

KHOANH ĐỊNH MỨC PHÓNG XẠ TỰ NHIÊN VÀ CHỈ SỐ NGUY HẠI CHIẾU NGOÀI (HF)

TỪ SỐ LIỆU ĐO PHỔ GAMMA MẶT ĐẤT Ở YÊN HỢP - QUỲ HỢP, TỈNH NGHỆ AN

Nguyễn Văn Nam¹, Lê Văn Đạt²

¹Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam; ²Liên đoàn Địa chất Xạ-Hiếm

Tóm tắt: Hoạt độ phóng xạ trong lớp đất trồng của khu vực chứa khoáng sản đất hiếm ở Yên Hợp - Quỳnh Hợp, tỉnh Nghệ An đã được xác định trên cơ sở kết quả đo phổ gamma mặt đất phủ đều trên diện tích khoảng 6 km², mạng lưới 100 m x 50 m, theo đó suất liều hấp thụ gamma tính chuyển đổi từ hoạt độ phóng xạ của ⁴⁰K, dãy ²³⁸U, ²³²Th thay đổi từ 45 nGy/h đến 750 nGy/h trung bình 300 nGy/h, bản đồ đẳng trị suất liều hấp thụ gamma đã phân ra được 3 diện tích với mức suất liều hấp thụ ở độ cao 1,0 m lần lượt là 0,3; 0,5; 0,7 nGy/h, liên quan đến các thành tạo địa chất thuộc các hệ tầng Sông Cả, Bù Khang và trầm tích Đệ tứ, phục vụ cảnh báo về mức phóng xạ tự nhiên trong môi trường không khí. Kết quả tính chỉ số nguy hại chiếu ngoài (Hf) của đất đá bề mặt theo TCVN 7879/2011 cho thấy: Hf thay đổi từ 0,5-4,5 và bản đồ đẳng trị chỉ số nguy hại chiếu ngoài của khu vực đã khoanh định được các diện tích có chỉ số Hf lần lượt là ≤0,7; 0,7÷1,0; 1,0÷2,0 và >2,0 để khuyến cáo về việc khai thác, sử dụng đất đá trong vùng làm vật liệu xây dựng.

1. Mở đầu

Con người luôn bị chiếu bởi bức xạ tự nhiên phát sinh từ bên trong và ngoài của trái đất. Liều chiếu của bức xạ ion hoá từ các nguồn bức xạ tự nhiên gây ra bởi các nguyên tố phóng xạ có trong đất đá, tia bức xạ vũ trụ xuyên vào khí quyển trái đất và liều chiếu trong là từ các nguyên tố phóng xạ có trong thức ăn, nước uống và khí thở. Hoạt độ phóng xạ tự nhiên trong tầng đất mặt (lớp đất, đá nằm sát bề mặt địa hình) được phát ra chủ yếu do chuỗi phóng xạ tự nhiên từ ²³⁸U, ²³²Th và ⁴⁰K. Hệ quả của các nhân phóng xạ này là phát bức xạ tia gamma gây chiếu ngoài vào cơ thể và hít thở phải khí radon và các nguyên tố phóng xạ thứ cấp khác sẽ gây chiếu xạ trong làm tổn thương các mô của phổi. Do vậy, việc đánh giá mức suất liều bức xạ gamma từ các nguồn bức xạ tự nhiên là việc làm rất quan trọng, đặc biệt là liều chiếu ngoài đối với dân chúng toàn cầu (UNSCEAR, 2000). Suất liều bức xạ gamma chiếu ngoài phụ thuộc chính vào hàm lượng các nhân phóng xạ tự nhiên của dãy ²³⁸U, ²³²Th và ⁴⁰K có mặt trong lớp đất đá nằm sát bề mặt địa hình và vị trí địa chất của mỗi vùng. Việc khoanh định mức suất liều gamma do các tầng đất đá trên bề mặt gây ra và tính toán các chỉ số ảnh hưởng phóng xạ là mối quan tâm lớn đối với nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới. Chúng được tiến hành khảo sát trên nhiều vùng rộng lớn trong vài ba thập kỷ qua nhằm xây dựng bản đồ suất liều bức xạ gamma ngoài để kiểm soát, cảnh báo các khu vực ảnh hưởng môi trường phóng xạ đối với đời sống, sinh hoạt của dân và cảnh báo việc sử dụng đất đá làm vật liệu san lấp, xây dựng.

Phương pháp đo phổ gamma xác định hoạt độ phóng xạ riêng của các nhân phóng xạ ²³⁸U (Ra), ²³²Th và ⁴⁰K để tính toán, chuyển đổi sang tổng suất liều gamma và chỉ số nguy hại chiếu ngoài bằng các hệ số chuyển đổi tương ứng đã được công bố, ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới như Canada, Mỹ, Trung Quốc, Ấn Độ, các quốc gia Châu Âu... (Leung và nnk 1990; European Commission, 1999). Các hệ số chuyển đổi suất liều và chỉ số nguy hại chiếu ngoài của từng nguyên tố phóng xạ nêu trên đã được

công bố nhiều trong các ấn phẩm của các tổ chức quốc tế về an toàn phóng xạ như ICRP, IAEA và EU (TCXDVN 397:2007; Beretka và nnk, 1985).

Ở Việt Nam công tác nghiên cứu ảnh hưởng môi trường phóng xạ tự nhiên mới được tiến hành hơn 2 thập kỷ qua, người ta sử dụng 2 phương pháp chính để đo trực tiếp suất liều bức xạ gamma và nồng độ khí radon ở độ cao 1 m, sử dụng các công thức chuyển đổi để tính ra các thành phần liều chiếu ngoài và liều chiếu trong tương ứng từ suất liều gamma và nồng độ khí radon. Song, việc đo trực tiếp suất liều gamma chỉ xác định được một thành phần duy nhất là suất liều do tổng bức xạ gây ra (không xác định được bản chất của các nguồn gây phóng xạ, không tính toán được sự đóng góp liều riêng và chỉ số nguy hại của từng nguyên tố phóng xạ (H_f) phục vụ cảnh báo đối với lĩnh vực vật liệu xây dựng), nên trong nhiều trường hợp lại phải đo bổ sung phương pháp đo phổ gamma để tìm hiểu bản chất, nguyên nhân đối tượng gây phóng xạ.

Trong khuôn khổ thực hiện đề tài "Xác lập cơ sở khoa học phục vụ thành lập bản đồ trường phóng xạ tự nhiên từ các số liệu đo phổ gamma hàng không", các tác giả đã đo phổ gamma mặt đất, tính toán hàm lượng riêng của từng nguyên tố phóng xạ để thành lập bản đồ suất liều gamma ở độ cao 1 m thông qua việc sử dụng các hệ số quy đổi quốc tế; đánh giá được bản chất của đối tượng gây phóng xạ và tính chỉ số nguy hại chiếu ngoài (H_f) của bức xạ gamma, từ đó khoanh định các vùng môi trường phóng xạ theo các chỉ số khác nhau để cảnh báo những khu vực ảnh hưởng môi trường phóng xạ tự nhiên và khuyến cáo về lĩnh vực khai thác sử dụng đất đá trong vùng làm vật liệu xây dựng tại khu vực có khoáng sản đất hiếm thuộc xã Yên Hợp, huyện Quỳnh Hợp, tỉnh Nghệ An.

Thông qua bài viết này, tác giả muốn giới thiệu một phương pháp đánh giá môi trường phóng xạ tự nhiên mới, chưa từng được thực hiện ở Việt Nam trong thời gian qua, đó là phương pháp đo phổ gamma mặt đất, có nhiều ưu điểm vượt trội, cùng lúc có thể xác định được suất liều gamma, hàm lượng các chất phóng xạ U, Th, K và tính được chỉ số nguy hại chiếu ngoài (H_f) để bổ sung vào tổ hợp các phương pháp điều tra, đánh giá môi trường phóng xạ tự nhiên và lập các bản đồ liên quan phục vụ kiểm soát, cảnh báo và quản lý môi trường.

2. Đặc điểm địa chất khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc xã Yên Hợp huyện Quỳnh Hợp của tỉnh Nghệ An, phía Bắc giáp xã Châu Bình huyện Quỳnh Châu, phía nam giáp xã Đồng Hợp, phía đông giáp huyện Nghĩa Đàn. Đây là vùng núi thấp, dân cư sinh sống chủ yếu là người H'Mông, người Thái và người Thanh, tập trung đông đúc quanh khu vực trung tâm xã, do có đường quốc lộ 48 chạy qua (Hình 1).

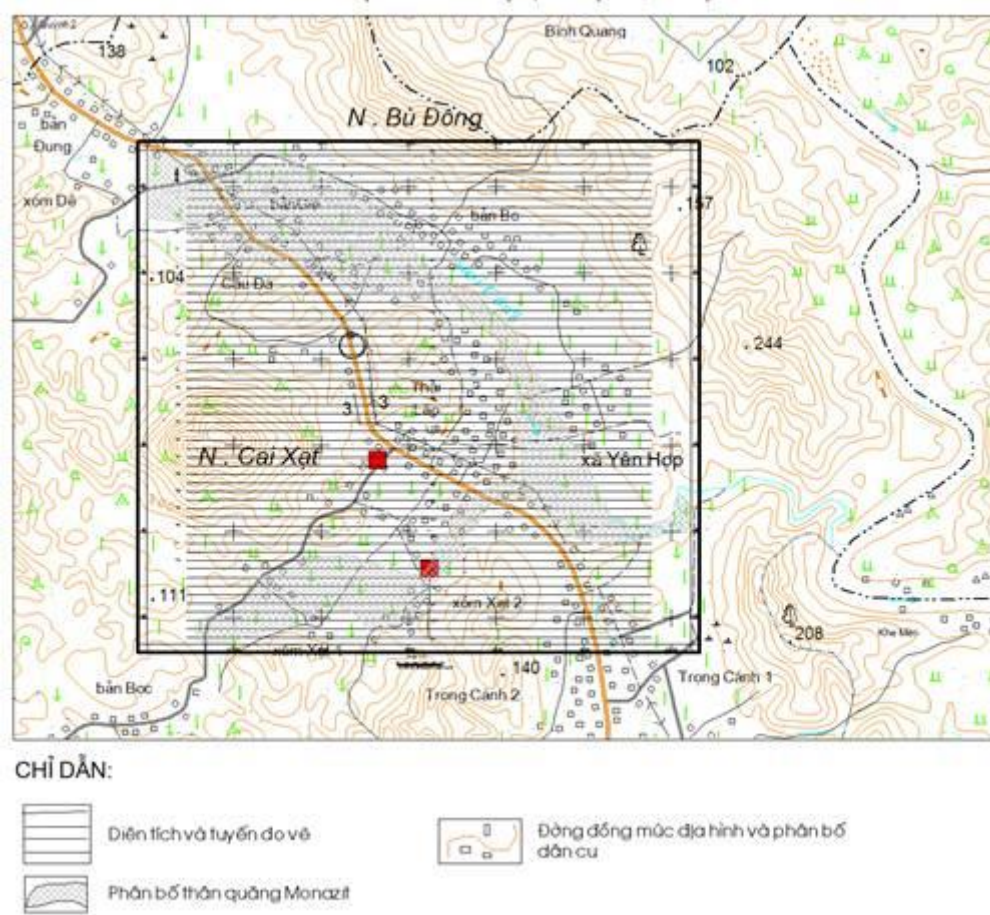
Khu vực nghiên cứu được cấu thành bởi các đá biến chất tuổi Proterozoi thuộc Hệ tầng Bù Khạng, các đá trầm tích hệ tầng Sông Cả và trầm tích Đệ tứ không phân chia. Thành phần thạch học chính của hệ tầng Bù Khạng, phân hệ tầng dưới gồm chủ yếu phiến thạch anh mica chứa silimanit, plagiogneis bị migmatit hoá và phân hệ tầng trên là đá phiến thạch anh biotit chứa granat, đá phiến thạch anh mica. Các đá của hệ tầng Sông Cả phân bố thành dải ở phía tây bắc khu vực nghiên cứu, thành phần chủ yếu gồm cát kết màu xám sáng và các lớp đá sét, cát kết dạng quarzit.

Trầm tích Đệ tứ phân bố trong diện tích khoảng 4 km², từ Đông Nam đến Tây Nam khu vực nghiên cứu khảo sát. Thành phần chủ yếu gồm cuội, sỏi, cát, sét và các mảnh vụn bị laterit hoá. Trong hệ tầng này đã phát hiện khoáng sản đất hiếm phân bố theo hướng bắc-nam, nằm ngay sát bề mặt địa hình (Hình 1).

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Công tác đo phổ gamma tại thực địa

Công tác đo phổ gamma mặt đất tại thực địa tiến hành theo mạng lưới tuyến song song, cách đều với mạng lưới 50x50 m trên toàn bộ diện tích 6 km². Máy móc sử dụng là máy đo phổ gamma GAD 6 do Canada sản xuất, trước khi thi công thực địa, máy được chuẩn máy trên mô hình bảo hòa tia gamma tại Lương Sơn, Hòa Bình để xác định hàm lượng tương đương của các nguyên tố phóng xạ từ kết quả đo. Hàng ngày máy được kiểm tra, đánh giá độ nhạy, độ chính xác thông qua các mẫu chuẩn kèm theo máy là các mẫu US2 và TS5. Đánh giá chất lượng đo đặc toàn vùng nhận được sai số đối với các kênh K, U, Th lần lượt là: 7,6%; 8,2%; 3,6%, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật, số liệu thu thập đảm bảo độ tin cậy theo quy định hiện hành.



Hình 1. Sơ đồ về vị trí địa lý, phân bố dân cư, tuyến bố trí đo suất liều gamma và đo phổ gamma mặt đất của khu vực nghiên cứu

3.2. Tính hàm lượng hoạt độ của các nhân phóng xạ

Kết quả đo phổ gamma tại mỗi vị trí, xác định được hàm lượng của từng nguyên tố phóng xạ K, U, Th thông qua các hệ số: K_1 ; K_2 ; K_3 và α ; β ; γ ; η tính từ kết quả hiệu chuẩn máy phổ gamma trên mô hình quặng bão hòa tại Lương Sơn, Hòa Bình và giải hệ phương trình sau:

$$q_{Th} = K_1(N_3 - N_{f3})$$

$$q_u = K_2[(N_2 - N_{f2}) - \alpha(N_3 - N_{f3})]$$

$$q_k = K_3[N_1 - N_{f1}] - (N_3 - N_{f3})\beta - [(N_2 - N_{f2}) - \alpha(N_3 - N_{f3})]\gamma$$

Trong đó:

$$K_1 = \frac{a_2}{a_2b_3 - a_3b_2}; K_2 = \frac{b_3}{a_2b_3 - a_3b_2}; K_3 = \frac{a_2b_3}{c_1(a_2b_3 - a_3b_2)}$$

$$\alpha = \frac{b_2}{b_3}; \beta = \frac{b_1}{b_3}; \gamma = \frac{a_1}{a_2}; \eta = \frac{a_3}{a_2}$$

Trong đó: Các hệ số a_i , b_i , c_i là phần góp của U, Th, K vào số đọc của các kênh thứ i – Xác định khi chuẩn máy; Các hệ số K_1 ; K_2 ; K_3 và α ; β ; γ ; η được sử dụng để tính hàm lượng K, U, Th tại các vị trí điểm khảo sát thực địa. Các hệ số này được xác định cụ thể theo kết quả chuẩn máy phổ gamma trên mô hình bão hòa tại Lương Sơn, Hòa Bình; N_{f1} ; N_{f2} ; N_{f3} lần lượt là giá trị phong đo của máy phổ gamma ứng với các kênh kali, uran, thori.

Hàm lượng các nguyên tố phóng xạ K, U, Th tính theo công thức trên có đơn vị lần lượt là %, ppm, ppm. Hệ số chuyển đổi hàm lượng sang hoạt độ phóng xạ riêng của từng nguyên tố phóng xạ như sau (TCVN 9419:2012):

1% Kali trong đất đá = 313 Bq/kg của ^{40}K ;

1 ppm Urani trong đất đá = 12,350 Bq/kg của ^{226}Ra hoặc ^{238}U ;

1 ppm Thori trong đất đá = 4,06 Bq/kg của ^{232}Th .

3.3. Lập bản đồ suất liều hấp thụ bức xạ gamma trong không khí

3.3.1. Lập bản đồ suất liều hấp thụ gamma

Suất liều hấp thụ bức xạ gamma mặt đất (D) ở độ cao 1 m tại mỗi vị trí được chuyển đổi theo công thức (1) dưới đây (Beretka và nnk, 1985):

$$D (\text{nGy h}^{-1}) = 0.461 C_{\text{Ra}} + 0.623 C_{\text{Th}} + 0.0414 C_{\text{K}} \quad (1)$$

Trong đó: hệ số chuyển đổi $0.0414 \text{ nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ cho ^{40}K ; $0.461 \text{ nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ cho dãy ^{238}U và $0.623 \text{ nGy h}^{-1}/\text{Bq kg}^{-1}$ cho dãy ^{232}Th . C_{Ra} , C_{Th} và C_{K} lần lượt là hàm lượng hoạt độ (Bq kg^{-1}) của radi, thori và kali tại vị trí điểm đo phổ gamma chuyển đổi theo các công thức ở trên.

Bản đồ đẳng trị suất liều hấp thụ bức xạ gamma trong không khí được vẽ với các mức: 0,3 nGy/h và 0,5 nGy/h, 0,7 nGy/h (tương ứng các mức phong trung bình, mức khuyến cáo trường bức xạ không nên định cư lâu dài và mức ảnh hưởng - theo tiêu chuẩn HPB 96-2000 của Nga). Bản đồ đã phân chia được 3 diện tích tương ứng với

các mức suất liều hấp thụ khác nhau để khuyến cáo về mức ảnh hưởng chiếu ngoài của môi trường phóng xạ tự nhiên trong khu vực đo vẽ. Chi tiết xem Hình 2 dưới đây:

3.3.2. So sánh với bản đồ suất liều hấp thụ đo trực tiếp

Trong khu vực đã tiến hành đo trực tiếp suất liều hấp thụ bằng máy đo suất liều gamma mặt đất với mạng lưới 50x25 m (mạng lưới dày hơn đo phổ gamma 2 lần), sau đó vẽ bản đồ suất liều hấp thụ gamma từ kết quả đo trực tiếp. So sánh giữa 2 bản đồ suất liều hấp thụ gamma thành lập từ việc đo trực tiếp và chuyển đổi từ kết quả đo phổ gamma mặt đất cho thấy:

Giá trị suất liều trên cùng vị trí là khá tương đồng với nhau.

Các vùng đẳng trị suất liều cùng mức cơ bản giống nhau về mức độ, quy mô, số lượng.

Tính hệ số tương quan giữa 2 tập số liệu suất liều đo trực tiếp và suất liều chuyển đổi từ kết quả đo phổ gamma cho hệ số tương quan: $R = 0,95$.

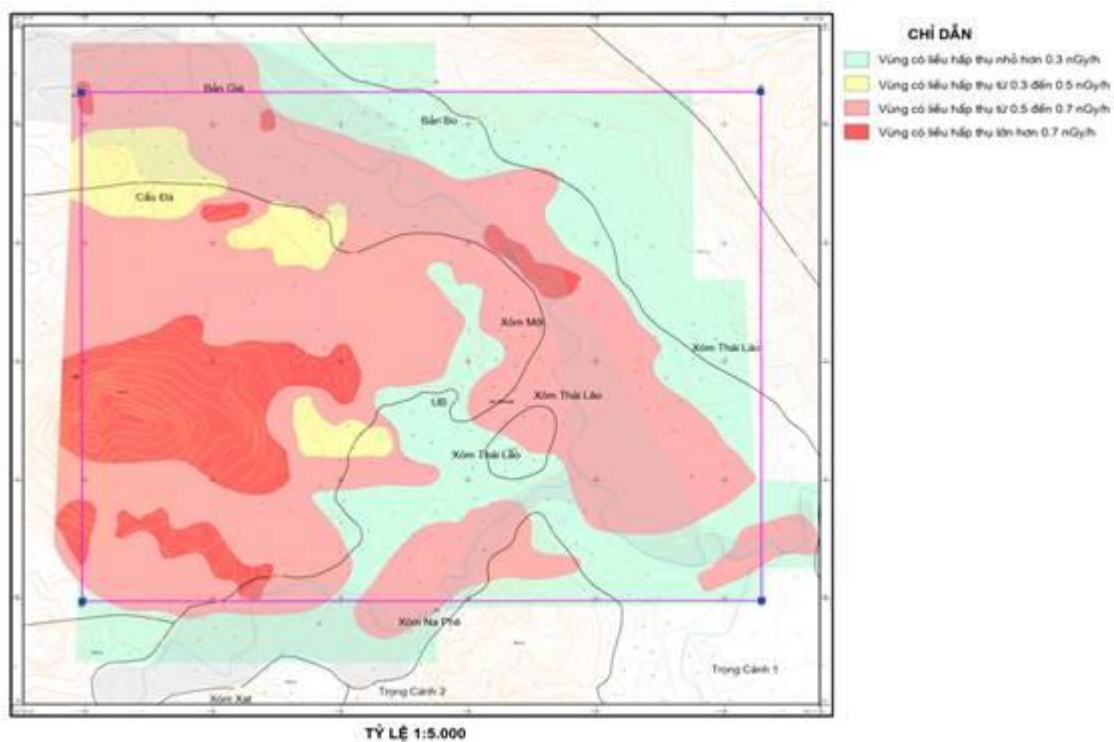
Rõ ràng hai bản đồ thành lập từ hai nguồn số liệu khác nhau hoàn toàn tương đồng nhau (Hình 2 và 3 dưới đây).

3.4. Lập bản đồ phân vùng chỉ số nguy hại liều chiếu ngoài (H_f)

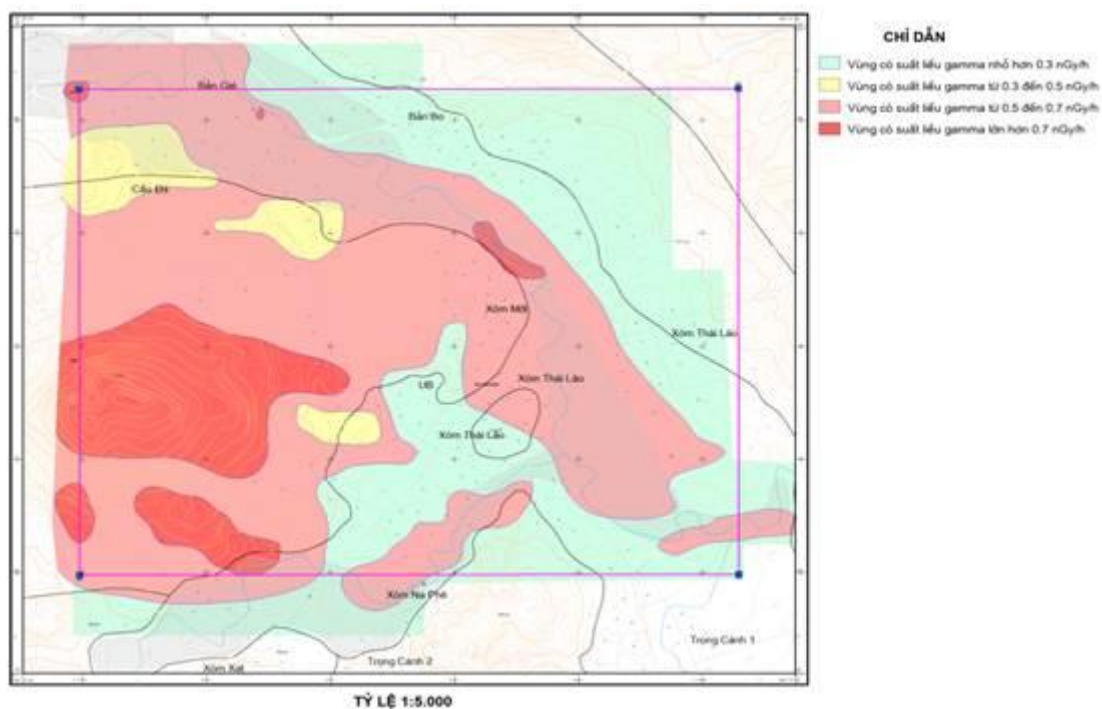
Chỉ số nguy hại chiếu ngoài tại mỗi vị trí được tính theo công thức (2) (Beretka và nnk, 1985; European Commission, 1999):

$$H_f = C_{Ra}/370 + C_{Th}/259 + C_K/4810 \leq 1 \quad (2)$$

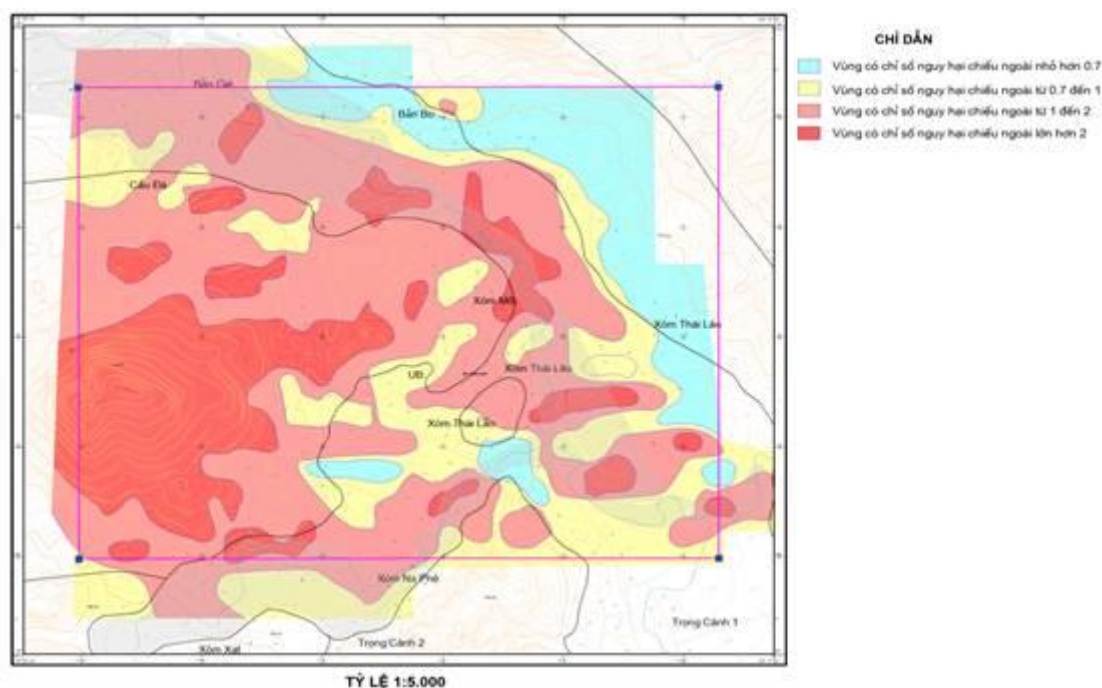
Ở đây: C_{Ra} , C_{Th} và C_K lần lượt là hàm lượng hoạt độ của ^{226}Ra , ^{232}Th và ^{40}K theo Bq/kg. Giá trị chỉ số (H_f) thể hiện mức độ nguy hiểm của bức xạ, hay nói cách khác là chỉ số này quy định mức độ sử dụng của vật liệu tầng mặt trong đánh giá ảnh hưởng của phóng xạ đối với vật liệu xây dựng được quy định tại TCXDVN 397:2007. Từ việc tính các chỉ số nguy hại chiếu ngoài tại các vị trí đo phổ gamma mặt đất, đã khoanh định trên bản đồ các diện tích có mức chỉ số nguy hại khác nhau, gồm các mức 0,5; 0,7; 1,0; 1,5; 2,0; >2 để cảnh báo về mức độ khai thác, sử dụng đất đá làm vật liệu xây dựng, san lấp mặt bằng (Hình 4):



Hình 2. Bản đồ đẳng trị suất liều tính chuyển theo hàm lượng các chất phóng xạ



Hình 3. Bản đồ đẳng trị suất liều đo trực tiếp



Hình 4. Bản đồ đẳng trị chỉ số nguy hại (H_γ) vùng Yên Hợp - Quỳnh Hợp, Nghệ An

4. Kết quả và thảo luận

Từ việc chuyển đổi suất liều hấp thụ của bức xạ gamma từ hoạt độ riêng của mỗi nguyên tố phóng xạ tại khu vực nghiên cứu cho thấy: suất liều hấp thụ thay đổi từ 45 đến 750 nGy/h, trung bình là 300 nGy/h. Thống kê tại 1295 điểm đo phổ gamma mặt đất chuyển hoạt độ sang suất liều hấp thụ gamma như sau:

Tham số thống kê	Suất liều hấp thụ của K (nGy/h)	Suất liều hấp thụ của U (nGy/h)	Suất liều hấp thụ của Th (nGy/h)
Max	54	472	470
Min	1,3	0,5	0,5
Trung bình	13	72	170
Tỷ lệ đóng góp (%)	5,1	27	68

Suất liều trung bình do Th gây ra là chủ yếu, chiếm khoảng 68% tổng suất liều chiếu ngoài. Trong diện tích đo vẽ (6 km²) thuộc trung tâm xã Yên Hợp có khoảng 1/3 diện tích (khoảng 2 km²) phân bố tại đồi cao phía tây diện tích thuộc hệ tầng Bù Khạng, đồi khi gặp các tầng lẫn lớn và một số dải nhỏ trên khu vực phân bố của các thân khoáng đất hiếm đã xác định, kéo dài từ tây bắc xuống đông nam của vùng có mức tổng liều cao hơn mức trung bình từ 2-3 lần, đặc biệt trong đó tồn tại những diện tích nhỏ có suất liều hấp thụ >0,5 nGy/h là những khu vực thuộc đối tượng khuyến cáo về mức suất liều phóng xạ cần được kiểm soát trong một số nội dung về kiểm soát an toàn phóng xạ.

Chỉ bằng đo phổ gamma mặt đất không những cho phép xác định hàm lượng hoạt độ riêng của từng nguyên tố phóng xạ mà còn chuyển đổi để thành lập bản đồ suất liều hấp thụ gamma, tính chỉ số nguy hại chiếu ngoài. Cùng lúc cho phép xác định được bản chất nguồn gây phóng xạ của các đối tượng địa chất cũng như tỷ lệ đóng góp vào tổng suất

liều gamma của từng hạt nhân phóng xạ và xác định được chỉ số nguy hại phóng xạ để cảnh báo về lĩnh vực sử dụng vật liệu xây dựng.

Chỉ số nguy hại chiếu ngoài của đất đá trong khu vực thay đổi từ 0,5-4,5; trung bình là 2,5. Từ giá trị của chỉ số này cho thấy: đối với vùng chứa các khoáng sản đất hiếm nói chung và khu vực Yên Hợp nói riêng thuộc các khu vực cần xem xét khoanh định những vùng có chỉ số nguy hại chiếu ngoài cao hơn 1,0 để thông báo cho chính quyền địa phương nhằm khuyến cáo và kiểm soát phóng xạ trong lĩnh vực làm vật liệu xây dựng để đảm bảo an toàn phóng xạ cho dân chúng và từng bước nâng cao chất lượng sống, môi trường sống cho cộng đồng.

Bản đồ phân vùng chỉ số nguy hại chiếu ngoài khá tương đồng với bản đồ suất liều hấp thụ trong không khí. Các mức chỉ số >1 chiếm diện tích chủ yếu của diện tích đo vẽ (chỉ trừ diện tích phần góc đông bắc và một phần phía Nam của vùng nghiên cứu. Phần diện tích này chiếm khoảng 4 km². Phần diện tích có chỉ số nguy hại chiếu ngoài từ 2 trở lên chiếm khoảng 1/3 diện tích vùng, bao gồm toàn bộ khu vực phía tây và trên thân khoáng đất hiếm phân bố trong vùng, phần diện tích này theo khuyến cáo của quy định an toàn phóng xạ trong vật liệu xây dựng thì không nên sử dụng đất đá để làm vật liệu san lấp nền nhà hoặc gần nhà.

Thực tế, khu vực có khá đông dân cư sinh sống, canh tác, đất đá được làm vật liệu xây dựng tại chỗ, san lấp khá phổ biến.

Bản đồ chỉ số nguy hại chiếu ngoài là sản phẩm chuyển đổi từ hàm lượng phóng xạ trong lớp đất mặt, rất dễ thành lập và trực quan trong công tác quản lý, giám sát môi trường ở địa phương, cần nhanh chóng xem xét đưa vào như một sản phẩm của công tác đánh giá chi tiết môi trường phóng xạ tự nhiên để bàn giao cho địa phương quản lý, sử dụng.

5. Kết luận

Từ số liệu đo phổ gamma mặt đất trong lớp đất trồng trong khu vực chứa khoáng sản đất hiếm ở Yên Hợp, huyện Quỳnh Hợp, tỉnh Nghệ An, đã đánh giá được:

Mức phóng xạ tự nhiên từ các nhân phóng xạ gây ra trong khu vực nghiên cứu chủ yếu do hạt nhân dãy ²³²Th gây ra, thứ đến là dãy ²³⁸U lần lượt là 68%, 27%; ⁴⁰K chỉ chiếm khoảng 2-10%, trung bình 5,1%.

Trong diện tích nghiên cứu đã khoanh định được khu vực cụ thể trên bản đồ có mức suất liều hấp thụ $>0,5$ nGy/h, là khu vực có mức phóng xạ sát với mức khuyến cáo vùng cần giảm liều khi định cư lâu dài. Đối với những vùng này cần thông báo để chính quyền địa phương quản lý, giám sát theo quy định.

Tính chỉ số nguy hại chiếu ngoài, cho thấy vùng đo vẽ cần được xem xét, quản lý phù hợp với các tiêu chuẩn an toàn phóng xạ trong vật liệu xây dựng tại từng khu vực cụ thể.

Bằng số liệu đo phổ gamma cùng lúc sử dụng để chuyển đổi về mức suất liều hấp thụ gamma trong không khí, tính chỉ số nguy hại chiếu ngoài do các nhân phóng xạ trong đất đá gần bề mặt địa hình gây ra, xác định bản chất phóng xạ của nguồn gây ra. Kết quả này là minh chứng quan trọng, góp phần vào nỗ lực kiểm soát, bảo vệ và nâng cao chất lượng môi trường sống tại địa phương.

Văn liệu

Liên đoàn Địa chất Xạ-Hiếm, 2006. Báo cáo kết quả điều tra chi môi trường phóng xạ khu vực Yên Hợp, huyện Quỳnh Hợp, tỉnh Nghệ An. Lưu trữ Liên đoàn Địa chất Xạ-Hiếm. Hà Nội.

Bộ Xây dựng, TCXDVN 397:2007. Hoạt độ phóng xạ tự nhiên của vật liệu xây dựng. Mức an toàn trong sử dụng và phương pháp thử.

TCVN 9419:2012. Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản - Phương pháp phổ gamma.

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000. Effects and risks of ionizing radiations. *United Nations, New York.*

Kannan V, Rajan M.P, Iyengar M.A.R, and Ramesh R, 2002. Distribution of natural and antropogena radionuclides in soil and beach sand simples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry. *Applied Radiation and Isotopes*, 57:109-119.

Leung K.C, Lau S.Y, Poon C.B, 1990. Gamma radiation dose from radionuclides in Hong Kong soil. *Journal of Environmental Radioactivity* 11:279-290.

Beretka J, Mathew P.J, 1985. Natural radioactivity of Australian building materials, Industrial wastes and by-products. *Health Physics* 48:87-95.

Yang Y.X, Wu X.M, Jiang Z.Y, Wang W.X, Lu J.G, Lin J, Wang L.M, Hsia Y.F, 2005. Radioactivity Concentrations in Soils of the Xiazhuang Granite Area, China. *Applied Radiation and Isotopes*, 63:255-259.

European Commission, 1999. Radiation Protection 112, Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Brussels, European Commission