

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH PHÔNG ĐỊA PHƯƠNG VÀ TÍNH LIỀU GIA TĂNG DO HOẠT ĐỘNG THĂM DÒ MỎ ĐẤT HIỂM NẬM XE, PHONG THỔ, LAI CHÂU

NGUYỄN THÁI SƠN¹, LÊ KHÁNH PHỒN², NGUYỄN VĂN NAM³,
LA THANH LONG³, DƯƠNG VĂN HÀO³, ĐOÀN VĂN TAM¹

¹Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiểm, Xuân Phương, Từ Liêm, Hà Nội

²Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Đông Ngạc, Từ Liêm, Hà Nội

³Tổng Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 6 Phạm Ngũ Lão, Hoàn Kiếm, Hà Nội

Tóm tắt: Bài báo tổng quan đặc điểm khoáng sản, tình hình thăm dò các mỏ đất hiếm chứa phóng xạ Nam Nậm Xe, Bắc Nậm Xe. Các tác giả đã đưa ra phương pháp tính liều gia tăng do các hoạt động thăm dò mỏ đất hiếm Nam Nậm Xe, Bắc Nậm Xe dựa trên cơ sở xác định giá trị đặc trưng liều chiếu xạ trước thăm dò (phông bức xạ tự nhiên địa phương) và giá trị đặc trưng liều chiếu xạ sau thăm dò. Do hoạt động thăm dò, liều chiếu gia tăng tại mỏ Bắc Nậm Xe là 3,29 mSv/năm, mỏ Nam Nậm Xe là 2,63 mSv/năm, đều vượt tiêu chuẩn an toàn cho phép đối với dân chúng. Bởi vậy các tác giả đã đưa ra kiến nghị về các hành động can thiệp nhằm làm giảm sự gia tăng liều chiếu xạ, giảm thiểu ảnh hưởng có hại của ô nhiễm phóng xạ đối với môi trường và sức khỏe người dân sống tại các mỏ Nam Nậm Xe, Bắc Nậm Xe đã được tiến hành thăm dò, tương lai có thể được đưa vào khai thác, chế biến.

I. MỞ ĐẦU

Chúng ta đã biết các mỏ quặng phóng xạ nói chung và các mỏ quặng chứa chất phóng xạ nói riêng có trữ lượng hàng trăm nghìn tấn gây ra các dị thường phóng xạ với cường độ bức xạ gamma cực đại đạt tới hàng nghìn $\mu\text{R/h}$, nồng độ khí phóng xạ trong không khí tới hàng trăm, hàng nghìn Bq/m^3 . Hoạt động thăm dò, khai thác làm cho đất phủ được bóc tách, quặng được thu gom, làm giàu, làm gia tăng hàm lượng và liều chiếu xạ tác động có hại tới môi trường và sức khỏe con người.

Theo khuyến cáo của Ủy ban an toàn phóng xạ Quốc tế ICRP (năm 1999), hoạt động thăm dò, khai thác khoáng sản chứa chất phóng xạ được coi là công việc bức xạ. Các văn bản pháp lý của Quốc tế ("Tiêu chuẩn an toàn Quốc tế cơ bản bảo vệ bức xạ ion hóa và an toàn đối với nguồn bức xạ", IAEA, 1996) và của Việt Nam (Nghị định Chính phủ 50/1998 ND-CP Việt Nam, 1998 và Thông tư số 19/2012/TT-BKHHCN ngày 08/11/2012 của Bộ Khoa học và Công nghệ) quy định: "Giới hạn liều nghề nghiệp đối với nhân viên bức xạ trên 18 tuổi, liều hiệu dụng không được vượt quá 20 mSv/năm, liều hiệu dụng đối với công chúng không được vượt quá 1 mSv/năm, không kể phông bức xạ tự nhiên".

Như vậy, muốn đánh giá được mức độ tác hại của phóng xạ do các hoạt động thăm dò, khai thác khoáng sản chứa phóng xạ đối với môi trường và sức khỏe con người, cần phải xác định được hai đại lượng cơ bản là giá trị của liều chiếu xạ khu vực mỏ trước khi thăm dò, khai thác được đặc trưng bởi phông bức xạ tự nhiên địa phương và giá trị liều gia tăng sau hoạt động thăm dò, khai thác. Đó cũng là các vấn đề có tính cấp thiết trong nghiên cứu môi trường phóng xạ ở nước ta hiện nay và được đề cập trong bài báo này.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Tình hình thăm dò quặng đất hiếm mỏ Nậm Xe, Phong Thổ, Lai Châu

Mỏ đất hiếm Nậm Xe bao gồm mỏ Bắc Nậm Xe và mỏ Nam Nậm Xe. Mỏ Bắc Nậm Xe chủ yếu nằm trong các đá phiến sét, phiến silic, đá vôi, đá hoa thuộc hệ tầng Si Phay ($P_1 sp$) và hệ tầng Na Vang ($P_2 nv$). Hàm lượng TR_2O_3 trong quặng gốc từ 4÷6 %, trong vỏ phong hóa trung bình 4 %. Trữ lượng cấp $B+C_1= 2,1$ triệu tấn TR_2O_3 , tài nguyên dự báo 7 triệu tấn TR_2O_3 .

Mỏ đất hiếm Nam Nậm Xe liên quan chặt chẽ với đá phun trào bazơ, thành phần chủ yếu là bazan hạnh nhân, bazan olivin thuộc hệ tầng Viên Nam ($T_{1i vn}$). Hàm lượng tổng oxyt đất hiếm thay đổi từ 0,8÷36,2 %, trung bình 10,6 %. Trữ lượng $B+C_1 = 199,168$ tấn TR_2O_3 , tài nguyên dự báo là 3 triệu tấn.

Mỏ đất hiếm Nậm Xe có hàm lượng urani U_3O_8 từ 0,006÷0,0256 %, trung bình 0,0174 %, thori ThO_2 từ 0,0039÷0,279 %, trung bình 0,173 %.

Trong các năm 2010 đến 2013 tập đoàn Hưng Hải đã tiến hành thăm dò trên tổng diện tích gần 20 km² mỏ đất hiếm Nậm Xe với khối lượng như sau:

- Khảo sát bổ sung, chỉnh lý bản đồ địa chất tỉ lệ 1:2.000 trên diện tích 3,196 km².
- Thi công công trình khai đào gồm 120 m³ giếng, 549,75 m³ hào, vét vĩa lộ 233,5 m³, khoan 73 lỗ khoan với khối lượng 2.720,65 m.
- Công tác mẫu: lấy mẫu đánh giá chất lượng quặng gồm 2353 mẫu hóa cơ bản, 190 mẫu hóa toàn diện, 125 mẫu đúp, 125 mẫu đối sánh, 21 mẫu microzon, 190 mẫu ICP xác định 15 nguyên tố thuộc họ đất hiếm, 100 mẫu lát mỏng, 15 mẫu khoáng tương, 15 mẫu giải đãi, 90 mẫu cơ lý (đất, đá và quặng), 1 mẫu công nghệ và các loại mẫu khác.

Các hoạt động thăm dò mỏ đã làm gia tăng sự phát tán các chất phóng xạ ra môi trường xung quanh và gia tăng liều chiếu xạ đối với khu mỏ và khu vực dân cư lân cận.

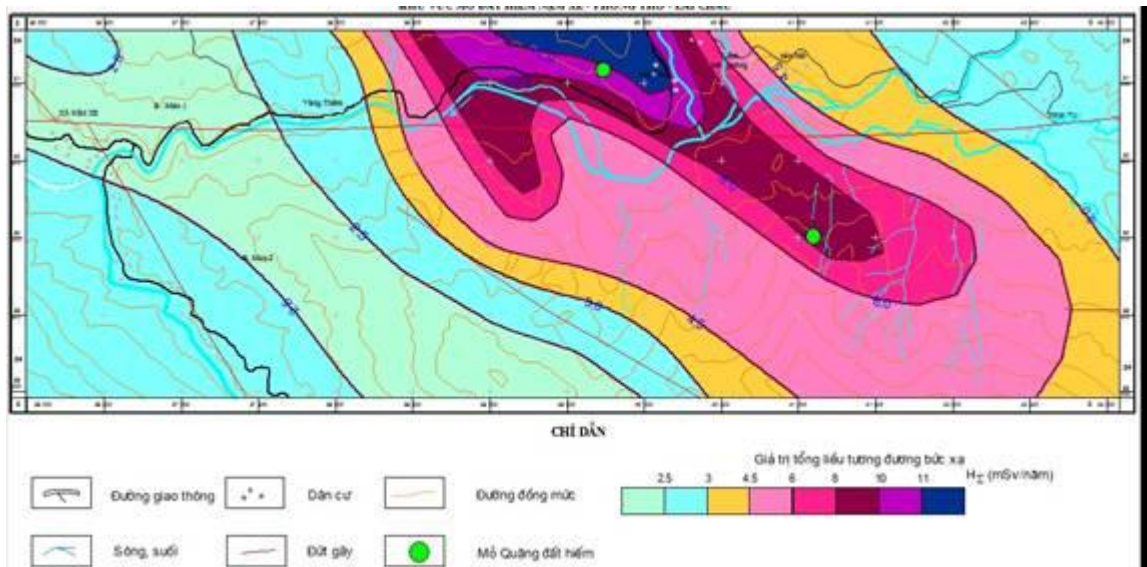
2. Nghiên cứu xác định liều gia tăng do hoạt động thăm dò mỏ

a) Các nghiên cứu đã được tiến hành trước đây:

Để xác định liều gia tăng do hoạt động thăm dò mỏ, người ta đã thành lập các bản đồ đẳng trị cường độ bức xạ gamma, nồng độ radon trong không khí, tổng liều tương đương bức xạ; các đồ thị so sánh suất liều bức xạ gamma và đồ thị so sánh nồng độ Rn trên các tuyến khảo sát trước và sau thăm dò mỏ.

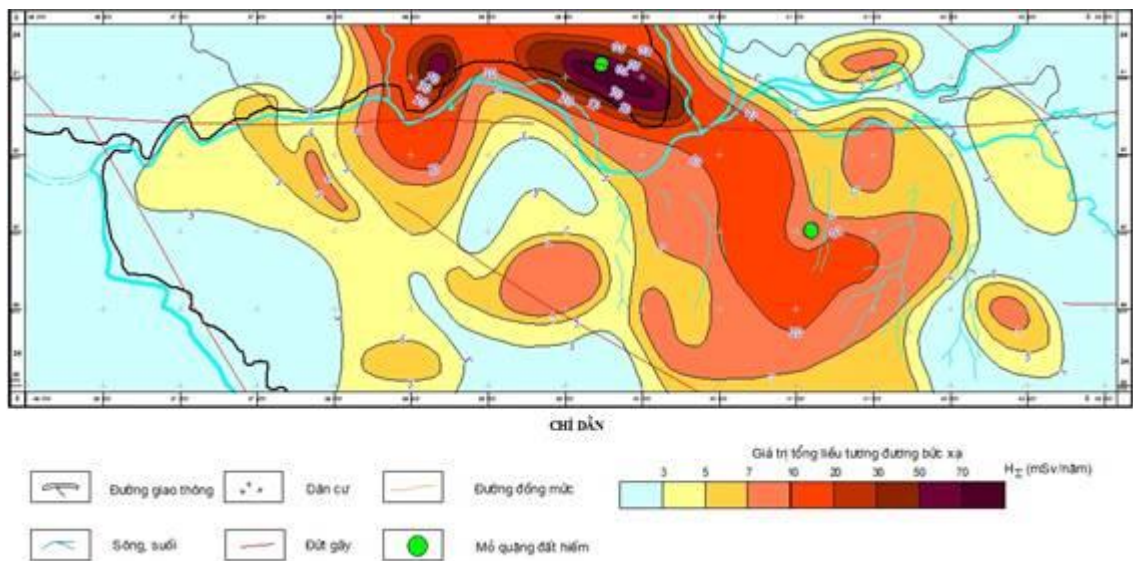
So sánh bản đồ đẳng trị tổng liều tương đương bức xạ trước và sau thăm dò (Hình 1, 2), nhận thấy hoạt động thăm dò mỏ làm tăng giá trị tổng liều tương đương bức xạ.

Trước thăm dò, trên diện tích mỏ (Hình 1) [3] giá trị tổng liều tương đương bức xạ biến thiên trong khoảng H_Σ từ 2,5 mSv/năm đến $H_\Sigma > 18$ mSv/năm, trung bình $H_\Sigma = 3$ mSv/năm, tại trung tâm khu mỏ có dị thường $H_\Sigma > 10$ mSv/năm.



Hình 1. Sơ đồ tổng liều tương đương trước thăm dò khu vực mỏ đất hiếm Nậm Xe.

Sau thăm dò tại khu mỏ (Hình 2) [3], giá trị tổng liều tương đương bức xạ biến thiên trong khoảng từ 3mSv/năm đến 70 mSv/năm. Tại trung tâm khu mỏ Bắc Nậm Xe có dị thường $H_{\Sigma} > 20$ mSv/năm, có dạng kéo dài theo phương tây bắc – đông nam, chiều dài 1,2 km, rộng 500 m (diện tích gần 0,6 km²), giá trị cực đại đạt tới giá trị $H_{\Sigma} > 70$ mSv/năm.

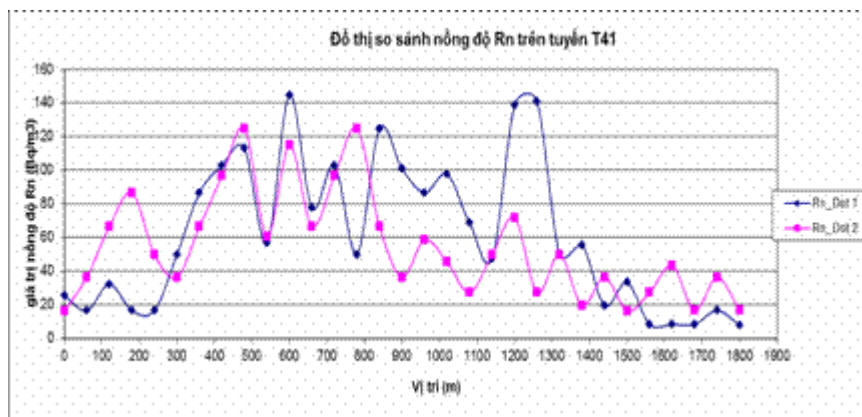


Hình 2. Sơ đồ tổng liều tương đương sau thăm dò khu vực mỏ đất hiếm Nậm Xe.

So sánh các đồ thị suất liều gamma (Hình 3) và nồng độ Rn trong không khí (Hình 4) trên tuyến 41 trước và sau thăm dò mỏ nhận thấy: giá trị suất liều gamma sau thăm dò tăng trung bình 0,1 μ Sv/h so với trước thăm dò, chỉ ở một khoảng rất nhỏ trên tuyến từ 670 - 800 m, trên thân quặng được khai đào, suất liều gamma tăng từ 0,2 - 0,5 μ Sv/h. Nồng độ radon trong không khí trên tuyến sau thăm dò ở phần rìa diện tích thăm dò (đoạn tuyến từ 0 - 200 m và từ 1550 - 1800 m) có xu hướng tăng từ 20 - 70 Bq/m³. Còn tại khu vực phân bố quặng đất hiếm, nồng độ Rn có vị trí tăng lên từ 20 - 70 Bq/m³, thậm chí có vị trí nồng độ Rn giảm đi so với trước thăm dò.



Hình 3. Đồ thị so sánh sự thay đổi suất liều gamma trước và sau khi thăm dò tuyến T41 mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe.



Hình 4. Đồ thị so sánh sự thay đổi của nồng độ khí phóng xạ trước và sau khi thăm dò tuyến T41, mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe.

Sở dĩ nồng độ Rn trong không khí đo được trước và sau thăm dò có sự biến thiên phức tạp như vậy là vì giá trị nồng độ radon trong không khí phụ thuộc không những vào sự thoát Rn từ lớp đất đá quặng gần mặt đất vào không khí, mà còn phụ thuộc vào các yếu tố thời tiết như nhiệt độ, hướng gió, địa hình... Gió có thể đưa Rn đi xa khỏi đối tượng gây ra sự eman hóa.

Từ những phân tích như trên có thể thấy, việc thành lập các bản đồ đẳng trị và các đồ thị tham số môi trường phóng xạ trước và sau thăm dò chỉ giúp chúng ta hình dung sơ lược mức độ và quy mô gia tăng liều chiếu xạ mà chưa thể đánh giá được mức độ ảnh hưởng của phóng xạ do hoạt động thăm dò mỏ.

b) Nghiên cứu phương pháp tính liều gia tăng trên cơ sở xác định giá trị đặc trưng liều chiếu xạ trước và sau thăm dò:

- Cơ sở lựa chọn phương pháp:

Chúng ta đã biết, trường bức xạ tự nhiên không những phụ thuộc vào các điều kiện tự nhiên và địa chất khoáng sản mà có sự khác nhau giữa các vùng miền trong mỗi nước và có sự khác nhau giữa các quốc gia. Mặc dù vậy, dựa vào phương pháp điều tra có hệ thống và phương pháp xử lý thống kê, người ta đã xác định được phong bức xạ tự nhiên của toàn cầu là 2,43 mSv/năm (phong bức xạ tự nhiên của CHLB Nga là 2,3 mSv/năm, của Ba Lan là 2,21 mSv/năm).

Với công việc bức xạ, người ta cũng đã xác định giá trị giới hạn liều bằng một con số cụ thể: đối với cán bộ chuyên môn (nhóm A) là 20 mSv/năm, đối với dân thường (nhóm C) là 1 mSv/năm [1, 6, 7] (không kể phong bức xạ tự nhiên).

Người dân hoặc cán bộ trong quá trình sinh sống và hoạt động nghề nghiệp có thể có mặt tại bất cứ địa điểm nào trong khu vực mỏ và chịu liều chiếu xạ được trung bình hóa của toàn bộ môi

trường mà người ta sinh sống. Xét cho cùng, mỗi người nói riêng hay toàn bộ cộng đồng người sinh sống và làm việc trong khu vực mỏ nói chung, trong một năm sẽ chịu một liều chiếu xạ xác định (bao gồm cả giá trị phóng bức xạ tự nhiên tại khu mỏ (phông địa phương) và giá trị liều gia tăng do thăm dò mỏ). Chúng ta chỉ có thể xác định liều chiếu xạ trong một năm đối với cộng đồng người sống và làm việc trong khu vực mỏ theo giá trị liều chiếu xạ phổ biến nhất, có tần suất lớn nhất đặc trưng cho toàn bộ khu vực mỏ.

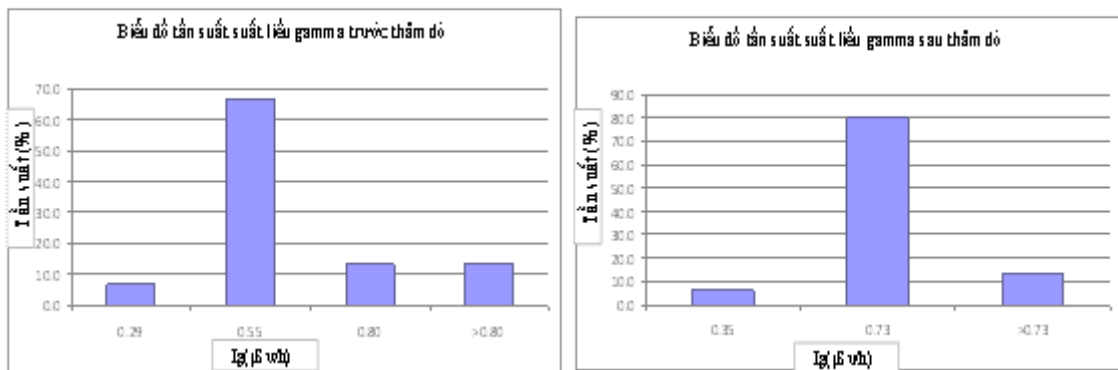
- Phương pháp xác định:

Việc xác định liều chiếu xạ trước thăm dò (phông bức xạ tự nhiên), liều chiếu xạ sau thăm dò phải dựa trên mạng lưới điểm khảo sát phân bố đều trên diện tích và mỗi giá trị điểm đo phải là giá trị đặc trưng của đối tượng đồng nhất trên mỗi diện tích nhỏ mà nó đại diện.

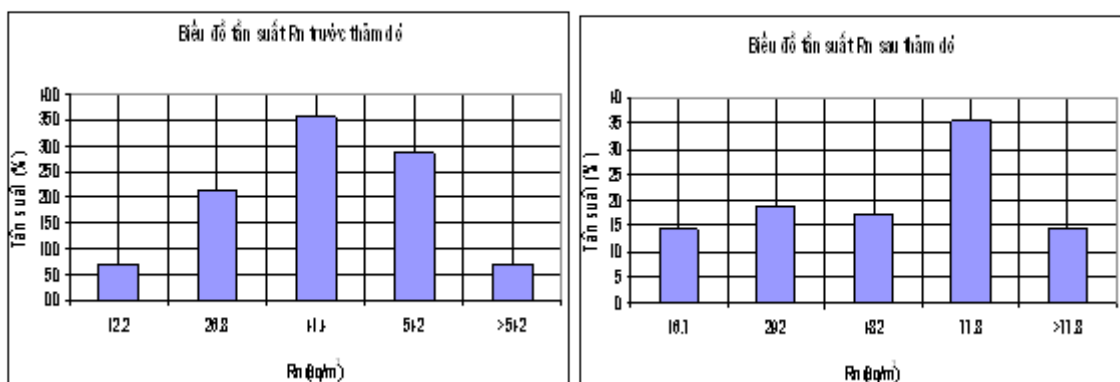
Bởi vì các tuyến khảo sát và các điểm đo thường có sự phân bố không đều trên diện tích, chúng tôi đã chia diện tích khu mỏ thành 28 ô có diện tích bằng nhau, mỗi ô có diện tích 1 km².

Tại mỗi ô tiến hành xác định giá trị đặc trưng suất liều bức xạ gamma và nồng độ radon trong không khí bằng phương pháp xây dựng biểu đồ tần suất. Đối với các ô biểu đồ tần suất có dạng phân phối chuẩn, giá trị đặc trưng được xác định theo giá trị suất liều gamma và nồng độ radon có tần suất lớn nhất (ứng với cực đại của đường cong biểu đồ tần suất). Đối với một số ô biểu đồ tần suất không có dạng phân phối chuẩn (ô 5 và ô 6 khu vực mỏ Bắc Nậm Xe đường cong có 2 cực đại), đã tiến hành chia từng ô thành hai phần: diện tích ô trong khu vực thân quặng và diện tích ô ngoài khu vực thân quặng. Các biểu đồ tần suất suất liều gamma và nồng độ radon xây dựng cho các diện tích kể trên đều có dạng phân phối chuẩn. Giá trị đặc trưng suất liều bức xạ gamma và nồng độ radon của các ô 5 và ô 6 được xác định theo trung bình cộng trọng số theo tỉ lệ diện tích trong và ngoài thân quặng của mỗi ô.

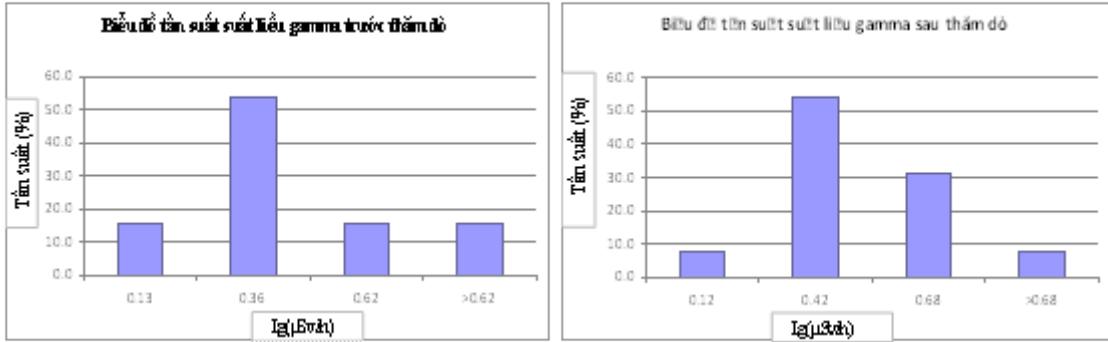
Từ giá trị đặc trưng suất liều gamma, nồng độ radon của 15 ô khu vực Bắc Nậm Xe và 13 ô khu vực Nam Nậm Xe đã xây dựng các biểu đồ tần suất và xác định giá trị đặc trưng suất liều gamma, nồng độ radon trước và sau thăm dò cho khu vực mỏ Bắc Nậm Xe (Hình 5, 6) và mỏ Nam Nậm Xe (Hình 7, 8).



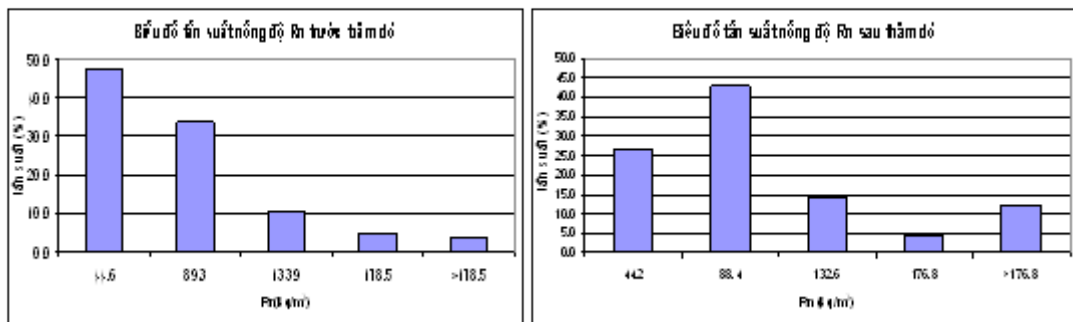
Hình 5. Biểu đồ tần suất suất liều gamma trước và sau thăm dò mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe.



Hình 6. Biểu đồ tần suất nồng độ Rn trước và sau thăm dò mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe.



Hình 7. Biểu đồ tần suất suất liều gamma trước và sau thăm dò mỏ đất hiếm Nam Nậm Xe.



Hình 8. Biểu đồ tần suất nồng độ Rn trước và sau thăm dò mỏ đất hiếm Nam Nậm Xe.

Giá trị liều chiếu trước thăm dò (phông bức xạ tự nhiên đặc trưng của khu mỏ) và liều chiếu sau thăm dò (liều gia tăng sau thăm dò) được xác định theo công thức sau [4]:

$$H_{\Sigma}(\text{mSv/năm}) = H_n(\text{mSv/năm}) + H_p(\text{mSv/năm}) + H_t(\text{mSv/năm}) \quad (1)$$

Với:

$H_n(\text{mSv/năm})$ là thành phần liều chiếu ngoài được xác định theo công thức:

$$H_n(\text{mSv/năm}) =$$

$$H_{sl}(\mu\text{Sv/h}) \times 10^{-3} \times (365 \times 24) h \quad (2)$$

$H_t(\text{mSv/năm})$ là thành phần liều chiếu trong xâm nhập qua đường hô hấp:

$$H_t(\text{mSv/năm}) = 0,047 \times N_{Rn} (\text{Bq/m}^3) \quad (3)$$

$H_d(\text{mSv/năm})$ là thành phần liều chiếu trong xâm nhập qua đường tiêu hóa:

$$H_d(\text{mSv/năm}) = (6,2 \cdot 10^{-6} A_K + 2,8 \cdot 10^{-4} A_{Ra} + 2,3 \cdot 10^{-4} A_{Th} + 4,4 \cdot 10^{-5} A_U) \cdot m_d, \quad (4)$$

Trong đó:

- H_{sl} , N_{Rn} là các giá trị suất liều gamma đặc trưng và nồng độ Rn đặc trưng trước và sau thăm dò được xác định theo phương pháp xây dựng biểu đồ tần suất kể trên.

- A_K , A_{Ra} , A_{Th} , A_U : hoạt độ trong 1 lít nước (Bq/l) hoặc 1 kg lương thực (Bq/kg).

- m_d : khối lượng nước uống hoặc thực phẩm sử dụng trung bình của một người trong 1 năm (lấy trung bình là 800 lít nước và 650 kg lương thực, thực phẩm).

Bảng 1. Kết quả tính liều gia tăng do hoạt động thăm dò tại các khu mỏ

TT	Liều chiếu Mỏ	Liều chiếu xạ trước thăm dò (phông bức xạ tự nhiên địa phương) (mSv/năm)				Liều chiếu xạ sau thăm dò (mSv/năm)				Liều gia tăng do hoạt động thăm dò (mSv/năm)
		H _n	H _p	H _d	H _Σ	H _n	H _p	H _d	H _Σ	
1	Mỏ Bắc Nậm Xe	4,82	1,95	1,11	7,88	6,4	3,66	1,11	11,17	3,29
2	Mỏ Nam Nậm Xe	3,12	2,1	1,11	6,33	3,7	4,15	1,11	8,96	2,63

III. ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP GIẢM THIỂU SỰ GIA TĂNG LIỀU CHIẾU XẠ DO HOẠT ĐỘNG THĂM DÒ MỎ ĐẤT HIẾM NẬM XE TỚI MÔI TRƯỜNG VÀ SỨC KHỎE CON NGƯỜI

Do hoạt động thăm dò, mức tổng liều hàng năm của khu vực mỏ Bắc Nậm Xe $H_{\Sigma} = 11,17$ mSv/năm là mức liều bắt đầu phải xem xét các hành động can thiệp. Các hành động can thiệp ở đây được hiểu là các biện pháp nhằm làm giảm liều chiếu xạ xuống dưới mức 10 mSv/năm. Để làm giảm liều chiếu ngoài có thể dùng các biện pháp che chắn như nhà có nền và tường gạch hoặc bê tông dày, tránh đào khoét sườn đồi, làm nhà tựa vào sườn đồi tại nơi có hoạt độ phóng xạ cao. Để giảm liều chiếu trong (giảm nồng độ khí Rn trong không khí) cần ở nhà sàn, nhà làm theo hướng gió chủ đạo đông nam, đầu hồi bịt kín, mở cửa sổ hai bên sườn để không khí trong nhà có xu hướng thoát ra ngoài và dùng quạt thông gió.

Hoạt động thăm dò đã làm cho liều gia tăng của các mỏ đất hiếm Nậm Xe vượt quá mức 1 mSv/năm (liều gia tăng tại khu vực mỏ đất hiếm Bắc Nậm Xe là 3,29 mSv/năm, mỏ Nam Nậm Xe là 2,63 mSv/năm). Trong diện tích khảo sát các khu mỏ hiện có dân sinh sống do vậy liều gia tăng vượt quá tiêu chuẩn an toàn cho phép đối với dân thường.

Để làm giảm sự gia tăng liều chiếu xạ đối với người dân, có thể áp dụng các biện pháp đã trình bày ở trên theo khuyến cáo của ICRP đối với mức liều chiếu xạ tự nhiên $H_{\Sigma} \geq 10$ mSv/năm. Trước mắt phải đưa các nhà trẻ, trường học phổ thông ra khỏi khu vực mỏ. Không để các phụ nữ có thai, nuôi con nhỏ sống trong khu vực mỏ. Hàng năm phải tiến hành khám bệnh định kỳ với những xét nghiệm về máu, trong đó có xét nghiệm điện di huyết sắc tố để xác định tính di truyền về bệnh lý máu nhằm làm sáng tỏ tác hại của bức xạ phóng xạ đối với người dân sống trong các khu mỏ.

Về lâu dài, các mỏ Nam Nậm Xe, Bắc Nậm Xe có thể sẽ được đưa vào khai thác, chế biến, chắt chắt sẽ làm gia tăng mạnh mẽ hàm lượng, liều chiếu xạ tại các khai trường và khu vực nhà máy chế biến, bãi thải. Khi đó lại cần phải khảo sát môi trường phóng xạ để xác định liều gia tăng do hoạt động khai thác chế biến đất hiếm. Nếu liều gia tăng do khai thác, chế biến vượt quá các tiêu chuẩn an toàn cho phép ($H_{\Sigma} - H_{\Phi} > 1$ mSv/năm đối với dân thường; $(H_{\Sigma} - H_{\Phi}) > 20$ mSv/năm đối với cán bộ, công nhân trực tiếp tham gia sản xuất thì phải có các biện pháp can thiệp nhằm làm giảm thiểu liều chiếu xạ như đã nói ở trên đối với hoạt động thăm dò mỏ. Trong trường hợp không có các biện pháp hiệu quả để giảm thiểu tổng liều chiếu xạ xuống dưới mức an toàn cho phép, thì cần có kế hoạch di chuyển dân cư chịu liều chiếu xạ cao tại các khu vực lân cận khai trường, nhà máy chế biến, bãi thải tới nơi an toàn.

IV. KẾT LUẬN

1/ Phương pháp tính liều gia tăng dựa trên cơ sở xác định giá trị đặc trưng liều chiếu xạ trước thăm dò (phông bức xạ tự nhiên địa phương) và sau thăm dò. Phông bức xạ tự nhiên địa phương và giá trị đặc trưng liều chiếu xạ sau thăm dò được xác định bằng cách chia diện tích khu mỏ thành các ô có diện tích đều nhau, diện tích mỗi ô đảm bảo sự đồng nhất về hoạt tính phóng xạ, có đủ số lượng thống kê tin cậy các điểm khảo sát ($N \geq 30$ điểm). Tính giá trị đặc trưng suất liều bức xạ gamma, nồng độ radon trong không khí của từng ô và của các khu mỏ theo cực đại của biểu đồ tần

suất. Kết quả xác định được liều gia tăng do hoạt động thăm dò tại mỏ Bắc Nậm Xe là 3,29 mSv/năm, mỏ Nam Nậm Xe là 2,63 mSv/năm, đều vượt quá tiêu chuẩn an toàn cho phép đối với dân thường.

2/ Đã đưa ra các biện pháp can thiệp nhằm làm giảm sự gia tăng liều chiếu xạ, giảm thiểu tác hại ô nhiễm phóng xạ đối với người dân sống trong khu vực mỏ đất hiếm Nam Nậm Xe, Bắc Nậm Xe.

Bài báo được hoàn thành trên cơ sở thu thập, xử lý, tổng hợp các kết quả khảo sát của Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm và của tập thể các tác giả trong khuôn khổ đề tài hợp tác quốc tế song phương Việt Nam – Ba Lan.

VĂN LIỆU

1. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources 1996. *IAEA, Vienna*.

2. International commission on Radiological Protection, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, ICRP Publication 82, 1999.

3. **Lê Khánh Phồn, 2014.** Báo cáo tổng hợp kết quả khoa học công nghệ đề tài “Điều tra khảo sát dịch tễ học dân cư sống trong khu vực mỏ đất hiếm huyện Phong Thổ, Tam Đường, tỉnh Lai Châu”, mã số 09.10. ĐTLC-KD, lưu trữ trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

4. **Lê Khánh Phồn, 2011.** Giáo trình “Phóng xạ mỏ và môi trường”. *Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Hà Nội.*

5. **Nguyễn Hào Quang, 2009.** Khía cạnh pháp lý quản lý phóng xạ tự nhiên trên thế giới và ở Việt Nam. *Hội thảo khoa học tại Lai Châu ngày 30-10-2009.*

6. **Roxman G.I, Barkhur A.E, Petrova N.V, 2012.** Sinh thái học bức xạ nguyên liệu khoáng công nghiệp. *Maxcova, 318 trang (Tiếng Nga).*

7. Thông tư số 19/2012/TT-BKHHCN ngày 08/11/2012 của Bộ Khoa học và Công nghệ “Quy định về kiểm soát và đảm bảo an toàn bức xạ trong chiếu xạ nghề nghiệp và chiếu xạ công chúng”. *Hà Nội.*