Journal of Mining and Earth Sciences

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

Establishing the mining deposit groups and the gold exploration network patterns in the Attapeu area, Lao PDR

Houmphavanh Phatthana [1,*], Phuong Nguyen [2], Dung Tien Nguyen [2], Sang Viet Bui [3]

[1] *Polytechnic College, Vientiane, Lao PDR*
[2] *Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*
[3] *Intergeo Division, Hanoi, Vietnam*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 16th Oct. 2021
Revised 23rd Jan. 2022
Accepted 08th Feb. 2022

Keywords:
Attapeu,
Gold exploration network,
Group of mines,
Lao PDR.

ABSTRACT

This paper initially clarified the context of primary gold mineralization in the Attapeu area, Lao People's Democratic Republic. It proposed the priority for the exploration, using the conventional technique combined with the geological mathematic method. The research essentially summarized that the study area had a complex geological and structural setting; the mineralization zones or gold orebodies most likely formed as a lens shape and/or mineralized single vein or vein zone, extending from a few tens of meters to greater than 500 meters long, within a single dipping angle of $45^0 \div 80^0$; the geometric of orebodies likely illustrated as small to medium size. The mineralization zone significantly extended following the geological setting, indicating consistent to the strongly inconsistent group (Vm = 8.9÷116.8%). Medium- to high-grade gold ores are commonly found in each ore body and identified as a homogeneous to strongly inhomogeneous group (Vc = 58.3÷785%). Regarding the exploration criteria, exploring primary gold mineralization in the Attapeu area fits well with the mineral exploration group III. To estimate the ore reserve in category 112 significantly requires conducting the parallel exploration grid or rectangular grid with the exploration grid interval of 40÷60 meters within the space of the exploration grid line between 20 to 30 meters. The exploration guidelines proposed in this research are efficiently applicable for exploring other primary gold mineralization elsewhere with the geological settings and mineralogical characteristics identically to the primary gold mineralization in the Attapeu area.

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

*Corresponding author
E - mail: houmphavanhptc@gmail.com
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(1).01

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Xác định nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò quặng vàng gốc vùng Attapeu, CHDCND Lào

Houmphavanh Phatthana [1, *], Nguyễn Phương [2], Nguyễn Tiến Dũng [2], Bùi Viết Sáng [3]

[1] *Trường Cao đẳng Bách Khoa, Vientiane, CHDCND Lào*
[2] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam*
[3] *Liên đoàn Intergeo, Hà Nội, Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 16/10/2021
Sửa xong 23/01/2022
Chấp nhận đăng 08/02/2022

Từ khóa:
Attapeu,
Lào,
Mạng lưới thăm dò quặng vàng gốc,
Nhóm mỏ.

TÓM TẮT

Bài báo giới thiệu kết quả xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò vàng gốc vùng Attapeu, nước Cộng hòa Dân chủ Nhân dân Lào bằng tổ hợp phương pháp truyền thống, kết hợp phương pháp toán địa chất. Kết quả nghiên cứu rút ra một số kết luận sau: Vùng nghiên cứu có cấu trúc địa chất khá phức tạp. Các thân quặng dạng thấu kính, dạng mạch, hoặc đới mạch, kéo dài từ vài chục mét đến hơn 500 m, cắm đơn nghiêng với góc dốc 45^0 - 80^0, quy mô các thân quặng thuộc loại nhỏ đến trung bình. Chiều dày thân quặng phân bố thuộc loại ổn định đến rất không ổn định (Vm = 8,9÷116,8%). Hàm lượng Au trong các thân quặng thuộc loại trung bình đến giàu và phân bố không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều (V_C = 58,3÷785%). Xét theo phương diện gây khó khăn trong thăm dò, thì mỏ vàng gốc Attapeu được xếp vào nhóm mỏ thăm dò III. Để thăm dò đạt yêu cầu tính trữ lượng cấp 122, hợp lý nhất sử dụng mạng lưới tuyến song song hoặc dạng hình chữ nhật, với khoảng cách tuyến 40÷60 m, công trình trên tuyến 20÷30 m. Mạng lưới thăm dò đề xuất trong bài báo có thể sử dụng để thăm dò các mỏ vàng gốc có đặc điểm địa chất khoáng sản tương tự kiểu mỏ vàng gốc Attapeu.

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

1. Mở đầu

Vùng Attapeu thuộc miền nam nước Cộng hòa Dân chủ Nhân dân (CHDCND) Lào, có cấu trúc địa chất khá phức tạp, hoạt động magma, kiến tạo xảy ra mạnh mẽ là yếu tố quan trọng trong quá trình hình thành quặng hóa nội sinh; trong đó có vàng gốc vùng Attapeu. Theo các kết quả điều tra đánh giá và thăm dò địa chất trong thời gian gần đây (Đỗ và nnk., 2014; 2015; Bùi, 2020) đã xác định được 02 mỏ và một số điểm quặng (hoặc điểm khoáng hóa) vàng gốc trong vùng Attapeu. Các thân quặng chủ yếu được cấu thành bởi các mạch thạch anh - sulfur chứa vàng. Hiện tại, cơ sở về tài liệu, kinh nghiệm điều tra đánh giá, thăm dò quặng vàng gốc trong vùng nói riêng và ở nước CHDCND Lào nói

*Tác giả liên hệ
E - mail: houmphavanhptc@gmail.com
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(1).01

chung còn nhiều hạn chế, thiếu đồng bộ; điều đó cản trở không nhỏ trong việc sử dụng phương pháp đối sánh hoặc phương pháp tương tự (theo quy phạm) để xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò. Vì vậy, việc nghiên cứu xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò nhằm góp phần nâng cao hiệu quả và độ tin cậy của công tác thăm dò khoáng sản vàng gốc trong vùng là rất cần thiết. Thực tiễn thăm dò các mỏ khoáng sản trên thế giới và ở CHDCND Lào cho thấy, đặc điểm cấu trúc địa chất mỏ, hình dạng, kích thước, điều kiện thế nằm, cũng như đặc điểm biến hoá của các thông số địa chất công nghiệp thân quặng là những yếu tố cơ bản ảnh hưởng quyết định đến việc lựa chọn phương pháp và hiệu quả của công tác thăm dò. Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu ứng dụng các tiến bộ khoa học để xác lập nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò, nhằm góp phần nâng cao hiệu quả công tác thăm dò vàng gốc vùng Attapeu không chỉ có ý nghĩa khoa học, mà còn góp phần đáp ứng yêu cầu do thực tế đòi hỏi.

2. Khái quát về đặc điểm địa chất và khoáng sản vùng nghiên cứu

Vùng Attapeu có nguồn gốc từ Gondwana bồi kết trong Paleozoi - Mesozoi thuộc mảng thạch quyển Á - Âu tiếp giáp các mảng Ấn Độ - Australia ở phía tây nam, Thái Bình Dương ở phía đông qua các ranh giới hội tụ (Metcalfe, 2016). Các khu vực này bao gồm các địa khu liên hợp Việt - Trung, Đông Dương; trong đó, có các craton Tiền Cambri, các đai tạo núi và các cấu trúc chồng gối có tuổi khác nhau (Trần và nnk., 2020).

Tham gia vào cấu trúc địa chất vùng nghiên cứu có các thành tạo (Hình 1) (Intergeo, 2009) sau:

Giới Proterozoi - Paleozoi gồm: Hệ Cambri, thống trung - hệ Ordovic, thống hạ ($Є_2$-O_1), gồm các đá phiến sericit, đá phiến thạch anh - sericit, đá phiến thạch anh - muscovit. Các đá phiến sericit, đá phiến thạch anh - sericit, cát sạn kết, cát kết thuộc hệ Ordovic, thống thượng - Hệ Silur (O_3-S) phân bố ở phía tây nam khu vực Namxuan.

Giới Kainozoi, Hệ Đệ tứ (βQ), phân bố một phần ở phía đông khu vực Vangtat, thành phần gồm bazan oliovin, bazan porphyr, cấu tạo khối.

- Magma xâm nhập: Trong vùng nghiên cứu, magma xâm nhập phát triển mạnh, với thành phần khá đa dạng. Thành tạo xâm nhập granit tuổi Devon (γD) phân bố ở phía tây khu vực Vangtat, gồm các đá granodiorit, granit sáng màu, cấu tạo khối. Thành tạo xâm nhập granitoid tuổi Permi-Trias sớm (δ.γδ.γP-T_1), thành phần từ gabrodiorit, diorit, granodiorit đến granit phân bố ở phía đông bắc khu vực Namxuan, gồm 3 pha xâm nhập: i) Pha 1: granit biotit, granit hai mica; ii) Pha 2: diorit thạch anh, tonalit, granodiorit, granit horblend – biotit; iii) Pha 3: granit biotit có hornblend, granit biotit và granit; và pha đá mạch. Thành tạo xâm nhập siêu mafic tuổi Trias giữa (νT_2), phân bố diện nhỏ ở khu vực Vangtat, thành phần pyroxenit, plagiogranit bị biến đổi (tremolit hóa, sericit hóa, epidot hóa và carbonat hóa), cấu tạo khối.

Trong vùng, hoạt động kiến tạo xảy ra khá mạnh mẽ, kết quả đã tạo nên 03 phức nếp uốn chính: phức nếp lõm Tây Nam Lào; phức nếp lõm Kaleum; nếp lõm bản Nong Viat-bản Bang Ha Noy.

Các đứt gãy phát triển chủ yếu theo phương tây bắc - đông nam, á kinh tuyến và đông bắc - tây nam; trong đó, hệ thống đứt gãy tây bắc - đông nam phát triển mạnh mẽ nhất và có vai trò khống chế các thân quặng vàng gốc trong vùng.

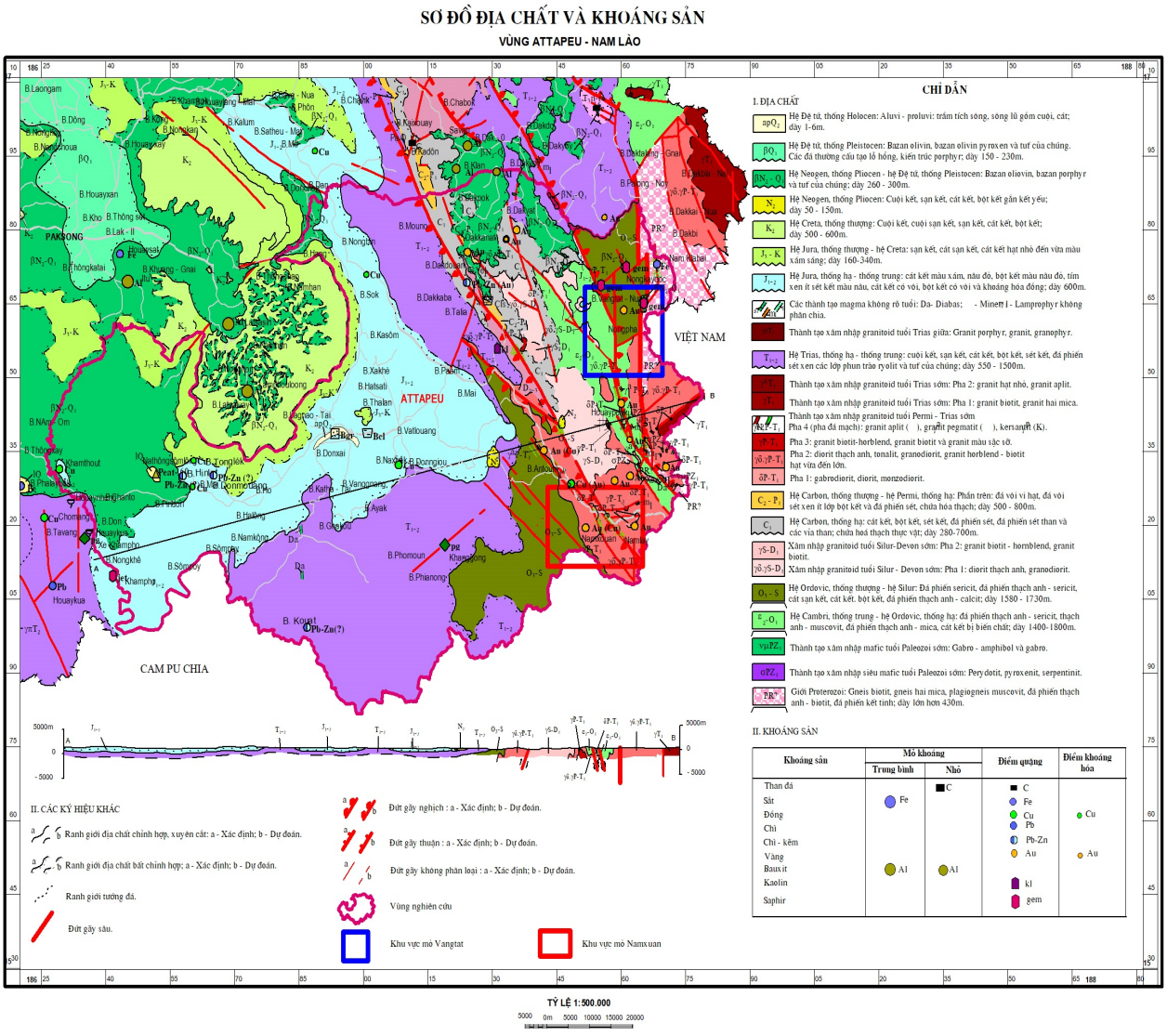
Trong vùng Attapeu, đã phát hiện và xác định được một số mỏ và các điểm khoáng sản kim loại và phi kim loại, phân bố chủ yếu ở phía đông; gồm vàng, đồng, sắt, chì kẽm, bauxit, molypden, than bùn, kaolin và đá quý (saphir). Trong đó, vàng gốc là khoáng sản có ý nghĩa hơn cả.

3. Phương pháp nghiên cứu

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

Đây là phương pháp dựa trên nguồn thông tin sơ cấp và thứ cấp thu thập được từ các tài liệu nghiên cứu trước, kết hợp khảo sát thực địa để xây dựng luận cứ khoa học và là cơ sở dữ liệu đầu vào cho các phương pháp nghiên cứu tiếp sau.

Trong bài báo, nhóm tác giả chủ yếu tập trung thu thập, tổng hợp tài liệu về địa chất thân quặng và các tham số chiều dày, hàm lượng Au cho một số thân quặng vàng gốc chính tại khu mỏ Namxuan (TQ.A.1, TQ.B.4, TQ.B.6) và Vangtat (TQ.1, TQ.2, TQ.3, TQ.4) để nghiên cứu xác định nhóm mỏ và mạng lưới thăm dò quặng vàng gốc vùng Attapeu. Đây là các thân quặng chiếm trữ lượng/tài nguyên chính tại 02 khu mỏ đã được thăm dò và tính trữ lượng cấp 122.



Hình 1. Sơ đồ địa chất và khoáng sản vùng Attapeu, CHDCND Lào (Intergeo, 2009).

3.2. Phương pháp tương tự hoặc phương pháp đối sánh

Áp dụng phương pháp tương tự địa chất hoặc phương pháp đối sánh với quy định là dựa trên cơ sở các mỏ cùng loại hình nguồn gốc và được thành tạo trong bối cảnh địa chất tương tự nhau. Đồng thời các thân quặng có hình thái cấu trúc, thành phần vật chất, mức độ biến đổi của các thông số địa chất công nghiệp (chiều dày, hàm lượng thành phần có ích) tương tự nhau.

3.3. Phương pháp toán địa chất

3.3.1. Phương pháp thống kê một chiều

Sử dụng phương pháp toán thống kê một chiều để mô tả quy luật phân bố thống kê của các thông số địa chất công nghiệp thân quặng, là các thông số cơ bản để luận giải và phân chia nhóm mỏ thăm dò. Đồng thời phương pháp còn được sử dụng để xác định số lượng công trình thăm dò cần thiết ứng với độ tin cậy cho trước.

Số lượng công trình thăm dò cần thiết xác định theo công thức (Prokofev, 1973):

$$N \geq \frac{(V_m^2 + V_c^2)t^2}{\triangle^2} \qquad (1)$$

Trong đó: $\triangle$ - sai số tương đối cho phép đối với từng cấp trữ lượng cần đạt được trong thăm dò; t - hệ số xác xuất; V_m, V_c lần lượt là hệ số biến thiên chiều dày, hàm lượng của thân quặng cần

đánh giá, xác định theo công thức:

$$V_x = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} 100(\%) \quad (2)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Trong đó: σ_x - quân phương sai; X_i - chiều dày, hàm lượng tại công trình i; $\bar{X}$ - chiều dày, hàm lượng trung bình; n - số lượng công trình khống chế thân quặng.

Theo Prokofev (1973), trong thực tế, do diện lộ thân quặng không phải là dạng hình học đơn giản; do đó, ông đề nghị cần sử dụng hệ số điều chỉnh do hình dạng méo mó của đường lộ thân quặng. Số lượng công trình thăm dò (N_{CT}) cần thiết được xác đinh theo công thức:

$$N_{CT} = N.K \quad (4)$$

Trong đó: K - hệ số tính đến mức độ méo mó của đường lộ thân quặng, thường chọn K= 1,15; N - số công trình tính toán theo công thức (1).

Mật độ mạng lưới thăm dò (S_0) là diện tích do 1 công trình thăm dò khống chế, xác định theo công thức:

$$S_0 = \frac{S}{N_{CT}} \quad (5)$$

Trong đó: S - diện tích thân quặng cần thăm dò (m^2); N_{CT} - số lượng công trình thăm dò, xác định theo công thức (4).

Giả sử khoảng cách bố trí tuyến thăm dò là (a) và khoảng cách giữa các công trình trên tuyến là (b), ta có:

$S_0 = a \times b$; thay $b = a \times I_{hh}$; ta có $S_0 = a^2 \times I_{hh}$ (6)

Với I là chỉ số dị hướng hình học thân quặng trên bình đồ, xác định theo công thức: I_{hh} = A/B (A - chiều dài thân quặng theo đường phương; B - chiều rộng thân quặng theo hướng dốc).

3.3.2. Hàm ngẫu nhiên ổn định

Bản chất của phương pháp là nhằm xác lập hợp phần tương quan không gian và hợp phần biến đổi ngẫu nhiên của các thông số địa chất thân quặng. Trong thăm dò địa chất, hợp phần biến đổi ngẫu nhiên của đại lượng nghiên cứu có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, là nguyên nhân gây nên sai số ngẫu nhiên trong dự đoán chất lượng và tính trữ lượng/tài nguyên khoáng sản. Do đó, hàm ngẫu nhiên ổn định là một trong số phương pháp toán được nhiều nhà địa chất thăm dò của Nga (Liên Xô trước đây) và ở Việt Nam sử dụng để xác định đặc tính dị hướng (chỉ số dị hướng I) và kích thước đới ảnh hưởng (H), làm cơ sở lựa chọn hình dạng mạng lưới và khoảng cách bố trí công trình thăm dò.

Để xác định mạng lưới thăm dò theo phương pháp dựa trên cơ sở lý thuyết hàm ngẫu nhiên ổn định, cần thực hiện các nội dung theo trình tự sau:

- Bước 1: Thiết lập hàm tương quan không gian $K_{(h)}$. Hàm tương quan không gian là hàm phụ thuộc vào bước và hướng quan sát, xác định theo công thức:

$$K_{(h)} = \frac{1}{n-h} \sum_{i=1}^{n-h} \left[f_{(x_i)} - \bar{X}\right]\left[f_{(x_{i+h})} - \bar{X}\right] \quad (7)$$

Trong đó: n - số lượng điểm quan sát; h - bước quan sát; $f_{(x_i)}$ và $f_{(x_{i+h})}$ là giá trị của thông số nghiên cứu tại điểm i và $i+h$; $\bar{X}$ - giá trị trung bình của thông số nghiên cứu.

- Bước 2: Xác định hàm tự tương quan định mức $R_{(h)}$ thực nghiệm theo công thức (Prokofev A.P, 1973):

$$R_{(h)} = K_{(h)}/\sigma^2 \quad (8)$$

Hàm tự tương quan lý thuyết $R^*_{(h)}$ tính theo công thức:

$$R^*_{(h)} = e^{-\alpha h} \quad (9)$$

Trong đó: α - hằng số, xác định theo công thức:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{k} ln|R(h_i)|}{\sum_{i=1}^{k} h_i} \quad (10)$$

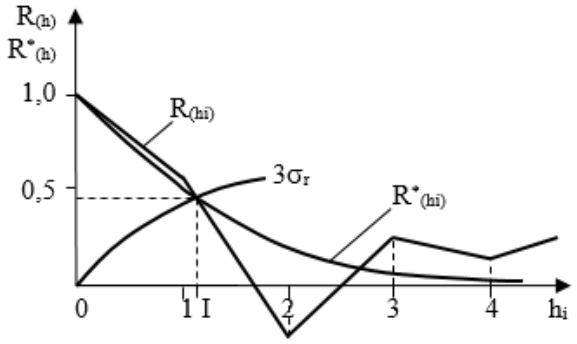
Các ký hiệu khác đã có chỉ dẫn ở trên.

Hàm tương quan định mức cho phép tách phương sai ban đầu (phương sai chung) thành hai hợp phần: hợp phần phương sai không gian (σ_K^2) và hợp phần phương sai ngẫu nhiên (σ_n^2), theo công thức:

$$\sigma_K^2 = \sigma^2.R^2(h)\,;\ \sigma_n^2 = \sigma^2\,(1-R^2(h)) \quad (11)$$

Khi bước quan sát (h) tăng thì $\sigma_K^2 \downarrow$ và $\sigma_n^2 \uparrow$ đến một khoảng cách nào đó $\sigma_K^2 \to 0$ thì $R_{(h)} \to 0$; khi đó, đại lượng nghiên cứu được xem là không có quan hệ tương quan không gian.

- Bước 3: Dựa vào kết quả tính $R_{(h)}$ và $R^*_{(h)}$ xây dựng đồ thị tương quan không gian (Hình 2).



Hình 2. Mô hình hàm tương quan không gian $R_{(h)}$ và $R^*_{(h)}$.

Trên trục hoành thể hiện khoảng cách bước quan sát (h_i), trục tung là giá trị $R_{(h)}$ và $R^*_{(h)}$. Tại vị trí $R^*_{(h)}$ giao cắt đồ thị $2\sigma_r$ hoặc ($3\sigma_r$) ($\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{N}}$) hạ đường vuông góc xuống trục hoành, giả thiết cắt trục hoành tại I. Khoảng cách OI là kích thước đới ảnh hưởng cần xác định (H = OI) (Hình 2).

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

$$I = \frac{H_d}{H_N} \qquad (12)$$

Trong đó: H_d - kích thước đới ảnh hưởng xác định theo đường phương (m); H_N - kích thước đới ảnh hưởng theo hướng dốc của thân quặng (m).

Dựa vào kích thước đới ảnh hưởng (H) và chỉ số dị hướng I để lựa chọn hình dạng và khoảng cách bố trí công trình thăm dò.

4. Kết quả và thảo luận

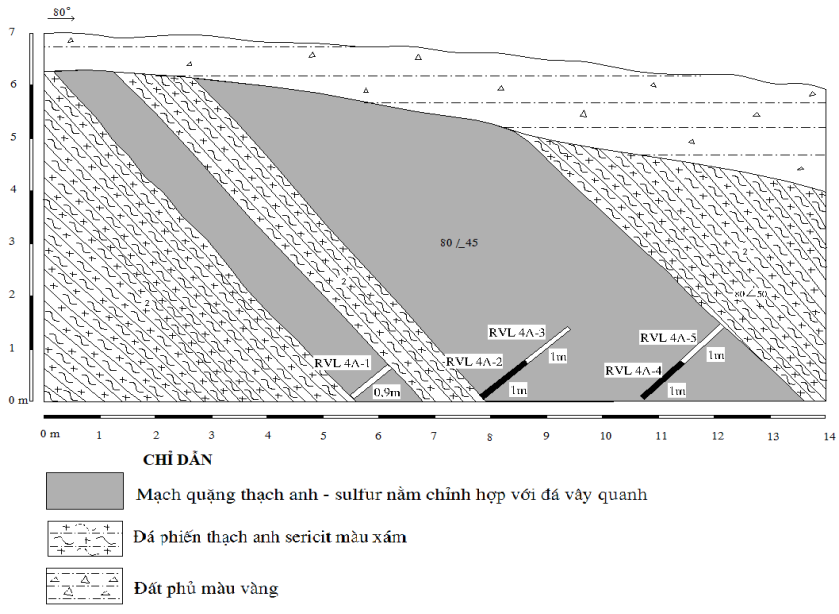
4.1. Xác lập nhóm mỏ thăm dò

4.1.1. Đặc điểm hình thái - cấu trúc thân quặng

Tổng hợp tài liệu từ các công trình trước (Đỗ, 2014, 2015; Bùi và nnk., 2020), kết hợp kết quả nghiên cứu bổ sung của nhóm tác giả, cho thấy quặng vàng gốc vùng Attapeu chủ yếu phân bố trong đới dập vỡ của đá diorit và đá trầm tích lục nguyên bị biến đổi thạch anh hóa, sericit hóa, chlorit hóa, phân bố dọc theo đới dập vỡ của đứt gãy phương tây bắc - đông nam.

Thân quặng vàng gốc vùng Attapeu có 2 kiểu hình thái, cấu trúc chính là dạng mạch đơn lẻ và dạng đới mạch (Houmphavanh và nnk., 2018).

Đặc điểm chung của thân quặng dạng mạch đơn lẻ là tập hợp các mạch, vi mạch thạch anh - sulfur chứa vàng, bao quanh là đới đá biến đổi nhiệt dịch (thạch anh hóa, sericit hóa, chlorit hóa). Các mạch quặng chủ yếu hình thành theo kiểu lấp đầy khe nứt tách, gần như chỉnh hợp với đá vây quanh. Ranh giới giữa thân quặng với đá vây quanh tương đối rõ ràng, kích thước của mạch thạch anh - sulfur chứa vàng biến đổi khá phức tạp. Thành phần các mạch quặng khá đơn giản, chủ yếu là thạch anh có xâm tán các khoáng vật sulfur (Hình 3). Hàm lượng Au trong các thân quặng thay đổi từ 0,8÷3,5 g/T (khu vực Namxuan)



Hình 3. Thân quặng dạng mạch đơn lẻ - Mỏ Vangtat (Đỗ, 2014).

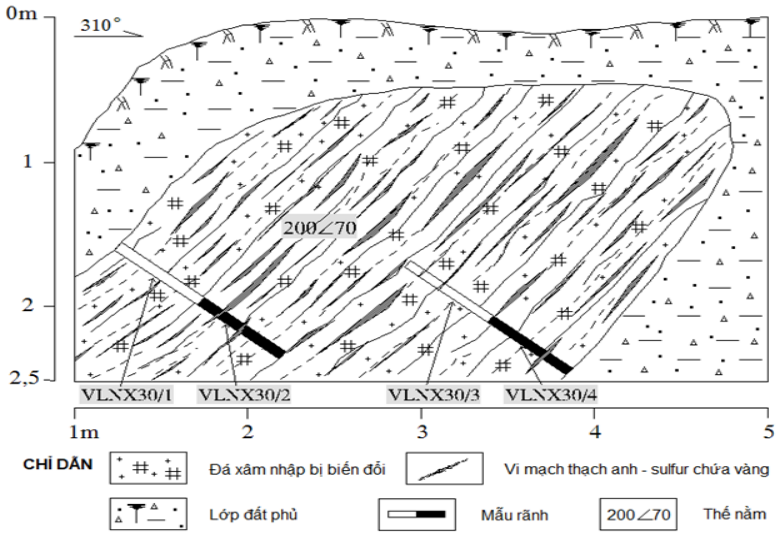
quặng thay đổi từ 0,8÷3,5 g/T (khu vực Namxuan) và 0,1÷41,5 g/T (khu vực Vangtat) (Đỗ và nnk., 2015; Bùi và nnk., 2020).

Thân quặng dạng đới mạch là tập hợp các vi mạch, mạch nhỏ thạch anh - sulfur, tập trung thành đới rộng từ 0,5÷10 m, chiều dài từ vài mét đến hơn chục mét. Các mạch, vi mạch thạch anh - sulfur chứa vàng thường bị dập vỡ, cà nát. Bao quanh là đới đá biến đổi nhiệt dịch (thạch anh hóa, sericit hóa, chlorit hóa) có chứa vàng (Hình 4). Thân quặng dạng đới mạch có cấu trúc rất phức tạp, phụ thuộc vào đặc điểm cấu trúc các khe nứt trước khi bị các khoáng vật quặng lấp đầy. Thân quặng bao gồm các vi mạch thạch anh phân nhánh rất phức tạp, giữa các vi mạch còn có các ổ, thấu kính, đá biến đổi vây quanh chứa quặng. Hàm lượng Au trong các thân quặng từ 0,8÷65,9 g/T (khu Namxuan) và 0,5÷26,6 g/T (khu vực Vangtat) (Đỗ và nnk., 2015; Bùi, 2020).

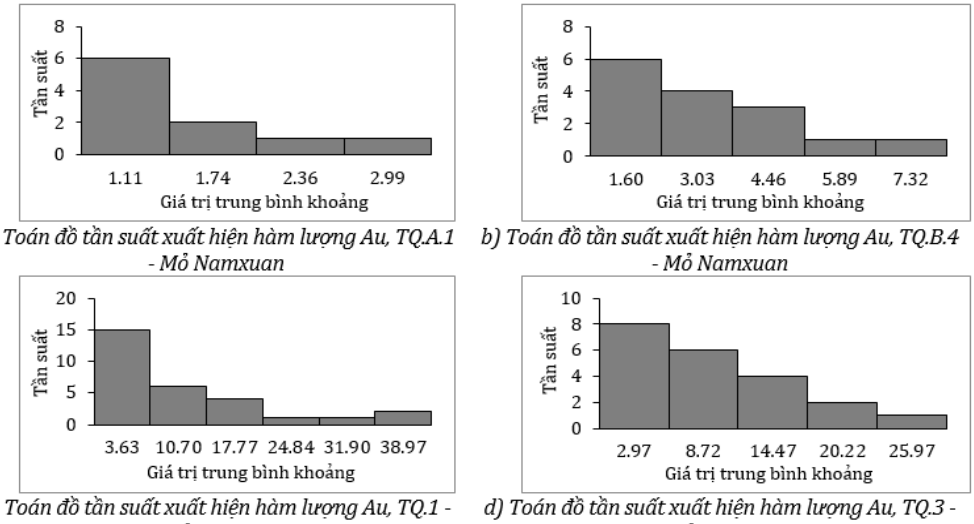
4.1.2. Đặc trưng phân bố thống kê các thông số địa chất công nghiệp thân quặng

Từ kết quả phân tích, tiến hành thiết lập toán đồ tần suất (Hình 5) và các đặc trưng phân bố thống kê (Bảng 1) hàm lượng Au theo mẫu đơn.

Từ các toán đồ (Hình 5), kết quả kiểm nghiệm mô hình phân bố thống kê và kết quả trình bày trong Bảng 1, rút ra một số nhận xét sau:



Hình 4. Thân quặng dạng đới mạch, vi mạch - Mỏ Namxuan (Bùi, 2020).



a) Toán đồ tần suất xuất hiện hàm lượng Au, TQ.A.1 - Mỏ Namxuan

b) Toán đồ tần suất xuất hiện hàm lượng Au, TQ.B.4 - Mỏ Namxuan

c) Toán đồ tần suất xuất hiện hàm lượng Au, TQ.1 - mỏ Vangtat

d) Toán đồ tần suất xuất hiện hàm lượng Au, TQ.3 - mỏ Vangtat

Hình 5. Toán đồ tần suất xuất hiện hàm lượng Au trong các thân quặng theo mẫu đơn.

- Hàm lượng Au trong các thân quặng công nghiệp vùng nghiên cứu tuân theo hàm phân bố loga chuẩn hoặc hàm gamma; chiều dày phân bố dạng hàm phân bố chuẩn hoặc loga chuẩn;

- Mức độ biến đổi hàm lượng Au thuộc loại không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều (V_C = 58,3÷385%) và có sự khác nhau khá lớn giữa các thân quặng. Mức độ biến đổi chiều dày của các thân quặng rất khác nhau, từ ổn định đến rất không ổn định (V_m = 8,9÷116,8%);

- Đặc điểm biến đổi chiều dày và hàm lượng Au trong các thân quặng phụ thuộc vào đặc điểm hình thái - cấu trúc của chúng. Nhìn chung, sự biến đổi chiều dày và hàm lượng Au trong các thân quặng dạng mạch đơn lẻ ổn định hơn so với các thân quặng đới mạch, đới vi mạch.

4.1.3. Kết quả xác lập nhóm mỏ thăm dò

Các tiêu chuẩn chủ yếu được sử dụng để phân nhóm mỏ thăm dò quặng vàng gốc vùng Attapeu tổng hợp ở Bảng 2.

Bảng 1. Tổng hợp các tham số đặc trưng thống kê của các thân quặng.

Khu mỏ	Thân quặng	Chiều dày (m)		Hàm lượng theo mẫu đơn (g/T)		Hàm lượng trung bình theo công trình (g/T)	
		Từ ÷ đến / Trung bình	Hệ số biến thiên (V%)	Từ ÷ đến / Trung bình	Hệ số biến thiên (V%)	Từ ÷ đến / Trung bình	Hệ số biến thiên (V%)
Namxuan	TQ.A.1	0,7 ÷ 2,67 / 1,3	46,7	0,8 ÷ 5,6 / 1,47	90,0	0,8 ÷ 3,5 / 1,5	69,5
	TQ.B.4	0,31 ÷ 6,21 / 2.7	58,6	0,8 ÷ 14,5 / 2,29	114,0	0,88 ÷ 7,9 / 2,87	68,8
	TQ.B.6	0,17 ÷ 5 / 1,5	116,8	0,6 ÷ 354 / 3,24	385,0	0,8 ÷ 65,98 / 3,71	322,8
Vangtat	TQ.1	0,7 ÷ 1,25 / 1,02	13,6	0,1 ÷ 41,5 / 8,93	131,1	1.13 ÷ 20.52 / 7.57	88,7
	TQ.2	0,6 ÷ 5 / 1,3	64,6	0,1 ÷ 30,6 / 5,56	134,1	1,6 ÷ 21,6 / 6,46	95,4
	TQ.3	0,7 ÷ 1 / 0,9	8,9	0,1 ÷ 31,1 / 7,37	106,8	0,95 ÷ 9,18 / 5,06	58,3
	TQ.4	0,9 ÷ 2 / 1,03	20,3	0,5 ÷ 26,6 / 6,15	123,4	1,56 ÷ 14,5 / 6,29	83

Bảng 2. Tổng hợp các tiêu chuẩn chủ yếu sử dụng phân nhóm mỏ thăm dò vàng gốc khu mỏ vùng Attapeu.

Cấu trúc địa chất mỏ và hình thái - cấu trúc thân quặng	Quy mô mỏ, kích thước thân quặng	Mức độ ổn định về chiều dày, hàm lượng Au
- Cấu trúc chủ yếu đơn nghiêng. Các thân quặng dạng mạch đơn hoặc đới mạch, cắm dốc 45÷80^0; thân quặng công nghiệp dạng mạch, mạch thấu kính, chuỗi thấu kính xuyên cắt 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 tương đối phức tạp đến phức tạp, chứa một vài lớp đá kẹp không quặng. - Các thân quặng phân bố không liên tục, biến đổi không rõ quy luật.	- Quy mô mỏ thuộc loại trung bình, nhỏ. - Các thân quặng công nghiệp có kích thước nhỏ đến trung bình, kéo dài theo đường phương từ 100÷550 m; theo hướng dốc trung bình từ 50÷100 m; bề dày thân quặng thay đổi từ 0,17÷6,21 m; trung bình từ 0,9÷2,7 m.	- Chiều dày thân quặng biến đổi thuộc loại tương đối ổn định đến rất không ổn định (V_m = 8,9÷116,8%). - Hàm lượng Au trong các thân quặng công nghiệp biến đổi từ không đều đến đặc biệt không đồng đều (V_c = 58,3÷385%).

Từ các Bảng 1 và Bảng 2 rút ra một số kết luận sau:

Các mỏ vàng gốc vùng nghiên cứu có cấu trúc địa chất thuộc loại phức tạp; các thân quặng có kích thước nhỏ đến trung bình và thế nằm thay đổi mạnh, thuộc nhóm cắm dốc nghiêng đến dốc đứng.

Chiều dày thân quặng biến đổi tương đối ổn định đến rất không ổn định; hàm lượng Au trong các thân quặng công nghiệp biến đổi không đồng đều đến đặc biệt không đồng đều.

Căn cứ vào các đặc điểm đã nêu, đối sánh với quy định của Việt Nam (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2015; 2017), thì các mỏ vàng gốc trong vùng nghiên cứu được xếp vào nhóm mỏ loại III. Đối với nhóm mỏ III, yêu cầu trữ lượng cần đạt được trong thăm dò phục vụ lập dự án đầu tư công trình khai thác là cấp 122.

4.2. Xác lập mạng lưới thăm dò

4.2.1. Phương pháp tương tự hoặc phương pháp đối sánh

Với kết quả phân chia nhóm mỏ thăm dò vàng gốc vùng nghiên cứu thuộc nhóm III, đối sánh với Thông tư số 03/2015/TT-BTNMT: "Quy định về thăm dò và phân cấp trữ lượng, cấp tài nguyên khoáng sản vàng gốc" của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Việt Nam) ngày 13 tháng 02 năm 2015, có thể sử dụng mạng lưới thăm dò để tính trữ lượng cấp 122 vàng gốc cho vùng nghiên cứu theo phương pháp tương tự (đối sánh với quy phạm) như sau:

Tuyến bố trí công trình khai đào (hào, giếng) theo đường phương từ 20÷30 m;

Tuyến bố trí công trình khoan, lò hoặc kết hợp khoan và lò theo khoảng cách (50±10) m; công trình trên tuyến theo hướng dốc cách nhau (30±10) m.

4.2.2. Phương pháp toán địa chất

Phân tích mạng lưới thăm dò theo phương pháp toán thống kê: Đối với nhóm mỏ thăm dò loại III, để đạt yêu cầu tính trữ lượng 122 bảo đảm độ tin cậy, nhóm tác giả chọn sai số tương đối xác định trữ lượng (chỉ tính cho chiều dày và hàm lượng, loại bỏ sai số về thể trọng, diện tích gây ra trong tính trữ lượng) là 30%, tức chọn sai số giới hạn gần cận trên cho phép của sai số tính trữ lượng cấp 122. Dựa vào kết quả tính toán trong Bảng 1, áp dụng các công thức (1, 5, 6) tính được số lượng công trình thăm dò và mật độ mạng lưới thăm dò cho các thân quặng vàng gốc chiếm trữ lượng chủ yếu của khu mỏ Namxuan và Vangtat. Kết quả tổng hợp trong Bảng 3.

Từ Bảng 3, rút ra một số nhận xét sau:

- Mật độ mạng lưới thăm dò hay diện tích do 01 công trình thăm dò khống chế đối với các thân quặng vàng gốc trong 02 khu mỏ có sự khác nhau, nhưng không nhiều;
- Khoảng cách tuyến thăm dò dao động 48÷60 m, công trình trên tuyến từ 32÷40 m. Kết quả này tương đối phù hợp với định hướng mạng lưới thăm dò theo Thông tư số 03/2015/TT-BTNMT của Bộ tài nguyên và Môi trường Việt Nam đối với nhóm mỏ thăm dò loại III cho quặng vàng gốc.

Phân tích mật độ mạng lưới thăm dò dựa trên cơ sở lý thuyết hàm ngẫu nhiên ổn định: Do công trình thăm dò khống chế các thân quặng còn hạn chế và phân bố không theo mạng lưới hình học nhất định. Do đó, để sử dụng phương pháp hàm ngẫu nhiên ổn định, nhóm tác giả sử dụng phương pháp nội suy không gian để nội suy chiều dày và hàm lượng Au trong thân quặng theo từng điểm của ô mạng cơ sở.

Bảng 3. Kết quả xác định mạng lưới thăm dò quặng vàng gốc theo phương pháp thống kê.

Khu mỏ	Thân quặng	Số lượng công trình (N_{CT})	Mật độ thăm dò S_0 (m^2)	Khoảng cách	
				Theo đường phương (m)	Theo hướng dốc (m)
Namxuan	TQ.A.1	24	2.125	55	38
	TQ.B.4	29	1.928	55	36
	TQ.B.6	42	2.332	60	39
Vangtat	TQ.1	22	1.523	48	32
	TQ.2	28	2.193	57	38
	TQ.3	14	1.843	53	35
	TQ.4	19	2.443	61	40

Nội dung của phương pháp được tóm tắt như sau: từ các giá trị chiều dày, hàm lượng Au thu nhận được ở các công trình thăm dò, tiến hành xác định giá trị cho từng điểm theo ô mạng cơ sở xác lập cho từng thân quặng (Hình 6). Kích thước ô mạng lựa chọn tùy thuộc đặc điểm hình thái, kích thước và khoảng cách giữa các công trình đã thi công. Thông thường, chọn kích thước ô mạng nội suy không lớn hơn kích thước đới ảnh hưởng hoặc lựa chọn theo kinh nghiệm. Trong bài báo này, tác giả lựa chọn theo kinh nghiệm, kích thước ô mạng lựa chọn là 25x50 m (Hình 6).

Giả sử điểm khảo sát có tọa độ (x_i, y_i) cần chuyển về ô mạng có tọa độ (x_k, y_k), để nội suy tài liệu cho các điểm của ô mạng cơ sở, sử dụng phương pháp nghịch đảo khoảng cách. Giá trị chiều dày hoặc hàm lượng Au tại các điểm ô mạng cơ sở được xác định theo công thức:

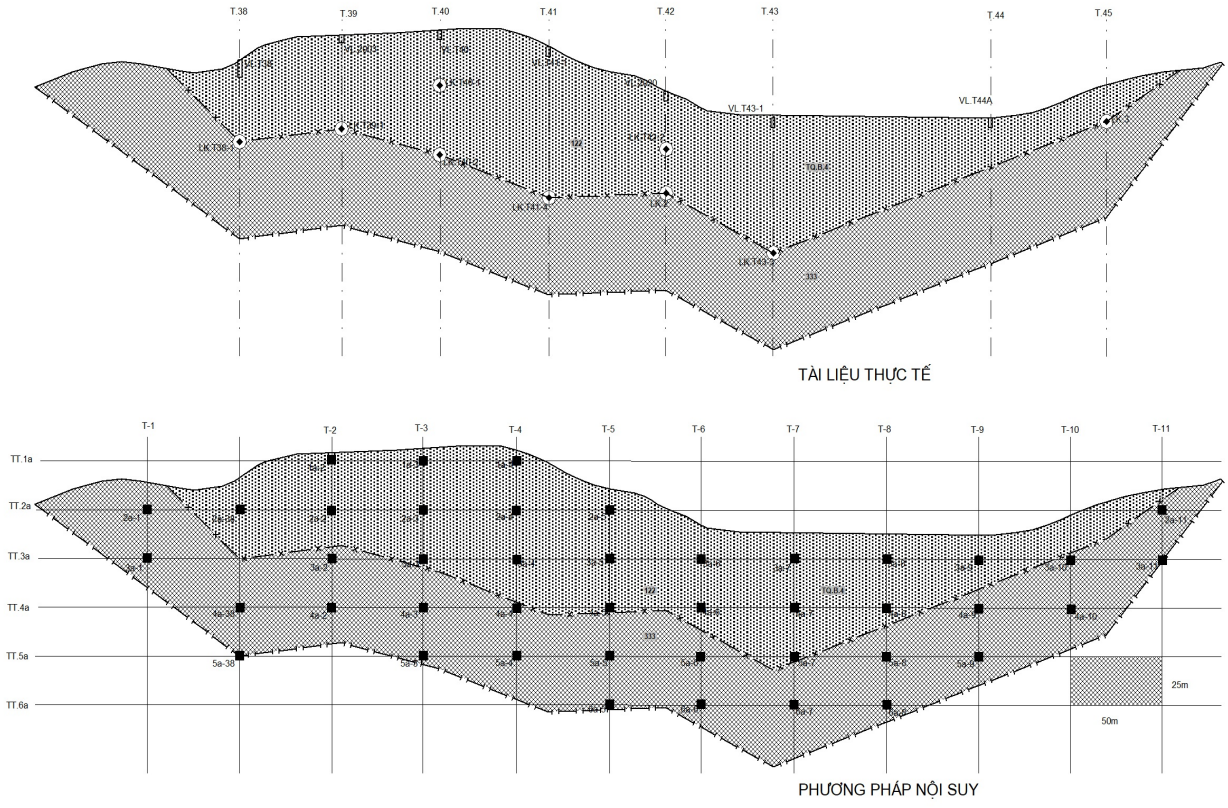
$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{L_i}}{\sum_{n=1}^{n} \frac{1}{L_{ik}}} \qquad (13)$$

Trong đó: Z_k - giá trị trung bình của thông số nghiên cứu tại điểm k của ô mạng đã thiết lập; Z_i - giá trị tại điểm đo thứ *i*; L_{ik} - khoảng cách từ điểm *k* đến điểm gần kề có giá trị Z_i.

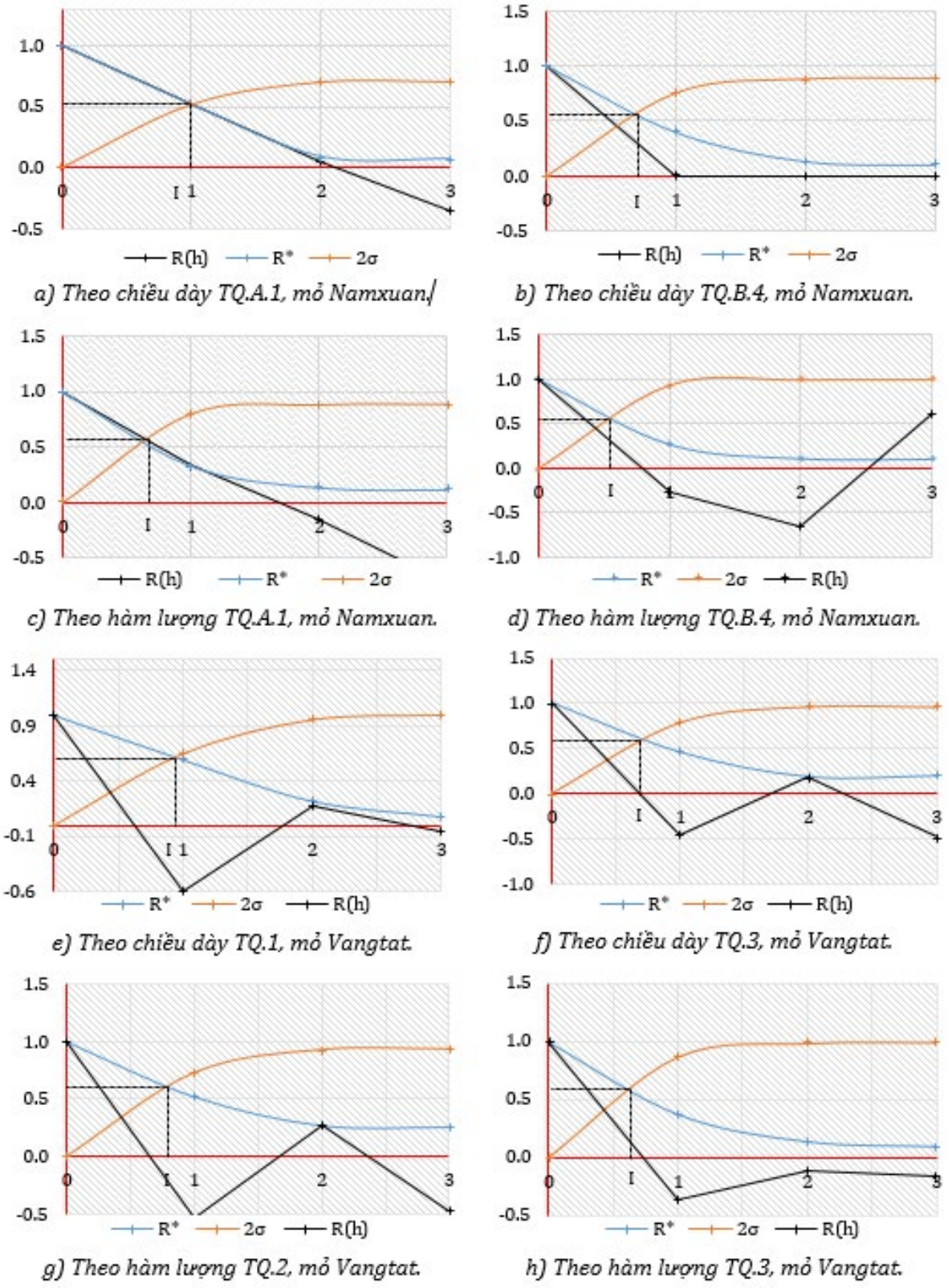
Dựa vào tài liệu thăm dò áp dụng công thức (13) tính được giá trị chiều dày, hàm lượng Au tại các điểm của ô mạng cơ sở. Kết quả thể hiện trên Hình 6. Dựa vào kết quả nội suy trên áp dụng các công thức (7, 9, 12) xác định được kích thước đới ảnh hưởng (H) và hệ số dị hướng (I) theo thông số chiều dày và hàm lượng cho từng thân quặng chiếm trữ lượng, tài nguyên chính của khu vực mỏ Vangtat và Namxuan. Kết quả tính trích dẫn trong Hình 7 và tổng hợp trong Bảng 4.

Từ Bảng 4 cho thấy:

Kích thước đới ảnh hưởng của chiều dày và hàm lượng Au trong các thân quặng theo hướng dốc là tương tự nhau, theo đường phương có sự khác nhau, nhưng không nhiều; kích thước đới ảnh hưởng theo chiều dày lớn hơn theo hàm lượng. Trong trường hợp này, mạng lưới thăm dò tốt nhất được luận giải theo mức độ biến hóa của hàm lương Au trong các thân quặng. Chỉ số dị hướng dao động 1,3÷2,7 trong phạm vi khá lớn, thể hiện tính dị hướng rõ ràng;



Hình 6. Sơ đồ chuyển từ điểm quan sát rời rạc sang ô mạng cơ sở, TQ.A.1 - mỏ Namxuan.



a) Theo chiều dày TQ.A.1, mỏ Namxuan.

b) Theo chiều dày TQ.B.4, mỏ Namxuan.

c) Theo hàm lượng TQ.A.1, mỏ Namxuan.

d) Theo hàm lượng TQ.B.4, mỏ Namxuan.

e) Theo chiều dày TQ.1, mỏ Vangtat.

f) Theo chiều dày TQ.3, mỏ Vangtat.

g) Theo hàm lượng TQ.2, mỏ Vangtat.

h) Theo hàm lượng TQ.3, mỏ Vangtat.

Hình 7. Biểu đồ hàm ngẫu nhiên ổn định theo chiều dày, hàm lượng Au của một số thân quặng thuộc mỏ Namxuan và mỏ Vangtat. (Hình này chỉnh lại cho phù hợp với giao điểm của đường màu xanh và màu vàng)

Để triệt tiêu tính đa phương án trong khoanh nối thân quặng công nghiệp, thì mạng lưới thăm dò tính trữ lượng cấp 122 phải bảo đảm yêu cầu ≤ H. Với kết quả tính toán trình bày trong Bảng 4, thì mạng lưới thăm dò quặng vàng gốc vùng Attapeu để tính trữ lượng cấp 122 theo đường phương từ 28÷50 m, trung bình 40 m; theo hướng dốc từ 15÷28 m, trung bình 20÷25 m.

4.2.2. Lựa chọn mạng lưới thăm dò

Lựa chọn hình dạng và phương vị tuyến thăm dò: Trên bình đồ, hầu hết các thân quặng có dạng elip méo mó, kéo dài theo đường phương, mức độ dị hướng khoáng sản khá rõ. Trong trường hợp này, mạng lưới thăm dò để đánh giá thể tích thân quặng hợp lý nhất sử dụng dạng tuyến song song hoặc mạng lưới dạng hình chữ nhật; phương vị tuyến bố trí vuông góc với phương kéo dài chung của thân quặng chiếm trữ lượng chính (>70%) trong diện tích thăm dò.

Lựa chọn mật độ mạng lưới thăm dò: Trên cơ sở nghiên cứu thử nghiệm ở 02 khu vực mỏ Namxuan và Vangtat, kết hợp tài liệu thực tế thi công thăm dò quặng vàng gốc trong vùng, nhóm tác giả đề xuất mạng lưới định hướng bố trí công trình thăm dò quặng vàng gốc vùng nghiên cứu như Bảng 5.

Mạng lưới đề xuất trong Bảng 5 có ưu điểm:

Có khả năng kế thừa và phát triển trên cơ sở mạng lưới đã tiến hành trong giai đoạn điều tra đánh giá, hoặc giai đoạn thăm dò trước (đối với diện tích thăm dò nâng cấp trữ lượng). Sai số tính trữ lượng trong các thân quặng nằm trong phạm vi sai số cho phép đối với cấp trữ lượng 122;

Kết quả trên phù hợp với mạng lưới thăm dò đã sử dụng ở một số mỏ vàng gốc ở Việt Nam và nước CHDCND Lào cũng như mạng lưới định hướng các công trình thăm dò quặng vàng gốc của nước CHDCND Lào (Bộ Năng lượng và Mỏ, 2019).

5. Kết luận

Các thân quặng vàng gốc vùng Attapeu có 2 kiểu hình thái - cấu trúc chính là dạng mạch đơn lẻ và dạng đới mạch. Hàm lượng Au trong các thân quặng phân bố theo quy luật hàm phân bố loga chuẩn hoặc hàm gamma; chiều dày phân bố dạng hàm chuẩn hoặc loga chuẩn. Mức độ biến đổi hàm lượng trong các thân quặng thuộc loại không đồng

Bảng 4. Kết quả xác định kích thước đới ảnh hưởng cho các thân quặng vàng gốc vùng Attapeu.

Khu mỏ	Tên thân quặng	Kích thước đới ảnh hưởng (m)			
		Theo đường phương		Theo hướng dốc	
		Chiều dày	Hàm lượng	Chiều dày	Hàm lượng
Namxuan	TQ.A.1	40÷50	35÷38	19÷28	19÷28
	TQ.B.4	30÷43	28÷40	15÷16	15÷16
	TQ.B.6	38÷40	40	15÷28	16÷25
Vangtat	TQ.1	48÷50	30÷33	14÷20	14÷21
	TQ.2	35÷43	33÷35	15÷18	15÷25
	TQ.3	43	38÷40	16÷18	16÷18
	TQ.4	43÷45	28÷33	16÷20	15÷16
Hệ số dị hướng (I)		Theo chiều dày: 1,4÷2,7 Trung bình: 1,9÷2,0		Theo hàm lượng: 1,3÷2,5 Trung bình: 1,8÷2,0	

Bảng 5. Mạng lưới định hướng bố trí công trình thăm dò quặng vàng gốc vùng Attapeu.

Nhóm mỏ thăm dò	Loại công trình thăm dò	Trữ lượng cấp 122		Tài nguyên cấp 333	
		Theo đương phương (m)	Theo hướng dốc (m)	Theo đường phương (m)	Theo hướng dốc (m)
III	Khoan	40-60	20-30	80-120	40-60
	Khai đào	20-30		40 - 60	

đều đến đặc biệt không đồng đều và có sự khác nhau khá lớn giữa các thân quặng. Mức độ biến đổi chiều dày của các thân quặng rất khác nhau, từ ổn định đến rất không ổn định. Sự biến đổi chiều dày và hàm lượng Au trong các thân quặng dạng mạch đơn lẻ ổn định hơn so với các thân quặng dạng đới mạch.

Các mỏ vàng gốc vùng nghiên cứu chủ yếu thuộc nhóm mỏ thăm dò loại III. Mạng lưới bố trí công trình thăm dò tính trữ lượng cấp 122 hợp lý nhất là sử dụng tuyến song song hoặc dạng hình chữ nhật, khoảng cách tuyến công trình khai đào cách 20÷30 m; khoảng cách giữa các tuyến khoan 40÷60 m, công trình trên tuyến là 20÷30 m.

Khi tiến hành công tác thăm dò cần phải có khối lượng công trình dự phòng 10÷15% tổng khối lượng dự kiến để khống chế phạm vi thân quặng bị vát nhọn, nơi thân quặng có hình thái và cấu tạo phức tạp, hoặc nơi thân quặng tách, nhập.

Mạng lưới thăm dò đề xuất trong bài báo có thể sử dụng để thăm dò các mỏ vàng có đặc điểm địa chất khoáng sản tương tự mỏ Namxuan, Vangtat.

Đóng góp của tác giả

Houmphavanh Phatthana - thực hiện tổng hợp dữ liệu, tính toán, phân tích, luận giải, đánh giá vấn đề thảo luận và viết bài báo; Nguyễn Phương - phương pháp nghiên cứu, tóm tắt, kết luận và biên tập bài báo. Nguyễn Tiến Dũng, Bùi Viết Sáng - phân tích dữ liệu, tham gia tính toán và chỉnh sửa bản vẽ, hình ảnh.

Tài liệu tham khảo

Bộ Năng lượng và Mỏ. (2019). *Quy định về phân cấp tài nguyên, trữ lượng khoáng sản. Phân chia nhóm mỏ thăm dò.* Lưu trữ cục Quản lý Mỏ, Lào.

Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2017). *Thông tư 60/2017/TT - BTMNT,* Quy định về phân cấp trữ lượng và tài nguyên khoáng sản rắn, ngày 08/12/2017.

Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2015). *Thông tư số 03/2015/TT-BTNMT, ngày 13 tháng 02 năm 2015.*

Bùi, V. S. (cb) (2020). *Báo cáo kết quả tìm kiếm quặng vàng và khoáng sản đi kèm huyện khu vực Namxuan, huyện Phuvong, tỉnh Attapeu.* Lưu trữ cục Địa chất và Khoáng sản, Lào.

Department of Geology and Mine of Lao PDR. (2010). *Minerals year look 2010-2020*, DGM, Vientiane, Laos.

Đỗ, M. A., Nguyễn, T. D., Bùi, H. B., & Khương, T. H. (2018). Đặc điểm hình thái - cấu trúc các vỉa than và ảnh hưởng của chúng tới công trình thăm dò, khai thác cánh Nam mỏ Mạo Khê, Quảng Ninh. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, 59*(2), 40-48.

Đỗ, Q. B. (cb.). (2014). *Báo cáo Thăm dò mỏ Vangtat - San Xay - Attapeu, công ty Vangtat Mining, Viêng Chăn - CHDCND Lào.* Lưu trữ cục Địa chất và Khoáng sản, Lào.

Đỗ, Q. B. (cb.) (2015). *Báo cáo kết quả tìm kiếm, thăm dò khu vực Vang Tat Kang, huyện Sanxay, tỉnh Attapeu.* Lưu trữ cục Địa chất và Khoáng sản, Lào.

Houmphavanh, P., Nguyễn, P., & Nguyễn, T. D. (2018a). Đặc điểm quặng hóa và phân vùng triển vọng quặng vàng gốc khu vực Xan Xay-Attapeu-CHDCND Lào. *Tạp chí Công nghiệp mỏ, 5*, 64-71.

Houmphavanh, P., Nguyễn, P., & Nguyễn, T. D. (2018b). Tiềm năng tài nguyên vàng gốc vùng Attapeu miền nam nước CHDCND Lào. *Hội nghị khoa học toàn quốc (ERSD 2018),* Hà Nội, 07-12-2018.

Intergeo. (2009). *Báo cáo điều tra đánh giá khoáng sản bauxit và khoáng sản khác vùng nam Lào.* Lưu trữ cục Địa chất và Khoáng sản, Lào.

JICA. (2008). *Báo cáo công tác đo vẽ bản đồ địa chất tỷ lệ 1: 200.000 tại khu vực Đakyoy - Vangtat tỉnh Attapeu.* Lưu trữ cục Địa chất và Khoáng sản, Lào.

Kazdan, A. B. (1984). *Cơ sở phương pháp luận thăm dò.* Nhà xuất bản Nhеđra. (bản tiếng Nga).

Lương, Q. K., Nguyễn, P., Nguyễn, T. D., Bùi, H. B., & Khương, T. H. (2018). *Phương pháp xử lý thông tin địa chất,* Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.

Metcalfe, I. (2016). Paleotethyan evolution of the Indochina Block as deduced from granites in northern Laos. *Gondwana Research, 38*, 183-196.

Nguyễn, P. (2006). *Mô hình hóa các tính chất của khoáng sản và phương pháp thăm dò.* Bài giảng dùng cho học viên cao học và nghiên cứu sinh ngành Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Prokofev, A. P. (1973). Cơ bản về tìm kiếm-thăm dò khoáng sản rắn. Bản tiếng Nga. *Nhà xuất bản Nhedra.*

Tran, V.T., Michel, F., Nguyen, V. V., & Hoang, B. (2020). Neoproterozoic to Early Triassic tectono-stratigraphic evolution of Indochina and adjacent areas: A review with new data. *Journal of Asian Earth Sciences, 191,* 104231