

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

TRẦN LÊ CHÂU

NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP THĂM DÒ
VÀ ĐÁNH GIÁ TÀI NGUYÊN URANI TRONG CÁT KẾT
BỜ TRỮNG NÔNG SƠN, TỈNH QUẢNG NAM

Ngành: Kỹ thuật địa chất
Mã số: 9520501

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2024

Công trình được hoàn thành tại: **Bộ môn Tìm kiếm - Thăm dò, Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.**

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS Nguyễn Văn Lâm

2. TS Bùi Tất Hợp

Phản biện 1: **PGS.TS Nguyễn Phương**

Phản biện 2: **GS.TS Trần Nghi**

Phản biện 3: **TS Trần Ngọc Thái**

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án cấp trường, họp tại Trường đại học Mỏ - Địa chất, số 18 Phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, thành phố Hà Nội vào hồi.....giờ.....ngày....tháng.....năm 2024.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Quốc Gia, Hà Nội

2. Thư viện Trường Đại học Mỏ - Địa chất

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

“Tài nguyên địa chất, khoáng sản vừa là nguồn lực quan trọng để phát triển kinh tế - xã hội của đất nước, vừa là nguồn dự trữ lâu dài của quốc gia cần phải được quy hoạch, điều tra, đánh giá và thăm dò đầy đủ; được quản lý tập trung, thống nhất; được khai thác, sử dụng bền vững, hợp lý, tiết kiệm, hiệu quả. Tập trung điều tra, đánh giá các khoáng sản chiến lược, quan trọng” được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 334/QĐ-TTg ngày 01 tháng 4 năm 2023

Hiện nay, nhu cầu urani trong lĩnh vực công nghiệp rất đa dạng, đặc biệt trong phát triển năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình. Vì vậy, công tác nghiên cứu địa chất khu vực, đánh giá tiềm năng khoáng sản, thăm dò và khai thác quặng urani là yêu cầu có tính cấp thiết và hết sức quan trọng đối với mỗi quốc gia trên thế giới và Việt Nam cũng không ngoại lệ.

Kết quả nghiên cứu địa chất từ sau năm 1954 đến nay cho thấy nước ta là một trong số có quốc có tiềm năng về urani, trong đó triển vọng hơn cả là urani trong cát kết tuổi trias muộn phân bố trong trũng Nông Sơn, tỉnh Quảng Nam.

Đến hiện tại, bồn trũng Nông Sơn đã được lập bản đồ địa chất và điều tra khoáng sản tỷ lệ 1: 200.000, tỷ lệ 1: 50.000; nhiều diện tích có triển vọng quặng urani đã được điều tra, đánh giá; một số diện tích đã thăm dò đánh giá trữ lượng cấp 122 và nhiều công trình nghiên cứu chuyên sâu về khoáng sản urani trong cát kết trũng Nông Sơn. Tuy nhiên, còn rất nhiều vấn đề về đặc điểm quặng hóa cũng như sinh khoáng urani; về điều kiện và kiểu địa hóa thành tạo urani; đặc điểm hình thái cấu trúc, đặc trưng biến đổi của các thông số địa chất thân quặng; từ đó xác định phương pháp thăm dò và đánh giá tài nguyên, trữ lượng urani trong cát kết ở bồn trũng Nông Sơn cần tiếp tục nghiên cứu chi tiết, đồng bộ.

Vì vậy, đề tài **“Nghiên cứu lựa chọn phương pháp thăm dò và đánh giá tài nguyên urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn, tỉnh Quảng Nam”** được NCS lựa chọn để nghiên cứu là nhằm góp phần đáp ứng yêu cầu do thực tế đòi hỏi và thật sự cần thiết.

2. Mục tiêu của luận án

- Nghiên cứu làm sáng tỏ đặc điểm biến đổi và mức độ biến hóa không gian của các thông số địa thân quặng urani (hình thái, kích thước, thể nằm) trong cát kết trũng Nông Sơn.

- Đánh giá mức độ ảnh hưởng sự biến đổi của các thông số địa chất công nghiệp thân quặng đến công tác thăm dò; từ đó lựa chọn phương pháp thăm dò và đánh giá tài nguyên (trọng tâm là phương pháp tính trữ lượng/tài nguyên) phù hợp với kiểu quặng urani trong cát kết trũng Nông Sơn, tỉnh Quảng Nam.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là urani trong cát kết và các thành tạo địa chất có liên quan trong bồn trũng Nông Sơn với phạm vi khoảng 3200km².

4. Nội dung nghiên cứu chính

- Thu thập, tổng hợp và xử lý các tài liệu điều tra địa chất, tìm kiếm - thăm dò nhằm làm sáng tỏ cấu trúc địa chất mở hoặc những diện tích có triển vọng và các yếu tố khống chế quặng hoá, cũng như đặc điểm phân bố quặng hoá urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn.

- Làm rõ mức độ phức tạp về cấu trúc địa chất; hình dạng, kích thước, thể nằm và cấu trúc nội bộ của thân quặng ở những diện tích chứa urani được nghiên cứu chi tiết.

- Nghiên cứu đặc điểm biến đổi không gian và đặc tính dị hướng về hình dạng, chiều dày, hàm lượng U₃O₈ và các nguyên tố đi cùng trong thân quặng urani.

- Xác định các yếu tố ảnh hưởng đến lựa chọn phương pháp thăm dò và phương pháp đánh giá tài nguyên, trữ lượng urani trong cát kết.

- Nghiên cứu lựa chọn phương pháp thăm dò và phương pháp tính tài nguyên urani trong cát kết có độ tin cậy cao và bảo đảm hiệu quả kinh tế; trọng tâm là lựa chọn phương pháp tính tài nguyên xác định.

5. Những điểm mới của luận án

- Các lớp đá chứa quặng urani trong cát kết Triat muộn trũng Nông Sơn có 2 dạng phụ thuộc vào 2 phức hệ tương đá: (i) Lớp đá chứa quặng dạng vỉa thấu kính phân bố dạng hình cánh cung theo đường bờ cổ thuộc phức hệ tương cát hạt thô, hạt nhỏ nón quạt ngầm ven bờ. (ii) Lớp đá chứa

quặng dạng vỉa thấu kính định hướng song song thuộc tướng cát hạt trung, hạt nhỏ biến nông vũng vịnh.

- Đã làm sáng tỏ ba phương diện biến hóa quặng hóa của các thông số địa chất công nghiệp của các thân quặng urani trong cát kết trũng Nông Sơn. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các thân quặng urani thường tập trung dạng lớp (vĩa), vỉa thấu kính, chuỗi thấu kính được liên kết với nhau trong một lớp đá nhất định. 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. Hàm lượng U_3O_8 trong thân quặng công nghiệp phân bố dạng loga chuẩn, biến đổi không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều. Mức độ biến đổi hàm lượng trong các thân quặng phức tạp hơn chiều dày, nhưng ổn định hơn trong các lớp chứa quặng.

- Đã xác lập các yếu tố có vai trò quyết định đến lựa chọn phương pháp thăm dò và đánh giá tài nguyên urani trong khu vực nghiên cứu.

- Các khu mỏ urani trong cát kết trũng Nông Sơn chủ yếu thuộc nhóm mỏ thăm dò III. Hệ thống thăm dò hợp lý nhất là sử dụng phối hợp công trình khai đào, khoan thẳng đứng và phương pháp địa vật lý công trình, với mạng lưới bố trí dạng tuyến song song, kết hợp dạng rẽ quạt hoặc hình chữ nhật với khoảng cách tuyến (theo đường phương) 40 - 60 m, công trình trên tuyến (theo hướng dốc) 25 - 30m.

- Để nâng cao độ tin cậy của công tác tính tài nguyên/trữ lượng urani trong cát kết trũng Nông Sơn, cần sử dụng phương pháp khối địa chất, kết hợp phương pháp Kreiging thông dụng để kiểm chứng.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

6.1. Ý nghĩa khoa học

- Những kết quả nghiên cứu mới về đặc điểm biến hóa của các thông số địa chất công nghiệp, cũng như đặc điểm hình thái - cấu trúc của thân quặng là những đóng góp mới và rất quan trọng vào lĩnh vực địa chất thăm dò urani trong cát kết trũng Nông Sơn nói riêng, urani ở Việt Nam nói chung.

- Kết quả nghiên cứu của luận án đã luận giải có cơ sở khoa học các thông số địa chất công nghiệp quyết định đến việc lựa chọn phương pháp thăm dò và tính tài nguyên, trữ lượng urani; góp phần hoàn thiện phương pháp luận thăm dò cho kiểu mỏ urani trong cát kết trũng Nông Sơn.

6.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở dữ liệu cho xây dựng quy định về thăm dò urani và nâng cao hiệu quả công tác thăm dò kiểu mỏ urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn.

- Cung cấp cho cơ sở sản xuất địa chất hệ phương pháp xác lập nhóm mỏ, mạng lưới thăm dò và phương pháp tính tài nguyên, trữ lượng urani trong cát kết và có thể áp dụng cho các khoáng sản khác có đặc điểm tương tự.

7. Luận điểm bảo vệ của luận án

Luận điểm 1: Các thân quặng urani chủ yếu dạng via thấu kính, chuỗi thấu kính hoặc dạng tấm (tabulas) nằm giả chỉnh hợp với đá vây quanh; thân quặng công nghiệp có hình thái - cấu trúc phức tạp, phân bố không liên tục theo đường phương và hướng dốc, chiều dày biến đổi thuộc loại không ổn định; hàm lượng U_3O_8 biến đổi từ không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều và có tính dị hướng mạnh.

Luận điểm 2: Đặc điểm hình thái - cấu trúc, thể nằm thân quặng và đặc tính biến đổi của các thông số địa chất công nghiệp (chiều dày, hàm lượng U_3O_8) là yếu tố quyết định để lựa chọn phương pháp thăm dò và tính tài nguyên, trữ lượng urani. Các khu mỏ urani trong cát kết tuổi trias muộn ở trũng Nông Sơn thuộc nhóm mỏ thăm dò III; mạng lưới thăm dò hợp lý nhất là dạng tuyến song song, kết hợp dạng rẽ quạt hoặc hình chữ nhật.

8. Kết cấu của luận án

Luận án gồm 145 trang đánh máy vi tính khổ A4, 31 hình vẽ, 23 biểu bảng và 19 ảnh minh họa. Ngoài mở đầu và kết luận, nội dung luận án được trình bày thành 4 Chương.

9. Cơ sở tài liệu của luận án

Luận án được hoàn thành trên cơ sở tài liệu thực tế do NCS trực tiếp nghiên cứu, thu thập, tổng hợp trong thời gian công tác, tham gia các đề tài nghiên cứu khoa học, tham gia thực hiện các nhiệm vụ tại Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm. Cụ thể gồm:

- Các tài liệu đo vẽ bản đồ địa chất và điều tra khoáng sản trên bồn trũng Nông Sơn ở các tỷ lệ khác nhau, các tài liệu chuyên đề có liên quan đến khu vực nghiên cứu đã được công bố.

- Các tài liệu của các đề tài, luận án, bài báo, báo cáo khoa học trong và ngoài nước có liên quan, các tạp chí chuyên ngành, sách xuất bản và trên mạng Internet.

- Các tài liệu điều tra, đánh giá và thăm dò; các kết quả phân tích mẫu. Đặc biệt là các tài liệu mới thu nhận được trong quá trình thi công đề án thăm dò quặng urani khu Pà Lừa - Pà Rông do Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm thực hiện từ năm 2010 đến năm 2021.

- Tài liệu phân tích bổ sung của NCS, gồm 04 mẫu khoáng tương, 04 mẫu phân tích trên máy điện từ quét SEM.

CHƯƠNG 1: KHÁI QUÁT ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT - KHOÁNG SẢN BỒN TRŨNG NÔNG SƠN

1.1. Tổng quan vùng nghiên cứu

Bồn trũng Nông Sơn thuộc địa phận huyện Nam Giang, tỉnh Quảng Nam. Trung tâm vùng cách thành phố Đà Nẵng khoảng 100 km về phía tây nam theo quốc lộ 14B. Khu vực nghiên cứu thuộc miền địa hình núi cao trung bình, độ cao từ 250m đến 1034m, các dải núi kéo dài theo phương tây bắc - đông nam, độ dốc phổ biến trong khoảng 20 - 35°.

Hiện tại, có khá nhiều quan điểm về vị trí kiến tạo của bồn trũng Nông Sơn trên bình đồ cấu trúc khu vực. Phan Văn Quỳnh và nnk (1992) coi kiến trúc của bồn trũng Nông Sơn có dạng địa hào chùng chéo (địa hào Sông Bung phương tây bắc - đông nam và địa hào Nông Sơn phương đông - tây) được thành tạo bởi các hệ thống đứt gãy khác nhau. Nguyễn Văn Trang (1986) xếp khu vực nghiên cứu vào đới Nông Sơn, trong đó phức hệ Mesozoi hạ đóng vai trò quan trọng trong sự hình thành đới Nông Sơn. Trần Văn Trị, Đặng Vũ Khúc và nnk (2009) đã chia lãnh thổ Việt Nam thành 03 đơn vị kiến tạo lớn, đó là: Các khu vực địa tiền Cambri bị tái biến cải trong Phanerozoic, Hệ tạo núi đa kỳ Neoproterozoic - Mesozoic sớm và các trũng nội lục Paleozoic muộn - Kainozoic.

1.2. Lịch sử nghiên cứu địa chất và khoáng sản

Khu vực nghiên cứu đã thực hiện các công tác đo vẽ bản đồ địa chất, khoáng sản từ tỷ lệ 1:500.000 đến 1:50.000. Công tác điều tra, đánh giá khoáng sản tỷ lệ 1: 25.000 đến 1:10.000 và thăm dò khu Pà Lừa - Pà Rông, huyện Nam Giang tỷ lệ 1:2.000. Bên cạnh đó là công tác nghiên cứu chuyên đề chuyên sâu về quặng hóa urani.

Các công trình trên là nguồn tài liệu quan trọng cho NCS tham khảo, kế thừa từng phần nhằm phát triển và giải quyết các nội dung nghiên cứu của luận án.

1.3. Đặc điểm địa chất và cấu trúc, kiến tạo bồn trũng Nông Sơn

- **Địa tầng:** Khu vực nghiên cứu có mặt các trầm tích có tuổi từ Proteozoi đến Kainozoi, gồm các hệ tầng: Phức hệ Khâm Đức - Núi Vú ($NP_3-E_1 kv$), Hệ tầng A Vương ($E_2-O_1 av$), Hệ tầng Sông Bung ($T_{2a sb}$), Hệ tầng An Điền ($T_{3n ad}$), Hệ tầng Sườn Giữa ($T_{3n-r sg}$), Loạt Thọ Lâm ($J_{1-2 tl}$) và Hệ Đệ tứ (Q).

- **Magma xâm nhập:** Trong trũng Nông Sơn và các khu vực ven rìa kể cận có mặt 03 phức hệ xâm nhập, đó là phức hệ Đại Lộc ($\gamma D_1 dl$), phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn ($\gamma \delta P_{2-3 bq}$) và phức hệ Chà Vằn ($v\sigma P_3-T_1 cv$).

- Đặc điểm cấu trúc, kiến tạo

+ **Các nếp uốn:** Bồn trũng Nông Sơn là một trũng lớn bị chia cắt thành hai trũng có trục gần song song với nhau là trũng Nông Sơn và trũng sông Bung. Cùng với các trũng trên là các nếp uốn thứ cấp khác như nếp võng Sơn Tuyền, võng nhỏ Khe Cao, võng thoải Sườn Giữa.

+ **Các phá huỷ kiến tạo:** Các kết quả nghiên cứu đã xác định khu vực nghiên cứu có 4 hệ thống đứt gãy chính là: Hệ thống có phương á vĩ tuyến, Hệ thống tây bắc - đông nam, Hệ thống đông bắc - tây nam, Hệ thống đứt gãy á kinh tuyến.

- **Đặc điểm tương đá - cổ địa lý và quy luật phân bố của cát kết Triat muộn bồn trũng Nông Sơn:** Bồn trũng Nông Sơn có hình ô van bán liên thông với biển rộng, các trầm tích Trias muộn có cấu trúc chu kỳ liên quan với sự dao động mực nước biển toàn cầu. Theo các tác giả này, trong vùng thể hiện rõ một bức tranh sinh động 2 chu kỳ trầm tích cả trong mặt cắt địa chất - trầm tích và trên bình đồ của 2 hệ tầng: An Điền ($T_{3n ad}$) và Sườn Giữa ($T_{3n-r sg}$). Mỗi chu kỳ trầm tích tương ứng với 3 phức hệ tương. Vì vậy, có thể gọi ngắn gọn 2 chu kỳ trầm tích này là chu kỳ An Điền và chu kỳ Sườn Giữa.

1.4. Khoáng sản: Kết quả nghiên cứu cho thấy, khoáng sản trong vùng nghiên cứu gồm: khoáng sản nhiên liệu, khoáng sản không kim loại và khoáng sản kim loại.

1.5. Một số tồn tại nghiên cứu trước đây

Tổng hợp, phân tích các kết quả điều tra, đánh giá, thăm dò urani ở trũng Nông Sơn trong các công trình trước đây, để triển khai các nội dung đã được xác định tại Chiến lược, Quy hoạch có liên quan đến khoáng sản phóng xạ nói chung và đánh giá, thăm dò urani trong cát kết ở trũng Nông Sơn nói riêng, cần phải tiếp tục nghiên cứu, hoàn thiện một số nội dung cụ thể như sau:

- Khu vực Pà Lừa - Pà Ròng đã được thăm dò, phê duyệt trữ lượng. Tuy vậy, việc xác lập đầy đủ, toàn diện cơ sở khoa học để luận giải về đặc điểm biến đổi và mức độ biến hóa không gian của các thông số địa chất thân quặng urani (hình thái, kích thước, thể nằm) cho tất cả các thân quặng đã thăm dò chưa được hoàn thiện.

- Trong trũng Nông Sơn đã điều tra, đánh giá được một số khu vực có triển vọng về urani trong cát kết, cần tiếp tục thăm dò trong giai đoạn tiếp theo. Ở các khu vực này, chưa xác định được đầy đủ các dạng hình thái và cấu trúc của các thân quặng urani, cũng như quy luật phân bố của các dạng hình thái thân quặng urani trong mối liên quan với cấu trúc của bồn trũng Nông Sơn. Việc xác lập đầy đủ cơ sở khoa học phục vụ cho công tác thăm dò đối với các khu vực này là rất cần thiết, cần phải nghiên cứu, hoàn thiện.

- Chưa có công trình đánh giá đầy đủ và toàn diện về 03 phương diện biến hóa quặng hóa urani trong cát kết trũng Nông Sơn; từ đó làm cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc lựa chọn hợp lý phương pháp thăm dò và đánh giá tài nguyên, trữ lượng urani.

- Tuy đã có một số công trình nghiên cứu xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò cho urani trong cát kết; song các kết quả hiện có chưa đảm bảo tính đầy đủ, toàn diện, chưa chỉ ra được các yếu tố quan trọng đóng vai trò quyết định trong xếp nhóm mỏ, lựa chọn phương pháp thăm dò và tính trữ lượng urani trong cát kết trũng Nông Sơn.

- Hiện nay, Bộ Tài nguyên và Môi trường đang triển khai đề án “Đánh giá tổng thể tiềm năng khoáng sản vùng Trung Trung Bộ phục vụ phát triển kinh tế - xã hội”. Trong đó, dự kiến sẽ phát hiện và khoanh định được một số khu vực mới có triển vọng về urani trong cát kết. Như vậy, cần thiết phải hoàn thiện cơ sở khoa học phục vụ cho công tác đánh giá, thăm dò đối với các khu vực mới được xác định trong Đề án nêu trên.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý luận

2.1.1. Các khái niệm cơ bản sử dụng trong luận án

Trong luận án sử dụng một số khái niệm: mỏ quặng, mỏ thăm động (thăm lọc), biểu hiện quặng, điểm quặng, tạo khoáng nội sinh, tạo khoáng ngoại sinh, tạo khoáng biến chất, sự thủy phân, hiện tượng hòa tan, phản ứng oxy hóa - khử, barie địa hóa, biến hóa ngẫu nhiên, biến hóa không ngẫu nhiên, biến hóa không gian, ba phương diện biến hóa, hệ thống thăm dò, mạng lưới thăm dò, đánh giá tài nguyên.

2.1.2. Khái quát về urani

Trong tự nhiên urani không tồn tại ở dạng kim loại tự sinh và cũng không tạo thành các khoáng vật thuộc nhóm sulfur, asenur. Chúng tồn tại ở các dạng hóa trị [+4] và hóa trị [+6]; các dạng hóa trị [+3] và [+5] chỉ tồn tại trong phòng thí nghiệm. Trong môi trường oxy hóa urani tồn tại ở dạng hóa trị [+6]; còn trong môi trường khử (môi trường không có hoặc nghèo oxy) urani tồn tại ở dạng hóa trị [+4], đây là dạng tồn tại điển hình của urani. Urani có 3 đồng vị: U^{238} , U^{235} và U^{234} , tương ứng chiếm 99,27%, 0,72% và 0,01% số lượng nguyên tử.

2.1.3. Đặc điểm khoáng vật

Urani tồn tại ở các khoáng vật urani nguyên sinh thường gồm nasturan, nasturan ngâm nước và coffinit cộng sinh với chlorit, pyrit vi tinh và các khoáng vật urani thứ sinh ở các phụ đới phong hoá là autunit - metaautunit, metauranoxiaxit, uranophane; chúng đi cùng gotit, hydrogtit; hiếm khi còn gặp nasturan sớm đi cùng hematit, oxyt mangan.

2.1.4. Phân loại các kiểu mỏ urani trên thế giới và Việt Nam

2.1.4.1. Các kiểu mỏ urani trên thế giới

Theo phân chia của IAEA năm 2009, tất cả các mỏ urani đã biết được chia ra 14 kiểu mỏ địa chất - công nghiệp. Trong đó, mỏ urani trong cát kết khá phổ biến trên thế giới và chiếm một tỷ trọng đáng kể về trữ lượng, tuy nhiên hàm lượng quặng thường tương đối thấp; Urani được thành tạo đồng sinh trong quá trình tích tụ trầm tích và Urani tích tụ do quá trình thăm động và di chuyển của dung dịch trong thân đá (Dahlkamp, 1994; Cuney and Kyser, 2009).

2.1.4.2. Các kiểu mỏ urani ở Việt Nam

Tương tự như các khoáng sản khác, urani đã được phát hiện trong các đá trầm tích biến chất tuổi tiền Cambri tới các đá trầm tích Mesozoi và đá

phun trào hoặc xâm nhập Kainozoi. Kiểu mỏ urani trong cát kết phân bố chủ yếu trong các trầm tích lục nguyên tuổi Trias muộn ở vùng Nông Sơn (Quảng Nam). Đây là kiểu mỏ được xem là có triển vọng nhất ở Việt Nam hiện nay.

2.2. Phương pháp luận và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Cách tiếp cận

Luận án sử dụng cách tiếp cận hệ thống, tiếp cận lịch sử, tiếp cận định lượng (hay tiếp cận hiện đại), tiếp cận liên ngành.

2.2.2. Phương pháp luận và phương pháp nghiên cứu

Luận án sử dụng phối hợp các phương pháp truyền thống, kết hợp phương pháp hiện đại, cụ thể gồm: phương pháp mô hình hóa (mô hình dạng biểu đồ, sơ đồ, mặt cắt); phương pháp toán địa chất gồm: phương pháp toán thống kê (thống kê một chiều, thống kê hai chiều), hàm Variogram (hàm cấu trúc), tin ứng dụng. Ngoài ra, nghiên cứu về khoáng sản urani trong cát kết nói riêng cần sử dụng tổ các phương pháp sau: phương pháp phân tích lát mỏng thạch học của cát kết, phương pháp phân tích định lượng các nhóm tham số độ hạt trên lát mỏng thạch học, phương pháp xác định hệ số mài tròn (R_o).

CHƯƠNG 3: ĐẶC ĐIỂM QUẶNG HÓA URANI TRONG CÁT KẾT BỒN TRŨNG NÔNG SƠN

3.1. Đặc điểm cấu trúc địa chất các khu vực mỏ và điểm quặng urani bồn trũng Nông Sơn

Trũng Nông Sơn được cấu tạo chủ yếu bởi các thành tạo trầm tích tương sông, đầm lầy, vũng vịnh và có cấu trúc dạng địa hào, bị phân chia thành hai bồn trũng thứ cấp là trũng Sông Bung và trũng Thọ Lâm. Các phân vị địa tầng chính là hệ tầng An Điền, hệ tầng Sườn Giữa và loạt Thọ Lâm, tuổi từ Trias muộn đến Jura giữa được bao bọc bởi các thành tạo trầm tích biến chất thuộc hệ tầng A Vương có tuổi Cambri giữa - Ordovic sớm và các đá magma xâm nhập thuộc phức hệ Đại Lộc ở phía bắc và phía tây nam, phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn phía Nam.

Các kết quả nghiên cứu trước đây (kết quả điều tra, đánh giá, thăm dò) đã chia các khu vực khoáng hóa trong trũng Nông Sơn thành các khu vực có đặc điểm quặng hóa và triển vọng khác nhau, như: Khe Hoa - Khe Cao, Pà Lừa - Pà Rồng, Đông Nam Bến Giằng, Cà Liêng - Sườn Giữa. Trong đó khu vực Pà Lừa - Pà Rồng, khu vực Khe Hoa - Khe Cao và khu vực Đông Nam Bến Giằng là có triển vọng công nghiệp hơn cả.

3.1.1. Địa tầng

Đặc điểm địa tầng và các lớp đá chứa quặng urani ở từng khu vực (diện tích) có sự khác nhau, cụ thể:

- Khu vực Pà Lừa - Pà Rông: Đây là diện tích đã được thăm dò từ năm 2011 - 2020. Kết quả cho thấy khu vực Pà Lừa - Pà Rông được cấu thành chủ yếu là các thành tạo của hệ tầng An Điem và được phân chia thành 2 phân hệ tầng: Phân hệ tầng dưới ($T_{3n}a\bar{d}_1$), gồm 03 tập với thành phần chủ yếu là cuội, sạn kết đa khoáng acko, cát kết hạt thô chứa sạn, xen các thấu kính acgilit, sét bột kết acko màu tím gu chuyên lên là sạn kết, cát kết hạt nhỏ, trung đến hạt mịn hơn là bột, sét kết và sét, bột kết, chiều dày trung bình khoảng 200m. Phân hệ tầng trên ($T_{3n}a\bar{d}_2$) với thành phần chủ yếu là cát kết hạt nhỏ màu xám sáng, chiều dày trung bình trên 20m. Thế nằm từ $80 - 110^0$ với góc dốc trung bình $10 - 12^0$.

- Khu Khe Hoa - Khe Cao: Phân bố ở phía đông khối nâng Thành Mỹ và rìa tây của nếp lồi Thọ Lâm. Phổ biến là cát kết màu xám có kích thước từ hạt nhỏ đến trung bình của hệ tầng An Điem ($T_{3n}a\bar{d}$). Các đá chứa quặng khi còn tươi có màu xám, xám đen, còn ở đới phong hoá chúng chuyển sang màu vàng nâu, nâu đỏ hoặc trắng xám.

- Khu Đông Nam Bến Giằng: Nằm ở phía nam của trũng Nông Sơn. Bao quanh phía nam và phía tây là các đá xâm nhập phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn, phía bắc là các đá xâm nhập phức hệ Chà Vần. Đá chứa quặng urani chủ yếu là cát kết thuộc hệ tầng An Điem ($T_{3n}a\bar{d}$).

- Khu Cà Liêng - Sườn Giữa: nằm ở phần rìa bắc đông bắc trũng Sông Bung, sườn tây bắc của khối nâng Thành Mỹ và nằm phía bắc của khu Khe Hoa - Khe Cao. Đá chứa quặng chủ yếu là cát kết hạt nhỏ đến hạt trung màu xám, trong đó quặng tập trung lớn nhất trong cát kết hạt nhỏ và có chứa vật chất hữu cơ màu đen của hệ tầng An Điem ($T_{3n}a\bar{d}$). Thành phần các mảnh vụn khoáng vật có nguồn gốc chủ yếu từ đá magma (granit, phun trào acid).

3.1.2. Các thành tạo magma xâm nhập

- Phức hệ Đại Lộc: Có tuổi cổ nhất và nằm ở rìa bồn trũng. Thành phần gồm các đá granit bị biến dạng mạnh, lộ ra chủ yếu ở rìa bắc của trũng Nông Sơn. Sự có mặt rộng rãi của các đá này trong thành phần của cuội, cát kết của hệ tầng An Điem, đặc biệt là phần dưới của hệ tầng này chứng tỏ các đá của

phức hệ Đại Lộc là nguồn cung cấp vật liệu quan trọng cho các thành tạo trầm tích trong trũng Nông Sơn.

- Phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn: Các đá thuộc phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn lộ ra ở tây và nam của vùng nghiên cứu và ở phía tây bị các thành tạo của hệ tầng An Đầm phủ trực tiếp lên trên.

- Phức hệ Chà Vắn: Lộ ra ở phía tây trũng Nông Sơn, tạo thành dải hẹp, cùng với các thành tạo trầm tích biến chất của phức hệ Khâm Đức - Núi Vú, tạo thành một nếp kiến tạo kéo dài theo phương á vĩ tuyến. Thành phần chủ yếu là các đá mafic.

Hiện chưa ghi nhận được các thành tạo magma trẻ xuyên cắt vào hệ tầng An Đầm trong phạm vi trũng Nông Sơn, chứng tỏ các hoạt động magma diễn ra yếu ớt hoặc ngừng nghỉ sau giai đoạn trầm tích Trias muộn ở khu vực này.

3.1.3. Đặc điểm kiến tạo

3.1.3.1. Đứt gãy

Trong các khu vực nghiên cứu, hiện tượng dập vỡ và đứt gãy phát triển khá mạnh và gồm nhiều loại khác nhau. Các hệ thống đứt gãy có nhiều loại, thường phát triển tạo thành các đới dày vài cm tới hàng mét, làm biến dạng và dịch chuyển đáng kể các đá ở hai cánh.

3.1.3.2. Uốn nếp

Phát triển khá mạnh mẽ trong trũng Nông Sơn và đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành cấu trúc dạng lòng chảo trong khu vực nghiên cứu. Các nếp uốn này bị các nếp uốn bậc cao phương đông bắc - tây nam làm phức tạp hóa và sự giao thoa của 2 hệ thống nếp uốn này tạo nên các cấu trúc vòm và bồn trũng thứ cấp trên phạm vi bồn trũng Nông Sơn. Bên cạnh đó các nếp uốn nhỏ hơn cũng có thể quan sát được cục bộ trong khu vực nghiên cứu, điển hình là nếp lồi Khe Cao.

3.2. Đặc điểm quặng hóa urani

Quặng urani tập trung trong đá cát kết đa khoáng kiểu arkos hoặc grauvac, dạng grauvac màu xám, xám tím loang lổ. Riêng ở khu vực An Đầm và mỏ than Nông Sơn, ngoài các tập sản phẩm như trên còn có tập sản phẩm (tập phân bố khoáng hóa urani) trong các vỉa than hoặc phiến sét than; các thân quặng thường tập trung dạng các ổ hoặc dạng thấu kính kéo dài.

3.2.1. Đặc điểm phân bố và hình thái – cấu trúc thân quặng

Các thân quặng thường tập trung dạng vỉa thấu kính, chuỗi thấu kính hoặc các ổ phân bố trong lớp đá nhất định. Hình thái cấu trúc thân quặng khá phức tạp và thay đổi khá mạnh theo đường phương và hướng dốc (chiều dày từ vài chục cm tới vài mét, trong đó hàm lượng urani biến đổi rất khác nhau), trong thân quặng chứa các thấu kính đá kẹp. Ranh giới thân quặng với đá vây quanh là rất không rõ ràng, chỉ được xác định theo tài liệu đo địa vật lý lỗ khoan và kết quả phân tích mẫu.

Ngoài ra, sự phân bố urani trong khu vực còn biểu hiện bởi một trường địa vật lý phóng xạ có dị thường cao, hoặc các vành phân tán kim lượng của một số nguyên tố V, Pb... được xem là có quan hệ mật thiết với sự tạo khoáng urani trong khu vực này.

3.2.2. Đặc điểm thành phần khoáng vật

Quặng urani tồn tại ở hai dạng là quặng urani nguyên sinh và thứ sinh. Quặng urani nguyên sinh: rắn chắc, có màu xám, xám đen; cấu tạo dạng kết hạch, phân tán, đôi khi có cấu tạo dạng xtilolit; Quặng urani thứ sinh: kém rắn chắc, đôi khi vỡ vụn, thường có màu nâu phớt vàng, đỏ vàng, phổ biến cấu tạo xtiloit trên tàn dư của cấu tạo phân tán hoặc kết hạch.

3.2.2.1. Thành phần khoáng vật

* *Nhóm khoáng vật urani*: Tồn tại chủ yếu 02 dạng: khoáng vật urani nguyên sinh và khoáng vật urani thứ sinh.

- Khoáng vật urani nguyên sinh: thường có màu đen, đen nâu. Các khoáng vật urani nguyên sinh tìm thấy ở đây thường có cộng sinh với chlorit và pyrit vi tinh. Điều này chứng tỏ cho sự hình thành của các khoáng vật urani xảy ra trong điều kiện môi trường khử.

- Khoáng vật urani thứ sinh: Các khoáng vật urani thứ sinh là các sản phẩm biến đổi của các khoáng vật urani nguyên sinh, chúng được hình thành trong điều kiện phong hoá, oxy hoá, khi mà các thân quặng urani được lộ ra hay rơi vào môi trường oxy hoá. Các khoáng vật urani thứ sinh thường có các màu vàng, vàng chanh, vàng lục dễ nhận biết bằng mắt thường.

* *Khoáng vật đi cùng*: là các khoáng vật tại sinh trong đới quặng hóa urani phong hóa và chưa bị phong hóa, mà sự thành tạo của chúng liên quan chặt chẽ với quá trình tạo đới không chế quặng. Gồm các khoáng vật nhóm sulfua như: pyrit, marcazit, galenit, hiếm gặp calcopyrit và sfalerit, ít carbonat;

các khoáng vật nhóm sulfat như: thạch cao và barit và nhóm oxyt như: gotit, hydrogotit, hiếm hơn là hematit và hydroxyt mangan.

3.2.3. Thành phần hóa học

- *Khu vực Pà Lừa - Pà Rông*: Kết quả xử lý thống kê hàm lượng U_3O_8 của 14.563 mẫu hóa đơn trong các công trình thăm dò cho thấy, hàm lượng U_3O_8 cao nhất là 5,689%, thấp nhất là 0,001%, trung bình là 0,033% U_3O_8 ; với hệ số biến thiên hàm lượng là 290% thuộc loại rất đặc biệt không đồng đều. Trong các thân quặng, hàm lượng U_3O_8 dưới sâu thường duy trì tốt hơn các thân quặng ở đới phong hóa.

Kết quả phân tích 160 mẫu hóa nhóm với 11 chỉ tiêu/mẫu trong các thân quặng urani cho thấy : hàm lượng V_2O_5 khá cao, hàm lượng As, Pb và P giao động trong khoảng rộng, hàm lượng S tương đối ổn định trong các thân quặng. Urani có quan hệ khá chặt chẽ với V và Pb, tồn tại tập hợp các nguyên tố U - V - Pb

- *Khu vực Khe Hoa - Khe Cao*: Hàm lượng urani trong các thân quặng urani trung bình từ 0,023% đến 0,06% và phân bố thuộc loại không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều ($V_c = 90,0\%$ đến 176%)

- *Khu vực Đông Nam Bến Giằng*: Các lớp đá chứa quặng đều có hàm lượng U_3O_8 cao hơn hàm lượng biên ($C_b \geq 0,01\%$); trong đó đặc biệt chú ý lớp đá chứa quặng số 1, đi cùng với urani còn có V, Pb, Cu và Mo nhưng hàm lượng thấp, không có ý nghĩa.

- *Khu Cà Liêng – Sườn Giữa*: Kết quả nghiên cứu trên cho thấy, hàm lượng U_3O_8 trong mẫu cát kết cao hơn trong sét than. Hàm lượng Fe^{2+} , CO_2 trong sét than cao hơn trong cát kết.

3.3. Vai trò của các yếu tố đối với tạo quặng urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn

3.3.1. Yếu tố cấu trúc - kiến tạo

Theo nhiều nhà nghiên cứu trước bồn trũng Nông Sơn thuộc kiểu bồn trũng nội lục lưu thông với biển được thành tạo khi vỏ lục địa đã cố kết bị căng giãn vào đầu Trias muộn. Môi trường kiến tạo trong bồn trũng về cơ bản tương đối ổn định nên các lớp đá không bị biến chất, không bị phá hủy và cấm thoát về phía trung tâm bồn trũng, vì vậy đây là môi trường thuận lợi cho quá trình di chuyển liên tục của nước vỉa giàu oxy từ rìa bồn trũng về phía trung tâm theo hướng dốc. Điều này được minh chứng bởi các thân quặng kiểu vỉa thấu kính “dạng giả tầng”, chuỗi thấu kính có thể nằm thoải và khá ổn định qua tài liệu.

Sau quá trình tạo quặng, hoạt động kiến tạo diễn ra tương đối mạnh mẽ vào các thời gian địa chất khác nhau, đây là nguyên nhân tạo ra các nếp uốn bậc cao và nhiều hệ thống đứt gãy có quy mô khác nhau. Đi kèm các hệ thống đứt gãy là các đới dập vỡ, đới nứt nẻ và phá hủy cục bộ các thành tạo địa chất và quặng hóa urani có trước, đồng thời có thể làm thay đổi ít nhiều môi trường địa hóa khu vực.

3.3.2. Yếu tố thủy văn

Trong đới khí hậu nhiệt đới ẩm, bồn trũng Nông Sơn và các khối địa chất thủy văn bao quanh luôn tồn tại mực nước ngầm dâng cao, nên chiều dày của đới thoáng khí không lớn là điều kiện rất thuận lợi cho oxy xâm nhập vào tầng nước ngầm. Đây là một trong những yếu tố quan trọng góp phần tạo ra đới oxy hóa vừa và đới khử trong tập cát kết arco, dạng arco, grauvac, dạng grauvac xen bột kết và sạn kết. Chính đới khử là nơi diễn ra quá trình tạo quặng urani công nghiệp trong bồn trũng Nông Sơn với các khoáng vật đặc trưng là khoáng vật màu đen như nasturan, coфинit cộng sinh với pyrit, marcazit, calcopyrit, sphalerit, galenit...

3.3.3. Yếu tố khí hậu

Khu vực nghiên cứu thuộc miền đới khí hậu nhiệt đới ẩm, có lượng mưa lớn, thảm thực vật phong phú và đa dạng, lớp thổ nhưỡng dày và chứa nhiều vật chất hữu cơ nên các dạng hòa tan của vật chất hữu cơ (axit humic và CO₂) dễ dàng xâm nhập vào tầng chứa nước cùng với nước vỉa. Các tổ hợp này có mặt trong nước dưới đất là yếu tố quan trọng để thành tạo tính phân đới biểu sinh trong tập cát kết, cát kết arco, cát kết grauvac có độ thấm thấu cao thuộc hệ tầng An Điem; đây cũng là yếu tố quyết định sự dâng cao của đới oxy hóa - khử.

3.3.4. Yếu tố thạch học

Yếu tố thạch học và tính chất của đá trầm tích là một trong những yếu tố đóng vai trò quan trọng trong quá trình hình thành mỏ urani thâm đong. Trong bồn trũng Nông Sơn, các lớp cát kết arco, dạng arco, grauvac, dạng grauvac hệ tầng An Điem có nhiều đặc điểm tương đồng với cát kết chứa quặng urani trên thế giới như: thành tạo trong môi trường bồn trũng nội lục lưu thông với biển; đá có tuổi Triast muộn và chưa bị biến chất; màu xám và tính thấm nước cao; giàu vật chất hữu cơ bitum; chứa sulphyr sắt và các chất khử khác. Ngoài ra, các lớp cát kết này còn được chắn bởi các lớp cách nước hoặc tính thấm nước rất yếu.

3.3.5. Yêu tố địa hóa

Theo các kết quả nghiên cứu trước đây và kết quả nghiên cứu bổ sung của nghiên cứu sinh cho thấy đới tích tụ urani nguyên sinh trong cát kết có các khoáng vật quặng là coferit, nasturan, ít hơn là nasturan ngậm nước và các khoáng vật sulphyr đi cùng; trong đó phổ biến là pyrit. Pyrit là khoáng vật phổ biến, cộng sinh chặt chẽ với nasturan, coferit. Đôi chỗ các tập hợp pyrit dạng trứng cá được bao bọc bởi nasturan. Điều đó có thể thấy, trước thời kỳ tạo quặng, pyrit đã tồn tại trong các lớp cát kết và tập trung dưới dạng ổ hoặc kiểu “thấu kính” có kích thước khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy kiểu địa hóa trong trứng Nông Sơn cơ bản phù hợp với kiểu địa hóa pyrit.

3.4. Khái quát cơ chế tạo quặng urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn

3.4.1. Nguồn cung cấp urani

Bồn trũng Nông Sơn được hình thành trong giai đoạn Trias muộn và phát triển kế thừa trong Jura, Neogen và Đệ tứ. Móng và các các khối nâng bao quanh bồn trũng Nông Sơn được cấu thành bởi các đá biến chất thuộc phức hệ Khâm Đức - Núi Vú, hệ tầng A Vương; các đá trầm tích xen phun trào trung tính - axit hệ tầng Sông Bung; các đá magma xâm nhập axit đến trung tính thuộc các phức hệ Đại Lộc và Bến Giằng - Quế Sơn. Các thành tạo địa chất này là miền xâm thực và nguồn cung cấp vật liệu trầm tích và urani cho bồn trũng Nông Sơn; trong đó quan trọng hơn cả là đá biến chất thuộc phức hệ Khâm Đức - Núi Vú, các đá magma xâm nhập của phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn và phức hệ Đại Lộc.

3.4.2. Cơ chế tạo quặng

3.4.2.1. Kiểu địa hóa thuận lợi cho tạo quặng

Theo các kết quả nghiên cứu trước đây và kết quả nghiên cứu bổ sung của nghiên cứu sinh cho thấy kiểu địa hóa trong bồn trũng Nông Sơn cơ bản phù hợp với kiểu địa hóa pyrit. Kiểu địa hóa này là điều kiện tiên quyết để thành tạo mỏ thâm động theo phương thức oxy hóa – khử có các thân quặng dạng thấu kính xếp chồng lên nhau và cách nhau một khoảng cách nhất định.

3.4.2.2. Cơ chế tạo quặng

Trong thời kỳ thành tạo hệ tầng An Điền, vật liệu trầm tích chủ yếu là các sản phẩm phá hủy từ các đá biến chất phức hệ Khâm Đức - Núi Vú, hệ tầng A Vương và đá granit phức hệ Đại Lộc, phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn, hệ tầng Sông Bung. Trong các vật liệu trầm tích thường ít nhiều có các mảnh vụn

chứa khoáng vật urani và khoáng vật chứa urani. Sau giai đoạn thành đá, trong điều kiện khí hậu ẩm nhiệt đới, các sản phẩm phong hóa từ miền xâm thực tiếp tục dịch chuyển về phía sườn cao của bồn trũng, đồng thời mực nước ngầm trong bồn trũng và các khối địa chất thủy văn bao quanh được dâng cao là điều kiện thuận lợi cho oxy tự do xâm nhập vào nước ngầm với nồng độ cao. Trong điều kiện này, nước ngầm chứa urani trong miền xâm thực thoát ra theo các khe nứt và nước trong lớp phủ bờ rời xâm nhập vào đầu lộ vĩa của các lớp cát kết có góc dốc thoải, sau đó di chuyển xuống theo hướng dốc của những lớp cát kết có độ thấm thấu cao thuộc hệ tầng An Điem.

Trong quá trình nước vĩa giàu oxy di chuyển theo hướng dốc của các lớp cát kết, các phản ứng oxy hóa diễn ra liên tục dẫn đến lượng oxy bị tiêu hao hết, khi đó xuất hiện mặt phân cách ranh giới oxy hóa và khử (oxy hóa - khử). Khi chuyển sang môi trường khử, các vi vật chất hữu cơ khử sulphat có trong nước và Eh của nước giảm mạnh và kèm theo chuyển urani về dạng hóa trị +4 không thể hòa tan, khi đó diễn ra tích tụ hoàn toàn urani để tạo ra các thân quặng có hàm lượng urani tăng cao đạt chỉ tiêu công nghiệp.

Sau quá trình tạo quặng, do hoạt động của các pha kiến tạo, nên các tập đá và thân quặng bị phá hủy là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng oxy hóa, di chuyển và tái lắng đọng cục bộ urani trong các khe nứt và lỗ hổng có điều kiện thuận lợi. Điều này cho phép lý giải tại sao tuổi tuyệt đối của quặng urani lại dao động từ 144 triệu năm (Triats muộn - Jura sớm); 128 - 86 triệu năm (Jura muộn - Kreta sớm), 73 - 51 triệu năm (Kreta muộn - Paleogen), 44 - 14 triệu năm (Neogen - Đệ tứ) (Nguyễn Trường Giang, 2018).

CHƯƠNG 4: LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP THĂM DÒ VÀ ĐÁNH GIÁ TÀI NGUYÊN URANI TRONG CÁT KẾT BỒN TRŨNG NÔNG SƠN

4.1. Đặc điểm biến đổi của các thông số địa chất thân quặng urani

Trên cơ sở tài liệu thu thập từ các công trình điều tra, đánh giá và thăm dò quặng urani đã thực hiện, NSC tiến hành tổng hợp, sử dụng phối hợp một số phương pháp toán địa chất, kết hợp phân tích hàm variogam và tin ứng dụng để đánh giá đặc điểm biến hóa của các thông số địa chất thân quặng (chiều dày, hàm lượng U_3O_8 ...) và ảnh hưởng của chúng đến phương pháp thăm dò và tính trữ lượng urani trong cát kết trũng Nông Sơn; trọng tâm là khu vực Pà Lừa - Pà Ròng, Khe Hoa - Khe Cao, Đông Nam Bến Giằng.

4.1.1. Quy luật và cấu trúc sự biến hóa quặng hóa urani

Kết quả nghiên cứu mô hình hóa thân quặng theo hệ thống mặt cắt địa chất tuyến thăm dò và thành lập các bản đồ đồng đẳng (đẳng trụ, đồng chiều dày và đồng hàm lượng) của thân quặng 1, lô A - khu vực Pà Lừa - Pà rồng do Lê Quyết Tâm và Nguyễn Tiến Phú thực hiện năm 2021 cho phép rút ra một số nhận xét sau:

- Các thân quặng có xu hướng chung cắm về đông bắc ($45 - 55^0$) với góc dốc $5 - 15^0$, cá biệt đến 20^0 , có vị trí gần như nằm ngang, về tổng thể các thân quặng có dạng vĩa (tabulata), trên đó phát triển một số nếp uốn bậc cao.

- 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 khu vực Pà Lừa - Pà Rồng 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).

- 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). 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.

- 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, chiều dài theo đường phương từ 35m đến 250m, trung bình từ 60 - 110m; theo hướng dốc thay đổi từ 25 - 35 m đến 120 - 130m, trung bình từ 50 - 100m. Khoảng cách gián đoạn giữa các thấu kính urani công nghiệp thay đổi từ 20m đến 100m.

4.1.2. Đặc điểm biến hóa về chiều dày và hàm lượng trong các thân quặng

Mức độ biến đổi chiều dày và hàm lượng U_3O_8 là những thông số cơ bản quyết định đến lựa chọn phương pháp thăm dò và tính trữ lượng khoáng sản nói chung, urani nói riêng. Để mô hình hoá và đánh giá mức độ biến đổi thông số chiều dày thân quặng, NCS sử dụng mô hình toán thống kê một chiều

4.1.2.1. Chiều dày thân quặng

- Chiều dày các thân quặng urani (thân quặng công nghiệp và thân quặng địa chất) thay đổi trong phạm vi khá lớn 0,5 - 19,1m, trung bình từ 1,15 - 3,27m, tập trung chủ yếu từ 1,0 - 2,7m (chiếm 50 - 70%), thuộc nhóm

thân quặng có chiều dày mỏng đến trung bình, cá biệt có thấu kính thuộc nhóm dày đến rất dày.

- Đặc trưng phân bố thống kê chiều dày các thân quặng công nghiệp có thể quy nạp về hàm phân bố loga chuẩn. Mức độ biến đổi chiều dày thuộc loại không ổn định đến rất không ổn định (V_m từ 43,0 % đến 100,3%); trong đó, chiều dày các thân quặng công nghiệp (Pà Lừa - Pà Rồng) biến đổi phức tạp hơn chiều dày thân quặng địa chất (các khu vực còn lại).

4.1.2.2. Hàm lượng U_3O_8

Kết quả xử lý thống kê hàm lượng U_3O_8 trong các thân quặng (công nghiệp và địa chất) các khu vực nghiên cứu cho thấy:

- Trong khu vực Pà Lừa - Pà Rồng, Khe Hoa - Khe Cao và Đông Nam Bến Giằng hàm lượng quặng urani trong các lớp đá chứa quặng thay đổi từ 0,001% đến 5,689% U_3O_8 ; trung bình 0,025% đến 0,083%; phân bố thống kê dạng loga chuẩn. Hàm lượng U_3O_8 phân bố trong các loại đá đều thuộc nhóm đặc biệt không ổn định.

- Trong cát kết hạt thô, hàm lượng U_3O_8 cao hơn cát kết hạt trung, hạt nhỏ và mức độ phân bố cũng biến đổi phức tạp hơn; đồng thời kết quả nghiên cứu cũng chỉ rõ trong cát kết hạt thô có điều kiện thuận lợi hơn cát kết hạt trung, hạt nhỏ trong quá trình tạo quặng urani do có độ lỗ hổng lớn và chứa nhiều vật chất hữu cơ.

- Trong các thân quặng công nghiệp, hàm lượng quặng urani thay đổi từ 0,01% đến 5,689% U_3O_8 ; trung bình là 0,041%; Hàm lượng U_3O_8 trong thân quặng công nghiệp có thể quy nạp về dạng hàm phân bố thống kê loga chuẩn; phân bố không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều. Mức độ biến đổi hàm lượng trong các thân quặng phức tạp hơn chiều dày, nhưng ổn định hơn trong các lớp chứa quặng.

- Sự biến đổi chiều dày và hàm lượng urani thể hiện khá tương đồng và giữa chúng có mối quan hệ thuận khá chặt chẽ với nhau. Kết quả phân tích bình đồ đồng chiều dày và đồng hàm lượng cho 03 thân quặng (TQ.1, TQ.2, TQ.3a) khu vực Pà Lừa - Pà Rồng đã chỉ rõ phạm vi thân quặng dày, thường có hàm lượng lớn hơn và ngược lại.

4.1.3. Đặc tính dị hướng của khoáng sản urani

Hiện có nhiều phương pháp toán địa chất khác nhau được các nhà địa chất thăm dò sử dụng để đánh giá về đặc tính hay tính dị hướng của khoáng

sản, đây là đặc tính quan trọng trong việc xác định mạng lưới thăm dò khoáng sản. Đối với urani trong cát kết trũng Nông Sơn, đã có một số công trình sử dụng phương pháp phân tích hàm variogram (hàm cấu trúc) để nghiên cứu thử nghiệm cho một số thân quặng thuộc lô A khu Pà Lừa - Pà Rồng. Kết quả nghiên cứu cho thấy: Đối với thân quặng 1 lô A, hàm lượng biến đổi lớn nhất trùng hướng dốc thân quặng (50^0), với kích thước đới ảnh hưởng là 30m; hướng biến đổi nhỏ nhất trùng với phương kéo dài của thân quặng.

Kế thừa kết quả nghiên cứu của các công trình, NCS tiến hành mô hình hóa theo 2 hướng cơ bản (theo hướng dốc và đơng phương của các thân quặng), với góc xoay xung quanh mỗi hướng là $\pm 22,5^0$ cho chiều dày và hàm lượng (U_3O_8) của các thân quặng TQ1, TQ2 và TQ2b lô G2 thuộc khu vực Pà Lừa - Pà Rồng, thân quặng 4 khu Khe Cao thuộc khu vực Khe Hoa - Khe Cao và thân quặng 1 khu vực Đông Nam Bến Giằng để nghiên cứu.

Kết quả tổng hợp xác định kích thước ảnh hưởng H và hệ số dị hướng A các thân quặng đặc trưng TQ1, TQ2 và TQ2b lô G2 khu vực Pà Lừa - Pà Rồng, thân quặng 4 khu Khe Cao thuộc khu vực Khe Hoa - Khe Cao và thân quặng 1 khu vực Đông Nam Bến Giằng được thể hiện tại bảng sau:

Khu vực	Thân quặng	Kích thước đới ảnh hưởng H(m) theo chiều dày		Chỉ số dị hướng A theo chiều dày	Kích thước đới ảnh hưởng H(%) theo hàm lượng U_3O_8		Chỉ số dị hướng A theo hàm lượng U_3O_8
		Đường phương	Hướng dốc		Đường phương	Hướng dốc	
Khu Pà Lừa - Pà Rồng	TQ1 - Lô A (theo kết quả đã thăm dò)				125	30	4,16
	TQ 1 - Lô G2	79,1	46,9	1,68	85,0	47,0	1,81
	TQ 2 - Lô G2	83,0	43,8	1,89	83,0	44,6	1,86
	TQ2b - Lô G2	80,0	44,1	1,81	86,0	44,6	1,93
Khu Khe Cao	TQ4	91,3	46	1,98	90,0	45,0	2,0
Khu Đông Nam Bến Giằng	TQ1	88,0	45,8	1,92	78,0	45,0	1,7

Từ bảng trên cho thấy:

- Các thông số chiều dày, hàm lượng trong các thân quặng công nghiệp trong khu vực nghiên cứu thể hiện rõ đặc tính dị hướng; hàm lượng U_3O_8 trong các thân quặng biến đổi phức tạp hơn chiều dày chiều dày.

- Để lựa chọn mạng lưới thăm dò, tốt nhất áp dụng mạng lưới dạng tuyến, với phương vị tuyến trùng phương vị hướng dốc của thân quặng và khoảng cách tuyến gấp 2 đến 4 lần khoảng cách công trình trên tuyến.

4.2. Lựa chọn phương pháp thăm dò

Trong thăm dò khoáng sản rắn, để lựa chọn phương pháp thăm dò chủ yếu tập trung giải quyết 4 nội dung chính gồm: Xác lập nhóm mỏ thăm dò, công trình và hệ thống công trình thăm dò, mạng lưới công trình thăm dò và phương pháp tính trữ lượng.

4.2.1. Nhóm mỏ thăm dò

Kết quả đo vẽ bản đồ địa chất - khoáng sản khu vực, tìm kiếm, thăm dò, cũng như các công trình nghiên cứu khác và kết quả nghiên cứu của NCS, urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn có nguồn gốc thẩm động 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. Trên cơ sở trình bày trên, đối chiếu với các tiêu chuẩn phân chia nhóm mỏ thăm dò theo Thông tư số 60/2017/TT-BTNMT ngày 08/12/2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường, kết hợp với tham khảo phân chia nhóm mỏ thăm dò urani của các nhà khoa học Liên Xô trước đây (Kajdan A. B, 1982) cho thấy, hầu hết các khu vực nghiên cứu (các mỏ urani trong cát kết trũng Nông Sơn) xếp vào nhóm mỏ thăm dò nhóm III và phải thăm dò đạt trữ lượng cấp 122.

4.2.2. Công trình và hệ thống công trình thăm dò

Urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn có nguồn gốc thẩm động nên có nhiều điểm khác biệt so với các loại hình khoáng sản khác. NCS xác lập các tiêu chuẩn lựa chọn công trình và hệ thống công trình thăm dò gồm: Hình dạng và kích thước thân quặng, mối quan hệ của thân quặng với yếu tố cấu trúc địa chất, điều kiện thế nằm và mối quan hệ của thân quặng với bề mặt địa hình và tính năng phóng xạ. Căn cứ vào 4 tiêu chuẩn này, kết hợp với thực tế thăm dò urani khu Pà Lừa - Pà Rồng, NCS lựa chọn các công trình và hệ thống công trình thăm dò gồm: Công trình khai đào trên mặt (hào, giếng thăm dò) kết hợp công trình khoan công trình khoan thẳng đứng lấy mẫu lõi liên tục và phương pháp địa vật lý. Tuy nhiên, trong trường hợp cần thiết nghiên cứu chi tiết quặng hóa dưới sâu và lấy mẫu công nghệ có thể sử dụng công trình lò xuyên vỉa.

4.2.3. Mạng lưới công trình thăm dò

Căn cứ vào kết quả tìm kiếm và thăm dò urani, NCS 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 thân quặng và hàm lượng U_3O_8 , tính dị hướng của quặng hóa. 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 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 30m.

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 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 vát nhọn đột ngột, hoặc trong phạm vi thân quặng có hình thái - cấu trúc phức tạp, phạm vi gấn đứt gãy.

4.3. Lựa chọn phương pháp đánh giá tài nguyên

4.3.1. Tài nguyên xác định

Đối với urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn, căn cứ vào tài liệu tìm kiếm và thăm dò mỏ Pà Lừa - Pà Rồng, NCS xác lập các tiêu chuẩn chính có ảnh hưởng quyết định đến lựa chọn phương pháp tính trữ lượng gồm: hình dạng và kích thước thân quặng, điều kiện thể nằm thân quặng, chiều dày thân quặng, mạng lưới công trình thăm dò. Căn cứ vào 4 tiêu chuẩn này, kết hợp với kết quả thăm dò khu Pà Lừa - Pà Rồng, áp dụng phương pháp khối địa chất để tính trữ lượng urani là hợp lý và phù hợp với kiểu mỏ urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn. Ngoài ra, trong từng trường hợp cụ thể có thể áp dụng phương pháp Kreiging với sự trợ giúp của các phần mềm chuyên dụng để kiểm chứng kết quả tính trữ lượng bằng phương pháp khối địa chất.

Trong báo cáo thăm dò năm 2021, các nhà địa chất thuộc Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm đã áp dụng phương pháp nội suy kreiging trong bộ phần mềm SURPAC để tính trữ lượng urani trong khu vực Pà Lừa - Pà Rông, kết quả tính trữ lượng quặng urani bằng phương pháp khối địa chất truyền thống và kết quả tính trữ lượng quặng urani bằng phương pháp Kreiging thông dụng trong bộ phần mềm SURPAC chênh lệch 2,7%. Kết quả này cho phép khẳng định các phương pháp được lựa chọn để tính trữ lượng urani là phù hợp với đặc điểm biến hóa của quặng hóa và hệ thống thăm dò đã tiến hành trên khu vực Pà Lừa - Pà Rông và có thể áp dụng cho các khu vực khác trong trũng Nông Sơn có đặc điểm quặng hóa urani tương tự khu vực nghiên cứu.

4.3.2. Tài nguyên chưa xác định

Đánh giá tài nguyên khoáng sản chưa xác nhận là nhiệm vụ hết sức quan trọng và cần thiết khi thiết lập các kế hoạch phát triển tiếp theo và cung cấp cho nhà quản lý về công tác điều tra địa chất những luận cứ khoa học trong xây dựng kế hoạch điều tra địa chất và tìm kiếm thăm dò urani trong thời gian tới. Tổng kết thực tiễn trong quá trình nghiên cứu về quặng hóa urani từ 1990 đến nay, NCS cho rằng trong điều kiện hiện tại để dự báo tài nguyên urani trong cát kết trũng Nông Sơn có thể áp dụng các phương pháp sau:

- Nhóm phương pháp tính thẳng theo thông số quặng hóa;
- Nhóm phương pháp sinh khoáng khu vực (phương pháp tương tự địa chất).

Các phương pháp này, các nhà địa chất thuộc Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm trong công tác điều tra, đánh giá cũng đã sử dụng phương pháp tính thẳng theo thông số quặng hóa và phương pháp tương tự địa chất để đối sánh, tính tài nguyên urani chưa xác nhận trong cát kết trũng Nông Sơn.

4.3.3. Yêu cầu đối với công tác thăm dò

Để xác định chương trình thăm dò phù hợp với kiểu mỏ urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn cần căn cứ vào mức độ phức tạp của cấu trúc địa chất mỏ, đặc điểm hình thái, kích thước, thể nằm thân quặng và quy mô trữ lượng. Trong quá trình thăm dò, để nhận được tài liệu tin cậy và nâng cao hiệu quả kinh tế cần tiến hành tuần tự theo các bước: Thăm dò với khối lượng cần thiết theo mạng lưới cấp 333 làm cơ sở lập báo cáo tiền khả thi; sau đó tiến hành thăm dò theo mạng lưới thiết kế sau khi có kết luận về giá trị công nghiệp của khu thăm dò và việc đầu tư là hợp lý và có hiệu quả kinh tế.

Để đạt được mục tiêu trên, công tác thăm dò cần thực hiện các yêu cầu về: công tác trắc địa; đo vẽ bản đồ địa chất mỏ; thi công công trình thăm dò; công tác lấy, gia công và phân tích mẫu; nghiên cứu ĐCTV - ĐCCT, công tác tính trữ lượng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. Kết luận

1. Bồn trữing Nông Sơn có hình ô van bán liên thông với biển. Kết quả nghiên cứu thạch học, tướng đá-cổ địa lý cho thấy khu vực bồn trữing Nông Sơn tồn tại 2 chu kỳ trầm tích của 2 hệ tầng An Điem (T_{3n}ad) và Sườn Giữa (T_{3n}rsg). Các lớp đá chứa quặng urani trong cát kết Triat muộn trữing Nông Sơn có 2 dạng phụ thuộc vào 2 phức hệ tướng đá: i) Lớp đá chứa quặng dạng via thấu kính phân bố dạng hình cánh cung thuộc phức hệ tướng cát hạt thô, hạt nhỏ nón quạt ngầm ven bờ; ii) Lớp đá chứa quặng dạng via thấu kính định hướng song song thuộc tướng cát hạt trung, hạt nhỏ biển nông vũng vịnh.

2. Thành phần trầm tích lấp đầy bồn trữing Nông Sơn là sản phẩm phá hủy từ các đá mang urani, chủ yếu là các đá biến chất của phức hệ Khâm Đức - Núi Vú, các đá granit phức hệ Bến Giằng - Quế Sơn, phức hệ Đại Lộc. Kết quả tổng hợp, phân tích và xử lý các tài liệu có trước cho phép làm sáng tỏ đặc điểm quặng hóa urani, các yếu tố khống chế liên quan đến quặng hóa. Xác định đặc điểm địa hoá liên quan đến quá trình tập trung và hình thành các thân quặng urani bồn trữing Nông Sơn.

3. Các thân quặng urani thường tập trung dạng lớp (via), via thấu kính, chuỗi thấu kính định hướng song song hoặc hình cánh cung và được liên kết với nhau trong một lớp đá nhất định. Trong đó, các thân quặng dạng via thấu kính định hướng song song tập trung chủ yếu trong tướng cát hạt trung, hạt nhỏ biển nông vũng vịnh; các thân quặng dạng via thấu kính hình cánh cung phân bố dọc theo theo đường bờ cổ thuộc phức hệ tướng cát hạt thô, hạt nhỏ nón quạt ngầm ven bờ. 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. Hàm lượng U₃O₈ trong thân quặng công nghiệp phân bố thuộc loại không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều. Mức độ biến đổi hàm lượng trong các thân quặng phức tạp hơn chiều dày, nhưng ổn định hơn trong các lớp chứa quặng. Đây là yếu tố gây khó khăn trong công tác thăm dò và ảnh hưởng không nhỏ đến độ tin cậy của công tác tính trữ lượng, tài nguyên urani trong cát kết trữing Nông Sơn.

4. Dựa vào mức độ phức tạp về cấu trúc địa chất khu vực mỏ và đặc điểm biến hóa của các thông số địa chất công nghiệp, các khu vực mỏ urani trong cát kết trũng Nông Sơn chủ yếu thuộc nhóm mỏ thăm dò III. Với nhóm mỏ III, yêu cầu thăm dò phục vụ lập dự án đầu tư khai thác mỏ phải đạt được trữ lượng cấp 122. Hệ thống mạng lưới thăm dò hợp lý nhất là sử dụng mạng lưới dạng tuyến song song, trong một số khối cụ thể có thể sử dụng mạng lưới hình chữ nhật, hoặc dạng rẽ quạt, với khoảng cách tuyến bố trí không quá 50 - 60m, công trình trên tuyến không quá 25 - 30m đối với các khối tính trữ lượng cấp 122. 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 vát nhọn đột ngột, hoặc trong phạm vi thân quặng có hình thái - cấu trúc phức tạp.

5. Từ kết quả nghiên cứu và tổng kết tài liệu thực tế thi công trong quá trình thăm dò ở khu vực Pà Lừa - Pà Rồng, để tính trữ lượng urani trong cát kết trũng Nông Sơn hợp lý nhất là sử dụng phương pháp khối địa chất, kết hợp phương pháp Kreiging thông dụng để kiểm chứng. Đây là các phương pháp phù hợp với đặc điểm hình thái - cấu trúc thân quặng và hệ thống thăm dò đã đề xuất trong luận án.

II. Kiến nghị

1. Cần nghiên cứu chi tiết và sâu hơn về quá trình tạo quặng làm cơ sở luận giải đầy đủ các kiểu hình dạng thân quặng; bởi lẽ, đối với kiểu mỏ cát kết chứa urani không chỉ tồn tại thân quặng dạng thấu kính, mà còn có cả thân quặng dạng Rol (cuốn). Kiểu thân quặng này có hình dạng uốn lượn phức tạp trên cả mặt cắt và bình đồ nên ảnh hưởng không nhỏ đến hiệu quả của công tác thăm dò và tính trữ lượng.

2. Trong thời gian tới cần đẩy mạnh việc ứng dụng công nghệ thông tin và trí tuệ nhân tạo với sự giúp đỡ của các phần mềm chuyên dụng để nâng cao chất lượng công tác tính trữ lượng, tài nguyên khoáng sản; đặc biệt đối với khoáng sản urani, đất hiếm và kim loại quý, hiếm, đáp ứng yêu cầu đổi mới, sáng tạo, phục vụ phát triển kinh tế - xã hội trong giai đoạn mới.

Hà Nội, ngày tháng năm 2024

Nghiên cứu sinh

Trần Lê Châu

CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Nguyễn Văn Lâm, Nguyễn Phương, Trần Lê Châu, Nguyễn Trường Giang, Lê Quyết Tâm (2018), “*Một số vấn đề về tạo khoáng urani trong cát kết bồn trũng Nông Sơn*”, Tạp chí Công nghiệp mỏ, số 5 - 2018, tr.30 - 35.
2. Nguyễn Phương, Trịnh Đình Huân, Nguyễn Trường Giang, Trần Lê Châu, (2022), “*Đánh giá độ tin cậy của công tác thăm dò và tính trữ lượng urani mỏ Bình Đường, Cao Bằng*”, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, tập 63, kỳ 2 (2022), tr. 31 - 41.
3. Trần Lê Châu, Nguyễn Phương, Nguyễn Trường Giang, Trịnh Đình Huân và nkk (2023), “*Đặc điểm biến hóa của các thông số địa chất công nghiệp và ý nghĩa của chúng trong thăm dò quặng urani khu vực Pà Lừa – Pà Ròng*”, T. L. Chau et al./VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4952>
4. Nguyễn Phương, Trịnh Đình Huân, Nguyễn Trường Giang, Trần Lê Châu và nkk (2024), “*Xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò quặng urani trong cát kết khu vực Pà Lừa - Pà Ròng, trũng Nông Sơn*”, N. Phuong et al./VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4969>.
5. Trần Lê Châu, Nguyễn Phương, Nguyễn Trường Giang và nkk (2024), “*Đặc điểm quặng hóa và mạng lưới thăm dò urani khu vực Khe Hoa - Khe Cao, tỉnh Quảng Nam*”, Tạp chí Công nghiệp mỏ, số 1 - 2024, tr.63 - 74.
6. Nguyễn Trường Giang, Nguyễn Đắc Sơn, Trần Lê Châu và nkk (2013), “*Mô hình kiểu tụ khoáng urani trong cát kết vùng trũng Nông Sơn*”, Tạp chí Địa chất, loạt A, số 335, 5 - 6/2013, tr.15 - 29.