xây dựng dưới dạng file Excel với các thành phần liên quan tới mỗi giá trị điểm mẫu (tọa độ X, Y, Z), gồm hàm lượng urani và chiều dày tương ứng. Trong Bảng 4, trích dẫn minh họa một đoạn tập dữ liệu đầu vào dưới dạng file Excel.

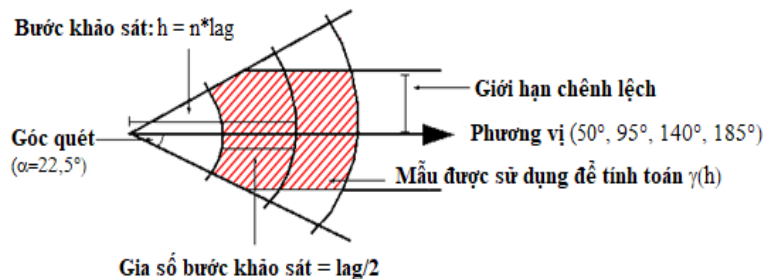
Bảng 4. Thiết lập dữ liệu đầu vào dưới dạng file Excel

LK	X	Y	Z	Từ (m)	Đến (m)	Chiều dày (m)	Hàm lượng (%)
AK2507	1733786	463513,4	529,97	60,6	61,2	0,6	0,050
AK2508	1733781	463540,5	513,83	50	52,2	2,2	0,112
AK2509	1733778	463563,0	519,64	63,4	65	1,6	0,048
AK2103	1733755	463405,8	545,79	49	49,6	0,6	0,019
...

4.3.2. Xác lập hàm cấu trúc

Mô hình Variogram được khảo sát bằng phần mềm chuyên dụng Surpac theo các bước sau: Xác định phương vị hướng dốc quặng hoá

(dip direction); góc dốc thân quặng (plane dip); gia số góc (angular increment); góc quét (spread); bước khảo sát (lag); chiều dài tối thiểu tuyến khảo sát (maximum distance) (Hình 3).



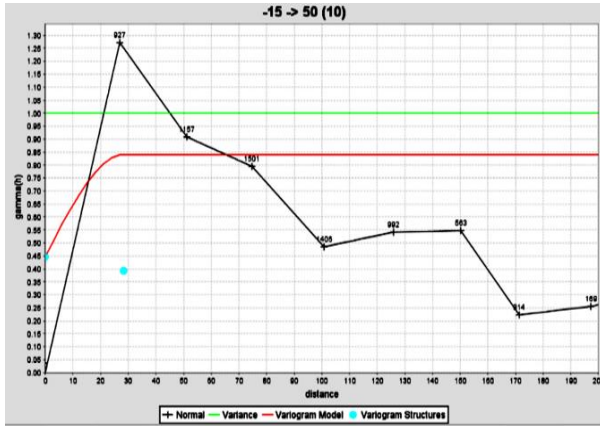
Hình 3. Các yếu tố phương vị, góc quét, bước khảo sát, góc giới hạn để khảo sát Variogram.

Dưới đây trích dẫn kết quả tính toán $\gamma(h)$ thực nghiệm và mô hình hóa theo 4 hướng cơ bản ($50^\circ, 95^\circ, 140^\circ, 185^\circ$) được lựa chọn với góc xoay xung quanh mỗi hướng là $\pm 22,5^\circ$ theo hàm lượng của thân quặng 1 (Hình 4, 5, 6, 7 và Bảng 5) [28].

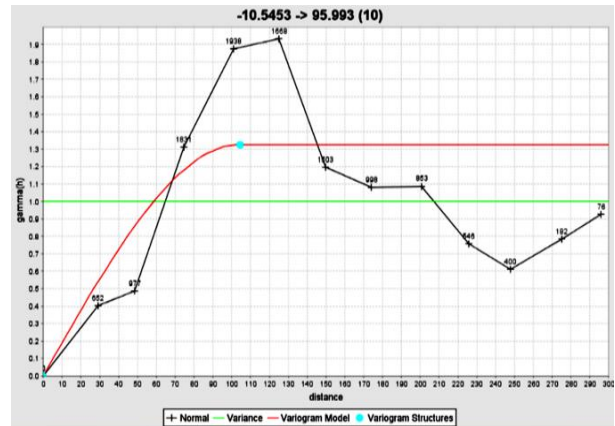
Tại các Hình 4, 5, 6 và 7, các điểm nút thể hiện giá trị dị hướng, điểm xanh là điểm cấu trúc

mô hình Variogram (để xác định đối ảnh hưởng), đường ziczác là đường Variogram thực nghiệm, đường trơn là đường Variogram mô hình hoá theo mô hình cầu.

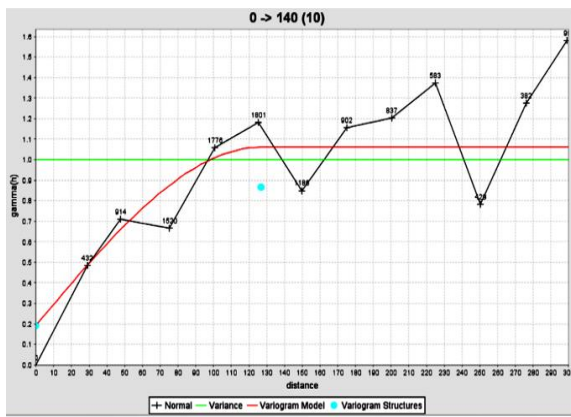
Các kết quả khảo sát $\gamma(h)$ thực nghiệm và mô hình hóa (lý thuyết) theo hàm lượng của thân quặng 1 tổng hợp trong Bảng 5.



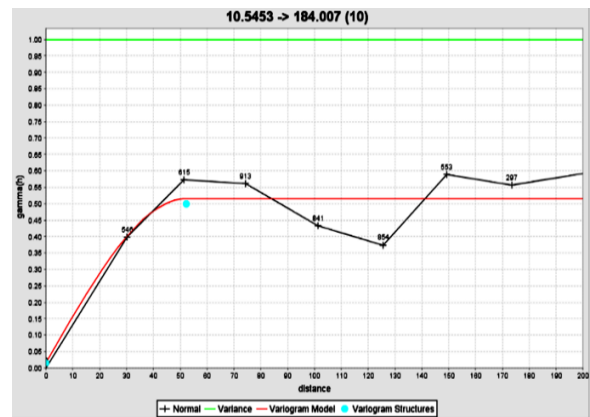
Hình 4. Variogram theo hướng 50° .



Hình 5. Variogram hướng 95° .



Hình 6. Variogram hướng 140° .



Hình 7. Variogram hướng 185° .

- Hiệu ứng tự sinh: phản ánh sự biến đổi cục bộ (mẫu đặc cao) về chiều dày cũng như hàm lượng.

- Trần: phản ánh kết quả tính toán không vượt qua.

Phân tích các đồ thị của hàm Variogram $\gamma(h)$ xác định kích thước đối ảnh hưởng nhỏ nhất của hàm lượng là theo đường hướng dọc (hướng khảo sát 50°) là 30 m; định kích thước đối ảnh

hưởng lớn nhất theo đường phương (hướng khảo sát 140°) là 125 m, chỉ số dị hướng $I = 4,16$ [28]. Với đặc tính dị hướng này, để lựa chọn mạng lưới thăm dò, tốt nhất áp dụng mạng lưới dạng tuyến song song hoặc mạng lưới hình chữ nhật, mạng lưới dạng rẽ quạt với phương vị tuyến trùng phương vị hướng dọc của thân quặng và khoảng cách tuyến gấp 2 đến 4 lần khoảng cách công trình trên tuyến.

Bảng 5. Bảng tổng hợp kết quả khảo sát Variogram theo hàm lượng của TQ1 [28]

Hướng khảo sát (độ)	Thông số đặc trưng của $\gamma(h)$			Mô hình
	Hiệu ứng tự sinh	Trần (kể cả hiệu ứng tự sinh)	Kích thước đối ảnh hưởng (m)	
50	0,45	0,84	30	$\gamma(h) = 0,45 + 0,39(1,5 \frac{h}{30} - 0,5 \frac{h^3}{30^3})$ khi $h \leq 30$ $= 0,45 + 0,39 = 0,84$ khi $h > 30$
95	0	1,33	105	$\gamma(h) = 1,33(1,5 \frac{h}{105} - 0,5 \frac{h^3}{105^3})$ khi $h \leq 105$ $= 1,33$ khi $h > 105$
140	0,19	1,06	125	$\gamma(h) = 0,19 + 0,87(1,5 \frac{h}{125} - 0,5 \frac{h^3}{125^3})$ khi $h \leq 125$ $= 0,19 + 0,87 = 1,06$ khi $h > 125$
185	0,02	0,52	52	$\gamma(h) = 0,02 + 0,5(1,5 \frac{h}{52} - 0,5 \frac{h^3}{52^3})$ khi $h \leq 52$ $= 0,02 + 0,5 = 0,52$ khi $h > 52$

5. Thảo luận

5.1. Xác lập nhóm mô thăm dò quặng urani trong cát kết kiểu Pà Lừa - Pà Rồng

Nhóm mô thăm dò là cơ sở để lựa chọn hệ thống công trình thăm dò và mạng lưới thăm dò theo nguyên tắc tương tự (theo quy phạm). Thực

tiễn thăm dò cho thấy, đặc điểm cấu trúc địa chất mô; hình dạng, kích thước, thể nằm và cấu trúc nội bộ thân quặng; mức độ biến đổi của các thông số địa chất thân quặng là những thông số ảnh hưởng chính đến xác lập nhóm mô thăm dò. Tuy nhiên, để lựa chọn hợp lý các yếu tố có vai trò quyết định đến xác lập nhóm mô thăm dò cần căn cứ vào loại hình và nguồn gốc của khoáng sản.

Bảng 6. Thống kê các tiêu chuẩn chủ yếu sử dụng phân nhóm mô thăm dò urani kiểu mô Pà Lừa - Pà Rồng

Cấu trúc địa chất mô và hình thái - cấu trúc thân quặng	Quy mô mô, kích thước thân quặng	Mức độ ổn định về chiều dày, hàm lượng quặng (02 thân quặng chính là thân TQ1 và TQ2)
<ul style="list-style-type: none"> - Cấu trúc chủ yếu đơn nghiêng, phía Nam có nếp lồi thoải. Các thân quặng urani có dạng lớp với góc dốc từ 7-15⁰; thân quặng công nghiệp dạng thấu kính, chuỗi thấu kính nằm tương đối chỉnh hợp với đá vây quanh. - Ranh giới thân quặng và đá vây quanh không rõ ràng, chỉ xác định bằng kết quả phân tích hoá. - Cấu trúc nội bộ thân quặng khá phức tạp, xen kẽ các lớp đá không quặng. - Các thân quặng phân bố không liên tục, biến đổi không rõ quy luật. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quy mô mô thuộc loại trung bình nhỏ. - Các thấu kính quặng công nghiệp kéo dài theo đường phương từ 35 m đến 250 m, trung bình từ 60 m đến 110 m; theo hướng dốc thay đổi từ 25 – 35 m đến 120 – 130 m, trung bình từ 50 m đến 100 m, khoảng cách gián đoạn giữa các thấu kính urani công nghiệp thay đổi từ 20 m đến 100 m. Bề dày thân quặng thay đổi từ 0,6 m đến 19,7 m; trung bình từ 1,8 m đến 2,5 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Chiều dày các thân quặng công nghiệp thuộc loại mỏng đến trung bình, hệ số biến thiên từ 89,4% đến 100,3%, thuộc loại không ổn định đến rất không ổn định. - Hàm lượng urani trong các thân quặng công nghiệp biến đổi rất không đồng đều với hệ số biến thiên lớn hơn 100%.

Theo kết quả đo vẽ bản đồ địa chất - khoáng sản khu vực; công tác tìm kiếm, thăm dò cũng như các công trình nghiên cứu khác, urani trong cát kết vùng trũng Nông Sơn có nguồn gốc trầm tích và thành tạo theo phương thức oxy hóa - khử; đồng thời các điểm mỏ của mỏ urani có cấu trúc phức tạp do ảnh hưởng của các hoạt động kiến tạo sau tạo quặng, đặc biệt là các hệ thống đứt gãy [1-3, 18]. Vì vậy, để xác lập nhóm mỏ thăm dò urani khu vực Pà Lừa – Pà Ròng trong cát kết vùng trũng Nông Sơn, lựa chọn các tiêu chuẩn chính (Bảng 6).

Đối chiếu kết quả trình bày trong Bảng 3 với các tiêu chuẩn phân chia nhóm mỏ thăm dò theo Thông tư số 60/2017/TT-BTNMT ngày 08 tháng 12 năm 2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định về phân cấp trữ lượng, tài nguyên khoáng sản rắn [29], khu mỏ urani Pà Lừa - Pà Ròng xếp vào nhóm mỏ thăm dò III là hợp lý nhất.

5.2. Lựa chọn mạng lưới thăm dò

Để xác lập mạng lưới thăm dò, vấn đề đầu tiên có tính tiên quyết là phải nghiên cứu làm

sáng tỏ đặc điểm biến hóa quặng hóa trong không gian. Phương pháp phân tích đặc điểm biến hóa quặng hóa trên cơ sở lý thuyết của quá trình ngẫu nhiên; trong đó phương pháp phân tích hàm variogram hiện được nhiều nhà địa chất thăm dò trên thế giới và ở Việt Nam sử dụng trong đánh giá đặc tính biến đổi của thông số địa chất thân quặng; từ đó lựa chọn kích thước đới ảnh hưởng là cơ sở xác lập mạng lưới thăm dò. Trên cơ sở nghiên cứu trên, tiến hành xác lập các tiêu chuẩn chính để lựa chọn mạng lưới thăm dò urani gồm: hình dạng, kích thước và thể nằm thân quặng; mức độ biến đổi của chiều dày, hàm lượng thân quặng và tính dị hướng của quặng hóa.

Căn cứ vào 3 tiêu chuẩn nêu trên, nhất là tính dị hướng của hàm lượng U_3O_8 , để lựa chọn mạng lưới thăm dò tốt nhất là áp dụng mạng lưới dạng tuyến song song. Trong một số khối cụ thể có thể áp dụng mạng lưới hình chữ nhật, mạng lưới dạng rẽ quạt với phương vị tuyến thăm dò (tuyến ngang) trùng với phương vị hướng dốc và khoảng cách tuyến gấp 2 đến 4 lần khoảng cách các công trình trên tuyến; khoảng cách công trình theo hướng dốc (trên tuyến) tối đa là khoảng 30 m.

Bảng 7. Mạng lưới định hướng các công trình thăm dò

Nhóm mỏ thăm dò	Loại hình công trình thăm dò	Trữ lượng cấp 122		Tài nguyên cấp 333	
		Theo đường phương (m)	Theo hướng dốc (m)	Theo đường phương (m)	Theo hướng dốc (m)
III	Khoan	50 - 60	25 - 30	100 - 120	50 - 60
	Khai đào	25 - 30		50 - 60	

- Khi tiến hành công tác thăm dò cần phải có khối lượng công trình dự phòng từ 10 đến 15% tổng khối lượng dự kiến cho toàn đề án thăm dò. Các công trình dự phòng chủ yếu tập trung ở phạm vi thân quặng bị vỡ nhọn đột ngột, hoặc trong phạm vi thân quặng có hình thái - cấu trúc phức tạp.

- Lựa chọn diện tích thăm dò để tính trữ lượng cấp 122: cần lựa chọn các diện tích có triển vọng công nghiệp đã được khoanh định qua tài liệu điều tra đánh giá tỷ lệ 1: 10.000 hoặc 1: 5.000, diện tích phân bố các thân quặng có quy mô và chất lượng quặng urani phải đáp ứng yêu cầu chỉ tiêu tính trữ lượng hiện hành.

6. Kết luận

i) Các thân quặng urani công nghiệp tập trung trong cát kết hạt thô đến hạt nhỏ thuộc hệ tầng An Điem tuổi Trias muộn ($T_{3n ad}$); tồn tại chủ yếu dạng thấu kính, nón quạt ngầm chồng phủ liên kết thành chuỗi chạy vòng theo đường bờ cổ của trũng Nông Sơn. Các thân quặng cắm đơn nghiêng, dốc thoải ($7 - 15^{\circ}$);

ii) Các thân quặng công nghiệp có quy mô nhỏ đến trung bình. Cấu trúc địa chất thân quặng urani thuộc nhóm tương đối phức tạp, trong thân quặng có xen kẹp các lớp kẹp không quặng làm phức tạp thêm cấu trúc nội bộ thân quặng. Về cơ

bản, quy luật biến đổi chiều dày và hàm lượng quặng urani trong khu nghiên cứu thuộc loại biến đổi nhảy vọt, gián đoạn và không rõ quy luật;

iii) Theo quy định hiện hành của nước ta, thì mỏ Pà Lừa - Pà Rồng có mức độ phức tạp thuộc nhóm mỏ thăm dò III, mạng lưới bố trí tuyến thi công công trình khai đào là 25 m - 30 m; đối với công trình khoan, mạng lưới bố trí tuyến cách tuyến là 50 m - 60 m và công trình khoan trên tuyến 25 m - 30 m.

Mạng lưới thăm dò đề xuất kiểu mỏ urani khu vực Pà Lừa - Pà Rồng có thể áp dụng để thăm dò kiểu quặng cát kết chứa urani tương tự ở các vùng khác của trũng Nông Sơn.

Lời cảm ơn

Kết quả của bài báo đã tham khảo, xử lý và tổng hợp tài liệu của đề án thăm dò quặng urani khu Pà Lừa - Pà Rồng, huyện Nam Giang, tỉnh Quảng Nam do Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm chủ trì. Tập thể tác giả xin được bày tỏ lời cảm ơn sâu sắc đến lãnh đạo Liên đoàn và chủ nhiệm đề án nói trên.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. V. Tri, V. Khuc (Co-editor) et al., *Geology and Natural Resources of Vietnam*, Geological Archives, Hanoi, 2009 (in Vietnamese).
- [2] N. V. Hoai et al., *Establishment of Mineralogy and Radiological Ore Diagnosis in the Territory of the Socialist Republic of Vietnam*, Scale 1:500.000, Archives of the Federation of Radiation Geology - Rare, Hanoi, 1986 (in Vietnamese).
- [3] N. V. Hoai et al., *Research Report on Assessment of Uranium Potential in Kon Tum and Tu Le Outcrops*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 2002 (in Vietnamese).
- [4] T. X. Ben, *Geochemical Characteristics - Radioactive Ore Minerals in Khe Hoa - Khe Cao Area, Nong Son Coal Basin*, Thesis of Doctor of Geography - Geology, National Library Archives, Hanoi, 1995 (in Vietnamese).
- [5] N. Q. Hung, *Petrological Characteristics and Uranium Ore Mineralization in Late Triassic Sediments of Nong Son Region*, Thesis of Doctor of Geology, National Library Archives, Hanoi, 2002 (in Vietnamese).
- [6] N. T. Giang, *Structural - Tectonic Characteristics of the Northwestern Part of Nong Son Basin, Quang Nam and the Formation of Uranium Minerals in Sandstone*, Thesis of Doctor of Geology, National Library Archives, Hanoi, 2018 (in Vietnamese).
- [7] N. V. Hoai et al., *Report on Potential Assessment of Uranium and some Mineral Materials for the Atomic Energy Industry in the Territory of the Socialist Republic of Vietnam*, Archives of the Federation of Radiation Geology - Rare, Hanoi, 1990 (in Vietnamese).
- [8] N. V. Hoai et al., *Report on Research Results on the Bottom Surface of Nong Son Basin Mesozoic Sediments at the Scale of 1:200 000 and Evaluate the Prospect of Uranium in the Working Area*, Archives of the Federation of Radiation Geology - Rare, Hanoi, 1993 (in Vietnamese).
- [9] N. D. Dong, N. Q. Hung et al., *Report on Research, Survey, Overview Assessment of Uranium Resources and Reserves in Vietnam*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 2005 (in Vietnamese).
- [10] N. D. Son (Editor), N. T. Giang et al., *Research on Building Models of Uranium Mines in Sandstone in Vietnam*, Science and Technology Topic at Ministerial Level, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 2014 (in Vietnamese).
- [11] N. Q. Hung (Editor) et al., *Report on the Search for Uranium and other Minerals in TaBhing - Nong Son Valley, Quang Nam Province*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 1997 (in Vietnamese).
- [12] N. Q. Hung (Editor) et al., *Geological Report on Uranium Assessment Results at Pa Lua Site, Quang Nam Province, Scale 1:2.000*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 1999 (in Vietnamese).
- [13] L. Q. Tam (Editor) et al., *Report on Assessment of Uranium ore in the Southeast Ben Giang Area, Quang Nam Province*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 2004 (in Vietnamese).
- [14] L. Q. Tam (Editor) et al., *Report on Uranium ore Exploration in Pa Lua - Pa Rong Area, Nam Giang District, Quang Nam Province*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 2021 (in Vietnamese).
- [15] N. D. Thanh (Editor) et al., *Report on the Results of Uranium Assessment in An Diem Area, Quang Nam Province*, Archives Federation of Radioactive Geology - Rare, Hanoi, 2001 (in Vietnamese).

- [16] C. D. Ung (Editor) et al., Report on the Detailed Search for Uranium in the Nong Son Coal Mine, Archives of the Federation of Radiation Geology - Rare, Hanoi, 1989 (in Vietnamese).
- [17] C. D. Ung (Editor) et al., Report on Uranium Search Results in Khe Hoa - Khe Cao Area, Quang Nam - Da Nang Province, Scale 1:10,000, Archives of the Federation of Radiation Geology - Rare, Hanoi, 1995 (in Vietnamese).
- [18] C. N. Hung et al., Report on Geology and Minerals of Hoi An - Da Nang Newspaper Group, Together with Geology & Mineral Map of Nong Son Group at the Scale of 1:50.000, Geological Archives, Hanoi, 1996 (in Vietnamese).
- [19] L. Q. Tam (ed.), N. D. Than, N. Phuong, N. T. Phu et al., Report on the Results of Uranium Exploration in the Pa Lua - Pa Rong Area, Nam Giang District, Quang Nam Province, Center for Information & Archives of Geology, Hanoi, 2021 (in Vietnamese).
- [20] L. Q. Khang, N. Phuong, B. H. Bac, N. T. Dung, K. T. Hung, Geological Data Processing Methods, Transport Publishing House, Hanoi, 2018 (in Vietnamese).
- [21] A. B. Kazodan, Methods of Mineral Prospecting and Exploration, Russian Version, Moscow Nedra, 1984.
- [22] G. Matheron, Traite de Geostatistique Appliquee, Tome Ii., ed, Technip, Paris, Vol. 2, 1963.
- [23] G. Matheron, La Theory Des Variables Régionalisees, Et Ses Application, Advances in Applied Probability, Ecole Des Mines de Paris, Vol. 5, 1970, pp. 439-468.
- [24] Z. Kokesz, Effective Application of Kriging Method in Mine Reserve Assessment, The 7th Workshop on Exploration Methods and Preparation of Mine Reserve Calculation Reports, Academy of Mining and Metallurgy Krakow, Poland, Translation of the Office of the National Mineral Reserve Assessment Council, Hanoi, 1991.
- [25] J. C. Davis, Statistics and Data analysis in Geology, John Wiley & Sons, New York - Chichester - Brisbane - Tronto - Singapore, ISBN 0-471-17275-8, 2002, pp. 416-443.
- [26] L. V. Luong, Research and Select a Model to Assess the Original Gold Reserves and Resources in Phuoc Son - Quang Nam Area, Doctoral Thesis, Archives Library of the University of Mining and Geology, Hanoi, 2014 (in Vietnamese).
- [27] T. L. Chau, N. Phuong et al., Characteristics of Changes in Industrial Geological Parameters and Their Significance in Uranium Ore Exploration in the Pa Lua - Pa Rong Area, Journal of Earth and Environmental Sciences, Hanoi National University, Vol. 39, No. 3, 2023, pp. 1-10, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4952>.
- [28] N. T. Phu (ed.), L. Q. Tam, P. Q. Huy, N. D. Than et al., Report on Establishing the Law of Variation of Reserve Calculation Parameters and Determining the Uranium ore Reserves of Pa Lua - Pa Rong using Surpac Software under the Uranium Exploration Project of Pa Lua - Pa Rong area, Nam Giang District, Quang Nam Province, Archives Information Center, Archives and Geology Magazine, Hanoi, 2021 (in Vietnamese).
- [29] Ministry of Natural Resources and Environment, Circular No. 60/2017/TT-BTNMT, Regulations on Decentralization of Reserves and Solid Mineral Resources, Hanoi, 2017 (in Vietnamese).