TẠP CHÍ KHOA HỌC ĐẠI HỌC TÂN TRÀO
ISSN: 2354 - 1431
http://tckh.daihoctantrao.edu.vn/

RESULTS OF MONITORING RADON (222Rn; 220Rn) GAS AND GAMMA DOSE RATE OVER TIME AT MUONG HUM RARE EARTH MINE, LAO CAI

Nguyen Van Dung, Vu Thi Lan Anh, Hoang Ngoc Lan,
Faculty of Environmental, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam
Email address: nguyenvandung@humg.edu.vn
DOI: https://doi.org/10.51453/2354-1431/2022/761

Article info

Received:25/3/2022
Revised: 20/4/2022
Accepted: 1/6/2022

Keywords:

Gamma dose rate, Radon concentration(222Rn), Thoron concentration(220Rn), Rare earth, Lao Cai

Abstract:

This paper investigates the characteristics of gamma radiation dose rate variation and the concentration of radioactive gas radon (222Rn; 220Rn) over time at the environmental radiation monitoring station of the Muong Hum rare earth mine. Using statistical methods to process data of gamma dose rate, radioactive gas concentration of radon (222Rn; 220Rn) over time at the monitoring station. The results of the study help to correct for diurnal variation and annual mean of radioactive gas concentrations and gamma dose rates when calculating mean effective dose and annual effective dose.

The results of the radioactive environment survey in 2021 at the environmental radiation monitoring station at the Muong Hum rare earth mine with the corrected numbers of radon and thoron are 1.65 and 1.97 respectively

TẠP CHÍ KHOA HỌC ĐẠI HỌC TÂN TRÀO
ISSN: 2354 - 1431
http://tckh.daihoctantrao.edu.vn/

KẾT QUẢ QUAN TRẮC KHÍ RADON (222Rn; 220Rn) VÀ SUẤT LIỀU BỨC XẠ GAMMA THEO THỜI GIAN TẠI MỎ ĐẤT HIẾM MƯỜNG HUM, LÀO CAI

Nguyễn Văn Dũng, Vũ Thị Lan Anh, Hoàng Ngọc Lan,
Khoa Môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam
Địa chỉ email: nguyenvandung@humg.edu.vn
DOI: https://doi.org/10.51453/2354-1431/2022/761

Thông tin bài viết

Ngày nhận bài: 25/03/2022
Ngày sửa bài: 20/4/2022
Ngày duyệt đăng: 1/6/2022

Từ khóa:

Suất liều gamma, Nồng độ radon(^{222}Rn), Nồng độ thoron (^{220}Rn), Đất hiếm, Lào Cai

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu đặc điểm biến động suất liều bức xạ gamma và nồng độ khí phóng xạ radon (^{222}Rn; ^{220}Rn) theo thời gian tại trạm quan trắc phóng xạ môi trường mỏ đất hiếm Mường Hum. Sử dụng phương pháp thống kê để xử lý số liệu suất liều gamma, nồng độ khí phóng xạ radon (^{222}Rn; ^{220}Rn) theo thời gian tại trạm quan trắc. Kết quả của nghiên cứu giúp điều chỉnh sự biến thiên ngày đêm và giá trị trung bình hàng năm của nồng độ khí phóng xạ và suất liều gamma khi tính toán liều hiệu dụng trung bình và liều hiệu dụng hàng năm. Kết quả khảo sát môi trường phóng xạ năm 2021 tại trạm quan trắc phóng xạ môi trường tại mỏ đất hiếm Mường Hum với số hiệu chỉnh của Radon, Thoron lần lượt là 1,65 và 1,97.

1. Mở đầu

Các hạt nhân phóng xạ tự nhiên bao gồm ^{238}U, ^{232}Th và ^{40}K có trong lớp vỏ Trái Đất, chúng tồn tại trong đá, quặng, đất, thực vật, nước và không khí. Bức xạ gamma từ các hạt nhân phóng xạ tự nhiên và các tia vũ trụ tạo thành sự phơi nhiễm chiếu xạ ngoài gây tác động đến sức khỏe và môi trường sinh thái [8, 9]. Các hạt nhân phóng xạ tự nhiên ^{226}Ra, ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K và con cháu của chúng trong đất bề mặt gây ra liều bức xạ gamma trên mặt đất và đóng góp khoảng 80% liều hiệu dụng hàng năm tác động đến người dân sinh sống trong khu vực [1-3]. Các hạt nhân phóng xạ trong đất có thể được di chuyển vào cây cối và tích lũy trong cơ thể con người thông qua việc ăn lương thực và rau quả [4-7]. Phóng xạ tự nhiên phụ thuộc chủ yếu vào các đặc điểm địa chất, địa lý, môi trường và xuất hiện ở các mức độ khác nhau trong các loại đất, đá của từng khu vực trên thế giới [8].

Theo đánh giá của UNSCEAR, trong tổng liều chiếu trung bình toàn cầu là 2,4 mSv/năm, trong đó thành phần liều chiếu ngoài từ bức xạ gamma chiếm 20%; thành phần chiếu trong do hít thở radon trong không khí chiếm 59%; thành phần do bức xạ vũ trụ chiếm 15%; các thành phần còn lại chiếm 6% [8].

Để đánh giá ảnh hưởng của môi trường phóng xạ đối với sức khỏe con người, các khuyến cáo của Ủy ban an toàn bức xạ Quốc tế và Việt Nam đều dựa trên đại lượng liều hiệu dụng trung bình hàng năm (mSv/năm) [8, 9, 17-19]. Phép đo các tham số môi trường phóng xạ như đo suất liều bức xạ gamma (tính liều chiếu ngoài) và nồng độ khí phóng xạ radon (^{222}Rn), thoron (^{220}Rn) (tính liều chiếu trong qua đường hô hấp) thường được thực hiện tức thời. Việc lấy giá trị số đo tại một thời điểm tức thời để tính liều chiếu xạ trung bình hàng năm đối với dân chúng sẽ không đảm bảo chính xác nếu như

các số đo suất liều gamma H_{sl}(μSv/h) và nồng độ khí phóng xạ (Bq/m^3) có sự biến đổi theo thời gian.

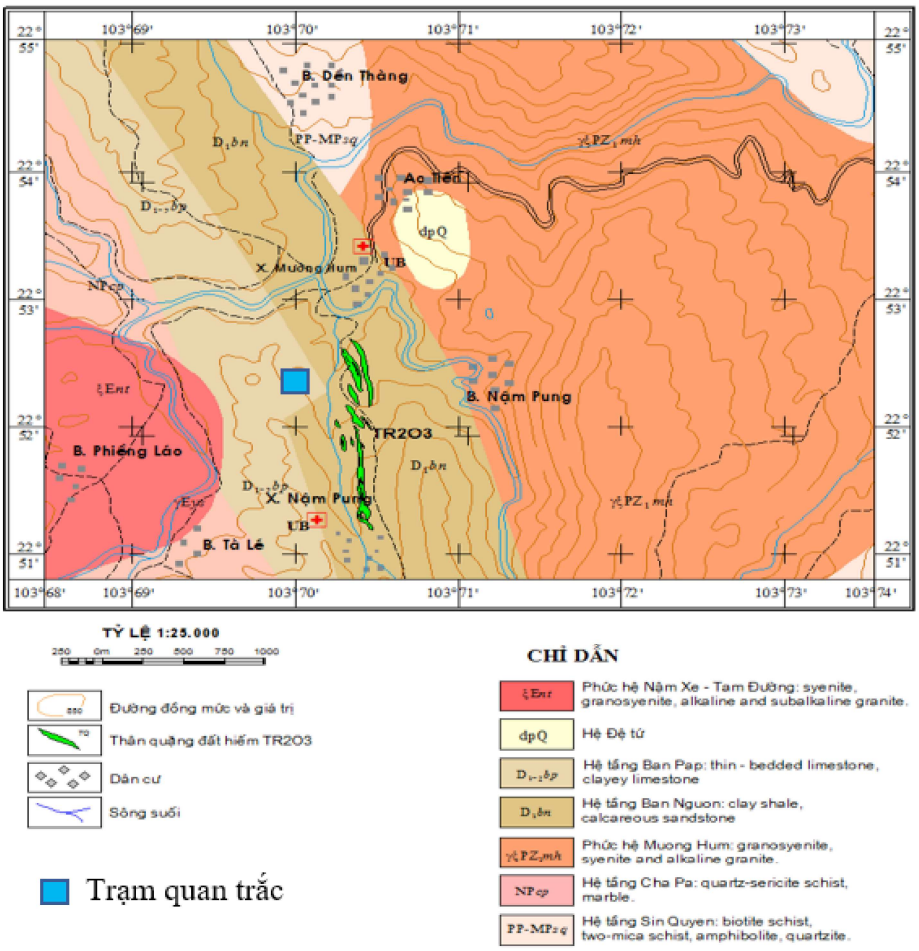
Nghiên cứu sự biến thiên suất liều gamma, nồng độ khí phóng xạ theo thời gian phục vụ đánh giá ảnh hưởng môi trường phóng xạ đối với sức khỏe con người là nội dung được thảo luận trong bài báo này.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đặc điểm địa chất, khoáng sản khu vực nghiên cứu

Mỏ đất hiếm Mường Hum huyện Bát Xát, tỉnh Lào Cai, được giới hạn bởi tọa độ 22°51′÷22°55′ vĩ độ Bắc và 103°68′÷103°74′ kinh độ Đông (hình 1), là khu vực thuộc dạng địa hình phức tạp, phần dọc trung tâm theo hướng Tây Bắc - Đông Nam là địa hình đồi núi thấp, bao bọc hai bên sườn là hai dãy núi cao bị phân cắt mạnh. Độ cao thay đổi từ 500 ÷ 2,000 m tạo nên nhiều thành vách, phân cắt bởi các hệ thống sông suối. Đặc điểm địa chất của khu vực gồm các hệ tầng: Hệ tầng Sin Quyền (PP-MP*sq*), Hệ tầng Bản Nguồn (D_{1bn}), Hệ tầng Ye Yen Sun (γE_{ys}), Hệ tầng Bản Páp (D_{1-2bp}), hệ tầng Mường Hum (aG/PZ_{2mh}). Theo kết quả điều tra đánh giá của Liên đoàn địa chất xạ hiếm [10-12] cho thấy đây là mỏ đất hiếm có trữ lượng lớn, tài nguyên đất hiếm tại chỗ 175.000 tấn TR_2O_3, tài nguyên đất hiếm nhóm nặng 37.500 tấn.

Thành phần khoáng vật quặng đất hiếm ở mỏ Mường Hum bao gồm chủ yếu là tập hợp các khoáng vật nặng bền vững trong điều kiện ngoại sinh đặc trưng cho loại hình quặng sa khoáng gồm: monazit, thori, oxinit, bastnezit, checchit, smacskit, thạch anh, manhetit, ilmenit, inmenorutin, zircon, octit, sphen, barit. Hàm lượng TR_2O_3 trong mỏ dao động từ 0,78 ÷ 3,02%, trung bình 1,45% TR_2O_3, thori từ 0,106 ÷ 0,188% ThO_2, trung bình 0,157% ThO_2, urani từ 0,012 ÷ 0,028% U_3O_8, trung bình 0,016% U_3O_8. Kết quả phân tích cho thấy tỷ lệ đất hiếm nhóm nặng trong mỏ dao động từ 16÷40%, trung bình 22% so với tổng oxit đất hiếm [10-12].



Hình 1. Sơ đồ địa chất khu vực mỏ đất hiếm Mường Hum [10]

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá sự biến thiên các thành phần môi trường phóng xạ: nồng độ khí radon (^{222}Rn) và thoron (^{220}Rn) và suất liều bức xạ gamma theo ngày đêm, tác giả sự dụng các phương pháp sau [14-16]:

- Phương pháp đo suất liều gamma môi trường. Thiết bị sử dụng là máy Inspector do Nga sản xuất, với độ chính xác 0.01 µSv/h;

- Đo khí phóng xạ trong không khí (^{222}Rn, ^{220}Rn) bằng thiết bị RAD-7, độ nhạy 5 Bq/m^3;

Liều hiệu dụng hàng năm H_{eff}, là tổng của liều chiếu ngoài và liều chiếu trong, được xác định theo công thức sau:

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

Trong đó:

- H_n là liều chiếu ngoài gây bởi bức xạ gamma, được đo tại vị trí cách mặt đất 1m, xác định theo công thức sau:

$$H_n = 8760 \times H_{SL}\text{,(mSv/năm)} \quad (2)$$

trong đó H_{SL}(µSv/h) là suất liều chiếu ngoài trong môi trường xung quanh;

- H_p là liều chiếu trong qua đường hô hấp do hít phải khí phóng xạ radon, toron được xác định theo công thức sau:

$$H_p = H_{Rn} + H_{Tn} \text{ (mSv/năm)} \quad (3)$$

Ở đây: $H_{Rn} = 0{,}047C_{Rn}$(Bq/m^3), $H_{Tn} = 0{,}007C_{Tn}$(Bq/m^3) với C_{Rn} là nồng độ khí radon (^{222}Rn) trong không khí và C_{Tn} là nồng độ khí toron (^{220}Rn) không khí.

Phần này mô tả chi tiết cách tiếp cận để tìm lời giải cho vấn đề nghiên cứu. Cách tiếp cận có thể là phát triển lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm, điều tra khảo sát... Nên giải thích ưu việt của việc áp dụng cách tiếp cận được sử dụng. Nếu có thể, nên đánh giá so sánh với các nghiên cứu trước (nếu có).

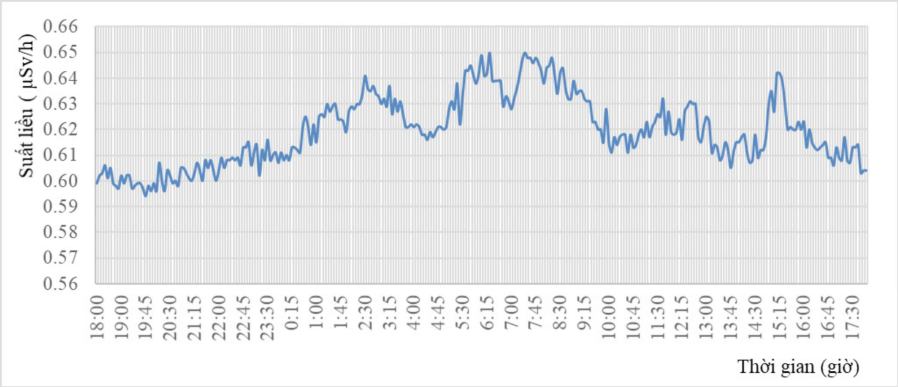
Nếu nghiên cứu phát triển lý thuyết, cần trình bày cơ sở lý luận để tìm lời giải cho vấn đề nghiên cứu.

Nếu nghiên cứu sử dụng phương pháp thực nghiệm hay mô phỏng, cần mô tả chi tiết thiết bị/ công cụ (nếu có), kế hoạch triển khai, cách thức thu thập và phân tích số liệu. Phần mô tả cần chi tiết và đầy đủ thông tin sao cho một nhà nghiên cứu khác có thể tiến hành lại được thí nghiệm đã trình bày.

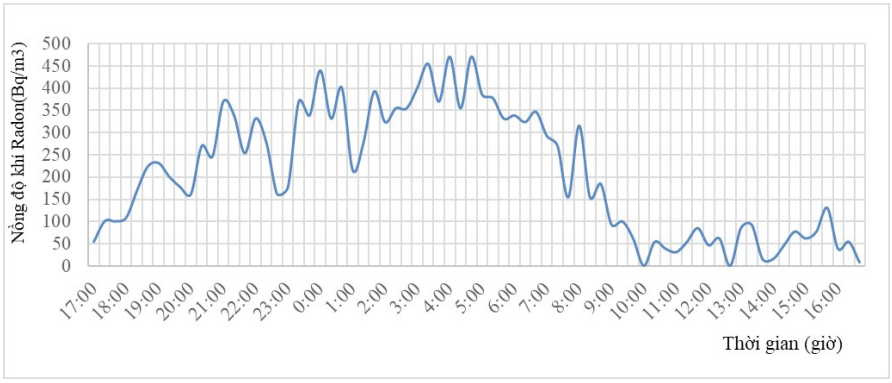
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Sự biến thiên nồng độ ^{222}Rn, ^{220}Rn và suất liều gamma (H_{sl}) theo ngày/đêm

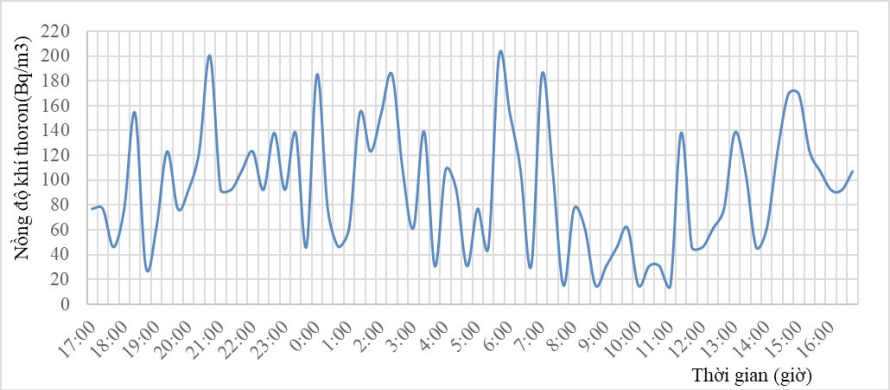
Kết quả quan trắc môi trường phóng xạ trên mỏ đất hiếm Mường Hum trong năm 2021 (Hình 2, 3, 4).



Hình 2. Sự biến thiên suất liều gamma (H_{sl}) theo ngày/đêm



Hình 3. Sự biến thiên nồng độ 222Rn theo ngày/đêm



Hình 4. Sự biến thiên nồng độ thoron ^{220}Rn theo ngày/đêm

Từ hình 2, 3 và 4 cho thấy nồng độ radon, thoron(^{222}Rn, ^{220}Rn) và suất liều gamma Ig đều cao vào ban đêm và thấp hơn vào ban ngày, nhưng quy luật biến thiên có sự khác nhau. Nồng độ ^{222}Rn ban ngày vào khoảng 11÷22 Bq/m^3 bắt đầu tăng cao từ 16 tới 17 giờ chiều đạt đến giá trị trung bình 142 Bq/m^3 vào ban đêm rồi lại giảm bắt đầu từ 4÷5 giờ sáng hôm sau đến giá trị 11÷22 Bq/m^3 vào ban ngày; Nồng độ ^{220}Rn ban ngày có giá trị 52÷105 Bq/m^3 bắt đầu tăng cao từ 16÷17 giờ chiều đạt đến giá trị trung bình 355 Bq.m^3 vào ban đêm rồi lại giảm bắt đầu từ 3÷4 giờ sáng hôm sau đạt đến giá trị 52÷105 Bq/m^3 vào ban ngày; Suất liều bức xạ gamma (H_{sl}) ban ngày có giá trị 0,626÷0,631 bắt đầu tăng lên từ 18÷19 giờ chiều rồi đạt đến giá trị cực đại 0,647÷0,653 vào khoảng 4÷6 giờ sáng hôm sau rồi lại bắt đầu giảm từ 8 giờ sáng đến giá trị 0,626÷0,631 vào ban ngày như hôm trước.

Chúng ta biết các khí phóng xạ radon (^{222}Rn) và thoron (^{220}Rn) nặng hơn không khí tới 8 lần. Ban ngày ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp nung nóng đất đá bề mặt và lớp không khí sát mặt đất, làm lớp không khí sát mặt đất nở ra nhẹ hơn và có xu hướng bốc lên phía trên. Kết quả làm cho nồng độ các khí phóng xạ (^{222}Rn, ^{220}Rn) ở độ cao 1m (trong phép đo khí phóng xạ môi trường) bị giảm thấp hơn so với ban đêm, không khí lớp sát mặt đất bị lạnh đi, các thành phần (^{222}Rn, ^{220}Rn) sẽ bị tích tụ sát mặt đất nên nồng độ đo được cao hơn ban ngày. Các sản phẩm phân rã của Rn là ^{214}Bi và ^{214}Pb khi phân rã phát ra bức xạ gamma chiếm tới 98% tổng suất liều bức xạ gamma của dãy Urani. Bởi vậy sự biến thiên nồng độ các khí phóng xạ (^{222}Rn, ^{220}Rn) dẫn tới sự biến thiên suất liều bức xạ gamma tại điểm quan trắc. Sở dĩ vào các buổi sáng sớm suất liều bức xạ gamma bắt đầu giảm muộn hơn thời điểm giảm nồng độ ^{222}Rn khoảng 2÷3 giờ là do các sản phẩm con cháu của radon (^{214}Bi, ^{214}Pb) dưới dạng các cặn phóng xạ lắng đọng ở mặt đất và bay lơ lửng trong không khí vẫn tiếp tục phân rã phát ra tia gamma. Sau 2÷3 giờ các đồng vị sản phẩm phân rã của ^{222}Rn là ^{214}Bi và ^{214}Pb phân rã hết thì suất liều bức xạ gamma mới giảm đến giá trị trung bình đo được vào ban ngày. Các phép đo môi trường phóng xạ thường được thực hiện vào ban ngày, giá trị nồng độ khí phóng xạ (^{222}Rn, ^{220}Rn) và suất liều gamma Ig đều thấp hơn vào ban đêm.

Ban đêm con người thường ngủ trong nhà, cửa đóng kín, làm cho sự chênh lệch kể trên càng lớn. Đó là điều cần lưu ý trong khảo sát và đánh giá ảnh hưởng môi trường phóng xạ đối với sức khỏe con người.

3.2. Sự biến thiên theo mùa nồng độ ^{222}Rn, ^{220}Rn và suất liều gamma theo các đợt quan trắc

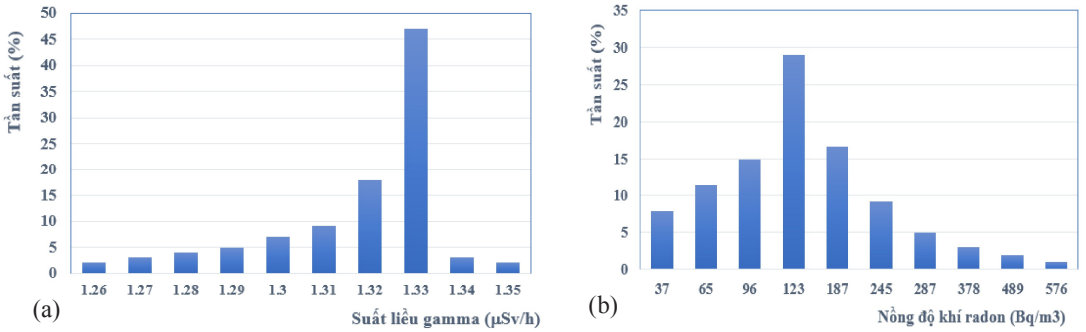
Như trên đã trình bày, các giá trị nồng độ khí phóng xạ và suất liều bức xạ gamma tại mỗi điểm đo không ổn định mà biến thiên theo thời gian, trong một ngày đêm đã có sự chênh lệch khá lớn, trong một năm thì sự chênh lệch đó có thể còn lớn hơn. Trong khi đó việc đánh giá ảnh hưởng của môi trường phóng xạ lại căn cứ vào giá trị liều hiệu dụng trung bình hàng năm, được tính theo đơn vị mSv/năm.

Muốn tính được giá trị liều hiệu dụng trung bình hàng năm thì phải xác định được giá trị nồng độ khí phóng xạ (^{222}Rn, ^{220}Rn) và suất liều bức xạ gamma trung bình hàng năm tại điểm đo. Sự biến thiên nồng độ khí phóng xạ và suất liều gamma theo thời gian chủ yếu gây ra bởi sự biến thiên nồng độ của chúng trong không khí. Trong những ngày nắng và lặng gió, nồng độ khí phóng xạ tăng cao rõ rệt vào ban đêm và giảm vào ban ngày. Những ngày không nắng, hoặc trời có mưa và có gió thổi, nồng độ khí phóng xạ trong lớp không khí sát mặt đất phụ thuộc mạnh vào thời tiết dẫn tới giá trị nồng độ khí phóng xạ và suất liều gamma tại điểm quan trắc nói riêng và tại các điểm đo môi trường phóng xạ trong vùng nghiên cứu nói chung biến thiên một cách ngẫu nhiên, không có quy luật nào cả.

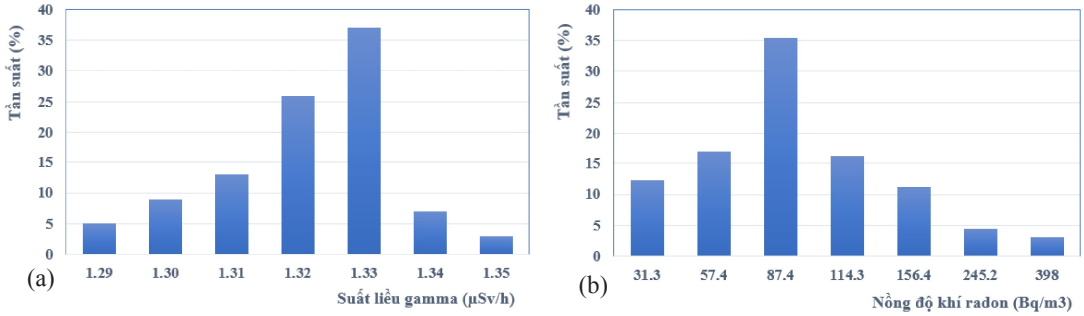
Để xác định giá trị trung bình trong năm của suất liều bức xạ gamma và nồng độ khí phóng xạ (^{222}Rn, ^{220}Rn), mà sự biến thiên của chúng theo thời gian thường mang đặc trưng ngẫu nhiên, tác giả đã tiến hành xây dựng biểu đồ tần suất xác định giá trị đặc trưng

suất liều gamma và nồng độ ^{222}Rn, ^{220}Rn (giá trị có tần suất lớn nhất) cho từng đợt quan trắc tại điểm quan trắc sau đó tính giá trị trong năm của chúng bằng cách tính giá trị trung bình của cả 4 đợt quan trắc trong 1 năm. Phương pháp lấy số liệu xây dựng các biểu đồ tần suất được thực hiện một cách thống nhất, trên đồ thị quan trắc, cứ 10 phút lấy một số liệu.

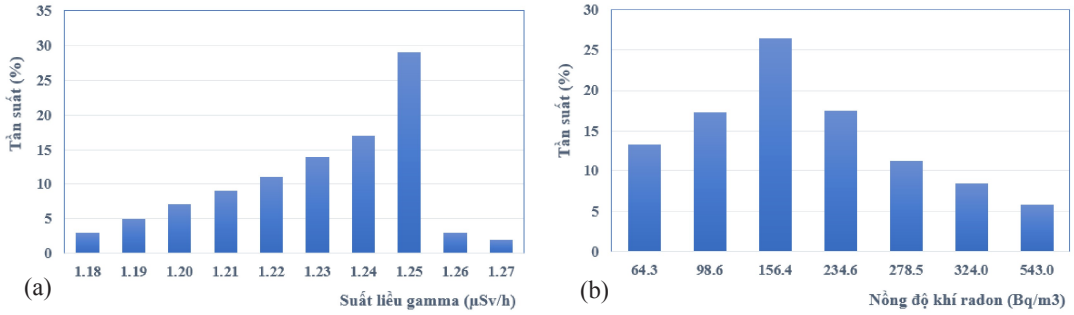
Như vậy, mỗi đợt quan trắc 3 ngày, từng biểu đồ tần suất (H_{sl}, ^{222}Rn, ^{220}Rn) được xây dựng trên cơ sở thống kê của xấp xỉ 400 số liệu. Sau đây đưa ra các biểu đồ tần suất các tham số môi trường phóng xạ (Ig, ^{222}Rn) theo 4 đợt quan trắc được tiến hành trong năm 2021 tại trạm quan trắc Mường Hum, mỗi đợt quan trắc được thực hiện trong 3 ngày (hình 5, 6, 7, 8).



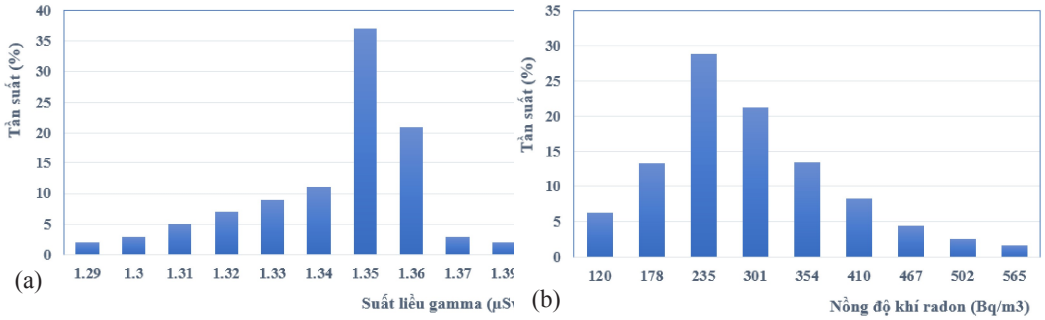
Hình 5. Biểu đồ tần suất suất liều gamma (a) và nồng độ radon (b) tại trạm quan trắc đợt 1



Hình 6. Biểu đồ tần suất suất liều gamma (a) và nồng độ radon (b) tại trạm quan trắc đợt 2



Hình 7. Biểu đồ tần suất suất liều gamma (a) và nồng độ radon (b) tại trạm quan trắc đợt 3



Hình 8. Biểu đồ tần suất suất liều gamma (a) và nồng độ radon (b) tại trạm quan trắc đợt 4

Từ biểu đồ quan trắc Iγ, ^{222}Rn, ^{220}Rn đều có dạng gần với phân bố chuẩn, được đặc trưng bởi các giá trị cực đại (giá trị có tần suất phân bố lớn nhất) tương đối rõ nét. Độ tán xạ của biểu đồ tần suất suất liều gamma có giá trị từ 0,01 đến 0,015 µSv/h, còn độ tán xạ của các biểu đồ tần suất nồng độ Rn, Tn có giá trị tương đối lớn từ 50÷80 Bq/m^3. Điều đó chứng tỏ ảnh hưởng của các yếu tố thời tiết (nhiệt độ, gió, mưa…) đối với các giá trị nồng độ khí phóng xạ lớn hơn so với các giá trị suất liều gamma.

4.3. Đặc trưng suất liều bức xạ gamma và nồng độ khí phóng xạ tại các đợt quan trắc

Kết quả xác định được giá trị đặc trưng suất liều bức xạ gamma Ig, nồng độ radon (Rn-222) và thoron (Rn-220) trong không khí theo 4 đợt quan trắc và giá trị trung bình của chúng trong năm 2021 tại trạm quan trắc Mường Hum (bảng 1).

Bảng 1. Kết quả xử lý số liệu quan trắc môi trường phóng xạ tại trạm Mường Hum 2021

Tham số môi trường phóng xạ	Giá trị đặc trưng theo đợt quan trắc				Giá trị trung bình trong năm
	Đợt 1	Đợt 2	Đợt 3	Đợt 4	
Suất liều gamma (µSv/h)	1,35(102,2%*)	1,38(104,5%*)	1,26(95,5%*)	1,34(100,7%*)	1,33
Nồng độ khí ^{222}Rn (Bq/m^3)	116,3(84,6%*)	86,7(63,1%*)	123,6(89,8%*)	247(179,6%*)	137,5
Nồng độ khí ^{220}Rn(Bq/m^3)	276(212,3%*)	118(90,7%*)	126(96,9%*)	230(176,9%*)	130

Dấu (*) là tỷ lệ so với giá trị trung bình năm.

Từ bảng 1 nhận thấy, suất liều bức xạ gamma theo các đợt quan trắc biến thiên trong khoảng từ 95,5% (đợt 3) đến 104,5 % (đợt 2) so với giá trị trung bình, tức là mức độ sai khác cao nhất là 9,0% (dưới 10%). Nồng độ ^{222}Rn theo các đợt quan trắc biến thiên trong khoảng từ 63,1% (đợt 2) đến 179,6% (đợt 4) (vượt quá 30%). Nồng độ ^{220}Rn theo các đợt quan trắc biến thiên trong khoảng từ 90,7% (đợt 2) đến 212,3% (đợt 1) (vượt quá 30%). Giá trị đặc trưng của các đợt quan trắc (theo các quý trong năm) lại có sự khác biệt so với giá trị trung bình của năm. Bởi vậy, các số liệu khảo sát môi trường của từng quý trong năm phải hiệu chỉnh để đưa về giá trị trung bình của năm. Số liệu khảo sát môi trường phóng xạ của chúng tôi được tiến hành vào quý III năm 2021, thì nồng độ radon (Rn) được nhân với số hiệu chỉnh K_{Rn} = 1,65; nồng độ thoron (^{220}Rn) được nhân với số hiệu chỉnh K_{Tn} = 1,97.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu rút ra một số kết luận sau: 1) Bài báo đã làm sáng tỏ tính cấp thiết, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của công tác quan trắc nghiên cứu sự biến thiên theo thời gian của các tham số môi trường phóng xạ; 2) Xử lý số liệu phóng xạ môi trường tại trạm quan trắc mỏ đất hiếm Mường Hum năm 2021 đã xác định được các giá trị đặc trưng suất liều bức xạ gamma, nồng độ khí phóng xạ ^{222}Rn, ^{220}Rn theo các đợt quan trắc và giá trị trung bình trong năm 2021; 3) Đã tiến hành hiệu chỉnh số liệu theo kết quả quan trắc môi trường tại mỏ đất hiếm Mường Hum. Số hiệu chỉnh đối với nồng độ Radon (^{222}Rn) là 1,65. Số hiệu chỉnh đối với nồng độ thoron (^{220}Rn) là 1,97.

Tài liệu tham khảo

[1] Karahan G., Bayulken A. (2000), Assessment of gamma dose rates around Istanbul (Turkey), J *Environ Radioact*; 47:213-21.

[2] Erees F.S., Aközcan S., Parlak Y., Çam S. (2006), Assessment of dose rates around Manisa (Turkey), *Radiation Measure*; 41:598 601.

[3] Duong N. T., Van Hao D., Duong D. T., Phan T. T., Le Xuan H. (2021), Natural radionuclides and assessment of radiological hazards in MuongHum, Lao Cai, Vietnam, Chemosphere, 270, 128671.

[4] Duong V. H., Nguyen T. D., Kocsis E., Csordas A., Hegedus M., Kovacs T. (2021), Transfer of radionuclides from soil to Acacia auriculiformis trees in high radioactive background areas in North Vietnam, *Journal of Environmental Radioactivity*, 229, 106530.

[5] Van H. D., Nguyen T. D., Peka A., Hegedus M., Csordas A.,Kovacs T. (2020), Study of soil to plant transfer factors of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs in Vietnamese crops, *Journal of Environmental Radioactivity*, 223, 106416.

[6] Azeez H.H., Mansour H.H., Ahmad S.T. (2019), "Transfer of natural radioactive nuclides from soil to plant crops", *Applied Radiation and Isotopes,*147,pp.152–158.

[7] Cengiz G.B.(2019), "Transfer factors of ^{226}Ra,^{232}Th and ^{40}K from soil to pasture-grass in the northeastern of Turkey", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,*319,pp. 83–89.

[8] UNSCEAR (2000), Sources and effects of ionizing radiation, *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, New York, 2000.

[9] ICRP Publication 82(2000). Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure; Elsevier Science Ltd.: Amsterdam, The Netherlands, 2000.

[10] Tran Binh Trong, Nguyen Phuong, Trinh Dinh Huan (2005). Report on Investigation of the current state of radioactive environment in the mines of Dong Pao, Then Sin - Tam Duong - Lai Chau province, Muong Hum in Lao Cai province, Yen Phu in Yen Bai province, Thanh Son in Phu Tho province, An Diem, Ngoc Kinh - Middle of Quang Nam Province, Archives of the Geological Federation of Rare Radiation.

[11] Bui Tat Hop, Trinh Dinh Huan, Nguyen Phuong (2010), Overview of rare earths in Vietnam, *Journal of Geology*, series A 2010, pp 447–456.

[12] Nguyen Van Dung, Trinh Dinh Huan, Dao Dinh Thuan (2020), Evaluation of changes in environmental radioactive composition in copper ore mining and processing activities in Sin Quyen mine, Lao Cai province, *Journal of Science and Technology of Vietnam*, vol. 62, issue 8, pages 8-12.

[13] Vietnamese Standard 9414 (2012), Environmental geological investigation, gramma method.

[14] Vietnamese standards: TCVN 9415 (2012), Environmental geological investigation and assessment - method to determine equivalent dose.

[15] Vietnamese standards: TCVN 9416 (2012), Investigation and assessment of environmental geology by radioactive gas method.

[16] Tran Anh Tuan et al (2012), Researching the scientific basis to identify areas with natural irradiation levels potentially harmful to humans for survey and assessment. Science and technology project at ministerial level (2011 - 2012), Ministry of Natural Resources and Environment.

[17] Ministry of Science and Technology (2012). Circular "Regulations on control and safety in occupational and public irradiation", No. 19/2012/TT-BKHCN, Hanoi.

[18] International Atomic Energy Agency (IAEA), Technical Reports Series No.295, *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment*, A Guidebook, 2006.

[19] ICRP Publication 103 (2007), The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Elsevier Science Ltd*.: Amsterdam, The Netherlands, 2007.