

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH HÀM CẤU TRÚC ĐÁNH GIÁ SỰ BIẾN ĐỔI HÀM LƯỢNG ĐỒNG, GÓP PHẦN ĐỊNH HƯỚNG CÔNG TÁC THĂM DÒ: VÍ DỤ CHO KHU MỎ ĐỒNG SIN QUYỀN, LÀO CAI

Trương Xuân Luận¹, Trương Xuân Quang²,
Nguyễn Tuấn Anh¹, Nguyễn Chí Công², Nguyễn Thị Hải Yến¹

¹ Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội; ² Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu mô hình hàm cấu trúc để đánh giá toàn diện tính biến đổi trong không gian 3 chiều của hàm lượng đồng tại khu mỏ Sin Quyền. Kết quả nghiên cứu cho phép rút ra một số kết luận sau: Trên nền tảng của phần mềm nguồn mở SgeMS, các tác giả đã phát triển bổ sung bộ công cụ phần mềm địa thống kê cho tính toán và mô hình hóa hàm cấu trúc không gian với năm mô hình thường xảy ra trong thực tế: cầu, lũy thừa, tuyến tính, Gause, hiệu ứng phẳng (sạch). Đã áp dụng thành công cho thân quặng đồng, phân bố gần như dốc đứng, biến đổi phức tạp; các công trình thăm dò là các lỗ khoan cong, xiên, lệch phương vị với nhiều hướng khác nhau. Bằng mô hình hàm cấu trúc đã đưa ra được phương vị tuyến thăm dò chủ đạo là bắc-nam, song song và không song song nhau và có thể phi tuyến; mật độ mạng lưới thăm dò được định hướng cho trữ lượng cấp 121 là $(40 \times 30) \pm 5$ m, cấp 122 là $(75 \times 60) \pm 10$ m.

1. Mở đầu

Khác với nhiều nước có nền khoa học phát triển trên thế giới, để lựa chọn mật độ mạng lưới thăm dò, chúng ta thường phân nhóm mỏ theo mức độ phức tạp của thăm dò và từ đó tuân theo định hướng tại các Quyết định của Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành. Để phân nhóm mỏ thăm dò, hệ số biến đổi các thông số địa chất - khoáng sản là quan trọng. Hệ số này được định lượng bằng thuật toán thống kê truyền thống trong phần mềm Excel và chỉ thể hiện được mức độ mà không lột tả được đặc tính và cấu trúc của sự biến đổi. Hơn nữa, bằng thuật toán thống kê truyền thống, không thể hiện được sự biến đổi không gian của các thông số nghiên cứu. Các mô hình hàm cấu trúc (structural function) có thể diễn tả đầy đủ sự biến đổi trong không gian thân khoáng. Bài toán xác định và mô hình hóa các hàm cấu trúc không hề đơn giản và gần như không thể giải quyết thấu đáo nếu không có phần mềm máy tính. Để đưa kiến thức hiện đại vào đánh giá tài nguyên khoáng sản, trên cơ sở phần mềm nguồn mở SgeMS (Stanford Geostatistical Modeling Software), tác giả đã phát triển bổ sung để có bộ công cụ phần mềm chuyên dụng địa thống kê (GeoST - Geostatistical Software Tool) nhằm giải quyết vấn đề cấp thiết đó.

SgeMS được phát triển bởi các nhà khoa học trường Đại học Stanford (Nicolas Remy, 2009), với phiên bản đầu tiên vào tháng 7/2008. Vì là phần mềm nguồn mở, không phải là phần mềm tĩnh và hoàn chỉnh, nên có thể phát triển, bổ sung, nâng cấp. SgeMS không dễ sử dụng, còn những hạn chế, như sử dụng bộ thư viện và các thư viện đồ họa quá cũ, không hỗ trợ hiển thị hình ảnh sau ước lượng (nội suy) Kriging, người dùng không thể tương tác trực quan với hình ảnh, thời gian thực hiện các thuật toán và đưa ra các mô hình hàm cấu trúc chưa thật đầy đủ và tối ưu,... Trên nền tảng của SgeMS, các tác giả đã nghiên cứu, bổ sung, khắc phục những tồn tại nêu trên để có bộ công cụ phần mềm mô hình hàm cấu trúc nói riêng, địa thống kê nói chung, đang rất cần thiết ở Việt Nam, không chỉ để đánh giá tính biến đổi không gian của các thông số thân quặng phục vụ công tác thăm dò, đánh giá tài nguyên khoáng sản, còn có thể góp phần nghiên cứu,

triển khai trong rất nhiều lĩnh vực kinh tế - xã hội (địa hóa, địa vật lý, môi trường, khí tượng - thủy văn, nông - lâm - ngư nghiệp, tài biến địa chất... và cả điều tra xã hội học).

Trong phạm vi bài báo, tác giả giới thiệu các thuật toán và modul phần mềm máy tính để xác lập các mô hình hàm cấu trúc và kết quả nghiên cứu cho thân quặng có nhiều dữ liệu, khá phức tạp, song đại diện cho mỏ đồng Sin Quyền.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. 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" (Journel và nnk, 2004; Matheron, 1970). Biến số đó biến đổi một cách liên tục từ điểm quan sát này đến điểm quan sát khác. Giá trị trong 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. Những điểm quan sát ở khoảng cách xa ít ảnh hưởng hơn so với những điểm có khoảng cách gần. Trong thực tế, còn xảy ra hiện tượng là mức độ ảnh hưởng của các điểm quan sát phụ thuộc vào phương vị không gian. Để phản ánh sự phụ thuộc đó, thường dùng vector khoảng cách $\mathbf{h}$ với phương vị xác định. Mức độ phụ thuộc giữa các điểm quan sát phân bố trên một khoảng cách $\mathbf{h}_i$ và theo một hướng xác định nào đó được phản ánh bằng momen tương quan theo công thức (1):

$$Var[Z_{(x1)} - Z_{(x2)}] = 2\gamma[Z_{(x1)} - Z_{(x2)}] \text{ với mọi } x_1, x_2 \in D \quad (1)$$

D - tập hợp con có định trong không gian d chiều

$2\gamma[Z(x_1) - Z(x_2)]$ là hàm của số gia $Z(x_1) - Z(x_2)$, được G. Matheron gọi là biểu đồ phương sai hay Variogram hoặc hàm cấu trúc (structural function) (Matheron, 1962, 1963; Matheron, 1970)

Variogram $[\gamma(h)]$ được định nghĩa như là một nửa kỳ vọng toán của biến ngẫu nhiên (Luận, 2010):

$$[Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2, \text{ nghĩa là: } \gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2 \text{ và như là một nửa phương sai của } [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]; \text{ nghĩa là: } \gamma(h) = \frac{1}{2} D[Z_{(x)} - Z_{(x+h)}] \quad (2)$$

Trong không gian 3 chiều, các Variogram được mô tả như công thức 3:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2V} \iiint_V [Z_{(x)} - Z_{(x+h)}]^2 dV \quad (3)$$

Trong đó $Z_{(x)}$, $Z_{(x+h)}$ - hai đại lượng ở hai điểm nghiên cứu $[(x)$ và $(x+h)]$ cách nhau một đoạn h , theo một hướng xác định nào đó.

Variogram thực nghiệm được xác định (Luận, 2010, 2015)

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

$N(h)$ - số lượng cặp điểm tính toán của mỗi bước (khoảng) tính

Trong một số trường hợp, để phân tích cấu trúc, có thể xử lý theo các Covariance $[C(h)]$. Giữa $\gamma(h)$ và $C(h)$ có quan hệ:

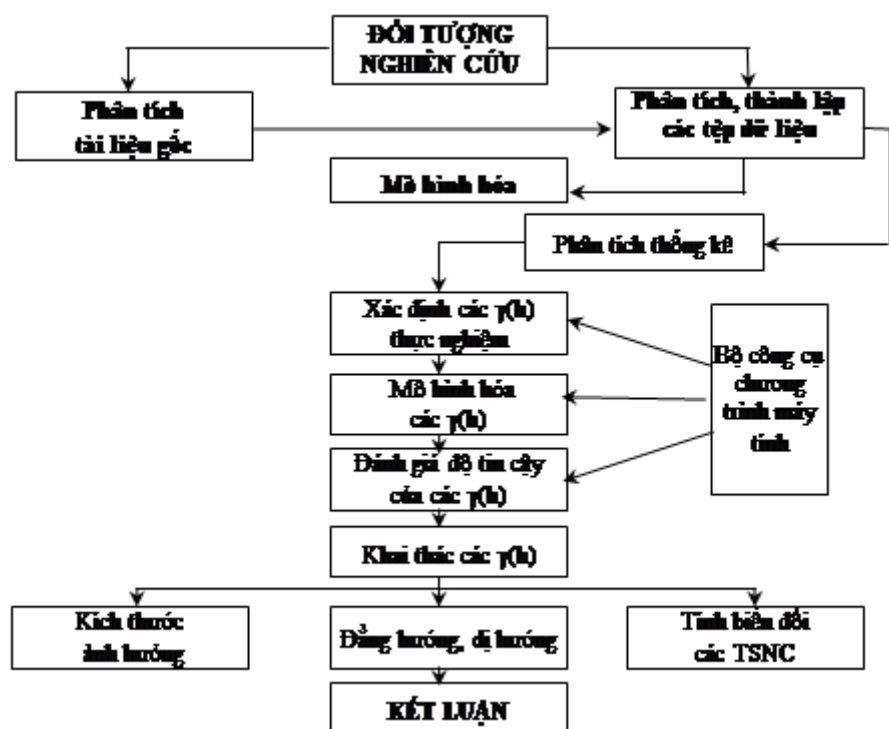
$$\gamma(h) = C(0) - C(h) \quad (5) \text{ (Luận, 2010; 2015).}$$

2.2. Bộ công cụ phần mềm GeoSTAT

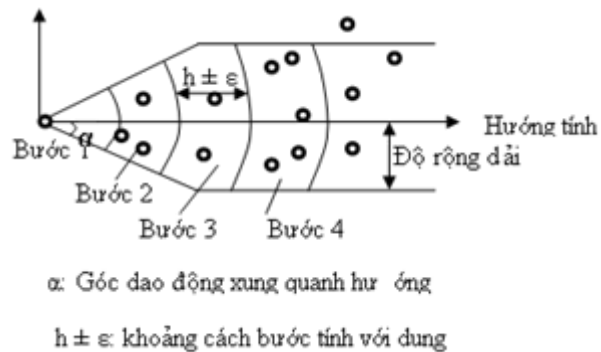
2.2.1. Lựa chọn hệ thống

GeoST được viết bằng ngôn ngữ C++, trên nền tảng visual studio 2010, thiết kế giao diện trên Qt 4.7, tích hợp đồ họa bởi VTK (Visualization Toolkit). *Visual Studio* bao gồm một trình soạn thảo mã hỗ trợ IntelliSense cũng như cải tiến mã nguồn; trình gỡ lỗi tích hợp hoạt động cả về trình gỡ lỗi mức độ mã nguồn và gỡ lỗi mức độ máy. *Qt* cung cấp phương thức thiết kế dao diện UI đơn giản, dễ thực hiện và gần gũi với môi trường hệ điều hành Windows. *VTK* là hệ thống phần mềm có sẵn cho đồ họa máy tính 3D, hỗ trợ một loạt các thuật toán trực quan bao gồm: vô hướng, vector, tensor, kết cấu; và các kỹ thuật mô hình tiên tiến như: tiềm ẩn, giảm đa giác, làm mịn lưới, cắt, đường viền và tráo điểm Delaunay.

Các bước đầy đủ để phân tích, khai thác các tính năng ưu việt của hàm cấu trúc được tóm lược ở Hình 1. Cần lưu ý là, trước khi định lượng cấu trúc không gian hàm cấu trúc, cần thiết mô hình hóa, xử lý các dữ liệu đầu vào để hiểu biết khách quan về đối tượng nghiên cứu, cũng như định lượng thống kê thông số nghiên cứu (như là các biến ngẫu nhiên) và xác định các tương quan cặp giữa các thông số đó để thực hiện nội suy bằng Cokriging. Thêm vào đó, để tận dụng hết các dữ liệu đầu vào, tối ưu trong tính toán các Variogram, đã thực hiện việc ghép nhóm các dữ liệu đó theo góc và theo khoảng cách trong không gian 3 chiều (Hình 2).



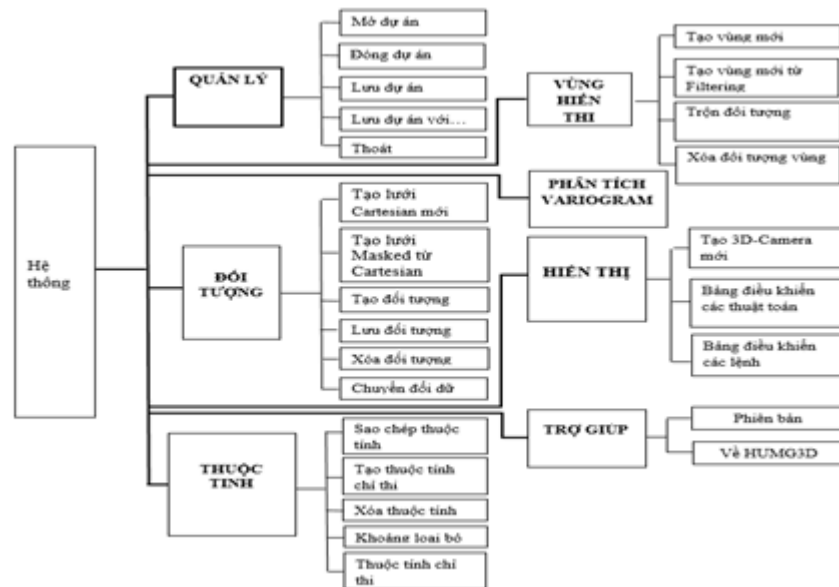
Hình 1. Sơ đồ các bước xác lập mô hình hàm cấu trúc



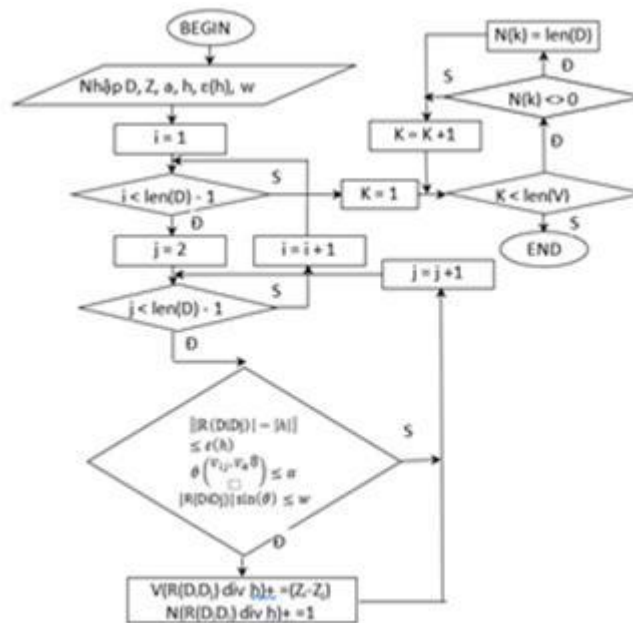
Hình 2. Ghép nhóm dữ liệu theo góc và theo khoảng cách trong không gian

2.2.2. Các chức năng chính

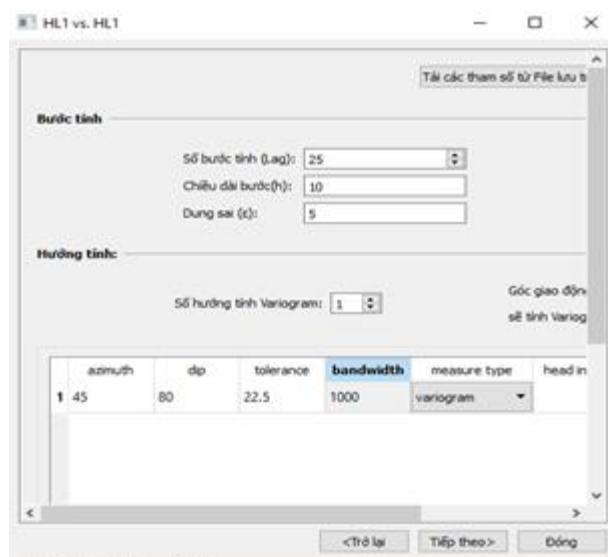
Bộ công cụ được xây dựng với đầy đủ các nhóm chức năng cần thiết: (1) Quản lý (dữ liệu đầu vào) bao gồm tọa độ các điểm mẫu với các thuộc tính đi kèm, đưa được dữ liệu vào phần mềm và hiển thị trên giao diện 3D; (2) thao tác với đối tượng; (3) thao tác với thuộc tính, (4) phân tích dữ liệu; (5) phân vùng dữ liệu (vùng hiển thị) và (6) trợ giúp. Các nhóm chức năng này được thiết lập để liên kết thuận tiện với nhau. Trong phạm vi bài báo, các tác giả không thể mô tả đầy đủ các chức năng phân tích hàm cấu trúc mà được tóm lược ở Hình 3. Để thực hiện thuật toán mô hình hóa Variogram, phải xác định được thuật toán chọn cặp điểm cho mỗi bước tính theo vị trí của các điểm mẫu trong không gian (add_pair), được xác định dựa theo góc phương vị, góc dao động, góc dốc và khoảng cách chọn (Hình 2, 4). Đây là điểm nhấn, như là chức năng bổ sung cho SgeoMS, vì đã tận dụng được nhiều nhất các dữ liệu trong không gian 3 chiều để tính toán. Do vậy, số lượng cặp điểm của mỗi bước tính (theo công thức 2) tăng lên rất nhiều lần và do vậy sẽ làm tăng độ tin cậy của phép tính. Do vậy, đã giải quyết tốt đối với các thân quặng dốc, rất dốc, các công trình thăm dò lệch với phương vị tuyến. Các phần mềm hiện đang sử dụng ở Việt Nam chưa giải quyết tốt nhiệm vụ này.



Hình 3. Biểu đồ phân cấp chức năng chi tiết.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán mô hình Variogram



Hình 5. Giao diện thiết lập thông số cho Variogram

Để xác lập các Variogram, đầu tiên phải thiết lập các thông số phù hợp, đó là số bước, chiều dài bước tính, số lượng hướng tính, cũng như góc phương vị, góc dốc,... người nghiên cứu cần thiết lập phù hợp với yêu cầu bài toán. Ví dụ ở Hình 5: số bước tính là 25, mỗi bước tính là 10, hướng tính là $45 \pm 22,5^\circ$, góc dốc 80° , nghĩa là các dữ liệu mẫu quảng thuộc hướng 45° dao động trong không gian khoảng $\pm 22,5^\circ$, theo góc dốc 80° đều được tham gia tính toán. Bằng cách này, sau khi xác định được các Variogram và đưa lên đồ thị của tất cả các hướng đã tính trong không gian, một bước quan trọng là mô hình hóa (quy nạp kết quả thực nghiệm về đường cong lý thuyết phù hợp). Cơ sở để mô hình hóa các Variogram là các thông số của mỗi mô hình: hiệu ứng tự sinh (nugget effect- c_0) nếu có, trần (c), kích thước ảnh hưởng (a). Tập thể tác giả đã tiến hành xây dựng cho 5 mô hình thông dụng nhất: cầu (spherical), lũy thừa (exponential), Gause (Gaussian), tuyến tính (linear), hiệu ứng sạch/phẳng (pure nugget effect). Về lý thuyết, để chọn các thông số mô hình hàm cấu trúc có thể lập trình để tự động hóa. Song, do tính đặc thù, đa dạng và biến đổi phức tạp của thành phần khoáng sản, nên theo quan điểm của hầu hết các nhà địa thống kê thế giới là việc chọn các thông số đó phải được chính các nhà nghiên cứu tự quyết định theo kỹ năng địa thống kê và kinh nghiệm thực tế về đối tượng nghiên cứu. Công đoạn tiếp theo là phân tích, khai thác các mô hình đã thiết lập, để đưa ra những nhận định khách quan theo mục đích, yêu cầu nghiên cứu.

2.2.3. Module xử lý đồ họa

Để tiện ích cho người sử dụng, có thể quan sát một cách dễ dàng, tương tác với hình ảnh, nhóm tác giả đã thêm vào bộ công cụ nằm dưới màn hình, bao gồm: phóng to, thu nhỏ, thay đổi màu sắc, tạo các góc quan sát khác nhau về đối tượng nghiên cứu trong không gian, hiển thị tọa độ, công cụ đo khoảng cách,... (Hình 6).



Hình 6. Bộ công cụ của chương trình

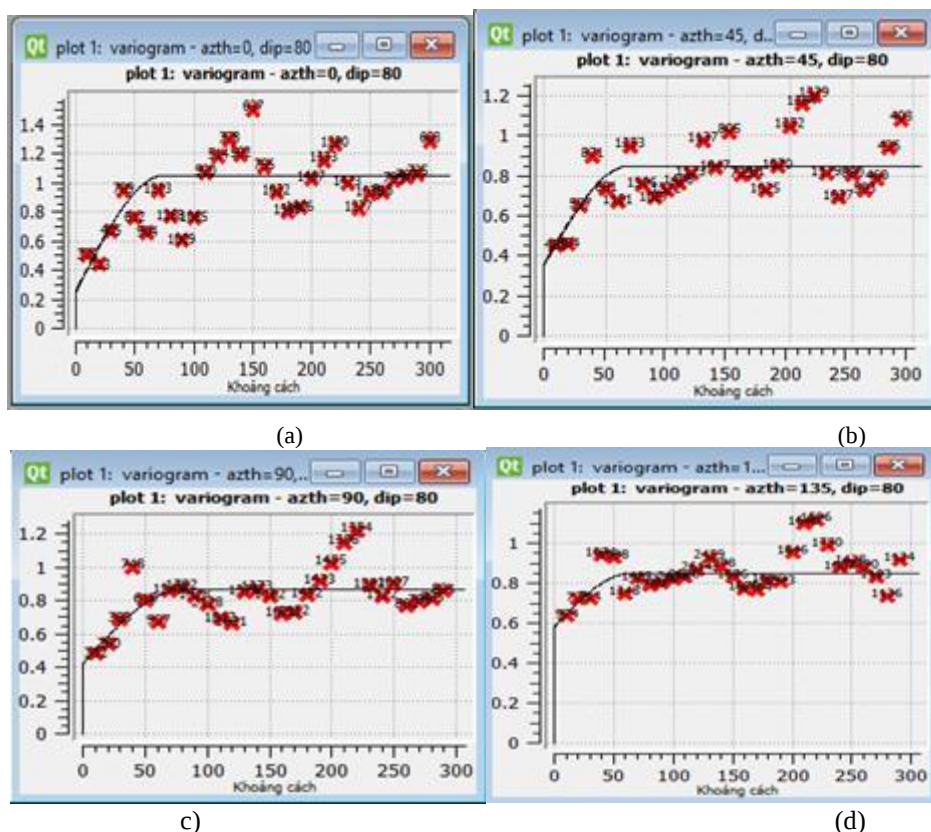
2.2.4. Tính ưu việt bộ công cụ phần mềm

Một số phát triển của GeoST đã được đề cập tổng quát ở các mục trên. Tác giả còn đưa thêm một số tính năng thông qua hệ thống các *plug-in*, như các công cụ tính toán, các mạng lưới cấu trúc dữ liệu không gian, định dạng một tệp dữ liệu mới vào SgeMS. Thêm vào đó, bộ công cụ đã có những nội dung mới so với SgeMS như sau: (1) Đầy đủ hơn các mô hình hàm cấu trúc (5 loại so với 3 loại), (2) Thêm một số phương pháp nội suy Kriging; (3) Thêm chức năng hỗ trợ tạo mặt cắt, vị trí đứt gãy, đo đạc; (4) Chiết xuất thông tin trước và sau Kriging cùng với định lượng thống kê tương ứng; (5) Thêm chức năng tạo dựng bề mặt địa hình (hiện trạng) khu mỏ.

3. Kết quả ứng dụng cho mỏ đồng Sin Quyền

3.1. Khái lược về mỏ đồng Sin Quyền và thực trạng công tác thăm dò

Khu mỏ đồng Sin Quyền được giới hạn bởi tuyến XIC (khu Vi Kẽm) ở phía tây bắc, bởi tuyến XXI ở phía đông nam; thuộc đới quặng đồng Sin Quyền, phân bố ở bờ phải Sông Hồng, thuộc các xã Cốc Mỹ và Bản Vược, huyện Bát Xát, tỉnh Lào Cai. Tham gia vào cấu trúc địa chất khu mỏ là đá phiến thạch anh 2 mica bị migmatit hoá, gneisbiotit bị migmatit hoá. Chiều dày thay đổi 500-800 m, thuộc hệ tầng Sin Quyền (PP-MP sq) (Luận và nnk, 2017; Dũng và nnk, 1975) Các đá xâm nhập tuy ít lộ trên mặt, song phát triển rộng khắp, phổ biến hơn cả là amphibolit và granitogneis tuổi Proterozoi muộn, ít hơn là gabbro - amphibolit và granit - biotit - plagiogranit tuổi Pecmi. Chứa quặng chính là đá biến chất trao đổi, ít hơn là đá gonal biotit migmatit; có quan hệ chuyển tiếp từ từ với amphibolit, hoặc xuyên cắt các thành tạo trầm tích biến chất thuộc hệ tầng Sin Quyền. Các đá trao đổi lại bị các mạch thạch anh nhiệt dịch xuyên cắt. Các mạch trao đổi dày 0,5-100 m, dài 1-1.000 m; kéo dài phương từ 280° đến 320°, dốc 65-90°.



Hình 7. Các variogram thực nghiệm và lý thuyết theo các hướng 0°, 45°, 90° và 135° với góc giao xoay $\pm 22,5^\circ$

Tại khu mỏ, đã không chế đến mức sâu dưới -500 m, đã khoan nổi được 15 thân quặng (Journel và nnk, 2004; Matheron, 1962). Trong đó, các thân quặng chính (1, 1a, 2, 3, 4, 5, 7) phân bố trong đá trao đổi (metasomatit), thường có quy mô lớn, chiều dày biến đổi không ổn định (Hệ số biến thiên 68-80%), có quy luật không rõ ràng; hàm lượng khá giàu, không có ranh giới rõ ràng với đá vây quanh. Các thân quặng khác (6, 6a, 8, 9, 10, 11, 12 và 13) phân bố trong các đá gneiss biotit, migmatit; thường ở ven rìa, quy mô nhỏ, hàm lượng thấp; kích thước rất không ổn định, hình dạng phức tạp, uốn lượn. Quặng tại mỏ thuộc loại Cu-Fe-Au-LREE (U) (Chun Li và nnk, 2016).

Các thân quặng chủ yếu có quan hệ xuyên cắt đá vây quanh. Các khoáng vật chứa quặng thường ở dạng lấp đầy khe nứt, đường phân phiến, phân lớp của đá chứa quặng. Thân quặng có dạng mạch, thấu kính, mạch buồng xen mạch chuỗi; gần như cắm bắc, dốc đứng (63-85°). Do các thân quặng tại mỏ cắm dốc đứng, nên tuy đã áp dụng mật độ mạng lưới thăm dò dày hơn so với Quy định hiện hành; song số lượng lỗ khoan gặp quặng không nhiều, nhất là theo hướng cắm. Đây là một khó khăn cho áp dụng mô hình hàm cấu trúc đối với người lập trình. Tuy nhiên, các tác giả đã thành công trong xử lý thực trạng này.

Mỏ đồng Sin Quyền kết thúc công tác thăm dò tỉ mỉ vào năm 1975 (Luận và nnk, 2017), thăm dò bổ sung, mở rộng vào năm 2016 (Dũng và nnk, 1975). Mạng lưới thăm dò áp dụng theo định hướng tại Quy định 06/2006/QĐ-BTNMT, khu mỏ được xếp vào nhóm mỏ thăm dò II, mật độ mạng lưới thăm dò áp dụng: (75m x 50 m) cho trữ lượng cấp 121 và [(150m x 100m)±10] cho cấp 122. Hình dạng mạng lưới là dạng tuyến, theo hướng ĐB-TN (khoảng 30°). Tuy nhiên đã phải thăm dò bổ sung mới đủ dữ liệu để thiết kế đầu tư khai thác mỏ đối với phần sâu của các thân quặng.

Trước khi thực hiện mô hình hàm cấu trúc, đầu tiên cần nắm bắt tốt tài liệu gốc, xử lý mẫu đặc cao, đánh giá mức độ đáng tin cậy của dữ liệu đầu vào; tiếp theo là kiểm định hàm phân bố, định lượng thống kê thông số nghiên cứu, xác định trường và hệ số tương quan cặp giữa các thành phần có trong quặng. Tất cả đều được thực hiện bằng GeoST do các tác giả phát triển trên nền tảng của SgeMS. Trong khuôn khổ bài báo, tác giả không thể dẫn ra các kết quả nghiên cứu này.

3.2. Thiết lập cơ sở dữ liệu

CSDL đầu vào được xây dựng dưới dạng điểm đọc từ tệp dữ liệu (file data) từ thư viện hàm dùng trong chuyên ngành địa thống kê (**.gslib**) hoặc từ bộ CSDL trong WebGIS (mà chúng tôi đã xây dựng thành công), khai báo các thành phần liên quan tới mỗi giá trị điểm mẫu (tọa độ X, Y, Z, hàm lượng đồng tương ứng). Một đoạn tệp dữ liệu như sau:

TQ3_DataCu SQ_final (Geostatistical Software Library).

4

X

Y

Z

Hàm lượng Cu

2502325.303	377862.4569 -104.0007998	1.70
2502323.522	377858.6384 -107.5361317	1.35
2502225.614	377971.8322 -133.0733111	0.35
2502202.593	378021.9673 1.658202533	2.98
2502202.172	378021.5467 0.854345673	2.20

3.3. Kết quả

Các tác giả đã nghiên cứu thử nghiệm cho thân quặng 3 (TQ3) là thân quặng có dữ liệu nhiều nhất trong mỏ. Thân quặng được khống chế bởi 26 lỗ khoan gặp quặng (trong đó có 9 lỗ khoan thăm dò bổ sung (Dũng và nnk, 1975), với 940 mẫu có hàm lượng quặng từ 0,1% trở lên. Các dữ liệu gốc này được sử dụng để tính toán hàm cấu trúc thực nghiệm.

Bộ công cụ cho phép xác định hàm cấu trúc theo bất kỳ hướng nào trong không gian ba chiều. Trong phạm vi bài báo, tác giả dẫn ra kết quả mô hình hóa theo 4 hướng cơ bản, với góc xoay xung quanh mỗi hướng là $\pm 22,5^\circ$. Từ kết quả ở Hình 6 và Bảng 1, có thể đưa ra những nhận định sau: theo tất cả 4 hướng, các Variogram của hàm lượng đồng đều có thể quy nạp về dạng mô hình cầu; đều có hiệu ứng tự sinh với các mức độ khác nhau, có tính dị hướng khu vực (địa phương) khá rõ, với chỉ số dị hướng là 1,3. Hướng biến đổi mạnh nhất là bắc nam ($0 \pm 12,5^\circ$). Kết quả này là cơ sở rất tốt cho luận giải mạng lưới thăm dò hợp lý.

Bảng 1. Kết quả mô hình hóa các hàm cấu trúc $[\gamma(h)]$

Hướng khảo sát (độ)	Các đặc trưng của $\gamma(h)$			Mô hình
	Hiệu ứng tự sinh	Trần	Kích thước ảnh hưởng (m)	
$0 \pm 22,5^\circ$	0,26	0,80	65	$\gamma(h) = 0,26 + 0,80(1,5 \frac{h}{65} - 0,5 \frac{h^3}{65^3})$ $= 1,06$ khi $h \leq 65$ khi $h > 65$
$45 \pm 22,5^\circ$	0,35	0,49	70	$\gamma(h) = 0,35 + 0,49(1,5 \frac{h}{70} - 0,5 \frac{h^3}{70^3})$ $= 0,84$ khi $h \leq 70$ khi $h > 70$
$90 \pm 22,5^\circ$	0,41	0,45	85	$\gamma(h) = 0,41 + 0,45(1,5 \frac{h}{85} - 0,5 \frac{h^3}{85^3})$ $= 0,86$ khi $h \leq 85$ khi $h > 85$
$135 \pm 22,5^\circ$	0,58	0,27	68	$\gamma(h) = 0,58 + 0,26(1,5 \frac{h}{68} - 0,5 \frac{h^3}{68^3})$ $= 0,85$ khi $h \leq 68$ khi $h > 68$

4. Thảo luận và kết luận

4.1. Thảo luận

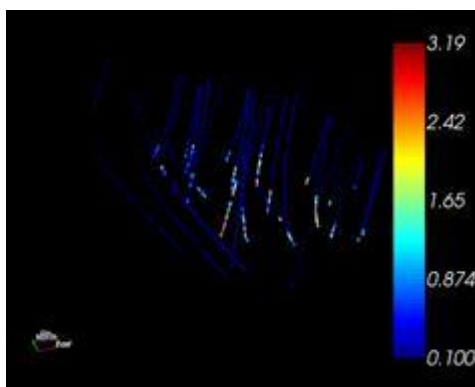
Mô hình hàm cấu trúc còn là các hạng tử trong hệ phương trình Kriging để đánh giá tài nguyên, trữ lượng và xác định sai số ước lượng bằng phương sai Kriging, tiện ích cho thiết kế đầu tư, cơ giới hóa trong khai thác, đang là hướng đi trong tương lai của ngành khai thác.

Khu mỏ đồng Sin Quyền ngoài đồng, còn có một số thành phần có ích đi kèm và chúng có quan hệ thuận tương đối chặt chẽ (Bảng 2) nên có thể ước lượng các thành phần đi kèm đó khi chúng chưa được nghiên cứu đầy đủ, bằng thuật toán đồng Kriging (Cokriging); song, hiện tại không thực hiện được do chỉ có các mẫu nhóm, nên không thể định vị tọa độ không gian của các mẫu đó. Theo chúng tôi, nên đặt vấn đề phân tích số lượng không nhiều mẫu cơ bản, song phân tích đa thành phần như mẫu nhóm (có thể chỉ ở một diện tích nhỏ đại diện cho khu mỏ) để áp dụng. Bộ công cụ phần mềm của các tác giả có chức năng này.

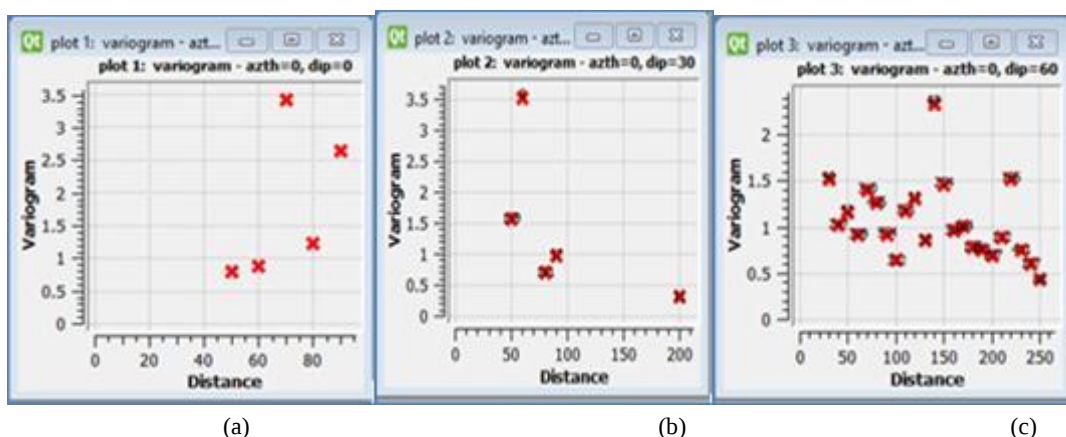
Bảng 2. Hệ số tương quan cặp các thành phần phần quặng mỏ đồng Sin Quyền

	Cu	Au	Ag	ΣTR_2O_3	TFe	Co	S
Cu	1						
Au	0,38	1					
Ag	0,09	0,07	1				
ΣTR_2O_3	0,30	0,13	0,04	1			
TFe	0,49	0,10	0,08	0,36	1		
Co	0,09	0,06	0,05	0,06	0,47	1	
S	0,24	0,01	0,08	0,28	0,53	0,71	1

Đến nay, các tác giả bài báo và các cộng sự đã phát triển thành công bộ công cụ phần mềm địa thống kê chuyên dụng, sẽ thuận tiện cho giải các bài toán hàm cấu trúc không gian nói riêng, địa thống kê nói chung. Thành công của GeoST là không chỉ thể hiện dữ liệu trong 3 chiều với các lỗ khoan cong, lệch phương vị (Hình 8) mà còn tận dụng triệt để các thông tin đã có, đặc biệt đối với các thân quặng cắm dốc, dốc đứng. Trong giải bài toán, kỹ năng của người thực hiện rất quan trọng. Ví dụ: Variogram xác lập theo hướng $0 \pm 22,5^\circ$ (như Hình 6a, với góc dốc 80° , đã có rất nhiều cặp điểm tham gia tính toán, hoàn toàn có thể mô hình hóa). Song tuy cùng hướng ($0 \pm 22,5^\circ$) nhưng với các góc dốc khác nhau, hình dạng các Variogram rất khác nhau, như ở Hình 9. Đã có rất nhiều dữ liệu gốc không được tham gia tính toán (Hình 9a, 9b), tuy có nhiều dữ liệu như Hình 9c song có thể nhận định thiếu khách quan là không có quan hệ tương quan không gian của thông số nghiên cứu. Rõ ràng sẽ nhận thức sai về bản chất của thông số nghiên cứu. Điều này đã thể hiện được độ nhạy của GeoST.



Hình 8. Hiển thị màu sắc của chương trình (Hình dạng các lỗ khoan với các đoạn mẫu có hàm lượng Cu khác nhau, cùng với bảng màu)



Hình 9. Các Variogram được xác lập theo hướng $0 \pm 22,5^\circ$ (như Hình 6a), song với các góc dốc rất khác nhau

Hy vọng trong tương lai gần, như ở các nước có nền khoa học - kỹ thuật phát triển, phương pháp khó, song hiện đại này sẽ có lộ trình để quy định là bắt buộc trong nghiên cứu, đánh giá địa chất khoáng sản và nhân rộng trong nghiên cứu ở nhiều lĩnh vực khoa học - xã hội khác. Để thuận lợi cho công tác ứng dụng triển khai, theo chúng tôi, công tác thăm dò địa chất không nên thi công dàn trải mà tập trung theo mạng lưới đủ dày trên một diện tích nhỏ đại diện (như diện tích làm mẫu). Từ diện tích này, áp dụng mô hình hàm cấu trúc, sau đó nhân rộng kết quả cho toàn khu mỏ và cho các mỏ khác tương tự.

4.2. Kết luận

Phương pháp mô hình hàm cấu trúc được thực hiện bằng bộ công cụ phần mềm do chính các tác phát triển bổ sung từ phần mềm nguồn mở SgeMS, đã cho kết quả toàn diện, khách quan về tính biến đổi không gian của hàm lượng đồng thuộc thân quặng 3 – mỏ Sin Quyền. Từ đó, định lượng khách quan về hình dạng, mật độ mạng lưới thăm dò, cách thức bố trí các công trình thăm dò hợp lý và do vậy sẽ mang lại hiệu quả kinh tế hơn. Phần mềm đã được Việt hóa, thân thiện với người dùng hơn nhiều so với phần mềm nguồn mở SgeMS và các phần mềm thương mại khác.

Kết quả mô hình đã định hướng được mật độ mạng lưới thăm dò cho trữ lượng cấp 121 là $(40 \times 30) \pm 5$ m], cấp 122 là $(75 \times 60) \pm 10$ m. Hình dạng mạng lưới thăm dò phù hợp theo dạng tuyến với hướng chủ đạo là bắc nam, song song và không song song. Tuy nhiên, do có dị hướng khu vực, để nâng cao hiệu quả công tác thăm dò, bảo đảm hợp lý và hiệu quả kinh tế, tốt nhất không nên áp dụng cùng một mạng lưới cho toàn mỏ khoáng, có thể sử dụng mạng lưới thăm dò khác nhau và phi tuyến ở một số khu vực cục bộ.

Lời cảm ơn: Bài báo là một phần kết quả nghiên cứu của Nhiệm vụ nghiên cứu cơ bản định hướng ứng dụng, mã số: ĐTNCCB-ĐHUĐ 2012-G/01, được hỗ trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED).

Văn liệu

- Goovaerts P, 1997.** *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, New York, Oxford University Press.
- Journel A.G. and Kyriakidis P.C, 2004.** *Evaluation of Mineral Reserves: A Simulation Approach*, New York, Oxford University Press
- Matheron G, 1962.** *Traite de geostatistique appliquee, tome ii. Vol. 1, ed. Technip, Paris.*
- Matheron G, 1963.** *Traite de geostatistique appliquee, tome ii. Vol. 2, ed. Technip, Paris*
- Matheron G, 1970.** *La theorydes variables régionalisees, et ses application*, *Advances in Applied Probability* 5, 439-468. *Ecole des Mines de Paris.*
- Nicolas Remy, Alexandre Boucher & Jianbing Wu, 2009.** *Applied Geostatistics with SGeMS: A Users' Guide.* Cambridge University Press. 264 p.
- Trương X. Luận, 2010.** *Địa thống kê.* Nxb Giao thông vận tải.
- Truong X. Luan, 2015.** *Nghiên cứu đánh giá tài nguyên khoáng.* Nxb Khoa học và Kỹ thuật, 318 trang. Hà Nội.
- Trương X. Luận, Trương X. Quang, Nguyen T.A, Nguyen V.N, Nguyen C, 2017.** *Construction geostatistical model evaluation copper ore: A case study Sin Quyen copper deposit, Lao Cai province (Northern Vietnam).* *International Forum on Topical Issues of Rational Use of Natural Resources.* St Petersburg. Russia.
- Tạ V. Dũng và nnk, 1975.** *Báo cáo địa chất về kết quả công tác thăm dò tỉ mỉ khoáng sàng đồng Sin Quyền Lào Cai.* Lưu trữ Địa chất. Hà Nội.
- Phạm Q. Duy và nnk, 2016.** *Thăm dò bổ sung nâng cấp trữ lượng thân quặng 3 và 7 khu Đông, mỏ đồng Sin Quyền.* Lưu trữ Địa chất. Hà Nội.
- Quy Ntrnbjasố 06/2006/QĐ-BTNMT.** Quy đ6/QĐ-BTNMT. Hà Nội Quyền.àông tác thăm dò tỉ mỉ khoáng sàng đồng Sin Quyền Lào Cai. 6
- Xiao-Chun Li, Mei-Fu Zhou, Wei Terry Chen, Xin-Fu Zhao, Trần M. Dũng, 2016.** *Uranium-lead dating of hydrothermal zircon and monazite from the Sin Quyen Fe-Cu-REE-Au-(U) deposit, State level project.*